

# **Wprowadzenie do grafiki maszynowej. Wprowadzenie do metody śledzenia promieni**

Aleksander Denisiuk  
Uniwersytet Warmińsko-Mazurski  
Olsztyn, ul. Słoneczna 54  
[denisjuk@matman.uwm.edu.pl](mailto:denisjuk@matman.uwm.edu.pl)

# ***Wprowadzenie do metody śledzenia promieni***

Podstawy

Model oświetlenia

Algorytm

Techniki  
zaawansowane

Najnowsza wersja tego dokumentu dostępna jest pod adresem

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

## Podstawy

❖ Scena  
fotorealistyczna

❖ Ray tracing

Model oświetlenia

Algorytm

Techniki  
zaawansowane

# Podstawy

# Scena fotorealistyczna

Podstawy

❖ Scena fotorealistyczna

❖ Ray tracing

Model oświetlenia

Algorytm

Techniki zaawansowane



# Śledzenie promieni

Podstawy

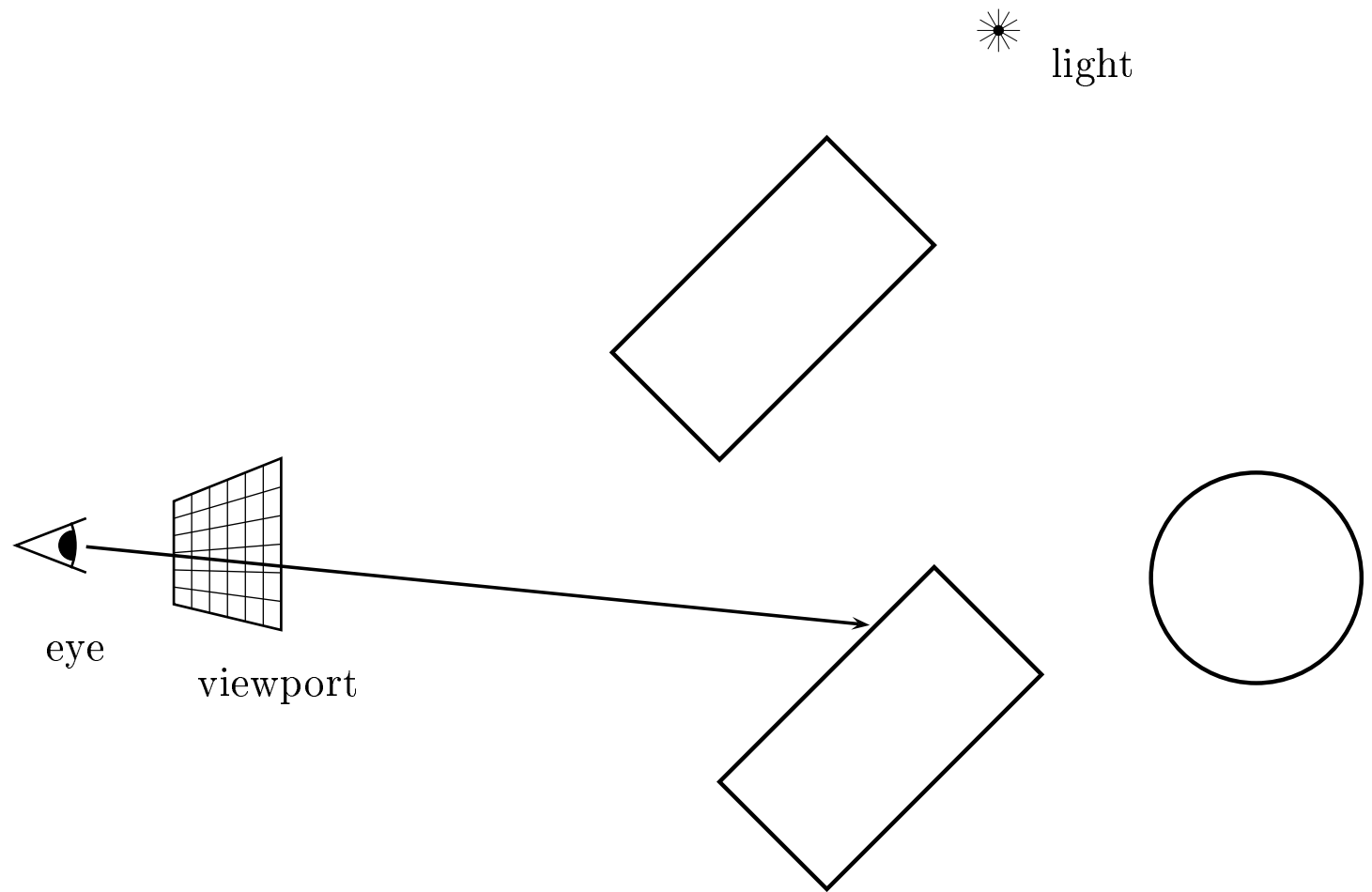
❖ Scena  
fotorealistyczna

❖ Ray tracing

Model oświetlenia

Algorytm

Techniki  
zaawansowane



# Czujnik cienia (shadow feeler)

Podstawy

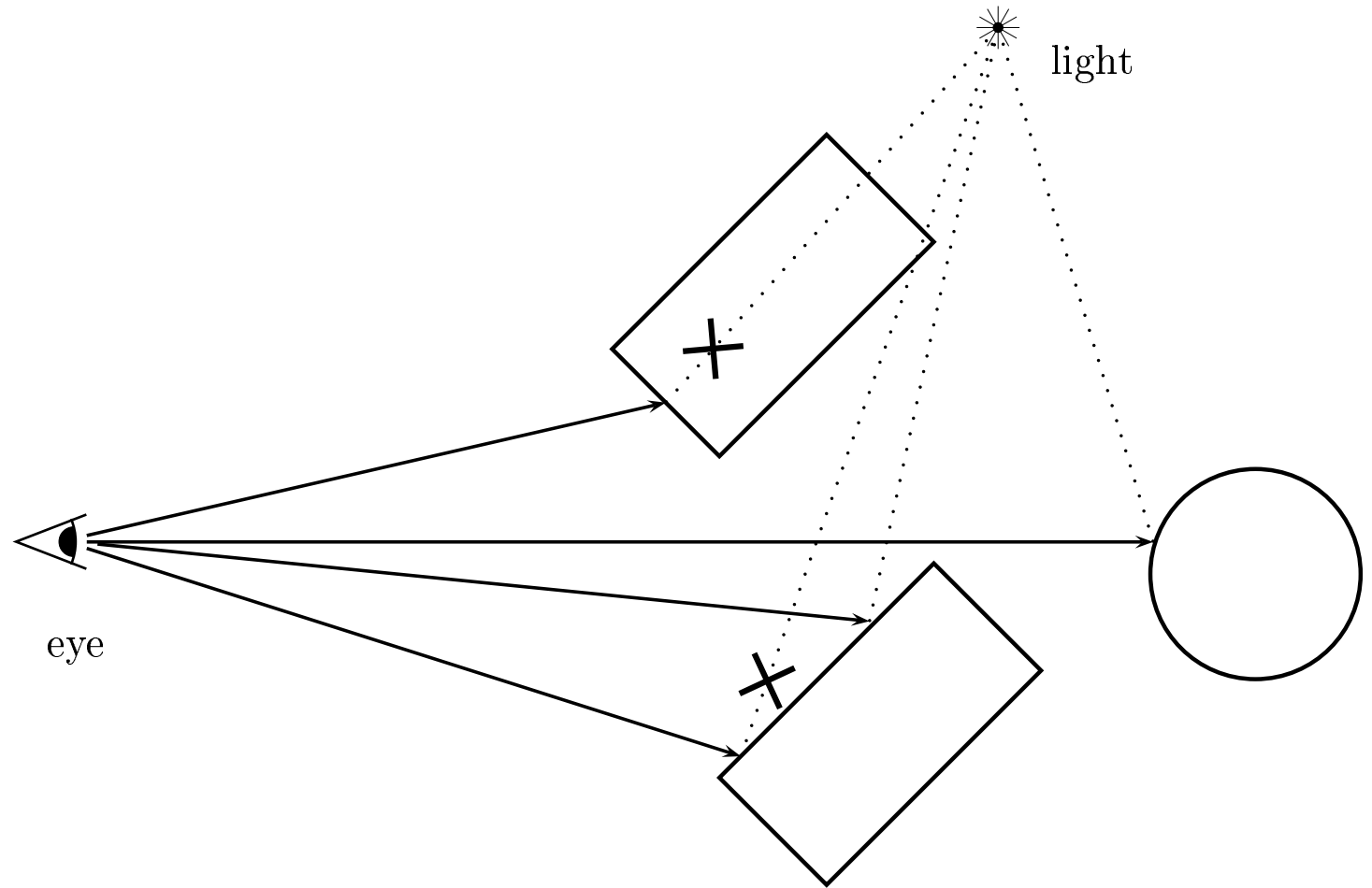
❖ Scena fotorealistyczna

❖ Ray tracing

Model oświetlenia

Algorytm

Techniki zaawansowane



# Śledzenie promieni odbijanych

Podstawy

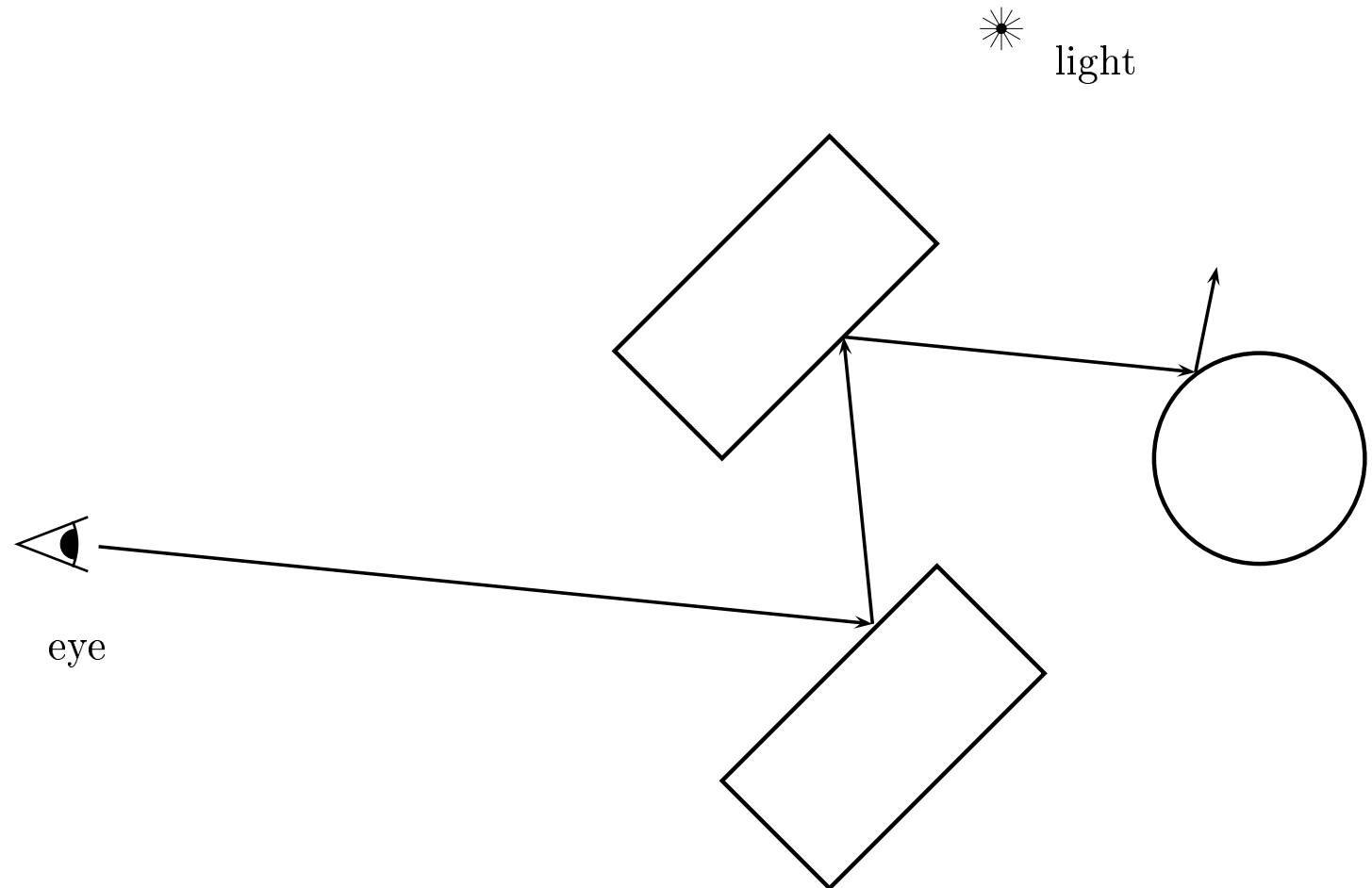
❖ Scena fotorealistyczna

❖ Ray tracing

Model oświetlenia

Algorytm

Techniki zaawansowane



$$I = I_{\text{local}} + \rho_{\text{rg}} I_{\text{reflect}}$$

# Promienie załamane

Podstawy

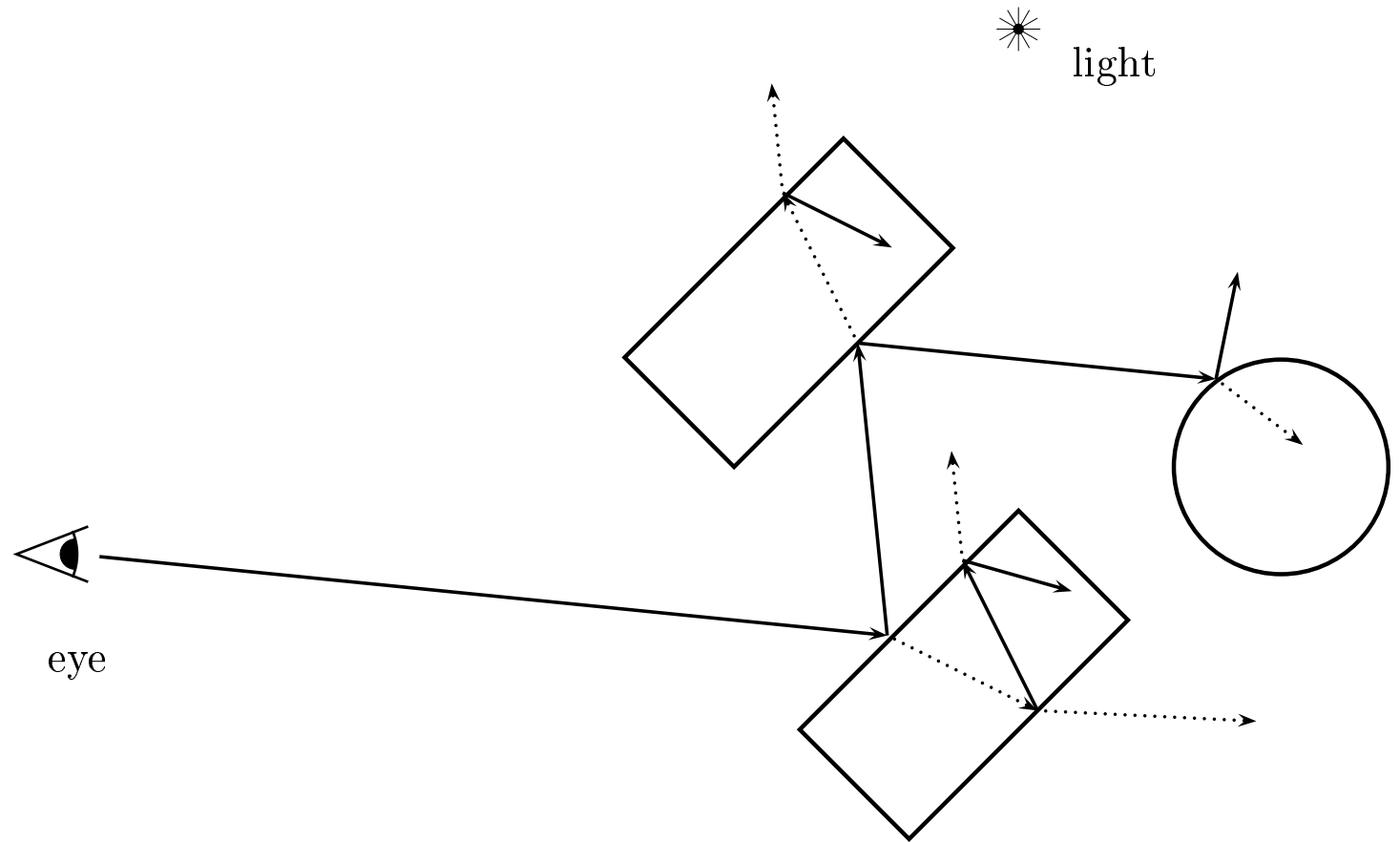
❖ Scena fotorealistyczna

❖ Ray tracing

Model oświetlenia

Algorytm

Techniki zaawansowane



$$I = I_{\text{local}} + \rho_{\text{rg}} I_{\text{reflect}} + \rho_{\text{tg}} I_{\text{xmit}}$$



Podstawy

---

**Model oświetlenia**

❖ Promienie odbijane

❖ Promienie załamane

❖ Całkowite oświetlenie

Algorytm

---

Techniki zaawansowane

---

# Model oświetlenia

# Lokalne oświetlenie i promienie odbijane

Podstawy

Model oświetlenia

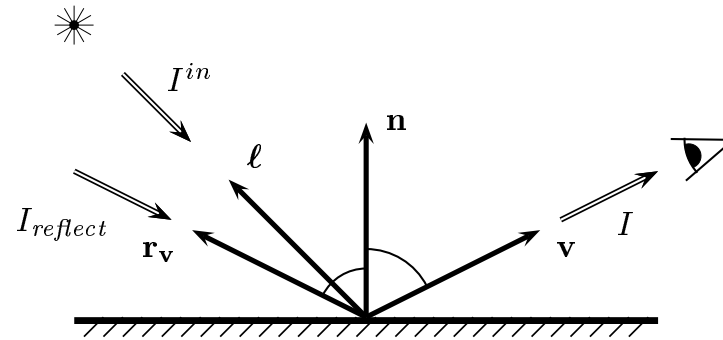
❖ Promienie odbijane

❖ Promienie załamane

❖ Całkowite oświetlenie

Algorytm

Techniki zaawansowane



Wektor odbijany  $r_v = 2(v \cdot n) - v$ .

# Oświetlenie punktu na powierzchni

Podstawy

Model oświetlenia

❖ Promienie odbijane

❖ Promienie załamane

❖ Całkowite oświetlenie

Algorytm

Techniki zaawansowane

$$I = I_{\text{local}} + \rho_{\text{rg}} I_{\text{reflect}}$$

$$I_{\text{local}} = \rho_a I_a^{\text{in},i} + \delta_i \cdot \left( \rho_d I_d^{\text{in},i} (\ell_i \cdot n) + \rho_s I_s^{\text{in},i} (r_v \cdot \ell_i)^f \right)$$

- $\delta_i = 1$ , jeśli punkt jest bezpośrednio oświetlony światłem  $i$ , 0 — w przeciwnym przypadku.
- współczynniki  $\rho$  zależą od kolorów (częstotliwości)
- $I_{\text{reflect}}$  oblicza się rekurencyjnie powtarzając algorytm ray tracing

# Promienie załamane

Podstawy

Model oświetlenia

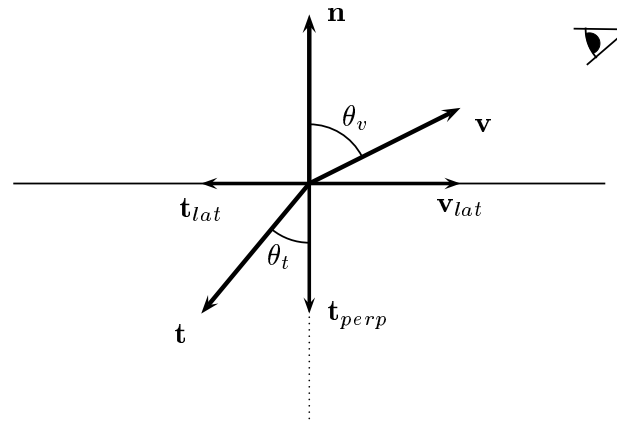
❖ Promienie odbijane

❖ Promienie załamane

❖ Całkowite oświetlenie

Algorytm

Techniki zaawansowane



Prawo Snelliusa

$$\frac{\sin \theta_v}{\sin \theta_t} = \eta.$$

# Współczynnik załamania

Podstawy

---

Model oświetlenia

---

❖ Promienie odbijane

❖ Promienie załamane

❖ Całkowite oświetlenie

Algorytm

---

Techniki zaawansowane

---

- $\eta \approx 1,3$  — powietrze  $\rightarrow$  woda.
- $\eta \approx 1,5$  — powietrze  $\rightarrow$  szkło.
- $\sin \theta_t = \eta^{-1} \sin \theta_v$ .
- Jeżeli  $\eta^{-1} \sin \theta_v > 1$ , to nie ma załamania, tylko całkowite wewnętrzne odbijanie

# Obliczenie wektora $t$

Podstawy

Model oświetlenia

❖ Promienie odbijane

❖ Promienie załamane

❖ Całkowite oświetlenie

Algorytm

Techniki zaawansowane

- $v_{\text{lat}} = v - (v \cdot n)n$
- $\|t_{\text{lat}}\| = \sin \theta_t = \eta^{-1} \sin \theta_v = \eta^{-1} \|v_{\text{lat}}\|$
- $t_{\text{lat}} = -\eta^{-1} v_{\text{lat}}$
- $\cos \theta_t = \sqrt{1 - \sin^2 \theta_t} = \sqrt{1 - \|t_{\text{lat}}\|^2}$  ( $\|t_{\text{lat}}\| < 1$ )
- $t_{\text{perp}} = -\sqrt{1 - \|t_{\text{lat}}\|^2} \cdot n$
- $t = t_{\text{lat}} + t_{\text{perp}}$
- $t_{\text{perp}} = -\sqrt{1 - \eta^{-2} (1 - (v \cdot n)^2)} \cdot n$
- $t = \eta^{-1} ((v \cdot n)n - v) - \sqrt{1 - \eta^{-2} (1 - (v \cdot n)^2)} \cdot n$

# Rozszerzenie modelu Phong'a

Podstawy

Model oświetlenia

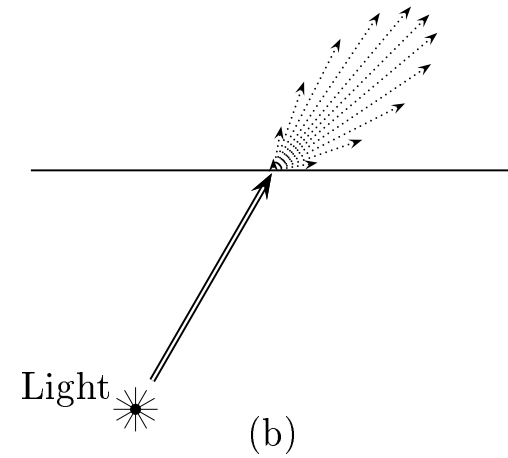
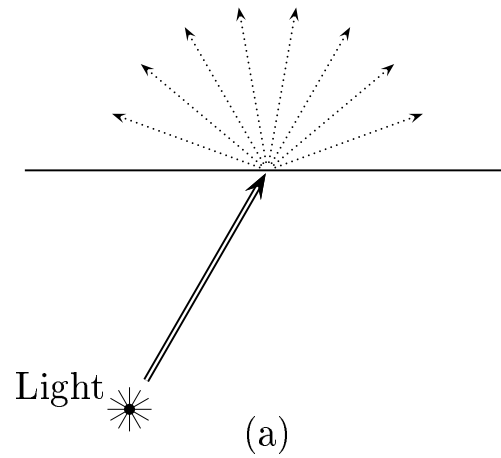
❖ Promienie odbijane

❖ Promienie załamane

❖ Całkowite oświetlenie

Algorytm

Techniki zaawansowane



# Rozszerzenie modelu Phong'a

Podstawy

Model oświetlenia

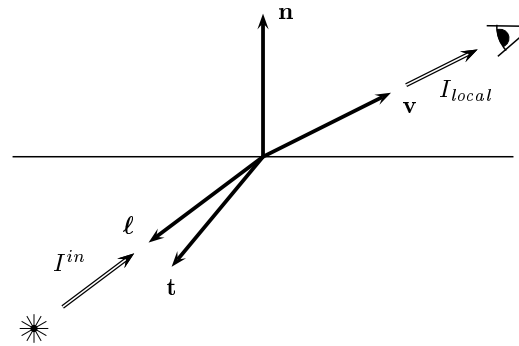
❖ Promienie odbijane

❖ Promienie załamane

❖ Całkowite oświetlenie

Algorytm

Techniki zaawansowane



- $$I_{\text{local}}^i = \rho_a I_a^{\text{in},i} + \delta_i' \cdot \left( \rho_{dt} I_d^{\text{in},i} (\ell_i \cdot (-n)) + \rho_{st} I_s^{\text{in},i} (t \cdot \ell_i)^f \right)$$



# Rozszerzenie modelu Phong'a

Podstawy

Model oświetlenia

❖ Promienie odbijane

❖ Promienie załamane

❖ Całkowite oświetlenie

Algorytm

Techniki zaawansowane

$$\begin{aligned} I_{\text{local}} = & \rho_a I_a^{\text{in}} + \rho_d \sum_{i=1}^k \delta_i I_d^{\text{in},i} (\ell_i \cdot n) + \\ & + \rho_s \sum_{i=1}^k \delta_i I_s^{\text{in},i} (r_v \cdot \ell_i)^f + \rho_{dt} \sum_{i=1}^k \delta'_i I_d^{\text{in},i} (\ell_i \cdot (-n)) + \\ & + \rho_{st} \sum_{i=1}^k \delta'_i I_s^{\text{in},i} (t \cdot \ell_i)^f + I_e \end{aligned}$$

Podstawy

Model oświetlenia

**Algorytm**

❖ Algorytm

❖ Sprawdzenie  
przecięcia

Techniki  
zaawansowane

# Algorytm

# Algorytm

Podstawy

Model oświetlenia

Algorytm

❖ Algorytm

❖ Sprawdzenie przecięcia

Techniki  
zaawansowane

Dla każdego promienia:

- Znajdź pierwsze miejsce przecięcia ze sceną.
  - ◆ Jeśli promień nie przecina żadnego obiektu ze sceny, wykorzystuj „kolor tła”.
- Oblicz oświetlenia punktu zgodnie z modelem oświetlenia.
- Wypuść promienie odbijane oraz załamane.
- Zastosuj rekurencyjnie algorytm do każdego wypuszczonego promienia.
- Dodaj wyniki obliczenia ośiwetleń.

Warunek zakończenia rekurencji: ilość odbić.

# Sprawdzenie przecięcia

Podstawy

Model oświetlenia

Algorytm

❖ Algorytm

❖ Sprawdzenie przecięcia

Techniki  
zaawansowane

- Obiekty modeluje się za pomocą prostych figur: sfera, walec, stożek, torus, wielobok płaski, wielobok o bokach w postaci powierzchni Béziera, B-spline powierzchni.
- Sprawdza się dla każdego promienia, dla każdego czujnika cieni.
- Zależy od ilości uwzględnianych odbić.
- Najbardziej kosztowne względem obliczeń działanie.

Podstawy

Model oświetlenia

Algorytm

**Techniki  
zaawansowane**

- ❖ Supersampling i Antialiasing
- ❖ Głębia ostrości
- ❖ Rozmazywanie ruchu
- ❖ Miękie cienie
- ❖ Wiele kolorów
- ❖ Path tracing
- ❖ Backwards

# Techniki zaawansowane

# Supersampling i Antialiasing

Podstawy

Model oświetlenia

Algorytm

Techniki  
zaawansowane

❖ Supersampling  
i Antialiasing

❖ Głębina ostrości

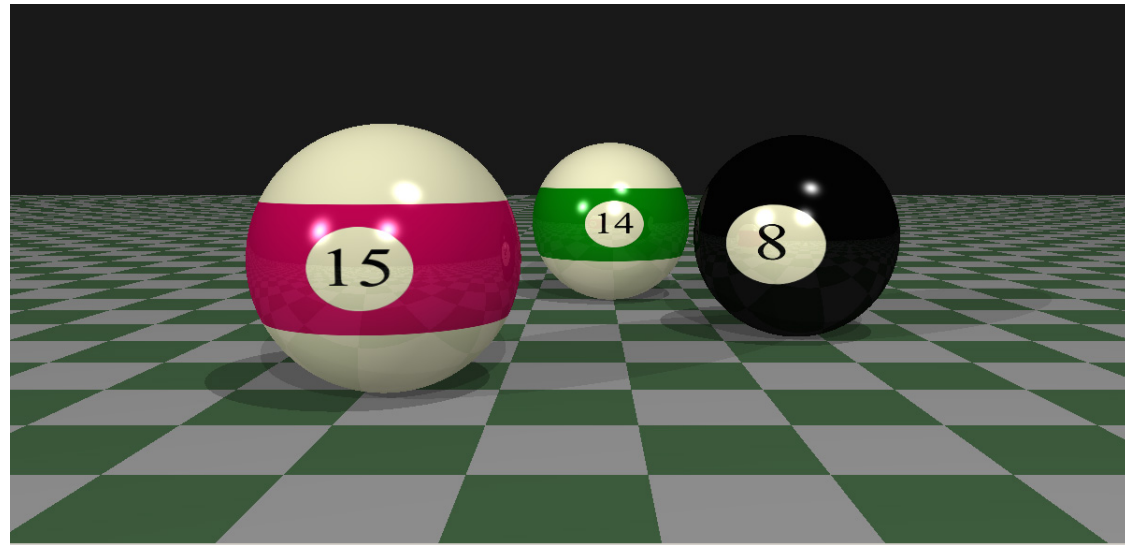
❖ Rozmazywanie  
ruchu

❖ Miękie cienie

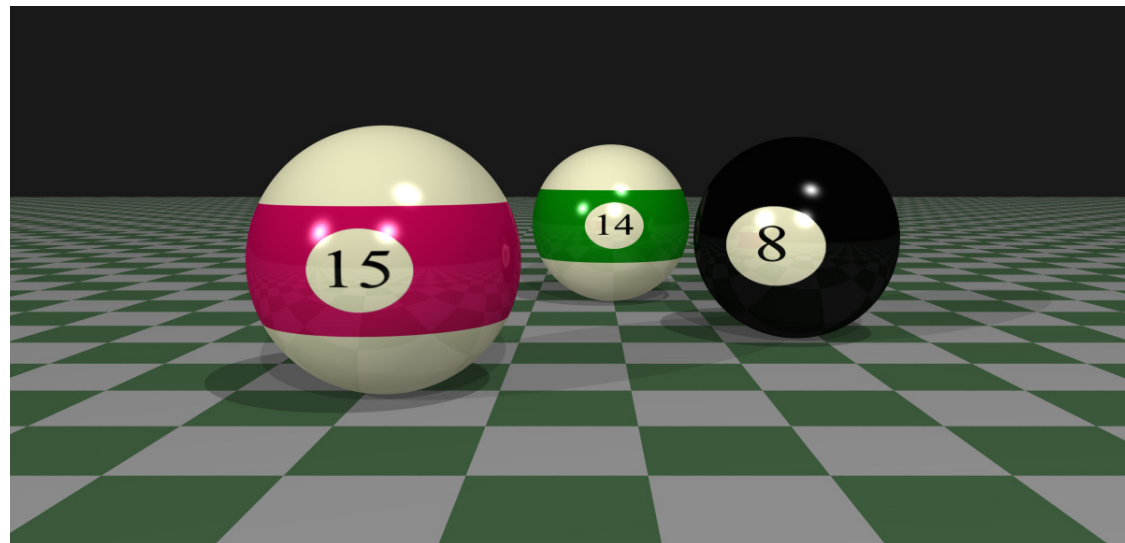
❖ Wiele kolorów

❖ Path tracing

❖ Backwards



(a) No supersampling.



(b) Supersampling with jittered subpixel centers.

# Supersampling i Antialiasing

Podstawy

Model oświetlenia

Algorytm

Techniki  
zaawansowane

❖ Supersampling  
i Antialiasing

❖ Głębina ostrości

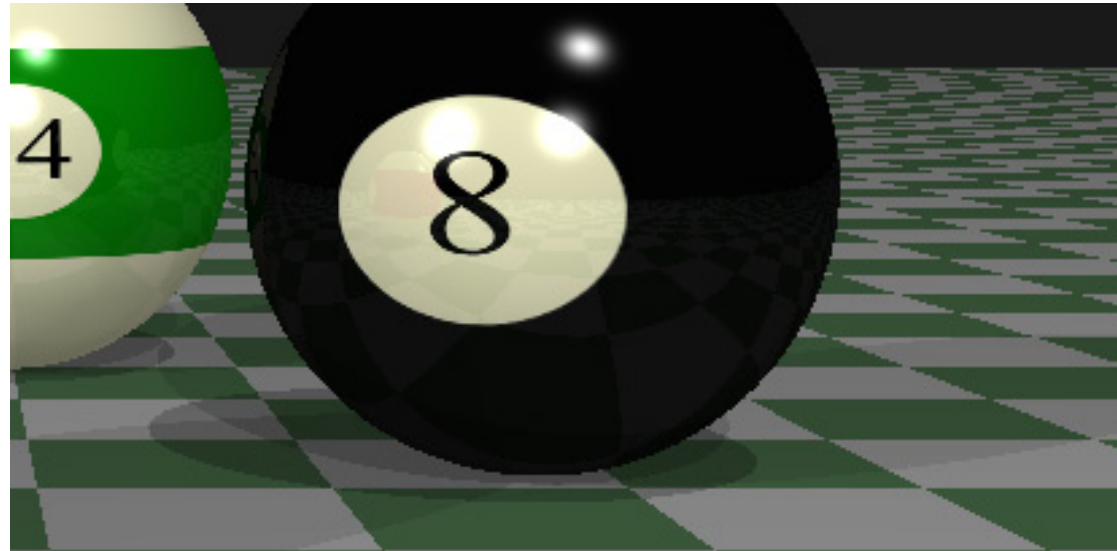
❖ Rozmazywanie  
ruchu

❖ Miękie cienie

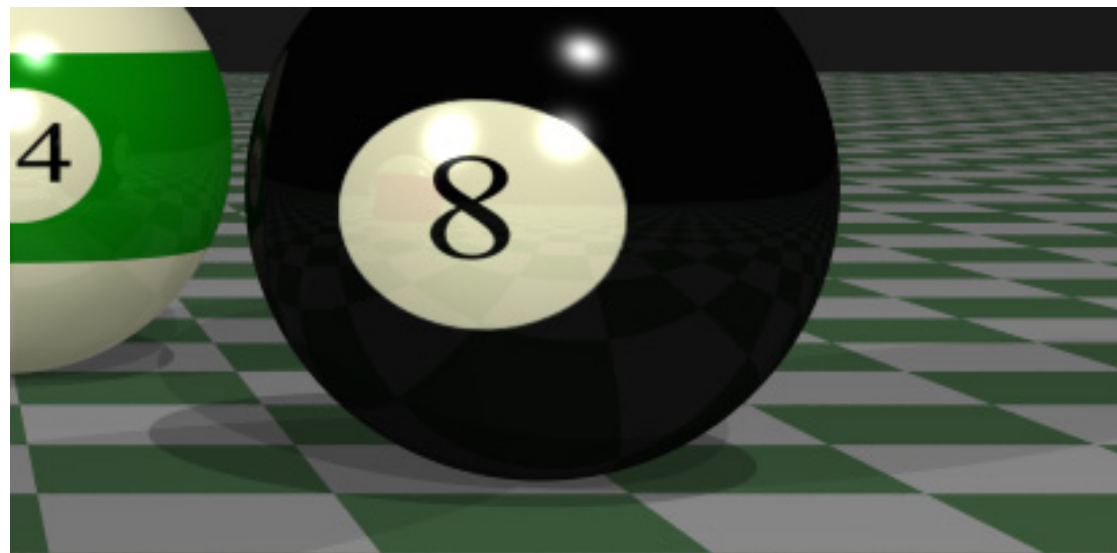
❖ Wiele kolorów

❖ Path tracing

❖ Backwards



(a) No supersampling.



(b) Supersampling with jittered subpixel centers.

# Głębia ostrości

Podstawy

Model oświetlenia

Algorytm

Techniki  
zaawansowane

❖ Supersampling  
i Antialiasing

❖ **Głębia ostrości**

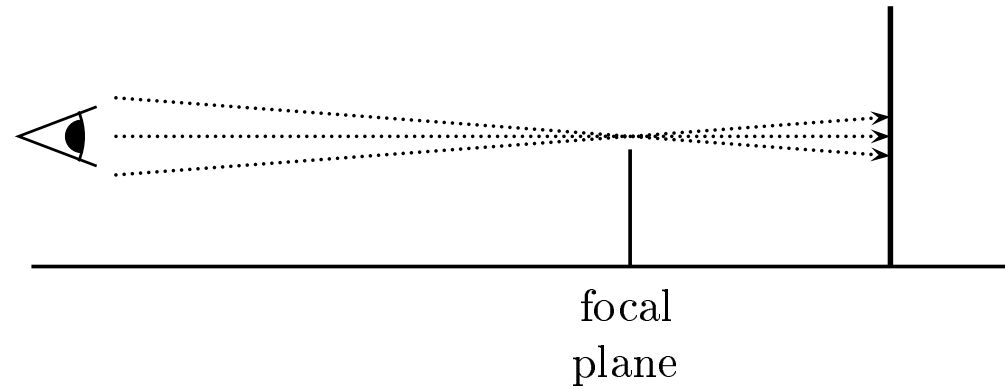
❖ Rozmazywanie  
ruchu

❖ Miękie cienie

❖ Wiele kolorów

❖ Path tracing

❖ Backwards





# Głębia ostrości

Podstawy

Model oświetlenia

Algorytm

Techniki  
zaawansowane

❖ Supersampling  
i Antialiasing

❖ **Głębia ostrości**

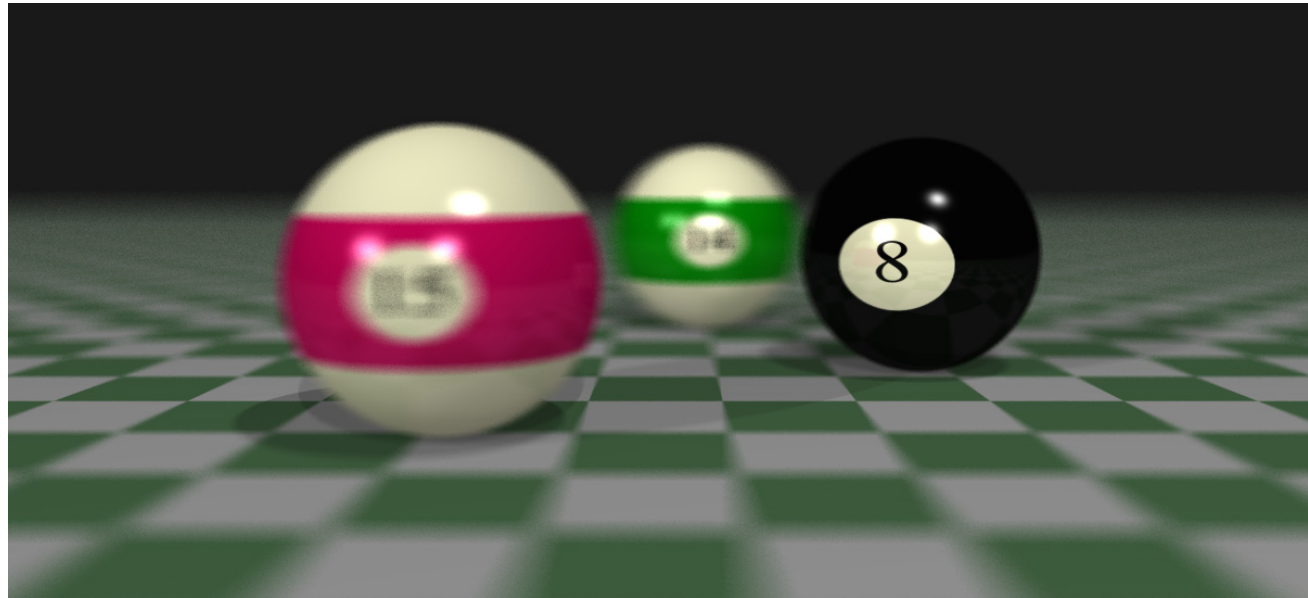
❖ Rozmazywanie  
ruchu

❖ Miękie cienie

❖ Wiele kolorów

❖ Path tracing

❖ Backwards



# Rozmazywanie ruchu

Podstawy

Model oświetlenia

Algorytm

Techniki  
zaawansowane

❖ Supersampling  
i Antialiasing

❖ Głębina ostrości

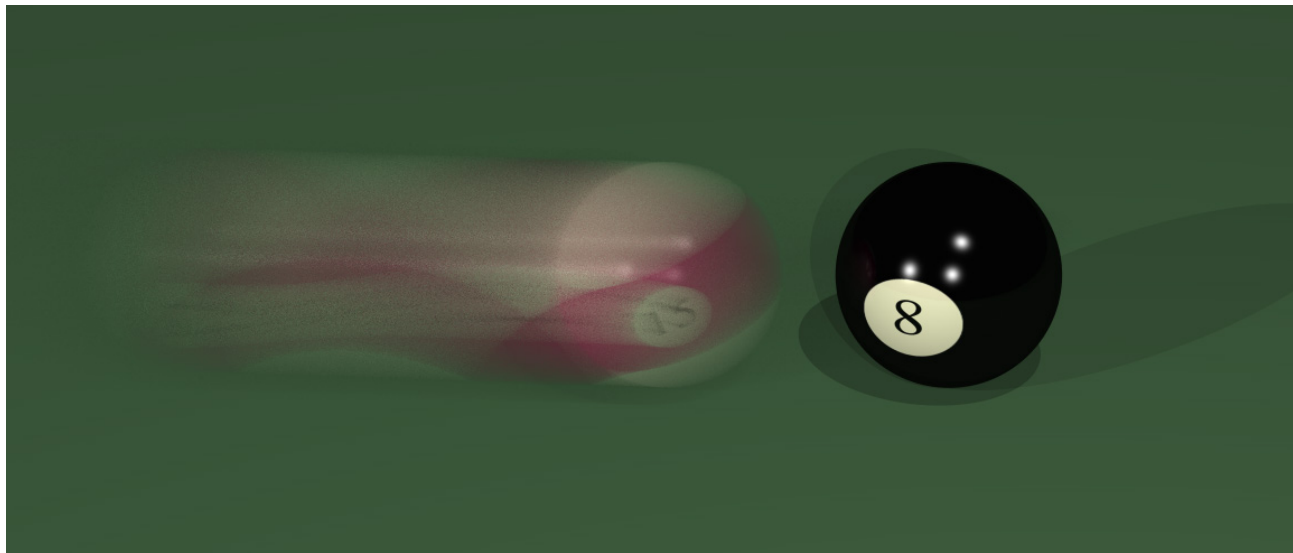
❖ **Rozmazywanie  
ruchu**

❖ Miękie cienie

❖ Wiele kolorów

❖ Path tracing

❖ Backwards



# Miękie cienie

Podstawy

Model oświetlenia

Algorytm

Techniki  
zaawansowane

❖ Supersampling  
i Antialiasing

❖ Głębina ostrości

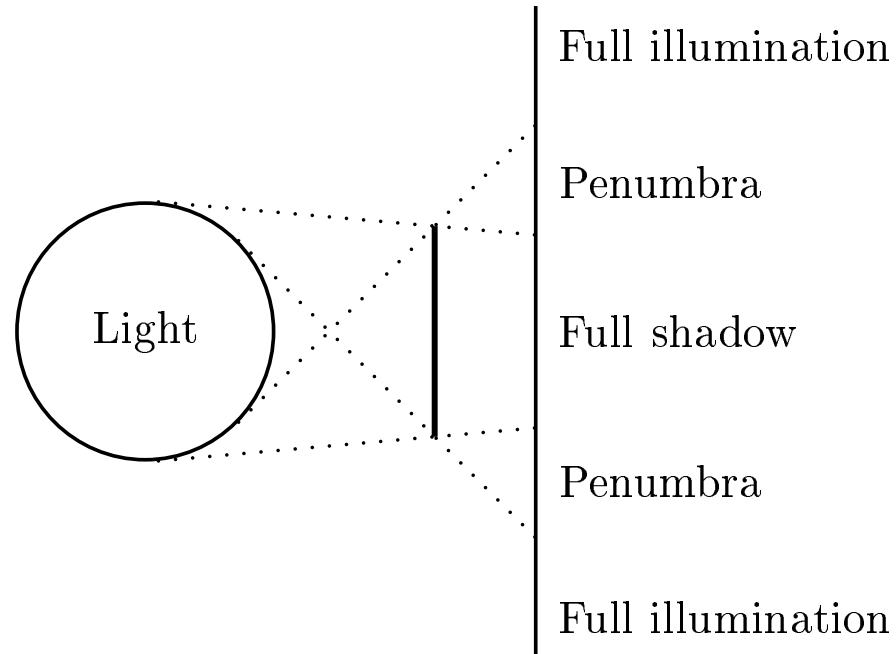
❖ Rozmazywanie  
ruchu

❖ **Miękie cienie**

❖ Wiele kolorów

❖ Path tracing

❖ Backwards



# Wiele kolorów

Podstawy

Model oświetlenia

Algorytm

Techniki  
zaawansowane

❖ Supersampling  
i Antialiasing

❖ Głębina ostrości  
❖ Rozmazywanie  
ruchu

❖ Miękie cienie

❖ **Wiele kolorów**

❖ Path tracing

❖ Backwards

- Nie tylko RGB,
- Odbicie i załamanie zależy od barwy (częstotliwości fal).

# Path tracing

Podstawy

Model oświetlenia

Algorytm

Techniki  
zaawansowane

❖ Supersampling  
i Antialiasing

❖ Głębina ostrości

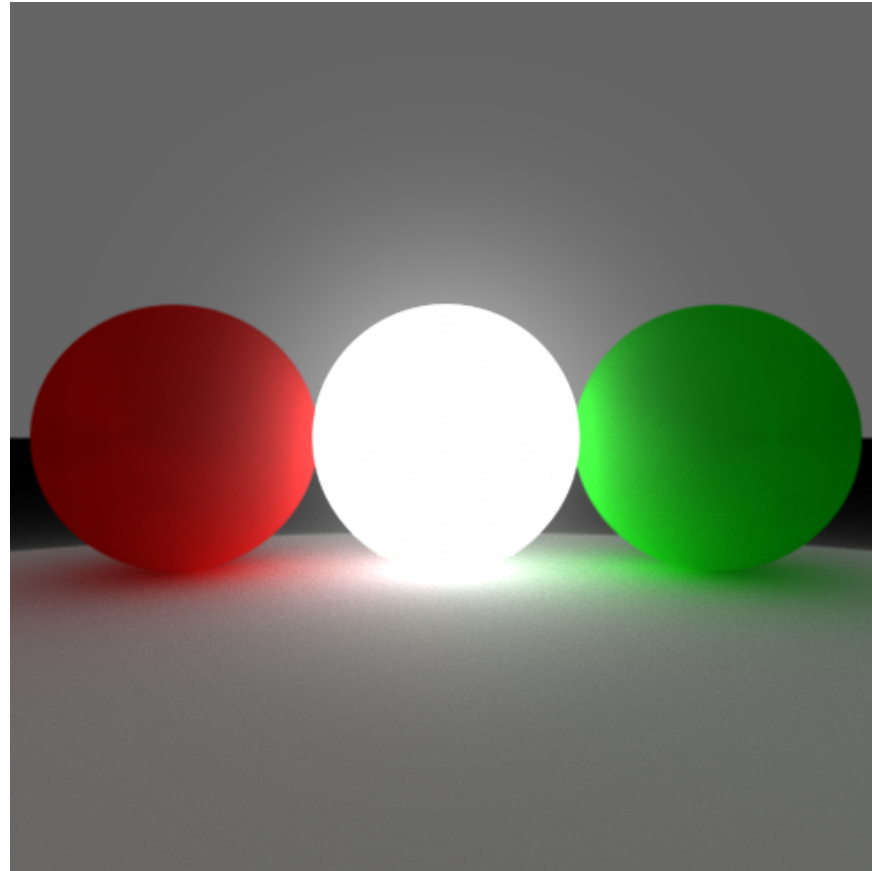
❖ Rozmazywanie  
ruchu

❖ Miękie cienie

❖ Wiele kolorów

❖ Path tracing

❖ Backwards



- Cycles

# *Odwrotny ray tracing*

Podstawy

Model oświetlenia

Algorytm

Techniki  
zaawansowane

❖ Supersampling  
i Antialiasing

❖ Głębina ostrości

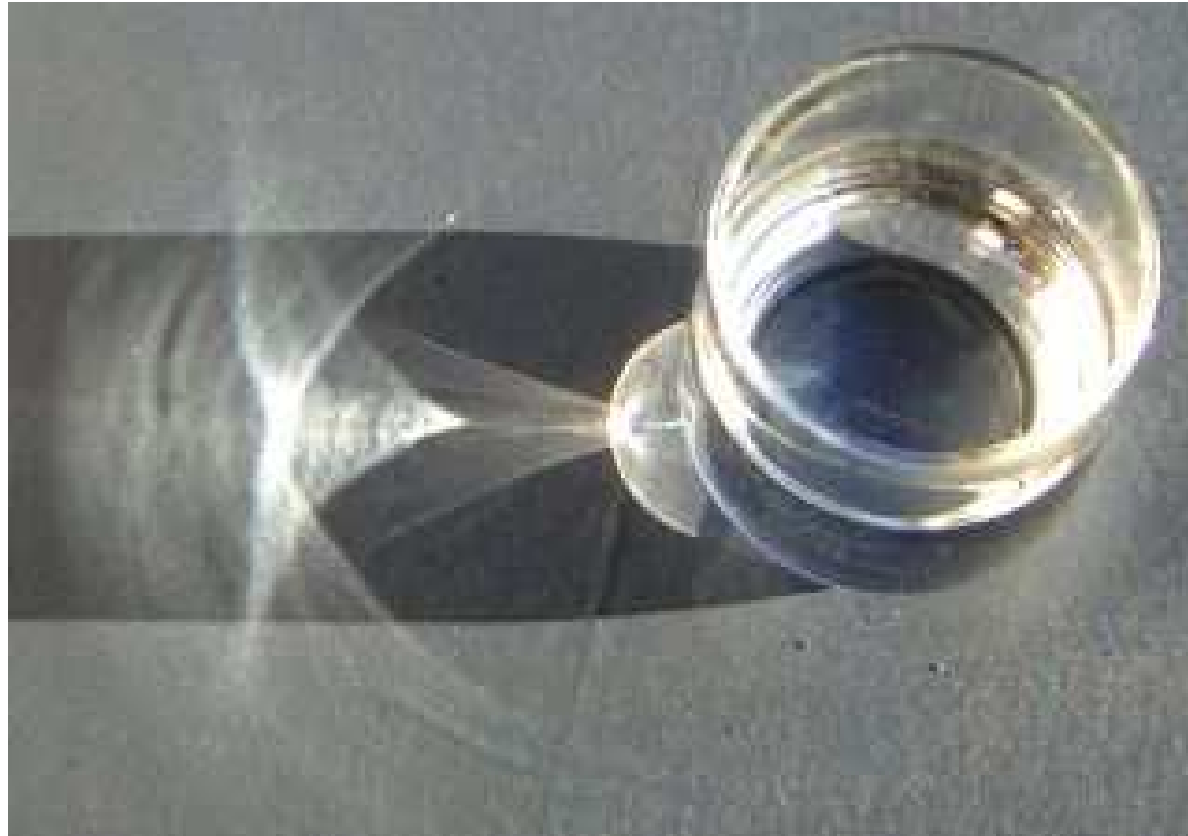
❖ Rozmazywanie  
ruchu

❖ Miękie cienie

❖ Wiele kolorów

❖ Path tracing

❖ **Backwards**



- Skupienie światła