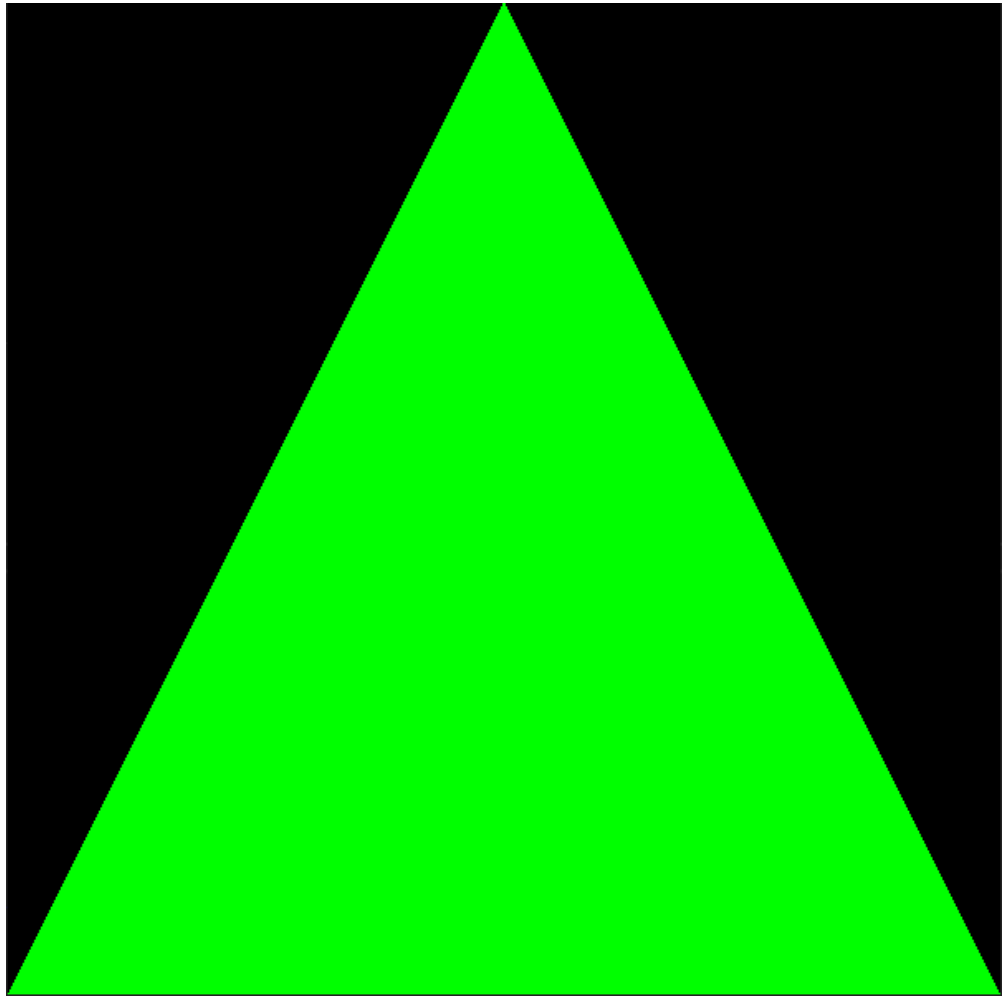
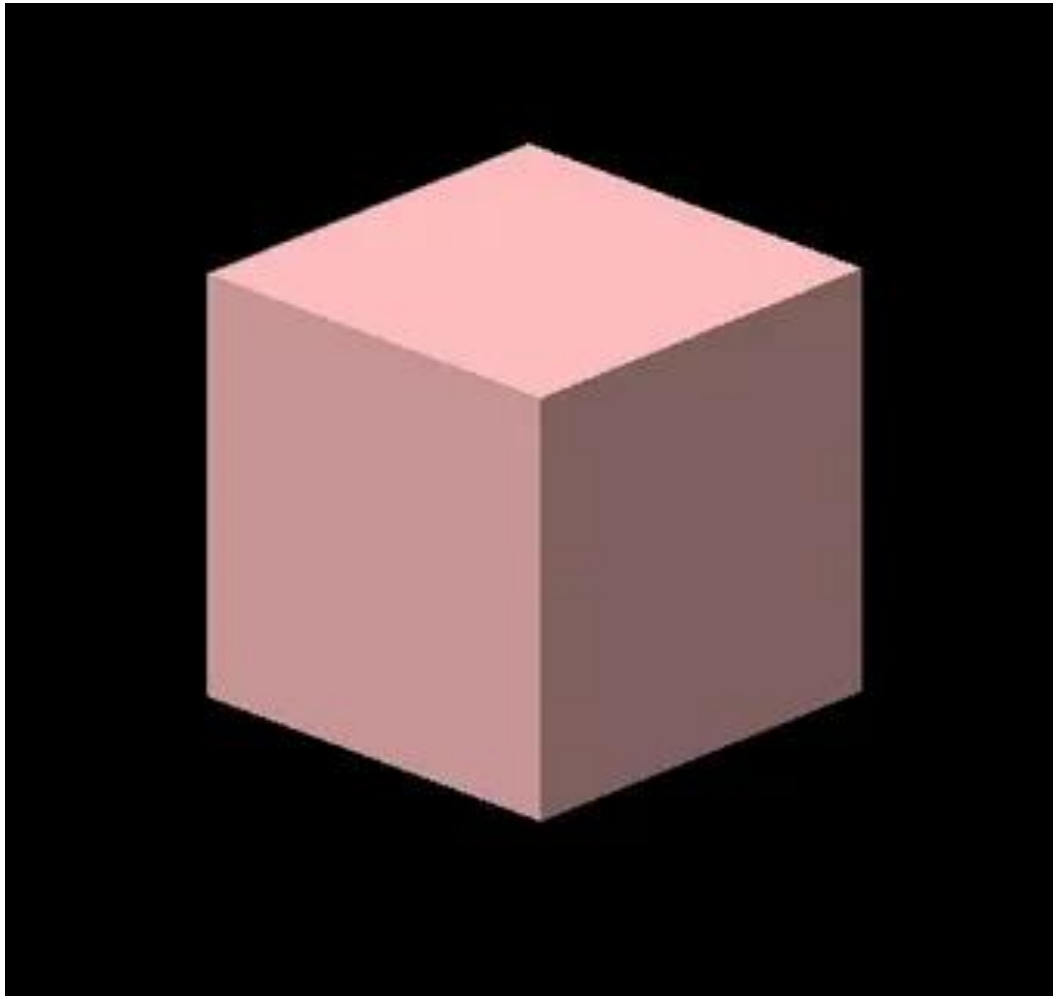
Всё о работе с буферами

Компьютерная графика

Передача данных через VBO





Vertex buffer objects (VBO) — объекты вершинного буфера

Объявление идентификатора

Инициализация буфера

Основная часть (управление выводом)

Освобождение буфера

Объявление идентификатора

```
// ID Vertex Buffer Object
GLuint VBO;
```

Инициализация буфера

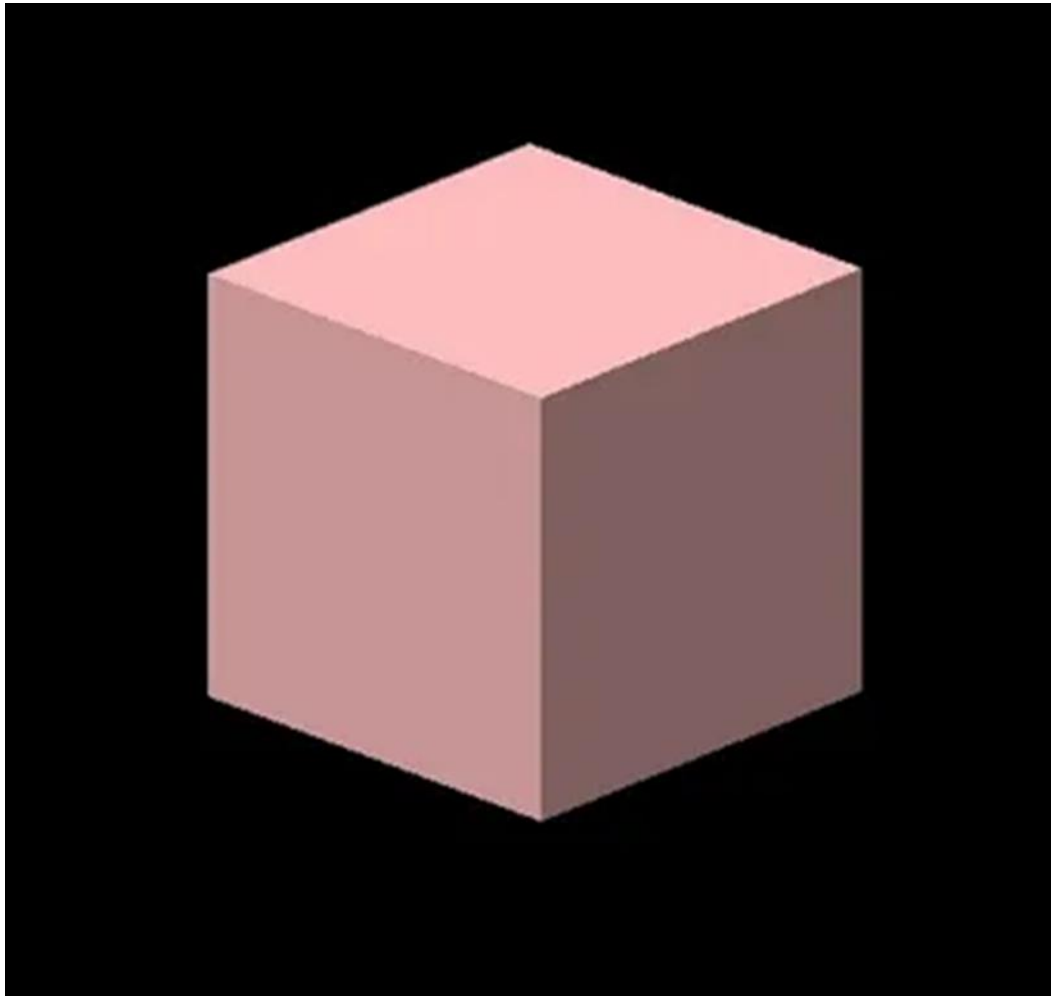
```
void InitVBO() {

    glGenBuffers(1, &VBO);  //создание буфера

    Vertex triangle[3] = {  { -1.0f, -1.0f },  { 0.0f, 1.0f },  { 1.0f, -1.0f } };  // Вершины треугольника

    glBindBuffer(GL_ARRAY_BUFFER, VBO); // Привязка или активация буфера

    glBufferData(GL_ARRAY_BUFFER, sizeof(triangle), triangle, GL_STATIC_DRAW);  // Передаём вершины в буфер

    checkOpenGLerror();
}
```

3 режима

glBufferData(GL_ARRAY_BUFFER, sizeof(triangle), triangle, **GL_STATIC_DRAW**);

- GL_STATIC_DRAW: данные либо никогда не будут изменяться, либо будут изменяться очень редко
- GL_DYNAMIC_DRAW: данные будут меняться довольно часто
- GL_STREAM_DRAW: данные будут меняться при каждой отрисовке

```
void InitVBO() {
   glGenBuffers(1, &VBO);
   Vertex triangle[] = {  // Вершины кубика
      { -0.5, -0.5, +0.5 }, { -0.5, +0.5, +0.5 }, { +0.5, +0.5, +0.5 },
      { +0.5, +0.5, +0.5 }, { +0.5, -0.5, +0.5 }, { -0.5, -0.5, +0.5 },
      { -0.5, -0.5, -0.5 }, { +0.5, +0.5, -0.5 }, { -0.5, +0.5, -0.5 },
      { +0.5, +0.5, -0.5 }, { -0.5, -0.5, -0.5 }, { +0.5, -0.5, -0.5 },

      { -0.5, +0.5, -0.5 }, { -0.5, +0.5, +0.5 }, { +0.5, +0.5, +0.5 },
      { +0.5, +0.5, +0.5 }, { +0.5, +0.5, -0.5 }, { -0.5, +0.5, -0.5 },
      { -0.5, -0.5, -0.5 }, { +0.5, -0.5, +0.5 }, { -0.5, -0.5, +0.5 },
      { +0.5, -0.5, +0.5 }, { -0.5, -0.5, -0.5 }, { +0.5, -0.5, -0.5 },

      { +0.5, -0.5, -0.5 }, { +0.5, -0.5, +0.5 }, { +0.5, +0.5, +0.5 },
      { +0.5, +0.5, +0.5 }, { +0.5, +0.5, -0.5 }, { +0.5, -0.5, -0.5 },
      { -0.5, -0.5, -0.5 }, { -0.5, +0.5, +0.5 }, { -0.5, -0.5, +0.5 },
      { -0.5, +0.5, +0.5 }, { -0.5, -0.5, -0.5 }, { -0.5, +0.5, -0.5 },
   };
   glBindBuffer(GL_ARRAY_BUFFER, VBO);
  // Передаем вершины в буфер
   glBufferData(GL_ARRAY_BUFFER, sizeof(triangle), triangle, GL_STATIC_DRAW);
   checkOpenGLerror();
}
```



Формат плотно упакованного вершинного буфера

Не забываем про буфер глубины

```
void Init() {
    InitShader();
    InitVBO();
    // Включаем проверку глубины
    glEnable(GL_DEPTH_TEST);
}

//А при отрисовке не забываем
glClear(GL_COLOR_BUFFER_BIT | GL_DEPTH_BUFFER_BIT);
```

Соотносим данные в программе и в шейдере

```
// Вытягиваем ID атрибута вершин из собранной программы
  Attrib_vertex = glGetAttribLocation(Program, "coord");
```

Найдите отличия в следующих 2-х слайдах

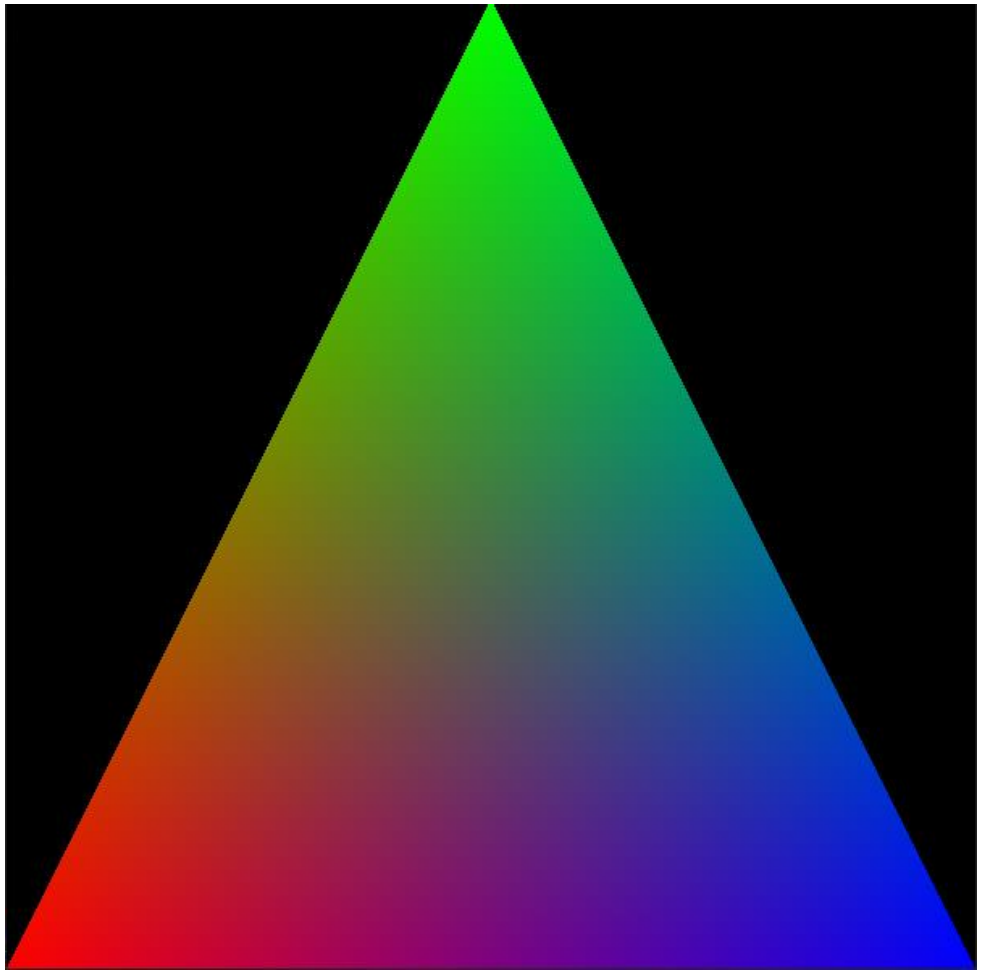
```
void Draw() { //треугольник
  glUseProgram(Program);  // Устанавливаем шейдерную программу текущей
  glEnableVertexAttribArray(Attrib_vertex);  // Подключаем массив атрибутов
   glBindBuffer(GL_ARRAY_BUFFER, VBO);  // Подключаем VBO
   // Указываем, как и куда читаем данные из VBO
  glVertexAttribPointer(Attrib_vertex, 2, GL_FLOAT, GL_FALSE, 0, 0);
  glBindBuffer(GL_ARRAY_BUFFER, 0);  // Отключаем VBO
  glDrawArrays(GL_TRIANGLES, 0, 3); // Рисуем
  glDisableVertexAttribArray(Attrib_vertex); // Отключаем массив атрибутов
  glUseProgram(0); // Отключаем шейдерную программу
  checkOpenGLerror();
}
```

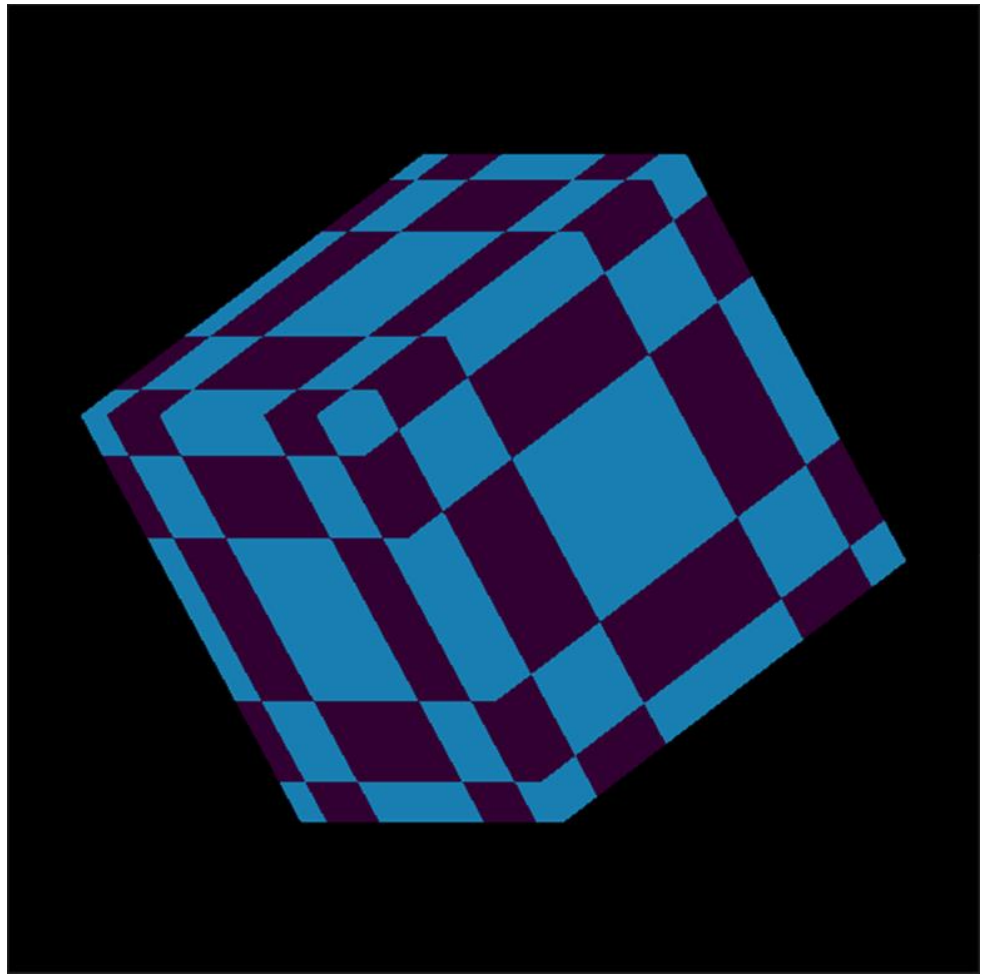
```
void Draw() { //куб
    glUseProgram(Program);  // Устанавливаем шейдерную программу текущей
    glEnableVertexAttribArray(Attrib_vertex);  // Включаем массив атрибутов
    glBindBuffer(GL_ARRAY_BUFFER, VBO);   // Подключаем VBO
     // Указываем, как и куда читаем данные из VBO
    glVertexAttribPointer(Attrib_vertex, 3, GL_FLOAT, GL_FALSE, 0, 0);
    glBindBuffer(GL_ARRAY_BUFFER, 0);   // Отключаем VBO
    glDrawArrays(GL_TRIANGLES, 0, 36);   // Рисуем
    glDisableVertexAttribArray(Attrib_vertex);  // Отключаем массив атрибутов
    glUseProgram(0);   // Отключаем шейдерную программу
    checkOpenGLerror();
}
```

Освобождение буфера

```
void ReleaseVBO() {
    glBindBuffer(GL_ARRAY_BUFFER, 0);
    glDeleteBuffers(1, &VBO);
}
```

Передача других данных через VBO





Переменные с идентификаторами ID

```
// ID атрибута вершин

GLint Attrib_vertex;

// ID атрибута цвета

GLint Attrib_color;

// ID VBO вершин

GLuint VBO_position;

// ID VBO цвета

GLuint VBO_color;
```

Два значения для каждой вершины

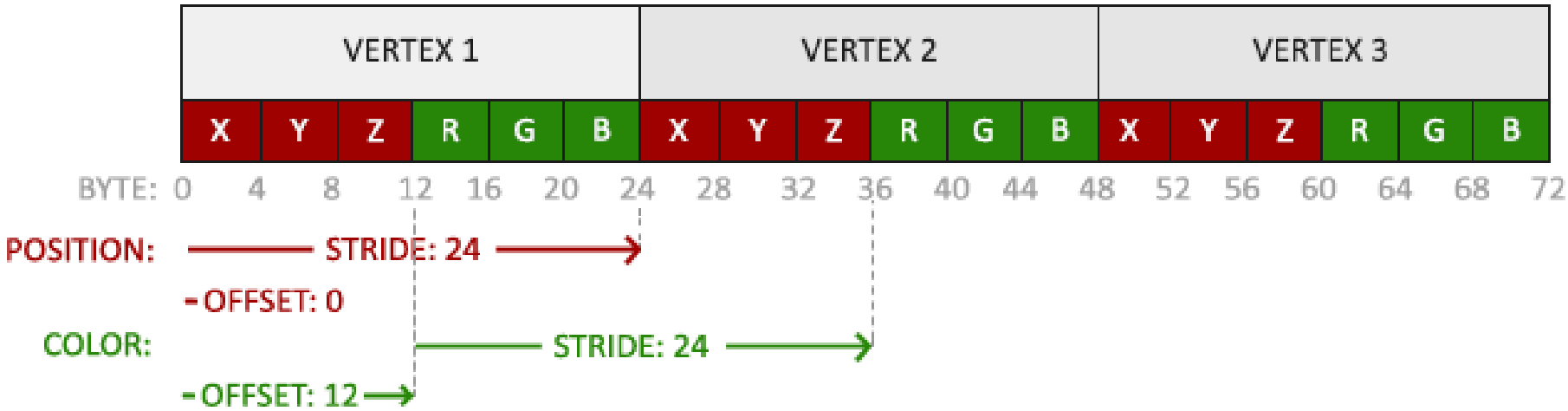
```
void InitVBO() {
   glGenBuffers(1, &VBO_position);
   glGenBuffers(1, &VBO_color);
   // Вершины треугольника
   Vertex triangle[3] = {  { -1.0f, -1.0f , 0.0f }, { 0.0f, 1.0f , 0.0f }, { 1.0f, -1.0f , 0.0f }  };
   // Цвет треугольника
   float colors[3][4] = { { 1.0, 0.0, 0.0}, { 0.0, 1.0, 0.0}, { 0.0, 0.0, 1.0}, };

   // Передаем вершины в буфер
   glBindBuffer(GL_ARRAY_BUFFER, VBO_position);
   glBufferData(GL_ARRAY_BUFFER, sizeof(triangle), triangle, GL_STATIC_DRAW);
   glBindBuffer(GL_ARRAY_BUFFER, VBO_color);
   glBufferData(GL_ARRAY_BUFFER, sizeof(colors), colors, GL_STATIC_DRAW);
   checkOpenGLerror();
}
```

```
void Draw() {
    glUseProgram(Program);   // Устанавливаем шейдерную программу текущей
   // Включаем массивы атрибутов
   glEnableVertexAttribArray(Attrib_vertex);
   glEnableVertexAttribArray(Attrib_color);

   // Подключаем VBO_position
   glBindBuffer(GL_ARRAY_BUFFER, VBO_position);
   glVertexAttribPointer(Attrib_vertex, 3, GL_FLOAT, GL_FALSE, 0, 0);

   // Подключаем VBO_color
   glBindBuffer(GL_ARRAY_BUFFER, VBO_color);
   glVertexAttribPointer(Attrib_color, 3, GL_FLOAT, GL_FALSE, 0, 0);

   glBindBuffer(GL_ARRAY_BUFFER, 0); // Отключаем VBO

   glDrawArrays(GL_TRIANGLES, 0, 3);  // Передаем данные на видеокарту(рисуем)

   // Отключаем массивы атрибутов
   glDisableVertexAttribArray(Attrib_vertex);
   glDisableVertexAttribArray(Attrib_color);

   glUseProgram(0);  checkOpenGLerror();
}
```

Два значения для каждой вершины в одном буфере

```
void InitVBO() {
  glGenBuffers(1, &VBO);
   // Вершины и цвет треугольника
   float attrib[3][6] = { {-1.0f, -1.0f, 0.0, 1.0, 0.0, 0.0}, {0.0f, 1.0f, 0.0, 0.0, 1.0, 0.0}, {1.0f, -1.0f, 0.0, 0.0, 0.0, 1.0}, };

   // Передаем вершины в буфер
   glBindBuffer(GL_ARRAY_BUFFER, VBO);
   glBufferData(GL_ARRAY_BUFFER, sizeof(attrib), attrib, GL_STATIC_DRAW);

   checkOpenGLerror();
}
```

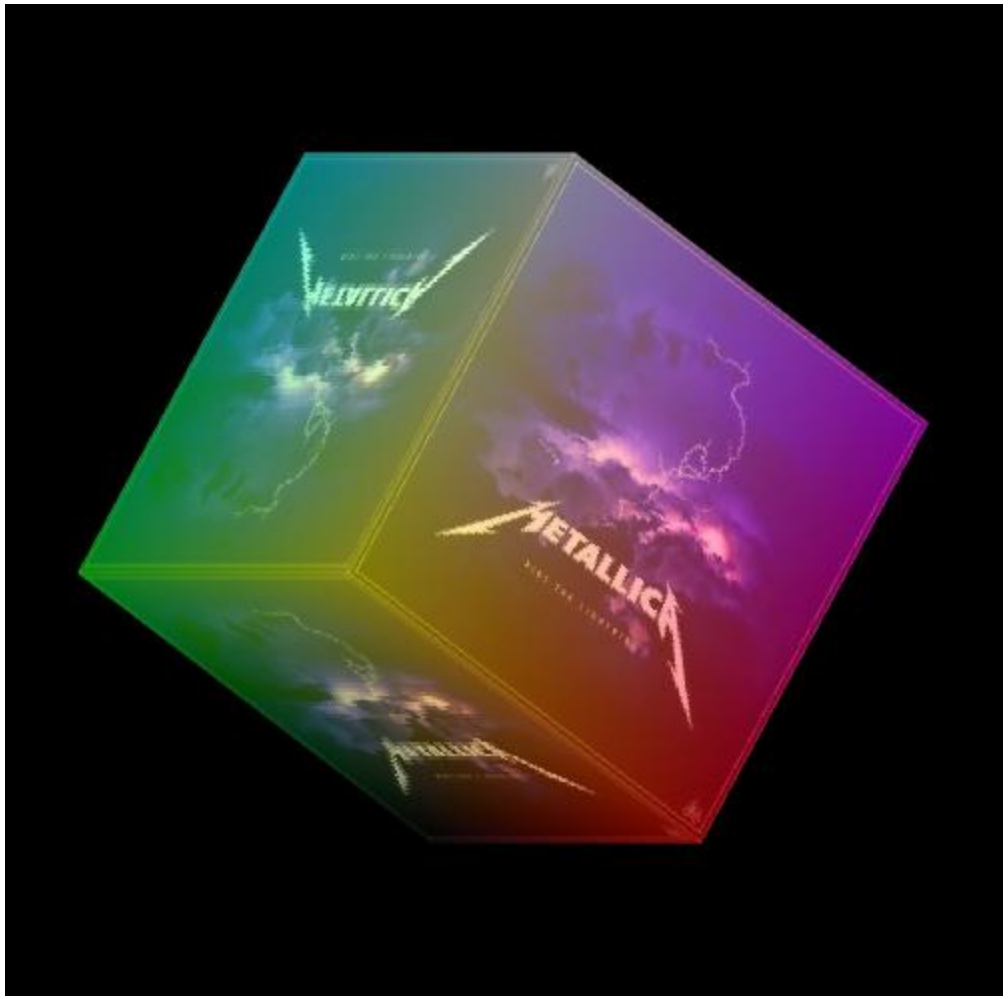
VBO в памяти: координаты и цвет



VBO: координаты и цвет

```
glEnableVertexAttribArray(0);
glEnableVertexAttribArray(1);

// Подключаем VBO
glBindBuffer(GL_ARRAY_BUFFER, VBO);

// Атрибут с координатами
glVertexAttribPointer(0, 3, GL_FLOAT, GL_FALSE, 6 * sizeof(GLfloat), (GLvoid*)0);
// Атрибут с цветом
glVertexAttribPointer(1, 3, GL_FLOAT, GL_FALSE, 6 * sizeof(GLfloat), (GLvoid*)(3* sizeof(GLfloat)));
```

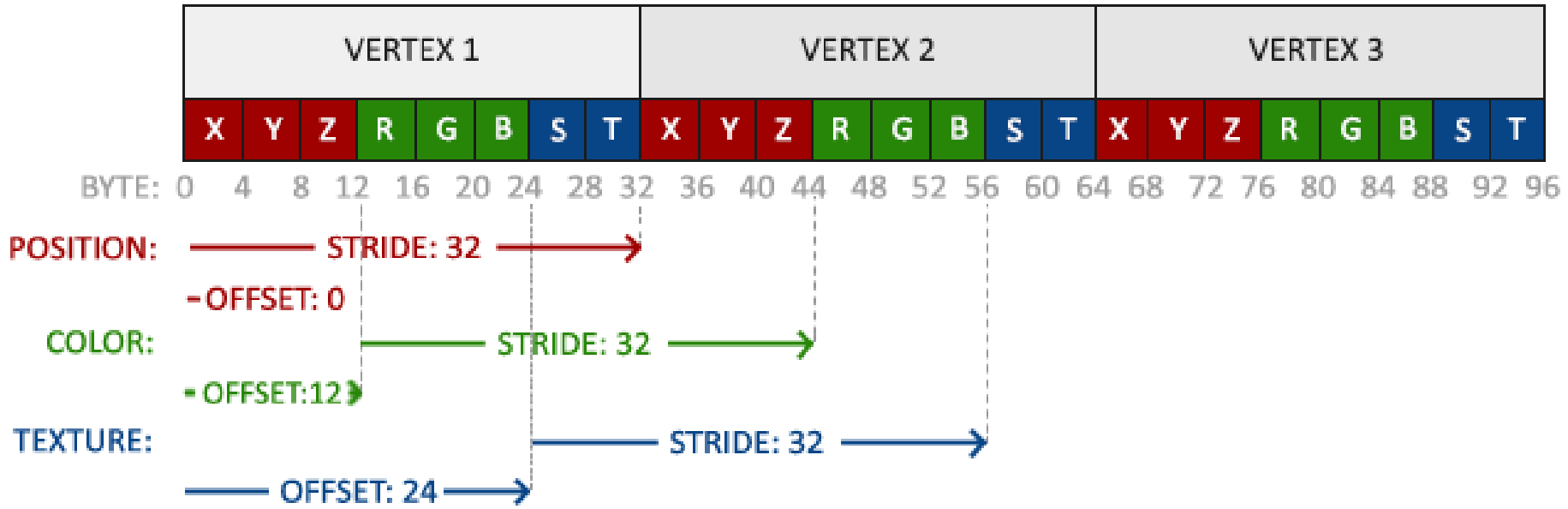
Куб с текстурой и цветом



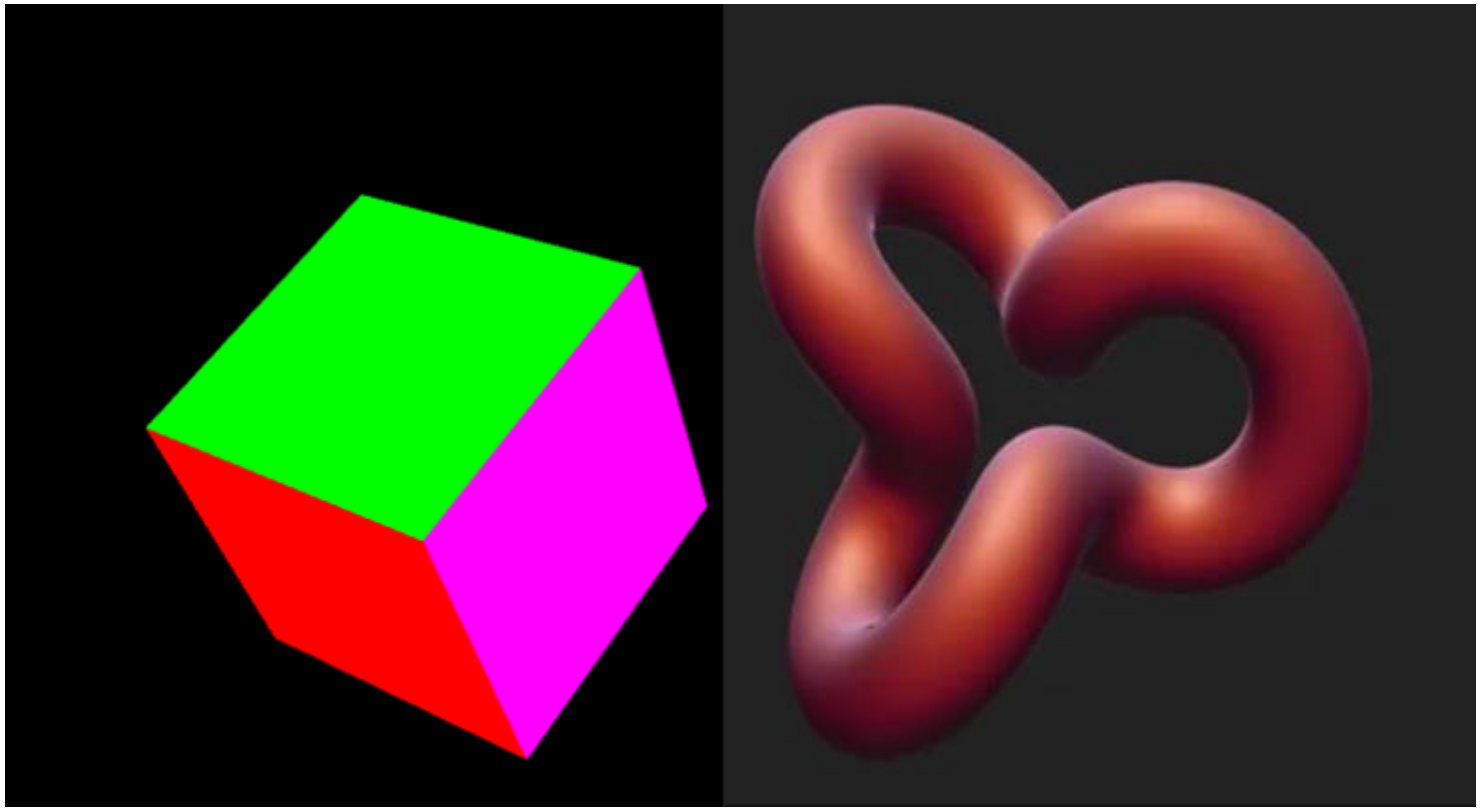
VBO: координаты, цвет и текстура

```
glEnableVertexAttribArray(0);
glEnableVertexAttribArray(1);
glEnableVertexAttribArray(2);

// Подключаем VBO
glBindBuffer(GL_ARRAY_BUFFER, VBO);


// Атрибут с координатами
glVertexAttribPointer(0,3,GL_FLOAT,GL_FALSE, 8 * sizeof(GLfloat),(GLvoid*)0);
glEnableVertexAttribArray(0);

// Атрибут с цветом
glVertexAttribPointer(1,3,GL_FLOAT,GL_FALSE, 8 * sizeof(GLfloat),(GLvoid*)(3* sizeof(GLfloat)));
glEnableVertexAttribArray(1);

// Атрибут с текстурными координатами
glVertexAttribPointer(2, 2,GL_FLOAT,GL_FALSE, 8 * sizeof(GLfloat),(GLvoid*)(6 * sizeof(GLfloat)));
glEnableVertexAttribArray(2);
```

VBO в памяти: координаты, цвет и текстура



Как вывести два разных объекта?

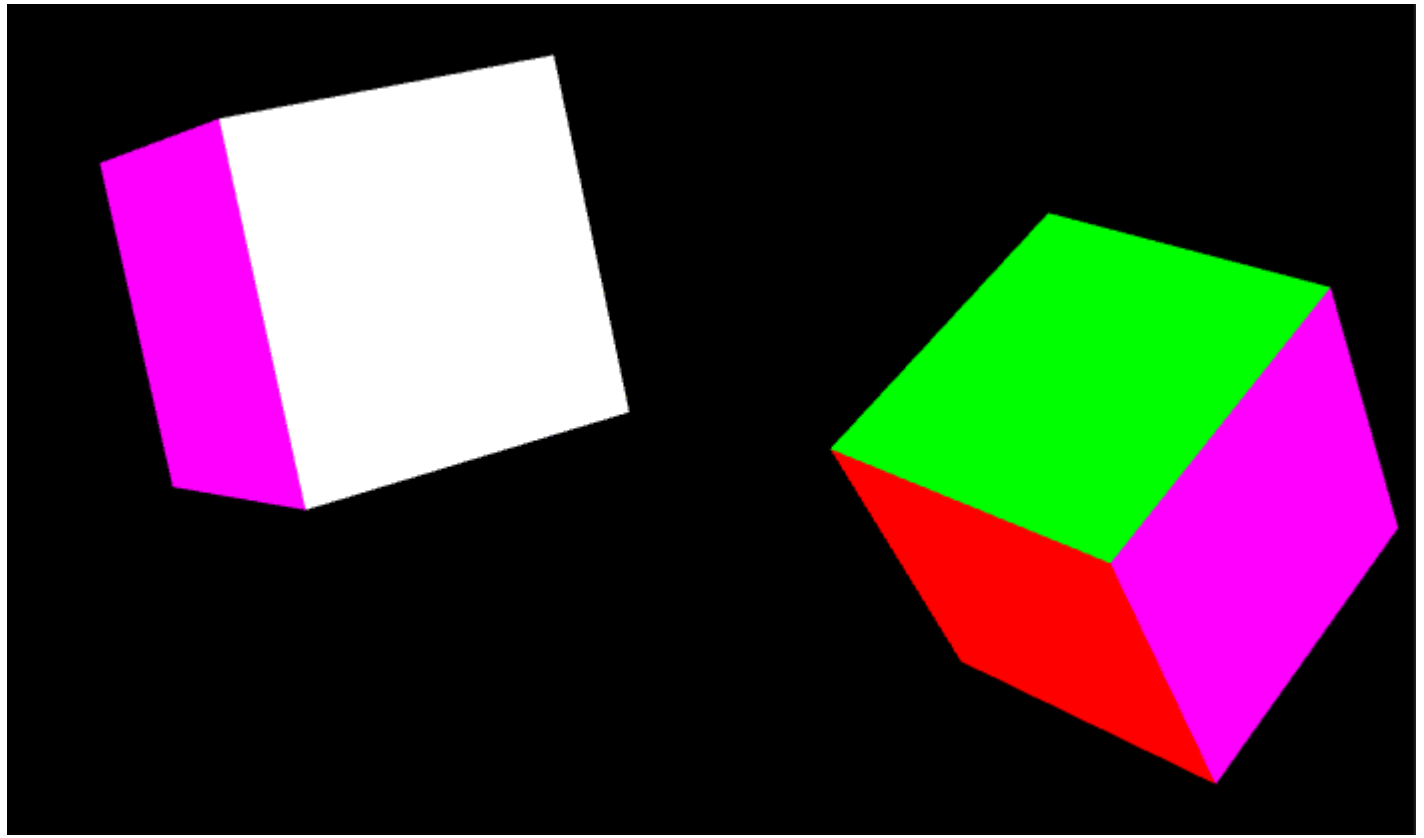


Вариант: два буфера, две шейдерные программы

```
void Draw() { //Тетраэдр
  glUseProgram(ProgramT);
  glEnableVertexAttribArray(Attrib_vertexT);
  glBindBuffer(GL_ARRAY_BUFFER, VBOT);
  glVertexAttribPointer(Attrib_vertexT, 3, GL_FLOAT, GL_FALSE, 0, 0);
  glBindBuffer(GL_ARRAY_BUFFER, 0);
  glDrawArrays(GL_TRIANGLES, 0, 12);
  glDisableVertexAttribArray(Attrib_vertexT);
  glUseProgram(0);
  checkOpenGLerror();
}
```

```
void Draw() { //куб
   glUseProgram(ProgramC);
   glEnableVertexAttribArray(Attrib_vertexC);
   glBindBuffer(GL_ARRAY_BUFFER, VBOC);
   glVertexAttribPointer(Attrib_vertexC, 3, GL_FLOAT, GL_FALSE, 0, 0);
   glBindBuffer(GL_ARRAY_BUFFER, 0);
   glDrawArrays(GL_TRIANGLES, 0, 36);
   glDisableVertexAttribArray(Attrib_vertexC);
   glUseProgram(0);
   checkOpenGLerror();
}
```

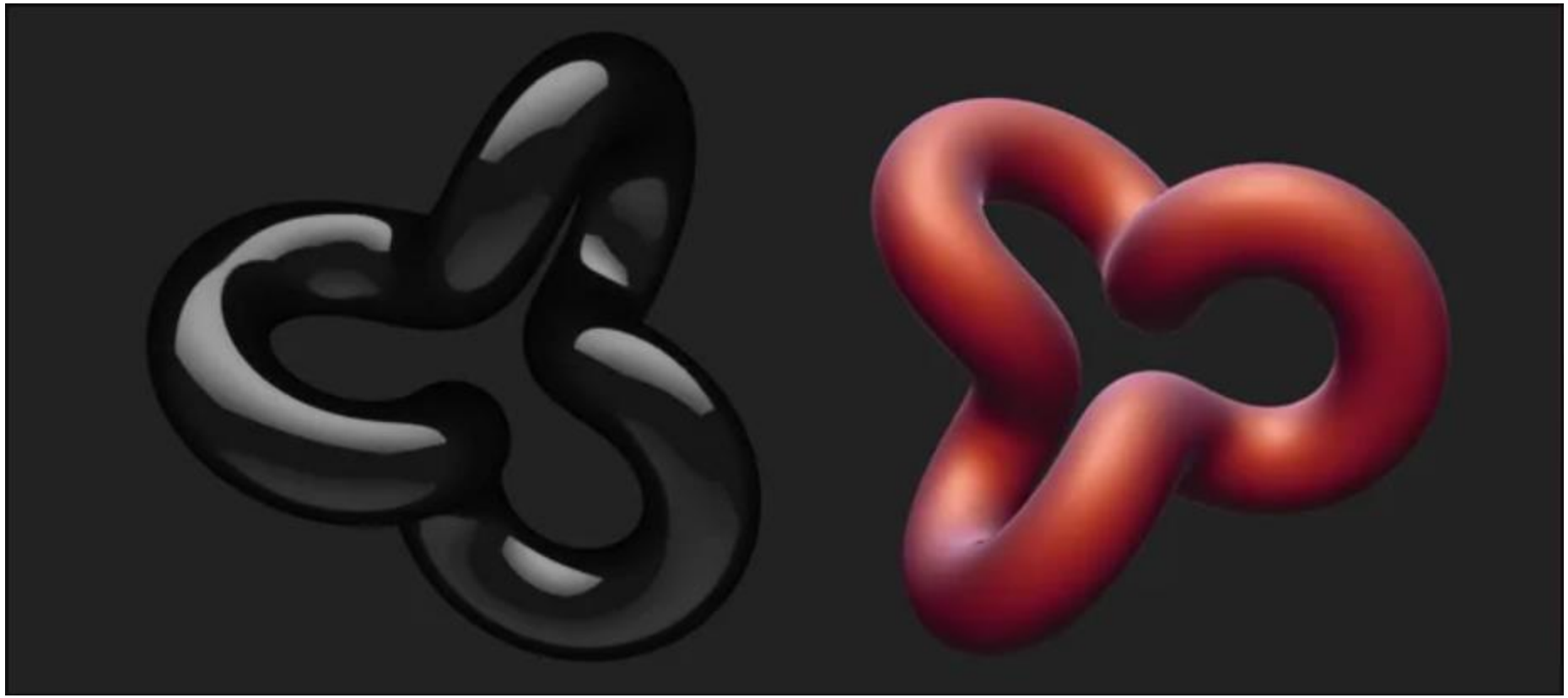
Как вывести два одинаковых объекта?

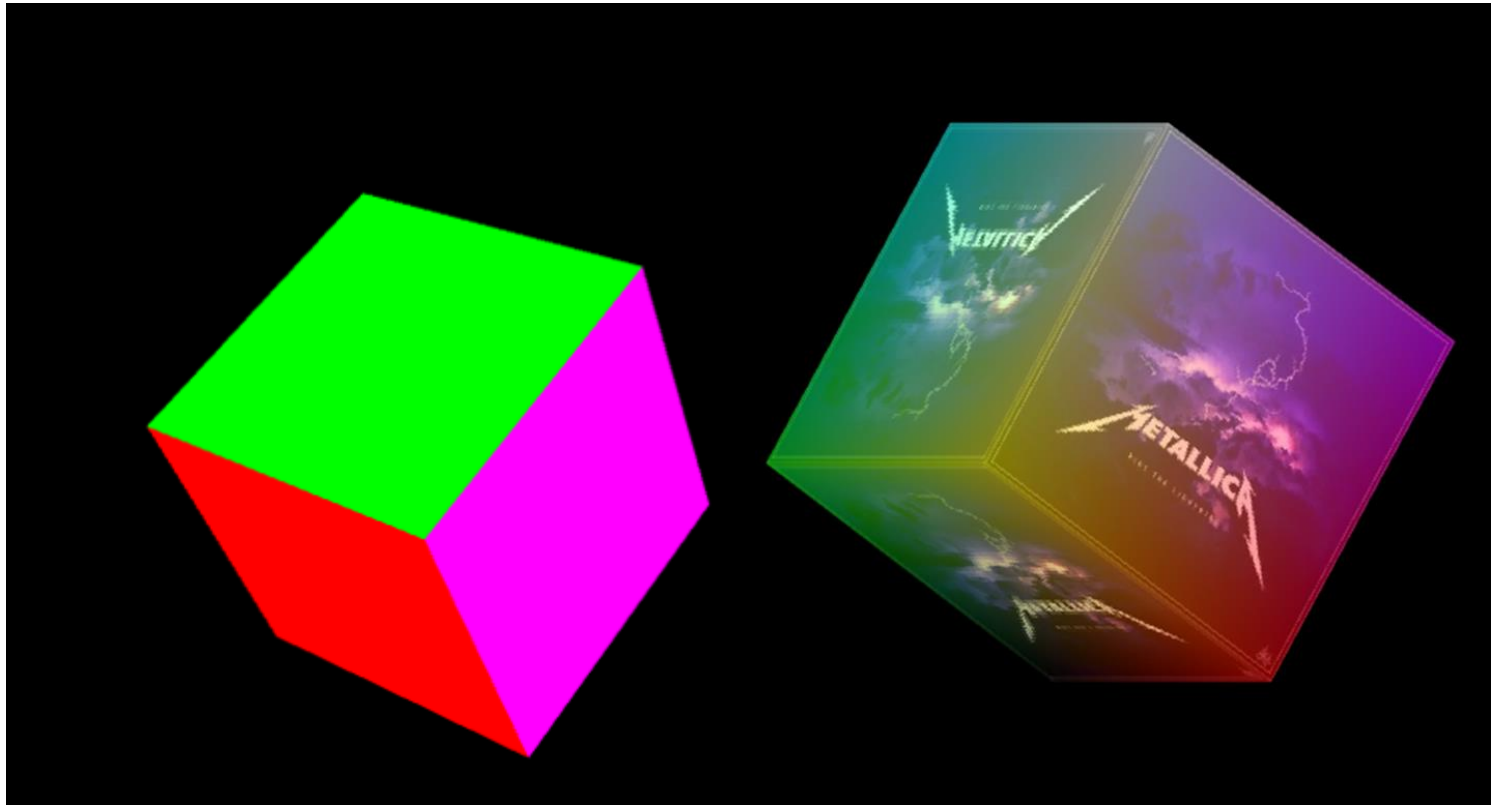


Вариант: два буфера, одна шейдерная программа

```
glUseProgram(ProgramT);
  glEnableVertexAttribArray(Attrib_vertexT);
  glEnableVertexAttribArray(Attrib_vertexC);

  glBindBuffer(GL_ARRAY_BUFFER, VBOT);
  glVertexAttribPointer(Attrib_vertexT, 3, GL_FLOAT, GL_FALSE, 0, 0);
  glDrawArrays(GL_TRIANGLES, 0, 12);

  glBindBuffer(GL_ARRAY_BUFFER, VBOC);
  glVertexAttribPointer(Attrib_vertexC, 3, GL_FLOAT, GL_FALSE, 0, 0);
  glDrawArrays(GL_TRIANGLES, 0, 36);

  glBindBuffer(GL_ARRAY_BUFFER, 0);
  glDisableVertexAttribArray(Attrib_vertexT);
  glDisableVertexAttribArray(Attrib_vertexC);
glUseProgram(0);
```

Как вывести два почти одинаковых объекта?




METALLICA

Различные виды буферов

VBO (объекты буфера вершин)

Объект буфера вершин — это **область** буфера **памяти**, созданная в области памяти **графической карты**, которая используется для хранения различных типов информации атрибутов вершин, таких как координаты вершин, нормали вершин, данные цвета вершин и т.п.

Во **время рендеринга** различные **атрибутные данные** вершин могут быть **взяты непосредственно из VBO**. Поскольку VBO находится в видеопамяти, ему не нужно передавать данные из CPU, и **эффективность** обработки выше.

Можно создать много VBO, и каждый **VBO** имеет свой **уникальный идентификатор** в OpenGL. Этот идентификатор соответствует конкретному **адресу видеопамяти** VBO. Через этот идентификатор можно получить доступ к данным в конкретном VBO.

VAO (объект Vertex Array) — объект вершинного массива

Хранит конфигурацию вершинных атрибутов и привязку буферов (VBO), т.е.

- VAO запоминает, как организованы данные в вершинных буферах (VBO)
- Один VAO = одна конфигурация меша/объекта
- Вместо повторной настройки атрибутов перед каждым рисованием, можно просто привязать VAO

Другими словами, VAO хранит всю информацию о том, как должны быть обработаны вершинные атрибуты (данные) вашей модели

Какую проблему решает VAO?

Для отрисовки объекта вам нужно было перед каждым вызовом отрисовки делать следующее:

- Привязать буфер вершин (glBindBuffer)
- Включить массив атрибутов (glEnableVertexAttribArray)
- Указать формат и расположение данных в буфере (glVertexAttribPointer)
- Вызвать функцию отрисовки (glDrawArrays или glDrawElements)

Для сложной сцены с множеством объектов это приводит к большому количеству повторяющихся вызовов и является неэффективным.

VAO решает эту проблему, упаковывая шаги 1-3 в один объект. Вы настраиваете VAO один раз во время инициализации, а во время основного цикла просто привязываете нужный VAO и рисуете.

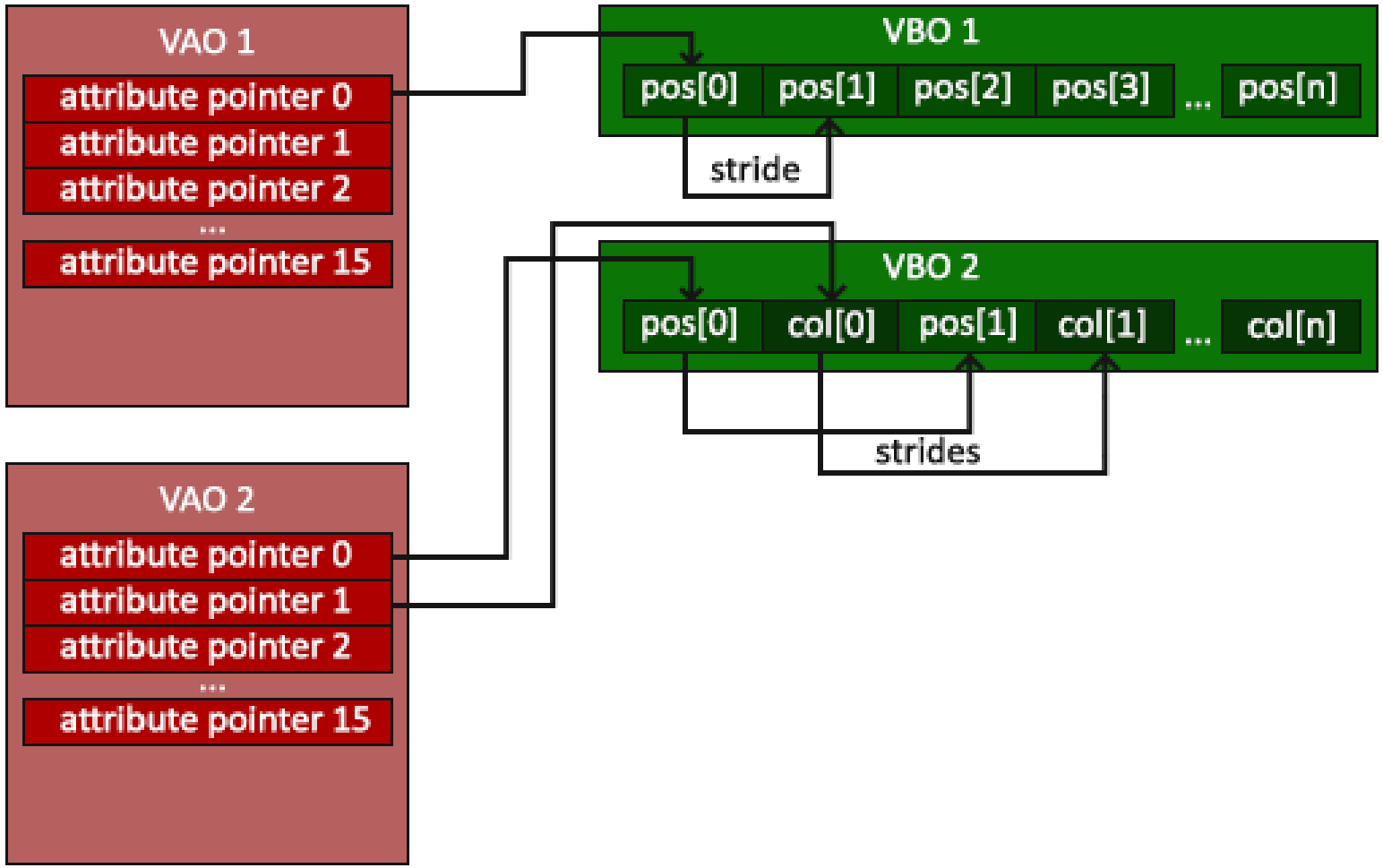
Что именно хранит внутри себя VAO?

- Какие VBO привязаны к каким индексным точкам атрибутов.
- Настройки из glVertexAttribPointer: как данные из VBO должны быть интерпретированы (размер, тип, нормализация, шаг, смещение).
- Состояние glEnableVertexAttribArray для каждого атрибута (включен он или выключен).
- Привязанный EBO (Element Buffer Object / Index Buffer Object), если он используется.

Важно: VBO и EBO не являются частью VAO напрямую. Однако VAO хранит связь с ними. Когда вы привязываете VAO, он автоматически привязывает связанные с ним буферы.

Объект вершинного массива (VAO) может быть также привязан как и VBO, и после этого все последующие вызовы вершинных атрибутов будут храниться в VAO.

Взаимосвязи объектов



Преимущества Vertex Array Object (VAO)

- Преимущество этого метода в том, что нам требуется **настроить атрибуты** лишь **единожды**, а все последующие разы будет использована **конфигурация VAO**.
- Также такой метод упрощает смену вершинных данных и конфигураций атрибутов простым привязыванием различных VAO.
- Значительно упрощает код и делает его чище.
- Повышает производительность.

Процесс генерации VAO

```
GLuint VAO;
glGenVertexArrays(1, &VAO);
```

Что нужно, чтобы использовать VAO?

```
//Код инициализации выполняется единожды, если, конечно, объект не будет часто изменяться
glBindVertexArray(VAO);   //Привязываем VAO

// Копируем массив вершин в буфер для OpenGL
glEnableVertexAttribArray(Attrib_vertex);
glBindBuffer(GL_ARRAY_BUFFER, VBO);
glBufferData(GL_ARRAY_BUFFER, sizeof(vertices), vertices, GL_STATIC_DRAW);
//Устанавливаем указатели на вершинные атрибуты
glVertexAttribPointer(0, 3, GL_FLOAT, GL_FALSE, 3 * sizeof(GLfloat), (GLvoid*)0);
glEnableVertexAttribArray(0);

//Отвязываем VAO
glBindVertexArray(0);
```

И тогда ...

```
glUseProgram(shaderProgram);
glBindVertexArray(VAO);
glDrawArrays(GL_TRIANGLES, 0, 3);
glBindVertexArray(0);
```

Element Buffer Object (EBO) или Index Buffer Object (IBO)

- Предположим, что нам надо отрисовать не треугольник, а четырехугольник.
- Мы можем отрисовать четырехугольник с помощью 2 треугольников.

Четырёхугольник

```
GLfloat vertices[] = {
    // Первый треугольник
     0.5f,  0.5f, 0.0f,  // Верхний правый угол
     0.5f, -0.5f, 0.0f,  // Нижний правый угол
    -0.5f,  0.5f, 0.0f,  // Верхний левый угол
    // Второй треугольник
     0.5f, -0.5f, 0.0f,  // Нижний правый угол
    -0.5f, -0.5f, 0.0f,  // Нижний левый угол
    -0.5f,  0.5f, 0.0f   // Верхний левый угол
};
```

Лучше так

```
GLfloat vertices[] = {
     0.5f,  0.5f, 0.0f,  // Верхний правый угол
     0.5f, -0.5f, 0.0f,  // Нижний правый угол
    -0.5f, -0.5f, 0.0f,  // Нижний левый угол
    -0.5f,  0.5f, 0.0f   // Верхний левый угол
};
GLuint indices[] = {
    0, 1, 3,   // Первый треугольник
    1, 2, 3    // Второй треугольник
};
```

Индексный буферный объект EBO

- Аналог индексного массива для массива вершин
- Содержимое, хранящееся в EBO, является индексом местоположения.
- Также является частью буфера памяти в видеопамяти.

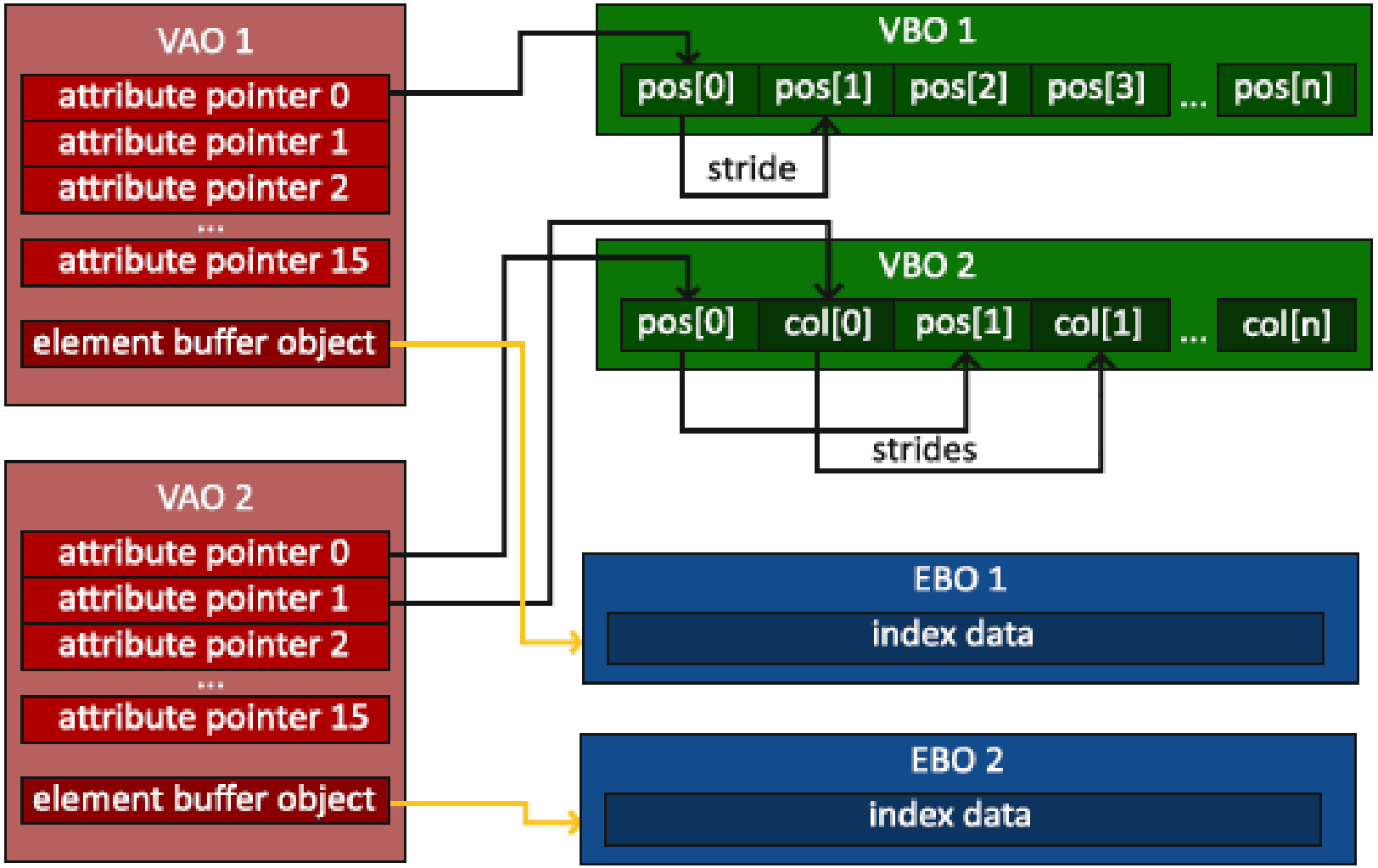
Создание EBO (IBO)

```
GLuint IBO;
glGenBuffers(1, &IBO);
```

Использование EBO (IBO)

```
glBindBuffer(GL_ELEMENT_ARRAY_BUFFER, IBO);
glBufferData(GL_ELEMENT_ARRAY_BUFFER, sizeof(indices), indices, GL_STATIC_DRAW);

…

glBindBuffer(GL_ELEMENT_ARRAY_BUFFER, IBO);
glDrawElements(GL_TRIANGLES, 6, GL_UNSIGNED_INT, 0);
```

VAO с VBO и IBO (EBO)



```
// ..:: Код инициализации :: ..
   // 1. Привязываем VAO
   glBindVertexArray(VAO);
   // 2. Копируем наши вершины в буфер для OpenGL
   glBindBuffer(GL_ARRAY_BUFFER, VBO);
   glBufferData(GL_ARRAY_BUFFER, sizeof(vertices), vertices, GL_STATIC_DRAW);
   // 3. Копируем наши индексы в в буфер для OpenGL
   glBindBuffer(GL_ELEMENT_ARRAY_BUFFER, IBO);
   glBufferData(GL_ELEMENT_ARRAY_BUFFER, sizeof(indices), indices, GL_STATIC_DRAW);
   // 3. Устанавливаем указатели на вершинные атрибуты
   glVertexAttribPointer(0, 3, GL_FLOAT, GL_FALSE, 3 * sizeof(GLfloat), (GLvoid*)0);
   glEnableVertexAttribArray(0);
   // 4. Отвязываем VAO (НЕ IBO)
   glBindVertexArray(0);

[...]

// ..:: Код отрисовки (в игровом цикле) :: ..
glUseProgram(shaderProgram);
glBindVertexArray(VAO);
glDrawElements(GL_TRIANGLES, 6, GL_UNSIGNED_INT, 0)
glBindVertexArray(0);
```