

# Základy počítačovej grafiky a spracovania obrazu

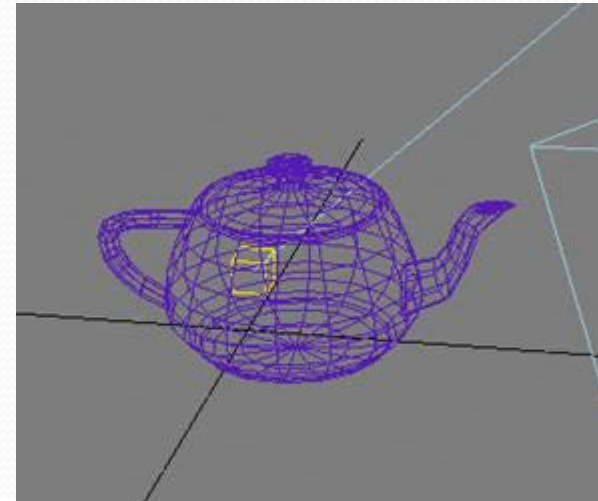
Osvetlenie a tieňovanie

Tiene

Júlia Kučerová

# Opakovanie

- **Model** → **Pixel**
- Modelové transformácie
- Pohľadové transformácie
- Projekčné transformácie
- Orezávanie
- Rasterizácia
- Textúrovanie
- +Osvetlenie a tieňe





# Kam sme sa zatiaľ dostali...

# Geometrický model



# Farba povrchu



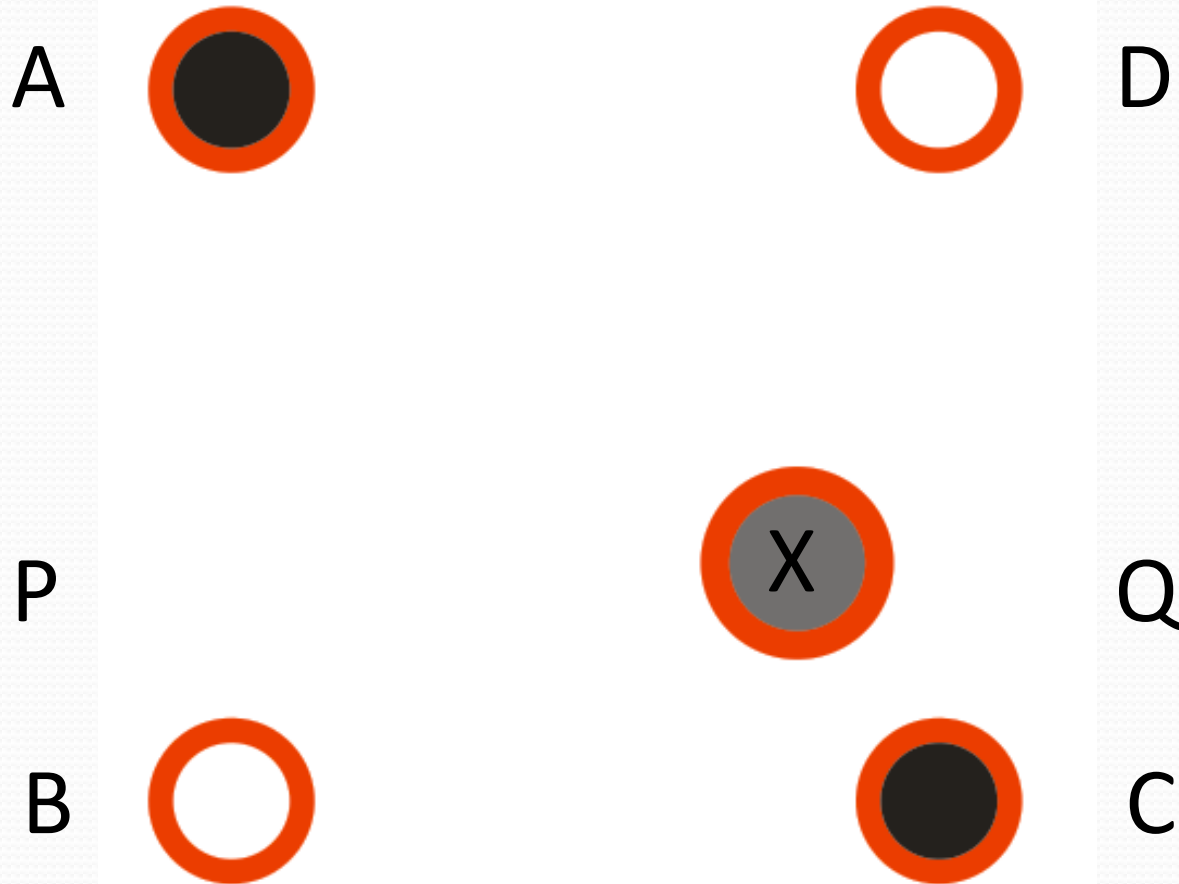
# Teraz: svetlo a tiene





# Dôležité opakovanie

# Bilineárna interpolácia





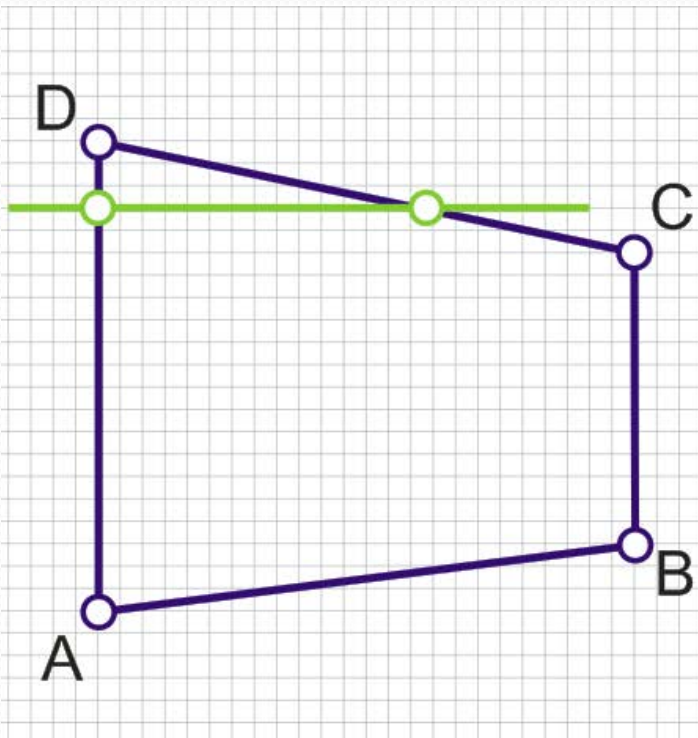
# Bilineárna interpolácia

- 4 rohové body  $A, B, C, D$  so známymi hodnotami
- 1 vútorný bod  $X$  s neznámou hodnotou
- $P = A + u(B-A)$ ,  $Q = D + u(C-D)$
- $X = P + v(Q-P)$
- Maticový zápis

$$X = (1 - u, u) \begin{pmatrix} A & D \\ B & C \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 - v \\ v \end{pmatrix} \quad u \in \langle 0, 1 \rangle, v \in \langle 0, 1 \rangle$$

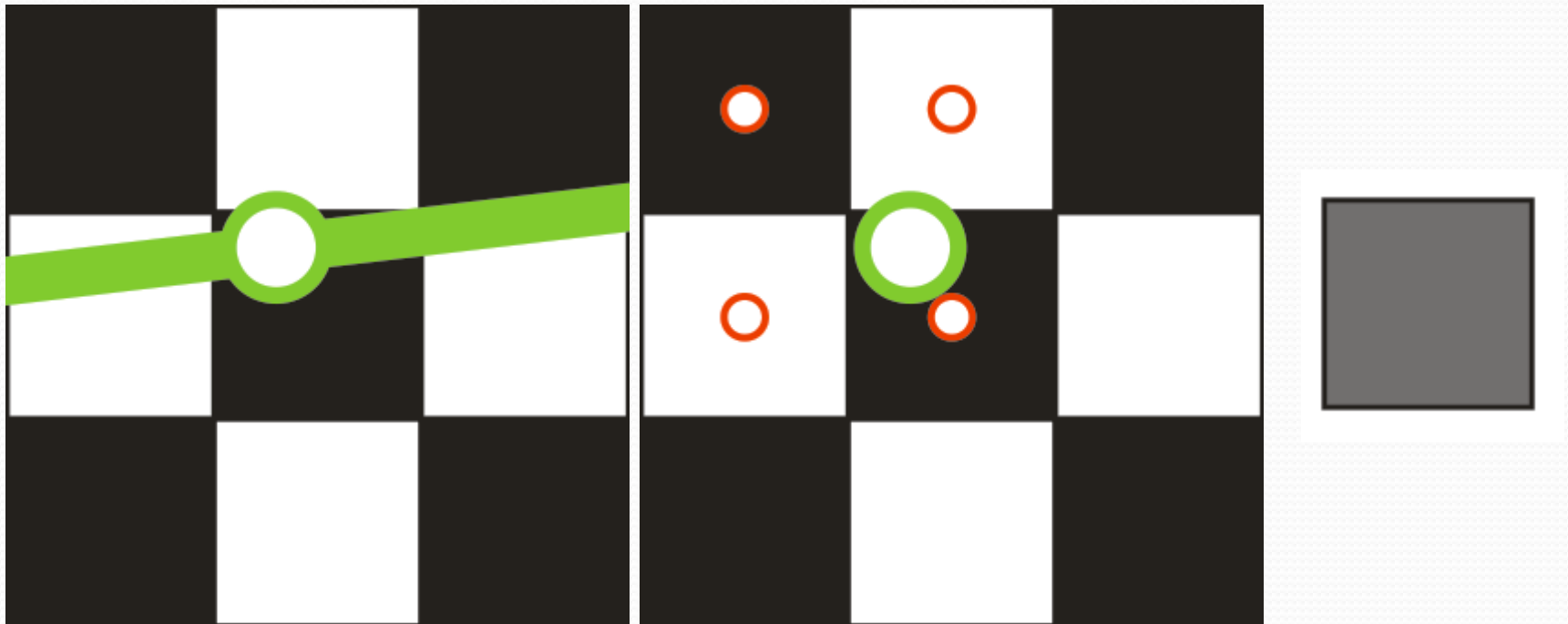
# Aplikácia: mapovanie textúr

- Interpolácia  $D \leftrightarrow A = P$ ,  $D \leftrightarrow C = Q$ ,  $P \leftrightarrow Q = X$



# Aplikácia – filtrovanie textúr

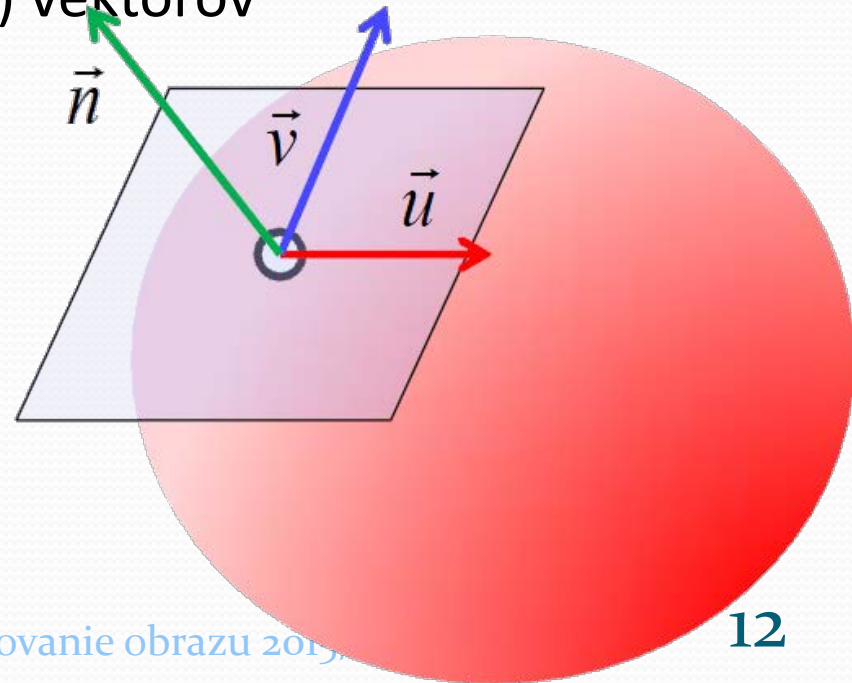
- Bilineárne filtrovanie



- Drawbacks – artefakty stále vznikajú

# Normálový vektor povrchu

- Vektor kolmý na rovinu v bode roviny
- Smer normálového vektora je jednoznačne určený
- Výpočet:
  - Zvyčajne z dotykových (hranových) vektorov
  - Násobenie vektorov  $\vec{n} = \vec{u} \times \vec{v}$
  - Záleží na reprezentácii objektu



- Normalizácia vektora  $\hat{n} = \frac{\vec{n}}{|\vec{n}|}$



# Osvetlenie a tieňovanie

# Všeobecný problém

- Pre bod v priestore vypočítať podmienky osvetlenia a upraviť farbu objektu pre vytvorenie finálnej farby pixelu



# Osvetlenie a tieňovanie

- Čo je osvetlenie?
  - Vypočítanie množstva radiancie (pre vlnovú dĺžku) odrazenej od objektu smerom ku kamere
- Čo je tieňovanie?
  - Vytváranie ilúzie priestoru v planárnom obraze
  - Zvyčajne využíva osvetlenie, avšak sú k dispozícii aj iné metódy – napr. hĺbkové tieňovanie (depth shading)



# Osvetlenie

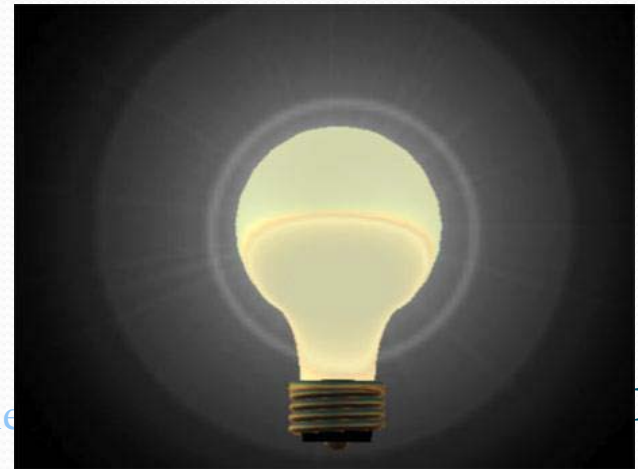


# Typy zdroja svetla

- Bodový svetelný zdroj
- Rovnobežný (slnko)
- Plošný
- Reflektor (spot light)
- Objekt

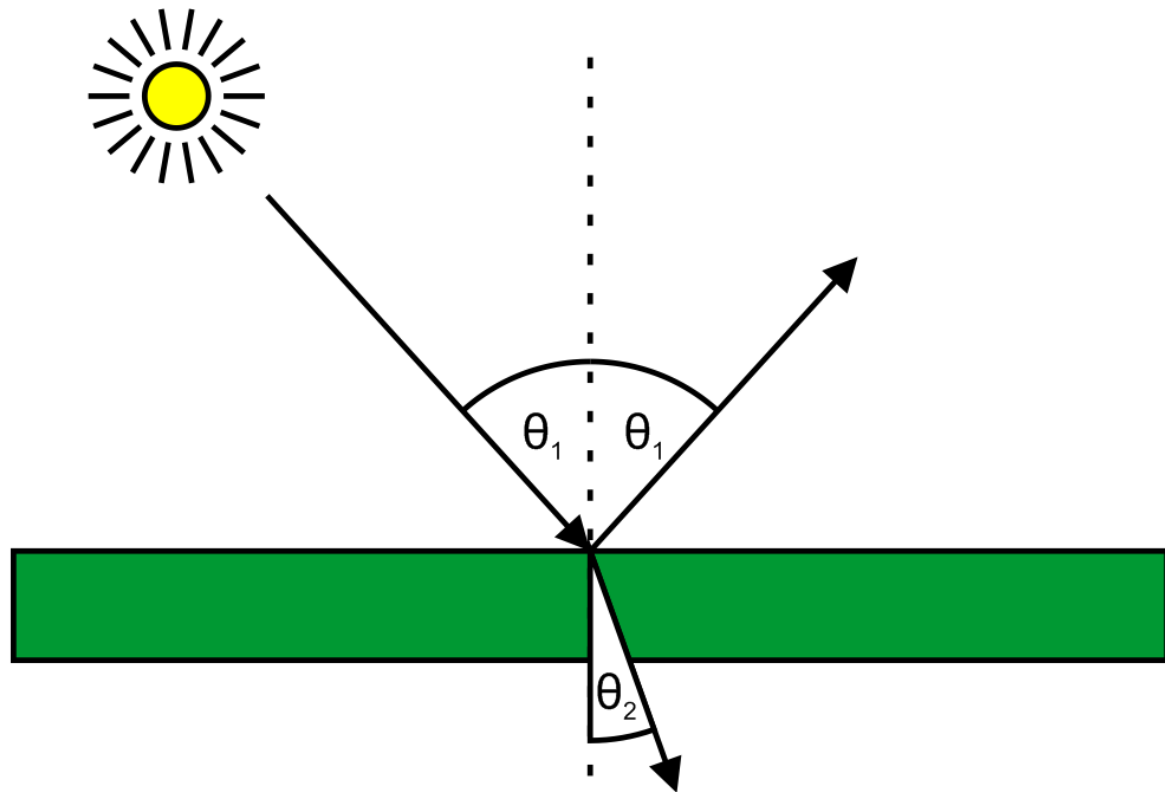


- aké sú rozdiely?



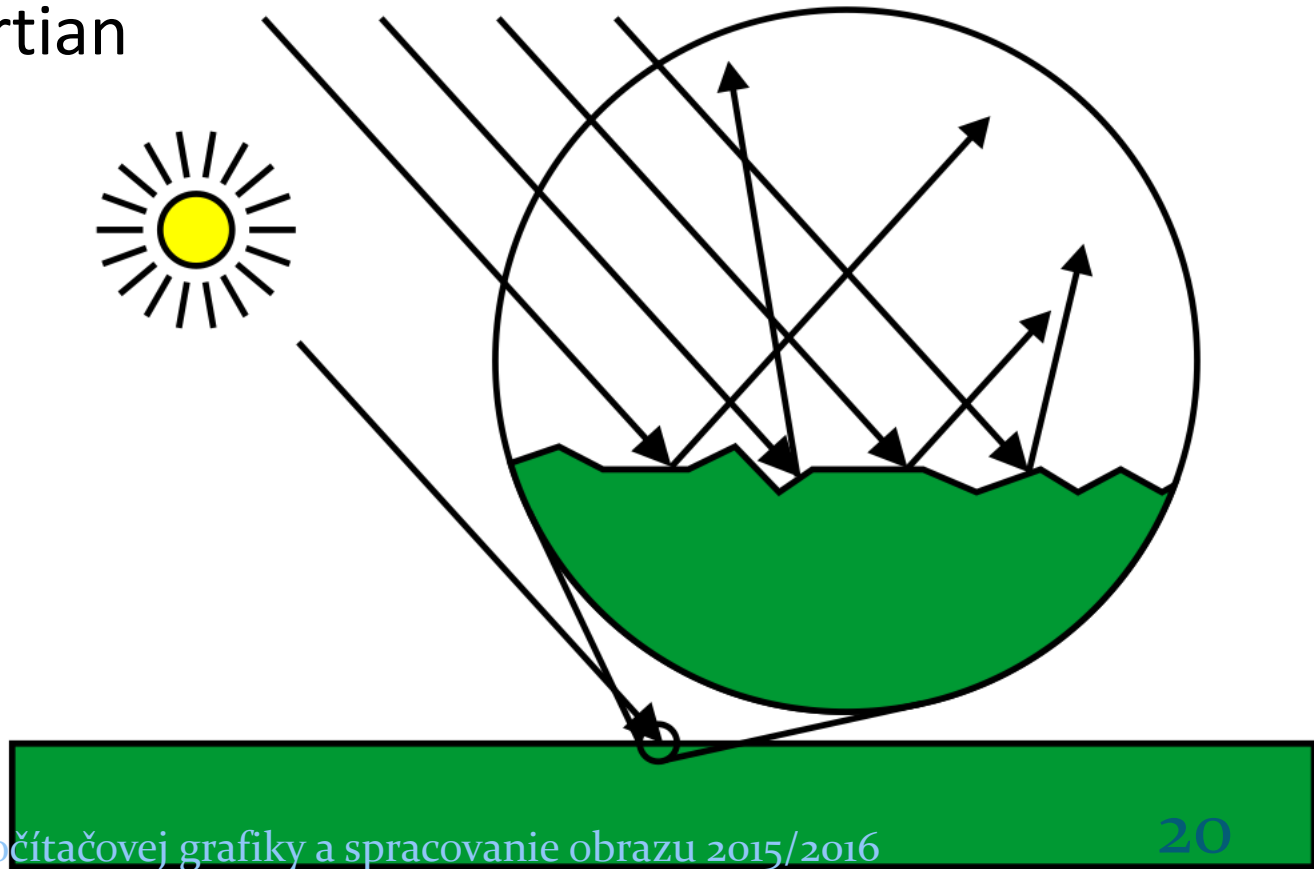
# Základná teória

- Interakcia svetla a povrchu
- Odraz
- Lom
  - Snellov zákon lomu
- Normála povrchu
- Reálny svet je trochu iný



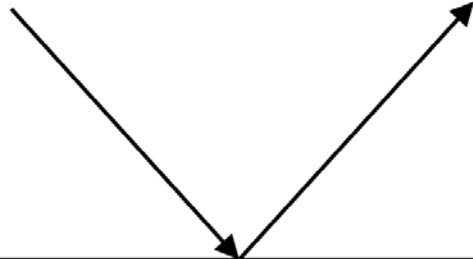
# Typy povrchov

- Zrkadlový
- Difúzny – Lambertian
- Oboje

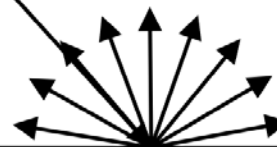


# Distribúcia odrazu svetla

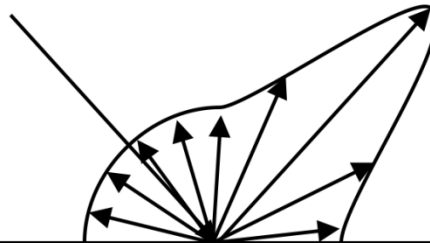
Zrkadlo



Matný povrch



Smerový  
komponent



Nesmerový  
komponent

# Osvetľovacie modely

- Empirické – napr. Phongov osvetľovací model
  - Lokálne
  - Nenáročné výpočty
  - Fyzikálne nesprávne
  - Vizuálne uspokojujúce
- Fyzikálne založené modely
  - Globálne
  - Prenos energie, šírenie svetla
  - Bližšie k reálnemu svetu
  - Výpočtovo náročné

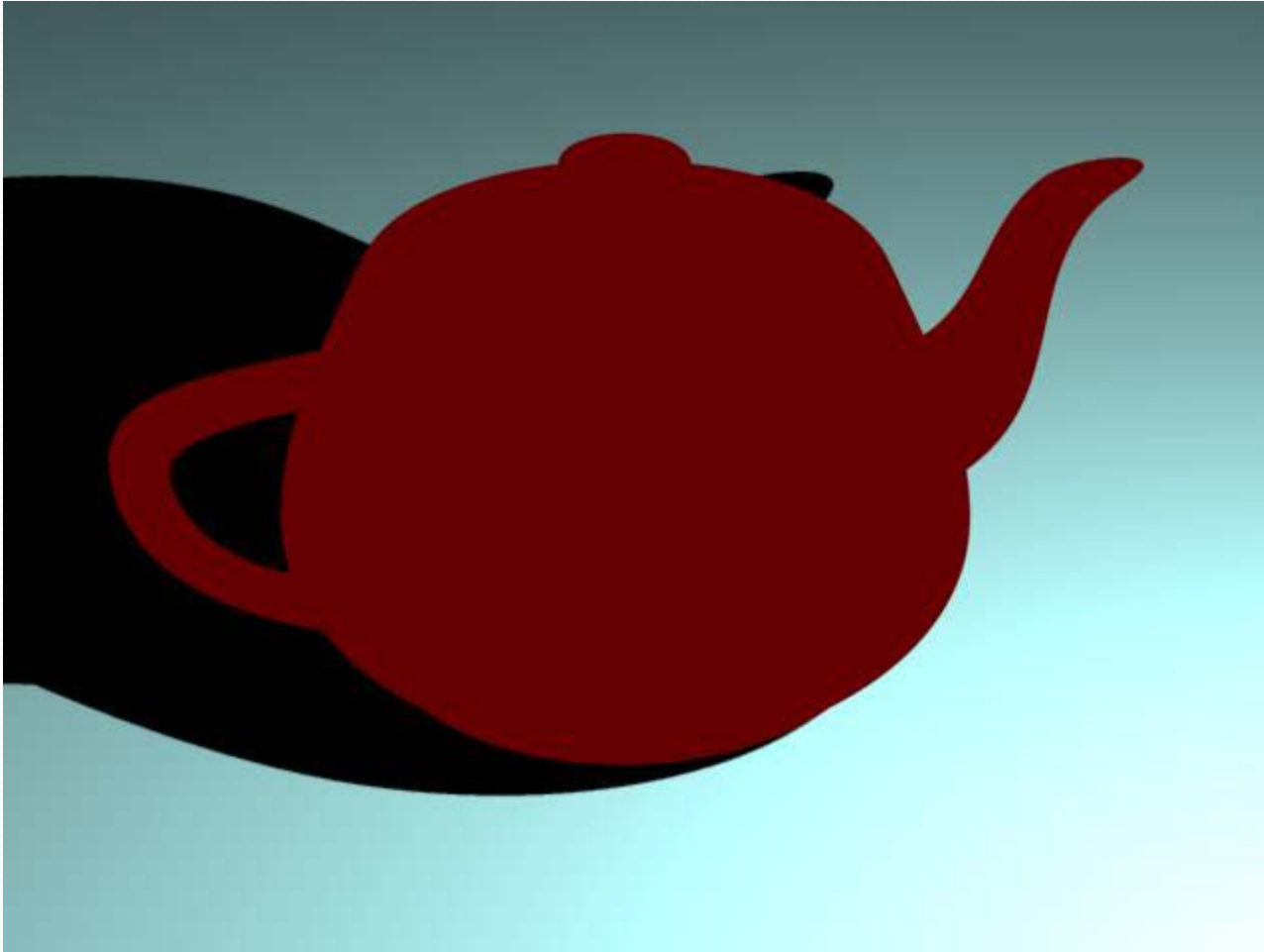
# Lokálne osvetľovacie modely

- Rýchle, ale nepresné
- Ignorácia ostatných objektov (nie sú globálne)
- Empirické (žiadne fyzikálne pozadie)
- Veľa fyzikálnych efektov nie je možné dosiahnuť
  
- Využitie
  - Počítačové hry, renderovanie v reálnom čase

# Difúzne svetlo



# Ambientné svetlo





# Difúzne + Ambientné svetlo



# Difúzne + Ambientné + Zrkadlové

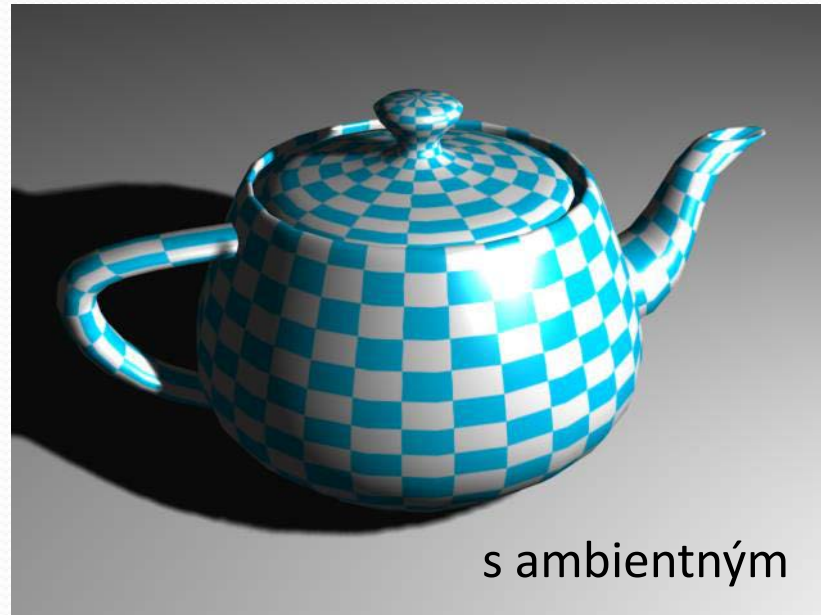


# Phongov osvetľovací model

- Empirický osvetľovací model
- 1977, Bui-Tuong Phong
- Odraz na povrchu materiálu je určený smerom dopadajúceho svetla  $\vec{l}$ , smerom k pozorovateľovi, bodom na povrchu  $P$ , normálovým vektorom v mieste dopadu  $\vec{n}$ , zrkadlovo odrazeným lúčom  $\vec{v}$
- 3 druhy odrazu svetla od materiálu
  - Ambientný
  - Difúzny
  - Zrkadlový (spekulárny)

# Phongov osvetľovací model

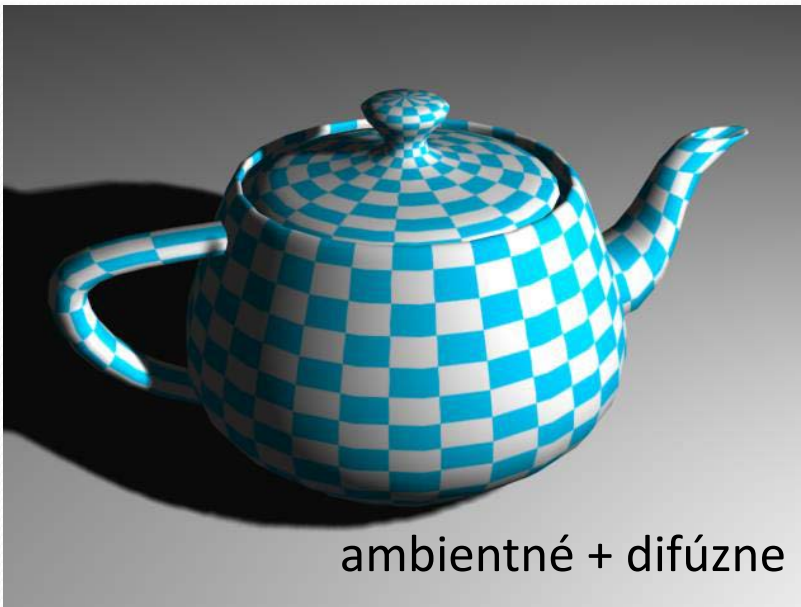
- Ambientné +Difúzne + Zrkaldové komponenty



- Simuluje globálne svetlo rozptýlené v scéne a odrazené od iných objektov

# Phongov osvetľovací model

- Ambientné + **Difúzne** + Zrkadlové komponenty



- Lambertov zákon:  $I_d = \vec{n} \cdot \vec{l}$

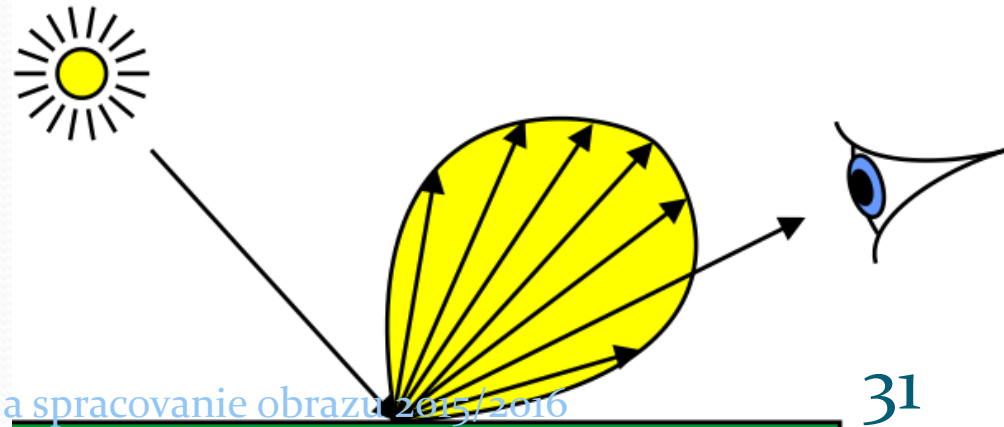
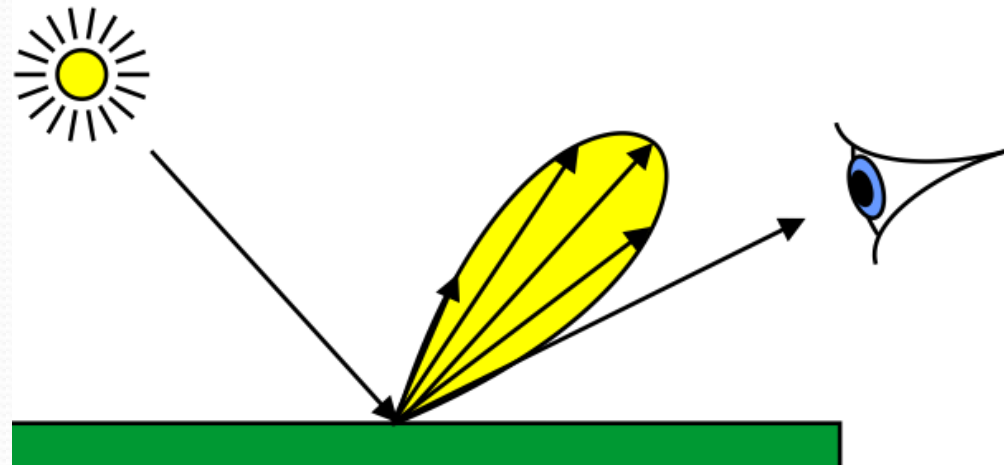
# Phongov osvetľovací model

- Ambientné + Difúzne + **Zrkadlové** komponenty

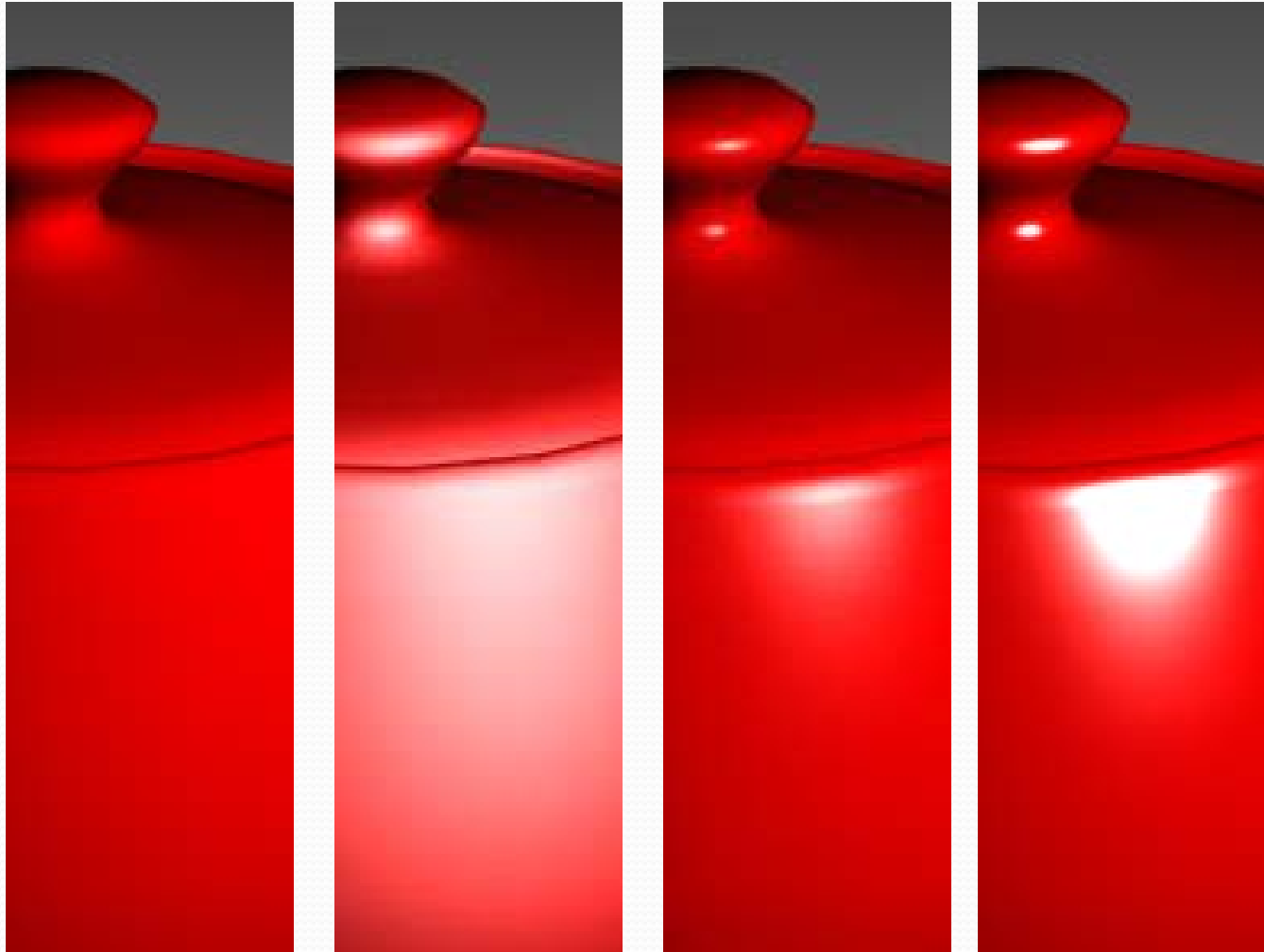
- Smerové

- Pohľadový vektor
- $h$  – ostrosť zrkadlového odrazu

$$I_s = (\vec{r} \cdot \vec{v})^h$$



# Zrkadlový komponent



# Phongov osvetľovací model

$$I = k_a I_a + \sum_{\forall \text{lights}} (k_d I_d + k_s I_s)$$

- $k, I$  koeficienty môžu závisieť na vlnovej dĺžke
- $k$  – koeficient odrazu

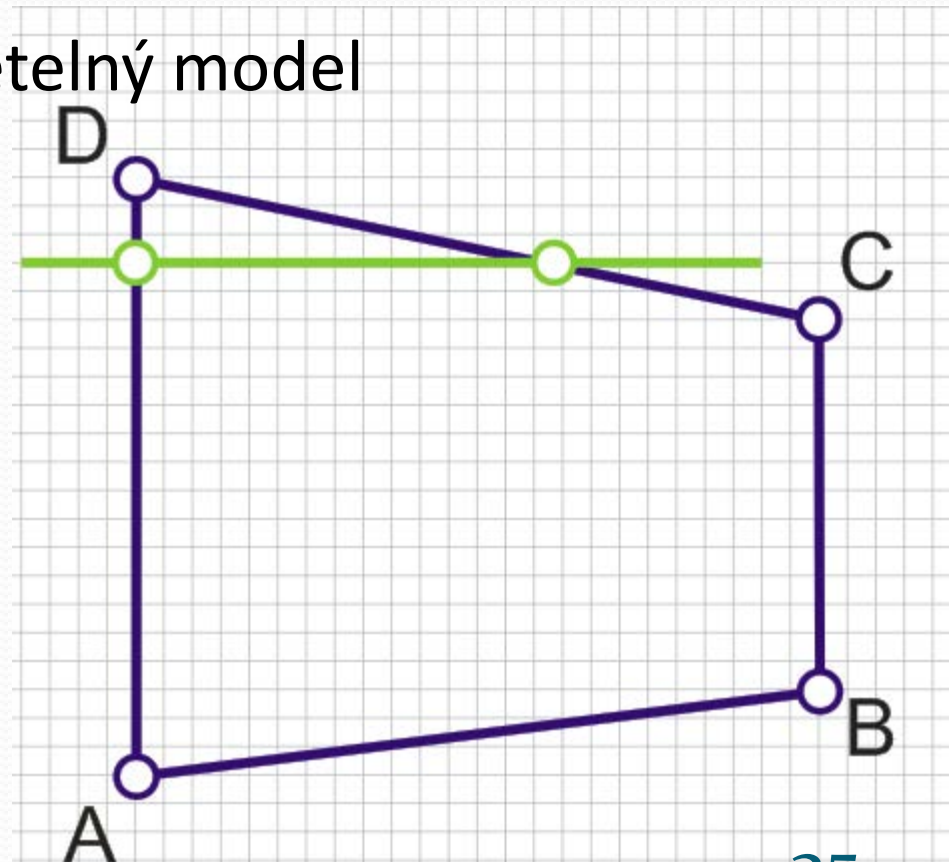


# Iné osvetľovacie modely

- Blinn-Phong
  - Zovšeobecnený Phongov model
- Cook-Torrance
  - microfacets
- Oren-Nayar
  - Rough surfaces

# Osvetlenie polygónu

- Scanline reaterizácia
- Pre každý pixel – ohodnot' svetelný model
  - Vypočítaj normálový vektor, pohľadový vektor, vektor svetla
  - Zisti parametre povrchu
- Náročné
  - Preto: tieňovanie

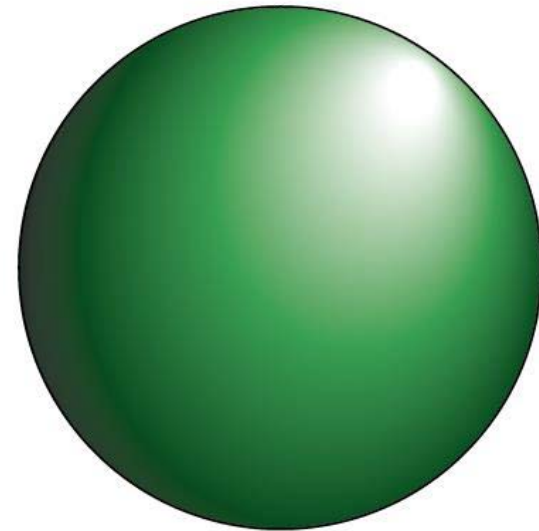
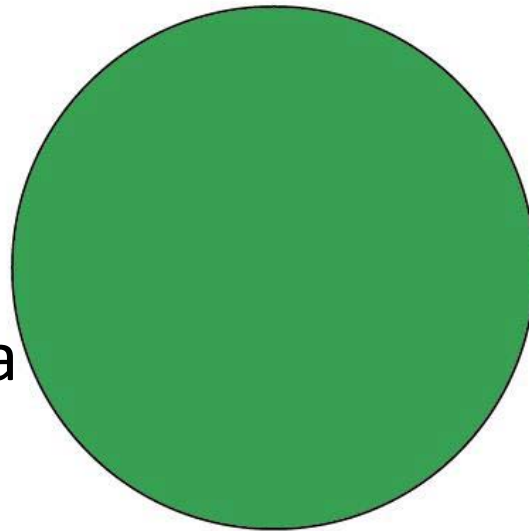




# Tieňovanie

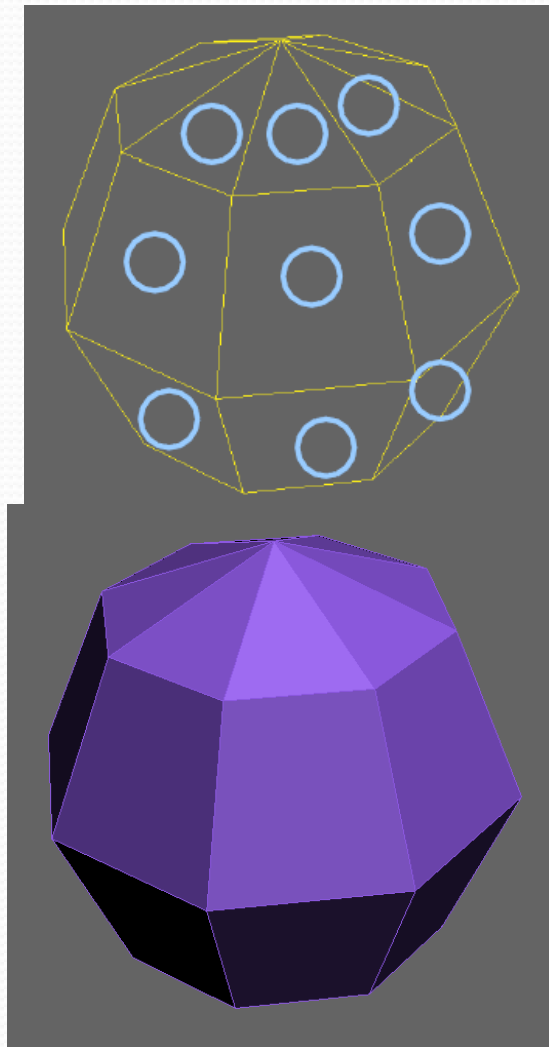
# Tieňovanie

- Farba objektu je upravená, aby dávala dojem svetla a hĺbky
- Zvyčajne obsahuje osvetlenie
- Často len aproximácia reálnej fyziky
- NIE vrhanie tieňov (shadows)



# Dva stupne tieňovania

- 1. Ohodnot' osvetlenie pre nejaký objekt  
= Osvetlenie
- 2. Použi výsledky z 1. na výpočet  
osvetlenia zvyšku objektu  
= Tieňovanie

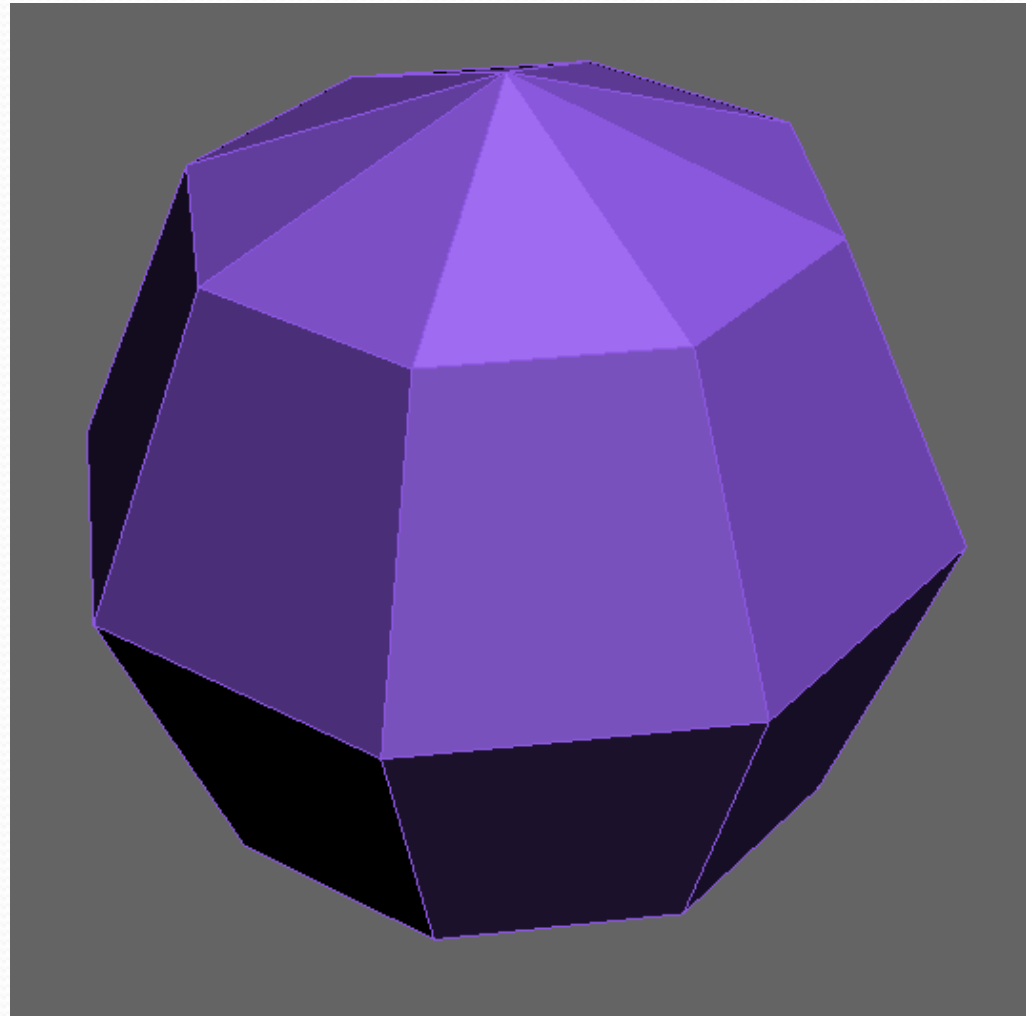


# Typy tieňovania

- Konštantné tieňovanie
- Gouardovo tieňovanie
- Phongovo tieňovanie

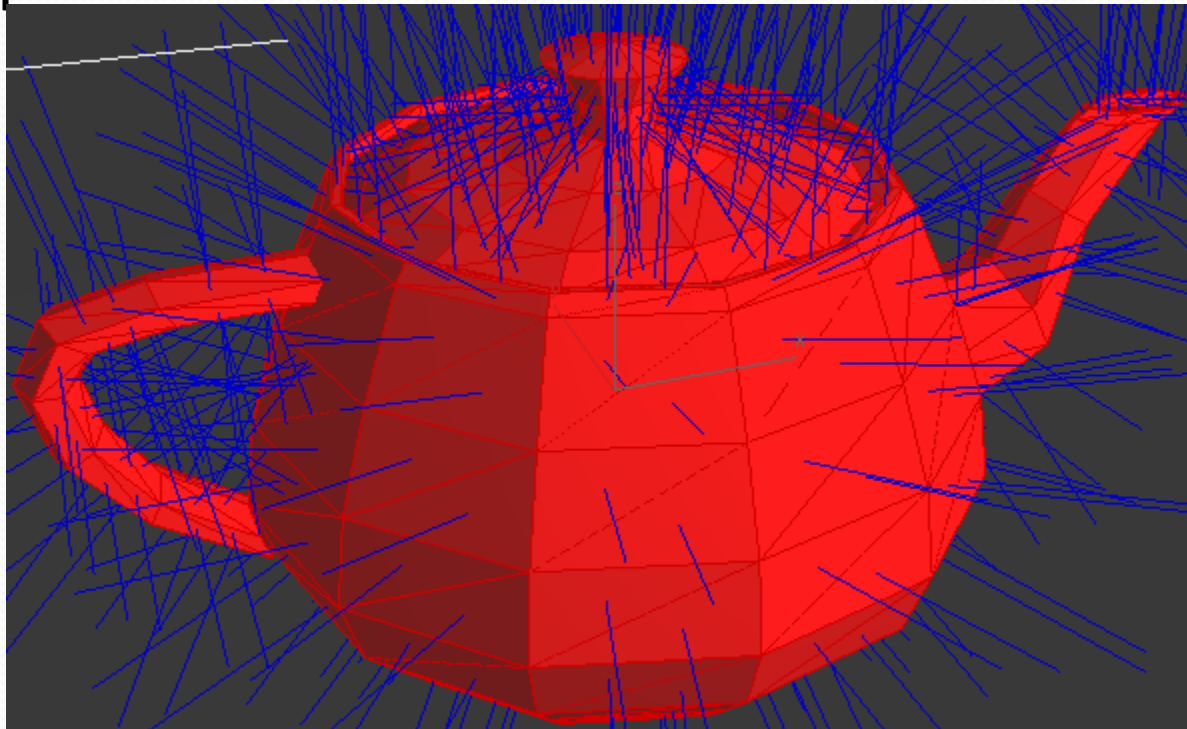
# Konštantné tieňovanie

- Flat shading
- Rýchla, jednoduchá
- Rovinné plochy
- Jedna stena – jedna normála
- Celá stena - jedna farba



# Konštantné tieňovanie

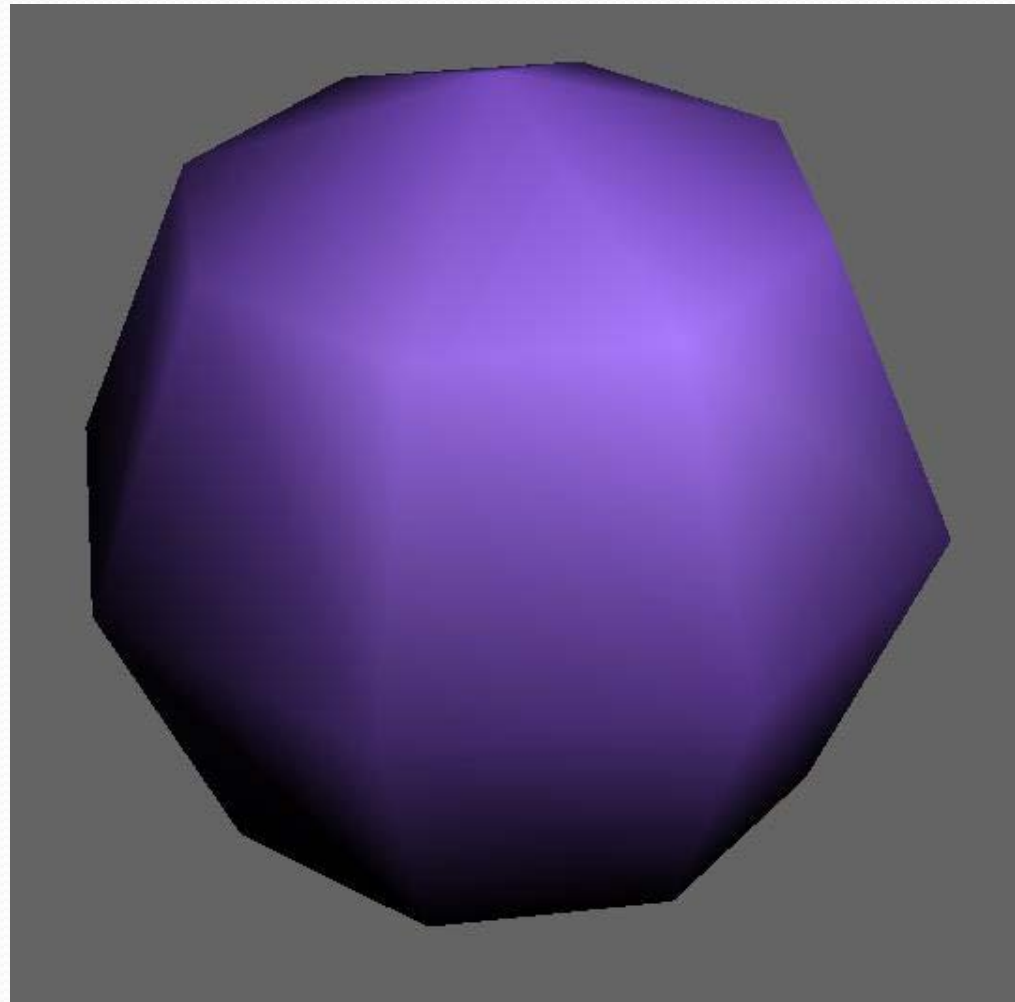
- 1 normálový vektor pre stenu objektu (polygón)
- 1 hodnota osvetlenia pre stenu
- Celý polygón = jedna farba





# Gouraudovo tieňovanie

- Tieňovanie telies, ktorých povrch je aproximovaný množinou rovinných plôšok
- Tieňovanie na základe vrcholov
- Farby steny sú interpolované – bilineárna interpolácia



# Gouraudovo tieňovanie

- 1 normálový vektor pre jeden vrchol
  - Napr 3 hodnoty pre trojuholník
- Zvyšok polygónu - interpolácia hodnoty osvetlenia
- Pásy
- Môže chýbať zrkadlová zložka
- V reálnom čase



# Phongovo tieňovanie

- NIE Phongov osvetľovací model
- Používa normálové vektory vo vrcholoch tieňovaných plôch
- Celé povrchové normály sú interpolované, nie len hodnoty osvetlenia



# Phongovo tieňovanie

- Plynulé tieňovanie telies
- Osvetlenie pre každý pixel
- Časová náročnosť je porovnateľná s Gouardovým tieňovaním

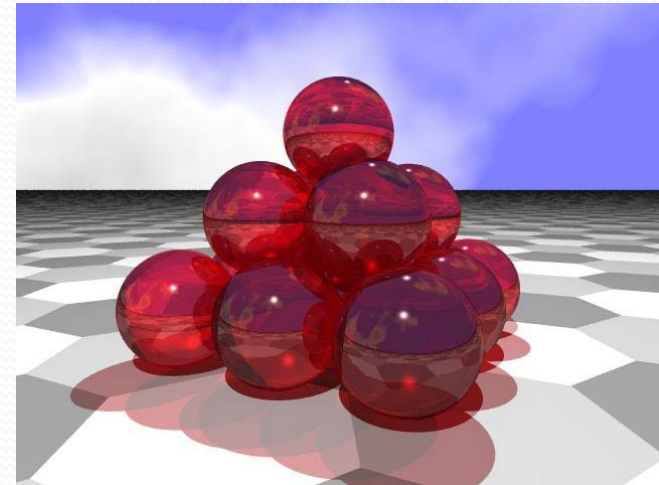




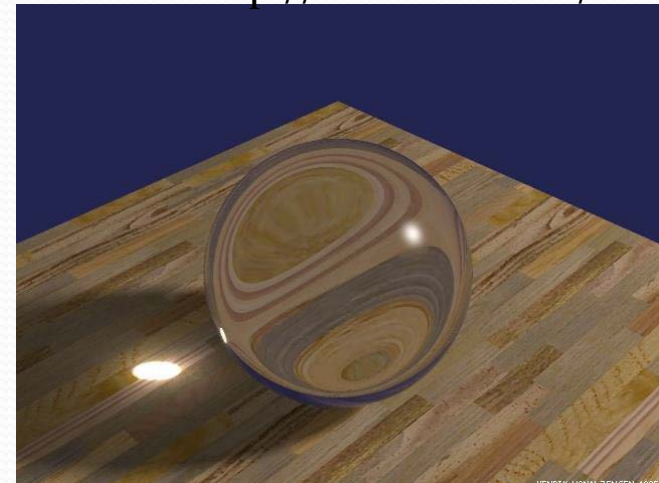
# Fotorealizmus

# Efekty reálneho sveta

- Lom svetla
- Odrazy medzi objektami
- Kaustiky
- Chromatická aberácia
- Difúzny prenos farieb (color bleeding)
- Mäkké tiene



<http://math.hws.edu/eck>



<http://graphics.ucsd.edu/~henrik/>

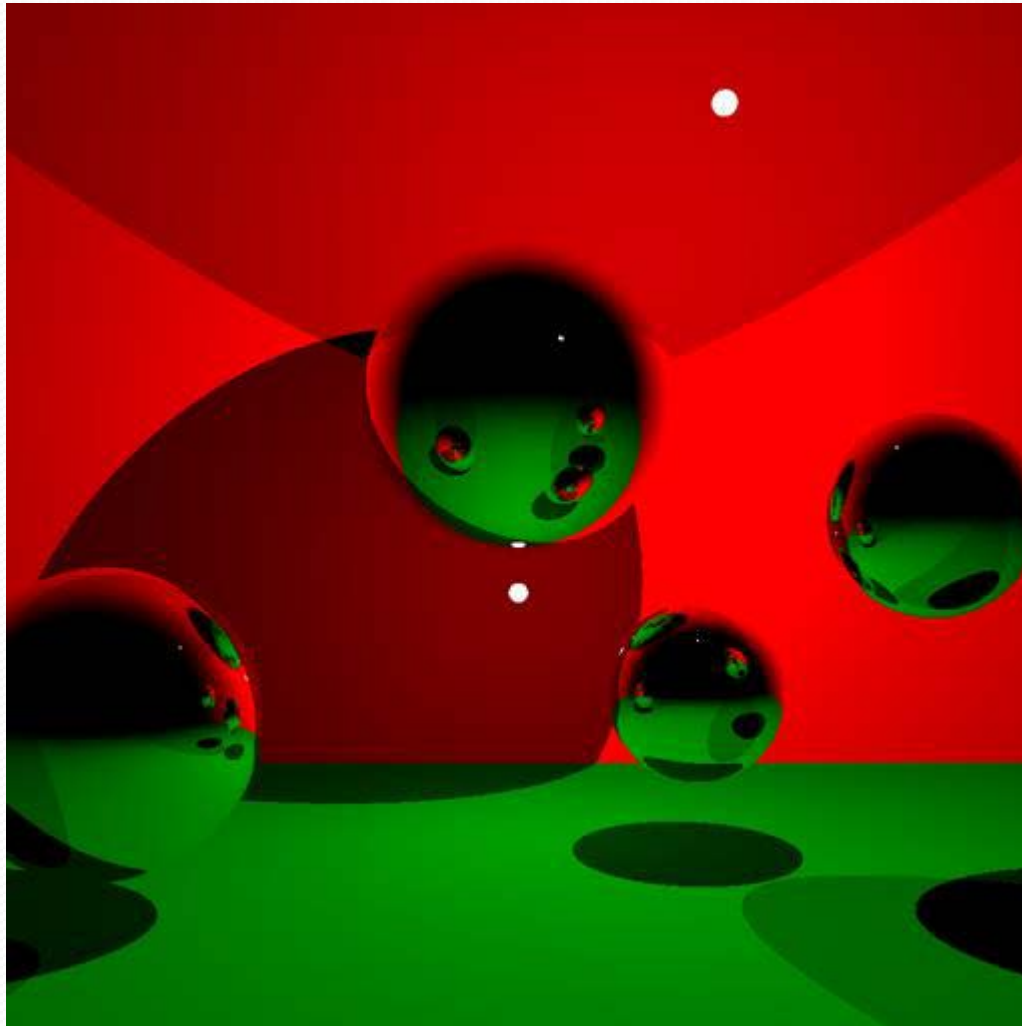
# Lom svetla, kaustiky



Christoph Hormann <http://www.imagico.de/>



# Odraz svetla

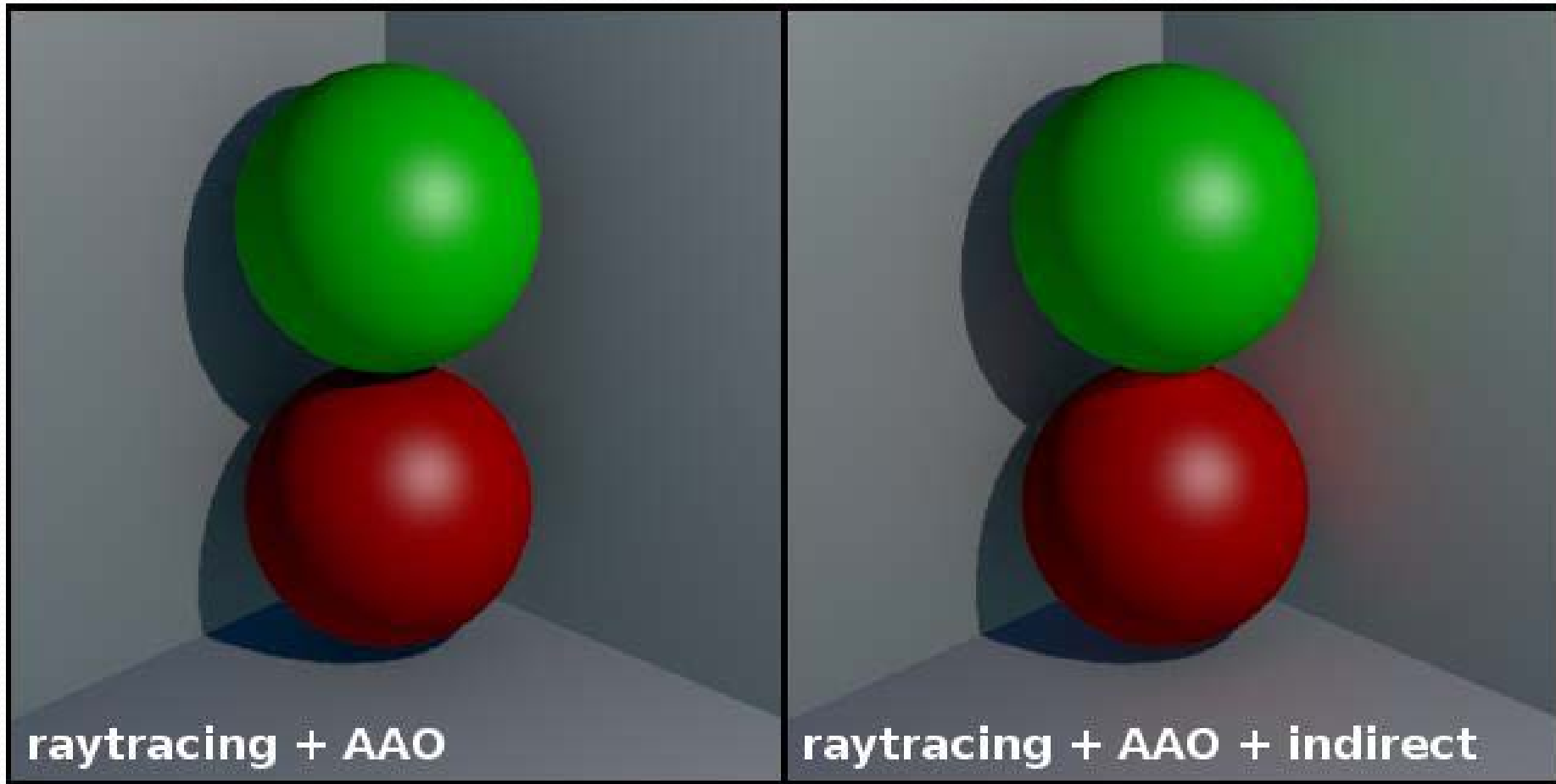




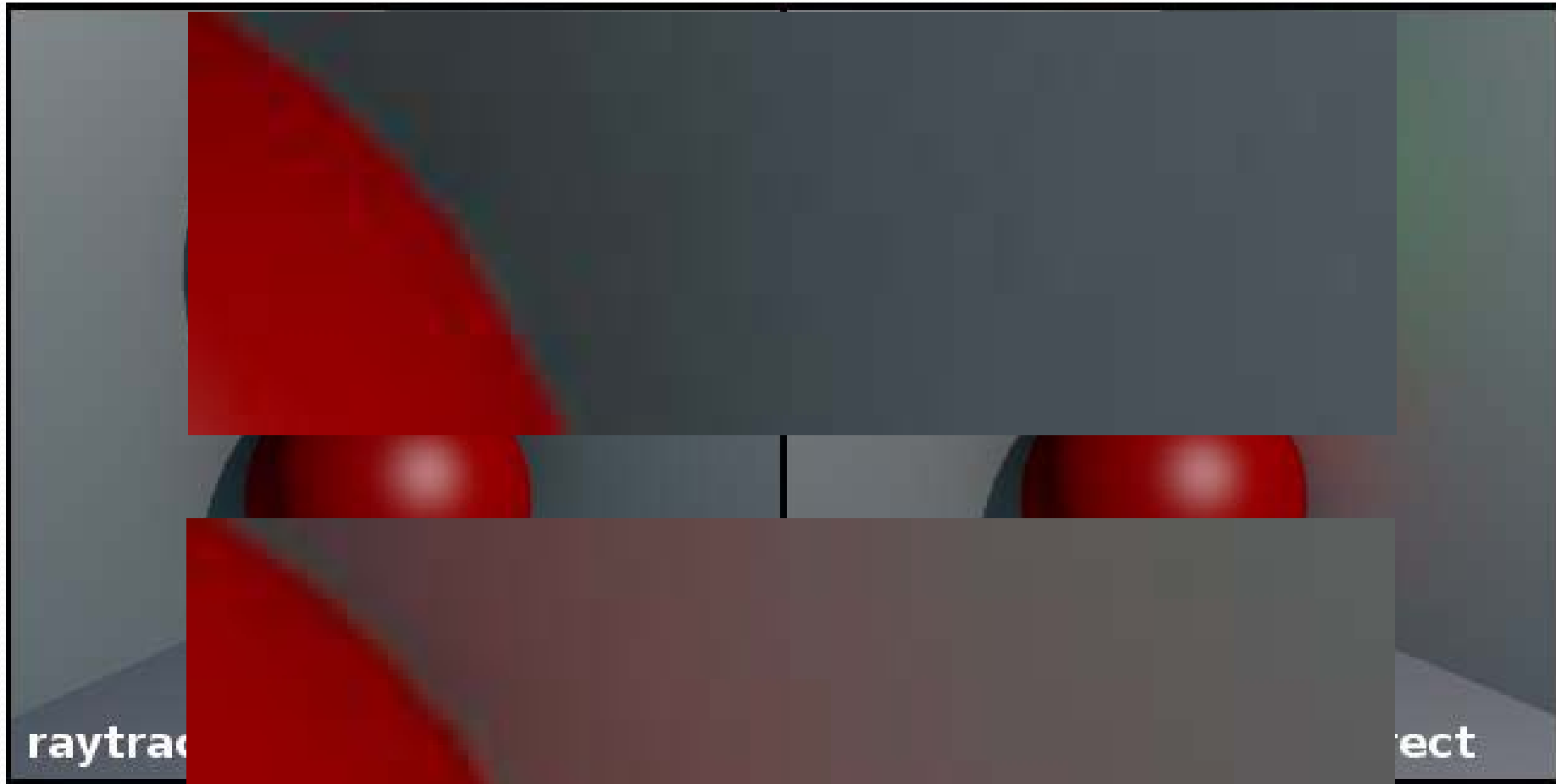
# Chromatická aberácia



# Difúzny prenos farieb



# Difúzny prenos farieb (color bleeding)



# Globálne osvetľovacie techniky

- Pohľadovo závislé
  - Výpočet osvetlenia pre určitý smer
  - Metóda sledovania lúča (Raytracing)
- Pohľadovo nezávislé
  - Výpočet osvetlenia všetkých plôch v scéne
  - Radiozita

# Metóda sledovania lúča

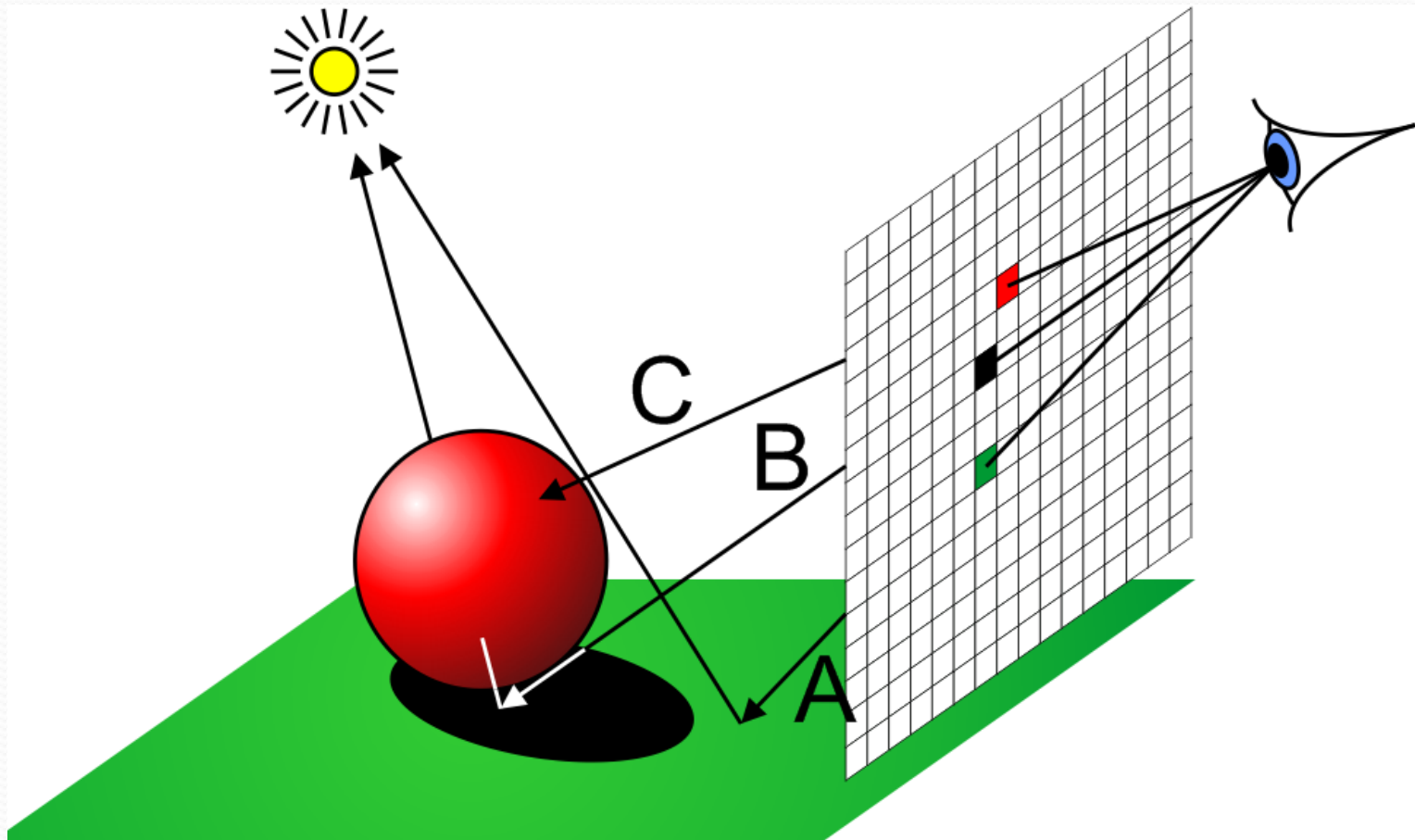
- 2 základné varianty
  - Vrhánie lúča (Sledovanie lúča prvého rádu) – Ray casting
    - Zobrazuje len bod na povrchu najbližšieho telesa zasiahnutého lúčom.
    - Zasiahnutý bod – výpočet farby pomocou jednoduchého osvetľovacieho modelu, napr. Phong
    - Významný pre zobrazovanie CSG reprezentácií
  - Sledovanie lúča vyššieho rádu
    - Sledovanie lomených a odrazených lúčov

# Metóda sledovania lúča

- **Ray tracing**
- Sledovanie lúča z oka pozorovateľa cez každý pixel obrazovky (scény).
- Nájde prvý prienik lúča s objektami
- Vypočíta lokálne osvetlenie
- Sledovanie lomených a odrazených lúčov
- Kombinovanie výsledkov s lokálnymi výsledkami
  - rekurzívne



# Metóda sledovania lúča



# Metóda sledovania lúča– algoritmus

## SledujLúč (lúč R, hĺbka rekurzie H)

- 1. Nájdi priesečník P lúča R s najbližším telesom v scéne
- 2. Pokiaľ priesečník P neexistuje, prirad' lúču R farbu pozadia a skonči
- 3. Ku každému svetelnému zdroju vyšli z bodu P tieňový lúč a pokiaľ k nemu lúč dorazí, označ svetelný zdroj ako nezakrytý
- 4. Vyhodnoť príspevky osvetlenia v bode P od všetkých nezakrytých svetelných zdrojov
- 5. Pokiaľ hĺbka H neprekročila maximálnu hĺbku sledovania, vyšli
  - a) odrazený lúč  $R_R$  volaním SledujLúč( $R_R, H+1$ )
  - b) lomený lúč  $R_T$  volaním SledujLúč( $R_T, H+1$ )
- 6. Lúču R prirad' výslednú farbu ako súčet príspevkov osvetlenia, farby odrazeného lúča  $R_R$  a farby lomeného lúča  $R_T$

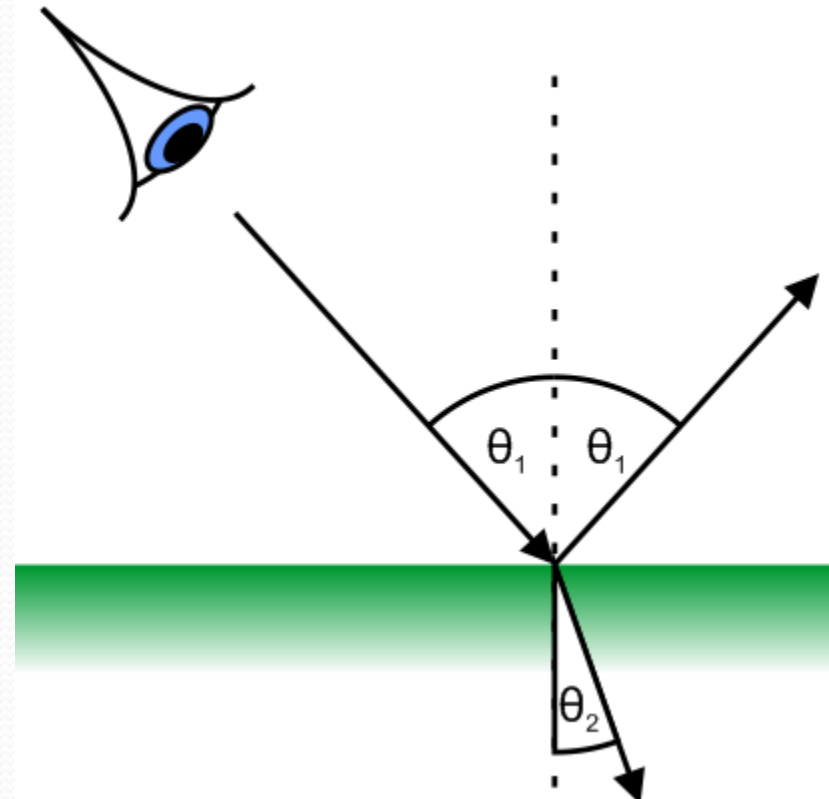


# Metóda sledovania lúča

- Prienik priamky s objektom
  - Náročné výpočty
  - Zrýchlenie pomocou prerozdelenia scény (octree) alebo použitím obálok (bounding volumes)
  - Zoberie najbližší prienik

# Metóda sledovania lúča

- Výpočet odrazených a lomených lúčov
- Ohodnotenie svetla prichádzajúceho z ich smeru
- Kombnovanie s lokálnym výsledkom osvetlenia



$$C = \text{comb}(l.C_L, r.C_R, t.C_T)$$

# Pozrime sa na kombinácie



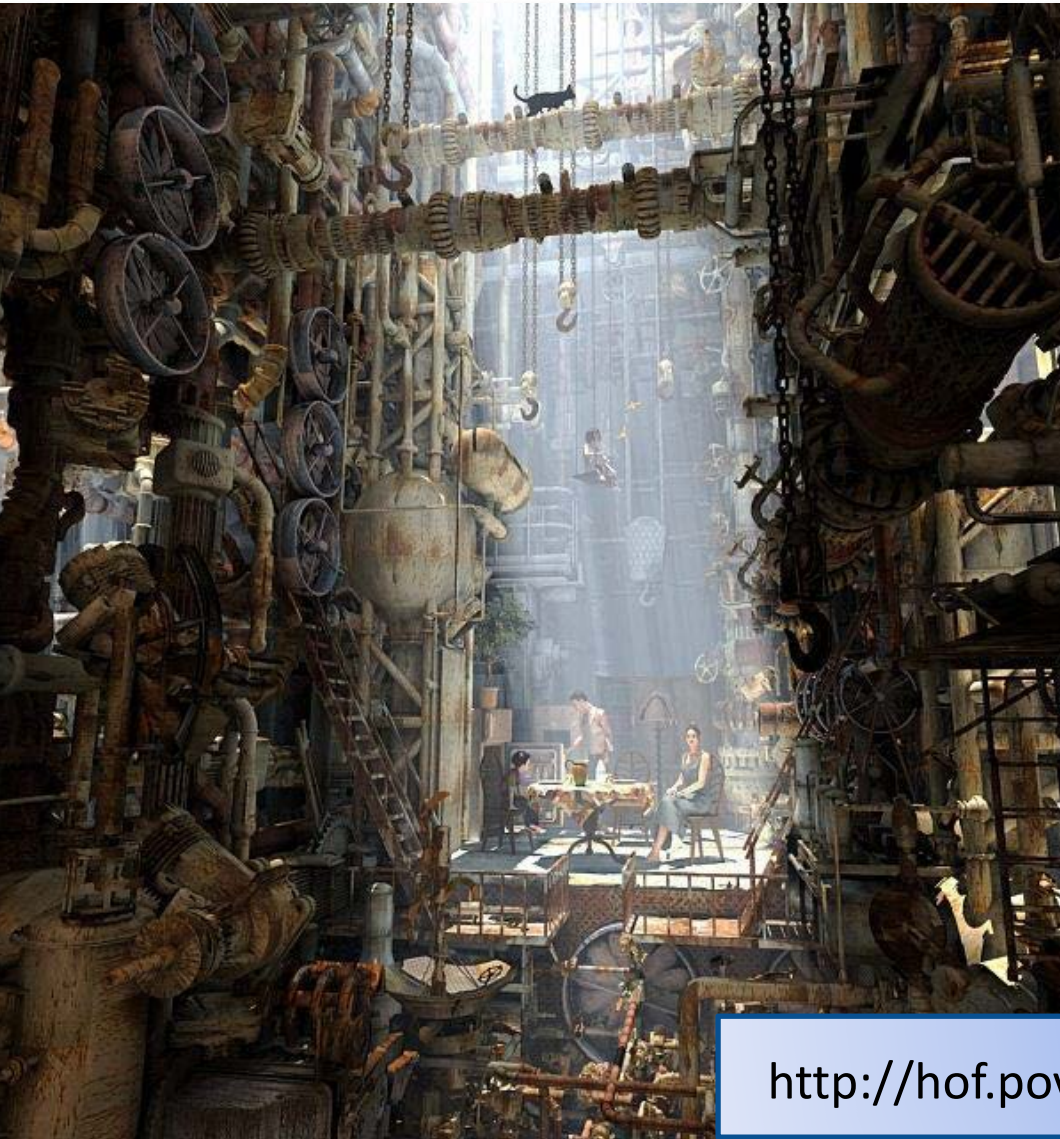
$$C = \text{comb}(l.C_L, r.C_R, t.C_T)$$

# Metóda sledovania lúča: pre a proti

- Nie je nutná polygonálna reprezentácia
  - Pracuje aj s objemovou aj hraničnou reprezentáciou, s CSG objektami, F-reprezentáciou, mriežkou
- Vhodný pre zrkadlové povrchy, priehľadné povrchy
- Len bodové zdroje svetla
- Výpočtovo náročné
- Nevytvára mäkké tieňe



# Príklad: Povray

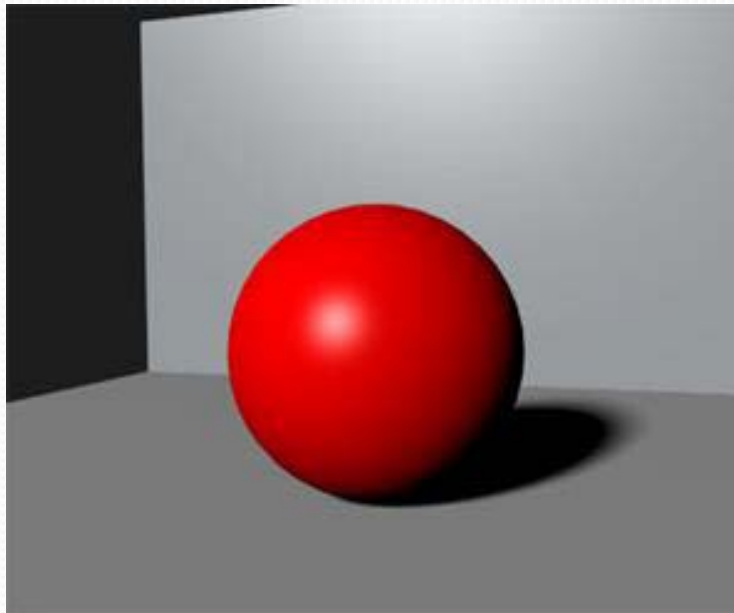


<http://hof.povray.org/>

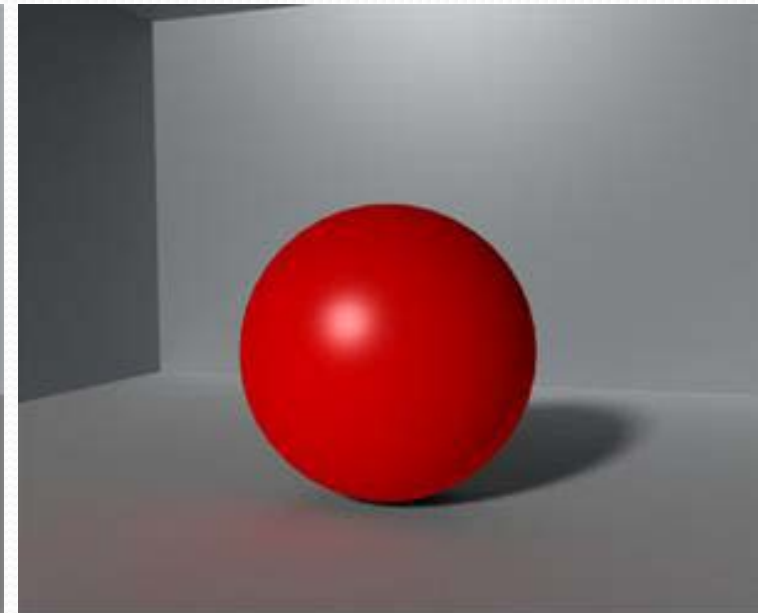
# Radiozita

- Objekt, ktorý zasiahne svetlo sa stáva novým zdrojom svetla
- Energia (svetlo) sa vymieňa medzi objektami
- Nepriame osvetlenie

<http://www.bxhdesigns.com/>



Direct Illumination



Direct and Indirect Illumination

# Radiozita

- Aplikuje poznatky z oblasti výpočtov tepelného žiarenia na problém výpočtu svetelného žiarenia
- Základný algoritmus
  - Vychádza zo zákona zachovania energie
  - Predpokladá, že prenos svetelného žiarenia medzi objektami prebieha v energeticky uzavretej scéne
- Všetky objekty
  - nepriehľadné
  - Iba difúzne odrazy
  - Popísané plôškovou hraničnou reprezentáciou



# Radiozita v reálnom svete

- Svetelné reflektory vo fotografovaní

<http://www.hootphotography.com>





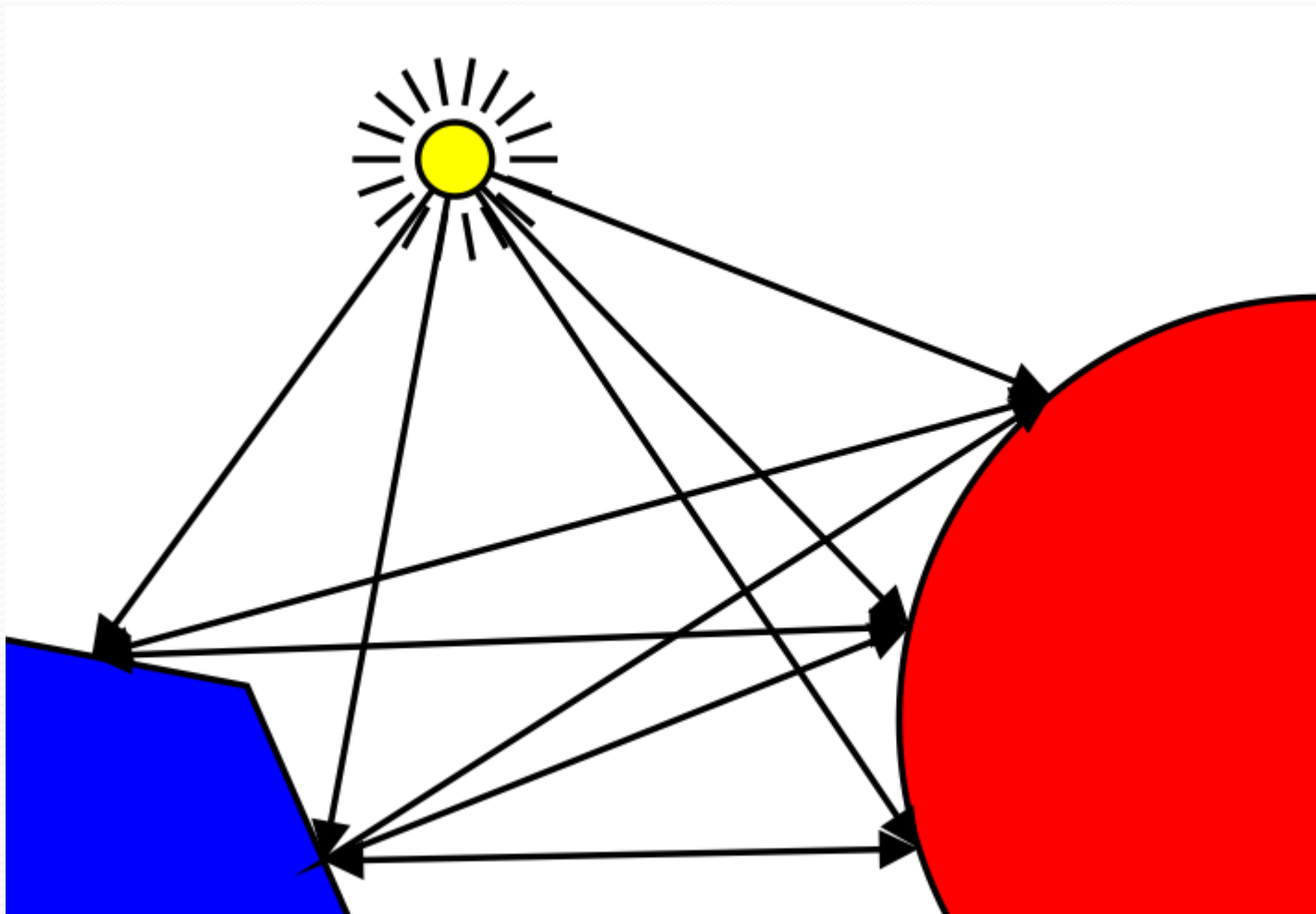
# Radiozita

- Fyzikálne založená
- Objekt zasiahnutý svetlom sa stáva novým zdrojom svetla
- Nie len interakcia svetlo-objekt
- Tiež svetelná interakcia objekt-objekt
- Výmena energie medzi objektami



[http://www.ehow.com/video\\_4938383.html](http://www.ehow.com/video_4938383.html)

# Všeobecná situácia



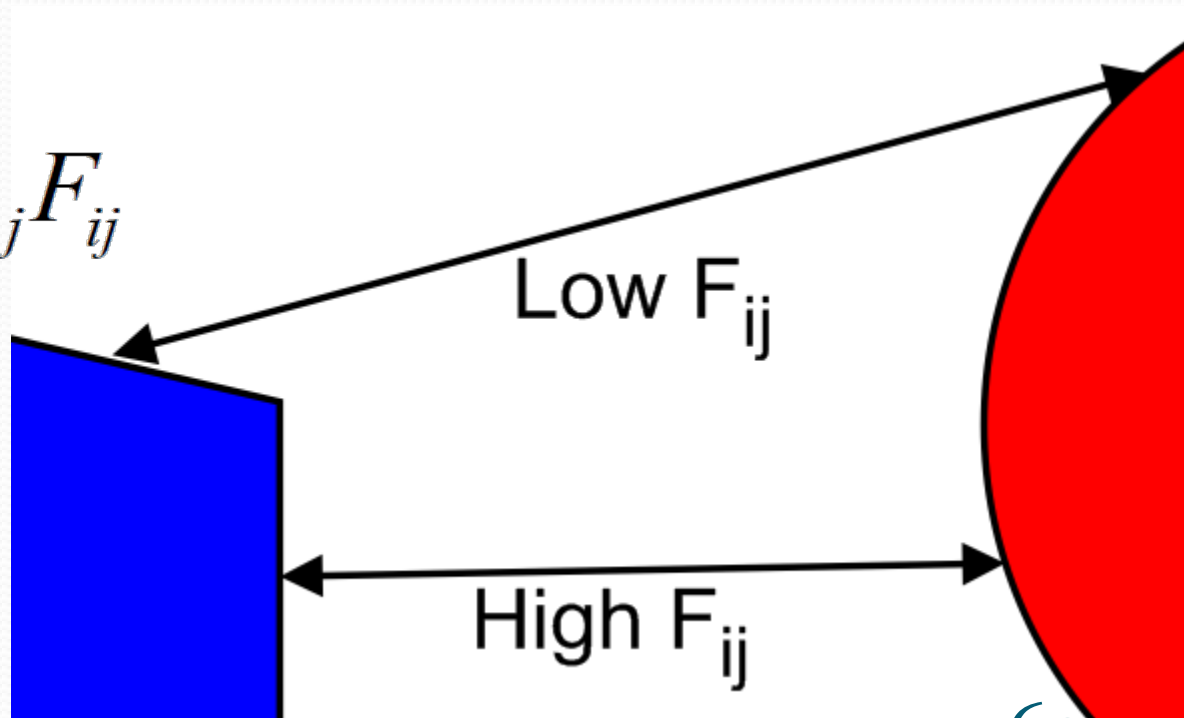
# Radiozita

- Radiozita  $B(x)$  je svetelný výkon vyžiarený v bode  $x$ .
- Hodnoty radiozity sú vždy kladné, ich veľkosť nie je obmedzená a závisí na osvetlení scény
- Difúzna odrazivosť plochy v danom bode udáva, aká časť zo svetelnej energie, ktorá na plochu dopadla je opäť vyžiarená do priestoru. Difúzna odrazivosť nadobúda hodnoty medzi 0 (povrch všetku dopadnutú energiu pohlcuje) a 1 (povrch všetku dopadnutú energiu odrazí späť do scény)

# Matematické pozadie

- Energia je buď emitovaná (E) alebo odrazená (B)
- Všetky odrazy sú perfektne difúzne
- Povrch  $A_i$  radiozita:

$$B_i = E_i + \rho_i \sum_{\forall A_j} B_j F_{ij}$$



# Diskrétna radiozitná rovnica

- Povrch celej scény nahradíme aproximáciou zloženou z rovinných plôšok
- Predpokladáme, že hodnota radiozity  $B(x)$  každej plôšky je všade na jej povrchu konštantná

$$B_i = E_i + p_i \sum_{\forall A_j} B_j F_{ij}$$

- $F_{ij}$ 
  - konfiguračný faktor (**form faktor**) – určuje vzájomnú viditeľnosť dvojice plôšok
  - Udáva, koľko z celkového výkonu vyžiareného plôškou  $A_j$  je priamo prijaté plôškou  $A_i$
  - Ako sa dva povrchové elementy  $A_i$  a  $A_j$  navzájom ovplyvňujú

# Radiozita: pre a proti

- Fyzikálne správna
- Nepriame svetlo
  - Realistické mäkké tiene
- Plošné svetlá
- Možný difúzny prenos farieb
  
- Výpočtovo náročné
- Iba difúzny prenos farieb = problémy s odrazmi a zrkadlovými plochami

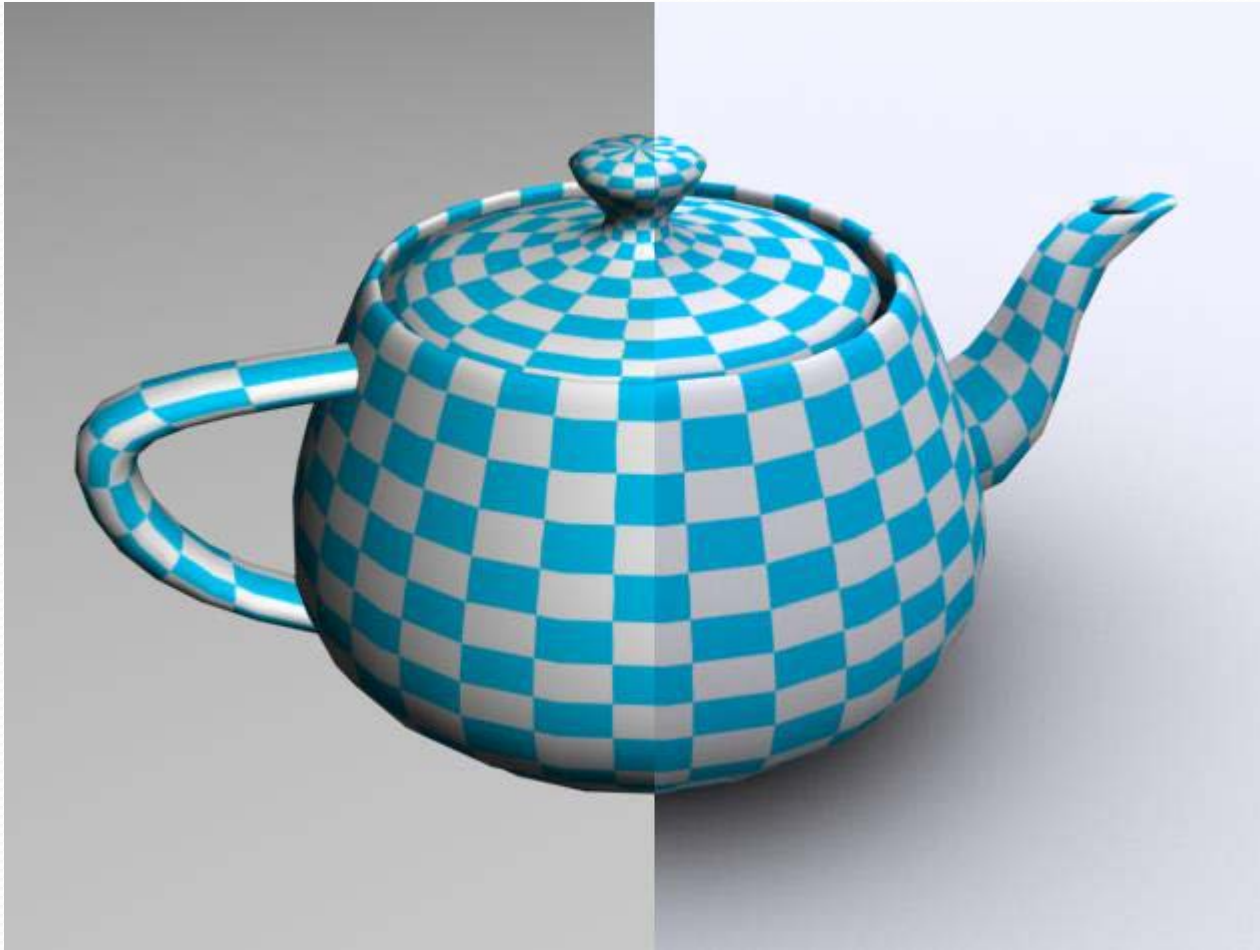
# Príklad

- Nepriame svetlo
- Difúzny prenos farieb
- Mäkké tiene
- Plošné svetlo





# Radiozita: Príklad



Priame osvetlenie    Nepriame osvetlenie

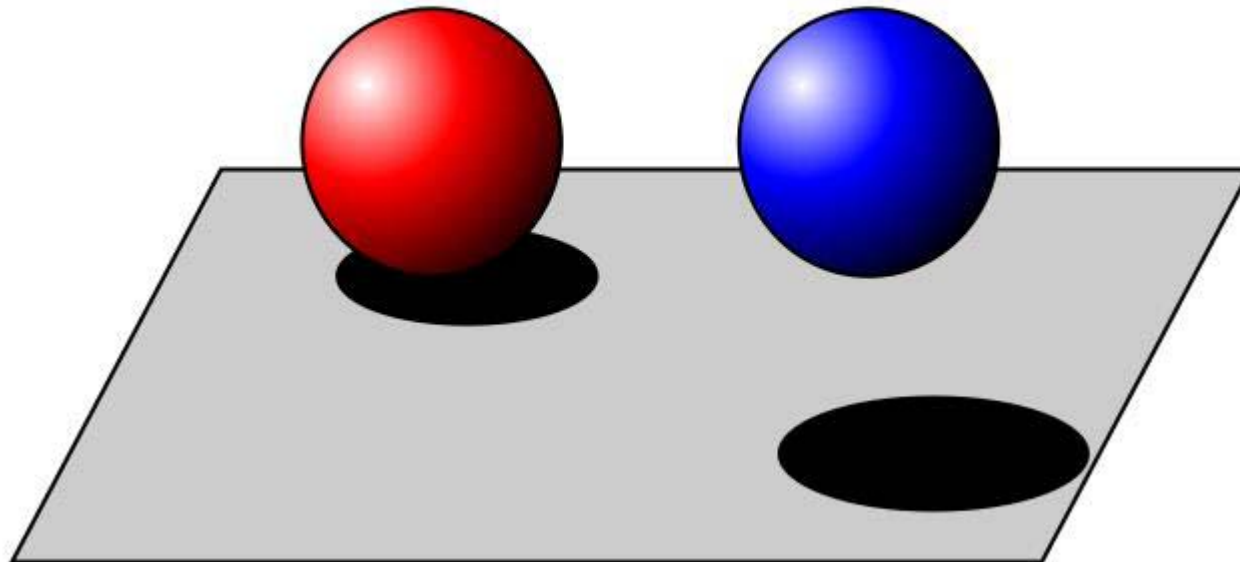




# Tiene

# Prečo tiene?

- Priestorové vnímanie človeka
- Pomáhajú pochopiť vzájomné postavenie objektov
- Dobrá informácia o vlastnostiach a polohe objektov

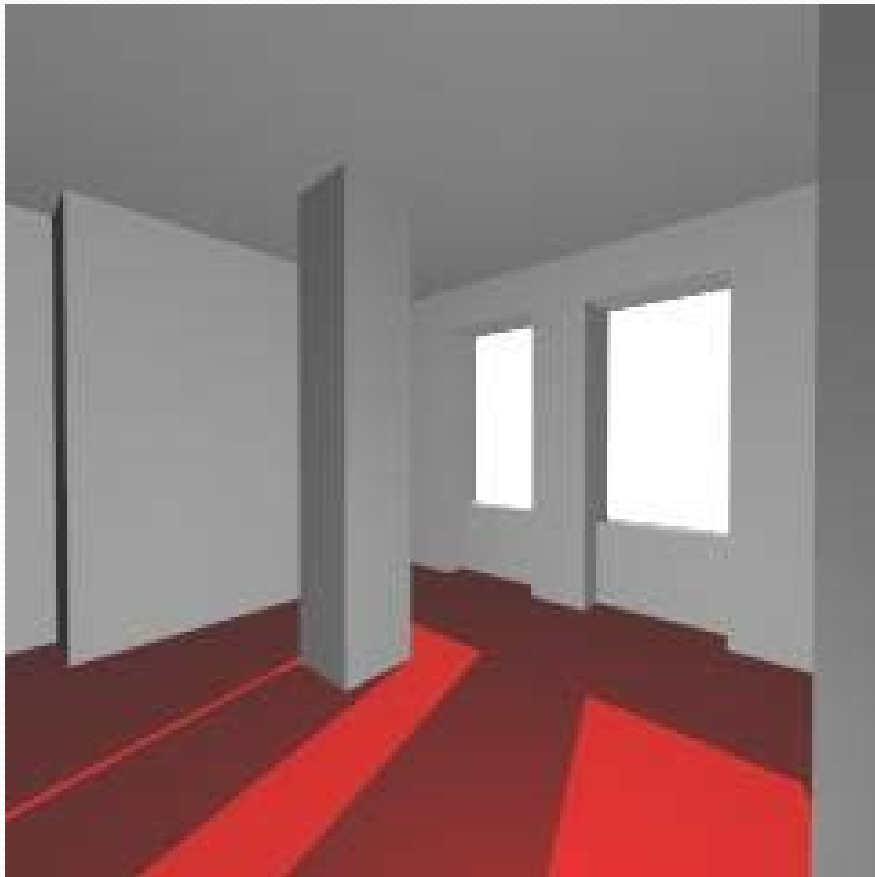


# Tiene

- Tiene v globálnych metódach
  - Výpočtovo náročné
  - Nie vhodné pre scény zobrazované v reálnom čase
- Tiene v lokálnych metódach
  - Projekčné metódy
  - Tieňové teleso
  - Tieňová pamäť hĺbky

# Tiene v globálnych metódach

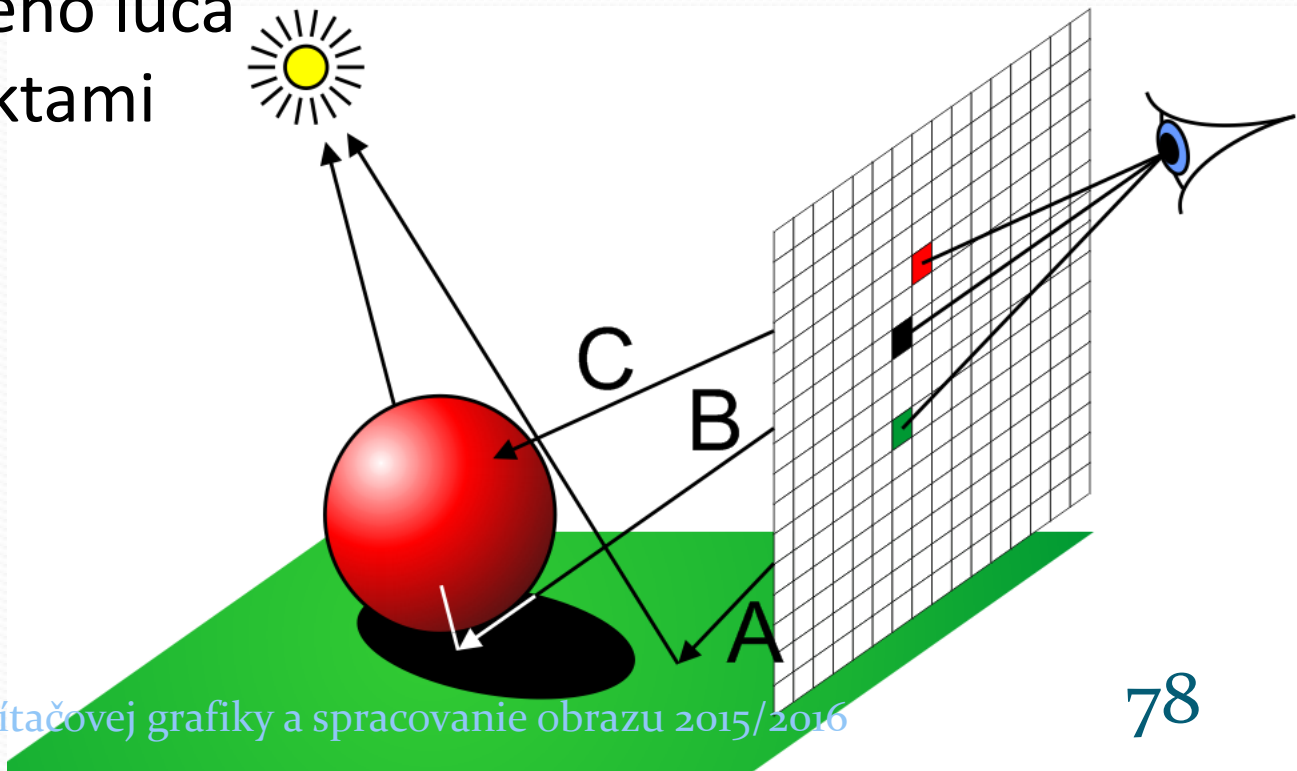
raytracing



radiozita

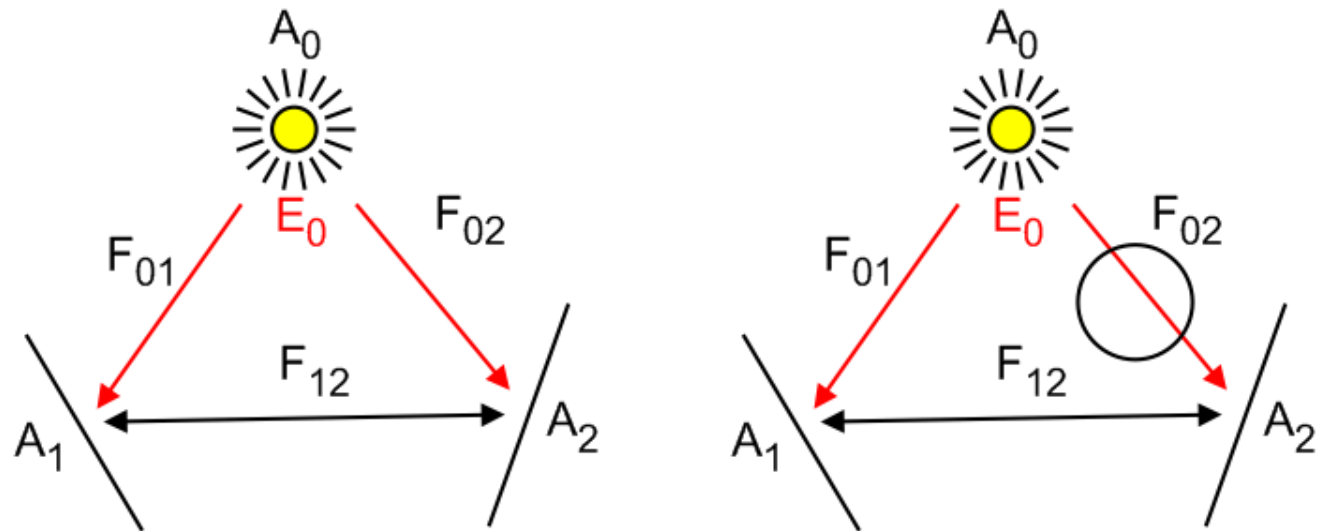
# Raytracing - tieňe

- Kamera → pixel → lúč → **prienik** ← objekt
- Prienik → **tieňový lúč** → svetlo (svetlá)
- Testovanie tieňového lúča na prieniky s objektami
  - Tieň ak true
  - Svetlo ak false



# Tiene - radiozita

- Kamera  $\rightarrow$  pixel  $\rightarrow$  lúč  $\rightarrow$  **prienik**  $\leftarrow$  **objekt**
- Prienik  $\rightarrow$  **tieňový lúč**  $\rightarrow$  **svetlo (svetlá)**
- Testovanie tieňového lúča pre prienik s objektom
  - Tieň ak true
  - Svetlo ak false



# Tiene v lokálnych metódach



REALTIME

Tieňové telesá  
Geometrický priestor

Tieňové mapy  
Priestor obrazovky





# Projekčné metódy

- Základná metóda
  - Vypočítavanie tieňov pomocou vhodne zvoleného zobrazenia
  - S ohľadom na polohu svetelného zdroja sa pre každú cieľovú plochu, na ktorú môže dopadať tieň nájde transformácia zobrazujúca do roviny tejto plochy ľubovoľný objekt ako 2D polygón
    - Pomocou projekčnej matice
  - Výsledná scéna sa vykreslí najprv bez tieňov a potom sa dokreslia tieňové polygóny

# Projekčné metódy: pre a proti

- Jednoduché
- Práca len s objektami s plôškovou reprezentáciou
- Transformácia zobrazuje zvolený objekt do plochy bez ohľadu na jeho umiestnenie v scéne
  - Neberie do úvahy možnosť, že objekt neleží medzi projekčnou plochou a svetelným zdrojom
  - Existujú metódy, kde falošné tieňe nevznikajú

# Tieňové telesá

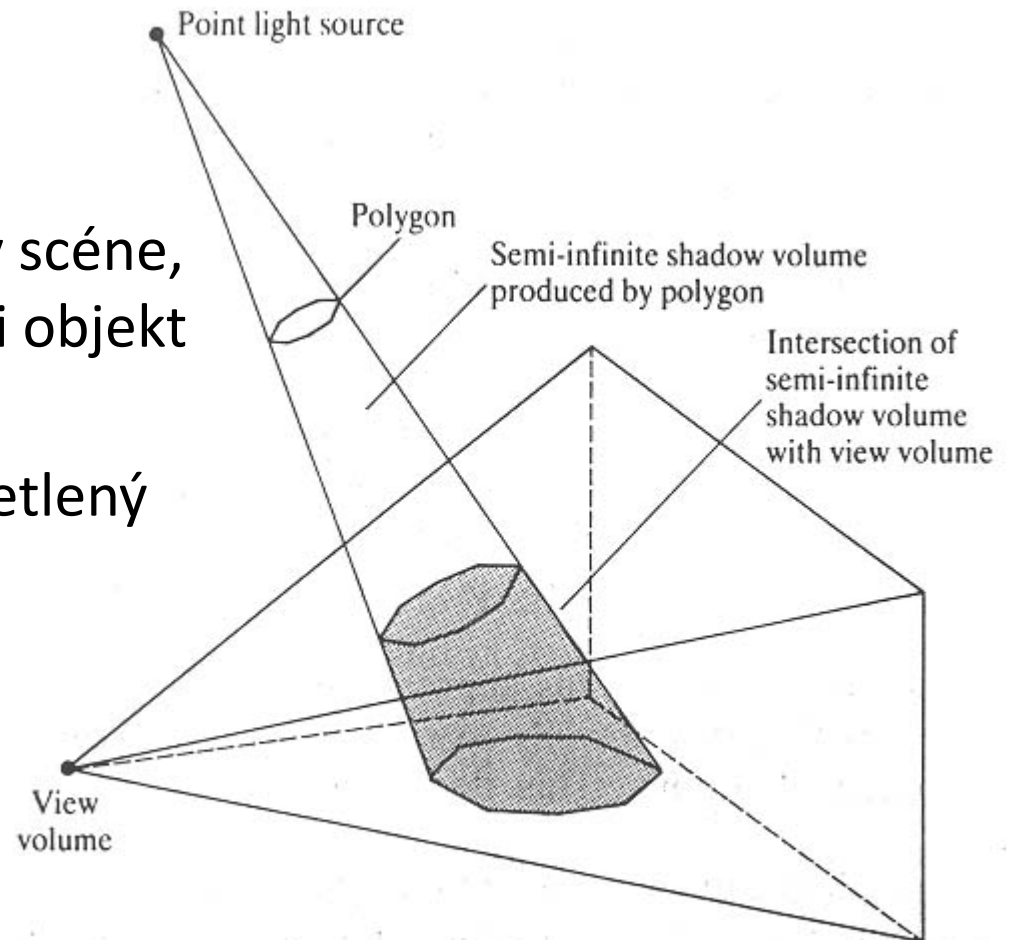
- Vytvorenie geometrie tieňového objektu, ktorý rozširuje pôvodný objekt v smere svetla
  - Tieňové teleso
- Pri zobrazovaní objektu do pixla  $(x,y,z)$ , testovanie, či  $(x,y,z)$  je vnútri /mimo tieňového objemu

# Tieňové telesá

- **Shadow volume**
- Pracuje v objektovom priestore
- Jedna z najčastejšie používaných metód
- V reálnom čase
- Práca s polygónmi a bodovými svetlami
  - Len ostré tieňe
- Vytvorí tieňové teleso pre každý tieniaci objekt

# Tieňové telesá

- Tieňové teleso
  - Ohraničuje časť priestoru v scéne, z ktorého nie je cez tieniaci objekt vidieť svetelný zdroj
  - Vymedzuje zdrojom neosvetlený priestor
  - Vytvára sa pre každý tieniaci objekt



*Finite shadow volume defined by a polygon, a point light source and a view volume.*

# Tieňové telesá

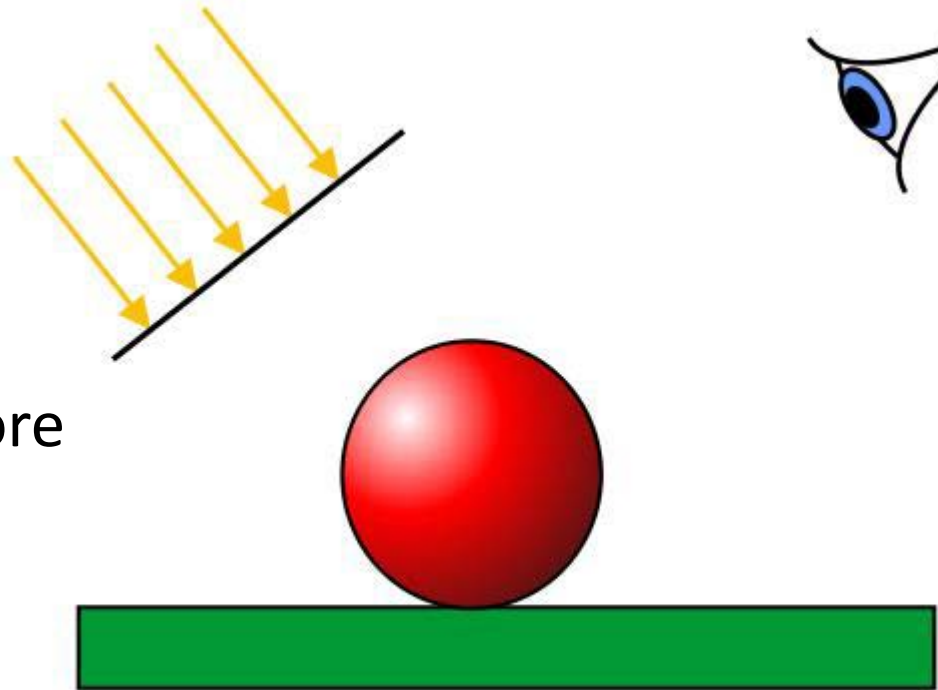
- Pre každé tieňové teleso sa testuje poloha zobrazovaných objektov (ich povrchových polygónov)
- Testy:
  - Polygón leží celý vnútri tieňového telesa – je v tieni
  - Polygón leží celý mimo tieňového telesa – je osvetlený svetelným zdrojom
  - Polygón leží čiastočne v tieňovom telese – je nutné rozdeliť polygón na osvetlenú a neosvetlenú časť

# Tieňové telesá: pre a proti

- ostré tieňe
  - nutná modifikácia na mäkké tieňe
- GPU implementácia použíím stencil buffer (šablóny)
- Vysoká zložitosť pre modely s veľkým počtom polygónov
- Čo ak je kamera vnútri tieňového objemu?
- Tieňové objemy sú náročné na CPU



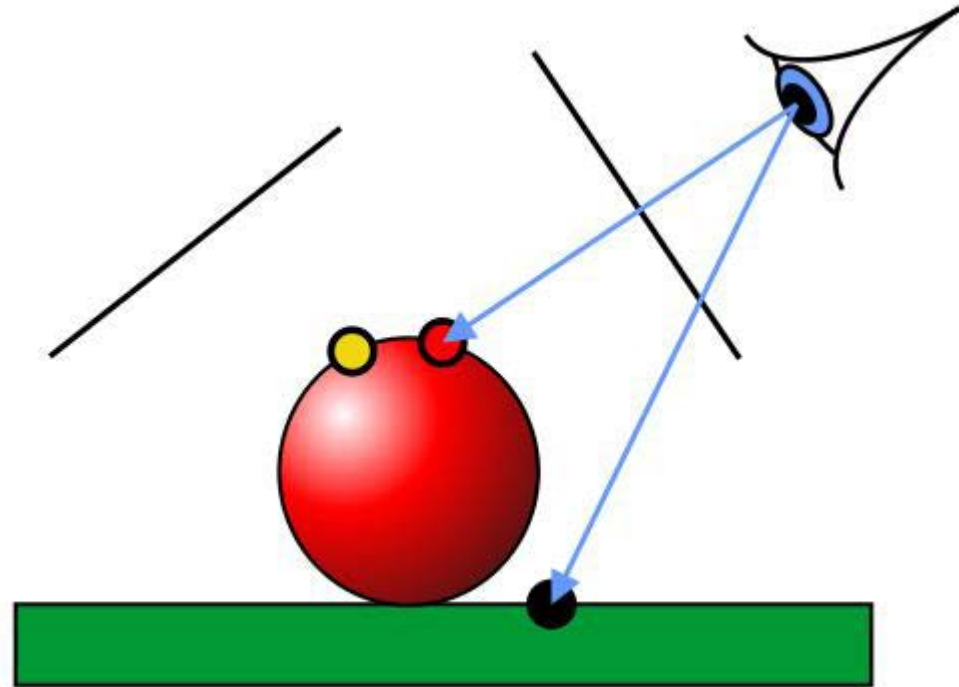
# Tieňová pamäť hĺbky



- **Shadow depth map**
- Analógia z-bufferu
- Pohľad zo svetla
- Pracuje v obrazovom priestore
  
- “renderovanie” scény a ukladanie hĺbkovej informácie v tieňovej mape
  - 2D rastrové dáta
  - Najmenšia vzdialenosť medzi svetlom a objektom

# Tieňová pamäť hĺbky

- Pre pixel polygónu, ktorý bude renderovaný:
  - Nájdi jeho pozíciu v svetelnej projekčnej rovine  $\rightarrow (x,y,z)$
  - ak  $z >$  tieňová mapa  $[x,y]$ , potom je to tieň



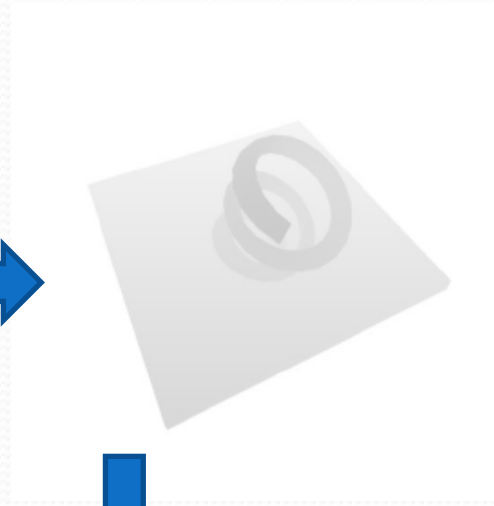
# Tieňová pamäť hĺbky: algoritmus

- 2 kroky:
  - 1) zobrazenie scény z pohľadu svetla a riešením viditeľnosti pomocou pamäte hĺbky (z-buffer) a jej obsah uloží do pamäte hĺbky (depth map)
    - Hodnota pixlov určuje vzdialenosť od svetelného zroja
  - 2) zobrazovanie scény z pohľadu pozorovateľa s riešením viditeľnosti: Z-buffer
    - Pixle z hĺbkovej mapy sa transformujú do pohľadu zo svetla

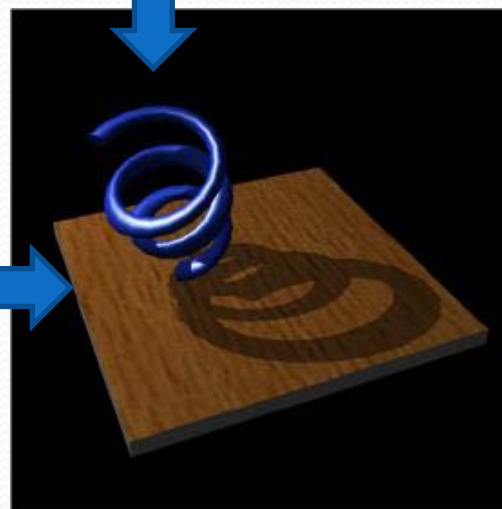
# Tieňová pamäť hĺbky: algoritmus

- 1. Zobraz scénu z pohľadu svetelného zdroja  $L_i$ ; hodnoty z pamäti hĺbky (z-buffer) ulož do hĺbkovej mapy  $H_i$
- 2. Zobraz scénu z pohľadu kamery pomocou pamäte hĺbky
- 3. Pre všetky pixle  $[u,v]$  (s hĺbkou  $w$ ) zobrazenej scény ďalej:
  - a) Preved' bod  $[u,v,w]$  do sústavy súradníc zdroja svetla  $L_i$  a získaj tak jeho nové súradnice  $[x,y,z]$
  - b)  $A = H_i[x,y]$
  - c)  $B = z$
  - d) Pokiaľ  $(A < B)$ , potom je  $[u,v]$  v tieni, inak je  $L_i$  osvetlený zdrojom

# Tieňová pamäť hĺbky



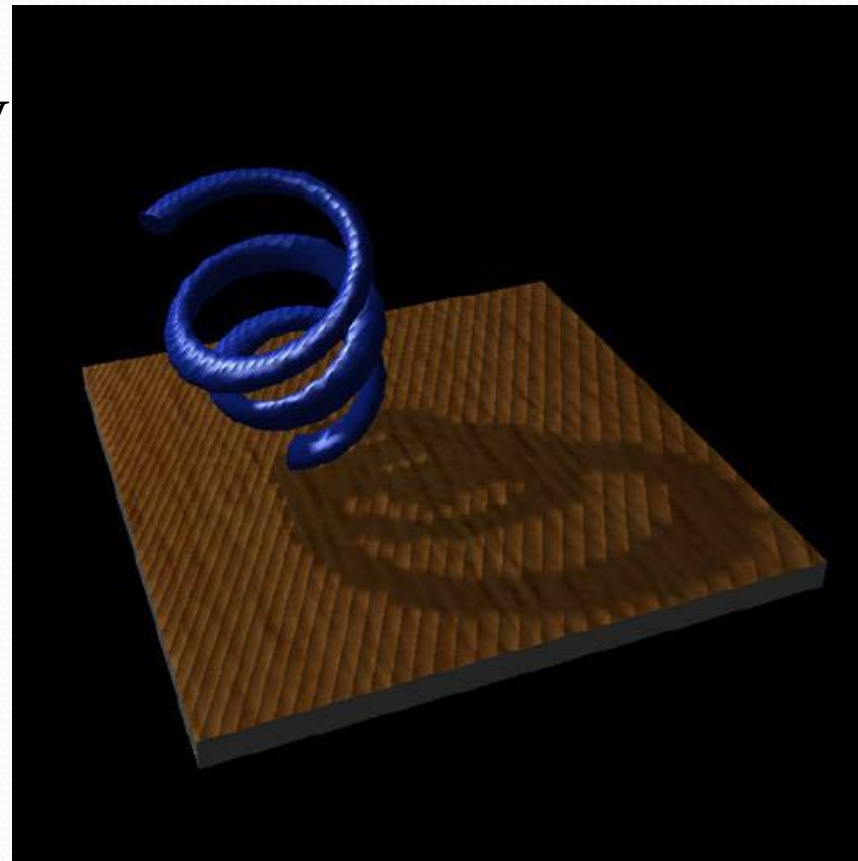
pamäť hĺbky  
(depth buffer)  
z pohľadu svetla



finálny  
obraz

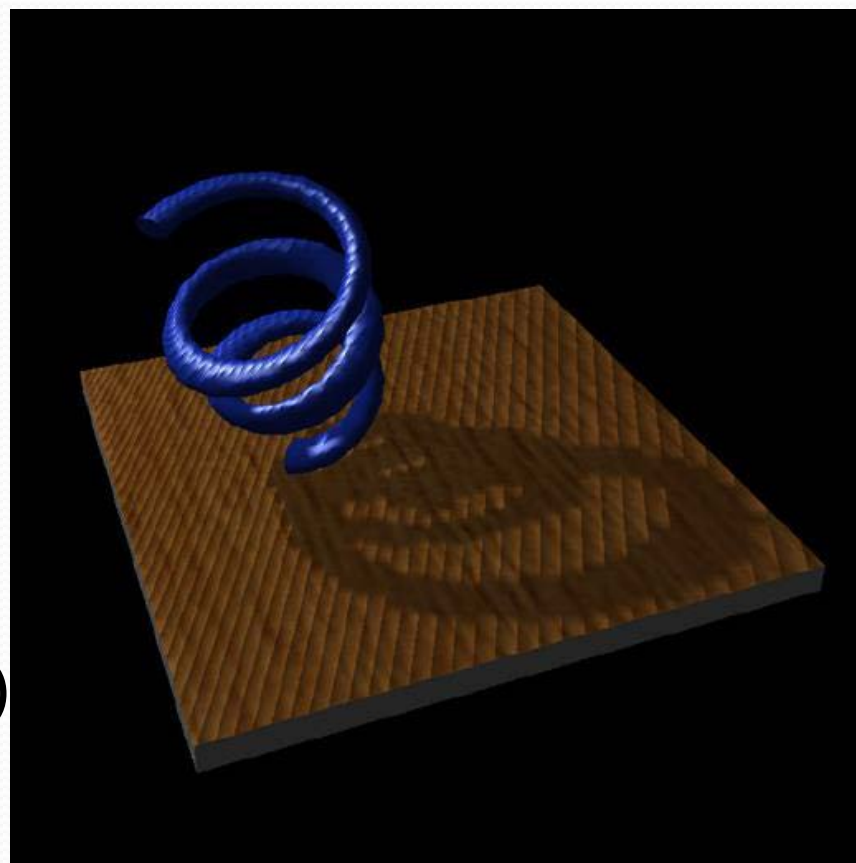
# Tieňová pamäť hĺbky: pre a proti

- Vysoká rýchlosť
- Ľubovoľná reprezentácia scény
- Pamäťová náročnosť
  - 1 svetlo = 1 tieňová mapa
  - Potrebné vysoké rozlíšenie
- Aliasing
  - Použitie vysokého rozlíšenia
  - Nutné filtrovanie



# Tieňová pamäť hĺbky: pre a proti

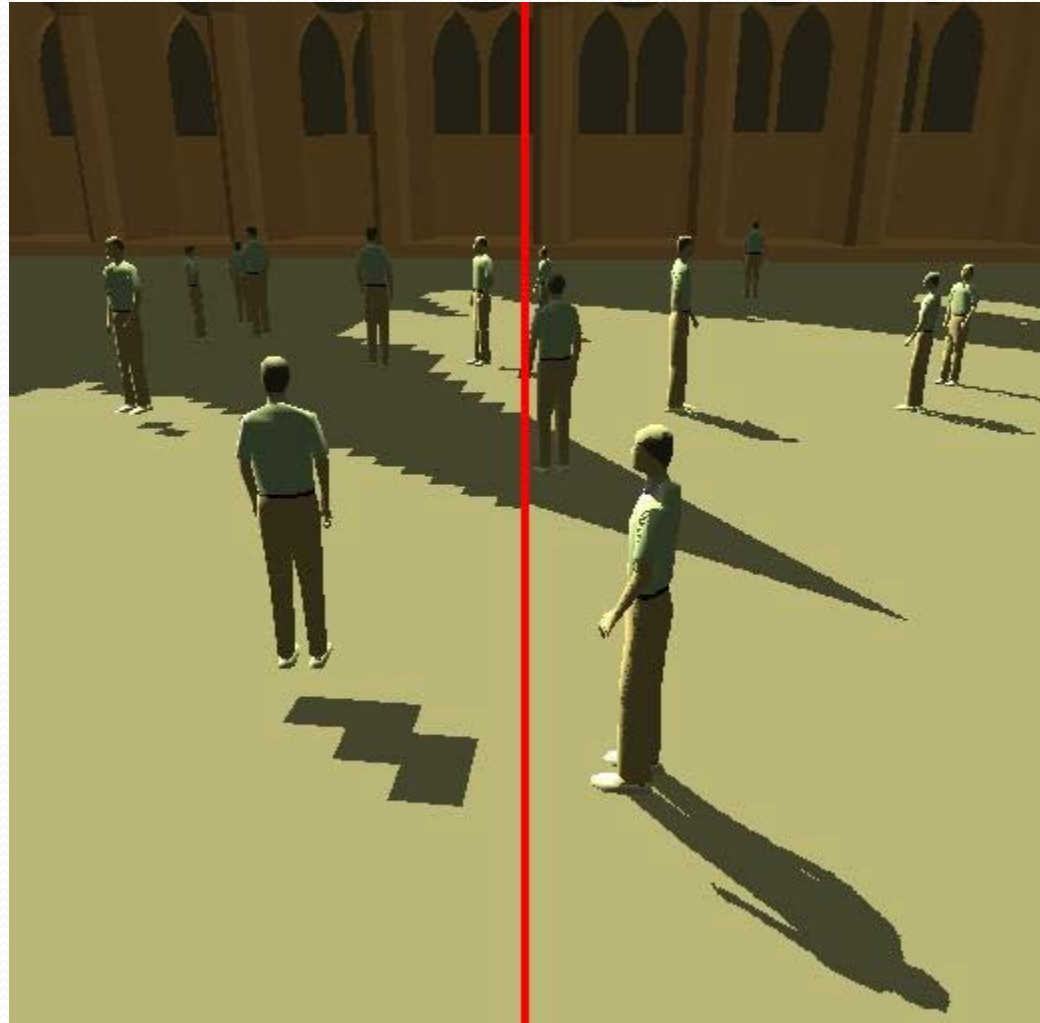
- Mäkké tieňe
  - Keď sú filtrované
- Nepresné kvôli z-buffer kvantizácii
- Len bodové zdroje svetla
- Špecifická transformácia svetla  
( light-specific transformation)





# Rozlíšenie

- Koľko bodov je uložených v 2D mape tieňov
- Malý počet = tieňové artefakty



Stamminger, Drettakis: Perspective Shadow Maps

# Filtrovanie a mäkké tieňe

- Odstránenie artefaktov (zubaté hrany)
- Simulácia mäkkých tieňov



Soft-Edged Shadows, <http://www.gamedev.net>

# Tiene vs. Typy svetla

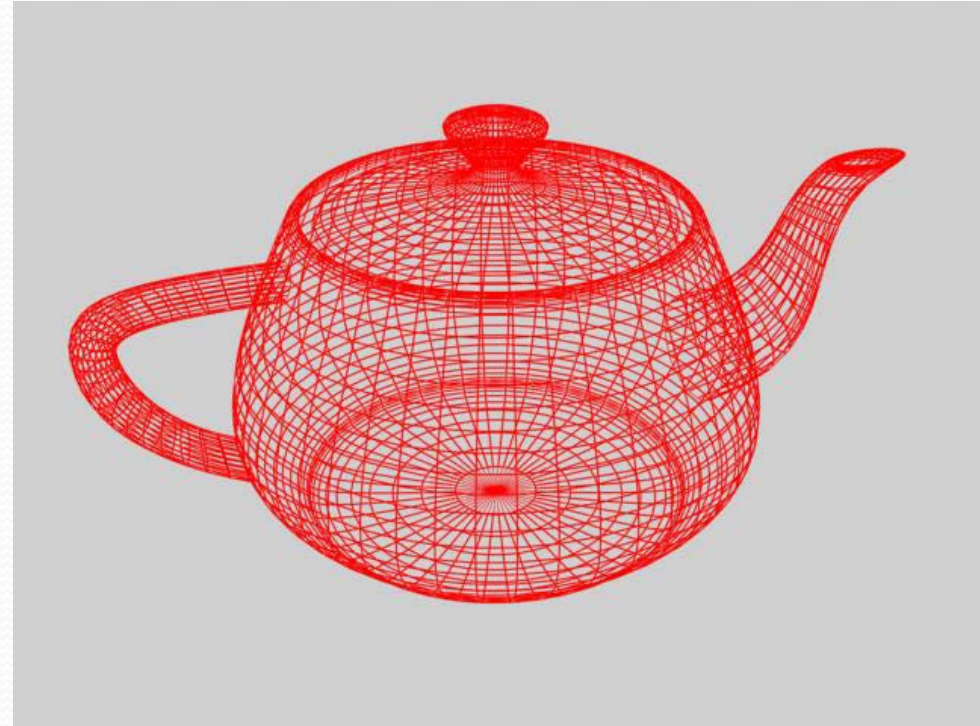
- Smerové (paralelné) svetlo
  - Jednoduché tieňové mapy a tieňové objemy
- Reflektor
  - Tieňové mapy pomocou perspektívnej transformácie
  - Jednoduché tieňové telesá
- Omni light
  - Ťažké tieňové mapy
  - Jednoduché tieňové telesá
- Plošné svetlá
  - aproximácia viacerými svetlami



# Sumarizácia

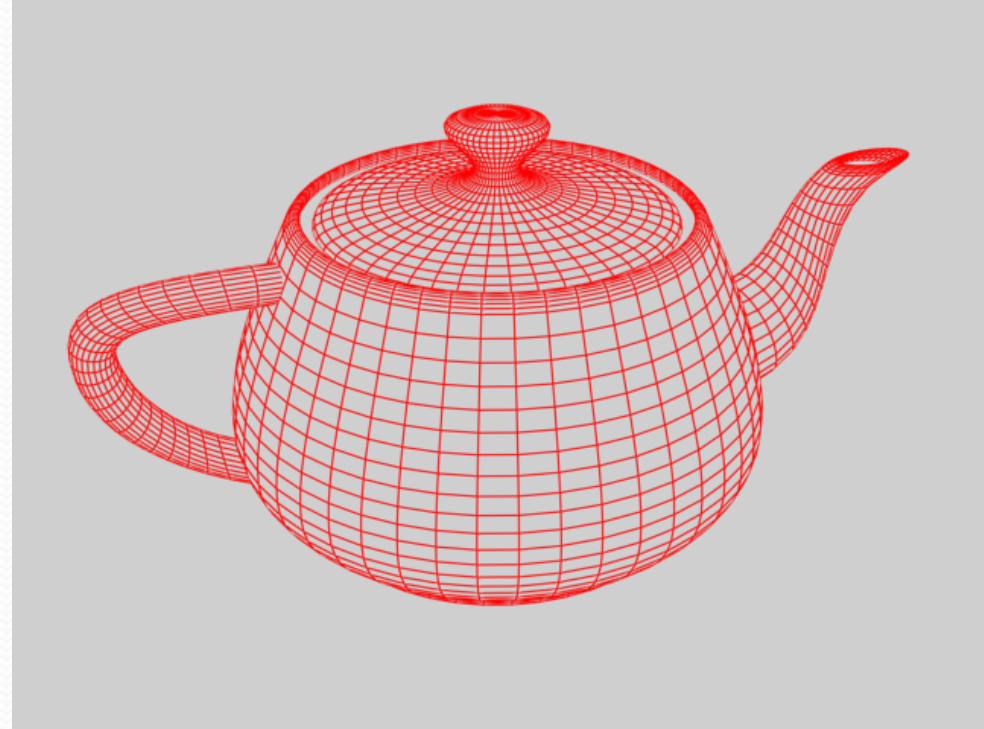
# Kamera, objekt scény

- Lokálne, svetové (globálne), kamerové súradnice
- Transformácie (v 2D & 3D)
- Maticové operácie
  - Posunutie, rotácia, škálovanie
  - Projekcie ( ortogonálna, perspektívna)
- Reprezentácia objektov
  - Hranočné, objemové, parametrické, implicitné, F-rep



# Rasterizácia, viditeľnosť

- Rasterizácia úsečiek a polygónov
- Lineárna interpolácia
- Antialiasing
  
- Viditeľný objem
- Backface culling
- Maliarov algoritmus
- Z-Buffer





# Textúry

- Textúrne súradnice, mapovanie textúr
- Filtrovanie textúr
  - Bilineárna interpolácia
  - Metóda najbližšieho suseda





# Osvetlenie

- Tzpz svetla
- Svetelné modely a techniky osvetlenia
  - Lokálne, globálne
  - Empirické, fyzikálne
- Modely tieňovania
  - Flat, Guard, Phong
  - Raytracing, radiosity



# Tiene

- Generovanie tieňov v globálnom osvetľovaní
- Generovanie tieňov v lokálnych metódach
- Tieňové objemy( Stencil shadows)
- Tieňové mapy (Shadow maps)
- Mäkké tiene

