

# Компьютерная графика и визуализация в реальном времени

Основы моделей освещения

Алексей Романов

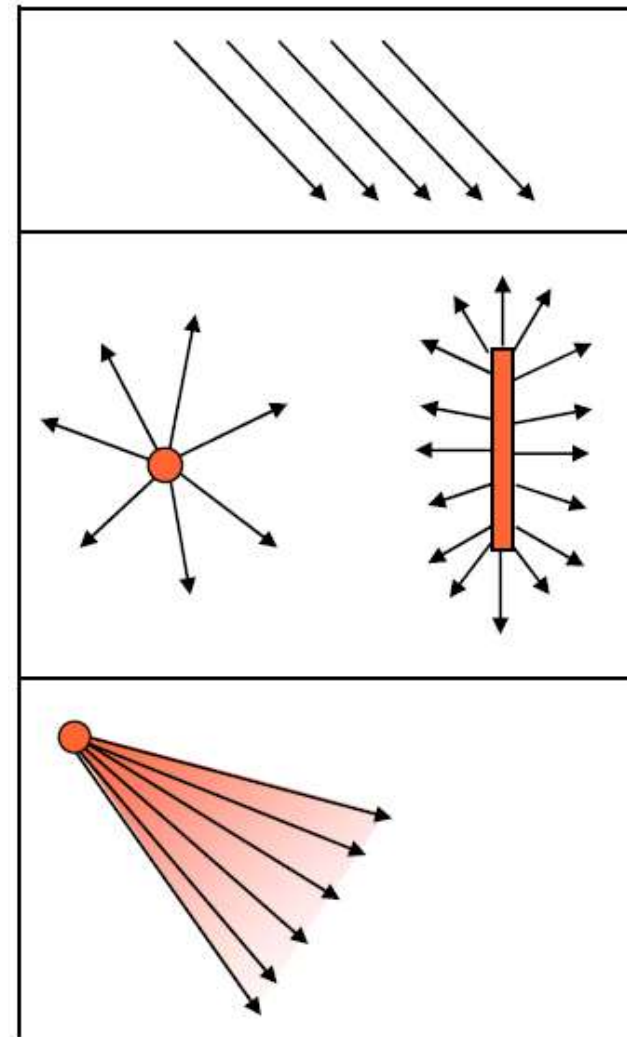
# Физика освещения

---

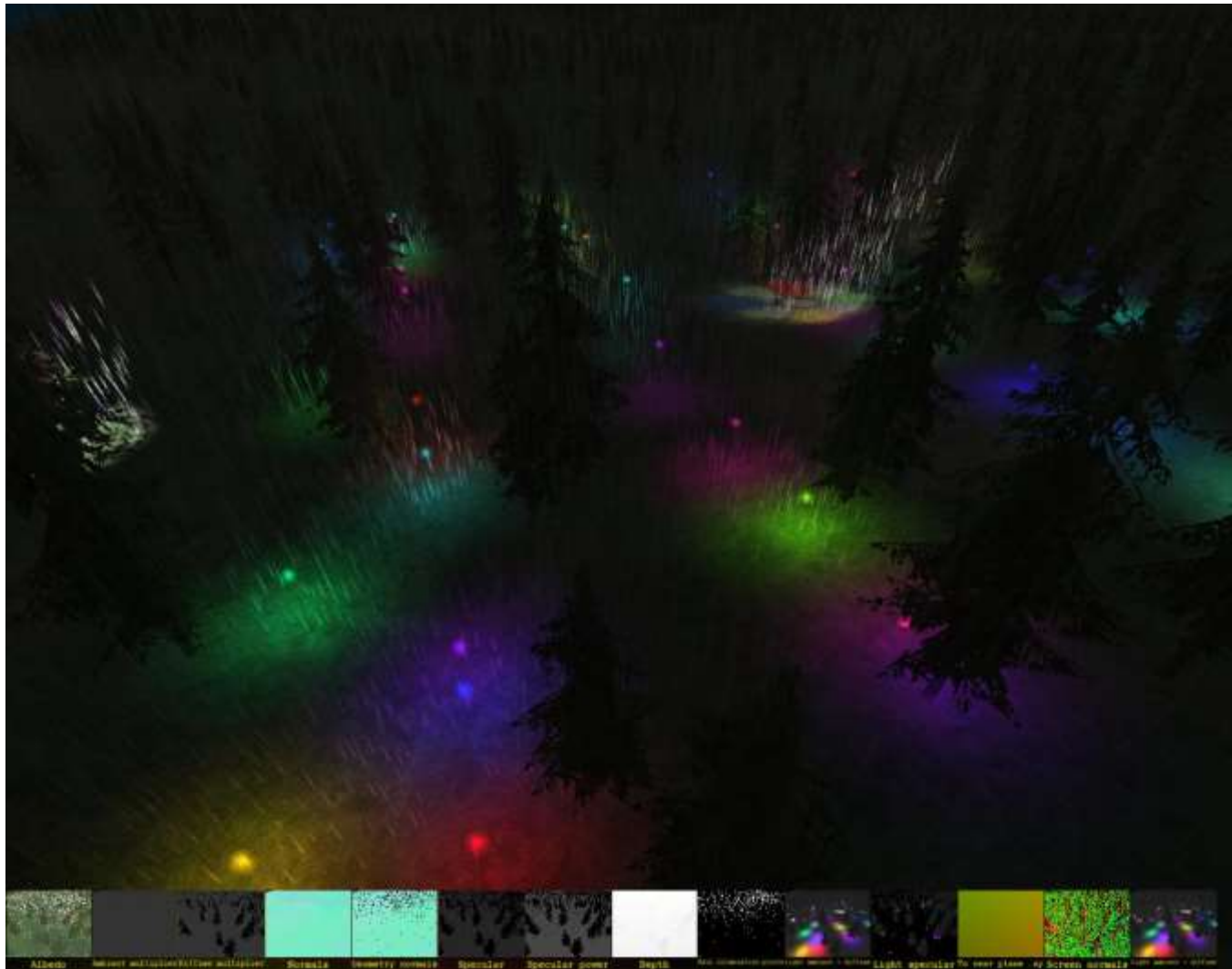
- ▶ Эманация (испускание) света
- ▶ Взаимодействие света с объектами сцены
  - ▶ Поглощение
  - ▶ Рассеяние
  - ▶ Отражение
- ▶ Поглощение света сенсором

# Типы источников света

- ▶ Направленные / *directional*  
*Бесконечно-удаленные*
  - ▶ Солнце
  - ▶ Луна
  - ▶ Сигнальная ракета
  - ▶ ...
- ▶ Точечные и пространственные / *point & area*
- ▶ Конические / *spot*



# Точечные источники света

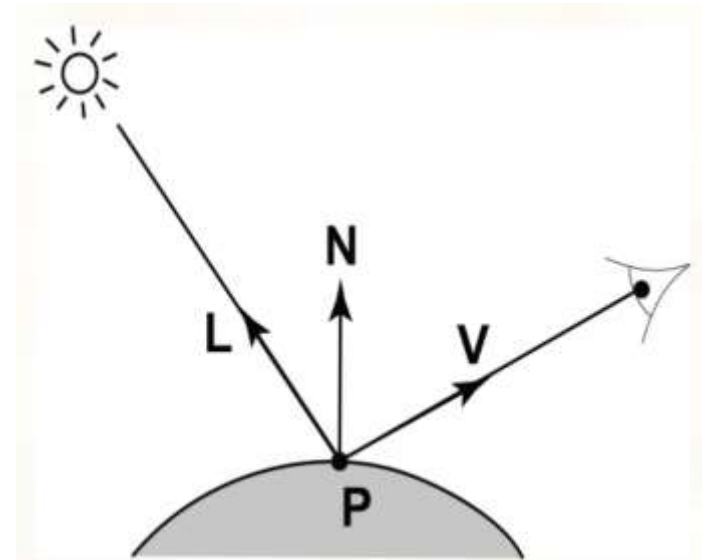


# Конические источники света



# Локальная модель освещения

- ▶ Рассмотрим модель освещения Фонга
  - ▶ Простейшая модель освещения
  - ▶ Эффективна с вычислительной точки зрения
- ▶ Входные данные:
  - ▶  $p$  – точка на поверхности объекта
  - ▶  $n$  – нормаль к объекту
  - ▶  $l$  – направление на источник света
  - ▶ Характеристики материала
    - ▶ Цвет
    - ▶ Глянцевость/Шероховатость
- ▶ Выходные – интенсивность отраженного света
- ▶ Будем строить модель освещения итеративно



# 0: emission

---

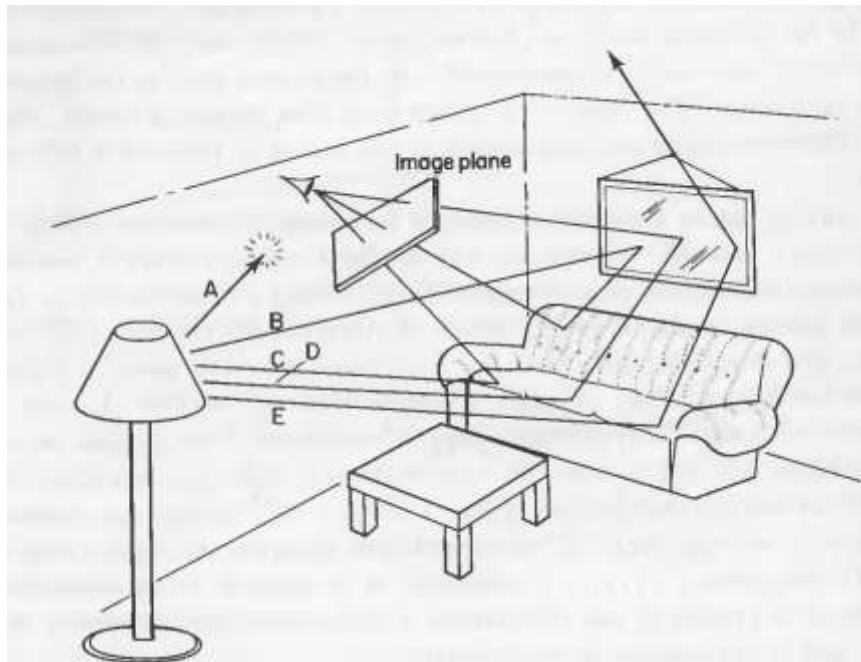
## Излучение объекта

- ▶  $I = k_e$
- ▶  $k_e$  - собственное излучение

# 1:ambient

## Учет вторичных лучей освещения

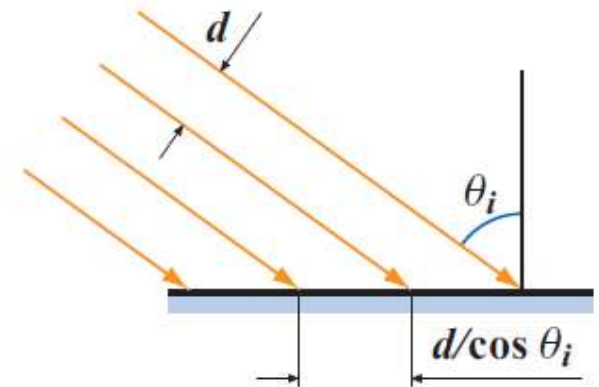
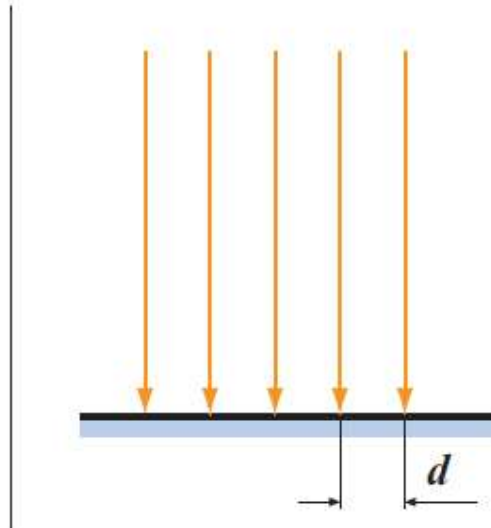
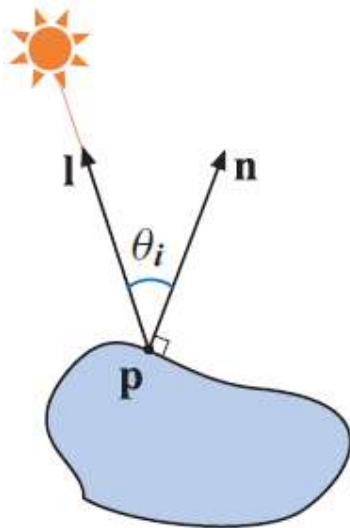
- ▶  $I = k_e + k_a I_a$
- ▶  $k_a$  - отражающая способность объекта
- ▶  $I_a$  - усредненная фоновая интенсивность





# Облученность/Irradiance

- ▶ Плотность мощности излучения, падающего на поверхность,  
 $\text{Вт} \cdot \text{м}^{-2}$   $E = \frac{d\Phi}{dS}$
- ▶  $E_l$  - на поверхность, нормальной к  $\mathbf{l}$
- ▶  $E = E_l \cdot \max(\mathbf{n} \cdot \mathbf{l}, 0)$  – на поверхность с нормалью  $\mathbf{n}$



# Энергетическая светимость / *Exitance*

---

- ▶ Измерение выходящего из материала освещения  $M$
- ▶ Взаимодействие света и материала линейно  
 $M = f(E), f(\alpha E) = \alpha(fE)$
- ▶  $\frac{M}{E}$  - характеристика материала
  - ▶ Для не испускающих свет материалов  $\frac{M}{E} \in [0; 1]$
  - ▶ Может варьироваться для разных длин волн, записывается  
 $(R, G, B) = c, c_{diff}, c_{spec}$
  - ▶ Также обозначается, как *albedo* – отражающая способность материала

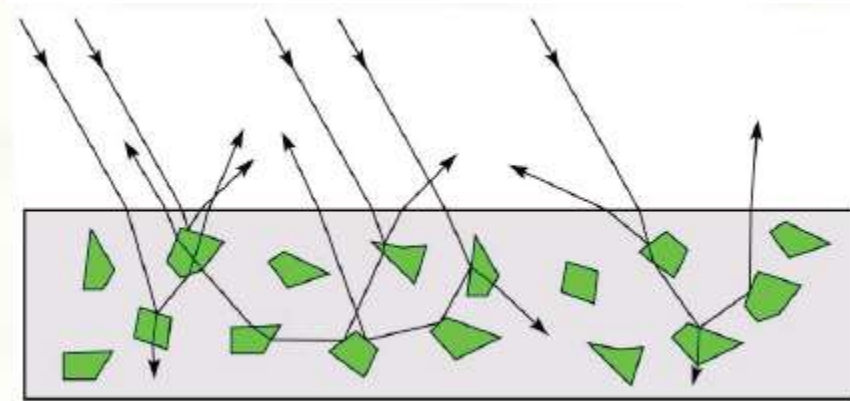
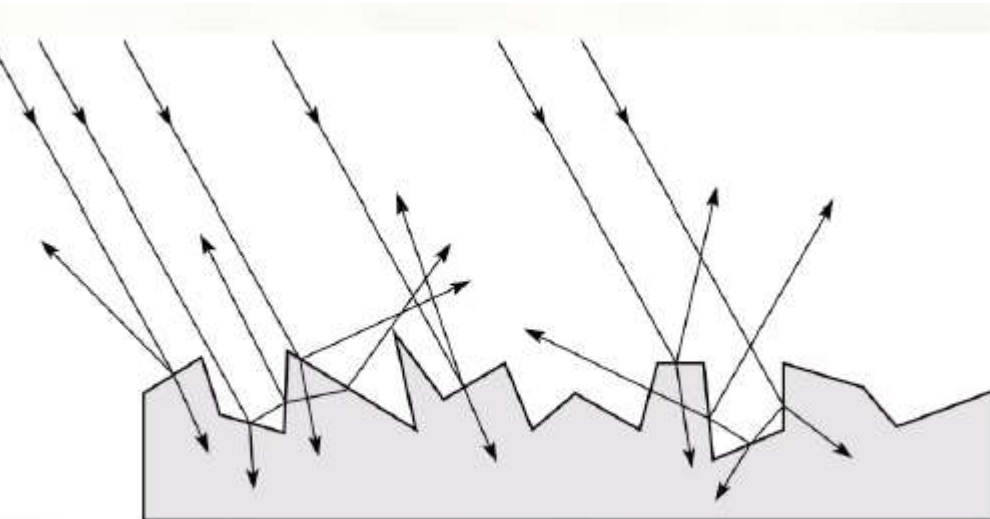
# Свойства материала

---

- ▶  $k_e, k_a, I_a$  - функции длины волны
- ▶  $I(\lambda) = k_e(\lambda) + k_a(\lambda)I_a(\lambda)$
- ▶ Используем цветовой базис rgb:
  - ▶  $I_R = k_{e_R} + k_{a_R}I_{a_R}$
  - ▶  $I_G = k_{e_G} + k_{a_G}I_{a_G}$
  - ▶  $I_B = k_{e_B} + k_{a_B}I_{a_B}$

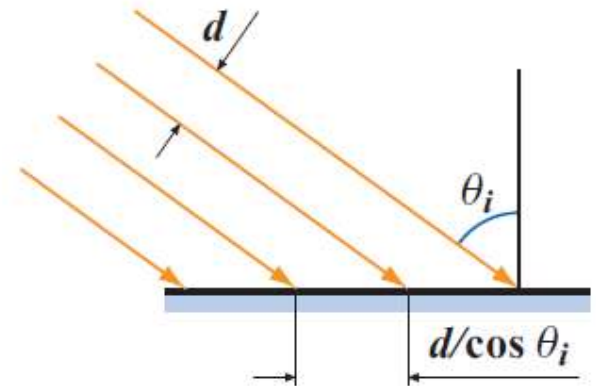
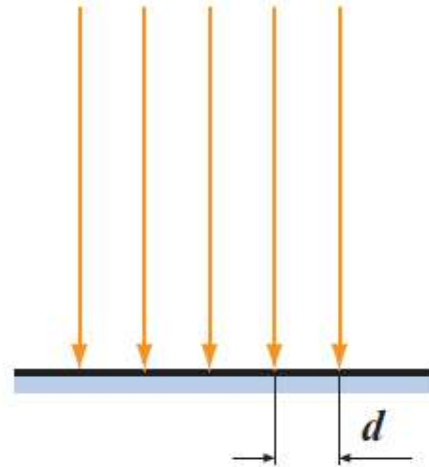
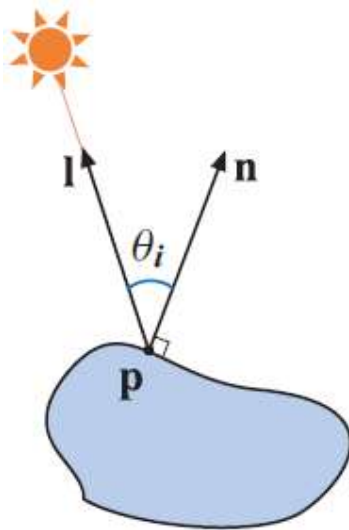
## 2:diffuse Рассеянный свет

- ▶ Тусклые, матовые поверхности
- ▶ Свет отражается равномерно во все стороны
- ▶ Можно представить, что освещаемая поверхность:
  - ▶ Состоит из случайно ориентированных микрофасетов
  - ▶ Состоит из небольших частиц
- ▶ Микрофасеты и частицы равномерно рассеивают свет



## 2:diffuse

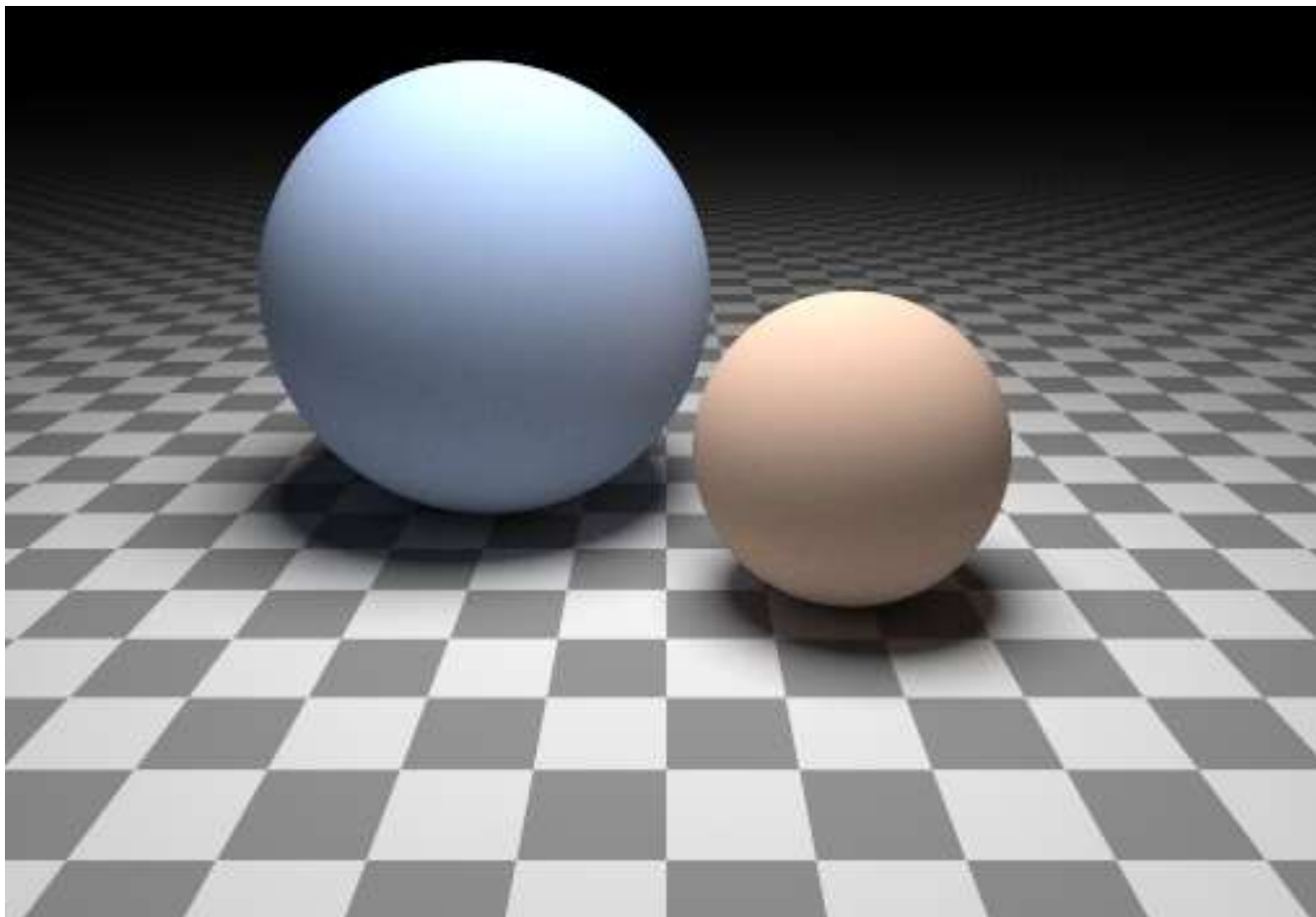
- ▶ Отраженный свет не зависит от положения наблюдателя
- ▶ Зависит только от направления источника света и нормали к поверхности



- ▶ 
$$I = k_e + k_a I_a + k_d I_l (nl)_+$$

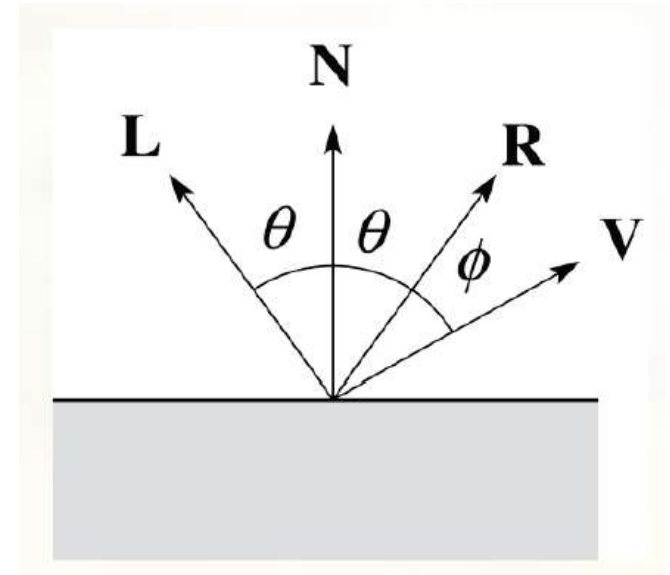
## 2: пример diffuse

---



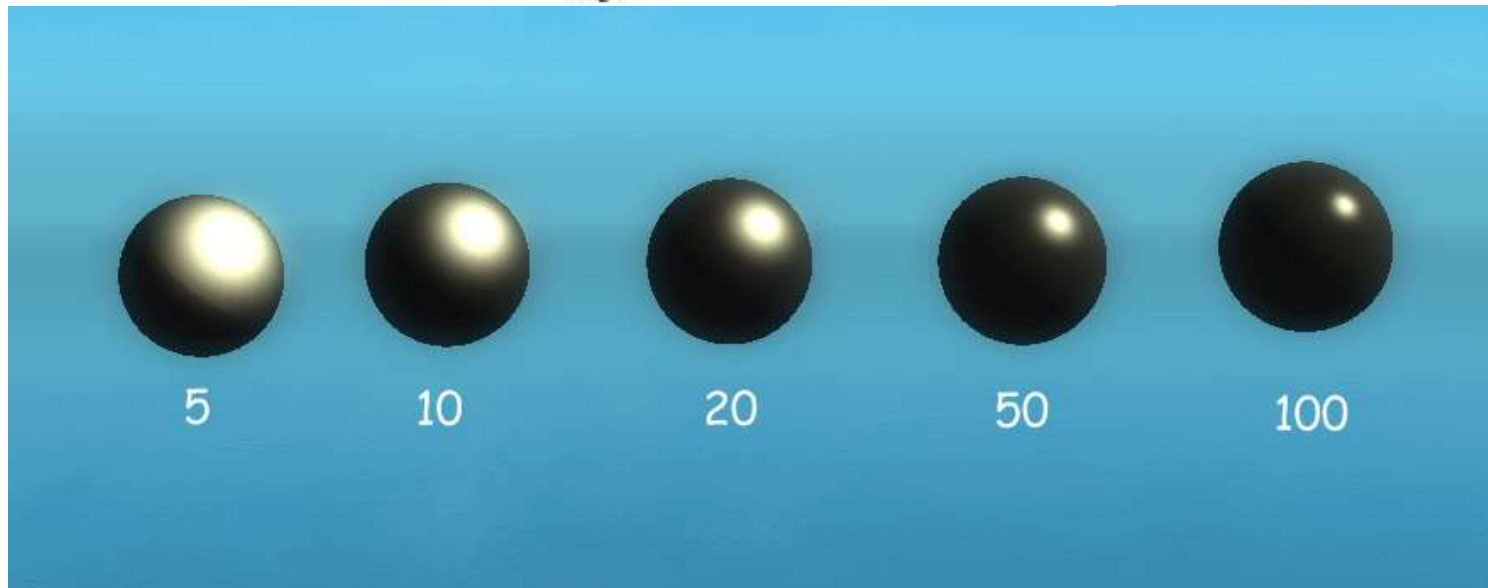
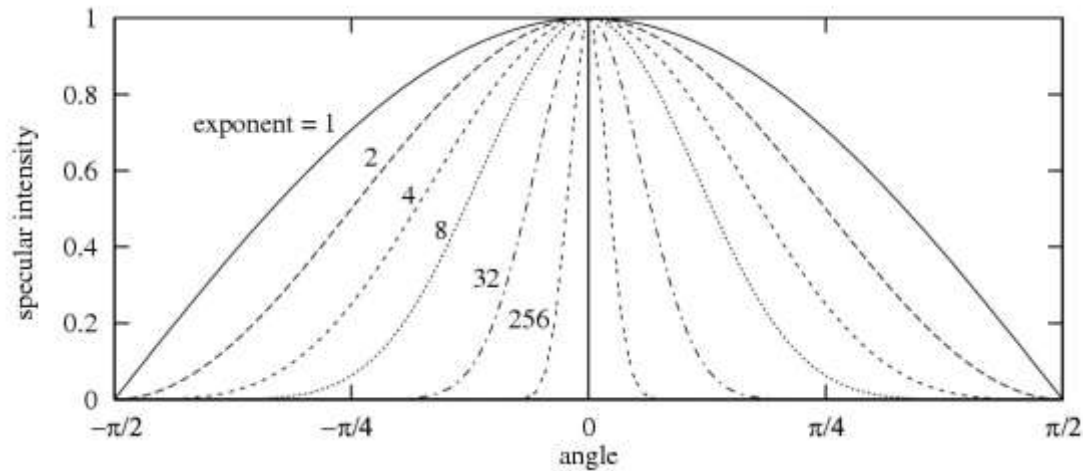
## 3:specular

- ▶ Имитирует блик на поверхности объекта
- ▶ Используется для таких материалов, как:
  - ▶ Металл
  - ▶ Пластик
  - ▶ Кожа
- ▶ Свойства:
  - ▶ Зависимость от направления на наблюдателя  $v$
  - ▶ Цвет, как правило, не меняется



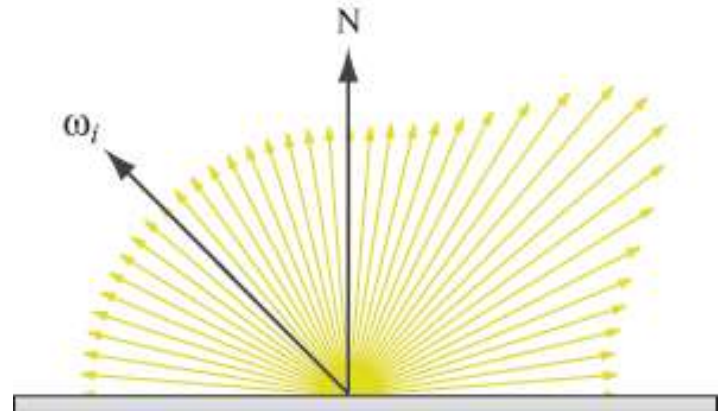
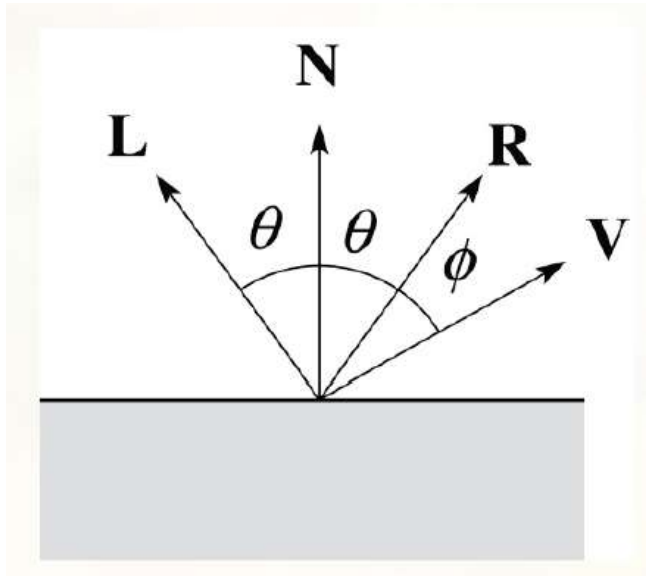


### 3: Коэффициент зеркальности





### 3: итоговое уравнение

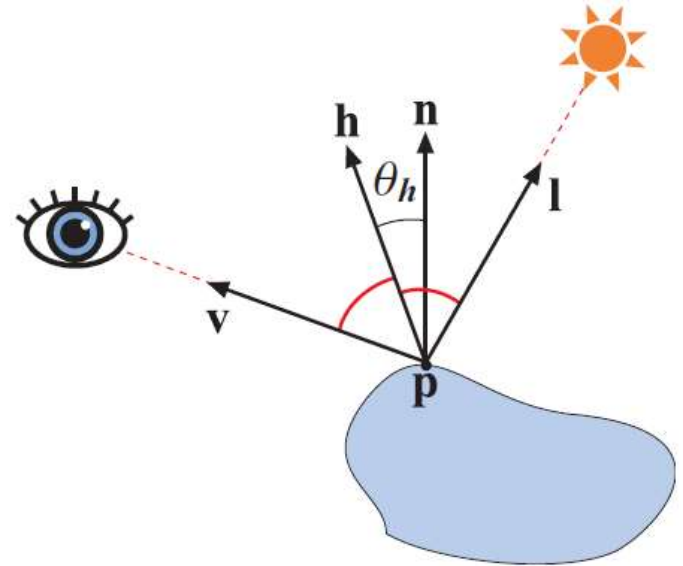


► 
$$I = k_e + k_a I_a + k_d I_l (nl)_+ + k_s I_l (rv)_+^m$$

# Модель Блинн-Фонга

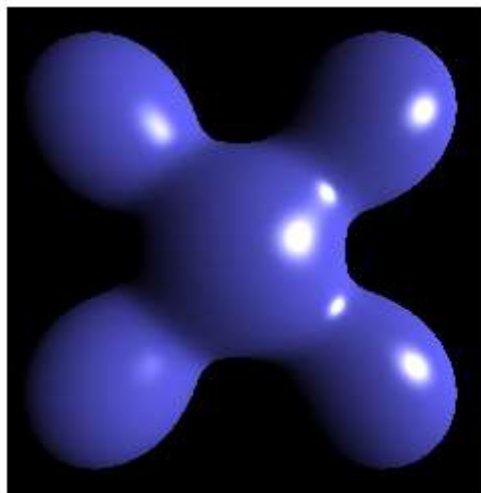
- ▶ Вместо отраженного вектора  $r$  используется вектор  $h$
- ▶  $h = \widetilde{v + l}$
- ▶  $I = k_s I_l (hn)^m$
- ▶ Преимущество модели Блинн-Фонга по сравнению с обычной моделью Фонга?

$(\forall p \ l_p = l \ \wedge \ v_p = v) \Rightarrow h_p = \text{const} \Rightarrow \text{вычисляется один раз}$

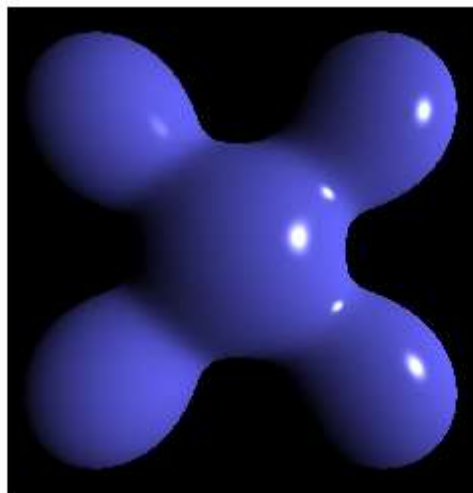


# Модели Фонга и Блинна-Фонга

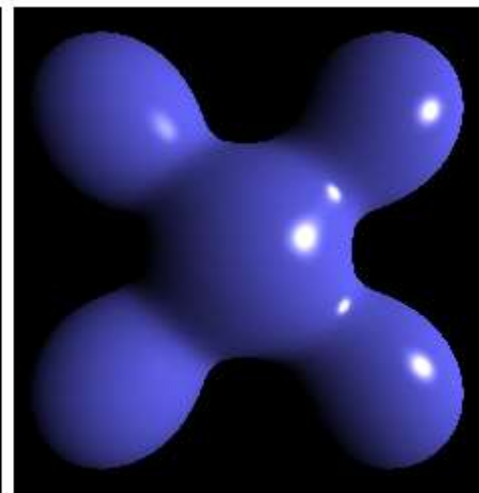
---



**Blinn-Phong**



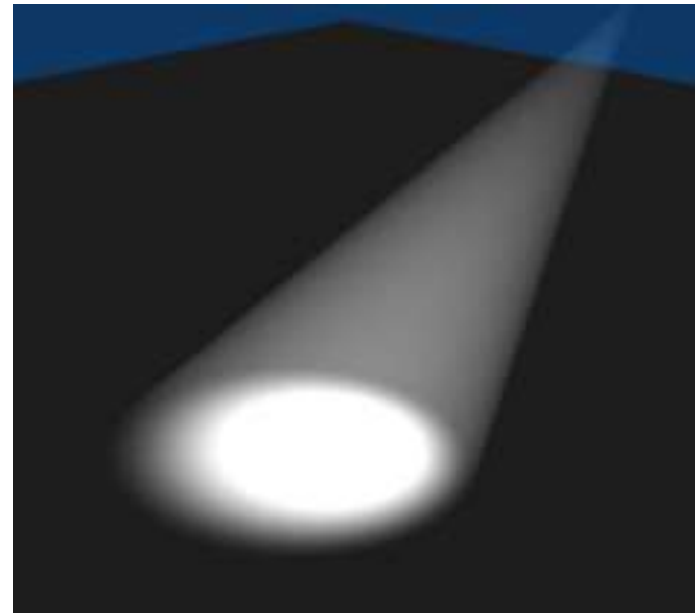
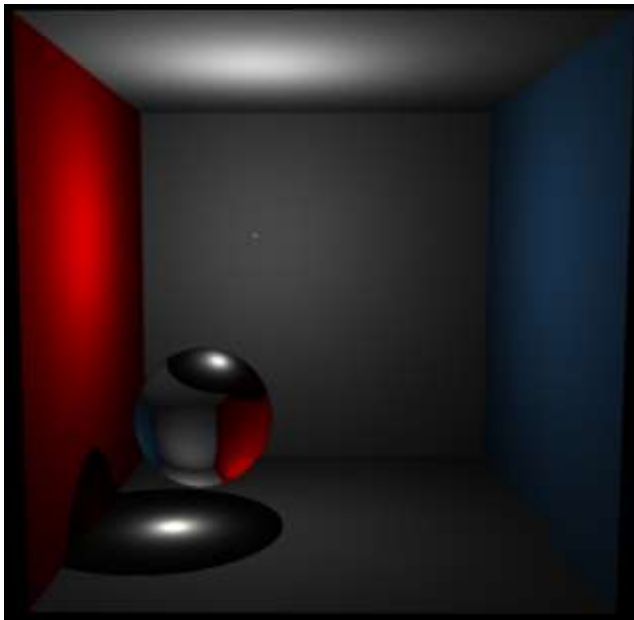
**Phong**



**Blinn-Phong**  
(higher exponent)

# Затухание

- ▶ Точечные источники света  $I(d) \sim \frac{1}{d^2}$
- ▶ Конический источник света – точечный + затухание по углу

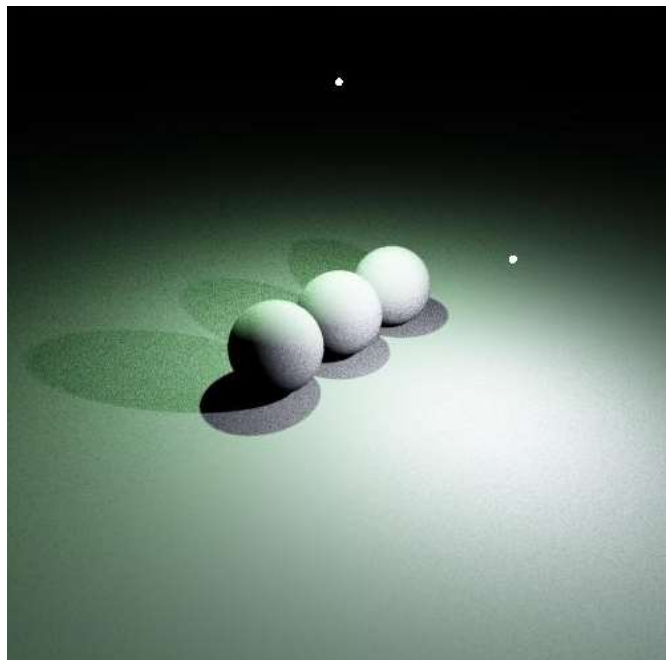


## 4: Множественные источники света

---

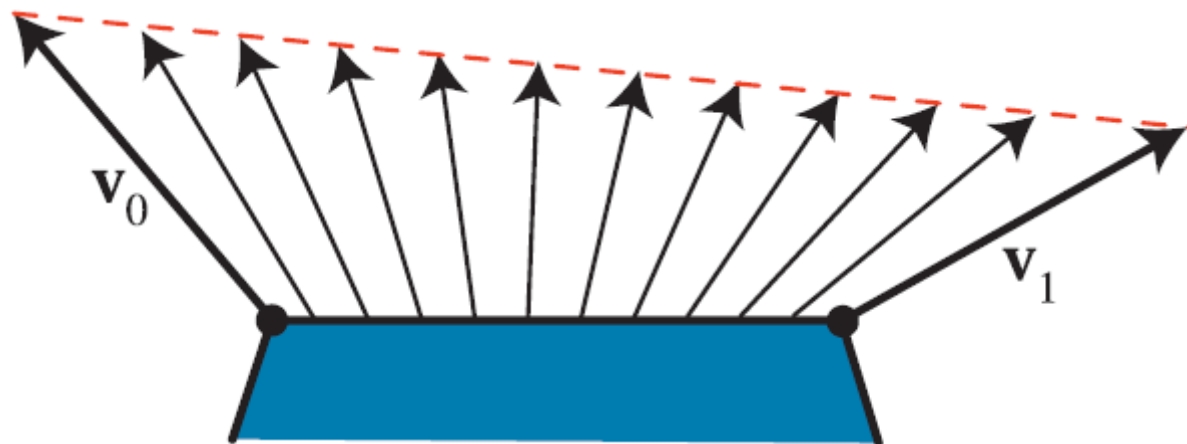
- ▶ Свет аддитивен
- ▶ Суперпозиция множественных источников света

$$I = k_e + k_a I_a + \sum_j I_{lj} (k_d (nl_j)_+ + k_s (r_j v)_+^m)$$



# Интерполяция нормалей и типы закраски

- ▶ lerp
- ▶ nlerp
- ▶ slerp



# Типы закрасок

- ▶ **Плоская / Flat**

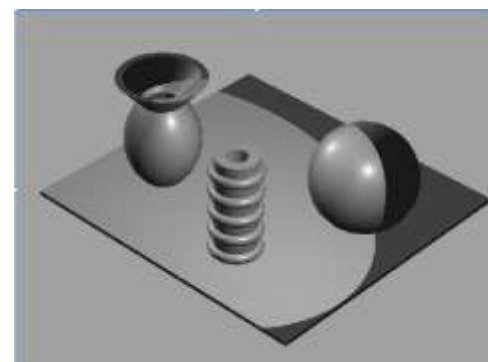
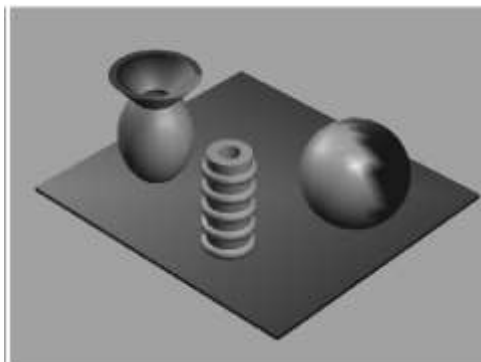
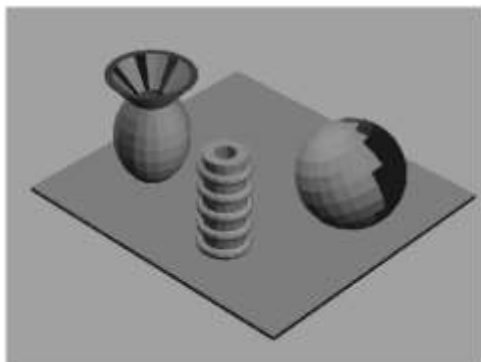
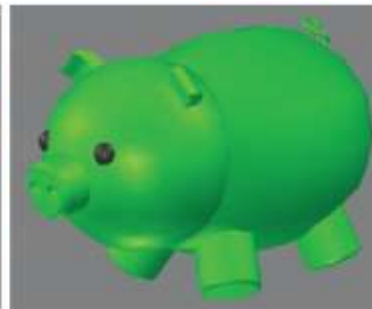
*Расчет освещения для фасетов*

- ▶ **Гуро / Gouraud**

*Расчет освещения для вершин*

- ▶ **Фонг / Phong**

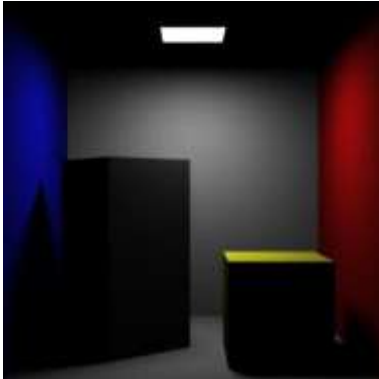
*Расчет освещения для фрагментов*



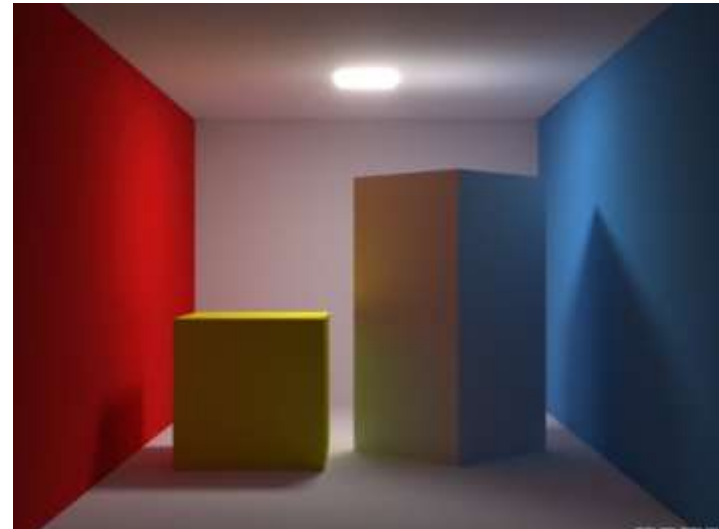
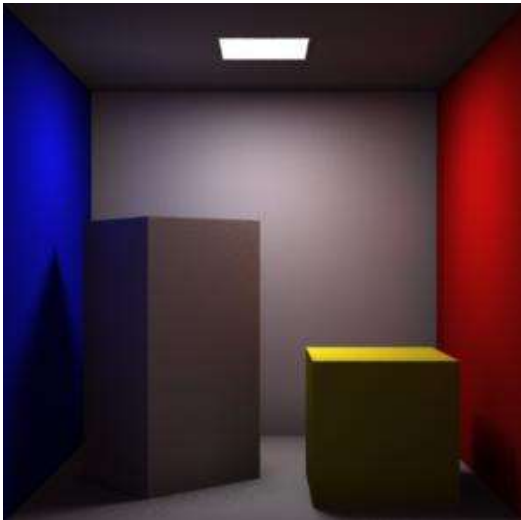


# Глобальное освещение

- ▶ *Cornell box*, только локальное освещение



- ▶ *Cornell box*, глобальное освещение за счёт учета вторичных лучей





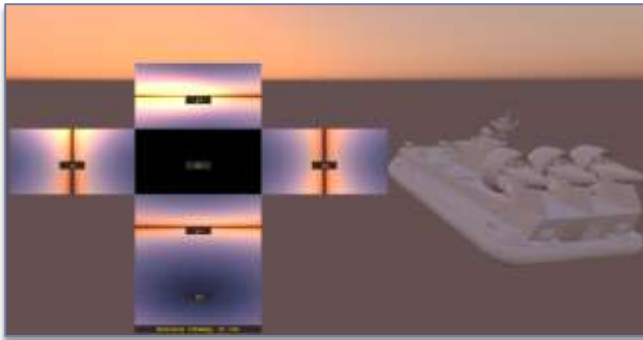
# Модели глобального освещения

## ► Фоновое освещение / *ambient*

- Константная добавка в формулу освещения,

- $L_o(v) = \sum_{k=1}^n (K_a + \overline{\cos\theta_k} K_d + \overline{\cos\theta_{h_k}}^m K_s) * B_k$

- Построение карты освещенности небосвода



- Voxel tracing



# Ambient occlusion

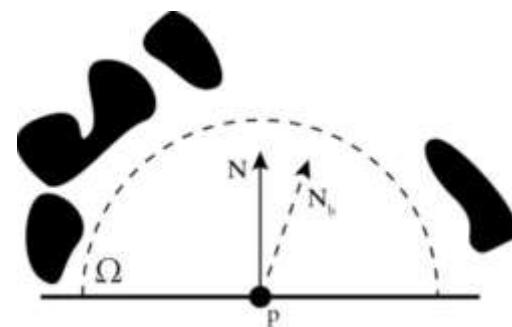
- Учет геометрии в окрестности освещаемой точки



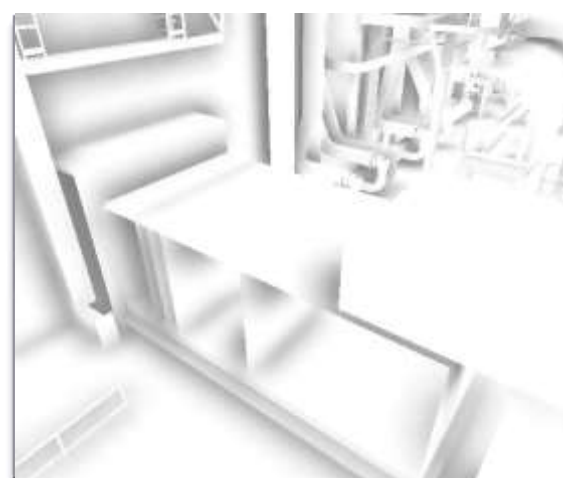
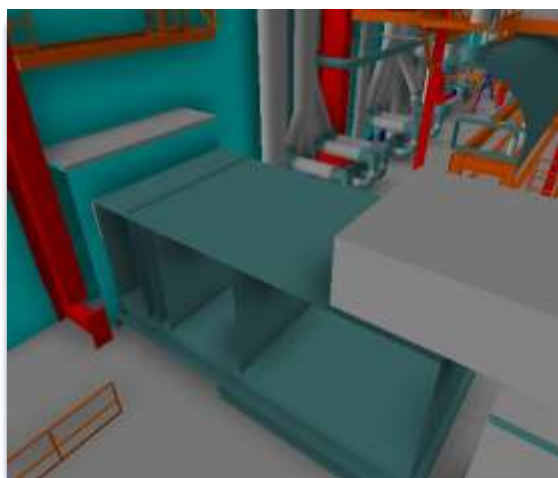
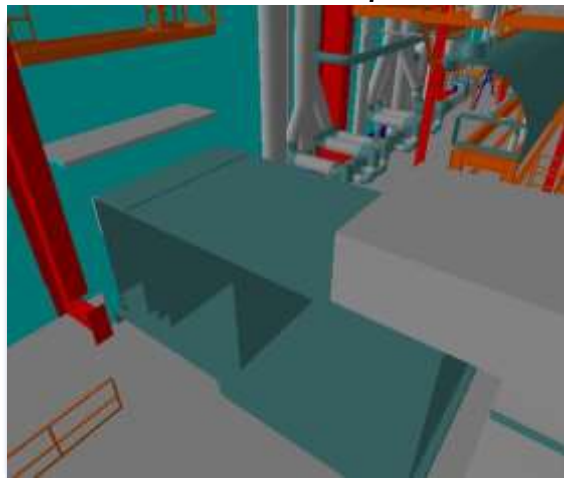
Без АО



АО



- SSAO – screen space ambient occlusion – приближение АО в экране через буфер глубины





# Вопросы

---

