

22. Oktober 2004

Übungen zu Physik III — Wellen und Quanten

Blatt 1

Aufgabe 1

Gegeben ist eine laufende transversale Welle

$$y(x, t) = 2 \text{ cm} \cdot \sin(628.32 \text{ s}^{-1} t - 0.2093 \text{ cm}^{-1} x)$$

Wie groß sind für diese Welle

- a) die Amplitude A ,
- b) die Wellenlänge λ ,
- c) die Frequenz ν ,
- d) die Phasengeschwindigkeit v ?

Aufgabe 2

Die eindimensionale Wellengleichung lautet

$$\frac{\partial^2}{\partial x^2} = \frac{1}{v^2} \frac{\partial^2}{\partial t^2}.$$

Untersuchen Sie, ob die folgenden Funktionen diese Gleichung lösen.

- a) $f(x, t) = A \cos\left(\frac{2\pi}{\lambda} (x - vt)\right)$
- b) $f(x, t) = v^2 t^2 e^{-kx}$
- c) $f(x, t) = F(x - vt)$
- d) $f(x, t) = B \sin kx \cdot \cos \omega t$

Aufgabe 3

Leiten Sie aus den Maxwell-Gleichungen im Isolator

$$\begin{aligned}\vec{\nabla} \times \vec{E} &= -\frac{\partial}{\partial t} \vec{B} \\ \vec{\nabla} \times \vec{B} &= \frac{1}{c^2} \frac{\partial}{\partial t} \vec{E} \\ \vec{\nabla} \cdot \vec{E} &= 0 \\ \vec{\nabla} \cdot \vec{B} &= 0\end{aligned}$$

die dreidimensionalen Wellengleichungen für die Felder $\vec{B}$ und $\vec{E}$ her. Verwenden Sie dazu die Beziehung

$$\vec{\nabla} \times \vec{\nabla} \times \vec{\Psi} = -\Delta \vec{\Psi} + \vec{\nabla} (\vec{\nabla} \cdot \vec{\Psi}).$$

Aufgabe 4

Gegeben seien zwei ebene Wellen fast gleicher Frequenz und Wellenlänge

$$\begin{aligned}\Psi_1 &= A \cos(\omega t - kx) \\ \Psi_2 &= A \cos(\omega' t - k' x)\end{aligned}$$

mit $\omega' = \omega + \Delta\omega$ und $k' = k + \Delta k$.

- Überlagern Sie die beiden Wellen und diskutieren Sie qualitativ den Verlauf der resultierenden Welle.
- Skizzieren Sie die resultierende Welle für eine feste Zeit.
- Mit welcher Geschwindigkeit bewegen sich die Wellenberge der resultierenden Welle?

26. Oktober 2004

Übungen zu Physik III — Wellen und Quanten

Blatt 2

Quickies

Aufgabe 1

Welche Aussage ist korrekt

- a) Violette und rotes Licht haben im Glas die gleiche Geschwindigkeit.
- b) Violette Licht hat im Glas die höchste, rot die niedrigste Geschwindigkeit.
- c) Rotes Licht hat im Glas die höchste, violette die niedrigste Geschwindigkeit.
- d) Grünes Licht hat niedrigere Geschwindigkeit im Glas als rotes und violette.
- e) Rotes Licht hat höhere Geschwindigkeit im Glas als grünes und blaues.
- f) Blaues Licht wird stärker gebrochen als rotes.

Aufgabe 2

Ein Puls eines 10 MW Rubin-Lasers hat eine Wellenlänge von 658 nm und die Dauer 1,5 ms

- a) Geben sie die Gesamtenergie eines Pulses an!
- b) Wieviele Schwingungsperioden sind in einem Puls?

Und jetzt tief Luft holen

Aufgabe 3: Brechung & Fermatsches Prinzip

Sie gehen am Strand spazieren und bemerken plötzlich einen Ertrinkenden, dem sie natürlich schnellstmöglich zu Hilfe eilen wollen. Da Sie selbst ein guter Schwimmer sind (hoffentlich!), erreichen Sie im Wasser 20% der Geschwindigkeit, mit der Sie auf Sand laufen.

- Wie gross ist der „Brechungsindex“ des Wassers relativ zum Strand?
- Zeigen Sie, dass der schnellste Weg dem Brechungsgesetz von Snellius genügt!
- Skizzieren Sie den schnellsten Weg!

Aufgabe 4: Dispersion

Ist es möglich, ein Prisma herzustellen, das das Licht zwar ablenkt, aber nicht in Farben zerlegt?

Um die Dispersion eines Stoffes quantitativ zu kennzeichnen, gibt man die Brechzahl bei verschiedenen Farben an. Für diesen Zweck werden genügend enge Spektralbereiche z.B. durch die Fraunhoferlinien gekennzeichnet; als *Grunddispersion* bezeichnet man die Differenz $n_F - n_C$ der Brechungsindices bei Linien F (blau-grün) und C (rot-orange), die Linie D liegt etwa zwischen Orange und Gelb.

In welchem Verhältnis müssen die brechenden Winkel α_{Kr} von Kronglas und α_{Fl} von Flintglas zu einander stehen, wenn man aus Prismen dieser beiden Gläser ein achromatisches Prisma zusammensetzen will?

Kronglas ($n_D = 1,51002$, $n_F - n_C = 0,00805$)

Flintglas ($n_D = 1,61279$, $n_F - n_C = 0,01659$)

Aufgabe 5: Refraktion

Aufgrund der kontinuierlichen Dichte- und damit Brechungsindexänderung in der Atmosphäre verlaufen Lichtstrahlen von ausserhalb auf gekrümmten Bahnen, die Winkelabweichung nennt man Refraktion. Um die Refraktion abzuschätzen, nehmen wir an, dass der Brechungsindex mit $n(h) = 1 + \Delta \cdot f(h)$, $f(0) = 1$, $f(h \rightarrow \infty) = 0$ abnimmt. Berechnen Sie die Ablenkung eines Lichtstrahles, der 40° über dem Horizont beobachtet wird für $\Delta n = 0,000292$.

7. November 2004

Übungen zu Physik III — Wellen und Quanten

Blatt 3

Aufgabe 1

Schreiben Sie die Maxwell-Gleichungen

$$\vec{\nabla} \times \vec{E} = -\frac{1}{c} \frac{\partial}{\partial t} \vec{B} \quad (1)$$

$$\vec{\nabla} \times \vec{H} = \frac{1}{c} \frac{\partial}{\partial t} \vec{D} \quad (2)$$

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{D} = 0 \quad (3)$$

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{B} = 0 \quad (4)$$

von der differentiellen Form in die integrale Form um. Dabei ist $D = \epsilon E$ und $B = \mu H$. Vewenden Sie die integrale Darstellung, um die Randbedingungen der Felder an der Grenzfläche zweier Medien mit unterschiedlichen relativen Dielektrizitätskonstanten ϵ_1 und ϵ_2 und relativen Permeabilitäten μ_1 und μ_2 herzuleiten.

Aufgabe 2

Für eine ebene Welle hat die Amplitude des elektrischen Feldes folgende Form:

$$\vec{E}(\vec{r}, t) = \vec{E} \sin(\omega t - \vec{k} \cdot \vec{r} + \phi). \quad (5)$$

Leiten Sie den dazugehörigen Ausdruck für das magnetische Feld $\vec{H}(\vec{r}, t)$ ab und vergleichen Sie die Amplituden des elektrischen und magnetischen Feldes.

Aufgabe 3

Die Grenzfläche zwischen zwei Medien sei bei $x = 0$. Leiten Sie das Snelliussche Brechungsgesetz

$$n_i \sin \theta_i = n_t \sin \theta_t$$

für einfallenden und gebrochenen Lichtstrahl ab. Verwenden Sie dabei die Maxwell-Gleichungen und die Ergebnisse der ersten Aufgabe.

Aufgabe 4

Der Lichtstrahl falle auf die Grenzfläche bei $x = 0$ zwischen zwei Medien mit der gleichen relativen Permeabilität $\mu_1 = \mu_2$, aber mit unterschiedlichen relativen Dielektrizitätskonstanten $\epsilon_1 \neq \epsilon_2$. Die Richtung des Lichtstrahls sei durch den Vektor $\vec{k} = (k_x, 0, k_z)$ gegeben. Leiten Sie die Amplituden des reflektierten und gebrochenen Lichtstrahls ab, wenn das elektrische Feld des einfallenden Strahls durch folgenden Ausdruck gegeben ist:

$$\vec{E}(\vec{r}, t) = \vec{E} \sin(\omega t - \vec{k} \cdot \vec{r})$$

Betrachten Sie dabei zwei Fälle:

- a) Der Vektor des elektrischen Feldes hat genau eine nicht verschwindende Komponente E_y , d.h. $\vec{E} = (0, E_y, 0)$.
- b) Der Vektor des magnetischen Feldes hat genau eine nicht verschwindende Komponente H_y , d.h. $\vec{H} = (0, H_y, 0)$.

Übungen zur Physik III (Wellen und Quanten)

Dr. U. Schwarz

Blatt 4 / 22.11.2004

1. Abbildung durch brechende Kugelfläche

Betrachten Sie die Abbildung eines Gegenstandspunktes G durch eine brechende Kugelfläche, die zwei homogene Medien ($n_1 = 1$ und $n_2 = 1.5$) voneinander trennt. G befindet sich auf der optischen Achse (vgl. Abbildung 1).

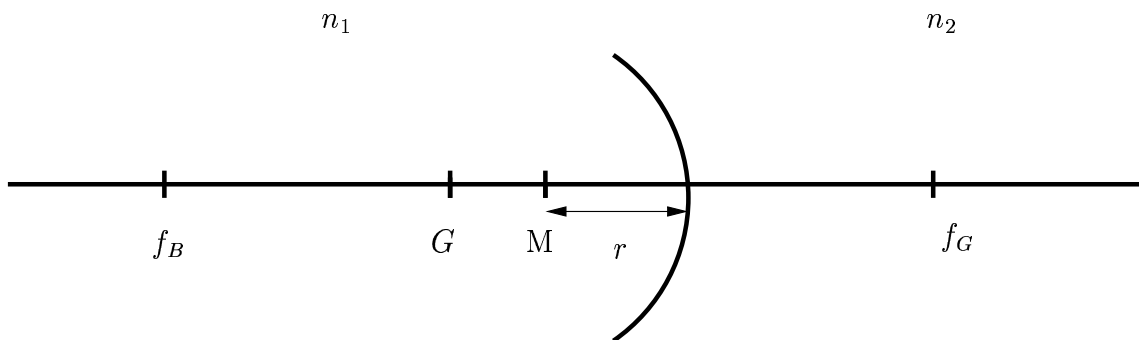


Abbildung 1: brechende Kugelfläche

- (a) Konstruieren Sie den Bildpunkt B .
- (b) Leiten Sie die Abbildungsgleichung für die brechende Kugelfläche in paraxialer Näherung her!
(Tipp: Für sämtliche Winkel kann man die Kleinwinkelnäherung anwenden!)
- (c) Warum befindet sich f_G rechts, f_B links von der Kugelfläche?
- (d) Wo befindet sich der Bildpunkt, wenn G im Abstand $\frac{3}{2}|r|$ links vom Mittelpunkt entfernt liegt?

2. Sammellinsen

Bei einer (dünnen) Sammellinse sollen die Fälle

- (a) $2f < g < \infty$
- (b) $g = 2f$
- (c) $f < g < 2f$
- (d) $g = f$
- (e) $0 < g < f$

unterschieden werden.

Skizzieren Sie die Abbildungen. Welcher Abbildungstyp liegt jeweils vor (reell/virtuell)? In welchem Bereich (bzw. wo) kann sich das Bild befinden? Was lässt sich zum Vergrößerungsfaktor sagen?

3. Linse im Auge

Bei entspanntem Auge beträgt die Brennweite der Linse 2.5 cm .

Auf welche Brennweite muss sich die Linse einstellen, damit ein $g = 40\text{ cm}$ weit entferntes Objekt scharf gesehen werden kann?

Rechnen Sie einmal mit den Brennweiten und ein zweites Mal über Dioptrien (inverse Brennweiten).

Muss der Krümmungsradius der Linse dabei verkleinert oder vergrößert werden?

23. November 2004

Übungen zu Physik III — Wellen und Quanten

Blatt 5

Aufgabe 1: Dicke Linse und Abbildungen im Matrizenformalismus

- a) Berechnen Sie die Transformationsmatrix

$$\vec{S}_c = \mathbf{B}_{bc} \mathbf{T}_b \mathbf{B}_{ab} \vec{S}_a \quad (1)$$

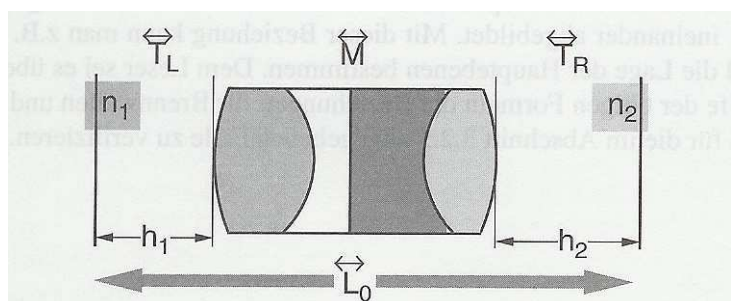
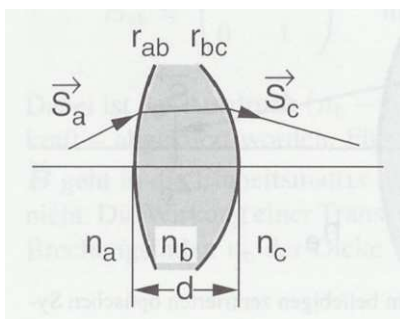
für eine dicke Linse mit den Radien r_{ab} , r_{bc} , dem Abstand d der Scheitelpunkte und dem Brechungsindex n_b , die sich in Luft ($n = 1$) befindet.

- b) Eine Abbildung werde durch eine Transformationsmatrix $\mathbf{M}^{Abb}$ beschrieben:

$$\vec{S}_b = \mathbf{M}^{Abb} \vec{S}_g \quad (2)$$

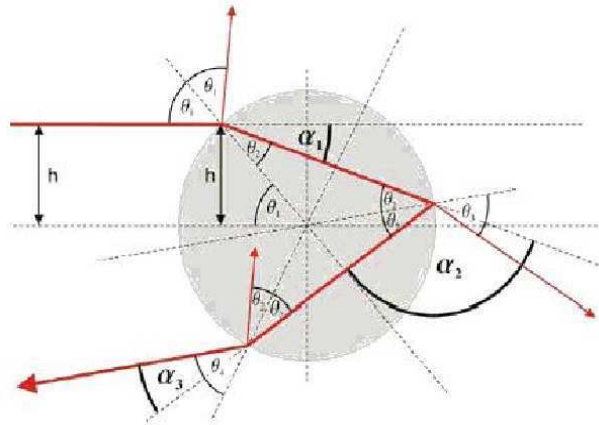
Zeigen Sie, daß $\mathbf{M}^{Abb}$ die Bedingung $\mathbf{M}_{21}^{Abb} = 0$ erfüllen muß, damit eine Abbildung erreicht wird. Geben Sie die Transversalvergrößerung $|v_T|$ für diese Abbildung an.

- c) Zeigen Sie, daß jedes durch eine Transformationsmatrix beschriebene System durch Anfügen je einer Translation $\mathbf{T}_L$ und $\mathbf{T}_R$ über Abstände h_1 vor bzw. h_2 hinter dem System auf die Form einer dünnen Linse gebracht werden kann.



Aufgabe 2

Das Geheimnis hinter dem Regenbogen ist eine Bevorzugung ausgezeichneten Richtungen bei der Lichtbrechung in Regentropfen. Die Dispersion von Licht in Wasser, d.h. die Abhängigkeit des Brechungsindex von der Wellenlänge, verursacht die Aufspaltung der Farben im Regenbogen.



- Berechnen Sie den Winkel $\psi = \pi - (\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3)$ des ausfallenden Strahles als Funktion des Abstandes h des einfallenden Strahles relativ zur optischen Achse (siehe Abbildung).
- Berechnen Sie den maximalen Winkel $\psi_{\max}$ für den Hauptregenbogen.
- Berechnen Sie die Breite des Hauptregenbogens.
(Der Brechungsindex von Wasser ist $n_r \approx 1.3318$ für rotes Licht und $n_v \approx 1.3435$ für violettes Licht. Der Wellenlängenunterschied von rotem und violettem Licht ist $\Delta\lambda \approx 300\text{nm}$).

25. November 2004

Übungen zu Physik III — Wellen und Quanten

Blatt 6

Aufgabe 1

Konstruieren Sie ein Teleskop aus einer Fresnel-Linse und einer refraktiven Linse.

- a) Die diffraktive Objektiv-Linse habe eine Brennweite $f_{Ob} = 1$ m bei der Wellenlänge $\lambda = 500$ nm. Welche Brennweite f_{Ok} muß das Okular haben, um eine Vergrößerung $V = 50$ zu erreichen?
- b) Wie groß ist der Radius der ersten und der 100. Fresnelschen Zone der diffraktiven Linse? Wie groß ist die Breite des 100. Rings?
- c) Berechnen Sie die Abhängigkeit der Brennweite von der Wellenlänge bei $\lambda = 500$ nm.
- d) Vergleichen Sie das Ergebnis von 1c) mit der chromatischen Aberration einer plankonvexen Linse aus dem Glas BK7, die bei $\lambda = 500$ nm die gleiche Brennweite hat. Der Brechungsindex von BK7 folgt der Sellmaier-Gleichung

$$n = \left(1 + \frac{B\lambda^2}{\lambda^2 - C}\right)^{\frac{1}{2}} \quad (1)$$

mit den Koeffizienten $B = 1.266$ und $C = (9.358 \times 10^{-3}) \mu\text{m}$.

Aufgabe 2

- a) Leiten Sie einen Ausdruck für die Brennweite einer homogenen transparenten Kugel mit dem Radius R her. Wo liegen die Hauptebenen?
- b) Als Retroreflektoren werden oft Schichten von kleinen Glaskügelchen genommen, deren Rückseite verspiegelt ist. Welchen Brechungsindex muß das Material der Kügelchen haben, damit parallele Strahlen auf die Rückseite der Kugel fokussiert und in sich selbst zurückgeworfen werden?
- c) Eine kugelförmige Glasflasche mit einem Durchmesser von 20 cm soll vernachlässigbar dünne Wände haben und mit Wasser gefüllt sein. Wie groß ist ihre Brennweite?
- d) Berechnen Sie unter Beachtung der vorangegangenen Aufgaben die Transversalvergrößerung, die sich ergibt, wenn eine das Bild einer Blume, die 4 m weit entfernt vom Mittelpunkt einer durchsichtigen Kunststoffkugel von 20 cm Durchmesser und einem Brechungsindex von $n = 1.4$ steht, auf eine nahegelegene Wand geworfen wird. Beschreiben Sie das Bild im Detail.

30. November 2004

Übungen zu Physik III — Wellen und Quanten

Blatt 7

Aufgabe 1: Lichtwellenleiter

Ein Lichtwellenleiter bestehe aus einer Glasfaser, in der der optische Brechungsindex n stufenförmig verläuft: Im inneren Kern ist $n = n_1$, im äußeren Mantel ist $n = n_2 < n_1$. Dadurch wird erreicht, daß an der inneren Mantelfläche Totalreflexion auftreten kann, und somit das Licht über weite Strecken geführt werden kann.

- Wie groß ist der maximal zulässige Einfallswinkel eines Lichtstrahls aus der Luft ($n = 1$) auf das Zentrum eines Glasfaserendes, damit noch Totalreflexion eintritt?
- Wie groß ist in einer Faser der Länge L der Laufzeitunterschied zwischen einem senkrecht einfallenden Lichtstrahl und einem Strahl, der unter dem oben ermittelten maximalen Einfallswinkel eintritt?

Zahlenwerte: $n_1 = 1.474$, $n_2 = 1.453$, $L = 1\text{km}$, Lichtgeschwindigkeit in Luft $c_0 = 3 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}$

Aufgabe 2: Beugung an einer Rechteckblende

Betrachten sie eine Rechteckblende der Höhe h und der Breite b auf die senkrecht eben Welle einfällt

- Bestimmen sie die Fouriertransformierte einer Rechteckfunktion $\Theta(b/2 - |x|)$ der Breite b .
- Benutzen sie das Ergebnis von oben um das Fernfeld nach der Blende in der Fraunhofer-näherung darzustellen.
- Bestimmen und skizzieren sie die Intensitätsverteilung des Lichts auf einem Schirm hinter der Blende für $h = b$ und $h = 10 \cdot b$

10. Dezember 2004

Übungen zu Physik III — Wellen und Quanten

Blatt 8

Aufgabe 1: Die von einer Na-Dampflampe emittierten Spektrallinien liegen bei 589,592 nm und 588,995 nm. Sie sollen das dispersive Element eines Gitterspektrometers, das in der zweiten Beugungsordnung arbeitet, bestimmen. Der Beleuchtungsstrahlengang des Spektrometers hat einen Durchmesser von 50 mm, die Länge zwischen dem Gitter und der Beobachtungsebene beträgt 1130 mm. Berechnen Sie

- Die benötigte Zahl der Gitterspalte, um die gewünschte Auflösung zu gewährleisten.
- Die Gitterkonstante (Zahl der Gitterlinien pro mm), die benötigt wird, um in der Beobachtungsebene eine Separation der beiden Spektrallinien um $10\text{ }\mu\text{m}$ sicherzustellen.
- Können Sie mit dem Gitter der berechneten Gitterkonstante ein Spektrometer mit den gegebenen Spezifikationen bauen, oder müssen Sie weitere (triviale aber möglicherweise zwingende) Randbedingungen berücksichtigen? Falls ja: Was ist Ihre Lösung, und warum?

Aufgabe 2: Zwei Sender A und B strahlen Langwellen ab ($\lambda = 400\text{ m}$); die Phase der von A emittierten Welle eilt der Phase der von B emittierten Welle um 90° voraus. Ein Detektor wird so aufgestellt, dass seine Entfernung von r_A von A um 100 m größer ist als die Entfernung r_B von B. Mit welcher Phasendifferenz treffen die Wellen am Detektor ein?

Aufgabe 3: Weißes Licht falle von oben durch zwei übereinander liegende, 120 mm breite Glasplatten. Am linken Rand berühren die Platten einander, am rechten Rand sind sie durch einen 0,048 mm dicken Draht voneinander getrennt. Die Luft zwischen den Platten wirkt als dünne Schicht, welche Interferenzerscheinungen verursacht: Ein von oben auf die Anordnung schauender Beobachter erkennt ein Streifenmuster.

- Schließt das Muster links mit einem hellen oder dunklen Streifen ab?
- Von diesem Rand aus gesehen folgen Interferenzminima, deren Lage von der Wellenlänge des Lichts abhängt. Welches Minimum liegt dem Rand näher, jenes für das blaue oder jenes für das rote Ende des sichtbaren Spektrums?

Übungen zur Physik III (Wellen und Quanten)

Dr. U. Schwarz

Blatt 8 / 20.12.2004

1. Michelson-Interferometer

In einem Michelson-Interferometer seien die Spiegel jeweils senkrecht zu den Interferometerarmen justiert. Die Lichtquelle sende divergentes Licht aus.

- (a) Machen Sie sich das Zustandekommen der Interferenzringe klar.

Das Interferometer befinde sich im Vakuum. Es wird Licht der Wellenlänge $\lambda = 589 \text{ nm}$ beleuchtet. Im Zentrum des Ringsystems beobachtet man einen hellen Fleck.

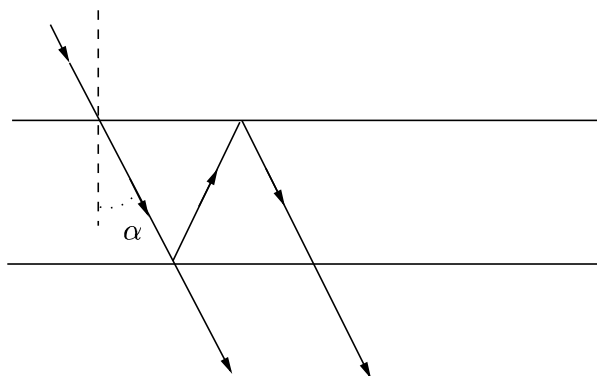
Auf einen der Spiegel wird eine Fluoritschicht ($n = 1,434$) aufgedampft. Während des Aufdampfens beobachtet man, dass im Zentrum des Ringsystems 35mal ein hell-dunkel-hell Wechsel stattfindet.

- (b) Welche Dicke hat die Fluoritschicht?

Hinweis: Vernachlässigen Sie das an der Vorderseite der Fluoritschicht reflektierte Licht!

2. Fabry-Perot-Interferometer

Ein paralleles monochromatisches Lichtbündel der Wellenlänge $\lambda = 632,8 \text{ nm}$ fällt unter dem Winkel α auf ein Fabry-Perot-Interferometer, dessen Platten einen Abstand $d = 10 \text{ cm}$ haben.



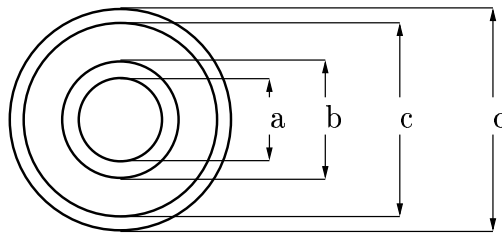
- (a) Berechnen Sie den Gangunterschied interferierender Teilbündel (in Transmission). Für welchen Winkel α wird Helligkeit beobachtet?

Das verwendete Lichtbündel wird nun divergent gemacht und auf das Fabry-Perot-Interferometer geschickt. Das transmittierte Licht wird in der Brennebene einer Linse beobachtet (Brennweite $f = 1 \text{ m}$).

- (b) Wie groß sind die Radien heller Interferenzringe in der Brennebene?

Das Lichtbündel soll nun zwei Wellenlängen λ und $\lambda + \Delta\lambda$ enthalten, deren Differenz $\Delta\lambda \ll \lambda$ ist. Die zu einer Ordnung m gehörenden Ringe haben die Radien r_1 und r_2 .

- (c) Berechnen Sie $r_1^2 - r_2^2$ und eliminieren Sie den Faktor $d^2/(m\lambda)^2$ aus dem Ergebnis.
- (d) Die Skizze zeigt das Ringsystem, das man in der Brennebene der Linse enthält. Entnehmen Sie daraus r_1 und r_2 und berechnen Sie die Wellenlängendifferenz $\Delta\lambda$ und die Frequenzdifferenz $\Delta\nu$



$$\begin{aligned} a &= 0.346 \text{ cm} \\ b &= 0.460 \text{ cm} \\ c &= 0.642 \text{ cm} \\ d &= 0.710 \text{ cm} \end{aligned}$$

3. Dünne Blättchen

- (a) Warum erscheint eine freitragende monomolekulare Schicht (Dicke $d = 2.8$ nm, Brechungsindex $n = 1.35$) im reflektierten Licht schwarz?
- (b) Welche Wellenlängen aus dem sichtbaren Bereich des Spektrums werden bei der Reflexion an einer 750 nm dicken Seifenlamelle ($n=1,35$) bei senkrechtem Strahleinfall ausgelöscht; welche werden verstärkt?

13. Januar 2005

Übungen zu Physik III — Wellen und Quanten

Blatt 8

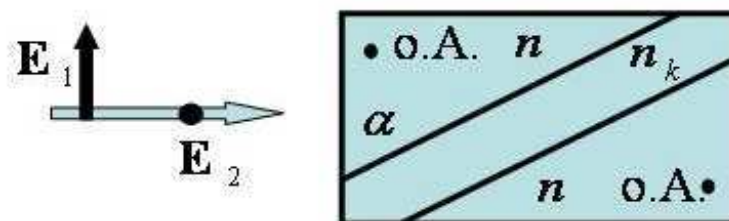
Aufgabe 1: Optische Diode

Durch ein magnetisches Feld kann die Umkehrbarkeit des Lichtweges aufgehoben werden. Eine “Optische Diode” (oder “Optischer Isolator”) ist für Licht nur in einer Richtung durchlässig. Die optische Diode besteht aus zwei um 45° gegeneinander gedrehten Polarisatoren, zwischen denen ein Faraday-Rotator sitzt.

- Berechnen Sie die Durchlässigkeit in beide Richtungen in Abhängigkeit vom Drehwinkel ϕ der Polarisation im Faraday-Rotator.
- Wie groß muß das magnetische Feld für optimale Isolation bei 633nm sein, wenn als Rotator ein 6 cm langer Stab aus einem Material mit einer Verdet-Konstante von $20,7 \text{ rad/Tm}$ (bei 633 nm) verwendet wird?

Aufgabe 2: Polarisator

Ein Glan-Thompson-Polarisator wird hergestellt aus einem Quader aus optisch einachsigem Kristall (z.B. Kalkspalt), mit Brechzahlen n und optischer Achse (o.A.) parallel zu einer Kante. Er wird in einem Winkel α schräg zur Stirnfläche und parallel zur optischen Achse durchgesägt und dann mit einem Kitt der Brechzahl n_k wider zusammengeleimt. Senkrecht auf die Stirnfläche falle je eine ebene Lichtwelle mit E -Vektor senkrecht zur optischen Achse (Strahl 1) bzw. parallel zu ihr (Strahl 2), siehe Skizze.



- Welchen der beiden Strahlen bezeichnet man als den “ordentlichen”, welchen als den

“ausßerordentlichen” Strahl? Begründen Sie Ihre Antwort!

- b) Wie groß muß der Schnittwinkel α (s. Skizze) mindestens sein, damit an der Kittstelle Totalreflexion für Strahl 1 bzw. für Strahl 2 auftritt? Rechnen Sie hier mit $n_k = 1,45$! Jeweils einer der beiden Strahlen soll ungebrochen durch das Prisma hindurchgehen.
- c) Wie groß muß die Brechzahl n_k des Kittes in diesen beiden Fällen sein? Was passiert in beiden Fällen mit dem jeweils anderen Strahl?
- d) Welche Wahl müssen Sie also für die Brechzahl n_k treffen, um die Strahlen winkelmäßig zu trennen? Begründen Sie dies!
- e) Welchen Schnittwinkel α muß man mindestens wählen, damit der gebrochene Strahl totalreflektiert wird?
- f) Zeigen Sie, daß der gebrochene, totalreflektierte Strahl aus der oberen Seite des Prismas nicht austreten kann, wenn $\alpha = 65^\circ$ gewählt wird, da dann dort Totalreflexion auftritt!

Angabe: Für Kalkspat gilt: $n_{\max} = n_1 = 1,66$ $n_{\min} = 1,49$

Aufgabe 3: Optische Aktivität

Linear polarisiertes Licht (**E**-Vektor schwingt in **x**-Richtung) wird durch eine Quarzplatte der Dicke d geschickt. Die Ausbreitungsrichtung z des Lichts stimmt mit der Richtung der optischen Achse des Quarzes überein. Man zerlege das Licht in links- und rechtszirkularpolarisiertes Licht mit dem Brechungsindexunterschied $\Delta n = n_l - n_r = 7,1 \times 10^{-5}$.

- a) Berechnen Sie die Polarisation des transmittierten Lichts und zeigen Sie, daß nach der Quarzplatte wieder linear polarisiertes Licht vorliegt.
- b) Geben Sie für das gelbe Natriumlicht ($\lambda = 589 \text{ nm}$) den Drehwinkel α als Funktion der Dicke d und des Brechungsindexunterschieds Δn an. Berechnen Sie den Drehwinkel α nach der Quarzplatte für $d = 5 \text{ mm}$.

21. Januar 2005

Übungen zu Physik III — Wellen und Quanten

Blatt 11

Aufgabe 1: Reflexion an einem Kristall

Ein Kristall wird mit Licht der Wellenlänge λ unter dem Winkel ϑ angestrahlt. ϑ ist der Winkel zwischen der Kristalloberfläche und dem Lichtstrahl.

- Leiten sie die Bedingung für konstruktive Interferenz (Bragg-Bedingung) des reflektierten Lichts unter der Annahme, dass das Licht an Atomebenen im Abstand d reflektiert wird.
- Nun soll statt Licht ein kollimierter Elektronenstrahl verwendet werden. Die Elektronen durchlaufen dabei die Beschleunigungsspannung U . Bestimmen Sie die de Broglie Wellenlänge der Elektronen als Funktion der Spannung U
- Bei welchen Spannungen beobachtet man ein Maximum unter dem Winkel $\vartheta = 37^\circ$ bei einem Nickelkristall.

Konstanten: $d_{\text{Ni}} = 2,18\text{\AA}$, $1\text{\AA} = 10^{-10}\text{m}$

Aufgabe 2: Polarisationszustände

Beschreiben Sie vollständig den Polarisationszustand folgender Wellen:

- $\vec{E} = \vec{e}_x E_0 \cos(kz - \omega t) - \vec{e}_y E_0 \cos(kz - \omega t)$
- $\vec{E} = \vec{e}_x E_0 \sin(2\pi[z/\lambda - \nu t]) - \vec{e}_y E_0 \sin(2\pi[z/\lambda - \nu t])$
- $\vec{E} = \vec{e}_x E_0 \sin(\omega t - kz) + \vec{e}_y E_0 \sin(\omega t - kz - \pi/4)$
- $\vec{E} = \vec{e}_x E_0 \cos(\omega t - kz) + \vec{e}_y E_0 \cos(\omega t - kz + \pi/2)$

Aufgabe 3: Und wieder Doppelbrechung

Sie beobachten sich selber durch ein Kalkspatkristall im Spiegel. Sehen sie dann ein Doppelbild von sich selber oder nicht?