Aufgaben zur Wellenoptik

Rudolf Lehn Peter Breitfeld*

Störck-Gymnasium
Bad Saulgau

27. Februar 2010

Aufgabe 1 Aus einer Lichtquelle, die vor der Schnittlinie zweier Fresnelscher Spiegel im Abstand $r = 10\,\text{cm}$ aufgestellt ist, fällt monochromatisches Licht der Wellenlänge $\lambda = 0{,}6\,\mu\text{m}$ auf die beiden Spiegel S_1 und S_2. Das von den beiden Spiegeln reflektierte Licht erzeugt auf einem Schirm im Abstand $L_0 = 270\,\text{cm}$ von der Schnittlinie ein Interferenzbild. In ihm ist der Abstand zweier benachbarter Streifen $\Delta s = 0{,}29\,\text{cm}$.
Berechne den Winkel, welchen die beiden Fresnelschen Spiegel einschließen.

Aufgabe 2 Eine ebene Seifenwassermembran erscheint bei Beobachtung im reflektierten Licht von klar grüner Färbung. Das Auge betrachtet die Membran unter einem (gegen die Normale gemessenen) Winkel von $\alpha = 35°$.
Berechne die Dicke der Membran und in welcher Farbe sie erscheinen muss, wenn das Auge senkrecht auf die Membran blickt ($\alpha = 0°$). Die Seifenwassermembran hat die Brechzahl $n = 1{,}33$ und die Wellenlänge des grünen Lichts ist $\lambda_{\text{gr}} = 500\,\text{nm}$.
Lsg: $d_{\text{min}} = 104\,\text{nm}$; $\lambda = 553\,\text{nm}$

Aufgabe 3 Ein durchsichtiger Film der Dicke $5{,}2 \cdot 10^{-5}\,\text{cm}$ wird mit weißem Licht unter einem Winkel von 31° zur Normalen beobachtet. Der Brechungsindex des Films beträgt 1,35.
Bestimme die Wellenlängen des Lichts im sichtbaren Spektrum ($380 - 780\,\text{nm}$), die nicht im reflektierten Licht auftauchen.
In welcher Farbe erscheint der Film in reflektierten Licht?

Aufgabe 4 Eine Glasplatte ist so über einem Glaswürfel von 2 cm Kantenlänge befestigt, dass zwischen beiden eine planparallele Luftschicht besteht. Wenn elektromagnetische Wellen mit Wellenlängen zwischen 0,4 µm und 1,15 µm senkrecht auf die Glasplatte fallen, werden sie an den beiden Grenzflächen der Luftschicht partiell reflektiert und interferieren. In dem gesamten Wellenlängenbereich hat

* E-Mail: phbrf@t-online.de http://www.pBreitfeld.de

das reflektierte Licht nur bei zwei Wellenlängen Intensitätsmaxima. Die eine ist $\lambda_1 = 0{,}4\,\mu\text{m}$. Berechne die Dicke der Luftschicht.

Aufgabe 5 Ein Doppelspalt (Spaltabstand $s = 2{,}8\,\text{mm}$) wird von einem monochromatischen Parallellichtbündel ($\lambda = 0{,}55\,\text{nm}$) bestrahlt. Auf einem Schirm im Abstand $a = 3\,\text{m}$ werden Interferenzstreifen beobachtet.

Nun wird hinter einen der beiden Spalte eine dünne Glaslamelle ($d = 0{,}05\,\text{mm}$) gehalten. Dabei wird eine Verschiebung des Streifenmusters um $\Delta x = 28{,}9\,\text{mm} \pm 0{,}1\,\text{mm}$ gemessen.

Wie groß ist die Brechzahl des Glases, aus dem die Lamelle besteht und wie genau ist diese Angabe?

Aufgabe 6 Eine Linse bildet einen 0,5 mm breiten Spalt aus 25 cm Entfernung auf einen 100 cm entfernten Schirm ab. Das Licht besteht aus einer Mischung aus den Wellenlängen 400 nm (blau) und 600 nm (rot). Vor der Linse steht ein Gitter mit der Gitterkonstanten $g = 0{,}04\,\text{mm}$.

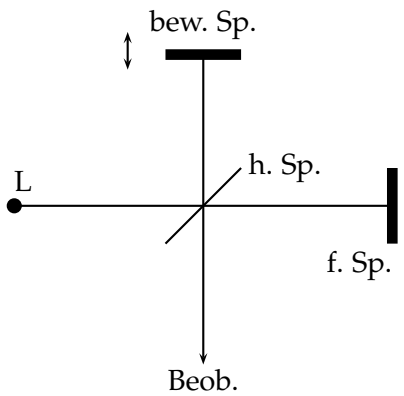
Was sieht man auf dem Schirm?

Aufgabe 7 Auf einer Plexiglasplatte werden konzentrischen Kreisringe abwechselnd durch Metallbelag abgedeckt und frei gelassen. Die Radien der Kreisringe sind so zu wählen, dass die Platte als Linse für auffallende Lichtwellen wirkt.

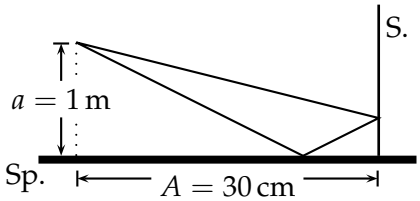
Aufgabe 8 Von einer Lichtquelle L wird monochromatisches Licht ausgesendet. Es fällt durch einen dünnen Spalt und danach auf einen Schirm S, der zwei schmale Spalte F_1 und F_2 im Abstand 2 mm besitzt.

Diese Spalte sind senkrecht in gleicher Höhe angeordnet. Auf einem Auffangschirm S' werden Interferenzerscheinungen beobachtet. Der Abstand zwischen zwei hellen Interferenzstreifen beträgt 0,34 mm. Der Schirm S' werde nun um eine Strecke von 0,5 m verschoben. Dann beträgt der Abstand zwischen zwei hellen Streifen 0,51 mm. Es ist die Wellenlänge des verwendeten Lichts und der Winkel ϕ, unter dem vom Punkt B (= Schnittpunkt der optischen Achse mit S') der Abschnitt zwischen den beiden Spalten gesehen wird, zu bestimmen.

Aufgabe 9 Eine zu ihrer Mittelsenkrechten symmetrische Bikonvexlinse mit dem Radius r und der Brechzahl n bildet einen im Abstand a vor ihr liegenden monochromatischen Lichtpunkt exakt auf einen gleichfalls im Abstand a hinter ihr liegenden Bildpunkt ab. Wie dick ist die Linse und welche Form haben die brechenden Flächen?
(Zahlenwerte: $n = 1{,}5$; $r = 6\,\text{cm}$; $a = 35{,}75\,\text{cm}$)



Aufgabe 10 Ein Emissionsspektrum mit zwei nahe benachbarten Spektrallinien wird mit einem Michelson-Interferometer betrachtet. Wenn man den beweglichen Spiegel verschiebt, stellt man in periodischen Abständen von 0,44 mm Veränderungen im Kontrast der Interferenzstreifen fest. Wie groß sind die beiden Wellenlängen des Doublettes, wenn bekannt ist, dass seine mittlere Wellenlänge 676 nm beträgt?



Aufgabe 11 *Lloydscher Spiegel:*
Berechne den Abstand der ersten Maxima auf dem Schirm, wenn monochromatisches Licht der Wellenlänge $\lambda = 600\,\mathrm{nm}$ eingestrahlt wird.

Aufgabe 12 Auf der optischen Achse eines sphärischen Wölbspiegels mit dem Radius R befindet sich in der Entfernung $R/2$ eine punktförmige Lichtquelle S. (Das Reflexionsvermögen des Wölbspiegels sei 100%).
Die Beleuchtungsstärke dieser Anordnung auf einem Schirm, der senkrecht zur optischen Achse im Abstand $2R$ vor de Wölbspiegel steht, ist E_0. Berechne die Beleuchtungsstärke E, wenn der Schirm die auf die Entfernung R an den Wölbspiegel herangerückt wird. (Betrachte nur die nähere Umgebung der optischen Achse.)

Aufgabe 13 Die Leistungsfähigkeit eines Prismas hängt vom spektralen Auflösungsvermögen ab. Darunter versteht man die Fähigkeit eines Spektralapparats, Linien der benachbarten Wellenlängen λ und $\lambda + \Delta\lambda$ zu trennen. Das Auflösungsvermögen A wird definiert als $A = \lambda/\Delta\lambda$. Berechne das Auflösungsvermögen eines Prismas mit der Basislänge a, dem brechenden Winkel ϕ und der Dispersion $\mathrm{d}n/\mathrm{d}\lambda$ für den Fall des symmetrischen Lichtdurchgangs. Für diesen Fall ist die Ablenkung δ gegeben durch:

$$\sin\frac{\delta+\phi}{2} = n \cdot \sin\frac{\phi}{2}$$

Aufgabe 14 Für welche Wellenlänge ist ein Fabry-Perot-Interferometer (vgl. Abb. 1 links) in der gezeichneten Anordnung ($D = 0{,}5\,\mu\mathrm{m}$) optimal durchlässig? Diskutiere auch den schrägen Lichteinfall.

Aufgabe 15 (vgl. Abb. 1 rechts) In einem Kristall ist der Brechungsindex (und damit die Wellengeschwindigkeit) für eine bestimmte Fortpflanzungsrichtung des Lichts abhängig von der Lage der Polarisationsebene. Für das dem quadratischen Kristallsystem angehörende Kaliumphosphat ist für parallel zu a' einfallen-

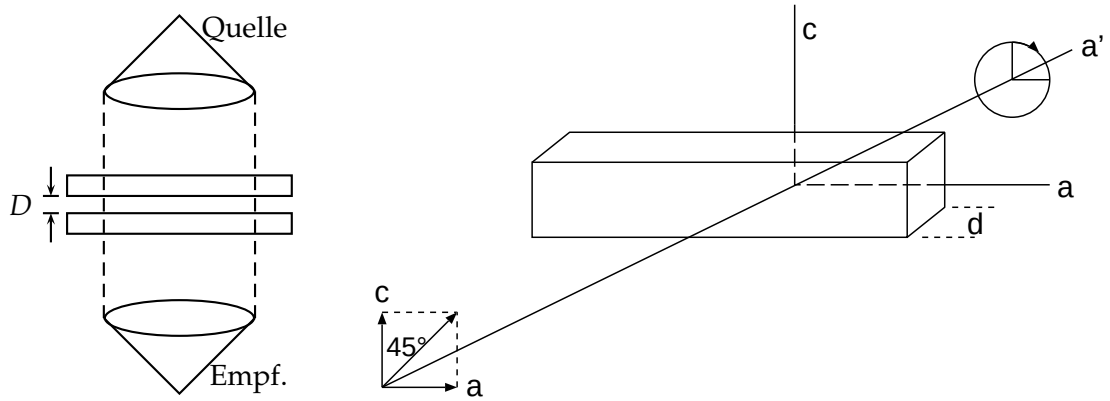


Abb. 1 Links zu Aufgabe 14, rechts Doppelbrechung, zur Aufgabe 15

des Na-Licht ($\lambda_{\mathrm{Na}} = 589\,\mathrm{nm}$), das parallel zur a-Achse schwingt, $n_1 = 1{,}5095$, für solches, das parallel zur c-Achse schwingt, $n_3 = 1{,}4684$.
Linear polarisiertes Licht, dessen Polarisationsebene unter 45° zur c-Achse geneigt ist, fällt parallel zu a' auf ein Kaliumphosphat-Plättchen.

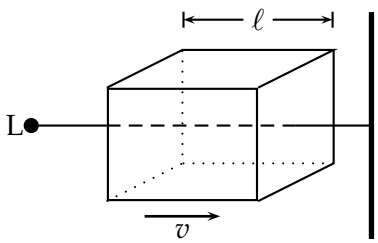
Wie dick muss dieses sein, damit das austretende Licht zirkular polarisiert ist?

Aufgabe 16 Die Milchstraße rotiert mit einer Umlaufzeit von 200 Millionen Jahren, und unsere Sonne ist 30 000 Lichtjahre vom galaktischen Zentrum entfernt. Aufgrund dieser Bewegung unseres Sonnensystems zeigt das Licht von anderen Galaxien eine Doppler-Verschiebung.
Wie groß ist diese für die Natrium D-Linie mit $\lambda = 656\,\mathrm{nm}$?

Betrachte zwei Fälle:

1. Beobachtung in Bewegungsrichtung.
2. Beobachtung senkrecht zur Bewegungsrichtung.

Aufgabe 17



Das Licht einer Lichtquelle L verläuft auf dem Wege zu einem Schirm durch einen gläsernen Quader der Länge ℓ. Um wieviel schneller gelangt das Licht auf den Schirm , wenn der Quader mit der Geschwindigkeit V in Richtung Schirm bewegt wird? Die Geschwindigkeit des Lichts in Luft sei c. Die Brechzahl des Glases ist n.