

Distribuované sledování paprsku

© 1996-2015 Josef Pelikán, CGG MFF UK Praha

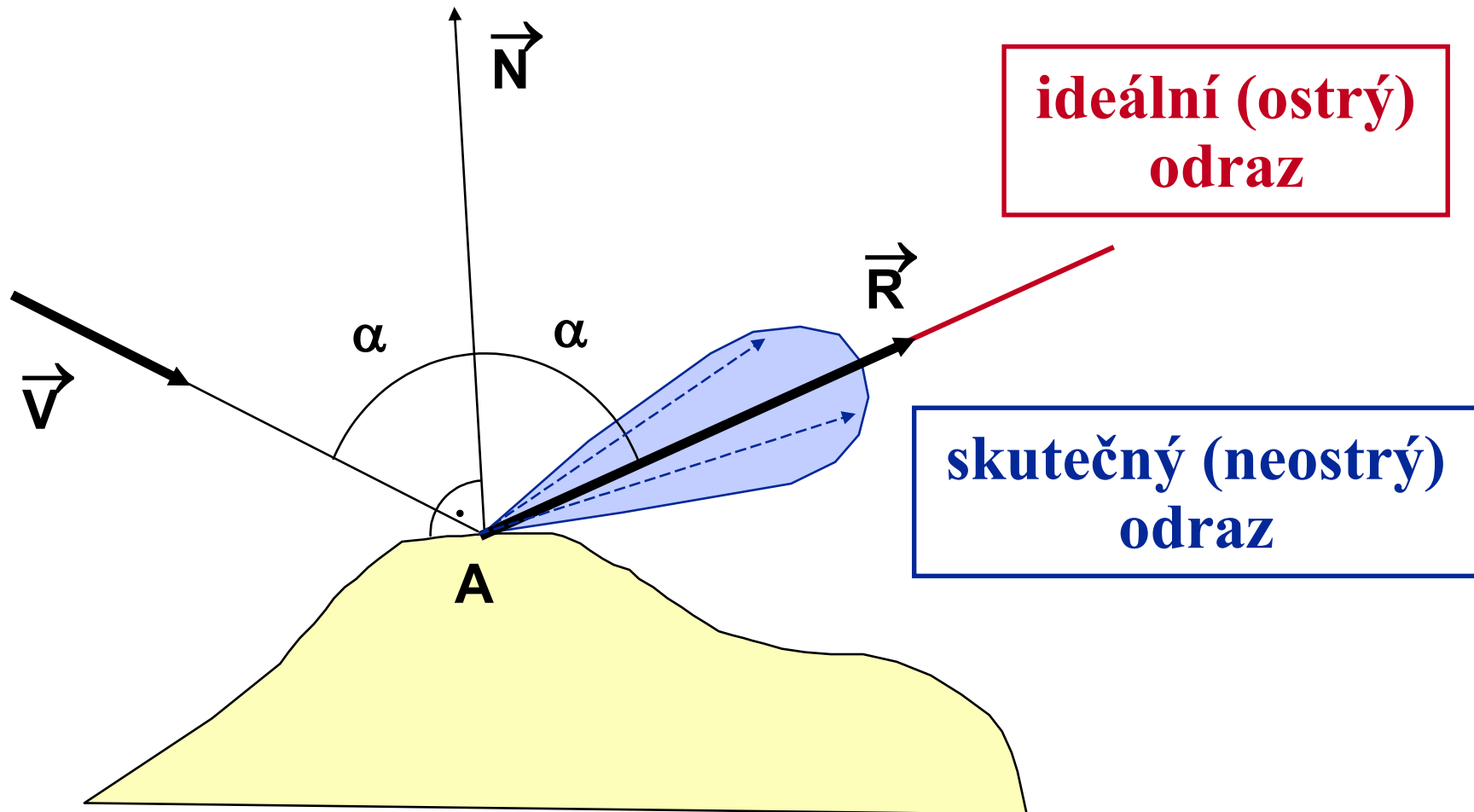
<http://cgg.mff.cuni.cz/~pepca/>

pepca@cgg.mff.cuni.cz

Distribuované sledování paprsku

- ♦ **zvýšení kvality** (věrnosti) generovaného obrazu
 - měkké stíny, odrazy a lomy světla
 - rozmazání pohybem
 - simulace hloubky ostrosti světelného objektivu
 - rozklad světla při lomu (index lomu závisí na λ)
- ♦ zavedení **nových proměnných** do obrazové funkce
 - úhel odrazu, lomu, vlnová délka světla, pozice bodu na světelném zdroji, na čočce objektivu, čas, ..

Vznik neostrého odrazu





Výpočet neostrého odrazu

Ostrý odraz:

$$I(V) = I(R)$$

(jeden odražený paprsek)

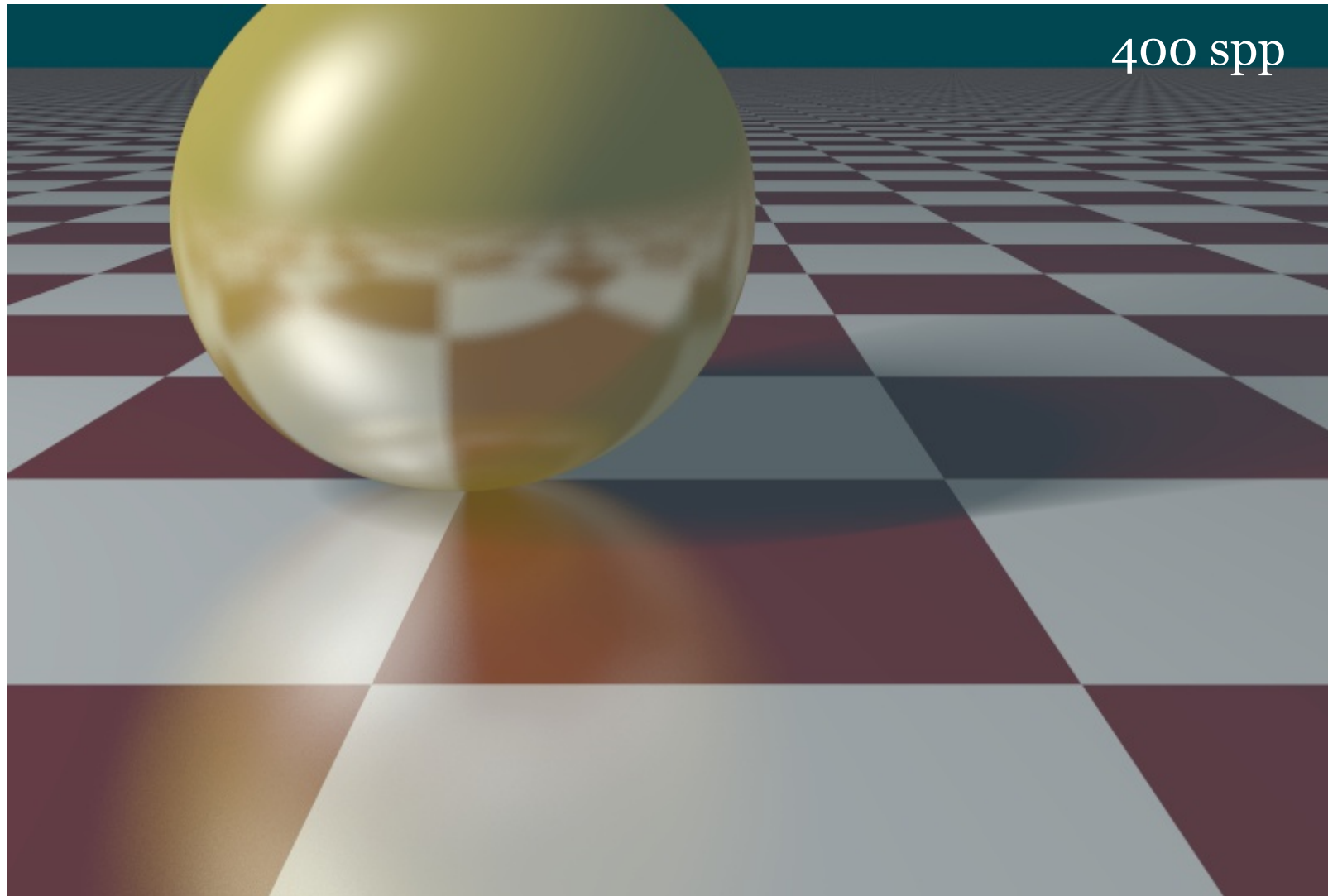
Neostrý odraz:

$$I(V) = \iint_{\text{koule}} I(R(\varphi, \theta)) \cdot \text{BRDF}(\alpha, \beta, \varphi, \theta) \, d\varphi \, d\theta$$

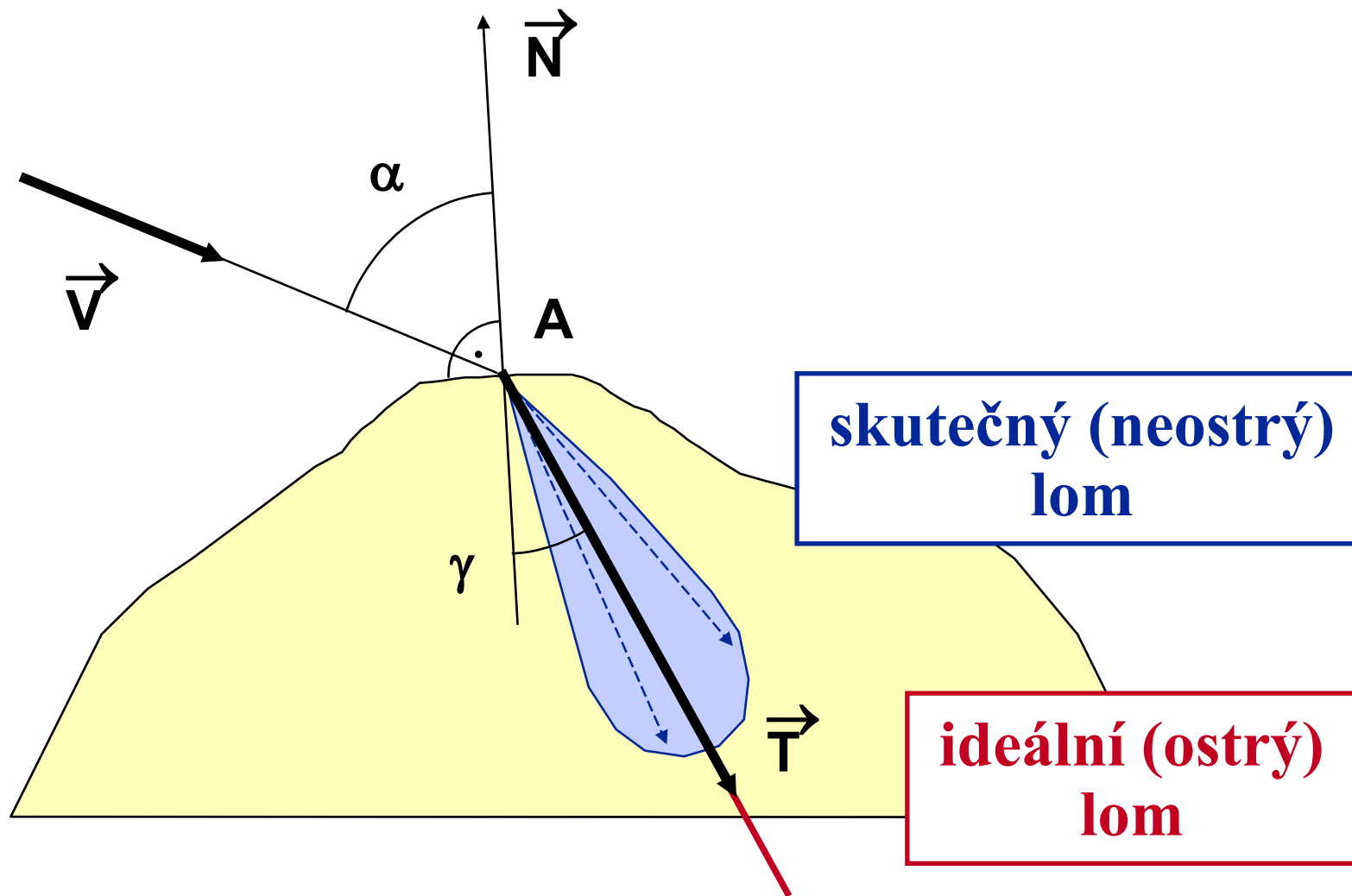
funkce odrazivosti

(vážený integrální průměr
přes všechny směry odrazu)

Ukázka neostrého odrazu

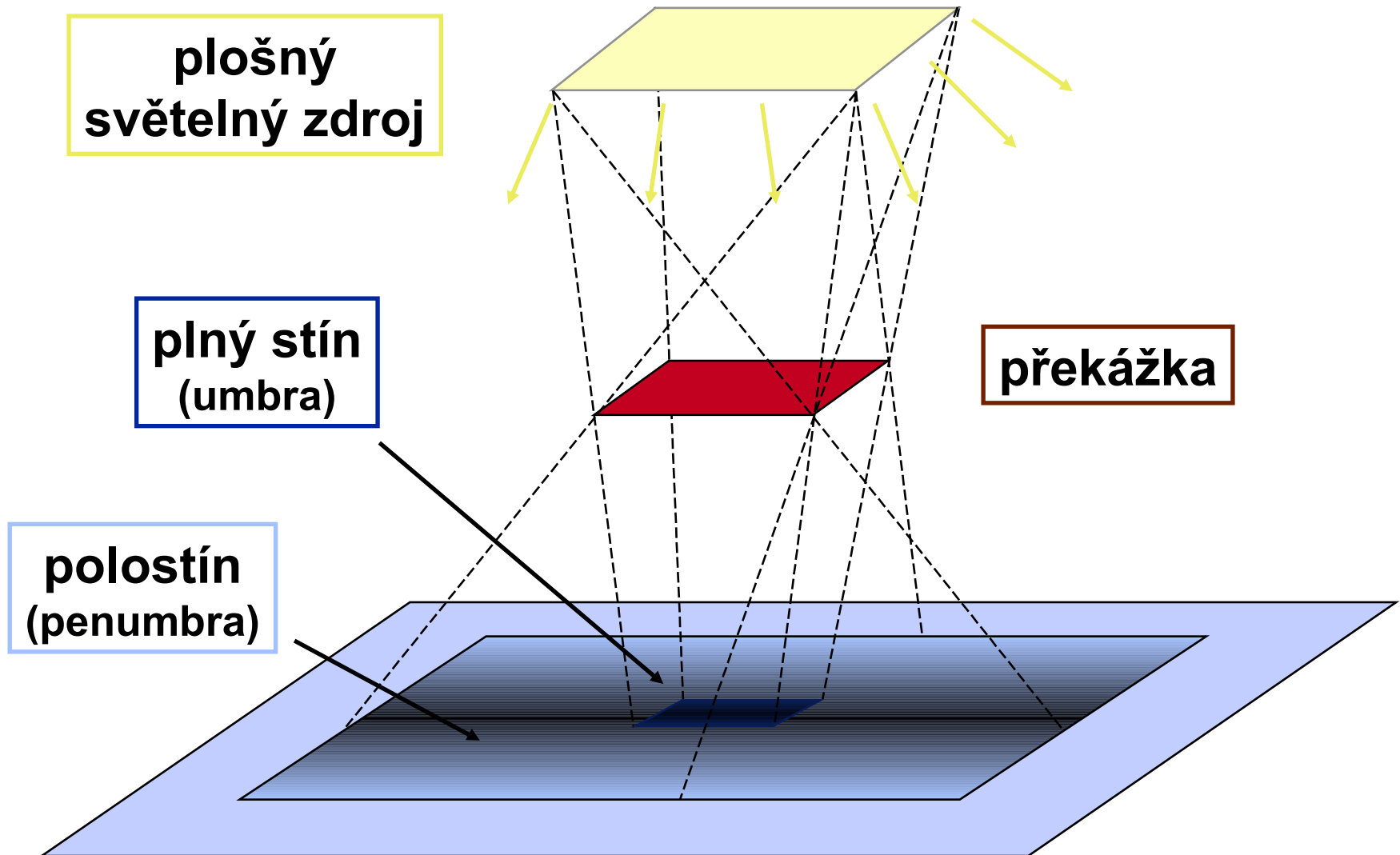


Neostrý lom





Vznik měkkého stínu





Výpočet měkkých stínů

Příspěvek bodového světelného zdroje:

$$I(\mathbf{A}) = \begin{cases} I_L & \text{pokud je zdroj vidět z bodu } \mathbf{A} \\ 0 & \text{jinak} \end{cases}$$

Příspěvek homogenního plošného zdroje:

$$I(\mathbf{A}) = I_L \cdot S[\%]$$

- ▶ **podíl z bodu A viditelné části světelného zdroje**

Výpočet měkkých stínů



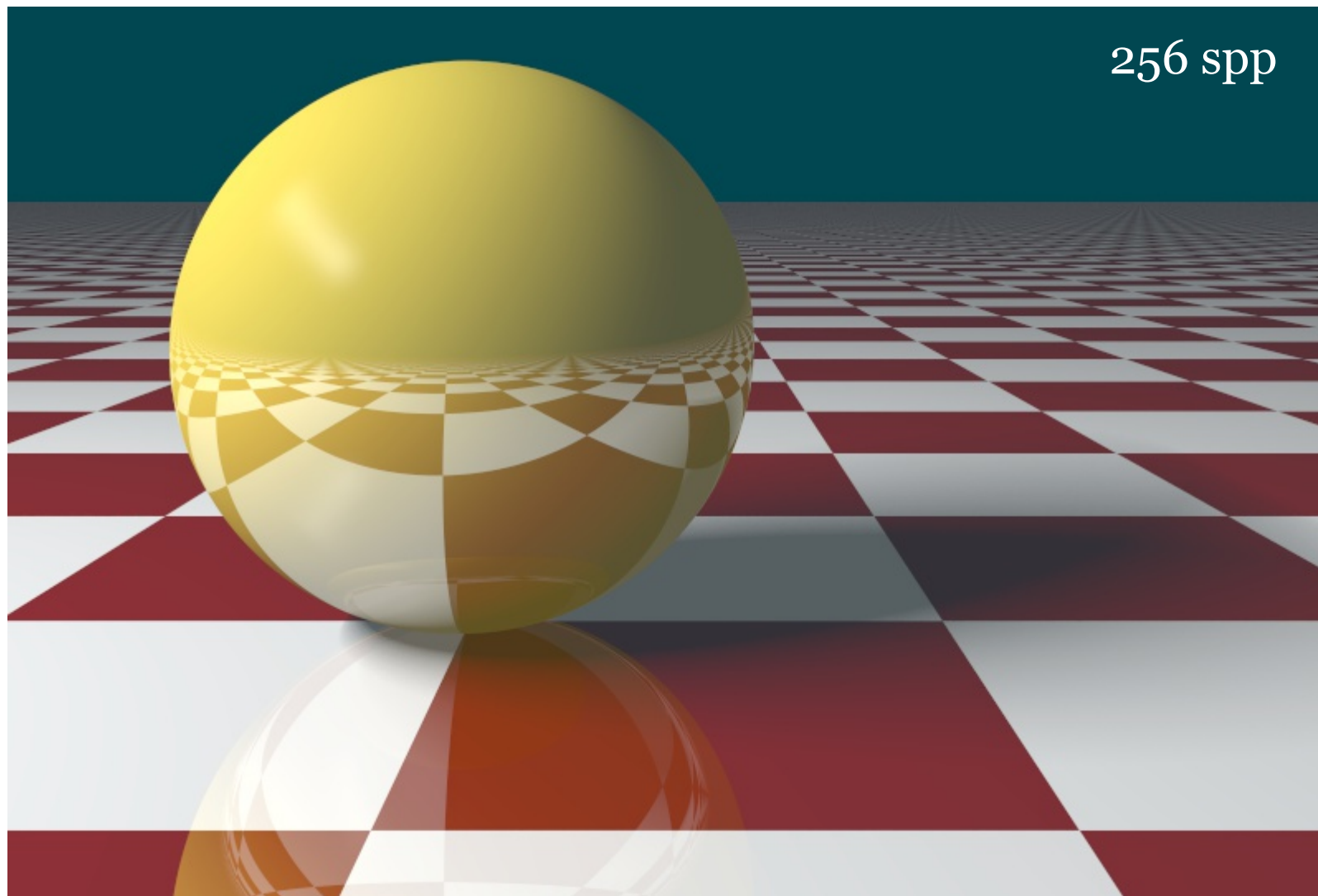
Příspěvek nehomogenního plošného zdroje:

$$I(\mathbf{A}) = \iint_{\text{plocha zdroje}} I_L(\mathbf{u}, \mathbf{v}) \cdot \text{vis}(\mathbf{A}, \mathbf{u}, \mathbf{v}) \, du \, dv$$

funkce viditelnosti

$$\underline{\text{vis}(\mathbf{A}, \mathbf{u}, \mathbf{v})} = \begin{cases} 1 & \text{pokud je } \mathbf{S}(\mathbf{u}, \mathbf{v}) \text{ vidět z bodu } \mathbf{A} \\ 0 & \text{jinak} \end{cases}$$

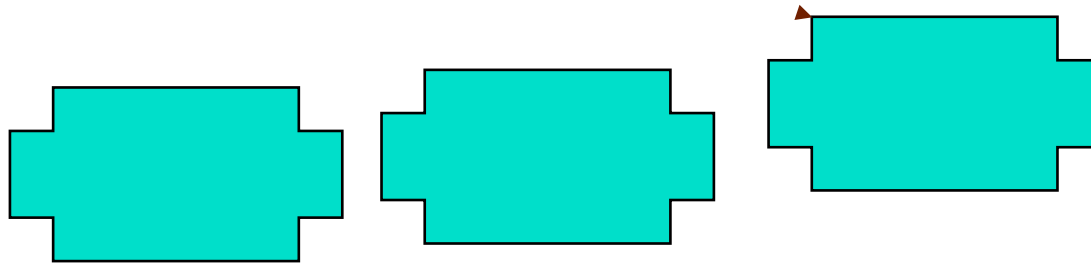
Ukázka měkkých stínů



Rozmazání rychlým pohybem



dráha tělesa $s(t)$



snímaný interval:
(doba otevření závěrky)

$[t_1, t_2]$

zobrazení scény v čase t :

$f(t) = f(x,y,t)$

Rozmazání pohybem



Obecná pohybem rozmazaná scéna:

$$\mathbf{f}_{\text{blurr}} = \int_{t_1}^{t_2} \mathbf{f}(t) dt$$

Rozmazání pohybem

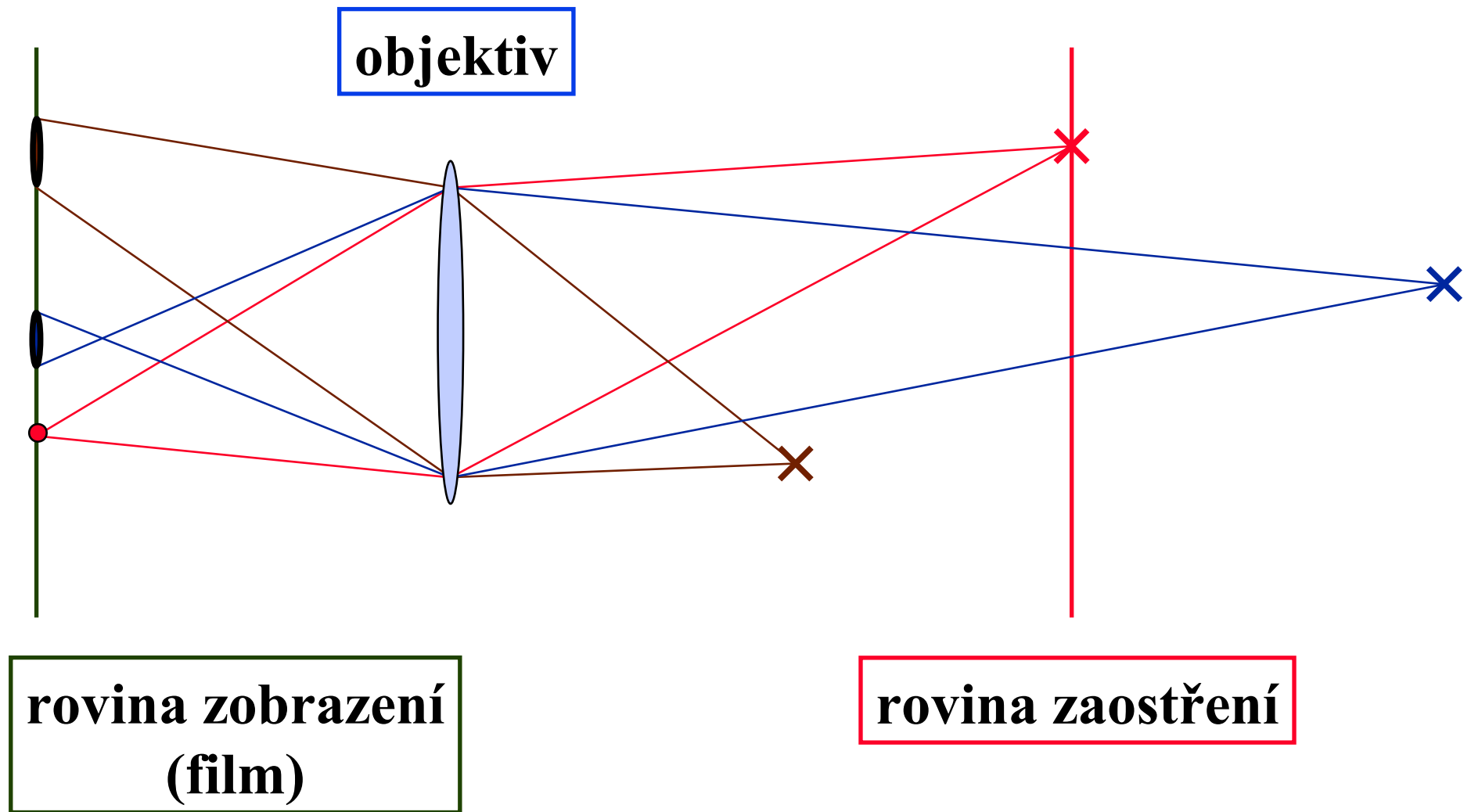


Zobrazení scény s jediným
pohybujícím se objektem:

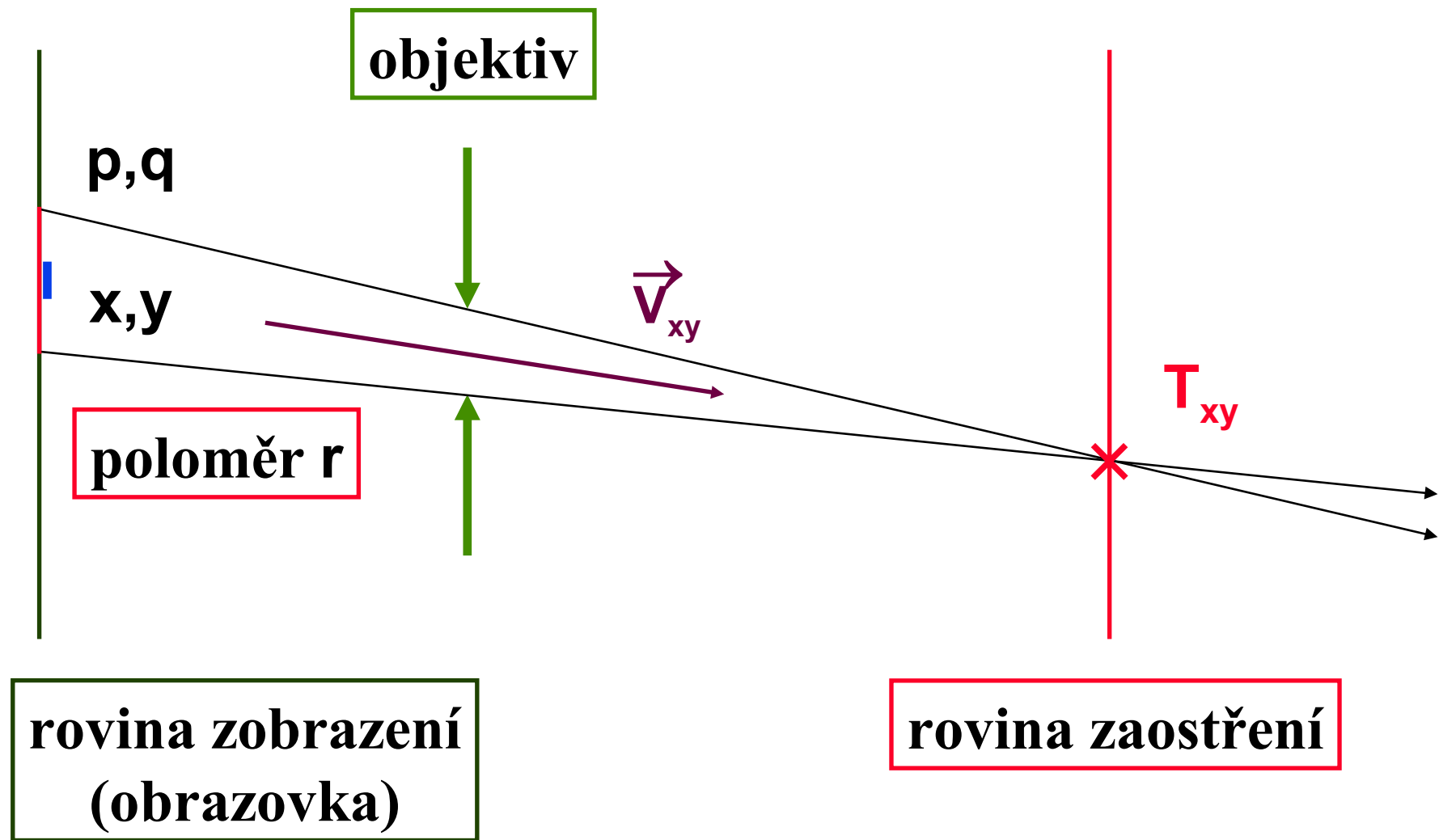
$$\mathbf{f}_{\text{blurr}} = \frac{\int_{t_1}^{t_2} \mathbf{f}(\mathbf{t}) \cdot |\mathbf{s}'(\mathbf{t})|^{-1} dt}{\int_{t_1}^{t_2} |\mathbf{s}'(\mathbf{t})|^{-1} dt}$$

$$|\mathbf{s}'(\mathbf{t})| \neq 0 \text{ na } \langle \mathbf{t}_1, \mathbf{t}_2 \rangle$$

Hloubka ostrosti objektivu



Geometrické zjednodušení





Výpočet hloubky ostrosti

Model dírkové kamery:

$$f(\mathbf{x}, \mathbf{y}) = I(\mathbf{V}_{xy})$$

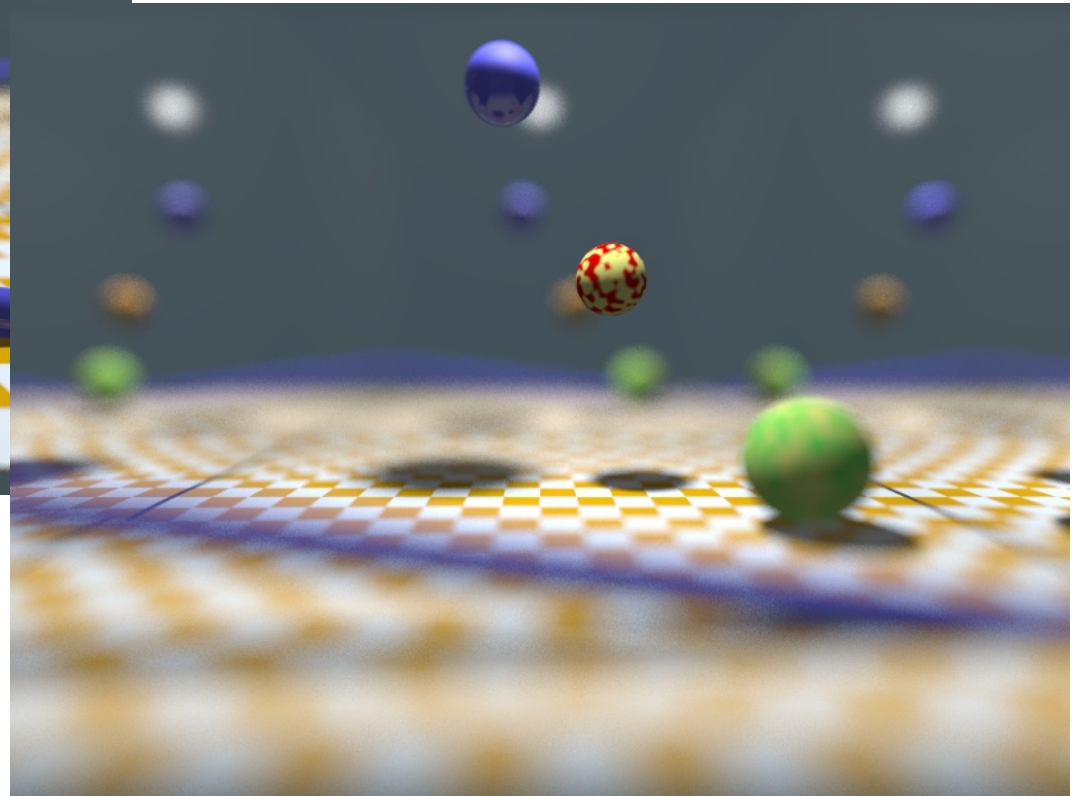
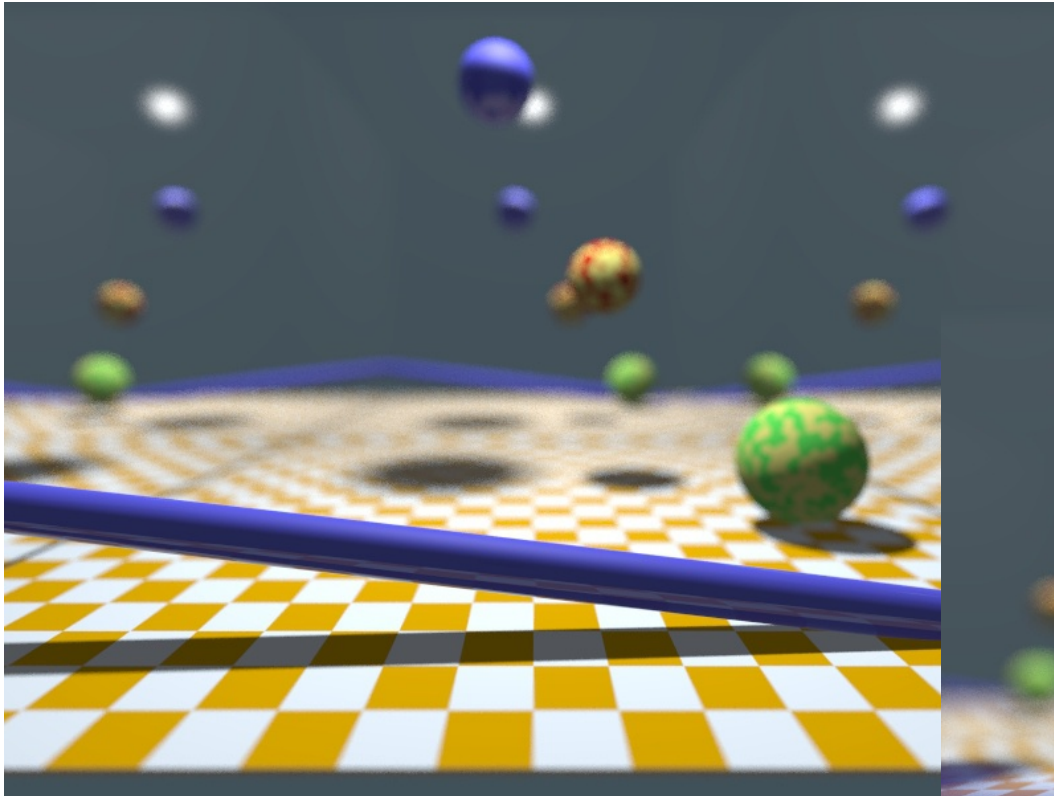
$$\mathbf{V}_{xy} = \mathbf{T}_{xy} - [\mathbf{x}, \mathbf{y}, 0]$$

$$\mathbf{V}_{pq} = \mathbf{T}_{xy} - [\mathbf{p}, \mathbf{q}, 0]$$

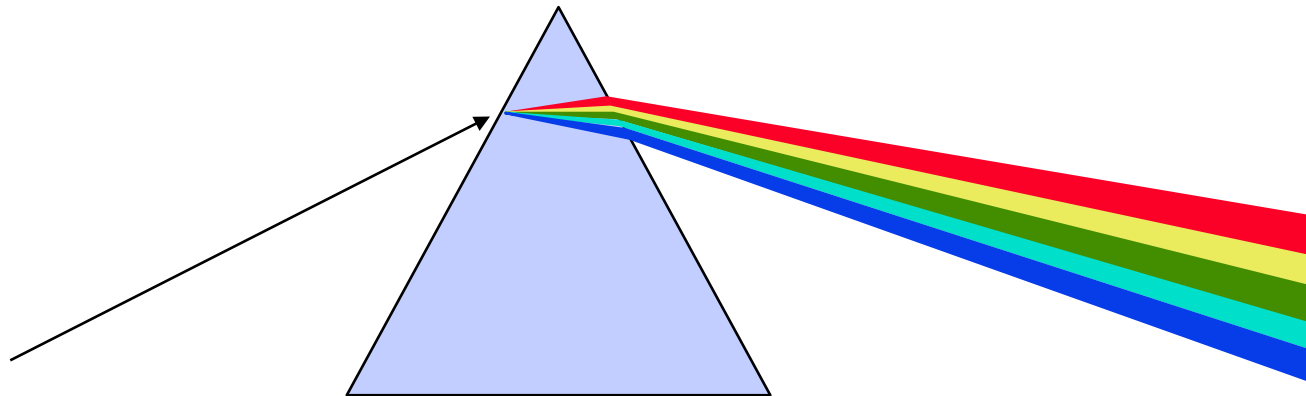
Model plošného objektivu:

$$f(\mathbf{x}, \mathbf{y}) = \int_{\text{kruh kolem } [\mathbf{x}, \mathbf{y}]} I(\mathbf{V}_{pq}) dp dq$$

Ukázky hloubky ostrosti



Rozklad světla



bílé světlo
(všechny
vlnové délky)

**oddělené
vlnové délky**

obrazová funkce:

$$f(\lambda) = f(x, y, \lambda)$$



Výpočet rozkladu světla

Barva pixelu při distribuci ve spektru:

$$\mathbf{R}(\mathbf{x}, \mathbf{y}) = \int_{\text{spektrum}} \mathbf{f}(\mathbf{x}, \mathbf{y}, \lambda) \cdot \mathbf{R}(\lambda) \, d\lambda$$

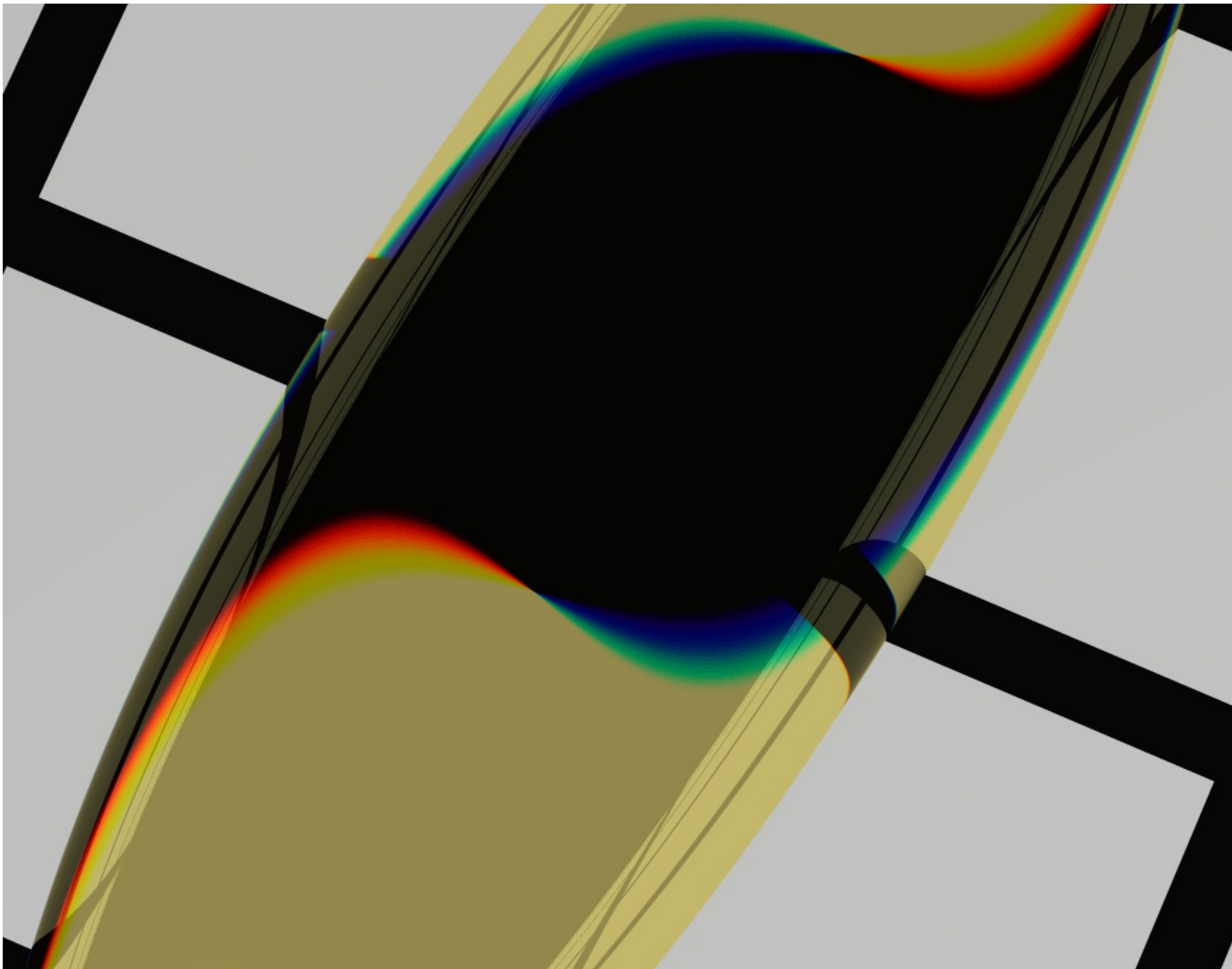
$$\mathbf{G}(\mathbf{x}, \mathbf{y}) = \int_{\text{spektrum}} \mathbf{f}(\mathbf{x}, \mathbf{y}, \lambda) \cdot \mathbf{G}(\lambda) \, d\lambda$$

$$\mathbf{B}(\mathbf{x}, \mathbf{y}) = \int_{\text{spektrum}} \mathbf{f}(\mathbf{x}, \mathbf{y}, \lambda) \cdot \mathbf{B}(\lambda) \, d\lambda$$



trichromatické
spektrální
činitele

Ukázka rozkladu světla



Implementace



- integrály se odhadují **stochasticky** (metodami Monte-Carlo)
 - spočítá se konečný počet vzorků (paprsků)
 - integrál se odhadne sumou
- **vážená** integrální střední hodnota
 - použije se uniformní vzorkování a příslušná váhová funkce
 - konstrukce neuniformního vzorkování (sekvenční Poissonovo diskové vzorkování)

Kombinované metody

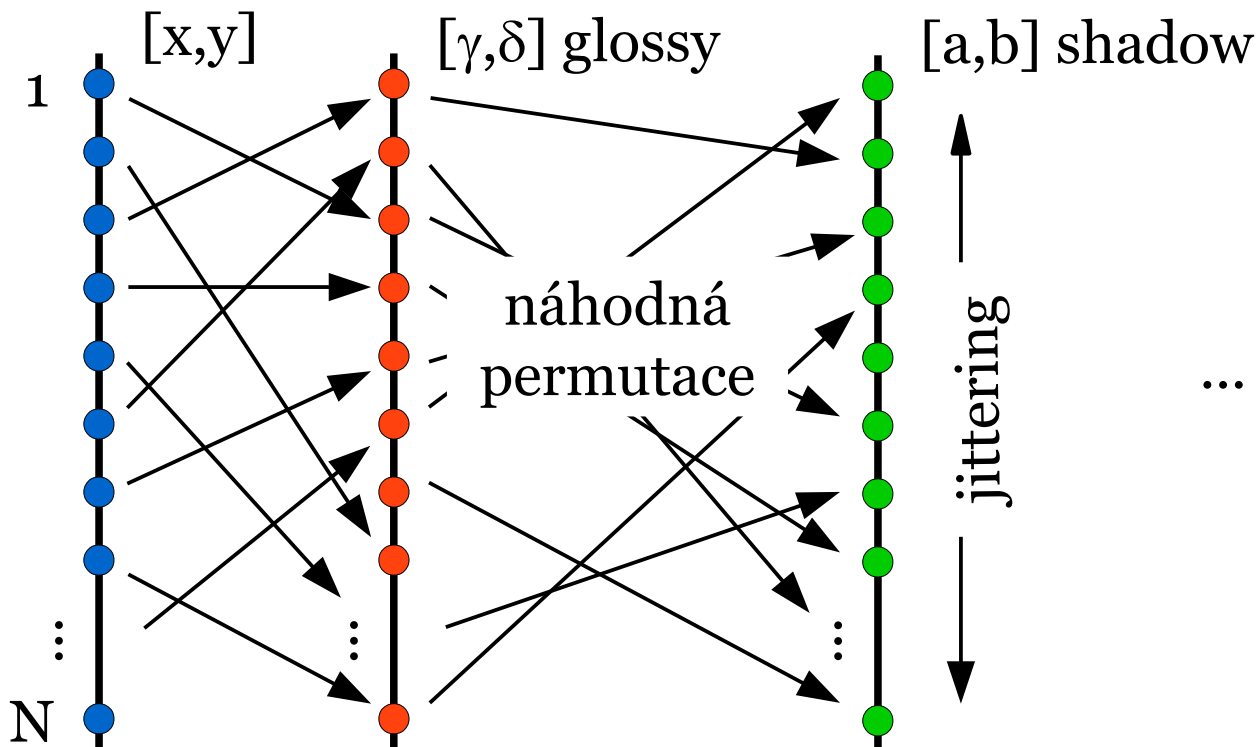


- libovolné metody lze vzájemně **kombinovat**
 - i s vyhlazováním („anti-aliasing“)
 - vznikají integrály vyšších řádů - např. dimenze 10:
 - vyhlazování (2), hloubka ostrosti (2), neostrý odraz (2), měkký stín (2), rozmazání pohybem (1), rozklad světla (1)
- výběr **vzorkovací metody**:
 - stochastické vzorkování („roztřesení“, ..)
 - ve vyšších dimenzích pracuje efektivně „nezávislé roztřesení“ („N věží“) - skryté vzorkování
 - adaptivní vzorkování



Skryté vzorkování

- je dán jen počet vzorků (primárních paprsků) na pixel
 - každá vnitřní komponenta může vzorkovat sama
 - libovolný počet přidanych dimenzí vzorkování



Literatura



**A. Glassner: *An Introduction to Ray Tracing*,
Academic Press, London 1989, 171-199**

**A. Watt, M. Watt: *Advanced Animation and
Rendering Techniques*, Addison-Wesley,
Wokingham 1992, 262-265**