

Übungen zu Integrierter Kurs III (Experimentaltteil)

Blatt 08

Aufgabe 19: Regenbogen (mündlich, 1 Kreuzchen)

Paralleles Sonnenlicht trifft auf ein kugelförmiges Wassertröpfchen mit Radius R wird in diesem einmal reflektiert.

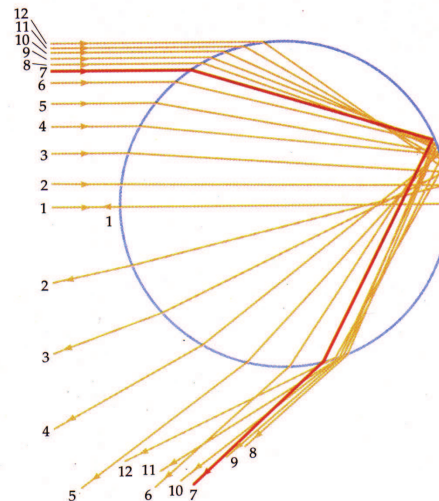
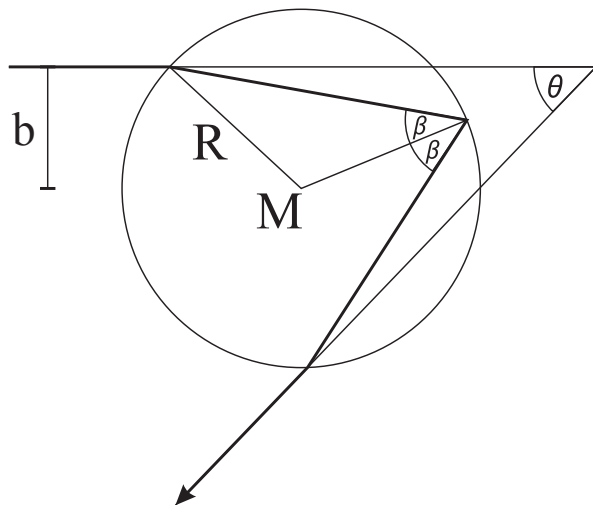


Abbildung 1: Strahlenverlauf und Parameter in einem kugelförmigen Wassertropfen.

- Berechnen Sie den Austrittswinkel θ in Abhängigkeit des Streuparameters b und tragen Sie θ gegen b/R auf (siehe Abbildung 1). Für welchen Winkel θ wird am meisten Licht reflektiert? Berechnen Sie diesen für rotes Licht ($n_{705nm} = 1,33$)!
- Wieso gibt es eine Farbausplattung und wie ist die Reihenfolge der Farben? Erklären Sie die Reihenfolge anhand einer Skizze! Wieso erscheint das Innere des Bogens heller als das Äußere?
- Unter guten Bedingungen können zusätzliche Regenbögen beobachtet werden. Wie entstehen diese? Wo befindet sich der Mittelpunkt der Kreise, die durch die Regenbögen beschrieben werden?

Aufgabe 20: Fresnelsche Zonenplatte (mündlich, 1 Kreuzchen)

Die linke Abbildung zeigt eine besondere Blendenfunktion, die sogenannte Fresnelsche Zonenplatte bzw. Zonenlinse. Licht das senkrecht auf die Platte einfällt kann durch die schwarzen Bereiche nicht transmittiert werden.

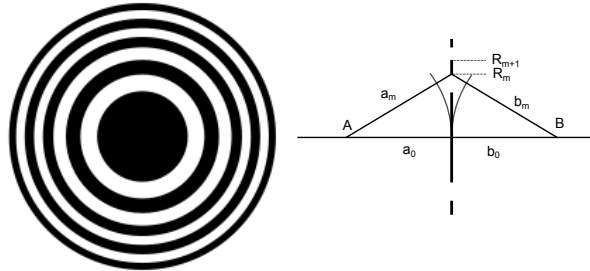


Abbildung 2: Zonenplatte bis $m = 9$ (links, Draufsicht) und ihre Parameter (rechts, Seitenansicht).

- Erklären Sie wie es mit einer solchen Platte möglich ist den Punkt A an den Punkt B abzubilden.
- Über den Ansatz für konstruktive Interferenz am Bildpunkt, eben einfallende Wellen und eine Näherung 2. Ordnung des Pythagoras kann man den Fokuspunkt bei $f_1 = \frac{R_m^2}{m\lambda}$ herleiten (nicht verlangt). Daraus kann man auch die Radien der Ringe bestimmen. Wo befinden sich weitere Fokuspunkte und wie entstehen diese?
- Wofür werden Fresnelsche Zonenlinsen eingesetzt? Was sind die Nachteile?
- Den Nachteil der mehrfachen Fokii kann man kompensieren indem man keine binäre Zonenplatte verwendet sondern eine mit sinusförmigem Kontrastwechsel. Diese Blendenfunktion ähnelt stark dem bekannten Beugungsbild der Kreisblende. Dennoch besteht ein Unterschied. Warum?

Aufgabe 21: Fabry-Pérot Interferometer (Etalon) (schriftlich, 10 Punkte)

Ein Fabry-Pérot-Interferometer besteht aus zwei exakt parallel zueinander stehenden reflektierenden Grenzschichten. Trifft ein Lichtstrahl unter dem Winkel α auf das Interferometer, wird an den Grenzflächen jeweils ein Teil des Strahls reflektiert und ein Teil transmittiert, sodass es zu Vielfachreflexionen zwischen den Glasplatten kommt. Die Gesamtreflexion setzt sich aus der Überlagerung aller reflektierter Teilstrahlen zusammen (siehe Abbildung).

Ein solches Interferometer kann zum Beispiel durch Glasplatten (Brechungsindex $n_1 = n_3 > n_2$), die einen Luftspalt (Brechungsindex n_2) der Dicke d einschließen realisiert werden oder aber aus einem planparallel geschliffenen Glasplättchen (Brechungsindex n_2) in Luft (Brechungsindex $n_1 = n_3 < n_2$) bestehen (letztere kann dann zur Lummer-Gehrcke-Platte umfunktioniert werden).

- Berechnen Sie den durch die optische Wegdifferenz verursachten Phasenunterschied $\delta(k_z, d, n_1, n_2, \beta)$ zweier benachbarter Teilstrahlen in Abhängigkeit der z -Komponente des Wellenvektors k_z . Unter welcher Bedingung tritt eine destruktive Interferenz der *transmittierten* Teilstrahlen auf? Unter welcher Bedingung tritt eine destruktive Interferenz der *reflektierten* Teilstrahlen auf?
Hinweis: Beachten Sie den Phasensprung der bei Reflexion am optisch dünnen Medium auftritt!

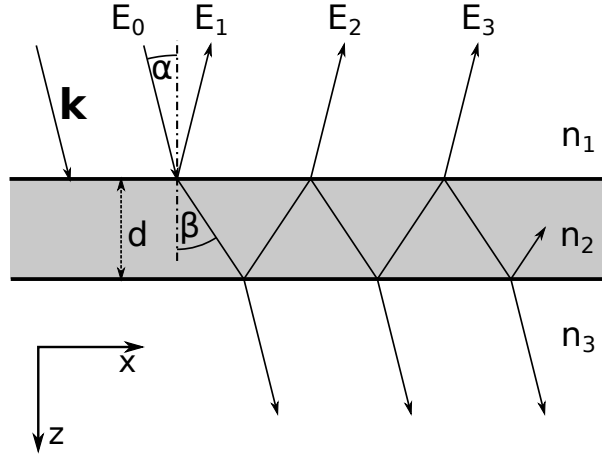


Abbildung 3: Strahlengang im Etalon. Eine ebene, monochromatische Welle mit Wellenvektor \mathbf{k} ($|\mathbf{k}| = k = \frac{2\pi}{\lambda}$) fällt unter dem Winkel α großflächig auf zwei planparallelen Grenzschichten mit Abstand d .

- b) Leiten Sie für einen beliebigen Einfallswinkel β den allgemeinen Gesamtreflexionskoeffizienten

$$\rho = \frac{r_{12} + r_{23}e^{i\delta}}{1 - r_{21}r_{23}e^{i\delta}} \quad (1)$$

her, indem Sie die Summe aller Amplituden ausschreiben und ausnutzen, dass sich der Ausdruck mit Hilfe einer geometrischen Reihe vereinfachen lässt. Dabei sind r_{12} , r_{21} und r_{23} die Fresnel-Reflexionskoeffizienten für eine Einfachreflexion an der jeweiligen Oberfläche (inklusive Winkelabhängigkeit und Vorzeichen bzw. ggf. Phase). Absorption sei zu vernachlässigen.

Hinweis: Argumentieren Sie das für die Reflexions- und Transmissionskoeffizienten $t_{12}t_{21} - r_{12}r_{21} = 1$ gilt um das Ergebnis zu vereinfachen.

- c) Leiten Sie aus ρ die Reflexion

$$R = |\rho|^2 = \frac{F \sin^2(\delta/2)}{1 + F \sin^2(\delta/2)} \quad (2)$$

und Transmission $T = 1 - R$ in Abhängigkeit von

$$\tilde{F} = \left(\frac{2}{\pi} F \right)^2 = \frac{4r^2}{(1 - r^2)^2} \quad (3)$$

mit der sogenannten Finesse $F = \frac{\pi|r|}{(1-r^2)}$ und $r^2 = |r_{12}|^2 = |r_{21}|^2 = |r_{23}|^2$.

Hinweis: Verwenden Sie das Additionstheorem $\cos x = 1 - 2 \sin^2 \frac{x}{2}$.

- d) Skizzieren bzw. plotten Sie die Reflexion R für senkrechten Lichteinfall in Abhängigkeit der Wellenlänge für $d = 10 \mu\text{m}$, $r^2 = 0,04$ (Fensterglas) und $500 \text{ nm} < \lambda < 550 \text{ nm}$. Welchen Einfluss hat der Abstand der beiden Platten auf das Reflexionsspektrum? Welchen Einfluss hat die Finesse?
- e) Schicken wir nun anstatt einer kontinuierlichen monochromatischen Welle einen kurzen Lichtimpuls ($\Delta t_{\text{FWHM}} \ll n_2 \cdot \frac{d}{c}$) auf das Fabry-Perot-Interferometer. Kommt es trotzdem noch konstruktiver bzw. destruktiver Interferenz oder ändert sich die Reflexion $R(\lambda)$? Begründen Sie!