

**Aufgabe 6: (1,5 + 1 + 1,5 = 4 Punkte)**

- a) Zeigen Sie, dass zwischen der Phasengeschwindigkeit  $v_{ph} = \omega/k$  und der Gruppengeschwindigkeit  $v_g = d\omega/dk$  einer elektromagnetischen Welle folgender Zusammenhang besteht:

$$v_g(\lambda) = v_{ph}(\lambda) - \lambda \frac{dv_{ph}(\lambda)}{d\lambda}$$

- b) Folgern Sie aus a), ob bei normaler Dispersion die Gruppengeschwindigkeit kleiner oder größer als die Phasengeschwindigkeit ist!
- c) Im Röntgenbereich ist die Brechzahl für elektromagnetische Wellen etwas kleiner als 1:

$$n \approx 1 - \frac{a^2}{\omega^2} \quad \text{mit} \quad \frac{a^2}{\omega^2} \ll 1.$$

Zeigen Sie, dass - obwohl die Phasengeschwindigkeit  $v_{ph}$  größer als die Lichtgeschwindigkeit  $c$  ist - die Gruppengeschwindigkeit  $v_g$  kleiner als  $c$  bleibt!

**Aufgabe 7: (3 Punkte)**

Ein Taucher, der aus der Tiefe von  $h = 10$  m unter der Wasseroberfläche nach oben schaut, sieht über sich einen kreisförmigen Bereich, durch den er nach „außen“ blicken kann. Der Brechungsindex von Wasser ist  $n_W = 1,33$ .

- a) Unter welchem Winkel  $\varphi_S$  gegen das Lot auf die Wasseroberfläche sieht der Taucher die Sonne, wenn ein Beobachter außerhalb des Wassers sie unter  $45^\circ$  beobachtet (Skizze)?
- b) Unter welchem Winkel  $\varphi_{\max}$  sieht der Taucher die Sonne am Abend unter gehen?
- c) Wie groß ist der Radius,  $r$ , seines Blickfeldes (des Kreises) nach außen? Was sieht der Taucher außerhalb des Kreises?

**Aufgabe 8: (3 Punkte)**

Zur Reflexionsverminderung bringt man z.B. auf Brillenglas eine dünne Schicht eines Materials mit geringerem Brechungsindex auf. Die Schichtdicke wird dabei so bemessen, dass die an Vorder- und Rückseite der Vergütungsschicht reflektierten Strahlen destruktiv interferieren –am besten bei gleicher Amplitude. Rechnen Sie für senkrechten Einfall!

- a) Welcher Anteil der auftretenden Amplitude ( $r$ ) bzw. der Intensität des Lichts ( $R$ ) wird von Glas reflektiert ( $n_1 = 1,6$ ) bzw. transmittiert ( $t$ ,  $T$ )?
- b) Welchen Brechungsindex  $n_v$  muss eine dünne Vergütungsschicht haben, damit die Bedingung gleicher Amplituden erfüllt ist? Vernachlässigen Sie die Schwächung der eindringenden (und austretenden) Welle um den an der Vorderseite reflektierten Anteil sowie Vielstrahlinterferenz.

**Aufgabe 9: (3 Punkte)**

Bestimmen Sie den Erwartungswert, d.h. den Mittelwert, der Höhe  $h$  eines Luftmoleküls der Masse  $m$  im Schwerfeld der Erde. Verwenden Sie hierbei den Boltzmann-Faktor.

**Aufgabe 10: (3 Punkte)**

Luft von Atmosphärendruck wird in einem Kühlschrank, der hermetisch schließt, von  $27^\circ\text{C}$  auf  $0^\circ\text{C}$  abgekühlt. Die Tür des Kühlschranks ist 1 m hoch und 0,5 m breit. Der Türgriff befindet sich 5 cm vom Rand entfernt. Mit welcher Kraft muss man ziehen, um die Tür zu öffnen?  
Hinweis: Nehmen Sie Luft als ideales Gas an.