



# Integrierter Kurs Physik III

## Exp.-Teil, Optik und Thermodynamik

### WS 10/11

Prof. G. Maret, Dr. P. Keim

#### Übungsblatt Nr. 1,

Ausgabedatum: 25.10.2010

Abgabedatum: ausnahmsweise Di.2.11.2010 bis 12 Uhr im Sekretariat P1008

Besprechung: 3.11.2010 in den Übungsgruppen

#### Aufgabe 1: Das elektromagnetische Spektrum

Das Spektrum der elektromagnetischen Wellen kann über viele Größenordnungen der Frequenz beobachtet werden. Skizzieren Sie das Spektrum, indem Sie neben der Frequenz auch die zugehörigen Wellenlängen und Photonenenergien angeben. Benennen Sie die Spektralbereiche und recherchieren Sie, wie die elektromagnetische Strahlung des jeweiligen Bereichs erzeugt bzw. nachgewiesen werden kann. Zu Letzterem bitte grob erklären, wie die Methoden funktionieren.

#### Aufgabe 2: Polarisation elektromagnetischer Wellen

Betrachten Sie die Überlagerung  $E(z, t) = E_1(z, t) + E_2(z, t)$  zweier ebener elektromagnetischer Wellen

$$\begin{aligned}\vec{E}_1 &= E_0 \vec{e}_x \cos(kz - \omega t) \\ \vec{E}_2 &= E_0 \vec{e}_y \cos(kz - \omega t + \Phi)\end{aligned}$$

mit gleicher Amplitude  $E_0$ , Ausbreitungsrichtung  $\vec{k} \parallel \vec{e}_z$  und beliebiger Phasenverschiebung  $\Phi$  zwischen beiden Wellen.

- a) Skizzieren Sie die Trajektorie des Feldvektors  $(E_x, E_y, 0)$  in der  $(x, y, 0)$ -Ebene für  $\Phi = 0, \pi/8, \pi/4$  und  $\pi/2$ . Um welchen Winkel  $\alpha$  ist die Hauptachse der resultierenden Ellipse gegen die  $x$ -Achse gedreht?

- b) Die Welle falle auf einen Polarisationsfilter, dessen Durchlassrichtung um den Winkel  $\theta$  gegen die  $x$ -Achse gedreht ist. Berechnen Sie das Feld  $\vec{E}^p(z, t) = (E_x^p, E_y^p, 0)$  der durch den Filter transmittierten Welle in Abhängigkeit von  $\theta$  und  $\Phi$ . Für welchen Winkel  $\theta_{min}$  und  $\theta_{max}$  wird die Intensität (zeitlicher Mittelwert des Amplitudenquadrates) der transmittierten Welle extremal?
- c) Für den Fall  $\Phi = \pi/2$  (zirkular polarisiertes Licht) falle die Welle auf zwei hintereinander liegende lineare Polarisationsfilter  $P_1$  und  $P_2$  mit  $\theta_1 = 0$  und  $\theta_2 = \pi/2$ . Geben Sie die Amplitude der durch die beiden Filter transmittierten Welle an. Berechnen Sie die Intensität der resultierenden Welle, wenn zusätzlich zwischen  $P_1$  und  $P_2$  noch ein linearer Polarisationsfilter  $P_3$  mit  $\theta_3 = \pi/4$  gestellt wird.

Aufgabe 3: Strahlungsdruck einer elektromagnetischen Welle  
(schriftlich abzugeben)

- a) Zeigen Sie anhand einer ebenen monochromatischen Welle, warum elektromagnetische Strahlung auf eine beliebige Testladung  $q$  stets eine positive Kraftkomponente in Propagationsrichtung der Welle ausübt.
- b) Licht der Frequenz  $\nu$  besteht aus Photonen mit der kinetischen Energie  $h\nu$  und dem Impuls  $h/\lambda$  (Photonenbild). Die Lichtintensität ist definiert als Energie pro Querschnittsfläche und Zeit, also  $I = Nc h\nu$  mit  $N$  = Anzahl der Photonen pro Volumen. Zeigen Sie im Photonenbild, dass sich der Druck elektromagnetischer Strahlung auf eine perfekt absorbierende Fläche durch  $P_S = I/c$  ausdrücken lässt, wobei  $I$  die Intensität und  $c$  die Vakuumlichtgeschwindigkeit ist.
- c) Schätzen Sie den Strahlungsdruck der Sonne auf der Erdoberfläche ab (Solarkonstante  $I_S = 1,4 \text{ kW/m}^2$ ). Geben Sie die Größenordnung für den zugehörigen mittleren Photonenfluss an. Vernachlässigen Sie hierzu Reflektions- und Absorptionsverluste in der Atmosphäre. Wie groß ist der Strahlungsdruck auf der Sonnenoberfläche? Welche Gesamtkraft übt der Strahlungsdruck der Sonne auf die Erde aus?
- d) In einem sogenannten *Radiometer* (auch *Lichtmühle*) wird ein Glasplättchen (Fläche  $A = 2 \text{ cm} \times 1 \text{ cm}$ , Dicke  $d = 0,1 \text{ mm}$  Dichte  $\rho = 2,2 \text{ g/cm}^3$ ), je zu Hälfte mit einem absorbierenden und einem reflektierendem Film beschichtet und in einem groben Vorvakuum entlang der Mittelachse nahezu reibungsfrei gelagert. Berechnen Sie das Drehmoment, das senkrecht eingestrahlt Sonnenlicht auf das Glasplättchen ausübt. Veranschaulichen Sie sich das Ergebnis, indem Sie die Zeit für die erste volle Umdrehung bestimmen. Nehmen Sie dazu an, dass das Plättchen anfangs in Ruhe und das Drehmoment zeitlich konstant ist. Warum dreht sich das Radiometer in der Praxis gegenläufig zum Drehmoment des Lichtes?

**7 Punkte**