



Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего
образования «Московский государственный технический университет имени Н.
Э. Баумана (национальный исследовательский университет)»
(МГТУ им. Н. Э. Баумана)

**Построение реалистичного изображения стержня,
частично погруженного в тонкостенный прозрачный
сосуд, наполненный жидкостью**

Дисциплина: «Компьютерная графика»

Студент: Цховребова Яна Роландовна, ИУ7–54Б

Научный руководитель: Терентьев Юрий Иванович

Москва, 2024 г.

Цель и задачи работы

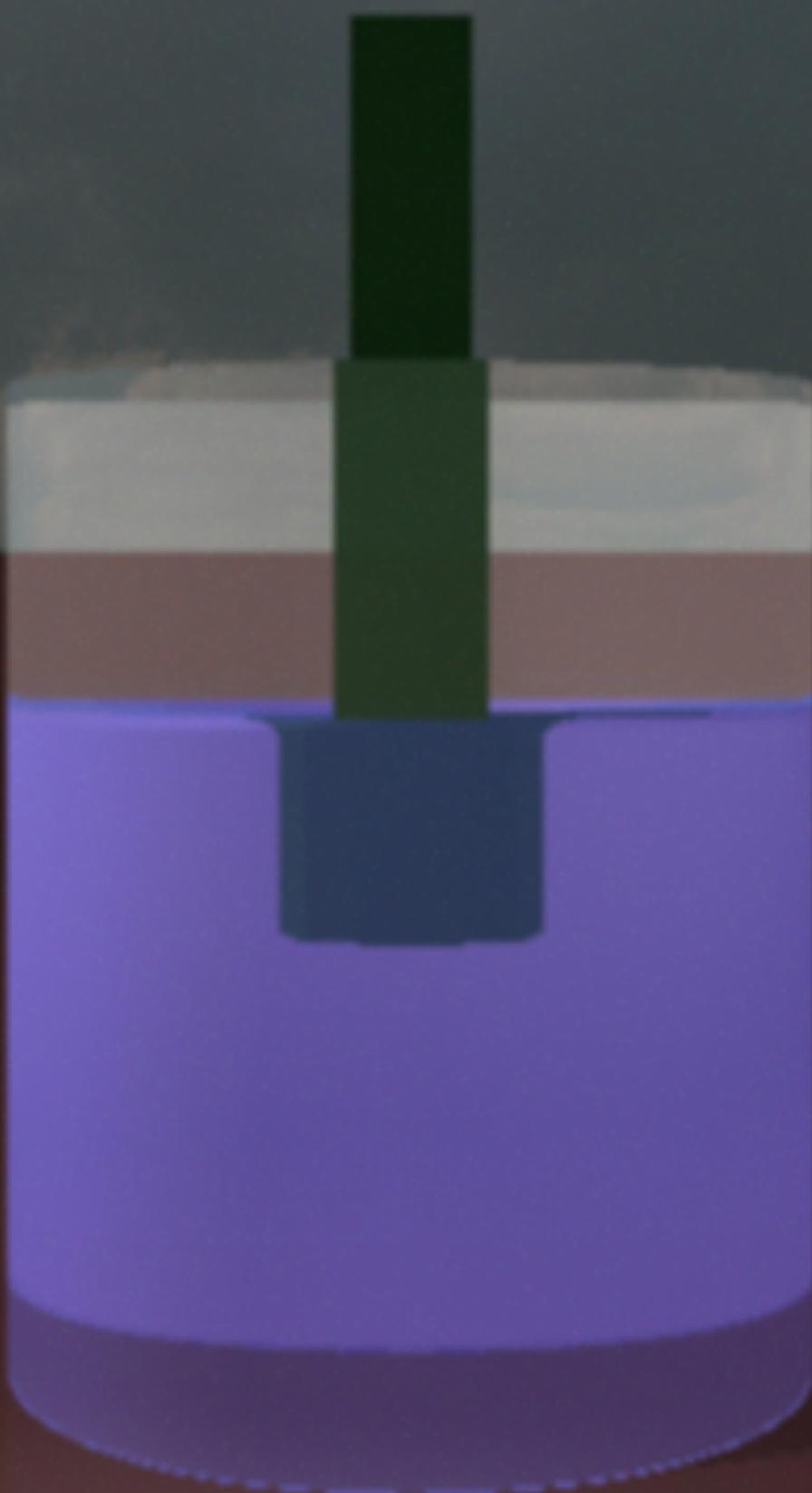
Цель работы — разработка программного обеспечения для построения реалистичного изображения стержня, частично погруженного в тонкостенный прозрачный сосуд, наполненный жидкостью.

Задачи

- Описать моделируемые объекты сцены.
- Проанализировать способы представления объектов и обосновать выбор наиболее подходящего.
- Проанализировать модели освещения и обосновать выбор наиболее подходящей.
- Проанализировать алгоритмы рендеринга и обосновать выбор наиболее подходящего.
- Разработать выбранные алгоритмы.
- Реализовать программное обеспечение для достижения цели данной работы.
- Исследовать время построения изображения в зависимости от глубины рекурсии и от количества используемых дополнительных потоков; реалистичность преломления света для прозрачных объектов для разработанного программного обеспечения.

Объекты сцены

- Точечный источник света
- Камера
- Трехмерные объекты:
 - плоскость
 - сосуд
 - жидкость
 - стержень

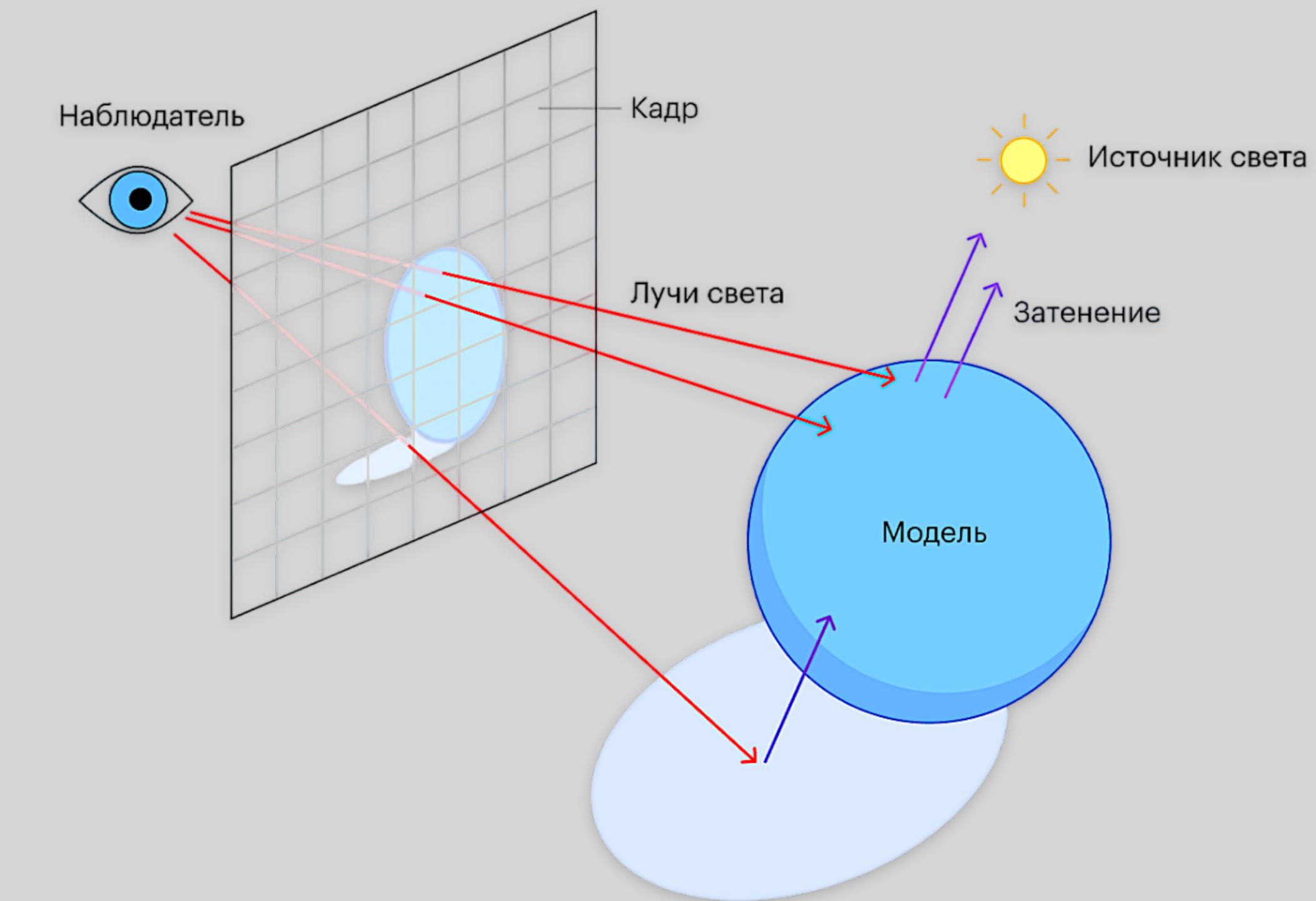


Твердотельная модель

- Геометрическая форма (задается аналитически)
- Физические характеристики:
 - прозрачность
 - отражаемость
 - коэффициент преломления

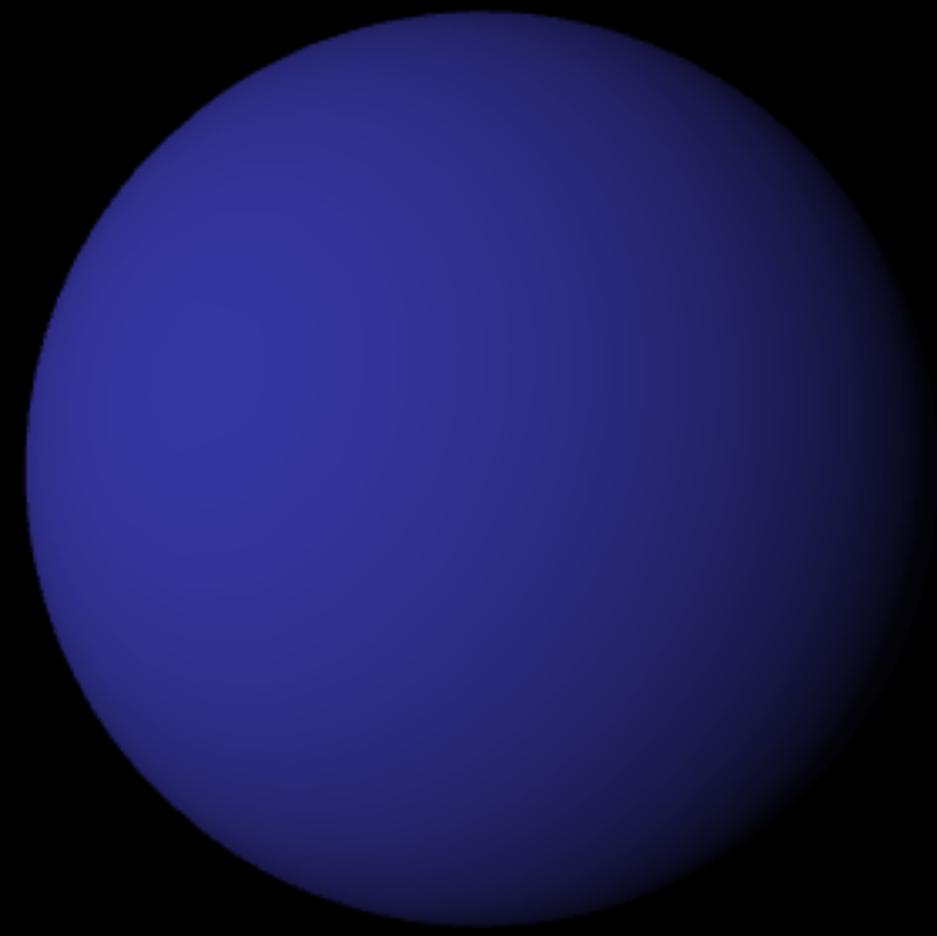
Выбор метода рендеринга сцены

Метод	Реалистичность изображения	Сложность реализации	Вычислительная нагрузка
«Бросание лучей»	Низкая	Низкая	Низкая
Обратная трассировка лучей	Средняя	Средняя	Средняя
Трассировка путей	Высокая	Высокая	Высокая

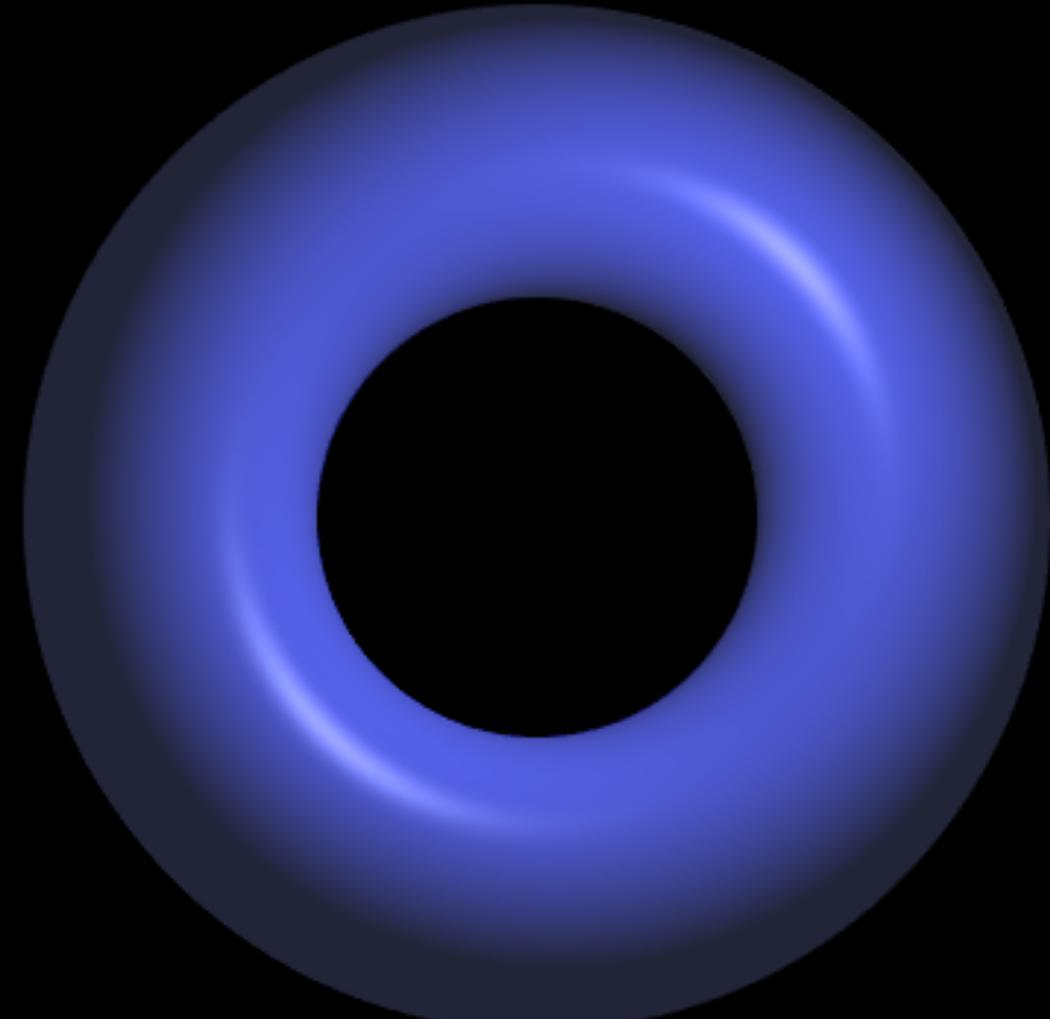


Выбор: метод обратной трассировки лучей

Простая модель освещения



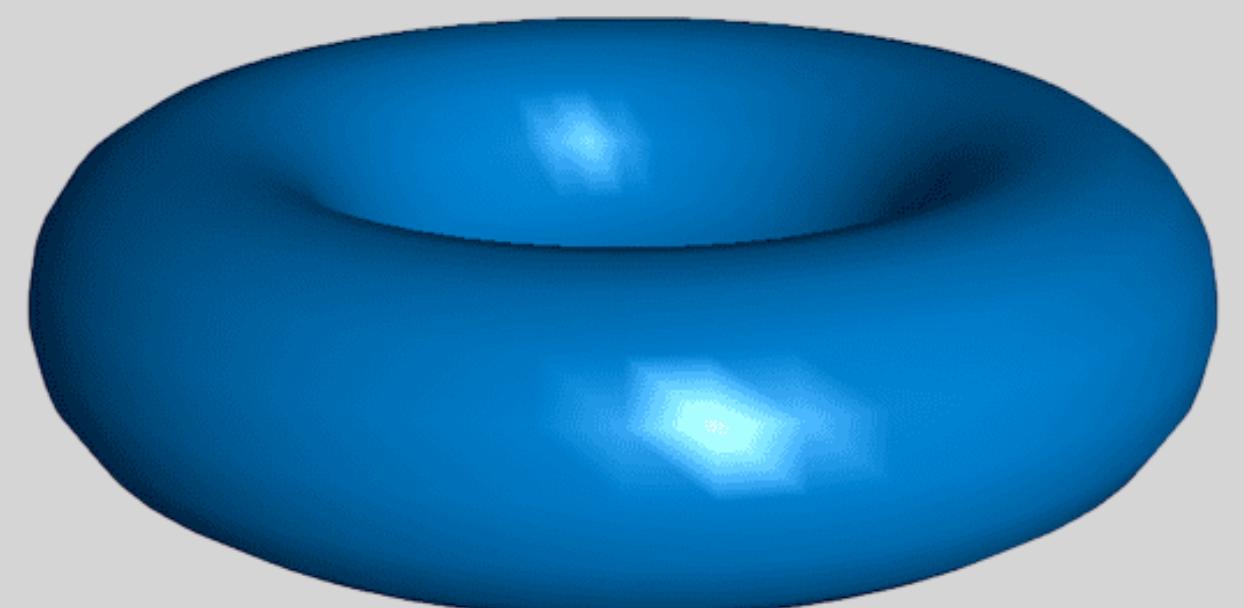
Модель освещения Фонга



Выбор модели освещения

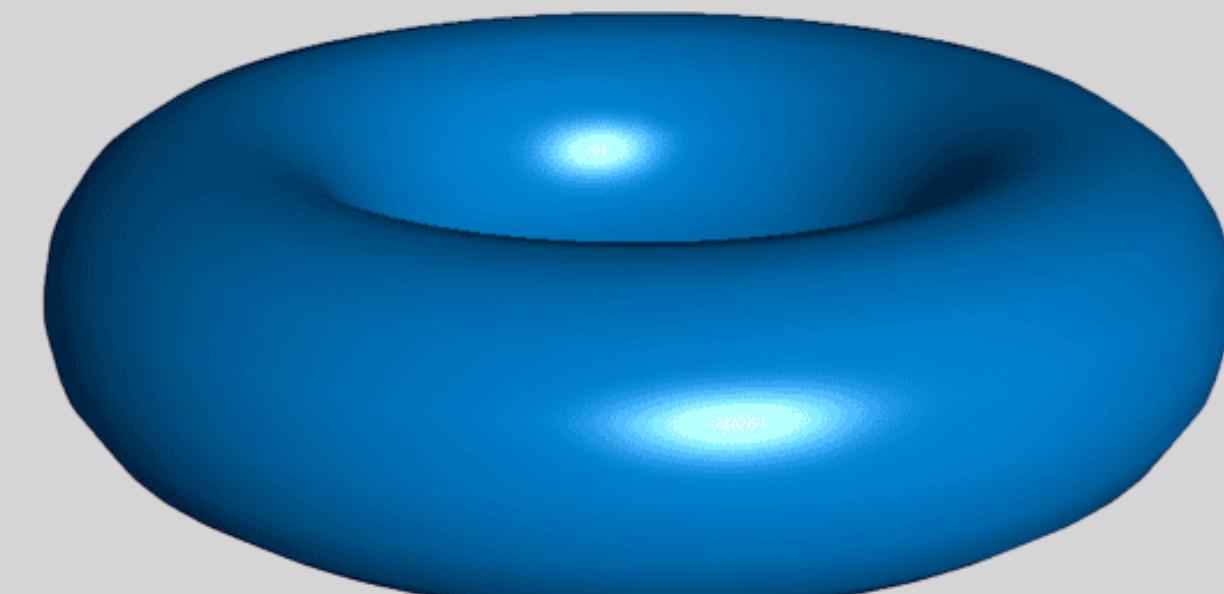
Модель освещения	Реалистичность изображения	Сложность реализации	Вычислительная нагрузка
Простая	Низкая	Низкая	Низкая
Гуро	Средняя	Средняя	Средняя
Фонг	Высокая	Средняя	Высокая

Выбор: модель освещения Фонга

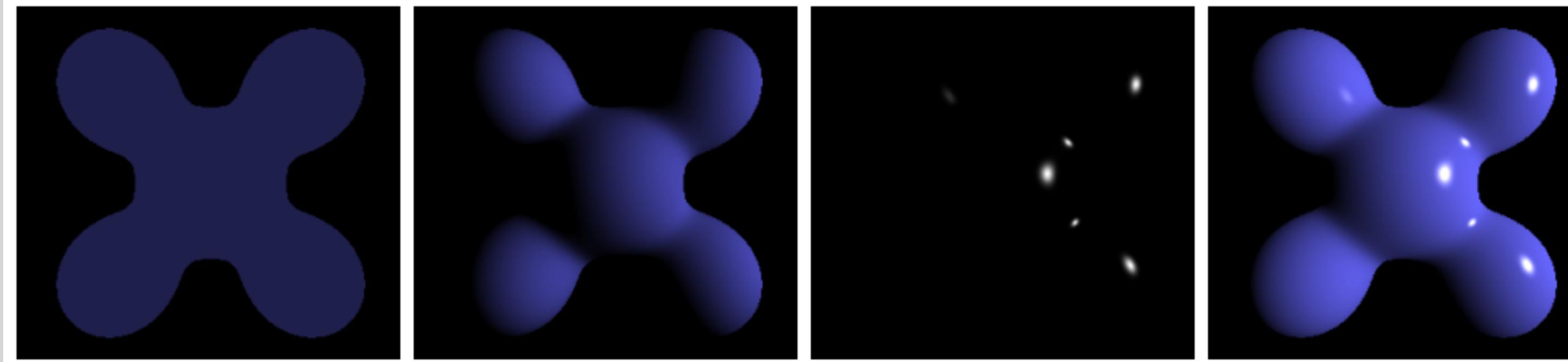


Модель освещения Гуро

Модель освещения Фонга



Модель освещения Фонга



Включает

- фоновое освещение
- диффузное освещение
- зеркальное освещение

I — полная интенсивность освещения; I_L — интенсивность источника света

N — нормаль к поверхности в точке пересечения; L — направление от точки пересечения к источнику света

$R = 2(N \cdot L) \cdot N - L$ — вектор отражения; V — направление от точки пересечения к камере

k_a, k_d, k_s — коэффициенты фонового, диффузного и зеркального освещения для материала

$I_{amb} = k_a \cdot I_a$ — интенсивность фонового освещения

$I_{dif} = k_d \cdot I_L \cdot \max(0, \mathbf{N} \cdot \mathbf{L})$ — интенсивность диффузного освещения

$I_{spc} = k_s \cdot I_L \cdot (\max(0, \mathbf{R} \cdot \mathbf{V}))^n$ — интенсивность зеркального освещения

$$I = I_{amb} + I_{dif} + I_{spc}$$

Пересечение луча с объектами

$$P(t) = S + t \cdot V - \text{уравнение прямой}$$

$P(t)$ — точка на прямой, t — параметр, V — вектор направления, S — начальная точка

Уравнение цилиндра

$$x^2 + m^2y^2 = r^2, 0 \leq z \leq h$$

r — радиус, h — высота, m — коэффициент масштабирования

$$(V_x^2 + m^2V_y^2)t^2 + 2(S_xV_x + m^2S_yV_y)t + S_x^2 + m^2S_y^2 - r^2 = 0$$

Решение этого уравнения дает значение параметра t , где луч пересекает бесконечный цилиндр. Полученные точки пересечения должны быть проверены по z -координатам, чтобы удовлетворять условию: $0 \leq z \leq h$

Уравнение параллелепипеда

$$x = 0, x = r_x,$$

$$y = 0, y = r_y,$$

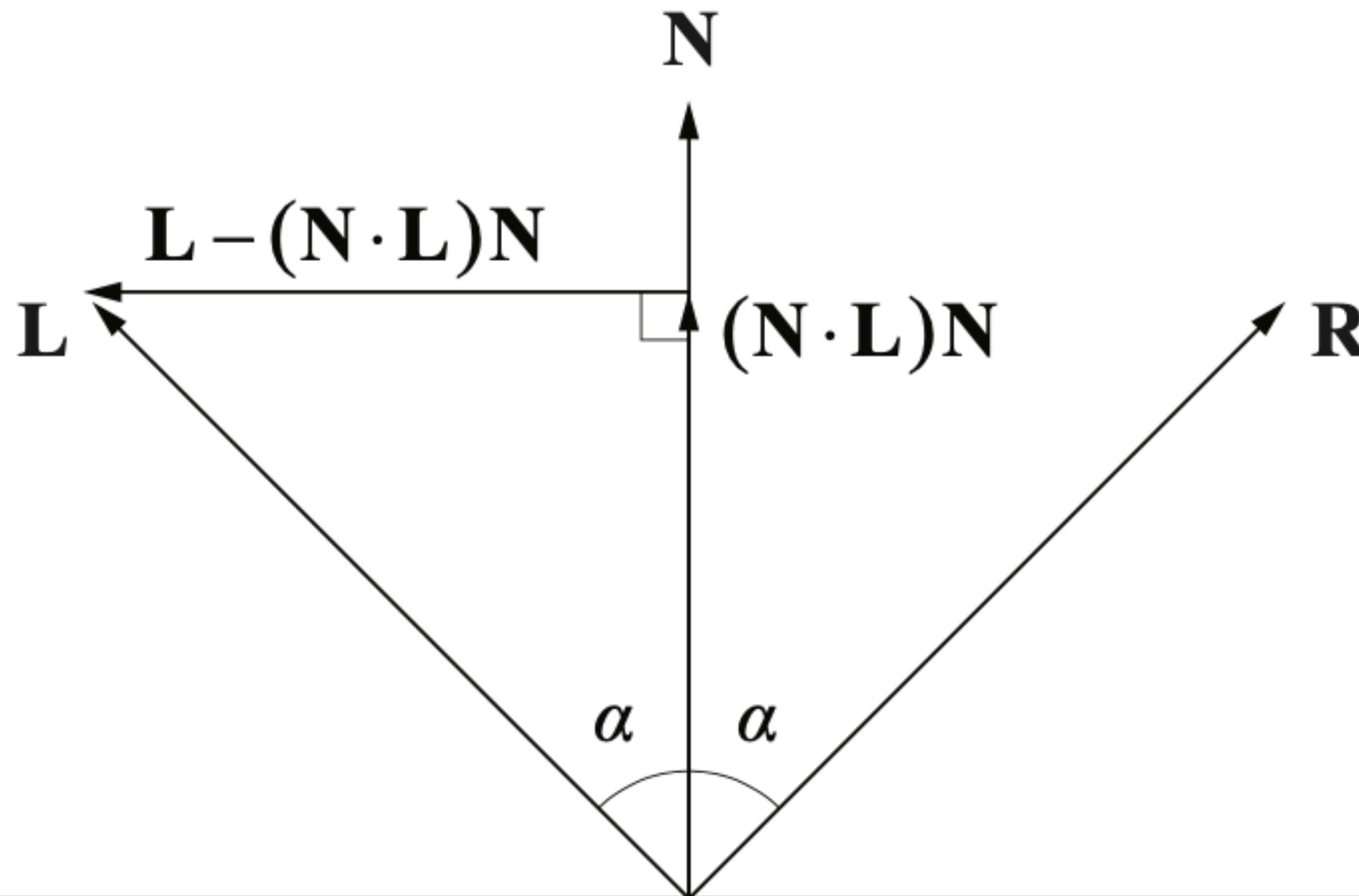
$$z = 0, z = r_z$$

r_x, r_y, r_z — представляют размеры параллелограмма

$$t = \frac{r_x - S_x}{V_x} - \text{для точки пересечения } P(t) \text{ с}$$

плоскостью $x = r_x$ (аналогично для остальных)

Отражение луча



Угол падения равен углу отражения

$$R = 2(N \cdot L)N - L$$

- R — направление отраженного луча
- L — направление от точки пересечения к источнику света
- N — нормаль к поверхности

Закон Снелиуса

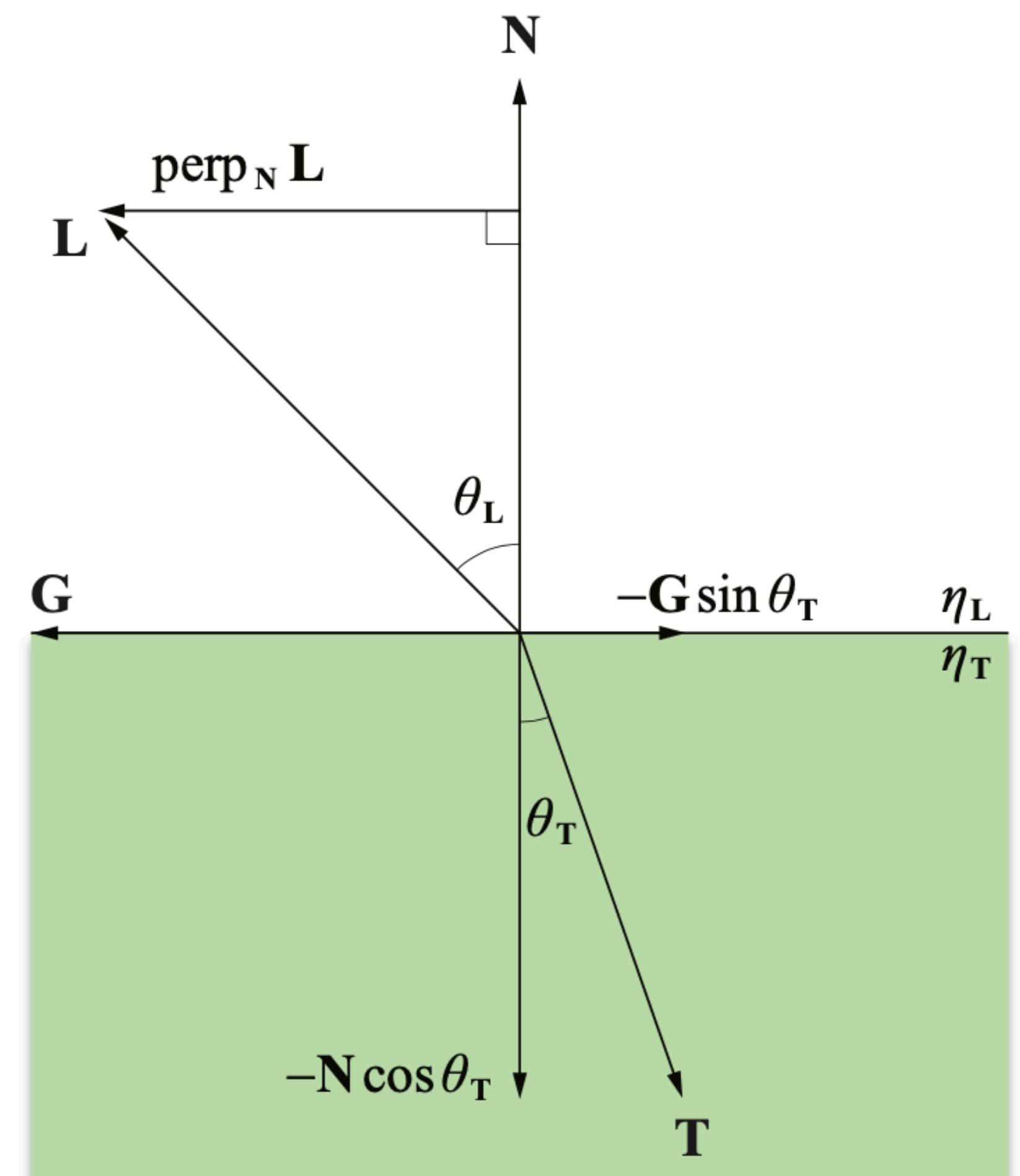
$$\eta_L \sin(\theta_L) = \eta_T \sin(\theta_T)$$

- η_L, η_T — показатели преломления двух сред
- θ_L — угол падения; θ_T — угол преломления

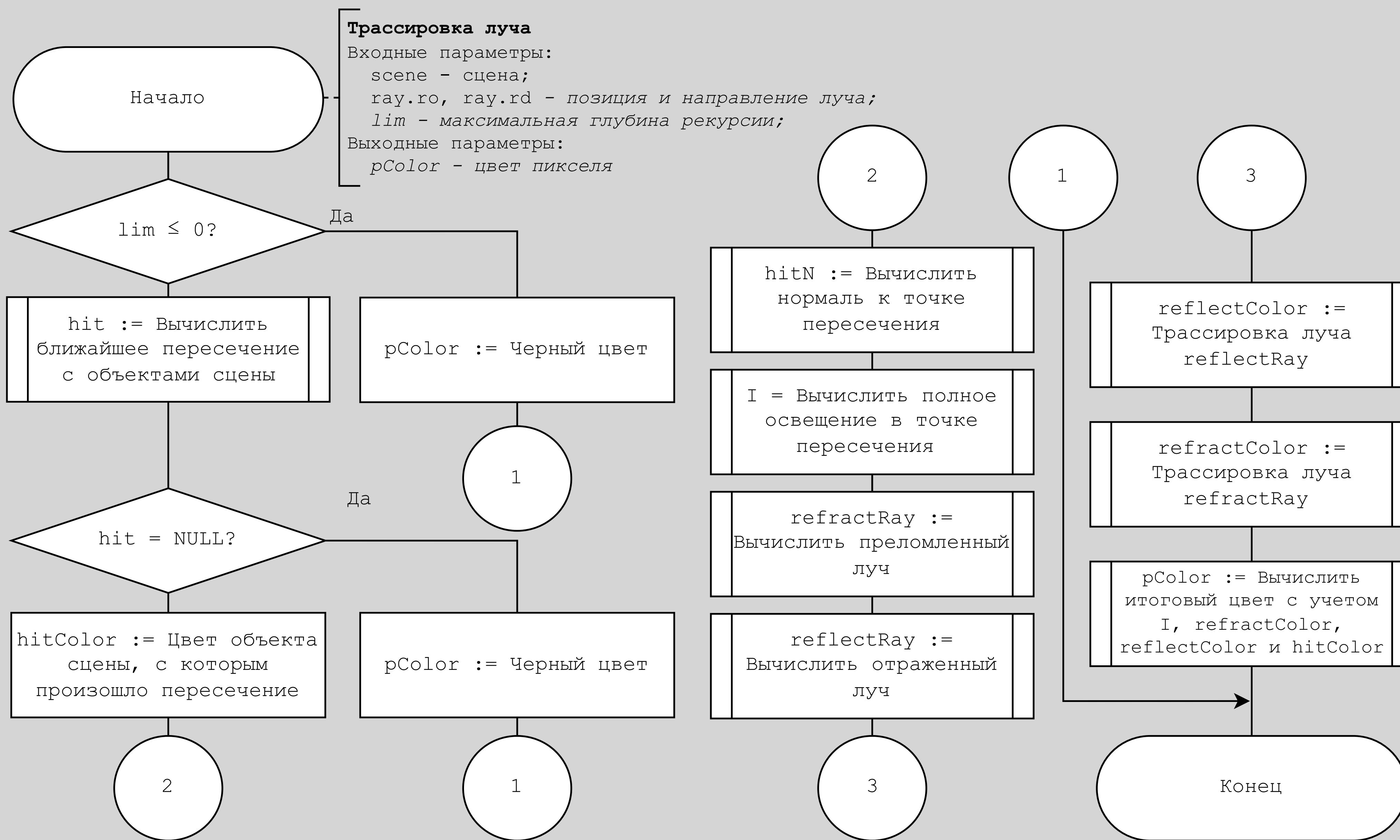
$$T = \left(\frac{\eta_L}{\eta_T} N \cdot L - \sqrt{1 - \frac{\eta_L^2}{\eta_T^2} [1 - (N \cdot L)^2]} \right) N - \frac{\eta_L}{\eta_T} L$$

- T — направление преломленного луча
- L — направление от точки пересечения к источнику света
- N — нормаль к поверхности

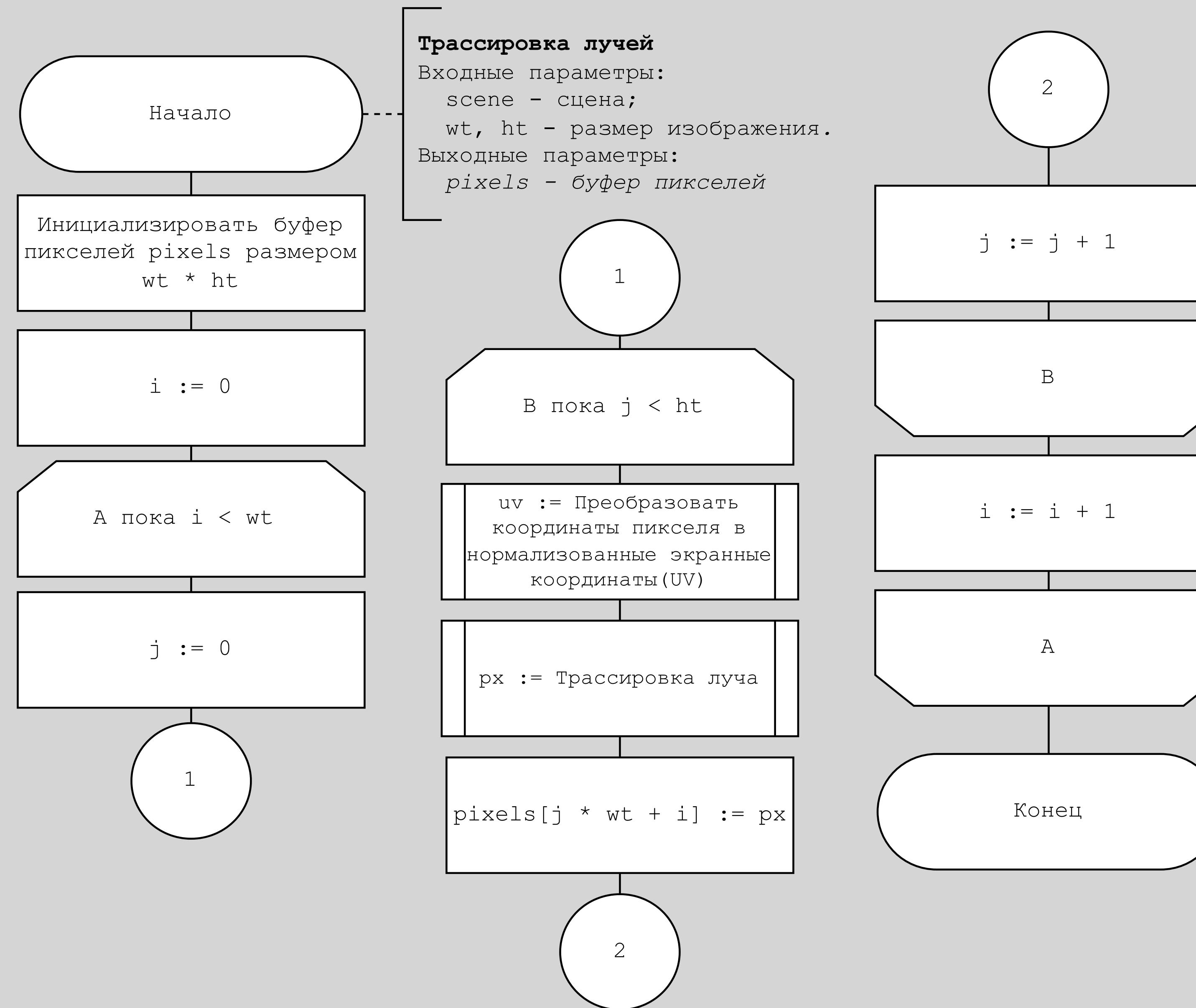
Преломление луча



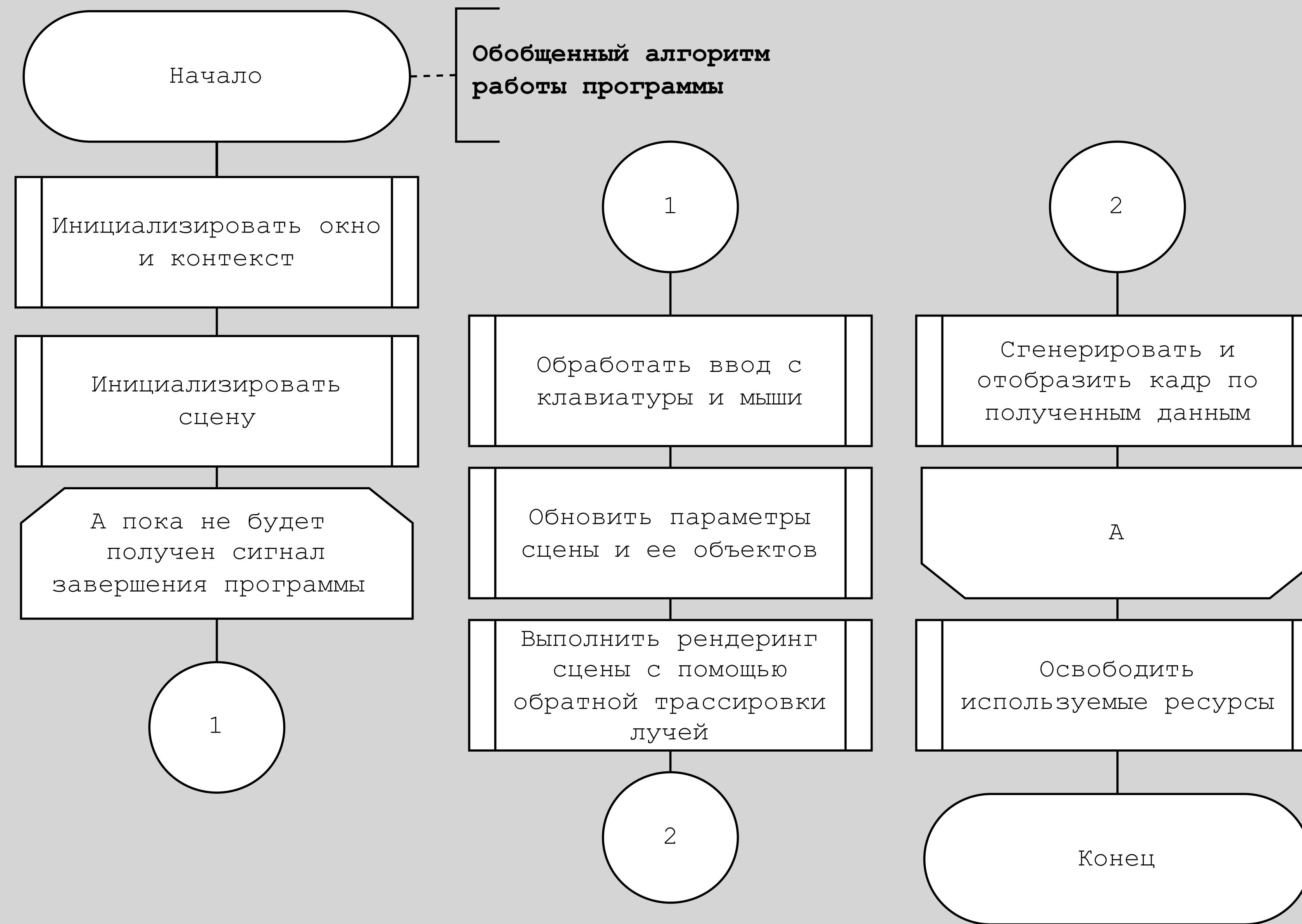
Алгоритм обратной трассировки лучей для одного пикселя



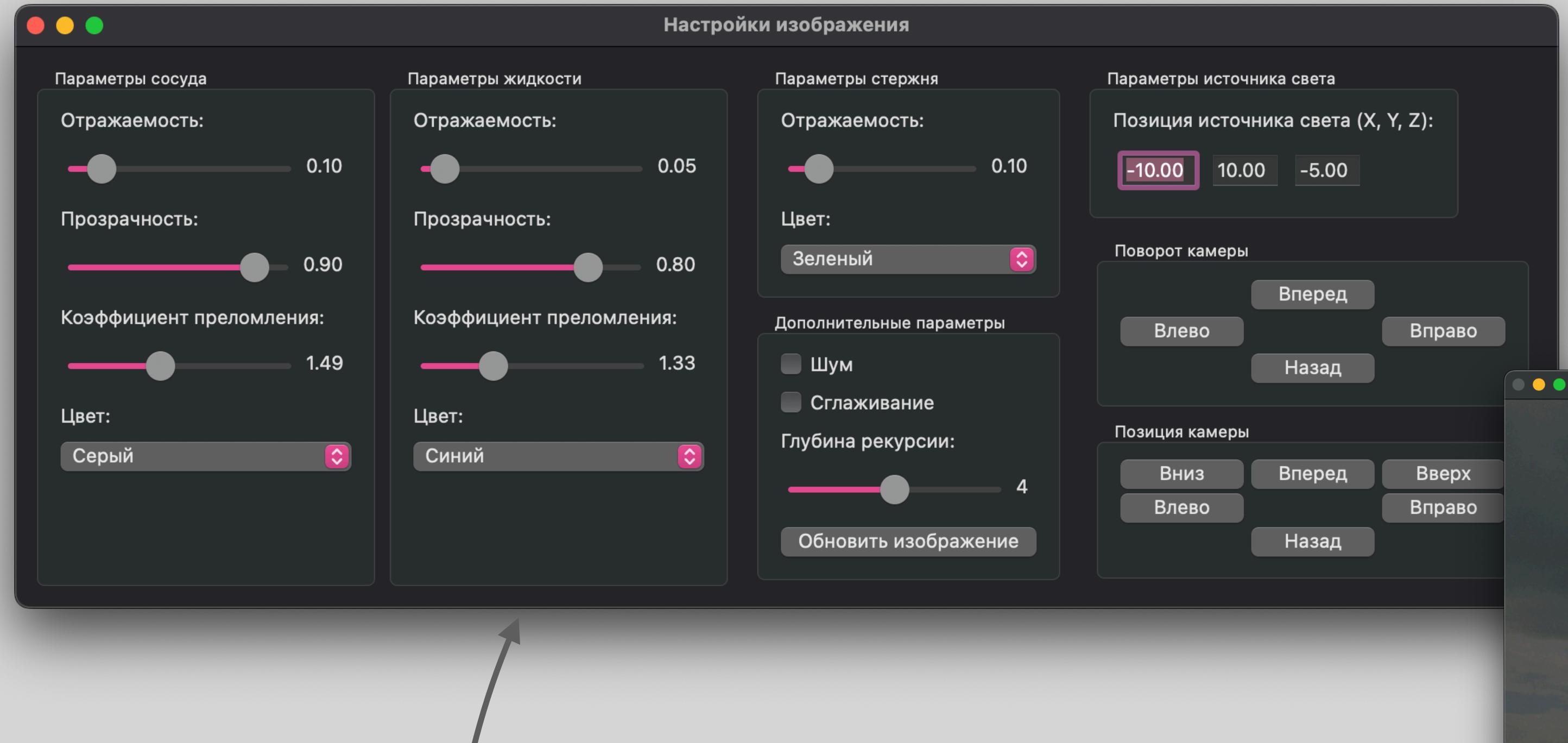
Алгоритм обратной трассировки лучей



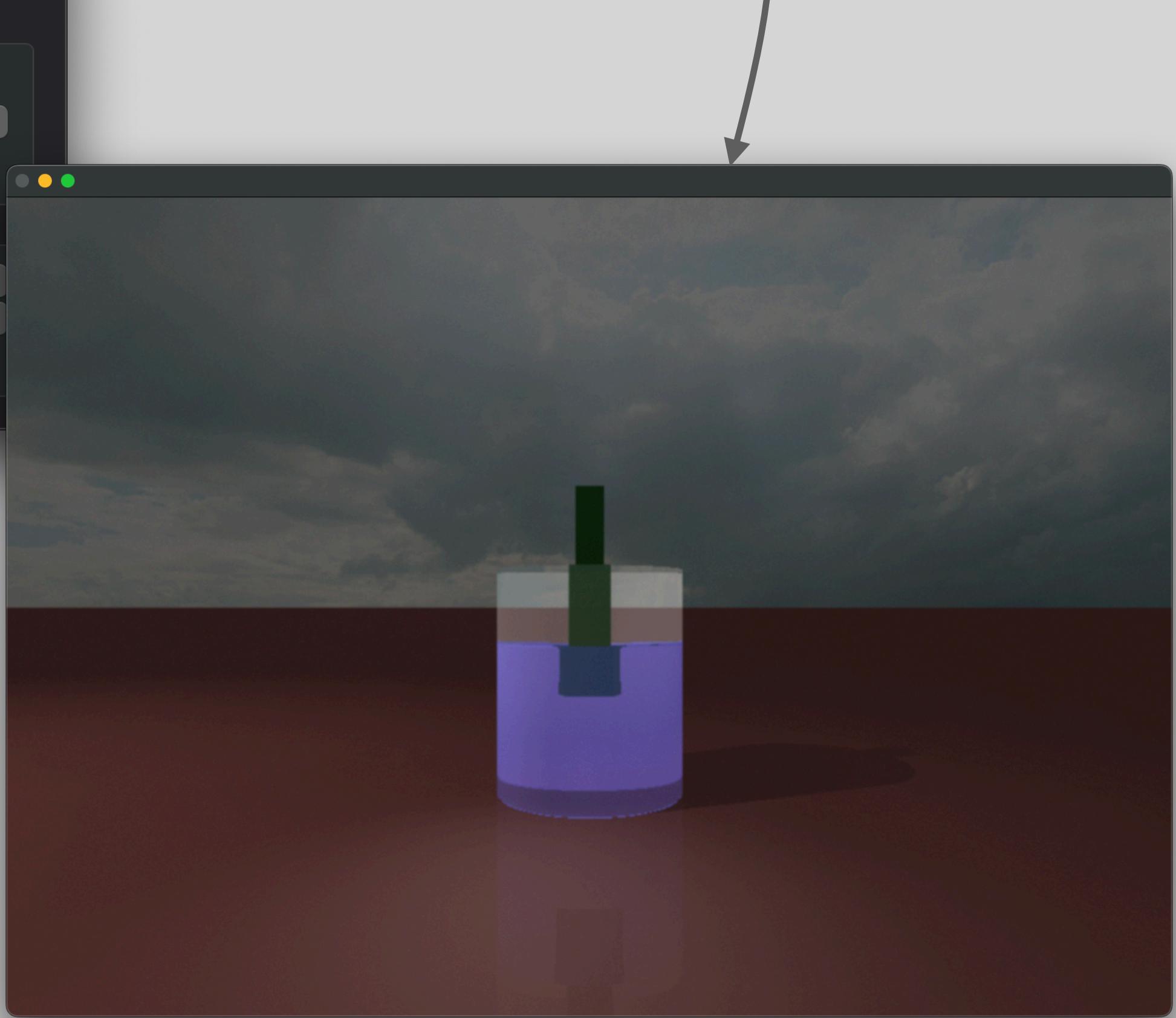
Алгоритм работы программы



Пользовательский интерфейс



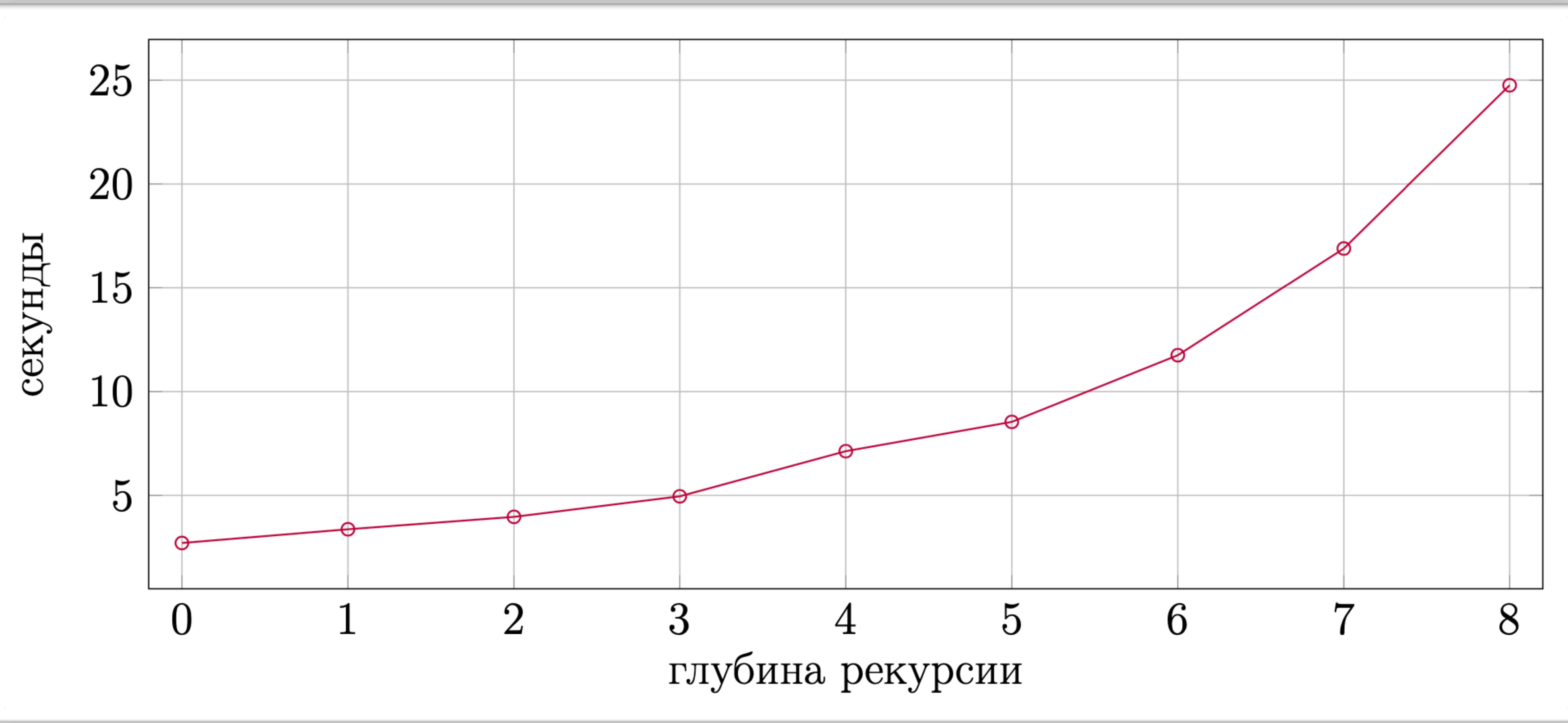
Окно для настроек рендеринга



Технические характеристики

- Операционная система macOS 14.6.1
- Оперативная память 16 ГБ
- Процессор 2 ГГц 4-ядерный Intel Core i5 (8 логических ядер)

Зависимость времени построения изображения от глубины рекурсии

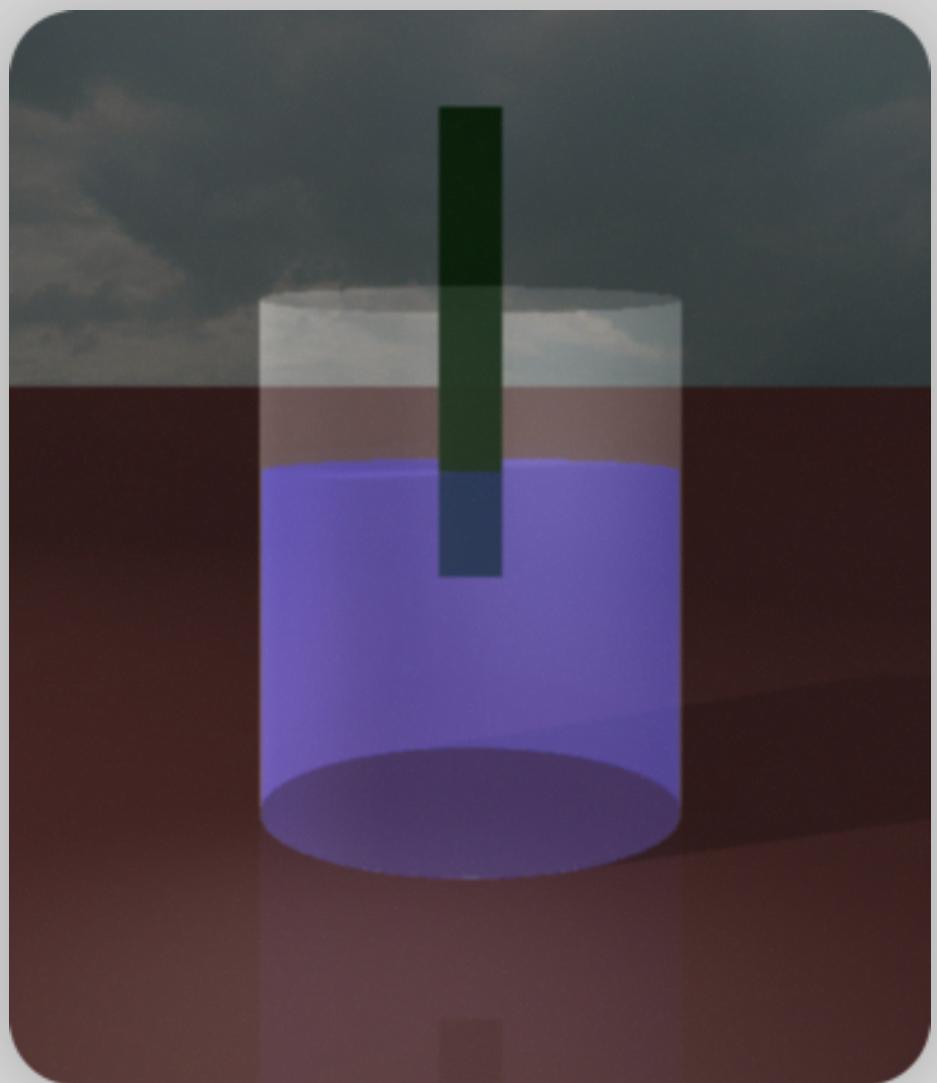


Зависимость времени построения изображения от количества используемых потоков

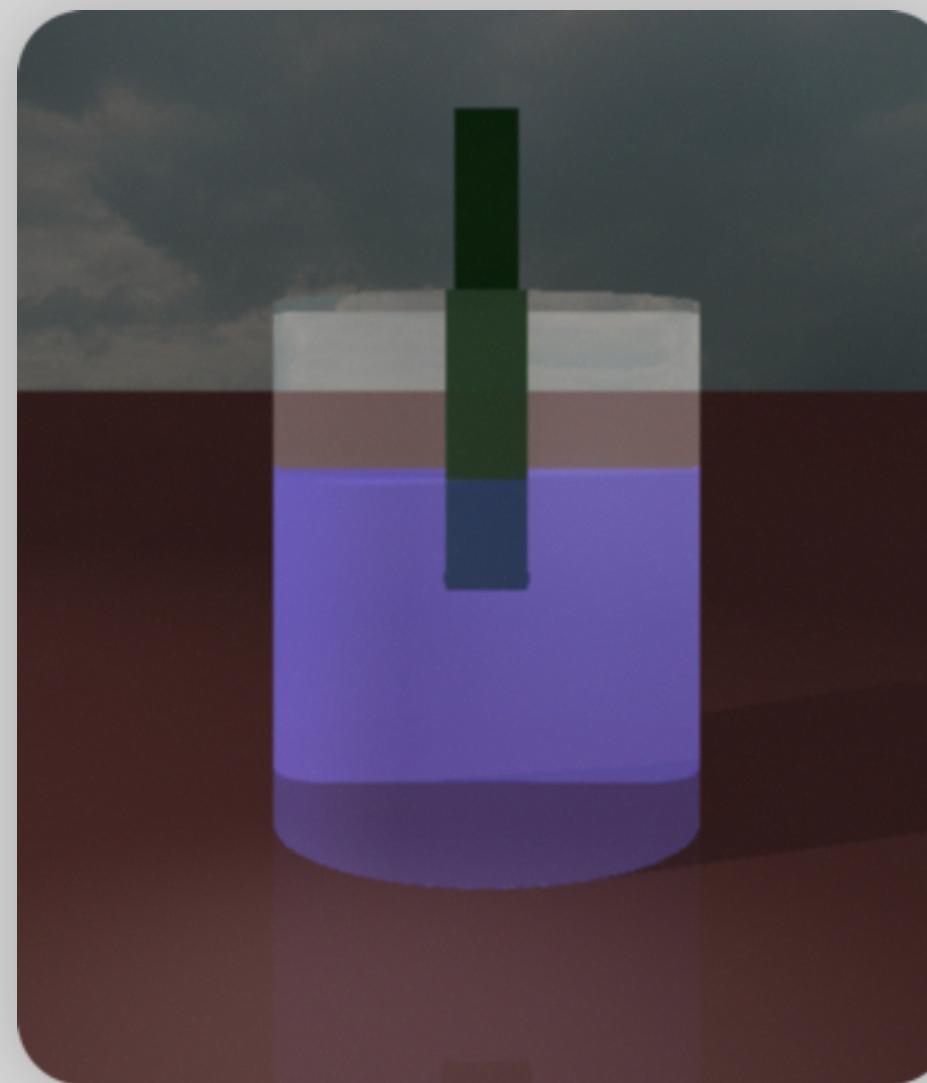


Реалистичность преломления лучей для прозрачных материалов объектов сцены

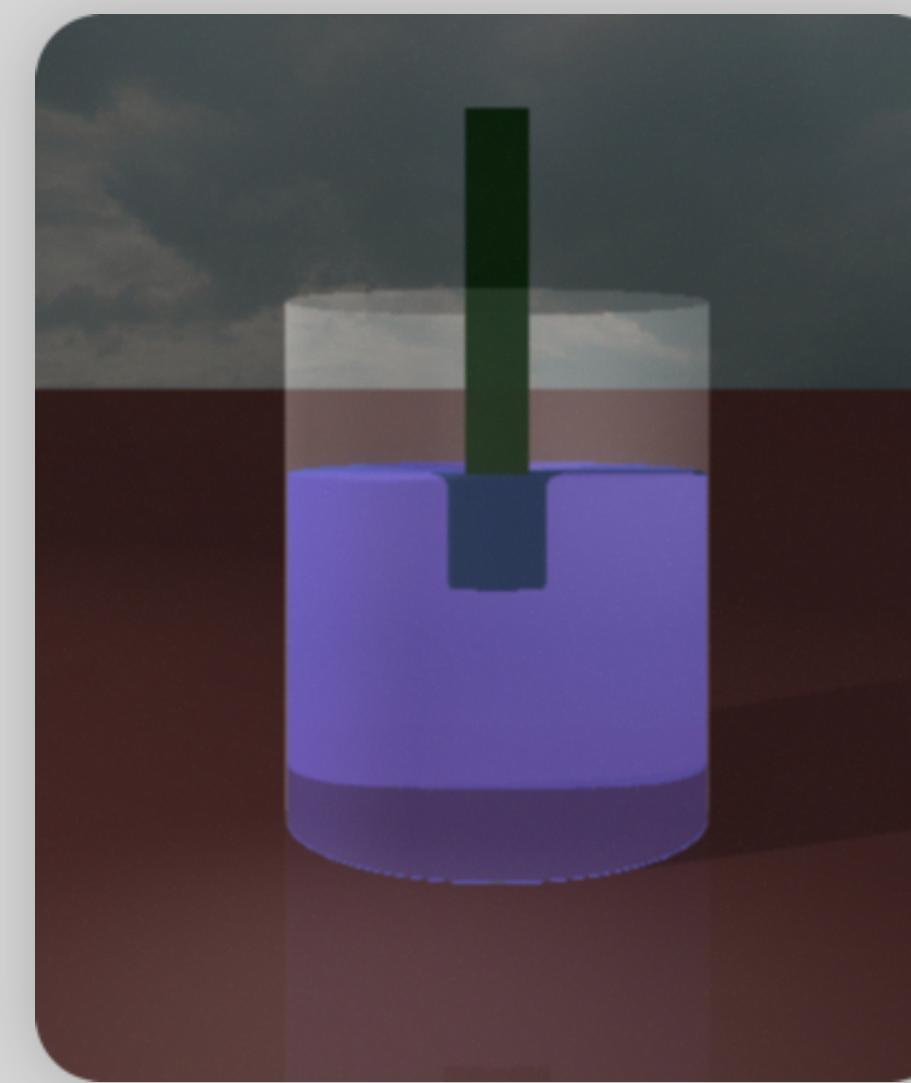
$$k_v = 1.0; k_l = 1.0$$



$$k_v = 1.3; k_l = 1.0$$



$$k_v = 1.0; k_l = 1.5$$



$$k_v = 1.3; k_l = 1.5$$



k_v — коэффициент преломления сосуда

k_l — коэффициент преломления жидкости

Заключение

В ходе выполнения работы:

- описаны моделируемые объекты сцены;
- проанализированы способы представления объектов и выбран наиболее подходящий;
- проанализированы алгоритмы рендеринга и выбран наиболее подходящий;
- проанализированы модели освещения и выбрана наиболее подходящая;
- разработаны выбранные алгоритмы;
- реализовано программное обеспечение для достижения цели данной работы;
- исследованы время построения изображения в зависимости от глубины рекурсии; время построения изображения от количества используемых дополнительных потоков; реалистичность преломления света для прозрачных объектов для разработанного программного обеспечения.