

Valgustus ja värvimine

Mark Fishel (fishel@ut.ee)

10. oktoober 2005



Kus me oleme?

- ~~Tippude transformeerimine ja projitseerimine~~
- ~~Nähtamatu tahkude ja tippude eemaldamine~~
- **Polügonide rasteriseerimine**
- **Pikslite värvimine**
- **Pikslite ekraanile väljastamine**



Täna

- Valgus
- Valgusallikad
- Värv
- Punktide valgustus (eng. illumination)
- Polügoonide värvimine (eng. shading)



Valgus



Valgus

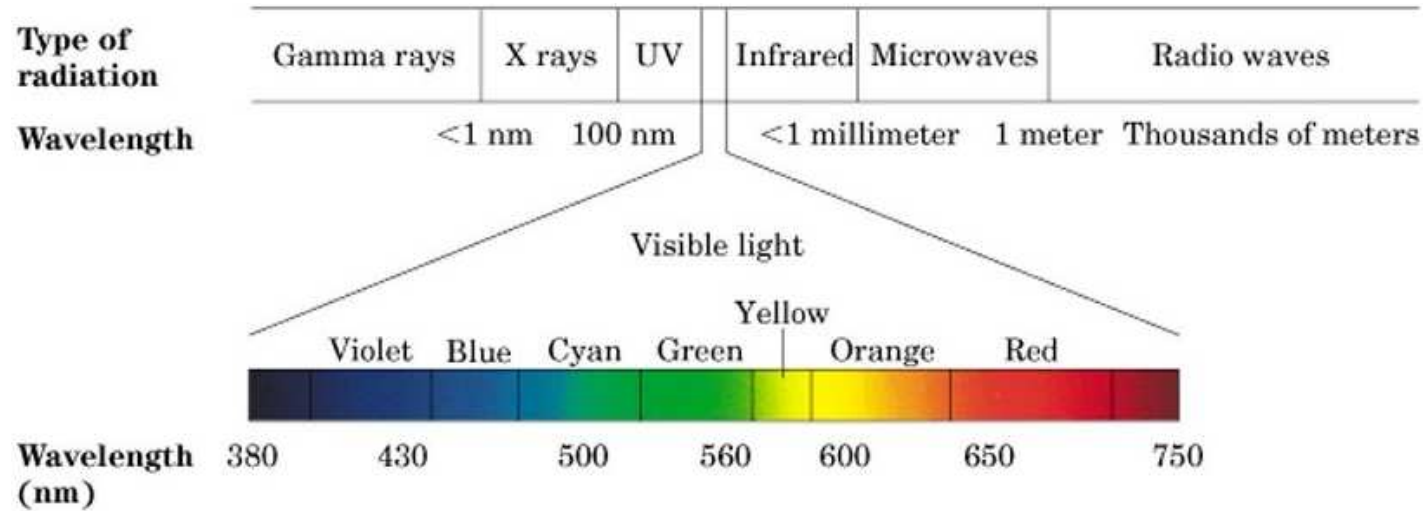
Valgus on:

- Laetud osakeste (footonide) vool
- Kiirgus, “nähtava” sagedusega lained

Sõltuvalt lainete sagedusest näeme erinevat valgust



Nähtava sageduse skaala



(<http://courses.cm.utexas.edu/jrobertus/ch339k/overheads-3/>)



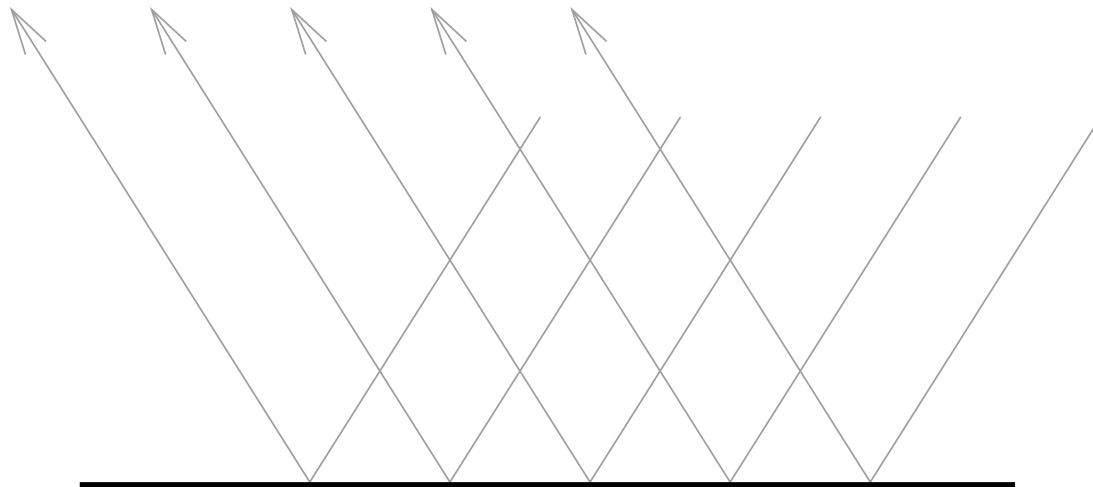
Nägemise põhimõte

- Valgus jõuab objektini
- Osa valgusest absorbeerib pind
- Ülejäänud osa peegeldub pinnast
- Peegeldatud valgus satub meie silma

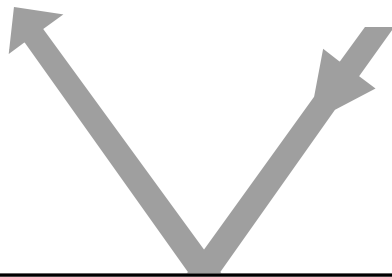


Peegeldumise liigid

Peegeldumine otse (eng. specular reflection):

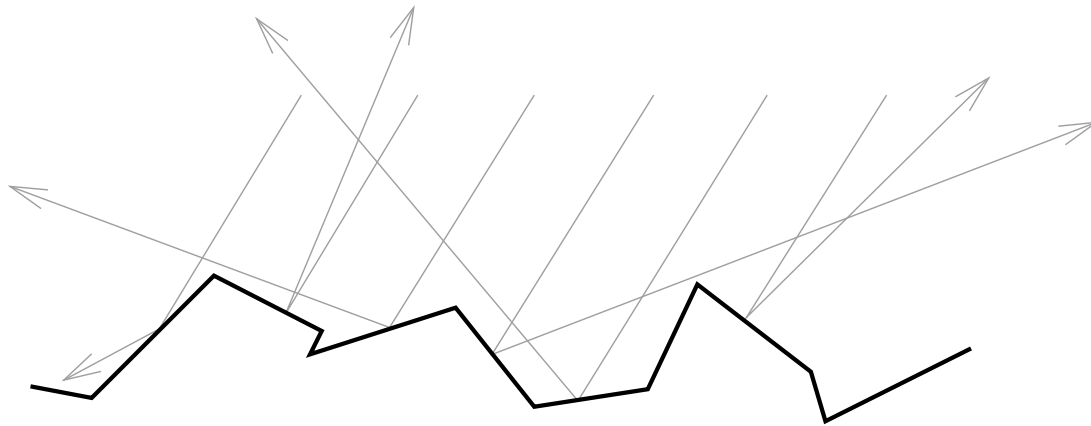


Tulemus:

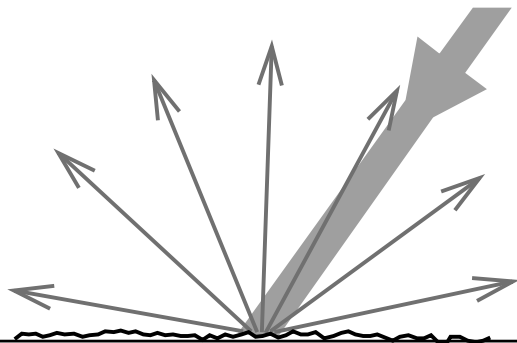


eegel u ise liigi

Difuusne peegeldumine (eng. diffuse reflection):

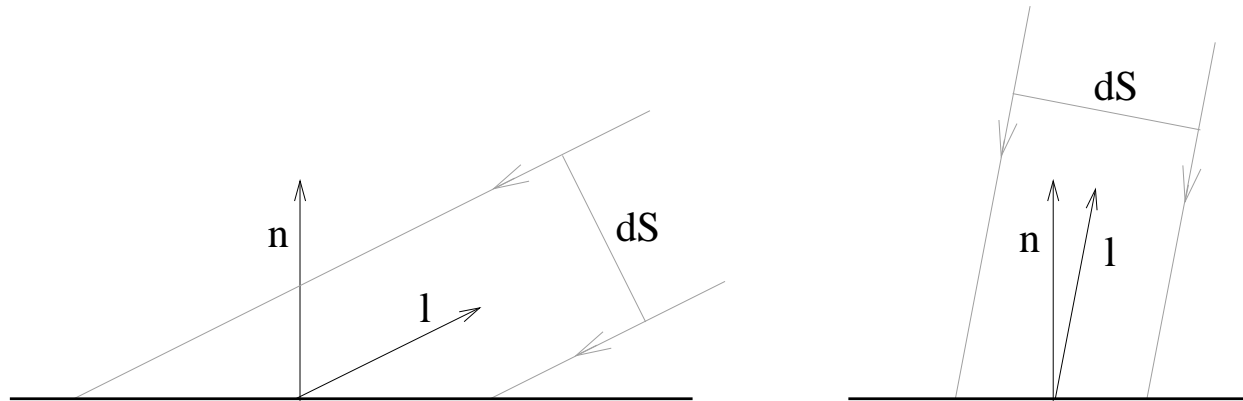


Tulemus:



alguse energia pinnal

Sõltuvalt valguse ja pinna vahelisest nurgast erinev energia kogus satub pindala ühiku peale:



Valguse energia skaleerub \mathbf{n} ja \mathbf{l} vahelise nurga koosinusega $\mathbf{n}^T \mathbf{l}$

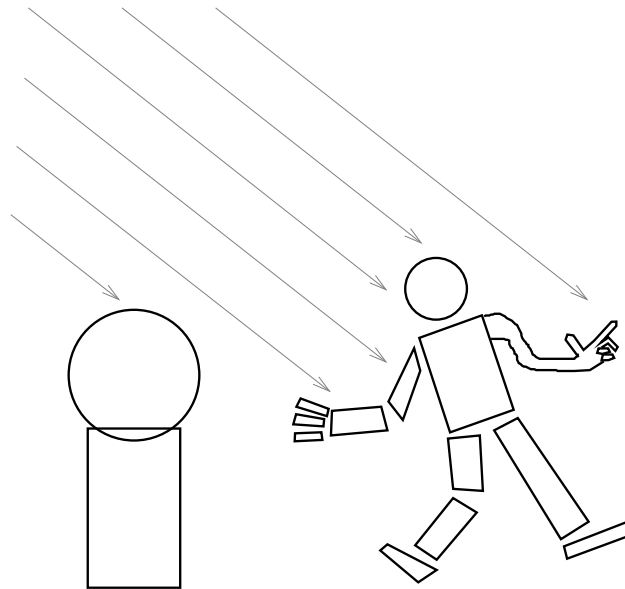


algusalli ate o elleeri ine



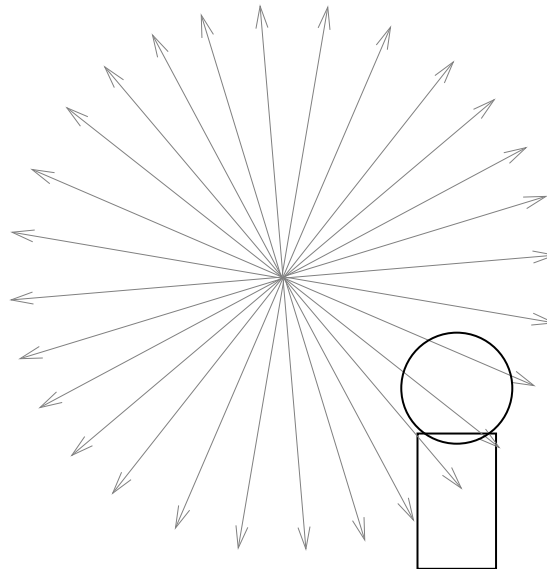
Suun allias

- Asub “lõpmatult kaugel”
- Kiired paralleelsed
- Näide: päike



un talli as

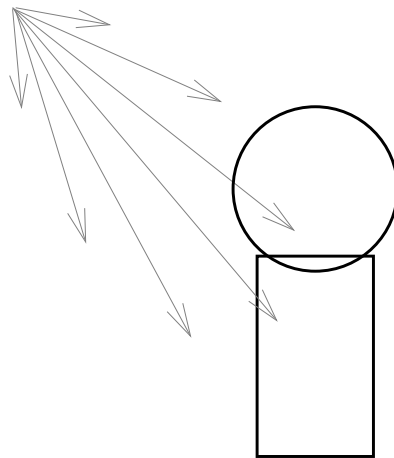
- Valgus väljub ühest punktist
- Igas suunas sama intensiivsus
- Näide: pirn, küünal,...



Helgi eitja

Sarnane punktallikaga, kuid

- on määratud nõ. *eelistatud* suund, kus valgus levib kõige paremini
- Teistes suunades intensiivsus on seda väiksem mida suurem erinevus suundade vahel:



Helgi eitja

Olgu \mathbf{l} suunavektor ja I_i – valgusallika intensiivsus eelistatud suunas. Suuna \mathbf{x} intensiivsus võrdub (vektorid on normeeritud):

$$\begin{aligned} I_x &= \max(\cos(\widehat{\mathbf{l} \mathbf{x}})^n, 0) \cdot I_i \\ &= \max((\mathbf{l}^T \mathbf{x})^n, 0) \cdot I_i \end{aligned}$$

Eksponent n kontrollib kui kontsentreeritud on modelleeritav rambivalgus.



Intensiivsuse nõrgene ine

Tähistame nõrgenemise faktori f_{att}

- valguse energia kahaneb pöördvõrdeliselt valgusallika kauguse ruuduga
- aga osutub et $f_{att} = 1/d^2$ ei anna “ilusat” tulemust
- kasutatakse valemit

$$f_{att} = \min \left(\frac{1}{c_0 + c_1 d + c_2 d^2}, 1 \right)$$

- c_0 ei lase murru nimetajal liiga väikseks minna
- c_1 ei lase valgusel liiga järsult langeda



es onna valgustus

Imiteerib valgust mis ei tule otseselt valgustallikatest

- peegeldatud teistest objektidest
- raske realiseerida otseselt
 - aga miski pole võimatu: path tracing, radiosity
- kasutatakse keskkonda valgustuse mõistlikult aproksimeeritud mudeli

Põhimõte:

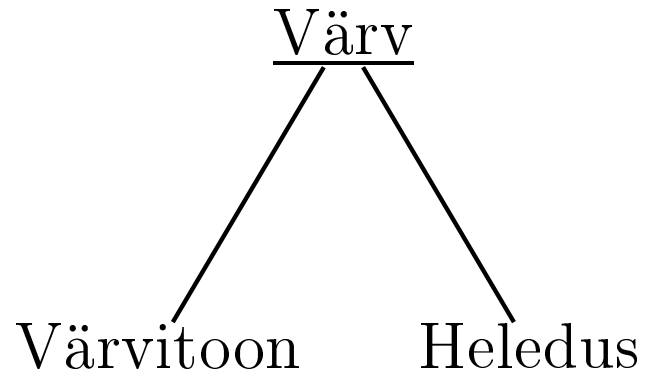
- konstantne intensiivsus igal pool
- ei sõltu kaugusest ega suunast



är v



ärvi irjel a ine



ui as ini ene näeb värve

Silma võrkkest sisaldab kolme tüüpi kolvikest, vastavalt laine pikkuse diapasoonele millele nad reageerivad kõige rohkem:

- lühemad lained (sinisem valgus)
- keskmised lained (rohelisem valgus)
- pikemad lained (punasem valgus)

Järeldus – värvi kirjeldamiseks piisab 3st parameetrist



XYZ värviruu

CIE poolt defineeritud XYZ värviruum (1931):

- kolm funktsiooni laine pikkusest: \bar{x}_λ , \bar{y}_λ , \bar{z}_λ (pole sama mis silma kolme tüüpi kolvikeste reageerimine valgusele)
- kolm suurust sinise, rohelse ja punase asemel:

$$X = k \int P(\lambda) \bar{x}_\lambda d\lambda, \quad Y = k \int P(\lambda) \bar{y}_\lambda d\lambda,$$

$$Z = k \int P(\lambda) \bar{z}_\lambda d\lambda$$



XYZ värviruu

Parameetri k väärtus:

- helendavatel objektidel $k = 680$ (lm / W)
- peegeldavatel objektidel k määratakse nii et valge värvi Y väärtus oleks 100:

$$k = \frac{100}{\int P_w(\lambda) \bar{y}_\lambda d\lambda},$$

kus $P_w(\lambda)$ on energia jaotus mis vastab valgusele mida me võtame “valge värvina”.



XYZ värviruu

Normeerides suurusi X , Y ja Z saame suurusi mis sõltuvad värvitoonist, ja ei sõltu heledusest:

$$x = \frac{X}{X + Y + Z}, \quad y = \frac{Y}{X + Y + Z}, \quad z = \frac{Z}{X + Y + Z}$$

Pange tähele et $x + y + z = 1$, seega $z = 1 - x - y$:

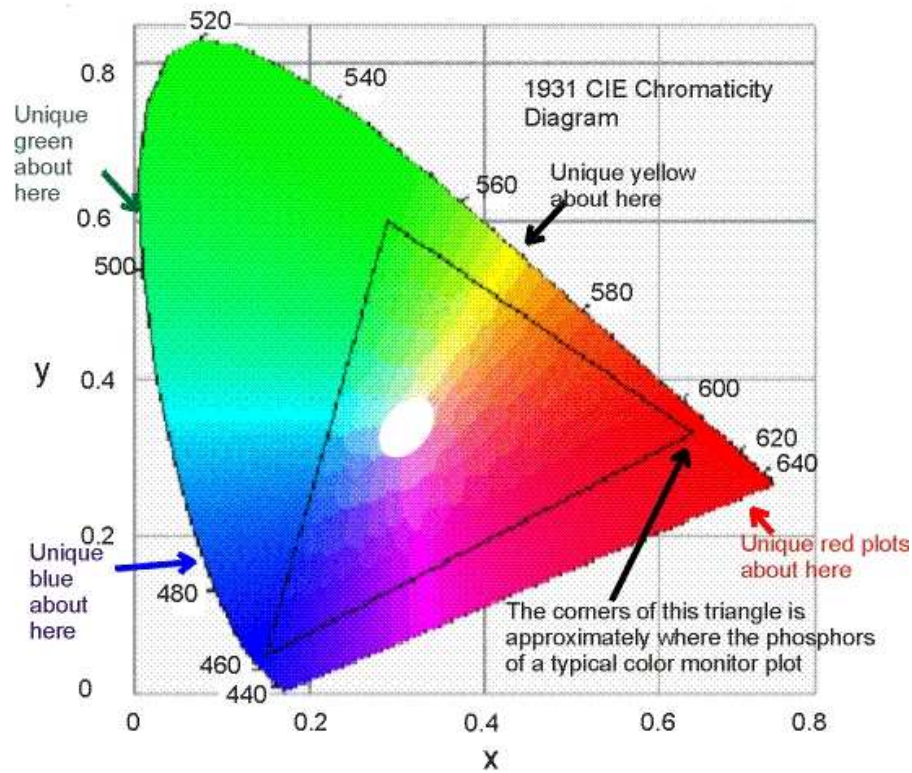
- Kaotasime ühe vabadusastme,
- x ja y ei määra X , Y ja Z üheselt

Lisame x ja y 'le suurust Y

- Y määrab heledust



CIE värvitooni iagra



(<http://www.yorku.ca/eye/ciediag1.htm>)



ärvi u eli

Värvimudel – värvi 3-mõõtmeline koordinaadistik ja värviruumi alamspekter mida antud mudeliga saab näidata.

Milleks neid vaja?

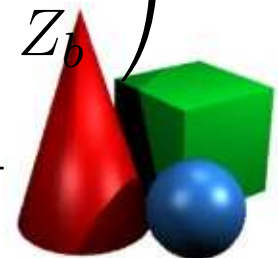
- Tavaliselt lihtsam kasutada ja neist aru saada võrreldes täieliku värviruumiga
- Lihtne realiseerida toetavat riistvara



RGB värvi u el

- Tavaline koordinaadistik, kolm perpendikulaarset telge
- Koordinaadid 0'st 1'ni – värvi komponendid R , G ja B
- komponendid on additiivsed – kaalutud komponente “liidetakse mustale värvile”

$$\begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} = \mathbf{M} \begin{pmatrix} R \\ G \\ B \end{pmatrix}, \quad \mathbf{M} = \begin{pmatrix} X_r & X_g & X_b \\ Y_r & Y_g & Y_b \\ Z_r & Z_g & Z_b \end{pmatrix}$$



Muu värvi u eli

- CMY (cyan-magenta-yellow):
 - subtraktiivsed koordinaadid:

$$\begin{pmatrix} C \\ M \\ Y \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} R \\ G \\ B \end{pmatrix}$$

- YIQ (U.S. NTSC)
 - Y on heledus
 - I ja Q määravad värvitooni
- HSV, HLS,...



un ti valgustus
(eng. illumination)

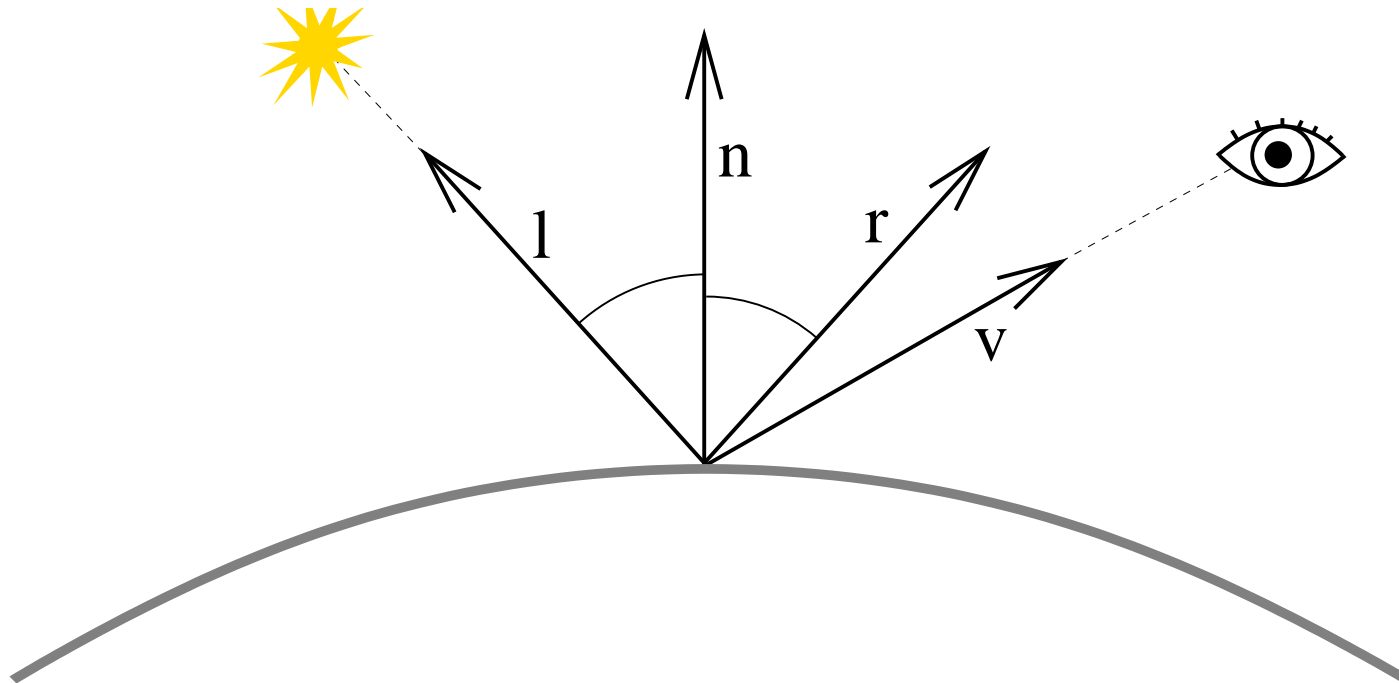


un ti valgustus

- Eesmärk: leida punkti intensiivsust I .
- Värviline versioon: leida värvikomponente I_r , I_g ja I_b .
- Kui protseduur on sama kõigi kolme komponendi jaoks, kasutame alaindeksi λ r , g ja b asemel: I_λ , või lihtsalt jätame indeksi vahele.



Ülise refleksiooni



Kõik vektorid on normeeritud.



es onna valgustus

$$I = k_a A,$$

kus

- A on keskkonda valguse intensiivsus;
- $k_a \in [0, 1]$ on objekti keskkonna valgustuse tegur.



Diffuusne värv

$$I = k_d L \cdot \mathbf{n}^T \mathbf{l},$$

kus

- L on valgusallika intensiivsus antud punktis;
- $k_d \in [0, 1]$ on objekti (diffuusne) värv.



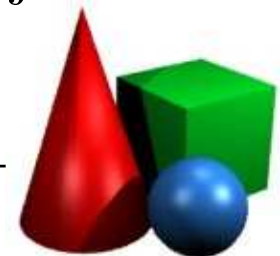
ong'i läi i is u el

$$I + = k_s L(\mathbf{r}^T \mathbf{v})^n,$$

- $k_s \in [0, 1]$ on objekti läikimise tegur;
- \mathbf{r} on valguse peegeldusvektor normaali suhtes:

$$\mathbf{r} = 2\mathbf{n} \cdot (\mathbf{n}^T \mathbf{l}) - \mathbf{l}$$

- $n \in \mathbb{R}^+$ reguleerib läigi suurust ja järskust:
 - madala väärtuse tulemuseks on laiali ajatud läik
 - kõrged väärtused – fokuseeritud läik



Sära ine

Kui punkt emiteerib valgust, liidame juurde objekti säramise intensiivsust E :

$$I + = E$$

Lisaks, valgusallikaid võib olla mitu. Lõpptulemuseks saame:

$$I_\lambda = k_{a\lambda}A_\lambda + E_\lambda + \sum_i L_{i\lambda} \left(k_{d\lambda} \cdot \mathbf{n}^T \mathbf{l}_i + k_{s\lambda} (\mathbf{r}_i^T \mathbf{v})^n \right)$$



oo - orrance'i peegel us u el

- Phong'i läikimise mudel on ketserlus füüsika printsiipide suhtes
- Cook-Torrance'i mudeli kasutamist võib pidada väiksemaks patuks

Põhimõte:

- pind koosneb mikrotahkudest
- iga mikrotahk on ideaalne peegeldaja, kuid
- tahkude orientatsioon on erinev (määratud jaotusega)



F

- Kahesuunalise peegeldamise jaotuse funktsioon ρ , arvutab väljuva (peegeldatud) valguse intensiivsuse ja pinna kiiritustiheduse suhet.
- Uus punkti valgustuse valem

$$I_r = Ak_a + E + \sum_i L_i (\mathbf{n}^T \mathbf{l}_i)(k_d \rho_d + k_s \rho_s).$$

- ρ_d ja ρ_s on vastavalt diffuse värvi ja otsese peegeldamise BRDF'id
- k_d ja k_s on nende osakaalud, $k_d + k_s = 1$



oo - orrance'i

F

$$\rho_s = \frac{F_\lambda}{\pi} \cdot \frac{DG}{\mathbf{n}^T \mathbf{l} \cdot \mathbf{n}^T \mathbf{v}},$$

kus

- F_λ (Fresnel'i faktor) määrab mis osa valgusest peegeldub antud \mathbf{n} ja \mathbf{l} 'i puhul
- D (mikrotahkude jaotuse faktor) määrab mis osa pinna mikrotahkudest mis on orienteeritud nii et \mathbf{v} oleks \mathbf{l} peegeldus
- G (geomeetrilise nõrgenemise faktor) määrab mis osa valgusest jääb mikrotahkude "taha"



o ali u vs. glo aalse u eli

- siin kirjeldatu on kohalikud mudelid: arvestatakse ainult praegu töötlemisel oleva polügooniga
- teine liigitus – globaalsed mudelid:
 - ray tracing
 - radiosity
- Üldine seadus – mida ilusam, seda aeglasem



olügooni e värvi ine
(eng. s a ing)



ipu e nor aali

- Pinnad aproksimeeritakse polügoonidega, tavaliselt kolmnurkadega
- Tipude normaalid:
 - salvestatakse (kui originaalpinna kirjeldus on olemas)
 - aproksimeeritakse (kui pole)

$$\mathbf{n} = \frac{\sum_i \mathbf{n}_i}{\|\sum_i \mathbf{n}_i\|}$$

- \mathbf{n}_i on tipu külgnevate polügoonide normaalid

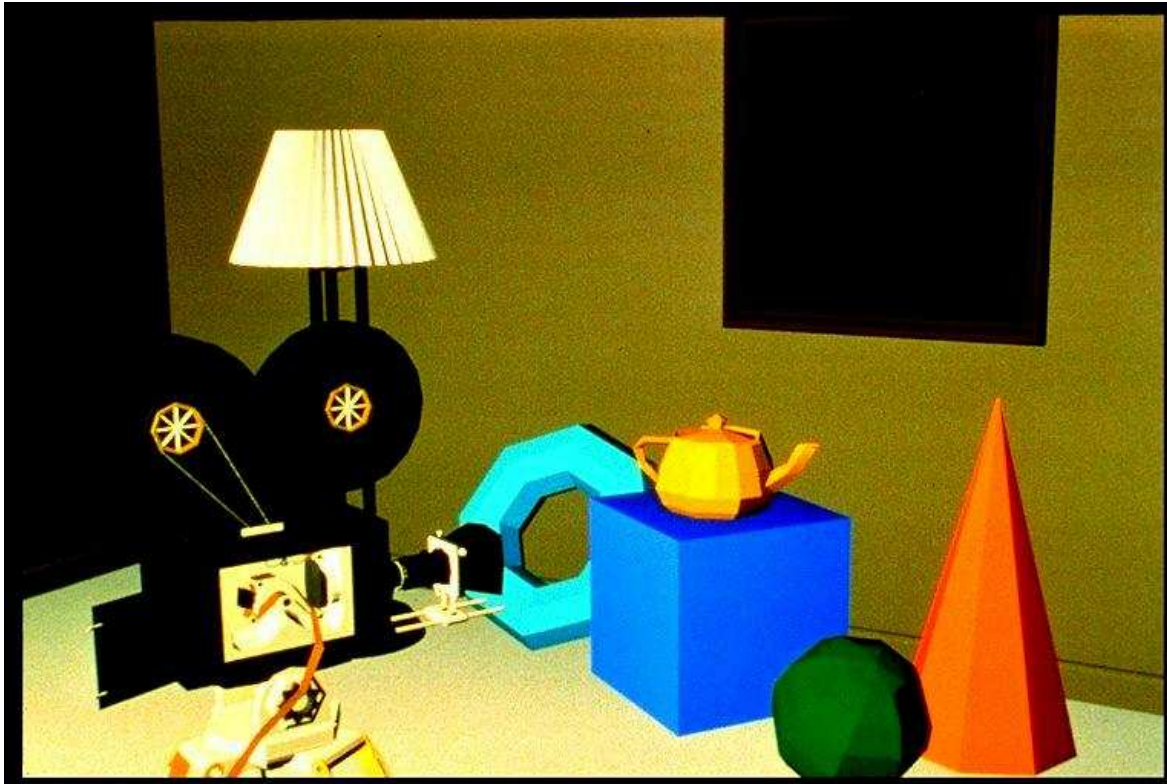


onstantne värviline

- Põhimõte: üks polügoon – üks ja sama normaal – sama värv
- Head:
 - lihtne
 - kiire – isegi vanem riistvara oskab joonistada üheärvilise kolmnurka
- Vead: aproksimeeritud pind ei näe aproksimeeritud pinna moodi
 - servade ja tipude juures normaalid on erinevad
 - pind paistab mitmetahuline välja



onstantne värvi ine



(<http://www.siggraph.org/education/materials/HyperGraph/shutbug/>)



ourau värvi ine

- Põhimõte:
 - arvutatakse polügooni tipude värvust
 - värvust interpoleeritakse mööda polügooni
- Head:
 - ikka lihtne ja kiire, uuem riistvara toetab
- Vead:
 - probleem läikidega: pilt liiga palju sõltub sellest kuhu läik satub polügooni tipude suhtes
 - levinud lahendus: suurendada aproksimeerimise detailsust



ourau värvi ine



(<http://www.siggraph.org/education/materials/HyperGraph/shutbug/>)

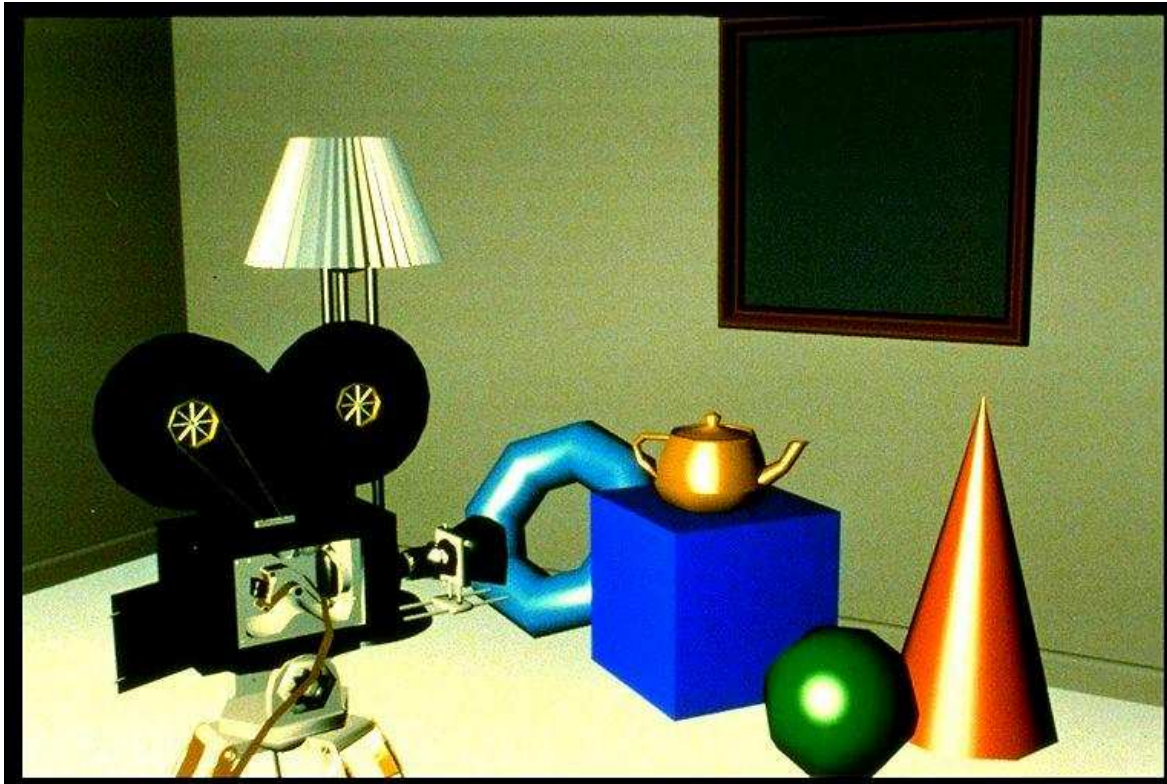


ong'i värvi ine

- Põhimõte:
 - tipude normaalid interpoleeritakse mööda polügooni
 - igas tipus arvutatakse valgustust kasutades interpoleeritud normaali
- Head:
 - näeb ilus välja
- Vead:
 - hõlmab rohkem arvutusi
 - riistvara ei toeta



ong'i värvi ine



(<http://www.siggraph.org/education/materials/HyperGraph/shutbug/>)



itte-realistli värvi ine

- Multikad
- Skeemid, joonised
- Kaardid
- Kunst



o uvõte

- Valgus
- Valgusallikad
- Värv
- Punktide valgustus
- Polügonide värvimine



ui augele e jõu si e?

- ~~Tippude transformeerimine ja projitseerimine~~
- ~~Nähtamatu tahkude ja tippude eemaldamine~~
- **Polügonide rasteriseerimine**
- **Pikslite värvimine**
- **Pikslite ekraanile väljastamine**



si use ?

