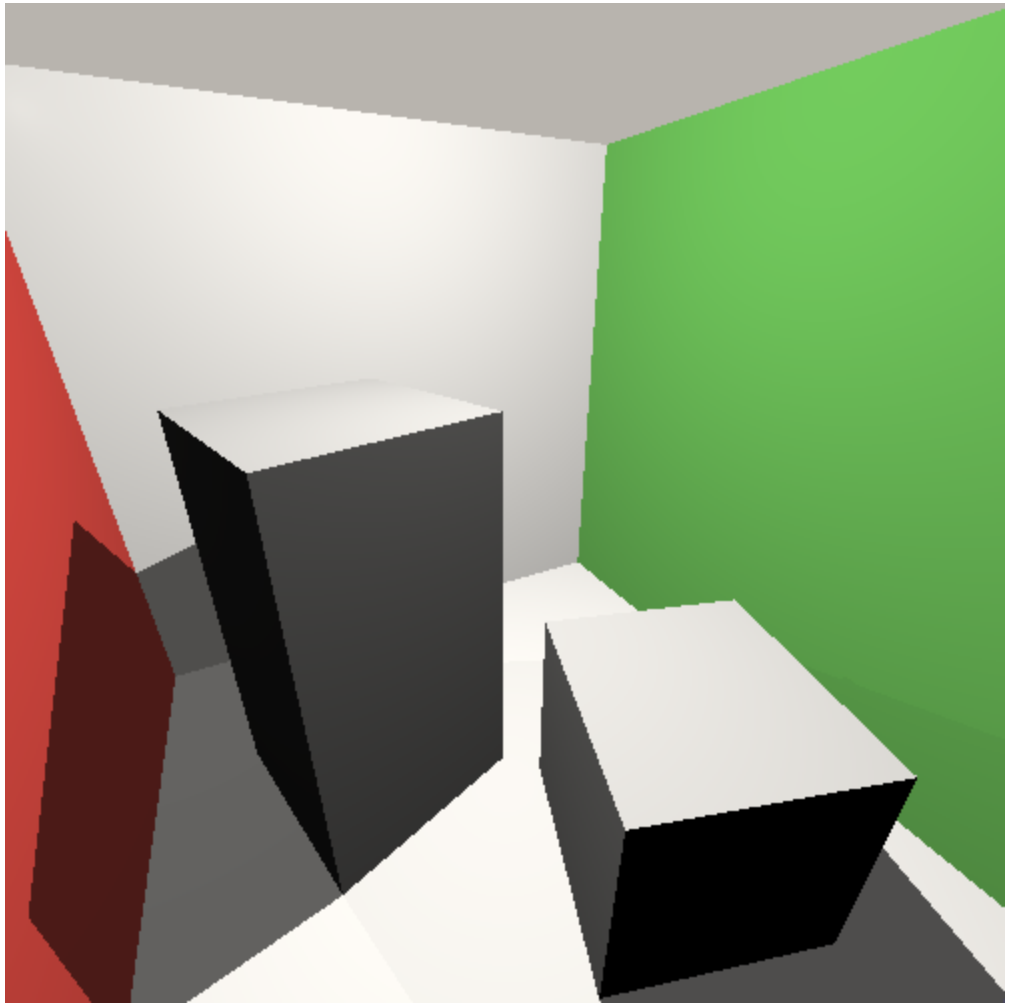
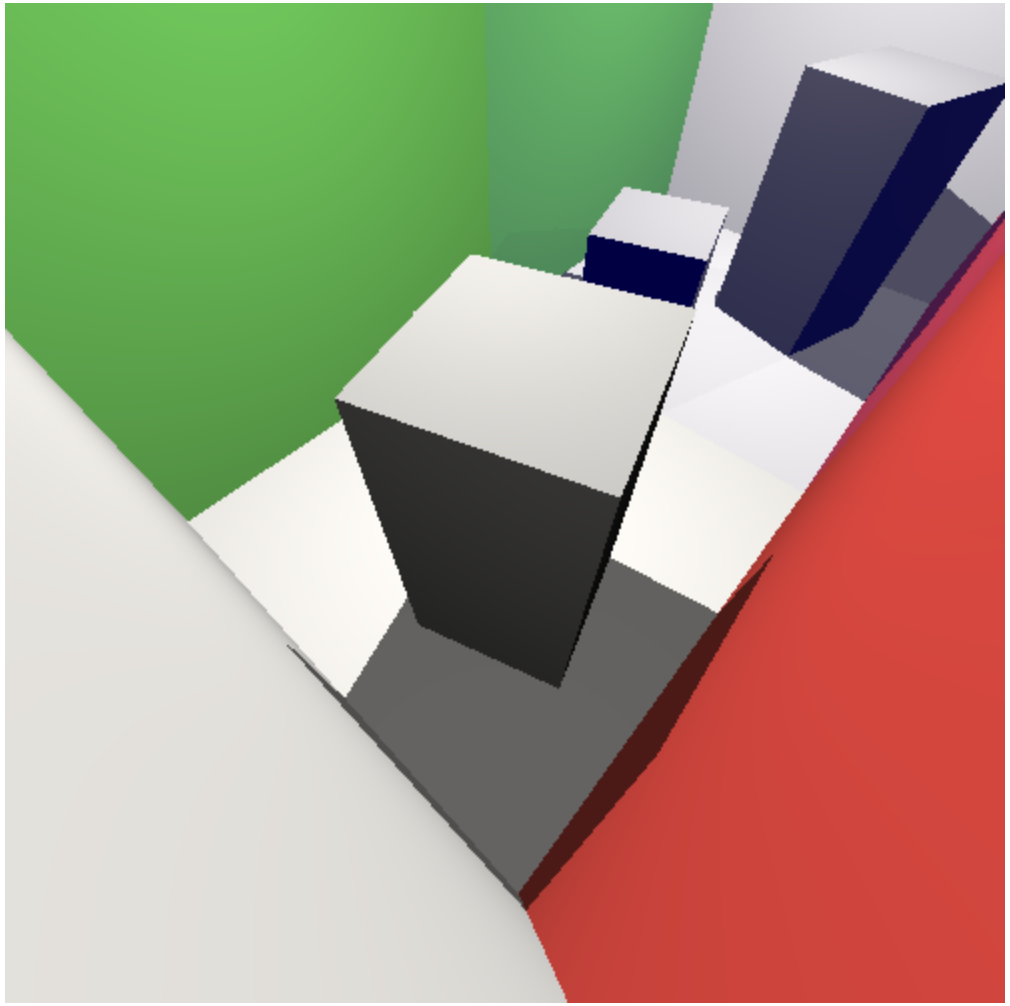
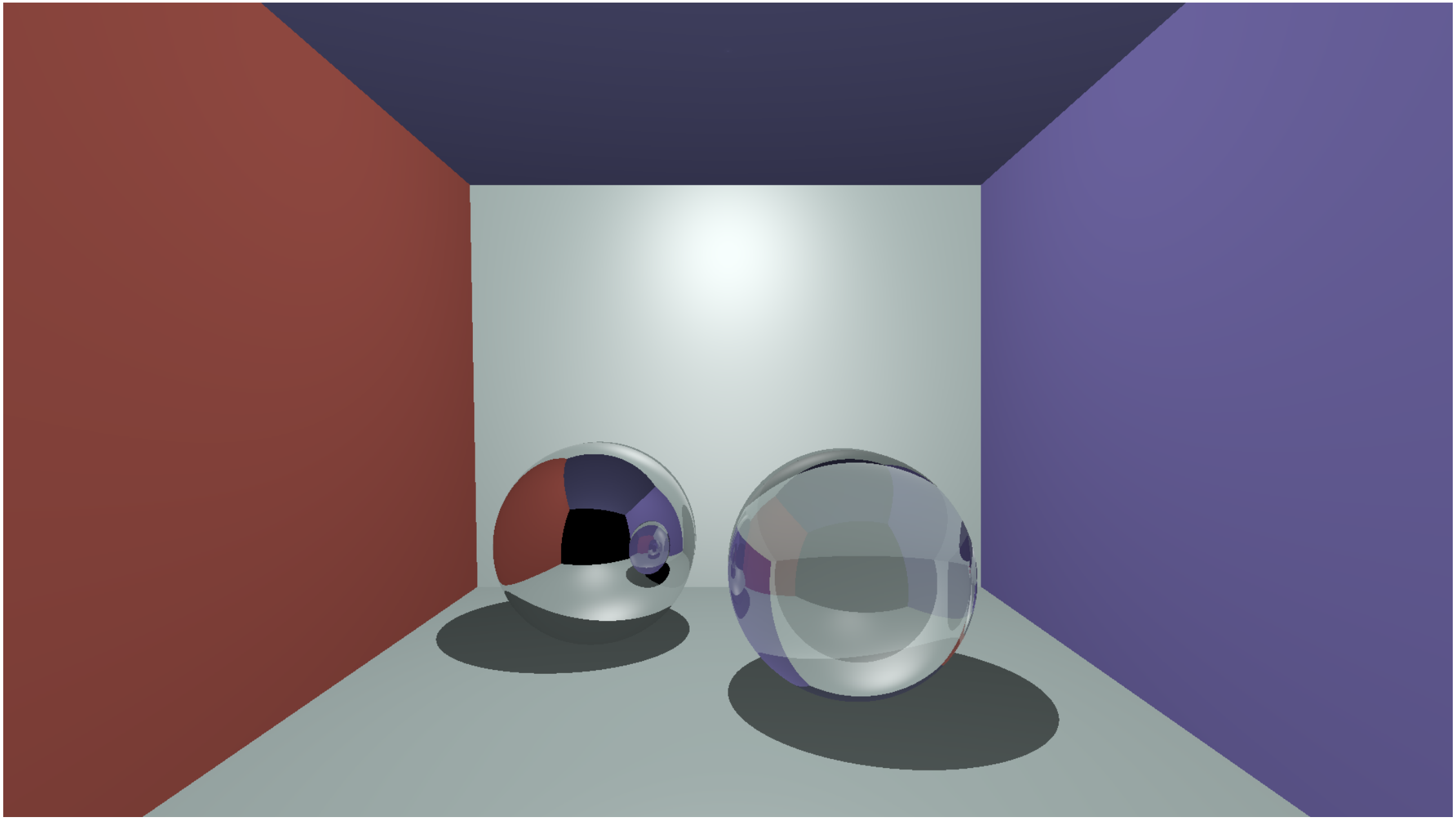
Homework 1. Raytracer

Простейшие сцены





Отражения и преломления

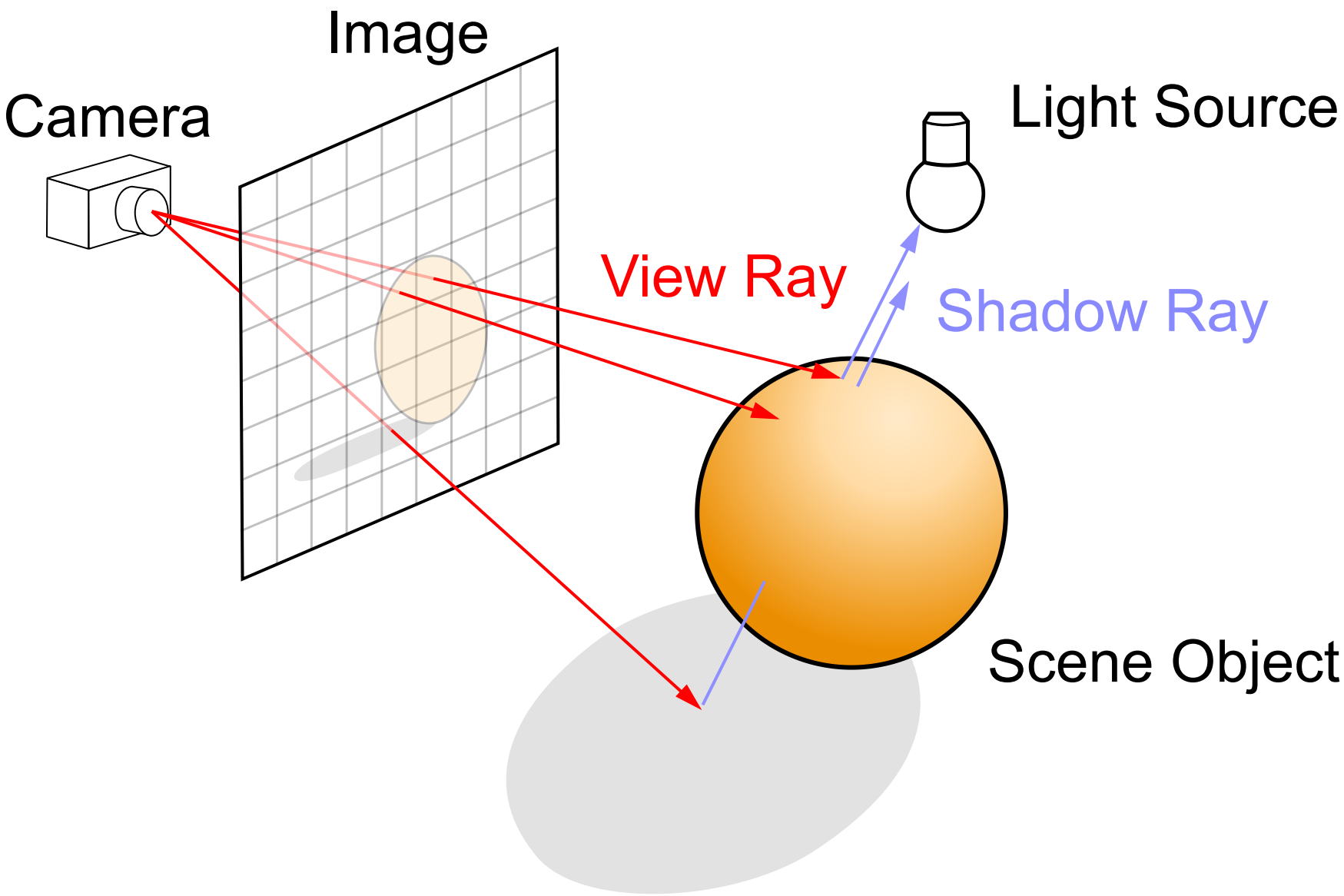


Бонус

Базовый алгоритм

- Ставим камеру и экран напротив
- Проводим луч из позиции камеры через "пиксель" (x, y) экрана
- Находим точку пересечения p этого луча со сценой (ближайший объект)
- Считаем освещенность в точке p, записываем ее как значения пикселя в (x, y)

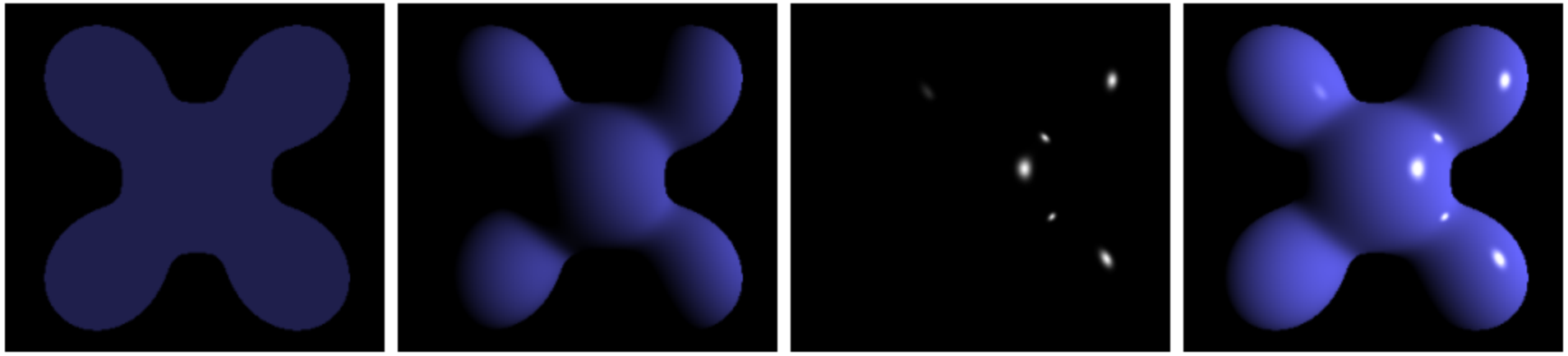
Графически



Освещенность в точке

- В нашем случае будут только простейшие точечные источники света
- Проитерируемся по всем источникам света и просуммируем вклад каждого в освещенность в точке p
- Как узнать дает ли источник света L вклад в освещенность в p? Проведем луч из p в L, если на пути есть какой-то объект, то p находится в тени относительно L.
- Как посчитать сам этот вклад?

Модель Фонга



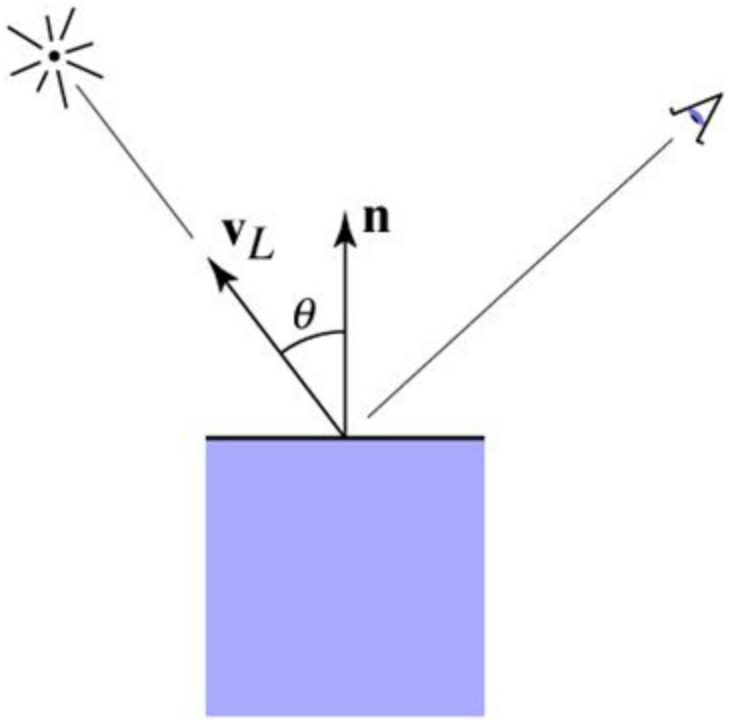
Материалы

- Светоотражающие характеристики объекта задаются его *материалом*.
- Ambient характеристика будет обозначаться как **Ka** (или **Ke**)
- Diffuse - **Kd**
- Specular - **Ks**
- Освещенность в точке p считается как

$$I_p = K_a + K_e + K_d \cdot L_d + K_s \cdot L_s$$

Diffuse

- Shading independent of view direction



illumination from source

$$L_d = k_d \, I \, \max(0, \mathbf{n} \cdot \mathbf{v}_L)$$

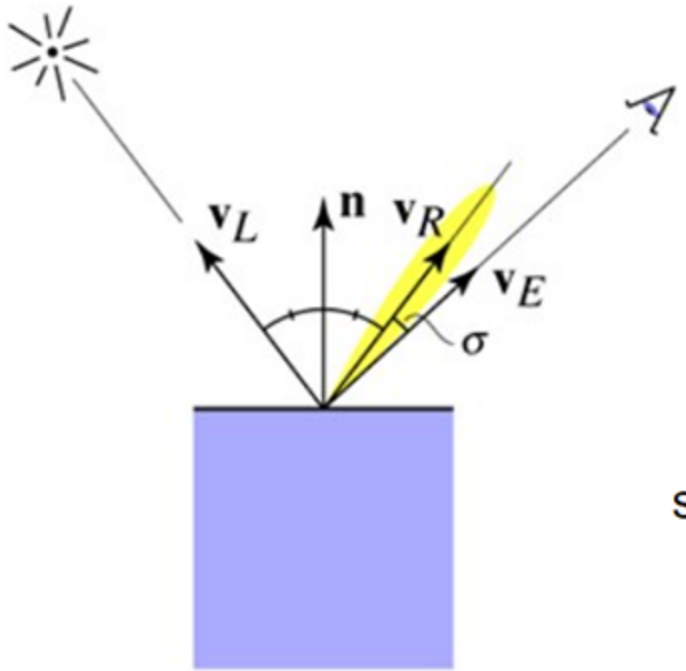
diffuse coefficient

diffusely reflected light

Specular

Specular shading (Phong model)

- Intensity depends on view direction
  - bright near mirror configuration



$$\mathbf{v}_R = \mathbf{v}_L + 2((\mathbf{n} \cdot \mathbf{v}_L)\mathbf{n} - \mathbf{v}_L)$$
$$= 2(\mathbf{n} \cdot \mathbf{v}_L)\mathbf{n} - \mathbf{v}_L$$

$$L_s = k_s \, I \max(0, \cos\sigma)^n$$
$$= k_s \, I \max(0, \mathbf{v}_E \cdot \mathbf{v}_R)^n$$

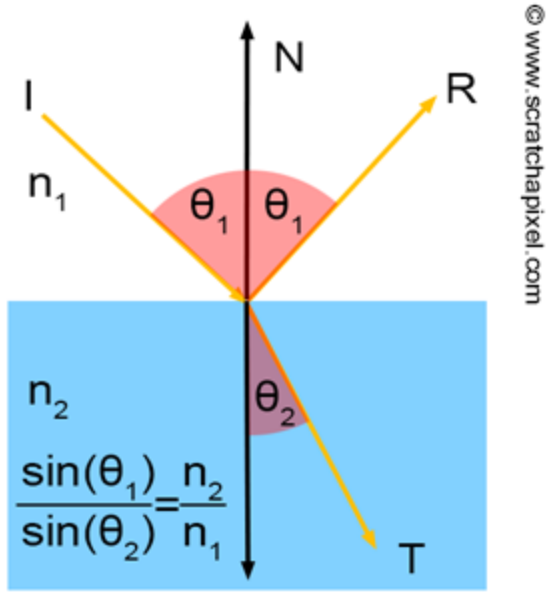
specularly reflected light

specular coefficient

Отражения

- У нас есть функция, которая трассирует луч в заданном направлении и возвращает получившуюся освещенность (собственно наш основной `Render`).
- Применим ее рекурсивно в направлении отраженного от p луча, получим какую-то интенсивность $I_{reflect}$. Она будет давать вклад в суммарную освещенность в точке.
- Глубина рекурсии будет задаваться в `RenderParams`.

Преломления



- Для материала будет задан коэффициент преломления (n_2 на картинке), для остальной среды считаем его равным 1.
- Снова используем рекурсию: трассируем луч в направлении преломления, получаем интенсивность $I_{refract}$.

Преломления

- Каждый объект характеризуется своей прозрачностью Tr, в итоговой формуле $I_{refract}$ нужно домножить на Tr.
- В трассировщике нужно отслеживать находимся мы внутри объекта или снаружи. Когда мы находимся внутри, коэффициенты преломления меняются местами, а $Tr = 1$. Также не нужно считать отраженный луч, если мы находимся внутри объекта.
- В определенных ситуациях преломленный луч может остаться в той же среде, в таком случае его также не надо учитывать.

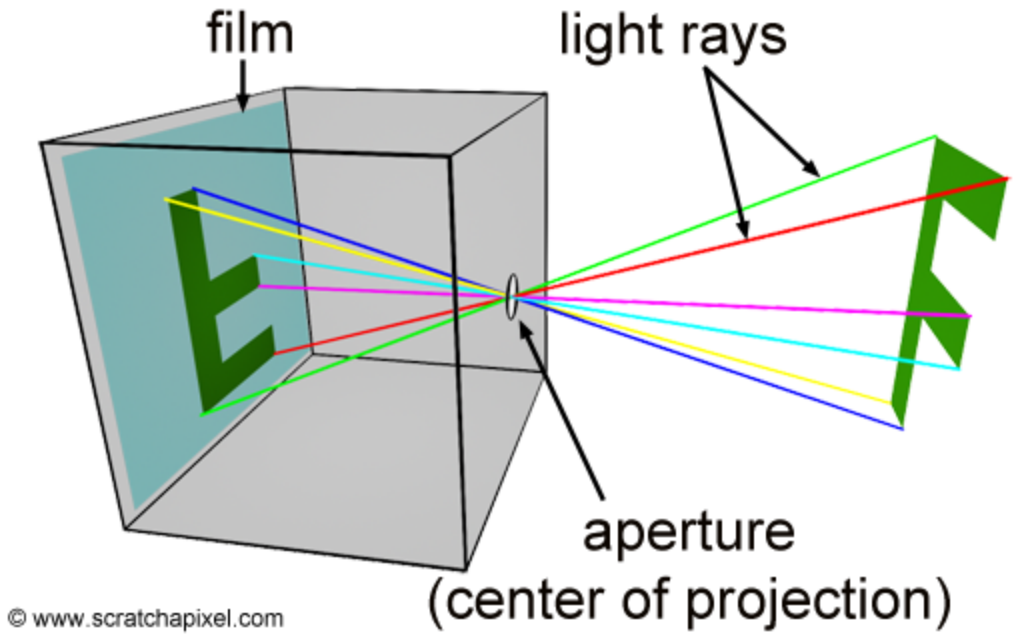
Итоговая формула

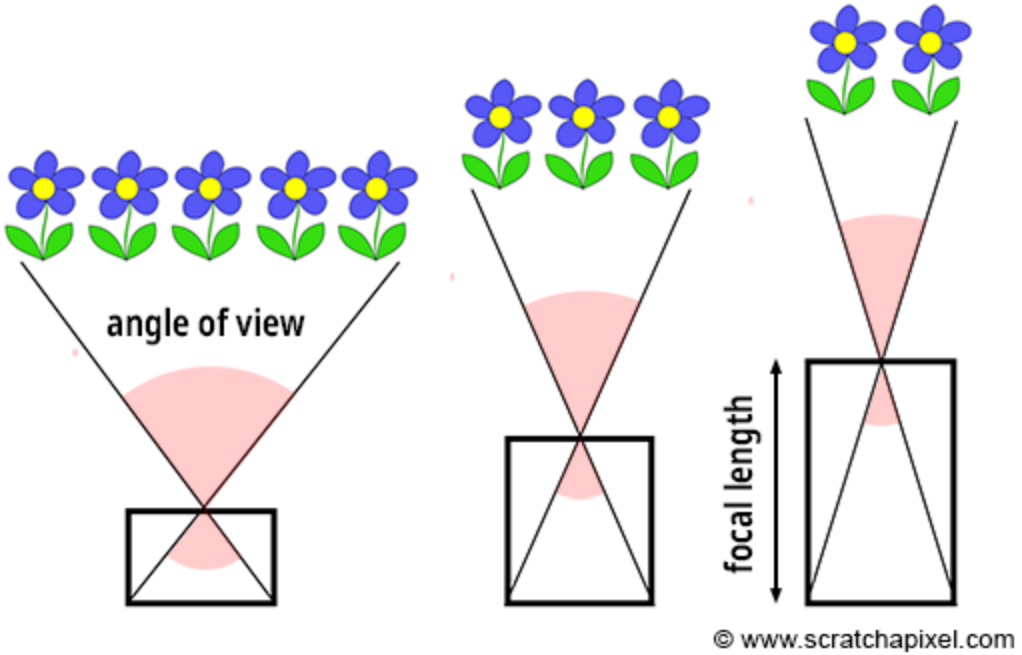
$$I_p = K_a + K_e + al_0 \sum_{m \in lights} (K_d L_d(p, m) + K_s L_s(p, m)) + al_1 I_{reflect} + al_2 I_{refract}$$

Геометрия

- Обычно все объекты в реальных сценах состоят из полигонов. В нашем случае это будут только треугольники + сферы.
- Нужно уметь пересекать луч с треугольником и сферой, а также брать нормаль к поверхности в точке пересечения.
- Вся геометрия реализуется в рамках первой подзадачи.

Камера и экран



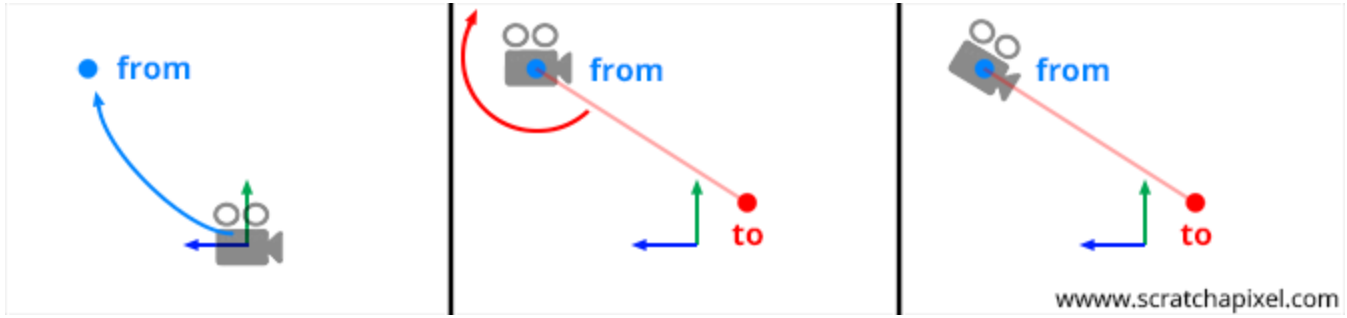


Камера и экран

- Камера по умолчанию находится в начале координат и смотрит в направлении -z. На расстоянии 1 (focal length) расположен экран (тот, на который мы смотрим), ось x идет слева направо, y снизу вверх.
- В нашей задаче для камеры можно задавать FOV по вертикали и разрешение экрана. FOV по горизонтали подбирается таким образом, чтобы width / height экрана совпадало с width / height разрешения.
- Focal length всегда остается равен 1! Это означает, что разрешение экрана не задают какую часть сцены мы увидим (это определяется fov и focal length), а определяют размеры "пикселя" в наших координатах. С учетом пункта выше "пиксели" всегда квадратные.
- Лучи нужно трассировать через центры пикселей.

Перемещения камеры

- Вся сцена существует в некоторой системе координат, и когда мы трассируем лучи, эти лучи должны быть в той же системе координат.
- Это можно сделать так: сгенерировать луч в системе координат камеры (как это описано выше), а затем трансформировать его из системы координат камеры в систему координат сцены.
- Мы будем контролировать положение камеры с помощью примитива LookAt: задается положение камеры и точка, в которую она смотрит.



Полезные ссылки

- https://www.scratchapixel.com/index.php?redirect, в частности про камеру
  - https://www.scratchapixel.com/lessons/3d-basic-rendering/ray-tracing-generating-camera-rays/generating-camera-rays
  - https://www.scratchapixel.com/lessons/mathematics-physics-for-computer-graphics/lookat-function
- https://habr.com/ru/post/436790/

Возможные проблемные места

- Забыли отнормировать нормали
- От поверхности можно провести 2 нормали, обычно нужна определенная сторона
- При рекурсивном вызове для вычисления отраженного/преломленного луча происходит попадание в ту же точку (нужно не забывать отступать от поверхности по направлению нормали на eps)
- Геометрия

Как задается сцена

- Положение объектов в пространстве описано в .obj файлах. Свойства материалов задаются в связанных с ними .mtl файлах.
- Оба типа файлов текстовые и парсятся за 1 проход.

Пример .obj

```
# comment
mtllib materials.mtl

v 0 0 1
v 0 0.1 1.0
v 0.1 0.1 1.1

usemtl triangle
f 1 2 3

v 0.1 0.0 1.1

usemtl example
f -1 -2 -3 -4
```

Пример .mtl

```
# comment
newmtl triangle
    Ks 0.5 0 0
    Ka 0.05 0.3 0
    Kd 0.1 0.1 0.2
    Ns 500

newmtl example
    Ke 7 3 2
```

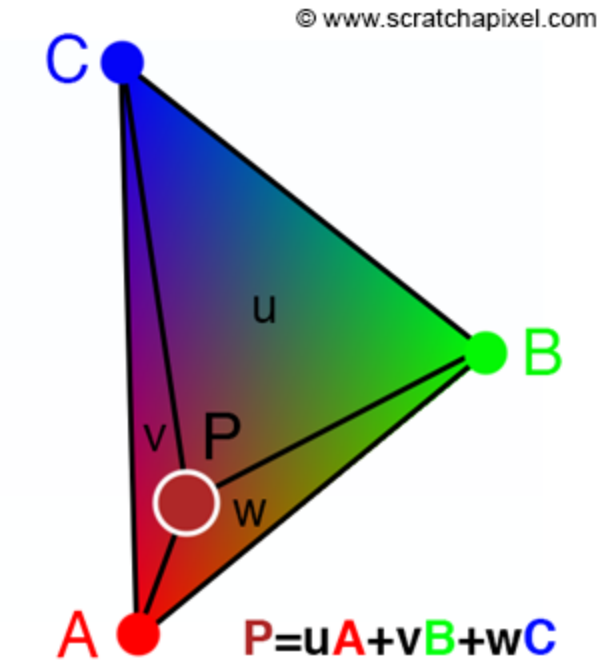
Дополнительные параметры вершин

```
v 0 0 0
v 0 1 0
v 1 0 0

vt 0 0
vt 0 1
vt 1 0

vn 0 0 -1
vn 0 0 2
vn 0 0 0.5

f 1/1/1 2/-2/-2 3//3
```

Зачем нужны явные нормали?

Как в итоге посчитать нормаль

- Если пересечение со сферой или для вершин треугольника не заданы vn, то считаем как обычно. Иначе нужно проинтерполировать значения vn вершин треугольника, с которым пересеклись, используя барицентрические координаты.



- Подробнее можно почитать здесь: https://www.scratchapixel.com/lessons/3d-basic-rendering/ray-tracing-rendering-a-triangle/barycentric-coordinates

Весь pipeline

Raytracer

1. Читаем и строим сцену
2. Производим необходимые трансформации с камерой
3. Трассировка лучей
4. Постпроцессинг (описан в задаче)

Подзадачи

1. Геометрия
2. Ридер .obj файлов
3. Упрощенные режимы рендеринга (для более простого дебага)
4. Итоговый рейтрейсер

   5* Бонус: ускорение рендеринга