

# Компьютерная графика: Дополнительные главы

## Лекция 4: Глобальное освещение

Н.Д. Смирнова

Санкт-Петербургский Государственный Политехнический Университет

13.01.2011

## Компрессия BRDF

### Реальные измеренные BRDF

- представлены таблицей
- выборка 500-1500 образцов(samples) на полусферу
- для ray-traced

### Проблемы:

- слишком большие таблицы
- данные плохо приспособлены для hardware

### Наивный способ для изотропных BRDF

$$f_r(\omega_i, \omega_o) \rightarrow f_r(\theta_i, \theta_o, \phi)$$

3D Texture?

## BRDF Factorization

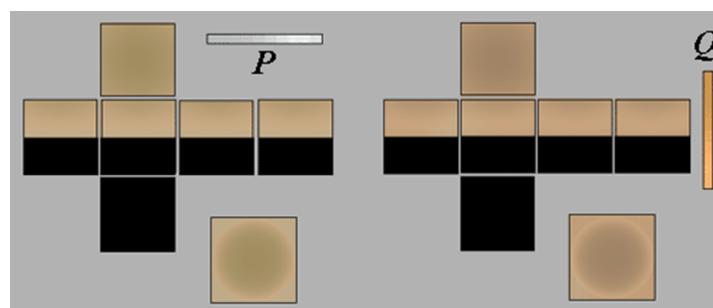
Вспомним вычисление отраженного света:

$$L_r(x, \omega_o) = \int_{\Omega} f_r(x, \omega_i, \omega_o) L_i(x, \omega_i) (-\omega_i \cdot n) d\omega_i;$$

Факторизация сводится к представлению вида:

$$f_r(\omega_i, \omega_o) \approx \sum_{j=1}^n p_j(\omega_i) q_j(\omega_o)$$

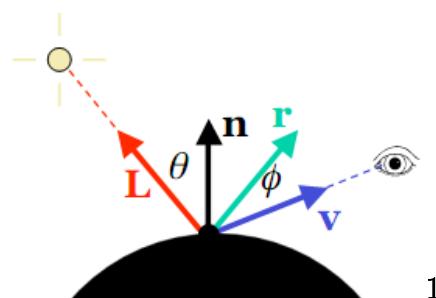
- большие потери точности
- нетривиальный механизм подбора  $p_j, q_j : j = \overline{1, n}$



## Local illumination

- объекты не влияют друг на друга (даже сам на себя не влияет)
  - нет теней
  - соседний объект не может освещать
- цвет поверхности зависит только от локальных параметров
  - Phong lighting

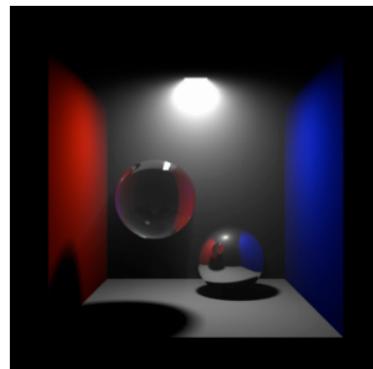
В реальности такого не бывает!



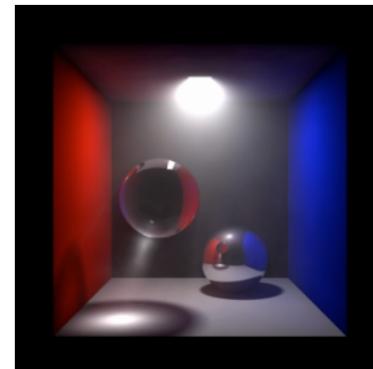
<sup>1</sup><http://www.cs.uiuc.edu/class/fa05/cs418/archive/spring2005/notes/21-GlobalIllumination.pdf>



## Global illumination



Direct lighting only

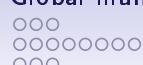


Global Illumination

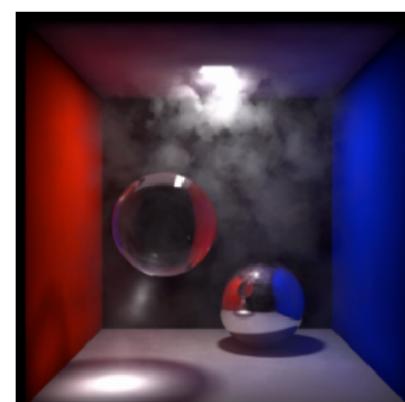
2

- моделирует сложные процессы распространения света в пространстве
  - многократное отражение, рассеивание света поверхностью
  - перенос света внутри вещества
  - самозатенения объектов
  - мягкие тени
  - сложные источники света

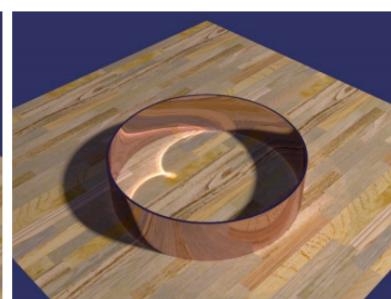
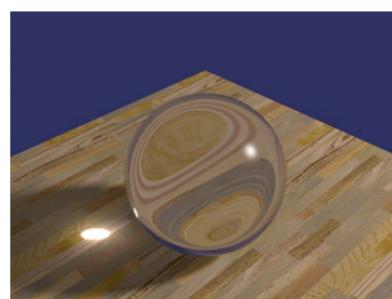
<sup>2</sup>H.W.Jensen, P.Christensen. Efficient Simulation of Light Transport in Scenes With Participating Media Using Photon Maps. SIGGRAPH 98



## Эффекты



3



4

<sup>3</sup>H.W.Jensen, P.Christensen. Efficient Simulation of Light Transport in Scenes With Participating Media Using Photon Maps. SIGGRAPH 98

<sup>4</sup>Henrik Wann Jensen

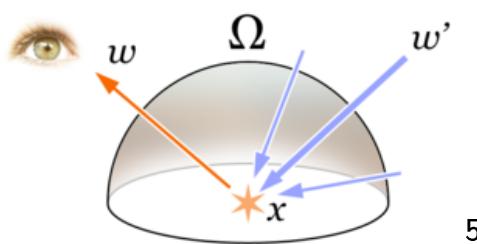


## Классификация алгоритмов

- честные алгоритмы
  - ray-tracing
  - photon mapping
  - radiosity
- быстрые алгоритмы (с потерей качества)
  - **environment lighting**
  - **pre-computed radiance transfer**



## Ближе к делу



дискретная форма для диффузных материалов давно знакома

$$L_o = L_e + C_s \sum_{i=1}^n C_{Li} (-\omega_i \cdot n)$$

вспомним rendering equation

$$L_o(x, \omega) = L_e(x, \omega) + \int_{\Omega} f_r(x, \omega', \omega) L_i(x, \omega') (-\omega' \cdot n) d\omega'$$

перепишем rendering equation по-другому

$$L_o(x, \omega) = L_e(x, \omega) + \int_{\Omega} f_r(x, \omega', \omega) L_i(x', \omega') G(x, x') V(x, x') d\omega'$$

---

<sup>5</sup>[http://en.wikipedia.org/wiki/Rendering\\_equation](http://en.wikipedia.org/wiki/Rendering_equation)

## Prefiltered Environment Maps

$$L_r(x, \omega_o) = \int_{\Omega} f_r(x, \omega_i, \omega_o) L_i(x, \omega_i) (-\omega_i \cdot n) d\omega_i$$

$$\text{EnvMap} + \text{BRDF} = \text{EnvMap}'$$

- полагает, что окружающая обстановка (environment) находится далеко от объекта
- не учитывает локальные отражения объектов (interreflections)

## Наивный метод

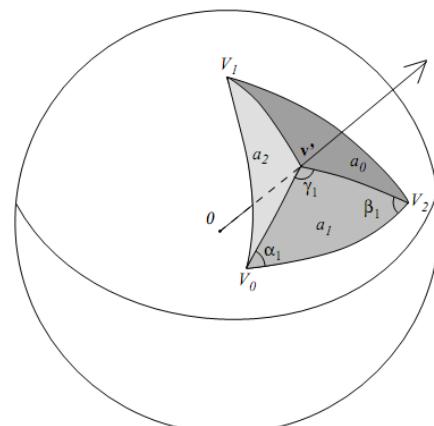
- посчитать EnvMap' для 20 направлений (икосаэдр)
- для произвольного направления трилинейная фильтрация

### Преимущества

- hardware любит текстуры и фильтрацию
- прекрасный результат для большинства направлений

### Проблемы

- только изотропные BRDF
- ошибки для острых углов



## Для простейших BRDF

Diffuse

- $f_r = k_d$
- $L_r(x, \omega_o) = \int_{\Omega} k_d L_i(x, \omega_i)(-\omega_i \cdot n) d\omega_i = L_r(x, n)$

Specular (Phong)

- $f_r(\omega_i, \omega_o) = \frac{k_s(\omega_o \cdot R_i)^m}{\omega_i \cdot n} = \frac{k_s(R_o \cdot \omega_i)^m}{\omega_i \cdot n}$
- $L_r(x, \omega_o) = \int_{\Omega} k_s(R_o \cdot \omega_i)^m L_i(x, \omega_i) d\omega_i = L_r(x, R_o)$

можно их смешать с помощью коэффициента френеля....



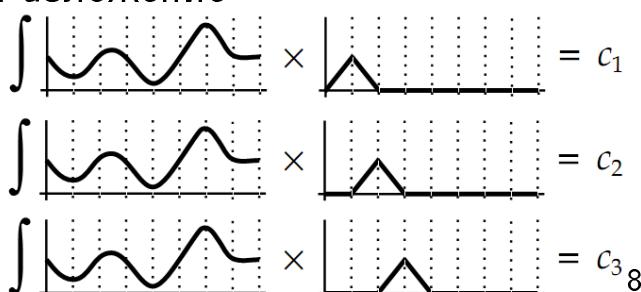
7

<sup>7</sup>Heidrich,W., and Seidel, H. Realistic, Hardware-accelerated Shading and Lighting. In Proceedings SIGGRAPH (Aug. 1999), pp. 171-178.

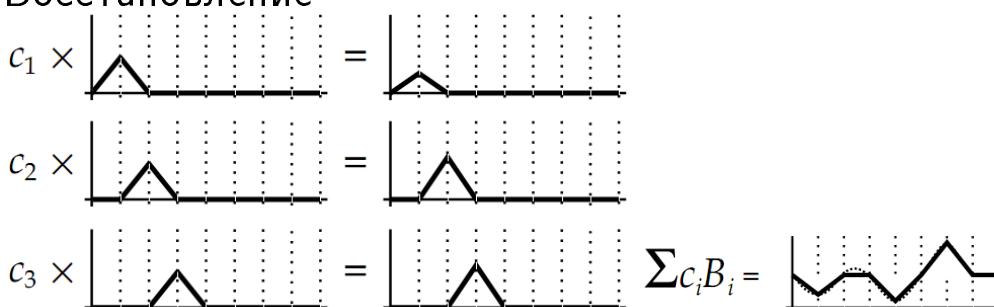
## Ортогональные системы базисных функций

$$\forall i, j, i \neq j : \int B_i B_j = 0; \forall i \int B_i B_i = 1$$

- Разложение



- Восстановление



<sup>8</sup>Robin Green, Spherical Harmonic Lighting: The Gritty Details. 2003



## Чем нам поможет?

- $L_r(x, \omega_o), \omega_o \in \Omega$
- разложим ее по базисным функциям
- для этого используем систему Сферических Гармоник
  - ортогональна
  - нормирована
  - дружелюбны к поворотам
  - основана на присоединенных(вещественных) полиномах Лежандра
  - аналогична преобразованиям Фурье, но определена на поверхности сферы
- еще использовали
  - Haar's wavelets, ...



## Сферические гармоники

$$f(\theta, \phi) = \sum_{l=0}^{\infty} \sum_{m=-l}^{l} f_l^m Y_l^m(\theta, \phi)$$

$$f_l^m = \int_{\Omega} f(\theta, \phi) Y_l^m(\theta, \phi) d\Omega$$

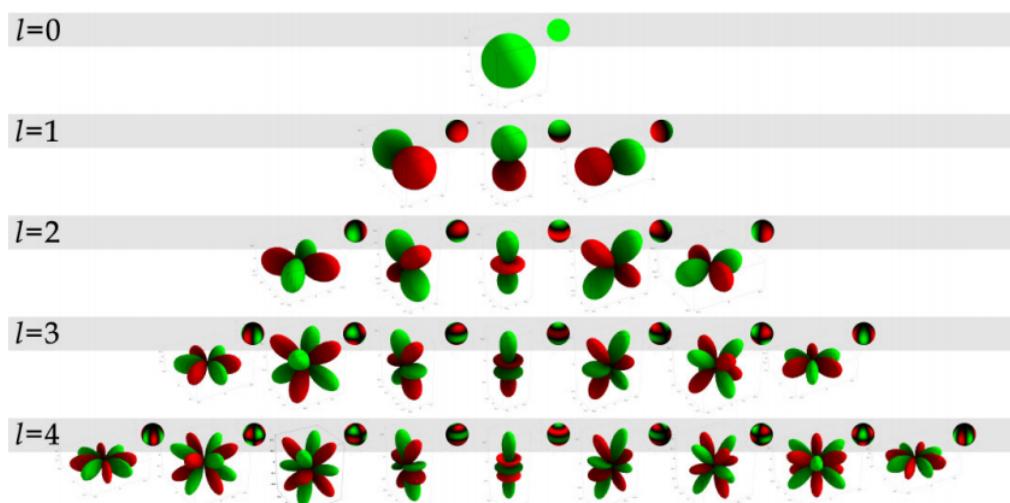
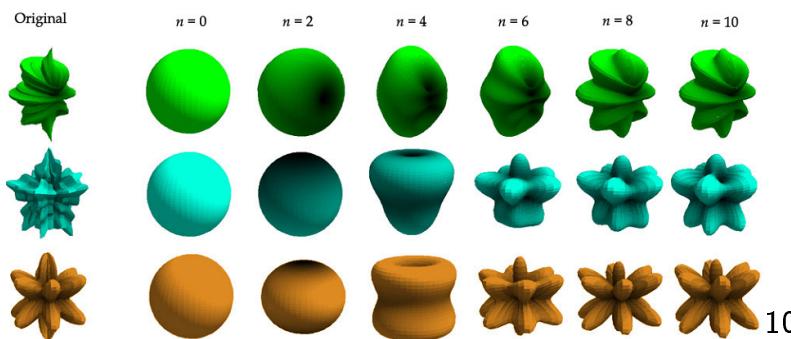


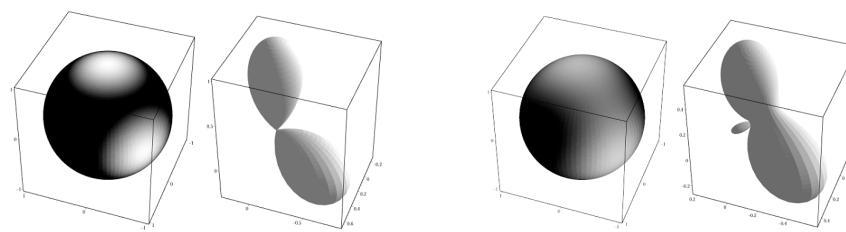
Figure 5. The first 5SH bands plotted as unsigned spherical functions by distance from the origin and by colour on a unit sphere. Green (light gray) are positive values and red (dark gray) are negative.



## Примеры использования



Environment map: 2 точечных источника, разложение 4-го порядка (=16 коэффициентов)



<sup>10</sup>Robin Green, Spherical Harmonic Lighting: The Gritty Details. 2003



## Вернемся к освещению

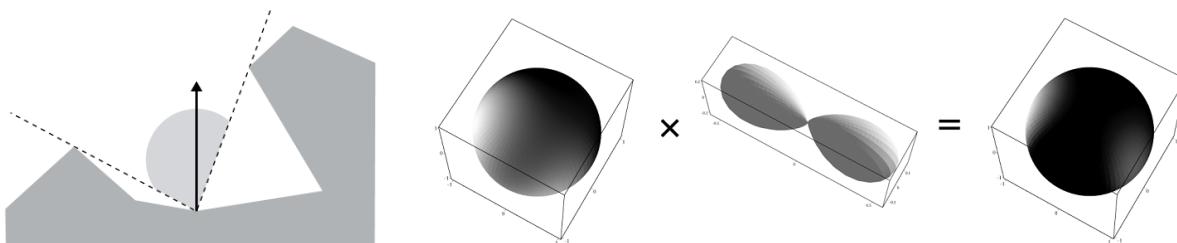
Диффузная модель освещения

- $L_r(x) = \int_{\Omega} k_d L_i(x, \omega_i)(n \cdot \omega_i) d\omega_i$
- окружающая обстановка далеко  $L_i(x, \omega_i) \rightarrow L_i(\omega_i)$
- для  $n = const : k_d(n \cdot \omega_i) = T(\omega_i)$
- воспользуемся свойством перемножения  
 $\int_{\Omega} g(\omega) f(\omega) d\omega = \sum_{i=0}^{n^2} g_i f_i$
- тогда такой вид  $L_r = \sum_{k=1}^{n^2} T_k L_{ik}$
- для произвольного  $n$  воспользуемся свойством поворота гармоник  $f'(\Omega) = f(Rotate(\Omega)) = Rotate'(f(\Omega))$
- техника не подходит для близких источников света



## Затенение

- есть функция освещения  $L_i(\omega)$
  - допустим у нас есть функция затенения(видимости)  $V(\omega)$
  - получим "затененный свет"
- $$L'_{ik} = \sum_{j=0}^{n^2} V_{kj} L_{ij}, V_{kj} = \int_{\Omega} V(\omega) y_i(\omega) y_j(\omega) d\omega$$
- далее все как раньше

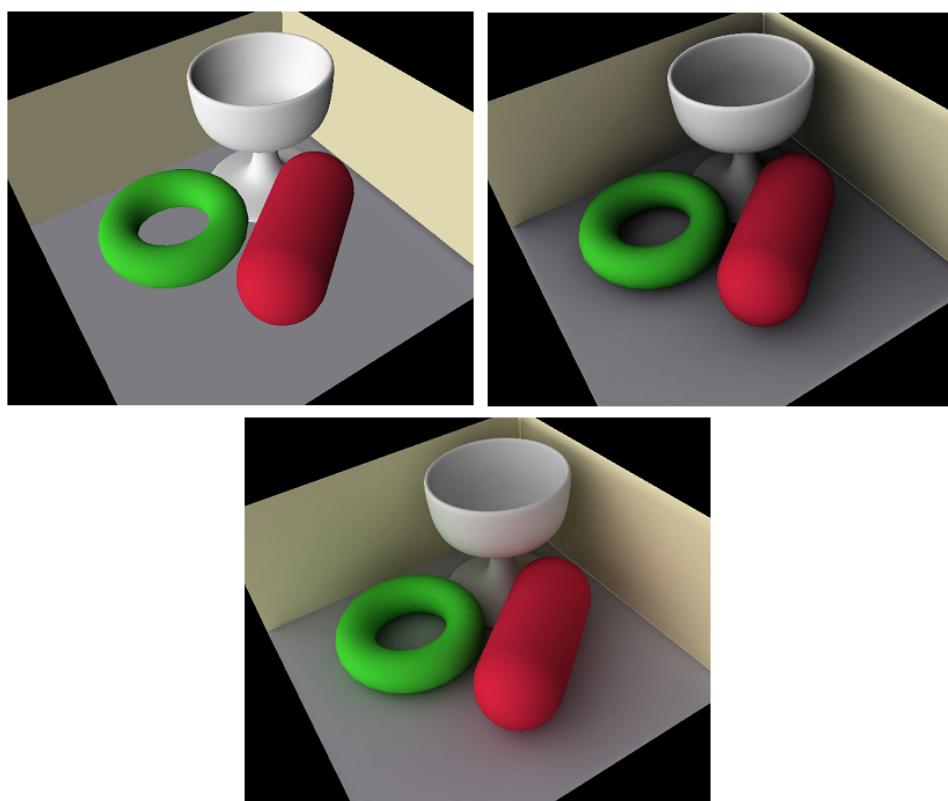


- функцию затенения тоже предрасчитывают, раскладывают и хранят коэффициенты в каждой вершине
- техника дает мягкие красивые тени
- техника не подходит для анимированных объектов

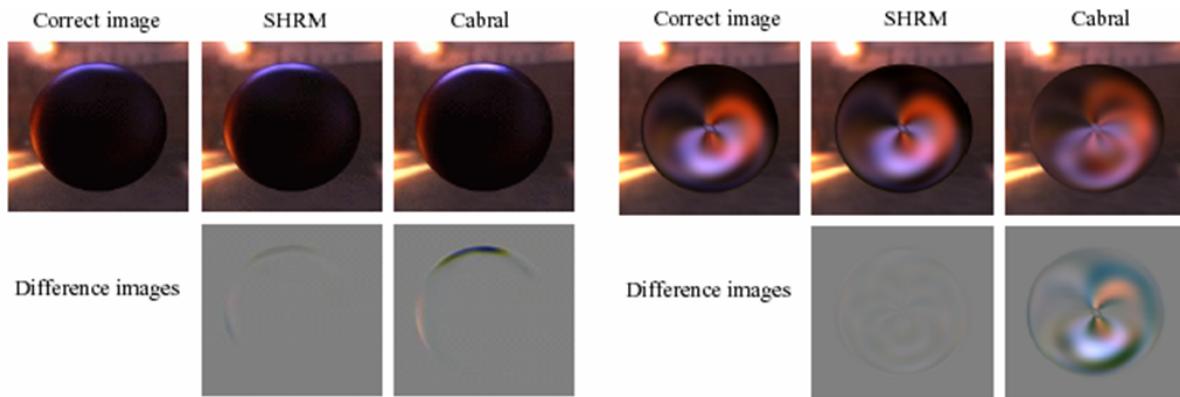


## Примеры

гармоники 5-го порядка



## Spherical harmonics vs Cabral prefiltered environment



11

<sup>11</sup>Ramamoorthi, Ravi, and Pat Hanrahan, "Frequency Space Environment Map Rendering Computer Graphics (SIGGRAPH 2002 Proceedings), pp. 517-526, 2002

## PRT - volumes

- статическая сцена с движущимися объектами
- строят PRT-volume
- интерполяция между узлами

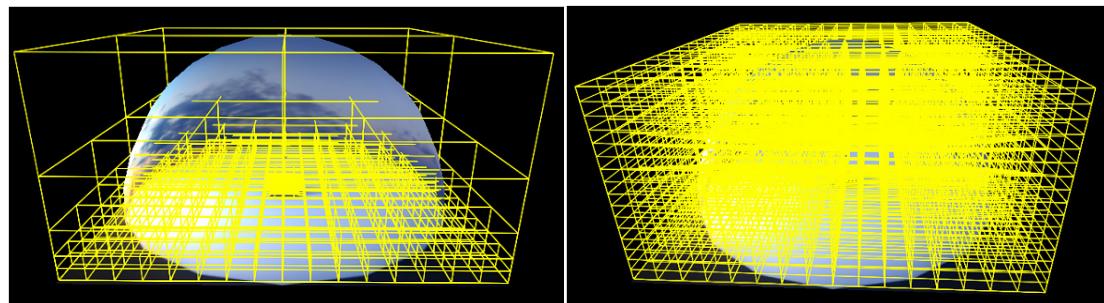


12

<sup>12</sup>G. Greger, P. Shirley, P. Hubbard, and D. Greenberg, The Irradiance Volume. IEEE Computer Graphics & Applications, 18(2):32-43, 1998.



## PRT - volumes



---

<sup>13</sup>Chris Oat. Irradiance Volumes for Games. ATI Research. 2005



TO BE CONTINUED...