

---

# Počítačová grafika III

## Úvod

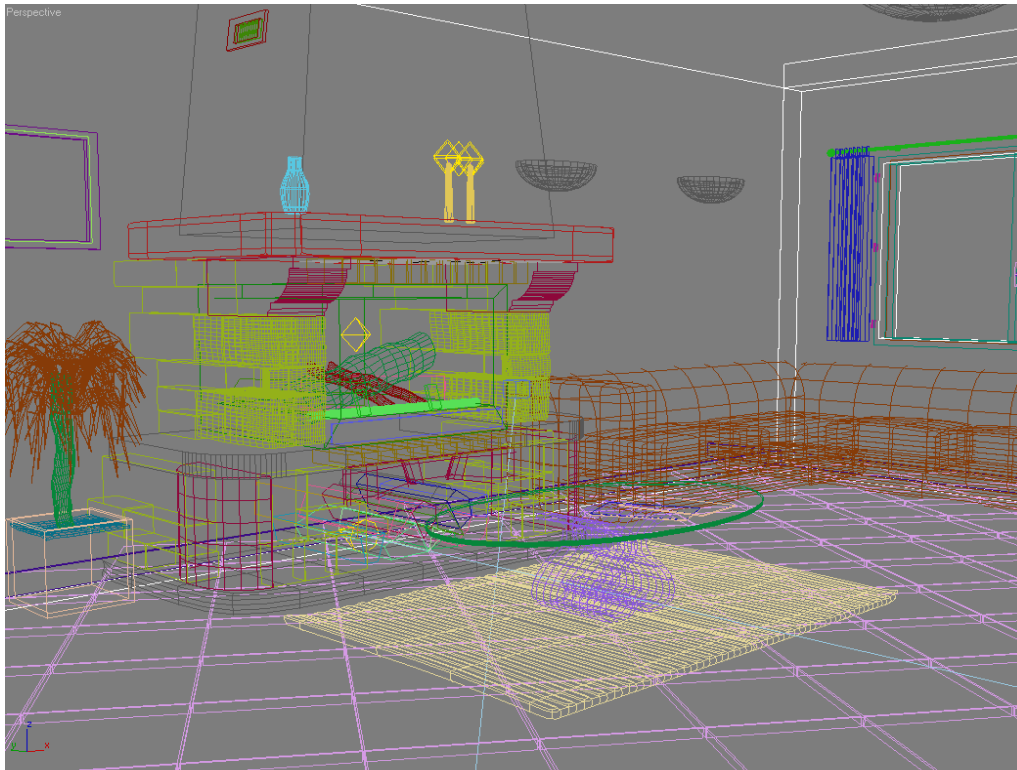
---

Jaroslav Křivánek, MFF UK

[Jaroslav.Krivanek@mff.cuni.cz](mailto:Jaroslav.Krivanek@mff.cuni.cz)

# Syntéza obrazu (Rendering)

- Vytvoř obrázek...



...z matematického  
popisu scény.

# Popis scény

## ■ Geometrie

- Kde je jaký objekt ve scéně
- Ray casting

## ■ Materiál povrchů

- Barva, lesklost, průsvitnost atd.
- BRDF

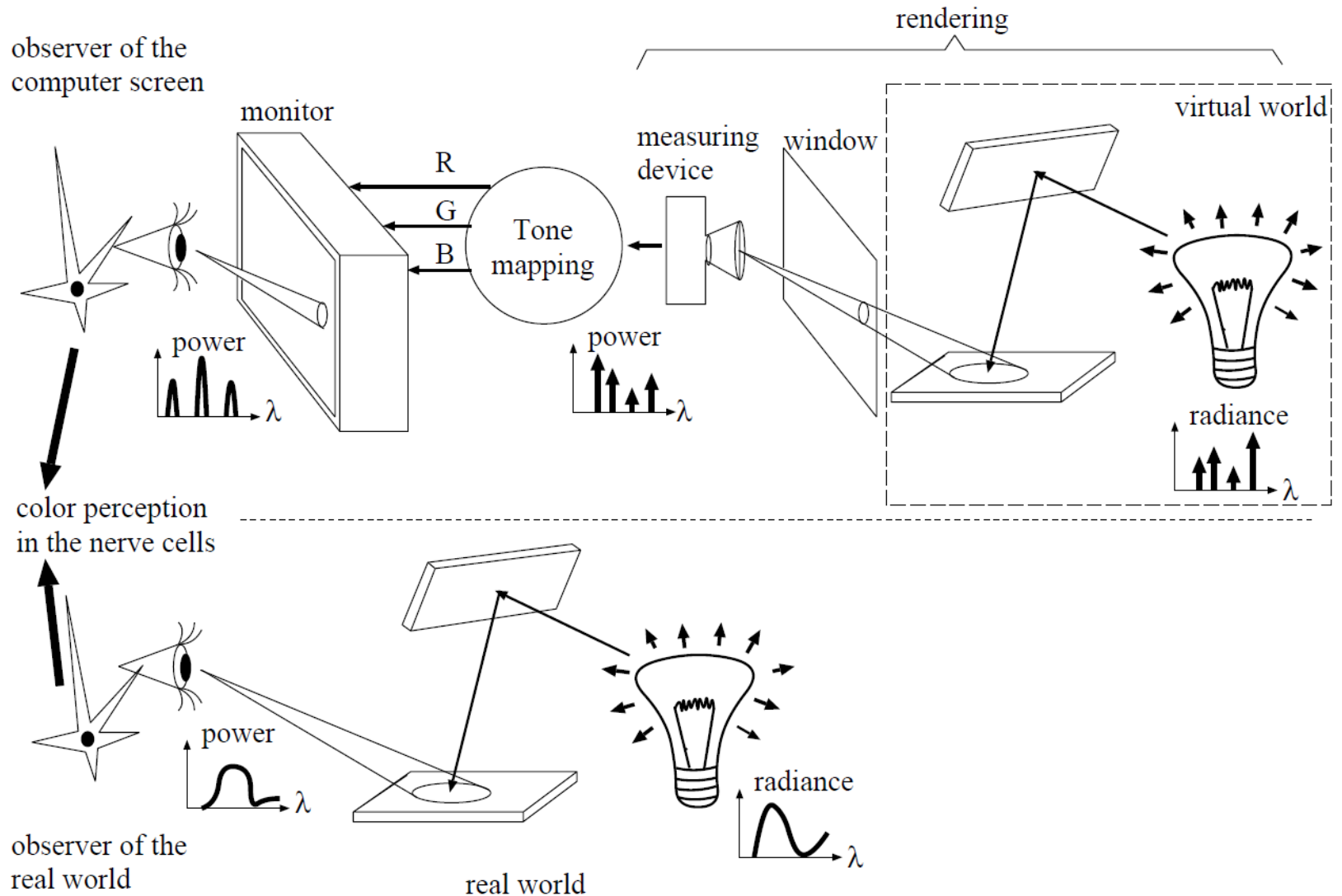
## ■ Zdroje světla

- Směrové a prostorové rozložení emitovaného světla, barva
- Radiometrie

## ■ Kamera (sensor)

- Perspektivní, sférická, ...
- „Měřící rovnice“

# Rendering v kontextu



# Různé přístupy k renderingu

## ■ Nefotorealistický rendering

- ❑ Napodobení uměleckých stylů
- ❑ Technické nákresy
- ❑ Zdůraznění nějaké informace



## ■ Fotorealistický rendering

- ❑ *Cíl*: obrázky jako fotografie
- ❑ *Metoda*: simulace přenosu světla ve scéně
- ❑ **NAŠE TÉMA**



# Aplikace realistické syntézy obrazu

- **Filmy**
- **Interaktivní zábava (hry)**
- **Průmyslový design**
- **Architektura**
- **Virtuální showroomy**
- **On-line obchodování**
- **Kulturní dědictví**
- **Virtuální a rozšířená realita**

# Interdisciplinarita

## ■ Fyzika

- Radiometrie
- Modely interakce světla s materiály
- Teorie transportu světla

## ■ Matematika

- Integrální rovnice
- Metody Monte Carlo

## ■ Informatika

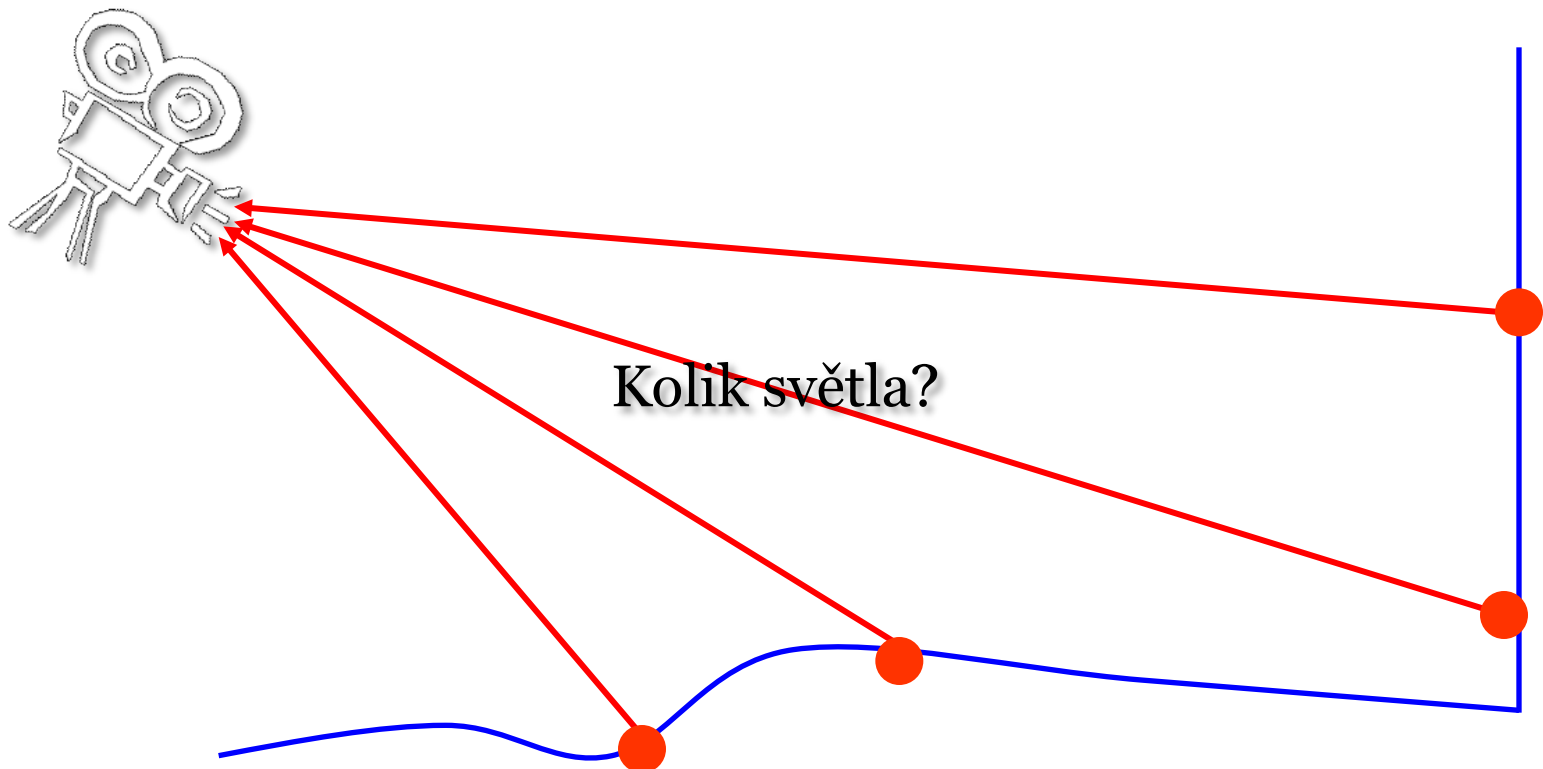
- Výpočetní geometrie
- Programování, Softwarové inženýrství

## ■ Vizuální percepce

## ■ Umění

# Fotorealistická syntéza obrazu

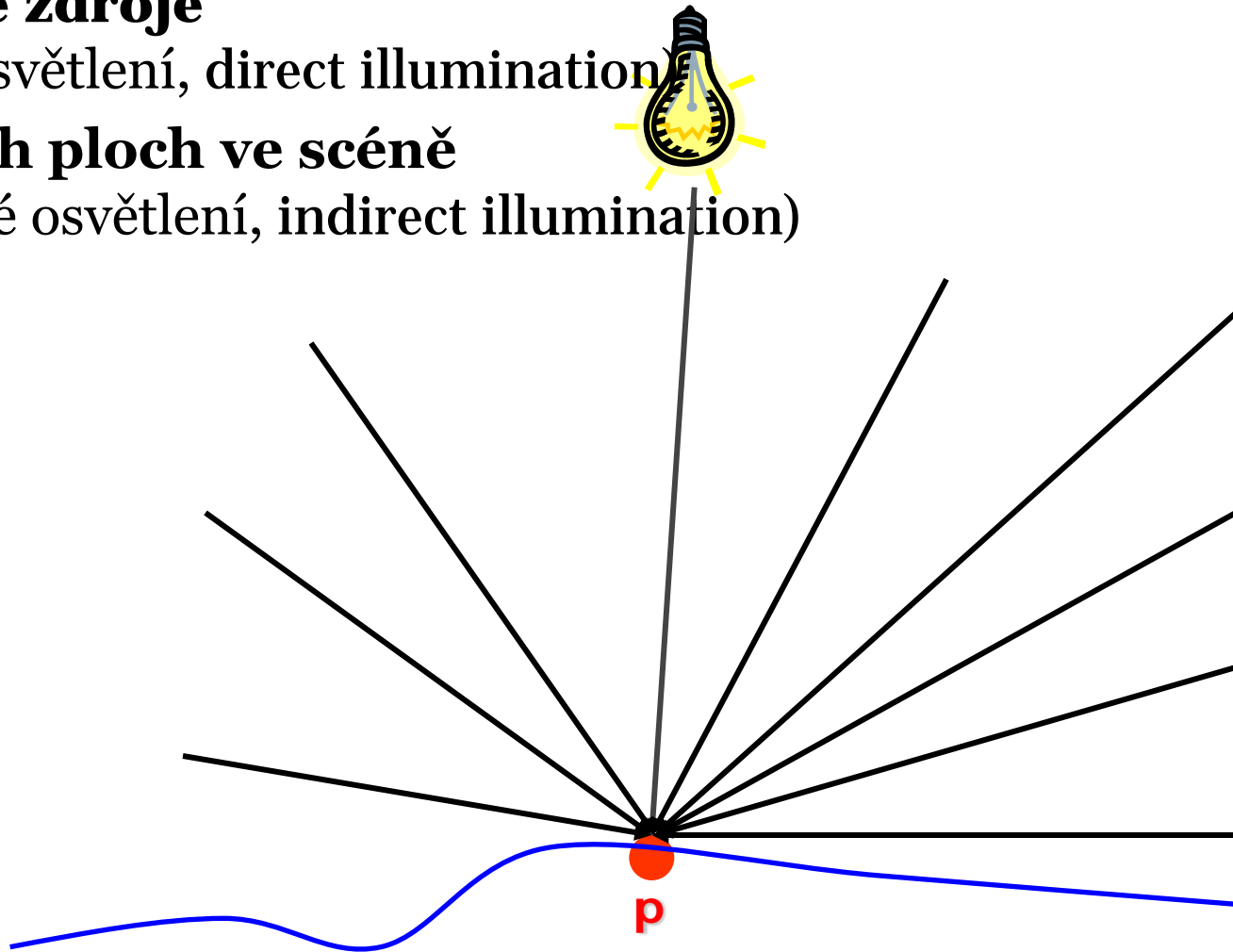
- Pro každý viditelný bod  $\mathbf{p}$  ve scéně
  - Spočítej množství světla odražené směrem ke kameře





# Odkud se přichází světlo?

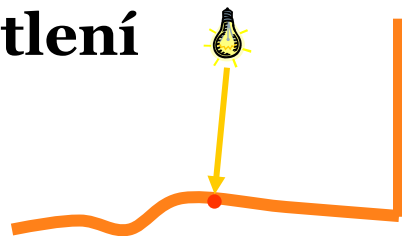
- ❑ ...přímo **ze zdroje**  
(=přímé osvětlení, direct illumination)
- ❑ ... **ze všech ploch ve scéně**  
(= nepřímé osvětlení, indirect illumination)



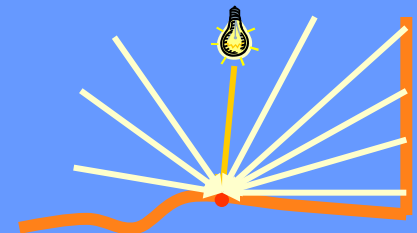
# Globální osvětlení (Global illumination – GI)



**Přímé osvětlení**

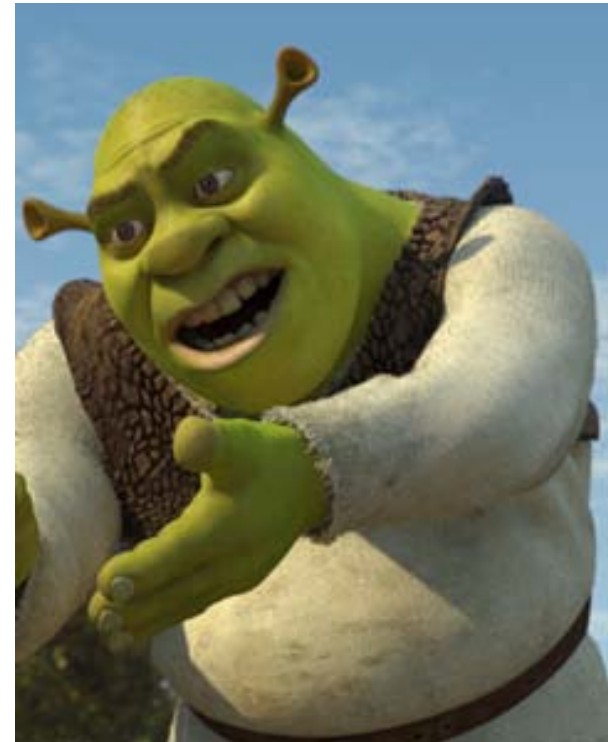


**Globální =  
přímé +  
nepřímé**



# Globální osvětlení (Global illumination – GI)

- Pouze **přímé osvětlení**
  - Světlo se odrazí **JEDNOU** na cestě ze zdroje do kamery



- **Globální osvětlení**
  - Globální = Přímé + Nepřímé
  - Transport světla mezi plochami ve scéně
  - Mnoho odrazů světla

# Efekty globálního osvětlení

- Ideální **odraz/lom** světla
- **Půjčování barev** (color bleeding)
- **Kaustiky** – „prasátka“ (Caustics)



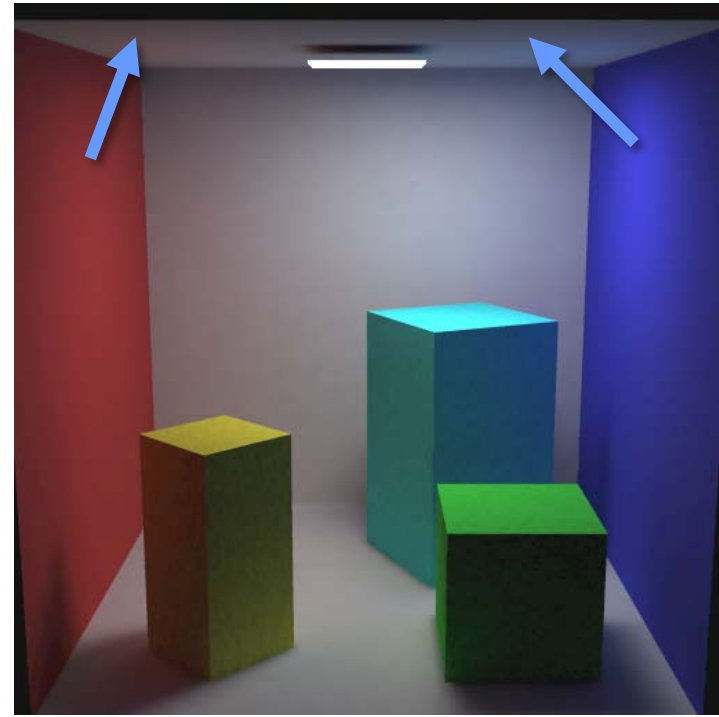
Modeling: Stephen Duck; Rendering: Henrik Wann Jensen

# Ideální odraz/lom

- Sklo, zrcadlo, vodní hladina
- Obraz na povrchu vody je dán rozložením světla v úplně jiné části scény (dno, okolí, nebe, slunce)



# Půjčování barev (Color Bleeding)



- Odraz světla z jednoho difúzního povrchu na jiný
- Důležité např. v malbě
  - Lidé podvědomě využívají půjčování barev k pochopení vzájemného prostorového uspořádání objektů

# Půjčování barev



# “Manuální” globální osvětlení

Monsters Inc., 2001

© Pixar Animation Studios



- Manuálně umístěné zdroje světla nahrazují GI
  - Např. modré světlo na zelené příšerce



# Kaustiky (Caustics)

- „Prasátka“
  1. Zaostření světla při odrazu nebo lomu – lokální zvýšení intenzity světla
  2. Dopad zaostřeného světla na difúzní plochu



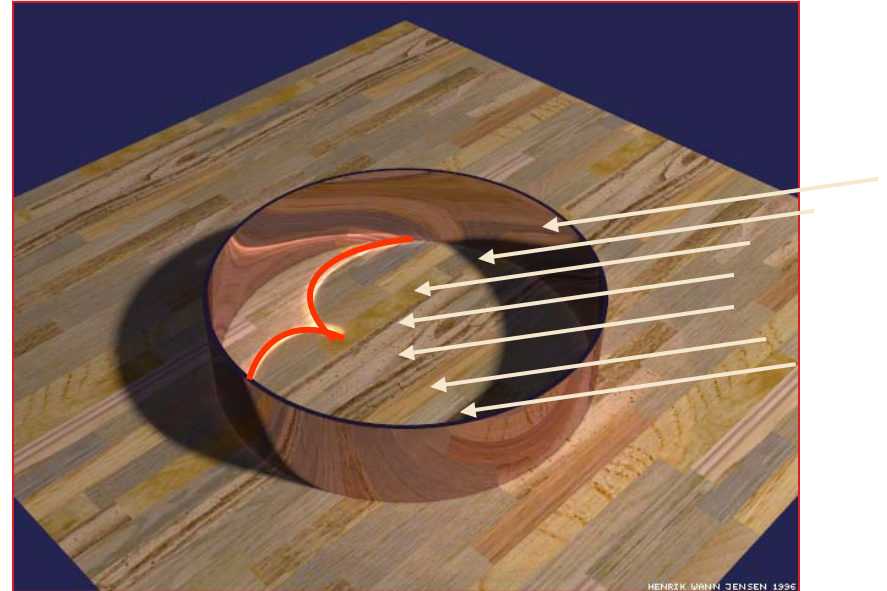
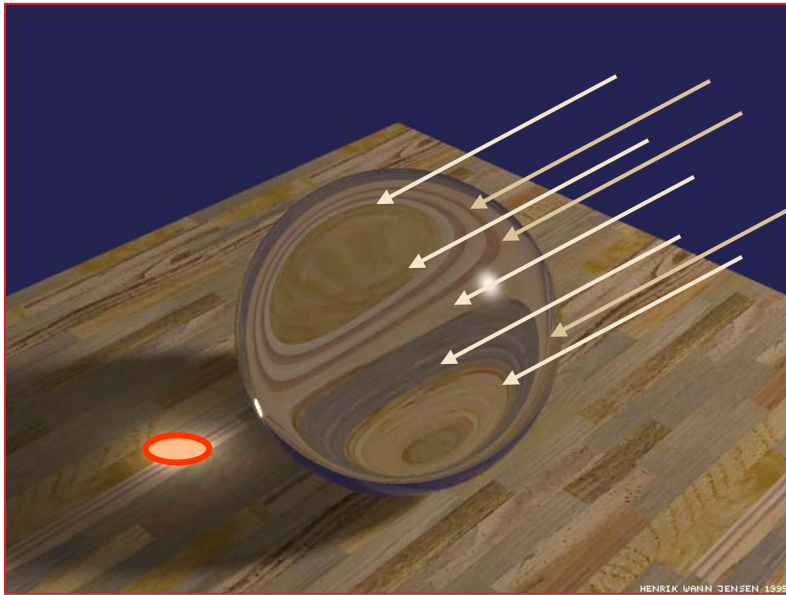
Fotografie



Simulace pomocí fotonových map

# Kaustiky

- Ve fyzice a v počítačovém vidění se kaustikou rozumí buď lokální maximum hustoty světla nebo singularita (nekonečná hustota světelné energie)



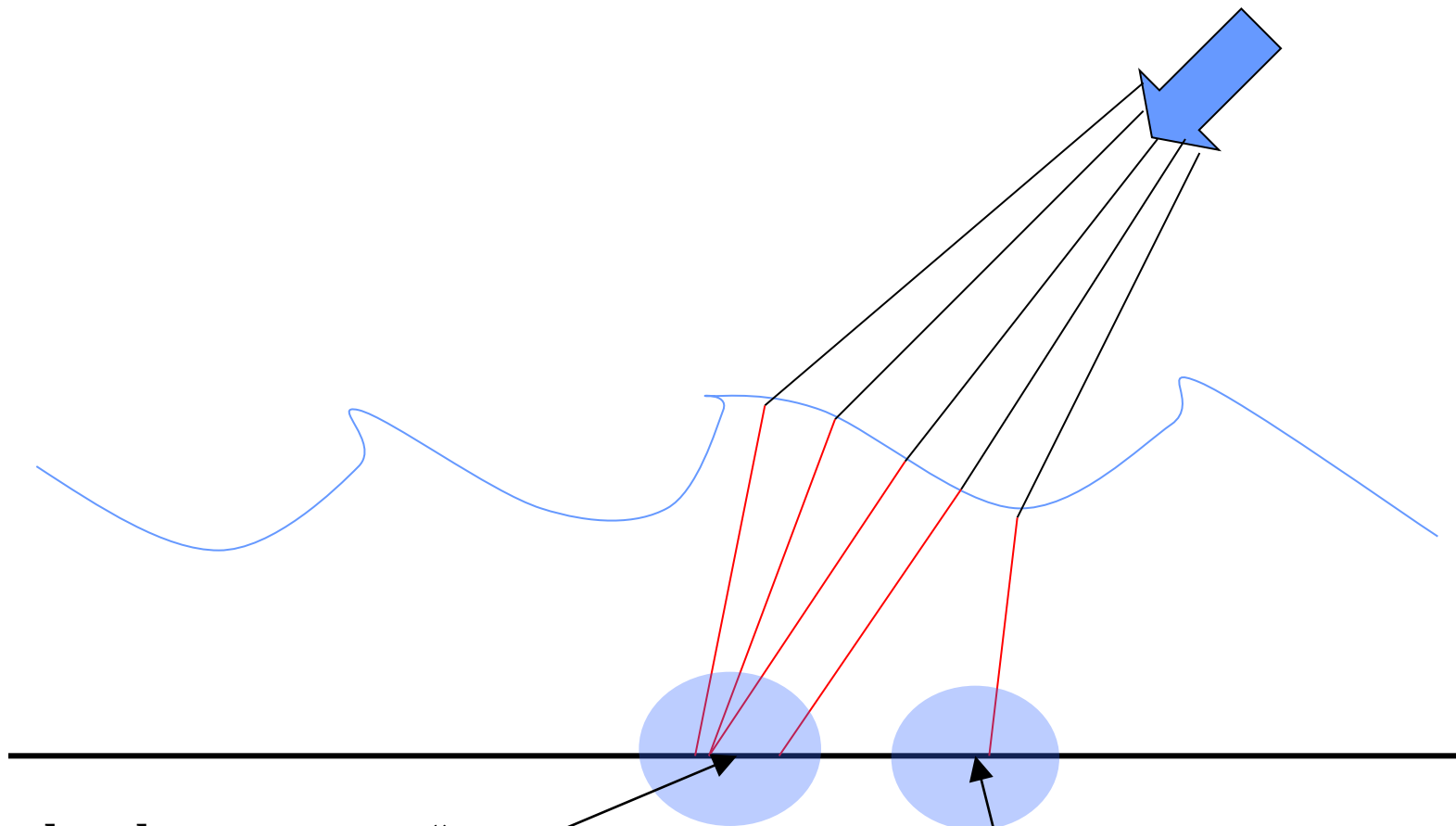
# Pohled na vodu



- Odraz + lom na povrchu vody
- Kaustiky na dně bazénu



# Kaustiky pod vodou



Vysoká „koncentrace“  
(hustota) světelné energie

Nízká hustota  
světelné energie

# Efekty globálního osvětlení ...

- ... jsou důsledkem:
  - **Modulace intenzity světla jako funkce prostoru a úhlu při odrazu světla na površích objektů (*kaustiky*)**
    - Dáno geometrií objektů
    - Materiálovými vlastnostmi objektů (matný x lesklý)
  - **Modulací spektra (barvy) světla při odrazu/lomu (*půjčování barev*)**
    - Tj. změn intenzity světla jako funkce vlnové délky
    - Dáno spektrální odrazivostí materiálů
      - jak moc objekt odráží světlo různých vlnových délek

# Realistická syntéza obrazu: Ingredience

- Popis „množství světla“ v prostoru – **Radiometrie**
- Popis odrazu světla na povrchu – **BRDF**
- Popis rozložení světla v rovnovážném stavu – **zobrazovací rovnice** (rendering equation)
- Numerické metody řešení zobrazovací rovnice
  - Nalezení rozložení světla ve scéně, která odpovídá
    - Zobrazovací rovnici
    - „Okrajovým podmínkám“ = tj. popisu scény
  - Radiační metoda (radiozita), **metody Monte Carlo** (stochastický ray tracing)

---

# **Globální osvětlení ve filmu**

---

# 2001: “Manuální” globální osvětlení





# 2004: “Shrek 2” – Irradiance caching

- První použití GI v animovaném celovečerním filmu
- Irradiance caching



# Irradiance caching



Image credit: Eric Tabellion, PDI DreamWorks

# Irradiance caching



Image credit: Eric Tabellion, PDI DreamWorks

# 2006: „Monster house“ – Sledování cest (Path tracing)



Image courtesy of Columbia Pictures. © 2006 Columbia Pictures Industries, Inc. All rights reserved.

# Sledování cest (Path tracing)



Image courtesy of Sony Pictures Animation. © 2009 Sony Pictures Animation, Inc. All rights reserved.

# Sledování cest (Path tracing)



Image courtesy of Columbia Pictures. © 2009 Columbia Pictures Industries, Inc. All rights reserved.

# Sledování cest (Path tracing)

Alice in the Wonderland, 2010



Images courtesy of Walt Disney Pictures

SOLIDANG

# Point-based GI: “Up” (bez GI)



PG III (NPGR010) – J. Křivánek 2011 © Pixar Animation Studios  
Image credit: Per Christensen



# Point-based GI: “Up” (s GI)



# Point-based GI: “Toy Story 3” (bez GI)



# Point-based GI: “Toy Story 3” example (with GI)



# Příště: Fyzika

- Světlo, rozložení světla v prostoru, popis světelných zdrojů, odrazivé vlastnosti materiálů