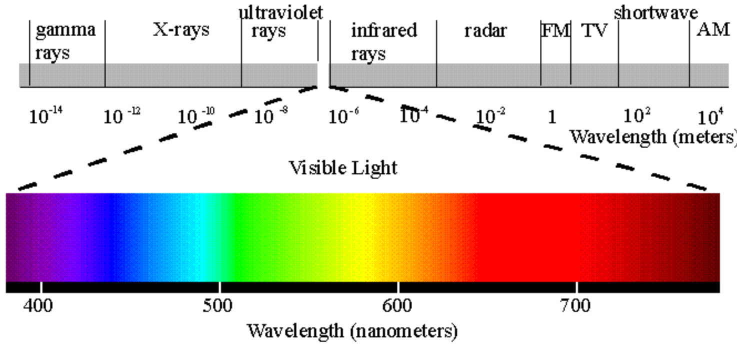
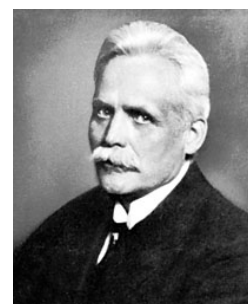
Žiarenie (radiácia, sálanie)

Tepelné žiarenie vzniká pri tepelnom pohybe nabitých častíc. Tepelné žiarenie vyžaruje každé teleso, ktorého teplota je vyššia ako 0 K. Tepelné žiarenie telesa tvorí elektromagnetické vlnenie rôznych vlnových dĺžok v závislosti od teploty a zloženia telesa. Pri teplotách približne do 500 °C je prevažne infračervené. So zvyšovaním teploty pribúda energie vyžiarenej v oblasti viditeľného svetla.



Wienov zákon posunu – zákon, podľa ktorého sa maximum intenzity žiarenia absolútne čierneho telesa posúva v závislosti od teploty.



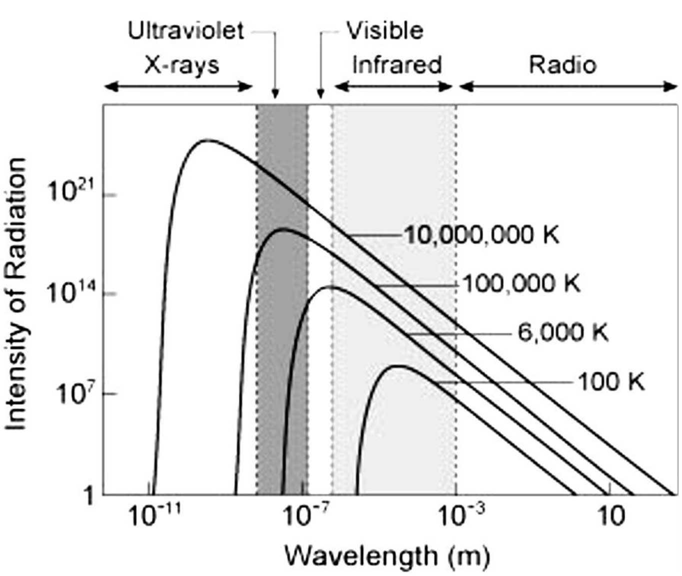
$$l = \frac{b}{T} \qquad [\text{m; m.K, K}] \qquad (1)$$

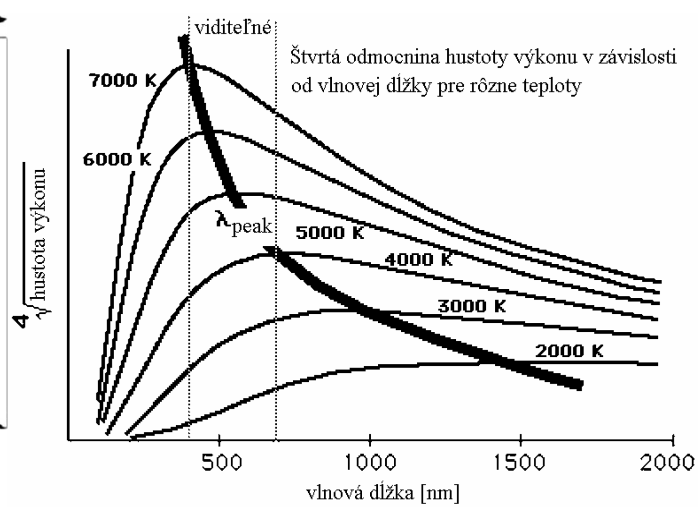
kde l vlnová dĺžka [m]
b Wienova konštanta; b = 2,898.10^{-3} m.K
T teplota [K]

Absolútne čierne teleso – ideálne teleso, ktoré úplne pohlcuje žiarenie všetkých vlnových dĺžok dopadajúcich na jeho povrch.

Sivé teleso – je idealizované teleso, ktoré má na všetkých vlnových dĺžkach rovnaký absorpčný koeficient podobne ako čierne teleso. Na rozdiel od neho, absorpčný koeficient sivého telesa $k < 1$.

Absorpčný koeficient k – je relatívne množstvo energie, ktoré sa zo žiarenia pohltí pri jeho prechode jednotkovou dĺžkou určitého prostredia.





Stefan-Boltzmannov zákon (publikovaný v roku 1879 Ludwigom Boltzmannom a Josefom Stefanom) – popisuje celkovú intenzitu žiarenia ***absolútne čierneho telesa***. Tento zákon hovorí, že intenzita vyžarovania rastie so štvrtou mocninou termodynamickej teploty žiariaceho telesa.

$$q = s \cdot T^4 \qquad [\mathrm{W.m^{-2}; J.s^{-1}.m^{-2}.K^{-4}, K}] \qquad (2)$$

kde q celková intenzita žiarenia [W.m^{-2}]

s Stefan-Boltzmannova konštanta

$$s = \frac{2 \cdot p^5 \cdot k^4}{15 \cdot c^2 \cdot h^3} = 5{,}6704 \cdot 10^{-8}\ \mathrm{J \cdot s^{-1} \cdot m^{-2} \cdot K^{-4}}$$

kde k Boltzmannova konštanta; k = (1,380658 ± 0,000012).10^{-23} J.K^{-1}

c rýchlosť svetla; c = 299 792 458 m.s^{-1}

h Planckova konštanta; h = 6,62607.10^{-34} J.s

T termodynamická teplota [K]

Sálanie medzi dvoma povrchmi šedých telies

Tepelné žiarenie (infra-červené žiarenie) sa šíri rýchlosťou svetla, má však väčšiu vlnovú dĺžku. Rovnako ako svetelné žiarenie, je aj infra žiarenie odrážané lesklými povrchmi a pohlcované je povrchmi matnými, drsnými. Povrchy s veľkou odrazivosťou (***reflexiou***) majú nízke sálanie (***emisivitu***) a naopak.

Mareriál	***r*** (%)	***e***
striebro leštené	99	0,01
meď leštená	98	0,02
zlato leštené	97	0,03
hliník leštený	95÷97	0,04
hliník drsný	92÷94	0,07
hliník zoxidovaný	70÷80	0,25
hliníkový náter	60÷80	0,30
asfalt	6	0,94
strešná lepenka	7	0,93
vápenná omietka	7	0,93
sklo	8	0,92
tehlové murivo	10	0,90
papier	10	0,90
betón	11	0,89
laky a emaily	8÷15	0,88
drevo hobľované	20	0,80

Energetická bilancia dopadajúcej sálavej energie na povrch telesa vychádza z jej rozdelenia na zložky energie povrchom:

- ***pohltenú*** (**a**bsorbcia)
- ***odrazenú*** (**r**eflexia)
- ***telesom prepustenú*** (**d**ifuzivita (refrakcia))

Platí teda vzťah:

$$Q^*_{\mathrm{dop}} = Q^*_{\mathrm{A}} + Q^*_{\mathrm{R}} + Q^*_{\mathrm{D}} \tag{3}$$

alebo

$$\frac{Q^*_{\mathrm{A}}}{Q^*_{\mathrm{dop}}} + \frac{Q^*_{\mathrm{R}}}{Q^*_{\mathrm{dop}}} + \frac{Q^*_{\mathrm{D}}}{Q^*_{\mathrm{dop}}} = \mathrm{A} + \mathrm{R} + \mathrm{D} = 1 \tag{4}$$

Veľkosť koeficientov sa teoreticky môže pohybovať v intervale $\langle 0, 1 \rangle$, čo umožňuje definovať absolútne čierne teleso (A = 1, R = D = 0), absolútne biele teleso (R = 1, A = D = 0) a absolútne priezračné teleso (D = 1, A = R = 0). Také telesá sú ideálne, pre reálne tuhé telesá platí A < 1, R < 1, D = 0, teda

$$\mathrm{A} + \mathrm{R} = 1 \tag{5}$$

Reálne tuhé telesá s vlastnosťou (5) sa nazývajú ***šedé***.

V súlade s rovnicou (5) dopadajúci sálavý tok na povrch šedého telesa je

$$Q_{dop} = Q_A + Q_R = A \cdot Q_{dop} + R \cdot Q_{dop} \tag{6}$$

potom odrazená zložka toku

$$Q_R = R \cdot Q_{dop} = Q_{dop} - A \cdot Q_{dop} = (1 - A) \cdot Q_{dop} \tag{7}$$

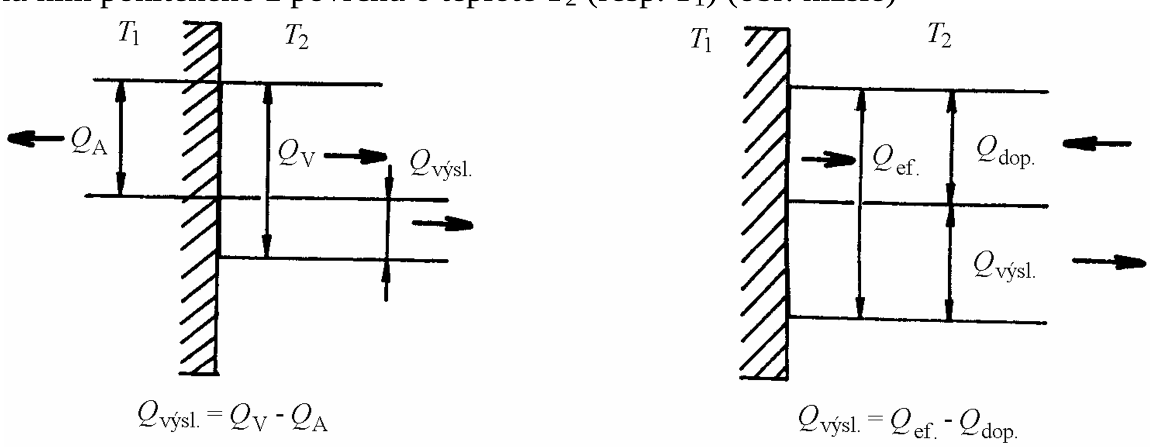
Ak povrch telesa S so stupňom čiernosti e má teplotu T, vyžaruje podľa Stefan-Boltzmannovho zákona tok

$$Q_v = e \cdot c_0 \cdot T^4 \cdot S \tag{8}$$

Pretože tento tok je závislý len od vlastnosti a teploty telesa, nazýva sa ***vlastný sálavý tok***. Súčet vlastného sálavého toku a odrazenej zložky dopadajúceho toku je ***efektívny sálavý tok***.

$$Q_{ef} = Q_v + Q_R = e \cdot c_0 \cdot T^4 \cdot S + (1 - A) \cdot Q_{dop} \tag{9}$$

V energetickej bilancii sálania tepla medzi dvoma šedými povrchmi sa okrem vlastného a efektívneho toku vyhodnocuje ***výsledný sálavý tok***. Fyzikálne je to tok „tečúci“ medzi povrchmi s teplotami T_1 a T_2 a je definovaný rozdielom vlastného sálavého toku povrchu o teplote T_1 (resp. T_2) a toku nim pohlteného z povrchu o teplote T_2 (resp. T_1) (obr. nižšie)



Obr. Sálavé toky

$$Q_{výs} = Q_v - Q_A = e \cdot c_0 \cdot T^4 \cdot S - A \cdot Q_{dop} \tag{10}$$

Príklad 1

Guľa s polomerom 0,5 metra a teplote 27 °C má emisivitu 0,85 a je v prostredí s teplotou 77 °C.

a) Aký tepelný výkon vyžaruje?
b) Aký výkon pohlcuje?
c) Aký je celkový vyžarovací výkon gule?

Riešenie:

a) Teplota gule:

$$T = 273{,}15 + 27 = 300{,}15\ \mathrm{K}$$

Vyžiarený výkon:

$$\Phi_{\text{radiation}} = s \cdot e \cdot S \cdot T^4 = \left(5{,}67 \cdot 10^{-8}\ \frac{\mathrm{W}}{\mathrm{m}^2 \cdot \mathrm{K}^4}\right) \cdot 0{,}85 \cdot \left[4 \cdot p \cdot (0{,}5\ \mathrm{m})^2\right] \cdot (300{,}15\ \mathrm{K})^4 = 1{,}23 \cdot 10^3\ \mathrm{W}$$

b) Teplota prostredia:

$$T_{\text{prostredie}} = 273{,}15 + 77 = 350{,}15\ \mathrm{K}$$

Pohltený (absorbovaný) výkon:

$$\Phi_{\text{absorption}} = s \cdot e \cdot S \cdot T^4_{\text{prostredie}} = \left(5{,}67 \cdot 10^{-8}\ \frac{\mathrm{W}}{\mathrm{m}^2 \cdot \mathrm{K}^4}\right) \cdot 0{,}85 \cdot \left[4 \cdot p \cdot (0{,}5\ \mathrm{m})^2\right] \cdot (350{,}15\ \mathrm{K})^4 = 2{,}28 \cdot 10^3\ \mathrm{W}$$

c) Celkový vyžarovací výkon gule:

$$\Phi_{\text{celkovy}} = \Phi_{\text{absorption}} - \Phi_{\text{radiation}} = 2{,}28 \cdot 10^3\ \mathrm{W} - 1{,}23 \cdot 10^3\ \mathrm{W} = 1{,}05 \cdot 10^3\ \mathrm{W}$$

Príklad 2

Kocka s dĺžkou hrany 6.10^{-6} m, s emisivitou 0,75 a s teplotou –100 °C sa nachádza v prostredí s teplotou –150 °C. Aký tepelný výkon si vymieňa s okolím?

Riešenie:

Kocka má 6 stien, z ktorých každá má plochu $(6.10^{-6})^2$ m^2. Teploty v °C prevedieme na Kelviny a získame:

$$\Phi = s \cdot e \cdot S \cdot \left(T^4_{\text{prostredie}} - T^4\right) =$$

$$= \left(5{,}67 \cdot 10^{-8}\ \frac{\mathrm{W}}{\mathrm{m}^2 \cdot \mathrm{K}^4}\right) \cdot 0{,}75 \cdot \left(2{,}16 \cdot 10^{-10}\mathrm{m}^2\right) \cdot \left[(123{,}15\ \mathrm{K})^4 - (173{,}15\ \mathrm{K})^4\right] = -6{,}1 \cdot 10^{-9}\ \mathrm{W}$$

Príklad 3

Valec s polomerom r_1 = 2,5 cm a dĺžke h_1 = 5 cm má emisivitu 0,85 a teplotu 30 °C. Je zavesený v prostredí s teplotou 50 °C.

a) Aký má žiarivý výkon F_1?
b) Na aký výkon F_2 klesne, ak valcovaním zmenšíme polomer valca na r_2 = 0,5 cm pri zachovaní toho istého objemu?
c) Aký je pomer F_2/F_1?

Riešenie:

a) Plochu valca vypočítame ako

$$S_1 = 2 \cdot \left(p \cdot r_1^2\right) + 2 \cdot p \cdot r_1 \cdot h_1 = 2 \cdot p \cdot \left(2{,}5 \cdot 10^{-2}\ \mathrm{m}\right)^2 + 2 \cdot p \cdot \left(2{,}5 \cdot 10^{-2}\ \mathrm{m}\right) \cdot \left(5 \cdot 10^{-2}\ \mathrm{m}\right) = 1{,}18 \cdot 10^{-2}\ \mathrm{m}^2$$

Teplota valca je:

$$T_1 = 273 + 30 = 303\ \mathrm{K}$$

a teplota prostredia:

$$T_{\text{prostredie}} = 273 + 50 = 323\ \text{K}$$

Dosadením do Stefan-Boltzmannovej rovnice pre šedé telesá:

$$\Phi_1 = s \cdot e \cdot S_1 \cdot \left(T^4_{\text{prostredie}} - T^4\right) =$$

$$= \left(5{,}67 \cdot 10^{-8}\ \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}^4}\right) \cdot 0{,}85 \cdot \left(1{,}18 \cdot 10^{-2}\,\text{m}^2\right) \cdot \left[(323\ \text{K})^4 - (303\ \text{K})^4\right] = 1{,}39\ \text{W}$$

b) Nech nová výška valca je h_2. Keďže objem V valca je nezmenený, musíme mať $V = p \cdot r_1^2 \cdot h_1 = p \cdot r_2^2 \cdot h_2$. Vyjadríme si h_2:

$$h_2 = \left(\frac{r_1}{r_2}\right)^2 \cdot h_1 = \left(\frac{2{,}5\ \text{cm}}{0{,}5\ \text{cm}}\right)^2 \cdot (5\ \text{cm}) = 125\ \text{cm} = 1{,}25\ \text{m}$$

Nový povrch valca S_2 je:

$$S_2 = 2 \cdot \left(p \cdot r_2^2\right) + 2 \cdot p \cdot r_2 \cdot h_2 = 2 \cdot p \cdot \left(0{,}5 \cdot 10^{-2}\ \text{m}\right)^2 + 2 \cdot p \cdot \left(0{,}5 \cdot 10^{-2}\ \text{m}\right) \cdot (1{,}25\ \text{m}) = 3{,}94 \cdot 10^{-2}\ \text{m}^2$$

Výkon F_2:

$$\Phi_2 = s \cdot e \cdot S_2 \cdot \left(T^4_{\text{prostredie}} - T^4\right) =$$

$$= \left(5{,}67 \cdot 10^{-8}\ \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}^4}\right) \cdot 0{,}85 \cdot \left(3{,}94 \cdot 10^{-2}\,\text{m}^2\right) \cdot \left[(323\ \text{K})^4 - (303\ \text{K})^4\right] = 4{,}663\ \text{W}$$

c) Pomer F_2/F_1:

$$\frac{\Phi_2}{\Phi_1} = \frac{S_2}{S_1} = \frac{3{,}94 \cdot 10^{-2}\ \text{m}^2}{1{,}18 \cdot 10^{-2}\ \text{m}^2} = 3{,}3$$