

## Лабораторная работа №6

### Моделирование и визуализация системы N взаимодействующих тел с использованием технологий OpenGL и CUDA.

**Цель работы.** Использование GPU для моделирования и визуализации системы N взаимодействующих тел. Взаимодействие технологий CUDA и OpenGL: vbo + texture. Решение проблемы коллизий множества объектов. Создание простейшей “игры”.

#### Задание.

**Сцена.** Виртуальный куб, у которого отрисовывается только нижняя грань (пол) и ребра. Внутри куба находятся N частиц (текстурированные сферы), которые отталкиваются друг от друга и от стенок куба. Условно предполагается что стенки куба и частицы одноименно заряжены. Для частиц учитывается ускорение свободного падения. Нижняя грань куба закрашивается в соответствии с напряженностью электрического поля создаваемого частицами (строится карта напряженности).

**Игрок.** Камера может перемещаться по пространству без каких-либо ограничений. Управление кнопками и мышкой. При приближении камеры к частицам, они должны “убегать” от неё (предполагается наличия большого одноименного заряда у игрока). По нажатию кнопки мыши, игрок совершает “выстрел” сильно заряженной частицей в направлении взгляда. Эта частица движется равномерно и действует только на другие частицы, а на неё саму никто не влияет.

#### Математическая постановка.

Сторона виртуального куба  $2a$ , центр куба имеет координаты  $(0, 0, a)^T$ .  
Обозначения:

$x_i, y_i, z_i, vx_i, vy_i, vz_i, q_i$  - положение, скорость и заряд  $i$ -ой частицы.

$x_c, y_c, z_c, vx_c, vy_c, vz_c, q_c$  - положение, скорость и заряд игрока (камеры).

$x_b, y_b, z_b, vx_b, vy_b, vz_b, q_b$  - положение, скорость и заряд пули.

$l_{ij} = \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2 + (z_i - z_j)^2}$  - расстояние между  $i$ -ой и  $j$ -ой частицей.

$l_{ic} = \sqrt{(x_i - x_c)^2 + (y_i - y_c)^2 + (z_i - z_c)^2}$  - расстояние между  $i$ -ой частицей и камерой.

$l_{ib} = \sqrt{(x_i - x_b)^2 + (y_i - y_b)^2 + (z_i - z_b)^2}$  - расстояние между  $i$ -ой частицей и пулей.

Все приведенные ниже параметры необходимо варьировать и подбирать экспериментально, чтобы получающийся результат был наиболее реалистичным и красивым.

$a = 15$  - половина стороны куба,  $N = 150$  - количество частиц,  $\epsilon = 10^{-3}$  - маленькое число, которое прибавляется в знаменатель, чтобы избежать деление на близкое к нулю значение,  $w = 0.99$  - коэффициент замедления,  $K = 50$  - коэффициент пропорциональности,  $dt = 0.01$  - шаг интегрирования,  $g = 20$  - “ускорение свободного падения”,  $q_i = 1$ ,  $q_c = 30$ ,  $q_b = 50$  - заряды частиц, камеры и пули,  $v_b = 10$  - скорость пули,  $shift_z = 0.75$  - сдвиг для карты напряженности, для более четкой картины.

Начальные положения и скорости частиц:

$$x_i^{(0)} = rand(-a, a), y_i^{(0)} = rand(-a, a), z_i^{(0)} = rand(0, 2a)$$

$$vx_i^{(0)} = vy_i^{(0)} = vz_i^{(0)} = 0$$

На каждом шаге положения и скорости частиц пересчитываются по формулам:

$$vx_i^{(k+1)} = w \cdot vx_i^{(k)} + K \cdot q_i \left[ \sum_{j=1}^N q_j \frac{x_i^{(k)} - x_j^{(k)}}{l_{ij}^3 + \epsilon} + q_i \frac{x_i^{(k)} - a}{|x_i^{(k)} - a|^3 + \epsilon} + q_i \frac{x_i^{(k)} + a}{|x_i^{(k)} + a|^3 + \epsilon} + q_c \frac{x_i^{(k)} - x_c^{(k)}}{l_{ic}^3 + \epsilon} + q_b \frac{x_i^{(k)} - x_b^{(k)}}{l_{ib}^3 + \epsilon} \right] dt$$

$$vy_i^{(k+1)} = w \cdot vy_i^{(k)} + K \cdot q_i \left[ \sum_{j=1}^N q_j \frac{y_i^{(k)} - y_j^{(k)}}{l_{ij}^3 + \epsilon} + q_i \frac{y_i^{(k)} - a}{|y_i^{(k)} - a|^3 + \epsilon} + q_i \frac{y_i^{(k)} + a}{|y_i^{(k)} + a|^3 + \epsilon} + q_c \frac{y_i^{(k)} - y_c^{(k)}}{l_{ic}^3 + \epsilon} + q_b \frac{y_i^{(k)} - y_b^{(k)}}{l_{ib}^3 + \epsilon} \right] dt$$

$$vz_i^{(k+1)} = w \cdot vz_i^{(k)} + K \cdot q_i \left[ \sum_{j=1}^N q_j \frac{z_i^{(k)} - z_j^{(k)}}{l_{ij}^3 + \epsilon} + q_i \frac{z_i^{(k)} - 2a}{|z_i^{(k)} - 2a|^3 + \epsilon} + q_i \frac{z_i^{(k)}}{|z_i^{(k)}|^3 + \epsilon} + q_c \frac{z_i^{(k)} - z_c^{(k)}}{l_{ic}^3 + \epsilon} + q_b \frac{z_i^{(k)} - z_b^{(k)}}{l_{ib}^3 + \epsilon} \right] dt - g \cdot dt$$

$$x_i^{(k+1)} = x_i^{(k)} + vx_i^{(k+1)} dt$$

$$y_i^{(k+1)} = y_i^{(k)} + vy_i^{(k+1)} dt$$

$$z_i^{(k+1)} = z_i^{(k)} + vz_i^{(k+1)} dt$$

Слагаемые  $q_i \frac{x_i^{(k)} - a}{|x_i^{(k)} - a|^3 + \epsilon}$ ,  $q_i \frac{x_i^{(k)} + a}{|x_i^{(k)} + a|^3 + \epsilon}$  отвечают за отталкивание от правой и левой стенки.

Слагаемые  $q_i \frac{y_i^{(k)} - a}{|y_i^{(k)} - a|^3 + \epsilon}$ ,  $q_i \frac{y_i^{(k)} + a}{|y_i^{(k)} + a|^3 + \epsilon}$  отвечают за отталкивание от передней и задней стенки.

Слагаемые  $q_i \frac{z_i^{(k)} - 2a}{|z_i^{(k)} - 2a|^3 + \epsilon}$ ,  $q_i \frac{z_i^{(k)}}{|z_i^{(k)}|^3 + \epsilon}$  отвечают за отталкивание от пола и потолка.

Слагаемые  $q_c \frac{x_i^{(k)} - x_c^{(k)}}{l_{ic}^3 + \epsilon}$ ,  $q_c \frac{y_i^{(k)} - y_c^{(k)}}{l_{ic}^3 + \epsilon}$ ,  $q_c \frac{z_i^{(k)} - z_c^{(k)}}{l_{ic}^3 + \epsilon}$  отвечают за отталкивание от игрока.

Слагаемые  $q_b \frac{x_i^{(k)} - x_b^{(k)}}{l_{ib}^3 + \epsilon}$ ,  $q_b \frac{y_i^{(k)} - y_b^{(k)}}{l_{ib}^3 + \epsilon}$ ,  $q_b \frac{z_i^{(k)} - z_b^{(k)}}{l_{ib}^3 + \epsilon}$  отвечают за отталкивание от пули.

Так как на пулю ничего не влияет, поэтому она движется с постоянной скоростью:

$$x_b^{(k+1)} = x_b^{(k)} + vx_b dt$$

$$y_b^{(k+1)} = y_b^{(k)} + vy_b dt$$

$$z_b^{(k+1)} = z_b^{(k)} + vz_b dt$$

В момент выстрела вектор скорости пули совпадает с направлением объектива камеры:

$$vx_b = v \cos(yaw) \cos(pitch)$$

$$vy_b = v \sin(yaw) \cos(pitch)$$

$$vz_b = v \sin(pitch)$$

А начальное положение “немного” смещено относительно положения камеры:

$$x_b^{(0)} = x_c + vx_b$$

$$y_b^{(0)} = y_c + vy_b$$

$$z_b^{(0)} = z_c + vz_b$$

*Для простоты можно полагать что пуля всего одна, и в момент выстрела она просто меняет свое положение и скорость.*

Вычисление карты напряженности. Пусть текстура квадратная и имеет размер  $np \times np$ ,  $np > 1$ . Переход от текстурных координат  $(i, j)$  к реальным  $(x, y)$ :

$$x = \left(2 \frac{i}{np-1} - 1\right)a, y = \left(2 \frac{j}{np-1} - 1\right)a$$

Напряженность вычисляется по формуле:

$$E = K \cdot \left[ \sum_{p=1}^N \frac{q_p}{(x_p - x)^2 + (y_p - y)^2 + (z_p - shift_z)^2 + \epsilon} + \frac{q_b}{(x_b - x)^2 + (y_b - y)^2 + (z_b - shift_z)^2 + \epsilon} \right]$$

Цвет пикселя  $(i, j)$  можно определить например так:

$$(0, 0, \min(E, 255))^T$$

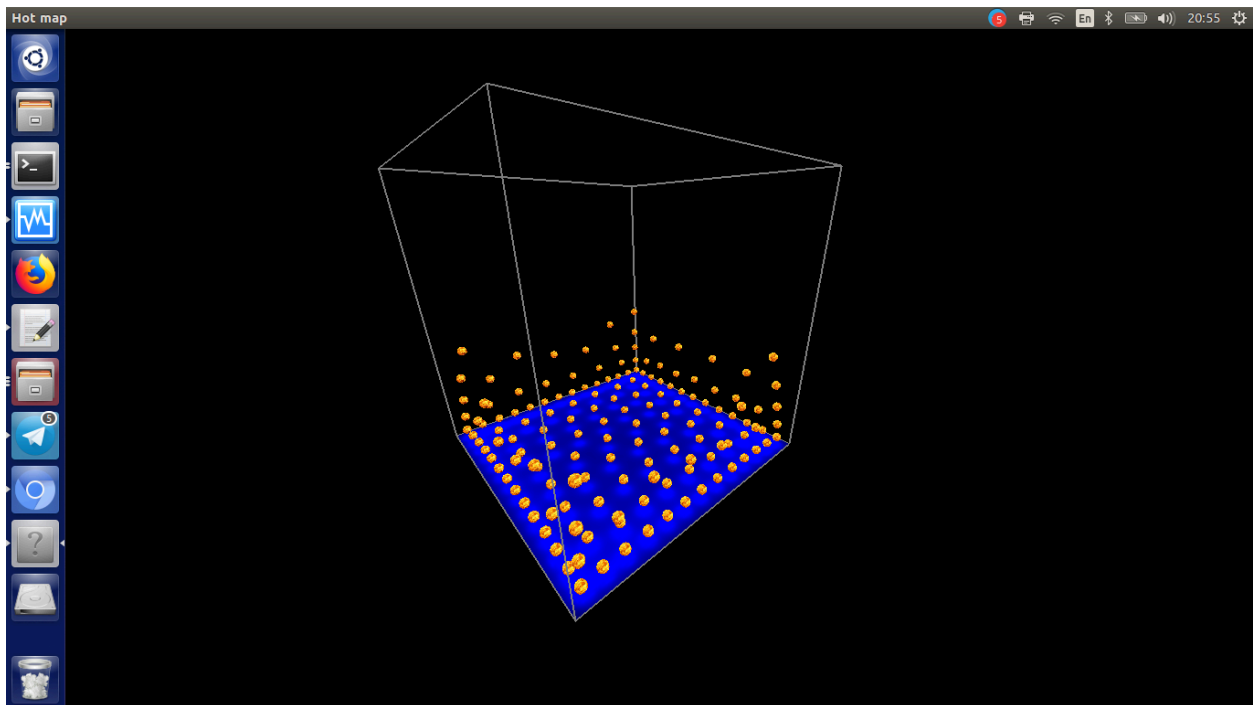
**Программа должна компилироваться следующей командой:**

`nvcc -Werror cross-execution-space-call -lm -lcublas -lcurand -IGL -IGLU -lglut -IGLEW`

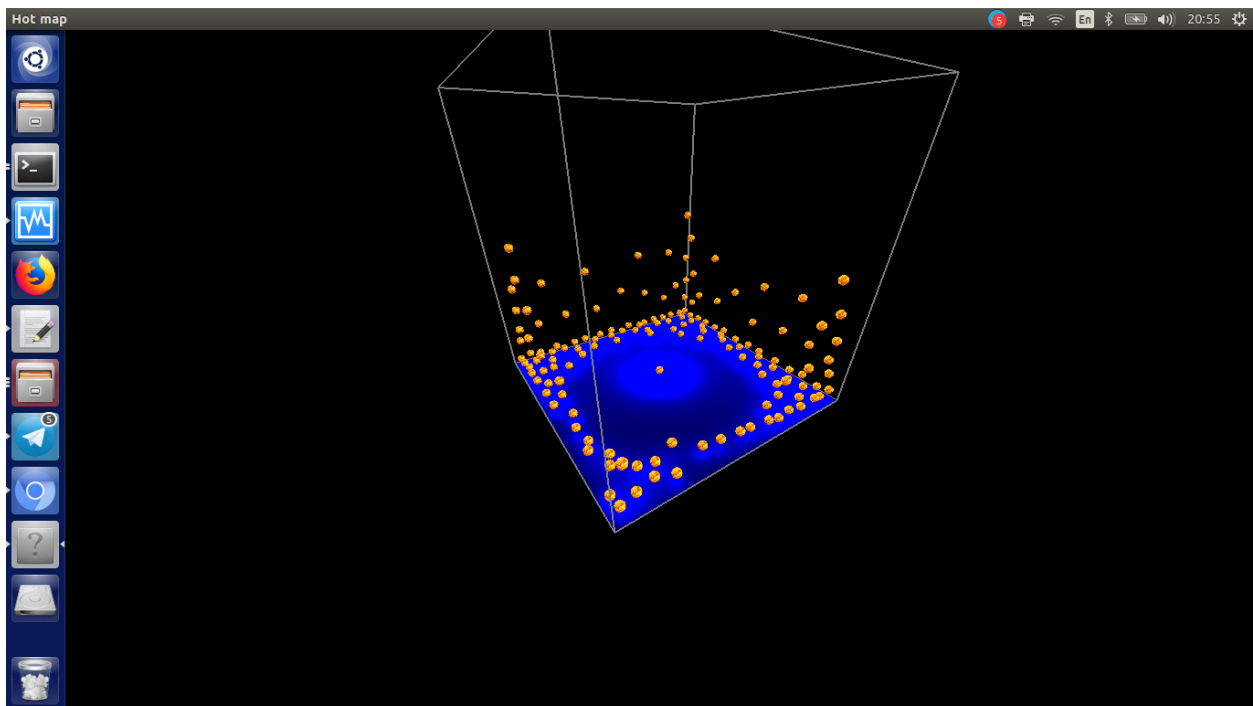
**и отправлена на чекер с темой письма pgr:6.**

### Примеры.

Если не перемещаться по сцене и не стрелять, то спустя некоторое время все частицы стабилизируются и не будут двигаться:



После выстрела:



Когда игрок подошел близко, частицы расступаются:

