

### Übung 3: Intensität und Interferenz

1. Licht überträgt nicht nur Energie, sondern übt auch eine Kraft auf eine bestrahlte Fläche aus, was zum sogenannten „Lichtdruck“ führt (Druck = Kraft pro Fläche).

*Herleitung:*

Das elektrische Feld der Lichtwelle übt eine Kraft  $F_E$  auf ein Elektron in dem Material aus:

$$F_E = e \cdot E, \quad e = \text{Elementarladung.}$$

Diese Kraft setzt das Elektron in Bewegung, bis es eine Driftgeschwindigkeit  $v$  erreicht, die proportional zur Kraft  $F_E$  ist:

$$e \cdot E = b \cdot v,$$

$b$  ist ein Dämpfungskoeffizient, der abhängig ist vom elektrischen Widerstand des Materials (vgl. freier Fall eines Körpers durch ein viskoses Medium, auch hier erreicht der Körper eine Endgeschwindigkeit).

Die Driftgeschwindigkeit  $v$  des Elektrons steht nun senkrecht zum  $B$ -Feld der einfallenden Lichtwelle. Dies führt zur Lorentzkraft  $F_z$ , die in Richtung des einfallenden Lichtes wirkt  $\rightarrow$  Lichtdruck!

$$F_z = e \cdot v \cdot B = \frac{e^2 \cdot E \cdot B}{b}.$$

Eine Kraft ist mit einer Änderung des Impulses verknüpft:

$$\text{Impulsübertrag } F_z = \frac{dp}{dt}. \quad (1)$$

Wieviel Energie  $W$  wird dabei der Lichtwelle entzogen?

Das  $B$ -Feld verrichtet keine Energie:  $\vec{F}_z \perp \vec{v} \propto d\vec{s}$ .

$$\Rightarrow \frac{dW}{dt} = F_E \cdot \frac{ds}{dt} = F_E \cdot v = (e \cdot E) \cdot \frac{e \cdot E}{b} = \frac{e^2}{b} \cdot E \cdot B \cdot c \quad (2) \quad (\text{mit } E = c \cdot B)$$

Vergleich von (1) mit (2) zeigt

$$\frac{dp}{dt} = \frac{1}{c} \cdot \frac{dW}{dt} \quad \text{oder}$$

$$\Delta p = \frac{1}{c} \cdot \Delta W.$$

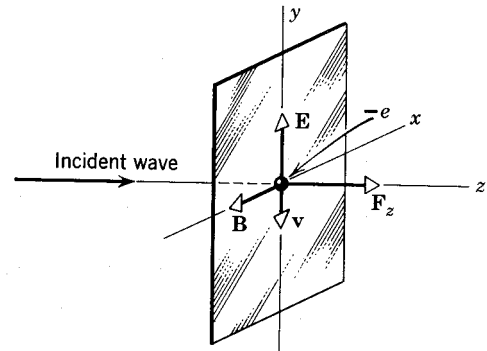
$\Delta p =$  Impulsänderung der bestrahlten Fläche,

$\Delta W =$  der Lichtwelle entzogene Energie,

$c =$  Lichtgeschwindigkeit.

*Aufgabe:* Zeigen Sie, daß sich bei vollständiger Absorption der Lichtdruck  $\wp$  ausdrücken läßt als

$$\wp = \frac{1}{c} \cdot I, \quad I = \text{einfallende Lichtintensität.}$$



2. Zeigen Sie, daß die Dimension von  $c \cdot \epsilon_0 \cdot \vec{E} \times \vec{B}$   $\frac{\text{Impuls}}{\text{Fläche} \cdot \text{Zeit}}$  beträgt, diejenige des Ausdrucks  $\frac{1}{\mu_0} \cdot \vec{E} \times \vec{B}$  jedoch  $\frac{\text{Energie}}{\text{Fläche} \cdot \text{Zeit}}$ . Mit der ersten Größe beschreibt man den „Impulsfluß“ mit der zweiten den „Energiefluß“ einer elektromagnetischen Welle.
3. Ein Laser habe eine Strahlungsleistung von 1 mW und einen Strahlquerschnitt von 4 mm<sup>2</sup>.
- Wie groß ist die Anzahl der Photonen, die pro Sekunde auf 1 mm<sup>2</sup> treffen, wenn der Laser bei 632,8 nm strahlt?
  - Vergleichen Sie die Intensität des Laserlichtes mit der des Sonnenlichtes ( $I_s = 1,36 \text{ kW/m}^2$ ).
- Hinweis:* Die Energie eines Photons (= Lichtquant) einer Lichtwelle der Frequenz  $\nu$  beträgt  $E_{\text{photon}} = h \cdot \nu$ .  $h$  ist das Planck'sche Wirkungsquantum:  $h = 6,6262 \cdot 10^{-34} \text{ Js}$ .
4. In einem Wassertank sind nebeneinander im Abstand von 12 cm zwei senkrechte Stifte befestigt, die sich simultan auf und ab bewegen und dadurch Wellen auf der Wasseroberfläche erzeugen. Die Ausbreitungsgeschwindigkeit der Wasserwellen beträgt 25 cm/s. Im Abstand von 2 m von den Quellen wird ein Interferenzmuster beobachtet, dessen Maxima 18 cm auseinander liegen. Mit welcher Frequenz schwingen die Stifte?
5. Der Gangunterschied zwischen zwei zur Interferenz kommenden Wellenzügen sei
- $g = 10 \cdot 10^{-7} \text{ m}$ ,
  - $g = 100 \cdot 10^{-7} \text{ m}$ .
- Welche Wellen aus dem Bereich  $\lambda = 400 \text{ nm}$  bis  $\lambda = 750 \text{ nm}$  verstärken sich dann gerade maximal? Wie groß sind jeweils die Ordnungszahlen der Interferenzen?
6. Im Beispiel „Entspiegelung von Gläsern“ hatten wir in der Vorlesung gezeigt, daß für eine 99,6 nm starke MgF<sub>2</sub>-Schicht senkrecht einfallendes Licht der Wellenlänge 550 nm gerade destruktiv interferiert (ausgelöscht wird). Um welchen Faktor wird bei dieser Beschichtung Licht der Wellenlängen
- 450 nm und
  - 650 nm
- abgeschwächt, wenn es bei senkrechtem Einfall reflektiert wird? Nehmen Sie an, daß die Feldstärken der an den beiden Grenzflächen reflektierten Strahlen jeweils die Hälfte der einfallenden Feldstärke betragen.