

Klausur zur Physik III (Wellen und Quanten)

1 Fragen zum Aufwärmen:

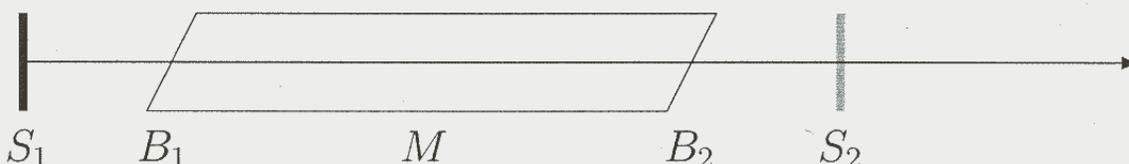
1. Formulieren Sie das Fermatsche Prinzip.
2. Welche Effekte lassen sich mit dem Fermatschen Prinzip erklären?
 - (a) Brewsterwinkel
 - (b) Fata Morgana
 - (c) Abendrot
 - (d) Snelliussche Brechungsgesetz
3. Welchen Grenzfall stellt die geometrische Optik dar?
4. Was ist der Poissonsche Fleck?

2 Abbildungseigenschaften einer Linse

- a) Man kann auf zwei Arten eine Sammellinse herstellen, die durch Kugelflächen der Radien $R_1 = 10\text{cm}$ und $R_2 = 15\text{cm}$ begrenzt wird. Skizzieren Sie die Möglichkeiten.
Man berechne die Brennweite der beiden Glaslinsen für rotes Licht (770 nm , Brechungsindex $n_r = 1,51$) und für violettes Licht (430 nm , Brechungsindex $n_v = 1,53$), wenn die beiden Grenzflächen nahe beieinander liegen.
- b) Wo und in welcher Größe bildet die Bikonvexlinse eine zur Linsenachse senkrechte, rot leuchtende Kreisscheibe von 1cm Durchmesser ab, wenn diese i) 15cm ii) 5cm von der Linse entfernt ist? Zeichnen Sie den Strahlengang!
- c) Wie verändert sich das Bild auf dem festen Bildschirm in b) i) wenn die Scheibe weiß leuchtet? Wie breit ist der Rand? Zeichnen Sie in die Skizze in b) auch den violetten Strahlengang ein!

3 Laser als Lichtquelle in optischer Apparatur

[LA-Zwischenprüfung Frühjahr 1987] Ein Laser, bestehend aus dem Lasermedium M , dem Spiegel S_1 , dem teildurchlässigen Spiegel S_2 und den beiden Brewster-Fenstern B_1 und B_2 , emittiert Licht der Wellenlänge $\lambda = 633\text{nm}$.



- a) Wie und in welcher Richtung ist das austretende Licht polarisiert? Machen Sie eine Skizze.

- b) Wie groß ist der Brechungsindex des Fenstermaterials, wenn die Normale auf die Fenster um 56° gegen den Laserstrahl geneigt ist?
- c) Die Divergenz des Laserstrahls ist durch die Austrittsöffnung begrenzt. Wie groß ist auf diese Weise die beugungsbegrenzte Divergenz (Winkel zwischen Nullstellen des Beugungsbildes im Fernfeld) bei einer Austrittsöffnung von $d = 1\text{mm}$? Skizzieren Sie das Beugungsbild. Wie groß ist der Durchmesser des Laserstrahls in 100 m Entfernung?

Hinweis: Die Intensitätsverteilung einer kreisförmigen Lochblende mit Durchmesser d wird beschrieben durch

$$I(\gamma) = \left(\frac{2J_1\left(\frac{\pi d}{\lambda} \sin \gamma\right)}{\frac{\pi d}{\lambda} \sin \gamma} \right)^2$$

x	$I(x)$	Typ
0	1	max
1.22π	0	min
1.635π	0.0175	max
2.233π	0	min

(γ der Winkel zur optischen Achse, J_1 eine Besselfunktion). Die ersten Nullstellen und Maxima der Intensitätsfunktion $I(x)$ sind nebenstehend tabelliert.

- d) Ein Laserstrahl mit 1mrad Divergenz soll mit Hilfe eines astronomischen Fernrohrs mit zwei Linsen von 10cm bzw. 0,5cm Brennweite aufgeweitet werden.
- Machen Sie eine Zeichnung.
 - Wie groß ist die Divergenz beim Austritt aus dem Fernrohr?
Hinweis: Eine von mehreren Möglichkeiten das auszurechnen ist die Benutzung des Matrixformalismus. Dabei wäre die Brechungsmatrix je Linse $B_i = \begin{pmatrix} 1 & -\frac{1}{f_i} \\ 0 & 1 \end{pmatrix}$ und die Transfermatrix für die Zwischenstrecke D ist von der Form $T = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ D/n & 1 \end{pmatrix}$.
 - Wie groß ist der Bündeldurchmesser nach dem Fernrohr, wenn er vor dem Fernrohr 1 mm beträgt?
 - Wie groß ist der Durchmesser des Laserstrahls in 100 m Entfernung?

Klausur zur Physik III (Wellen und Quanten)

1 Der photoelektrische Effekt

Licht der Wellenlänge 300nm fällt auf das Metall Kalium, und die emittierten ^{Elektronen} ~~Photonen~~ haben eine maximale kinetische Energie von 2,03eV.

- Geben Sie (allgemein) die Energiebilanz im photoelektrischen Effekt an.
- Erklären Sie anhand eines Graphen in dem Sie die Bremsspannung gegen die eingestrahlte Frequenz auftragen was bei einer Messung des Photoelektrischen Effekts beobachtet wird. Welche Größen lassen sich aus dem Graphen ablesen?
- Wie hoch ist die Energie eines auftreffenden Photons?
- Wie groß ist die Ablösearbeit von Kalium?
- Wie hoch ist die maximale kinetische Energie der Elektronen, wenn das einfallende Licht eine Wellenlänge von 430 nm hat?
- Wie groß ist die Grenzwellenlänge für den photoelektrischen Effekt bei Kalium?

2 Polarisation

Licht aus einer normalen Wolframdrahtglühlampe falle mit der Flussdichte (Intensität/Fläche) 300 W/m^2 auf einen linearen Polarisator.

- Wie groß ist die Flussdichte der Strahlung beim Austritt aus dem Polarisator?
- Hinter dem ersten linearen Polarisator seien N weitere lineare Polarisatoren hintereinander angeordnet, deren Transmissionsachsen jeweils um $90^\circ/N$ gedreht ist. Wie groß ist die Flussdichte nach dieser Anordnung? Geben Sie Zahlenwerte für die Transmission der Anordnung für $N=1$, $N=10$, $N=100$ und $N=1000$ an.
- Was erhält man für $N \rightarrow \infty$? Hinweis: Für kleine a gilt $\ln(1+a) \approx a + \mathcal{O}(a^2)$.

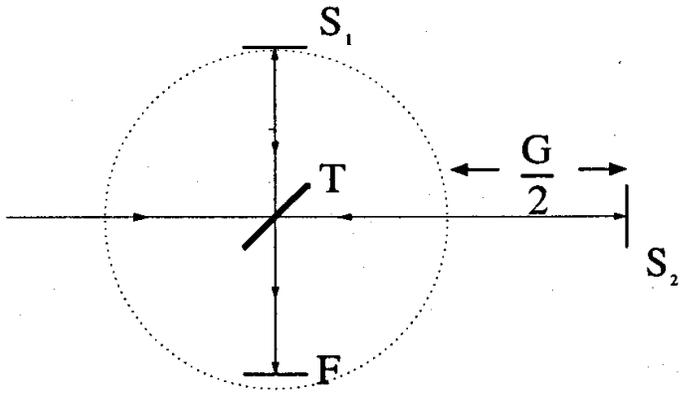
3 Dünne Schichten

- Ein von Luft umgebender Seifenfilm hat einen Brechungsindex von 1,34. Ein Bereich der Schicht erscheint im senkrecht einfallenden Licht hellrot ($\lambda = 633\text{nm}$). Wie dick ist die Schicht dort mindestens?
- Eine Kameralinse aus Glas mit einem Brechungsindex $n=1,55$ soll mit Kryolith ($n=1,30$) beschichtet werden, um die Reflexion von senkrecht einfallendem grünen Licht ($\lambda=500\text{nm}$) zu mindern. Wie dick sollte die Schicht sein?

4 Fourier-Spektroskopie

Das Prinzip der Fourier-Spektroskopie lässt sich in vereinfachter Weise an Hand eines Michelson-Interferometers erläutern.

Monochromatisches Licht, das sich durch eine Ebene Welle in einer Dimension $E(t, x) = E_0 e^{i(kx - \omega t)}$ darstellen lässt, falle auf eine Teilerplatte T, die die Intensität zu gleichen Teilen auf die Arme des Michelson Interferometers aufteile.



- a) Welche Beobachtung erwartet man qualitativ in der Beobachtungsebene F? Begründung!
- b) Zeigen Sie, dass die Intensität $I(G)$ in der Beobachtungsebene F gegeben ist durch $I(G) = I_0[1 + \cos(kG)]$ und bestimmen Sie I_0 durch Vergleich der einfallenden Intensität mit der Intensität bei F für $G = 0$.
- c) Das einfallende monochromatische Licht werde nun durch Licht mit einer kontinuierlichen Frequenzverteilung ersetzt. Die Intensität in der Beobachtungsebene ist dann gegeben durch

$$I(G) = \frac{1}{c} \int_0^\infty d\omega I(\omega) [1 + \cos(\frac{\omega}{c}G)] = \frac{1}{c} \int_0^\infty d\omega I(\omega) \cos(\frac{\omega}{c}G) + \tilde{I}_0.$$

Das Integral entspricht dabei der Fouriertransformierten von $I(\omega)$ und die Intensität als Funktion der Frequenz ist dann gegeben durch

$$I(\omega) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^\infty dG [I(G) - \tilde{I}_0] \cos(\frac{\omega}{c}G)$$

Eine als Funktion der Spiegelverschiebung gemessene Intensitätsverteilung lasse sich nun in guter Näherung durch eine Gaußverteilung

$$I(G) - \tilde{I}_0 \approx I_G e^{-(G/\gamma)^2}$$

anpassen.

Berechnen Sie aus dieser gemessenen Intensitätsverteilung das Frequenzspektrum $I(\omega)$ des einfallenden Lichts. Vergleichen Sie die Halbwertsbreiten $\Delta\omega$ und ΔG (definiert durch $I(\Delta\omega/2) = I(0)/e$ und $I(\Delta G/2) = I_G/e$)

Hinweis: Ersetzen Sie den cos im Integranden durch Exponentialfunktionen. In den entstehenden Termen lässt sich durch quadratische Ergänzung im Exponenten und nachfolgende Substitution das Integral $\int_{-\infty}^\infty du e^{-u^2} = \sqrt{\pi}$ abspalten.

Benötigte Konstanten: $h = 6.6260755 \cdot 10^{-34} \text{ Js} = 4.1356692 \cdot 10^{-15} \text{ eV s}$
 $c = 2.99792458 \cdot 10^8 \text{ m/s}$