

12. Übungsblatt

Besprechung: 04.02.2013

1. Elektromagnetische Wellen

Ergänzen Sie folgende Aussagen physikalisch korrekt:

- (a) Die Frequenz von rotem Licht der Wellenlänge 680 nm ist .....
- (b) Blaues Licht hat eine ..... Frequenz als rotes Licht.
- (c) Ein Hertzscher Dipol strahlt am stärksten ..... zur Schwingungachse ab.
- (d) Die elektromagnetische Strahlung eines Hertzschen Dipols ist ..... polarisiert.
- (e) Mischt man gleichintensives Licht aller Farben des Regenbogenspektrums, so ergibt sich ..... Licht.
- (f) Überlagert man Licht einer magenta-, cyan- und gelbfarbenen Lampe, so empfindet das Auge dies als .....

(Lösungswerte: (a)  $4.41 \cdot 10^{14}$  Hz, (b) größer, (c) senkrecht, (d) linear, (e) weißes, (f) weiß. )

**Lösung:**

- (a) Es gilt:  $f = \frac{c}{\lambda} = \frac{3 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{680 \cdot 10^{-9} \text{m}} \approx 4.41 \cdot 10^{14}$  Hz
- (b) Antwort: größer. Blaues Licht hat eine kürzere Wellenlänge als rotes Licht, also auch eine höhere Frequenz.
- (c) Antwort: senkrecht. Die Abstrahlcharakteristik eines Hertzschen Dipols zeigt keine Abstrahlung parallel zur Schwingungsrichtung, dafür maximale Abstrahlung senkrecht dazu
- (d) Antwort: linear. Der  $\vec{E}$ -Feldvektor ist immer parallel zur Schwingungsrichtung, daher ist die elektromagnetische Welle parallel zur Schwingungsrichtung linear polarisiert.
- (e) Antwort: weißes. Dies entspricht physikalisch weißem Licht. Der subjektive Farbeindruck (weiß) entsteht, weil auch alle Farbrezeptoren gleich intensives Licht ihrer spezifischen Farbe erhalten, was im Gehirn zu dem Lichteindruck "weiß" verrechnet wird.
- (f) Antwort: weiß. Hier gilt die additive Farbmischung, die Magenta als Mischung aus Rot und Blau, Cyan als Mischung aus Blau und Grün, Gelb als Mischung aus Rot und Grün darstellt. Erneut werden die Farbrezeptoren in gleicher Intensität angeregt, diesmal allerdings "paarweise": Magenta regt die blau- und rot-empfindlichen, Cyan die blau- und grün-empfindlichen, Gelb die rot- und grün-empfindlichen Farbrezeptoren an. Das Gehirn verrechnet dies wiederum zum Sinneseindruck "weiß".

2. Brechung & Polarisation

Eine unpolarisierte Lichtwelle trifft unter dem Brewsterwinkel aus Luft auf eine Glasfläche. Dabei ändert/ändern sich die ..... der Welle. Ergänzen Sie die Lücke physikalisch korrekt mit der oder den folgenden Welleneigenschaften:

- (a) Ausbreitungsrichtung,
- (b) Frequenz,
- (c) Wellenlänge,
- (d) Ausbreitungsgeschwindigkeit,
- (e) Farbe,
- (f) Polarisation.

(Lösungswerte: (a), (c), (d), (f) )

**Lösung:**

Lichtbrechung führt zu einer Änderung der Ausbreitungsrichtung.

Die Lichtfrequenz verändert sich nicht, jedoch ändert sich die Wellenlänge, da sich die Ausbreitungsgeschwindigkeit mit dem Brechungsindex verändert.

Die Farbe des Lichtes hängt von der Frequenz ab, die sich nicht verändert. Daher bleibt die Farbe unverändert.

Eine unpolarisierte Lichtwelle besitzt alle Polarisationsrichtungen zugleich. Beim Einfall unter Brewsterwinkel, wird eine Polarisationsrichtung teilweise reflektiert, während andere Polarisationsrichtungen unter Brechung durchgelassen werden. Da im durchgelassenen Licht die reflektierte Polarisationsrichtung teilweise fehlt, ändert sich die Polarisation des durchgelassenen Lichtes: Es ist nun teilweise polarisiert.

### 3. Lupe

Welche Brennweite hat eine Lupe, die eine 4-fache Vergrößerung (= Vergrößerung des Sehwinkels) bewirkt?

(Lösungswert: 6.25 cm )

**Lösung:**

Die Vergrößerung  $V$  einer Lupe berechnet sich auf der deutlichen Sehweite  $s_0 = 25$  cm und der Brennweite  $f_L$  gemäß:  $V = \frac{s_0}{f_L}$

Umstellen nach  $f_L$  und einsetzen von  $s_0$  und  $V = 4$  ergibt:  $f_L = \frac{25 \text{ cm}}{4} \approx 6.25$  cm

### 4. Linsensysteme

Die Brennweite eines weitsichtigen Auges (als Sammellinse) betrage  $f_1 = 2$  cm. Um im Nahbereich scharf sehen zu können, ist jedoch eine Gesamtbrennweite von 1.72 cm erforderlich, die durch eine weitere Linse  $f_2$  im Abstand  $d \approx 0$  cm vor dem Auge erreicht werden muss. Von welchem Typ ist diese Linse und welche Brennweite (in cm) muss diese haben? In welcher Gegenstandsweite  $g$  läge ein mit diesem zusammengesetzten Linsensystem abgebildeter Gegenstand, der scharf auf die Netzhaut abgebildet wird (Bildweite  $b = 2.3$  cm)?

(Lösungswerte:  $f_2 \approx 12.29$  cm, Sammellinse,  $g \approx 6.83$  cm )

**Lösung:**

Für die Gesamtbrennweite  $f$  einer Kombination dünner Linsen der Brennweiten  $f_1$  und  $f_2$  im Abstand  $d$  gilt nach Vorlesung

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2} - \frac{d}{f_1 \cdot f_2}$$

In dieser Aufgabe ist  $d = 0$ , da die Linsen aneinander gesetzt werden sollen. Umstellung der Formel nach  $f_2$  bei  $d = 0$  ergibt

$$\frac{1}{f_2} = \frac{1}{f} - \frac{1}{f_1} \rightarrow f_2 = \frac{1}{\frac{1}{f} - \frac{1}{f_1}} = \frac{f \cdot f_1}{f_1 - f}$$

Einsetzen von  $f = 1.72$  cm und  $f_1 = 2$  cm ergibt:

$$f_2 = \frac{1.72 \text{ cm} \cdot 2 \text{ cm}}{2 \text{ cm} - 1.72 \text{ cm}} = \frac{3.44 \text{ cm}^2}{0.28 \text{ cm}} \approx 12.29 \text{ cm}$$

Die positive Brennweite besagt, dass die zweite Linse eine Sammellinse sein muss.

Aus der Abbé-Abbildungsgleichung  $\frac{1}{f} = \frac{1}{g} + \frac{1}{b}$  folgt die Bildweite gemäß

$$\frac{1}{g} = \frac{1}{f} - \frac{1}{b} \rightarrow g = \frac{f \cdot b}{b - f}$$

Einsetzen von  $b = 2.3$  cm und  $f = 1.72$  cm ergibt:

$$g = \frac{1.72 \text{ cm} \cdot 2.3 \text{ cm}}{2.3 \text{ cm} - 1.72 \text{ cm}} \approx \frac{3.96 \text{ cm}^2}{0.58 \text{ cm}} \approx 6.83 \text{ cm}$$

## 5. Mikroskop

Sie verwenden ein Mikroskop, das zunächst eine Vergrößerung  $V_1 = 120$  erzielt. Auf welchen Wert  $V_2$  ändert sich diese, wenn Sie Objektiv und Okular gegen Einsätze mit je doppelter Brennweite auswechseln?

(Lösungswert:  $V_2 = 30$ )

### Lösung:

Nach Vorlesung ist die Vergrößerung eines Mikroskops durch

$$V_M = \frac{\Delta \cdot s_0}{f_{\text{Obj}} \cdot f_{\text{Oku}}}$$

gegeben. Wenn  $f_{\text{Obj}} \rightarrow 2f_{\text{Obj}}$  und  $f_{\text{Oku}} \rightarrow 2f_{\text{Oku}}$  werden, dann folgt:

$$V_2 = \frac{\Delta \cdot s_0}{2f_{\text{Obj}} \cdot 2f_{\text{Oku}}} = \frac{1}{4} \frac{\Delta \cdot s_0}{f_{\text{Obj}} \cdot f_{\text{Oku}}} = \frac{1}{4} V_1 = \frac{1}{4} \cdot 120 = 30$$