

Matematyczne Podstawy Grafiki Komputerowej. Podstawy oświetlenia

Aleksander Denisiuk
Uniwersytet Warmińsko-Mazurski
Olsztyn, ul. Słoneczna 54
denisjuk@matman.uwm.edu.pl

Podstawy oświetlenia

Oświetlenie

Cieniowanie

Trzy rodzaje światła

Najnowsza wersja tego dokumentu dostępna jest pod adresem

<http://wmii.uwm.edu.pl/~denisjuk/uwm>

Oświetlenie

- ❖ Opcje oświetlenia i cieniowania

- ❖ Oświetlenie Phong

- ❖ Światło rozproszone

- ❖ Światło zwierciadlane

- ❖ Światła otoczenia i emitowane

- ❖ Wektor normalny

Cieniowanie

Trzy rodzaje światła

Oświetlenie

Opcje oświetlenia i cieniowania

Oświetlenie

❖ Opcje oświetlenia i cieniowania

❖ Oświetlenie Phonga

❖ Światło rozproszone

❖ Światło zwierciadlane

❖ Światła otoczenia i emitowane

❖ Wektor normalny

Cieniowanie

Trzy rodzaje światła

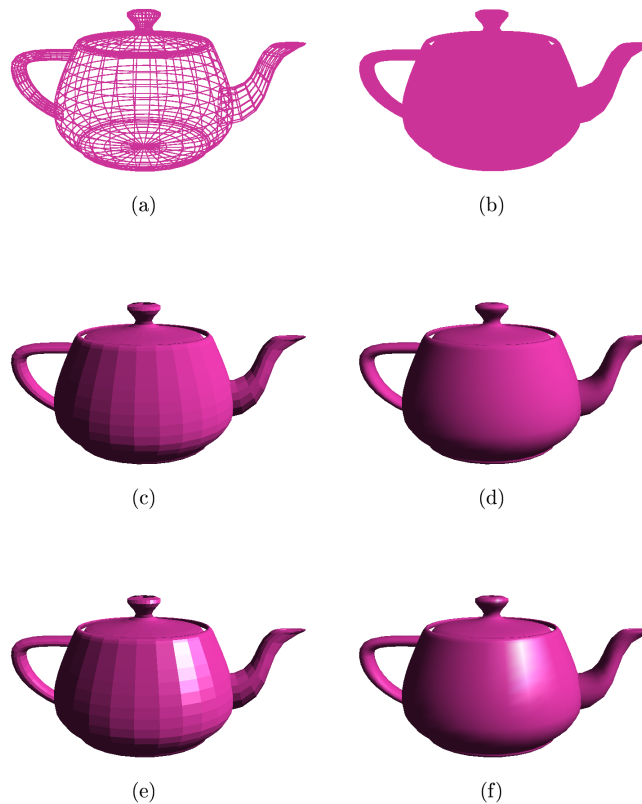


Figure III.1: Six teapots with various shading and lighting options. (a) Wire-frame teapot. (b) Teapot drawn with solid color, but no lighting or shading. (c) Teapot with flat shading, with only ambient and diffuse lighting. (d) Teapot drawn with Gouraud interpolation, with only ambient and diffuse reflection. (e) Teapot drawn with flat shading, with ambient, diffuse, and specular lighting. (f) Teapot with Gouraud shading, with ambient, diffuse, and specular lighting. See color plate C.4.

Oświetlenie Phong

Oświetlenie

- ❖ Opcje oświetlenia i cieniowania

- ❖ Oświetlenie Phong

- ❖ Światło rozproszone

- ❖ Światło zwierciadlane

- ❖ Światła otoczenia i emitowane

- ❖ Wektor normalny

Cieniowanie

Trzy rodzaje światła

- Model odbicia światła
- Źródło światła — punkt
- Światło ma trzy składowe, $RGB(\alpha)$

Odbicie rozproszone

- zabarwia światło na kolor przypisany do obiektu

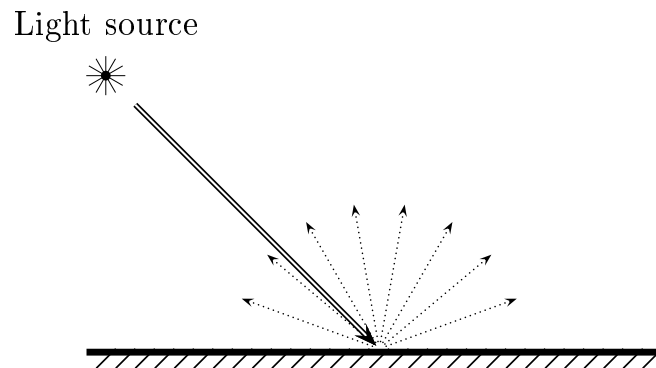


Figure III.2: Diffusely reflected light is reflected equally brightly in all directions. The double line is a beam of incoming light. The dotted arrows indicate outgoing light.

Oświetlenie

- ❖ Opcje oświetlenia i cieniowania

- ❖ Oświetlenie Phong

- ❖ Światło rozproszone

- ❖ Światło zwierciadlane

- ❖ Światła otoczenia i emitowane

- ❖ Wektor normalny

Cieniowanie

Trzy rodzaje światła

Odbicie zwierciadlane

Oświetlenie

- ❖ Opcje oświetlenia i cieniowania

- ❖ Oświetlenie Phong

- ❖ Światło rozproszone

- ❖ Światło zwierciadlane

- ❖ Światła otoczenia i emitowane

- ❖ Wektor normalny

Cieniowanie

Trzy rodzaje światła

- Światło nie zmienia swojej barwy

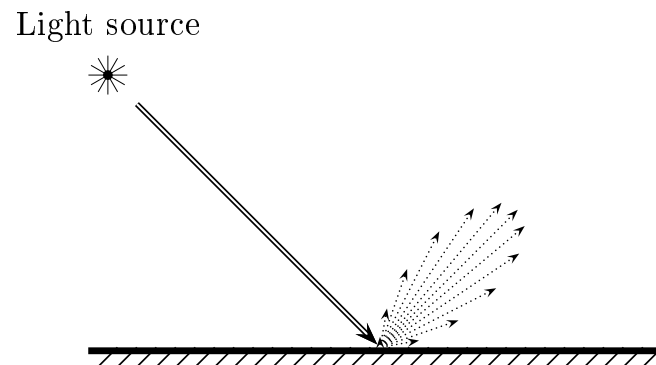


Figure III.3: Specularly reflected light is reflected primarily in the direction with the angle of incidence equal to the angle of reflection. The double line is a beam of incoming light. The dotted arrows indicate outgoing light; the longer the arrow, the more intense the reflection in that direction.

Światło, docierające do obserwatora

Oświetlenie

❖ Opcje oświetlenia i cieniowania

❖ Oświetlenie Phonga

❖ Światło rozproszone

❖ Światło zwierciadlane

❖ Światła otoczenia i emitowane

❖ Wektor normalny

Cieniowanie

Trzy rodzaje światła

- Światło odbijane zwierciadlane: I_s .
- Światło rozproszone: I_d .
- Światło otoczenia: I_a .
- Światło emitowane powierzchnią: I_e .

$$I = I_s + I_d + I_a + I_e$$

Cztery składowe światła

Oświetlenie

- ❖ Opcje oświetlenia i cieniowania

❖ Oświetlenie Phong

- ❖ Światło rozproszone

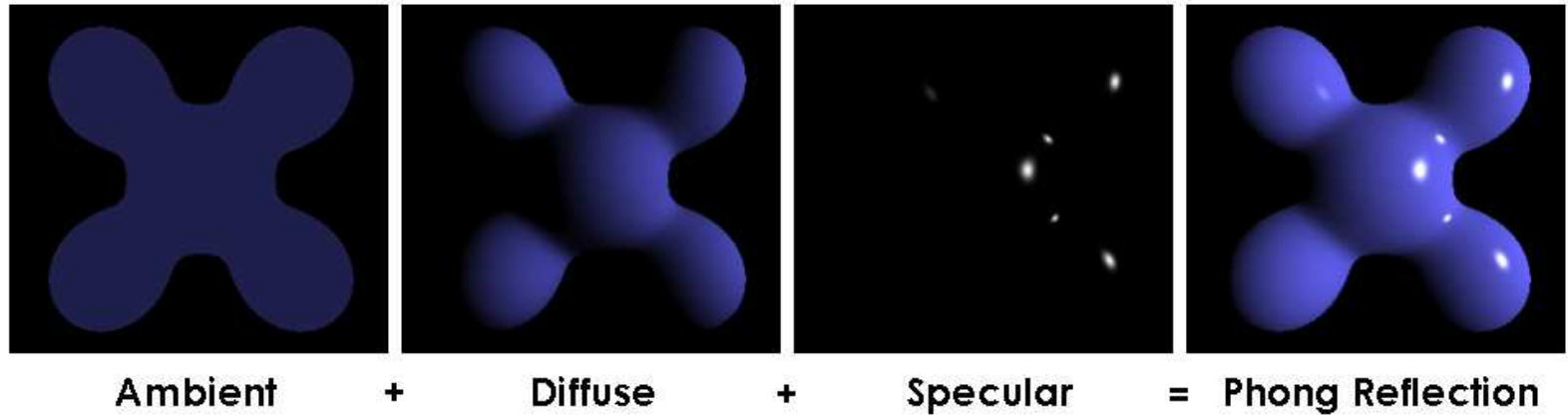
- ❖ Światło zwierciadlane

- ❖ Światła otoczenia i emitowane

- ❖ Wektor normalny

Cieniowanie

Trzy rodzaje światła



Światło rozproszone

Oświetlenie

- ❖ Opcje oświetlenia i cieniowania

- ❖ Oświetlenie Phonga

- ❖ Światło rozproszone

- ❖ Światło zwierciadlane

- ❖ Światła otoczenia i emitowane

- ❖ Wektor normalny

Cieniowanie

Trzy rodzaje światła

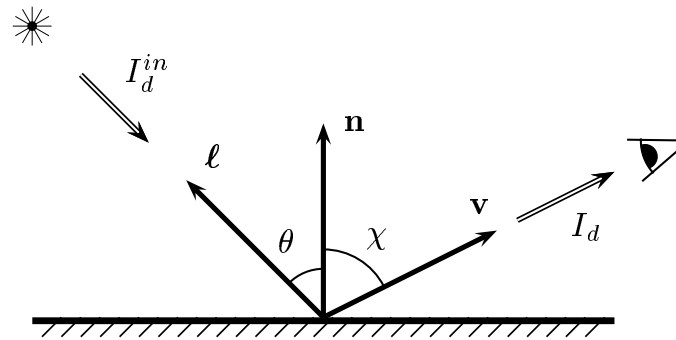


Figure III.5: The setup for diffuse reflection in the Phong model. The angle of incidence is θ . I_d^{in} and I_d are the incoming and outgoing light intensities in the indicated directions.

● Model Lamberta

- ◆ $I_d = \rho_d I_d^{in} \cos \theta$

- ◆ $\cos \theta = \mathbf{l} \cdot \mathbf{n}$

- $|\mathbf{l}| = |\mathbf{n}| = 1$

Światło odbijane zwierciadlanie

Oświetlenie

❖ Opcje oświetlenia i cieniowania

❖ Oświetlenie Phonga

❖ Światło rozproszone

❖ Światło zwierciadlane

❖ Światła otoczenia i emitowane

❖ Wektor normalny

Cieniowanie

Trzy rodzaje światła

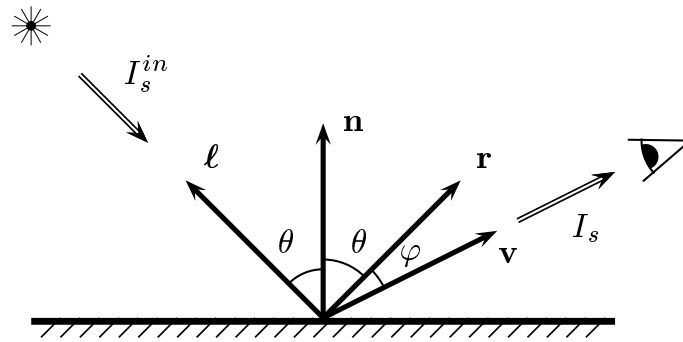


Figure III.7: The setup for specular reflection in the Phong model. The angle of incidence is θ . The vector \mathbf{r} points in the direction of perfect mirror-like reflection. I_s^{in} and I_s are the incoming and outgoing specular light intensities in the indicated directions.

- $I_s = \rho_s I_s^{In} (\cos \varphi)^f$
 - ◆ $\cos \varphi = \mathbf{r} \cdot \mathbf{v}$
 - ◆ $\mathbf{r} = -\mathbf{l} + 2(\mathbf{l} \cdot \mathbf{n})\mathbf{n}$

Światła otoczenia i emitowane

Oświetlenie

❖ Opcje oświetlenia i cieniowania

❖ Oświetlenie Phong

❖ Światło rozproszone

❖ Światło zwierciadlane

❖ Światła otoczenia i emitowane

❖ Wektor normalny

Cieniowanie

Trzy rodzaje światła

$$I_a = \rho_a I_a^{In}$$

$$I_e = \text{Const}$$

Obliczanie wektora normalnego

Oświetlenie

- ❖ Opcje oświetlenia i cieniowania

- ❖ Oświetlenie Phong

- ❖ Światło rozproszone

- ❖ Światło zwierciadlane

- ❖ Światła otoczenia i emitowane

❖ Wektor normalny

Cieniowanie

Trzy rodzaje światła

- trójkąt: iloczyn wektorowy

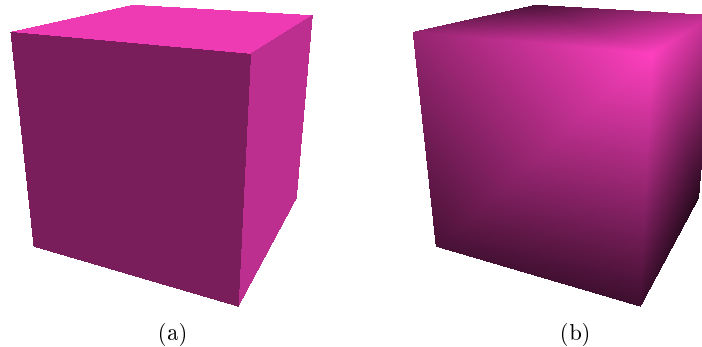


Figure III.9: Two cubes with (a) normals at vertices perpendicular to each face, and (b) normals outward from the center of the cube. Note that (a) is rendered with Gouraud shading, not flat shading. See color plate C.5.

- powierzchnia określona równaniem $F(x, y, z) = 0$
 - ◆ $\mathbf{m} = \nabla F = (\partial F / \partial x, \partial F / \partial y, \partial F / \partial z)$
- powierzchnia parametryzowana
 $P(u, v) = (x(u, v), y(u, v), z(u, v))$
 - ◆ $\mathbf{u} = \partial P / \partial u, \mathbf{v} = \partial P / \partial v, \mathbf{m} = \mathbf{u} \times \mathbf{v}$

Oświetlenie

Cieniowanie

❖ Cieniowanie
płaskie

❖ Cieniowanie
Gourauda

❖ Cieniowanie
Phonga

❖ Normalizacja
wektorów

Trzy rodzaje światła

Cieniowanie

Cieniowanie płaskie (flat)

Oświetlenie

Cieniowanie

❖ Cieniowanie
płaskie

❖ Cieniowanie
Gourauda

❖ Cieniowanie
Phonga

❖ Normalizacja
wektorów

Trzy rodzaje światła

- Każdy bok ma swój kolor



Cieniowanie Gourauda

Oświetlenie

Cieniowanie

❖ Cieniowanie płaskie

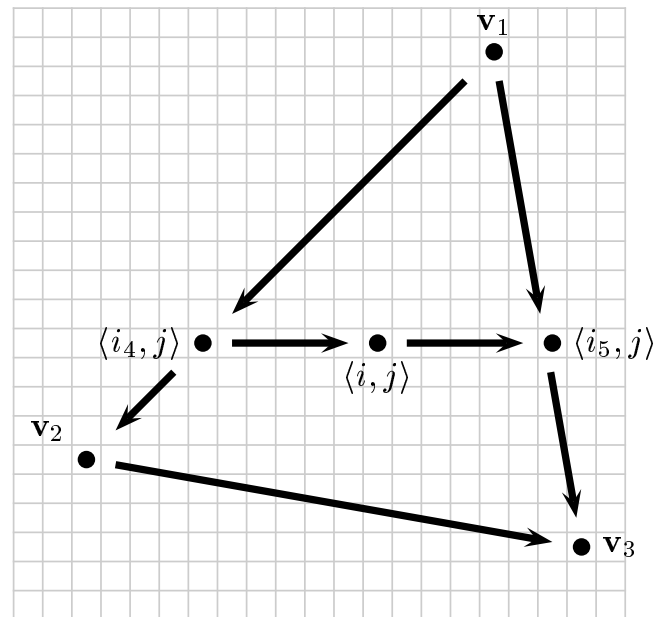
❖ Cieniowanie Gourauda

❖ Cieniowanie Phonga

❖ Normalizacja wektorów

Trzy rodzaje światła

- Oblicza się oświetlenie w wierzchołkach.
- Interpoluje się na całą powierzchnię wieloboku.



Cieniowanie Gourauda

Oświetlenie

Cieniowanie

❖ Cieniowanie
płaskie

❖ Cieniowanie
Gourauda

❖ Cieniowanie
Phonga

❖ Normalizacja
wektorów

Trzy rodzaje światła

- Można stracić światło odbijane zwierciadlane na **dużych wielobokach**. (Stosuje się podział na **mniejsze wieloboki**.)
- Może w ogóle nie zauważyć światła na szerokiej ścianie.

Cieniowanie Gourauda

Oświetlenie

Cieniowanie

❖ Cieniowanie
płaskie

❖ Cieniowanie
Gourauda

❖ Cieniowanie
Phonga

❖ Normalizacja
wektorów

Trzy rodzaje światła

- Dobrze działa w wielu przypadkach.
- Łatwo do implementacji zarówno programowej jak i sprzętowej.
- Jest rozpowszechnione.

Cieniowanie Phong

Oświetlenie

Cieniowanie

❖ Cieniowanie płaskie

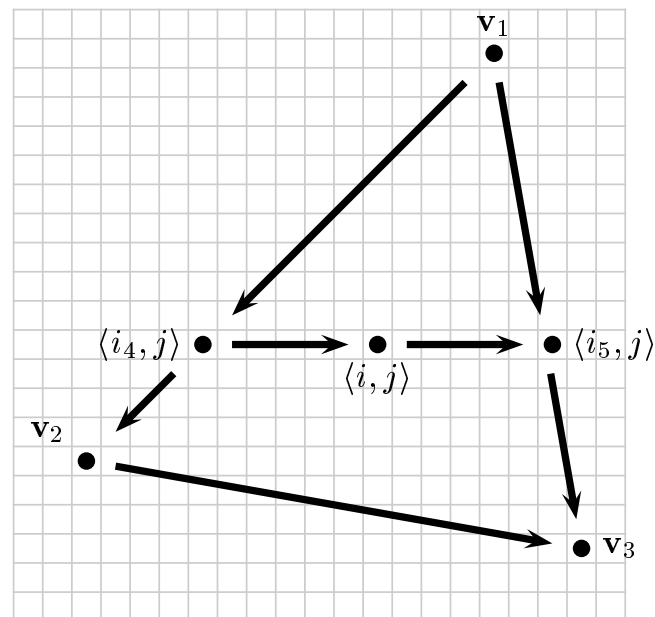
❖ Cieniowanie Gourauda

❖ Cieniowanie Phong

❖ Normalizacja wektorów

Trzy rodzaje światła

- Oblicza się wektor normalny w wierzchołkach.
- Wektor normalny interpoluje się na całą powierzchnię wieloboku.
- Na tej podstawie oblicza się kolor w każdym pikselu



Cieniowanie Phong

Oświetlenie

Cieniowanie

❖ Cieniowanie płaskie

❖ Cieniowanie Gourauda

❖ Cieniowanie Phong

❖ Normalizacja wektorów

Trzy rodzaje światła

- Kosztowne obliczenia: $n_{\alpha} = \frac{\alpha n_1 + (1-\alpha)n_0}{\|\alpha n_1 + (1-\alpha)n_0\|}$.
- Cała informacja o kolorach i kierunkach światła powinna przechowywać się do ostatniej stadii obliczeń.
- Interpolacja we współrzędnych ekranowych: mogą wystąpić nieporządane efekty przy projekcji perspektywicznej.

Cieniowanie Phong

Oświetlenie

Cieniowanie

❖ Cieniowanie płaskie

❖ Cieniowanie Gourauda

❖ Cieniowanie Phong

❖ Normalizacja wektorów

Trzy rodzaje światła

- Małe odbicia zwierciadlane się nie gubią na dużych wielobokach.



Normalizacja wektorów

Oświetlenie

Cieniowanie

❖ Cieniowanie płaskie

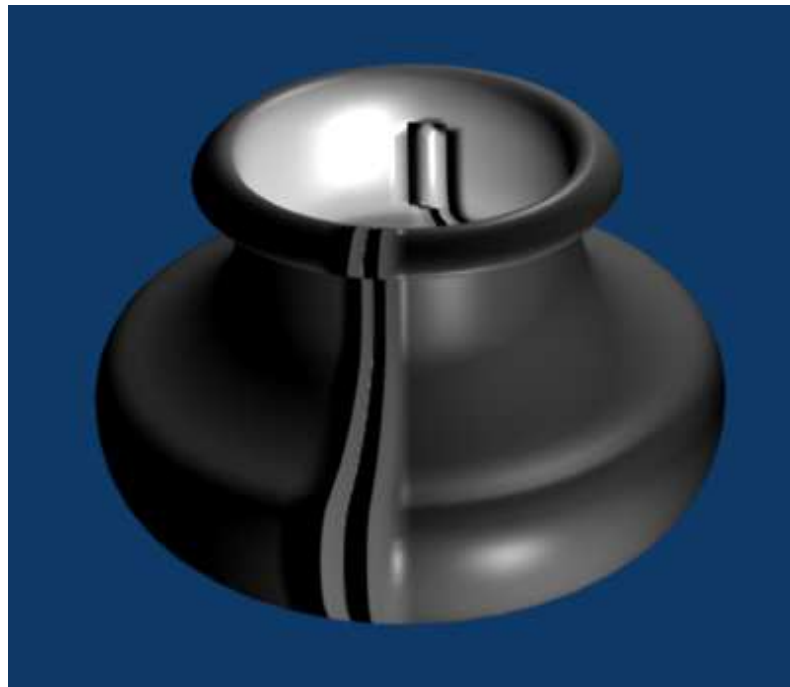
❖ Cieniowanie Gourauda

❖ Cieniowanie Phonga

❖ Normalizacja wektorów

Trzy rodzaje światła

- Domyślnie każdy wektor *jednostkowy* powinien być normalizowany.
- Jeżeli macierz przekształcenia zawiera skalowanie, wektory należy normalizować.



Oświetlenie

Cieniowanie

Trzy rodzaje światła

- ❖ Trzy światła
- ❖ Światło punktowe
- ❖ Światło kierunkowe (Sun)
- ❖ Światło spot

Trzy rodzaje światła

Światło punktowe z tłumieniem

Oświetlenie

Cieniowanie

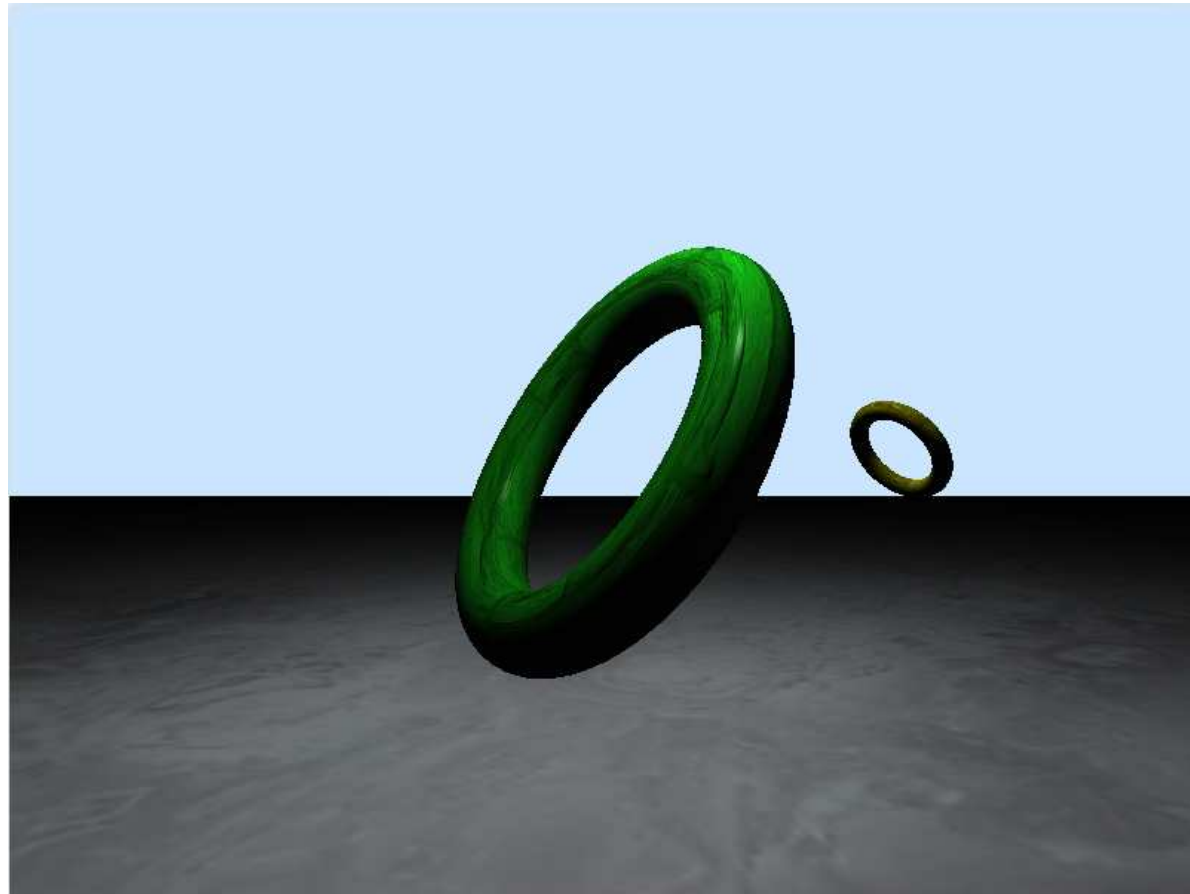
Trzy rodzaje światła

❖ Trzy światła

❖ Światło punktowe

❖ Światło
kierunkowe (Sun)

❖ Światło spot



Światło kierunkowe

Oświetlenie

Cieniowanie

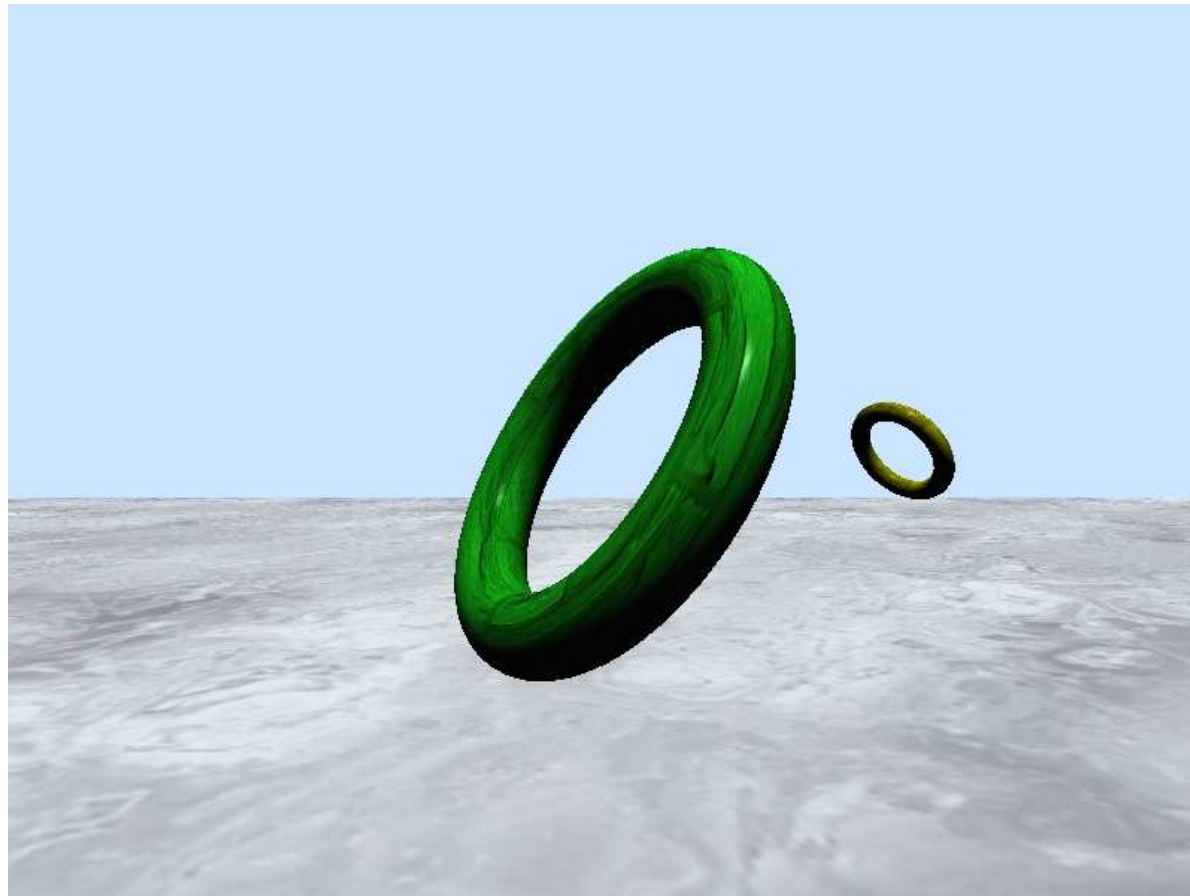
Trzy rodzaje światła

❖ Trzy światła

❖ Światło punktowe

❖ Światło kierunkowe (Sun)

❖ Światło spot



Światło spot

Oświetlenie

Cieniowanie

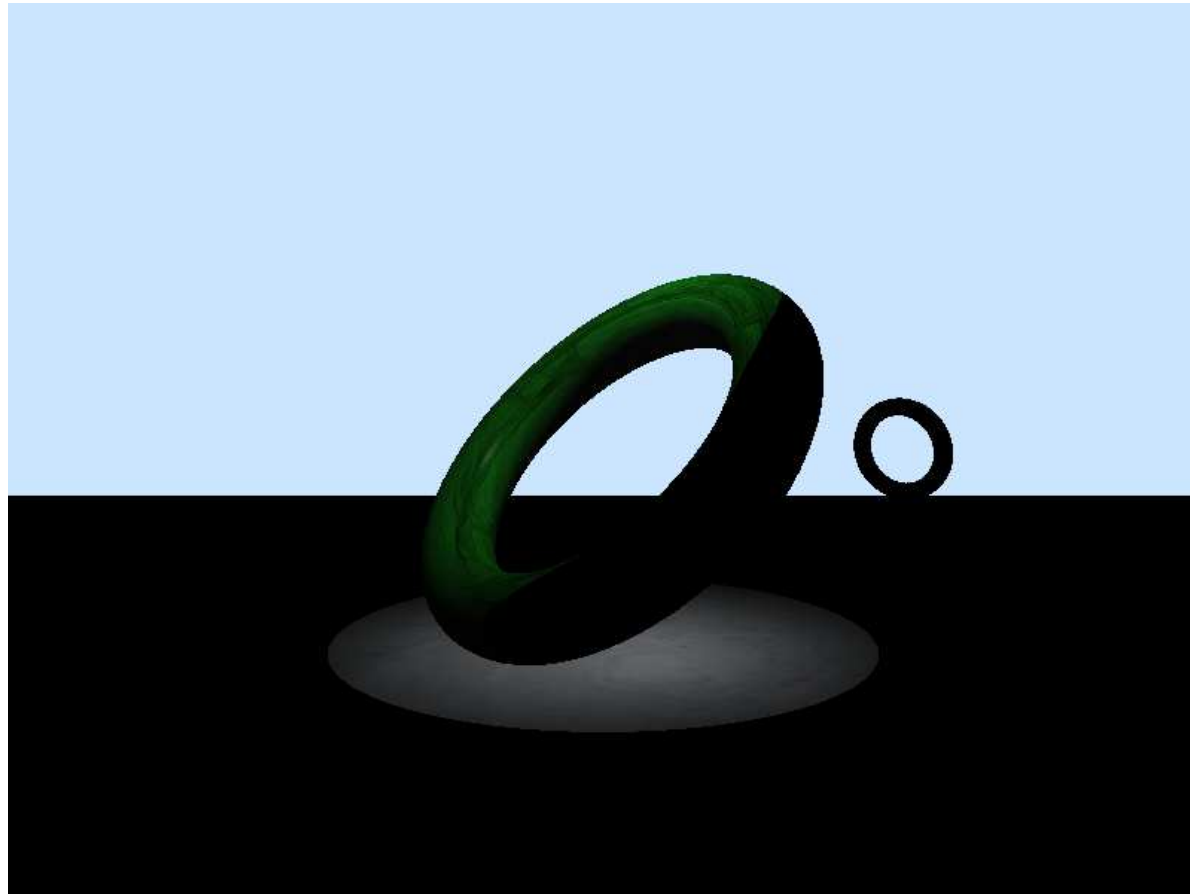
Trzy rodzaje światła

❖ Trzy światła

❖ Światło punktowe

❖ Światło
kierunkowe (Sun)

❖ Światło spot



Światło punktowe

Oświetlenie

Cieniowanie

Trzy rodzaje światła

❖ Trzy światła

❖ Światło punktowe

❖ Światło kierunkowe (Sun)

❖ Światło spot

- $I = I_s + I_d + I_a + I_e$
 - ◆ $I_d = \rho_d I_d^{In} \cos \theta$
 - ◆ $I_s = \rho_s I_s^{In} (\cos \varphi)^f$
 - ◆ $I_a = \rho_a I_a^{In}$
 - ◆ $I_e = \text{Const}$

- Tłumienie światła

- ◆ współczynnik tłumienia

$$a = \frac{1}{a_0 + a_1 d + a_2 d^2},$$

- ◆ gdzie d jest odległością od źródła światła

Światło kierunkowe (Sun)

Oświetlenie

Cieniowanie

Trzy rodzaje światła

❖ Trzy światła

❖ Światło punktowe

❖ Światło
kierunkowe (Sun)

❖ Światło spot

- jak światło punktowe
- źródło światła umieszczone jest w nieskończoności
- $(x_0, y_0, z_0, 0)$

Światło spot

Oświetlenie

Cieniowanie

Trzy rodzaje światła

❖ Trzy światła

❖ Światło punktowe

❖ Światło kierunkowe (Sun)

❖ Światło spot

- jak światło punktowe
- kierunek
- kąt obcinania (cutoff), ψ_0
- wskaźnik tłumienia, p
-

$$I = \begin{cases} I_0(\cos \psi)^p, & \text{jeżeli } \psi < \psi_0 \\ 0 & \end{cases}$$

- ◆ Uwaga: $\psi < \psi_0 \iff \cos \psi > \cos \psi_0$
- ◆ Do shadera prześlemy cosinus (czemu?)