

Übungsblatt 14

Ausgabe: 04.02.2025

Abgabe: 11.02.2025, vor 10:00 Uhr (Ilias)

Besprechung: 13.02.2025 (Tutorien)

- Die Anmeldung zur Vorleistung im Campus Management System ist vom 29.01. bis zum 12.02.2025 möglich.
- Informationen zur Vorleistung und zur ersten Klausur finden Sie auf dem Merkblatt *Ankuendigung_Klausur_1.pdf* in Ilias.

Aufgabe 1

3 Punkte

- a) Damit ein menschliches Auge eine grüne Spektrallinie ($\lambda = 500 \text{ nm}$) wahrnehmen kann, ist eine Lichtleistung von mindestens $4 \cdot 10^{-19} \text{ W}$ erforderlich. Wie viele Photonen müssen dazu pro Sekunde auf die Netzhaut treffen? **1 Punkt**
- b) Die spektrale Strahlungsintensität $I_\lambda(\lambda, T)$ der Sonne sei idealerweise durch das Plancksche Strahlungsgesetz bei der effektiven Sonnentemperatur $T = 5770 \text{ K}$ gegeben:

$$I_\lambda(\lambda, T) = \frac{2\pi hc^2}{\lambda^5} \frac{1}{e^{\frac{hc}{\lambda k_B T}} - 1}.$$

- i) Die Intensität des Sonnenlichts an der Erdoberfläche beträgt etwa $I_S = 1400 \text{ W/m}^2$, wenn alle Wellenlängen entsprechend des Planckschen Strahlungsgesetzes beitragen. Dieser Wert ergibt sich, wenn man die Oberflächenemission der Sonne in einen kleinen Winkelbereich entsprechend der großen Entfernung der Erde von der Sonne betrachtet.
Wie groß ist die Intensität des Sonnenlichts an der Erdoberfläche, die nur durch den Beitrag des grünen Lichtanteils ($\lambda = 475 - 525 \text{ nm}$) entsteht? Führen Sie zur Lösung entweder eine numerische oder eine graphische Integration von $I_\lambda(\lambda, T)$ über die benötigten Wellenlängenbereiche durch. **1 Punkt**
- ii) Wieviele Lichtquanten aus dem grünen Wellenlängenbereich der Sonnenstrahlung treffen in einer Sekunde auf Ihren Handrücken? **1 Punkt**

Aufgabe 2

4 Punkte

- a) An Objekten welcher Größe findet Rayleigh-Streuung von sichtbarem Licht statt? Nennen Sie ein Beispiel für ein solches Objekt. Wie hängt die Rayleigh-Streuung von der Wellenlänge ab? Welche Farben am Himmel kann man mit ihr erklären? Warum ist das Streulicht des Himmels teilweise polarisiert? Unter welchem Winkel ist es am stärksten polarisiert und warum? Ist Mondlicht ebenfalls polarisiert? **2,5 Punkte**
- b) An Objekten welcher Größe findet Mie-Streuung von sichtbarem Licht statt? Nennen Sie ein Beispiel für ein solches Objekt. Wie hängt die Mie-Streuung von der Wellenlänge ab? Welche Farben am Himmel kann man mit ihr erklären? **1,5 Punkte**

Aufgabe 3

Eine optische Welle (Frequenz $\omega = 3,5 \cdot 10^{15} \text{ s}^{-1}$, Wellenlänge $\lambda = 500 \text{ nm}$) wird durch einen nichtlinearen, negativ einachsigen doppelbrechenden Kristall geschickt.

- a) Stellen Sie eine Gleichung auf, welche die ordentliche Brechungszahl n_o , die außerordentliche Brechungszahl $n_a(\vartheta)$, die minimale außerordentliche Brechungszahl $n_a(\vartheta = 90^\circ)$ und den Winkel ϑ verbindet. Betrachten Sie dazu Abbildung 1 und benutzen Sie die Ellipsengleichung. **1 Punkt**
- b) Die Erregerwelle (Frequenz ω) und die Sekundärwellen (Frequenz 2ω) laufen in Richtung des Winkels ϑ_p mit gleicher Phasengeschwindigkeit, wenn die folgende Bedingung erfüllt ist: $n_a(\vartheta_p, 2\omega) = n_o(\omega)$. Dies entspricht einem Kreuzungspunkt der Kurven in Abbildung 2. In diesem Fall der richtigen Phasenanpassung können sich alle in beliebigen Ebenen erzeugten Oberwellen phasenrichtig addieren zu einer makroskopischen Welle. Ein Teil der ankommenden Welle wird in die in gleicher Richtung laufende Oberwelle umgewandelt (optische Frequenzverdopplung).

Benutzen Sie die oben genannte Bedingung sowie Ihre Gleichung aus a) und bestimmen Sie ϑ_p für die folgenden Zahlenwerte:

$$n_o(\omega) = 1,675; n_o(2\omega) = 1,757; n_a(\vartheta = 90^\circ, 2\omega) = 1,615.$$

½ Punkt

- c) Es liege eine kleine Fehljustierung $\vartheta = \vartheta_p + 1^\circ$ vor (d.h. der Winkel des eingestrahlteten Lichtes zur optischen Achse ist ϑ anstatt ϑ_p). Berechnen Sie aus Ihrer in a) hergeleiteten Gleichung die wirksame Brechungszahl $n_a(\vartheta, 2\omega)$. Benutzen Sie als Zahlenwert $\vartheta_p = 47,4^\circ$, falls Sie Aufgabe b) nicht lösen konnten. **½ Punkt**
- d) Durch die Fehljustierung kommt es aufgrund des veränderten $n_a(\vartheta, 2\omega)$ bei bestimmten Laufstrecken L_C des Lichts zwischen zwei Oszillatoren im Kristall zu destruktiver Interferenz der Oberwellen anstatt zur gewünschten konstruktiven Interferenz. Berechnen Sie L_C .

1 Punkt

3 Punkte

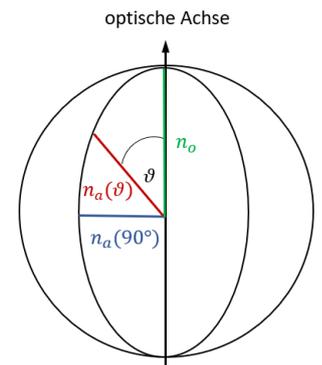


Abbildung 1

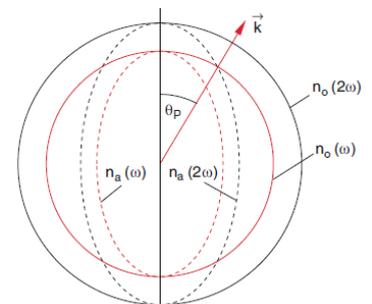


Abbildung 2 (Quelle: Demtröder Experimentalphysik 2)