

Versuch 09

Grundbegriffe

Dispersionsrelation

Als Dispersionsrelation wird der Zusammenhang zwischen Teilcheneigenschaften (Frequenz) und Welleneigenschaften (Wellenlänge) bezeichnet. Dieser ist gegeben durch:

$$c = \lambda \cdot f$$

Dabei ist c die Ausbreitungsgeschwindigkeit. Diese wirkt als Koppelgröße.

Phasenverschiebung und Gangunterschied

Sind zwei Wellen zueinander verschoben, kann diese Verschiebung durch die Phasendifferenz δ oder den Gangunterschied Δs angegeben werden.

Interferenz

Bei Überlagerung zwei oder mehrerer räumlich und zeitlich unbegrenzter Wellen gleicher Frequenz, tritt Interferenz ein. Das resultierende Superpositionsbild ist je nach Phasenlage bzgl. der Intensität verstärkt oder geschwächt. Die Gesamtintensität ist nicht gleich der Summe der Einzelintensitäten. Sie ergibt sich durch:

$$I = I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1 \cdot I_2} \cos \delta$$

Dabei ist $2\sqrt{I_1 \cdot I_2} \cos \delta$ das Interferenzglied mit der Phasenverschiebung δ .

Konstruktive Interferenz

Konstruktive Interferenz tritt auf, wenn Wellenberge auf Wellenberge treffen. Die Intensitäten verstärken sich gegenseitig, die gemeinsame Intensität erreicht ein Maximum. Dies tritt ein bei:

$$\Delta x = k \cdot \lambda \quad \text{mit} \quad k = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$$

Destruktive Interferenz

Destruktive Interferenz tritt auf, wenn Wellenberg auf Wellental treffen. Die Intensitäten verringern sich gegenseitig, die gemeinsame Intensität erreicht ein Minimum. Dies tritt ein bei:

$$\Delta x = (k + 0,5) \cdot \lambda \quad \text{mit} \quad k = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$$

Interferenzfarben

Weißes Licht, welches an dünnen Schichten optisch transparenter Materialien (wie z. B. einem Ölfilm auf Wasser, Seifenblasen, etc.) reflektiert wird interferiert an der oberen und unteren Grenzfläche der dünnen Schicht. Richtungsabhängig wird dann das Licht einer bestimmten Wellenlänge ausgelöscht und es bleibt nur die Komplementärfarbe zum ausgelöschten Licht übrig.

Kohärenz

Folgen Wellen im dynamischen Verlauf einer gemeinsamen festen Regel, dann liegt Kohärenz vor. Dabei werden zeitlich und räumlich begrenzte Wellenzüge mit der Kohärenzlänge l und der Kohärenzzeit τ betrachtet.

Kohärenzbedingungen

Für punktförmige Lichtquellen lassen sich folgende Bedingungen formulieren:

- Hinreichende Überlappung im Beobachtungsgebiet nötig, die Wegdifferenz muss kleiner als die Kohärenzlänge sein.
- Phasendifferenz darf sich zeitlich nicht ändern, Lage der Interferenz muss konstant bleiben.
- Eine punktförmige Lichtquelle liegt nur dann vor, wenn der Öffnungswinkel innerhalb von $2\alpha_k$ liegt und der räumliche Interferenzbedingung genügt.

Die räumliche Interferenzbedingung ergibt sich durch:

$$\sin \alpha_k \ll \frac{\lambda}{2y}$$

wobei y die lineare Ausdehnung beschreibt.

→ Skizze (Buch Seite 254, O.2.0.3)

Newton'sche Ringe

Newton'sche Ringe ergeben sich durch Gangunterschiede von Lichtstrahlen und deren Interferenz. Dies tritt an Luftspalt zwischen zwei reflektierenden, nahezu parallelen Oberflächen ein.

→ Abbildung Abbe-Komparator (Aufgaben Abb. 1)

Im Abbe-Komparator wird das Licht z.B. parallel auf eine Linse mit großem Krümmungsradius gebracht. Ein Strahl wird an zwei Punkten reflektiert. Zum einen am Übergang von der Linse zur Luft, zum anderen am dichten Material am Boden. Am Boden entsteht durch die Reflexion am optisch dichteren Medium eine Phasenverschiebung um 180° . Damit ergibt sich insgesamt ein Gangunterschied von:

$$\Delta x = 2(d + d_0) + \frac{\lambda}{2} \quad (1)$$

Die Phasendifferenz beträgt:

$$\delta = 2\pi \cdot \frac{\Delta x}{\lambda} = \frac{4\pi}{\lambda} \cdot (d + d_0) + \pi \quad (2)$$

Der Radius eines k -ten Ringes kann über den Höhensatz bestimmt werden. Dabei gilt zunächst:

$$r_k^2 = d(2R - d)$$

→ Abbildung Höhensatz (Aufgaben Abb. 2)

Für schwach gewölbte Linsen ist $d \ll R$. Das kann vereinfacht werden auf:

$$r_k^2 = 2dR \quad (3)$$

Konstruktive Interferenz

$$\delta = 2\pi k$$

Kombiniert mit (2) ergibt sich:

$$2k - 1 = \frac{4}{\lambda}(d - d_0)$$

$$d = \frac{\lambda}{2}\left(k - \frac{1}{2}\right) - d_0$$

Eingesetzt in (3) kann r_k^2 bestimmt werden:

$$r_k^2 = \lambda R \left(k - \frac{1}{2}\right) - 2d_0 R$$

Destruktive Interferenz

$$\delta = \pi(2k - 1)$$

Kombiniert mit (2) ergibt sich:

$$k - 1 = \frac{2}{\lambda}(d - d_0)$$

$$d = \frac{\lambda}{2}(k - 1) - d_0$$

Eingesetzt in (3) kann r_k^2 bestimmt werden:

$$r_k^2 = \lambda R(k - 1) - 2d_0 R$$

Interferenzen an keilförmigen Schichten

Im Gegensatz zu den Newton'schen Ringen, bei denen die Luftspaltdicke annähernd quadratisch mit dem Abstand vom Ringzentrum zunimmt, ändert sich die Dicke der Luftschicht bei der Interferenz am Keil linear mit dem Abstand der Keilkante. Es können äquidistante Interferenzstreifen beobachtet werden (Fizeau-Streifen).

→ Abbildung Keil (Aufgaben Abb. 3)

Auch hier wird das Licht in zwei interferierende Strahlen durch die Reflexion an der Unterseite der geneigten Platte und der Oberseite der ebenen Platte zerlegt. D bezeichnet dabei das zu messende Objekt und bestimmt die Keilhöhe.

Es gilt die Beziehung:

$$\tan \alpha = \frac{d_k}{x_k} = \frac{D}{l}$$

$$x_k = \frac{l}{D} d_k \quad (4)$$

Außerdem gilt: $d_0 = 0$

Konstruktive Interferenz

$$\delta = 2\pi k$$

Kombiniert mit (2) ergibt sich:

$$d = \frac{\lambda}{2} \left(k - \frac{1}{2} \right)$$

Eingesetzt in (4) kann $x_{k,max}$ bestimmt werden:

$$x_{k,max} = \frac{l\lambda}{2D} k - \frac{l\lambda}{4D}$$

Destruktive Interferenz

$$\delta = \pi(2k - 1)$$

Kombiniert mit (2) ergibt sich:

$$d = \frac{\lambda}{2} (k - 1)$$

Eingesetzt in (4) kann $x_{k,min}$ bestimmt werden:

$$x_{k,min} = \frac{l\lambda}{2D} k - \frac{l\lambda}{2D}$$

Benachbarte Interferenzstreifen

Benachbarte Streifen sind äquidistant, sie haben einen Abstand von:

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

Interferenzfilter

Interferenzfilter sind optische Bauelemente die den Effekt der Interferenz nutzen um Licht frequenzabhängig (d.h. für sichtbares Licht, farbabhängig) zu filtern.

Um diesen Effekt zu erreichen, wird auf ein neutrales Glas eine Vielzahl von dünnen Schichten unterschiedlicher Brechzahlen aufgebracht. Die optische Dicke dieser Schichten beträgt meist ein Viertel einer vorgegebenen Zentralwellenlänge oder ein Vielfaches davon. Beim Auftreffen des Lichtes auf solche Schichten wird an jeder Grenzfläche zwischen zwei Materialien unterschiedlicher Brechzahl die auftreffende Strahlung in einen durchgelassenen, reflektierten und absorbierten Anteil aufgespalten. An jeder weiteren Grenzfläche finden erneut entsprechende Aufspaltungen statt, sodass insgesamt sehr viele Teilstrahlen entstehen, die sich überlagern und konstruktiv oder destruktiv miteinander interferieren.