
Nachklausur in Experimentalphysik 3

Prof. Dr. L. Fabbietti
Wintersemester 2019/20
22. Juni 2020

Zugelassene Hilfsmittel:

- 1 Doppelseitig handbeschriebenes DIN A4 Blatt
- 1 nichtprogrammierbarer Taschenrechner

Die Bearbeitungszeit beträgt 90 Minuten. Es müssen nicht alle Aufgaben vollständig gelöst sein, um die Note 1,0 zu erhalten.

Aufgabe A (10 Punkte)

- Kann eine bikonvexe Linse als Zerstreuungslinse verwendet werden? Wenn ja unter welchen Bedingungen / wenn nein warum?
- Beschreibe kurz die Funktionsweise eines Mikroskops.
- Was beschreibt die Translationsmatrix in der geometrischen Optik?
- Was versteht man unter chromatischer Aberration?
- Wie verhält sich der Abstand zwischen den Maxima des Interferenzmusters am Doppelspalt, wenn der Abstand der beiden Spalte zueinander vergrößert wird?
- Welche Beziehung hat die Fresnel-Beugung zur Fraunhofer-Beugung?
- Welchen Einfluss hat ein frequenzabhängiger Brechungsindex auf ein Wellenpaket, dass sich in einem solchen Medium ausbreitet?
- Wie funktioniert ein Polarisationsfilter?
- Was verursacht die Farbe eines Gegenstands?
- Wann ist der Strahlungsdruck größer? Bei Absorption oder Reflexion und warum?

Aufgabe 1 (9 Punkte)

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

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

- Folgern Sie aus (a), ob bei normaler Dispersion die Gruppengeschwindigkeit kleiner oder größer als die Phasengeschwindigkeit ist.

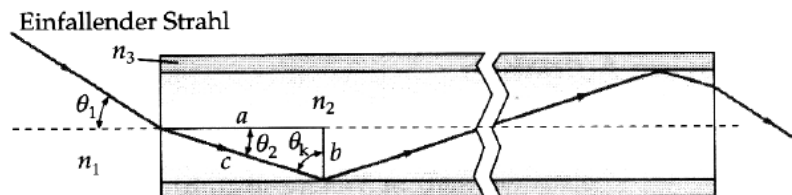
(c) Im Röntgenbereich ist die Brechzahl für elektromagnetische Wellen etwas kleiner als 1:

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

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

Aufgabe 2 (5 Punkte)

In einer Glasfaser breiten sich Lichtstrahlen über eine lange Strecke aus, wobei sie total reflektiert werden. Wie in der Abbildung gezeigt, besteht die Faser aus einem Kern mit der Brechzahl n_2 und dem Radius b . Der Kern ist umgeben von einem Mantel mit der Brechzahl $n_3 < n_2$. Die numerische Apertur der Faser ist definiert als $A_N \equiv \sin \theta_1$. Dabei ist θ_1 der Einfallswinkel eines Lichtstrahls an der Stirnfläche der Faser, der an der Grenzfläche zum Mantel unter dem kritischen Winkel der Totalreflexion reflektiert wird.

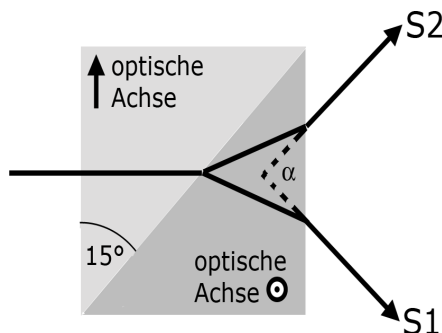


Zeigen Sie anhand der Abbildung, dass bei einem aus Luft ($n_1 = 1$) in die Glasfaser eintretenden Lichtstrahls für die numerische Apertur gilt:

$$A_N \equiv \sin \theta_1 = \sqrt{n_2^2 - n_3^2}$$

Aufgabe 3 (7 Punkte)

Zwei Prismen aus Kalkspat, die so geschnitten sind, dass die optische Achse einmal in der Zeichenebene, zum Anderen senkrecht zur Zeichenebene verläuft, werden zusammengeklebt. Die



Hauptbrechungsindizes für Kalkspat sind $n_o = 1,6584$ und $n_{ao} = 1,4864$. Der Winkel zwischen beiden Prismen beträgt $\gamma = 15^\circ$.

Ein unpolarisierter Lichtstrahl, trifft senkrecht zur optischen Achse auf das erste Prisma. Er spaltet beim Durchgang in zwei Lichtstrahlen S_1 und S_2 auf. Wie groß ist der Winkel α zwischen den beiden austretenden Lichtstrahlen und wie sind diese Strahlen polarisiert?

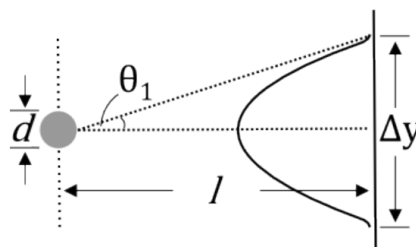
Aufgabe 4 (15 Punkte)

Ein einfaches Fernrohr besteht aus zwei dünnen bikonvexen Linsen (2. Brennpunkt des Objektivs = 1. Brennpunkt des Okulars) mit Brennweiten $f_{OB} = 100$ cm und $f_{OK} = 5$ cm. Mit diesem Fernrohr wird der Mond betrachtet, der im Objektiv unter einem Winkel von $\epsilon_{OB} = 0,009$ rad erscheint.

- Skizzieren Sie das Linsensystem und den Strahlengang mit mindestens zwei Strahlen und beschriften Sie die Zeichnung insbesondere auch die Ein- und Ausfallswinkel.
- Welchen Durchmesser hat das vom Objektiv entworfene Bild? Unter welchem Winkel erscheint das Endbild im Unendlichen? Welche Vergrößerung hat das Fernrohr?
- Das weltweit größte Linsenfernrohr (Refraktor) gehört zum Yerkes Observatorium der University of Chicago mit $1,02$ m Durchmesser und $19,5$ m Brennweite. Vergleichen Sie das Öffnungsverhältnis ($o = D/f_{OB}$) und die Vergrößerung des Fernrohrs (nehmen Sie ein Okular mit Brennweite $f_{OK} = 1,25$ cm an) mit dem $5,1$ m Spiegelteleskop auf dem Mount Palomar mit Brennweite $1,68$ m.
- Ein Teleskop hat für Beobachtungen von Objekten auf der Erde den Nachteil, dass es ein umgekehrtes Endbild erzeugt. Beim sogenannten Galilei-Fernrohr ist die Objektivlinse wie gewöhnlich eine Sammellinse, die Okularlinse allerdings eine Zerstreuungslinse. Das vom Objektiv entworfene Bild liegt hinter dem Okular an dessen Brennpunkt. Skizzieren Sie den Strahlengang und zeigen Sie daran, dass das Endbild aufrecht steht und im Unendlichen liegt.

Aufgabe 5 (4 Punkte)

Licht mit der Wellenlänge $632,8$ nm aus einem Helium-Neon-Laser trifft auf ein menschliches Haar, dessen Durchmesser $d = 60$ μ m beträgt. Das Haar ist $l = 5$ m von einem Schirm entfernt ist. Welche Breite des zentralen Beugungsmaximum Δy wird auf dem Schirm gemessen?

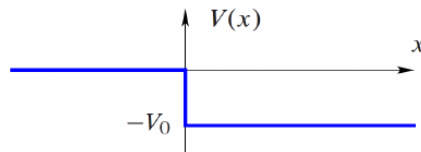


Aufgabe 6 (11 Punkte)

- (a) Ein Photon der Energie E_γ wird an einem freien Teilchen der Ruhemasse m_0 gestreut. Compton beobachtete 1921, dass für die Wellenlängenverschiebungen gestreuter Photonen ein einfacher Zusammenhang mit deren Streuwinkel θ besteht. Berechnen sie daraus die kinetische Energie des Teilchens, das unter dem Winkel ϕ bezüglich der Richtung des einlaufenden Photons gestreut wird! Zeigen Sie unter welchem Winkel ϕ im Laborsystem das Teilchen die maximale Energie erhält.
- (b) Welche Energie kann ein Photon der Wellenlänge $\lambda = 400\text{nm}$ auf ein freies Elektron übertragen?
- (c) In einem Comptonexperiment erhält ein Elektron die kinetische Energie $0,1\text{MeV}$ durch den Stoß mit einem Photon der Energie 500keV . Bestimmen Sie die Wellenlänge und den Winkel des gestreuten Photons, wenn das Elektron sich anfänglich in Ruhe befand.
- (d) Kann das Photon seine gesamte Energie dem freien Elektron übertragen? Begründen Sie anhand der Formel.

Aufgabe 7 (10 Punkte)

Ein Elektron der Energie $E > 0$ bewegt sich von links her auf eine in der Abbildung dargestellte Potentialstufe zu. Das Potential $V(x)$ ist gleich Null für $x < 0$ und $-V_0$ für $x > 0$.



- (a) Leiten sie Ausdrücke für die Reflexions- sowie Transmissionswahrscheinlichkeit des Elektrons an der Potentialstufe her. Lösen Sie hierzu die zeitunabhängige Schrödingergleichung für das gegebene Potential.
- (b) Nehmen Sie nun an, dass das Elektron eine Energie von 10 eV besitzt und die Stufe 80 eV tief ist. Berechnen Sie die Reflexions- sowie Transmissionswahrscheinlichkeit für diesen Fall.

Hinweise: Nehmen Sie für die Wellenfunktion links der Stufe $\psi_I = e^{ikx} + Re^{-ikx}$ als allgemeinen Ansatz an und für die Wellenfunktion rechts der Stufe $\psi_{II} = Te^{iqx}$. Die Reflexionswahrscheinlichkeit \mathcal{R} drückt somit über $\mathcal{R} = R^2$ aus.

Konstanten

Elektrische Feldkonstante:	$\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{CV}^{-1}\text{m}^{-1}$
Elementarladung:	$e = 1,60 \cdot 10^{-19} \text{C}$
Planck'sche Konstante:	$h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{Js} = 4,14 \cdot 10^{-15} \text{eVs}$
Lichtgeschwindigkeit:	$c = 3 \cdot 10^8 \text{ms}^{-1}$
Elektronenruhemasse:	$m_e = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{kg}$