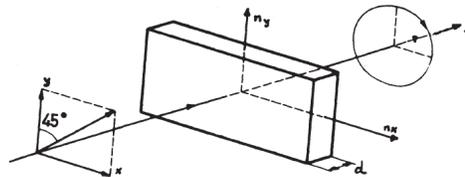


Übungen zu Integrierter Kurs III (Experimentaltteil)

Blatt 09

Aufgabe 22: Wellenplättchen (Optik) (mündlich, 1 Kreuzchen)

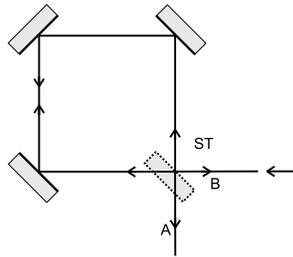
In manchen Kristallen, z.B. Kaliumphosphat, ist der Brechungsindex abhängig von der Ausbreitungsrichtung und der Polarisation der elektromagnetischen Welle. In der Skizze wird ein Kristallplättchen der Dicke d betrachtet, dessen Oberfläche senkrecht zur z -Achse ausgerichtet ist. Das Kristallplättchen ist optisch einachsig doppelbrechend, d.h. für den Brechungsindex gilt $1.5095 = n_x \neq n_y = n_z = 1.4684$ für eine Wellenlänge des einfallenden Lichts von $\lambda = 589$ nm.



Zunächst wird eine einfallende, monochromatische, elektromagnetische Welle dieser Wellenlänge betrachtet, welche sich in z -Richtung ausbreitet. Die Welle ist linear polarisiert wobei die Polarisationsrichtung um 45° gegenüber der x - bzw. y -Achse gedreht ist.

- Beschreiben Sie mit eigenen Worten das Phänomen der Doppelbrechung. Was ist die notwendige Bedingung an den kristallinen Aufbau für das Auftreten der Doppelbrechung?
- Wie dick muss das Plättchen sein (Minimalwert), damit die einfallende Welle hinter dem Plättchen zirkular polarisiert ist?
- Bei welcher kleinsten Dicke d des Plättchens wird sowohl linear polarisiertes Licht der Wellenlänge $\lambda_1 = 700$ nm als auch solches der Wellenlänge $\lambda_2 = 500$ nm zirkular polarisiert? Bei beiden Wellenlängen ist die Polarisationsrichtung vor dem Plättchen um 45° gegen die x - bzw. y -Achse gedreht. Vernachlässigen Sie die Dispersion des Brechungsindex.
- Beschreiben Sie die Änderung des Polarisationszustands des durch das Plättchen aus Aufgabe a) transmittierten Lichts, wenn sich dessen Wellenlänge verändert?
- Nun betrachten wir ein sogenanntes $\lambda/2$ -Plättchen, bei dem der Phasenunterschied der beiden orthogonalen Polarisationsrichtungen π , also 180° beträgt. Die Polarisationsrichtung der einfallenden Welle schließt mit der y -Achse den Winkel α ein. Um welchen Winkel ist die Polarisationsrichtung der transmittierten Welle gedreht? Wie ändert sich dieser Winkel mit der Wellenlänge des Lichts?
- Zusatzaufgabe** Nutzen Sie dieses Wissen! Gehen Sie über Weihnachten ins Kino und finden Sie heraus, wie die 3D-Brillen funktionieren.

Aufgabe 23: Kreisel-Interferometer (Optik + Relativitätstheorie) (schriftlich, 7 Punkte)



- In der Abbildung wird der Aufbau eines sogenannten Kreisel- bzw. Sagnac-Interferometers gezeigt. Das einfallende Licht wird an einem 50:50-Strahlteiler (ST) aufgespalten. Die beiden interferierenden Strahlen breiten sich entlang identischer Wege aus. Welche Art der Interferenz (konstruktiv oder destruktiv) beobachtet man am Ausgang A bzw. B?
- Wie ändert sich die detektierte Intensität, wenn ein Phasenunterschied $\Delta\phi$ zwischen den gegenläufigen Wellen (im und gegen Uhrzeigersinn) auftritt?
- Dieses Interferometer kann zur Messung von Rotationsgeschwindigkeiten verwendet werden. Hierzu montiert man die obige Spiegelanordnung zusammen mit Lichtquelle und Detektor in einer frei drehbaren Ebene. Zeigen Sie, dass sich solch ein Phasenunterschied von

$$\Delta\phi = \frac{8\pi F}{\lambda c} \Omega$$

ergibt, wenn dieses System mit der Winkelgeschwindigkeit Ω (langsam, also $\Omega r \ll c$ mit Abstand r der Komponenten zur Drehachse) rotiert. Dabei bezeichnet F die vom Lichtweg eingeschlossene Fläche senkrecht zur Drehachse, λ die Wellenlänge des Lichts und c die Lichtgeschwindigkeit im Vakuum.

- In modernen Kreisel-Interferometern ersetzt man die Spiegelanordnung durch einen Glasfaserring. Wie lang muss der Lichtwellenleiter mindestens sein, um bei einer am Ausgang B minimal detektierbaren relativen Intensitätsänderung von $\varepsilon = \frac{I(0) - I(\Delta\phi)}{I(0)} = 10^{-7}$, einem Radius des Rings von $R = 0.1\text{m}$ und einer Wellenlänge von 1000nm die Erdrotation messen zu können? Nehmen Sie ohne Beweis an, dass $\Delta\phi$ auch in dispersiven Medien nicht vom Brechungsindex abhängt.
- Die Phasendifferenz $\Delta\phi$ wird auch vom Winkel zwischen Drehachse und Flächennormale des Faserrings beeinflusst. Erläutern Sie diesen Zusammenhang und überlegen Sie sich, wie man ihn zur Herstellung eines präzisen Navigationsinstrumentes einsetzen könnte.

Aufgabe 24: Myonen-Zerfall (Relativitäts-Theorie) (schriftlich, 3 Punkte)

In einer Höhe von etwa $h = 30\text{ km}$ über der Erdoberfläche werden Myonen (leichte Elementarteilchen mit etwa 200 mal mehr Masse als Elektronen) durch Wechselwirkung kosmischer Strahlung mit der Atmosphäre erzeugt, und bewegen sich dann mit nahezu Lichtgeschwindigkeit auf die Erdoberfläche zu. Myonen haben in ihrem Ruhesystem eine mittlere Lebensdauer $\tau_\mu = 2 \cdot 10^{-6}\text{ s}$.

- Berechnen Sie die Strecke, die die Myonen ungefähr zurücklegen, während im Ruhesystem der Erde die Zeitspanne $\Delta t = \tau_\mu$ verstreicht.
- Wegen der Zeitdilatation ist die mittlere Lebensdauer der Myonen im Ruhesystem der Erde größer als in ihrem eigenen Ruhesystem. Berechnen Sie, wie groß die relative Abweichung $\varepsilon = (c - v)/c$ der Geschwindigkeit der Myonen von der Lichtgeschwindigkeit maximal sein darf, damit die Myonen innerhalb ihrer mittleren Lebensdauer die Erdoberfläche erreichen.