Grundlagen der Physik IIb - Übungen

Ass.Prof. Dr. R.A. Wilhelm
wilhelm@iap.tuwien.ac.at
TU Wien - Grundlagen der Physik IIb (130.004) 2023S

INSTITUT FÜR
ANGEWANDTE PHYSIK

Institute of Applied Physics

01.06.2023

Aufgabe 10.1 - 3 Pkt.

Für die integrierte Optik können streifenförmige Lichtwellenleiter aus Glas mit rechteckigen Querschnitten verwendet werden. Die Brechzahl n_1 soll bei einer Wellenlänge $\lambda = 850\,\mathrm{nm}$, $n_1 = 1.460$ betragen. Der Leiter wird auf ein Glassubstrat aufgebracht, das gegenüber dem Streifenleiter eine um 1% kleinere Brechzahl hat.

(a) Zunächst soll ein Lichtstrahl aus der Luft ($n_0 = 1.0$) kommend unter einem beliebigen Winkel α_0 auf die Stirnfläche des Streifenleiters treffen (siehe Skizze). Unter welchen Winkeln α_0' treten Lichtstrahlen in den Streifenleiter ein? Unter welchen Winkeln α_1 werden sie reflektiert?
(b) Berechnen Sie den Grenzwinkel $\alpha_{1,g}$ der Totalreflexion an den Punkten A und B. Welcher der beiden Grenzwinkel ist für die Fortleitung des Lichts im Streifenleiter maßgebend?
(c) Unter welchen Winkeln α_0 muß Licht die Stirnfläche treffen, damit es im Leiter fortgeleitet wird?
(d) Berechnen Sie die Laufzeitdifferenz τ pro Streifenlänge L zwischen zwei Lichtpulsen, wenn der eine unter dem Grenzwinkel der Totalreflexion fortgeleitet wird und der andere mit $\alpha_0 = 0°$ den Leiter geradlinig durchläuft.
(e) Wie groß ist dann die relative Laufzeitdifferenz $\tau/\Delta t$ zweier Lichtpulse, wenn Δt die Laufzeit des ohne Reflexion hindurchgehenden Pulses ist?
(f, wird nicht bewertet) Was folgt aus den Ergebnissen von Fragen (d) und (e) für die Wahl der Brechzahlen n_1 und n_2 beim praktischen Einsatz?

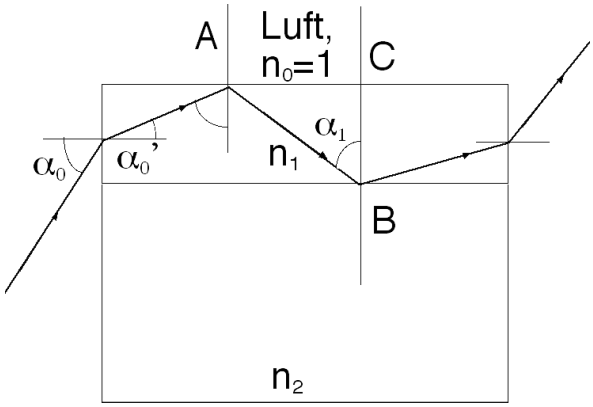

Figure 1: Strahlengang durch den Lichtwellenleiter (Streifenleiter) für einen total reflektierten Lichtstrahl. n_1 ist die Brechzahl des Streifenleiters, n_2 die des Glassubstrats.

Lösung: (a) $\alpha_0' = 43.23°$, $\alpha_1 = 46.77°$, (b) $\alpha_{1,g} = 81.89°$, (c) $\alpha_0 \leq 11.89°$, (d) $\tau/L = \Delta n/c_0 = 48.7\,\mathrm{ns/km}$, (e) $\frac{\tau}{\Delta t} = \frac{\Delta n}{n}$

Aufgabe 10.2 - 3 Pkt.

Unpolarisiertes Licht fällt auf eine Kronglasplatte. Für rotes Licht mit der Wellenlänge $\lambda_r = 656\,\mathrm{nm}$ beträgt die Brechzahl $n_r = 1.5076$, für violettes Licht mit $\lambda_v = 405\,\mathrm{nm}$ ist $n_v = 1.5236$.

(a) Wie groß ist der Reflexionsgrad ρ der Platte bei senkrechtem Einfall des Lichts für beide Wellenlängen?
(b) Bei welchen Einfallswinkeln α_p ist das Licht vollständig linear polariziert?
(c) Wie groß sind die Winkel α_p, wenn das Licht auf die Grenzfläche Glas/Luft auftrifft? Wie groß sind hier die Grenzwinkel der Totalreflexion?
(d) Welche Werte haben in allen Fällen die entsprechenden Brechungswinkel α'?
Lösung: (a) $\varrho_r = 4.1\%, \varrho_v = 4.3\%$, (b) $\alpha_{p,rot} = 56.44°$, $\alpha_{p,violett} = 56.72°$, (c) rot: $\alpha_p = 33.56°$; violett: $\alpha_p = 33.28°$., Grenzwinkel: rot: $\alpha_g = 41.55°$; violett: $\alpha_p = 41.02°$., (d) zu (b) : $\alpha_r' = 33.56; \alpha_v' = 33.28$; zu (c) : $\alpha_r' = 56.44; \alpha_v' = 56.72$

Aufgabe 10.3 - 1 Pkt.

Eine Münze, die auf dem Boden eines Gefäßes liegt, wird senkrecht von oben aus der Höhe h_0 betrachtet. In welchem Verhältnis α_1/α_2 ändert sich der Sehwinkel, unter dem der Rand der Münze erscheint, wenn das Gefäß bis zur Höhe h mit Wasser (Brechzahl n) gefüllt wird? (siehe Skizze)

Hinweis: $\alpha \ll 1 \rightarrow \sin\alpha \simeq \alpha$.
$h_0 = 60.0\,\mathrm{cm}$; $h = 40.0\,\mathrm{cm}$; $n = 1.33$.

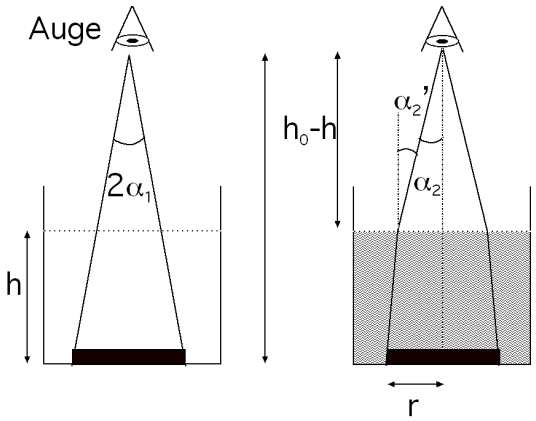

Figure 2: Münze am Boden des Gefäßes.

Lösung: $\alpha_1/\alpha_2 = \frac{1}{1.2} = 0.833$

Aufgabe 10.4 - 2 Pkt.

(a) Zeigen Sie durch Anwendung des Fermat'schen Prinzips, daß eine reflektierende Fläche, welche eine ebene Welle in einen Punkt fokussiert, ein Paraboloid sein muß.

(b) Ein Rasierspiegel mit dem Krümmungsradius R soll so benutzt werden, daß das aufrechte, virtuelle Bild in der Entfernung S vor dem Gesicht entsteht. In welcher Entfernung a muß sich das Gesicht vor dem Spiegel befinden? Wie groß ist der Abbildungsmaßstab β'?.

$R = 300\,\mathrm{mm}$; $S = 250\,\mathrm{mm}$.

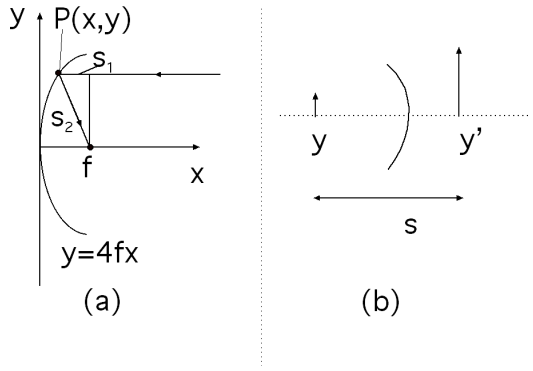

Figure 3: Skizze des Problems.

Lösung: (b) $\beta' = 2.1$

Aufgabe 10.5 - 2 Pkt.

Die Oberfläche einer rotierenden Flüssigkeit hat die Form eines Paraboloids. Dabei gilt:

$$y = \frac{\omega^2 \cdot r^2}{2g}$$

mit ω : Winkelgeschwindigkeit der Rotation, g: Fallbeschleunigung.

Große Parabolspiegel für astronomische Fernrohre werden beispielsweise hergestellt, indem eine flüssige Glasmasse in eine langsam rotierende Form gegossen wird. Nach der Erkaltung hat die Oberfläche die gewünschte Paraboloidform.

Welche Brennweite hat der Parabolspiegel, wenn die Drehzahl des Karussells $n = 6\,\mathrm{min}^{-1}$ betrug?

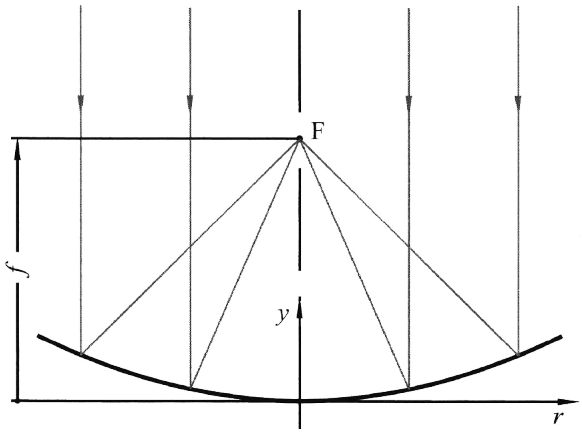

Figure 4: Skizze des Problems.

Lösung: $f \approx 12.4\,\mathrm{m}$

Aufgabe 10.6 - 2 Pkt.

Gegeben ist ein sphärischer Hohlspiegel (konkaver Spiegel).

(a) Berechnen Sie den Radius, wenn in paraxialer Näherung von einem Gegenstand, der $10\,\mathrm{cm}$ vom Spiegel entfernt steht, ein virtuelles Bild entsteht, das $20\,\mathrm{cm}$ vom Spiegel entfernt ist.

(b) Wie groß ist die Lateralvergrößerung (Bildhöhe zu Gegenstandshöhe)?

(c) Illustrieren Sie die Situation.

Lösung: (a) $R = 40\,\mathrm{cm}$, (b) 2