3D графика и трасиране на лъчи v.6.0

http://raytracing-bg.net/

Тема 4

Въведение в камерата
Пресичане с равнини

Съдържание

- Допълнения към sdl-minimal (разходка в новия код)
- Реализация на правоъгълна камера
- Реализация на raytracing алгоритъма
- Реализация на пресичане с равнина и сфера
- Шейдъри и текстури
- Домашни :)

Новини

- Име на новия рейтрейсър: **heX-Ray**
  - repo-то се казва „hexray“
- Gamma correction issue
- Extended topics (виж във форума, ET03)

Разходка из кода на проекта

- http://code.raytracing-bg.net (хоства се в github)
- Изчакване в SDL (SDL events)
- Код, който ще ползваме наготово: Color, Vector, Matrix

Raytracing cheatsheet

- class Color:
  - Създаване на цвят: `Color c(0.9, 0.6, 0.9)`
    - Web-формат: `Color c(0xe699e6)`
  - Събиране на два цвята: `Color a, b, c;  a = b+c;`
  - Скалиране на цвят: `Color a;  a = a*0.3;  a /= 2;`
    - и т.н.
  - Нулиране (`::makeZero()`), итензитет (`::intensity()`)
- Пример (осредняване на N измервания):

```
Color sum(0, 0, 0);
for (int i = 0; i < N; i++) sum += getResult(i);
sum /= N;
```

Raytracing cheatsheet

- class Vector:
  - Точка в 3D или посока според контекста
    - Посоките обикновено са нормирани, т.е. `::length() == 1`
  - Създаване
    - Като координати: `Vector v(0.3, -2, 0.8)`
    - Като посока от т. A към т. B (също вектори): `Vector dir = B – A;`
  - Скалиране: `v *= 1.5;` `x = a*0.5 – b*1.3;`
  - Дължина (`length()`, `lengthSqr()`), нормиране (`normalize()`)

Raytracing cheatsheet

- class Vector:
  - Скаларно произведение:

```
double result = a*b;
double result = dot(a, b);
```

    - Ако a и b са нормирани, то dot(a, b) е косинуса от ъгъла между тях
  - Векторно произведение:

```
Vector result = a^b;
```

Нетривиален пример

- При дадена посока v (нормирана), намира ортонормиран базис {a, b}, перпендикулярен на v:

```
Vector a, b, t;
do {
   t = Vector(randomFloat(), randomFloat(), randomFloat());
   if (t.length() > 1e-4) t.normalize();
} while (t.length() < 1e-4 || fabs(t * v) > 0.9);
a = t^v;
a.normalize();
b = a^v;
```

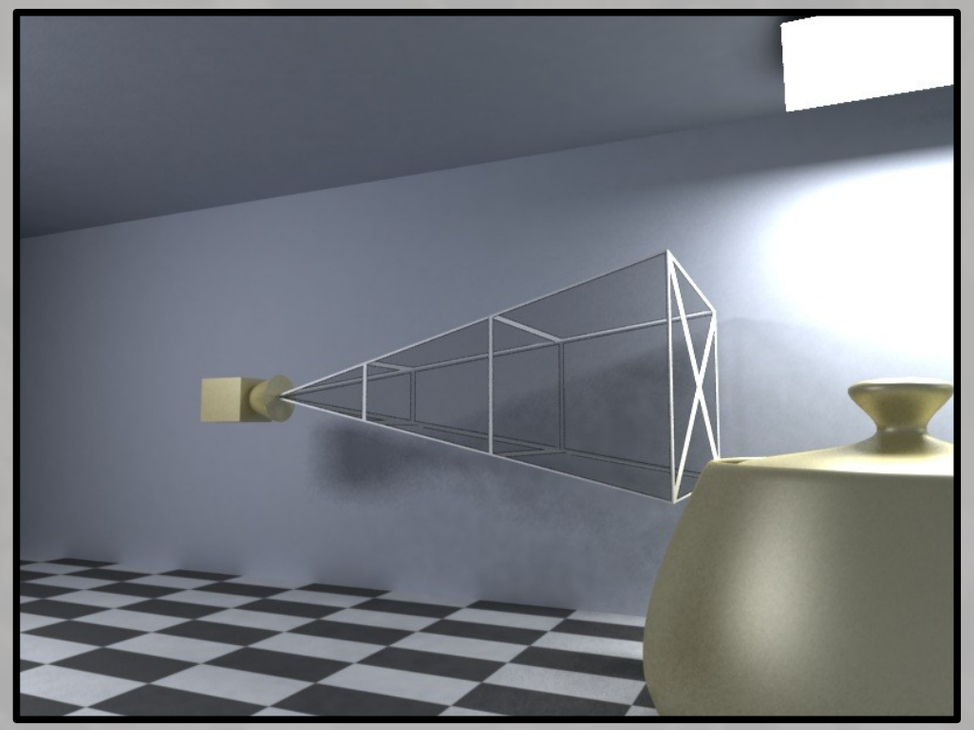
Raytracing cheatsheet

- Class Matrix
  - 3x3 матрица с обичайните действия
    - Умножение, `determinant()`, `inverseMatrix()`
  - Умножението на Vector с матрица ще е отдясно (`v = v*m`)
  - Генериране на ротационни матрици:
    - Функциите `rotationAround`*«ос»*`(`*«ъгъл»*`)`, където *«ос»* е X, Y или Z, а *«ъгъл»* е в радиани
  - Например, да завъртим точката *p* спрямо (0, 0, 0), първо с 30° около оста X и после с 90° около оста Z:

```
p *= rotationAroundX(PI/6) * rotationAroundZ(PI/2)
```

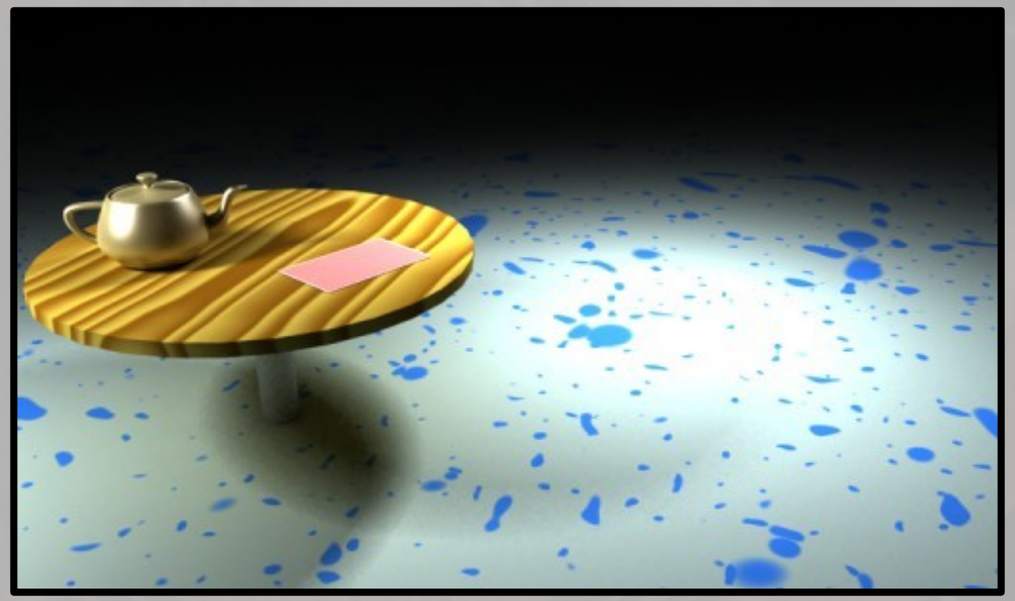
Реализация на камерата

- Ще реализираме стандартна, правоъгълна (rectilinear) камера
- Зрителното поле на камерата е във формата на правоъгълна пирамида
- Нарича се още pinhole camera
  - Няма фокус, DOF-ът е безкраен



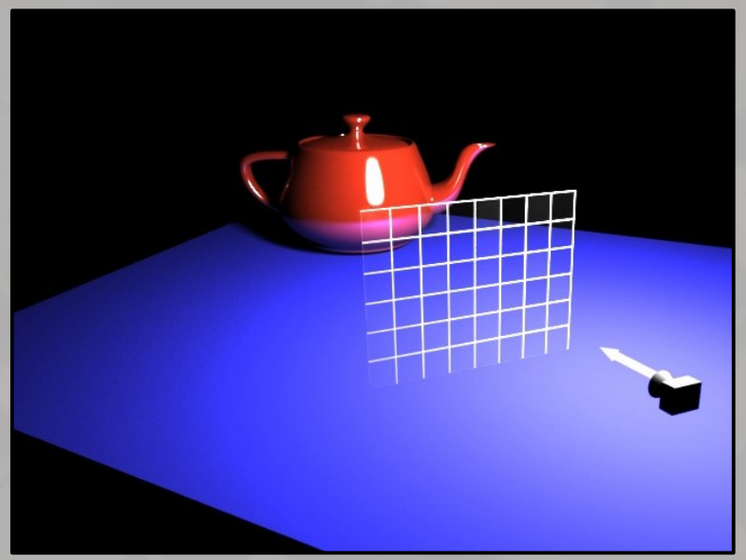
Реализация на камерата

- Ако разположим лист милиметрова хартия пред камерата, при подходяща разделителна способност, всяко квадратче ще отговаря на един пиксел
- Демонстрация [millimetre.m4v]



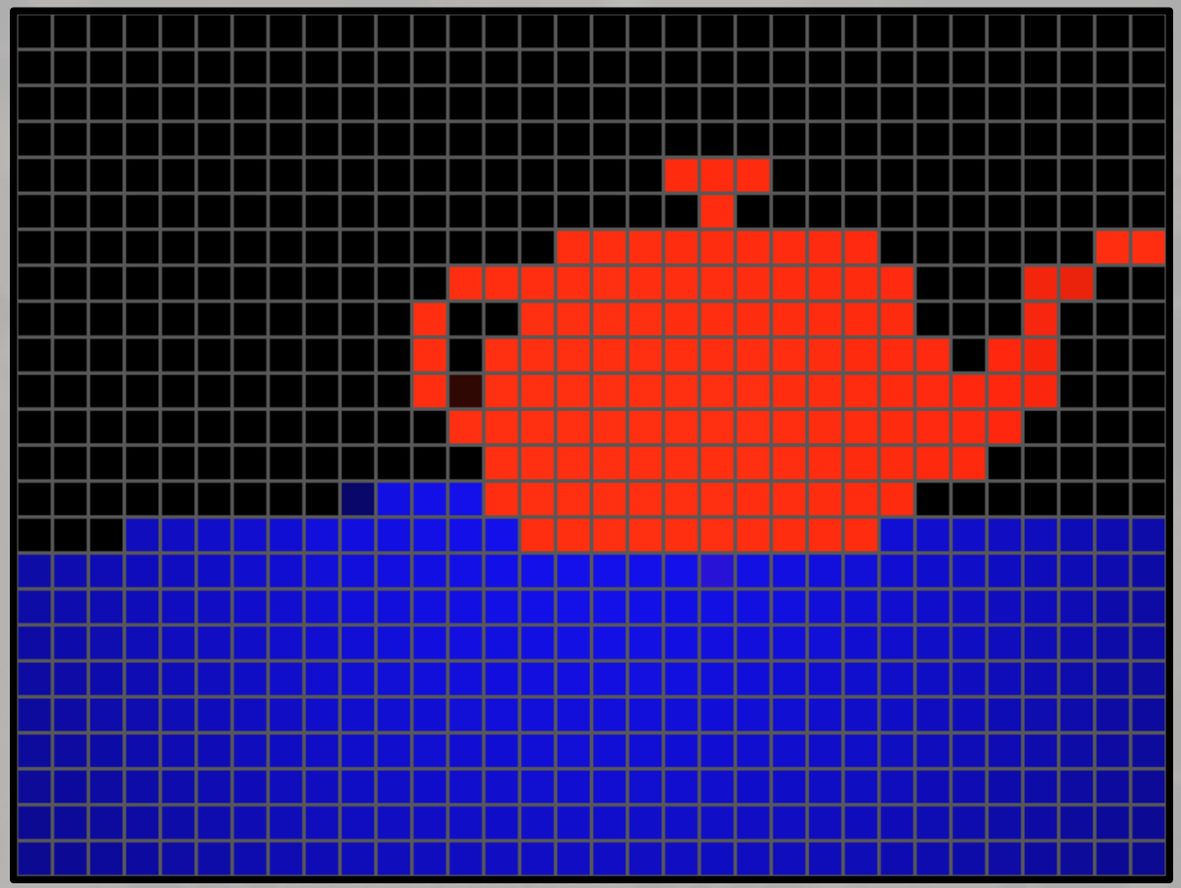
Реализация на камерата

- Най-простият възможен рейтрейсър: изстрелваме лъч през всеки пиксел и оцветяваме пиксела в зависимост от ударения обект
  - Например: черно, ако не ударим нищо; червено за чайник; синьо за равнина
- Демонстрация [primitive.m4v]



Реализация на камерата

- Резултатната картинка:



Реализация на камерата

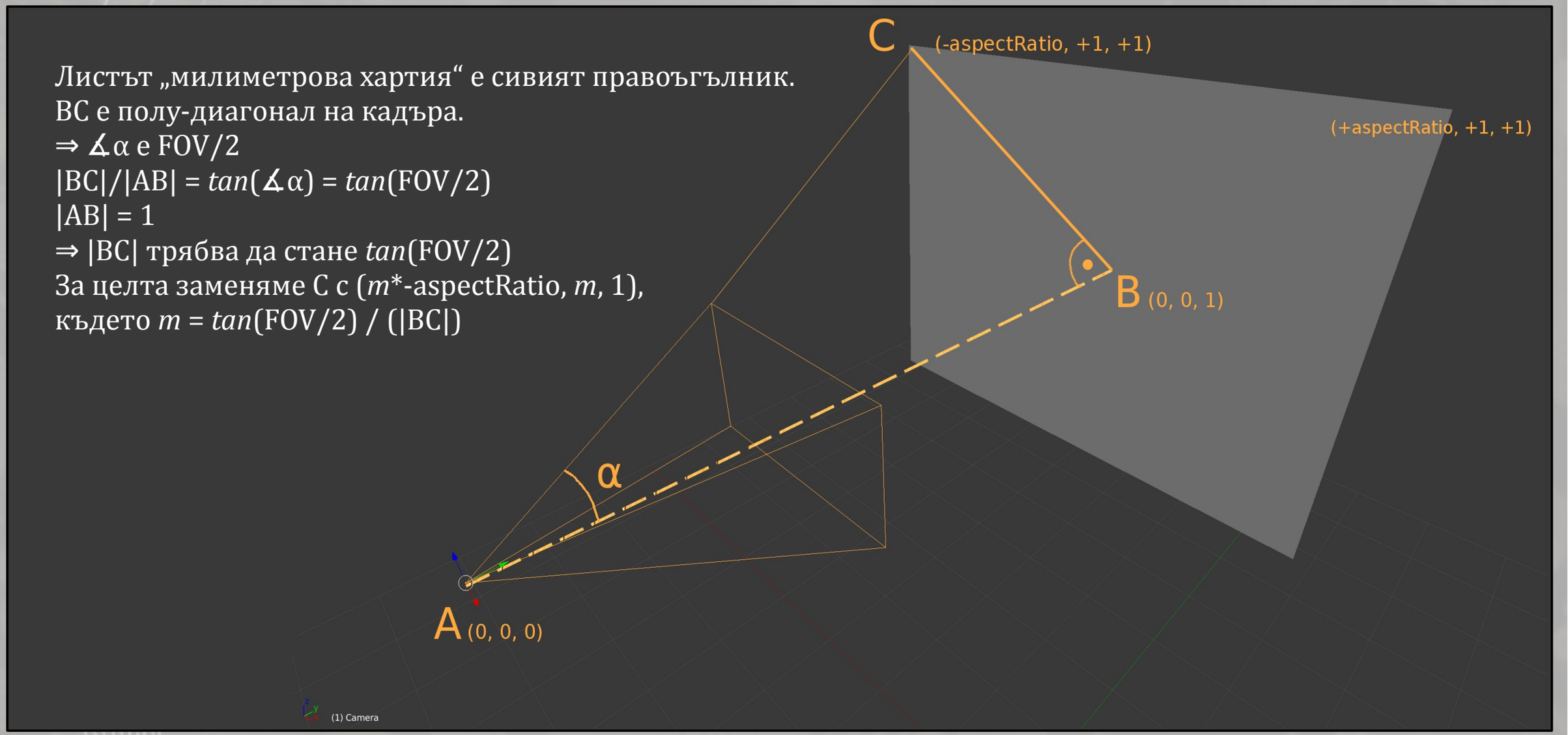
- Ще симулираме листа „милиметрова хартия“
- Трябват ни просто три от краищата на листа (горен ляв, горен десен, долен ляв)
- Намиране на произволен пиксел (по зададени X, Y)
  - За X направлението, интерполираме между горен ляв и горен десен край
  - За Y направлението, интерполираме между горен ляв и долен ляв край
  - `DestP = TopLeft + (TopRight-TopLeft)*(X/screenW) + (BottomLeft-TopLeft)*(Y/screenH)`

Реализация на камерата

- Как генерираме трите краища?
  - Ще предполагаме, че камерата се намира в (0,0,0) и гледа в посока на оста Z
  - Ще разположим лист със зададеното отношение (aspect ratio), на разстояние 1 от камерата (Z = 1)
    - Т.е., с краища (±aspectRatio, ±1, +1)
  - Ще мащабираме листа, така че диагоналния ъгъл да стане колкото искаме (FOV)
  - За наше удобство, ще задаваме FOV-а в градуси

Реализация на камерата

Листът „милиметрова хартия“ е сивият правоъгълник.
BC е полу-диагонал на кадъра.
⇒ ∡α е FOV/2
|BC|/|AB| = *tan*(∡α) = *tan*(FOV/2)
|AB| = 1
⇒ |BC| трябва да стане *tan*(FOV/2)
За целта заменяме C с (*m**-aspectRatio, *m*, 1),
където *m* = *tan*(FOV/2) / (|BC|)



Посока на камерата

- Добавянето на посока към камерата е тривиално - ще приложим трите ротации (roll, pitch и yaw) върху topLeft, topRight и bottomLeft

Реализация на камерата

- След скалирането по *m*, получаваме краищата на „лист милиметрова хартия“, задаващ правилния aspect ratio и FOV;
- Когато искаме да изстреляме лъч през пиксела (x, y), намираме координатите на върха на лъча спрямо „милиметровата хартия“, това е посоката на лъча
  - (трябва само да я нормираме до единичен вектор)
  - Лъчът трябва да транслираме, така че да започва от позицията на камерата

Рендерирането на сцената

- ```
  for each y in rows:
      for each x in columns:
          ray = camera.getScreenRay(x, y)
          vfb[x, y] = raytrace(ray)
  ```
- `raytrace()` е функция, която, по даден лъч, намира цвета на първия ударен обект по протежение на лъча
  ```

Nodes

- Всеки обект в сцената има както геометрия, така и шейдър
- Намираме най-близката геометрия, пресичаща лъча, и викаме шейдъра на Node-а ѝ

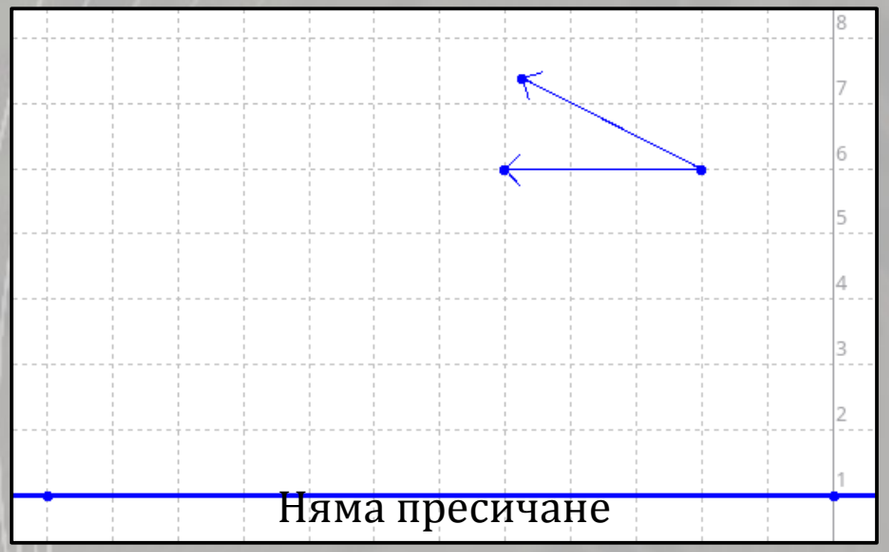
Raytracing алгоритъм

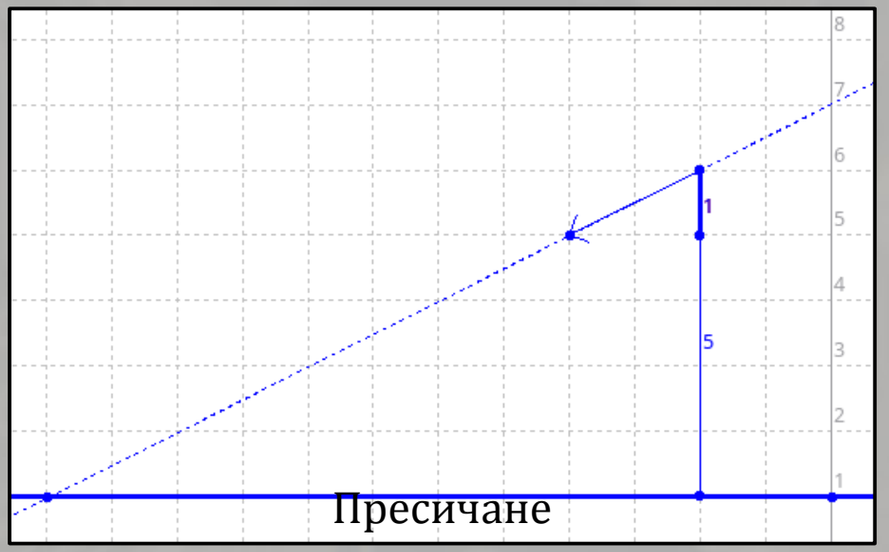
- **Function** raytrace(ray):

```
    closestIntersection = None
    closestNode = None
    for each node in sceneNodes:
        intersectionInfo = intersect(ray, node)
        if intersectionInfo.dist < closestIntersection.dist:
            closestIntersection = intersectionInfo
            closestNode = node
    if closestDist == +∞:
        return backgroundColor
    return closestNode.shade(ray, closestIntersection)
```

Пресичане с равнина

- Ще реализираме обекта „равнина“. Равнината ще е успоредна на XZ координатната равнина, ще е зададено само разстоянието по y от XZ
- Имаме два случая:





Пресичане със сфера

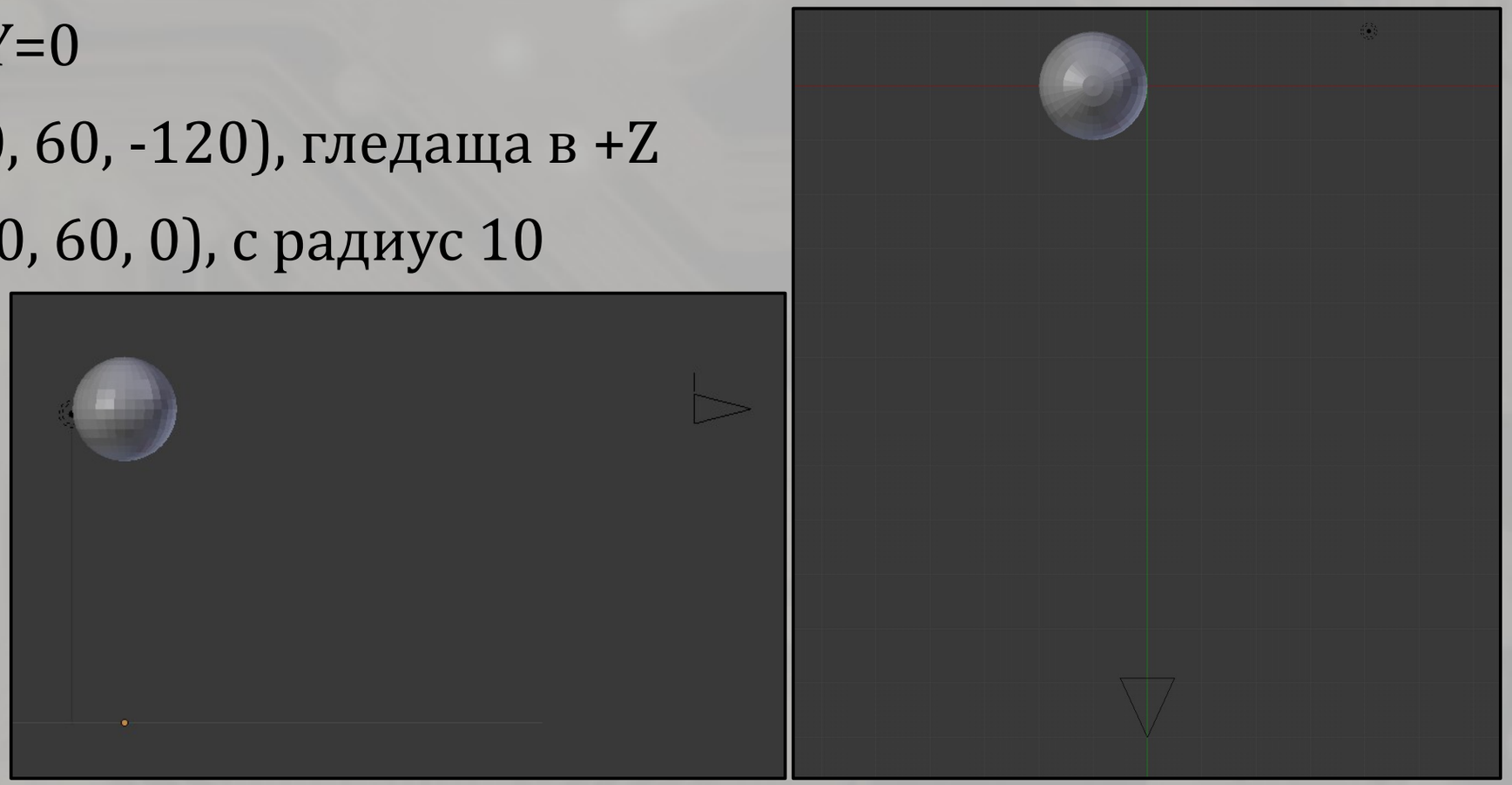
- Разстоянието от центъра на сферата O до произволна точка T е: $\texttt{sqrt}((T_x-O_x)^2 + (T_y-O_y)^2 + (T_z-O_z)^2)$
- Позицията на всяка точка по лъча е: `start + p * dir`
  - Където $p > 0$ е параметър
  - Разстоянието от всяка точка на лъча до сферата се получава по горната формула, като заместим `T = start + p * dir`, за някое конкретно p
  - Търсим такова p, че разстоянието да е точно R (радиуса на сферата)

Пресичане със сфера

- $sqrt(((start_x + p*dir_x)-O_x)^2 + ((start_y + p*dir_y)-O_y)^2 + ((start_z + p*dir_z)-O_z)^2) = R \Leftrightarrow$
  - (нека H = start - O):
- $sqrt((H_x + p*dir_x)^2 + (H_y + p*dir_y)^2 + (H_z + p*dir_z)^2) = R \Leftrightarrow$
- $(H_x + p*dir_x)^2 + (H_y + p*dir_y)^2 + (H_z + p*dir_z)^2 = R^2 \Leftrightarrow$
- $p^2(dir_x^2+dir_y^2+dir_z^2) + 2*p(H_x dir_x + H_y dir_y + H_z dir_z) + (H_x^2 + H_y^2 + H_z^2 – R^2) = 0 \Leftrightarrow$
- $p^2 * dir.length^2 + p * (2 * dir \cdot H) + (H.length^2 – R^2) = 0$
- Квадратно уравнение!
  - 0 решения – лъчът не пресича сферата
  - 1 или 2 решения – лъчът допира или пресича сферата

Сетъп на сцената

- Ще си направим проста сценичка
  - Равнина в Y=0
  - Камера в (0, 60, -120), гледаща в +Z
  - Сфера в (-10, 60, 0), с радиус 10

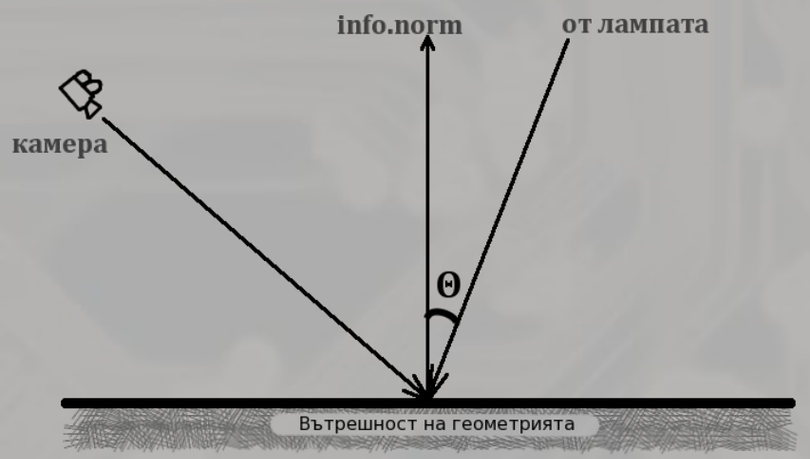


Изчисляване на цвят на материала

- Ще реализираме 3 шейдъра:
  - **ConstantShader** – връща константен цвят
    - полезен за debugging
  - **Lambert** – Ламбертов (матов) шейдър – имитира хартия
  - **Checker** – като Lambert, но с шарка, шахматни квадратчета

Ламберт

- Осветлението зависи единствено от ъгъла, под който пада светлината спрямо повърхността
  - Нормалният вектор (info.norm) е перпендикуляр на геометрията в пресечната точка
    - т.е., ако имаме допирателна равнина в тази точка, това е нейният нормален вектор
- Яркост = cos(Θ)
  - Може да се изведе геометрично



Ламберт

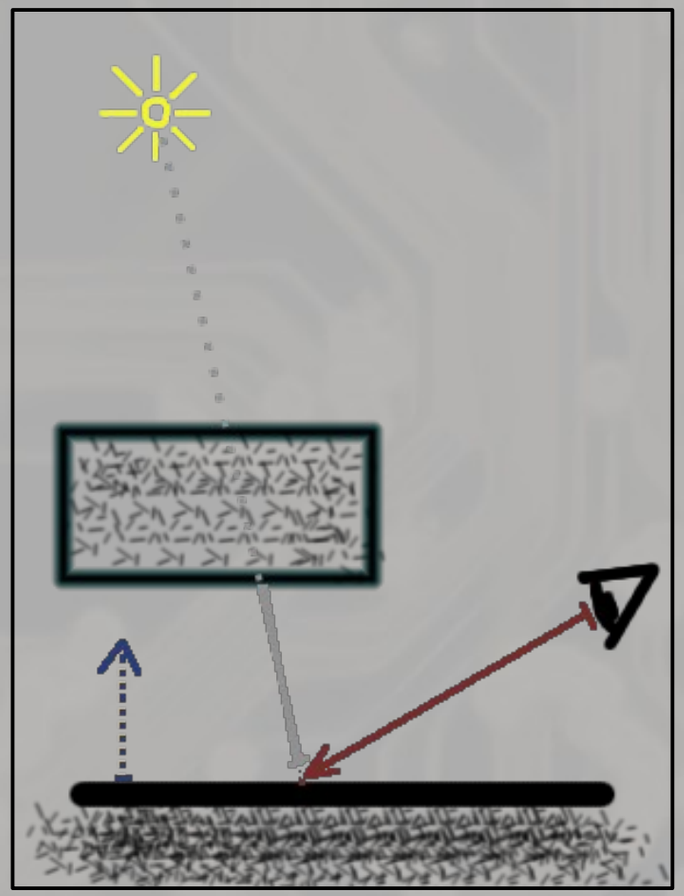
- OutColor = materialColor * max(0, cos(Θ)) * lightColor
- cos(Θ) = dot(lightVec, info.norm)

Осветление

- Засега използваме най-простия модел за лампа – точкова
- Точковата лампа има две характеристики
  - Позиция
  - Интензитет
- Точковата лампа разпръсква светлина във всички посоки
- Осветеността на дадена точка намалява с квадрата на отдалечеността ѝ от лампата ($1/r^2$)
  - Защо?

Сенки

- Проверка дали точка е в сянка
  - Пресечната точка се отмества малко по посока нормалата на повърхината
  - От там се пуска нов лъч в посока лампата
  - Ако удари обект, на разстояние по-малко от това до лампата → имаме засенчване



Домашни

- Домашните ще са базирани на текущия сорс
- Подробности на сайта на курса