



Računarska grafika

predavanja
v.prof.dr. Samir Lemeš
slemes@unze.ba

Izvori svjetlosti i texture

- Osvjetljenje
- Definicije
- Komponente osvjetljenosti
- Ambijentalni izvori svjetla
- Usmjereni izvori svjetla
- Drugi izvori svjetla
- *Raytracing* i *Radiosity*
- Texture



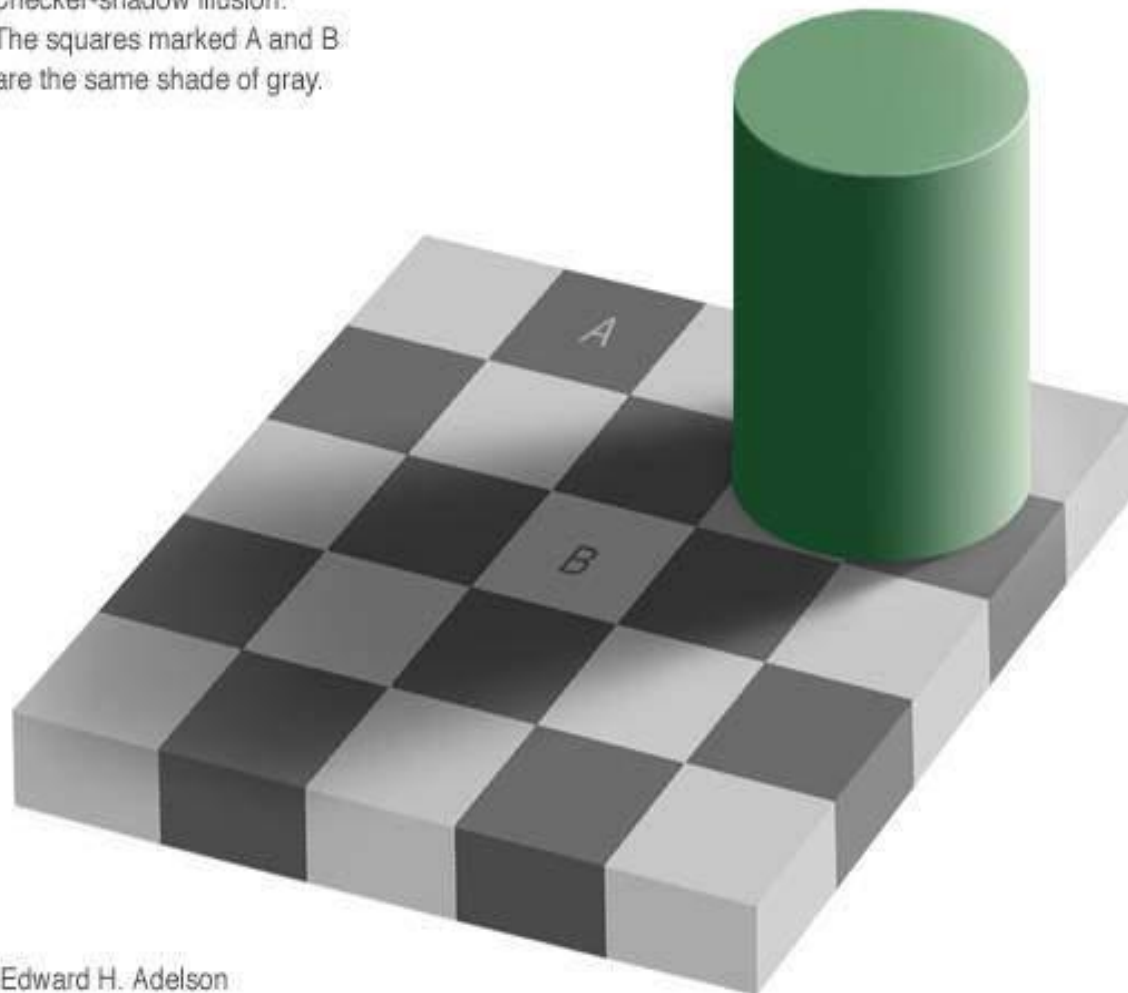
Rješavanje problema osvjetljenja

- Nekako razumijemo percepciju svjetlosti/boje
- Postoji inženjersko rješenje za predstavljanje i generisanje boje pomoću računara
- Potrebno je razumjeti interakciju svjetla i objekata



Optička iluzija

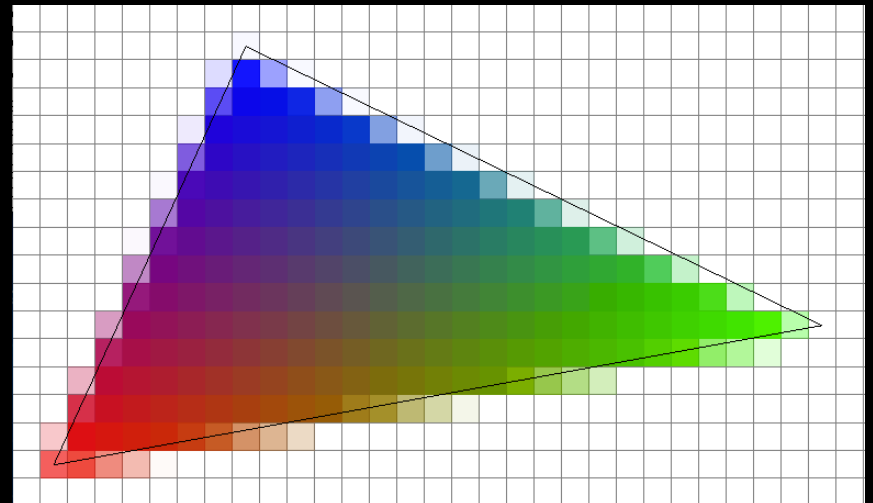
Checker-shadow illusion:
The squares marked A and B
are the same shade of gray.



Edward H. Adelson

Osvjetljenje

- Poznato je kako se vrši rasterizacija
 - Za dati 3-D trougao i 3-D tačku posmatranja, poznato je kako pikseli predstavljaju trougao
- Koje boje trebaju biti ti pikseli??



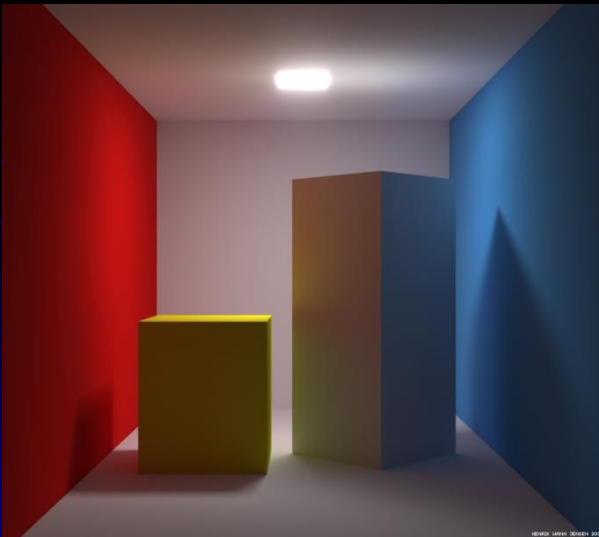
Osvjetljenje

- Ako se želi dobiti realistična slika, potrebno je simulirati **osvjetljenje** površina prikazane scene
 - U osnovi je to simulacija **fizike** i **optike**
 - Koristi se puno aproksimacija (zasnovanih na percepciji) da bi se ta simulacija izvela dovoljno brzo.



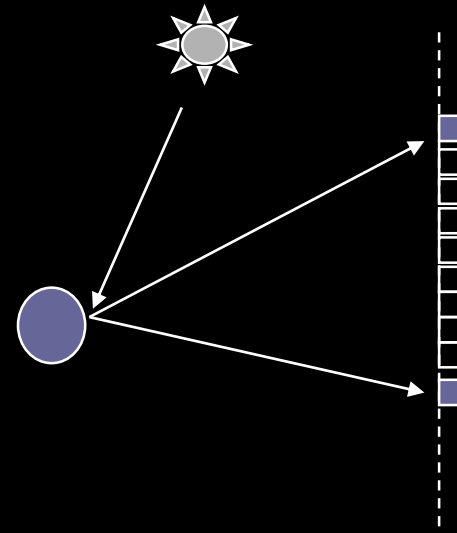
Definicije

- **Osvijetljenost (*Illumination*):** transport energije sa izvora svjetla na površine i tačke
 - Napomena: obuhvaća **direktnu** i **indirektnu osvijetljenost**



Definicije

- **Osvjetljenje (*Lighting*):** proces izračunavanja intenziteta svjetla u određenoj 3-D tački, obično na površini
- **Sjena (*Shading*):** proces dodjeljivanja boje pikselima



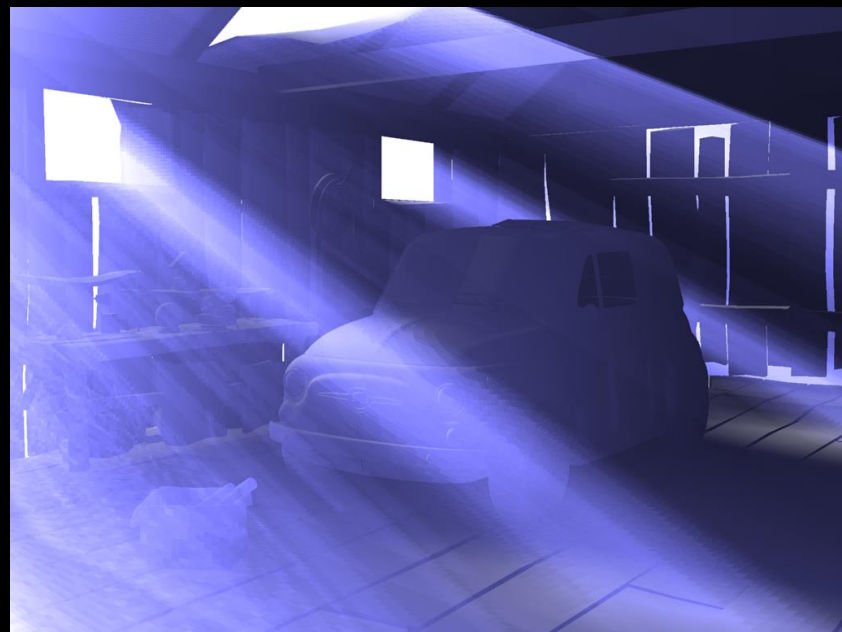
Definicije

- Modeli osvjetljenosti se dijele u dvije kategorije:
 - **Empirijski:** jednostavne formulacije koje aproksimiraju fenomen koji se posmatra
 - **Fizički:** modeli zasnovani na stvarnoj fizici svjetla koje je u interakciji sa materijom
- Radi jednostavnosti se u interaktivnoj grafici obično koriste empirijski modeli
- Sve se više koriste fizički modeli za realističnu grafiku.



Komponente osvjetljenosti

- Dvije komponente osvjetljenosti:
Izvori svjetla (*light sources*) i
Osobine površina (*surface properties*)
- Izvori svjetla (ili **emiteri**)
 - Spektar emitovanog svjetla (boja)
 - Geometrijski atributi
 - Položaj
 - Smjer
 - Oblik
 - Usmjereno slabljenje
 - Polarizacija



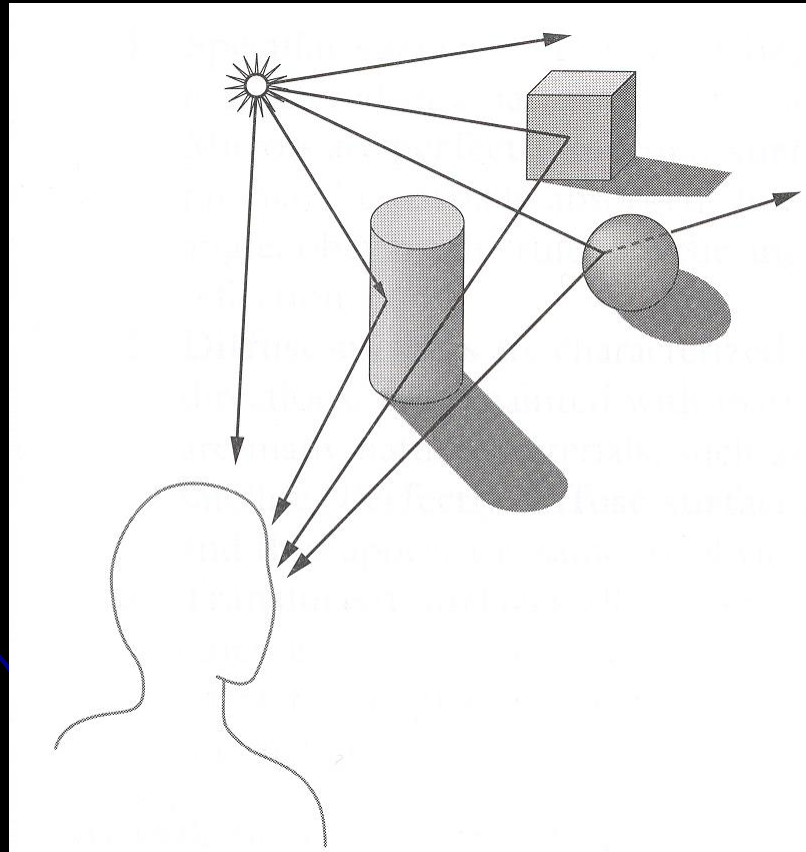
Komponente osvjetljenosti

- Osobine površine
 - Spektar refleksije (boja površine)
 - Refleksija dijelova površine
 - Geometrijski atributi
 - Položaj
 - Orijentacija
 - Mikro-struktura



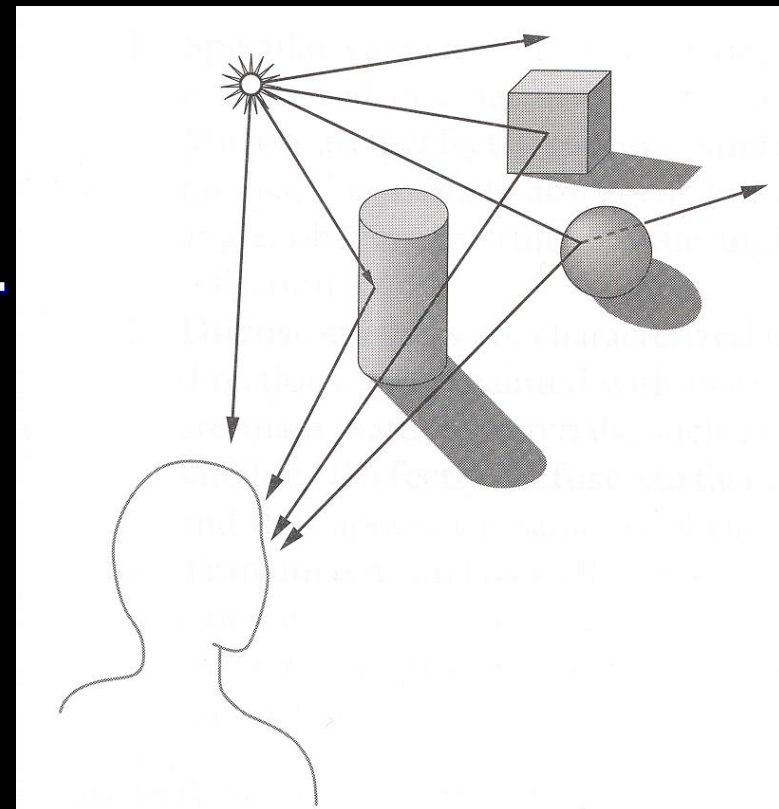
Osvijetljenost

- Kako se izračunava zračenje za određenu zraku?



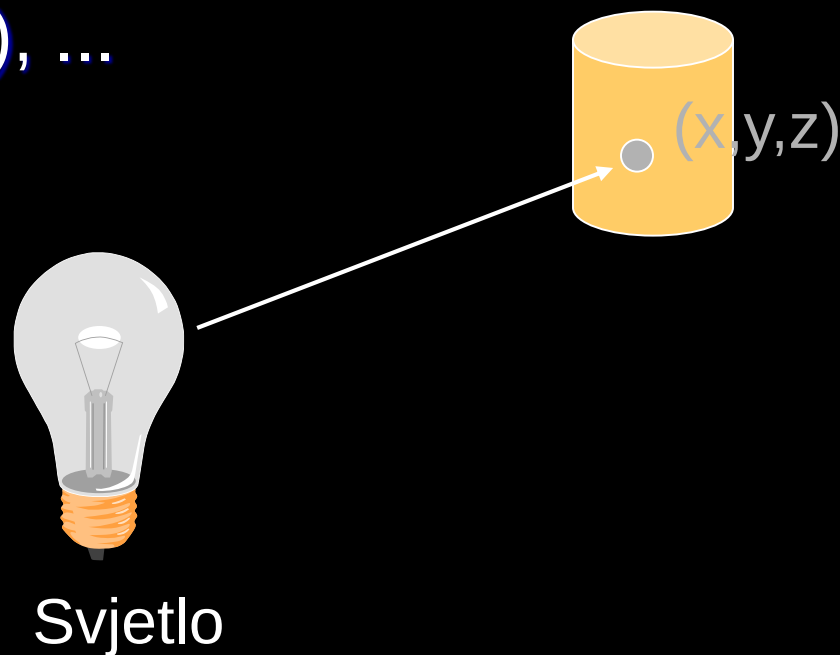
Cilj

- Moraju se izvesti računarski modeli za ...
 - Emisiju kod izvora svjetla
 - Disperziju na površinama
 - Prijem svjetla na kameri
- Poželjne karakteristike ...
 - Konciznost
 - Efikasnost proračuna
 - Tačnost



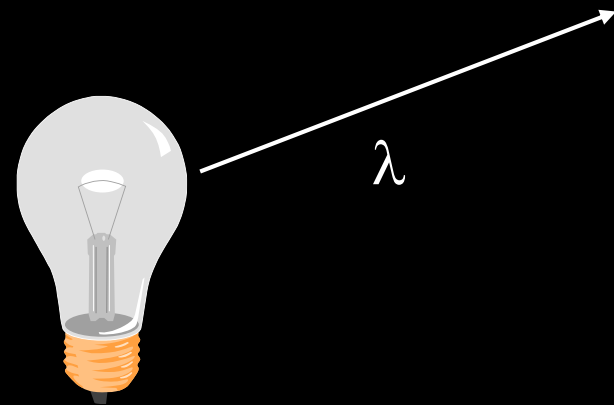
Modeliranje izvora svjetla

- $I_L(x,y,z,\theta,\phi,\lambda)$...
 - opisuje intenzitet energije,
 - napušta izvor svjetla, ...
 - stiže na lokaciju (x,y,z) , ...
 - iz smjera (θ,ϕ) , ...
 - sa talasnom dužinom λ



Empirijski modeli

- Idealno mjere energiju zračenja za "sve" situacije
 - Previše memorije
 - Teško praktično ostvariti



Ambijentalni izvori svjetla

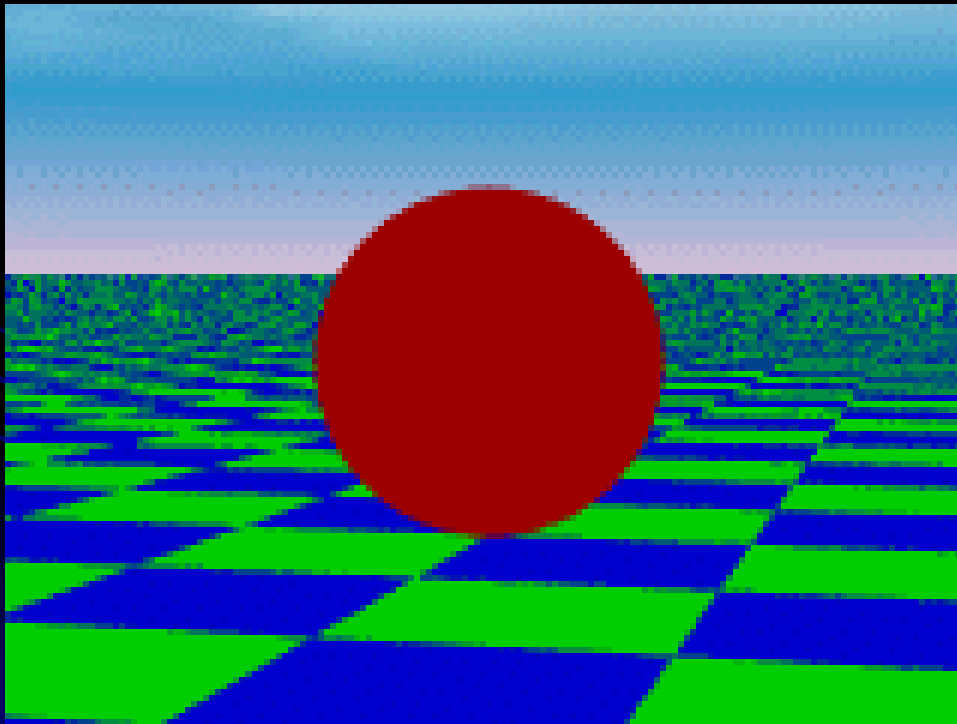
- Objekti koji nisu direktno osvijetljeni su ipak vidljivi
 - npr., plafon u sobi, donja strana stola
- To je rezultat *indirektne osvijetljenosti* od emitera, koja se odbija od drugih površina
- Preteško za proračun (u realnom vremenu), zato se koristi trik koji se zove *ambijentalni izvor svjetla*
 - Nema prostorne karakteristike niti smjer; sve površine isto osvjetljava
 - Količina refleksije zavisi od osobina površine

Ambijentalni izvori svjetla

- Za svaku uzorkovanu talasnu dužinu (R, G, B), ambijentalno svjetlo koje se reflektuje od površine zavisi od
 - Osobina površine, $k_{ambient}$
 - Intenziteta, $I_{ambient}$, ambijentalnog izvora svjetla (konstantno za sve tačke na površinama)
- $I_{reflected} = k_{ambient} I_{ambient}$

Ambijentalni izvori svjetla

- Osvijetljeno samo ambijentalnim izvorom:



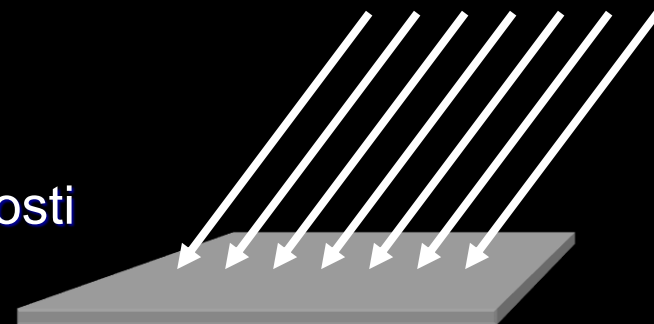
Položaj svjetla
Nevažan

Položaj posmatrača
Nevažan

Ugao površine
Nevažan

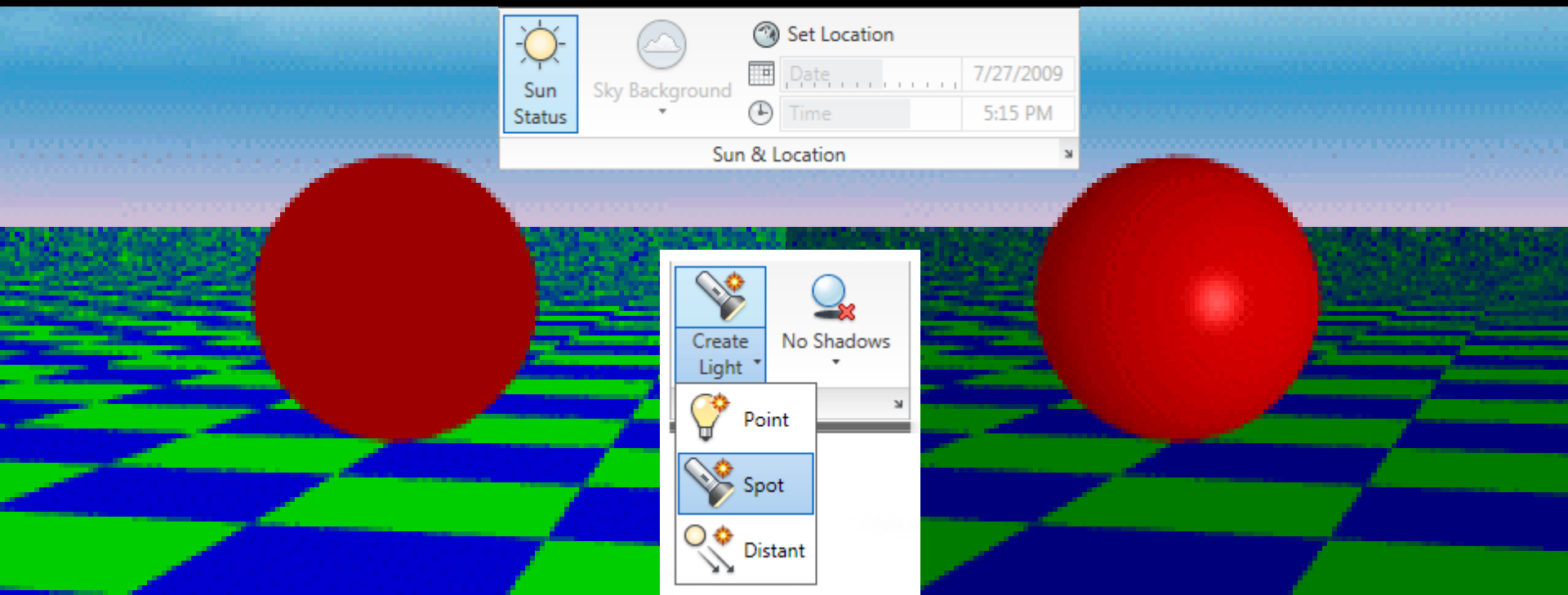
Usmjereni izvori svjetla

- Za **usmjereni izvor svjetla** koriste se pretpostavke za pojednostavljenje
 - Smjer je konstantan za sve prikazane površine
 - Sve zrake svjetla su paralelne
 - Kao da je izvor beskonačno daleko od osvijetljenih površina
 - Dobra aproksimacija sunčeve svjetlosti
- Smjer od površine ka izvoru svjetla je važan kod osvijetljenja površine



Usmjereni izvori svjetla

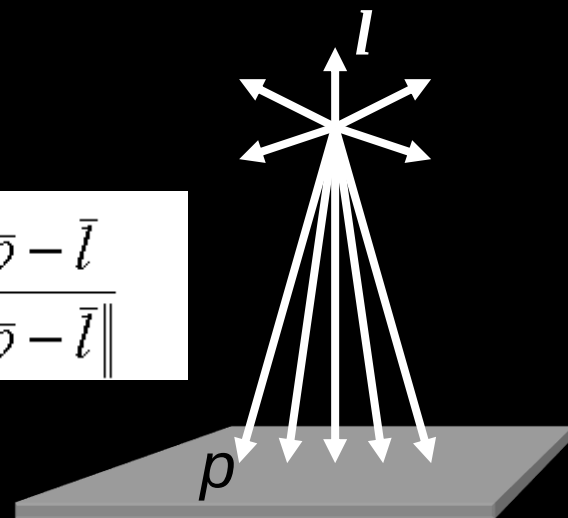
- Ista scena osvijetljena samo ambijentalnim ili sa usmjerenim i ambijentalnim izvorom svjetla istovremeno:



Tačkasti izvori svjetla

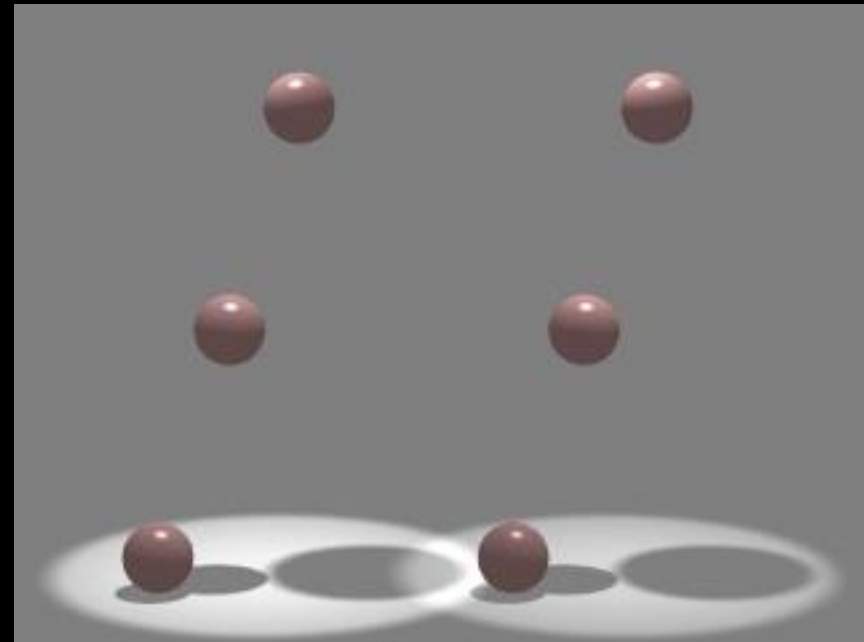
- **Tačkasti izvori svjetla** emituju svjetlo jednako u svim pravcima iz jedne tačke
- Smjer ka izvoru svjetla od tačke na površini se tako razlikuje za različite tačke:
 - Potrebno je izračunati normalizirani vektor ka izvoru svjetla za svaku osvijetljenu tačku:

$$\bar{d} = \frac{\bar{p} - \bar{l}}{\|\bar{p} - \bar{l}\|}$$



Drugi izvori svjetla

- **Spot-svjetla** su tačkasti izvori čiji intenzitet opada usmjereno.
 - Zahtijeva boju, smjer tačke, parametre opadanja
 - Podržava ga OpenGL



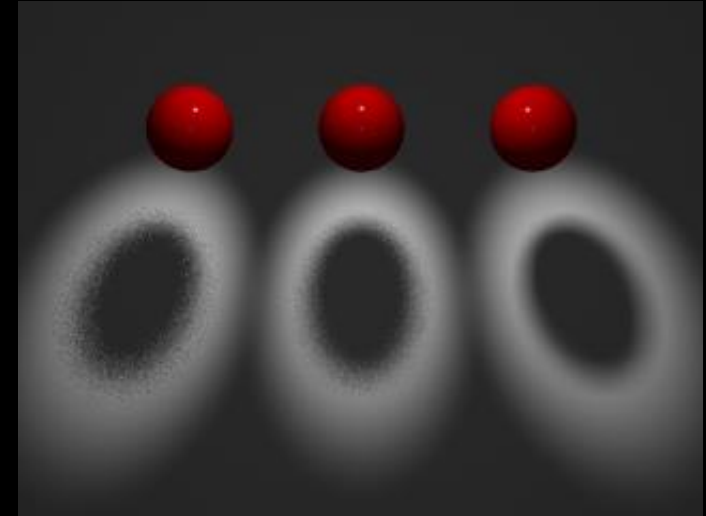
Drugi izvori svjetla

- Usmjereno svjetlo sa zrakama unutar konusa
- Primjer spot-svjetla:
 - osvjetljenje na pozornici



Drugi izvori svjetla

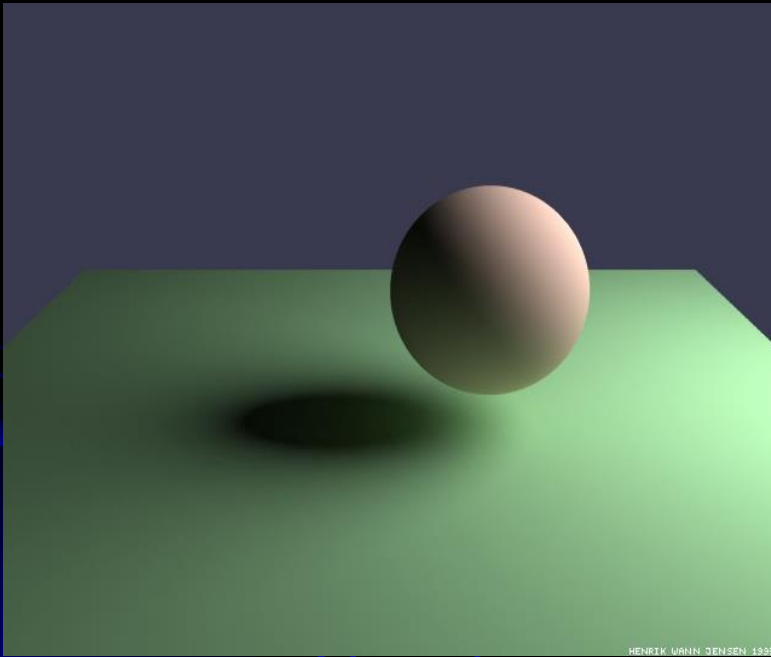
- ***Površinski izvori svjetla*** definišu 2-D površinu emitovanja (obično disk ili poligon)
 - Dobar primjer: fluorescentni paneli
 - Mogu formirati mekane sjene



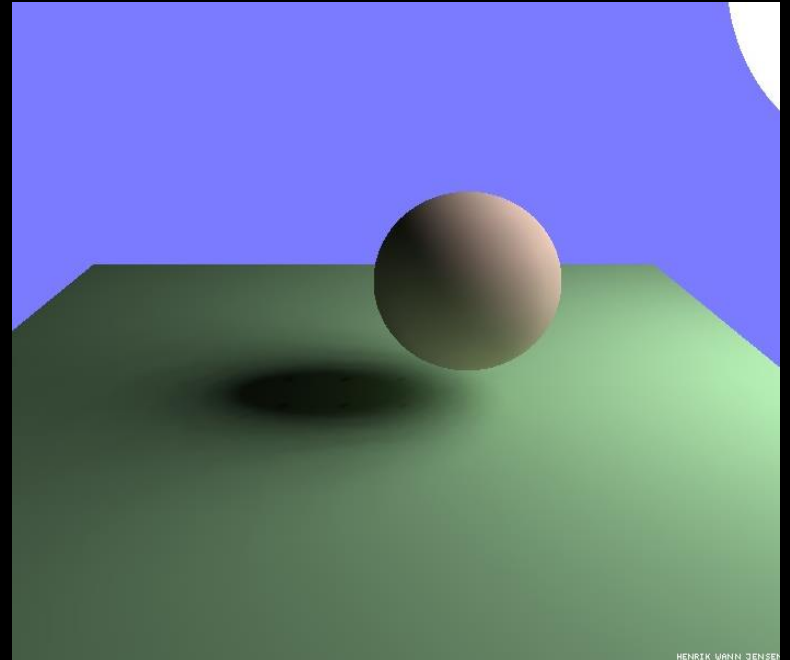
Tehnike rasterizacije

- Za proračun transporta svjetla (rendering) se koriste tehnike:
 - **Scanline rendering** je projektovanje geometrijskog oblika, bez optičkih efekata.
 - **Ray casting** koristi geometriju i osnovne zakone optike – uklanjanje nediljivih linija (nema sjenčenja).
 - **Ray tracing** koristi naprednije optičke simulacije.
 - **Radiosity** proračunava putanju svjetla na osnovu definisanih osobina izvora svjetla.
- Često se koristi kombinacija navedenih tehnika da bi se proces ubrzao.

Raytracing i Radiosity



Raytracing

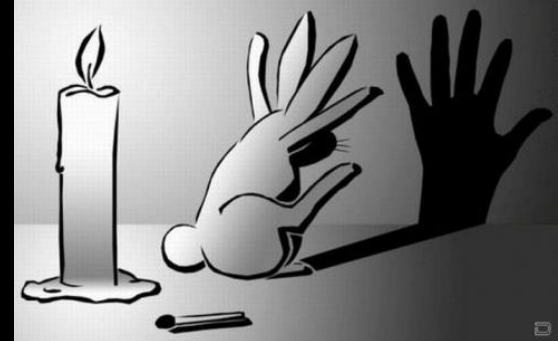


Radiosity

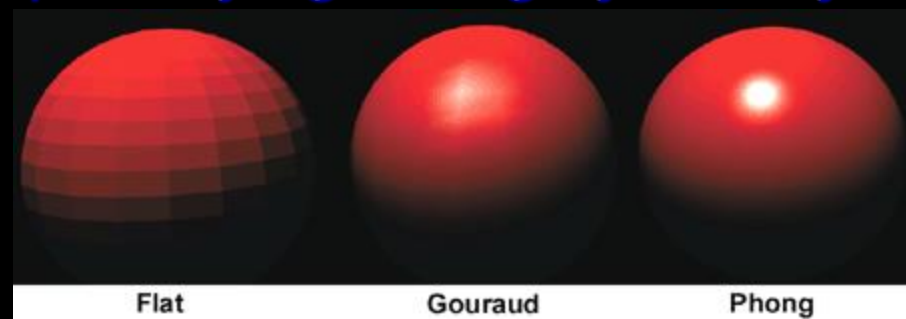
Raytracing i Radiosity

- *Radiosity* prikuplja zbir prenosa svjetla
 - Ali modelira sve površine kao difuzne reflektore
 - Ne može modelirati odraz ili upijanje
 - Slike ne zavise od tačke posmatranja
- *Raytracing* prikuplja kompleksno ponašanje svjetlosnih zraka kako se reflektuju ili upijaju
 - Najbolje radi sa površinama koje su kao ogledala
 - Difuzne površine pretvaraju svjetlosnu zraku u više zraka. *Raytracing* prati jednu zraku i ne prikuplja puni efekat difuzije.
 - Mora se koristiti ambijentalno svjetlo da bi se nadoknadio nedostatak difuzije

Sjenčenje

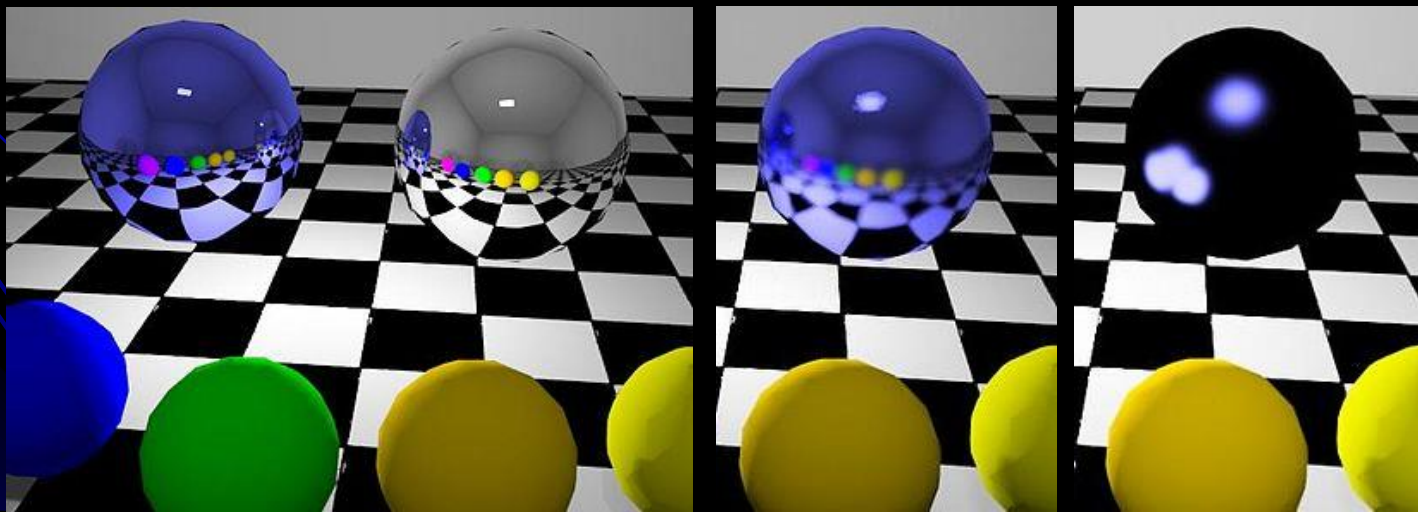


- Sjenčenje (*shading*) je proces promjene boje površine 3D objekta, na osnovu ugla pod kojim je osvijetljen i udaljenosti izvora svjetla.
- **Flat shading** je tehnika brzog sjenčenja koje uzima u obzir samo ugao izvora svjetla i normale na površinu objekta, njihove boje i intenzitet svjetlosti.
- **Smooth shading** koristi i druge osobine.
- Algoritmi za linearnu interpolaciju glatkog sjenčenja su **Phong** i **Gouraud**.

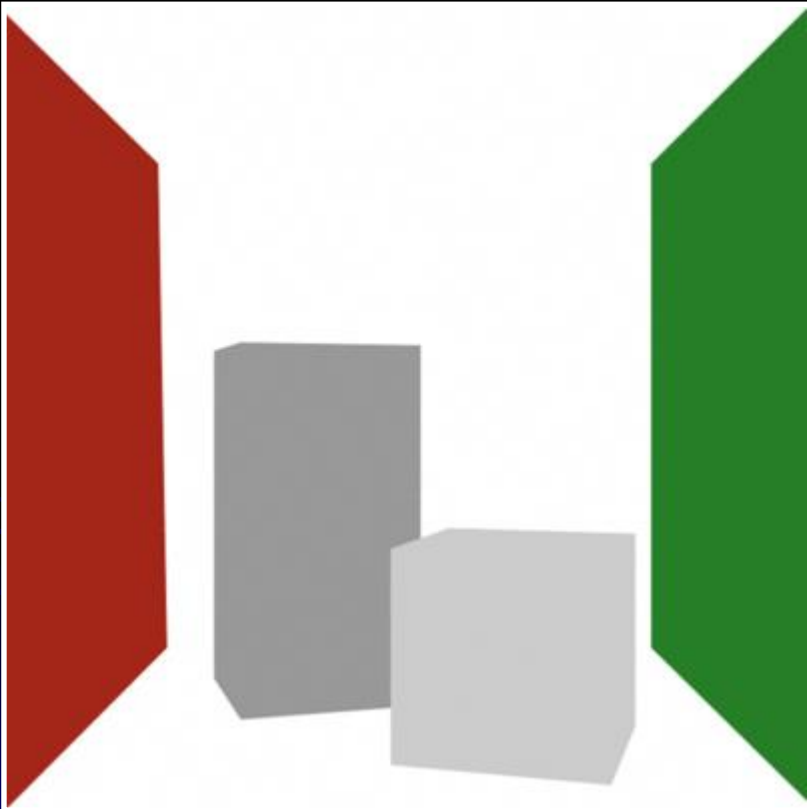


Refleksija

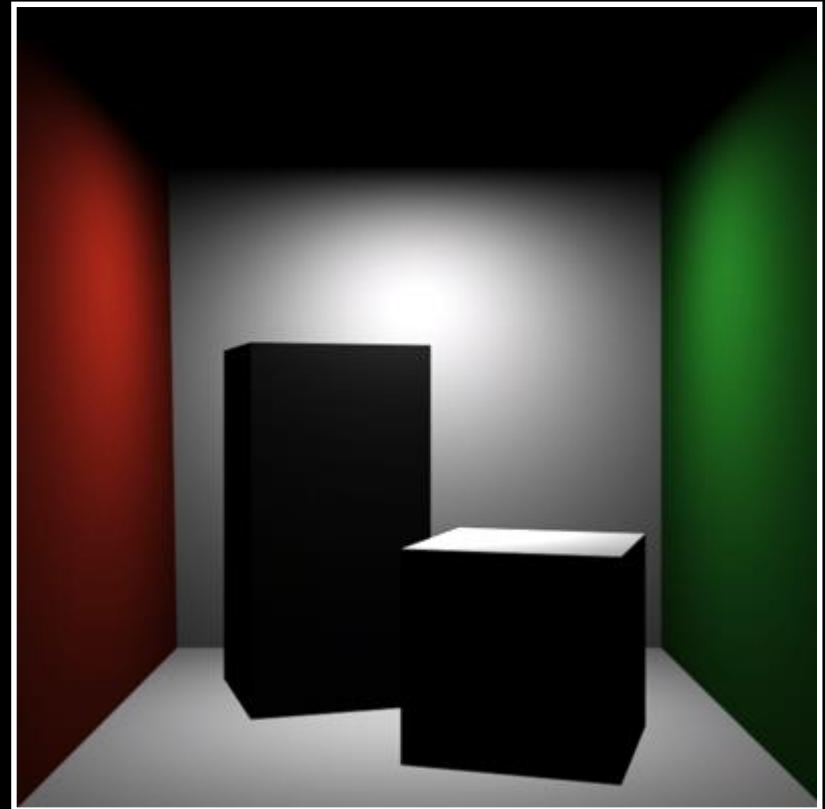
- Refleksija je tehnika za opis objekata koji odbijaju svjetlost (ogledala, sjajne površine):
 - **Metallic** – refleksije zadržavaju boju objekta.
 - **Polished** – potpuna refleksija, kao ogledalo.
 - **Blurry** – zamućenost, kao na hrapavoj površini.
 - **Glossy** – reflektuje samo svjetlost sa izvora.



Primjer: Difuzna refleksija

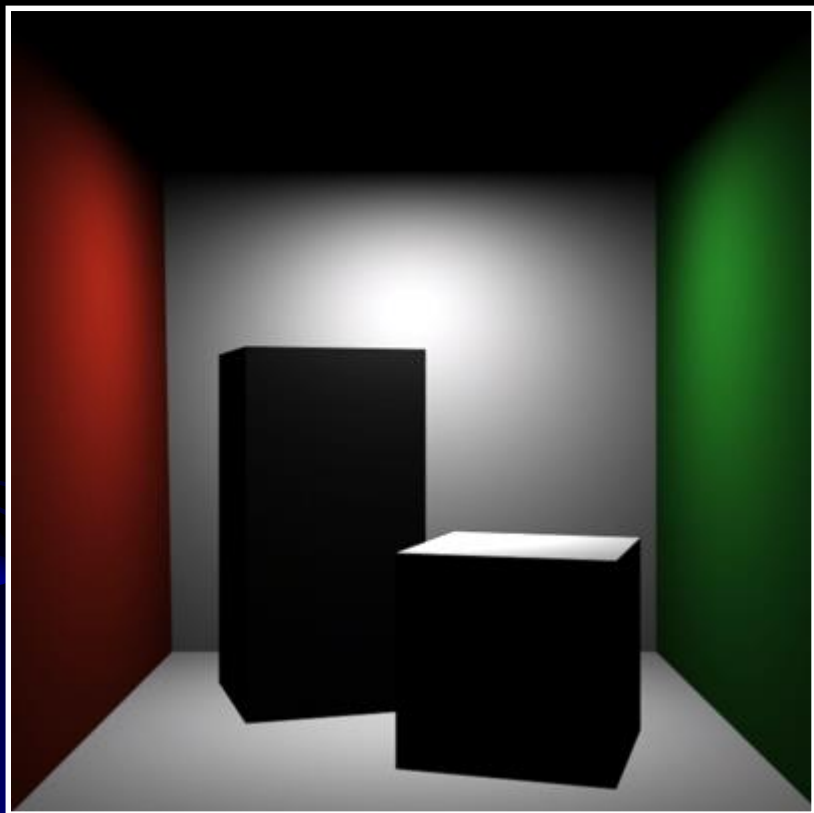


Boja površine

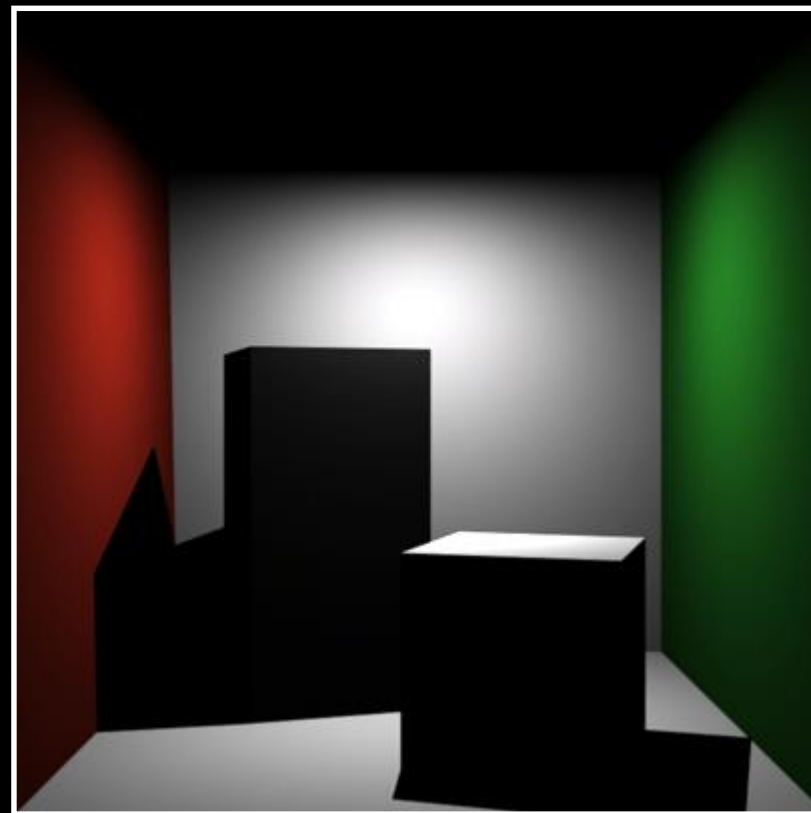


Difuzne sjene

Primjer: Sjene

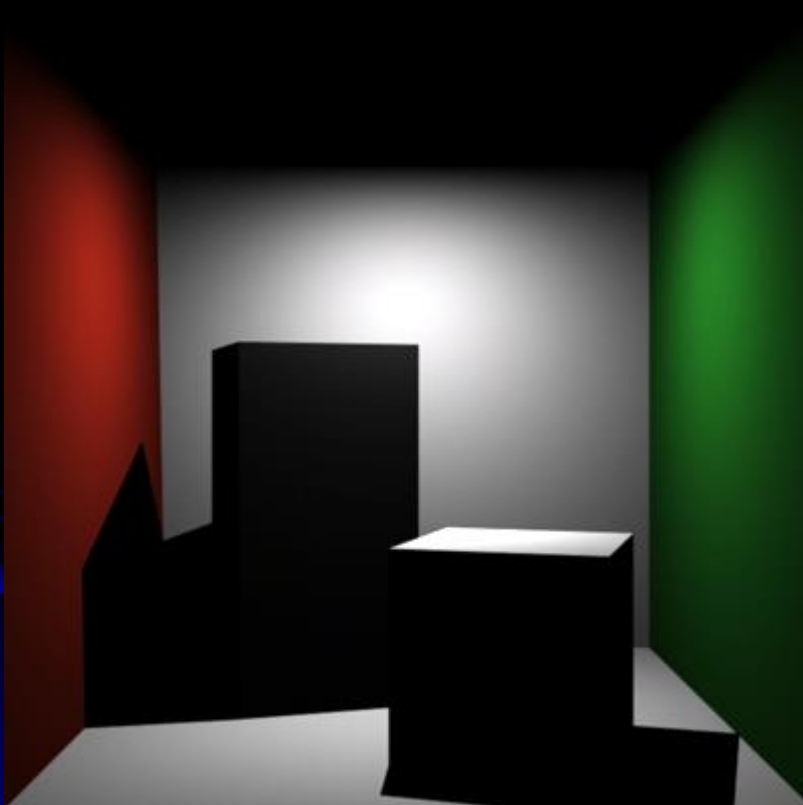


Bez sjena



Sa sjenama

Primjer: Meke sjene



Tvrde sjene
Tačkasti izvor svjetla



Meke sjene
Površinski izvor svjetla

Teksture

- Povećavaju prividnu složenost jednostavne geometrije
- Kao lijepljenje tapeta ili umotavanje poklona u elastičnu foliju
- Zakrivljene površine zahtijevaju dodatno rastezanje ili odsijecanje

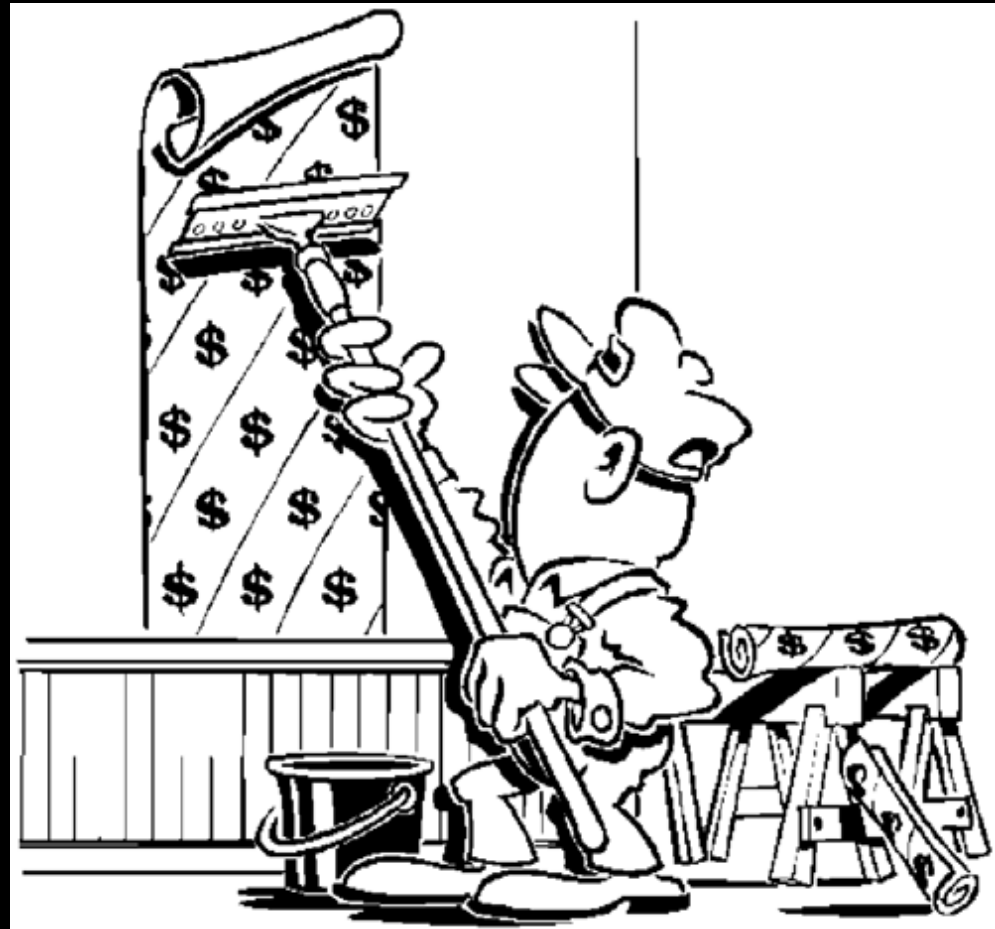
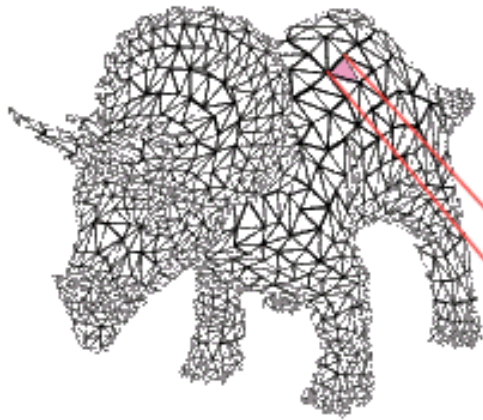


Foto-teksture



Za svaki trougao na modelu
uspostavlja se odgovarajući region
sa fototeksture



Za vrijeme rasterizacije koordinate se
interpoliraju u teksturu

Primjer za Environment Mapping



Terminator II

Mape tekstura za osvjetljenje

- Zovu se i "Svjetlosne mape" (Light Maps)



Quake