Základy počítačové grafiky
Přednáška 5

Martin Němec

VŠB-TU Ostrava

2025

Opakování

Aktuálně:

- Vykreslování objektů (VAO+VBO).
- Modelové transformace.
- Pohledová transformace.
- Projekční transformace.

Je něco, co byste chtěli zopakovat?

Co si pamatujete z návrhu kódu?

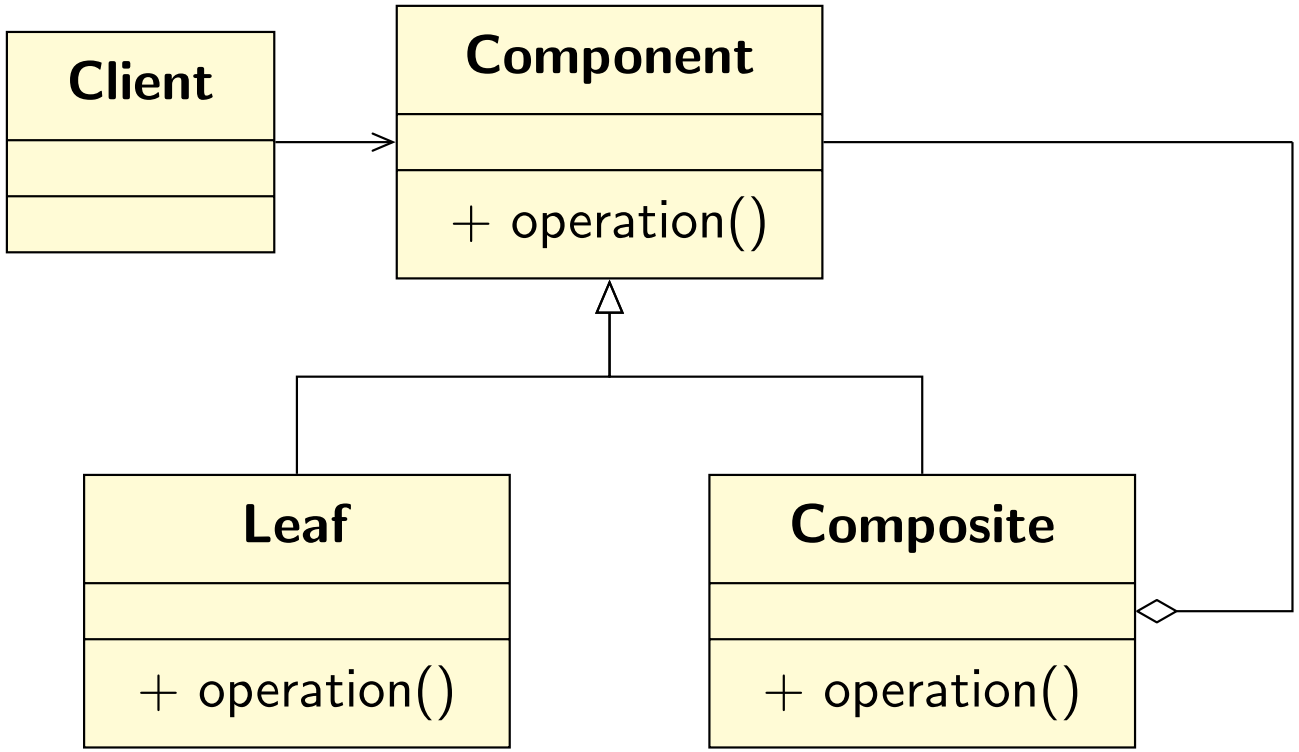
- Jasně definujte povinnosti/zodpovědnost.
- Každá třída by měla mít pouze jednu odpovědnost.
  To zjednodušuje údržbu a rozšiřování kódu.
- Pozor na "božské" třídy, které všechno ví a všechno umí.
- Třídy by měly být navrženy tak, aby bylo snadné přidat nové funkce (rozšiřovat je) bez nutnosti měnit stávající kód.
- Důležitá je abstrakce kódu.

Návrh tříd není jednorázový proces. Během vývoje bývá potřeba některé třídy a jejich vazby přidat, upravit, rozdělit apod.

Refaktoring je klíčová součást vývoje OOP, používáme nástroje jako UML diagramy.

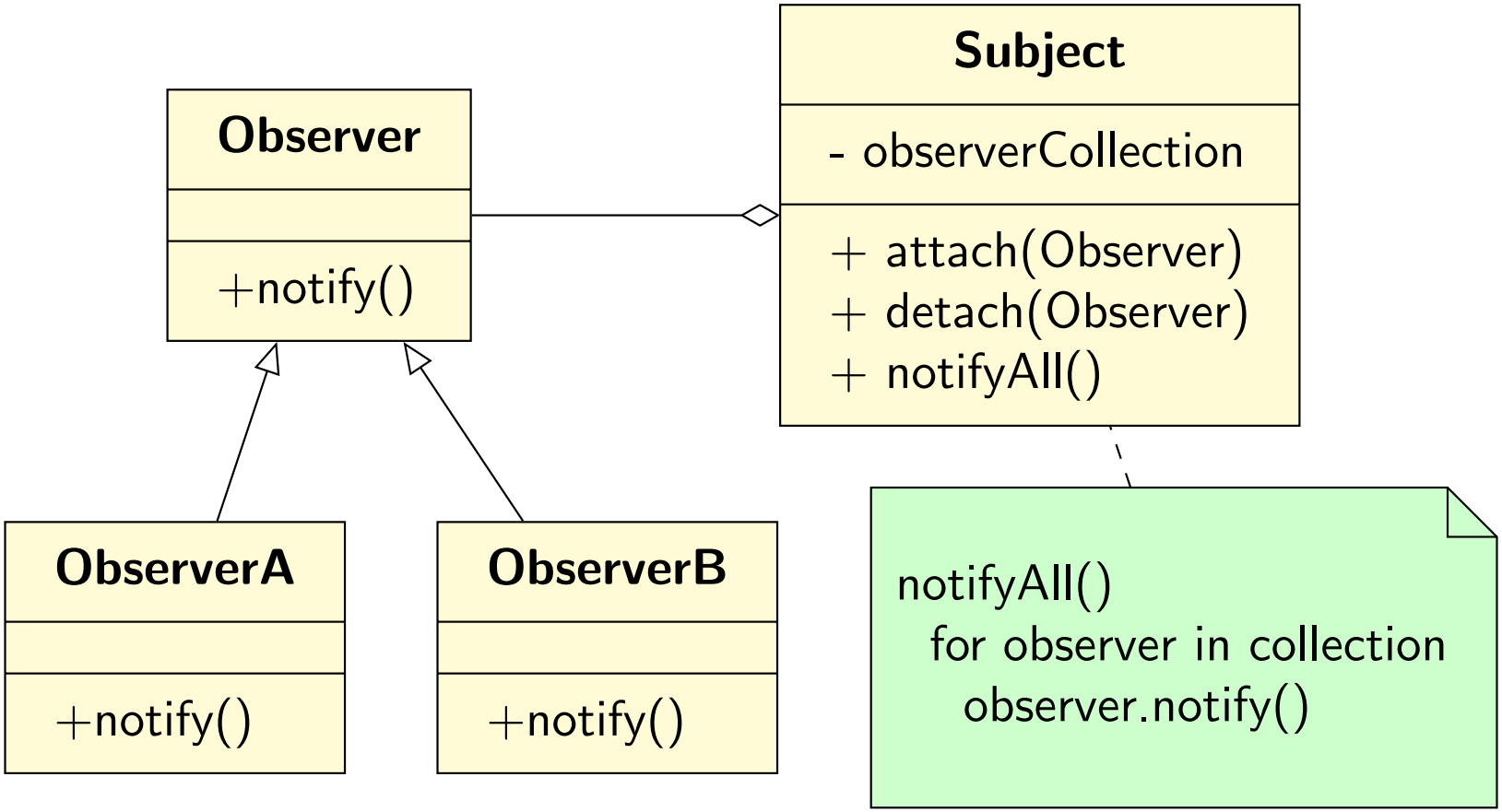
Composite Pattern

Snahou je přistupovat stejným způsobem ke složeným (kompozitním) a jednoduchým objektům. Příkladem je souborový systém, kde máme složky (adresáře) a jednotlivé soubory.



Observer

Umožňuje jednomu objektu (Subject) informovat ostatní objekty (Observers) o změnách svého stavu, aniž by je přímo znal.



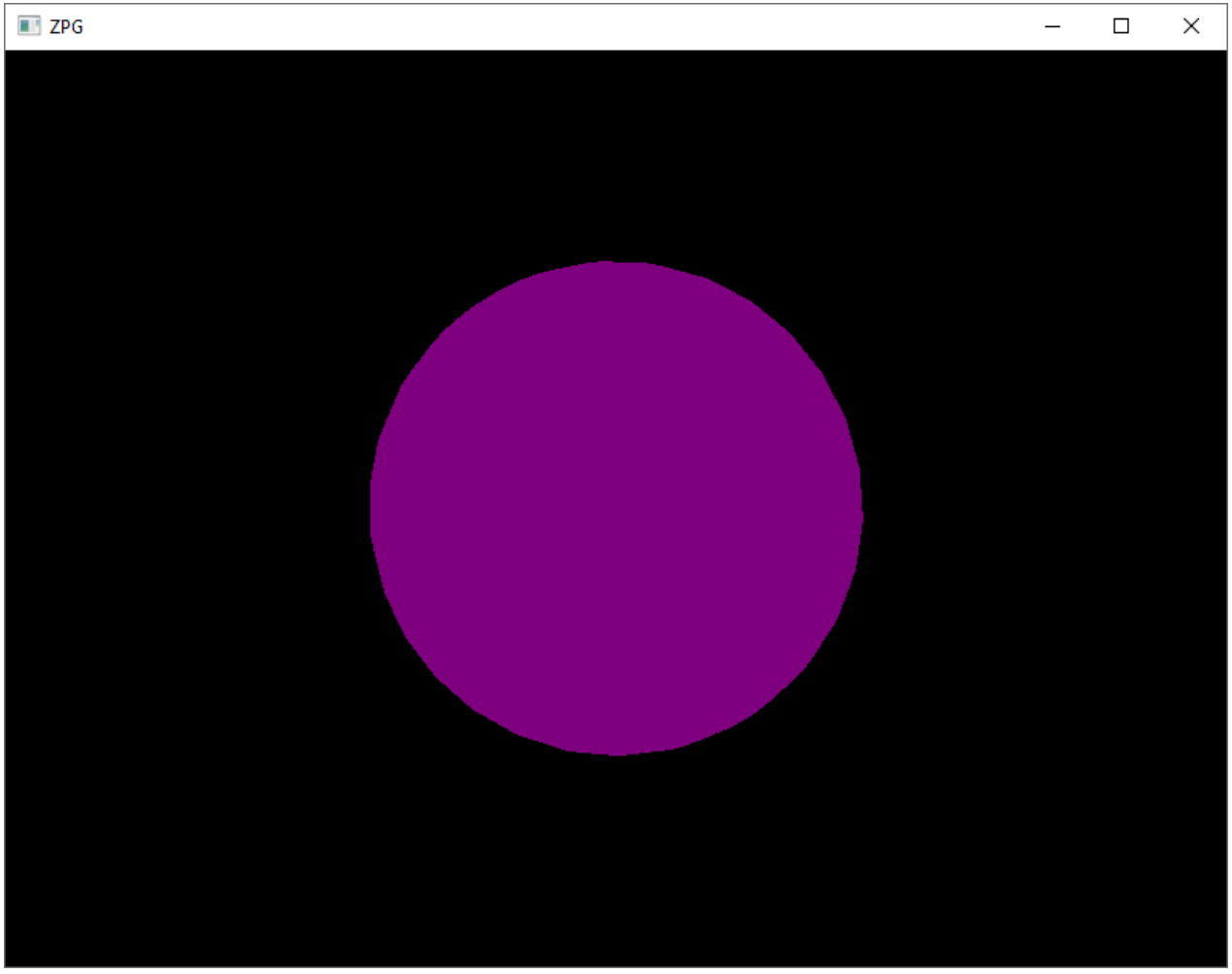
Kulová plocha

```
const float sphere[17280] = {
-0.831,-0.555,0.000,-0.833,-0.552,0.000,
-0.923,-0.382,0.000,-0.924,-0.380,0.000,
-0.815,-0.555,-0.162,-0.817,-0.552,-0.162,
...
-0.375,-0.923,0.074,-0.380,-0.921,0.075,
-0.555,-0.831,0.000,-0.559,-0.828,0.000};
```


```
glVertexAttribPointer(
  0,3,GL_FLOAT,GL_FALSE,6*sizeof(float),(GLvoid*)0);
glVertexAttribPointer(
  1,3,GL_FLOAT,GL_FALSE,6*sizeof(float),
     (GLvoid*)(3*sizeof(GLfloat)));
```

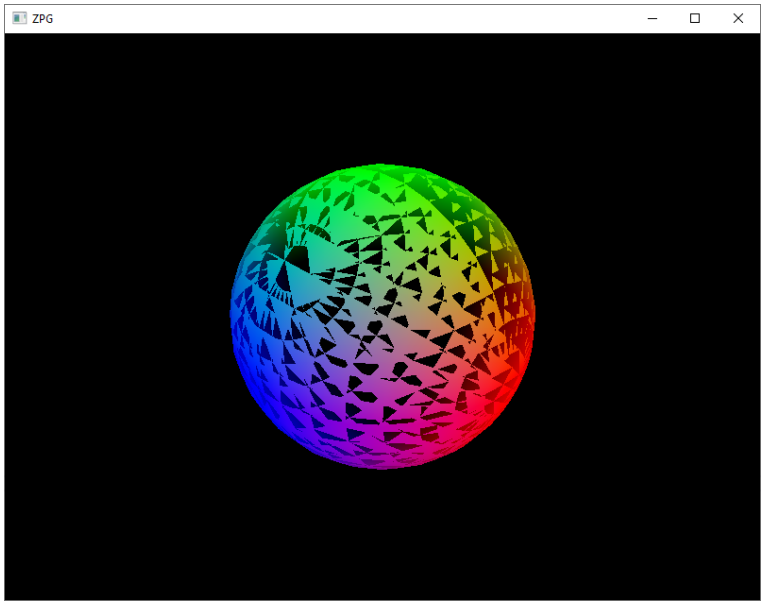
Kulová plocha

Přidání tělesa (kulové plochy) do scény. Jsme spokojení?



Kulová plocha

Problém se "špatným" vykreslováním trojúhelníků vyřešíte takto. Budeme se mu věnovat na další přednášce.



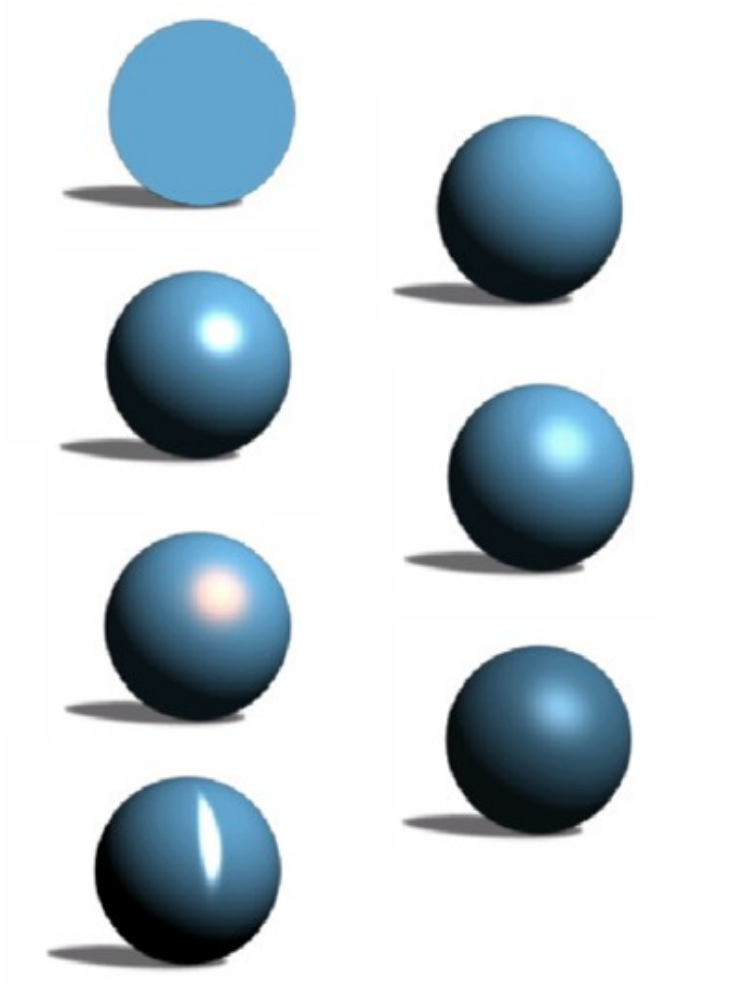

```
glEnable(GL_DEPTH_TEST);
while (!glfwWindowShouldClose(window)) {
  glClear(GL_COLOR_BUFFER_BIT | GL_DEPTH_BUFFER_BIT);
```

Osvětlovací modely

Výpočet barvy na povrchu těles

- Constant
- Lambert
- Phong
- Blinn
- Cook-Torrence
- Strauss
- Anisotropic

(kvalita vs. rychlost)



Konstantní shader

Ambientní složka zabraňuje tomu, aby povrchy odvrácené od světelných zdrojů byly zcela černé.

- pouze konstantní barva
- ignorují se normály
- stejná orientace ploch
- stejná vzdálenost

```
outColor = vec4( 0.385, 0.647, 0.812, 1.0 );
```

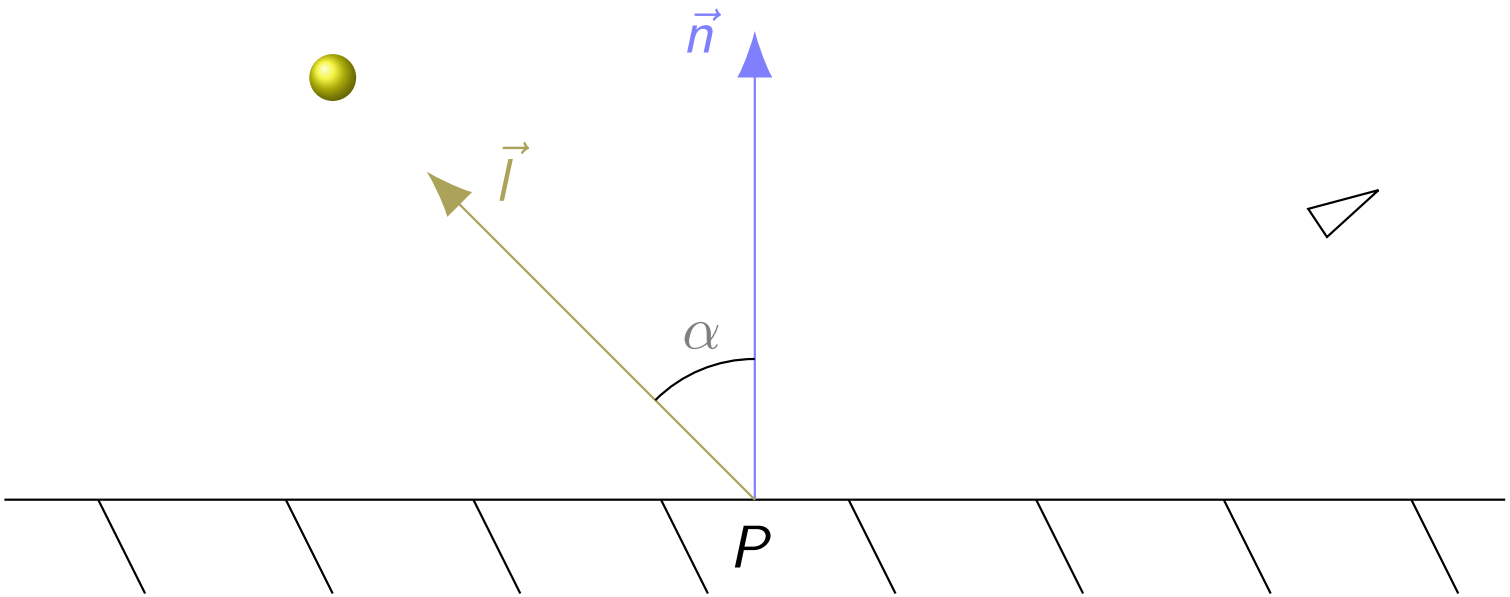
Lambertův shader

- ambientní a difúzní složka
- neobsahuje zrcadlovou složku
- matný povrch

```
I=max(dot(lightVector,worldNor), 0.0);
```

Lambertův shader

Intenzita světla je tím větší, čím je úhel mezi směrem ke světlu a normálou menší.




```
I=max(dot(lightVector,worldNor), 0.0);
```

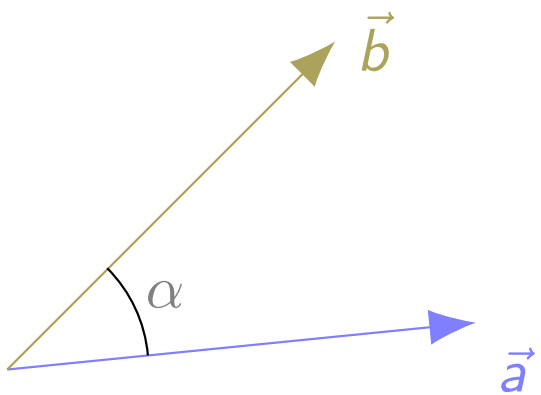
Skalární součin

Definuje se mezi dvěma vektory a zachycuje vztah mezi velikostí těchto vektorů a jejich úhlem.

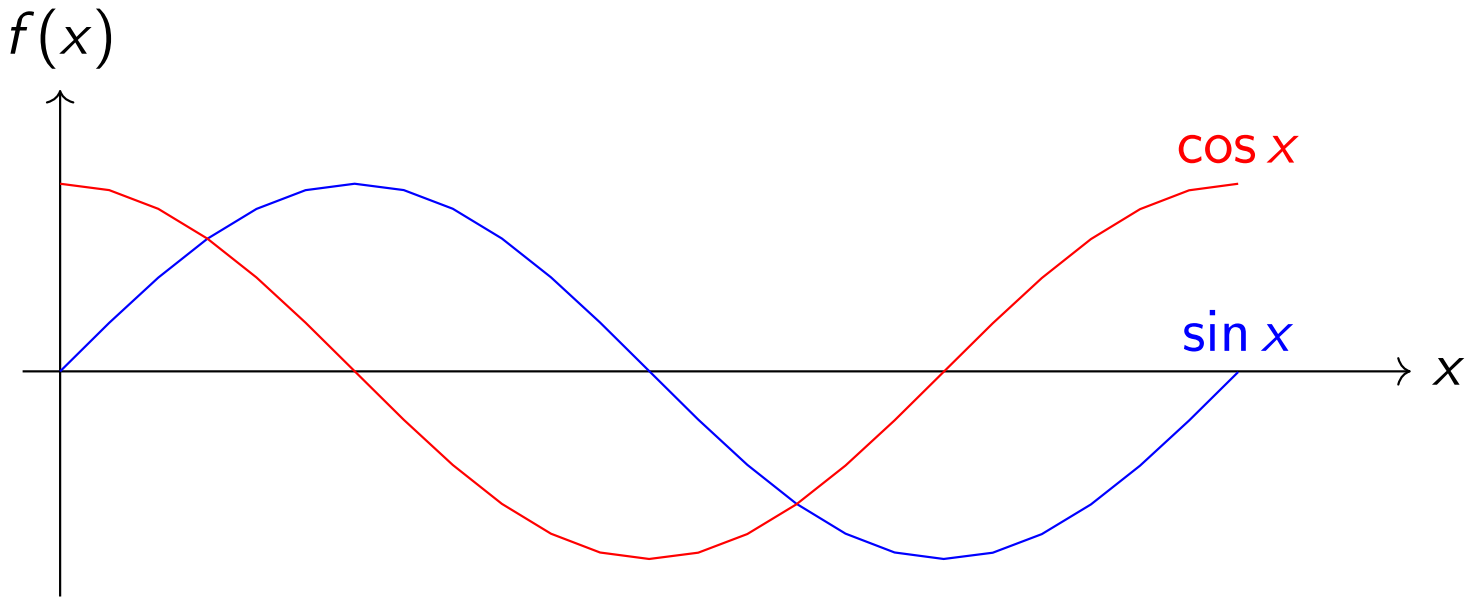
$$\vec{a} \cdot \vec{b} = |\vec{a}||\vec{b}| \cos \alpha$$

$$\vec{a} \cdot \vec{b} = a_1 b_1 + a_2 b_2 + a_3 b_3$$

$$\vec{a} \cdot \vec{b} = dot(\vec{n}, \vec{l})$$

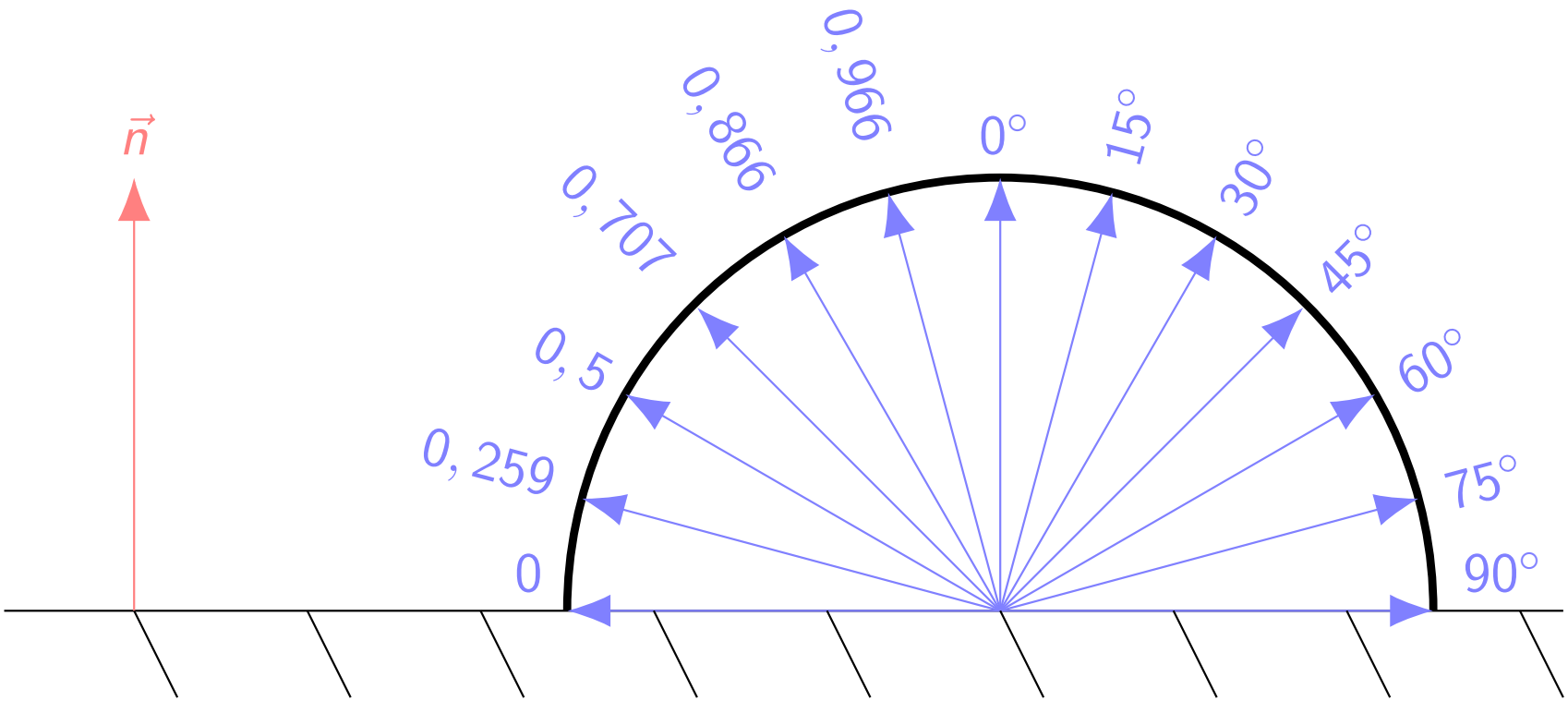


Funkce sinus a kosinus



Lambertův shader

Proč kosinus? Význam $(max(dot(\vec{n}, \vec{l}), 0)$.



Vertex shader

```
#version 400
layout(location = 0) in vec3 vp; //vertex position
layout(location = 1) in vec3 vn; //vertex normal

uniform mat4 model;
uniform mat4 view;
uniform mat4 projection;

out vec3 worldPos;
out vec3 worldNorm;

void main(void)
{
  worldPos = vec3(model * vec4(vp,1.0));
  worldNorm = vn; //problem
  gl_Position = projection * view * model * vec4(vp,1.0);
}
```

Lambert - Fragment shader

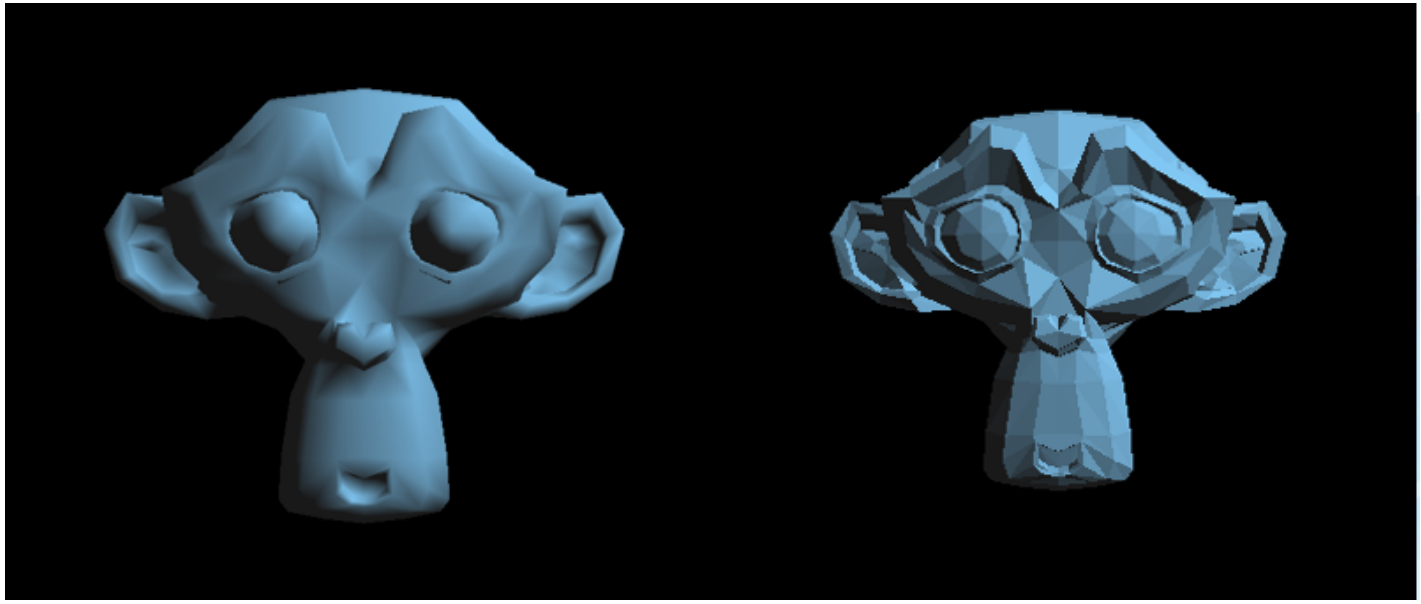
```
#version 400
in vec3 worldPos;
in vec3 worldNor;
out vec4 fragColor;

void main(void)
{
  vec3 lightPosition= vec3(10.0,10.0,10.0);
  vec3 lightDir = ?;

  float diff=
    max(dot(normalize(lightDir),normalize(worldNor))0.0);
  vec4 ambient=vec4(0.1,0.1,0.1,1.0);
  vec4 objectColor = vec4(0.385,0.647,0.812,1.0);
  fragColor=ambient + (diff * objectColor);
}
```

Lambertův shader

Rozdíl v nastavení Smooth vs. Flat?



Phongův shader

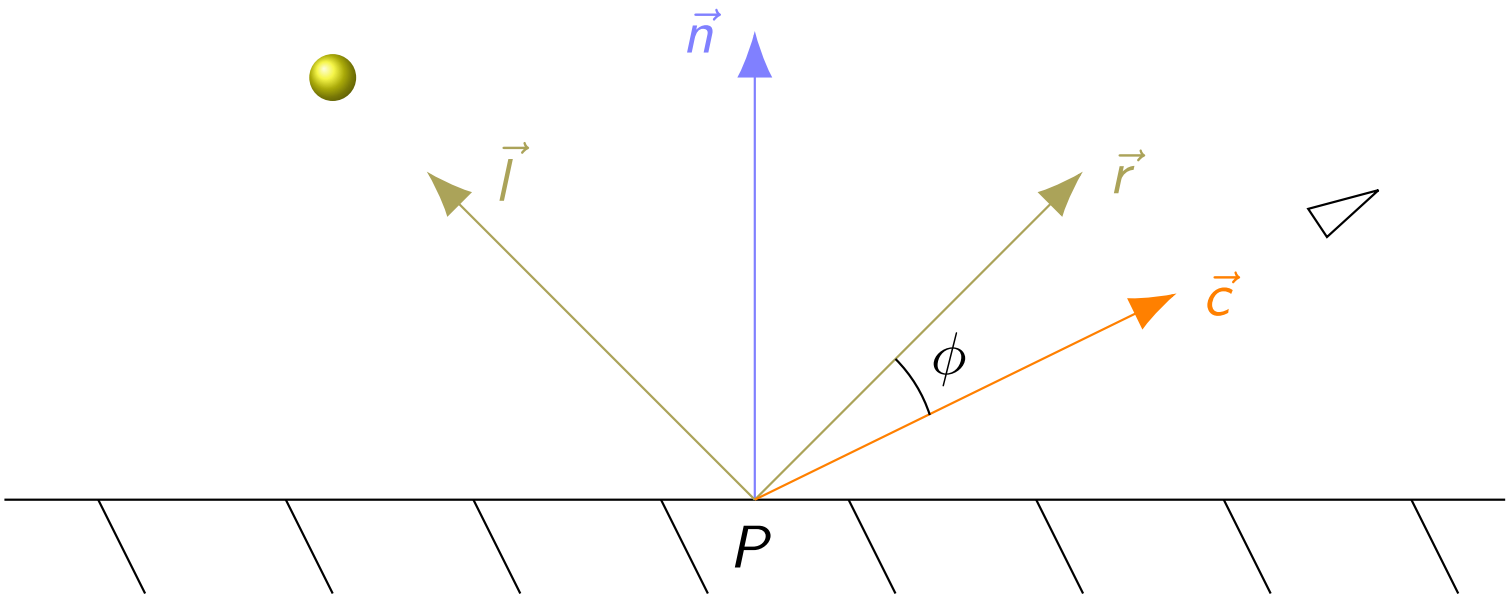
Phongův osvětlovací model navrhl v roce 1973 v rámci své disertační práce Bui Tuong Phong.

- Ambientní, difúzní a zrcadlová složka.
- Vytváří na povrchu odlesky.
- Empirický model, není založený na fyzice.

```
I=Ia+Id+Is;
```

Phongův shader

Zrcadlová složka je závislá na úhlu mezi odraženým paprskem $\vec{r}$ a směrem ke kameře $\vec{c}$.




```
Is=max(dot(reflect(light, normal),camera), 0.0);
```

Phong - Fragment shader

```
#version 400
in vec4 worldPos;
in vec3 worldNor;
out vec4 fragColor;

void main(void)
{

  vec3 reflectDir = reflect(-lightDir, norm);
  float spec= pow(max(dot(viewDir,reflectDir))0.0),32);

  //vec4 specular=specularStrength*spec*lightColor;;

  vec4 objectColor = vec4(0.385,0.647,0.812,1.0);
  //lze upravit I=Ia+Id+Is
  fragColor=ambient+(diff*objectColor)+
                    (spec * vec4(1.0,1.0,1.0,1.0));

}
```

Phongův osvětlovací model

Ambientní složka

$$I_{ambient} = I_a \cdot r_a$$

Difúzní složka

$$I_{diffuse} = I_d \cdot r_d \max(0, \vec{n} \cdot \vec{l})$$

Zrcadlová složka

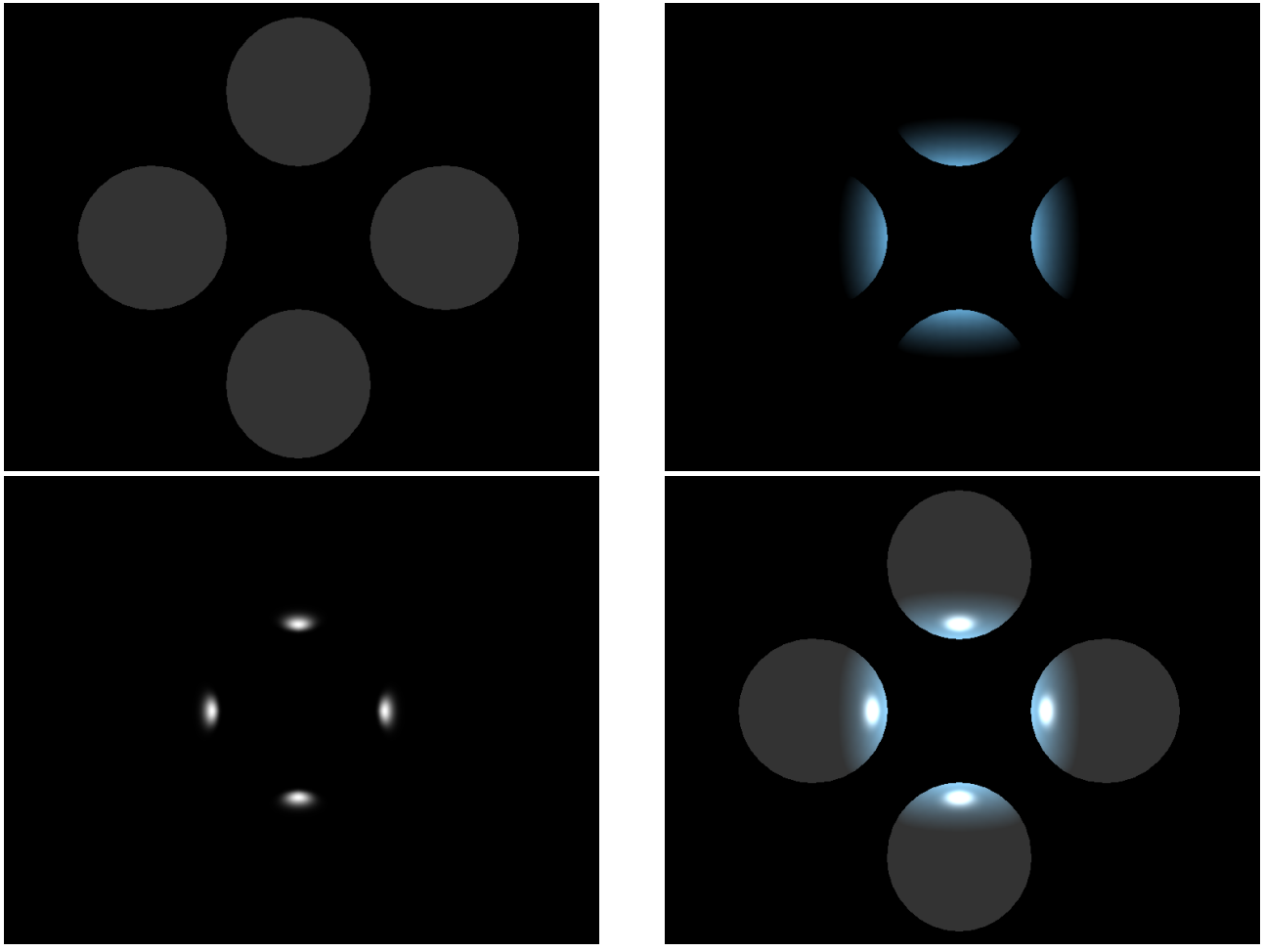
$$I_{specular} = I_s \cdot r_s \max(0, \vec{r} \cdot \vec{c})^s$$

Obecně lze osvětlovací model zapsat takto:

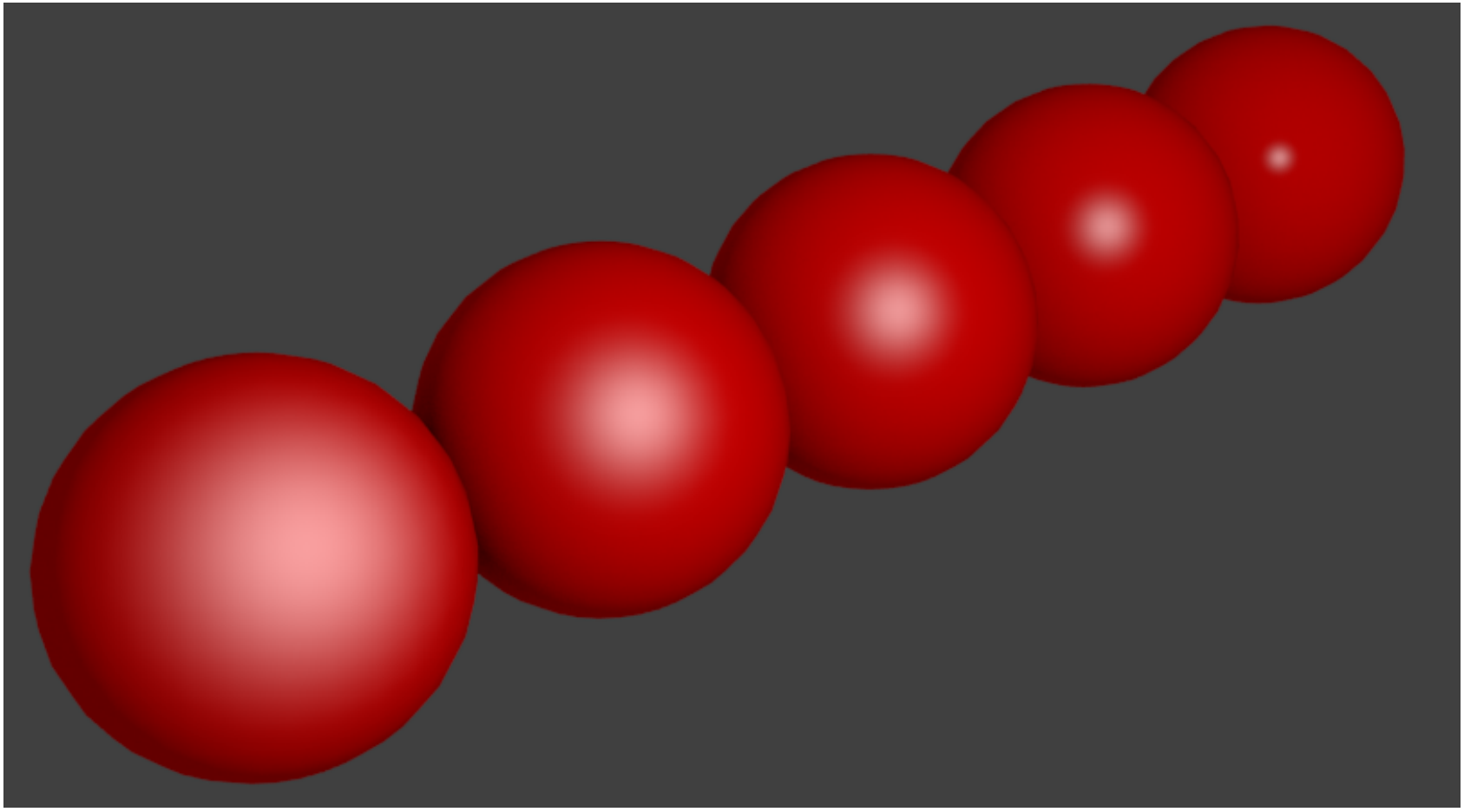
$$I = I_a r_a + \sum_{i=0}^{m} \left(I_{d,i} r_d \cos \alpha_i + I_{s,i} r_s \cos^h \phi_i \right)$$

$$I = I_a r_a + \sum_{i=0}^{m} \left(I_{d,i} r_d (\hat{l} \cdot \hat{n}) + I_{s,i} r_s (\hat{r} \cdot \hat{v})^h \right)$$

Phongův osvětlovací model

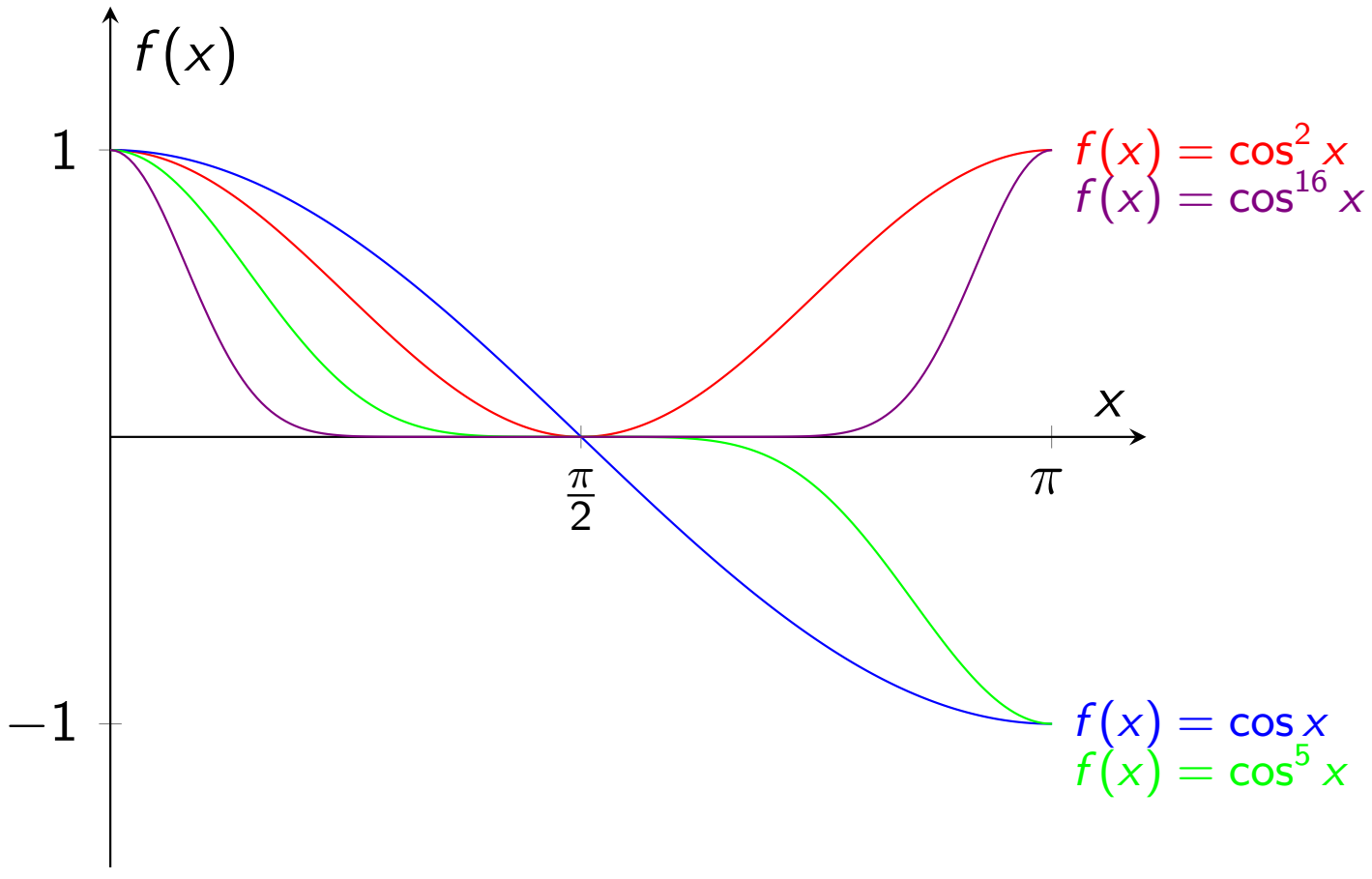


Shininess constant



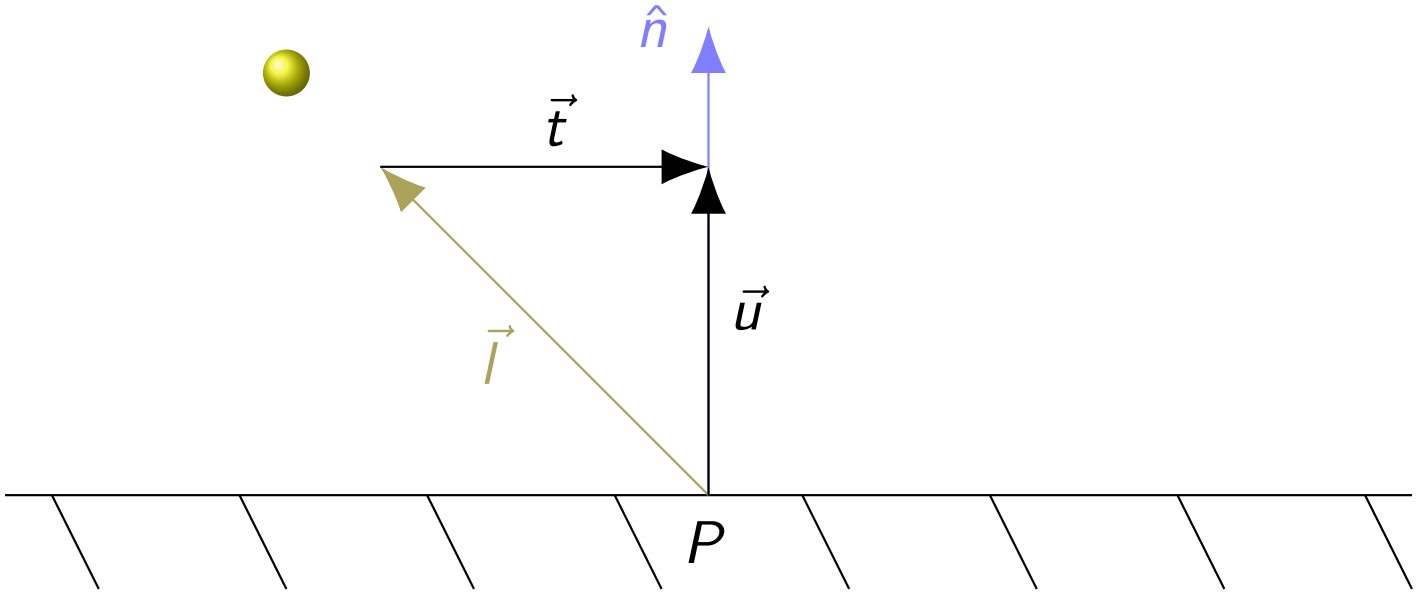
Shininess constant

Ukázka změny průběhu funkce kosinus s různými koeficienty.



Odražený paprsek

Odražený paprsek $\vec{r}$ (Reflection Vector) budeme potřebovat k výpočtu odraženého vektoru světla.



Nejprve si vypočteme vektor $\vec{u}$ jako projekci vektoru $\vec{l}$ na normálu $\vec{n}$. Následně si vypočteme vektor $\vec{t}$.

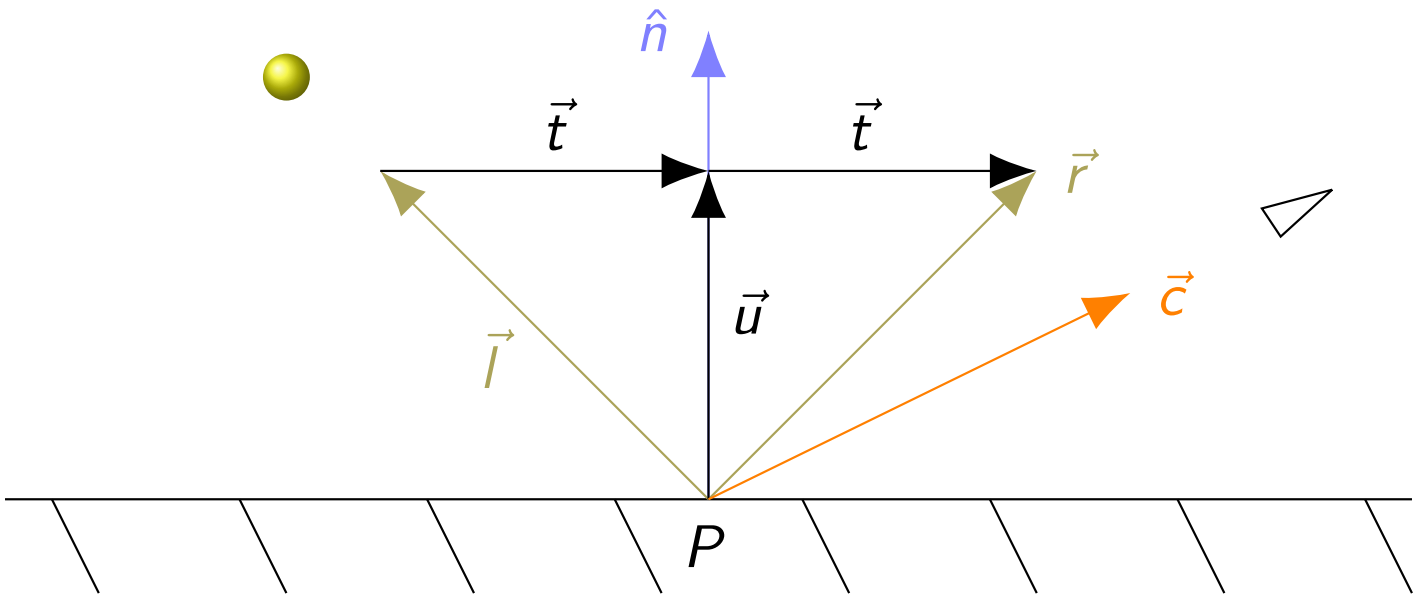
$$\vec{u} = (\hat{n} \cdot \vec{l})\hat{n}\,.$$

$$\vec{t} = \vec{u} - \vec{l}\,.$$

Odražený paprsek

Odražený paprsek $\vec{r}$ lze v případě normalizované normály (jednotkové) získat jako (pozor na správnou orientaci):

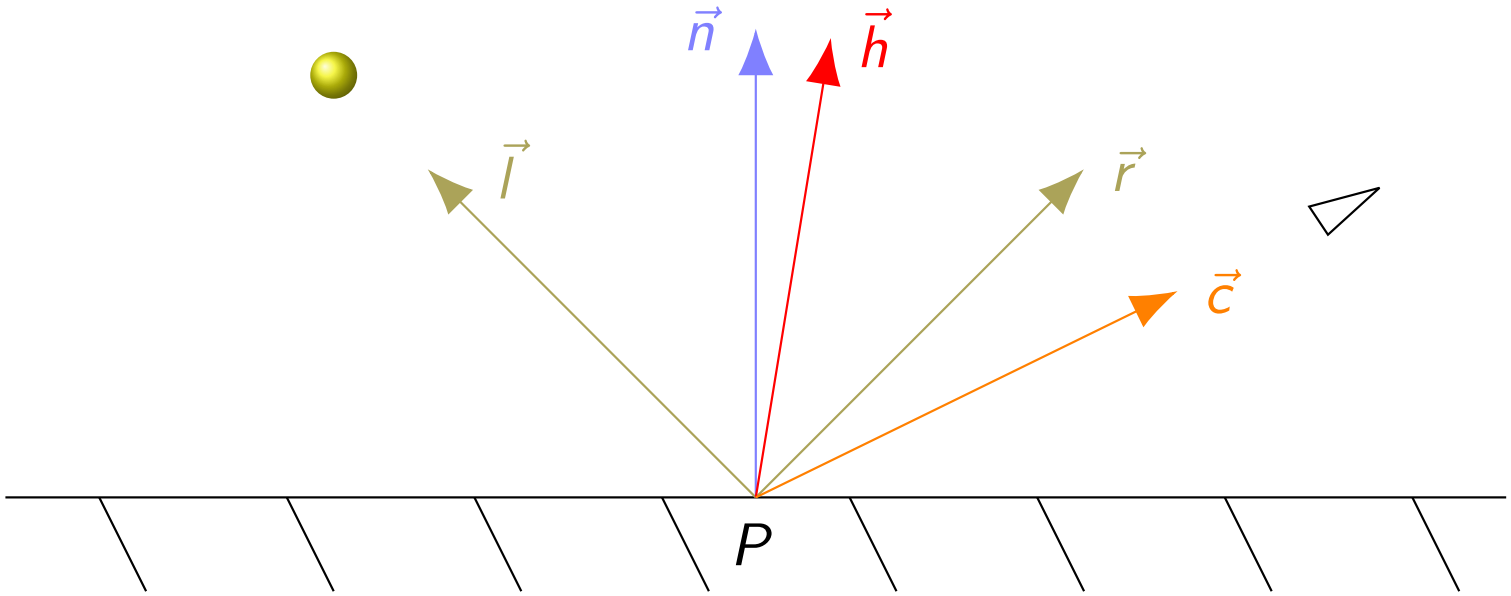
$$\vec{r} = \vec{l} + 2\vec{t} = \vec{l} + 2(\hat{n} \cdot \vec{l})\hat{n}\,.$$



V GLSL máme funkci *reflect(genType I, genType N);*

Blinn–Phong reflection model

James F. Blinn upravil v roce 1977 výpočet osvětlovacího modelu.



$$\vec{h} = \frac{\vec{l} + \vec{c}}{|\vec{l} + \vec{c}|}$$

```
vec3 halfwayDir = normalize(lightDir + viewDir);
```

$$I_{specular} = I_d \cdot r_d \max\left(0, (\vec{n} \cdot \vec{h})\right)^s$$

Light attenuation

Obecně se vychází z toho, že intenzita klesá s druhou mocninou vzdálenosti od světelného zdroje.

$$f_{att}(d) = \frac{1}{k_c + k_l d + k_q d^2}$$

Hodnoty nejsou předem dané, upravujeme je podle požadavků na výslednou scénu.

```
glLightfv(GL_LIGHT0, GL_CONSTANT_ATTENUATION, 2.0);
glLightfv(GL_LIGHT0, GL_LINEAR_ATTENUATION, 2.0);
glLightfv(GL_LIGHT0, GL_QUADRATIC_ATTENUATION, 2.0);
```

Konstantní, Gouraudovo a Phongovo stínování

Stínování popisuje to, jak se nanáší barva na jednotlivé plochy

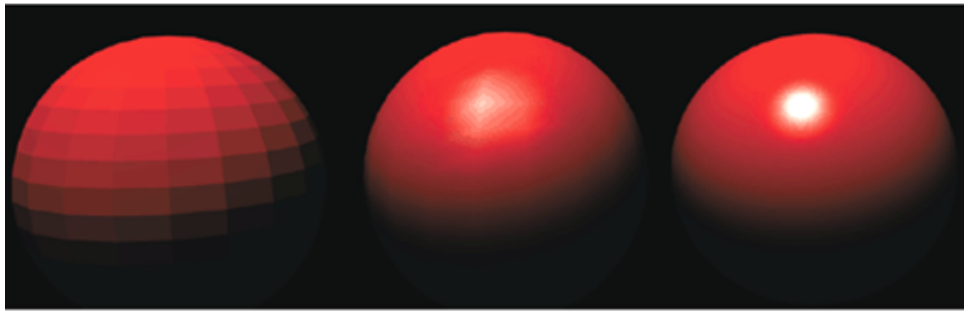
- Konstantní - jednoduchá a rychlá metoda, používaná pro náhled, vypočítám intenzitu (osvětlovací model) v jednom bodě a použiji pro celou plochu.
- Gouraudovo stínování - vypočítám intenzitu ve vrcholech a pak interpoluji na celé ploše.
- Phongovo stínování - intenzitu (osvětlovací model) určuji v každém bodě samostatně.

Jak by to fungovalo v našem vertex a fragment shaderu?

Konstantní, Gouraudovo a Phongovo stínování

Stínování popisuje to, jak se nanáší barva na jednotlivé plochy.

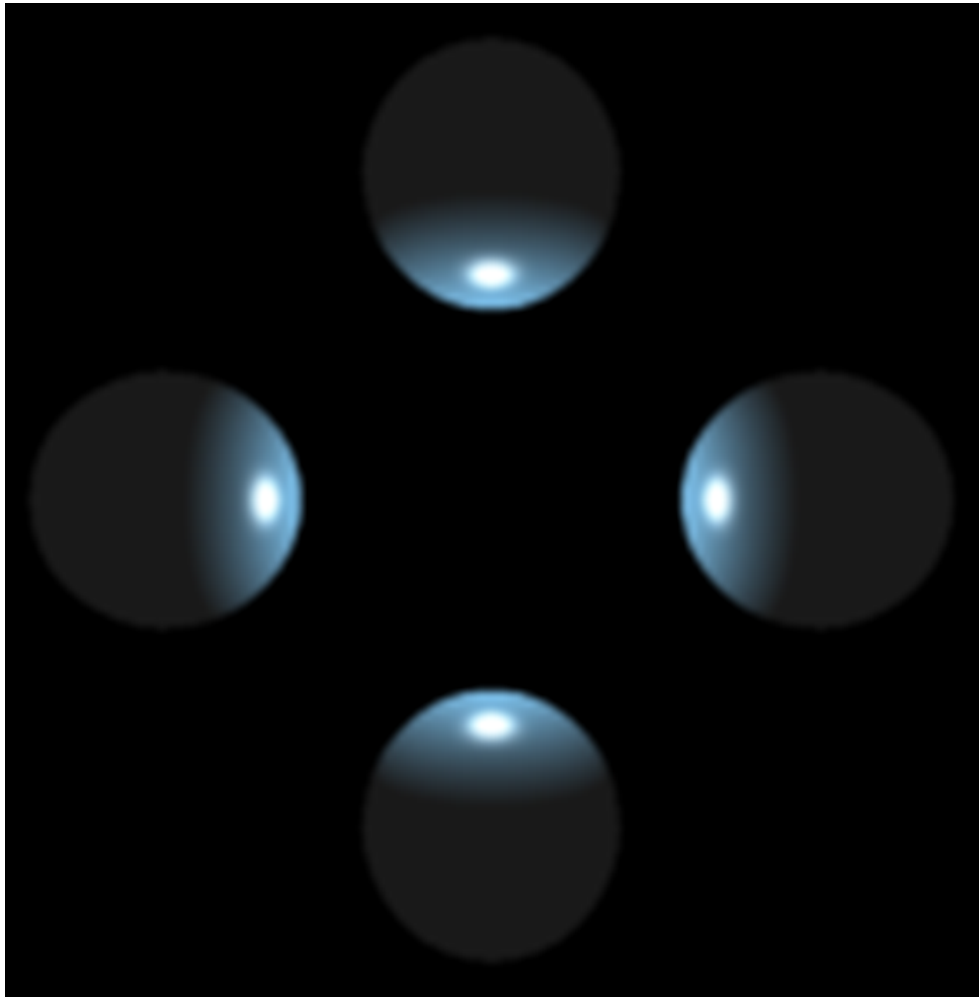
From Computer Desktop Encyclopedia
Reproduced with permission.
© 2001 Intergraph Computer Systems



Příprava scény na testování

Světlo v [0,0,0], čtyři kulové plochy souměrně rozmístěny a kamera nad objekty.

Problém s transformaci normály (normálová matice) ... příště na přednášce



Závěr

Dotazy?