

3. Übung am 7. 11. 2013

12) 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.

(2 Pkte)

13) 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)

14) Ein Vakuumkessel mit einer inneren Oberfläche von $A = 2 \text{ m}^2$ ist aus einer Stahllegierung gefertigt die nur einen Betrieb bis max. $T_K = 600 \text{ °C}$ erlaubt. Dieser Vakuumkessel soll dahingehend adaptiert werden, dass im Inneren Experimente bei $T_H = 800 \text{ °C}$ durchgeführt werden können. Dazu wird eine Stahlblechkonstruktion verwendet die mit Heizleitern belegt ist und in geringem Abstand zur inneren Oberfläche des Vakuumkessels angebracht ist. Näherungsweise kann angenommen werden, dass beide Bauteile die gleiche Oberfläche besitzen und der Stahl im untersuchten Temperaturbereich den gleichen Emissions/Absorptionsgrad von $\varepsilon \approx 0.60$ hat.

Konstruktionsbedingt kann die Wärmeleitfähigkeit vernachlässigt werden. Es steht ein Heizleiter mit einer spezifischen Heizleistung ($P_{el}/l = 200 \text{ W/m}$) zur Verfügung.

- a) Welche Länge l_1 muss der Heizleiter unter diesen Umständen haben ?
- b) Welche Länge l_2 müsste der Heizleiter haben wenn man zwischen diese beiden Bauteile 2 Zwischenbleche (ebenfalls mit $\epsilon \approx 0.60$) einbringen würde ?
- c) Welche Maßnahmen könnte man ergreifen um den elektrischen Heizbedarf und damit die Länge des Heizleiters zu senken ?

(2 Pkte)

15) Eine Glühbirne der elektrischen Leistung $P = 60 \text{ W}$ wird mit der Spannung $U = 240 \text{ V}$ 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 $T = 2500 \text{ K}$ 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 $T_m = 3695 \text{ K}$).

(2 Pkte)

16) 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)