МОСКОВСКИЙ АВИАЦИОННЫЙ ИНСТИТУТ
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)
Институт №8 «Компьютерные науки и прикладная математика»
Кафедра 806 «Вычислительная математика и программирование»

Курсовая работа
по курсу «Параллельная обработка данных»
Обратная трассировка лучей (Ray Tracing) на GPU

Выполнил: М.С.Гаврилов
Группа: 8О-406Б
Преподаватели: К.Г. Крашенинников,
А.Ю. Морозов

Москва, 2022

Условие

Цель работы. Использование GPU для создание фотореалистической визуализации. Рендеринг полузеркальных и полупрозрачных правильных геометрических тел. Получение эффекта бесконечности. Создание анимации.

Вариант 4. Тетраэдр, Октаэдр, Додекаэдр

Программное и аппаратное обеспечение

Характеристики графического процессора	
Compute capability:	7.5
Name:	NVIDIA GeForce GTX 1650
Total Global Memory:	4102029312
Shared memory per block:	49152
Registers per block:	65536
Warp size:	32
Max threads per block:	(1024, 1024, 64)
Max block:	(2147483647, 65535, 65535)
Total constant memory:	65536
Multiprocessors count:	14

Процессор: Intel(R) Core(TM) i5-11260H @ 2.60GHz
Оперативная память: 7875 Мб
Накопитель: kimtigo SSD 256GB

OS: Linux Mint 21
IDE: Visual Studio Code 1.72.0
compiler: Cuda compilation tools, release 11.8, V11.8.89

Метод решения

Сцена состоит из трех фигур и пола. Текстура накладывается только на пол. Сцена освещается точечным источником света. Помимо этого, присутствует фоновое освещение. Тела могут отражать свет, рассеивать свет и пропускать свет через себя. Цвет каждого пикселя определяется путем испускания из точки обзора виртуальных лучей. Если луч, выпущенный из камеры пересекается с полигоном, то из точки пересечения испускается отраженный и преломленный луч. Также определяется, освещена ли точка пересечения источником света. Цвет, определенный лучом, является суммой цвета материала полигона (рассеянного полигоном света источника и фонового освещения) и цветов, полученных вторичными лучами.

Описание программы

Программа состоит из одного файла, в котором реализован класс Scene, описывающий сцену.

Класс Scene

Метод	Описание
`Scene(bool gpu_available_, std::string floor_path, float floor_refl_ind, float3 light_location, float3 light_color)`	Конструктор. При создании сцены определяет, использовать ли для рендера gpu, загружается текстура пола и создается источник света. После создания, сцена состоит из пола и источника света.
`~Mesh ()`	Деструктор, освобождает все занятые ресурсы.
`void add_tetraeder(float3 location, float radius, material mat)`	Добавляет в сцену тетраэдер с центром в координатах `location` радиусом описанной сферы `radius` и материалом полигонов `mat`
`void add_octaeder(float3 location, float radius, material mat)`	Добавляет в сцену октаэдер с центром в координатах `location` радиусом описанной сферы `radius` и материалом полигонов `mat`
`void add_dodecaeder(float3 location, float radius, material mat)`	Добавляет в сцену додекаэдер с центром в координатах `location` радиусом описанной сферы `radius` и материалом полигонов `mat`
`void set_render_params(int frame_width, int frame_heighth, int frame_angle, int sqrt_rays_per_pix, int max_depth)`	Задает параметры рендера, общие для всех кадров, инициализирует массивы для хранения кадров и ресурсы gpu, если вычисления на gpu предусмотрены.
`void render_frame_gpu(float3 camera_location, float3 camera_direction)`	Рендерит кадр на gpu. В качестве параметров принимает позицию камеры и направление взгляда. Кадр рендерится с разрешением большим, чем требуется. Готовый кадр подвергается сглаживанию алгоритмом ssaa и записывается в массив для хранения.
`void render_frame_cpu(float3 camera_location, float3 camera_direction)`	Рендерит кадр на cpu. В качестве параметров принимает позицию камеры и направление взгляда. Кадр рендерится с разрешением большим, чем требуется. Готовый кадр подвергается сглаживанию алгоритмом ssaa и записывается в массив для хранения.

`void print_frame_to_file(std::string path_to_file, int frame_id)`	Записывает содержимое массива для хранения кадра в файл по адресу `path_to_file`

Ядра

`__global__ void kernel_render_frame(float3 view_pnt, float3 view_dir, int frame_w, int frame_h, double view_angle, uchar4 *result, uchar4 *floor, int floor_size, int floor_texture_size, triangle* triangles, int triangle_num, Light light, int max_depth)`	Для каждого пикселя вычисляет направление луча и рассчитывает сам луч. Готовый кадр записывается в массив `result` Ядро запускается для большего разрешения, чем задано при запуске программы. Излишнее разрешения нужно для применения ssaa.
`__global__ void kernel_ssaa(uchar4* data, uchar4* result, int frame_w, int frame_h, int sqrt_rays_per_pix)`	Реализует алгоритм ssaa.

Исследовательская часть и результаты

1. Сравнение времени работы программы с различными конфигурациями.

20 кадров, разрешение 100 x 50 (5000px)

Размерность сетки	Время работы (мс)	Сред. время на кадр (мс)
<<<(4,4),(4,4)>>>	587.494	29.3947
<<<(8,8),(8,8)>>>	144.127	13.7257
<<<(16,16),(16,16)>>>	132.075	12.5563

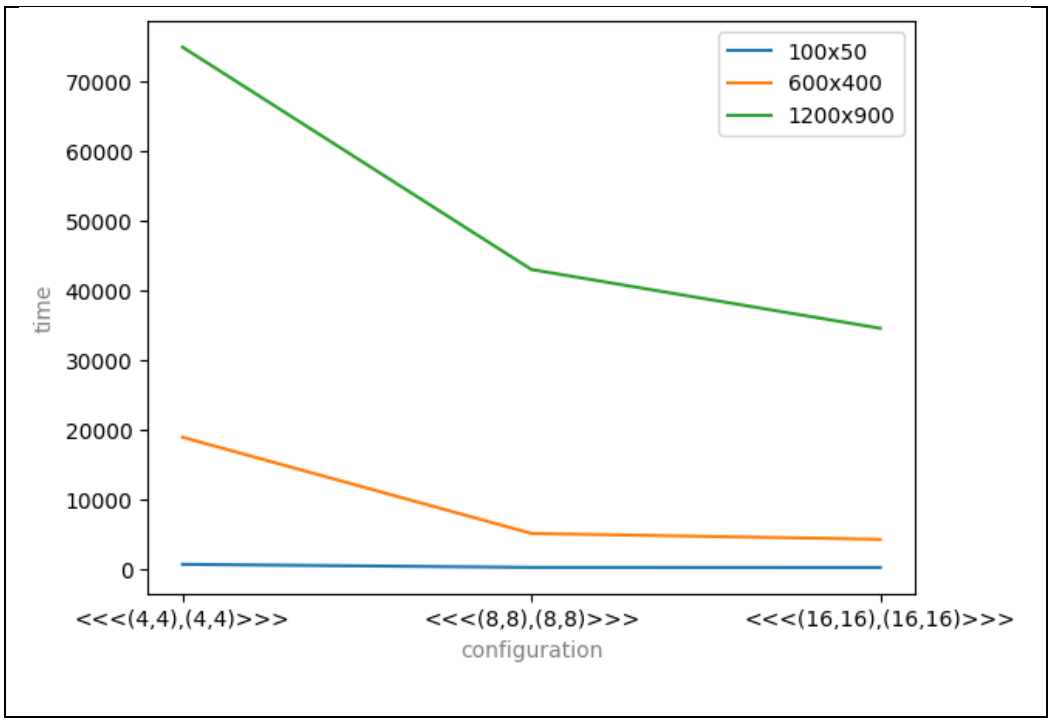
20 кадров, разрешение 600 x 400 (240000px)

Размерность сетки	Время работы (мс)	Сред. время на кадр (мс)
<<<(4,4),(4,4)>>>	18842.3	942.611
<<<(8,8),(8,8)>>>	5021.07	277.441
<<<(16,16),(16,16)>>>	4175.11	219.961

20 кадров, разрешение 1200 x 900 (1080000px)

Размерность сетки	Время работы (мс)	Сред. время на кадр (мс)
<<<(4,4),(4,4)>>>	74875.0	3749.75
<<<(8,8),(8,8)>>>	42932.9	2146.64
<<<(16,16),(16,16)>>>	34489.4	1763.24

Результаты в виде графика:

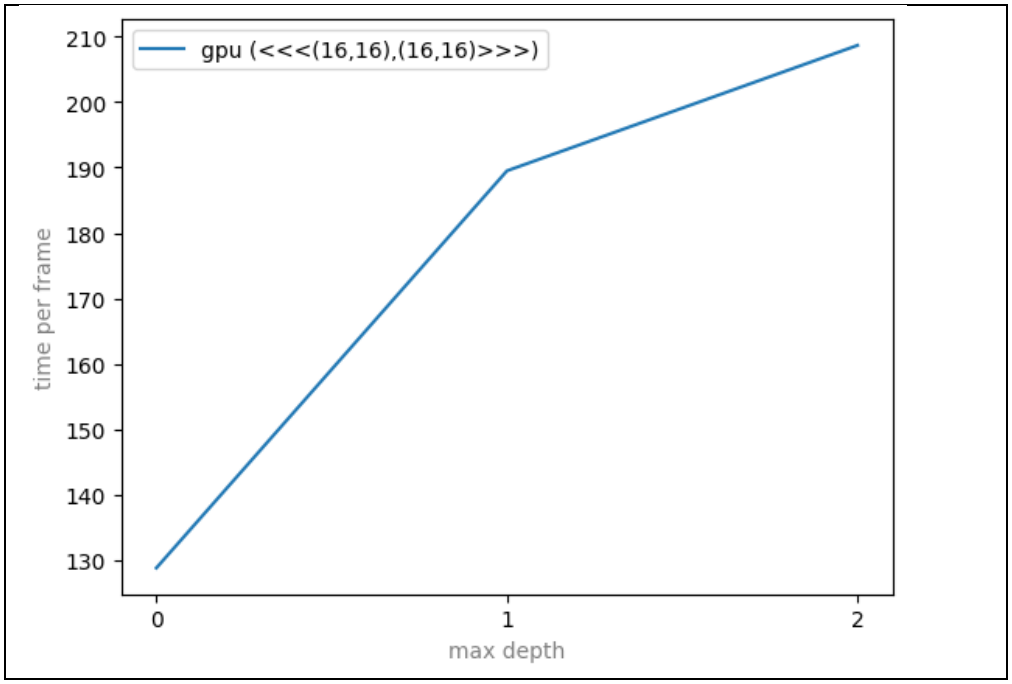


2. Сравнение времени работы при разной предельной глубине луча.

10 кадров, разрешение 600 x 400, Размерность сетки <<<(16,16),(16,16)>>>

Макс. Глубина	Время работы (мс)	Сред. время на кадр (мс)
0	1288.02	128.802
1	1894.9	189.49
2	2086.63	208.663

Результаты в виде графика:

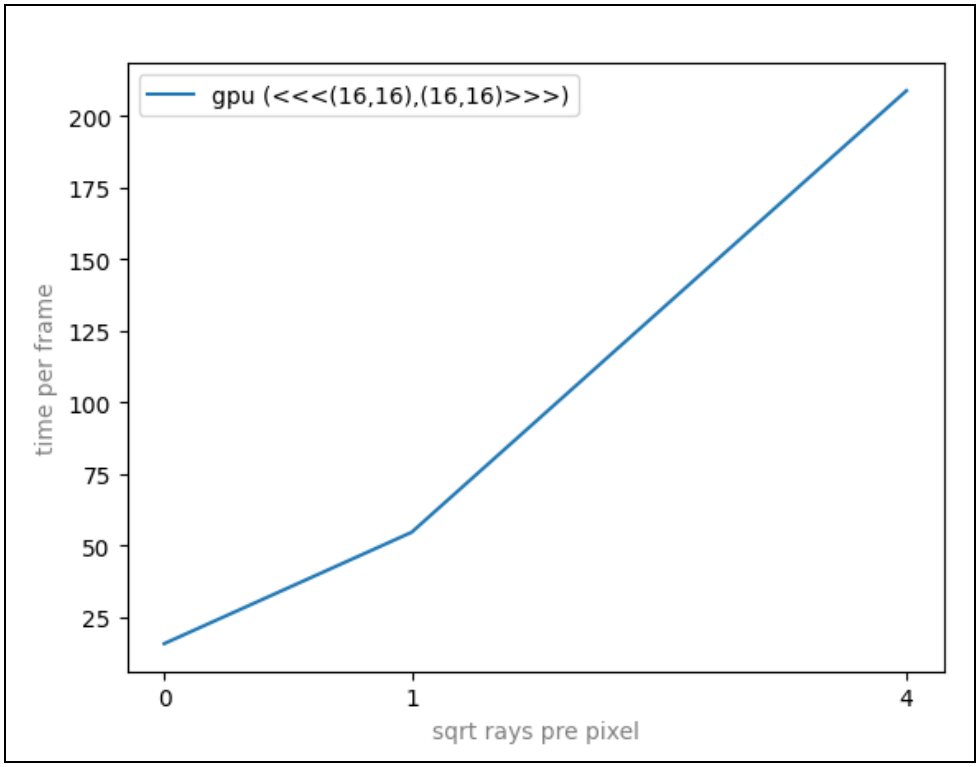


3. Сравнение времени работы при различном числе лучей на пиксель.

10 кадров, разрешение 600 x 400, Размерность сетки <<<(16,16),(16,16)>>>

Лучей на пиксель	Время работы (мс)	Сред. время на кадр (мс)
1^2	158.222	15.8222
2^2	546.895	54.6895
4^2	2087.81	208.781

Результаты в виде графика:



4. Сравнение времени работы на gpu и cpu.

10 кадров, разрешение 100 x 50

	Время работы (мс)	Сред. время на кадр (мс)
GPU (<<<(16,16),(16,16)>>>)	65.2247	6.51431
CPU	29 983	2 998.3

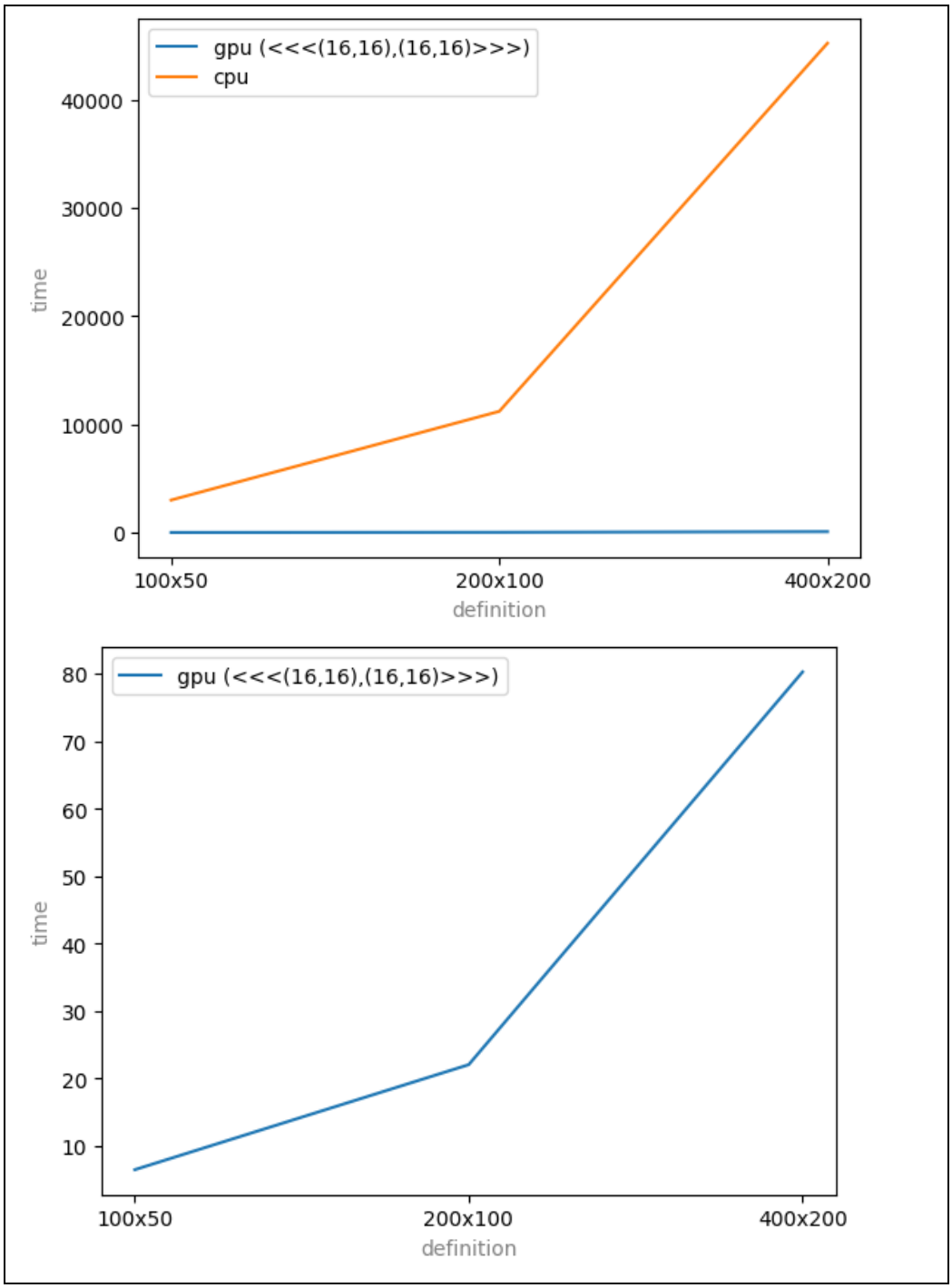
10 кадров, разрешение 200 x 100

	Время работы (мс)	Сред. время на кадр (мс)
GPU (<<<(16,16),(16,16)>>>)	220.743	22.0743
CPU	112 005	11 200.5

10 кадров, разрешение 400 x 200

	Время работы (мс)	Сред. время на кадр (мс)
GPU (<<<(16,16),(16,16)>>>)	802.439	80.2439
CPU	452 332	45 233.2

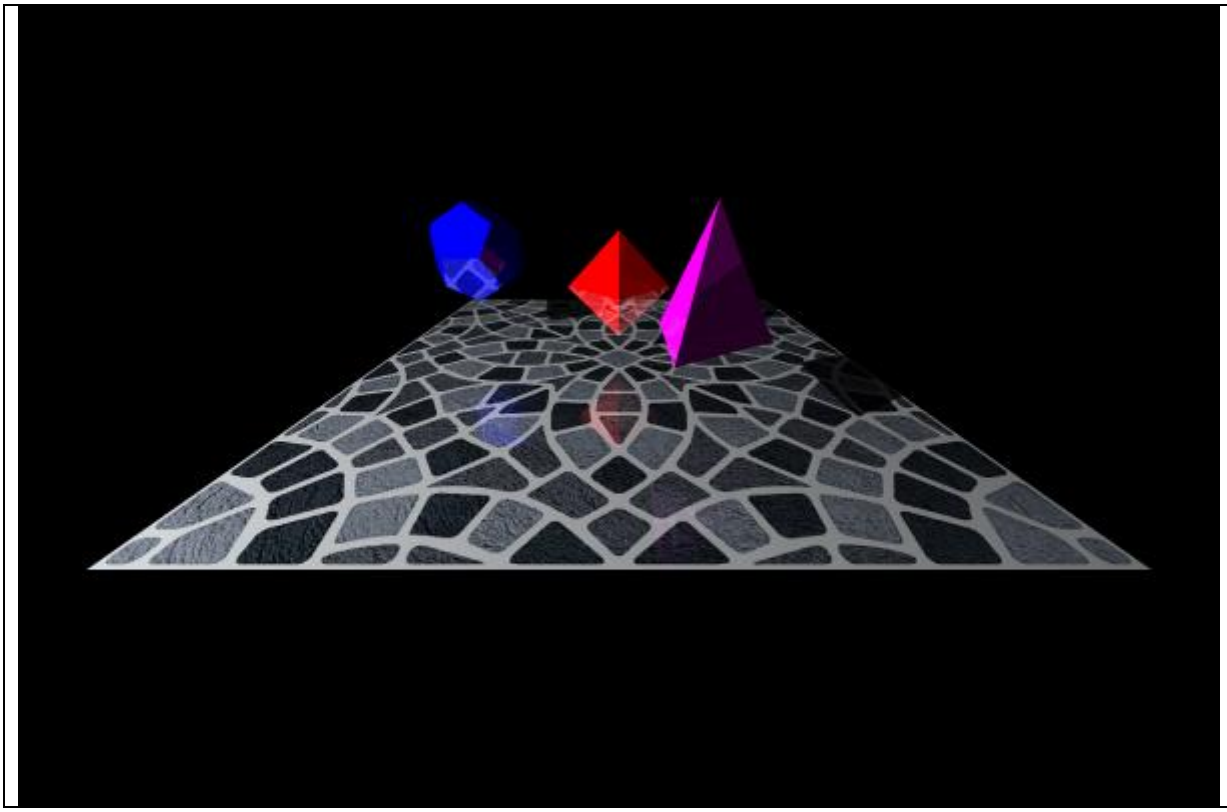
Результаты в виде графика:

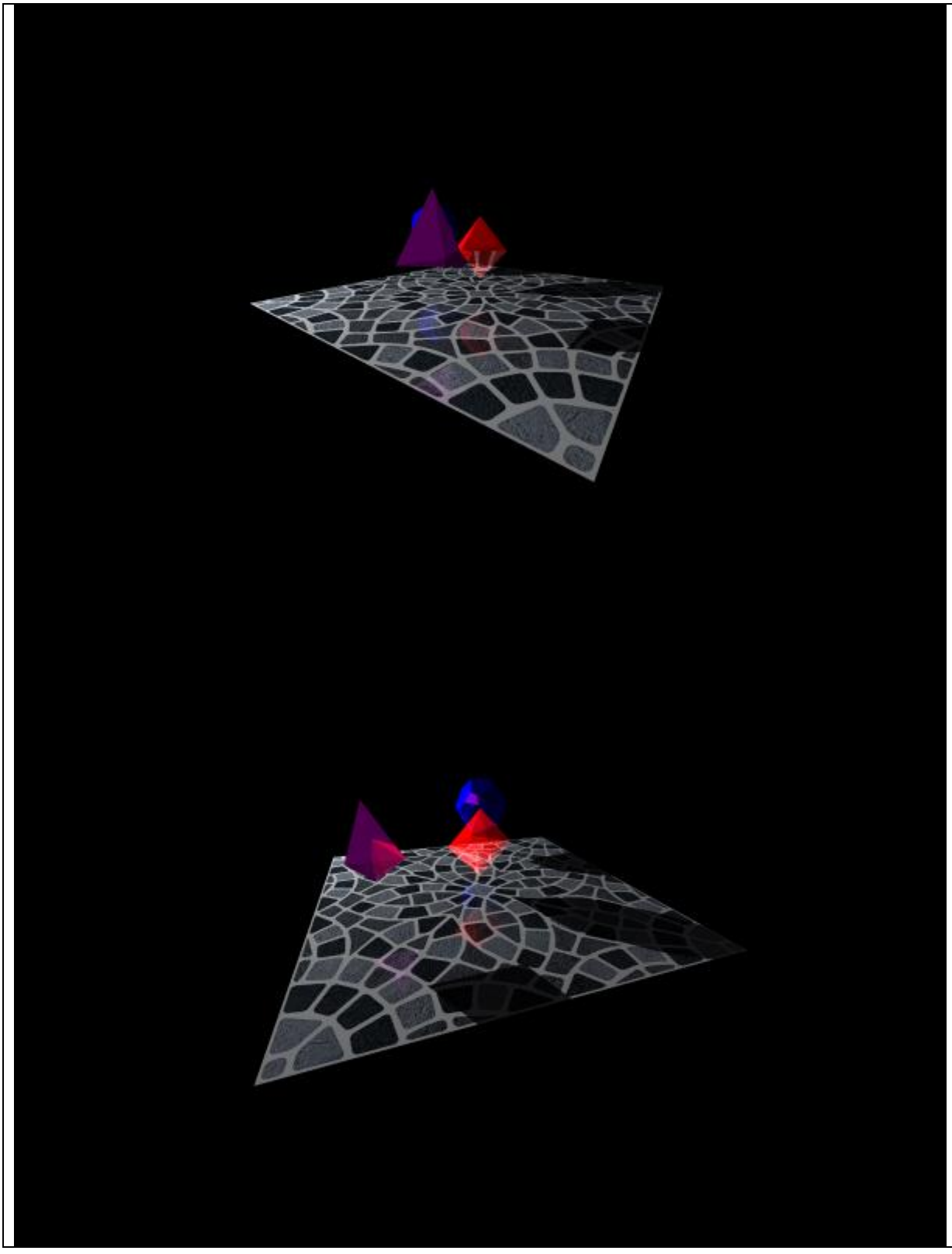


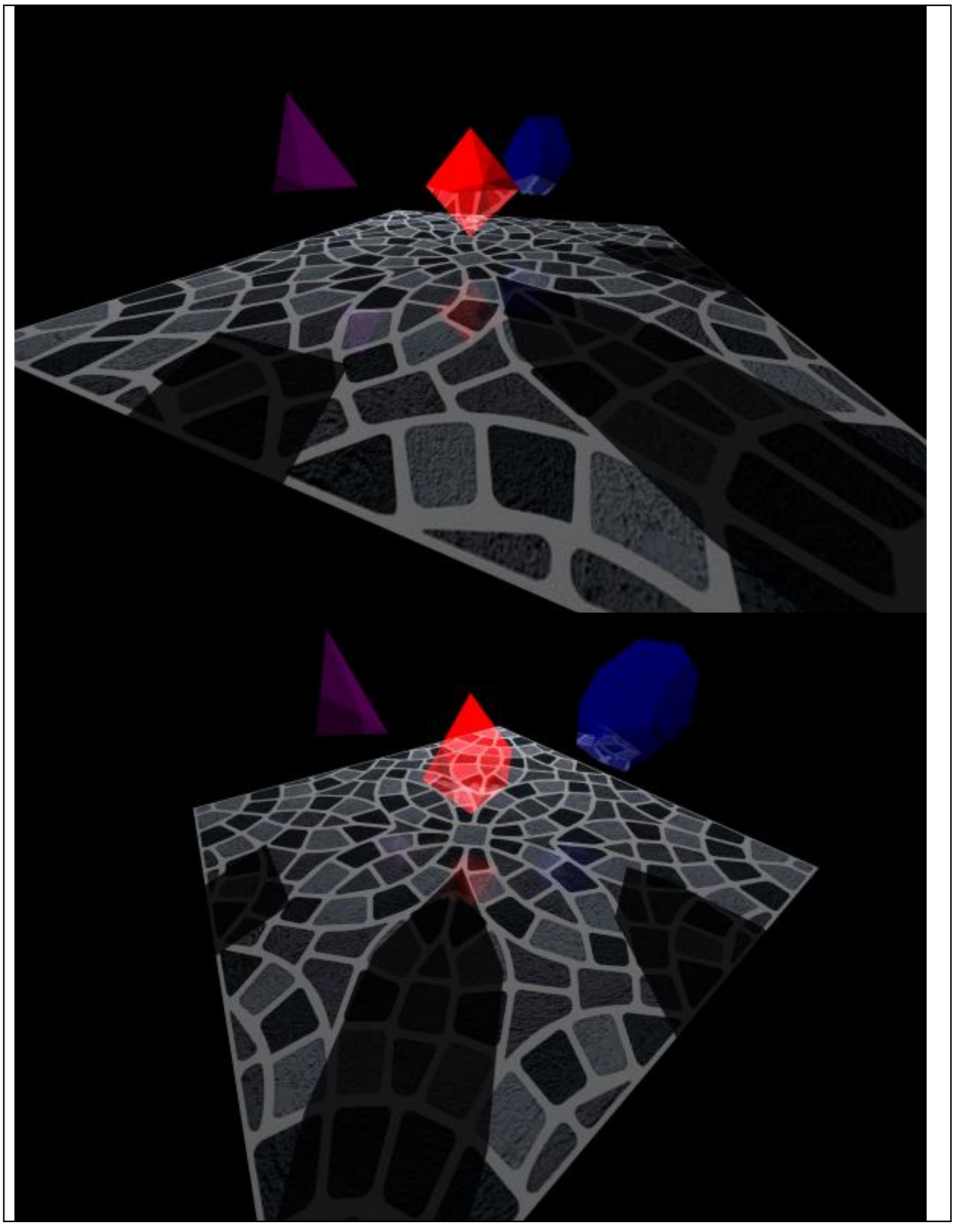
5. Примеры работы программы

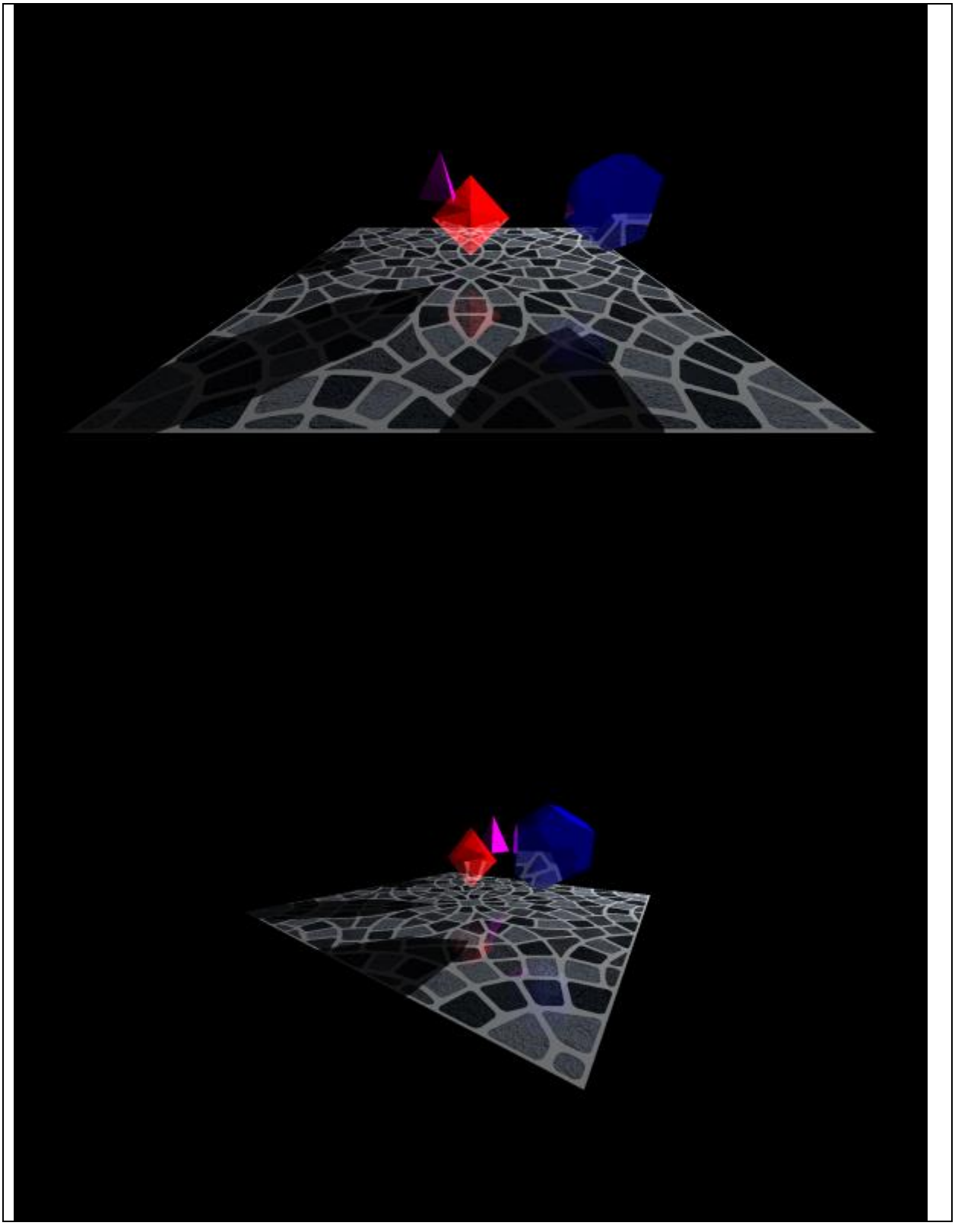
10 кадров, полученных при следующих входных данных:

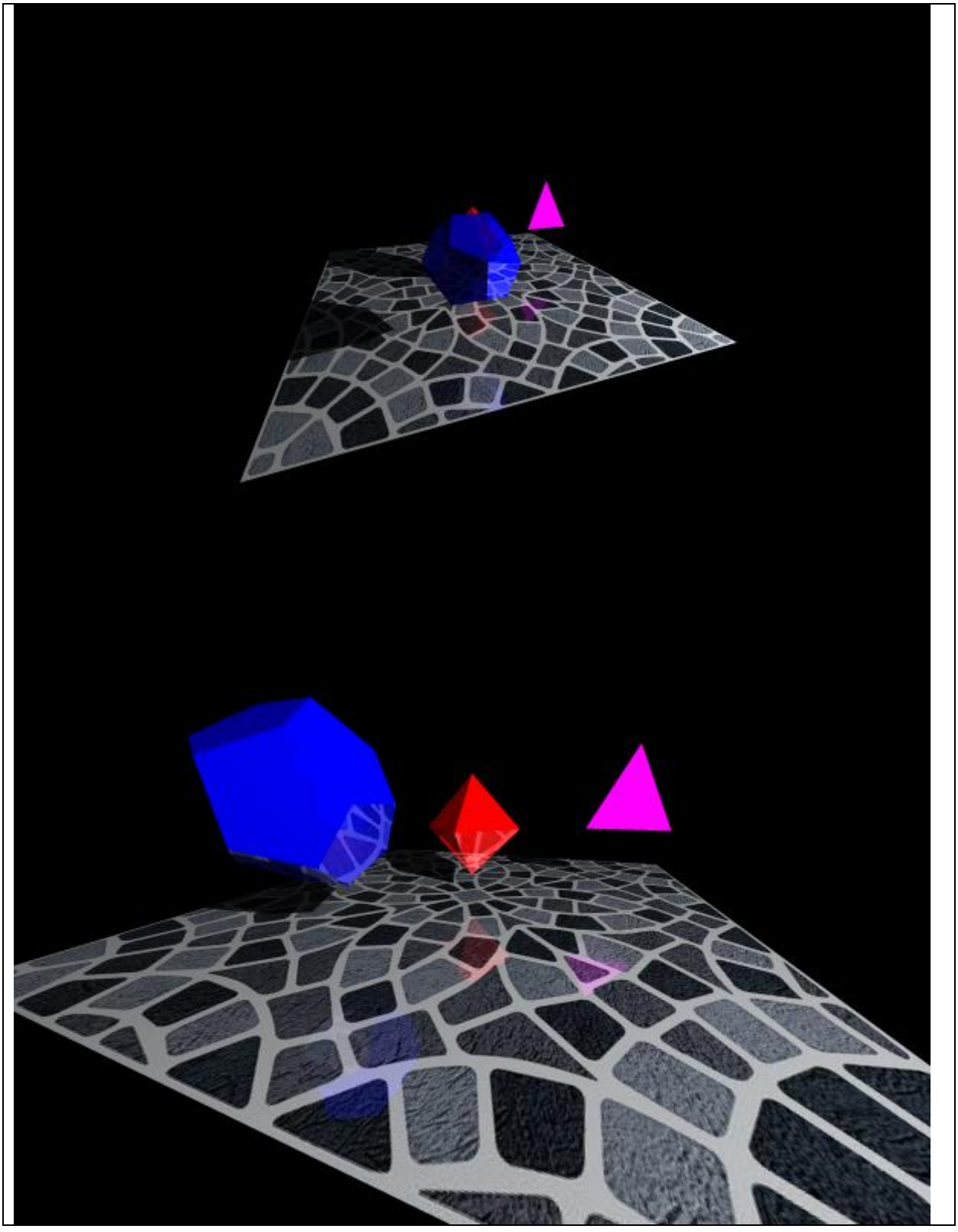
```
10
res/%d.data
600 400 120

7.0 3.0 0.0  2.0 1.0
2.0 6.0 1.0  0.0 0.0
2.0 0.0 0.0  0.5 0.1
1.0 4.0 1.0  0.0 0.0

3 1 2      1 0 1   1 0.5 0.2 0
0 0 1.5    1 0 0   1 0.5 0.9 0
-1 -3 2    0 0 1   1 0.5 0.3 0

-5 -5 0 -5  5 0  5  5 0 5 -5 0
floor_2.data
1 1 1 0.2
1 7 -7 5 1 1 1
2 4
```

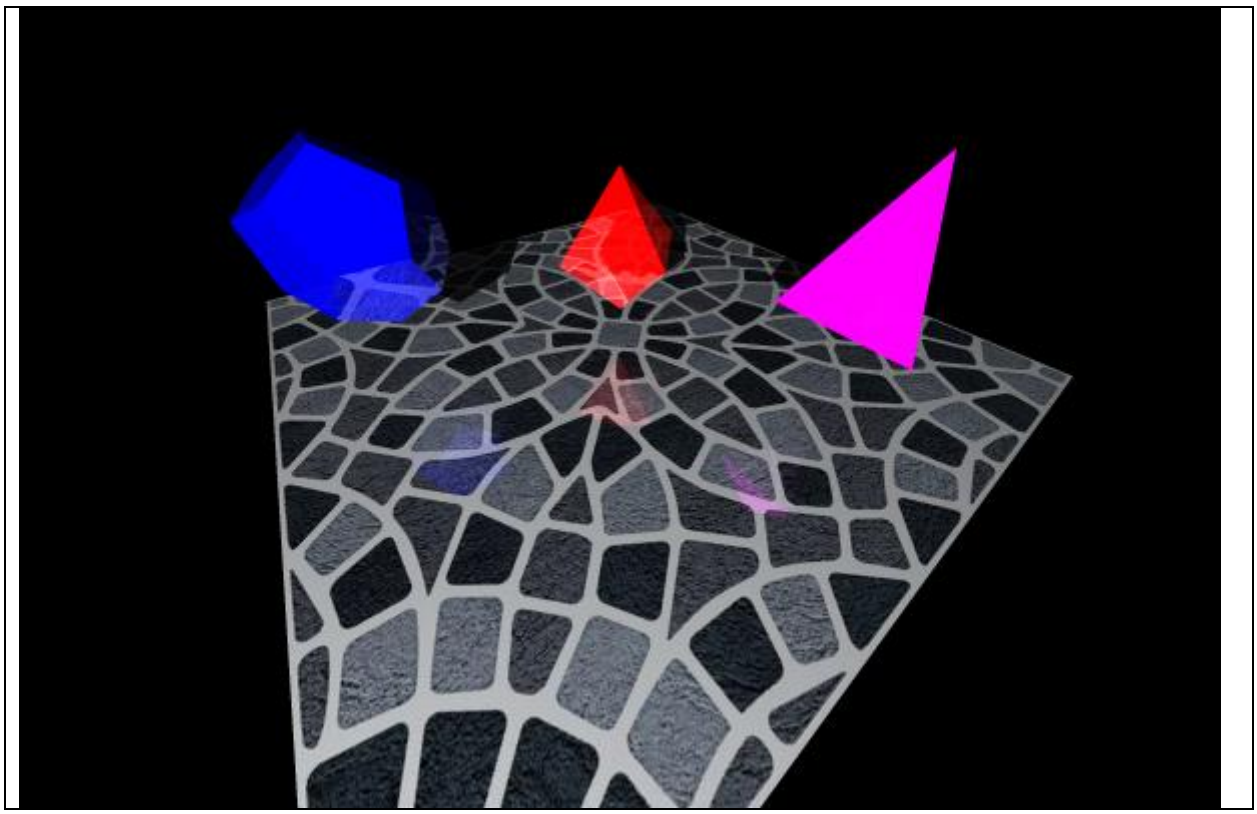












Вывод

В ходе выполнения курсовой работы я ознакомился с алгоритмом обратной трассировки лучей и реализовал программу, осуществляющую рендеринг полупрозрачных и полузеркальных правильных геометрических тел с его помощью. Я получил опыт в создании изображений и анимации при помощи gpu.

Алгоритм обратной трассировки лучей используется для получения фотореалистичных изображений, преимущественно в ситуациях, когда нет необходимости рендерить сцену в реальном времени, ввиду высокой трудоемкости вычислений. Так как этот алгоритм легко распараллелить, а на одном процессоре он работает крайне медленно, он почти всегда исполняется на gpu.

Основные трудности, с которыми я столкнулся в ходе создания программы заключались в необходимости задать точки полигонов геометрических фигур в таком порядке, чтобы нормали указывали наружу.

Полученные в ходе исследования производительности данные показывают, что этот алгоритм гораздо более эффективно работает распараллелено на gpu, чем на cpu. В среднем наблюдался прирост производительности в 500 раз. Производительность также растет с увеличением размерности сетки. Прочие исследования показали, что программа работает тем быстрее, чем меньше лучей необходимо обработать.

Литература

1. Статья «Обратная трассировка лучей» [интернет-ресурс] URL: http://www.ray-tracing.ru/articles164.html
2. Статься «Ray tracing (graphics)» [интернет-ресурс] URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Ray_tracing_(graphics)