

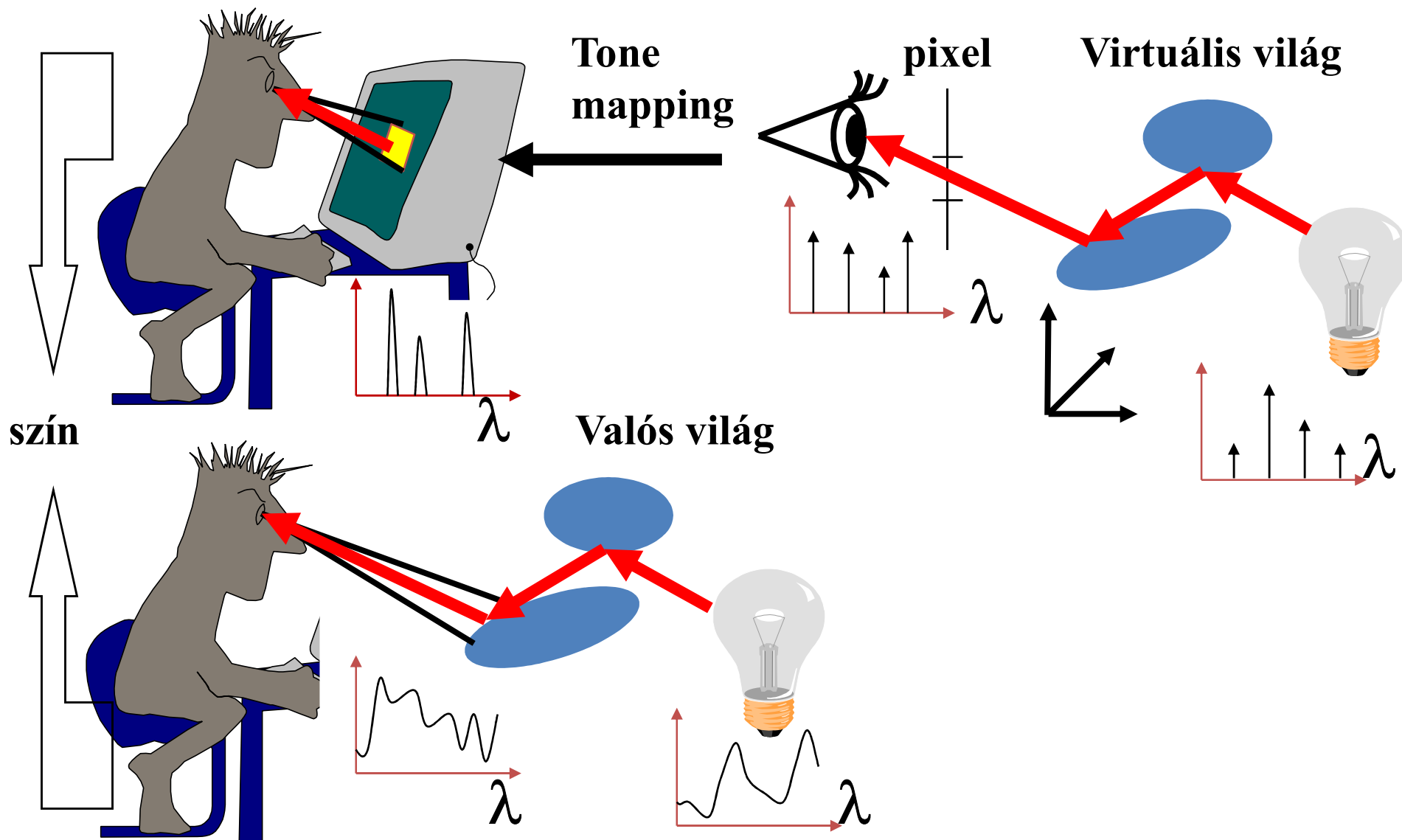
*Science is either physics or
stamp collecting.*

Rutherford

3D képszintézis fizikai alapmodellje

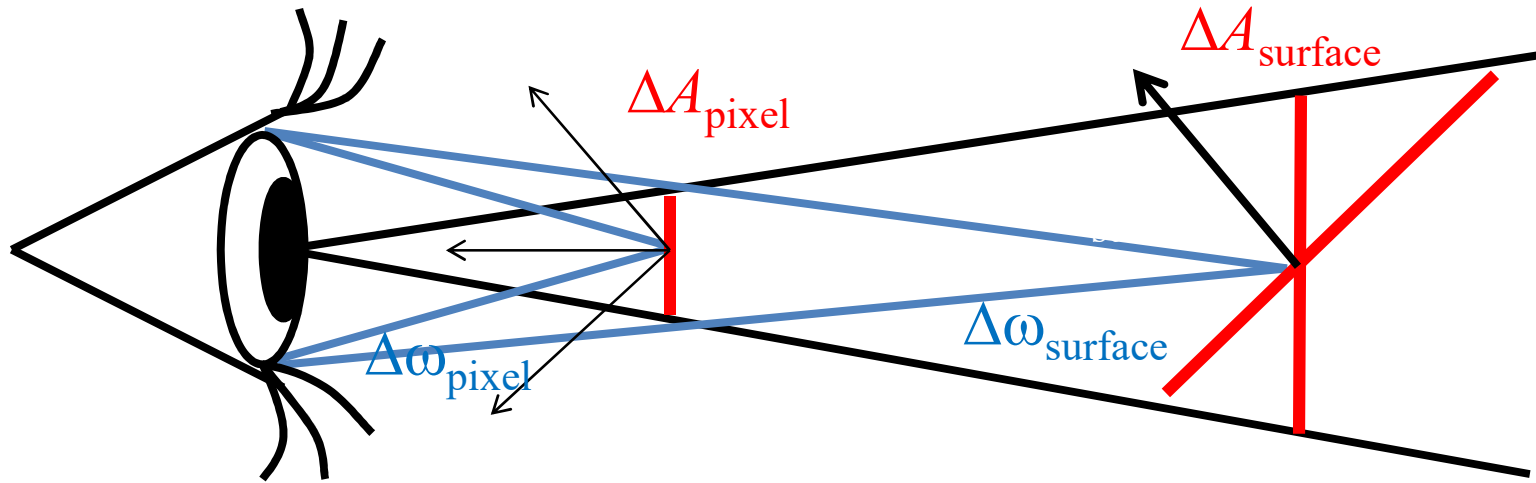
Szirmay-Kalos László

3D képsztntézt



Sugársűrűség (Radiancia): $L(\mathbf{x}, \mathbf{V})$

Wanted: $\Delta\Phi_{\text{pixel}} = \Delta\Phi_{\text{surface}}$



Geometria: $\Delta A_{\text{pixel}} \cos\theta_{\text{pixel}} \Delta\omega_{\text{pixel}} = \Delta A_{\text{surface}} \cos\theta_{\text{surface}} \Delta\omega_{\text{surface}}$

Radiancia = Egységnyi vetített terület által egységnyi
térszögbe sugárzott teljesítmény
[W/sr/m²]

$$L(\mathbf{x}, \mathbf{V}) = \frac{\Delta\Phi}{\Delta A \cos\theta \Delta\omega}$$

Fény-felület kölcsönhatás

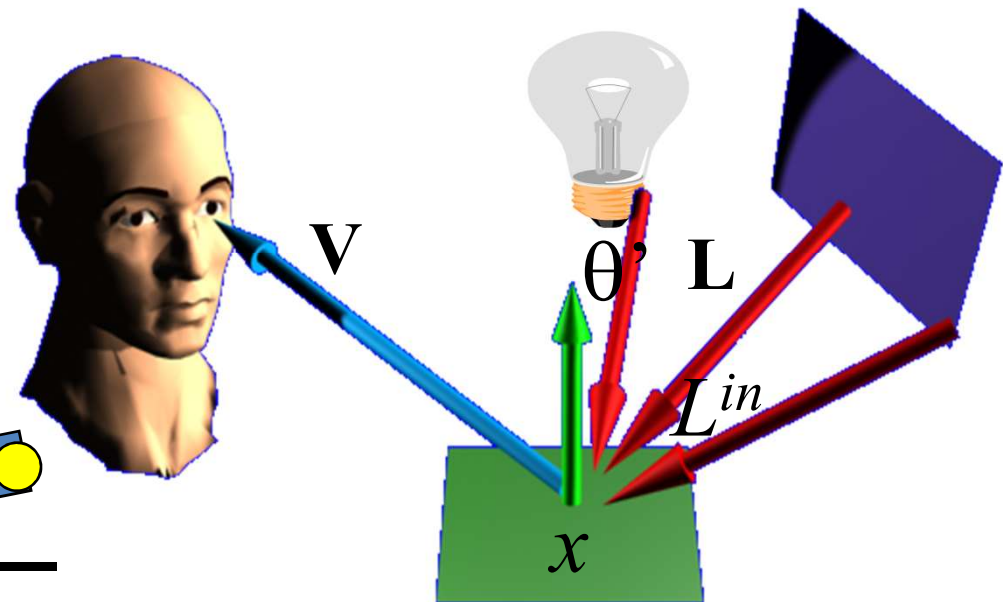
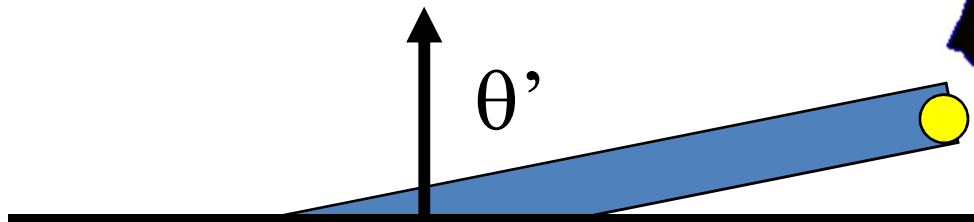
Radiancia = Irradiancia · BRDF

$$L(x, \mathbf{V}) = L^{in}(x, \mathbf{L}) \cdot \cos\theta' \cdot f_r(\mathbf{L}, x, \mathbf{V})$$

$$f_r(\mathbf{L}, x, \mathbf{V}) \stackrel{\text{def}}{=} \frac{L(x, \mathbf{V})}{I(x, \mathbf{L})}$$

Helmholtz törvény:

$$f_r(\mathbf{L}, x, \mathbf{V}) = f_r(\mathbf{V}, x, \mathbf{L})$$

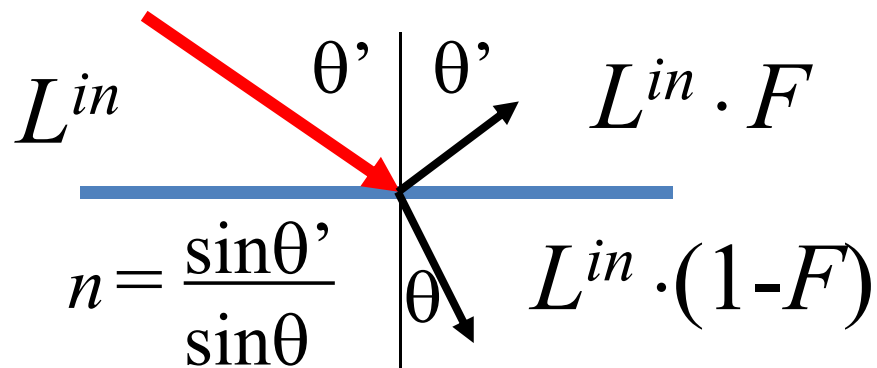


Fénynél a hullámhosszok külön kezelhetők



- Relativisztikus tömeg kicsi: $m = E/c^2 = hf/c^2$
- A foton energia (hullámhossz) nem változik rugalmas ütközésnél
- Elnyelődési valószínűség energiafüggő

Sima felület: Fresnel egyenlet

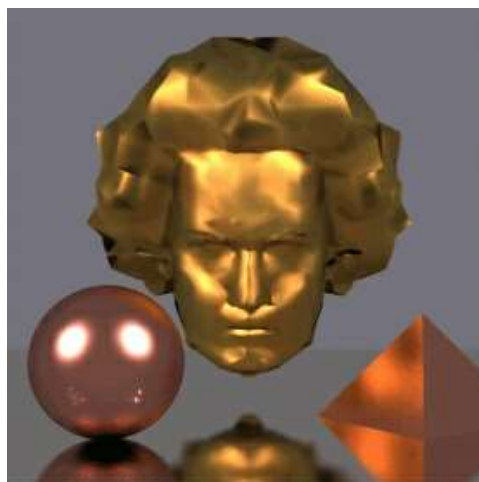
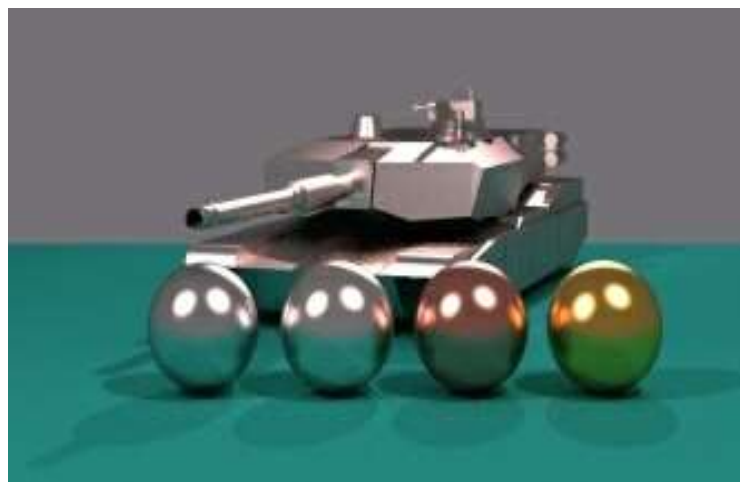
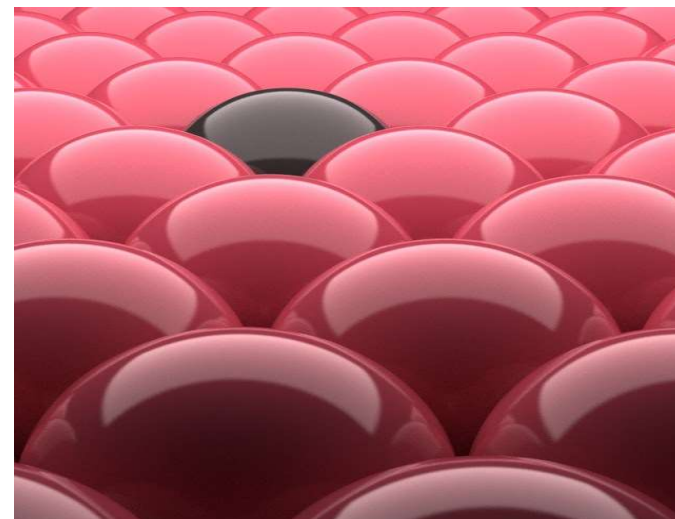
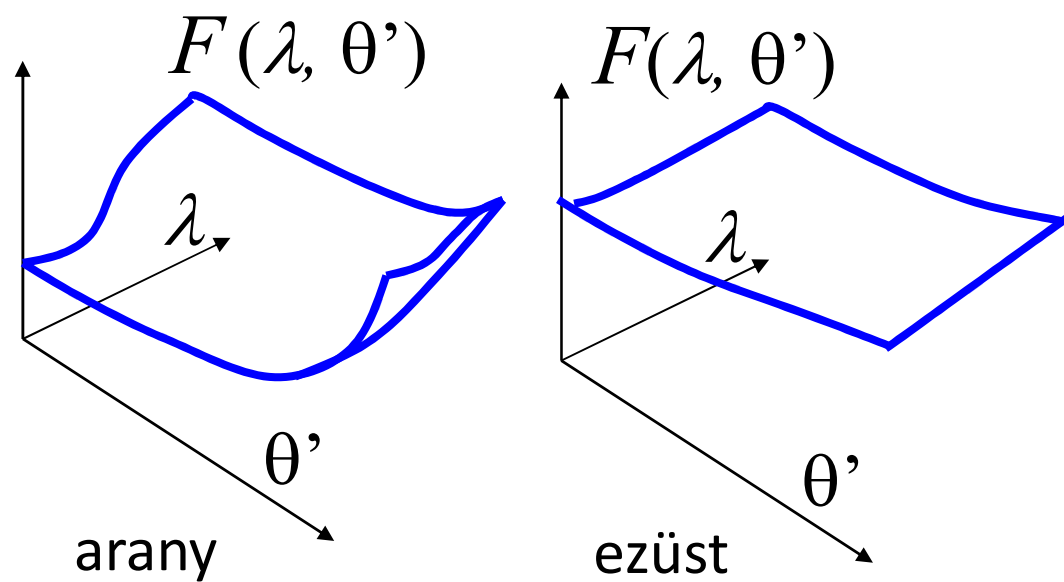


„Sima” = 1 pixelben látható
felület síknak tekinthető

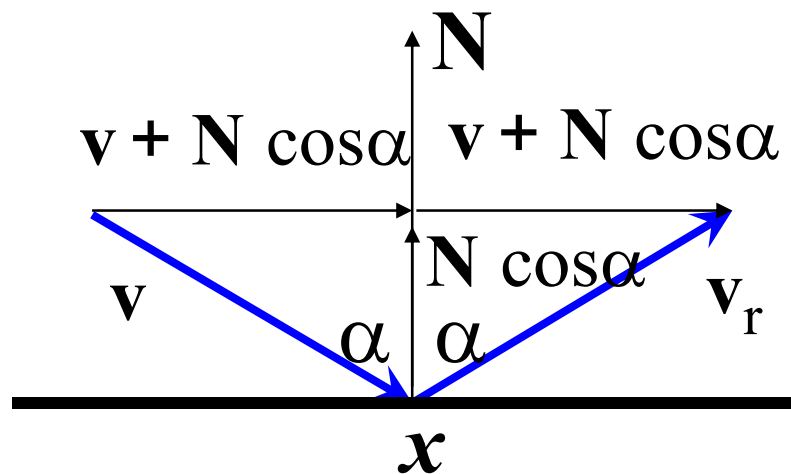
$$F = \frac{1}{2} \left| \frac{\cos \theta - (n + k j) \cos \theta'}{\cos \theta + (n + k j) \cos \theta'} \right|^2 + \frac{1}{2} \left| \frac{\cos \theta' - (n + k j) \cos \theta}{\cos \theta' + (n + k j) \cos \theta} \right|^2$$

$$F \approx F0 + (1-F0) \cdot (1-\cos \theta')^5, \quad F0 = \frac{(n-1)^2 + k^2}{(n+1)^2 + k^2}$$

Fresnel függvény



Tükörirány



$$\cos \alpha = - (\mathbf{v} \cdot \mathbf{N})$$

$$\mathbf{v}_r = \mathbf{v} + 2 \mathbf{N} \cos \alpha$$

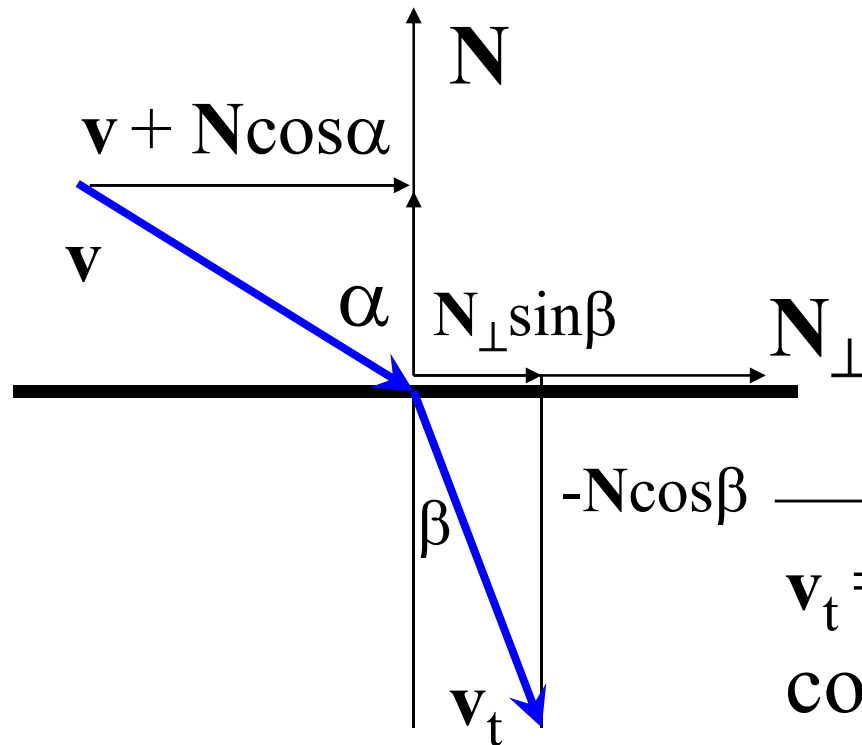
```
vec3 reflect(vec3 inDir, vec3 normal)
{
    return inDir - normal * dot(normal, inDir) * 2.0f;
};
```




Törési irány

Snellius-
Descartes

$$n = \frac{\sin \alpha}{\sin \beta}$$



$$N_{\perp} = \frac{v + N \cos \alpha}{\sin \alpha}$$

$$v_t = N_{\perp} \sin \beta - N \cos \beta$$

$$v_t = v/n + N(\cos \alpha/n - \cos \beta)$$

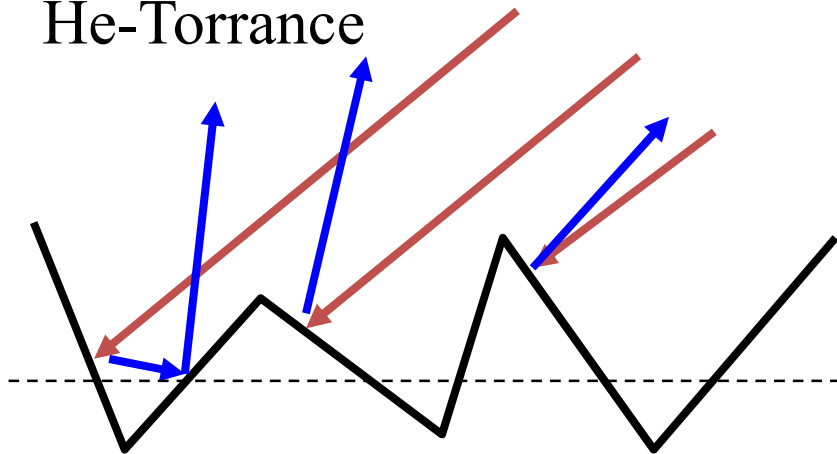
$$\cos \beta = \sqrt{1 - \sin^2 \beta} = \sqrt{1 - \sin^2 \alpha / n^2}$$

$$v_t = v/n + N(\cos \alpha/n - \sqrt{1 - (1 - \cos^2 \alpha)/n^2})$$

SmoothMaterial class

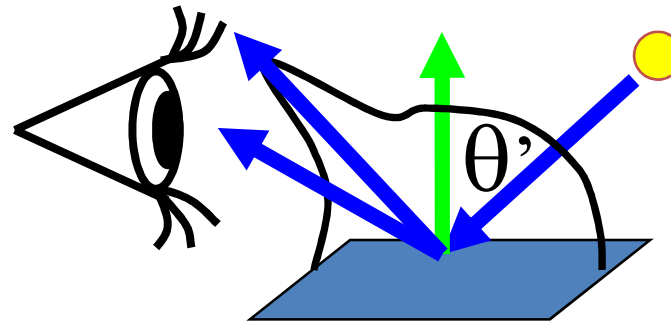
```
class SmoothMaterial {
    vec3    F0; // F0 spektrum
    float   n;  // Hullámhosszfüggéstől eltekintünk! Miért tehetjük meg?
public:
    vec3 reflect(vec3 inDir, vec3 normal) {
        return inDir - normal * dot(normal, inDir) * 2.0f;
    }
    vec3 refract(vec3 inDir, vec3 normal) {
        float ior = n;
        float cosa = -dot(normal, inDir);
        if (cosa < 0) { cosa = -cosa; normal = -normal; ior = 1/n; }
        float disc = 1 - (1 - cosa * cosa)/ior/ior;
        if (disc < 0) return reflect(inDir, normal); // total reflect
        return inDir/ior + normal * (cosa/ior - sqrt(disc));
    }
    vec3 Fresnel(vec3 inDir, vec3 normal) { // közelítés
        float cosa = fabs(dot(normal, inDir));
        return F0 + (vec3(1, 1, 1) - F0) * pow(1-cosa, 5);
    }
};
```

Cook-Torrance
He-Torrance

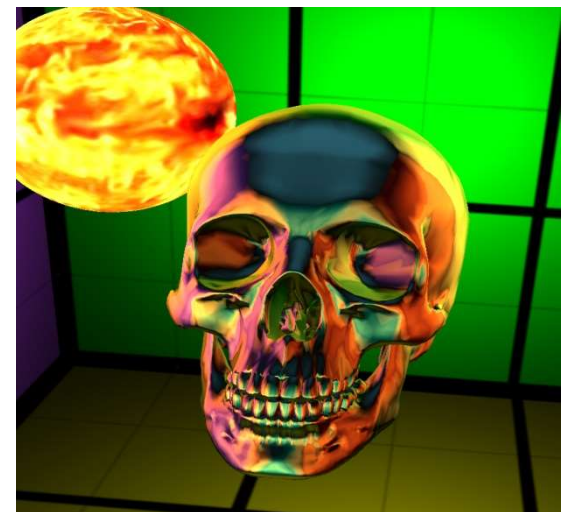
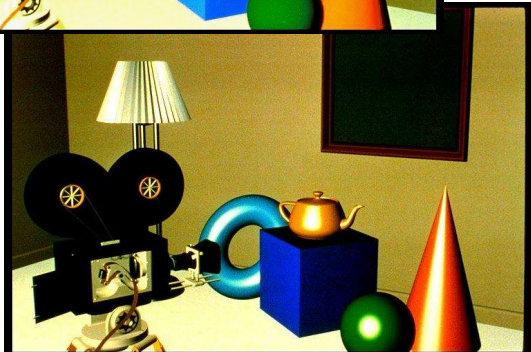
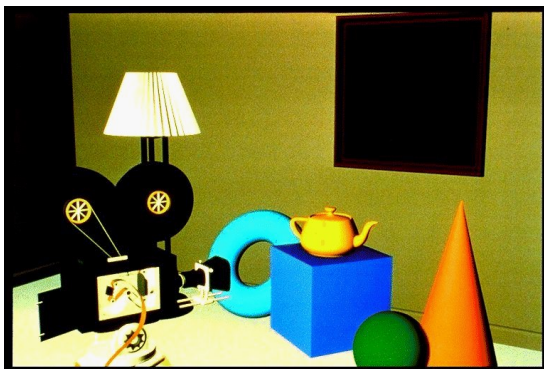


1 pixelben látható felület

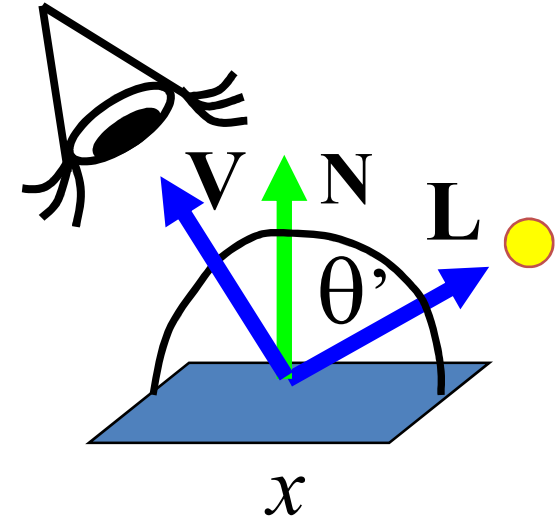
Rücskös felületek



Mi: viselkedésileg érvényes modell



Diffúz visszaverődés



- Radiancia = Irradiancia · BRDF
- A nézeti iránytól független
- A BRDF a nézeti iránytól független
- Helmholtz: a BRDF megvilágítási iránytól is független
- A BRDF irányfüggetlen:

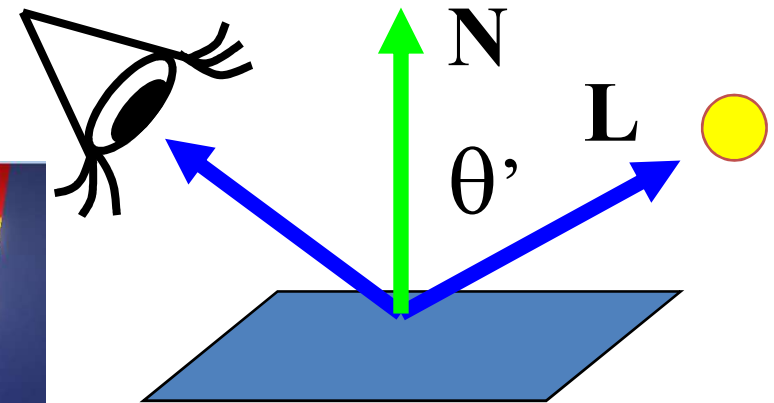
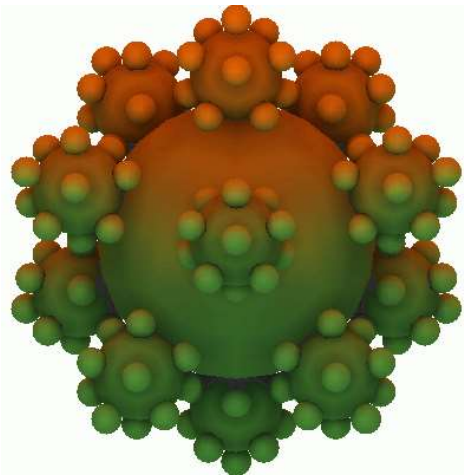
$$f_r(\mathbf{L}, x, \mathbf{V}) = k_d(x, \lambda)$$
- Diffúz visszaverődés = nagyon rücskös
 - sokszoros fény-anyag kölcsönhatás
 - színes!

Lambert törvény

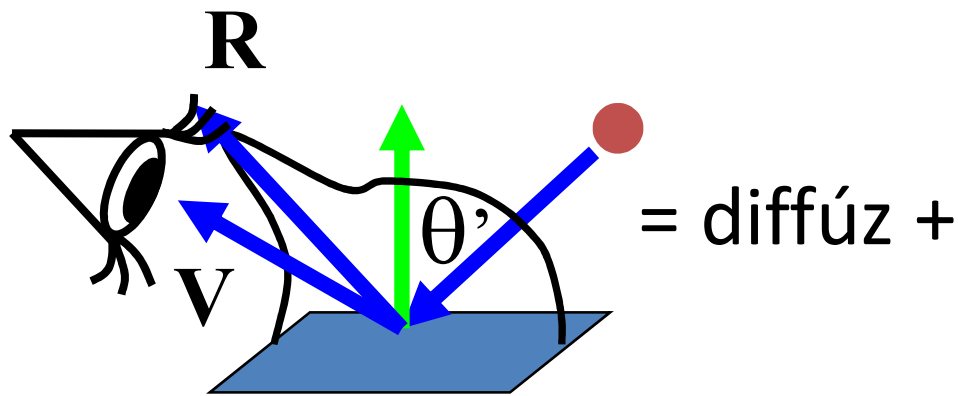
- Pont/irány fényforrásra válasz
 - BRDF irányfüggetlen,
DE a sugársűrűség függ a
megvilágítási iránytól

$$L^{ref} = L^{in} k_d \cos^+\theta'$$

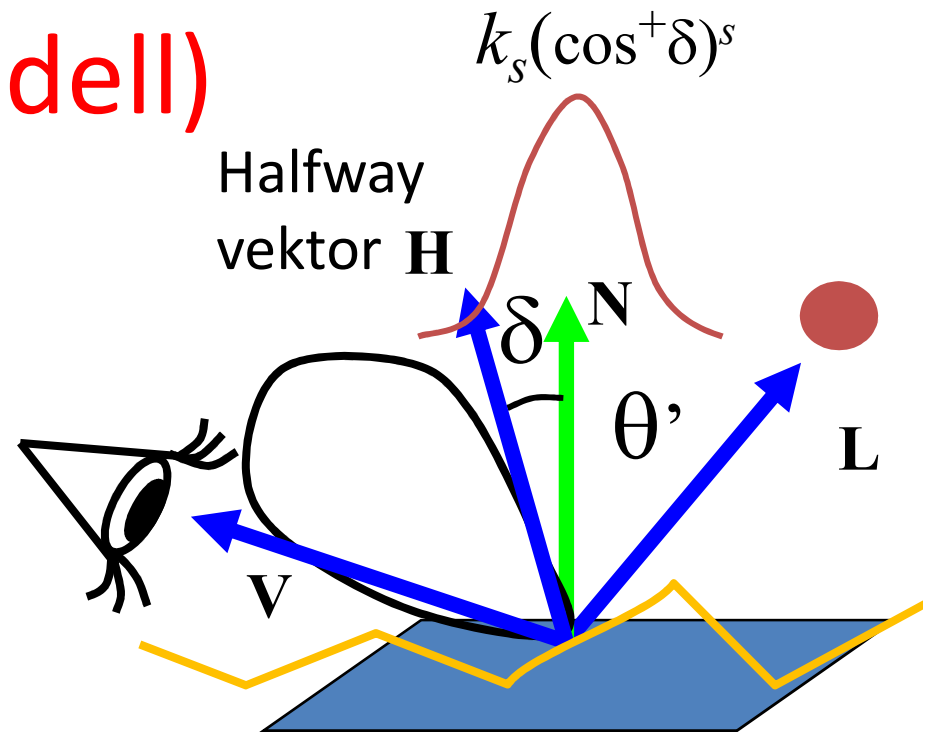
$$\cos\theta' = \mathbf{N} \cdot \mathbf{L}$$



Spekuláris visszaverődés (Phong-Blinn modell)



$$L^{ref} = L^{in} k_d \cos^+\theta' + L^{in} k_s (\cos^+\delta)^s$$



$$\mathbf{H} = (\mathbf{L} + \mathbf{V}) / |\mathbf{L} + \mathbf{V}|$$

$$\cos\delta = \mathbf{N} \cdot \mathbf{H}$$

Diffúz+Phong anyagok

diffúz



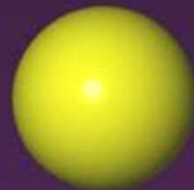
Sokszorosos fény-anyag
köölcsönhatás
„Saját szín”

Phong



Egyszeres fény-anyag
köölcsönhatás,
nemfémeknél
hullámhossz független

diffúz +
Phong



shininess = 5

10

20

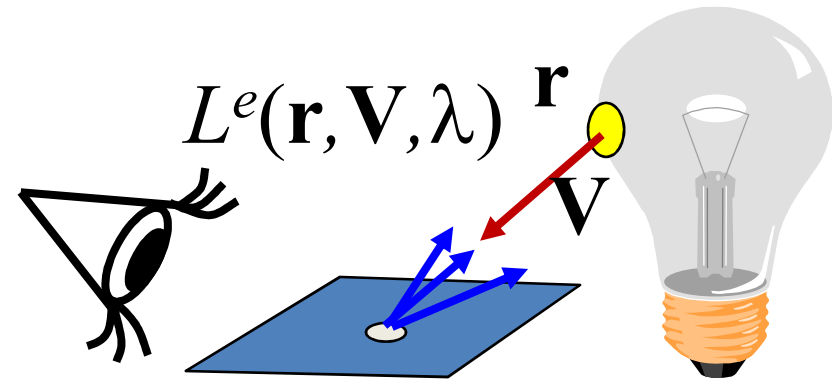
50

RoughMaterial class

```
class RoughMaterial {
    vec3 kd, ks;
    float shininess;
public:
    vec3 shade(vec3 normal, vec3 viewDir, vec3 lightDir,
               vec3 inRad)
    {
        float cosTheta = dot(normal, lightDir);
        if(cosTheta < 0) return vec3(0, 0, 0);
        vec3 difRad = inRad * kd * cosTheta;
        vec3 halfway = (viewDir + lightDir).normalize();
        float cosDelta = dot(normal, halfway);
        if(cosDelta < 0) return difRad;
        return difRad + inRad * ks * pow(cosDelta, shininess);
    }
};
```

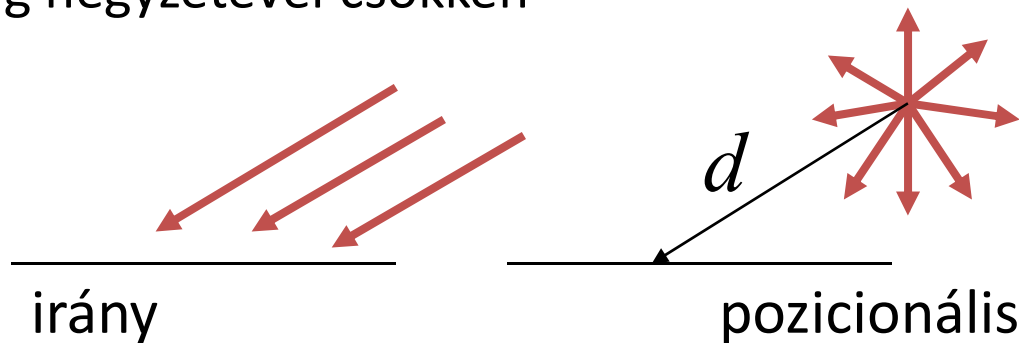

Fényforrások

- Geometria+sugársűrűség:

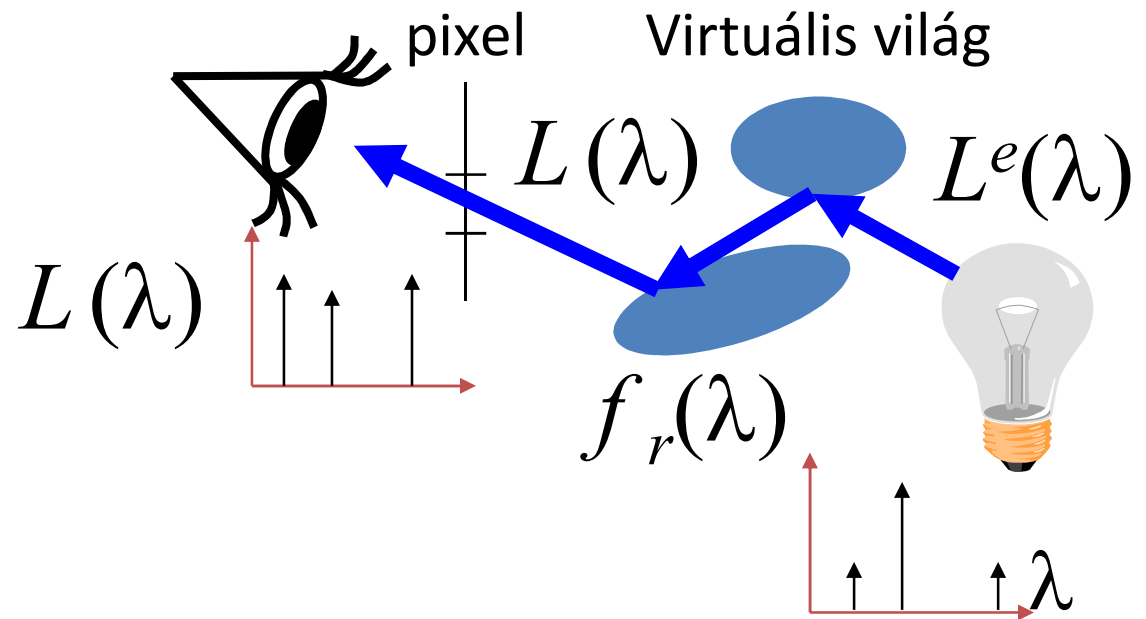
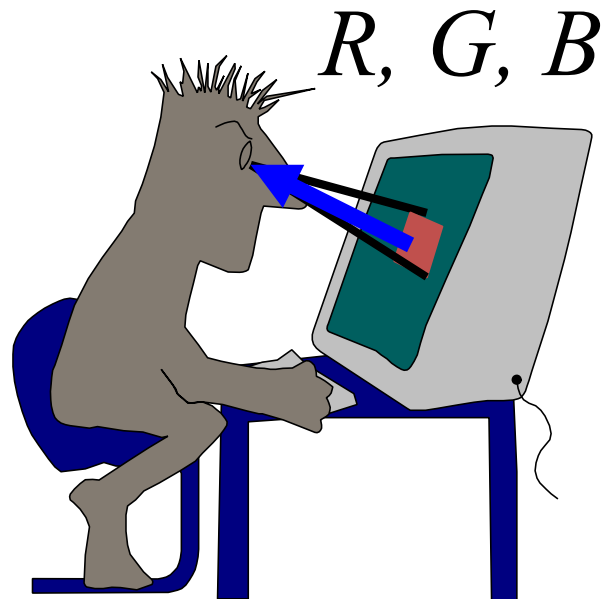


- Absztrakt fényforrások:

- Írány fényforrások: egyetlen irányba sugároz, a fénysugarak párhuzamosak, az intenzitás független a pozíciótól
- Pozicionális fényforrás: egyetlen pontból sugároz, az intenzitás a távolság négyzetével csökken

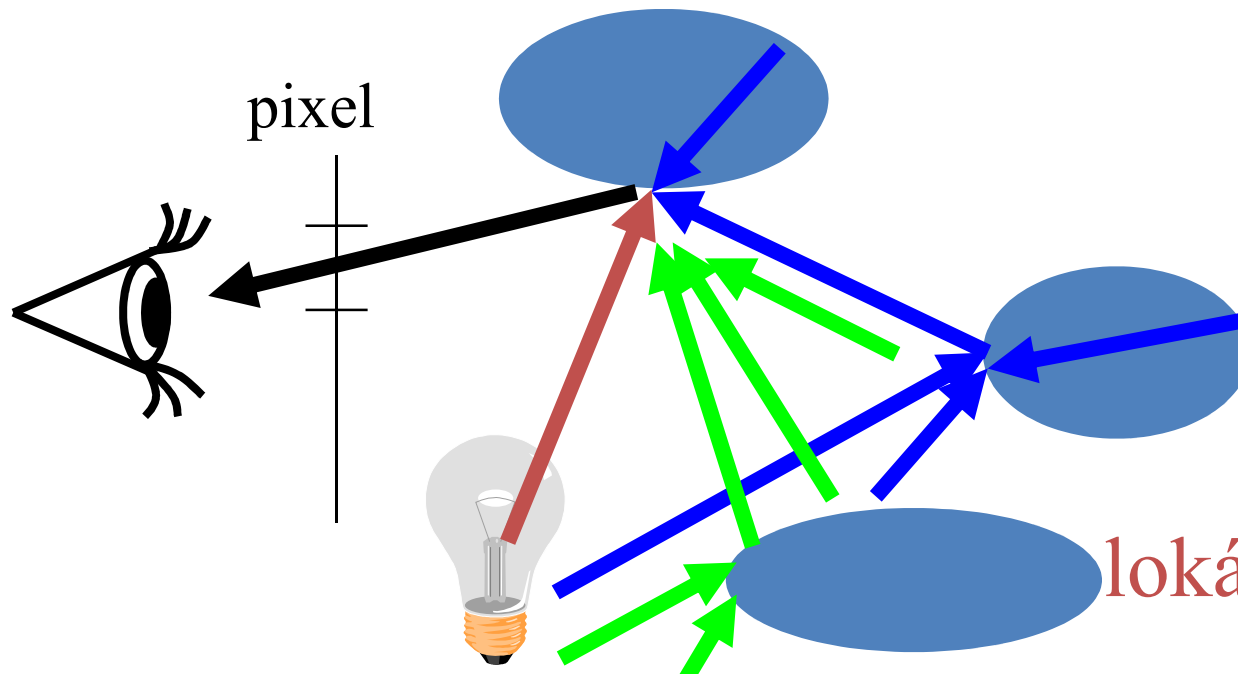


Képszintézis



- Pixelben látható felület meghatározása
- A látható pont szem irányú sugársűrűsége
- R, G, B konverzió

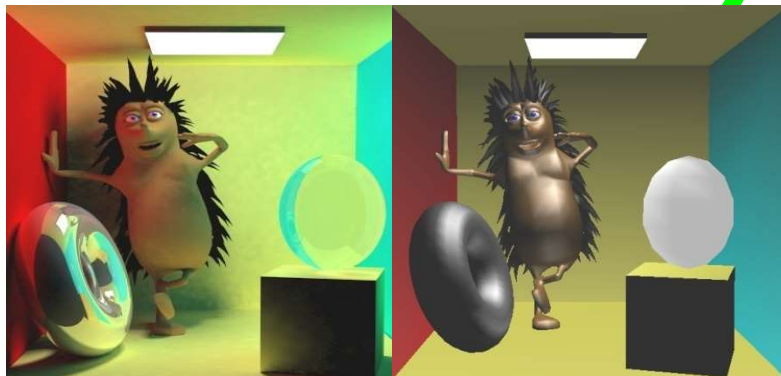
Kompromisszumok



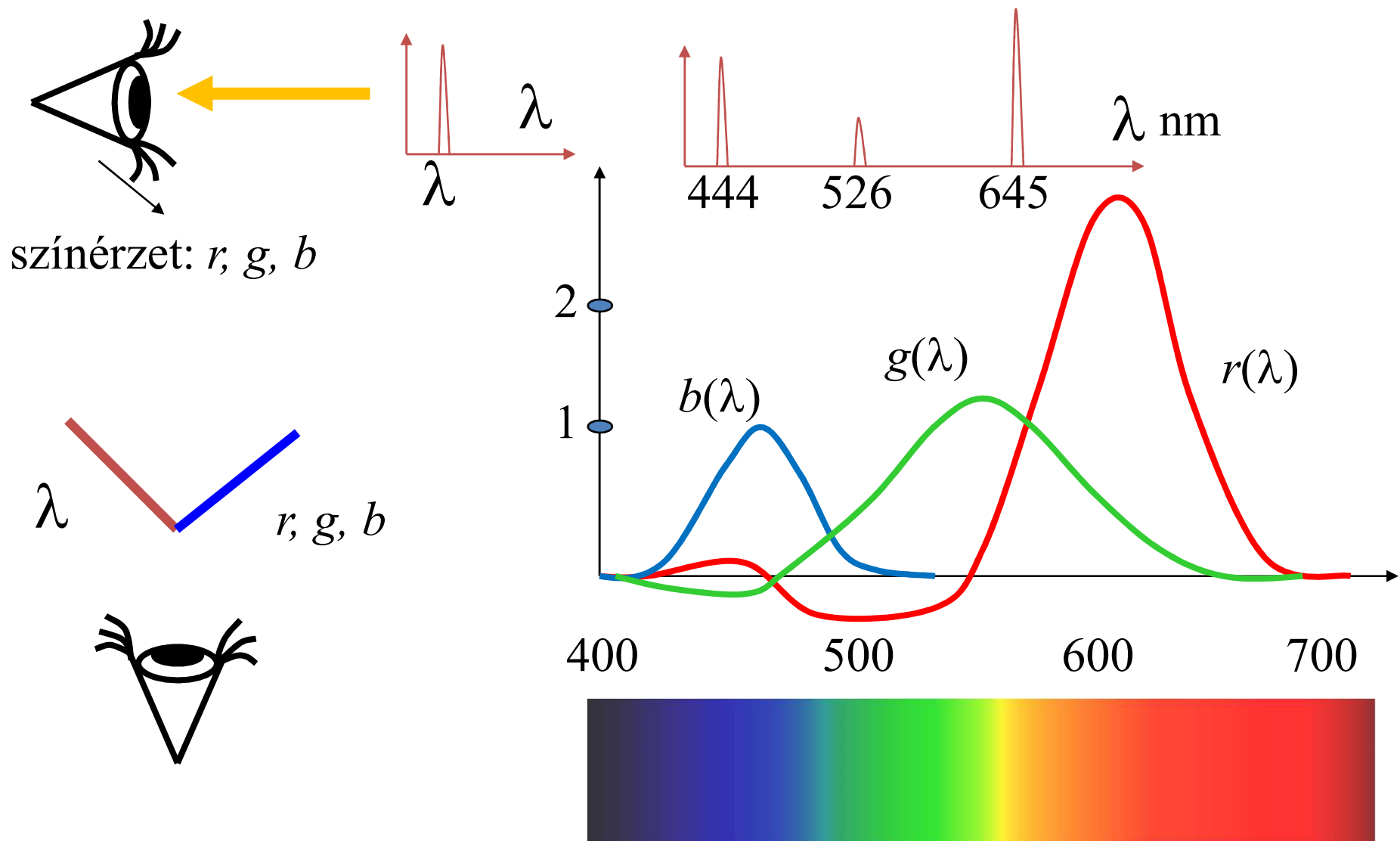
lokális illumináció

rekurzív sugárkövetés

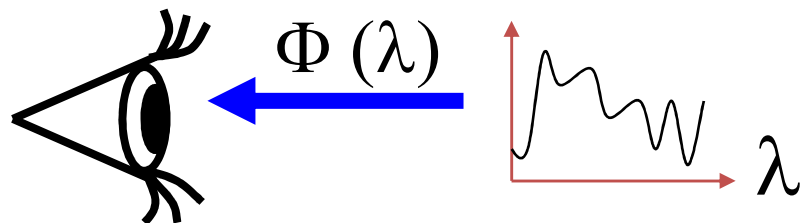
globális illumináció



Színérzékelés: monokromatikus fény



Színérzékelés: nem monokromatikus fény



$$\begin{aligned} r &= \int \Phi(\lambda) r(\lambda) d\lambda \\ g &= \int \Phi(\lambda) g(\lambda) d\lambda \\ b &= \int \Phi(\lambda) b(\lambda) d\lambda \end{aligned}$$

Spektrális versus RGB képszintézis

