

UNIVERSITÄT KONSTANZ

Fachbereich Physik

Prof. Dr. Georg Maret (Experimentalphysik)

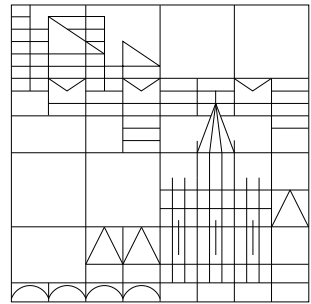
Raum P 1009, Tel. (07531)88-4151

E-mail: Georg.Maret@uni-konstanz.de

Prof. Dr. Matthias Fuchs (Theoretische Physik)

Raum P 907, Tel. (07531)88-4678

E-mail: matthias.fuchs@uni-konstanz.de



**Übungen zur Physik III: Integrierter Kurs**  
**Wintersemester 2004/2005**

**Übungsblatt 4**, Ausgabe 16.11.2004, abzugeben bis 23.11.2004  
Besprechung in den Übungen in der 6. Semesterwoche (24.-26. Nov.)

**17. Hohlspiegel; (7 Punkte)**

In der Vorlesung wurde der sphärische Hohlspiegel für achsennahe Strahlen behandelt.

- Wie ändert sich die Position des Brennpunktes wenn achsenferne Strahlen betrachtet werden? Ab welchem Abstand ist überhaupt kein Fokus mehr möglich? (3 Punkte)
- Ein achsennaher Punkt kann vom sphärischen Hohlspiegel abgebildet werden. Welche Probleme ergeben sich für die Abbildung eines ausgedehnten Objekts? (2 Punkte)
- Kann man einen Hohlspiegel machen, bei dem auch ausgedehnte Objekte abgebildet werden können? Zeigen Sie explizit, dass für die angegebene Lösung der Brennpunkt nicht mehr vom Achsenabstand abhängig ist. (2 Punkte)

**18. Interferenzen durch Spiegelung; (3 Punkte)**

Eine spaltförmige, monochromatische Lichtquelle  $S$  (Wellenlänge  $\lambda = 600nm$ ) befinde sich im Abstand  $a = 1mm$  über einem Planspiegel, wobei der Spalt parallel zum Spiegel steht. In einer ebenfalls zur spiegelnden Fläche senkrechten Ebene im Abstand  $L = 30cm$  von der Lichtquelle werden Interferenzstreifen beobachtet. Auf welchen Höhen  $y_n$  treten Intensitätsminima auf?

**19. Abbildungsmatrizen; (9 Punkte)**

Ein Lichtstrahl in einer optischen Apparatur kann an einem Punkt  $x$  auf der optischen Achse der Apparatur durch seinen Abstand  $r(x)$  von der optischen Achse und seinen Winkel  $\alpha(x)$  mit der optischen Achse repräsentiert werden. Der Strahl kann also durch den Vektor  $(n\alpha(x), r(x))$  dargestellt werden.  $n$  ist der Brechungsindex des Mediums an der Stelle  $x$ . Im Folgenden soll gezeigt werden, dass in paraxialer Näherung (d.h.  $\sin(\alpha) \approx \tan(\alpha) \approx \alpha$ ) die Änderung des Strahls aufgrund bestimmter optischer Komponenten durch eine lineare Abbildung dargestellt werden kann. Die Brechung eines Strahls an einer gekrümmten Oberfläche (siehe Abbildung 1) kann z.B. mit einer Matrix  $\mathbf{M}$  durch

$$\begin{pmatrix} n_2\alpha_2 \\ r_2 \end{pmatrix} = \mathbf{M} \begin{pmatrix} n_1\alpha_1 \\ r_1 \end{pmatrix}$$

beschrieben werden.

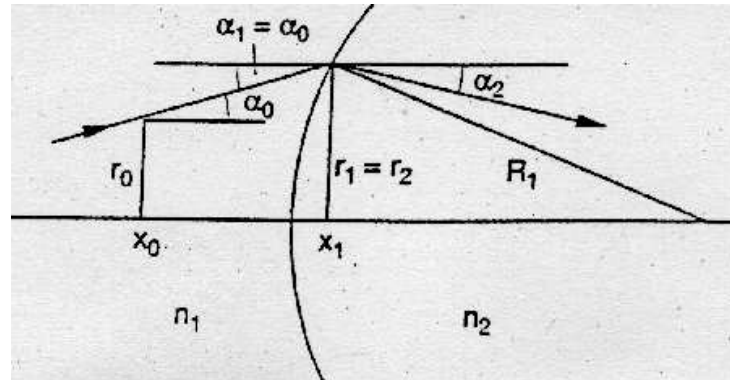


Abbildung 1: Brechung eines Lichtstrahls an einer gekrümmten Oberfläche

- a) Zeigen Sie, dass der Verlauf des Lichtstrahls in einem homogenen Medium mit Brechungsindex  $n$  vom Punkt  $x_0$   $[(n\alpha_0, r_0)]$  zum Punkt  $x_1$   $[(n\alpha_1, r_1)]$  durch die folgende Transfermatrix  $\mathbf{T}$  gegeben ist. (1 Punkt)

$$\mathbf{T} = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ (x_1 - x_0)/n & 1 \end{pmatrix}$$

- b) Auch die Brechung des Lichtstrahls an einer gekrümmten Oberfläche kann mit einer Matrix  $\mathbf{B}$  dargestellt werden. Der Strahl wird gemäss Abbildung 1 direkt an der Oberfläche im Medium mit Brechungsindex  $n_1$  durch  $(n_1\alpha_1, r_1)$  und auf der anderen Seite durch  $(n_2\alpha_2, r_2 = r_1)$  repräsentiert. Finden Sie die Gleichung, die  $\alpha_1$  und  $\alpha_2$  verknüpft, und beschreiben Sie die Brechung des Strahls in Matrixform. (2 Punkte)
- c) Leiten Sie unter Verwendung des Resultats von Teil b) die Matrix für die Brechung an einer dünnen bikonvexen Linse her:

$$\mathbf{M} = \begin{pmatrix} 1 & -1/f \\ 0 & 1 \end{pmatrix}$$

Die Linse habe den Brechungsindex  $n$  und die Krümmungsradien  $R_1$  und  $R_2$ . Vor und hinter der Linse befinde sich Luft ( $n = 1$ ). (2 Punkte)

*Hinweis:* Verwenden Sie, dass  $-1/f = (n - 1)(1/R_2 - 1/R_1)$ .

- d) Berechnen Sie die Abbildungsmatrix für einen Gegenstand bei  $x = g$  ( $g < 0$ ) auf ein Bild bei  $x = b$  ( $b > 0$ ) für eine dünne Linse, die bei  $x = 0$  steht. (1 Punkt)

- e) Ersetzen Sie nun im Ergebnis von d) die Matrix der dünnen Linse durch die allgemeine Matrix

$$\mathbf{M} = \begin{pmatrix} A & B \\ C & D \end{pmatrix},$$

die ein abbildendes System darstellen soll. Zeigen Sie, dass daraus direkt die Newtonsche Gleichung

$$(f - [b - b_p])(f + [g - g_p]) = f^2$$

folgt, wobei die Brennweite  $f$ , Gegenstandsweite  $g - g_p$  und Bildweite  $b - b_p$  bezüglich der Hauptebenen des Systems gegeben sind.

*Hinweise:* Wird die Matrix  $\mathbf{M}$  eingesetzt, so erfolgt die Abbildung des Gegenstandes mit der Matrix  $\mathbf{M}' = \mathbf{T}_b \mathbf{M} \mathbf{T}_g$ , wobei  $\mathbf{T}_b$  und  $\mathbf{T}_g$  die Transfermatrizen für die Distanzen  $b$  und  $|g|$  sind. Man beachte, dass für ein abbildendes System das Matrixelement  $M'_{21} = 0$  sein muss. (Warum?) Ausserdem gilt  $\det(\mathbf{M}') = 1$ . Man definiere die Brennweite durch  $f = -1/B$ . (3 Punkte)

## 20. Regenbogen; (6 Punkte)

Paralleles Sonnenlicht trifft auf ein kugelförmiges Wassertöpfchen mit Radius  $R$  und Brechungsindex  $n = 1.33$  und wird in diesem einmal reflektiert (siehe Abbildung 2).

- Berechnen Sie den Austrittswinkel  $\theta$  in Abhängigkeit des Streuparameters  $b$  und tragen Sie  $\theta$  gegen  $b/R$  auf (siehe Abbildung 2 links). (3 Punkte)
- Für welchen Winkel  $\theta$  wird am meisten Licht reflektiert? (siehe Abbildung 2 rechts) (1 Punkt)
- Wie ist die Reihenfolge der Farben? (1 Punkt)
- Oft ist ein zweiter Regenbogen zu sehen. Wie entsteht dieser? (1 Punkt)

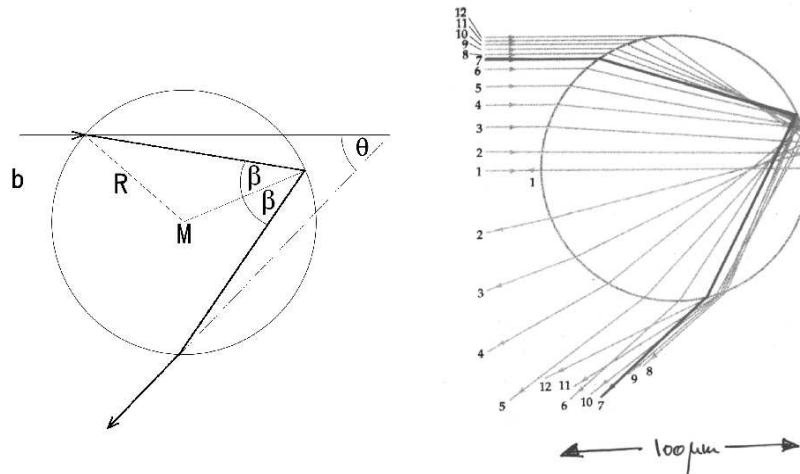


Abbildung 2: Strahlenverlauf in einem kugelförmigen Wassertropfen