
Klausur in Experimentalphysik 3

Prof. Dr. S. Schönert
Wintersemester 2016/17
20. Februar 2017

Zugelassene Hilfsmittel:

- 1 Doppelseitig handbeschriebenes DIN A4 Blatt
- 1 nichtprogrammierbarer Taschenrechner

Die Bearbeitungszeit beträgt 90 Minuten. Es müssen nicht alle Aufgaben vollständig gelöst sein, um die Note 1,0 zu erhalten.

Aufgabe 1 (8 Punkte)

Eine harmonische elektromagnetische Welle im Vakuum habe die Form

$$\vec{E}(x, t) = E_0 \cos(kx - \omega t) \vec{e}_y \quad (1)$$

- (a) Berechnen Sie die zugehörige magnetische Flussdichte \vec{B} .
- (b) Zeigen Sie, dass für die mittlere Intensität I der Welle gilt:

$$I = \frac{1}{2} c \epsilon_0 E_0^2 \quad (2)$$

Hinweis: $\cos^2(x) = \frac{1}{2} (1 + \cos(2x))$

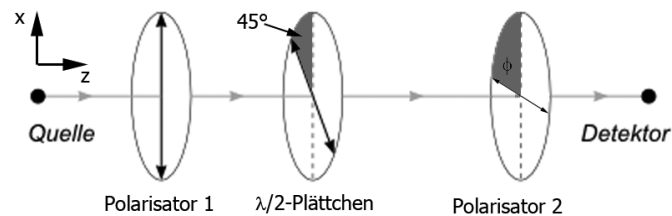
Aufgabe 2 (6 Punkte)

Sie bekommen von einem Linsenschleifer eine Bikonvexlinse. Die beiden Oberflächen sind mit einem Krümmungsradius von 30 cm geschliffen. Der Brechungsindex des Glases beträgt $n_{\text{Linse}} = 1,53$ und der für Luft ist in guter Näherung $n_{\text{Luft}} = 1,00$.

- (a) Berechnen Sie die Brennweite f der Linse und geben Sie dabei auch das richtige Vorzeichen für f an! Da der Linsenschleifer keine Angabe zur Dicke macht, nehmen Sie zunächst an, es handle sich um eine dünne Linse.
- (b) Welche Brennweite hat diese Linse unter Wasser ($n_{\text{Wasser}} = 1,33$)?
- (c) Die Brennweite der Linse wird nun experimentell gemessen. In Luft beträgt sie $f_{\text{exp}} = 0,30\text{m}$. Die Abweichung von Ihrer Rechnung in Aufgabe a) lässt Sie stutzig werden, ob die Annahme einer dünnen Linse korrekt war. Berechnen Sie aus der experimentell bestimmten Brennweite die Dicke der Linse.

Aufgabe 3 (12 Punkte)

Unpolarisiertes Licht fällt in z-Richtung auf einen Polarisator, welcher in x-Richtung polarisiertes Licht durchlässt. Dahinter befindet sich ein $\lambda/2$ -Plättchen, dessen optische Achse um 45° zur Durchlassrichtung des Polarisators gedreht ist. Hinter diese Anordnung wird nun ein weiterer Polarisator gestellt, dessen Durchlassrichtung um den Winkel φ gegen die x-Achse gedreht werden kann.



- (a) Welcher Bruchteil der einfallenden Intensität I_0 (in Abhängigkeit des Winkels φ) passiert die Anordnung? Tragen Sie die durchgelassene Intensität in Abhängigkeit vom Winkel φ in einem Diagramm auf.
- (b) Das $\lambda/2$ -Plättchen wird nun durch ein $\lambda/4$ -Plättchen mit gleicher Orientierung ersetzt. Zeigen Sie rechnerisch, dass die durchgelassene Intensität nun **unabhängig** vom Winkel φ des zweiten Polarisators ist.

Aufgabe 4 (9 Punkte)

- (a) Damit zwei Punktgegenstände noch voneinander getrennt wahrgenommen werden können müssen sie mindestens auf zwei benachbarte Zäpfchen auf der Netzhaut abgebildet werden. Die Zäpfchen sind in etwa $1\mu\text{m}$ von einander entfernt. Betrachten Sie das Auge als Lochkamera. Wie groß ist somit der kleinste Winkel, unter dem man zwei Punkte noch unterscheiden kann? Der Durchmesser des Auges betrage $f_{\text{Auge}} = 2,5\text{cm}$.
- (b) Berechnen Sie nun das beugungslimitierte Auflösungsvermögen des Auges für einen Pupillendurchmesser $D = 2\text{mm}$ und für $\lambda = 400\text{nm}$ und den zugehörigen gerade noch auflösbaren Abstand der Beugungsmaxima auf der Netzhaut. Die Brennweite des Auges beträgt $f = 2,5\text{cm}$. Vergleichen Sie diesen Wert mit dem Abstand der Zäpfchen auf der Netzhaut ($1 - 5\mu\text{m}$).
- (c) Pointillistische Gemälde (z.B. von Georges Seurat oder Paul Signac) bestehen aus Punkten reiner Farbe, deren Farben im Auge des Betrachters nicht mehr auflösbar sind (und deshalb mischen). Berechnen Sie den minimalen Abstand d zu einem Gemälde (Punktabstand $a = 2\text{mm}$), so dass sich **alle** sichtbaren Farben im Auge mischen.

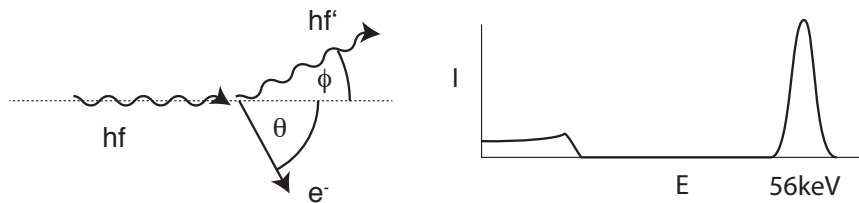
Aufgabe 5 (16 Punkte)

Ein dünnes Glasplättchen (Dicke $d = 1,00\mu\text{m}$, Brechzahl $n = 1,50$) an Luft (Brechzahl $n_L = 1,00$) wird mit weißem Licht unter dem Einfallswinkel α bestrahlt. Man sieht Interferenzerscheinungen im reflektierten Strahl.

- (a) Erstellen und beschriften Sie eine Zeichnung (groß genug!) und zeichnen Sie den optischen Weglängenunterschied der beiden reflektierten Strahlen ein.
- (b) Leiten Sie die Formel für den optischen Weglängenunterschied Δs in Abhängigkeit von d , n und α her.
- (c) Welche Wellenlänge(n) des sichtbaren Bereichs ($\lambda = 400\ldots 700\text{nm}$) haben im reflektierten Strahl ein Interferenzmaximum wenn unter einem Winkel von $\alpha = 75^\circ$ beobachtet wird?

Aufgabe 6 (12 Punkte)

- (a) Eine Röntgenröhre produziere Photonen mit der Energie $E_\gamma = 56\text{keV}$. Welcher Wellenlänge entspricht das?
- (b) Der Strahl treffe auf ein Kohlenstofftarget (dort auf quasi freie, ruhende Elektronen). Die gestreuten Photonen werden unter einem Winkel von $\phi = 85^\circ$ beobachtet. Welche Wellenlänge haben die gestreuten Photonen? Wird die Wellenlänge größer oder kleiner?
- (c) Wieviel Prozent seiner Anfangsenergie hat das gestreute Photon?
- (d) Berechnen sie die maximale Energie, die ein Comptonelektron bei Photonen mit der Energie $hf = 56\text{keV}$ aufweisen kann. Erklären sie schließlich das unten rechts abgebildete, schematische Spektrum eines Halbleiterszintillationszählers (Energie der von Photonen im Halbleiter ausgelösten Elektronen).



Aufgabe 7 (12 Punkte)

Ein unbedeckter Mensch befindet sich in einem $20,0^{\circ}\text{C}$ warmen Raum. Seine Körperfläche beträgt $1,50\text{ m}^2$ und die Haut hat eine Temperatur von $33,0^{\circ}\text{C}$. Wir nehmen an, dass sich die Haut und der Raum wie ein schwarzer Strahler verhält.

- (a) Wie groß ist die vom Menschen in dem Raum aufgenommene Strahlungsleistung?
- (b) Wie groß ist die abgegebene Strahlungsleistung?
- (c) Berechnen Sie über die Differenz die abgegebene Nettoleistung des Körpers. Wie viel Energie wird in 24h abgegeben?
- (d) Welche Energie haben die Photonen, die am meisten zu der Strahlung des Menschen beitragen?
- (e) Wie viele solcher Photonen wären nötig um die in c) berechnete Energiemenge zu erzeugen?
- (f) Wie hoch müsste die Hauttemperatur mindestens sein, damit die in d) betrachteten Photonen im sichtbaren Bereich ($\lambda = 380\ldots 780\text{nm}$) liegen?

Konstanten

Elektrische Feldkonstante:	$\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{CV}^{-1}\text{m}^{-1}$
Elementarladung:	$e = 1,60 \cdot 10^{-19} \text{C}$
Planck'sche Konstante:	$h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{Js}$
Lichtgeschwindigkeit:	$c = 3 \cdot 10^8 \text{ms}^{-1}$
Elektronenruhemasse:	$m_e = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{kg}$
Stefan Boltzmann Konstante:	$\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}^4}$
Wiensche Verschiebungskonstante:	$b = 2,9 \cdot 10^{-3} \text{mK}$