Klausur zur Experimentalphysik III (Optik)	PD Dr. G. Seifert
19.02.2009	WS 2008/09

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!

Mit [O] gekennzeichnete (Teil-)Aufgaben können/sollen ohne Berechnung beantwortet werden!

Erreichbare Gesamtpunktzahl: 46 Punkte; ab 23 Punkten ist die Klausur bestanden.

Aufgabe 1 (8 P.):

Eine Linse aus transparentem Kunststoff ($n_K = 1.4$; $n_{Luft} = 1$) von 40 mm Durchmesser fokussiert einfallendes Sonnenlicht (Parallelbündel) in 5 cm Entfernung.

a) Welchen Krümmungsradius müsste diese Linse haben, wenn es sich um eine Bikonvexlinse mit 2 gleichen Kugelflächen handelt und die Näherung dünner Linsen angewendet wird? [2 P.]

b) Welche Brennweite hätte die Linse, eingetaucht in Wasser ($n_W = 1.33$) bzw. in Tetrachlormethan (CCl_4, $n_{CCl4} = 1.46$)? [2 P.]

c) Wie groß ist der minimale „Brennfleck" (Beugungsscheibchen), den diese Linse (nun wieder in Luft) bei monochromatischer Beleuchtung mit einer Wellenlänge von 589 nm produziert? [2 P.]

d) [O] Erläutern Sie kurz mindestens zwei Effekte, die bei Beleuchtung mit Sonnenlicht dazu führen, dass der wahre Fokaldurchmesser größer als der in b) berechnete ist! [2 P.]

Aufgabe 2 (8 P.):

Eine schwarze Kugel mit einem Radius von 5 mm soll durch Sonnenlicht, das durch einen auf der Erdoberfläche befindlichen Parabolspiegel nach oben reflektiert und fokussiert wird, gegen die Schwerkraft in Schwebe gehalten werden. Welchen Durchmesser müsste dieser Spiegel haben?

Rechnen Sie mit folgenden Annahmen: Spiegel reflektiert 100%, Kugel ist im Fokus des Spiegels, alle Intensität wird auf einen Fokaldurchmesser von genau 10 mm gebündelt, Lichtstrahl ist im Fokus aufwärts gerichtetes Parallelbündel, Intensität ist über den Fokalquerschnitt konstant. Kugel wechselwirkt mit Licht wie eine perfekt absorbierende waagerechte Scheibe.

Zahlenwerte: Solarkonstante $1000 W/m^2$, Erdbeschleunigung $10 m/s^2$, Dichte des Kugelmaterials $2{,}5 g/cm^3$, Lichtgeschwindigkeit $3 \cdot 10^8$ m/s

Aufgabe 3 (10 P.):

Zwei Laserstrahlen durchlaufen einen Block aus Quarzglas; die beiden Lasersysteme sind
(1) ein Rubin-Laser, der kurze Impulse bei einer Zentralwellenlänge von 694 nm emittiert, und
(2) ein Titan:Saphir-Laser, der kurze Impulse bei einer Zentralwellenlänge von 800 nm emittiert.

Materialdaten von Quarzglas

λ	694 nm	800 nm
$n(\lambda)$	1.454	1.451
$\frac{dn(\lambda)}{d\lambda}$	$\frac{-2.3 \cdot 10^{-5}}{nm}$	$\frac{-1.6 \cdot 10^{-5}}{nm}$

a) Berechnen Sie die Ausbreitungsgeschwindigkeiten der Laserimpulse (1) und (2)! [3 P.]

b) Welcher Laufzeitunterschied ergibt sich für streng monochromatisches Licht bei $\lambda = 694$ nm bzw. $\lambda = 800$ nm nach 10 cm Weg durch das Quarzglas? [3 P.]

c) Auf den Glasblock soll nun eine transparente Schicht aufgedampft werden, die die Reflexion bei der Wellenlänge 694 nm vollständig unterdrückt. Welche Dicke und welchen Brechungsindex muss die Schicht dafür haben? Wie wirkt sich qualitativ diese Schicht auf die Reflexion bei 800 nm aus? [2 P.]

d) Für welchen Einfallswinkel und welchen Polarisationszustand wird der Reflexionsfaktor für $\lambda = 694$ nm ebenfalls zu Null? Was passiert in diesem Fall mit der Reflexion bei $\lambda = 800$ nm? [2 P.]

Aufgabe 4 (8 P.):

Ein paralleles Lichtbündel der Wellenlänge 532nm fällt senkrecht auf ein optisches Transmissionsgitter ein, das aus N (vertikalen) Spalten der Breite b im Abstand d besteht. Die Gitterkonstante (d^{-1}) beträgt 600 Linien pro mm.

a) Berechnen Sie alle Winkel (bezogen auf die Einfallsrichtung), unter denen Sie Hauptmaxima des am Gitter gebeugten Lichtes erwarten! [3P.]

b) Anstelle des Maximums der 2. Beugungsordnung beobachtet man unter dem dafür berechneten Winkel Dunkelheit. Berechnen Sie aus dieser Information die Breite b der einzelnen Spalte! [2P.]

c) Wie viele Spalte N muss das Gitter mindestens haben, damit (bei voller Ausleuchtung) prinzipiell die Wellenlängen 532,0 nm und 532,1 nm noch getrennt beobachtet werden können? [2P.]

d) Kann mit dem Gitter Infrarotstrahlung im Wellenlängenbereich von 3 – 4 µm spektral analysiert werden (Begründen Sie Ihre Antwort)? [1P.]

Aufgabe 5 (6 P.):

Aus kristallinem Quarz sollen planparallele Plättchen hergestellt werden, deren optische Achse parallel zur Oberfläche liegt. Mit diesen Plättchen soll der Polarisationszustand eines linear polarisierten, senkrecht auf die Platten einfallenden Laserstrahls (He/Ne-Laser, $\lambda = 632.8$ nm) der Intensität I_0 manipuliert werden. *(Brechungsindizes von Quarz bei $\lambda = 632.8$ nm: $n_o = 1.5442$, $n_{ao} = 1.5533$)*

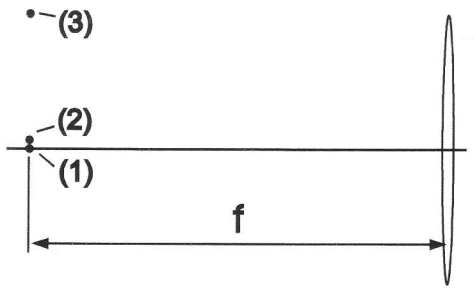
a) Zunächst soll der Polarisationszustand des Laserlichtes von linear auf zirkular verändert werden. Bestimmen Sie die dazu nötige (minimale) Plattendicke, und beschreiben Sie, wie die optische Achse der Platte relativ zur Polarisationsebene des Laserstrahls orientiert sein muss! [2 P.]

b) Nun soll die lineare Polarisation beibehalten, aber die Polarisationsebene des Lichtes um 60° gedreht werden. Bestimmen Sie die dazu nötige (minimale) Plattendicke, und beschreiben Sie, wie die Platte relativ zur Polarisationsebene des Laserstrahls orientiert sein muss! [2 P.]

c) Als nächstes wird ein (idealer) Polarisator so in den Laserstrahl gebracht, dass er zunächst die Strahlung vollständig blockiert. Anschließend wird zuerst das in a), dann im Austausch das in b) berechnete Plättchen vor den Polarisator gesetzt und so um den Laserstrahl rotiert, dass es stets senkrecht zum Strahl bleibt. Geben Sie für beide Fälle an, bei welchen Drehwinkeln maximale und minimale Intensität nach dem Polarisator beobachtet wird, und wie groß diese (bezogen auf I_0) jeweils sind! [2 P.]

Aufgabe 6 (6 P.):

a) **[O]** In der Brennebene einer dünnen Sammellinse der Brennweite f befinden sich 3 punktförmige Lichtquellen an verschiedenen lateralen Positionen: (1) auf der optischen Achse des Systems, (2) im Abstand (f/100) bzw. (3) im Abstand (f/2) davon. Beschreiben oder skizzieren Sie die gemäß der Strahlenoptik zu erwartenden Lichtbündel, die diese 3 Lichtquellen auf der anderen Seite der Linse hervorrufen! [3 P.]



b) **[O]** Sie blicken schräg nach unten auf den Grund eines Teiches (unter ca. 45° zur Vertikalen) und sehen dort einen Frosch; sehen Sie ihn (1) in seiner wahren Tiefe, (2) scheinbar höher oder (3) scheinbar tiefer? [1 P.]

c) **[O]** Ist bei normaler Dispersion des Glases die Brennweite einer Sammellinse (auch für achsennahe Strahlen) für rotes oder blaues Licht kürzer? [1 P.]

d) **[O]** Eine polarisierende Sonnebrille kann Lichtreflexe von einer Wasseroberfläche unterdrücken; unter welchen Bedingungen funktioniert das perfekt? [1 P.]