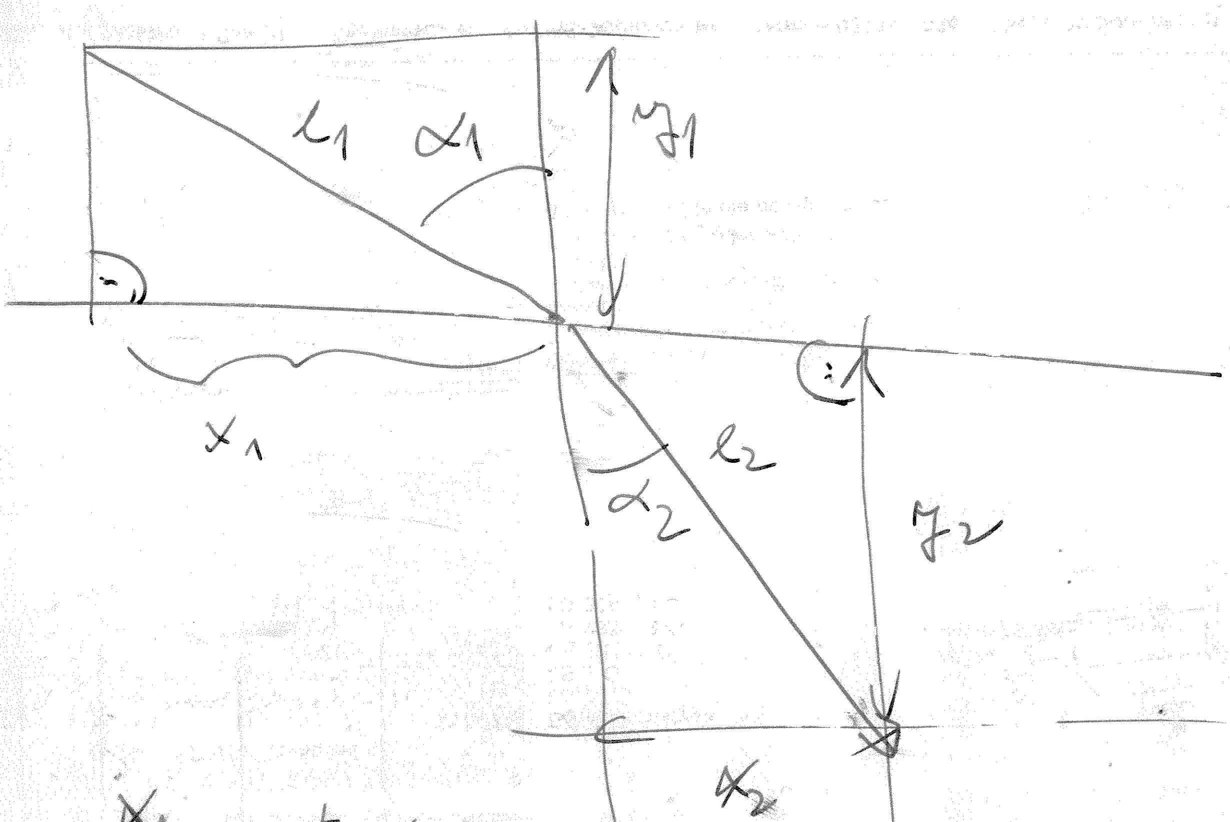
V



$$\frac{x_1}{y_1} = tg\,\alpha_1$$

$$\frac{x_2}{y_2} = tg\,\alpha_2$$

$$l_1 = \frac{y_1}{\cos\alpha_1}$$

$$l_2 = \frac{y_2}{\cos\alpha_2}$$

$$t = \frac{l_1}{v_1} + \frac{l_2}{v_2} = \frac{y_1}{v_1\cos\alpha_1} + \frac{y_2}{v_2\cos\alpha_2}$$

vazba: $x_1 + x_2 = x$

$$y_1\,tg\,\alpha_1 + y_2\,tg\,\alpha_2 - x = 0$$

$$\mathcal{L} = \frac{y_1}{v_1\cos\alpha_1} + \frac{y_2}{v_2\cos\alpha_2} + \lambda\cdot\left(y_1\,tg\,\alpha_1 + y_2\,tg\,\alpha_2 - x\right)$$

atd.

Projděme k dalším způsobu sdílení tepla z/do povrchu:

navíc NEMUSÍ BÝT monochromatické!

vlnění: tepelné paprsky $\lambda = 0{,}4 \div 40\,\mu m$ ← pro

$\frac{\lambda_{max}}{\lambda_{min}} = 100 : 1$

RADIATION + světlo

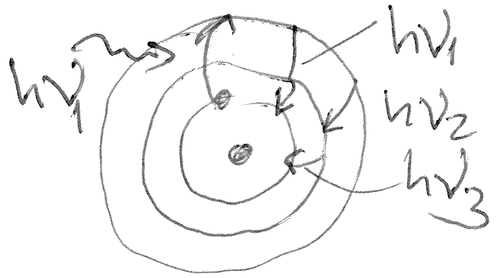
(světlo ~ $400 \div 800\,nm$ (viz Kabel!)

$\lambda/\lambda_{max} = 1:2$

(Thermal radiation)

je tohle „tepelné záření" (interakce s hmotou – ...)

Posunutí – zákon rostoucí vlnové délky*



Opačně – nepravděpodobné!

(proč? on tam dlouho „neposedí"

jiná forma „tepla" = entropický zákon!"

(⇒ končíme jako teplo)

„Makrooptika" platí stejně pro světlo, jako „pro tepelné záření!

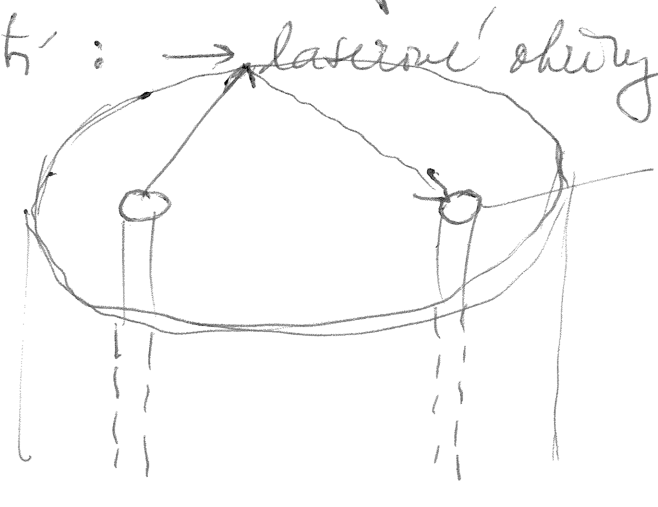
– Snellův zákon lomu $\frac{\sin\alpha_1}{\sin\alpha_2} = \frac{N_1}{N_2}$ (viz vzadu odvození souvislosti s Fermatem!

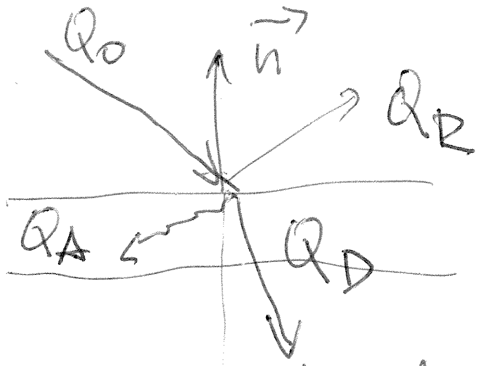
– zákon odrazu pro odrazné plochy

Užití těchto vlastností: → laserové ohřevy

– eliptická pec

(příklad se sklem)





Q_A – pohlcený výkon, Q_R – odražený výkon
(absorbed power) (reflected)

(Platí to i na svítilce? NE! ← luminofor!)

Q_D – prošlý v.
(difracted?)
(slovy?)

$$Q_0 = Q_A + Q_D + Q_R \quad / :Q_0$$

$$1 = \frac{Q_A}{Q_0} + \frac{Q_D}{Q_0} + \frac{Q_R}{Q_0} \Rightarrow$$

A – poměrná tep. pohltivost (absorbtivity) α

D – poměrná tepelná průteplivost (transmisivity) τ

R – poměrná tepelná odrazivost (reflectivity) ρ

Pozn.: a) – není v tom VLASTNÍ SÁLÁNÍ TĚLESA!

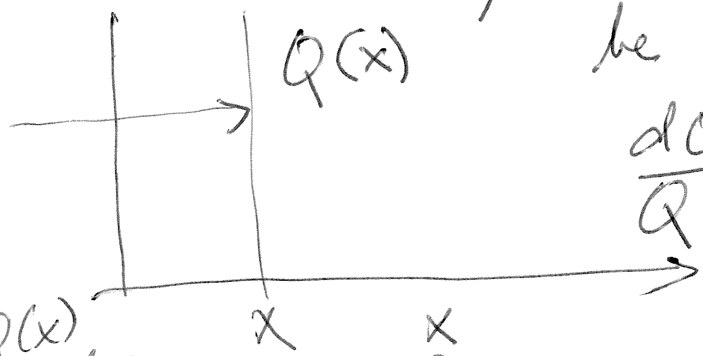
b) A, D, R jsou fce T, vlnové délky, nikoli velikosti Q_0! (⇒ protože jsou dobře lineární)

c) úhlové vlastnosti → obdobně jako na světelné technice

Kapaliny + tuhá tělesa jsou prakticky NEPRŮTEPLIVÁ

$$\Rightarrow \frac{Q_D}{Q_0} = D \approx 0 \Rightarrow \boxed{A+R=1}$$

Př: vodou vidíme poměrně dobře, nikoliv teplo. Takto je Slunce se ale absorbuje prakticky na povrchu (a μm — hloubka vniku!)



kde $dQ_x = -Q \cdot \cancel{x}\, k \cdot dx$

$$\frac{dQ}{Q} = -k\,dx$$

linearita!

$$\int_{Q_0}^{Q(x)} \frac{dQ}{Q} = -\int_0^x k\,dx$$

$$\ln\frac{Q(x)}{Q_0} = -kx \Rightarrow Q_x = Q_0 e^{-kx} \stackrel{!}{=} Q_0 \cdot e^{-\frac{x}{a}}$$

$$\Rightarrow a = \frac{1}{k} \quad k = -\frac{dQ}{Q\,dx};$$

$$a = -\frac{Q}{\frac{dQ}{dx}}$$ || obecně hloubka vniku pro „vnikání" veličiny Q ve směru X

→ Ona voda → JAK PLAVEME NA HLADINU!

(Biotnočíslo, $\frac{\partial T}{\partial t} = a \nabla^2 T$ (o útlumu a průniku tepla --

Základní zákony VLASTNÍHO SÁLÁNÍ

A) Planckův zákon:

Budiž E_λ def. vztahem: $dP = dS \cdot d\lambda\, E_\lambda$

$$\left[W, m^2, m, \frac{Wm^{-2}}{m} \right]$$

E_λ – spektrální hustota

$$E_{\lambda 0} = \frac{C_1}{\lambda^5 \left(e^{\frac{C_2}{\lambda T}} - 1 \right)} ; \quad C_1 = 3{,}17 \cdot 10^{-16} \cdot 1{,}16 \cdot Wm^2$$

abs. černé těleso;

$$C_2 = 1{,}44 \cdot 10^{-2}\ mK$$

může to být jedna z definic černého (abs.) tělesa)

(jiná tělesa sálají méně =>

reálné těleso $\frac{E_\lambda}{E_{\lambda 0}} < 1 \quad \forall \lambda$

pokud tento podíl nezávisí na vlnové délce, ~~oza~~ takové tělesa „šedé" těleso

(proč šedé? sálá MÉNĚ, ale nemění poměrné zastoupení vl. délek. Ale právě poměrné zastoupení vl. délek (ve SVĚTELNÉ TECHNICE) mi DEFINUJE BARVU.

„~~zářivost~~ šedost“ tělesa → jako by se dal před ~~sklo~~ černé těleso ŠEDÝ FILTR (nebo záclonu); mění se JAS, ale ne barva.

Celková zářivost černého tělesa (přes všechny vlnové délky):

$$E_0 = \int_{\lambda=0}^{\infty} E_{0\lambda}\, d\lambda = C_1 \int_{\lambda=0}^{\infty} \frac{\lambda^{-5}}{e^{C_2/\lambda T} - 1}\, d\lambda =$$

$$= \left| \begin{array}{ll} \frac{C_2}{\lambda T} = z & , \lambda = \frac{C_2}{T z} \\ -\frac{C_2}{\lambda^2 T}\, d\lambda = dz & , d\lambda = \frac{-\lambda^2 T}{C_2}\, dz \end{array} \right| =$$

$$= C_1 \int_{z=\infty}^{0} \left(\frac{C_2}{T z}\right)^{-5} \cdot \frac{1}{e^z - 1} \cdot \frac{-\lambda^2 T}{C_2}\, dz =$$

$$= C_1 \int_{z=0}^{\infty} \frac{T^3 z^3 T}{C_2^4} \frac{1}{e^z - 1}\, dz = \frac{C_1 T^4}{C_2^4} \int_{z=0}^{\infty} \frac{z^3\, dz}{e^z - 1}$$

$$\stackrel{!}{=} \sigma_0 \cdot T^4 \quad ; \quad \sigma_0 = \underbrace{\frac{C_1}{C_2^4} \int_{z=0}^{\infty} \frac{z^3}{e^z - 1}\, dz}$$

Tak září černé těleso → i osamocené, nebo bez vazby

$\sigma_0 \doteq 5{,}67 \cdot 10^{-8}\, W m^{-2} K^{-4}$

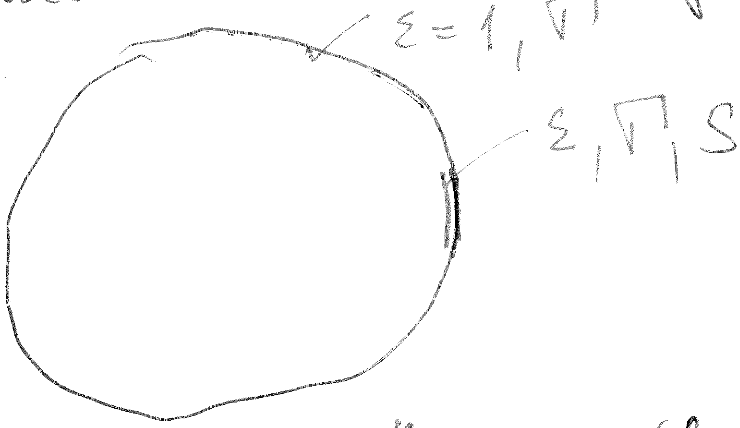
numericky! nebo přes speci. funkce

$I = \frac{\pi^4}{15}$ ✓ odvoďte!

+ záření od jiných těles

Mějme šedé těleso: $\varepsilon = \dfrac{E_\lambda}{E_{0\lambda}} = \text{konst}$

Uvažme dutinu v thermodynamické rovnováze:



Před „~~zahřátím~~ zešedněním": rovnováha $Q_{dop} = S \cdot \sigma_0 T^4$

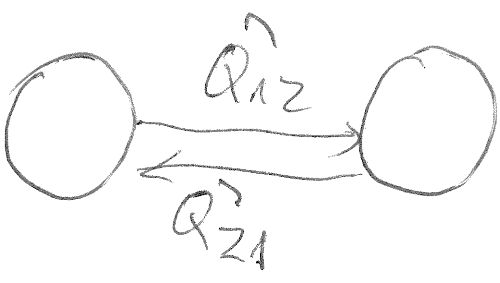
Po zešednění: rovnováha $A \cdot Q_{dop} = \varepsilon S \sigma_0 T^4$

$\Rightarrow$ Porovnáním $\boxed{A = \varepsilon}$

a to je Kirchhoffův zákon

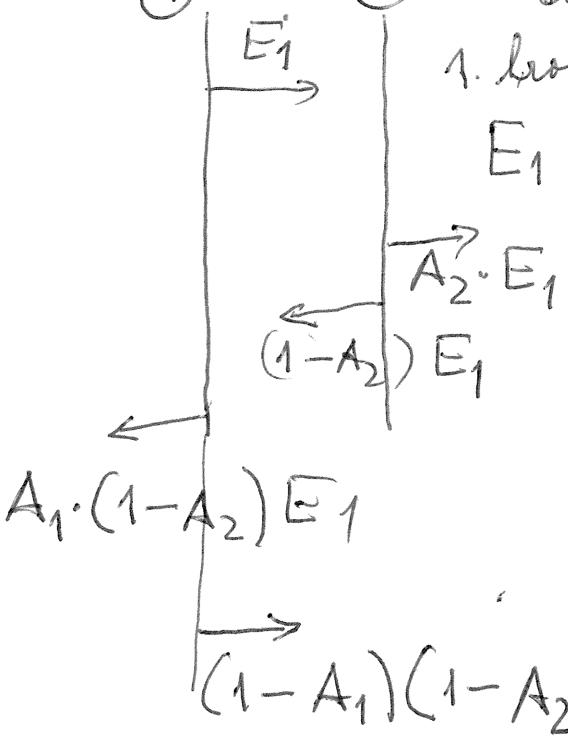
Poznámka: obr. Michejev str. 161!

Pro elektrotepelné aplikace je důležitá VÝMĚNA TEPLA SÁLÁNÍM.



$$Q_{12} = \vec{Q}_{12} - \overset{\leftarrow}{Q}_{21}$$

①　②　Zleva doprava



1. krok:

$$E_1 + (1-A_1)(1-A_2)E_1 + \dots$$

budiž

$$(1-A_1)(1-A_2) = p$$

Zleva doprava: $E_1 \cdot (1 + p + p^2 + \dots) =$

$$= E_1 \cdot \frac{1}{1-p} = \overset{\parallel}{Q_{12}}$$

Ze stejné logiky máme zprava doleva:

zprava doleva $= E_2 \cdot \dfrac{1}{1-p} = \overset{\parallel}{Q_{21}}$

$$\cancel{Q_{12} = \sigma_0 \left[T_1^4 - T_2^4 \right] \cdot \frac{1}{1-p}}$$

$$\cancel{\frac{1}{1-p} = \frac{1}{1-\left[1 + A_1A_2 - A_1 - A_2\right]} =}$$

$$\cancel{= \frac{1}{-A_1A_2 + A_1 + A_2}}$$

Q''_{12} .... to, co z E_1 původního thonů na ②

Q''_{21} ... to, co z E_2 původního thonů na ①

ale na ① ~~thonů~~ dopadá i něco z ①

a na ② ~~thonů~~ dopadá něco z ② ;

co na 1 z ① ?

$\cancel{A_1 \cdot (1-A_2) E_1}$

$\cancel{(1-A_2)(1-A_2) E_1}$

A_2

$(1-A_2)(1-A_1) E_1$

$A_2 (1-A_2)(1-A_1) E_1$

$(1-A_2)^2 (1-A_1) E_1$

$$E_1 \cdot \{A_1 \cdot (1-A_2) +$$
$$(1-A_2) E_1 + p \cdot (1-A_2) E_1 +$$
$$+ \dots$$

$$1 \to 1 = (1-A_2) \frac{E_1}{1-p}$$

Analogicky

$$2 \to 2 = (1-A_1) \frac{E_2}{1-p}$$

celkem na ① dopadá

$$\frac{1}{1-p} \cdot \left[E_2 + (1-A_2) E_1 \right]$$

Celkem na ② dopadá:

$$\frac{1}{1-p}\left[E_1 + (1-A_1)E_2\right]$$

Bilance 1–2 = co dopadá na 2 − co dopadá na 1

$$q_{12} = \frac{1}{1-p}\left[E_1 + (1-A_1)E_2 - E_2 - (1-A_2)E_1\right] =$$

$$= \frac{1}{1-p}\left[\cancel{E_1} + \cancel{E_2} - A_1E_2 - \cancel{E_2} - \cancel{E_1} + A_2E_1\right] =$$

$$= \frac{A_2E_1 - A_1E_2}{1-\left[1 + A_1A_1 - A_1 - A_2\right]} = \frac{A_2E_1 - A_1E_2}{A_1 + A_2 - A_1A_2} =$$

$$= \left|\begin{array}{l}\text{čitatel i jmenovatel} \\ \text{vydělím} \\ A_1 \cdot A_2\end{array}\right| = \frac{\dfrac{E_1}{A_1} - \dfrac{E_2}{A_2}}{\dfrac{1}{A_1} + \dfrac{1}{A_2} - 1} =$$

$$= \left|\begin{array}{l} E_1 = \varepsilon_1 \sigma_0 T_1^4 \\ E_2 = \varepsilon_2 \sigma_0 T_2^4 \\ A_1 = \varepsilon_1 \\ A_2 = \varepsilon_2 \end{array}\right| \quad \sigma_0 \frac{T_1^4 - T_2^4}{\dfrac{1}{\varepsilon_1} + \dfrac{1}{\varepsilon_2} - 1}$$

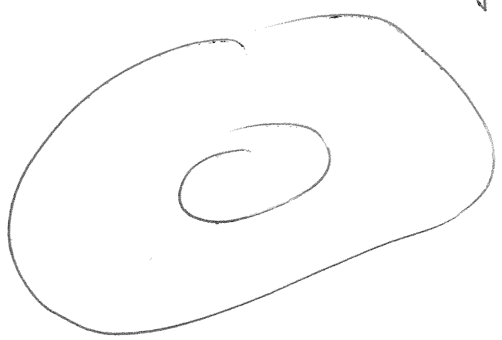
Proč je to poněkud jiné než ve „Světelné technice"

Tam nás zajímá jen co dopadne na danou plochu,

zajímání osvětlení atd.

Zde nás zajímala výměna tepla.

Dále: dopadá-li jen část z 1 na 2,



. . . .

+ obecný tvar

---

okrajová podmínka je pak

$$-\frac{\partial T}{\partial \vec{n}}\Big/_S = \alpha_k (T_s - T_0) + |\vec{q}_S| \stackrel{!}{=}$$

$$\alpha_\Sigma (T_S - T_0) \Rightarrow$$

$$\alpha_\Sigma = \alpha_k + \alpha_R$$
