

Простые модели освещения

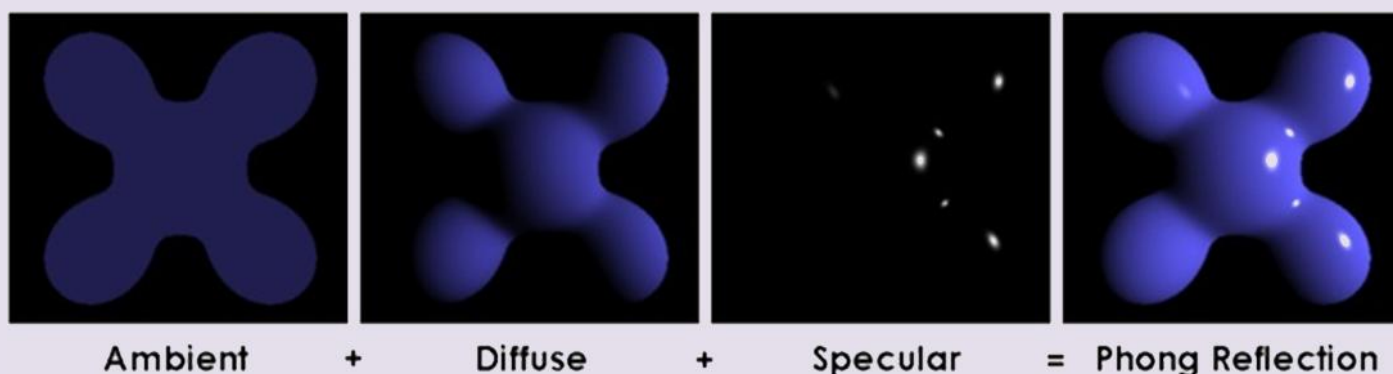
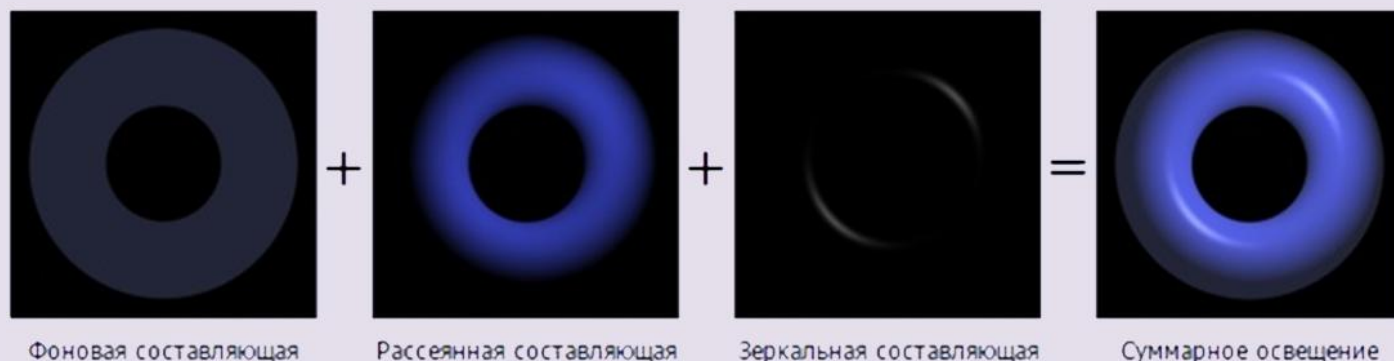
Определение. Луч, который приходит непосредственно от источника света, называется **первичным**. Луч, который претерпел одно или несколько переотражений, называется **вторичным**. Физические модели, которые не учитывают перенос света между поверхностями (не используют вторичное освещение), называются **локальными**. В противном случае модели называются **глобальными** или моделями глобального освещения.

Физически обоснованные модели материалов стараются аппроксимировать свойства некоторого реального материала. Такие модели учитывают особенности поверхности материала, например слои материала (моделирование кожи или тонких пленок) или же поведение частиц материала (моделирование снега, песка, различных жидкостей).

Эмпирические модели материалов устроены несколько иначе, чем физически обоснованные. Как правило, данные модели подразумевают некий набор параметров, не имеющих физической интерпретации, но позволяющих с помощью подгона получить нужный вид конечной модели. Иногда такие модели дают более качественный результат за счет большего контроля за выразительностью, чем за точностью.

Примеры эмпирических моделей: **модель Ламберта, модель Фонга.**

Самая простая модель освещения может быть построена, как сумма таких световых составляющих.



$$I = I_a + I_d + I_s, \text{ где}$$

I_a - фоновая составляющая (ambient);

I_d - рассеянная составляющая (diffuse);

I_s - зеркальная составляющая (specular).

Фоновая составляющая

Предполагается, что источник точечный, поэтому объекты, на которые не падает прямой свет, кажутся черными. Однако на объекты реальных сцен падает еще и рассеянный свет, отраженный от окружающей обстановки, например от стен комнаты. Рассеянному свету соответствует распределенный источник. Но поскольку расчет таких источников слишком ресурсоемкий, а их эффект, как правило, мало различим фоновое освещение определяют как постоянную в каждой точке величину надбавки к освещению. Вычисляется фоновая составляющая освещения как:

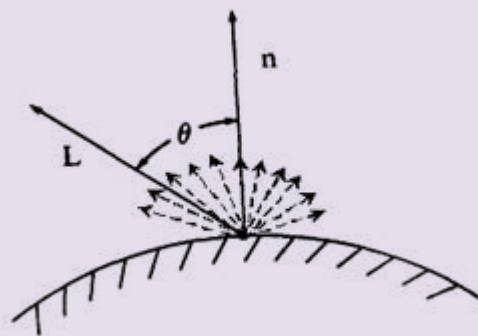
$$I_a = k_a \cdot i_a, \text{ где}$$

I_a – фоновая составляющая освещенности в точке,
 k_a – свойство материала воспринимать фоновое освещение,
 i_a – мощность фонового освещения.

Из формулы выше видно, что фоновая составляющая освещенности не зависит от пространственных координат освещаемой точки и источника. Часто просто задается некое глобальное фоновое освещение всей сцены.

Рассеянная составляющая

Диффузное отражение света происходит, когда свет как бы проникает под поверхность объекта, поглощается, а затем вновь испускается. При этом положение наблюдателя не имеет значения, так как диффузно отраженный свет рассеивается равномерно по всем направлениям.



Свет точечного источника отражается от идеального рассеивателя по закону косинусов Ламберта: интенсивность отраженного света пропорциональна косинусу угла между направлением света и нормалью к поверхности. Для удобства все векторы, описанные ниже, берутся единичными. В этом случае косинус угла между ними совпадает со скалярным произведением:

$$I_d = k_d \cdot i_l \cdot \cos(\vec{L}, \vec{N}) = k_d \cdot i_l \cdot (\vec{L} \cdot \vec{N}), \text{ где}$$

I_d – рассеянная составляющая освещенности в точке,
 k_d – свойство материала воспринимать рассеянное освещение,
 i_l – интенсивность точечного источника,
 L – направление из точки на источник света,
 N – вектор нормали в точке.

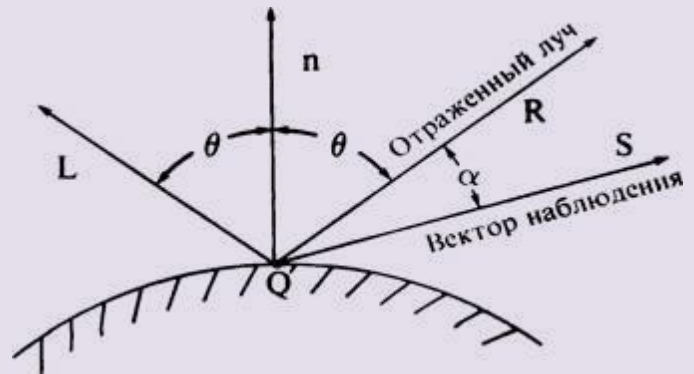
Интенсивность света обратно пропорциональна квадрату расстояния от источника, следовательно, объект, лежащий дальше от него, должен быть темнее. В случае перспективного преобразования сцены в качестве коэффициента пропорциональности можно взять расстояние d от центра проекции до объекта. Но если центр проекции лежит близко к объекту, то $1/d^2$ изменяется очень быстро, т. е. у объектов, лежащих примерно на одинаковом расстоянии от источника, разница интенсивностей чрезмерно велика. Как показывает опыт, большей реалистичности можно добиться при линейном затухании. В этом случае модель освещения выглядит так:

$I_d = \frac{k_d \cdot i_l}{d+K} \cdot \cos(\vec{L}, \vec{N}) = \frac{k_d \cdot i_l}{d+K} \cdot (\vec{L} \cdot \vec{N})$, где K — произвольная постоянная, а d — расстояние от центра проекции до объекта.

Модель Ламберта является одной из самых простых моделей освещения. Данная модель очень часто используется в комбинации других моделей, практически в любой другой модели освещения можно выделить диффузную составляющую. Более-менее равномерная часть освещения (без присутствия какого-либо всплеска) как правило будет представляться моделью Ламберта с определенными характеристиками. Данная модель может быть очень удобна для анализа свойств других моделей (за счет того, что ее легко выделить из любой модели и анализировать оставшиеся составляющие).

Зеркальная составляющая

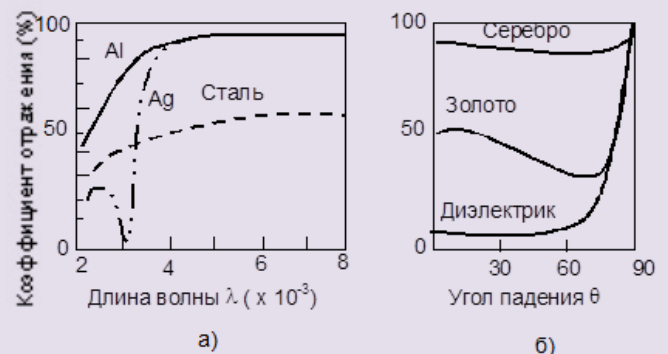
Интенсивность зеркально отраженного света зависит от угла падения, длины волны падающего света и свойств вещества отражающей поверхности. Зеркальное отражение света является направленным. Угол отражения от идеальной отражающей поверхности (зеркала) равен углу падения, в любом другом положении наблюдатель не видит зеркально отраженный свет. Это означает, что вектор наблюдения \mathbf{S} совпадает с вектором отражения \mathbf{R} , и угол α равен нулю. Если поверхность не идеальна, то количество света, достигающее наблюдателя, зависит от пространственного распределения зеркального отраженного света. У гладких поверхностей распределение узкое или сфокусированное, а у шероховатых более широкое.



Благодаря зеркальному отражению на блестящих предметах появляются световые блики. Из-за того, что зеркально отраженный свет сфокусирован вдоль вектора отражения, блики при движении наблюдателя тоже перемещаются. Более того, так как свет отражается от внешней поверхности (за исключением металлов и некоторых твердых красителей), то отраженный луч сохраняет свойства падающего. Например, при освещении блестящей синей поверхности белым светом, возникают белые, а не синие блики.

Так как физические свойства зеркального отражения очень сложны, в простых моделях освещения обычно пользуются эмпирической моделью Буй-Тюнга Фонга:

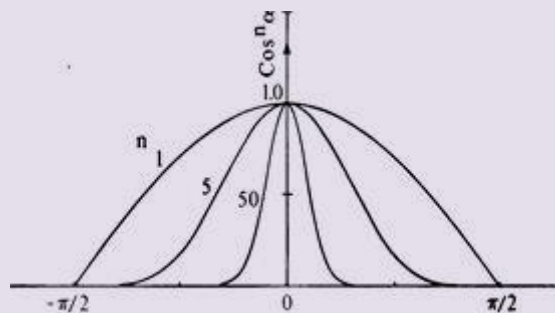
$I_s = I_l \cdot w(\vec{L} \wedge \vec{N}, l) \cdot \cos^p(\vec{R}, \vec{S})$,
где $w(\vec{L} \wedge \vec{N}, l)$ — кривая отражения, представляющая отношение зеркально отраженного света к падающему как функцию угла падения $\vec{L} \wedge \vec{N}$ и длины волны l , а $\cos^p(\vec{R}, \vec{S})$ — функция, аппроксимирующая пространственное распределение зеркально отраженного света. p — степень, аппроксимирующая пространственное распределение света.



Кривые отражения

Называется глянец (glossiness), зависит от качества полировки. Его малые значения (<100) соответствуют наиболее распространенным материалам с обычными оптическими свойствами, а значения в диапазоне от 100 до 500 соответствуют отражению от большинства металлических поверхностей.

Коэффициент зеркального отражения зависит от угла падения, однако даже при перпендикулярном падении зеркально отражается только часть света, а остальное либо поглощается, либо отражается диффузно. Эти соотношения определяются свойствами вещества и длиной волны. Коэффициент отражения для некоторых неметаллов может быть всего 4%, в то время как для металлических материалов — более 80%.



Приближенные функции пространственного распределения для зеркального отражения

Поскольку функция $w(\vec{L} \wedge \vec{N}, l)$ довольно сложна, ее обычно заменяют константой k_s , выбираемой экспериментально из эстетических соображений:

$$I_s = i_l \cdot k_s \cdot \cos^p(\vec{R}, \vec{S})$$

Общая модель

Объединяя формулы фонового освещения, диффузного отражения и зеркального отражения, получим модель освещения:

$$I = i_a \cdot k_a + i_l \cdot \frac{k_d \cdot (\vec{L} \cdot \vec{N}) + k_s \cos^p(\vec{R}, \vec{S})}{d + K}$$

Если имеется несколько источников света, то их эффекты суммируются. В этом случае модель освещения определяется как:

$$I = i_a \cdot k_a + \sum_{j=1}^m i_{l_j} \cdot \frac{k_d \cdot (\vec{L}_j \cdot \vec{N}) + k_s \cos^p(\vec{R}_j, \vec{S}_j)}{d + K},$$
 где m - количество источников освещения

Плоская модель затенения (Flat shading)

Равномерная закраска позволяет получить более реалистичное изображение, чем каркасный или неосвещенный методы визуализации. При равномерной закраске учитывается освещенность полигона. Для каждого полигона вычисляется нормаль, которая применяется для вычисления параметров освещенности всей грани. Равномерная закраска является самым простым, грубым и быстрым способом тонирования.

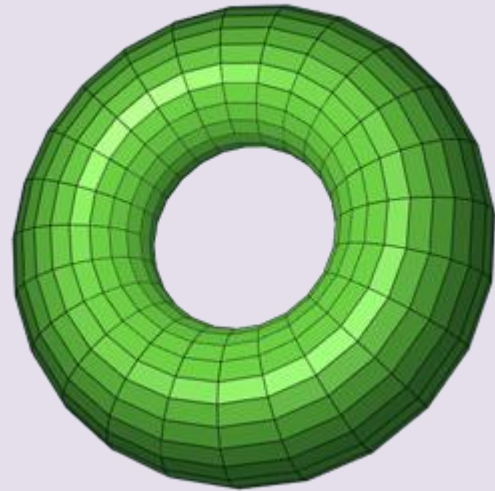
Метод затенения Гуро (Gouraud shading)

Этот метод предназначен для создания иллюзии гладкой криволинейной поверхности, описанной в виде полигональной сетки с плоскими гранями. Если каждый полигон имеет один постоянный цвет, определенный с учетом отражения, то различные цвета соседних полигонов очень заметны и поверхность выглядит как многогранник. Казалось бы, этот дефект можно замаскировать за счет увеличения числа полигонов при аппроксимации поверхности. Но зрение человека имеет способность подчеркивать перепады яркости на границах смежных полигонов – такой эффект называется эффектом полос Маха. Поэтому

для создания иллюзии гладкости нужно намного увеличить число полигонов, что приводит к существенному замедлению визуализации – чем больше полигонов, тем меньше скорость рисования объектов.



Идеальная модель



Полигональное приближение

Метод Гуро основывается на идее закрашивания каждого полигона не одним цветом, а плавно изменяющимися оттенками, вычисляемыми путем определения освещенности полигона в его вершинах с последующей билинейной интерполяцией найденных величин на всю грань. В этом случае нормаль в вершине определяется усреднением нормалей примыкающих граней. На основе нормалей в вершинах вычисляются значения интенсивности в вершинах согласно выбранной модели освещения. Закрашиваются полигоны граней цветом, соответствующим линейной интерполяции значений интенсивности в вершинах.

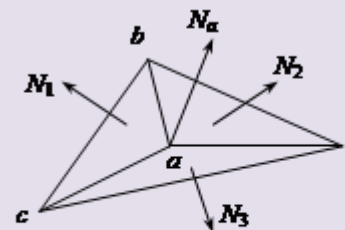
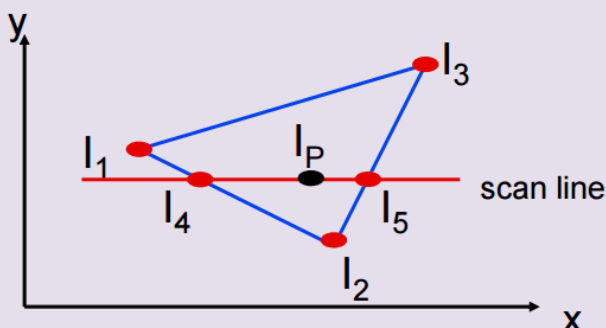


Рис. 28. Вектор нормали в вершине

Интерполированные значения интенсивности отраженного света в каждой точке грани (и, следовательно, цвет каждого пиксела) удобно определять во время цикла заполнения полигона. Рассмотрим заполнение контура грани горизонталями в экранных координатах:



$$I_4 = I_1 \cdot \frac{y_4 - y_2}{y_1 - y_2} + I_2 \cdot \frac{y_1 - y_4}{y_1 - y_2}$$

$$I_5 = I_3 \cdot \frac{y_5 - y_2}{y_3 - y_2} + I_2 \cdot \frac{y_3 - y_5}{y_3 - y_2}$$

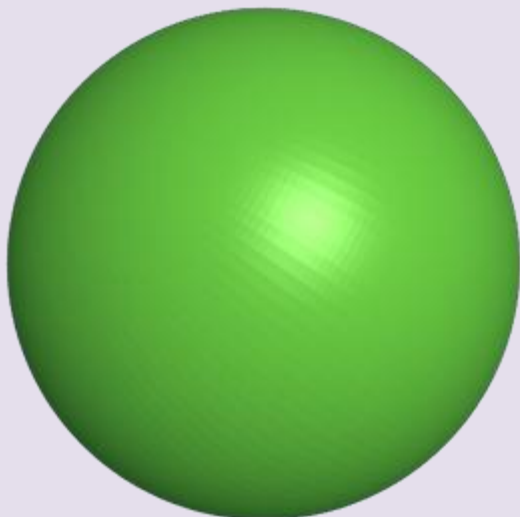
$$I_p = I_4 \cdot \frac{x_5 - x_p}{x_5 - x_4} + I_5 \cdot \frac{x_p - x_4}{x_5 - x_4}$$

Метод затенения Фонга (Phong shading)

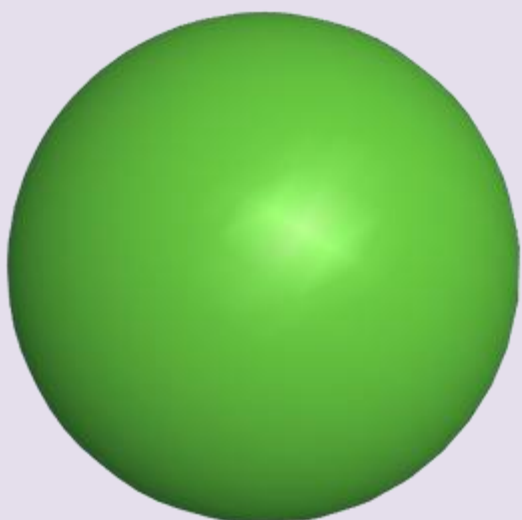
Метод Фонга аналогичен методу Гуро, но при его использовании для определения цвета в каждой точке интерполируются не интенсивности отраженного света, а векторы нормалей.



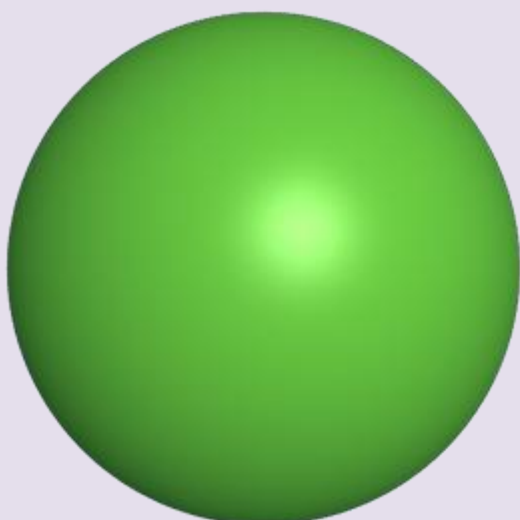
Плоское затенение (2000 полигонов)



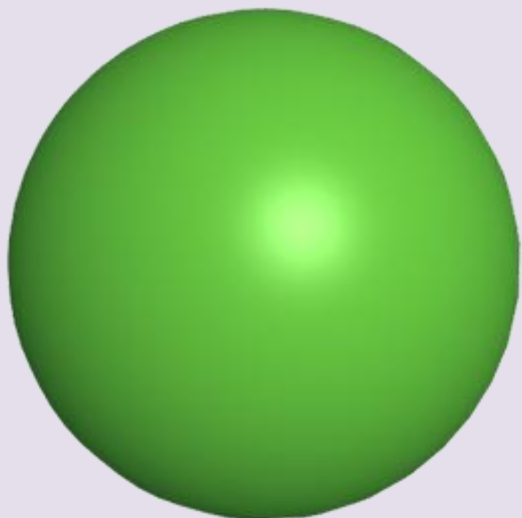
Плоское затенение (32000 полигонов)



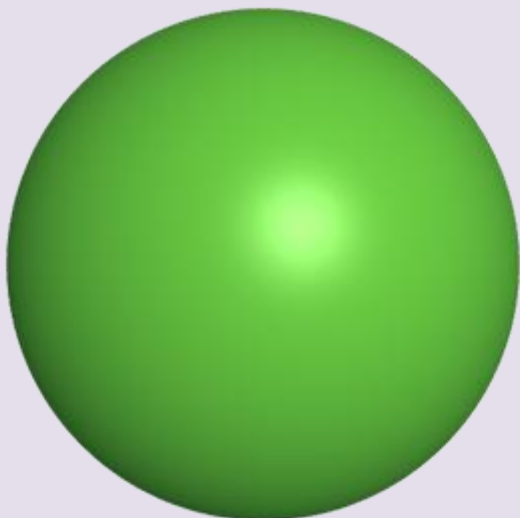
Затенение Гуро (2000 полигонов)



Затенение Гуро (32000 полигонов)



Затенение по Фонгу (2000 полигонов)



Затенение по Фонгу (32000 полигонов)