

3. Übung am 5. 11. 2015

11) Planck'sche Strahlungsformel:

(a) Ersetzen Sie in der Planck'sche Strahlungsformel $w_\nu(\nu)d\nu = \frac{8\pi h\nu^3}{c^3} \frac{d\nu}{e^{h\nu/(kT)} - 1}$

die Frequenz durch die Wellenlänge.

(b) Leiten Sie nun daraus das Wien'sche Verschiebungsgesetz ab. Bestimmen Sie auch die Konstante im Wien'schen Verschiebungsgesetz, indem Sie die erhaltene Gleichung entweder graphisch oder numerisch lösen (z.B. mit MATHEMATICA).

c) Die Sonne hat eine Oberflächentemperatur von 5780 K. Bei welcher Wellenlänge liegt das Maximum der emittierten Strahlungsenergie? Der kosmischen Hintergrundstrahlung entspricht eine Schwarzkörperstrahlung von 2.7 K. Wo liegt das Maximum dieser emittierten Strahlungsenergie?

(d) Berechnen sie mit dem Planck'schen Strahlungsgesetz die Energiedichte im Wellenlängenintervall von 500 nm bis 501 nm für die Sonne ($T = 5780$ K), eine Glühwendel mit 2500 K und eines Raumes mit 300 K unter der Annahme eines idealen schwarzen Strahlers.

(3 Pkte)

12) Untersuchen sie den Strahlungsaustausch zwischen zwei nicht schwarzen planparallelen ebenen Platten. Die beiden Platten sollen sehr groß gegenüber dem Abstand sein (d.h. seitliche Verluste sollen vernachlässigbar sein). Sie sollen eine unterschiedliche, aber jeweils einheitliche und zeitlich konstante absolute Temperatur T_1 bzw. T_2 haben. Ihre zugehörigen Emissions/Absorptionsgrade seien ε_1 und ε_2 , ihre Reflexionsgrade $r_1 = 1 - \varepsilon_1$ und $r_2 = 1 - \varepsilon_2$. Leiten sie die Wärmestromdichte (Strahlungsfluss) \dot{q}_{12} von Platte 1 auf Platte 2 für $T_1 > T_2$ ausgehend vom Stefan-Boltzmann-Gesetz für nicht schwarze Strahler $\dot{q} = \varepsilon \cdot \sigma \cdot T^4$ ab.

Gesuchte Lösung:
$$\dot{q}_{12} = \frac{1}{1/\varepsilon_1 + 1/\varepsilon_2 - 1} \cdot \sigma \cdot (T_1^4 - T_2^4)$$

(2 Pkte)

13) Eine Glühbirne der elektrischen Leistung $P = 60$ W wird mit der Spannung $U_{eff} = 240$ V betrieben. Der im Inneren der evakuierten Glühbirne befindliche Wolframdraht (spezifischer Widerstand $\rho = 5,65 \mu\Omega \text{ cm}$) wird durch den ihn durchfließenden Strom auf $T = 2500$ K erhitzt.

(a) Bestimmen Sie die Dicke d des Drahtes unter der (unrealistischen) Annahme, dass es sich beim Wolframdraht um einen idealen schwarzen Körper handelt.

(b) Welche Spannung U_m wäre nötig, damit der Wolframdraht durchbrennt (die Schmelztemperatur des Wolframs beträgt $T_m = 3695$ K).

(2 Pkte)

14) a) Eine massive Metallkugel mit dem Radius $r = 4.0 \text{ cm}$ hängt isoliert an einem dünnen Faden in einer evakuierten Kammer. Sie hat anfänglich eine Temperatur von $T_1 = 1000 \text{ °C}$. Die Kugel soll wie ein idealer schwarzer Körper strahlen und von seiner Umgebung keine weitere Energie aufnehmen. Berechnen Sie, welche Zeit vergeht, bis die Temperatur des Würfels auf den Wert $T_2 = 400 \text{ °C}$ abgesunken ist. Die Dichte des Stoffes, aus dem der Würfel besteht, ist $\rho = 19.3 \text{ g cm}^{-3}$ und seine spezifische Wärmekapazität $c = 138 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$.

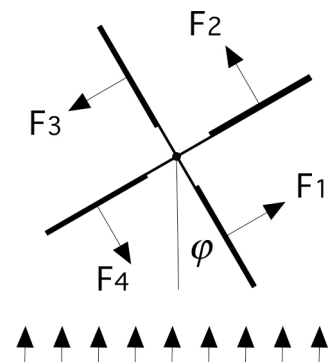
b) Bestimmen Sie die Oberflächentemperatur der Erde im Gleichgewicht wenn Sie nur Strahlung von der Sonne ($T_S = 5780 \text{ K}$) empfängt und keine anderen Wärmequellen besitzt. Die Albedo der Erde ($\alpha = 0.3$) ist jener Bruchteil der einfallenden Energie der direkt reflektiert wird. (Alle astronomischen Daten, die Sie benötigen, finden Sie in Demtröder Experimentalphysik II).

(2 Pkte)

15) a) Geben Sie eine Formel an für die Kraft, die ein Laserstrahl der Leistung P auf einen vollständig reflektierenden Spiegel ausübt. Warum ist diese Kraft unabhängig von der Wellenlänge des Lasers, obwohl der Photonenimpuls das nicht ist?

b) Schätzen Sie grob ab, welche Lichtkraft der sichtbare Anteil der Sonnenstrahlung (rund 1 kW/m^2) auf die Erde ausübt! ($R = 6378 \text{ km}$, Annahme: die Erde absorbiert das gesamte Licht)

c) Aus Läden mit „physikalischen Ziergegenständen“ kennt man sogenannte „Lichtmühlen“. Dabei handelt es sich um ein horizontal gelagertes, rotierendes Kreuz mit z.B. vier senkrechten Plättchen, die auf einer Seite schwarz (fett gezeichnet in Abbildung) und auf der anderen Seite verspiegelt sind. Das Ganze befindet sich in einer grob evakuierten Glaskugel, um den Luftwiderstand zu reduzieren. Wird die Lichtmühle homogen mit Licht bestrahlt, beginnt sich das Kreuz zu drehen (homogen heißt, alle Plättchen werden gleichermaßen beleuchtet, z.B. von einer ebenen Welle entsprechend Pfeilrichtung, vernachlässigen Sie aber Abschattungseffekte der Plättchen untereinander).



Sowohl die geschwärzte, als auch die verspiegelte Seite erfahren einen Impulsübertrag aus dem Lichtfeld. Warum entsteht dabei ein Drehmoment? Schätzen sie das Drehmoment ab, wenn die einzelnen Plättchen jeweils 10 cm^2 groß sind, der Mittelpunkt 7 cm von der Drehachse entfernt ist, und das eingestrahelte Licht eine ebene Welle mit einer Intensität von 150 mW/cm^2 ist. Im Schaufenster des „Physik-Gadget-Ladens“ dreht sich die Lichtmühle allerdings in die andere Richtung! Warum? (Hinweis: das Vakuum in der Glaskugel ist nicht perfekt).

(2 Pkte)