Christoph Marquardt, Gerd Leuchs & Klaus Mantel

Übungen zur Experimentalphysik 3 für Physiker

FAU Erlangen–Nürnberg, Wintersemester 2018/19

https://mpl.mpg.de/de/leuchs/lehre/skripte.html

Übung 2

08./09.11.2018

Aufgabe 1: Frequenzspektren

10 Schwingungen eines Tonsignals $u(t)$ mit der Trägerfrequenz $f = 1\,\text{kHz}$ werden übertragen:

$$u(t) = \begin{cases} u_0 \sin(2\pi f t) & 0 \leq t \leq 10\,\text{ms} \\ 0 & \text{sonst} \end{cases} \tag{1}$$

a. Berechnen Sie das Frequenzspektrum des Signals.

b. Welcher Frequenzbereich muss mindestens übertragen werden, damit ein Empfänger noch die ursprüngliche Dauer des Rechteckpulses abschätzen kann?
Hinweis: Man nimmt an, dass die Dauer des Rechteckpulses noch abgeschätzt werden kann, wenn die erste Nullstelle im Spektrum oberhalb der Trägerfrequenz noch übertragen wird.

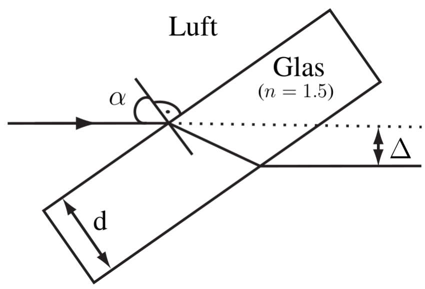
Aufgabe 2: Kugelwelle

a. Die skalare Helmholtz-Gleichung $(\triangle + k^2)\,u(r) = 0$ kann aus der skalaren Wellengleichung im Vakuum $\left(\frac{1}{\epsilon_0\mu_0} \triangle - \partial_t^2\right) u(r,t) = 0$ mittels eines monochromatischen Ansatzes $u(r,t) = u(r)\,\mathrm{e}^{i\omega t}$ und unter Einbeziehung der Dispersionsrelation $\omega^2 = c^2k^2$ hergeleitet werden. Zeigen Sie, dass eine Kugelwelle $u(r) = \frac{\exp(\mathrm{i}kr)}{r}$ für $r \neq 0$ Lösung der skalaren Helmholtz-Gleichung $(\triangle + k^2)\,u(r) = 0$ ist. *Hinweis:* Aufgrund der Radialsymmetrie der Kugelwelle bietet sich eine Lösung mit Hilfe des Laplace-Operators in Kugelkoordinaten an.
$\Delta f = \frac{1}{r^2}\frac{\partial}{\partial r}\left(r^2 \frac{\partial f}{\partial r}\right) + \frac{1}{r^2 \sin(\theta)}\frac{\partial}{\partial \theta}\left(\sin(\theta)\frac{\partial f}{\partial \theta}\right) + \frac{1}{r^2\sin^2(\theta)}\frac{\partial^2 f}{\partial \phi^2}$

b. Wie und warum weicht die Abstrahlcharakteristik eines Hertzschen Dipols von einer Kugelwelle ab?

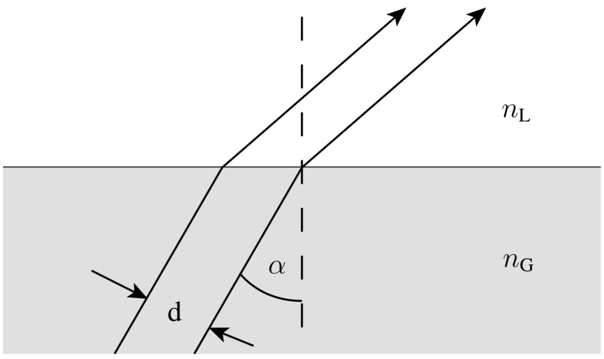
Aufgabe 3: Planparallele Platte

Ein Lichtstrahl erfährt beim Durchgang durch eine planparallele Glasplatte ($n = 1.5$) einen Versatz Δ senkrecht zur Ausbreitungsrichtung. Berechnen Sie diesen Versatz in Abhängigkeit von der Plattendicke d und dem Einfallswinkel α!



Aufgabe 4: Energieerhaltung an einer Grenzschicht

Ein Lichtbündel mit Durchmesser d (siehe Skizze) fällt unter einem Einfallswinkel von $\alpha = 30°$ auf eine Grenzfläche Glas–Luft ($n_\mathsf{G} = 1.5$, $n_\mathsf{L} = 1$). Die Polarisation soll hierbei senkrecht zur Einfallsebene liegen.



a. Berechnen Sie die elektr. Feldstärke im gebrochenen sowie reflektierten Strahl in Abhängigkeit vom einfallenden Feld E_e.
b. Wie verhält sich für diesen Fall die Energieerhaltung? Berechnen Sie hierfür unter Berücksichtigung der Strahlquerschnitte, den Energiefluss des Lichtbündels für den einfallenden, sowie den gebrochenen und reflektierten Strahl.

   Hinweis: Der Energiefluss (Leistung) pro Einheitsfläche ist durch den zeitlich gemittelten Betrag des Poynting-Vektors $\langle S \rangle = \frac{1}{2}\epsilon_0 c n E_0^2$ gegeben.
c. Was geschieht, wenn der Einfallswinkel um $15°$ auf $\alpha = 45°$ erhöht wird?