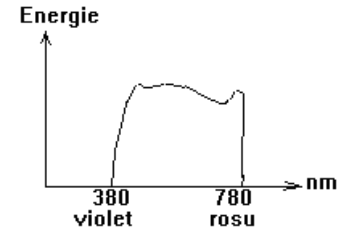


# *Redarea luminií în imagini*

*Prof. univ. dr. ing. Florica Moldoveanu*

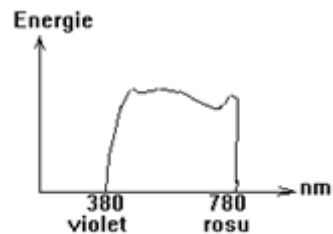
# Proprietățile lumini(1)

➤ Lumina este energie electromagnetică (spectrul vizibil) →

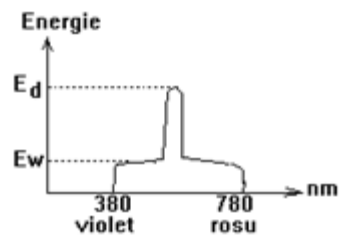


➤ Atunci când cade pe suprafața unui obiect, ea poate fi: absorbită, reflectată sau transmisă

Sistemul vizual uman percepe: lumina provenita direct de la o sursa si  
lumina reflectata sau transmisa de obiectele din mediu.



Lumina acromatica



Lumina cromatica

➤ Lumina care conține toate lungimile de undă din spectrul vizibil în proporții aproximativ egale se numește **acromatică**.

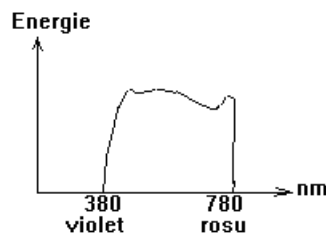
➤ Lumina în care predomină anumite lungimi de undă se numește **cromatică**.

# Proprietățile luminii(2)

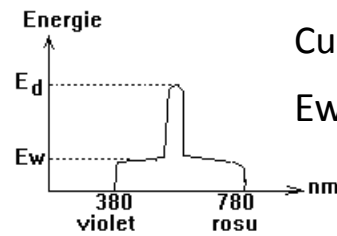
- Culoarea unui obiect, perceputa de ochiul uman, depinde atât de distribuția lungimilor de undă în lumina care cade pe obiect cât și de caracteristicile fizice ale suprafeței obiectului: reflecta/absoarbe anumite lungimi de unda.
  - Energia electromagnetică nu are culoare!
  - Culoarea este rezultatul unui proces psiho-fiziologic.
- **Definiția psiho-fiziologică a unei culori cuprinde: nuanța, luminozitatea (stralucirea), saturatia**
  - Nuanța**: roșu, galben, verde, etc. -determinată de lungimea de undă dominantă a distribuției spectrale a luminii.
  - Luminozitatea sau strălucirea** - reprezintă intensitatea luminii.
    - Luminozitatea: caracteristică a unui obiect emițător de lumină
    - Strălucirea: caracterizează un obiect neemițător, care reflectă lumina.

# Proprietățile luminii(3)

- **Saturația sau puritatea** - o măsură a amestecului de alb într-o culoare pură;
  - permite să se facă distincție între roșu și roz, între albastru și bleu, etc.
  - O culoare pură are saturația 100%.
  - Lumina acromatică are saturația 0%.



Lumina acromatică



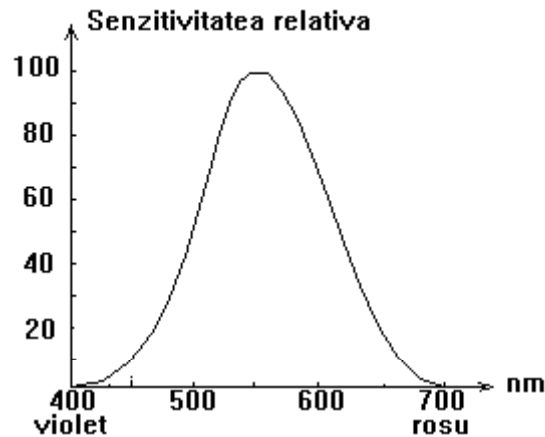
Lumina cromatică

Culoarea este data de lungimea de unda dominantă.  
 $E_w=0$  – culoarea are puritatea 100% : monocromatică  
(largime de bandă de un nanometru)

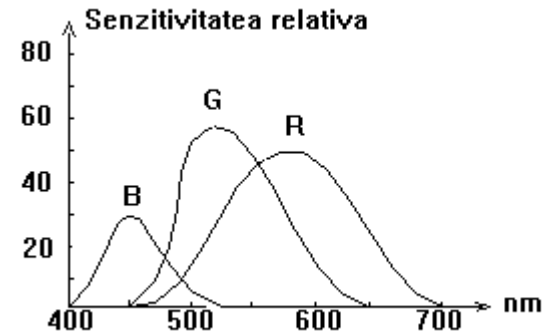
– Cea mai cunoscută dintre teoriile privind formarea culorilor în sistemul ochi-creier este aceea conform căreia în retina ochiului uman există trei tipuri de conuri, fiecare tip fiind sensibil la una dintre culorile roșu, verde și albastru.

# Proprietatile luminii(4)

- Culorile percepute de ochi sunt amestecuri de culori pure.



Curba de luminozitate  
Suma celor 3 curbe de sensibilitate



Raspunsul ochiului la cele 3 culori primare

Senzitivitatea maximă corespunde luminii cu lungimea de undă în jur de 550 nm, percepută ca galben-verde.

- Culorile roșu (Red), verde(Green) și albastru (Blue) se numesc **culori primare**.
  - Prin amestecul lor în proporții egale se obține alb.
- Două culori care prin amestec produc lumină albă se numesc complementare.
  - Culorile complementare culorilor primare sunt : **cian (Cyan)**, **magenta (Magenta)**, **galben (Yellow)**.

# Proprietățile luminii(5)

- Amestecând două culori primare în proporții egale se obține culoarea complementară celei de a treia:

R G B  
C M Y

- De exemplu, albastru+verde=cian, roșu+verde=galben, roșu+albastru= magenta.
- Culorile **roșu, verde și albastru** se numesc și "**primitive aditive**" deoarece ele permit formarea de nuanțe prin **adunarea** lor în diferite proporții.
- Acest mod de definire a culorilor corespunde echipamentelor emițătoare de lumină (dispozitive de vizualizare cu ecran).

# Proprietatile luminii(6)

- Culorile **cian, magenta, galben** se numesc "**primitive extractive**".
- Se obtin prin **extragerea** culorilor primare din lumina alba:

**cian = alb-roșu, magenta = alb-verde, galben = alb-albastru**

R	G	B
C	M	Y

- **Se folosesc pentru a defini culorile reflectate de un document imprimat:** pigmentii existenți în cernelurile tipografice absorb culorile complementare acelorale ale pigmentilor.  
Ex: pigmentul de culoare magenta absoarbe din lumina incidentă componentele corespunzătoare luminii verde, iar cel de culoare galben, componentele corespunzătoare luminii albastre.
  - O suprafață care conține pigmenți magenta și galben va reflecta (sau transmite) lumină roșie.
- C, M, Y permit specificarea de nuanțe prin extragerea lor în diferite proporții din alb. Scăzându-le în proporții egale din alb se obțin diferite nuanțe de gri.

# *Modele de culoare(1)*

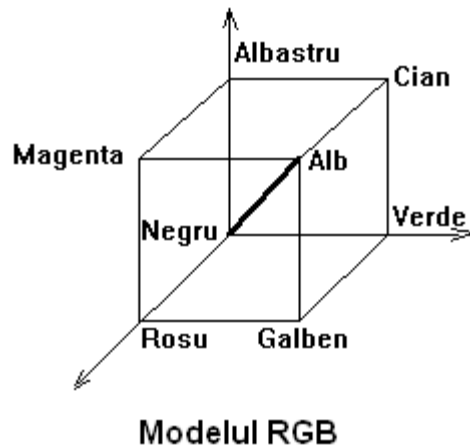
- Orientate către echipamente
  - se bazează pe culorile primare folosite de echipamente pentru redarea culorilor:
  - RGB, CMY și YIQ.
- Orientate către utilizator
  - se bazează pe proprietățile psiho-fiziologice ale culorilor :
  - HSV și HLS.



## Modele de culoare(2)

- Un model de culoare specifică un sistem de coordonate 3D și un subspațiu al culorilor în sistemul de coordonate respectiv.
- Fiecare culoare se reprezintă printr-un punct în subspațiul culorilor.

### Modelul RGB (Red, Green, Blue)



Rosu: 1,0,0

Verde: 0,1,0

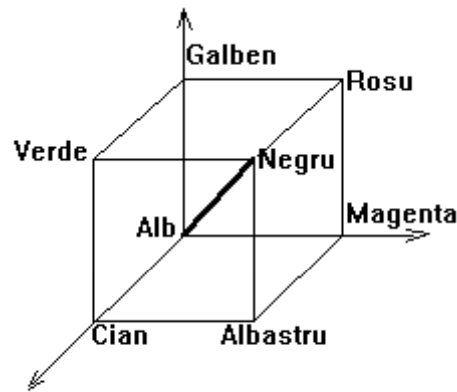
Albastru: 0,0,1

Alb: 1,1,1; Negru: 0,0,0

Cian: 0, 1, 1 - culoarea complementara culorii Rosu !

# Modele de culoare(3)

## Modelul CMY (Cyan, Magenta, Yellow)



Modelul CMY

Cian: 1,0,0

Magenta: 0, 1, 0

Galben: 0,0,1

Alb: 0,0,0

Negru: 1,1,1

Rosu: 0, 1, 1 - Complementara culorii Cian!

Coversia RGB  $\leftrightarrow$  CMY

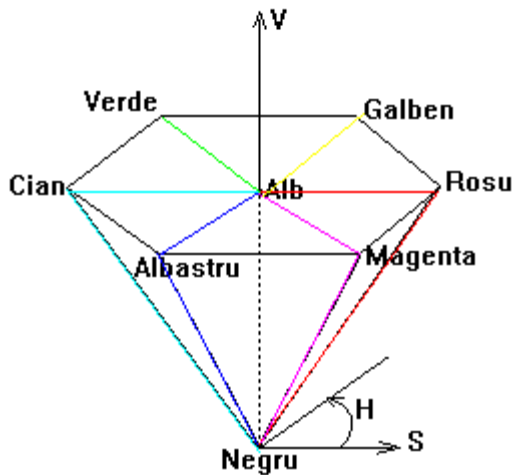
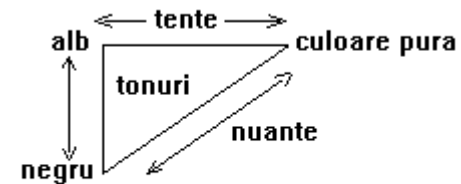
$$[C M Y] = [1 1 1] - [R G B]$$

$$[R G B] = [1 1 1] - [C M Y]$$

# Modele de culoare(4)

## Modelul HSV (Hue, Saturation, Value)

- Model de culoare orientat catre utilizator
- Artiștii specifică culorile prin **tente, nuanțe și tonuri**



$$0 \leq V \leq 1, \quad 0 \leq S \leq 1, \quad 0 \leq H \leq 360$$

V=1 – baza hexaonului

S=0 - pe axa hexaonului

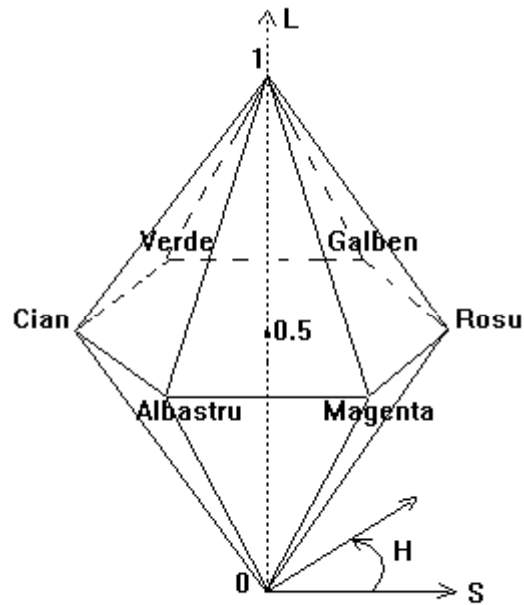
H=0 - culoarea Rosu

Culorile complementare – la 180 grade pe baza hexaonului

- Hexaonul din figura reprezinta subspatiul culorilor in modelul HSV

# Modele de culoare(5)

## Modelul HLS (Hue, Lightness, Saturation)



Modelul HLS

Culorile primare cu saturație maximă și complementarele lor sunt reprezentate prin  $S=1$ ,  $L=0.5$ .

# Modele de culoare(6)

## Interpolarea în spațiul culorilor

- Rezultatul interpolării între două culori depinde de modelul de culoare în care sunt specificate.
- Fie două culori specificate în modelul RGB,  $C1=(1,0,0)$  și  $C2=(0,1,0)$ . Le interpolăm cu ponderi egale în modelele RGB și HSV:
- Interpolare în modelul RGB:  
 $C=t*C2 + (1-t)*C1$  unde  $t=0.5$ , se obține  
 $C=(0.5, 0.5, 0)$ , care convertită în HSV ne dă  $(60, 1, 0.5)$
- Interpolare în modelul HSV:  
 $C1$  se reprezintă în HSV prin  $(0, 1, 1)$  iar  
 $C2$  prin  $(120, 1, 1)$   
 $C= 0.5*(0,1,1) + 0.5*(120,1,1) = (60, 1, 1)$

# Modele empirice pentru calculul reflexiei luminii(1)

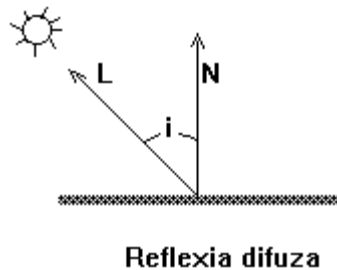
- **Caracteristicile luminii reflectate de suprafața unui obiect** depind de :
  - lungimile de undă conținute în lumina incidentă,
  - direcția și geometria sursei luminoase,
  - orientarea suprafeței
  - proprietățile materialului din care este construită suprafața.
- **Expresia care modelează intensitatea luminii reflectate într-un punct al unei suprafețe** este definită pentru o suprafață necolorată și o **lumină incidentă monocromatică**, deci caracterizată printr-o anumită lungime de undă,  $\lambda$ .
- In cazul general, **lumina reflectată nu este monocromatică**, de aceea pentru calculul său expresia ar trebui să fie evaluată continuu pe întregul domeniu al spectrului de modelat.
- **In practică, expresia se evaluează separat pentru cele trei culori de baza, R, G, B.**

# Modele empirice pentru calculul reflexiei lumini(2)

## Aproximarea reflexiei difuze intr-un punct al unei suprafete 3D

- Lumina reflectată difuz de o suprafață este dispersată regulat în toate direcțiile.
- **Legea lui Lambert** definește reflexia luminii provenite de la o sursă punctiformă, de către un difuzor perfect:

$$I_d = I_{\text{sursa}} * k_d * \cos(i) \quad 0 \leq i \leq \pi/2$$



$I_{\text{sursa}}$  – este intensitatea luminii incidente (provenita de la sursa de lumina)

$k_d$ – este coeficientul de difuzie a luminii incidente, dependent de materialul suprafetei

$$0 \leq k_d \leq 1.$$

- Dacă  $i$  este mai mare ca  $\pi/2$ , suprafața nu primește lumină de la sursă (sursa de lumină se află în spatele suprafeței).

# Modele empirice pentru calculul reflexiei lumini(3)

## Lumina ambienta

- Modeleaza lumina provenind de la celelalte obiecte ale scenei 3D: sursa de lumina distribuita uniform in spatiu

$$I_d = I_a * k_a + I_{sursa} * k_d * \cos(i)$$

$$0 \leq i \leq \pi/2$$

unde

$I_a$ – este intensitatea luminii ambiante iar

(  $0 \leq k_a \leq 1$  ) este coeficientul de difuzie a luminii ambiante, dependent de materialul suprafetei.

**Sursa directionala:** sursa aflata la distanta foarte mare (infinit) de suprafata

- Vectorul L este acelasi in orice punct al suprafetei
- Pentru 2 suprafete paralele, cu aceleasi proprietati de material, rezulta aceeasi  $I_d \rightarrow$  daca proiectiile lor se suprapun, nu se vor distinge in imagine.



# Modele empirice pentru calculul reflexiei lumini(4)

## Modelarea distantei de la sursa de lumina la suprafata

Intensitatea luminii descrește proporțional cu inversul pătratului distanței de la sursa de lumină la obiect

$$I_d = I_a * k_a + f_{at} * I_{sursa} * k_d * \cos(i)$$

$f_{at} = 1/d^2$  este o funcție de atenuare a luminii provenita de la o sursa

$d$  este distanța de la sursă la punctul de pe suprafață considerat.

- Corecția nu satisface cazurile în care sursa este foarte îndepărtată: atenuare prea mare
- Dacă sursa este la distanță foarte mică de scenă, intensitățile obținute pentru două suprafețe cu același unghi  $i$ , între  $L$  și  $N$ , vor fi mult diferite.

Se folosește:

$$f_{at} = \min(1/(c_1 + c_2*d + c_3*d^2), 1)$$

$c_1$ ,  $c_2$  și  $c_3$  sunt trei constante care se asociază sursei de lumină.

- Constanta  $c_1$  se alege astfel încât numitorul să nu devină prea mic atunci când sursa este foarte apropiată.
- Valoarea funcției este limitată la 1 pentru a se asigura atenuarea.

# Modele empirice pentru calculul reflexiei luminii(5)

- Lumina incidenta poate contine mai multe lungimi de unda: → reflectate in mod diferit de o suprafata
- Suprafata poate fi colorata → absorbtia, transmisia, reflexia depind de culoarea suprafetei.

➤ Expresia luminii reflectate se evalueaza separat pentru cele 3 componente ale luminii incidente, R,G,B:

$$I_{d\lambda} = I_{a\lambda} * k_{a\lambda} + f_{at} * I_{sursa\lambda} * k_{d\lambda} * \cos(i)$$

$\lambda$ : lungimea de unda

- Se calculeaza  $I_{dR}$ ,  $I_{dG}$ ,  $I_{dB}$ . Ex:

$$I_{dR} = I_{aR} * k_{aR} + f_{at} * I_{sursaR} * k_{dR} * \cos(i)$$

$k_{aR}$ ,  $k_{dR}$  – coeficientii de difuzie a componentei Rosu din lumina ambienta si lumina incidenta

- In OpenGL,  $k_a$  ( $k_{aR}$ ,  $k_{aG}$ ,  $k_{aB}$ ) si  $k_d$  sunt numite: **culoarea ambienta** si **culoarea difuza** a materialului.

Stiind că

$$\cos(i) = L \cdot N / (|L| \cdot |N|) = L_u \cdot N_u$$

rezulta:  $I_{d\lambda} = I_{a\lambda} * k_{a\lambda} + f_{at} * I_{sursa\lambda} * k_{d\lambda} * (L_u \cdot N_u)$

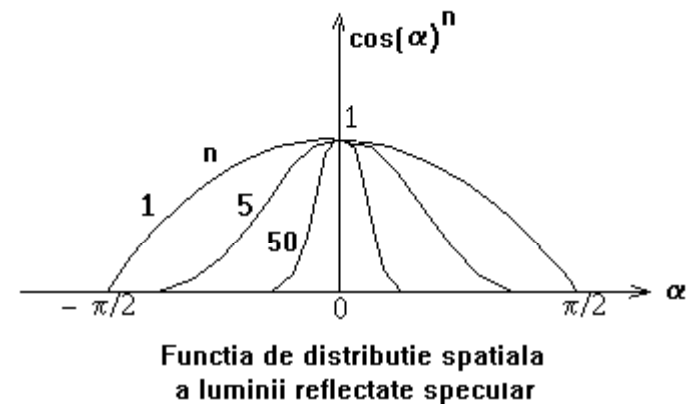
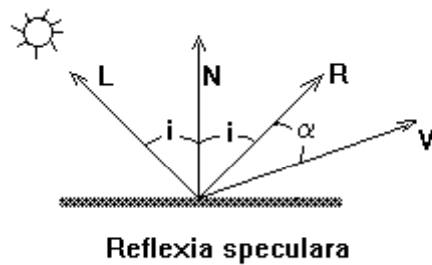
Pentru a include si cazul in care  $i > \pi/2$  (lumina de la sursa nu ajunge in punctul considerat):

$$I_{d\lambda} = I_{a\lambda} * k_{a\lambda} + f_{at} * I_{sursa\lambda} * k_{d\lambda} * \max((L_u \cdot N_u), 0)$$

# Modele empirice pentru calculul reflexiei lumini(6)

## Reflexia speculară

- Un **reflector perfect**, de exemplu o oglindă, reflectă lumina numai într-o singură direcție, R, care este simetrică cu L față de normala la suprafață → numai un observator situat exact pe direcția respectivă va percepe raza reflectată:



- Pentru **materialele imperfect reflectante** cantitatea de lumină care ajunge la observator depinde de **distribuția spațială a luminii reflectate specular**:
  - la suprafețele netede (ex. metale) distribuția este dreaptă și focalizată;
  - la suprafețele cu rugozități (ex. hartia) ea este dispersată.
  - se aproximeaza prin  **$\cos(\alpha)^n$**  (modelul Bui-Tuong Phong) unde **n este exponentul de reflexie speculară al materialului.**

# Modele empirice pentru calculul reflexiei lumini(7)

## Modelul Phong pentru aproximarea reflexiei speculare intr-un punct al unei suprafete 3D

$$I_{s\lambda} = I_{sursa\lambda} * w(i,\lambda) * \cos(\alpha)^n$$

$w(i, \lambda)$  este funcția de reflectanță,  $i$ - unghiul de incidență iar  $\lambda$  -lungimea de undă a luminii incidente

In practica,  $w(i, \lambda)$  este înlocuită cu o constantă determinată experimental, numită **coeficientul de reflexie speculară al materialului**.

$$\cos(\alpha) = \frac{R \cdot V}{(|R| \cdot |V|)} = R_u \cdot V_u$$

Rezulta:

$$I_{s\lambda} = I_{sursa\lambda} * f_{at} * k_{s\lambda} * (R_u \cdot V_u)^n$$

Pentru a include si cazul in care  $\alpha = 90$ :

$$I_{s\lambda} = I_{sursa\lambda} * f_{at} * k_{s\lambda} * \max((R_u \cdot V_u)^n, 0)$$

# Modelul de iluminare locala(1)

Reflexia speculara nu poate avea loc daca in punctul considerat nu se primeste lumina de la sursa:

$$I_{s\lambda} = I_{um} * I_{sursa\lambda} * f_{at} * k_{s\lambda} * \max((R_u \cdot V_u)^n, 0)$$

$$I_{um} = 1 \text{ daca } (L_u \cdot N_u) > 0$$

$$= 0 \text{ altfel}$$

**Modelul de iluminare locala:**

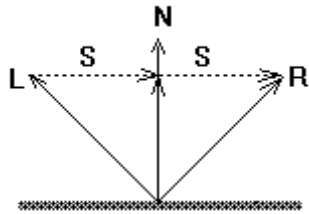
$$I_{\lambda} = I_{a\lambda} * k_{a\lambda} + f_{at} * I_{sursa\lambda} [k_{d\lambda} * \max((L_u \cdot N_u), 0) + I_{um} * k_{s\lambda} * \max((R_u \cdot V_u)^n, 0)]$$

Dacă scena 3D este luminată de m surse de lumină:

$$I_{\lambda} = I_{a\lambda} * k_{a\lambda} + \sum_{1 \leq i \leq m} f_{at_i} * I_{sursa\lambda_i} * [k_{d\lambda} * \max((L_{u_i} \cdot N_u), 0) + I_{um_i} * k_{s\lambda} * \max((R_{u_i} \cdot V_u)^n, 0)]$$

# Modelul de iluminare locala(2)

## Calculul direcției luminii speculare



- Vectorul R este simetricul vectorului L față de N.
- Proiecția lui Lu pe N este:  $Nu \cdot \cos(i)$

$$R = Nu \cdot \cos(i) + S,$$

$$Nu \cdot \cos(i) = Lu + S \quad \rightarrow \quad S = Nu \cdot \cos(i) - Lu$$

Rezulta:

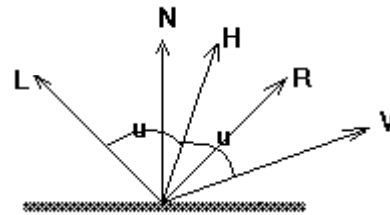
$$R = 2Nu \cdot \cos(i) - Lu = 2Nu \cdot (Lu \cdot Nu) - Lu$$

## Modelul de iluminare locala(3)

O altă formulare a modelului Phong se bazează pe **vectorul median**, notat cu **H** în figura.

El face unghiuri egale cu **L** și cu **V**.

Dacă suprafața ar fi orientată astfel încât normala să aibă direcția lui **H**, atunci observatorul ar percepe lumina speculară maximă (deoarece ar fi pe direcția razei reflectate specular).



**Termenul care exprimă reflexia speculară este în acest caz:**

$$I_{s\lambda} = I_{sursa\lambda} * f_{at} * k_{s\lambda} * (N \cdot H)^n, \quad \text{unde } H = (L + V) / |(L + V)|$$

Atunci când sursa de lumină și observatorul sunt la infinit, utilizarea termenului  $N \cdot H$  este avantajoasă deoarece  $H$  este constant (același în toate punctele unei suprafețe).

# Calculul culorii fragmentelor la redarea suprafețelor 3D (Shading models) (1)

Suprafața se presupune a fi compusă din fațete poligonale. Ea poate fi reprezentarea exactă a unui corp poliedral sau reprezentarea aproximativă a unei suprafețe curbe.

## Modelul LAMBERT(1) (Iluminare constanta sau plata)

- Pentru fiecare poligon(fațetă) se calculează o singură intensitate, folosind expresia care modelează intensitatea într-un punct, de regula considerand numai componenta difuza:

$$I_d \lambda = I_a \lambda * k_a \lambda + f_a t * I_{sursa \lambda} * [k_d \lambda * \max((N_u \cdot L_u), 0) + f_{acing} * \max((N_u \cdot H_u)^n, 0)]$$

$N_u$  este vectorul unitate normal la poligon

$L_u$  este versorul direcției sursei de lumină,



# *Calculul culorii fragmentelor la redarea suprafețelor 3D (2)*

## **Modelul LAMBERT(2)**

Modelul se bazează pe următoarele presupuneri:

- sursa de lumină este la infinit (produsul scalar  $(N_u \cdot L_u)$  este atunci constant pe întreaga suprafață a poligonului);
- observatorul este la infinit ( $(N_u \cdot H_u)$  este constant pe suprafața poligonului);
- poligonul face parte din suprafața de vizualizat și nu este o aproximare a unui petic de suprafață curbă.
- Dacă primele două cerințe nu sunt satisfăcute, se poate adopta o convenție de calcul al vectorilor  $L$  și  $V$  pentru un întreg poligon. De exemplu, cei doi vectori pot fi calculați în centrul poligonului.

# *Calculul culorii fragmentelor la redarea suprafețelor 3D (3)*

## **Modelul LAMBERT (3)**

- Dacă ultima cerință nu este îndeplinită, intensitățile calculate pentru fațete adiacente cu orientare diferită vor fi diferite, evidențiindu-se aproximarea suprafeței curbe prin rețeaua de fațete poligonale.
- Percepția diferenței de intensitate dintre fațetele adiacente este accentuată de efectul de bandă Mach (descoperit de Mach în 1865), cauzat de inhibiția laterală a receptorilor din ochi: cu cât un receptor primește mai multă lumină cu atât mai mult receptorul va inhiba răspunsul receptorilor adiacenți lui.
- Efectul de bandă Mach mărește percepția schimbării de intensitate pe laturile fațetelor adiacente.

# Calculul culorii fragmentelor la redarea suprafețelor 3D (4)

## Modelul GOURAUD(1)

- Se calculează o culoare în fiecare vârf al suprafeței de vizualizat pe baza unui model de iluminare local.
- Culoarele fragmentelor interioare suprafeței sunt obținute prin interpolarea liniară a culorilor din vârfuri, pe parcursul rasterizării fiecărei fatete a rețelei poligonale.

### 1. Culoarea într-un varf se calculează folosind normala în varf:

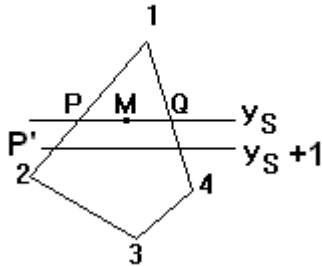
- calculată din ecuația analitică a suprafeței care a fost descompusă în rețea poligonală și asociată fiecărui varf în programul de aplicație, sau
- aproximată ca medie aritmetică a normalelor la fețele adiacente în varf

### 2. La rasterizarea unei fețe a rețelei, se calculează culoarea fiecărui fragment rezultat astfel:

- prin interpolarea liniară a culorilor vârfurilor, pentru fragmentele de pe laturi
- prin interpolare liniară între culorile capetelor fiecărui segment interior, pentru fragmentele interioare feței

# Calculul culorii fragmentelor la redarea suprafetelor 3D (5)

## Modelul GOURAUD(2)



### Interpolarea liniara

$$y = y_1 + t(y_2 - y_1) \rightarrow t_P = (y_S - y_1) / (y_2 - y_1)$$

$$I_P = I_1 + t_P(I_2 - I_1) = I_1 + (I_2 - I_1)(y_S - y_1) / (y_2 - y_1)$$

$$I_Q = I_1 + (I_4 - I_1)(y_S - y_1) / (y_4 - y_1)$$

$$x = x_P + t(x_Q - x_P) \rightarrow t_M = (x_M - x_P) / (x_Q - x_P)$$

$$I_M = I_Q + t_M(I_Q - I_P) = I_Q + (I_Q - I_P)(x_M - x_P) / (x_Q - x_P)$$

### Calculul incremental al culorilor:

$$I_{P'} = I_1 + (I_2 - I_1)(y_{S+1} - y_1) / (y_2 - y_1) = I_P + (I_2 - I_1) / (y_2 - y_1)$$

$$I_{P'} = I_P + C_{1-2}, \quad C_{1-2} - \text{o constanta a laturii 1-2}$$

analog,

$$I_{Q'} = I_Q + C_{1-4}$$

$$M'(x_{M+1}, y_S)$$

$$I_{M'} = I_Q + (I_Q - I_P)(x_{M+1} - x_P) \rightarrow I_{M'} = I_M + C_{P-Q}, \quad C_{P-Q} - \text{o constanta a segmentului P-Q}$$

# Calculul culorii fragmentelor la redarea suprafetelor 3D (6)

## Modelul GOURAUD (3) – aprecieri

- Se integreaza foarte usor in algoritmi de rasterizare
- Calcule simple pentru culoarea unui fragment (calcul incremental) → rapid
- Se lucreaza numai cu componenta difuza a luminii reflectate
- Nu permite calculul luminii reflectate specular pentru fragmentele interioare unei fatete (culorile fragmentelor interioare nu pot fi mai mari decat cele din varfuri)
- Nu elimina complet efectul de banda Mach:
  - Asigura continuitatea numerica a valorilor intensitatilor la traversarea laturilor poligoanelor adiacente (culorile pe latura de adiacenta a 2 poligoane sunt aceleasi)
  - Nu tine cont de tangentele la fetele adiacente pe o latura (culorile de pe laturi se calculeaza folosind numai culorile din varfuri)
  - Efectul de banda Mach poate fi observat in vecinatatea siluetei suprafetei si a zonelor de curbura mare

# *Calculul culorii fragmentelor la redarea suprafetelor 3D (7)*

## **Modelul PHONG(1)**

In acest model:

- Se calculeaza o normala in fiecare varf al suprafetei, la fel ca in modelul Gouraud
- Pentru fiecare fragment rezultat din rasterizarea (fatetelor) suprafetei se calculează o normala prin interpolare liniara intre normalele varfurilor
- Culoarea pentru fiecare fragment interior suprafetei se obtine pe baza normalei interpolate, folosind un model de iluminare local

**La rasterizarea unei fatete a retelei poligonale se calculeaza o normala pentru fiecare fragment astfel:**

- prin interpolarea liniara a normalelor varfurilor, pentru fragmentele de pe laturi (la fel ca in modelul Gouraud, pentru culori);
- prin interpolare liniara intre normalele capetelor fiecarui segment interior, pentru fragmentele interioare fatetei (la fel ca in modelul Gouraud, pentru culori)

# Calculul culorii fragmentelor la redarea suprafetelor 3D (8)

## Modelul PHONG (2)

- Componentele  $N_x$ ,  $N_y$ ,  $N_z$  ale normalei unui fragment se pot obține printr-un calcul incremental (analog cu cel folosit pentru calculul culorilor în modelul Gouraud) dar, pentru folosirea în calculul culorii, normala trebuie să fie normalizată:

$$N_u = N/|N|, \text{ unde } |N| = (N_x^2 + N_y^2 + N_z^2)^{0.5}$$

→ Calcule mai complexe la nivel de fragment decât în modelul Gouraud

- Permite redarea reflexiei speculare în orice fragment al suprafeței
- Reduce mult efectul de bandă Mach
- Modelul Gouraud este implementat pe placa grafică și poate fi selectat din OpenGL apelând:  
`glShadeModel(GL_SMOOTH)`
- Modelul Phong poate fi implementat într-un program “fragment shader” scris de programator.

# MODELAREA TRANSPARENTEI (1)

---

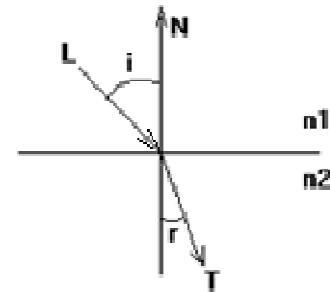
Unele obiecte ale scenei sintetizate pot fi construite din materiale transparente sau translucide.

Transmisia luminii prin obiectele transparente este speculară, în timp ce prin cele translucide este difuză.

- Atunci când lumina trece dintr-un mediu într-altul (de exemplu, din aer în apă), direcția sa se modifică datorită refracției.
- Relația dintre unghiul razei incidente,  $i$ , și cel al razei refractate,  $r$ , este dată de legea lui Snell:

$$\sin(i)/\sin(r) = n1/n2$$

$n1$  și  $n2$  sunt indicii de refracție ai celor două medii (materiale) traversate de lumină.

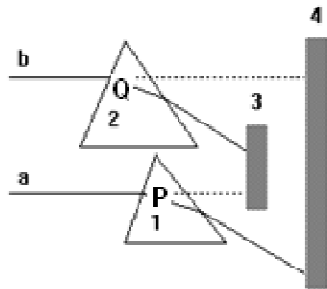




# MODELAREA TRANSPARENTEI (2)

Indicele de refracție al unui material este dependent de lungimea de undă a luminii incidente și chiar de temperatură, dar în modelele de iluminare el este considerat constant.

Culoarea vizibilă într-un punct al unei suprafețe transparente provine de la obiectul aflat pe direcția razei transmise.



3 și 4 sunt poligoane opace

1 și 2 sunt poligoane transparente, aflate în fața poligoanelor 3 și 4

a și b sunt raze de lumină provenind de la surse, incidente în P și Q

Ținând cont de refracție:

- Culoarea în P este dată de poligonul 4
- Culoarea în Q este dată de poligonul 3

Neglijând refracția

- Culoarea în P este dată de poligonul 3
- Culoarea în Q este dată de poligonul 4

# MODELAREA TRANSPARENTEI (3)

---

□ Refracția produce, de asemenea, o distorsionare a obiectelor, asemănătoare cu aceea produsă de o proiecție perspectivă: → dacă se dorește obținerea de imagini realiste, trebuie să se țină cont de refracție.

□ Multe metode practice de modelare a transparenței ignoră refracția, astfel încât obiectele vizibile printr-o suprafață transparentă sunt cele aflate pe direcția razei incidente.

Motivul ignorării:

- reducerea volumului de calcule;
- obținerea realismului fotografic în totalitate (fără deformare)

Atunci când suprafața vizibilă într-un pixel este transparentă, culoarea în care va afișat pixelul se poate obține combinând culoarea suprafeței vizibile cu aceea a suprafeței aflată imediat în spatele său, folosind următoarea formulă de interpolare:

# MODELAREA TRANSPARENTIEI (4)

---

$$I_{\lambda} = (1-kt_1) \cdot I_{\lambda 1} + kt_1 \cdot I_{\lambda 2}$$

Coeficientul de transmisie,  $kt_1$  măsoară transparența suprafeței vizibile în pixel,

$$0 \leq kt_1 \leq 1.$$

$kt_1 = 0 \rightarrow$  suprafața vizibilă este opacă și deci pixelul va fi afișat în culoarea sa,  $I_{\lambda 1}$ ;

$kt_1 = 1 \rightarrow$  suprafața vizibilă este perfect transparentă și nu contribuie la culoarea pixelului.

Pixelul va fi afișat în culoarea suprafeței din spate,  $I_{\lambda 2}$

Dacă  $kt_1=1$  și suprafața din spatele celei vizibile este la rândul său transparentă, metoda de calcul se aplică recursiv, până când se întâlnește o suprafață opacă sau fondul.

Aproximarea liniară din model nu dă rezultate bune pentru suprafețele curbe: în apropierea laturilor siluetei unei suprafețe curbe (de exemplu, o vază sau o sticlă) grosimea materialului reduce transparența.

Soluția propusă de Kay:  $kt$  se calculează în funcție de normala la suprafața în punctul considerat.

# MODELAREA TRANSPARENTIEI (5)

---

$$k_t = k_{t_{\min}} + (k_{t_{\max}} - k_{t_{\min}})(1 - (1 - N_z)^m)$$

unde

$k_{t_{\min}}$  și  $k_{t_{\max}}$  reprezintă transparența minimă și cea maximă a suprafeței,

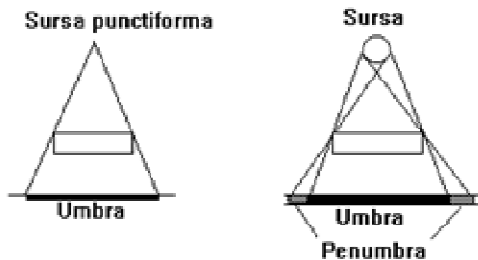
$N_z$  este componenta z a normalei normalizate la suprafață în punctul pentru care se calculează  $k_t$ , iar

m este un exponent ce caracterizează transparența. Valorile uzuale pentru m sunt 2 și 3.

- **Majoritatea algoritmilor de determinare a vizibilității suprafețelor la afișarea scenelor 3D pot fi adaptați pentru a îngloba transparența.**
- In algoritmii care afișează poligoanele scenei 3D în ordinea “din spate în față” (back to front), de ex. algoritmul Pictorului și BSP,  $I_{\lambda_1}$  corespunde poligonului care se rasterizează la un moment dat iar  $I_{\lambda_2}$  este valoarea existentă în memoria imagine pentru pixelul considerat.

# INTRODUCEREA UMBRELOR IN IMAGINI(1)

- Atunci când un observator privește o scenă 3D luminată de o sursă de lumină dintr-o poziție diferită de aceea a sursei de lumină, va vedea umbrele produse de obiectele scenei.
- Umbrele au o contribuție însemnată la realismul imaginii, îmbunătățind percepția profunzimii.



In general, se considera numai umbra pura:  
calculare mai simple.

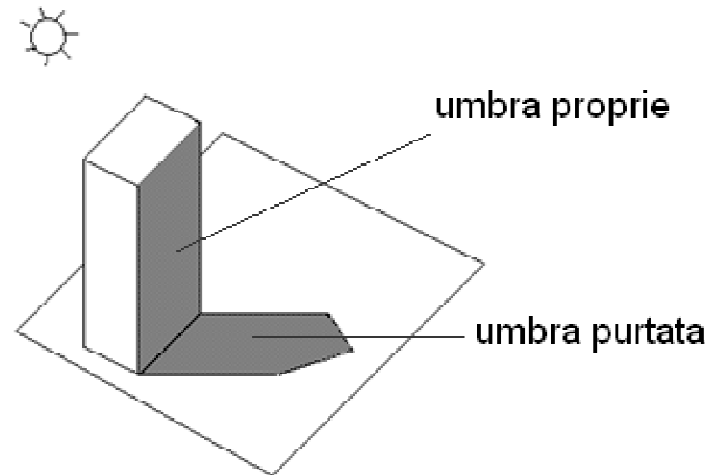
Volumul de calcule depinde și de poziția sursei de lumină:

- Dacă sursa este la infinit calculele sunt mai simple.
- In cazul unei surse situate la distanță finită dar în afara câmpului vizual, este necesară o proiecție perspectivă din poziția sursei.
- Cazul cel mai dificil este acela în care sursa este situată în câmpul vizual.

# INTRODUCEREA UMBRELOR IN IMAGINI(2)

---

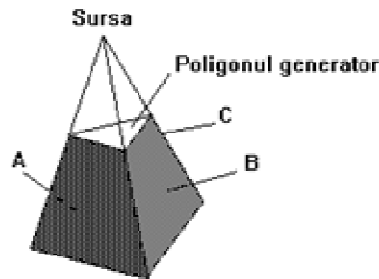
- Problema determinării umbrelor este similară aceleia de determinare a vizibilității obiectelor: suprafețele care nu sunt vizibile din poziția sursei de lumină sunt în umbră.  
→ Crearea unei imagini cu umbre presupune rezolvarea de două ori a problemei suprafețelor nevizibile: o dată privind scena din poziția fiecărei surse de lumină, a doua oară privind-o din poziția observatorului.
- Sunt două tipuri de umbre: **umbre proprii** și **umbre purtate**.



# INTRODUCEREA UMBRELOR IN IMAGINI(5) - VOLUME DE UMBRE

---

- ❑ Sursa de lumină este considerată punctiformă iar obiectele ca având fațete poligonale.
- ❑ Un **volum de umbră** este definit de o sursă de lumină și un poligon luminat (vizibil din poziția sursei de lumină), pe care-l vom numi **poligonul generator**.



- ❑ Fiecare față laterală a volumului este numită **poligon de umbră**. Ea este determinată de o latură a poligonului generator și de cele două drepte care pleacă din sursa de lumină, fiecare trecând printr-un vârf al laturii.
- ❑ Normalele la fețele laterale punctează înspre exteriorul volumului.

# INTRODUCEREA UMBRELOR IN IMAGINI(6) - VOLUME DE UMBRE

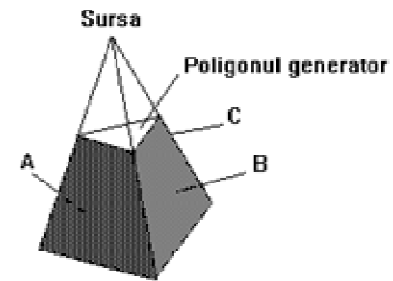
---

- ❑ Volumul infinit determinat de o sursă și un poligon generator este delimitat de o față care reprezintă poligonul generator scalat. Această față este situată la o distanță față de sursă dincolo de care intensitatea luminii sursei este neglijabilă, deci orice punct aflat dincolo de această limită este umbrit.
- ❑ Volumul de umbră poate fi decupat la marginile volumului vizual.
- ❑ Poligoanele de umbră se folosesc pentru determinarea umbririi produse de poligonul generator în scenă.

Notăm cu :

- PUV poligoanele de umbră care sunt vizibile din poziția observatorului (A și B în figura) și cu
- PUN poligoanele de umbră care nu sunt vizibile din poziția observatorului (de exemplu, poligonul C).

Clasificarea poligoanelor de umbra in PUV si PUN se poate face pe baza normalelor la poligoane (back face culling).





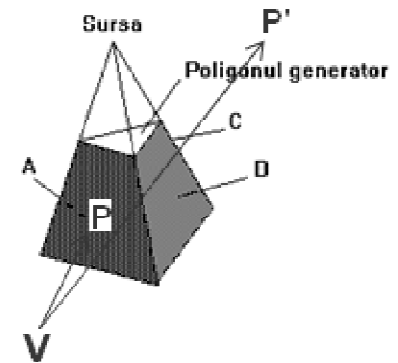
# INTRODUCEREA UMBRELOR IN IMAGINI(7) - VOLUME DE UMBRE

Fie

- un punct  $P$  al unei suprafețe și
- $VP$  vectorul din poziția observatorului ( $V$ ) în punctul  $P$ .

**Punctul  $P$  este umbrit dacă numărul de poligoane de tip PUV intersectate de vectorul  $VP$  este mai mare decât numărul de poligoane de tip PUN intersectate de vector.**

Acesta este singurul caz, atunci când punctul  $V$  nu este în umbră.



□ In general, pentru a determina dacă un punct este în umbră, se poate folosi un contor în care inițial se memorează numărul de volume de umbră care conțin poziția observatorului.

- Se asociază poligoanelor de tip PUV valoarea  $+1$  iar celor de tip PUN valoarea  $-1$ .
- Atunci când vectorul  $VP$  traversează un poligon de umbră, se adună la contor valoarea asociată poligonului.
- Punctul  $P$  este umbrit dacă valoarea contorului este pozitivă în  $P$ .

# *INTRODUCEREA UMBRELOR IN IMAGINI(8) - VOLUME DE UMBRE*

---

- Volumul de calcul presupus de acest algoritm poate fi redus dacă în loc să se calculeze volumul de umbră pentru fiecare poligon vizibil din poziția sursei, se calculează un singur volum de umbră pentru o suprafață poliedrală. În acest scop, se determină poligoanele de umbră numai pentru laturile care fac parte din silueta suprafeței, văzută din poziția sursei.
  
- ❑ Silueta unei suprafețe, corespunzătoare unui punct de observare, este un set conectat de laturi care aparțin poligoanelor vizibile din punctul de observare.
- ❑ O latură de siluetă este fie o latură de margine a unei suprafețe deschise, fie o latură care separă un poligon vizibil de unul nevizibil.
  - Pentru determinarea laturilor de siluetă, este necesar să se folosească o structură de date care reflectă adiacența poligoanelor. Cunoșcându-se poligonul adiacent pe fiecare latură a fiecărui poligon vizibil din poziția observatorului, se pot determina rapid laturile de siluetă.