

Q11 * Physik * Aufgaben zum Wellenaspekt von Licht



1. Bei der Betrachtung einer Compact-Disc (CD) fällt auf, dass sie einfallendes Licht spektral zerlegt. Ihre Oberfläche enthält winzige Rillen, die ein Reflexionsgitter bilden. Das Licht eines Lasers ($\lambda = 633\text{nm}$) wird senkrecht auf eine CD gerichtet. Das Interferenzmaximum zweiter Ordnung tritt dann gerade unter dem Winkel $37,7^\circ$ bezüglich der Rillenebene der CD auf.

(Aus dem LK-Abitur 1995 II 4)

- Fertigen Sie eine Skizze mit deren Hilfe der Gangunterschied der von benachbarten Spiralen ausgehenden Strahlen berechnet werden kann, und berechnen Sie mit den gegebenen Daten den Abstand b benachbarter CD-Rillen. (7 BE)
- Erklären Sie das Auftreten von Farben bei der Betrachtung einer CD, die mit weißem Licht bestrahlt wird. (4 BE)

2. Farben dünner Schichten (Aus LK-Abitur 2005 II 3)

Dünne Ölschichten auf Wasser schimmern bei Tageslicht in verschiedenen Farben.

Zur Erklärung wird Licht betrachtet, das unter dem Einfallswinkel α auf eine Ölschicht der Dicke d fällt.

- Erläutern Sie mit Hilfe der nebenstehenden Zeichnung das Zustandekommen der Interferenz bei der Reflexion.

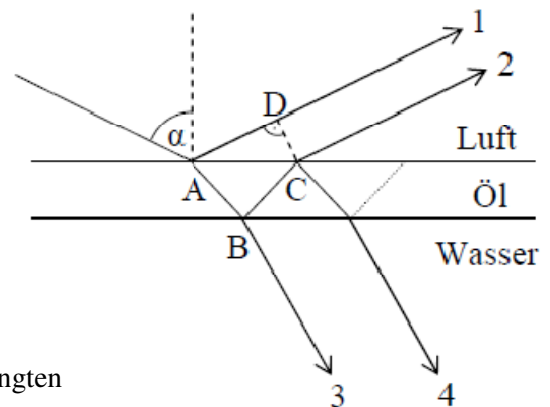
Geben Sie den optischen Gangunterschied Δs der parallelen Strahlen 1 und 2 mit den Bezeichnungen aus der Zeichnung an. Benutzen Sie dabei, dass Wasser optisch dichter ist als Öl und dass die optische Weglänge gleich dem Produkt aus geometrischer Weglänge und der Brechzahl ist.

Die mathematische Auswertung des in Teilaufgabe a) verlangten

Ansatzes liefert $\Delta s = 2d \cdot \sqrt{n^2 - (\sin \alpha)^2}$. (Herleitung nicht erforderlich.) (5BE)

- Erklären Sie, weshalb die Ölschicht bei Tageslicht farbig schimmert. (5BE)
- Auf einer Wasserpfütze hat sich Öl mit der Brechzahl $n = 1,20$ in einer 560 nm dicken Schicht ausgebreitet.

Für welche Einfallswinkel wird grünes Licht der Wellenlänge 510 nm unterdrückt? (9BE)



3. Newtonsche Ringe

Eine plankonvexe Glaslinse liegt auf einer ebenen Glasplatte. Die Linse soll dabei einen sehr großen Krümmungsradius R besitzen, also sehr schwach gekrümmt sein.

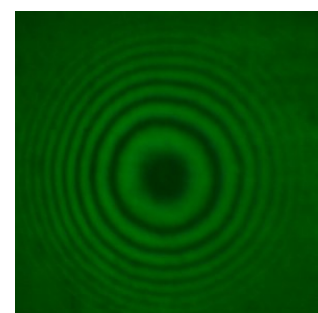
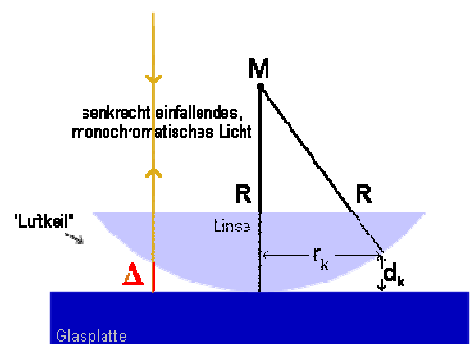
Auf diese Anordnung fällt senkrecht monochromatisches Licht der Wellenlänge λ (z.B. grünes Licht). Dabei wird ein Teil des Lichtes an der Unterseite der Linse, ein anderer Teil an der Oberseite der Glasplatte (mit Phasensprung - daher im Zentrum ein Interferenzminimum!) reflektiert.

Der sich dabei zwischen den beiden Glaskörpern ausbildende Luftkeil, dessen Dicke Δ nach außen hin zunimmt, führt also zu Interferenzen gleicher Dicke.

Diese werden aufgrund der Rotationssymmetrie des Aufbaus als konzentrische Kreise aus hellen bzw. dunklen Ringen auf einem Schirm sichtbar.

Für den Radius r_k des k -ten dunklen Ringes gilt: $r_k \approx \sqrt{k \cdot \lambda \cdot R}$

Versuchen Sie, diese Formel herzuleiten!



Anwendung: Oberflächenprüfung von Linsen

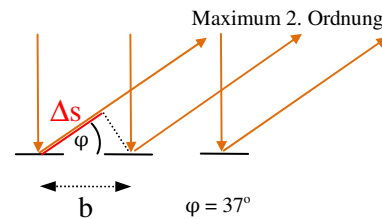
Erklären Sie, wie man die Qualität einer Linse mit Hilfe Newtonscher Ringe prüfen kann.

Q11 * Physik * Aufgaben zum Wellenaspekt von Licht * Lösungen

1. a) Hier gilt: $\Delta s = b \cdot \cos \varphi$ und $\Delta s = 2 \cdot \lambda \Rightarrow$

$$b = \frac{2 \cdot \lambda}{\cos \varphi} = \frac{2 \cdot 633 \cdot 10^{-9} \text{ m}}{\cos 37,7^\circ} = 1,6 \cdot 10^{-6} \text{ m}$$

$$b = 1,6 \text{ } \mu\text{m}$$



b) Für die verschiedenen Farben (d.h. unterschiedliche Wellenlängen) des weißen Lichts treten die Maxima 1. bzw. 2. Ordnung bei unterschiedlichen Winkeln auf; deshalb erscheint die CD farbig.

2. a) Für den Gangunterschied gilt: $\Delta s = 2 \cdot n \cdot \overline{AB} - \overline{AD}$

(Beachte: Für den Strahl 1 tritt bei A, für den Strahl 2 bei B ein Phasensprung von π auf.)

b) Für die Maxima 1. Ordnung gilt: $\Delta s = 1 \cdot \lambda$, d.h. für die unterschiedlichen Wellenlängen (Farben) treten diese Maxima bei unterschiedlichen Winkeln auf; daher schimmert die Ölschicht farbig.

c) Es gilt für die Minima der Intensität:

$$\Delta s = (2 \cdot k - 1) \cdot \frac{\lambda}{2} \text{ und nach a) } (\sin \alpha)^2 = n^2 - \frac{\Delta s^2}{4d^2} \text{ also } \sin \alpha = \sqrt{n^2 - \frac{\Delta s^2}{4d^2}}$$

$$\sin \alpha_k = \sqrt{n^2 - \frac{(2 \cdot k - 1)^2 \cdot \lambda^2}{2^2 \cdot 4d^2}} \quad \text{d.h.}$$

$$\sin \alpha_1 = \sqrt{1,20^2 - \frac{\lambda^2}{16d^2}} = \sqrt{1,20^2 - \frac{510^2}{16 \cdot 560^2}} > 1 \text{ und damit keine Lösung für } \alpha_1 ;$$

$$\sin \alpha_2 = \sqrt{1,20^2 - \frac{3^2 \cdot \lambda^2}{16d^2}} = \sqrt{1,20^2 - \frac{9 \cdot 510^2}{16 \cdot 560^2}} = 0,9866... \Rightarrow \alpha_2 = 80,6^\circ ;$$

$$\sin \alpha_3 = \sqrt{1,20^2 - \frac{5^2 \cdot \lambda^2}{16d^2}} = \sqrt{1,20^2 - \frac{25 \cdot 510^2}{16 \cdot 560^2}} = 0,3795... \Rightarrow \alpha_3 = 22,3^\circ ;$$

Für $k > 3$ gibt es keine Lösungen, denn der Radikand ist dann negativ!

3. Anwendung des Höhensatzes:

$$r_k^2 = (2R - d_k) \cdot d_k \approx 2R \cdot d_k \text{ da } 2R \gg d_k$$

wegen des Phasensprungs an der Glasplatte folgt

für die Minima der k. Ordnung:

$$2 \cdot d_k = \Delta s = k \cdot \lambda \text{ und daher}$$

$$r_k \approx \sqrt{2 \cdot R \cdot d_k} = \sqrt{R \cdot \Delta s} = \sqrt{R \cdot k \cdot \lambda}$$

