

Übungen zur Physik IV: Integrierter Kurs (Exp) Sommersemester 2023

Prof. Dr. Mikhail Fonin

Übungsblatt 4, Ausgabe: 08.05.2023, Abgabe: 15.05.2023
Besprechung in den Übungen am 17.05.2023

Aufgabe 1: Photon (4 Punkte)

- a) *Impuls des Photons und Strahlungsdruck*: Da ein Photon den Impuls $h\nu/c$ hat, wird bei Absorption oder Reflexion von Licht Impuls auf das entsprechende Objekt übertragen. Das nennt man Strahlungsdruck.

Vergleichen Sie die Gravitationskraft, mit der die Sonne die Erde anzieht, mit der Kraft, mit der das von der Sonne ausgesandte Licht die Erde wegdrückt. Die *Solar-konstante*, also die Lichtleistung pro der Sonne zugewandter Einheitsfläche im Abstand der Erde von der Sonne beträgt $1,367 \text{ kW/m}^2$. Die Erde hat eine sogenannte *Albedo* von 0,3. D.h. 70% des Lichts werden absorbiert, 30% reflektiert. Nehmen Sie für die vereinfachende Abschätzung hier an, dass alles Licht von der Sonne bei einer einzigen Frequenz ν ausgestrahlt wird. Vernachlässigen Sie für die Reflexion die gekrümmte Oberfläche der Erde, d.h. nehmen Sie an, dass Reflexion immer in Richtung zurück zur Sonne erfolgt. (2 Punkte)

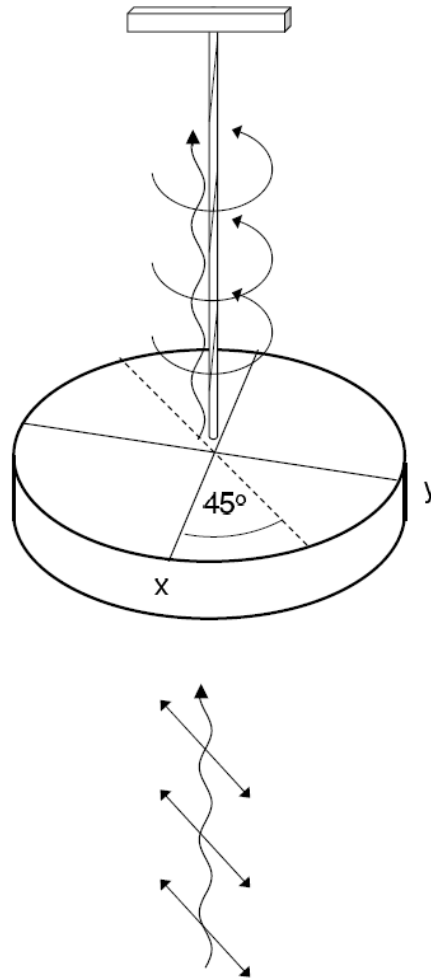
Weitere Zahlenangaben: Gravitationskonstante $\gamma=6,67\cdot 10^{-11} \text{ N m}^2 \text{ kg}^{-2}$, Sonnenmasse $M_S=1,989\cdot 10^{30} \text{ kg}$, Erdmasse $M_E=5,977\cdot 10^{24} \text{ kg}$, Abstand Erde-Sonne = 1 Astronomische Einheit (AE) = $1,496\cdot 10^{11} \text{ m}$, (mittlerer) Erdradius $R_E=6,368\cdot 10^6 \text{ m}$, Lichtgeschwindigkeit $c=2,9979\cdot 10^8 \text{ m/s}$.

- b) *Drehimpuls des Photons*: Die Skizze zeigt die einfachste Variante eines Experiments zum Nachweis des Photon-Drehimpulses. Ein $\lambda/4$ -Plättchen, welches unterschiedliche Brechungsindices für in x - bzw. in y -Richtung linear polarisiertes Licht aufweist ($n_x \neq n_y$), ist an einem Torsionsfaden aufgehängt.

i) Wie dick muss das Plättchen sein, damit einfallendes monochromatisches Licht, das unter 45° zur x -Achse linear polarisiert ist, das Plättchen als zirkular polarisiertes Licht verlässt? n_x und n_y seien bekannt für die verwendete Frequenz. Geben Sie die kleinste mögliche Dicke an (Formel). (1 Punkt)

ii) Ein Photon hat den Drehimpuls \hbar , der in oder entgegengesetzt der Flugrichtung zeigt. Ein einzelnes Photon ist also zirkular polarisiert (Linear polarisiertes Licht ist dann aus gleich vielen Photonen mit Drehimpuls in die eine und die entgegengesetzte

Richtung zusammengesetzt). Im Versuch wirkt durch die Umwandlung von linear in zirkular polarisiertes Licht ein mechanisches Drehmoment auf das Plättchen und den Faden. Berechnen Sie dieses (Zahl) für den Fall, dass das Licht eine Wellenlänge von $1,2 \mu\text{m}$ hat und eine Leistung von 7W einfällt. Haben Sie mehr die Zustände vorher und nachher im Auge als das, was im Plättchen geschieht. (2 Punkte)



Aufgabe 2: Schwarzer Körper (6 Punkte)

Rote Zwerge haben typischer Oberflächentemperaturen zwischen 2500 K und 4000 K . Ein typischer Vertreter ist *Gliese 876* in einer Entfernung von $15,2$ Lichtjahren und einer Oberflächentemperatur von 3000 K . Berechnen Sie unter der Annahme, dass der Stern wie ein perfekter Schwarzkörperstrahler strahlt:

- die gesamte emittierte Strahlungsleistung $R(T)$ pro Flächeneinheit (W/m^2) bei $T = 3000\text{ K}$. *Hinweis:* Leiten Sie zunächst den Ausdruck für die Strahlungsleistung ab. Die Strahlungsleistung senkrecht zu Oberfläche ist: $R_\nu(T)d\nu = c \cdot u(\nu, T)d\nu$. Wie lautet der Ausdruck für richtungsabhängige Strahlungsleistung? Berechnen Sie den Mittelwert dieser richtungsabhängigen Größe (über den Halbraum). Um $R(T)$ zu bekommen, muss R_ν auch über Frequenz integriert werden. Wie sieht die Stefan-Boltzmann-Konstante aus? Vergleichen Sie den Ausdruck mit dem für $U(T)$ (s. Vorlesung). Berechnen Sie nun den Zahlenwert für $R(T)$. (3 Punkte)

- b) die Wellenlänge λ_{\max} , bei der das Strahlungsspektrum einen Peak aufweist (1 Punkt)
- c) den Anteil der Energie, der im sichtbaren Bereich des Spektrums (400 nm – 700 nm) emittiert wird. Hinweis: $\int x^3 e^{ax} dx = \frac{e^{ax}}{a^4} ((ax)^3 - 3(ax)^2 + 6ax - 6)$ (2 Punkte)

Aufgabe 3: De-Broglie-Wellenlänge (1 Kreuzchen)

Im Allgemeinen spielt die Quantenmechanik in den Fällen eine Rolle, in denen die De-Broglie-Wellenlänge des Teilchens größer als die charakteristische Abmessung d des Systems ist. Im thermischen Gleichgewicht sei die kinetische Energie eines Teilchens gegeben durch

$$\frac{p^2}{2m} = \frac{3}{2} k_B T \quad (1)$$

- a) Geben Sie einen Ausdruck für die De-Broglie-Wellenlänge an.
- b) *Festkörper* Der Gitterabstand eines typischen Festkörpers liegt bei $d = 0,3$ nm. Bestimmen Sie die Temperaturen, unterhalb derer die freien Elektronen bzw. die Kerne in einem Festkörper quantenmechanisch beschrieben werden müssen.
- c) *Gase* Für welche Temperaturen sind die Atome eines idealen Gases bei dem Druck P quantenmechanisch? Leiten Sie dazu den Abstand der Atome aus dem idealen Gasgesetz her.
- d) Beantworten Sie mithilfe der vorigen Teilaufgaben, ob folgende Systeme quantenmechanisch zu betrachten sind:
- (a) Helium bei Standarddruck
 - (b) Monoatomarer Wasserstoff im Weltraum (Abstand der Atome etwa 1 cm)