

Luminarea obiectelor

Pentru vizualizarea unei scene este necesar să se determine culoarea pentru fiecare pixel din zona de desenare. Culoarea pixelului depinde de:

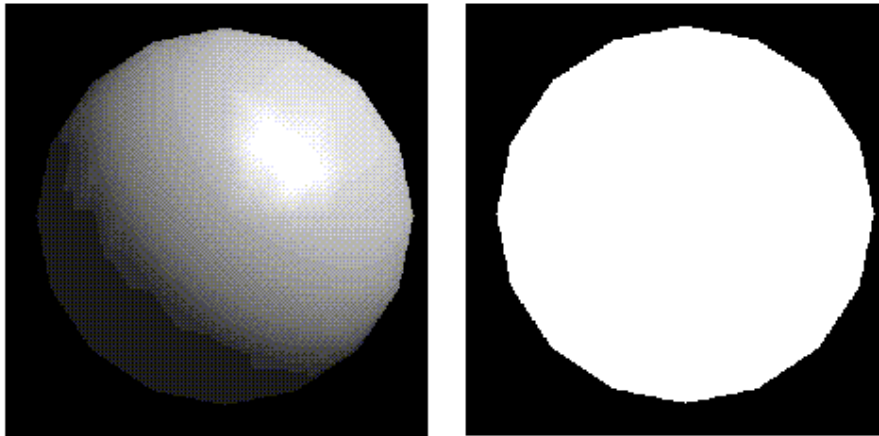
1. proprietățile zonei din scena care se transpune în pixel
2. proprietățile de culoare ale mediului în care apare scena
3. proprietățile diferitelor surse de lumină existente

Luarea în considerare a parametrilor de la punctele 2 și 3 necesită calcule suplimentare. Această facilitate poate fi activată sau dezactivată:

```
{glEnable | glDisable} (GL_LIGHTING)
```

Avantaje pentru activarea acestei facilități: obiectele sunt vizualizate mai bine după ce sunt desenate într-o sursă de lumină

Comparație între vizualizarea cu o sursă de lumină și fără o astfel de sursă:

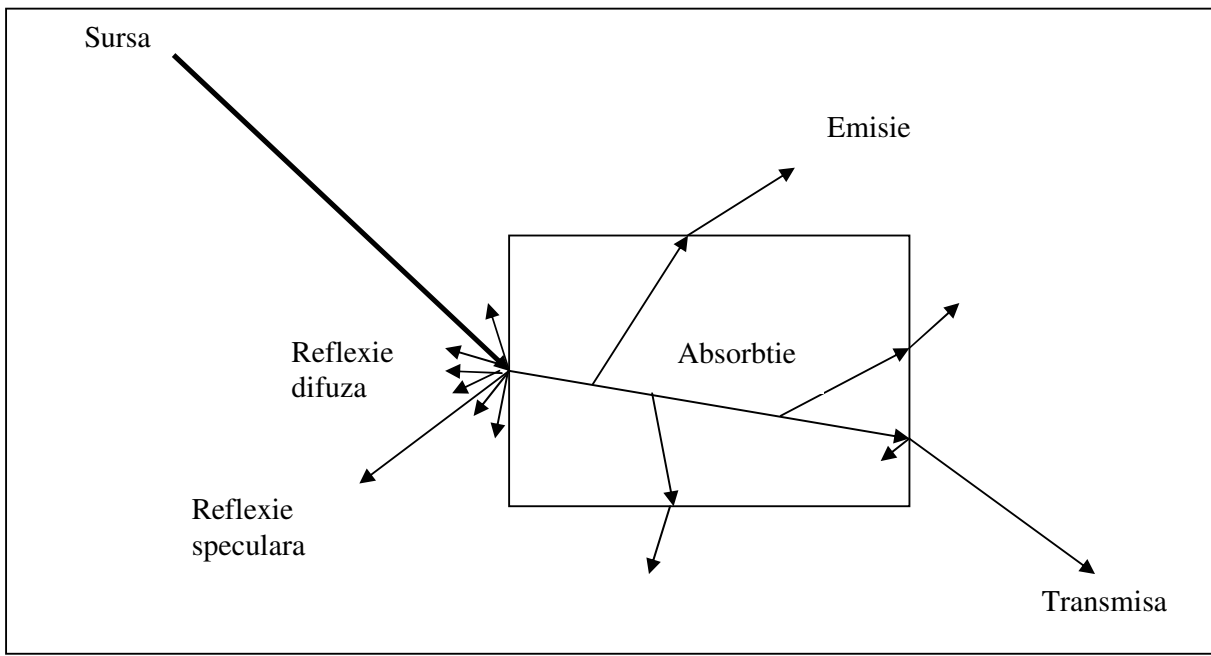


Componentele unei raze de lumină

O rază de lumină pleacă dintr-o sursă și are anumite proprietăți.

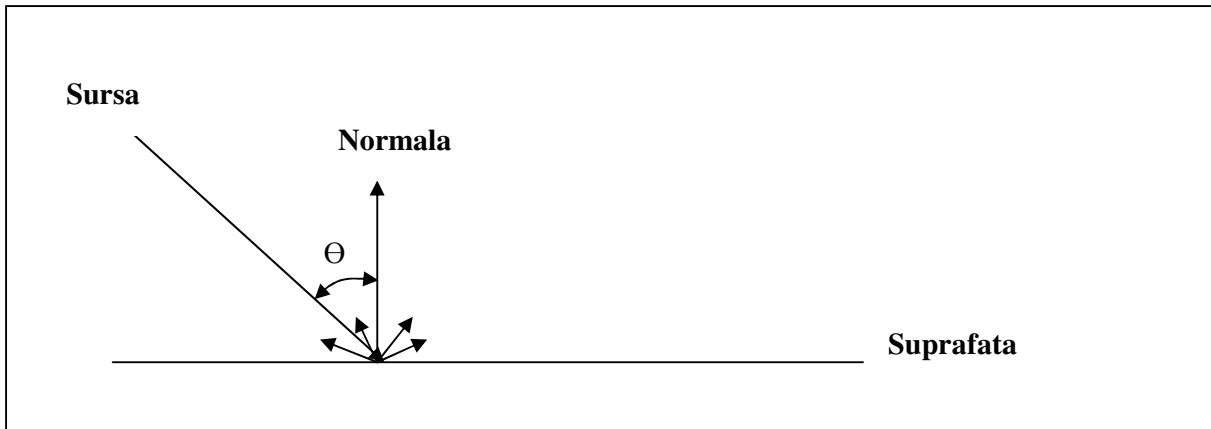
Când raza de lumină ajunge la un obiect apar următoarele componente ale acesteia (acestea depind de proprietățile obiectului):

- **reflexie difuză** (în toate direcțiile) și **reflexie speculară** (mai ales la suprafețele "lucioase"). Aceste componente apar la întâlnirea obiectului (pe suprafața acestuia). Lumina reflectată de o suprafață dă culoarea suprafeței respective (corespunzător unei surse de lumină).
- **absorbție**
- **transmisie**
- **emisie** (uniformă în toate direcțiile)

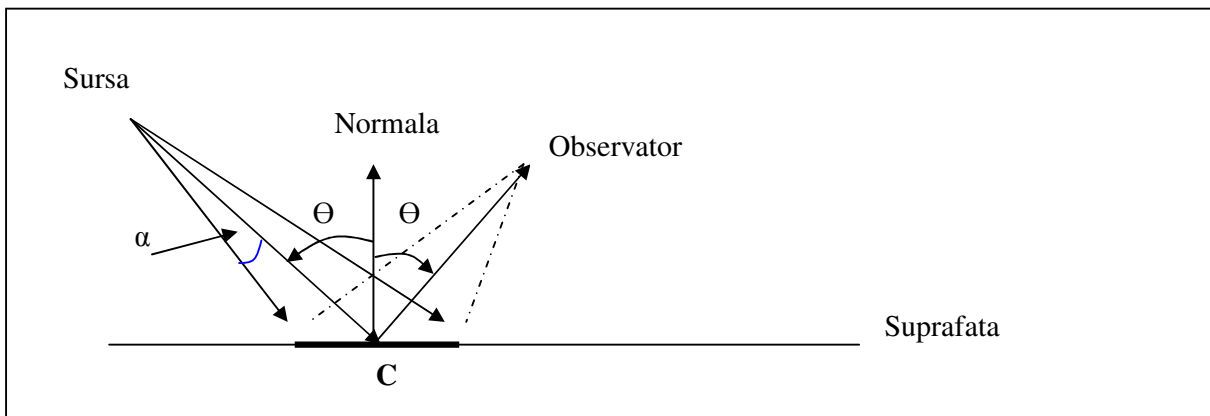


Aproximarea componentelor unei raze de lumină:

Reflexia difuză: intensitatea acestei componente este proporțională cu $\cos(\Theta)$, unde Θ este unghiul pe care-l face raza de lumină cu normala la suprafață => la folosirea acestei componente e necesar calculul normalei la suprafață. Această componentă este uniformă, indiferent de poziția observatorului.



Reflexia speculară: cu cât observatorul privește spre un punct mai apropiat de **C** (determinat de poziția observatorului și de sursa de lumină) cu atât suprafața e mai luminată. O aproximare a acestei componente este (după **modelul Phong**): $\cos(\alpha)^{\text{exponent_specular}}$



Culoarea unui punct de pe o suprafață va depinde de **anumite caracteristici (proprietăți) ale obiectului** (materialului), care vor avea influență la generarea culorii:

1. **Componenta EMISSION** - o culoare atașată obiectului, uniformă pe toate direcțiile și care nu depinde de sursa de lumină (această componentă generează o culoare pentru obiect chiar dacă nu există surse de lumină).
2. Culoarea mediului ambient generată de obiect, pentru calcule se consideră uniformă pentru întregul obiect => **componenta AMBIENT** a obiectului
3. Pentru **o sursă de lumină** o suprafață reflectă lumina uniform în toate direcțiile => **componenta DIFFUSE** a obiectului
4. **Componenta SPECULAR** a obiectului

Proprietățile obiectului (materialului)

Precizarea diferiților parametri ai suprafeței se face cu mai multe comenzi. Acestea au semnificație în funcție de comanda:

{glEnable | glDisable} (GL_COLOR_MATERIAL)

Cu comanda:

glDisable(GL_COLOR_MATERIAL)

parametrii de culoare se dau cu comanda:

glMaterial{if}(fața, parametru, valoare)

unde:

- "fața" este: GL_FRONT, GL_BACK, GL_FRONT_AND_BACK și precizează pentru care față a materialului se precizează proprietatea,
- "parametru" se deduce din următorul tabel,
- "valoare" corespunde parametrului

Parametru	Valoare implicită	Semnificație pt. obiect
GL_AMBIENT	(0.2, 0.2, 0.2, 1.0)	componenta ambient
GL_DIFFUSE	(0.8, 0.8, 0.8, 1.0)	componenta difuză
GL_AMBIENT_AND_DIFFUSE		componenta ambient și difuză
GL_SPECULAR	(0.0, 0.0, 0.0, 1.0)	componenta speculară
GL_SHININESS	0.0	exponentul specular
GL_EMISSION	(0.0, 0.0, 0.0, 1.0)	culoarea emisă

Dacă se folosește comanda:

glEnable (GL_COLOR_MATERIAL)

atunci parametrii de culoare se dau cu comanda glColor*. Culoarea astfel precizată se asociază la parametrul curent stabilit cu comanda:

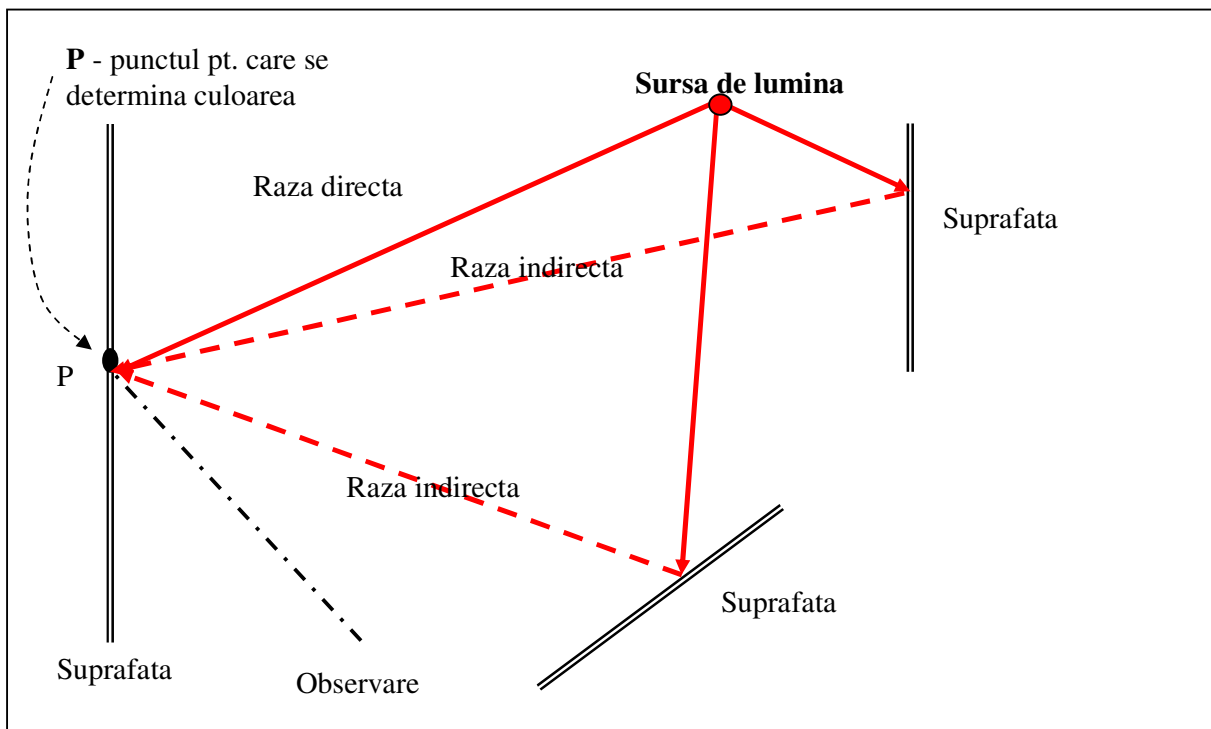
glColorMaterial (fața, parametru)

unde **fața** este precizată ca la comanda glMaterial, iar **parametru** ia una din valorile următoare (cu semnificația dată mai sus):

GL_EMISSION, GL_AMBIENT, GL_DIFFUSE, GL_SPECULAR,
GL_AMBIENT_AND_DIFFUSE.

Generarea culorii într-un pixel

Pot exista mai multe surse de lumină. Fiecare rază de lumină, de la fiecare sursă, poate să genereze alte surse (alte raze) prin reflexie (difuză, speculară), transmisie, emisie, în momentul în care întâlnește un obiect. În acest fel pot exista foarte multe raze (directe, indirecte) care trebuie luate în considerare la determinarea culorii unui punct. În figura următoare se reprezintă o astfel de situație, pentru o singură sursă de lumină.



Pentru simplificare, se consideră că un punct **P** (pentru care se determină culoarea) este luminat de:

- o **lumină directă** de la fiecare sursă de lumină
- o **lumină "ambient"**, cu o sursă și o direcție neprecizate, care are o culoare și o intensitate uniformă în tot spațiul (aici pot fi incluse, prin aproximare, toate sursele indirecte de lumină). Această componentă (R_a , G_a , B_a) se folosește împreună cu componenta "ambient" a suprafeței (R_s , G_s , B_s) și produce o componentă de culoare egală cu $(R_a * R_s, G_a * G_s, B_a * B_s)$. Dacă lumina ambient globală este verde $= (0, 1, 0)$ și

culoarea ambient a suprafeței este roșie=(1,0,0), atunci rezultatul acestor componente va fi culoarea neagră=(0,0,0).

Lumina directă, generată de o **sursă de lumină**, are anumite caracteristici.

1. Sursa *emite* lumină => **componenta EMISSION**
2. Când o rază ajunge la un obiect generează *reflexie, transmitere*, care formează o **lumina ambient** pentru această sursă => **componenta AMBIENT a sursei**.
3. La întâlnirea unei suprafețe va genera o *reflexie difuză* => **componenta DIFFUSE a sursei**
4. La întâlnirea unei suprafețe va genera o *reflexie speculară* => **componenta SPECULAR a sursei**

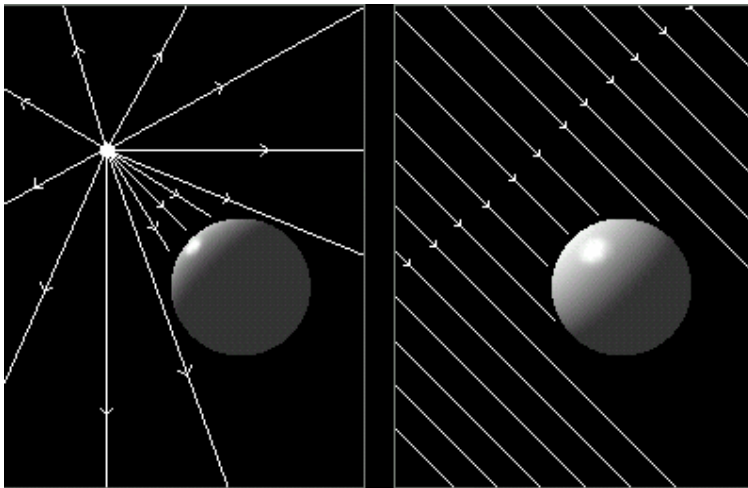
Culoarea finală pentru un punct de pe suprafață este determinată:

- de cele patru caracteristici ale suprafeței: emission, ambient, difuze, specular,
- de cele patru componente ale fiecărei surse: emission, ambient, difuze, specular,
- de anumiți parametri asociați **mediului** unde se face vizualizarea, printre care și de o constantă care măsoară **culoarea AMBIENT a mediului** unde se află scena ce se desenează.

Toate aceste valori se calculează **după o formulă pentru fiecare componentă de culoare** (R, G, B, A), iar rezultatul rămâne, pentru fiecare dintre aceste componente de culoare, în intervalul [0,1].

Surse de lumină

Tipuri de surse de lumină:

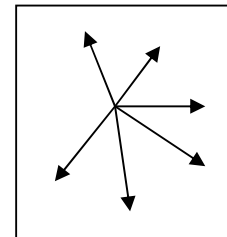


1. **Lumină punctuală:** o sursă de lumină care trimite raze de în toate direcțiile

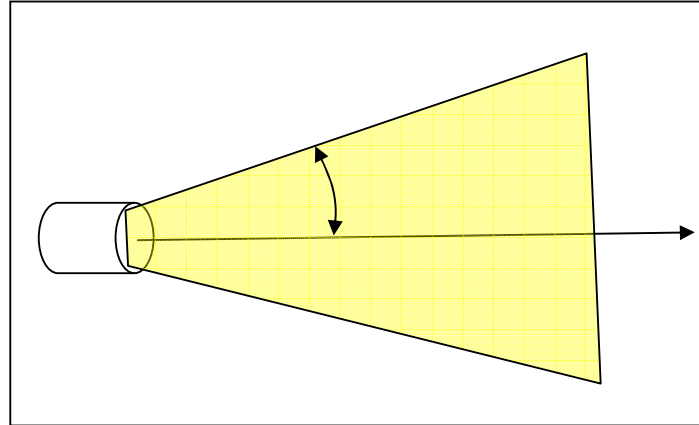
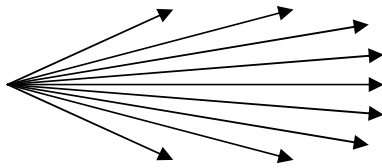
Caracteristici:

- **poziție** - prin coordonate omogene
- **culoare** - printr-un vector
- **atenuare** - prin trei coeficienti (după o formulă care se precizează mai jos)

Culoarea unui punct din scenă este determinată de o astfel de rază de lumină și lumina primită este afectată de distanța față de sursă



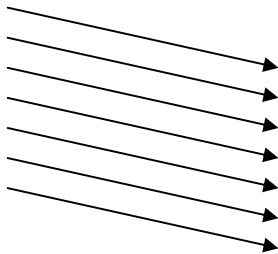
2. **Reflector:** se trimite lumina într-o anumită direcție, după un con.



Caracteristici:

- **poziție**
- **direcție**
- **culoare**
- **atenuare**
- **unghiul de emisie a luminii**

3. **Lumină direcțională:** sursa emite raze paralele de lumină, cu aceeași intensitate (strălucirea nu este afectată de distanță).



Caracteristici:

- **direcție**
- **culoare**

Precizarea unei surse de lumină

Pot exista mai multe surse de lumină, numărul acestora este precizat de o constantă:
GL_MAX_LIGHTS

Definirea unei surse de lumină se face prin comanda:

glLight{if}(sursa, parametru, valoare)

unde "sursa" poate fi: **GL_LIGHT0, GL_LIGHT1, ..**

iar "parametru" și "valoare" (culoare, poziție, direcție, constantă) se deduc din următorul tabel.

Parametru	Valoare implicită	Semnificație pt. sursa de lumină
GL_AMBIENT	(0.0, 0.0, 0.0, 1.0)	componenta ambient
GL_DIFFUSE	(1.0, 1.0, 1.0, 1.0)	componenta difuză
GL_SPECULAR	(1.0, 1.0, 1.0, 1.0)	componenta speculară
GL_POSITION	(0.0, 0.0, 1.0, 0.0)	poziția sursei de lumină (x, y, z,

		w), cu w=0 => limina la infinit
GL_SPOT_DIRECTION	(0.0, 0.0, -1.0)	direcția luminii(x, y, z)
GL_SPOT_EXPONENT	0.0	exponentul de la reflecția speculară
GL_SPOT_CUTOFF	180.0	unghiul pt. "reflector", cu 180 => lumină punctuală
GL_CONSTANT_ATTENUATION	1.0	constanta la factorul de atenuare
GL_LINEAR_ATTENUATION	0.0	coeficient de atenuare liniara
GL_QUADRATIC_ATTENUATION	0.0	coeficient de atenuare patratice

unde "factorul de atenuare" se calculează după formula următoare, unde **d** este distanța de la sursa de lumină la punctul unde se determină culoarea:

$$\frac{1}{k_c + k_l d + k_q d^2}$$

După definirea unei surse de lumină, aceasta poate fi luată în considerare (activată) sau nu:

`{glEnable | glDisable} (GL_LIGHTi),`

unde "i" este 0, 1, 2, ...

Lumina este un obiect din scena care se desenează, deci se modifică prin transformările de la modelul obiectului.

Prin comanda:

`glLightModel* (proprietate, valoare [, pozitie])`

se pot preciza valorile a trei parametri:

- **GL_LIGHT_MODEL_AMBIENT**: precizează **culoarea ambient globală**,
- **GL_LIGHT_MODEL_LOCAL_VIEWER**: precizează cum se calculează unghiurile la reflecția speculară. Acest unghi este determinat de doi vectori: **punctul de observare și sursa de lumină, punctul de observare și observator**. Valorile posibile sunt: **0** - pentru punctul de observare la infinit (valoare implicită, necesită calcule puține deoarece unghiul este același pentru fiecare vârf), sau **1** - unde unghiul este determinat pentru fiecare vârf, deci este o situație mai aproape de realitate, dar care necesită calcule mai multe.
- **GL_LIGHT_MODEL_TWO_SIDE**: precizează modul de calcul pentru lumină: numai pentru "front" (valoarea 0), sau pentru ambele fețe ale poligoanelor (valoarea 1)

Generarea culorii în pixelii unui poligon

Pentru a simplifica efortul de calcul, **culoarea unui poligon este constantă** și depinde de normala la poligon. Pentru a se putea reda mai bine poligoanele, este necesară divizarea acestora în poligoane mai mici și să se folosească modul de colorare:

`glShadeModel(GL_SMOOTH).`

Culoarea unui punct de pe o suprafață se poate determina (aproxima) prin următoarea formulă:

$$\begin{aligned}
 \text{culoare}_{\text{pixel}} = & \text{emission}_{\text{material}} + \text{ambient}_{\text{globala}} * \text{ambient}_{\text{material}} + \\
 & \sum_{i=0}^{n-1} \left(\left(\frac{1}{k_c + k_l d + k_q d^2} \right)_i * \text{efect_spot}_i \right. \\
 & \left. * \left[\begin{aligned} & \text{ambient}_{\text{lumina}_i} * \text{ambient}_{\text{material}} + \\ & * \text{diffuse}_{\text{lumina}_i} * \text{diffuse}_{\text{material}} * (\max\{L \cdot n, 0\}) + \\ & * \text{specular}_{\text{lumina}_i} * \text{specular}_{\text{material}} * (\max\{s \cdot n, 0\})^{\text{shininess}} \end{aligned} \right] \right)
 \end{aligned}$$

- a). culoarea emisă de suprafață +
 b). culoarea_ambient_globală * culoarea_ambient_a_suprafeței +
 c). pentru fiecare sursă:
 factor_de_atenuare * efect_de_spot * (termen_ambient + termen_difuz + termen_specular),

unde:

efectul_de_spot este

- 1 - dacă lumina nu este un reflector (spot)
- 0 - dacă lumina este un spot dar punctul pentru care se determină culoarea este în afara spotului de lumină
- $(\max\{v \cdot d, 0\})^{\text{gl_exponent_spot}}$

v este vectorul unitate de la sursa la punctul care se desenează

d este direcția spotului (vector unitate)

produsul $\mathbf{v} \cdot \mathbf{d} = \|\mathbf{v}\| \cdot \|\mathbf{d}\| \cdot \cos(\mathbf{v}, \mathbf{d}) =$ produsul scalar

termen_ambient = lumina_ambient * material_ambient

termen_difuz = $(\max\{L \cdot n, 0\}) * \text{lumina_difuză} * \text{material_difuz}$,

apare numai dacă vârful e luminat direct de sursă

L = vector unitate din vârful la sursa de lumină

n = vector unitate normal la suprafața în vârful

termen_specular, apare numai dacă vârful e luminat direct de sursă, și depinde de:

- **n** = vectorul unitate normal la suprafață în vârful
- **s** = vectorul unitate de la vârful la lumină
- exponentul specular
- lumină_specular și material_specular

Formula de calcul:

$\text{termen_specular} = (\max\{s \cdot n, 0\})^{\text{exponentul_specular}} * \text{lumină_specular} * \text{material_specular}$

Pași la desenarea cu sursele de lumină:

1. Definierea (calcularea) normalelor pentru fiecare vârful de la fiecare obiect.
2. Definierea surselor de lumină (creare, selectare)

3. Precizarea luminii ambient globale
4. Definirea proprietăților materialelor din care se compun obiectele din scenă