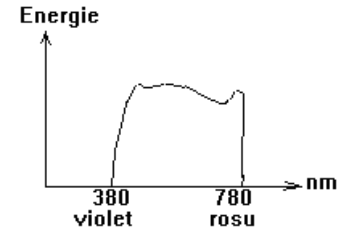


# *Redarea luminií în imagini*

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

# Proprietățile luminii(1)

- Lumina este energie electromagnetică (spectrul vizibil) →

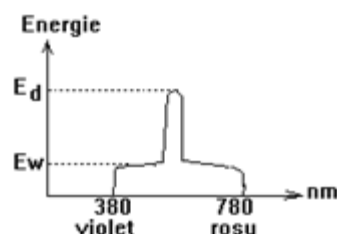


- Atunci când cade pe suprafața unui obiect, ea poate fi: absorbită, reflectată sau transmisă

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



Lumina acromatica



Lumina cromatica

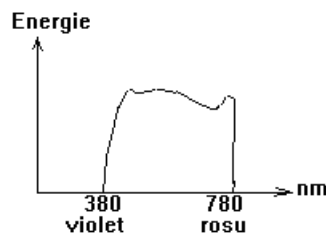
- Lumina care conține toate lungimile de undă din spectrul vizibil în proporții aproximativ egale se numește **acromatică**.
- Lumina în care predomină anumite lungimi de undă se numește **cromatică**.

# *Proprietățile luminii(2)*

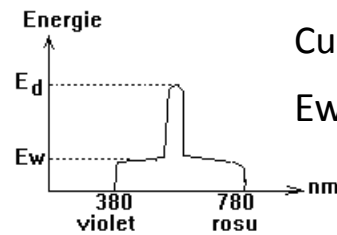
- Culoarea unui obiect, perceputa de ochiul uman, depinde atât de distribuția lungimilor de undă în lumina care cade pe obiect cât și de caracteristicile fizice ale suprafeței obiectului: reflecta/absoarbe anumite lungimi de unda.
  - Energia electromagnetică nu are culoare!
  - Culoarea este rezultatul unui proces psiho-fiziologic.
- **Definiția psiho-fiziologică a unei culori cuprinde:** **nuanta, 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 acromatica



Lumina cromatica

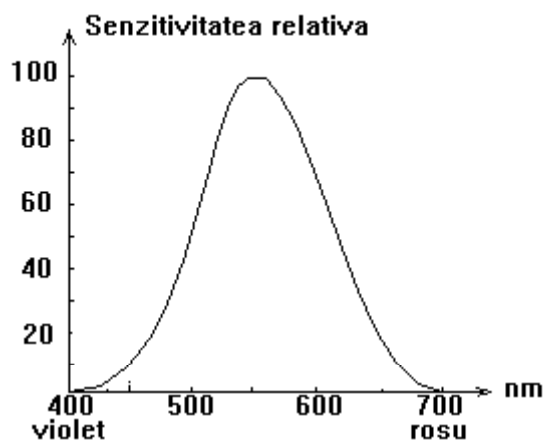
Culoarea este data de lungimea de unda dominanta.

$E_w=0$  – culoarea are puritatea 100% : monocromatica  
(largime de banda de un nanometru)

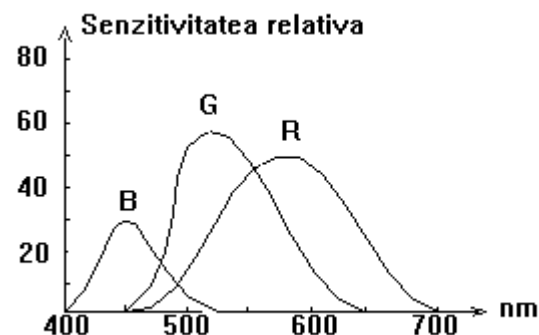
– Cea mai cunoscută dintre teoriile privind formarea culorilor în sistemul ochi-creier este aceea conform căreia în retina ochiului uman există trei tipuri de conuri, fiecare tip fiind sensibil la una dintre culorile roșu, verde și albastru.

# Proprietățile luminii(4)

- Culoarele percepute de ochi sunt amestecuri de culori pure.



Curba de luminozitate  
Suma celor 3 curbe de senzitivitate



Raspunsul ochiului la cele 3 culori primare

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

- Culoarele 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.
  - Culoarele 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).

# Proprietățile luminii(6)

- Culorile **cian, magenta, galben** se numesc **“primitive extractive”**.
- Se obțin prin **extragerea** culorilor primare din lumina albă:

**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:** pigmenții existenți în cernelurile tipografice absorb culorile complementare acestora ale pigmenților.  
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)*

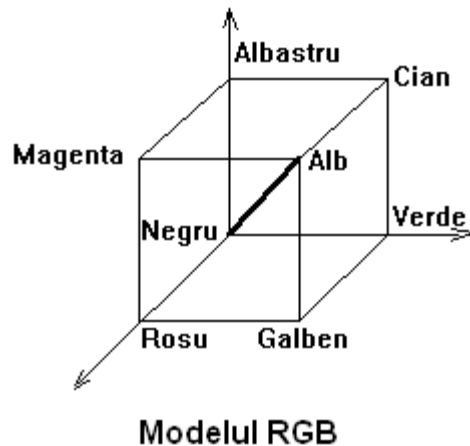
- Orientate către echipamente
  - se bazează pe culorile primare folosite de echipamente pentru redarea culorilor:
  - RGB, CMY și YIQ.
- Orientate către utilizator
  - se bazează pe proprietățile psiho-fiziologice ale culorilor :
  - HSV și HLS.



## 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

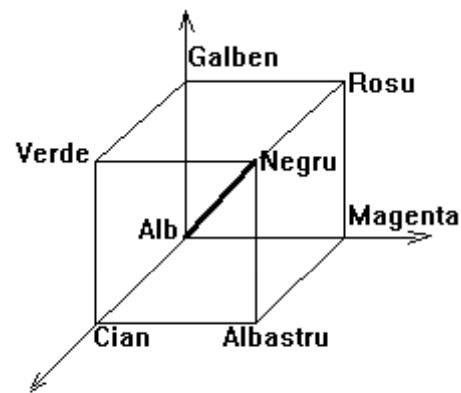
Albastru: 0,0,1

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

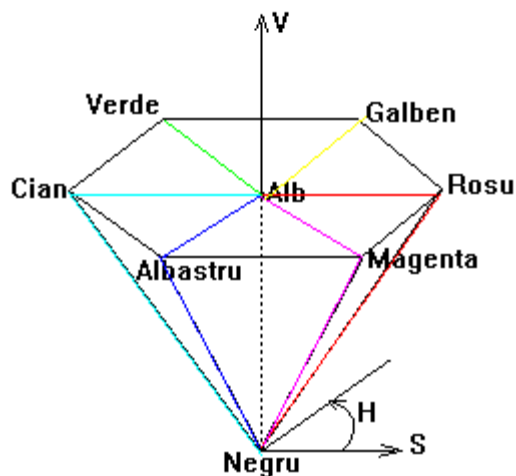
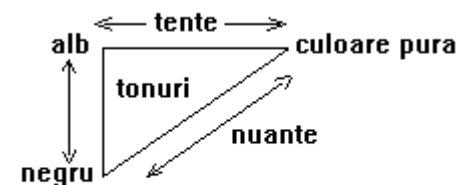
$$[C \ M \ Y] = [1 \ 1 \ 1] - [R \ G \ B]$$

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

# 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

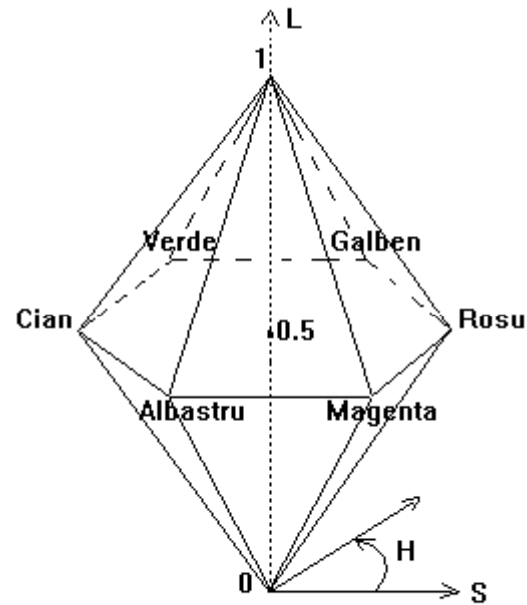
$H=0$  - culoarea Rosu

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)*

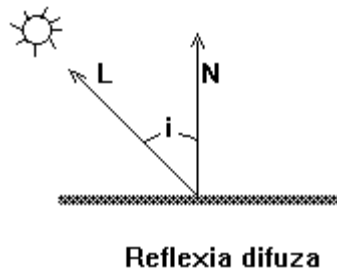
- Caracteristicile luminii reflectate de suprafața unui obiect depind de :
  - lungimile de undă conținute în lumina incidentă,
  - direcția și geometria sursei luminoase,
  - orientarea suprafeței
  - proprietățile materialului din care este construită suprafața.
- Expresia care modelează intensitatea 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,  $\lambda$ .
- În 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.
- În practică, expresia se evaluează separat pentru cele trei culori de baza, R, G, B.

# Modele empirice pentru calculul reflexiei luminii(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 luminii(3)

## Lumina ambianta

- 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 luminii(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:

$$Id_{\lambda} = Ia_{\lambda} * ka_{\lambda} + fat * Isursa_{\lambda} * kd_{\lambda} * \cos(i)$$

$\lambda$ : lungimea de unda

- Se calculeaza  $Id_R$ ,  $Id_G$ ,  $Id_B$ . Ex:

$$Id_R = Ia_R * ka_R + fat * Isursa_R * kd_R * \cos(i)$$

$ka_R$ ,  $kd_R$  – coeficientii de difuzie a componentei Rosu din lumina ambienta si lumina incidenta

- In OpenGL,  $ka$  ( $ka_R$ ,  $ka_G$ ,  $ka_B$ ) si  $kd$  sunt numite: culoarea ambienta si culoarea difuza a materialului.

Stiind că

$$\cos(i) = L \cdot N / (|L| \cdot |N|) = Lu \cdot Nu$$

rezulta:  $I_{\lambda} = Ia_{\lambda} * ka_{\lambda} + fat * Isursa_{\lambda} * kd_{\lambda} * (Lu \cdot Nu)$

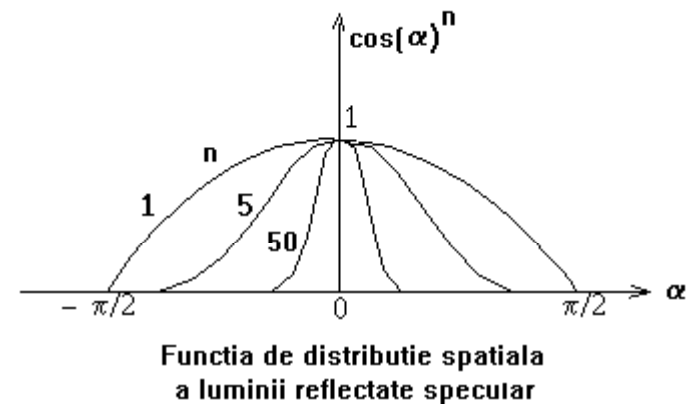
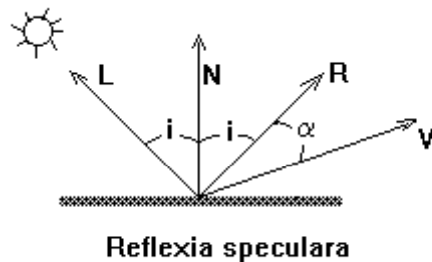
Pentru a include si cazul in care  $i > \pi/2$  (lumina de la sursa nu ajunge in punctul considerat):

$$I_{\lambda} = Ia_{\lambda} * ka_{\lambda} + fat * Isursa_{\lambda} * kd_{\lambda} * \max((Lu \cdot Nu), 0)$$

# Modele empirice pentru calculul reflexiei luminii(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 luminii(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**.

$$\cos(\alpha) = \mathbf{R} \cdot \mathbf{V} / (|\mathbf{R}| \cdot |\mathbf{V}|) = \mathbf{R}_u \cdot \mathbf{V}_u$$

Rezulta:

$$I_{s\lambda} = I_{sursa\lambda} * f_{at} * k_{s\lambda} * (\mathbf{R}_u \cdot \mathbf{V}_u)^n$$

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

$$I_{s\lambda} = I_{sursa\lambda} * f_{at} * k_{s\lambda} * \max((\mathbf{R}_u \cdot \mathbf{V}_u)^n, 0)$$

# Modelul de iluminare locala(1)

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

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

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

$$= 0 \text{ altfel}$$

**Modelul de iluminare locala:**

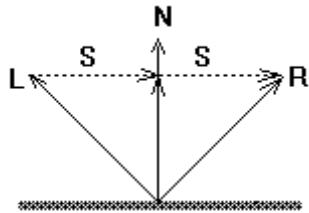
$$I_{\lambda} = I_{a\lambda} * k_{a\lambda} + fat * I_{sursa\lambda} [k_{d\lambda} * \max((L_u \cdot N_u), 0) + I_{lum} * k_{s\lambda} * \max((R_u \cdot V_u)^n, 0)]$$

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

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

# Modelul de iluminare locală(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:

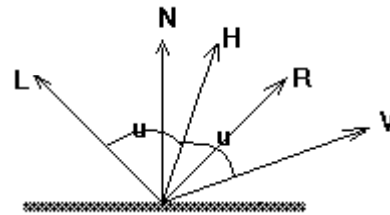
$$R = 2Nu \cdot \cos(i) - Lu = 2Nu \cdot (Lu \cdot Nu) - Lu$$

## 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:**

$$I_{s\lambda} = I_{sursa\lambda} * f_{at} * k_{s\lambda} * (N_u \cdot H_u)^n, \quad \text{unde } H_u = (L_u + V_u) / |(L_u + V_u)|$$

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

# *Modelul de iluminare locala in OpenGL si Direct3D(1)*

## **Modelul de iluminare de baza**

Culoarea unui obiect intr-un punct al unei suprafete

= culoarea\_emisa + culoarea\_ambienta + culoarea\_difuza + culoarea\_speculara

### **Culoarea emisa :**

- lumina emisa de suprafata
- independenta de sursele de lumina
- aceeasi in orice punct al suprafetei
- nu lumineaza obiectele din jur
- culoarea\_emisa =  $K_e$ , constanta

### **Culoarea ambienta**

- nu depinde de surse
- culoarea\_ambienta =  $K_a * \text{globalAmbient}$  (Culoarea luminii ambiante: GL\_AMBIENT)



# *Modelul de iluminare locala in OpenGL si Direct3D(2)*

## **Culoarea difuza**

$\text{culoarea\_difuza} = k_d * \text{lightColor} * \max(((L_u \cdot N_u), 0))$

- $\text{lightColor}$  – culoarea luminii de la sursa

## **Culoarea speculara**

$\text{cularea\_speculara} = k_s * \text{lightColor} * \text{facing} * \max((N_u \cdot H_u)^n, 0)$

$\text{facing} = 1$  daca  $L_u \cdot N_u > 0$

$= 0$  altfel

- $K_a$ ,  $k_d$ ,  $k_s$  sunt constante (proprietati de material) care pot fi alese de programator:  
 $GL\_AMBIENT$ ,  $GL\_DIFFUSE$ ,  $GL\_SPECULAR$  – fiecare are 3-4 componente, deoarece ecuatia care modeleaza lumina reflectata se evalueaza separat pentru fiecare componenta a culorii (RGB sau RGBA).
- Lumina incidenta este omnidirectionala: aceeaasi intensitate in toate directiile.

# *Modelul de iluminare locala in OpenGL si Direct3D(3)*

## **Modelul de iluminare extins** adauga:

- atenuarea luminii incidente cu distanta
- efecte de spot

### **Atenuarea luminii incidente**

$$\text{factor\_atenuare} = 1 / (k_c + k_l * d + k_q * d^2)$$

coeficientii de atenuare:  $k_c$  – atenuare constanta

$k_l$  - atenuare liniara

$k_d$  – atenuare patratica

$k_c$ ,  $k_l$ ,  $k_d$  pot fi specificate de programator ca proprietati asociate sursei de lumina

(GL\_CONSTANT\_ATTENUATION, GL\_LINEAR\_ATTENUATION, GL\_QUADRATIC\_ATTENUATION)

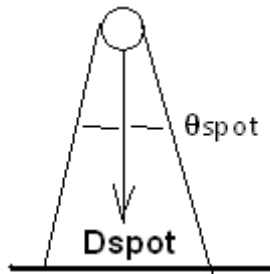
### **Culoarea unui obiect intr-un punct al unei suprafete**

= culoarea\_emisa + culoarea\_ambienta +

$\text{factor\_atenuare} * (\text{culoarea\_difuza} + \text{culoarea\_speculara})$

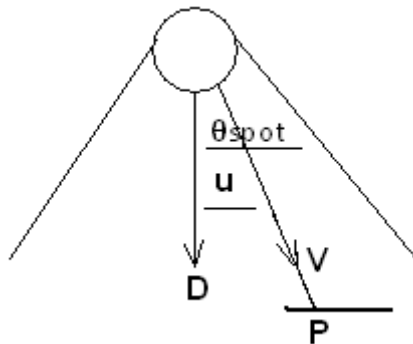
# Modelul de iluminare locala in OpenGL si Direct3D(4)

## Efectul de spot



**Conul de imprastiere a luminii** se calculeaza folosind:

- Pozitia spotului
- Directia spotului
- Imprastierea luminii spotului ( $\theta_{spot}$ )



Un punct  $P$  al unei suprafete primeste lumina de la spot  
daca  $u < \theta_{spot}$ :

$$\cos(u) \geq \cos(\theta_{spot})$$

sau

$$V_u \cdot D_u > \cos(\theta_{spot})$$

# *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:

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

$N_u$  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.

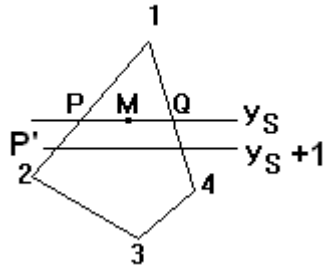
# *Calculul culorii fragmentelor la redarea suprafețelor 3D (4)*

## **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 fațetele adiacente în varf
  2. **La rasterizarea unei fațete a rețelei, se calculează culoarea fiecărui fragment rezultat astfel:**
    - prin interpolarea liniară a culorilor varfurilor, pentru fragmentele de pe laturi
    - prin interpolare liniară între culorile capetelor fiecărui segment interior, pentru fragmentele interioare fațetei

# 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 suprafeței și a zonelor de curbura mare

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

## **Modelul PHONG(1)**

In acest model:

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

**La rasterizarea unei fatete a rețelei 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.