

9.2 Emission und Adsorption von thermischer Strahlung

9.2.1 schwarzer Körper

Idee: Wie bekommen wir möglichst viel thermische Strahlung? (T)

Definition: Adsorptionsgrad $\alpha := \frac{P_{\text{absorbiert}}}{P_{\text{Input}}}$

Definition:

- schwarzer Körper hat $\alpha = 1 = \alpha(\lambda, T)$
- grauer Körper hat $\alpha(\lambda, T) = \alpha(T)$ (unabhängig von der Wellenlänge λ)

Beispiele:

- Hohlraum
- Wolframglühlampe

Definition: Reflexionsgrad $\rho := \frac{P_{\text{refl.}}}{P_{\text{input}}}$

Definition: Weißer Körper hat $\rho = 1$

Beispiel: Spiegel (insbesondere für Laserlicht), Schnee

Definition: Transmissionsgrad $\tau := \frac{P_{\text{trans}}}{P_{\text{input}}}$

Beispiel: Brille bis Sonnenbrille

Bemerkung: Energiesatz: $1 = \alpha + \rho + \tau$

9.2.2 Kirchhoffsches Strahlungsgesetz

Definition: Emissionsgrad $\varepsilon := \frac{\text{Strahldichte } L}{\text{Strahldichte } L_s \text{ des schwarzen Körpers}}$

Bemerkung: Für schwarzen Körper ist $\alpha_s = 1$ und $\varepsilon_s = 1$

Experimente \rightarrow für alle selbstleuchtenden Körper

$$\frac{\varepsilon(\lambda, T)}{\alpha(\lambda, T)} = \text{Konstante } K$$

Folgerung: Kirchhoffsches Strahlungsgesetz für alle selbstleuchtenden Körper

$$K = \frac{\varepsilon_s}{\alpha_s} = \frac{1}{1} = 1 \quad \Rightarrow \quad \boxed{\varepsilon(\lambda, T) = \alpha(\lambda, T)}$$

Folgerung: $L = \varepsilon \cdot L_s = \alpha \cdot L_s < L_s$

9.3 Plancksches Strahlungsgesetz

9.3.1 Rayleigh-Jeans-Gesetz

1900/1905: Ableitung von Rayleigh + Jeans:

$$L_S(\lambda, T) d\lambda = \frac{2c \cdot k_B \cdot T}{\lambda^4} d\lambda \quad k_B = 1,381 \cdot 10^{-23} \frac{J}{K}$$

→ aus der Elektrodynamik/Maxwell-Gleichung

Bemerkung:

(1) Bei kleinen λ (UV) steigt die Leuchtdichte an → UV-Katastrophe

(2) Temperatur-Abhängigkeit

→ widersprach den Experimenten

Empirische Deutung von Wien (1905)

$$L_S(\lambda, T) = \frac{2\pi \cdot h \cdot c^2}{\lambda^5} \cdot e^{-\frac{h \cdot c}{\lambda \cdot k_B \cdot T}} \quad h = 6,626 \cdot 10^{-34} J \cdot s$$

Bemerkung: für große T widersprach die Gleichung den Experimenten

9.3.2 Plancksches Strahlungsgesetz

1900: Max Planck entwickelt $L(\lambda, T) \rightarrow$ 1918 Nobelpreis

$$L(\lambda, T) = \frac{2\pi \cdot h \cdot c^2}{\lambda^5} \cdot \frac{1}{e^{\frac{h \cdot c}{\lambda \cdot k_B \cdot T}} - 1}$$

denn:

$$\frac{h \cdot c}{\lambda \cdot k_B \cdot T} \gg 1 (UV): L \rightarrow 0 \text{ à la Wien}$$

$$\frac{h \cdot c}{\lambda \cdot k_B \cdot T} \ll 1 (IR): L \rightarrow 0 \text{ à la Rayleigh-Jeans} \left(\frac{1}{\lambda^4} \right)$$

9.3.3 Wiensches Verschiebungsgesetz

Suche nach der Lage des Maximums

Methode: → Mathe 1 (Ableitungen) $\frac{\partial}{\partial \lambda} L(\lambda, T)$

$$\boxed{\lambda_{\max} \cdot T = \text{const.} = 2,858 \cdot 10^{-3} m \cdot K}$$

PA: Bei welcher Wellenlänge liegt das Maximum der Sonnenstrahlung (T=5777K)

- 1) 450nm
- 2) 500nm
- 3) 550nm

Rechnung:

$$\lambda_{\max} = \frac{2,898 \cdot 10^{-3} \text{ m} \cdot \text{K}}{5777 \text{ K}} = 5,016 \cdot 10^{-7} \text{ m} \approx 500 \text{ nm}$$

9.3.4 Stefan-Boltzmann-Gesetz

Jetzt:

$$\text{Gesamtstrahlung} = \int_0^{\infty} L(\lambda, T) d\lambda = L(T) = \sigma \cdot T^4 \quad \sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}^4}$$

Praxis: Netto-Effekt durch Abstrahlung der Umgebung

$$L - L_U = \sigma \cdot (T^4 - T_U^4) \quad T_U = \text{Umgebungstemperatur}$$

9.3.5 Schwarze Temperatur, Farbtemperatur

Definition: grauer Körper mit $L(T) = \varepsilon \cdot L_S(T) = \varepsilon \cdot \sigma \cdot T^4 := \sigma \cdot T_S^4$

→ schwarze Temperatur: $T_S = \sqrt[4]{\varepsilon \cdot T} < T$

Definition: Farbtemperatur T_F

=diejenige Temperatur eines Thermostrahlers, die ein schwarzer Körper haben müsste für den gleichen Farbeindruck.

Beispiel: Wolframbandlampe:

$$\left. \begin{array}{l} T = 2000 \text{ K} \\ \lambda = 665 \text{ nm} \end{array} \right\} \begin{array}{l} T_S = 1857 \text{ K} \\ T_F = 2033 \text{ K} \end{array}$$

9.4 Grundgrößen der Lichttechnik

9.4.1 (& 9.4.2)s. Tabelle im Downloadbereich

9.2.3 Photometrisches Gesetz

Beleuchtungsstärke (→ 9.1)

Photometrisches Gesetz:

$$E = \frac{I}{r^2} \cdot \cos(\alpha) \quad \text{mit } E = \text{Beleuchtungsstärke und } I = \text{Intensität (} \rightarrow \text{ Akustik)}$$

→ Messprinzip zur Bestimmung von Abständen (r_2), falls I_1 , I_2 und r_1 gegeben