matfyz

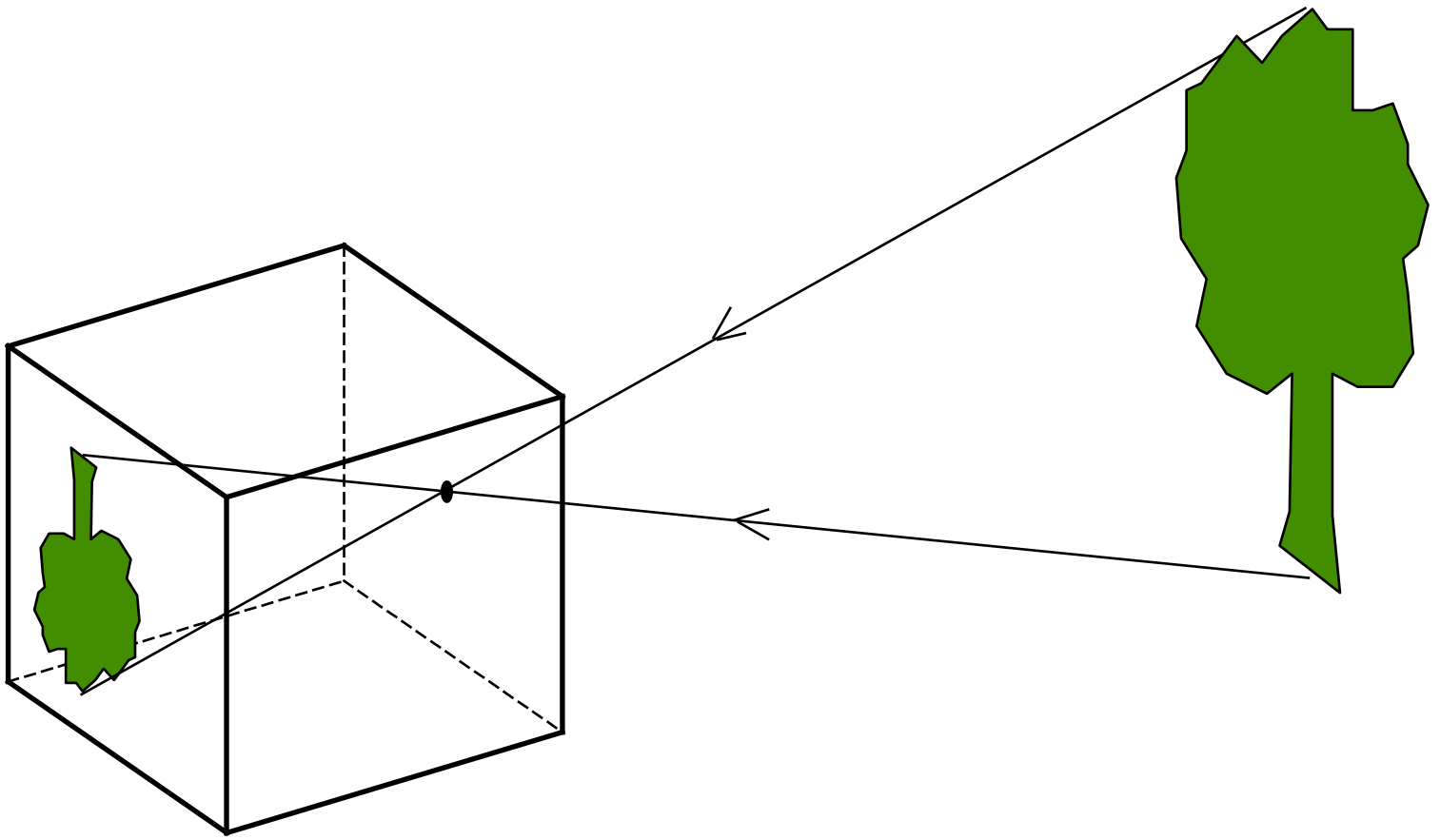
Computer Graphics Charles University

Rekurzivní sledování paprsku

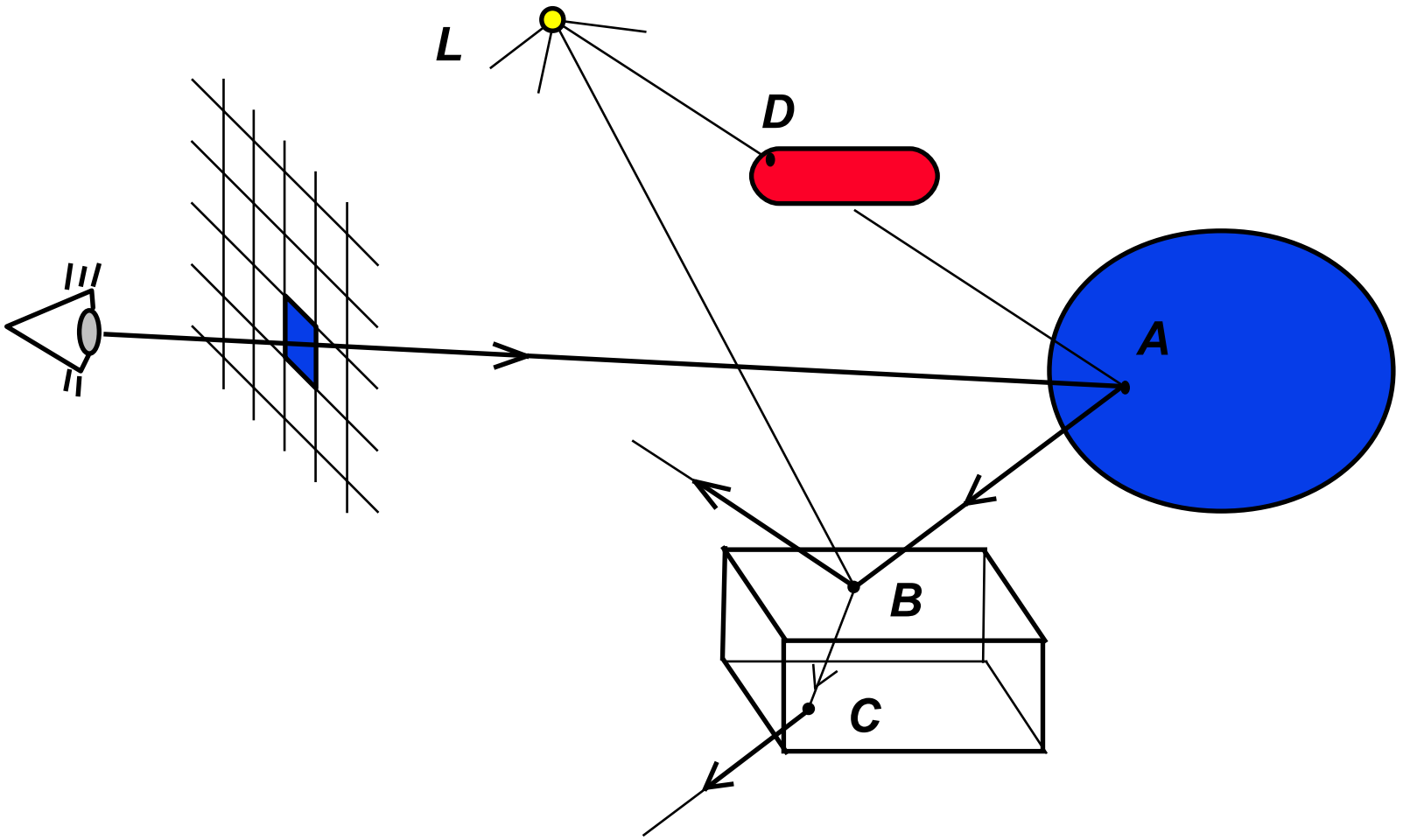
© 1996-2016 Josef Pelikán
CGG MFF UK Praha

pepca@cgg.mff.cuni.cz
http://cgg.mff.cuni.cz/~pepca/

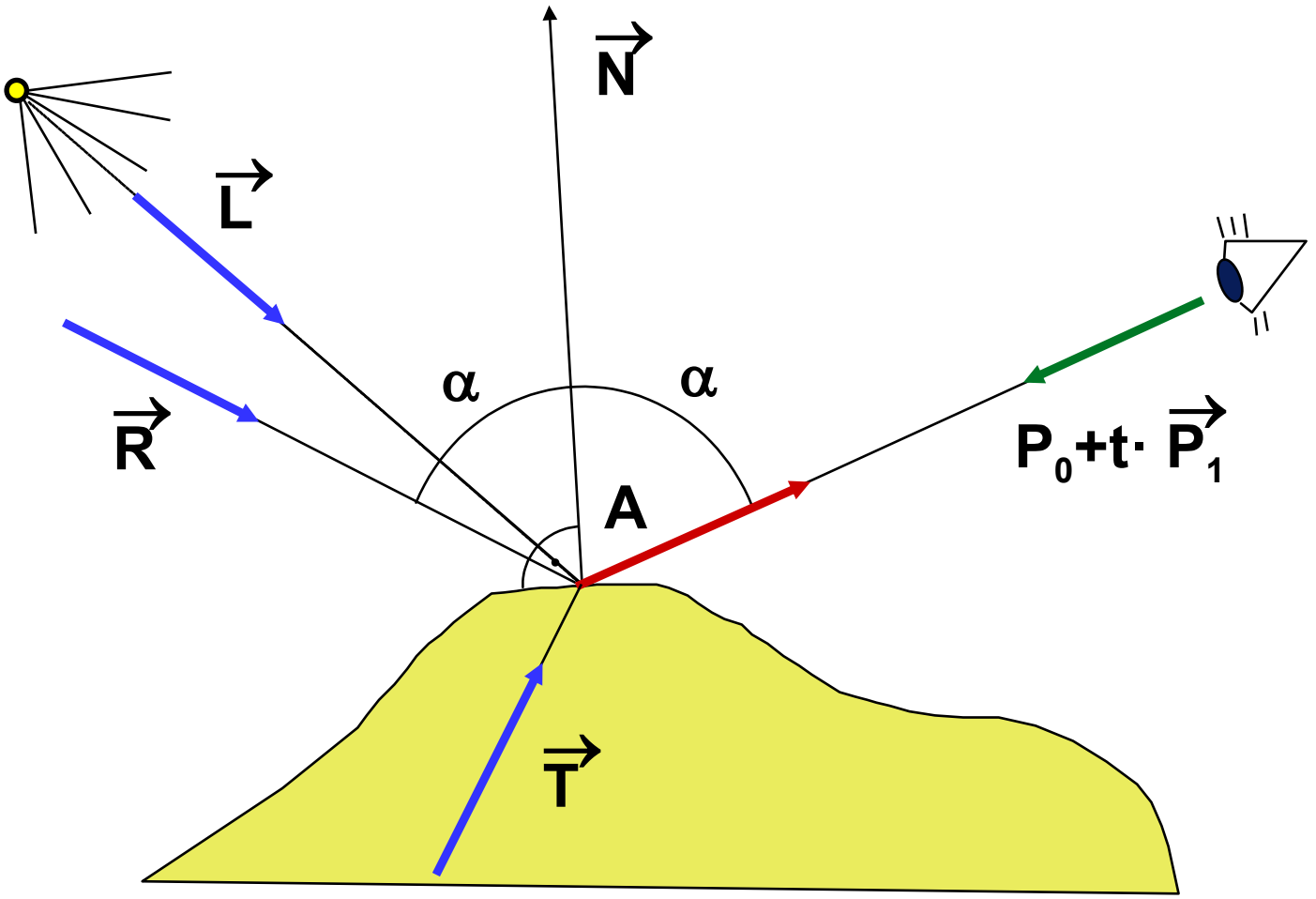
Model dírkové kamery



Zpětné sledování paprsku



Skládání světla



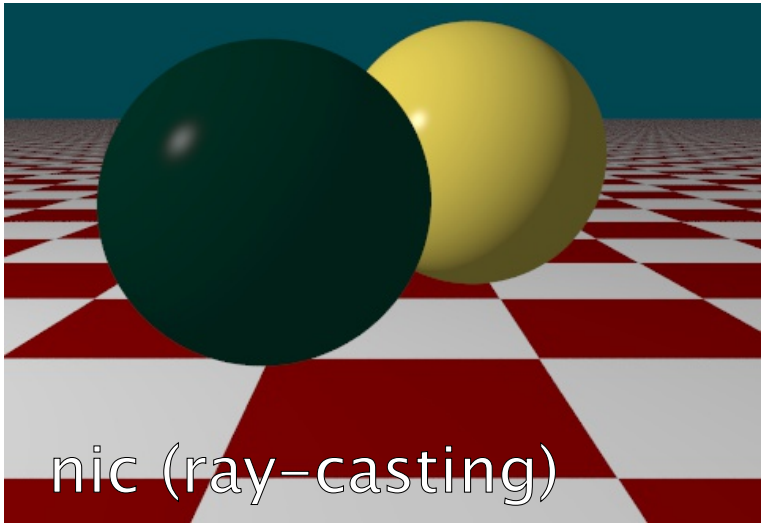
Rekurzivní implementace

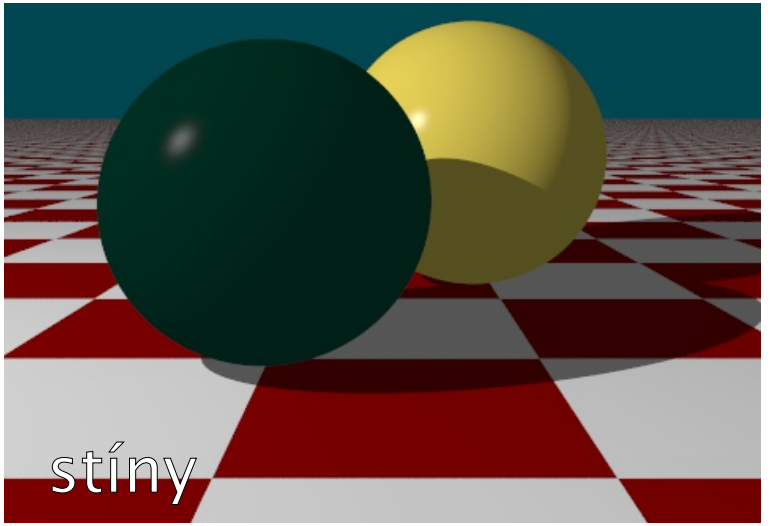
```
function Sleduj ( P0, P1 : Point3D; hloubka : integer ) : RGB;
        { P0..počátek paprsku, P1..směr, hloubka..počet odražení }
var A, R, T : Point3D;              { pomocné body a vektory }
    B : RGB;                        { výsledná barva }
begin
  A := Prusecik(Scena,P0,P1);  { průsečík paprsku se scénou }
  if A==0 then Sleduj := Pozadi  { paprsek na nic nenarazil }
          else
    begin                           { paprsek narazil na těleso }
      B := 0;
      for i := 1 to N do            { příspěvky od světelných zdrojů }
        if Prusecik(Scena,A,L[i]-A)==0 then B := B + kL * Svetlo(A,L[i]);
      hloubka := hloubka + 1;
      if hloubka <= maxhloubka then  { konec rekurze }
        begin
          if "A je odrazivé" then
            begin
              "spočítej R"          { odražený paprsek }
              B := B + kR * Sleduj(A,R,hloubka);
            end;
```

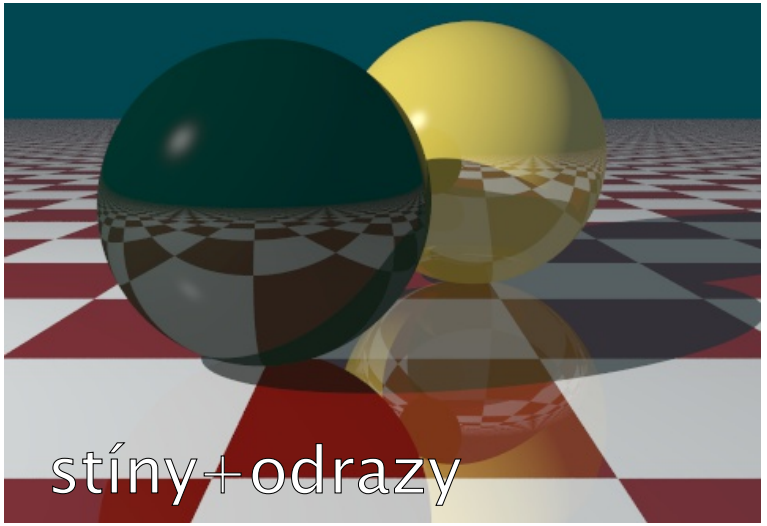
Rekurzivní implementace

```
            if "A je průhledné" then
              begin
                "spočítej T"            { lomený paprsek }
                B := B + kT * Sleduj(A,T,hloubka);
              end;
          end;
        Sleduj := B;                    { nastřádaná návratová hodnota }
      end;
end;
```

Jednotlivé složky







Řízení hloubky rekurze

1. **statické** - omezení konstantou (nehodí se pro scény obsahující zrcadla i méně odrazivé lesklé povrchy)
2. **dynamické** - podle „významu" paprsku
   - „**význam**" je procentuální podíl právě sledovaného paprsku na výsledné barvě pixelu (pro primární paprsky: 100%)
   - omezení „významu" konstantou (např. 2-10%)
3. **kombinované** - omezení hloubky i „významu" paprsku

Výpočet průsečíku

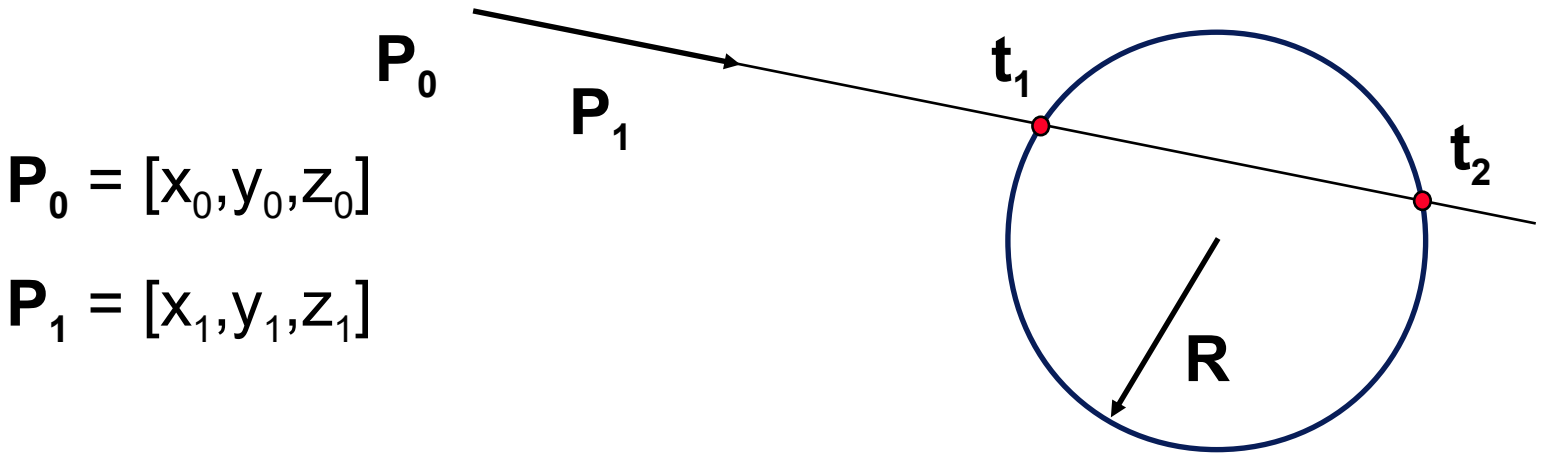
1. souřadnice průsečíku (nebo „nekonečno”)
2. číslo tělesa (plochy)
3. normálový vektor povrchu tělesa

➡ **časově nejnáročnější operace** (80-90% času)

– urychlovací metody

- **analytický výpočet** (koule, válec, kvádr, ..)
- **numerický výpočet** (aproximační plochy, rotační tělesa, implicitní povrchy, ..)

Průsečík paprsku s koulí



$\mathbf{P_0} = [x_0, y_0, z_0]$

$\mathbf{P_1} = [x_1, y_1, z_1]$

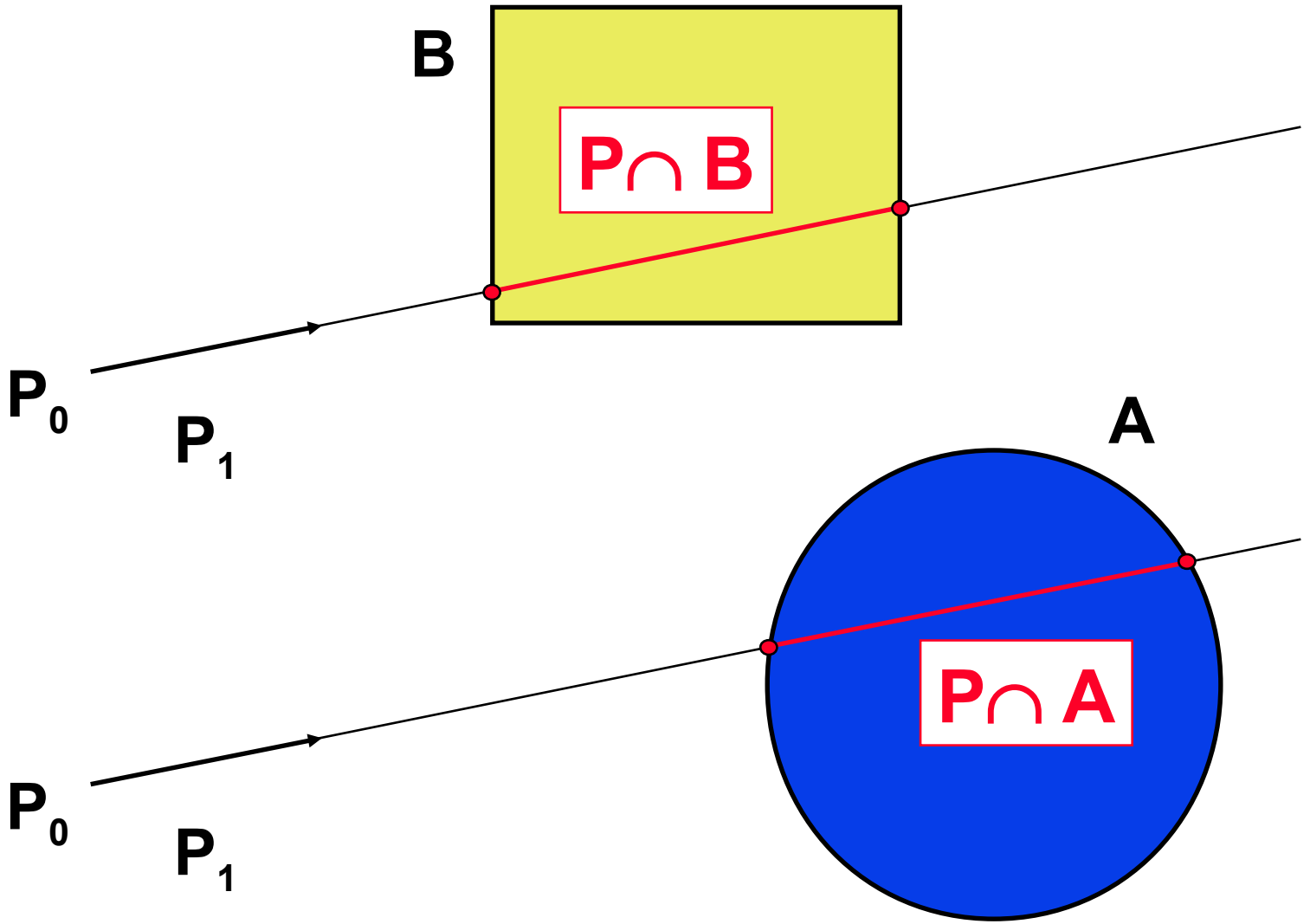
- paprsek: $\mathbf{P_0} + t\,\mathbf{P_1}, \quad t > 0$ (1)
- koule (střed v počátku): $\mathbf{x^2 + y^2 + z^2 - R^2 = 0}$ (2)
- po dosazení (1) do (2) vyjde **kvadratická rovnice** pro t:

$$\mathbf{t^2 (x_1^2+y_1^2+z_1^2) + 2t (x_0x_1+y_0y_1+z_0z_1) + x_1^2+y_1^2+z_1^2-R^2 = 0}$$

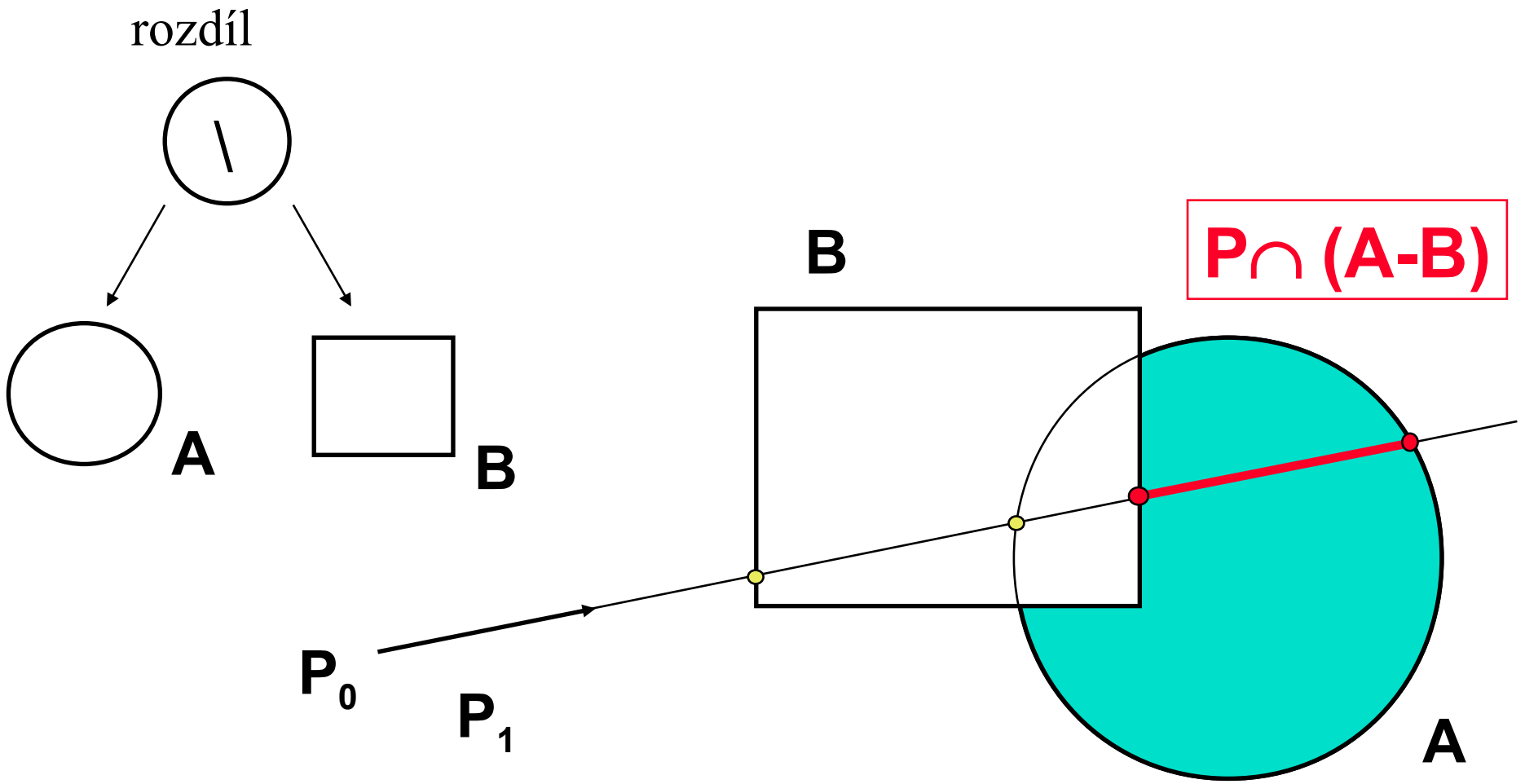
Průsečík s CSG scénou

- pro **elementární tělesa** umím průsečíky spočítat
  - začátek a konec průniku paprsku s tělesem pro konvexní tělesa
- **množinové operace** provádím na polopřímce paprsku:
  - díky distributivitě: $\mathbf{P \cap (A-B) = (P \cap A) - (P \cap B)}$
  - obecný průnik paprsku se scénou je množina intervalů

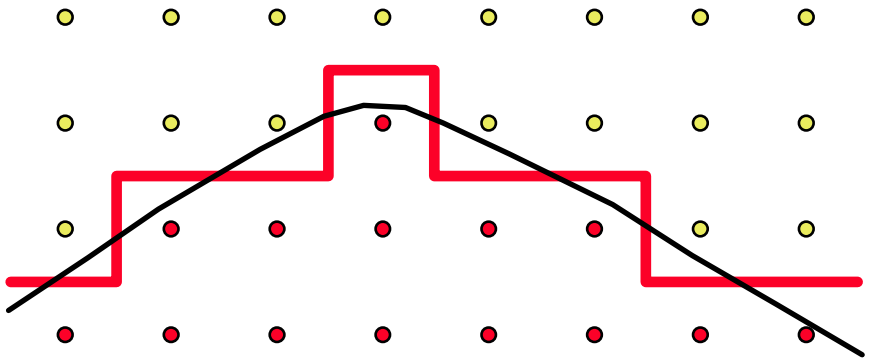
Průsečíky P∩A, P∩B



Průsečík P∩ (A−B)

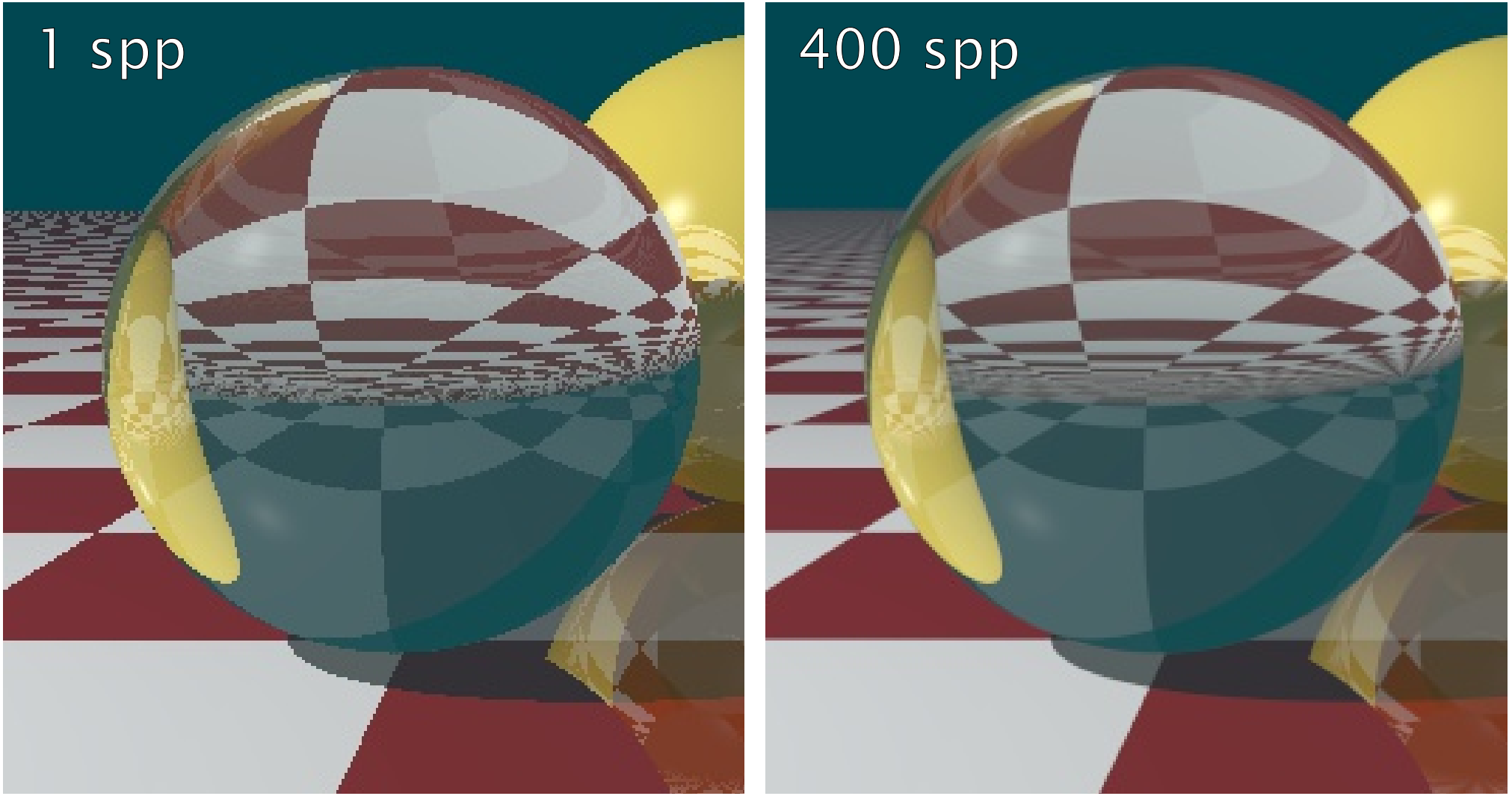


Vyhlazování (anti-aliasing)

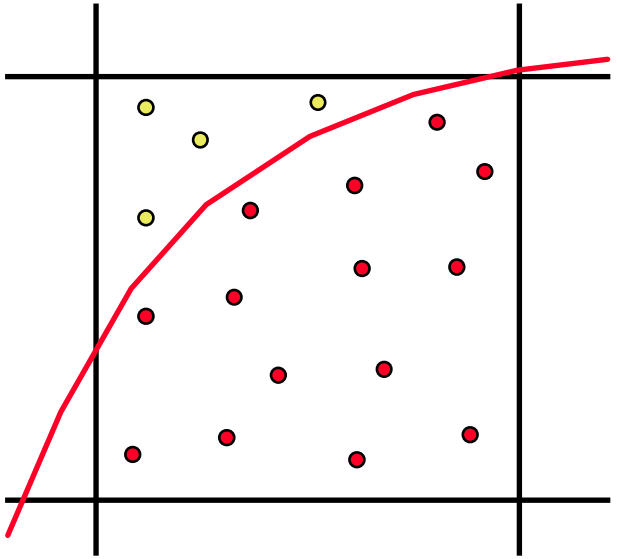


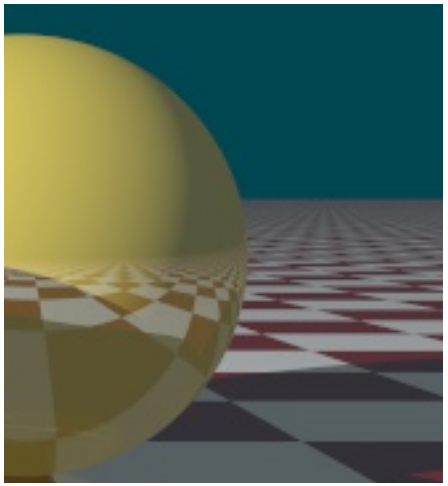
- pouze jeden paprsek na jeden pixel - vzniká tzv. „**alias**”
  - zubaté okraje
  - interference
- **zvětšením rozlišení** se problém nevyřeší

Ukázka vyhlazování (super-sampling)



Vícenásobné vzorkování





- pošleme **více paprsků** jedním pixelem
- výslednou barvu spočítáme jako **aritmetický průměr**
- přechody budou **jemnější** (bez zubů)
- paprsky by měly pokrývat plochu pixelu **rovnoměrně**, ale ne úplně pravidelně!

Textury

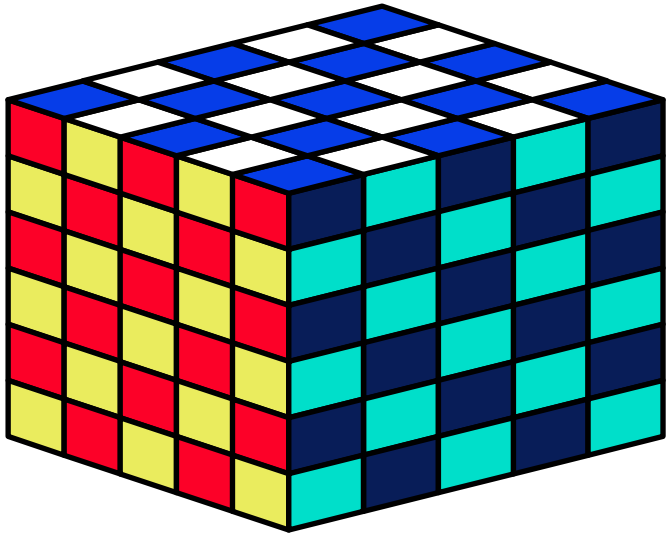
- změna **barvy** na povrchu předmětů
- mohou ovlivňovat též **odrazivost** ($\mathbf{k_D}$ a $\mathbf{k_S}$), **normálový vektor**, ...

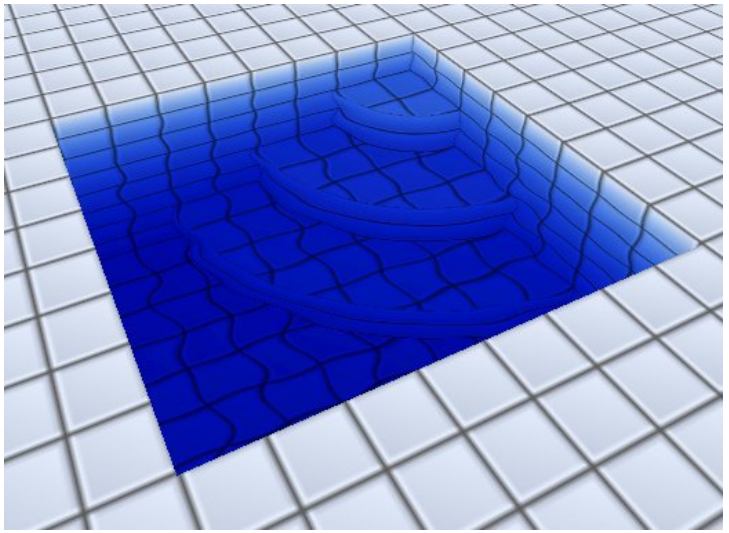
➡ realistické napodobení **fyzikálních vlastností materiálu** (barevný vzorek, mikro- i makro-struktura povrchu)

– dřevo, kůra pomeranče, leštěný kov, ..

➡ nahrazení složité **geometrie** (vlny na vodě, ..)

2D textura



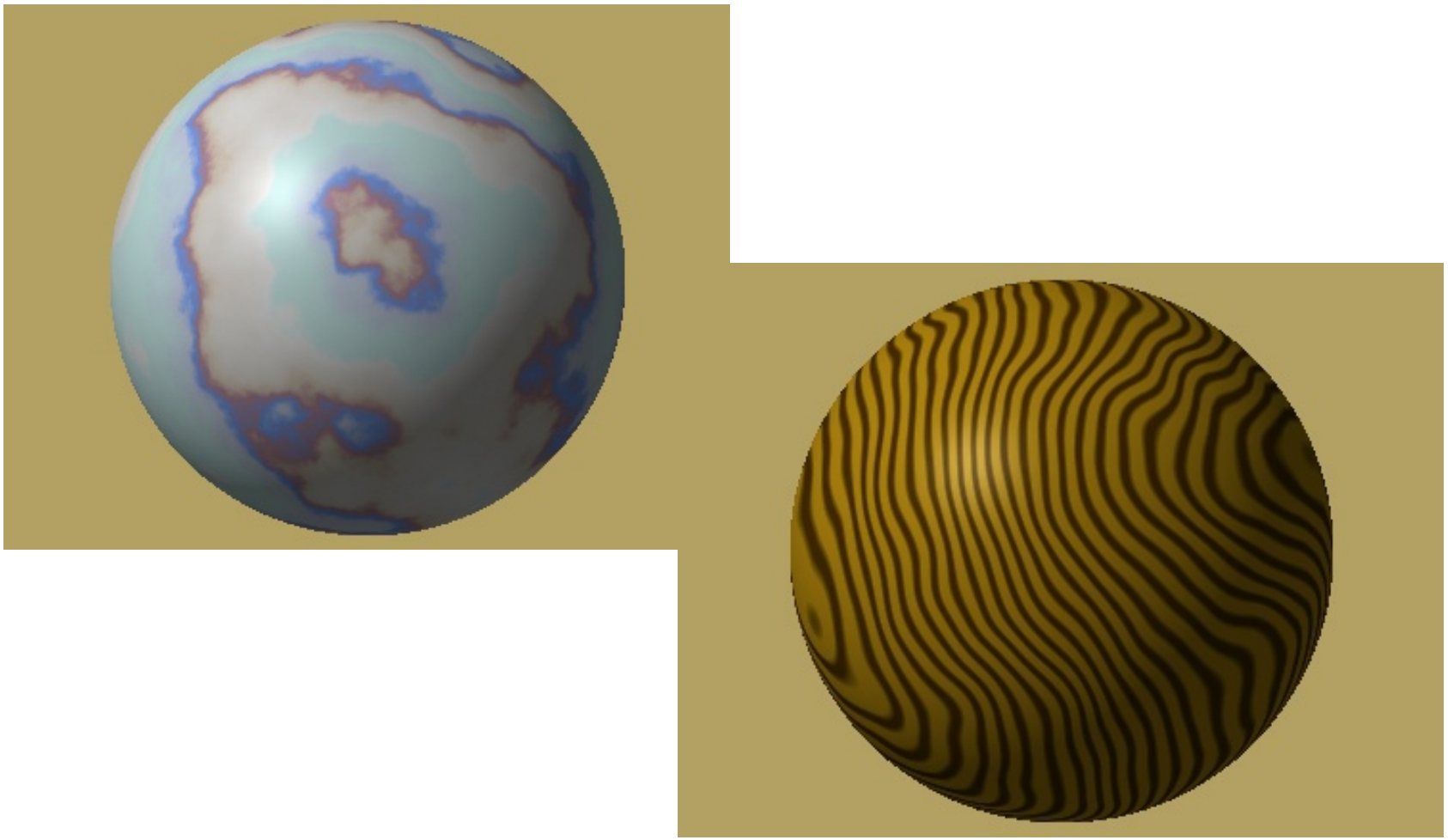


- pokrývá **povrch** tělesa (jako tapeta)
- **mapování textury**: $[x,y,z] \rightarrow [u,v]$
- **vlastní textura**: $[u,v] \rightarrow$ **barva** (normála, ..)

3D textury

- zachycují změny veličin **uvnitř tělesa**
- napodobují **vnitřní strukturu materiálu** (dřevo, mramor, ...)
- není třeba **mapování**
- **3D textura**: [*x, y, z*] → **barva** (odrazivost, apod.)
- často se využívají 3D **šumové funkce** (napodobení náhodného vrásnění)

Příklady 3D textur



Konec

Další informace:

- **A. Glassner**: ***An Introduction to Ray Tracing***, Academic Press, London 1989, 1-31
- **Jiří Žára a kol.**: ***Počítačová grafika***, principy a algoritmy, 374-378