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

11.05.2023

Aufgabe 8.1 - 3 Pkt.

Zeigen Sie mit Hilfe des Fermat'schen Prinzips, dass für die Ausbreitung von Licht durch Lösung einer Extremwertaufgabe folgt:

(a) In einem homogenen Medium mit Brechungsindex n breitet sich Licht zwischen Punkt P und Punkt P' entlang der direkten Verbindungslinie aus.

(b) An einer Grenzfläche zwischen 2 Medien mit Brechungsindex n und n' wird das aus Punkt P kommende und nach Punkt P' gehende Licht (beide Punkte im gleichen Medium) derart reflektiert, dass der Ausfallswinkel dem Einfallswinkel entspricht.

(c) An einer Grenzfläche zwischen 2 Medien mit Brechungsindex n und n' wird das aus Punkt P kommende und nach Punkt P' gehende Licht (Punkte in unterschiedlichen Medien) derart gebrochen, dass das Snellius'sche Brechungsgesetz erfüllt ist.

Aufgabe 8.2 - 2 Pkt.

Ein Lichtstrahl, der sich zunächst in Luft ausbreitet, durchdringt eine planparallele Platte, und tritt nach dem Durchdringen der Platte wieder an Luft aus. Der Primärstrahl fällt auf die obersten Fläche unter einem Winkel von α zur Flächennormale ein. Die Platte habe eine Dicke h und eine Brechungszahl n.
Es ist nachzuweisen, dass der in der Luft austretende Strahl nach zweifacher Brechung nur parallel verschoben ist, und es ist das Ausmaß dieser Parallelverschiebung d als Funktion der angegeben Größen zu bestimmen.
Lösung: Parallelverschiebung: $d = h \cdot \left(\sin\alpha - \frac{\cos\alpha \cdot \sin\alpha}{\sqrt{n^2 - \sin^2\alpha}}\right)$

Aufgabe 8.3 - 2 Pkt.

Ein Lichtstrahl fällt gemäß Skizze auf einen Glasblock mit dem Brechungsindex $n = 1.5$, der sich an Luft befindet.

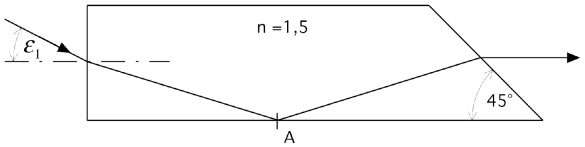

Figure 1: Skizze des Problems.

(a) Wie groß muss der Einfallswinkel ε_1 sein, damit der Strahl den Block parallel zur Basisfläche verlässt? Zeigen Sie, dass an der Stelle A Totalreflexion auftritt.

(b) Nun wird der Glasblock auf eine Flüssigkeitsoberfläche aufgesetzt, so dass die Flüssigkeit die Basisfläche benetzt. Wie groß muss der Brechungsindex der Flüssigkeit sein, damit die Totalreflexion im Punkt A verschwindet?

Lösung: (a) 25.8°, (b) $n_F = 1.435$

Aufgabe 8.4 - 1 Pkt.

Auf die ebene Fläche eines Halbzylinders mit Radius r aus Glas mit dem Brechungsindex $n = \sqrt{2}$ fallen Lichtstrahlen. Sie liegen in einer Ebene senkrecht zur Zylinderachse und treffen auf die ebene Fläche unter dem Einfallswinkel $\alpha = 45°$ auf.

An welchen Stellen der Mantelfläche des Halbzylinders treten Lichtstrahlen aus? Geben Sie am besten einen Winkelbereich an und definieren Sie dafür passende Winkel.

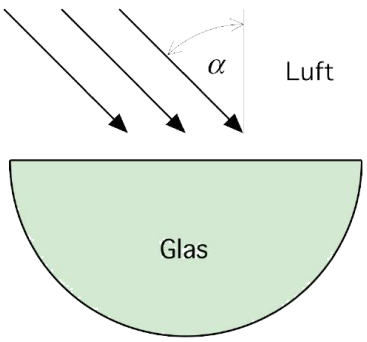

Figure 2: Skizze des Problems.

Aufgabe 8.5 - 2 Pkt.

Gegeben sei Licht der Intensität $100\,\mathrm{W/m^2}$ aus einer Halogenlampe.

(a) Dieses Licht falle auf einen idealen Linearpolarisator mit senkrechter Durchlassrichtung. Wie groß ist die Intensität bei Austritt?

(b) Hinter den ersten Polarisator schaltet man nun einen weitern Linearpolarisator mit horizontaler Durchlassrichtung. Wie groß ist die Intensität nach dem zweiten Polarisator?

(c) Nun bringt man noch einen dritten Linearpolarisator zwischen die beiden ersten. Seine Durchlassrichtung ist um 45° gedreht. Wie groß ist nun die Intensität nach allen drei Polarisationen? Erklären sie das auftretende "Paradoxon"!

Lösung: (a) $50\,\mathrm{W/m^2}$, (b) $0\,\mathrm{W/m^2}$, (c) $12.5\,\mathrm{W/m^2}$

Aufgabe 8.6 - 3 Pkt.

Unpolarisiertes Licht fällt aus Luft ($n_1 = 1$) unter dem Brewsterwinkel $\theta = \theta_B$ auf eine dielektrische Platte ($n_2 = 1.45$). Berechnen Sie:

(a) $\rho_s^2, \tau_s^2, \rho_p^2, \tau_p^2$, wobei $a = (n_2 \cos\theta') / (n_1 \cos\theta)$

(θ' : Winkel zum Lot im Medium)

(b) Zeigen Sie, dass $\rho_s^2 + a\tau_s^2 = 1$ und $\rho_p^2 + a\tau_p^2 = 1$ ist.

(Hinweis: Berücksichtigung der unterschiedlichen Energieflussdichten!)

(c) Bestimmen Sie den Anteil des durchtretenden Lichtes in Bezug auf die Intensität des einfallenden unpolarisierten Lichtes.

Lösung: (c) 93.7%

Aufgabe 8.7 - 3 Pkt.

Ein Phasenverschiebungs-Plättchen ist eine planparallele doppelbrechende einachsige Kristallplatte mit der optischen Achse parallel zur Grenzfläche. Das Licht fällt senkrecht auf das Plättchen.
Beim Durchgang durch die Platte werden ordentlicher (Brechungsindex n_o) und außerordentlicher Strahl (Brechungsindex n_{ao}) gegeneinander phasenverschoben.

(a) Wie groß ist die Phasenverschiebung als Funktion der Plattendichte d?

(b) Welche Dicke muss ein Plättchen aus Kalkspat mit $n_o = 1.65$ und $n_{ao} = 1.48$ haben, um für Licht der Wellenlänge $\lambda = 587.6\,\mathrm{nm}$ einen Phasenunterschied von π zwischen ordentlichem und außerordentlichem Strahl zu bewirken? Ein derartiges Plättchen bezeichnet man auch als $\lambda/2$-Plättchen.

(c) Ein Plättchen aus Kalkspat befindet sich zwischen zwei parallel ausgerichteten Polarisatoren.
Wie muss die optische Achse des Plättchens zur Polarisationsrichtung ausgerichtet sein und wie groß muss die Phasenverschiebung sein, damit die Anordnung für Licht bestimmter Wellenlängen undurchlässig wird?

Lösung: (a) $\Delta\varphi(d) = k \cdot \Delta s = \frac{2\pi}{\lambda} \cdot (n_o - n_{ao}) \cdot d$, (b) $1.73\,\mu\mathrm{m}$

Aufgabe 8.8 - 3 Pkt.

Eine linear polarisierte Welle der Form $\vec{E} = \vec{e}_x \cdot E_0 e^{i(\omega t - \tilde{k}z + \varphi)}$ mit der Vakuumfrequenz $\nu_0 = 5 \cdot 10^{14}\,\mathrm{Hz}$ falle aus der Luft ($n_1 = 1$) kommend bei $z = 0$ senkrecht auf ein homogenes Material mit dem komplexen Brechungsindex $\tilde{n} = 3.0 - i \cdot 0.15$ bei dieser Frequenz.

1. Wie groß sind Kreisfrequenz, Wellenlänge und Phasengeschwindigkeit des Lichtstrahls im Vakuum und im Medium?
2. Wie lauten die Fresnel-Formeln für diese Situation.
3. Wie viel Prozent der Intensität der Strahlung wird an der Grenzfläche reflektiert?
4. Bestimmen Sie die $\vec{E}$- und $\vec{B}$-Felder im Medium
5. In welcher Tiefe ist die Intensität der Strahlung auf den $1/e$-ten Teil abgesunken?
6. Bestimmen Sie den Phasenwinkel zwischen $\vec{E}$- und $\vec{B}$-Feld im Material.

Lösung: (3) ca. 25%, (5) ca. 320 nm, (6) ca. $-2.9°$.