Universität
Konstanz

Integrierter Kurs Physik III
Exp.-Teil, Optik und Thermodynamik
WS 10/11

Prof. G. Maret, Dr. P. Keim

Übungsblatt Nr. 6,

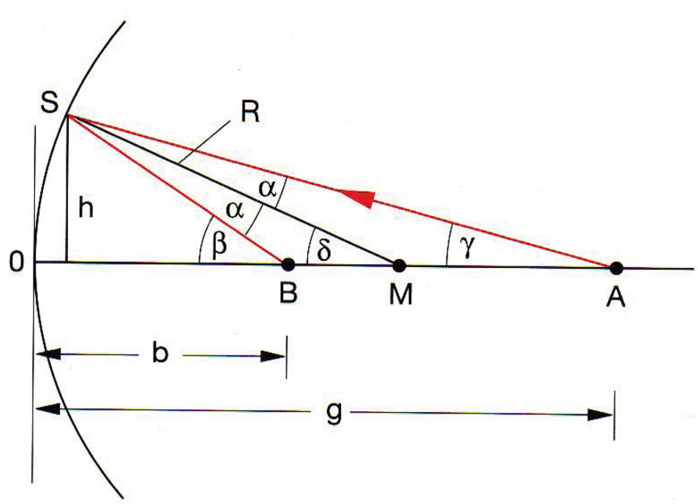
Ausgabedatum: 29.11.2010
Abgabedatum: Mo 06.12.2010 in der Vorlesung
Besprechung: Mi 08.12.2010 in den Übungsgruppen

Aufgabe 16: Hohlspiegel

Betrachten Sie den sphärischen Hohlspiegel für achsennahe Strahlen.

a) Wie ändert sich die Position des Brennpunktes, wenn achsenferne Strahlen betrachtet werden? Ab welchem Abstand ist überhaupt kein Fokus mehr möglich?

b) Ein achsennaher Punkt kann vom sphärischen Hohlspiegel abgebildet werden. Leiten Sie in paraxialer Näherung die Beziehung zwischen b, g und R (siehe Abbildung), d.h. die Abbildungsgleichung des Hohlspiegels und den Abbildungsmaßstab d.h die Vergrößerung des Hohlspiegels her.



c) Kann man einen Hohlspiegel machen, bei dem auch ausgedehnte Objekte abgebildet werden können? Zeigen Sie explizit, dass für diese Lösung der Brennpunkt nicht mehr vom

Achsenabstand abhängig ist.

Aufgabe 17: Regenbogen

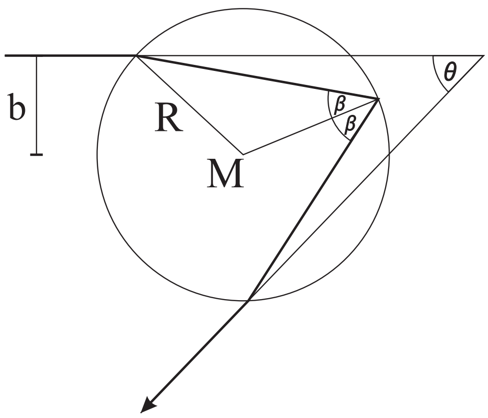
Paralleles Sonnenlicht trifft auf ein kugelförmiges Wassertröpfchen mit Radius R sowie Brechungsindex $n = 1,33$ und wird in diesem einmal reflektiert.

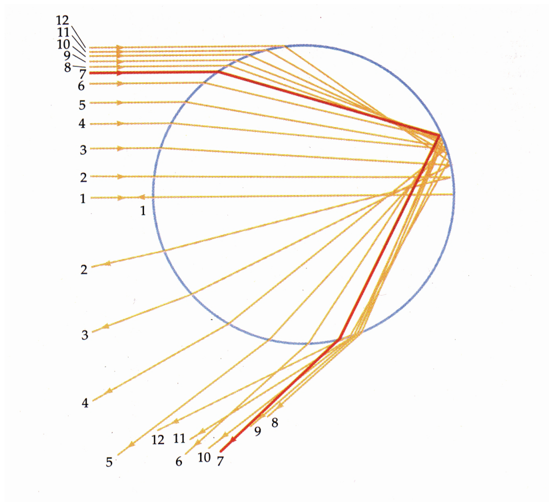
a) Berechnen Sie den Austrittswinkel θ in Abhängigkeit des Streuparameters b und tragen Sie θ gegen b/R auf.

b) Für welchen Winkel θ wird am meisten Licht (siehe Abbildung) reflektiert?

c) Wie ist die Reihenfolge der Farben?

d) Oft ist ein zweiter Regenbogen zu sehen. Wie entsteht dieser?





Aufgabe 18: Abbildungsmatrizen
(schriftlich abzugeben)

In einer optischen Apparatur kann ein Lichtstrahl durch seinen Abstand $r(x)$ von der optischen Achse an der Stelle x längs der Achse und einem Winkel $\alpha(x)$ (an selbiger Stelle) mit der optischen Achse beschrieben 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 ($\sin(\alpha) \approx \tan(\alpha) \approx \alpha$) die Änderung des Strahls aufgrund bestimmter optischer Komponenten durch eine lineare Abbildung dargestellt werden kann. Die Berechnung eines Strahls an einer gekrümmten Oberfläche kann z.B. mit einer Matrix $\widehat{M}$ durch $\binom{n_2\alpha_2}{r_2} = \widehat{M}\binom{n_1\alpha_1}{r_1}$ beschrieben werden.

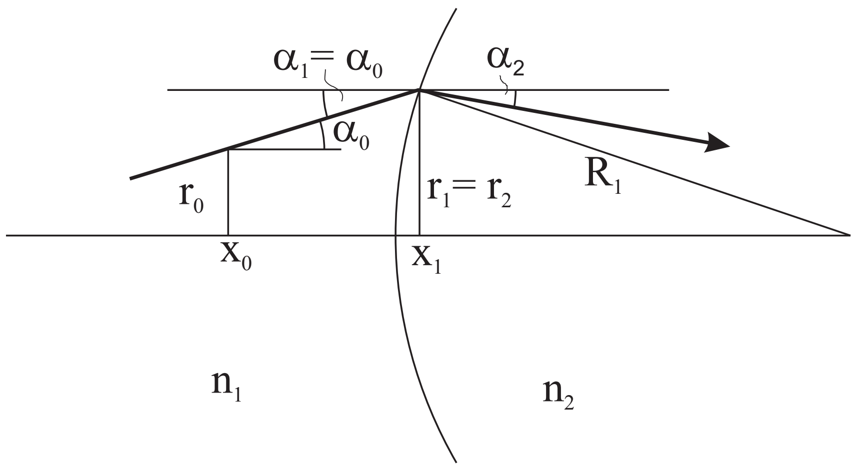
a) Zeigen Sie, dass der Verlauf des Lichtstrahls in einem homogenen Medium mit Brechungsindex n vom Punkt $x_0[(n_0\alpha_0, r_0)]$ zum Punkt $x_1[(n_1\alpha_1, r_1)]$ durch die Transfermatrix $\widehat{T} = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ (x_1 - x_0)/n & 1 \end{pmatrix}$ gegeben ist.

b) Auch die Brechung des Lichtstrahls an einer gekrümmten Oberfläche kann mit einer Matrix $\widehat{B}$ dargestellt werden. Der Strahl wird gemäß Abbildung direkt an der Oberfläche im Medium mit dem 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 α_1 und α_2 verknüpft, und beschreiben Sie die Brechung des Strahls in Matrixform.

c) Leiten Sie unter Verwendung des Resultats von Teil b) die Matrix für die Brechung an einer dünnen bikonvexen Linse her: $\widehat{M} = \begin{pmatrix} 1 & -1/f \\ 0 & 1 \end{pmatrix}$ Die Linse habe den Brechungsindex n und die Krümmungsradien R_1 und R_2. Vor und hinter der Linse befinde sich Luft $n = 1$. *Hinweis*: Verwenden Sie, dass $-1/f = (n-1)(1/R_2 - 1/R_1)$ gilt.

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.

e) Ersetzen Sie nun im Ergebnis von d) die Matrix der dünnen Linse durch die allgemeine Matrix $\widehat{M} = \begin{pmatrix} A & B \\ C & D \end{pmatrix}$ 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 die Bildweite $b - b_p$ bezüglich der Hauptebenen des Systems gegeben sind. *Hinweise*: wird die Matrix $\widehat{M}$ eingesetzt, so erfolgt die Abbildung des Gegenstandes mit der Matrix $\widehat{M'} = \widehat{T}_b M \widehat{T}_g$, wobei $\widehat{T}_b$ und $\widehat{T}_g$ die Transfermatrix für die Distanzen b und $|g|$ sind. Man beachte, dass für ein abbildendes System das Matrixelement $M'_{21} = 0$ sein muss. Außerdem gilt $det(\widehat{M'}) = 1$. Man definiere die Brennweite durch $f = -1/B$.



9 Punkte