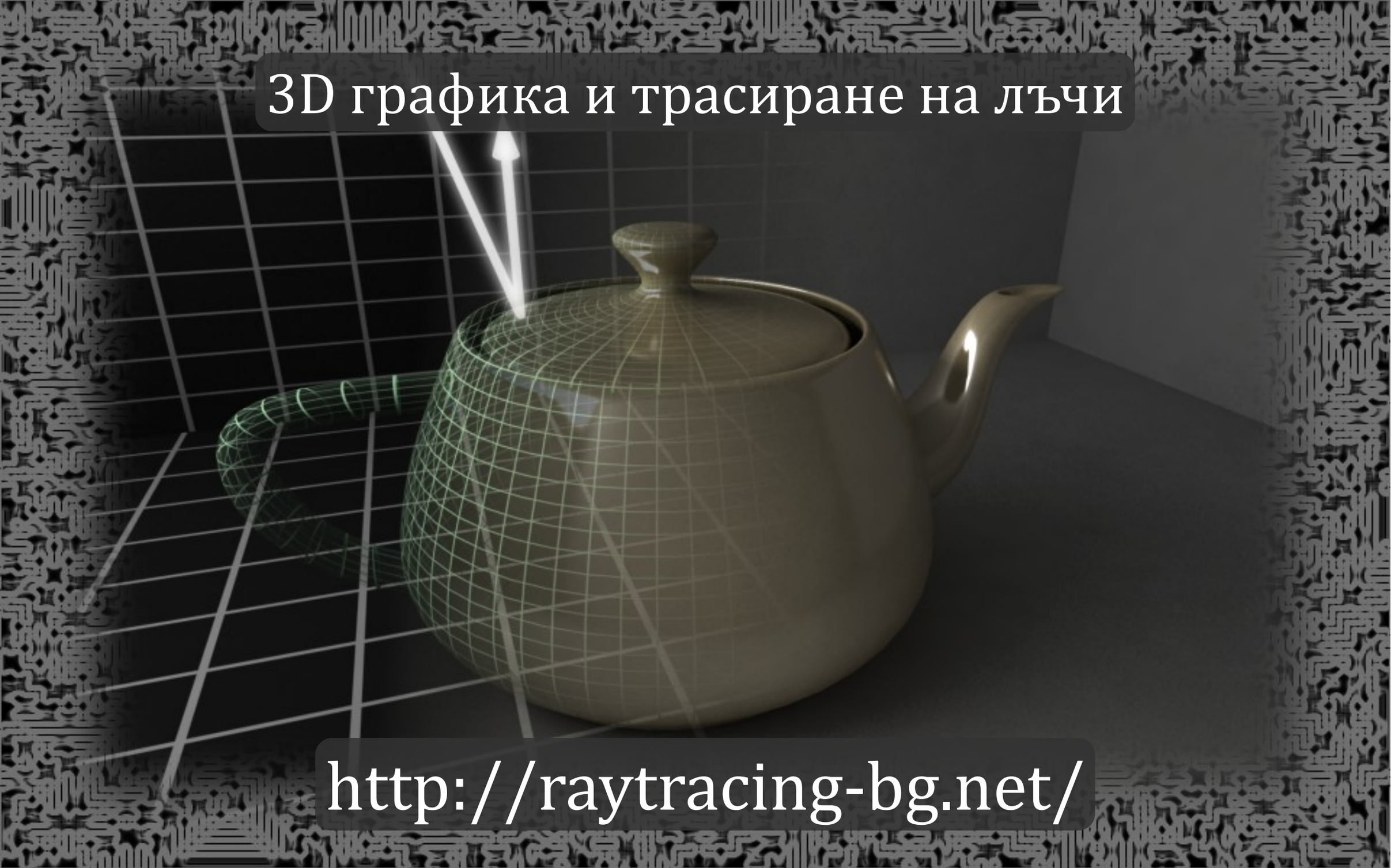
3D графика и трасиране на лъчи



http://raytracing-bg.net/

Тема 10

Осветление
Не-точкова светлина
Насочена светлина
Монте-карло методи за изчисляване на осветление
Дълбочина на полето

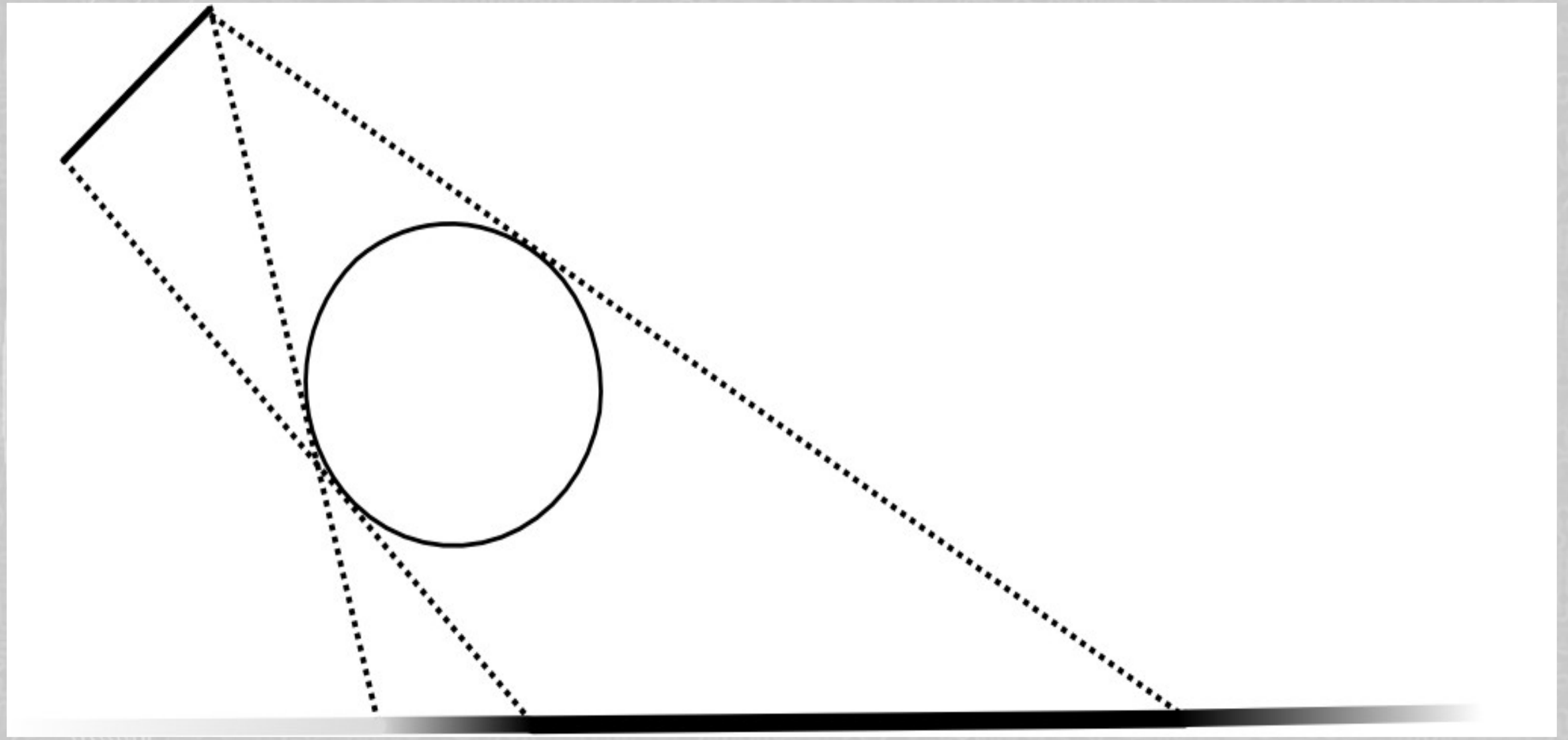
Съдържание

- Осветление в raytracing-а
- Не-точкова светлина
  - Меки сенки
  - Правоъгълна светлина
  - Реализация чрез Monte Carlo метод
- Дълбочина на полето
  - Реализация чрез Monte Carlo метод

Меки сенки

- Досега използвахме само един вид лампи – точкови
  - Точковите лампи са идеализация, в реалния свят няма „точкови лампи“
- При точковите лампи, дадена точка може да бъде или изцяло огряна от дадена лампа, или изцяло в сянка
  - Следователно има рязка граница на ръба на сенките
- В реалния свят, лампите имат крайно лице
  - Така дадена точка може да бъде изцяло огряна, изцяло в сянка, или огряна само от част от лампата
  - Вместо рязка граница на ръба на сянката се получават светлосенки (aka penumbra)

Меки сенки (в картинки)



Меки сенки (прод.)

- За да сметнем осветеността на дадена точка трябва да изчислим каква област от лампата е видима от точката
- В общия случай това е нетривиално
  - т.е. няма затворена формула с която може да я пресметнем
- Ще сумираме осветеността до дадената точка, от всяка точка върху лампата
  - Или в математически термини ще интегрираме...

Монте Карло интегриране

- Ще скицираме основната идея на Монте Карло интергрирането
  - След няколко лекции ще го опишем по-прецизно
- Методът Монте Карло позволява да сметнем интергала на произволна функция взимайки стойността ѝ в няколко точки
  - Точността зависи от броя взети точки
  - Когато броя точки расте към безкрайност, грешката клони към 0

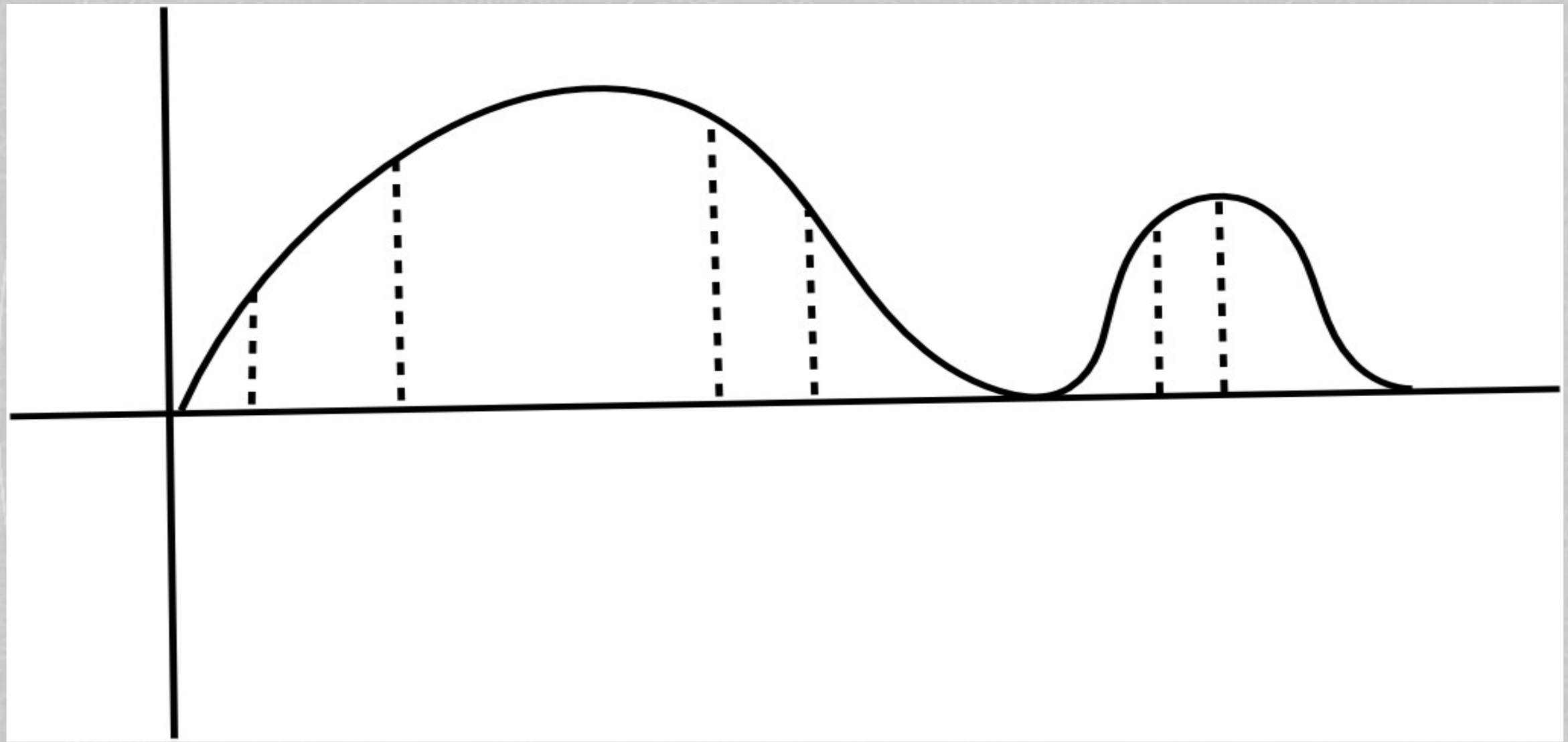
Монте Карло интегриране (прод.)

$$I = \int_D f(\mathbf{x}) d\mathbf{x}$$

$$I \approx \frac{1}{N} \sum_{i=1}^{N} \frac{f(X_i)}{p(X_i)}$$

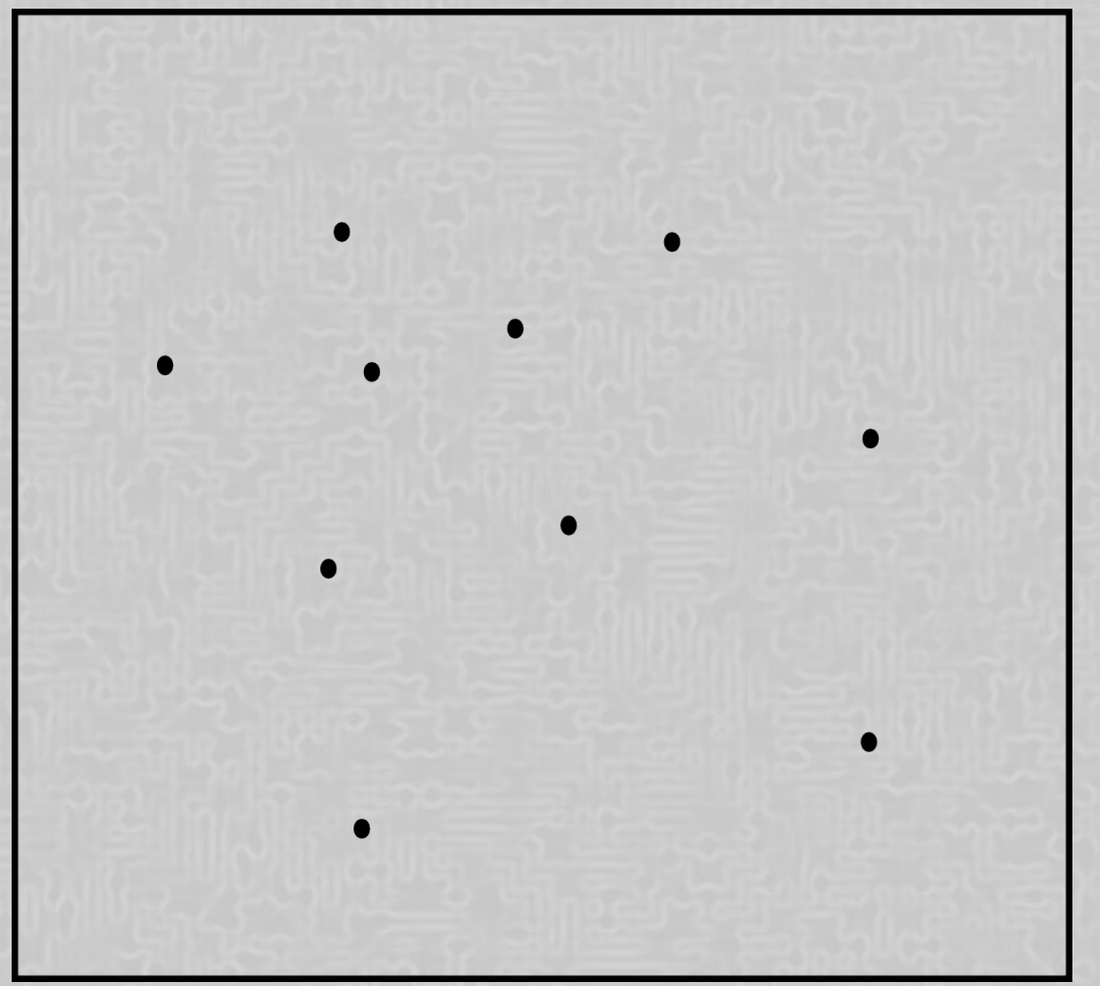
- С други думи, изчисляваме средно аритметично от стойността на функцията в съответната точка върху вероятността, с която сме изтеглили тази точка

Монте Карло интегриране (прод.)



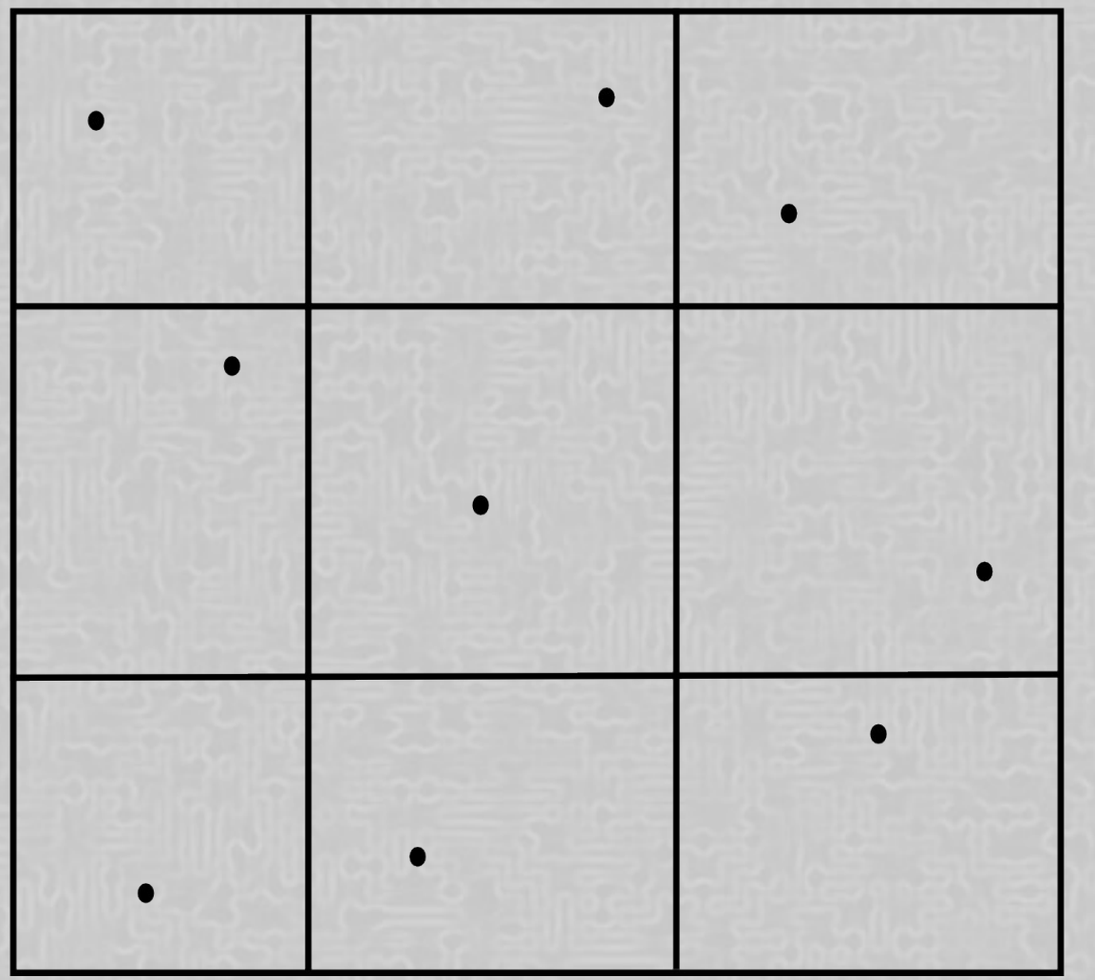
Генериране на точките

- p[i].x = rand();
  p[i].y = rand();
- При това наивно решение нямаме гаранция, че точките ще са добре разпределени в пространството
  - Получават се клъстери от точки, а голяма част от пространството може да остане непокрита



Генериране на точките

- Едно решение на проблема е stratified sampling
- Разделяме простанството на области и генерираме по една точка за всяка област
- p[i].x = (i % n + rand()) / n
  p[i].y = (i / n + rand()) / m



Интерфейс за светлини

```
class Light {
protected:
    Color col;
public:
    virtual int getNumSamples(void) = 0;
    virtual void getNthSample(int sampleIdx, const Vector& hitPos, Vector& samplePos, Color& color) = 0;
};
```

Добрия стар PointLight

```
class PointLight: public Light {
    Vector pos;
public:
    int getNumSamples(void) { return 1; }
    void getNthSample(int sampleIdx, const Vector& hitPos, Vector& samplePos, Color& color)
    {
        color = col;
        samplePos = pos;
    }
};
```

Промени по шейдърите

```
Color Foo::computeColor(Ray ray, IntersectionInfo& info)
{
    Color result = ....;
    for (each light) {
        Color sum(0,0,0);
        for (each sample for light)
            sum += ....;
        result += sum / nSamples;
    }
     return result;
}
```

Правоъгълна лампа

- След всичко това, вече можем имплементираме правоъгълна лампа (а и не само =-)
  - width и height ще са параметри
  - Имаме трасформация, която позиционира лампата в пространството
- За семплирането на лампата ще използваме stratified sampling
  - xSubd и ySubd ще са параметрите, които определят по колко семпъла да се вземат съответно хоризонтално и вертикално от лампата

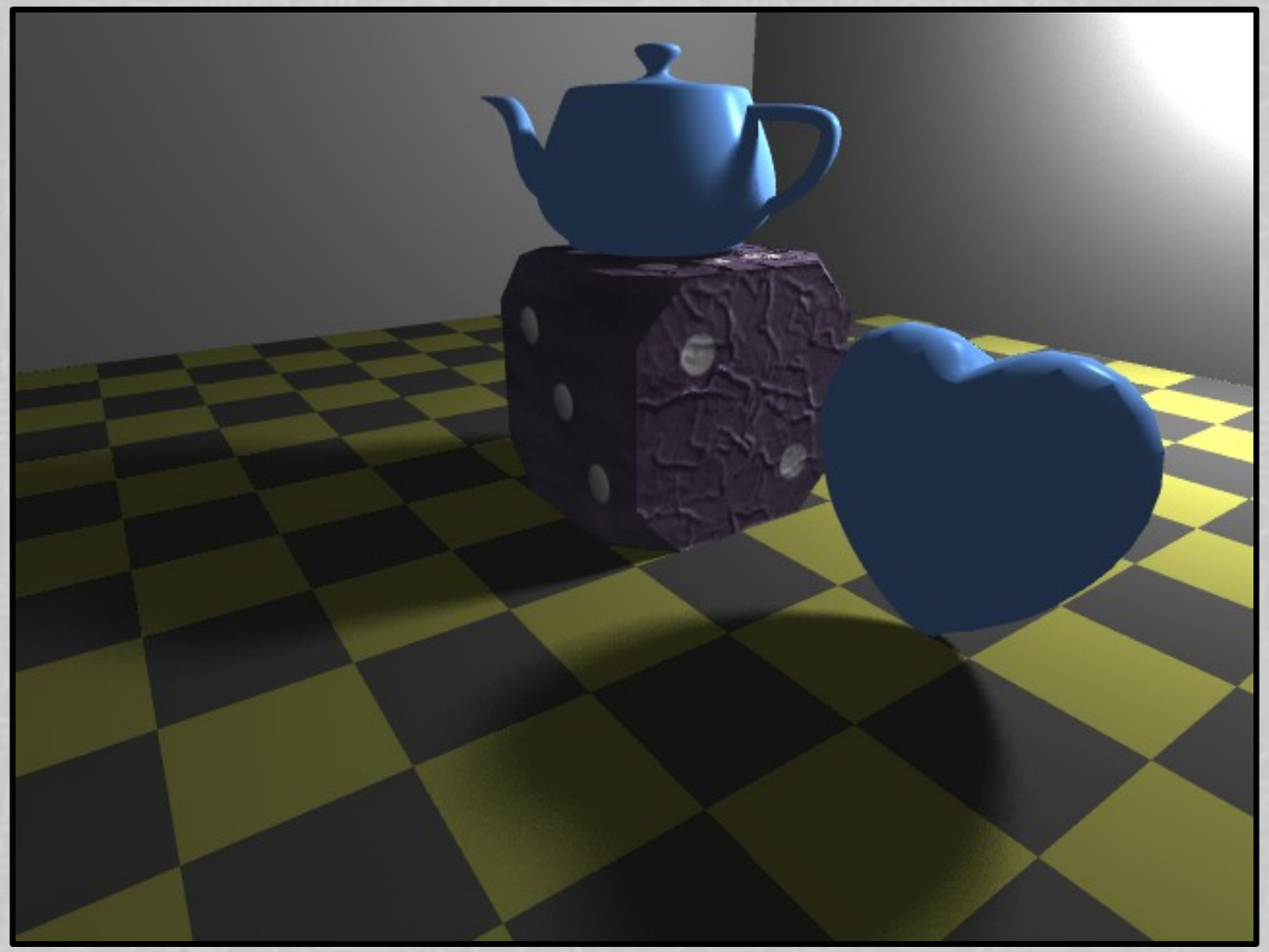
Правоъгълна лампа (прод.)

```
class RectLight: public Light {
    float width, height;
    int xSubd, ySubd;
    Transform T, IT;
public:
    int getNumSamples(void) { return xSubd * ySubd; }
    void getNthSample(int sampleIdx, const Vector& hitPos, Vector& samplePos, Color& color);
}
```

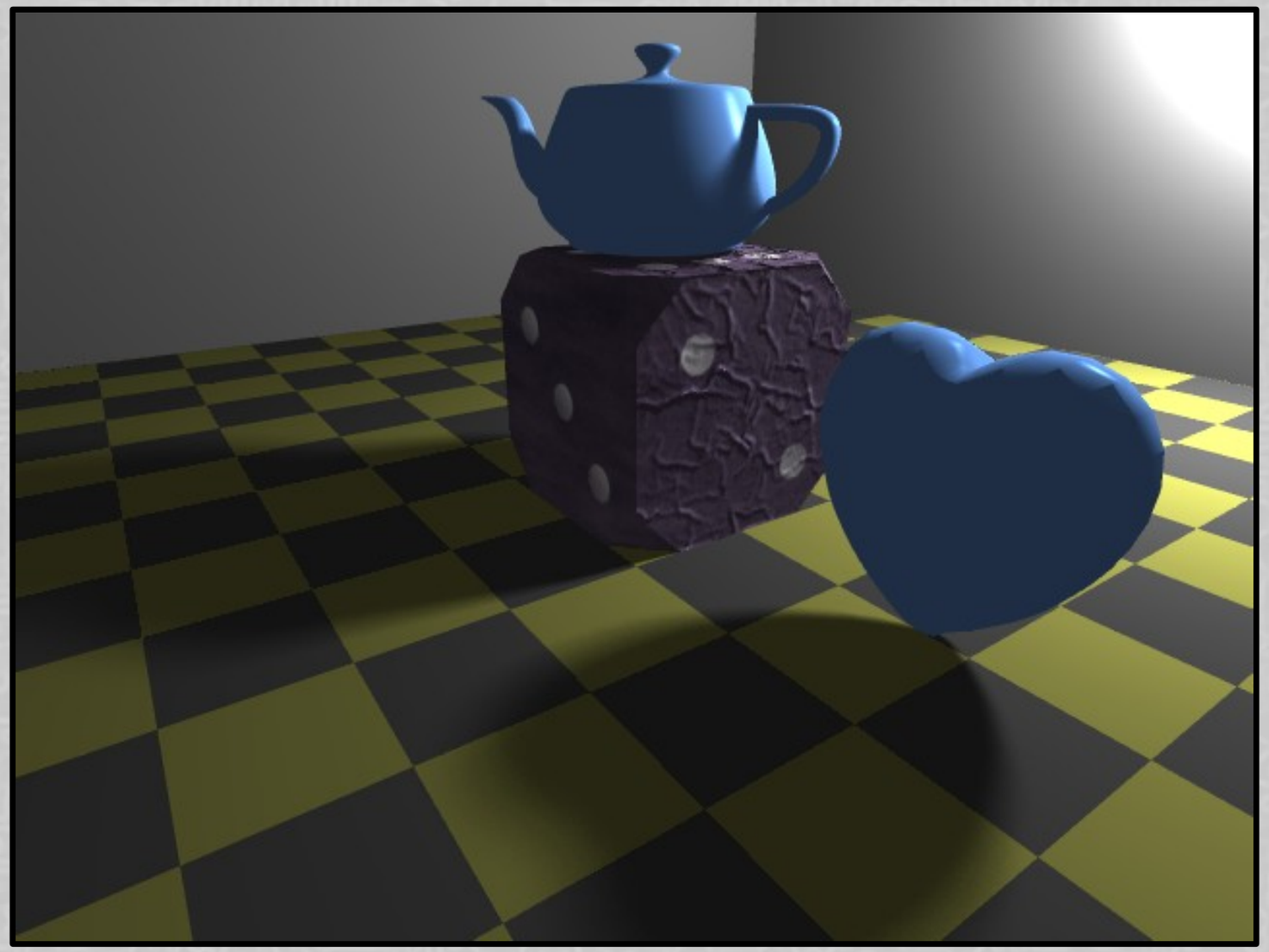
Правоъгълна лампа (прод.)

```
void RectLight::getNthSample(int sampleIdx, const Vector& hitPos, Vector& samplePos, Color& color)
{
    float x = (float) (sampleIdx % xSubd + randomFloat()) / xSubd;
    float y = (float) (sampleIdx / xSubd + randomFloat()) / ySubd;
    samplePos = Vector((x - 0.5) * width, (y - 0.5) * height, 0.0);
    Vector hitPos_LS = IT.transformPoint(hitPos);
    Vector l = hitPos_LS - samplePos;
    if (l * Vector(0,0,1) > 0.0) color = col;
    else                         color = Color(0, 0, 0);
    samplePos = T.transformPoint(samplePos);
}
```

Правоъгълна лампа (прод.)



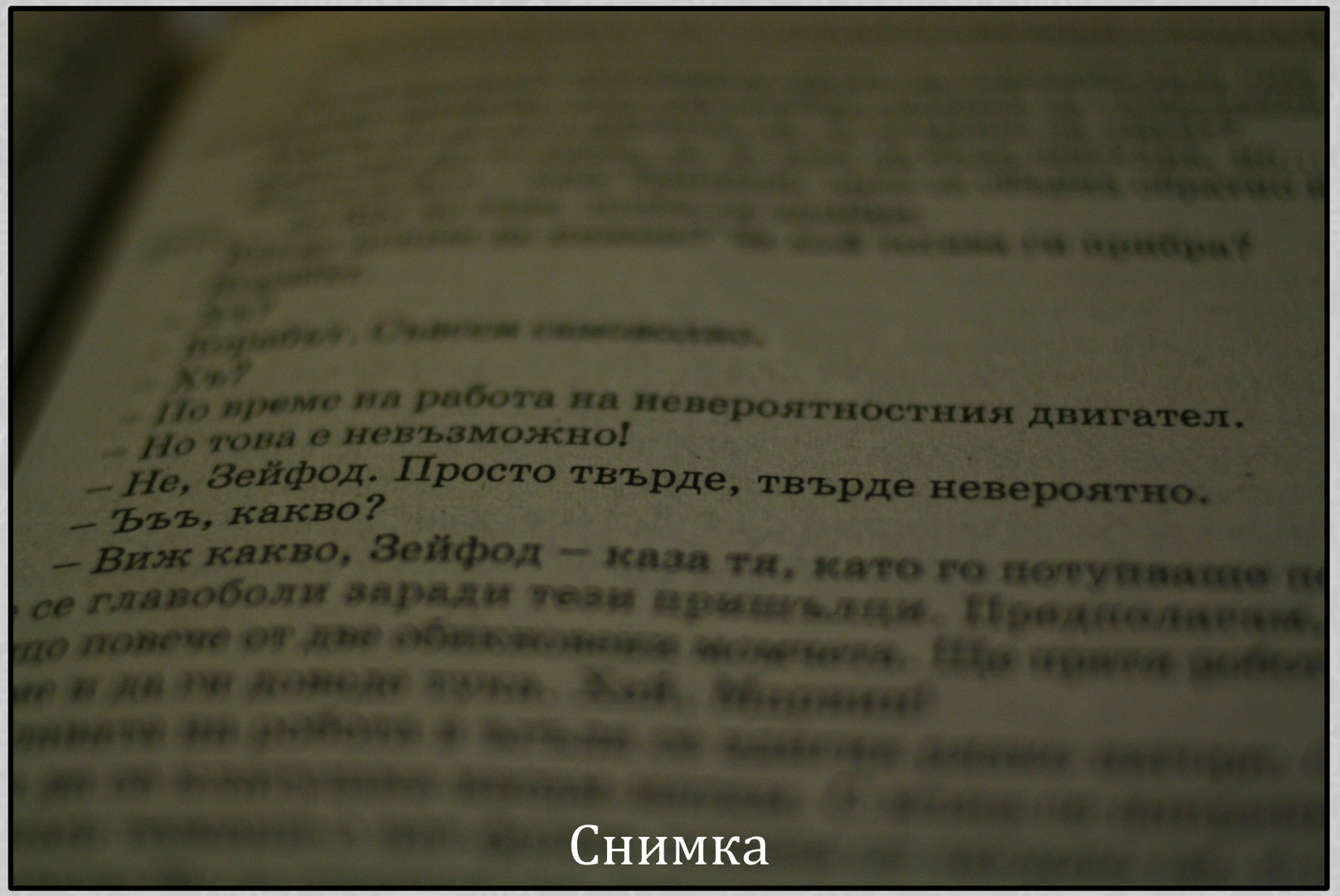
Правоъгълна лампа (прод.)



Идеи и идейки

- Shape lights
  - Лампа, която може да се „закачи“ за произволна геометрия
- Spot light
  - Подобен на Point light, но посоките в които свети са ограничени чрез параметри
- Directional light
  - Светлината идва само от една посока от безкрайно далечен обект
- Environment Light
  - Може да семплираме environment-а като лампа (aka HDR lighting)

Дълбочина на полето



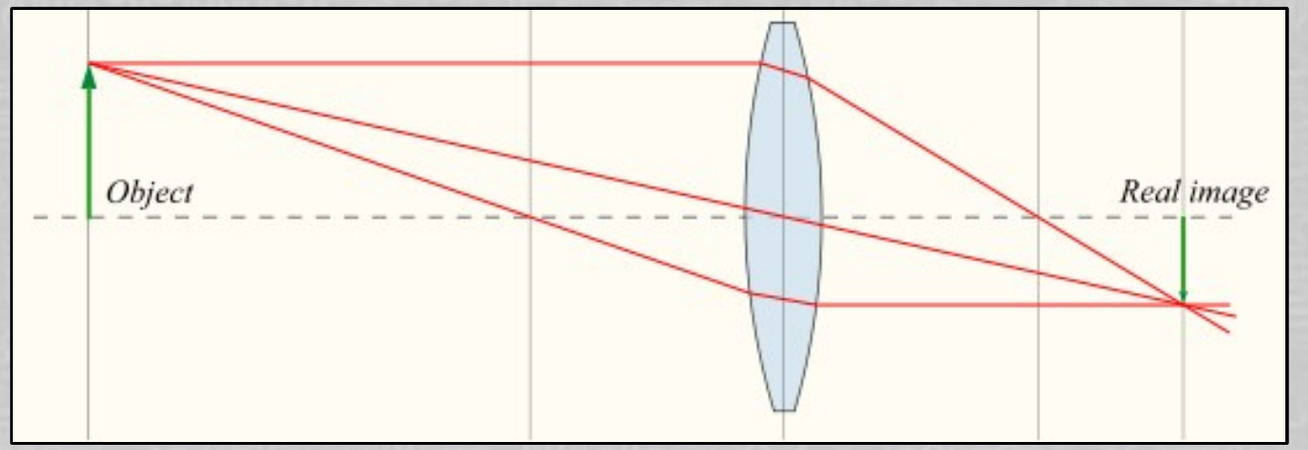
Снимка

Дълбочина на полето

- Дълбочина на полето = частта от видимата сцена, която изглежда рязка (не е размита)
- Ефектът е свързан с фокусирането при фотоапаратите и филмовите камери – част от обектите са на фокус, други са извън и изглеждат размазани
- Досега работихме с pinhole camera, при която DOF-ът е безкраен – всичко е на фокус
  - ... и, ако не целим друго, това е идеално – човек предпочита всичко да му е на фокус

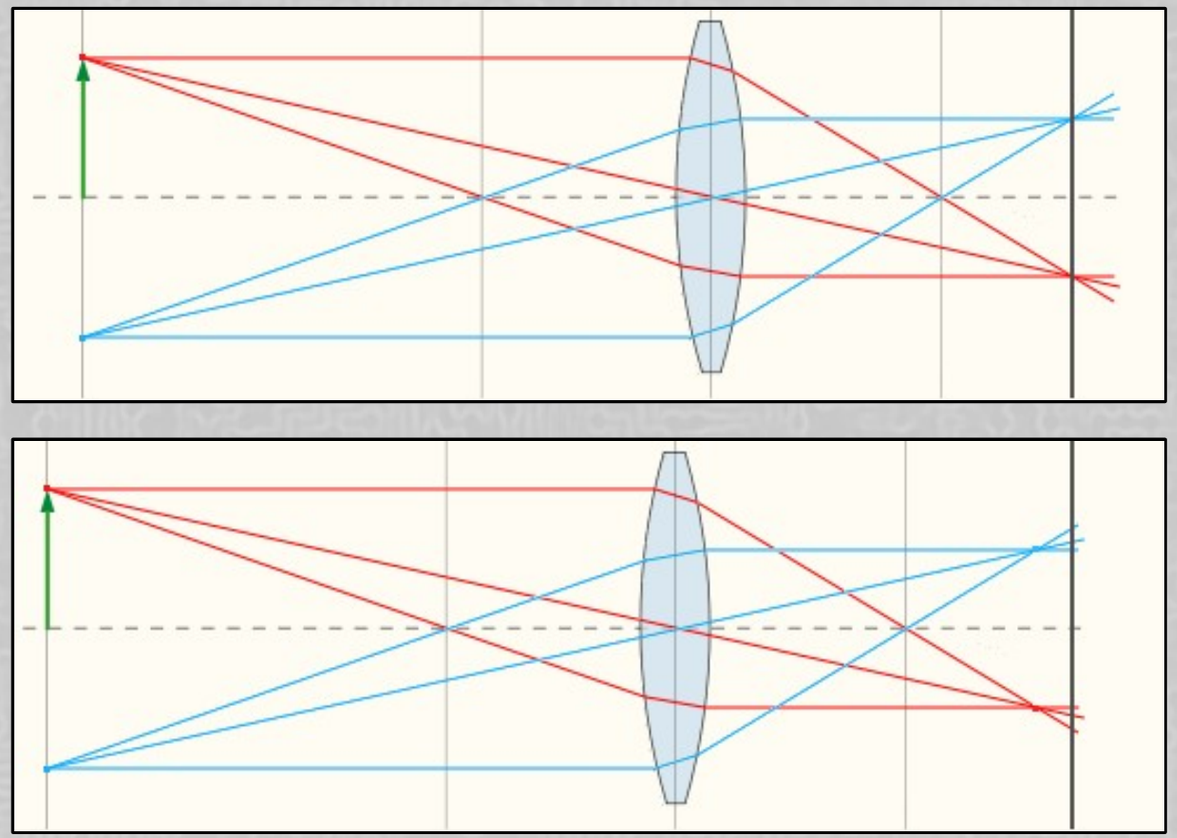
Какво предизвиква размиването на образите (focal blur)?

- Всяка оптична система може грубо да се наподоби чрез една-единствена събирателна леща (лупа)
- Обектът, който искаме да наблюдаваме, излъчва (или отразява) светлина във всички посоки
  - Дадена негова точка също излъчва във всички посоки
  - Ролята на лещата е да събере тези лъчи в една точка в образа



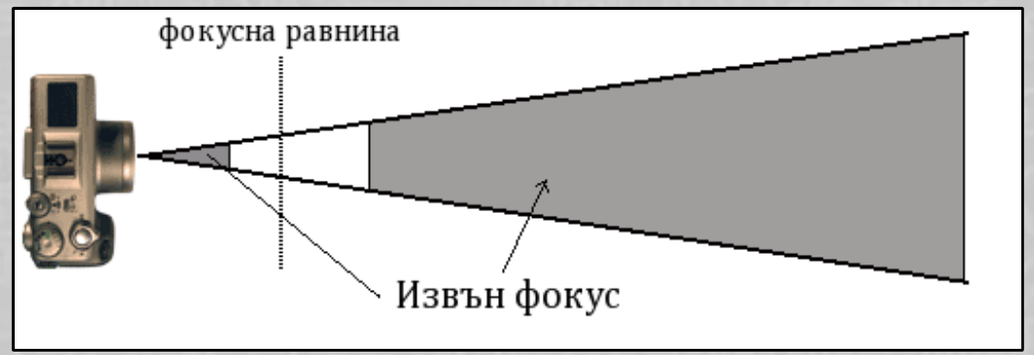
Какво предизвиква размиването на образите (focal blur)?

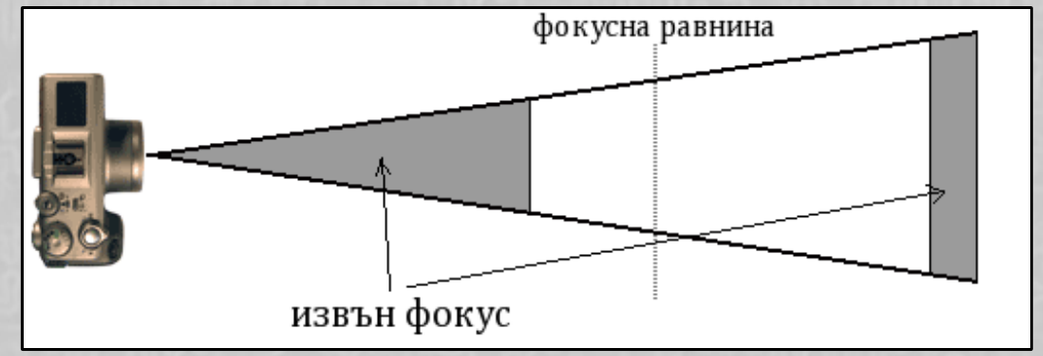
- Ако преместим лещата, лъчите вече няма да се събират в една точка, а ще се разпръскват в едно малко кръгче; точката ще изглежда разфокусирана
- Чрез местенето на лещата, различни части от сцената попадат на точен фокус



Фокусна равнина

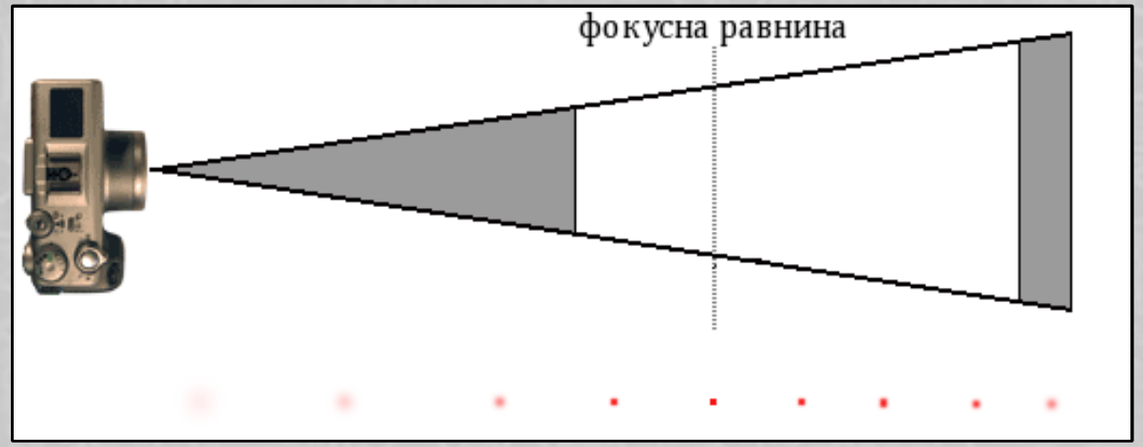
- Разположението на оптиката в обектива (т.е. разстоянието до сензора) определя **фокусната равнина**. Всички обекти на тази равнина са с перфектен фокус
- Колкото повече се отдалечаваме от нея, толкова по-размазани стават обектите





Дълбочина на полето

- На практика, точките близо до фокусната равнина също приемаме за „фокусирани“, защото тяхното размазване (точката се размазва до малко петънце) е недостатъчно за да се забележи от окото (или сензора на камерата)
  - Цялото поле, в което приемаме точките за достатъчно резки, представлява **дълбочината на полето**

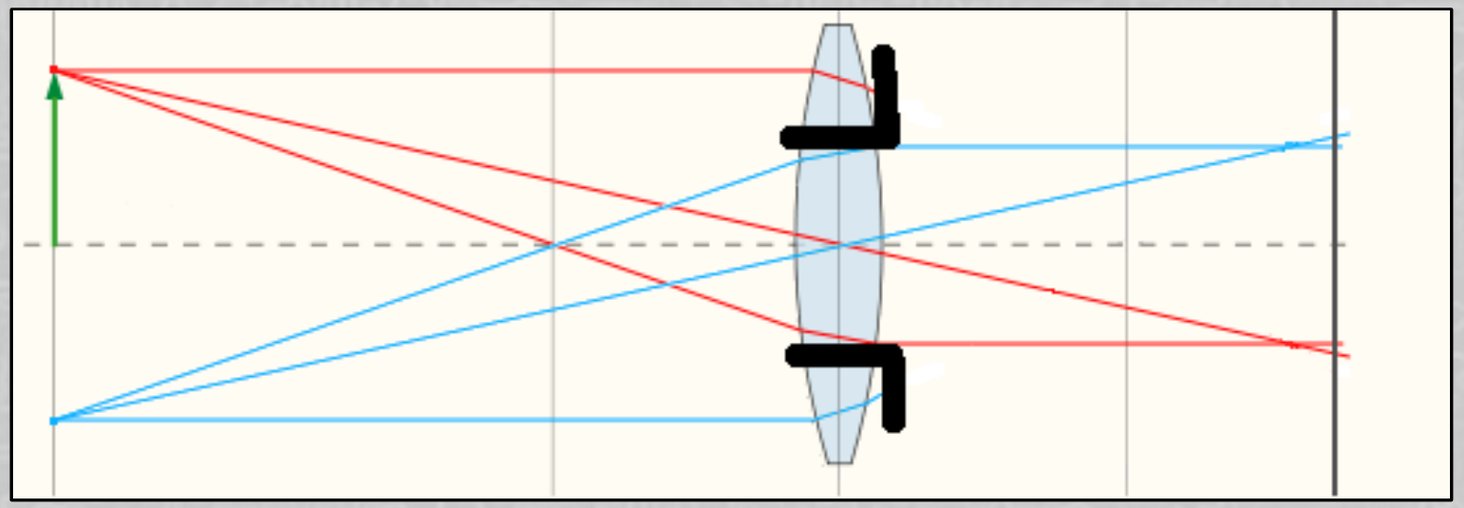


Апертура (бленда)

- В обективите има специален елемент (обикновено е диафрагма), който ограничава светлината, постъпваща към филма/сензора.
  - В човешкото око, зеницата играе ролята на апретура
- Апертурата може да бъде свита („затворена“), с цел да се стесни снопа от светлинни лъчи, минаващ през оптиката
  - В нашата едно-лещова аналогия, това е все едно да намалим диаметъра на лещата

Апертура

- В най-разпръснатата си точка (при лещата), лъчите вече са в по-тесен сноп, затова разфокусирането е по-малко. Т.е., при по-затворена апертура, размазването не е толкова голямо. Затварянето на апертурата увеличава Depth of field



Относителна апертура

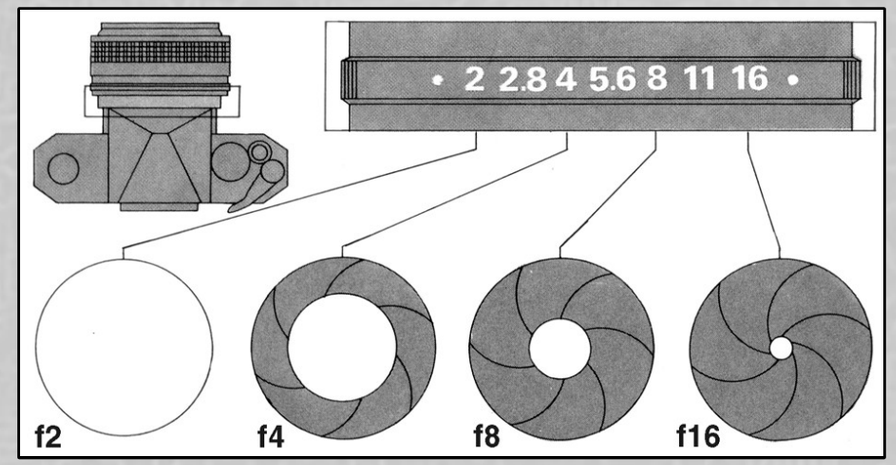
- Тъй като големината апертурата в обектива зависи от големината на самия обектив, обикновено се използва отношението между фокусното разстояние на обектива и диаметъра на входната зеница:

  к = f/D

  - Колкото по-голямо е това число, толкова по-“отворен“ е обектива (повече светлина, по-плитък DOF)
  - Обикновено под f-число (бленда) се има предвид *f/число*
    - Бленда 4 ще рече f/4, т.е. к = ¼ = 0.25

Апертура

- Във фотографията се използват почти изключително f-числа. По-ниско f-число означава по-отворен обектив
  - Има максимална апертура (минимално f-число) – при нея обектива пропуска най-много светлина и дава най-плитък DOF



Примерни f-числа:

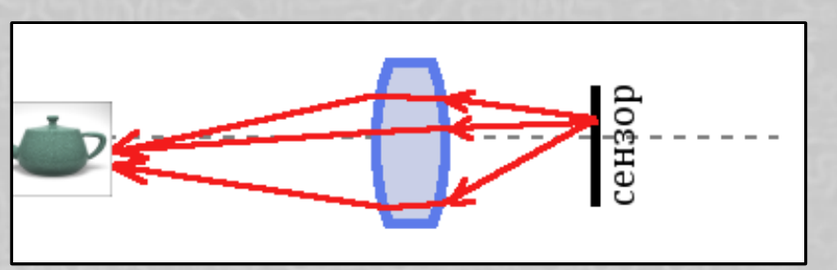
- f/1.0-f/1.2: най-светлосилните обективи; изключително плитък DOF
- f/3.5: нормална бленда на компактен цифров фотоапарат
- f/2.1 - f/8: човешкото око (на тъмно и на светло)

Апертура

- Ниските f-числа се ползват с артистична цел – да се отдели субектът от фона (f/5.6 и f/32)

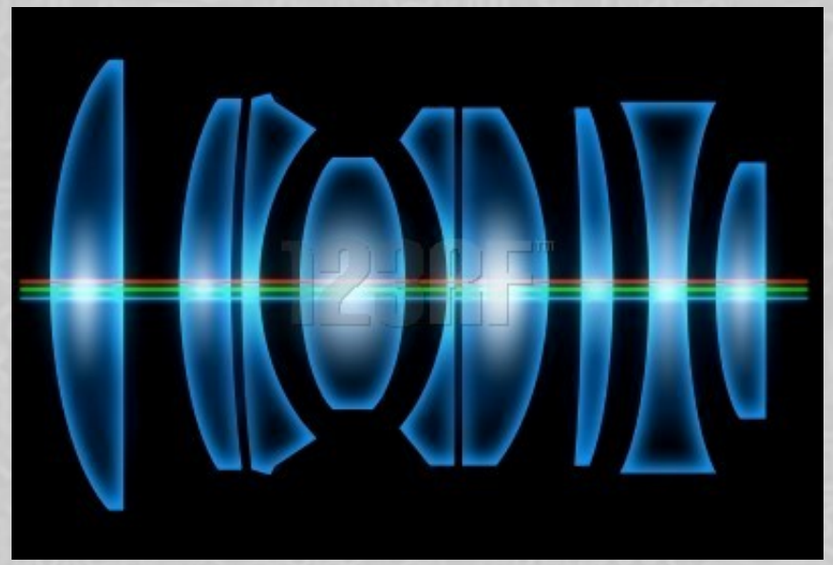
Симулиране на focal blur в raytracing-а

- Можем, за всеки пиксел, да изстрелваме по много лъчи от сензора, да ги пречупим през лещата, и да видим къде ще отидат в сцената
- За съжаление, лещата е най-простият, но и най-лошият обектив – притежава всички старателно отбягвани недостатъци



Симулиране на focal blur

- Да трасираме през истински обектив?



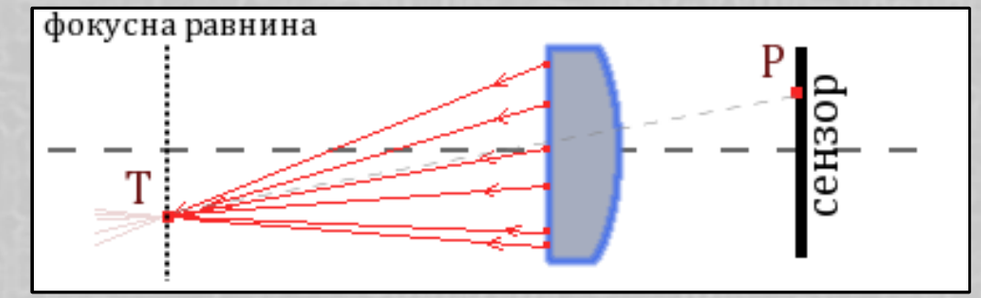
- За съжаление, истинските обективи са с много елементи, някои от които са и с доста сложни форми (например, асферичните елементи). Ще е ужасно бавно!

Симулиране на focal blur

- Ще се върнем на идеята с единична леща, само че, вместо да пречупваме лъчите, директно ще ги изстрелваме от повърхността на лещата
  - Зафиксираме си определен пиксел (P), и намираме образа му T върху фокусната равнина
  - Изстрелваните лъчи започват от случайни точки от челната повърхност на лещата, и са насочени към T.
  - За удобство, ще приемам, че челната повърхност на лещата е плоска

Симулиране на focal blur

- Т.е., така симулираме „събирането“ на лъчите от лещата, само че в обратната посока
- Обектите, които не са точно на фокус, ще участват (ще бъдат удряни от лъчи) в различни (съседни) пиксели
- С този алгоритъм, не изстрелваме излишни лъчи



Симулиране на focal blur

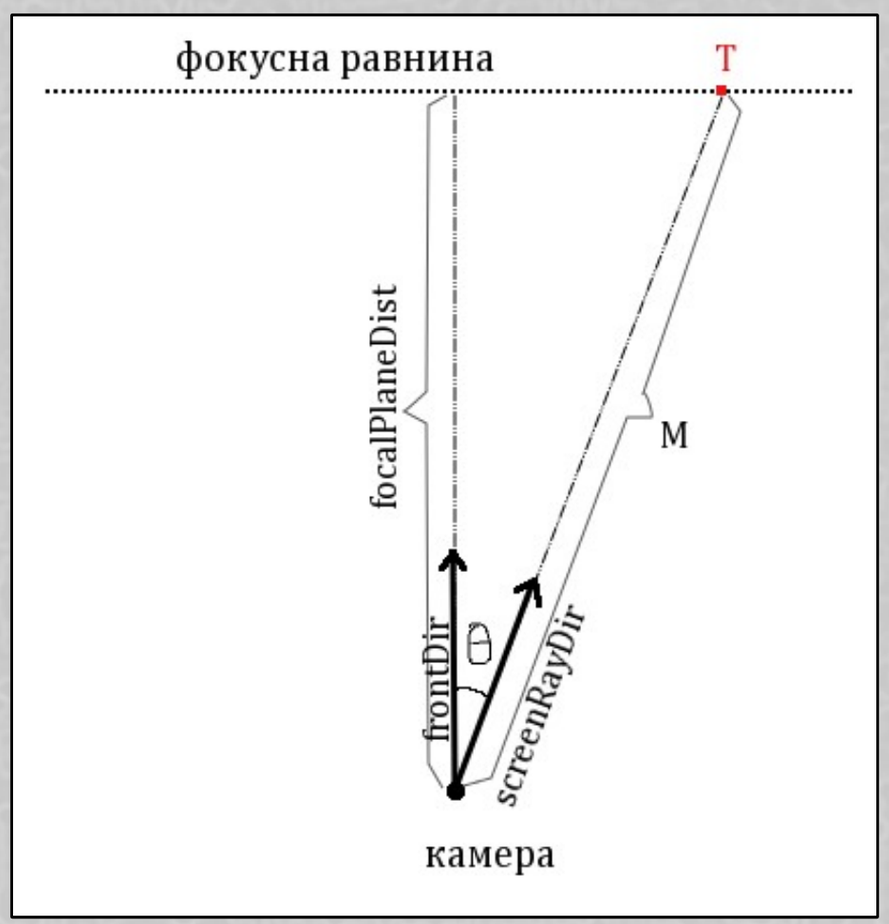
- Реално не е необходимо изображението върху сензора да е обърнато наопаки. Можем да ползваме getScreenRay(), както и досега, и този лъч да пресечем с фокусната равнина. Това ще ни бъде точката T. После стартовите точки върху лещата остават същите (тя е симетрична)
- Не е необходимо да сечем лъча с фокусната равнина. Достатъчно е просто да мащабираме ray.dir с подходящ множител M:
  - T = camera.pos + ray.dir * M

Симулиране на focal blur

- Ако frontDir е посоката „напред“ на камерата, а focalPlaneDist е разстоянието до фокусната равнина, то

  $M = focalPlaneDist / \cos(\Theta)$

  $\cos(\Theta) = frontDir \cdot screenRayDir$



Симулиране на focal blur

- Ако rightDir и upDir са посоките „надясно“ и „нагоре“ на камерата, и приемем, че camera.pos е в средата на лещата, то стартовите точки по повърхността на лещата може да генерираме с

  ray.start = camera.pos + *u* * rightDir + *v* * upDir,

  където *u*, *v* са случайни числа, равномерно разпределени в единичния кръг (аналог на апертурата тук е радиуса на кръга: по-малък радиус = по-свита апертура = по-голямо f-число)

Алгоритъм за симулиране на focal blur

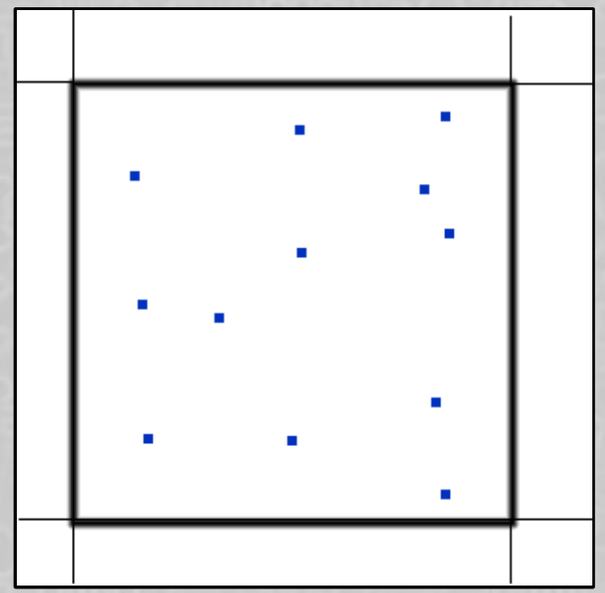
```
function computeFocalBlurredPixelXY(x, y):
    sum = Color(0, 0, 0)
    screenRayDir = camera.getScreenRay(x, y).dir
    M = focalPlaneDist / (frontDir * screenRayDir)
    T = camera.pos + screenRayDir * M
    for i = 1 to numDOFSamples:
        (u, v) = getUniformUnitDisc() * apertureSize
        ray.start = camera.pos + u * camera.rightDir + v * camera.upDir
        ray.dir = T - ray.start
        sum += raytrace(ray)
    return sum / numDOFSamples
```

Алгоритъм за симулиране на focal blur

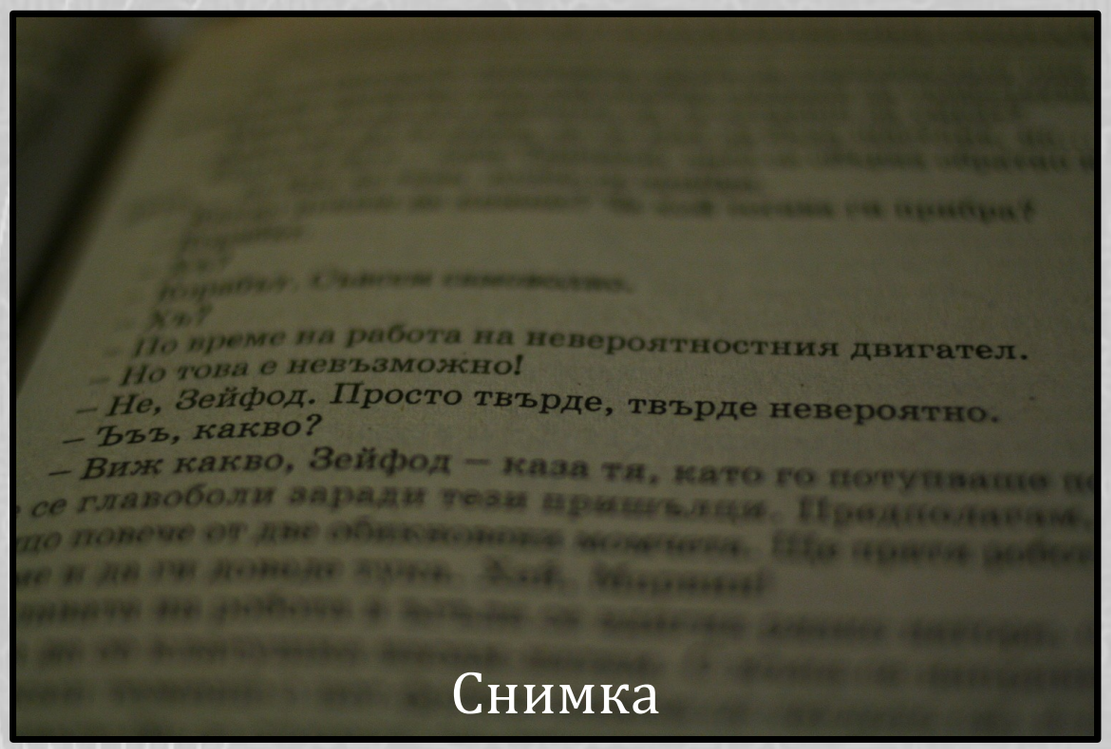
- Изникват няколко въпроса
  - Как да определим focalPlaneDist?
    - Може просто да се задава от потребителя, а може и да реализираме автофокус – да намерим най-близката пресечна точка на frontDir с геометрията
  - Как да определим apertureSize?
    - Това свойство симулира големината на отвора на диафрагмата. Трябва да е обратнопропорционално на f-числото. Тук може да направим пълно и детайлно превръщане от f-число до размер (като вземем под внимание fov, sensor size и други (физически акуратна камера)), или просто като ползваме 1/f-числото (quick'n'dirty)

Алгоритъм за симулиране на focal blur

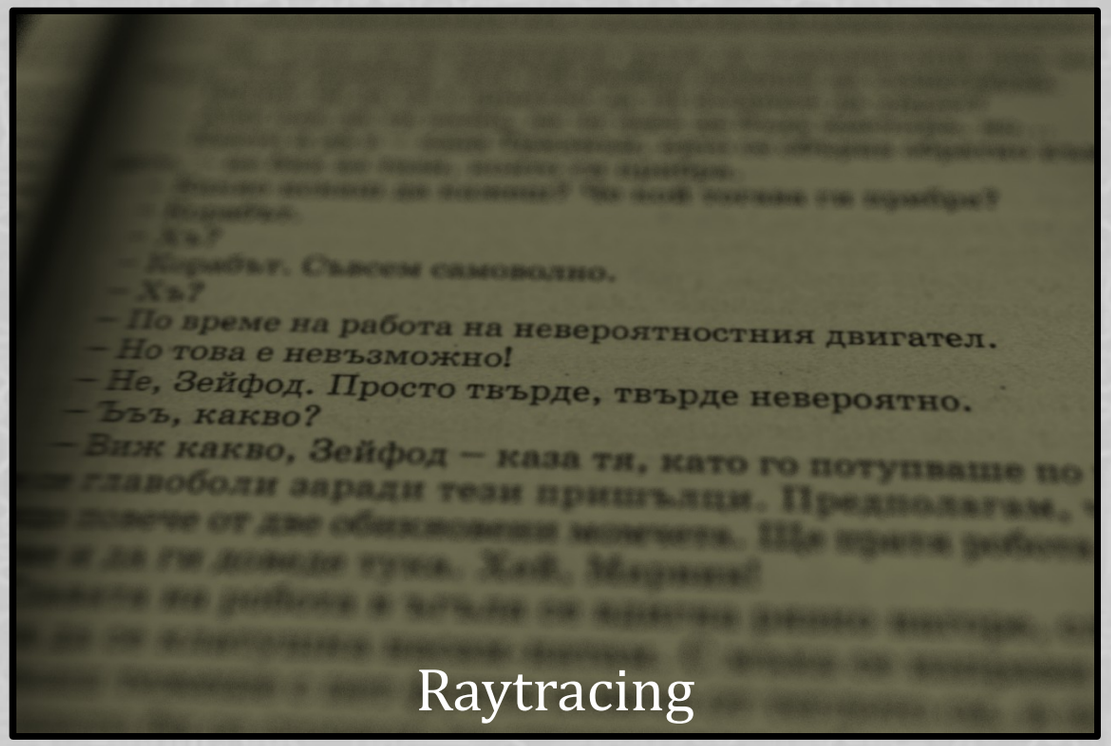
- И какво стана с anti-aliasing-а?
  - В computeFocalBlurredPixelXY() така или иначе взимаме доста голям брой семпъли за пиксел; досегашната antialiasing логика става излишна. Вместо нея, можем, за всеки семпъл, да сменяме x и y като им добавяме по едно случайно число от [0..1]; Така отместваме целта на произволна дробна позиция вътре в пиксела



Резултати



Снимка



Raytracing

Резултати