

Übungen zur Experimentalphysik II

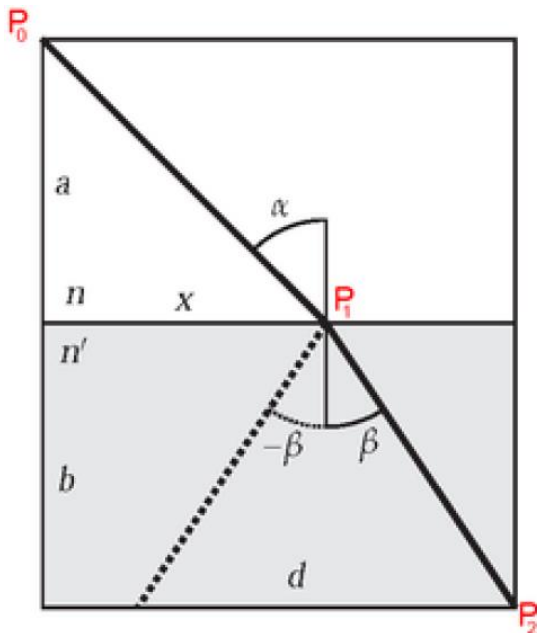
Serie 9

Abgabe am Montag / Dienstag den 9. / 10. Juli in der Übungsgruppe

AUFGABE 1 – Ebene elektromagnetische Wellen (5 Pkt.)

- a) Geben Sie die analytische Form einer linear polarisierten ebenen EM-Welle an, die sich (im Vakuum) in z-Richtung ausbreitet. (Gefragt ist nach x-, y- und z-Komponente des E-Feldvektors in Abhängigkeit von den Raumkoordinaten und der Zeit t.) (1 Pkt)
- b) Die Wellenlänge sei 500 nm und der Winkel zwischen Polarisationsrichtung und x-Richtung betrage 60° . Der Energietransport (bzw. Leistung je Flächeneinheit) betrage 200 W m^{-2} . Geben Sie auch die Frequenz f, Wellenvektor k sowie die Amplituden von E- und B-Feld explizit an. (2 Pkt)
- c) Betrachten Sie die Maxwell Gleichungen für das Vakuum (keine Ladungen und Ströme in Leitern). Zeigen Sie für ebene Wellen mit Hilfe der Divergenz-Terme, dass longitudinale E- und B-Felder die Maxwell-Gleichungen nicht erfüllen, es sich also um Transversalwellen handelt. (2 Pkt)

AUFGABE 2 – Fermatsches Prinzip => Snellius'sches Brechungsgesetz (3 Pkt.)



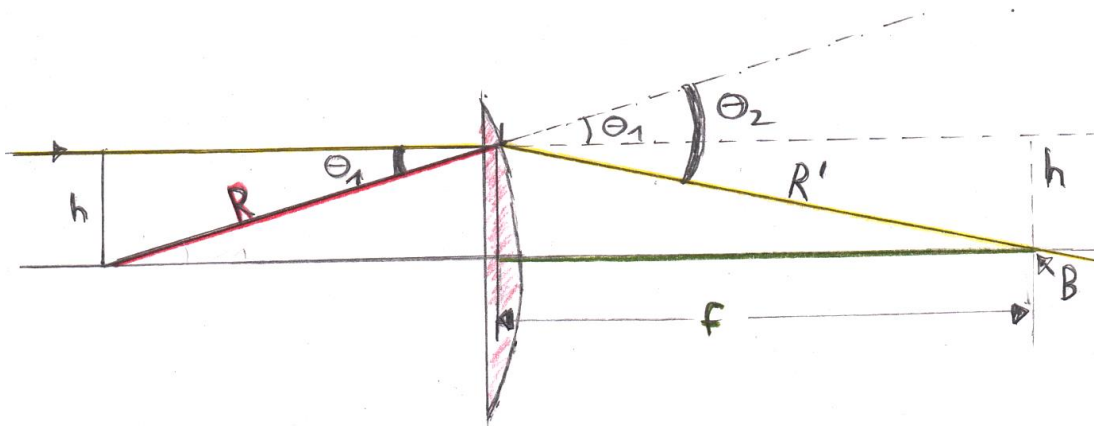
In der geometrischen Optik besagt das Fermatsche Prinzip, dass das Licht den *schnellsten* Weg wählt. Betrachten Sie einen Lichtstrahl, der von Punkt P_0 über den Punkt P_1 zum Punkt P_2 läuft und dabei die Grenzfläche zwischen zwei Medien unterschiedlicher Brechungsindizes (und damit unterschiedlicher Lichtgeschwindigkeiten) durchstößt, wie in der obigen Skizze gezeigt.

Zeigen Sie, dass der schnellste Weg der Weg ist, der das Snellius'sche Gesetz erfüllt. (3 Pkt)

Hinweis: Das Brechungsgesetz von Snellius wurde in der Vorlesung besprochen und über die Ausbreitung von Elementarwellen mit unterschiedlicher Lichtgeschwindigkeit in verschiedenen Medien erläutert. Hier kommt nun der alternative Ansatz von Fermat zum Zuge, der nicht in der Vorlesung besprochen wurde, aber natürlich zum selben Ergebnis führt. Falls die obige Erläuterung des Fermatschen Prinzips Fragen offenlässt, recherchieren Sie in Büchern oder im Internet.

AUFGABE 3 – Brennweite einer Linse, Abbildungsfehler (6 Pkt.)

Wir betrachten einen achsenparallelen Lichtstrahl der gemäß der Abbildung auf eine Plan-Konvex-Linse fällt. Die nichtplane Oberfläche der Konvexlinse sei kugelförmig mit dem Radius R (der hypothetischen Kugel); der Brechungsindex n des Linsenmaterials sei 1,65. Der Lichtstrahl wird gebrochen und durchläuft den Brennpunkt B .



a) Zeigen Sie, dass die Brennweite f (wie durch die Abbildung definiert) unabhängig von h ist, wenn gilt $h \ll R$ und somit:

$$\sin(h/R) \approx h/R; \quad \sin(nh/R) \approx nh/R; \quad \sin(h/R') \approx h/R'.$$

Hinweis: Die Lösung der Aufgabe erfordert, dass Sie eine Beziehung für die Brennweite herleiten (also $f = \dots$), wobei Sie die obigen Näherungsausdrücke für den Wert der jeweiligen Sinusfunktion verwenden können. (3 Pkt)

b) Diskutieren Sie (qualitativ) den Linsenfehler, der zu beobachten wäre, wenn R nicht groß gegenüber h ist? (1 Pkt)

c) Der Brechungsindex sei nun abhängig von der Frequenz der Lichtwelle im Vakuum (Dispersion). Es sei (für Silikat-Flintglas): $n_{400} = 1,62$ bei 400 nm, $n_{700} = 1,67$ bei 700 nm (für Silikat-Flintglas). Vergleichen Sie (quantitativ) die Brennweiten für 400 nm und 700 nm Licht? Diskutieren Sie (qualitativ) den Abbildungsfehler durch Dispersion bei Nutzung der Linse im Objektiv einer Fotokamera. (2 Pkt)

AUFGABE 4 – Interferenz am Beugungsgitter (6 Pkt.)

Transmissions- und Reflexionsgitter werden eingesetzt, um Spektren hochaufgelöst zu messen. Die spektrale Auflösung der Spektrometer hängt von der Zahl der Gitterlinien ab. Die Abhängigkeit der spektralen Auflösung (bezüglich Auflösung benachbarter Spektrallinien) von der Anzahl der Gitterlinien soll von Ihnen hergeleitet werden. Informieren Sie sich zu weiteren Details durch Recherche in Lehrbüchern oder im Internet.

a) Gegeben sei ein Transmissionsgitter mit N parallelen (transparenten) Gitterlinien in einem Abstand d voneinander. Paralleles Licht der Wellenlänge λ trifft auf das Gitter. In 1 m Entfernung von dem Gitter wird auf einem Schirm ein Interferenzmuster detektiert werden. Bestimmen Sie den Abstand zwischen dem ersten (axennahen) Beugungsmaximum und dem benachbarten Minimum. (Dieser Abstand soll hier als Maß für die spektrale Auflösung dienen.) (3 Pkt)

Anmerkung 1: Die Fokussierung der parallelen Lichtstrahlen hinter dem Gitter auf einen schmalen Strich (mit einer Konvexlinse) ist sinnvoll bzw. notwendig, da die Dimensionen des Gitters nicht unbedingt klein sein müssen. *Diese braucht aber bei Lösung der Aufgabe nicht explizit berücksichtigt werden.* Sie können einfach annehmen, dass die parallel das Gitter verlassend Lichtstrahlen auf einen Punkt bzw. Strich fokussiert werden.

Es gibt eine Reihe von Lösungswegen (siehe Gerthsen, Demtröder, oder andere Quellen); Sie haben hier die freie Wahl.

b) Recherchieren Sie im Internet nach der Geometrie eines mit einem Gitter (Englisch: *grating*) arbeitenden Spektrometers und skizzieren Sie den Strahlengang des Geräts. Warum werden zusätzlich zu dem Gitter auch Linsen benötigt? (3 Pkt)