Modelowanie i wizualizowanie 3W-grafiki

Oświetlenie i cieniowanie

Aleksander Denisiuk

denisjuk@matman.uwm.edu.pl

Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie

Wydział Matematyki i Informatyki

ul. Słoneczna 54

10-561 Olsztyn

Oświetlenie i cieniowanie

Najnowsza wersja tego dokumentu dostępna jest pod adresem `http://wmii.uwm.edu.pl/~denisjuk/uwm`

Opcje oświetlenia i cienia

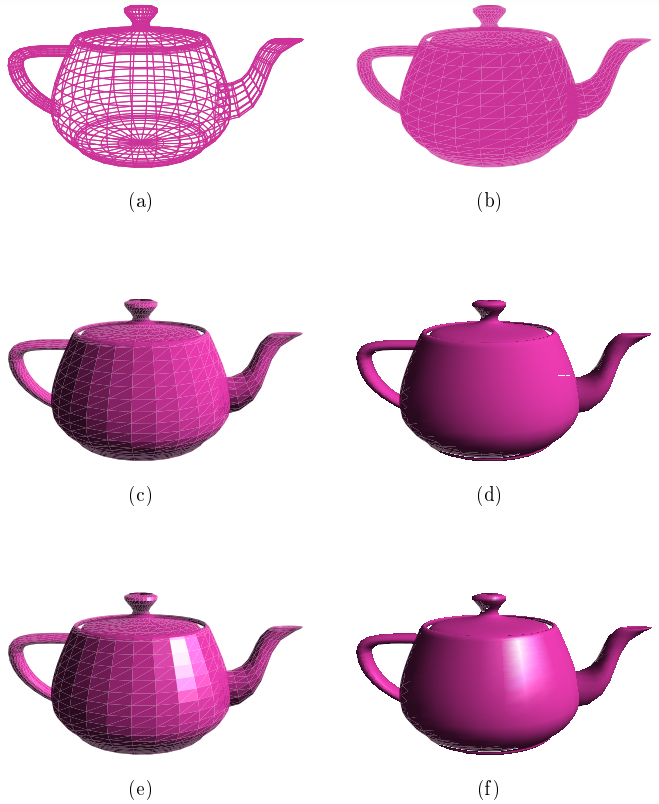


Figure III.1: Six teapots with various shading and lighting options. (a) Wireframe teapot. (b) Teapot drawn with solid color, but no lighting or shading. (c) Teapot with flat shading, with only ambient and diffuse lighting. (d) Teapot drawn with Gouraud interpolation, with only ambient and diffuse reflection. (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 Phonga

- Model odbicia światła
- Źródło światła — punkt
- Światło ma trzy składowe, RGB

Odbicie rozproszone

zabarwia światło na kolor przypisany do obiektu.

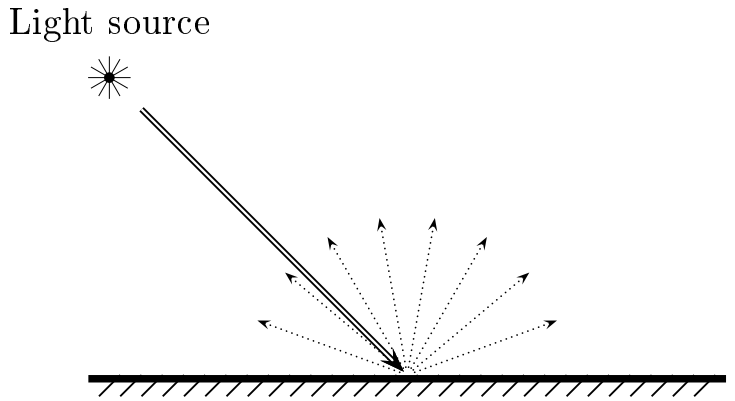


Figure III.2: Diffusely reflected light is reflected equally brightly in all directions. The double line is a beam of incoming light. The dotted arrows indicate outgoing light.

Odbicie zwierciadlane

Światło nie zmienia swojej barwy.

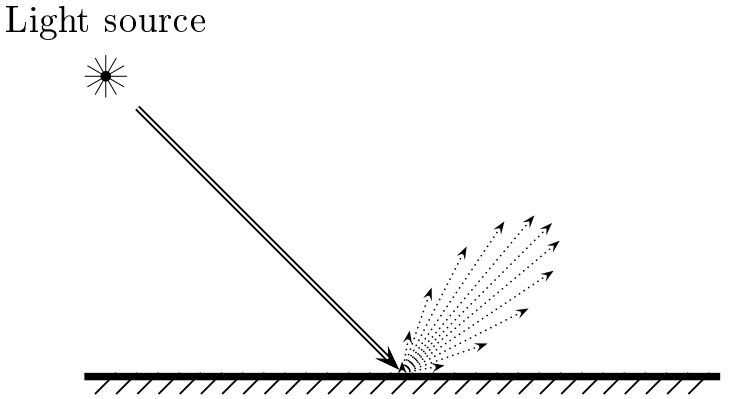


Figure III.3: Specularly reflected light is reflected primarily in the direction with the angle of incidence equal to the angle of reflection. The double line is a beam of incoming light. The dotted arrows indicate outgoing light; the longer the arrow, the more intense the reflection in that direction.

Światło docierające do obserwatora

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

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

Światło rozproszone

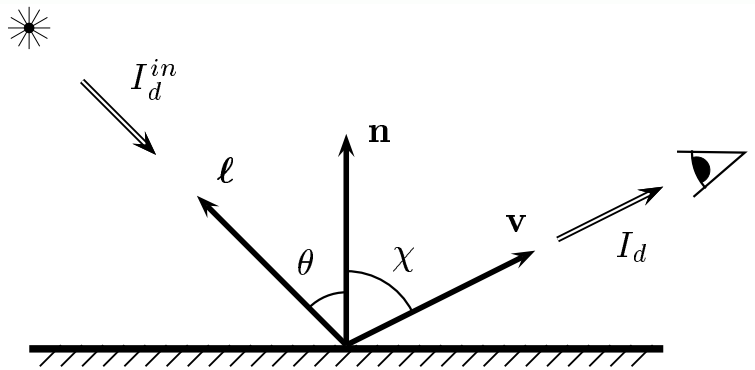


Figure III.5: The setup for diffuse reflection in the Phong model. The angle of incidence is θ. I_d^{in} and I_d are the incoming and outgoing light intensities in the indicated directions.

Model Lamberta:

$$I_d = \rho_d I_d^{In} \cos\theta$$

Światło odbijane zwierciadlanie

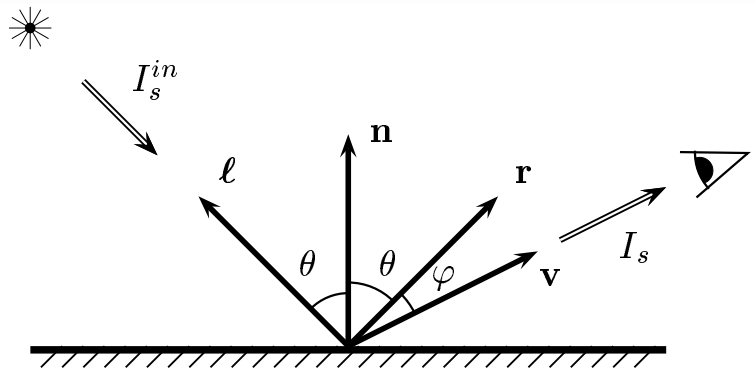


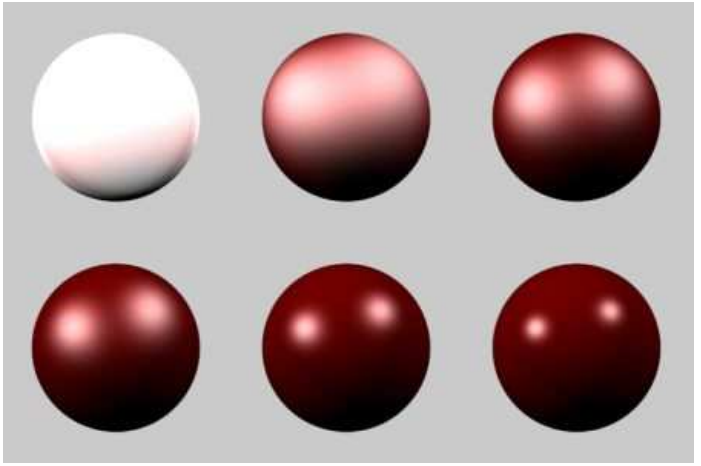
Figure III.7: The setup for specular reflection in the Phong model. The angle of incidence is θ. The vector $\mathbf{r}$ points in the direction of perfect mirror-like reflection. I_s^{in} and I_s are the incoming and outgoing specular light intensities in the indicated directions.

$$I_s = \rho_s I_s^{In} (\cos\varphi)^f$$

Światła otoczenia i emitowane

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

$$I_e = \mathrm{Const}$$

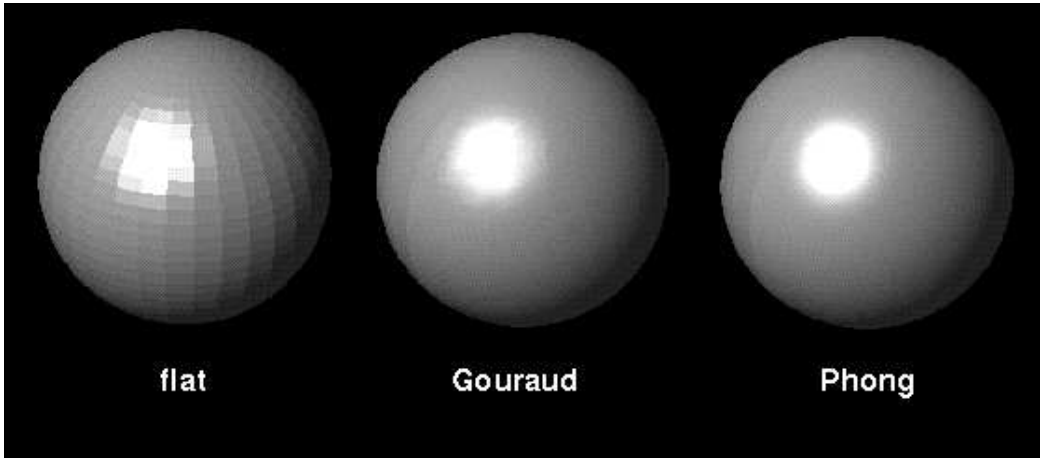


Obliczanie wektora normalgego

- trójkąt
- powierzchnia parametryzowana
- powierzchnia określona równaniem

Cieniowanie płaskie (flat)

Każdy bok ma swój kolor.



Cieniowanie Gourauda

- Oblicza się oświetlenie w wierzchołkach.
- Wektor normalny w wierzchołku jest średnią arytmetyczną wektorów normalnych wszystkich ścian, do których ten wierzchołek należy.
- Interpoluje się na całą powierzchnię wieloboku.

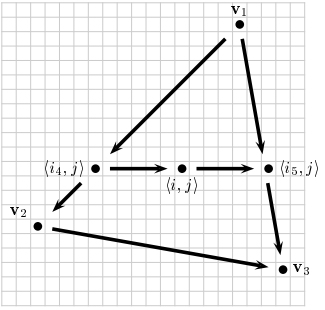


Figure II.25: The scan line interpolation method first interpolates along the edges of the triangle, then interpolates along the horizontal rows of pixels in the interior of the triangle. The interpolation directions are shown with arrows. If you look closely, you will note that the rightmost pixel, $\langle i_5, j\rangle$, on the horizontal scan line is not exactly on the line segment forming the right edge of the triangle — this is necessary since its position must be rounded to the nearest pixel.

Cieniowanie Gourauda

- Można stracić światło odbijane zwierciadlane na dużych wielobokach. (Stosuje się podział na mniejsze wieloboki.)
- Może w ogóle nie zauważyć światła na szerokiej ścianie.
- Wynik zależy od orientacji prostopadłych w wierzchołkach, od bliskości światła wierzchołkowi.

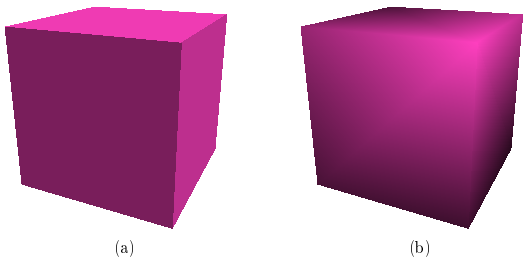


Figure III.9: Two cubes with (a) normals at vertices perpendicular to each face, and (b) normals outward from the center of the cube. Note that (a) is rendered with Gouraud shading, not flat shading. See color plate C.5.

Cieniowanie Gourauda

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

Cieniowanie Phonga

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

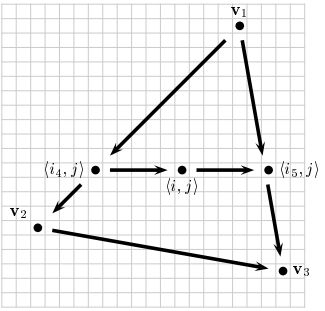


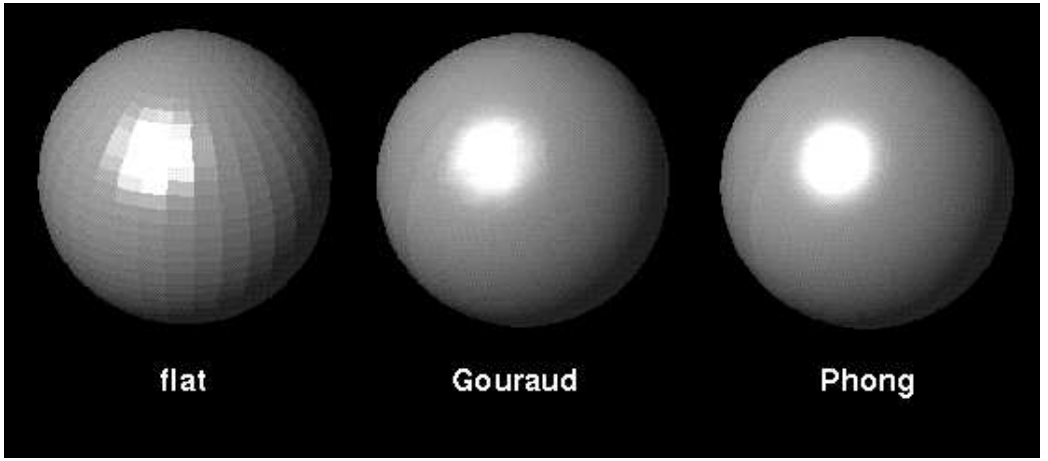
Figure II.25: The scan line interpolation method first interpolates along the edges of the triangle, then interpolates along the horizontal rows of pixels in the interior of the triangle. The interpolation directions are shown with arrows. If you look closely, you will note that the rightmost pixel, $\langle i_5, j\rangle$, on the horizontal scan line is not exactly on the line segment forming the right edge of the triangle — this is necessary since its position must be rounded to the nearest pixel.

Cieniowanie Phonga

- 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 stadji obliczeń.
- Interpolacja we współrzędnych ekranowych: mogą wystąpić nieporządane efekty przy projekcji perspektywicznej.

Cieniowanie Phonga

- Małe odbicia zwierciadlane się nie gubią na dużych wielobokach.



Obserwator lokany i nielokalny

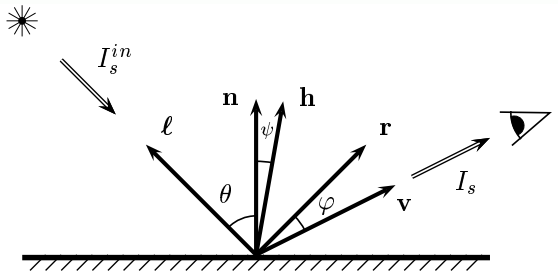


Figure III.8: The setup for calculating the specular reflection using the halfway vector $\mathbf{h}$, the unit vector halfway between $\boldsymbol{\ell}$ and $\mathbf{v}$.

$$h = \frac{\ell + v}{\|\ell + v\|},$$

$$I_s = \rho_s I_s^{\mathrm{in}} \left(\cos\psi\right)^f.$$

Normalizacja wektorów

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

BRIDF

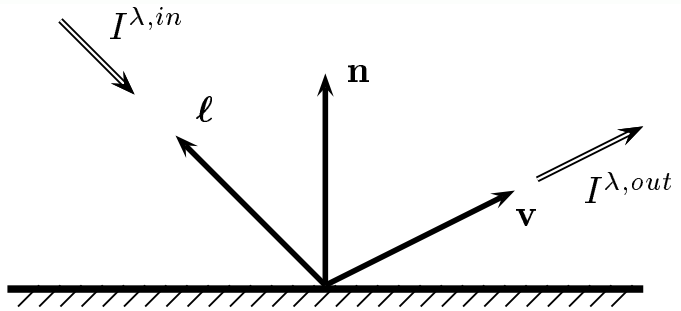


Figure III.13: The *BRIDF* function relates the outgoing light intensity and the incoming light intensity according to $BRIDF(\boldsymbol{\ell}, \mathbf{v}, \lambda) = I^{\lambda,out}/I^{\lambda,in}$.

Funkcja rozkładu współczynnika odbicia dwukierunkowego (Bidirectional Reflected Intesity Distridution Function)

Powierzchnia mikroluster

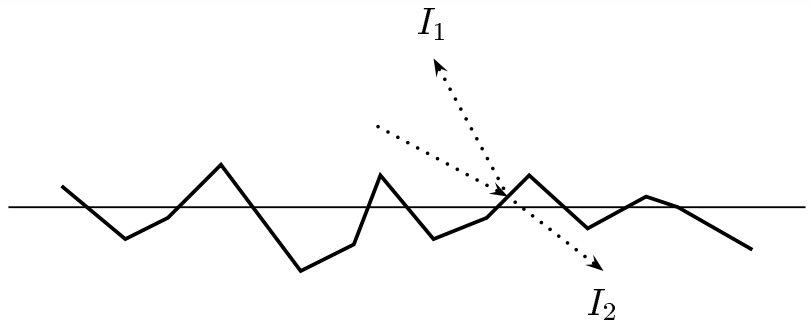


Figure III.14: A microfacet surface consists of small flat pieces. The horizontal line shows the average level of a flat surface, and the microfacets show the microscopic shape of the surface. Dotted lines show the direction of light rays. The incoming light can either be reflected in the direction of perfect mirror-like reflection (I_1), or can enter the surface (I_2). In the second case, the light is modeled as eventually exiting the material as diffusely reflected light.

Model Cooka-Torrance'a (1982)

$$I = I_a + I_d + I_s = \rho_a I_a^{in} + \rho_d I_d^{in}(\ell \cdot n) + I_s,$$

$$I_s = \frac{(n \cdot \ell)}{(n \cdot v)} s \cdot F \cdot G \cdot D \cdot I_s^{in}$$

- s — stała,
- $F(\ell, v, \lambda)$ — współczynnik Fresnela,
- $G(\ell, v)$ — współczynnik tłumienia geometrycznego,
- $D(\ell, v)$ — funkcja rozkładu mikroluster.

Funkcja Rozkładu Mikroluster

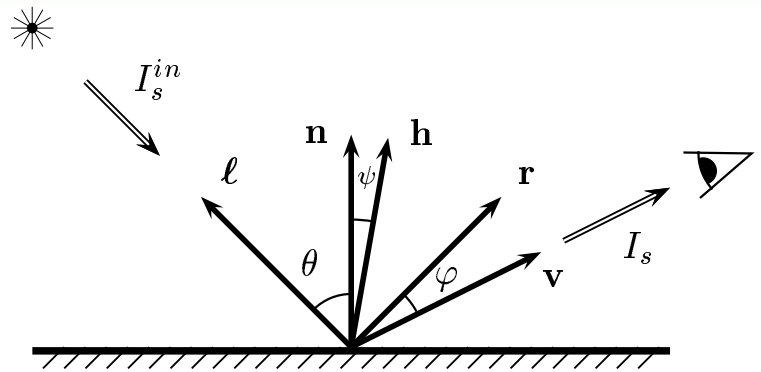


Figure III.8: The setup for calculating the specular reflection using the halfway vector $\mathbf{h}$, the unit vector halfway between ℓ and $\mathbf{v}$.

- $D(\psi) = ce^{-\psi^2/m^2}$ — rozkład Gaussa
- $D(\psi) = \frac{1}{\pi m^2 \cos^4 \psi} e^{-\tan^2 \psi/m^2}$ — rozkład Beckmanna
- $m \in (0, 1)$ — opisuje gładkość (chropowatość powierzchni)

Tłumienie Geometryczne

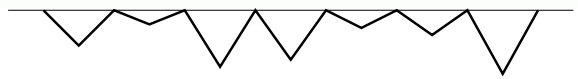
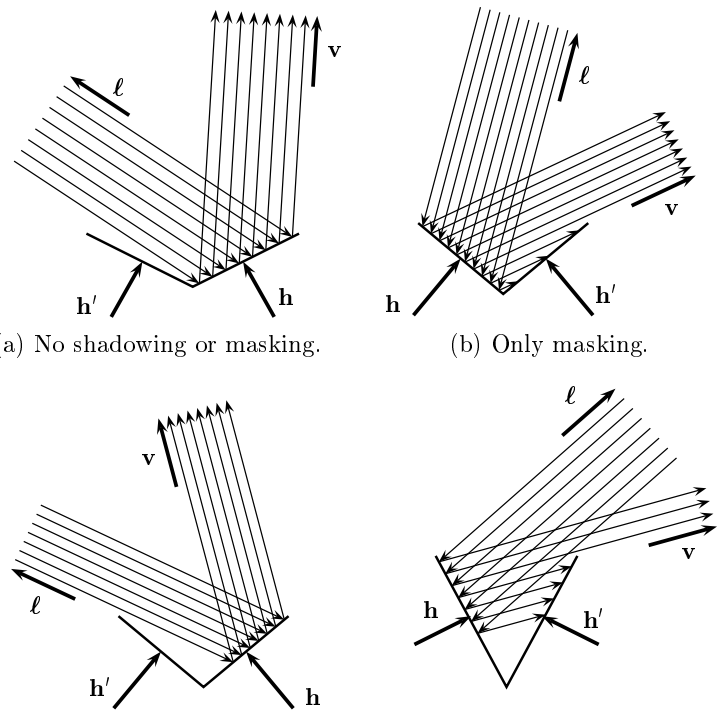


Figure III.15: For the derivation of the geometric term, G, the microfacets are modeled as symmetric, "V"-shaped grooves with the tops of the grooves all at the same height. The horizontal line shows the overall plane of the surface.



(a) No shadowing or masking. (b) Only masking.

(c) Only shadowing. (d) Both shadowing and masking.

Figure III.16: Shadowing and masking inside a single groove. The "V"-shape represents a groove; the unit vector $\mathbf{h}$ is normal to the facet where specular reflection occurs. Light from the direction of $\boldsymbol{\ell}$ is specularly reflected in the direction $\mathbf{v}$.

Współczynnik Tłumienia Geometrycznego

$$G = \begin{cases} 1, & v \cdot h' \geq 0 \text{ lub } n \cdot v \geq n \cdot \ell, \\ \frac{2(n \cdot h)(n \cdot v)}{h \cdot v}, & v \cdot h' < 0 \text{ i } h' \cdot \ell \geq 0, \\ \frac{(n \cdot v)}{n \cdot \ell}, & v \cdot h' < 0, \ell \cdot h' < 0 \text{ i } n \cdot v < n \cdot \ell, \end{cases}$$

Współczynnik Fresnela

$$F \approx F_0 + (1 - F_0)(1 - \cos\psi)^5$$

Tabela 1: Wartości F_0 dla wybranych materiałów

	R	G	B
Złoto:	0,93	0,88	0,38
Srebro:	0,97	0,97	0,96
Platyna:	0,63	0,62	0,57
Miedź:	0,93	0,80	0,46

Przykład

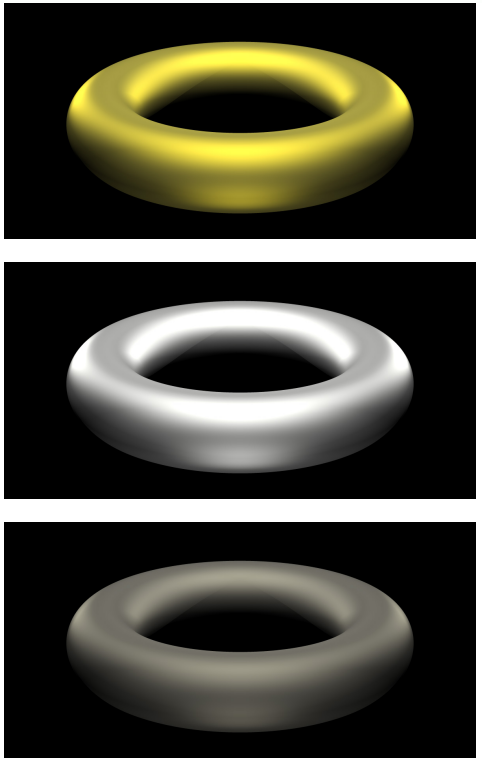


Figure III.20: Metallic tori, with specular component computed using the Cook-Torrance model. The materials are, from top to bottom, gold, silver and platinum. The roughness is $m = 0.4$ for all three materials. The tori are each illuminated by five positional white lights. See color plate C.16.

Efekty specjalne. Tłumienie światła

- Współczynnik tłumienia:

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

gdzie d jest odległością

Efekty specjalne. Światło spot

- jak światło punktowe
- kierunek
- kąt obcinania (cutoff), ψ_0
- wskaźnik tłumienia, p
- $$I = \begin{cases} I_0(\cos\psi)^p, & \text{jeżeli } \psi < \psi_0 \\ 0 \end{cases}$$

Efekty specjalne. Światło kierunkowe (Sun)

- jak światło punktowe
- żródło świata umieszczone jest w nieskończoności
- $(x_0 : y_0 : z_0 : 0)$
- brak tłumienia (czemu?)