Klausur zur Experimentalphysik III (Optik)	H. Graener / G. Seifert
13.02.2003	WS 2002/03

Bitte bearbeiten Sie jede Aufgabe möglichst auf einem separaten Blatt; Schreiben Sie auf jedes Blatt, das Sie abgeben, gut lesbar Ihren Namen (am besten oben rechts), und geben Sie mindestens einmal Ihre Matrikelnummer an !
Nicht identifizierbare Lösungen können nicht bewertet werden.

Maximale Gesamtpunktzahl: 50 Punkte

AUFGABE 1: [9 P.]

Eine Bikonvexlinse aus BK7-Glas (Brechungsindex $n_{BK7} = 1{,}515$) ist von Wasser ($n_W = 1{,}333$) umgeben und zeigt dort eine Brennweite von $f_W = 36{,}62$ cm. Beide Seiten der Linse haben den gleichen Krümmungsradius r und werden unmittelbar vom Wasser benetzt.

a) Wie groß ist der Krümmungsradius r der Linsenflächen ? Welche Brennweite hätte diese Linse in Luft ($n_L = 1$) ? [3 P.]

b) Was ändert sich qualitativ, wenn man das Wasser durch flüssiges Methylenbromid ($n_{MB} = 1{,}541$) ersetzt ? [1 P.] Wie groß ist in diesem Fall die Brennweite ? [1 P.]

c) Nun wird die Linse in die Mitte eines Plexiglasquaders ($n_P = 1{,}490$) der Länge $l = 20$ cm eingegossen (planparallele Endflächen, Linsenebene ebenfalls parallel dazu). Mit diesem Block soll nun ein Parallelbündel fokussiert werden, das senkrecht auf die Linse (und damit die Endfläche des Quaders) einfällt.
Liegt der erhaltene Fokus innerhalb oder außerhalb des Plexiglasblockes ? [1 P.]
In welchem Abstand von der Linse werden konkret achsennahe Anteile dieses Lichtbündels fokussiert ? [3 P.]

AUFGABE 2: [9 P.]

Ein Becken (waagerechter Boden) ist bis zu einer Höhe von $h_1 = 1{,}50$ m mit Meerwasser ($n_{MW} = 1{,}35$) gefüllt und habe eine ideal glatte Wasseroberfläche. Auf dem Grund des Beckens befindet sich eine Lichtquelle (punktförmig, unpolarisiertes Licht).

a) Wie groß ist der Reflexionsfaktor für den Anteil der Intensität, der senkrecht auf die Grenzschicht Wasser/Luft ($n_L = 1$) einfällt ? [1 P.] Wie verändert sich qualitativ die Reflexion an der Grenzfläche mit zunehmendem Einfallswinkel ? [2 P.]

b) Eine kreisrunde, auf dem Wasser schwimmende Korkscheibe (Einsinktiefe vernachlässigbar), deren Mittelpunkt senkrecht über der Lichtquelle liegt, soll nun dafür sorgen, dass kein Licht mehr aus dem Pool auf direktem Wege nach außen (Luft, $n_L = 1$) kommt. Welchen Radius muss die Scheibe dazu mindestens haben ? [3 P.]

b) Nun wird die gesamte Oberfläche des Beckens mit einer 2 cm dicken Platte aus Kronglas ($n_K = 1{,}528$) abgedeckt; diese Glasscheibe wird so angebracht, dass ihre Unterseite mit dem Wasser (Wassertiefe h_1 unverändert), die Oberseite dagegen mit der Luft in Kontakt ist. Wieder soll mit einer lichtundurchlässigen, kreisrunden Scheibe, die mit ihrem Mittelpunkt senkrecht über der Lichtquelle auf die Glasoberfläche gelegt wird, Lichtaustritt in die Umgebung (durch die Grenzfläche Glas/Luft) verhindert werden. Welchen Radius muss diese Scheibe haben ? [3 P.]

AUFGABE 3: [8 P.]

Ordentlicher und außerordentlicher Brechungsindex $n_o(\lambda)$, $n_{ao}(\lambda)$ eines transparenten, doppelbrechenden $LiNbO_3$-Kristalls werden beschrieben durch die Sellmeier-Gleichung $n^2 = A + \frac{B}{1-(C/\lambda)^2} - D\lambda^2$ mit den folgenden Parametern:

	A	B	C	D
n_o	4.91296	0.116275	0.048398 µm	0.0273 μm^{-2}
n_{ao}	4.54528	0.091649	0.046079 µm	0.0303 μm^{-2}

Durch einen solchen Kristall laufen auf dem gleichen (geradlinigen) Weg zwei kurze Laserimpulse (Wellenpakete) der Wellenlängen $\lambda = 532$ nm (ordentlich polarisiert) und $\lambda = 1064$ nm (außerordentlich polarisiert), wobei der "grüne" ($\lambda = 532$ nm) 2 ps früher als der infrarote in den Kristall eintritt.

Berechnen Sie die Kristalllänge, die nötig ist, damit die beiden Impulse den Kristall exakt gleichzeitig wieder verlassen.

Hinweis: $\frac{dn}{d\lambda} = -\frac{1}{n}\left[\frac{BC^2/\lambda^3}{\left(1-(C/\lambda)^2\right)^2} + D\lambda\right]$

AUFGABE 4: [7 P.]

Ein optisches Transmissionsgitter mit 600 Linien/mm soll zur Analyse des Linienspektrums einer (unbekannten) Lichtquelle verwendet werden. Ein von dieser Quelle stammendes, paralleles Lichtbündel fällt senkrecht auf das Gitter ein. Das gebeugte Licht wird mit einer Silizium-Diode als Funktion des Beugungswinkels θ detektiert; mit diesem Detektor kann nur Licht im Spektralbereich zwischen 200 und 1100 nm nachgewiesen werden. Man beobachtet scharfe Beugungsmaxima unter anderem bei den Winkeln $\theta_1 = 20°$ und $\theta_2 = 43.5°$.

a) Bestimmen Sie alle Wellenlängen, die unter den beschriebenen Voraussetzungen für die Beugungsmaxima unter den Winkeln θ_1 und θ_2 verantwortlich sein könnten ! [3 P.]

b) Stellt man nun vor das Gitter ein Filter, das nur Wellenlängen von $\lambda \geq 400$ nm durchlässt, so bleiben die Maxima bei θ_1 und θ_2 unverändert erhalten. Welche beiden Wellenlängen sind demzufolge in dem einfallenden Licht vorhanden ? [1 P.]

c) Unter welchen anderen Winkeln sind für die beiden ermittelten Wellenlängen weitere, im gegebenen Aufbau beobachtbare Beugungsmaxima zu erwarten ? [1 P.]

d) Welche Winkelauflösung muss mit dem Detektor realisierbar sein, damit die beiden Wellenlängen in 1. bzw. 2. Beugungsordnung getrennt beobachtet werden können ? Wie viele Gitterspalte müssen dazu gemäß dem theoretischen Auflösungsvermögen jeweils mindestens beleuchtet werden ? [2 P.]

AUFGABE 5: [8 P.]

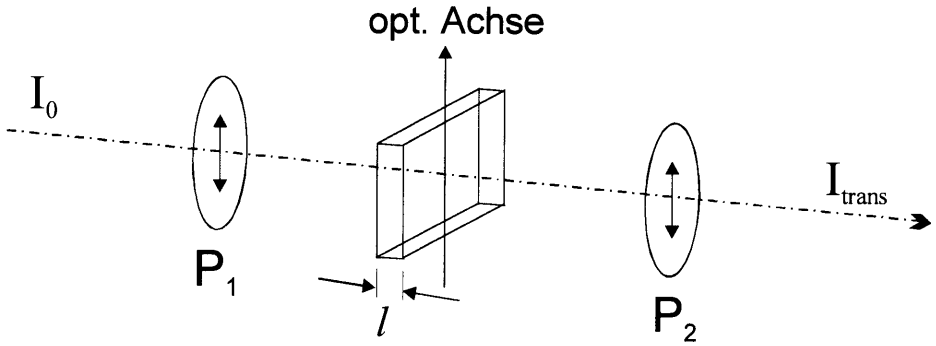
Unpolarisiertes Licht der Wellenlänge $\lambda = 600$ nm (Intensität I_0) durchläuft nacheinander einen Polarisator P_1, einen doppelbrechenden Kristall der Länge $l = 100$ µm und einen zweiten, parallel zu P_1 orientierten Polarisator P_2. Das Material hat einen ordentlichen Brechungsindex von $n_o = 1{,}498$ und einen außerordentlichen von $n_{ao} = 1{,}501$. Die optische Achse des Kristalls steht senkrecht auf der Strahlrichtung und liegt zunächst ebenfalls parallel zu den Polarisationsrichtungen von P_1 und P_2 (siehe Skizze, unten).

a) Zu welcher Phasenverzögerung zwischen ordentlich und außerordentlich polarisiertem Licht führt das beschriebene doppelbrechende Plättchen ? [1 P.]

b) Man dreht nun die optische Achse des doppelbrechenden Kristalls (Drehachse ist die Ausbreitungsrichtung des Lichtes) von 0° (vertikal, wie Skizze) bis 90° (horizontal) und beobachtet dabei die durch die gesamte Anordnung transmittierte Intensität I_{trans}. Skizzieren Sie die Transmission $T = I_{trans}/I_0$ als Funktion dieses Drehwinkels ! [3 P.]

c) Wie groß ist konkret der Anteil der durch die Anordnung transmittierten Intensität bei Orientierung der optischen Achse unter 15° und 45° zur Ausgangssituation ? [2 P.] Was würde sich ändern, wenn der Kristall statt 100 µm eine Länge von 300 µm hätte ? [1 P.]

d) Stellen Sie sich vor, Sie haben in dem gegebenen Aufbau mit einer beliebigen doppelbrechenden Platte eine Orientierung gefunden, bei der keine Intensität mehr durch die Anordnung transmittiert wird. Wenn Sie die Platte nur geringfügig gegen die Vertikale verkippen, wird wieder etwas Licht durch P_2 transmittiert. Erklären Sie kurz diese Beobachtung ! [1 P.]



AUFGABE 6: [9 P.]

Auf der perfekt glatten Oberfläche einer Wasserpfütze ($n_W = 1{,}333$) befindet sich ein Ölfilm ($n_{Öl} = 1{,}434$) konstanter Dicke d, der bei Betrachtung senkrecht von oben (Einfallswinkel $\alpha = 0°$) rot erscheint; die gleiche Farbe tritt erst wieder bei schräger Betrachtung unter einem Winkel von $\alpha = 32{,}0°$ gegen die Vertikale auf. Behandeln Sie das Problem vereinfachend so, als würde die Interferenz einer einzigen Wellenlänge, nämlich $\lambda = 650$ nm, diese Farbwirkung hervorrufen. Berechnen Sie aus diesen Angaben die Dicke des Ölfilms !