

# Straussův model osvětlení

© 1996-2016 Josef Pelikán  
CGG MFF UK Praha

pepca@cgg.mff.cuni.cz  
<http://cgg.mff.cuni.cz/~pepca/>



# Světelný model P. Strausse

- ◆ **Phongův model** obsahuje řadu závislých číselných parametrů
  - pro nezkušeného uživatele může být těžké zadat konzistentní údaje
- ◆ **Straussův model** používá intuitivní parametry
  - hladkost povrchu, kovový charakter, ..
- ➔ **Straussův model** je fyzikálně věrnější
  - aproximace Fresnelova vztahu pro odraz světla



# Parametry materiálu

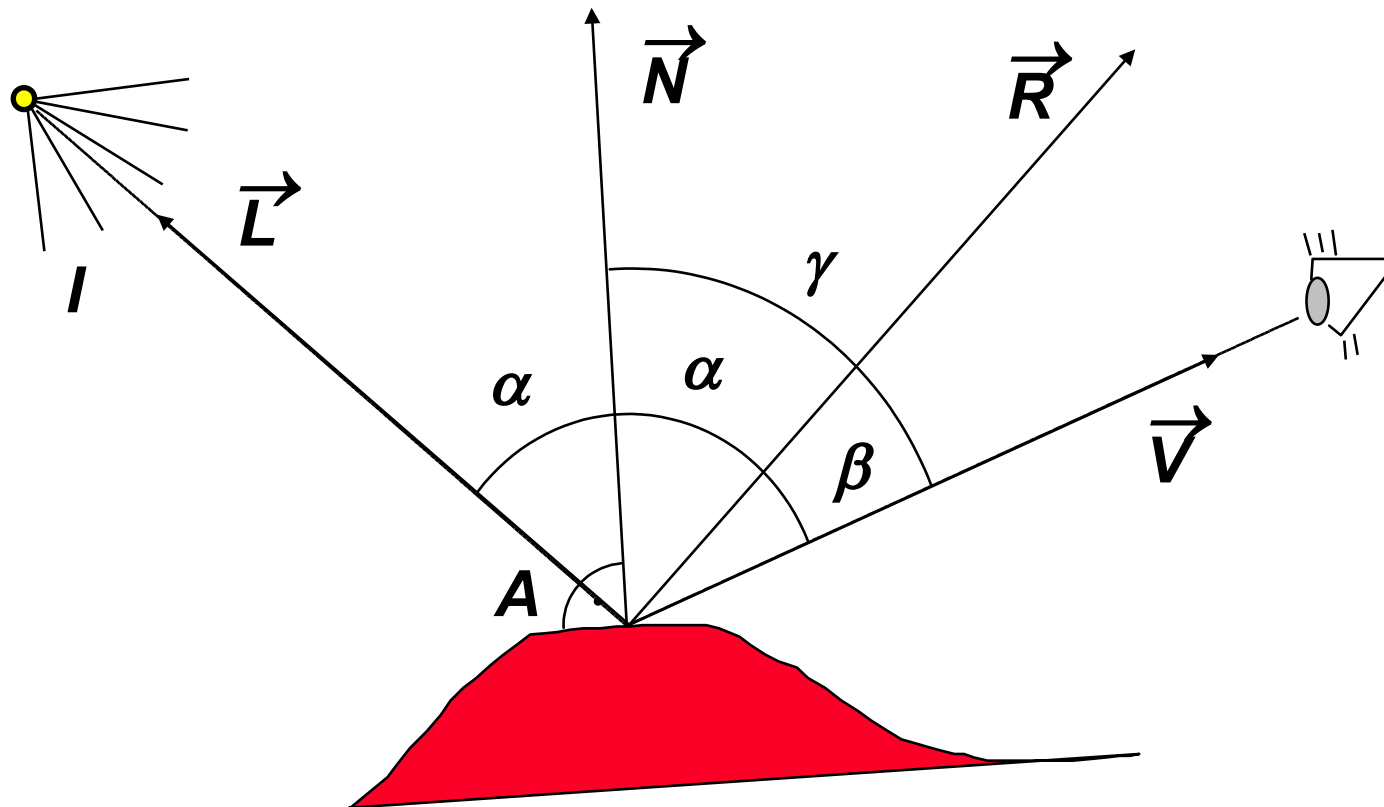
- ♦ **barva  $C$**  („color”) **[R,G,B]**
  - základní barva povrchu
- ♦ **hladkost  $s$**  („smoothness”) **[0-1]**
  - 0 .. ideálně matný povrch, 1 .. ideální zrcadlo
- ♦ **kovovost  $m$**  („metalness”) **[0-1]**
  - 0 .. nekov, 1 .. kov
  - má vliv na barvu a intenzitu lesklého odrazu



# Parametry materiálu

- ♦ **průhlednost  $t$**  („transparency“) **[0-1]**
  - 0 .. totálně neprůhledný materiál
  - 1 .. úplně průhledný materiál
  
- ♦ **index lomu  $n$**   **$\geq 1$** 
  - fyzikální konstanta: poměr rychlosti šíření světla ve vakuu a v daném materiálu

# Situace





# Směrový / bodový zdroj světla

- ♦ příspěvek intenzity směrového zdroje:

$$I_{Di} = I_i \cdot (Q_d + Q_s)$$

- $I_i$  ... intenzita světelného zdroje (skalár)
- $Q_d$  ... rozptýlený (difusní) odraz
- $Q_s$  ... lesklý odraz („specular“)



# Difusní složka

$$Q_d = (1 - m \cdot s) \cdot r_d \cdot C \cdot \cos \alpha ,$$

kde  $r_d = (1 - s^3) \cdot (1 - t)$

$$\cos \alpha = (\mathbf{N} \cdot \mathbf{L}_i)$$



# Zrcadlová složka

$$\mathbf{Q}_s = \mathbf{r}_s \cdot \mathbf{C}_s$$

→  $\mathbf{C}_s$  ... barva lesklého odrazu

$$\mathbf{r}_s = \mathbf{r}_j \cdot \mathbf{cos}^h \beta, \text{ kde } \mathbf{h} = \mathbf{3} / (\mathbf{1-s})$$

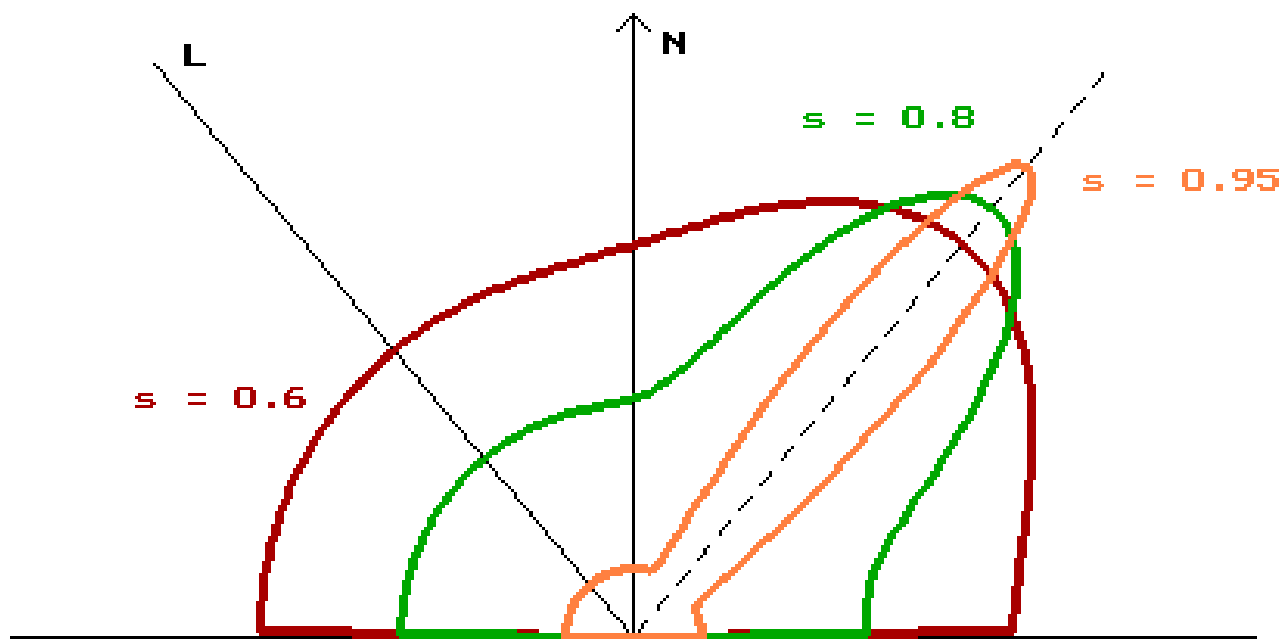
$$\mathbf{r}_j = \mathbf{min}\{ \mathbf{1}, \mathbf{r}_n + \mathbf{j} \cdot (\mathbf{r}_n + \mathbf{k}_j) \}$$

$$\mathbf{r}_n = \mathbf{1} - \mathbf{t} - \mathbf{r}_d, \text{ a např. } \mathbf{k}_j = \mathbf{0.1}$$





# Zrcadlový odlesk kvantitativně



Odlesk pro různé hodnoty  $s$  (smoothness)



# Zrcadlová složka (člen j)

$$\mathbf{j} = \mathbf{F}(2\alpha/\pi) \cdot \mathbf{G}(2\alpha/\pi) \cdot \mathbf{G}(2\gamma/\pi)$$

→ funkce **F** a **G** aproximují Fresnelovy vztahy:

$$\mathbf{F}(\mathbf{x}) = \frac{(\mathbf{x} - \mathbf{k}_f)^{-2} - \mathbf{k}_f^{-2}}{(1 - \mathbf{k}_f)^{-2} - \mathbf{k}_f^{-2}}, \quad \mathbf{G}(\mathbf{x}) = \frac{(\mathbf{x} - \mathbf{k}_g)^{-2} - \mathbf{k}_g^{-2}}{(1 - \mathbf{k}_g)^{-2} - \mathbf{k}_g^{-2}}$$

→ vhodné hodnoty konstant:  $\mathbf{k}_f = 1.12$ ,  $\mathbf{k}_g = 1.01$



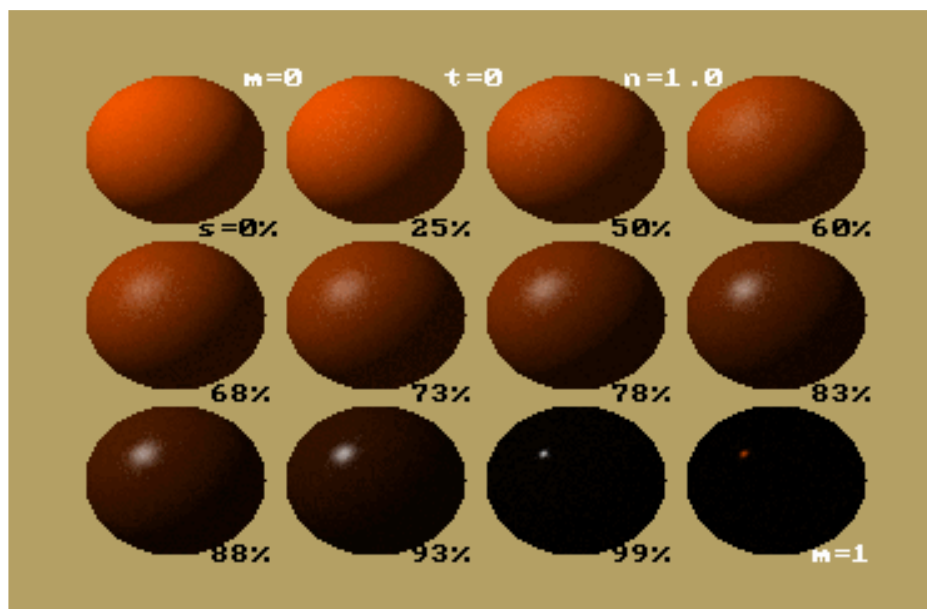
# Barva zrcadlové složky

$$C_s = C_L + m \cdot (1 - F(2\alpha/\pi)) \cdot (C - C_L)$$

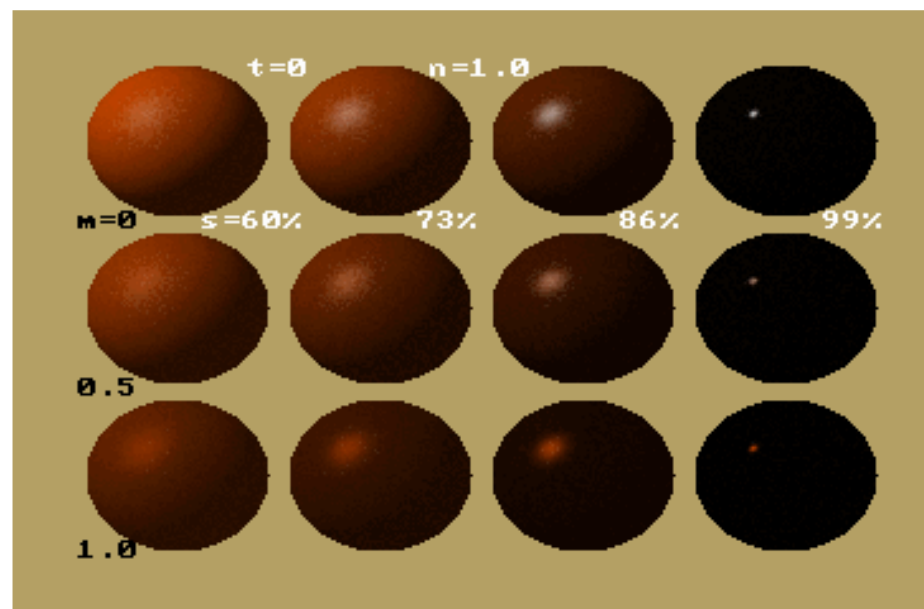
- $C_L$  ... barva světelného zdroje  
(nejčastěji bílá = [1,1,1])



# Zrcadlový odlesk a jeho barva



Různé hodnoty  $s$ ,  $m=0$



Různé hodnoty  $s$  a  $m$



# Zdroj okolního světla

- ♦ intenzita okolního světla („ambient“):

$$\mathbf{I}_A = \mathbf{I}_i \cdot \mathbf{r}_d \cdot \mathbf{C}$$

- $\mathbf{I}_i$  ... intenzita okolního světla (skalár)
- $\mathbf{r}_d$  ... viz difusní složka odrazu



# Více světelných zdrojů

$$\mathbf{I} = \mathbf{I}_A + \sum_i \mathbf{I}_{Di}$$

→ výpočet **vektoru odrazu**:

$$\mathbf{R} = 2\mathbf{N} (\mathbf{N} \cdot \mathbf{L}) - \mathbf{L}$$

→ **oprava na vzdálenost** bodového světelného zdroje:

$$1/(\mathbf{c}_0 + \mathbf{c}_1 \mathbf{d}_i + \mathbf{c}_2 \mathbf{d}_i^2)$$



# Globální osvětlovací model

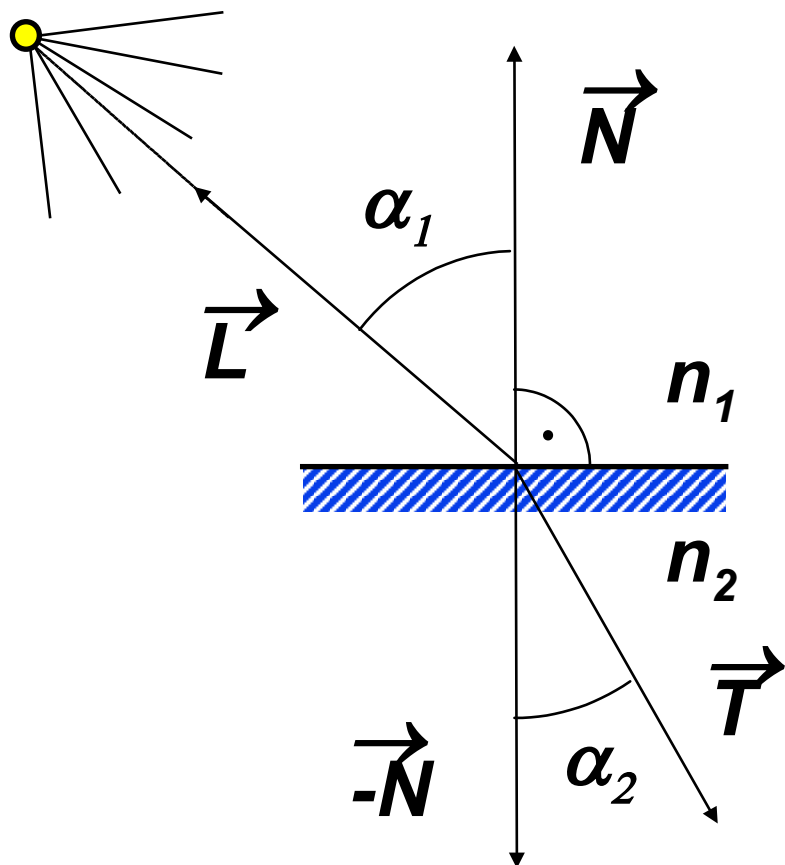
- ◆ např. pro **rekurzivní sledování paprsku**
- ◆ koeficient **procházejícího světla**:

$$\mathbf{z} = \mathbf{t} \cdot (\mathbf{1} - \mathbf{r}_s) / (\mathbf{1} - \mathbf{r}_n)$$

- $\mathbf{r}_s, \mathbf{r}_n$  ... viz zrcadlová složka odrazu



# Lom světla (Snellův zákon)



$$\frac{\sin \alpha_2}{\sin \alpha_1} = \frac{n_1}{n_2} = n_{12}$$

$$\begin{aligned} \cos \alpha_2 &= \sqrt{1 - n_{12}^2 \sin^2 \alpha_1} = \\ &= \sqrt{1 - n_{12}^2 (1 - (\mathbf{N} \cdot \mathbf{L})^2)} \end{aligned}$$

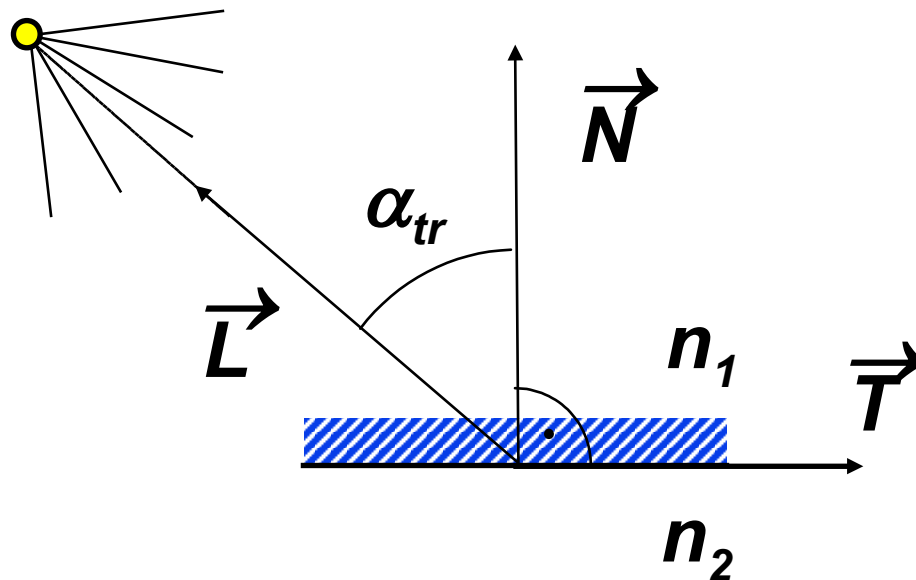
$$\mathbf{T} = \left[ n_{12}(\mathbf{N} \cdot \mathbf{L}) - \sqrt{1 - n_{12}^2 (1 - (\mathbf{N} \cdot \mathbf{L})^2)} \right] \cdot \mathbf{N} - n_{12} \cdot \mathbf{L}$$





# Totální odraz

- přechod z prostředí **opticky hustšího** do prostředí **opticky řidšího** ( $n_1 > n_2$ )
- pro úhly dopadu **větší než mezní úhel**  $\alpha_{tr}$  nedochází k lomu světla!



$$\sin \alpha_{tr} = \frac{n_2}{n_1}$$



# Implementace

- ♦ hodnoty  $\mathbf{F}(2\mathbf{x}/\pi)$  a  $\mathbf{G}(2\mathbf{x}/\pi)$  lze spočítat předem do tabulky ( $\mathbf{0} \leq \mathbf{x} \leq \pi/2$ )
  - při výpočtu se použije lineární interpolace tabulkových hodnot
- ♦ pro větší urychlení lze tabelovat i term  $\mathbf{j}(\alpha, \gamma)$ 
  - větší spotřeba paměti (dvojrozměrná tabulka)



# Literatura

- **P. Strauss: *A Realistic Lighting Model for Computer Animators*, IEEE Computer Graphics and Applications, November 1990, str. 56 - 64**