Компьютерная графика
WebGL

Лекция 7

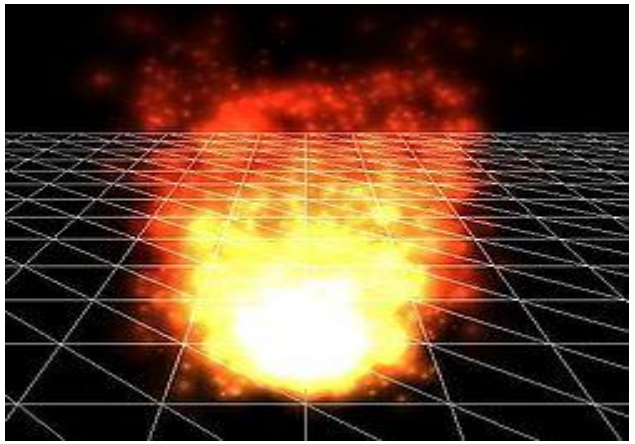
Демяненко Я.М. ЮФУ 2025

Система частиц

Используемый в компьютерной графике способ представления объектов, не имеющих чётких геометрических границ:

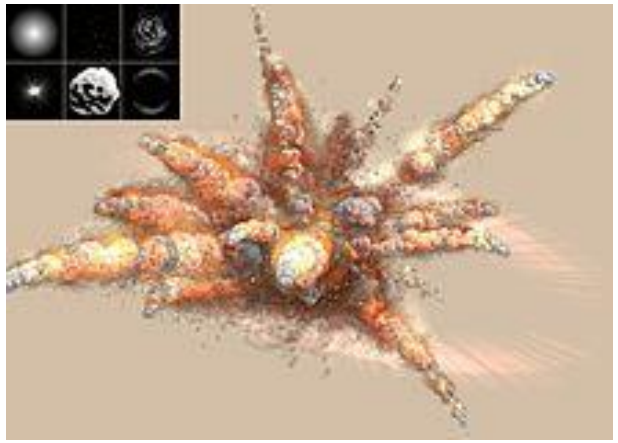
- различные облака
- туманности
- взрывы
- струи пара
- шлейфы от ракет
- дым
- снег
- дождь
- взрывы
- искры
- фейерверки
- **бенгальский огонь (рассмотрим)**
- и т.п.

Системы частиц могут быть реализованы как в двумерной, так и в трёхмерной графике

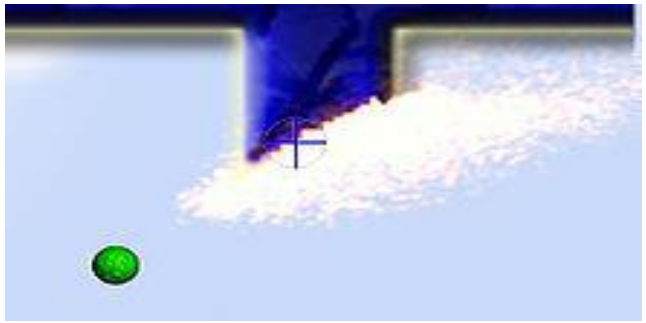


Система частиц, симулирующая огонь, создана в 3dengfx

Система частиц, симулирующая галактику, создана в 3dengfx

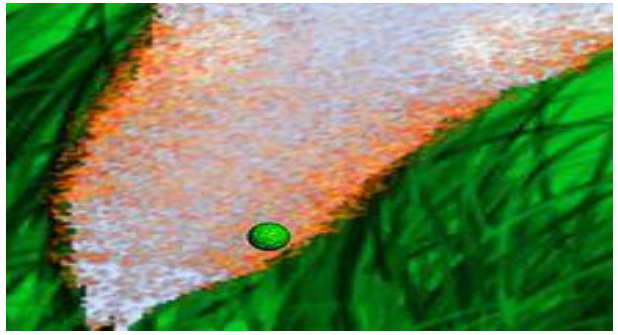


Система частиц, симулирующая взрыв бомбы, создана в particleIllusion



Пример системы частиц в двумерной графике

Пример системы частиц в двумерной графике



Пример системы частиц в двумерной графике

Применение

Простые системы частиц применяются практически во всех современных компьютерных играх и пакетах 3D моделирования.

Система может быть очень сложной и применяться не только в графике, но и в научных расчётах: например, с помощью учитывающей законы физики системы частиц можно смоделировать поведение молекул газа.

Принципы построения

Система частиц состоит из определённого (фиксированного или произвольного) количества частиц

Математически каждая частица представляется как материальная точка с дополнительными атрибутами, такими как внешний вид, скорость, ориентация в пространстве, угловая скорость, и т. п.

В ходе работы программы каждая частица изменяет своё состояние по определённому, общему для всех частиц системы, закону. Например, частица может подвергаться воздействию гравитации, менять размер, цвет, скорость и так далее

После проведения всех расчётов, частица визуализируется. Частица может быть визуализирована точкой, треугольником, спрайтом, или даже полноценной трёхмерной моделью

При моделировании физики жидкостей часто используются метасферы, которые «сливаются» между собой

Нет единого решения

В настоящее время (2024-2025 г.г.) не существует общепринятой реализации систем частиц

В разных играх и программах 3D моделирования свойства, поведение и внешний вид частиц могут принципиально отличаться

Эмиттер

В большинстве реализаций, новые частицы испускаются так называемым «эмиттером»

Эмиттером может быть точка, тогда новые частицы будут возникать в одном месте.
Так можно смоделировать, например, взрыв: эмиттером будет его центр

Эмиттером может быть отрезок прямой или плоскость: например частицы дождя или снега должны возникать на высоко расположенной горизонтальной плоскости

Эмиттером может быть и произвольный геометрический объект: в этом случае новые частицы будут возникать на всей его поверхности

Жизнь частицы

На протяжении жизни частица редко остаётся в покое

Частицы могут:

- двигаться
- вращаться
- менять свой цвет и/или прозрачность
- сталкиваться с трёхмерными объектами

Часто у частиц задана максимальная продолжительность жизни, по истечении которого частица исчезает

Упрощения

В трёхмерных приложениях реального времени (например, в компьютерных играх) обычно считается, что частицы:

- не отбрасывают тени друг на друга
- не отбрасывают тени на окружающую геометрию
- не поглощают свет

Без этих упрощений обсчёт системы частиц будет требовать больше ресурсов:

- в случае с поглощением света потребуется сортировать частицы по удалённости от камеры
- в случае с тенями каждую частицу придётся рисовать несколько раз

Расширение функциональности

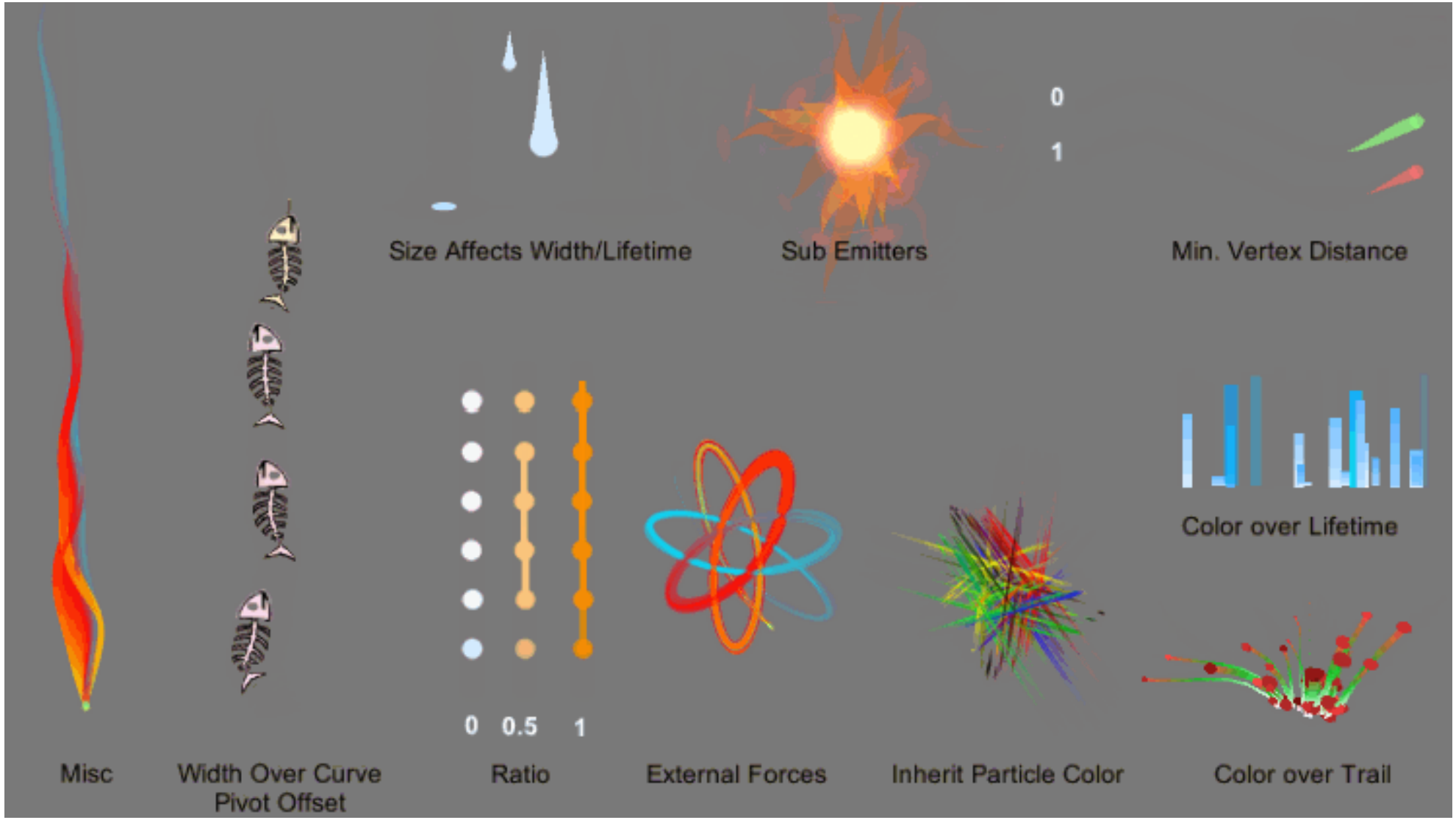
К частицам могут быть применены пространственные деформации — силовые поля, которые могут изменять:

- вектор движения
- скорости
- и другие параметры частиц

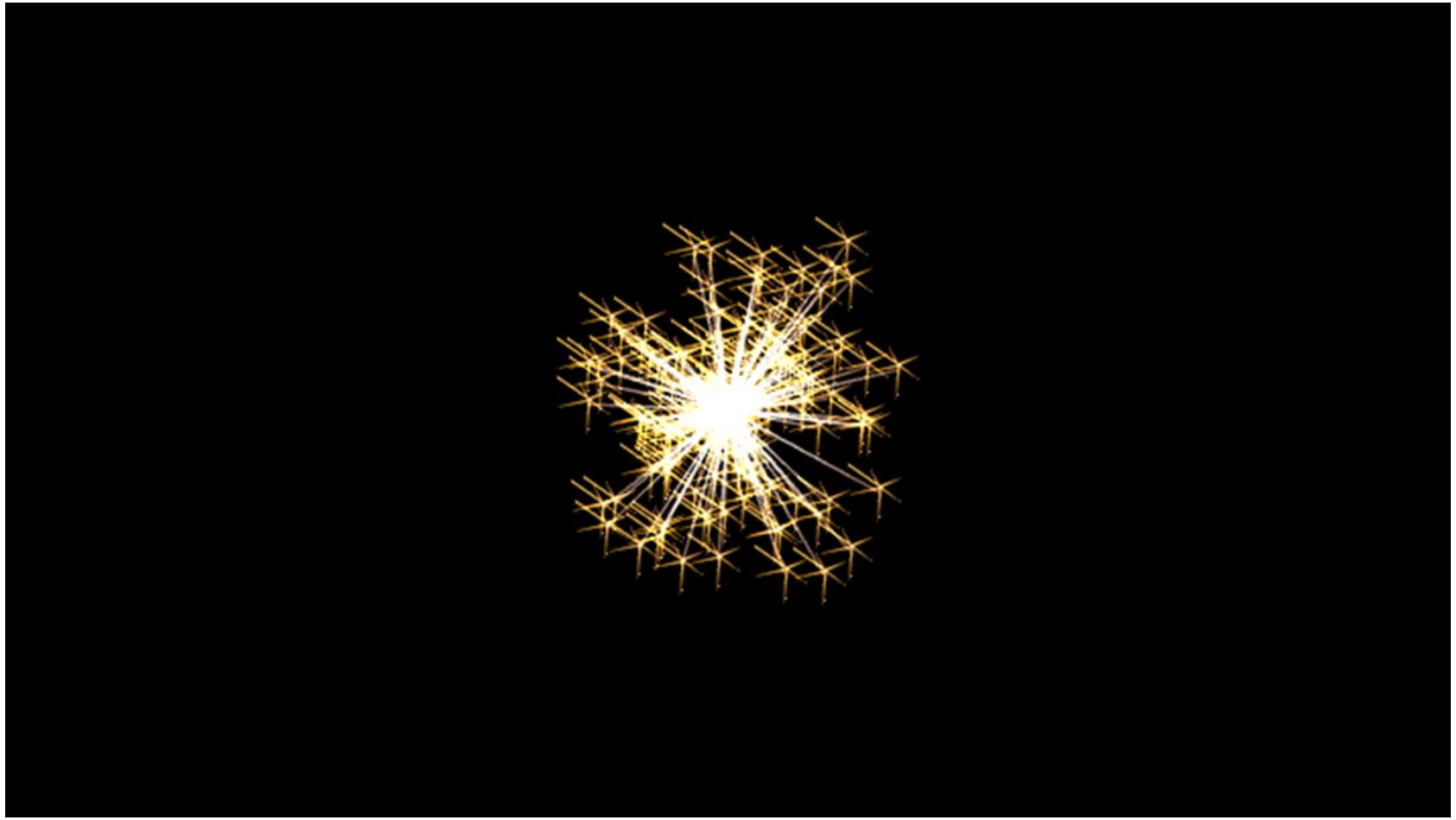
Примеры таких деформаций:

- ветер
- гравитация
- ударная волна

Пространственные деформации имеют визуальное представление только в программе для их редактирования, но они изменяют параметры управляемых ими частиц


Size Affects Width/Lifetime
Sub Emitters
0
1
Min. Vertex Distance
Color over Lifetime
0
0.5
1
Misc
Width Over Curve
Pivot Offset
Ratio
External Forces
Inherit Particle Color
Color over Trail

Бенгальский огонь



Характеристики системы частиц «бенгальский огонь»

- источник появления частиц (эмиттер)
- каждая частица будет:
  - иметь свою скорость
  - иметь своё направление
  - иметь своё время жизни
  - будет оставлять за собой след
- но в то же время все частицы подчиняются определённому закону, общему для системы

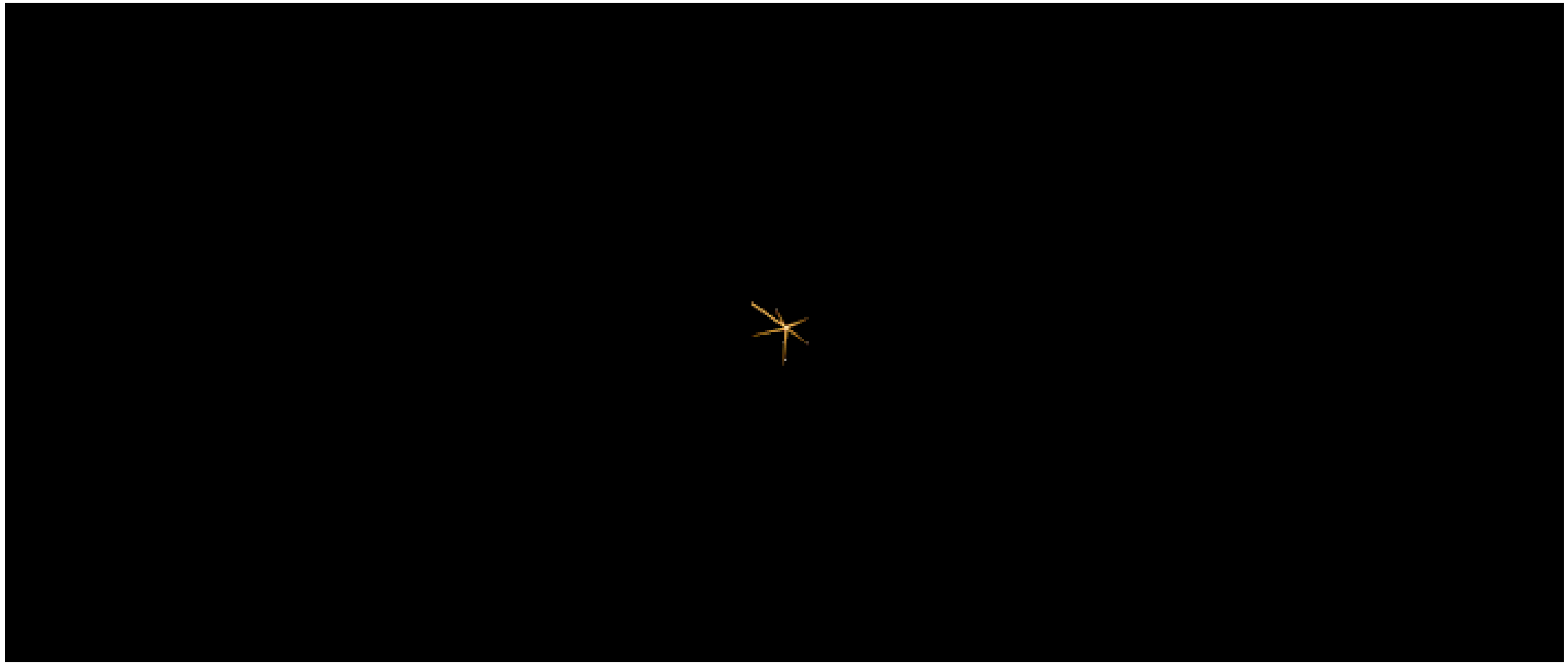
Объекты, используемые для частиц

- полноценный 3D-объект
- 2D-объект с заливкой или текстурой
- точка (спрайт)

Для искр подходит спрайт, поскольку

- для каждой частицы достаточно всего одной вершины
- спрайт по определению всё время повёрнут в сторону наблюдателя, независимо от поворота сцены, и искра всегда остаётся искрой

Одна искра



Одна искра

текстура для точки – изображение с прозрачным фоном

зададим размер точки с помощью gl_PointSize в вершинном шейдере,
тогда точка превращается в квадрат указанного размера с центром в этой точке

Различия:

- квадрат из двух треугольников будет подвержен трансформациям матриц
- заданный одной точкой квадрат будет всегда направлен к наблюдателю и будет иметь размер gl_PointSize

Желательно, чтобы размер точки совпадал с размером изображения искры

Вершинный шейдер

```
attribute vec3 a_position;

uniform mat4 u_mvMatrix;
uniform mat4 u_pMatrix;

void main() {
	gl_Position = u_pMatrix * u_mvMatrix * vec4(a_position, 1.0);

	// размер искры
	gl_PointSize = 32.0;
}
```

Фрагментный шейдер

```
precision mediump float;

  uniform sampler2D u_texture;

  void main() {
     gl_FragColor = texture2D(u_texture, gl_PointCoord);
  }
```

Загрузка изображения и инициализация текстуры

```
var texture = gl.createTexture();
var image = new Image();
image.src = "spark.png";

image.addEventListener('load', function() {
    gl.bindTexture(gl.TEXTURE_2D, texture);
    gl.texImage2D(gl.TEXTURE_2D, 0, gl.RGBA, gl.RGBA, gl.UNSIGNED_BYTE, image);
    gl.generateMipmap(gl.TEXTURE_2D);
    gl.texParameteri(gl.TEXTURE_2D, gl.TEXTURE_MIN_FILTER, gl.NEAREST);
    gl.texParameteri(gl.TEXTURE_2D, gl.TEXTURE_MAG_FILTER, gl.NEAREST);
    gl.bindTexture(gl.TEXTURE_2D, null);

    // отрисовку сцены начинаем только после загрузки изображения
    requestAnimationFrame(drawScene);
});
```

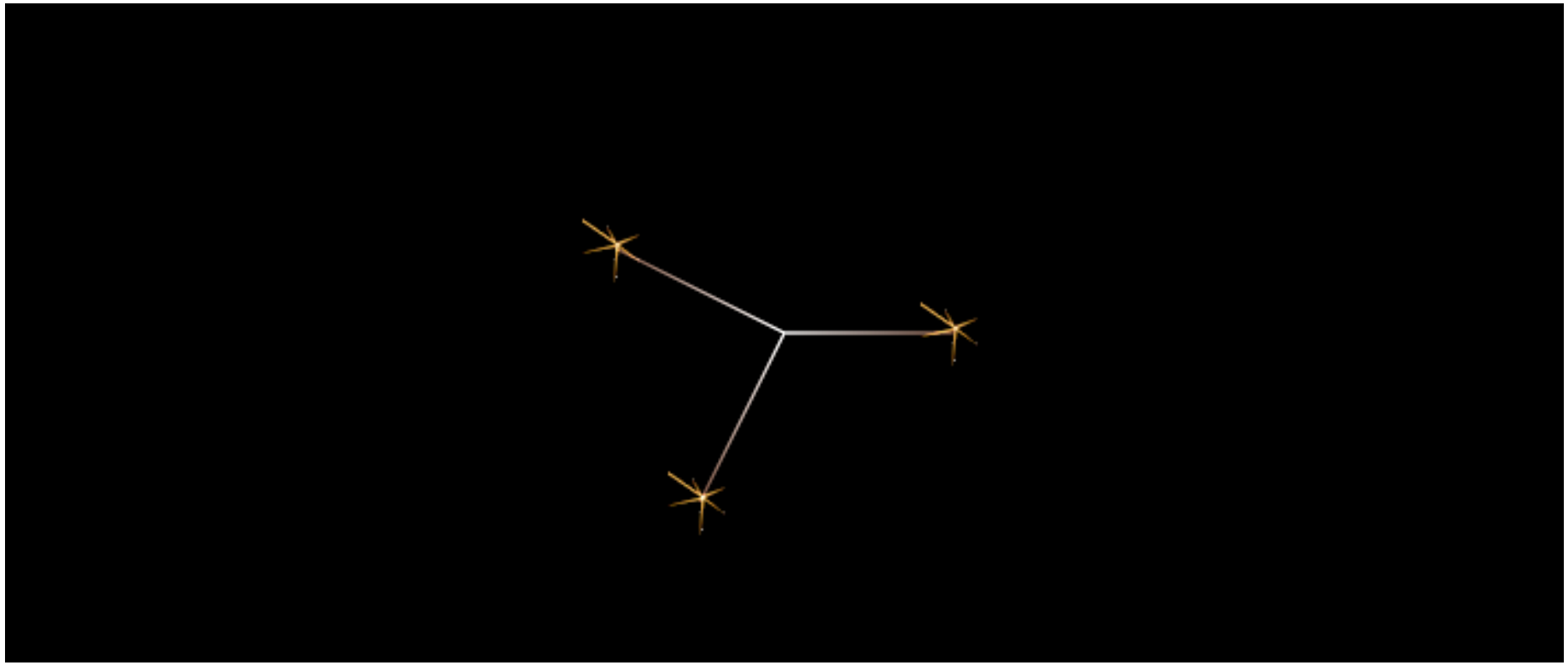
NEAREST LINEAR

Смешивание цветов

Чтобы WebGL понимал прозрачность и избавлялся от фона искры, нам необходимо включить смешивание цветов

```
//включает смешивание
gl.enable(gl.BLEND);

//определяет взаимодействие рисуемых и уже отрисованных пикселей
gl.blendFunc(gl.SRC_ALPHA, gl.ONE);
```

Добавляем следы искр



Ещё один вершинный шейдер

```
attribute vec3 a_position;
attribute vec3 a_color;

out vec3 v_color;

uniform mat4 u_mvMatrix;
uniform mat4 u_pMatrix;

void main() {
    v_color = a_color;
    gl_Position = u_pMatrix * u_mvMatrix * vec4(a_position, 1.0);
}
```

Ещё один фрагментный шейдер

```
precision mediump float;

in vec3 v_color;

void main() {
    gl_FragColor = vec4(v_color, 1.0);
}
```

Инициализация искр

```
//инициализация программы искр

var programSpark = webglUtils.createProgramFromScripts(gl, ["vertex-shader-spark", "fragment-shader-spark"]);

var positionAttributeLocationSpark = gl.getAttribLocation(programSpark, "a_position");
var textureLocationSpark = gl.getUniformLocation(programSpark, "u_texture");
var pMatrixUniformLocationSpark = gl.getUniformLocation(programSpark, "u_pMatrix");
var mvMatrixUniformLocationSpark = gl.getUniformLocation(programSpark, "u_mvMatrix");
```

Инициализация следов искр

```
// инициализация программы следов искр

var programTrack = webglUtils.createProgramFromScripts(gl, ["vertex-shader-track", "fragment-shader-track"]);

 var positionAttributeLocationTrack = gl.getAttribLocation(programTrack, "a_position");
 var colorAttributeLocationTrack = gl.getAttribLocation(programTrack, "a_color");
 var pMatrixUniformLocationTrack = gl.getUniformLocation(programTrack, "u_pMatrix");
 var mvMatrixUniformLocationTrack = gl.getUniformLocation(programTrack, "u_mvMatrix");
```

Отрисовка следов и самих искр

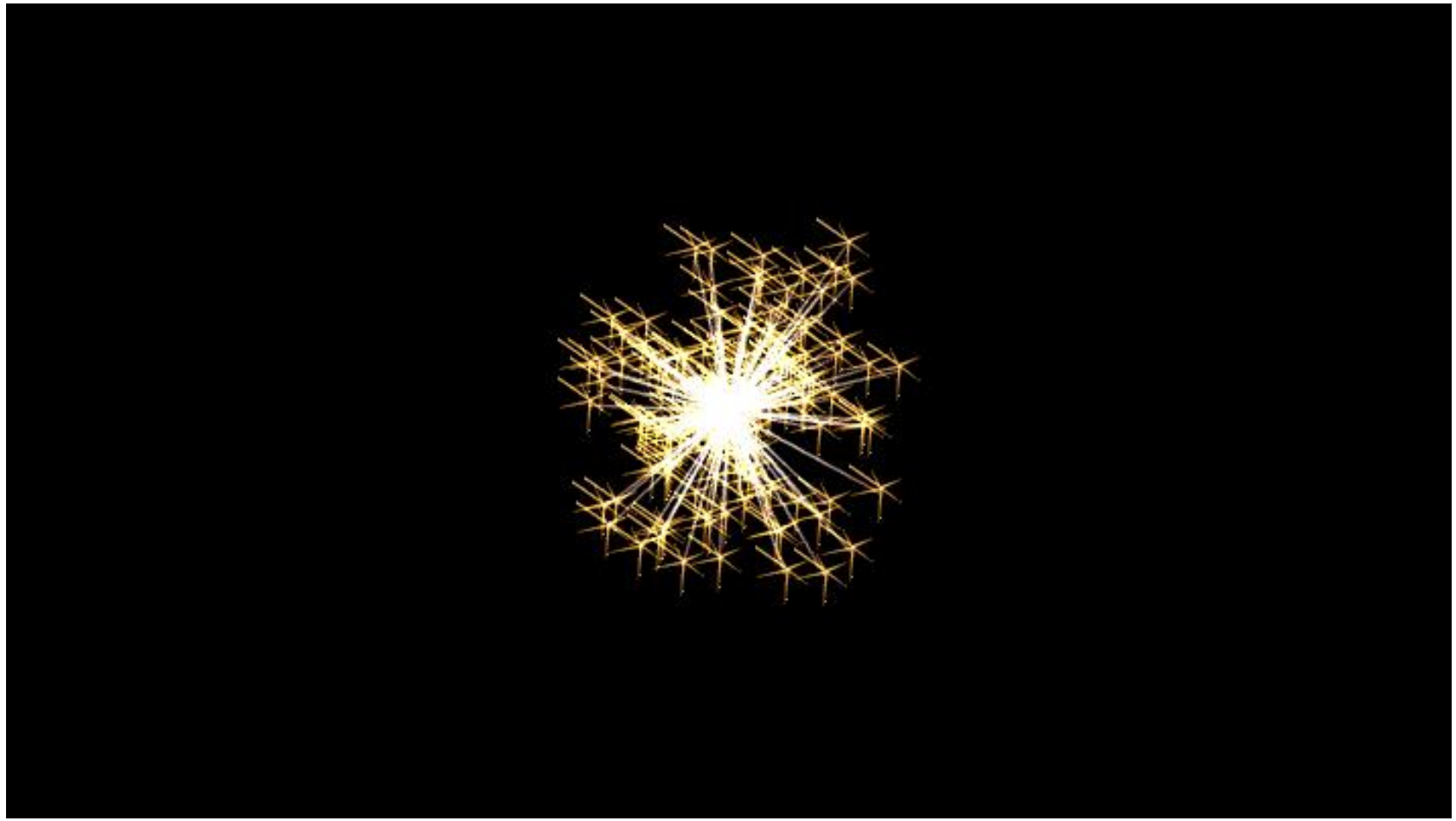
В каждую функцию будут передаваться координаты всех существующих на данный момент искр — сейчас три

```
var positions = [
      1, 0,   0,
     -1, 0.5, 0,
     -0.5, -1, 0
];

// В начале каждой функции отрисовки drawTracks и drawSparks
// будет вызываться gl.useProgram для установки текущей программы

drawTracks(positions);  // будет активироваться программа programTrack
drawSparks(positions); // будет активироваться программа programSpark
```

Отрисовка следов искр

```
var colors = [];
var positionsFromCenter = [];
for (var i = 0; i < positions.length; i += 3) {
   // для каждой координаты добавляем точку начала координат, чтобы получить след искры
   positionsFromCenter.push(0, 0, 0);
   positionsFromCenter.push(positions[i], positions[i + 1], positions[i + 2]);

   // цвет в начале координат будет белый (горячий), а дальше будет приближаться к оранжевому
   colors.push(1, 1, 1, 0.47, 0.31, 0.24);
 }
```

Полноценная система частиц



Алгоритм работы бенгальского огня

- создаём искру с произвольными
  - направлением
  - скоростью
  - длиной пути

- при каждой отрисовке изменяем положение искры

- когда искра пройдёт весь отрезок пути, запускаем её заново из начала координат

Класс для искры

```
function Spark() {
   this.init();
};

// количество искр
Spark.sparksCount = 200;
```

С двумя функциями:

- функция init вызывается для создания и инициализации искры
- функция move вызывается при каждом цикле отрисовки для приращения координат искры

```
Spark.prototype.init = function() {
   // время создания искры
   this.timeFromCreation = performance.now();

   // задаём направление полёта искры в градусах, от 0 до 360
   var angle = Math.random() * 360;
   // радиус - это расстояние, которое пролетит искра
   var radius = Math.random();
   // отмеряем точки на окружности - максимальные координаты искры
   this.xMax = Math.cos(angle) * radius;
   this.yMax = Math.sin(angle) * radius;

   // dx и dy - приращение искры за вызов отрисовки, то есть её скорость,
   // у каждой искры своя скорость. multiplier подбирается эмпирически
   var multiplier = 125 + Math.random() * 125;
   this.dx = this.xMax / multiplier;
   this.dy = this.yMax / multiplier;

   // Для того, чтобы не все искры начинали движение из начала координат,
   // делаем каждой искре свой отступ, но не более максимальных значений.
   this.x = (this.dx * 1000) % this.xMax;
   this.y = (this.dy * 1000) % this.yMax;
};
```

```
Spark.prototype.move = function(time) {
    // находим разницу между вызовами отрисовки, чтобы анимация работала
    // одинаково на компьютерах разной мощности
    var timeShift = time - this.timeFromCreation;
    this.timeFromCreation = time;

    // приращение зависит от времени между отрисовками
    var speed = timeShift;
    this.x += this.dx * speed;
    this.y += this.dy * speed;

    // если искра достигла конечной точки, запускаем её заново из начала координат
    if (Math.abs(this.x) > Math.abs(this.xMax) || Math.abs(this.y) > Math.abs(this.yMax)) {
        this.init();
        return;
    }
};
```

Создаем необходимое количество искр при инициализации программы

```
var sparks = [];
  for (var i = 0; i < Spark.sparksCount; i++) {
      sparks.push(new Spark());
  }
```

```
//Вызываем смещение искр при каждой отрисовке
for (var i = 0; i < sparks.length; i++) {
        sparks[i].move(now);
    }

//получаем координаты искр для передачи в функции
var positions = [];
 sparks.forEach(function(item, i, arr) {
        positions.push(item.x);
        positions.push(item.y);
        // искры двигаются только в одной плоскости xy
        positions.push(0);
 });

 drawTracks(positions);
 drawSparks(positions);
```