O6 Newtonsche Ringe

Physikalische Grundlagen

Grundbegriffe
Interferenz
Kohärenz
Gangunterschied
Phasendifferenz

1. Interferenz

Neben der Beugung gelten die Interferenzerscheinungen als überzeugender Beweis für die Wellennatur des Lichtes. Als Interferenz bezeichnet man die Überlagerung kohärenter Wellenzüge gleicher Frequenz. Ob die Lichtintensitäten am Ort der Beobachtung Verstärkung oder Schwächung bis hin zur Auslöschung aufweisen, hängt von der Phasendifferenz φ der Schwingungen bzw. dem Gangunterschied $\Delta\lambda$ der interferierenden Wellenzüge ab, wie folgende Überlegung zeigt: Am Ort der Interferenz der Wellen 1 und 2 addieren sich die elektrischen Feldstärken $E_1 = E_{01} \cos \omega t$ und $E_2 = E_{02} \cos(\omega t + \varphi)$. Für die Addition der beiden Kosinusfunktionen kann die Zeigerdarstellung in Abb. 12.1 benutzt werden. Die Vektoren $\vec{E}_1$ und $\vec{E}_2$ haben die Längen E_{01} bzw. E_{02} und der Betrag ihrer Vektorsumme ist $\vec{E}_{1+2}$ die Amplitude des resultierenden Feldes. Mit dem Kosinussatz findet man

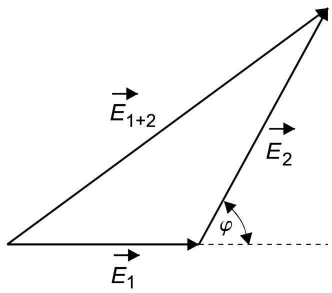

Abbildung 12.1: *Zeigerdiagramm*

$$E_{1+2}^2 = E_{01}^2 + E_{02}^2 + 2E_{01}E_{02} \cos \varphi.$$

Damit gilt für die Intensitäten, welche proportional zum Quadrat der Feldstärken sind,

$$I_{1+2} = I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1 I_2} \cos \varphi. \tag{12.1}$$

Der letzte Summand wird Interferenzglied genannt. Die Intensität kann somit je nach der Phasenverschiebung φ alle Werte zwischen $I_1 + I_2 - 2\sqrt{I_1 I_2}$ (Interferenzminimum) und $I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1 I_2}$ (Interferenzmaximum) annehmen. Bei gleichen Intensitäten der beiden Teilwellen liegt I_{1+2} zwischen 0 und $4I$.

2. Newtonsche Ringe

Als Newtonsche Ringe bezeichnet man Interferenzbilder, die bei folgender Anordnung entstehen: Eine Plankonvexlinse mit großem Krümmungsradius R liegt mit der gekrümmten Fläche auf einer ebenen Glasplatte (Abb. 12.2). Zwischen diesen beiden Flächen besteht ein Luftkeil mit veränderlicher Dicke d. Beleuchtet man die Anordnung senkrecht von oben mit parallelem monochromatischem Licht, dann beobachtet man sowohl in Reflexion als auch in Durchsicht konzentrische helle und dunkle Ringe um den Berührungspunkt von Linse und Glasplatte.

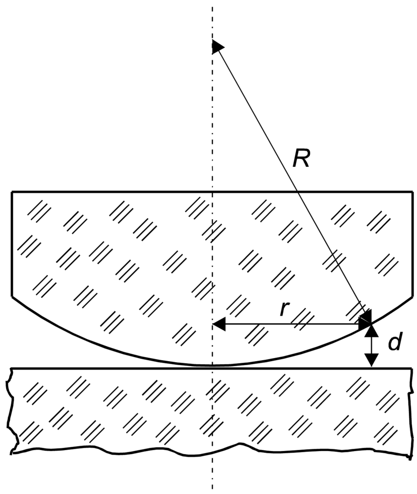

Abbildung 12.2: *Versuchsaufbau*

Die Ringe entstehen durch Interferenz der an der oberen und unteren Grenzfläche des Luftkeils reflektierten Lichtwellen und heißen Newtonsche Ringe. Zur Berechnung der Newtonschen Ringe betrachten wir einen vergrößerten Ausschnitt aus der Anordnung Linse/Glasplatte (Abb. 12.3). Die erste für die Betrachtungen wichtige Reflexion, die zur Bildung des Teilstrahls 1 führt, erfolgt an der Unterseite der Linse, d. h. beim Übergang des Lichts in das optisch dünnere Medium des Luftkeils. Ein Teil des Lichts durchquert den Luftkeil, wobei am optisch dichteren Medium (Glasplatte) dann eine erneute Reflexion erfolgt, die zur Bildung des Teilstrahls 2 führt. Die beiden Teilstrahlen 1 und 2 sind kohärent und überlagern sich im Punkt A. Betrachtet man alle reflektierten Teilstrahlen, dann ergibt sich oberhalb des Luftkeils eine Fläche, in der sich die entsprechenden Teilstrahlen überlagern. Diese Fläche rückt bei sehr kleinem Keilwinkel und senkrechtem Lichteinfall auf die obere Seite des Luftkeils.

Man kann diese Fläche und damit das Interferenzbild entweder mit dem Auge direkt beobachten, indem das Auge auf die Fläche akkommodiert, oder mit einem Mikroskop z.B. zum Ausmessen der Ringdurchmesser. Der geometrische Gangunterschied zwischen den Teilstrahlen 1 und 2 beträgt näherungsweise $2d$ und dies ist wegen $n_{\mathrm{Luft}} \approx 1$ auch der optische Gangunterschied. Dieser ist aber für die Phasenverschiebung φ in Gl. (12.1) nicht allein maßgebend, da der Teilstrahl 2 bei der Reflexion am optisch dichteren Medium noch einen Phasensprung von π (das entspricht $\lambda/2$) erfährt. Die Phasenverschiebung ergibt sich dann zu

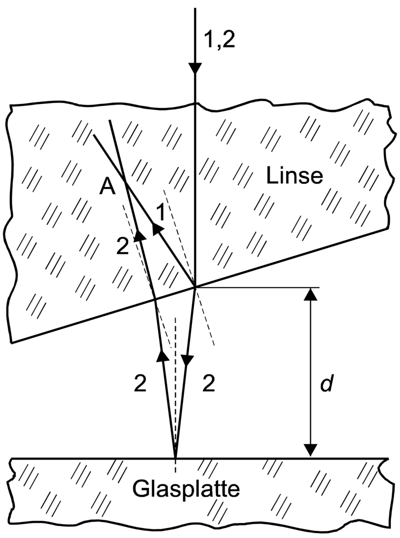

Abbildung 12.3: *Strahlenverlauf*

$$\varphi = 2\pi \frac{2d}{\lambda} + \pi. \tag{12.2}$$

Die Intensität bei Überlagerung wird nach Gl. (12.1) minimal für $\cos\varphi = -1$, d.h. für $\varphi_k = (2k+1)\pi$ mit $k = 0, 1, 2 \ldots$. Aus Gl. (12.2) ergibt sich dann als Bedingung für minimale Intensität

$$d_k = \frac{\lambda}{2} k \quad (k = 0, 1, 2 \ldots). \tag{12.3}$$

d_k ist somit die Dicke des Luftspaltes, die zum k-ten dunklen Ring gehört. Ein Interferenzminimum tritt auch im Berührungspunkt von Linse und Glasplatte auf ($k = 0$, $d_0 = 0$), hier ist die Phasendifferenz allein durch den Phasensprung von π bedingt. Aus Abb. 12.2 entnimmt man die geometrische Beziehung

$$\begin{aligned} R^2 &= (R-d)^2 + r^2 \qquad \text{bzw.} \\ r^2 &= 2Rd - d^2. \end{aligned} \tag{12.4}$$

Da d sehr klein gegen R ist, kann man d^2 gegenüber $2Rd$ vernachlässigen und mit Gl. (12.3) folgt dann

$$r_k = \sqrt{R\lambda k} \tag{12.5}$$

für die Radien der (dunklen) Newtonschen Ringe. Je größer k ist, desto kleiner ist der Unterschied zwischen den Radien benachbarter Ringe, d.h. desto dichter liegen die Ringe. Durch Messung der Radien bzw. der Durchmesser der Newtonschen Ringe lassen sich entweder der Krümmungsradius R der Linse oder die Wellenlänge des verwendeten Lichtes bestimmen, je nachdem, welche der beiden Größen bereits bekannt ist.

Aufgaben

1. Bestimmung des Krümmungsradius R einer Plankonvexlinse mit dem grünen Licht einer Hg-Spektrallampe ($\lambda = 546.074\,\text{nm}$) aus der grafischen Darstellung $r_k^2 = f(k)$.

2. Bestimmung der Wellenlänge einer weiteren sichtbaren und möglichst isolierten Spektrallinie des Hg-Spektrums und der Na-D-Linie aus den grafischen Darstellungen $r_k^2 = f(k)$.

Versuchsdurchführung

Zur Beobachtung der Newtonschen Ringe dient ein lateral verschiebbares Mikroskop mit Fadenkreuz. Die Ablesung der Mikroskopstellung erfolgt an einer Messschraube (1 Skalenteil= 0.01 mm). Um Fehler infolge des toten Ganges auszuschalten, ist es notwendig, das Mikroskop nur in einer Richtung über das Ringsystem zu bewegen und die Durchmesser $2r_k$ zu messen. Die Beleuchtung der Messanordnung mit monochromatischem Licht erfolgt von der Seite durch eine Spektrallampe mit Spektralfiltern. Mittels einer unter 45° zur Beobachtungsrichtung geneigten Glasplatte wird das Licht eingespiegelt. Die Spektrallampen dürfen nicht direkt an das Wechselstromnetz angeschlossen werden, sondern müssen in Reihe mit einer Drossel geschaltet werden. Aus dem Anstieg der Geraden $r_k^2 = f(k)$ werden R bzw. λ nach Gl. (12.5) bestimmt.

Fragen

1. Was versteht man unter kohärentem Licht und wie kann man es erzeugen?

2. Mit welchen Experimenten kann man den Teilchencharakter des Lichtes nachweisen?

3. Die Newtonschen Ringe sind nicht nur bei Reflexion sondern auch in Durchsicht zu beobachten. Wie muss Abb. 12.3 ergänzt werden, um diese Erscheinung zu erklären?

4. Wie sehen Newtonsche Ringe bei Beleuchtung der Anordnung mit weißem Licht aus?

5. Welche Bedingung gilt für die Radien der hellen Newtonschen Ringe? Warum werden im Versuch die Radien der dunklen Ringe ausgewertet?
6. Wie ändern sich die grafischen Darstellungen $r_k^2 = f(k)$, wenn die Linse die Glasplatte nicht einwandfrei berührt?