
Počítačová grafika III

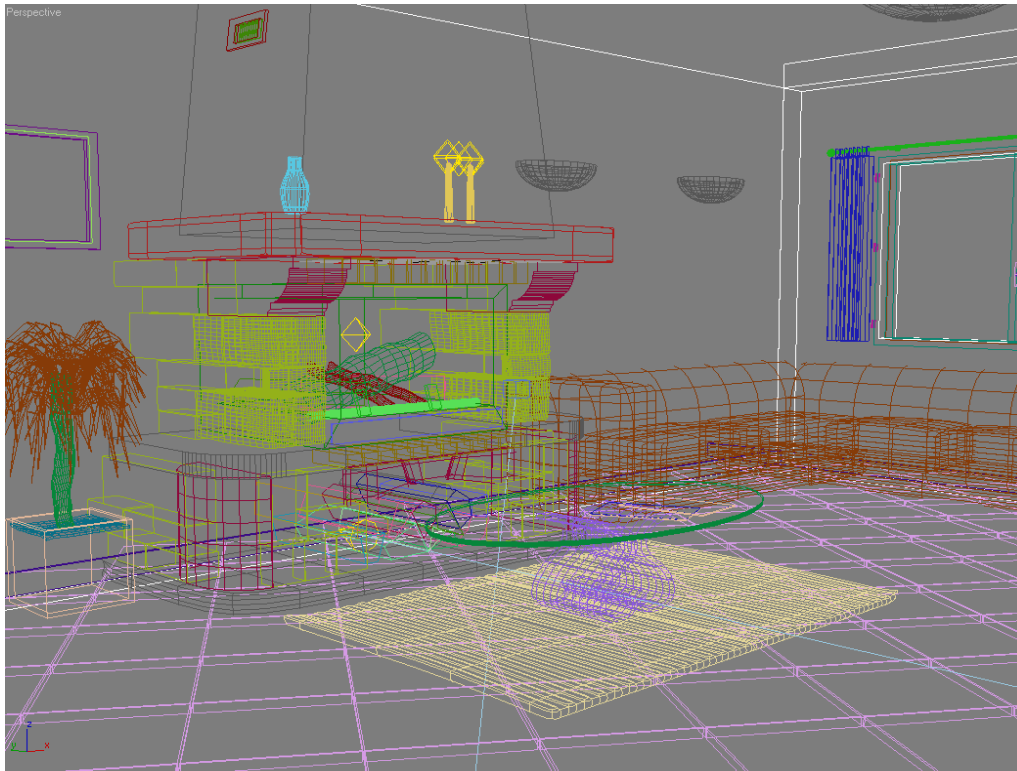
Úvod

Jaroslav Křivánek, MFF UK

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

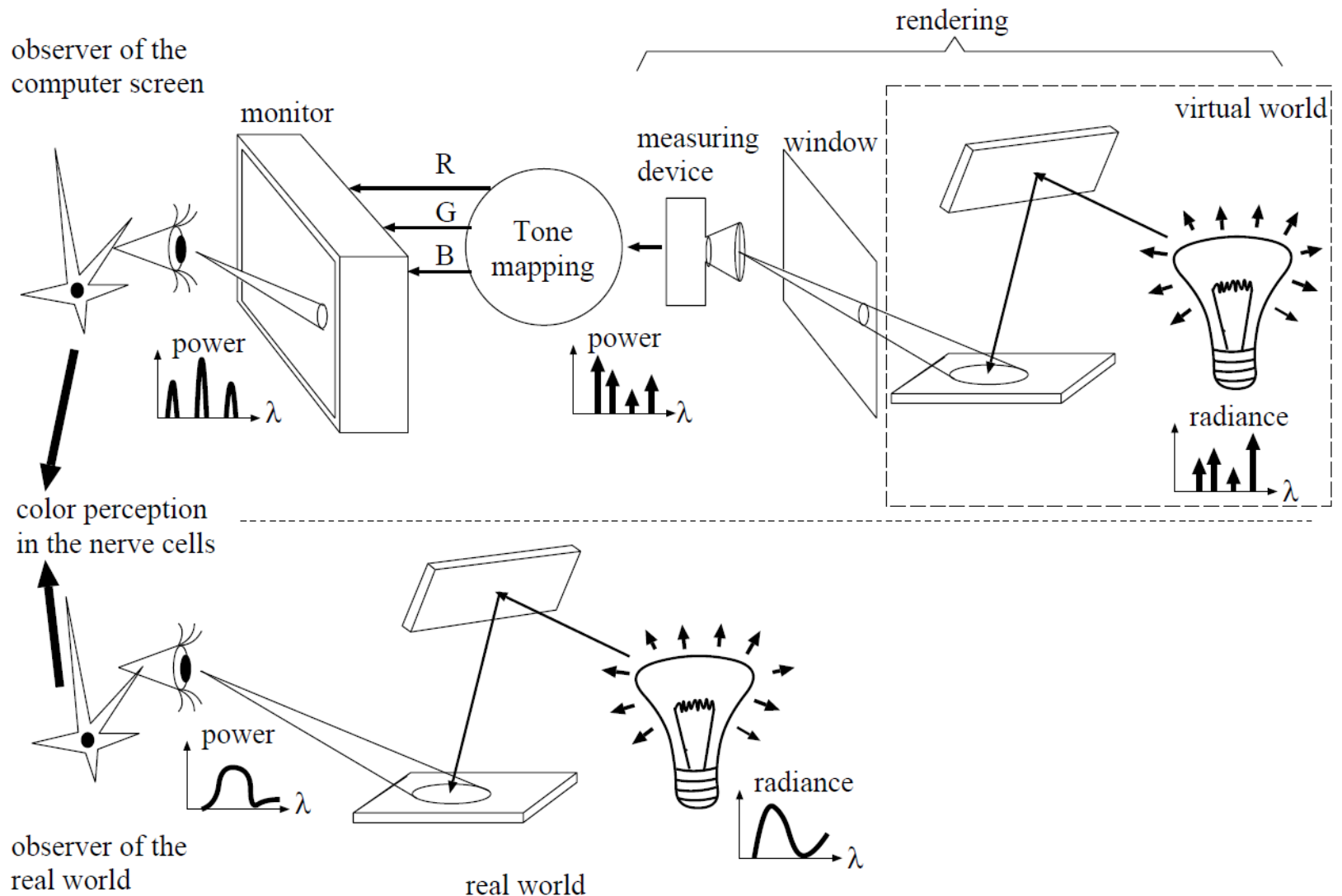
■ Zdroje světla

- Směrové a prostorové rozložení emitovaného světla, barva
- Radiometrie

■ Kamera (sensor)

- Perspektivní, sférická, ...
- „Měřicí 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

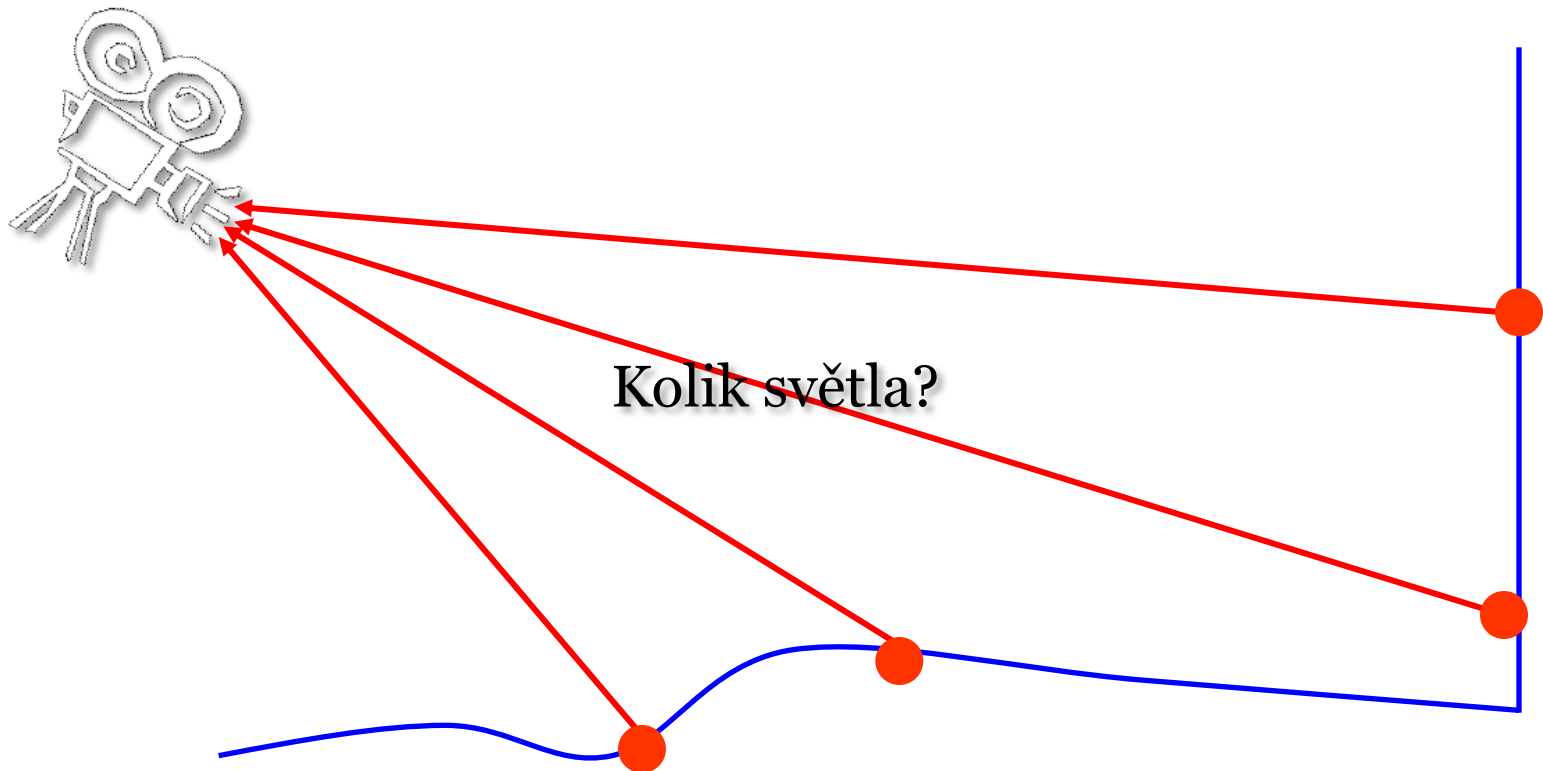
- Výpočetní geometrie
- Programování, Softwarové inženýrství

■ Vizuální percepce

■ Umění

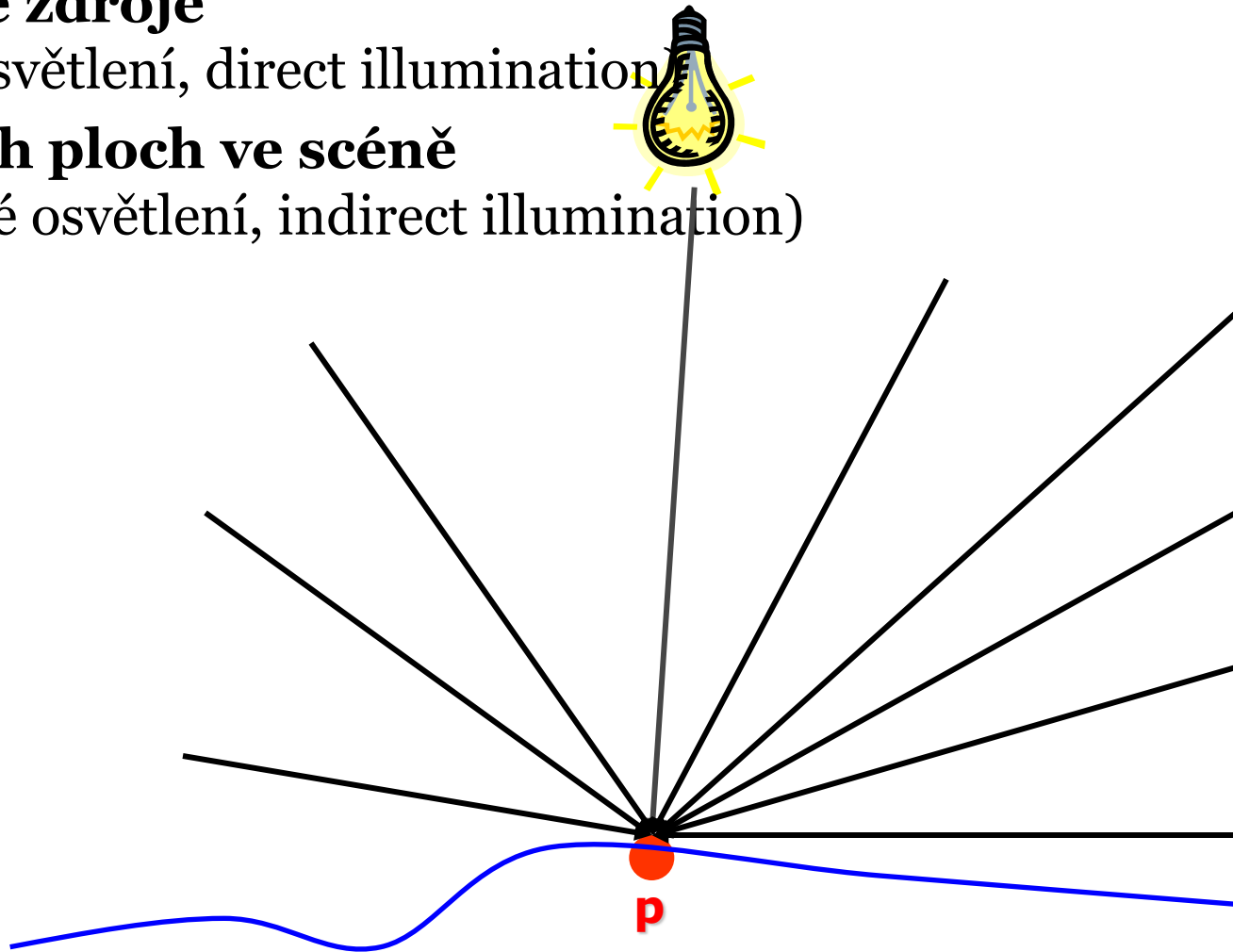
Fotorealistická syntéza obrazu

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



Odkud se přichází světlo?

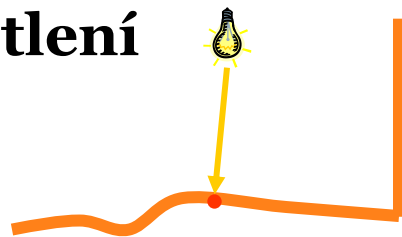
- ❑ ...**přímo ze zdroje**
(=přímé osvětlení, direct illumination)
- ❑ ... **ze všech ploch ve scéně**
(= nepřímé osvětlení, indirect illumination)



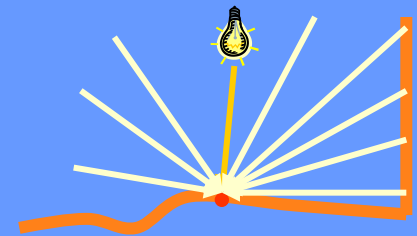
Globální osvětlení (Global illumination – GI)



Přímé osvětlení

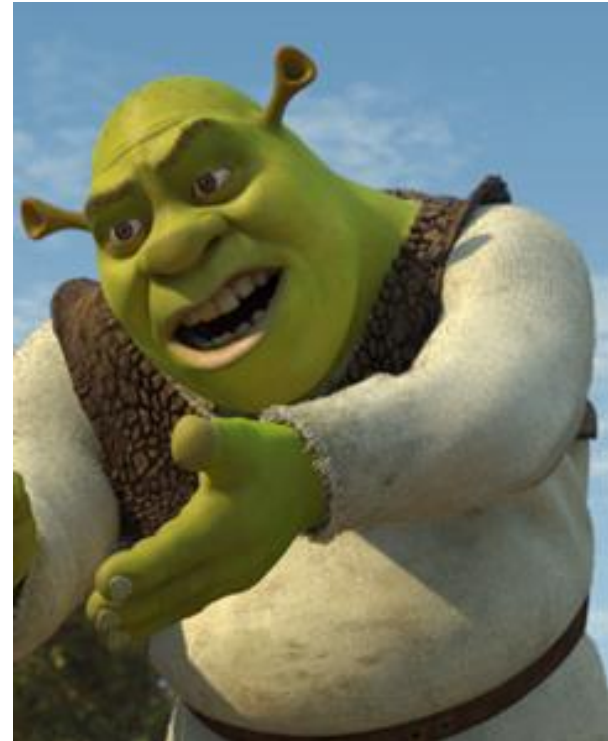
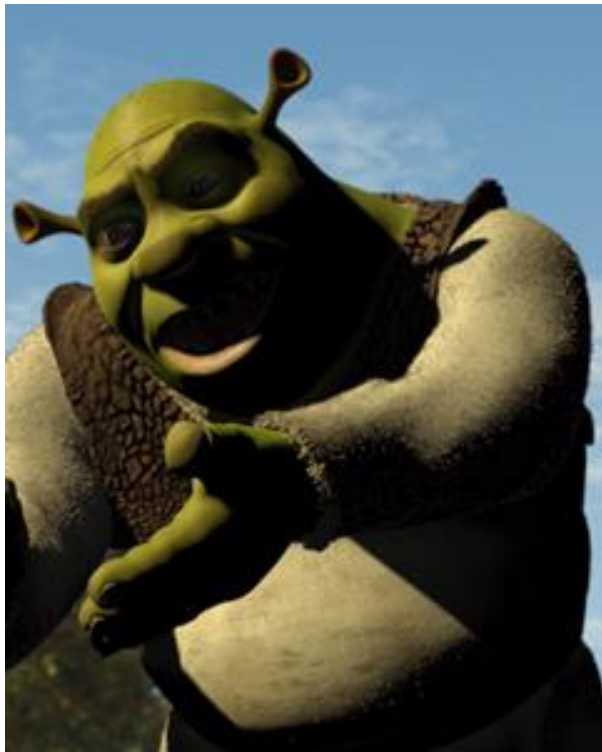


Globální =
přímé +
nepřímé



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)



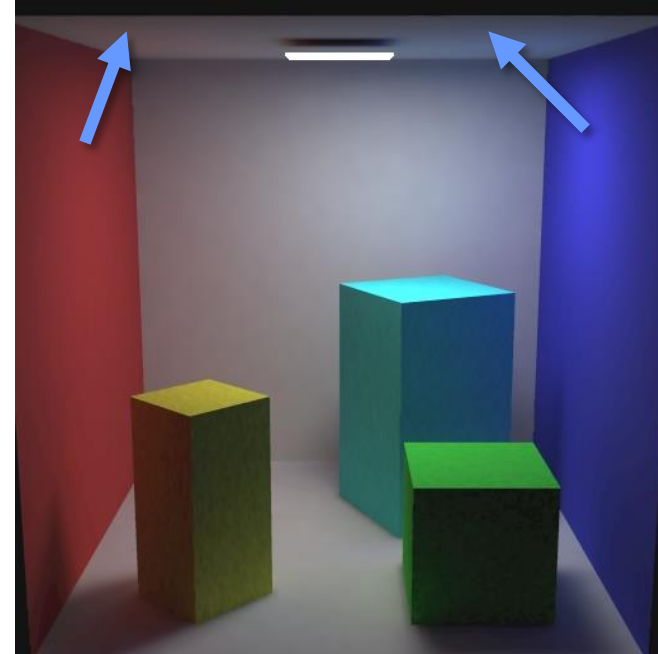
Modeling: Stephen Duck; Rendering: Henrik Wann Jensen

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



- 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



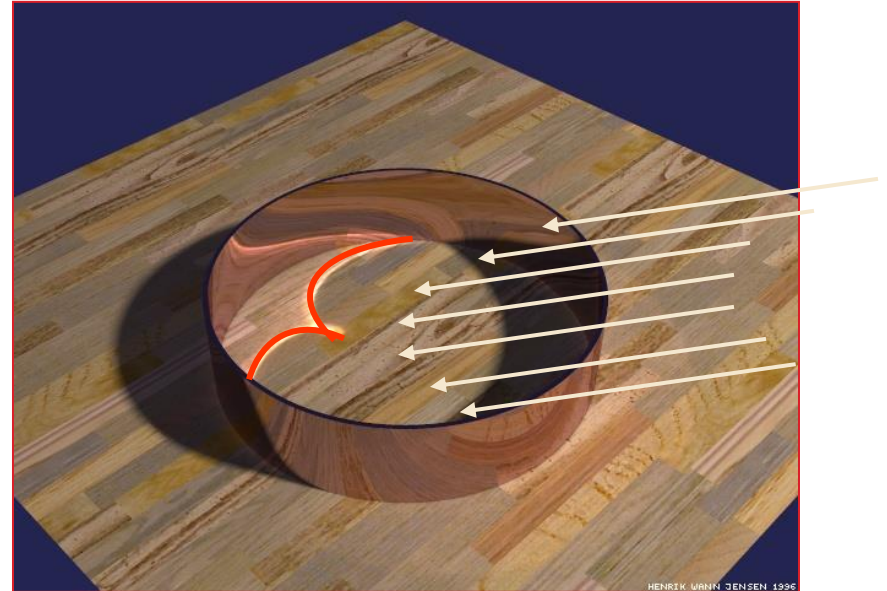
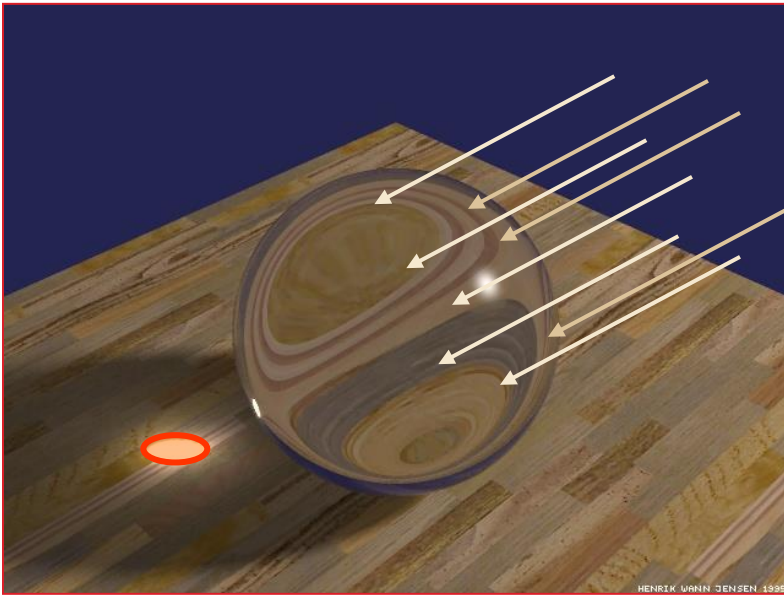
Fotografie



Simulace pomocí fotonových map

Kaustiky

- Ve fyzice a v počítačovém vidění se kaustikou rozumí singularita (nekonečná hustota světelné energie)



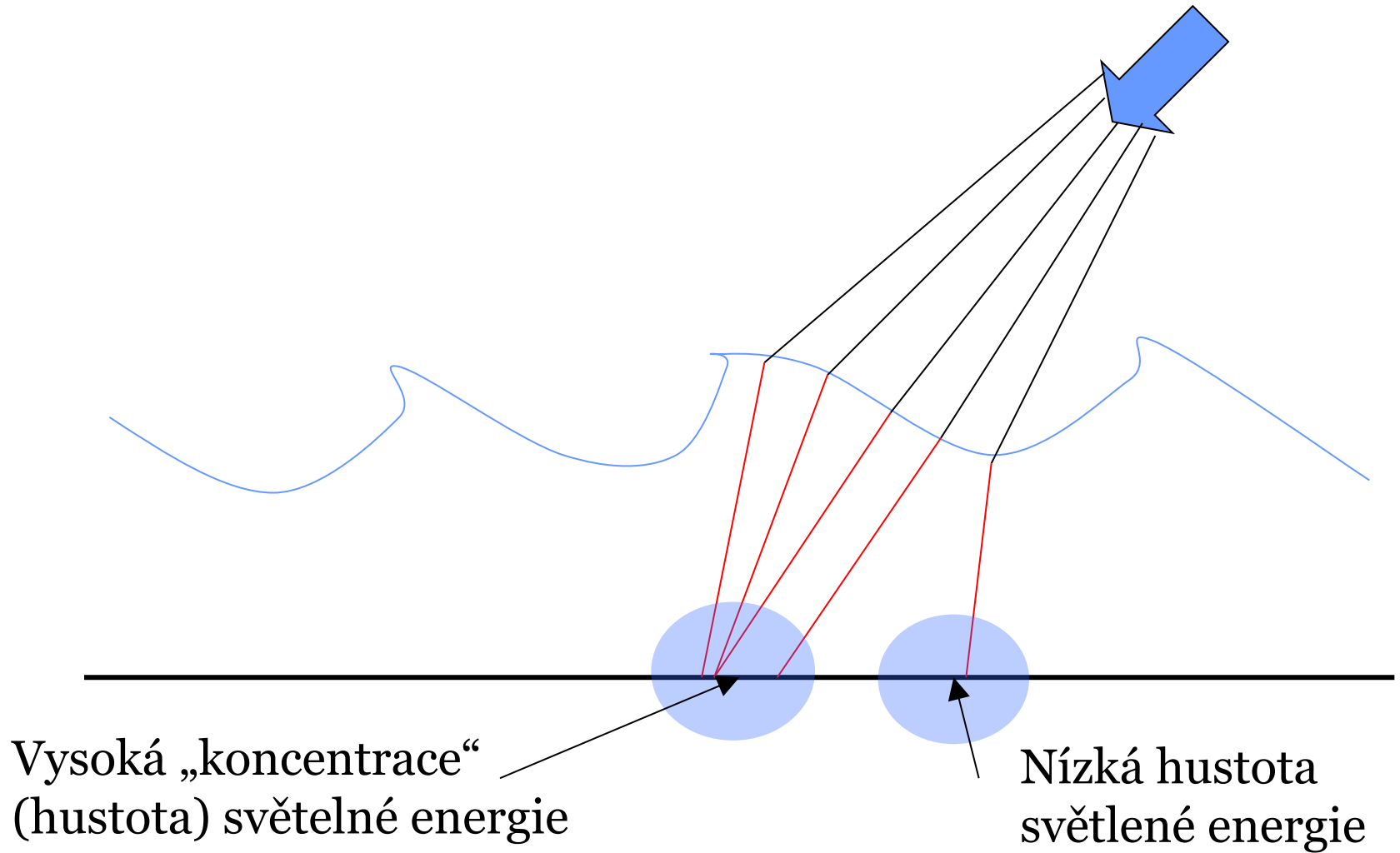
Pohled na vodu



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



Kaustiky pod vodou



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)

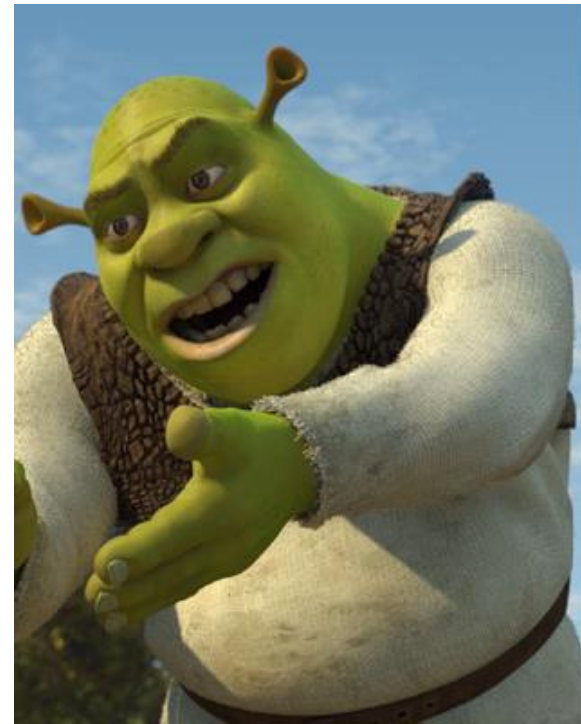
Globální osvětlení ve filmu

2001: “Manuální” globální osvětlení



2004: “Shrek 2” – Irradiance caching

- První použití GI v animovaném celovečerním filmu
- Irradiance caching



Irradiance caching

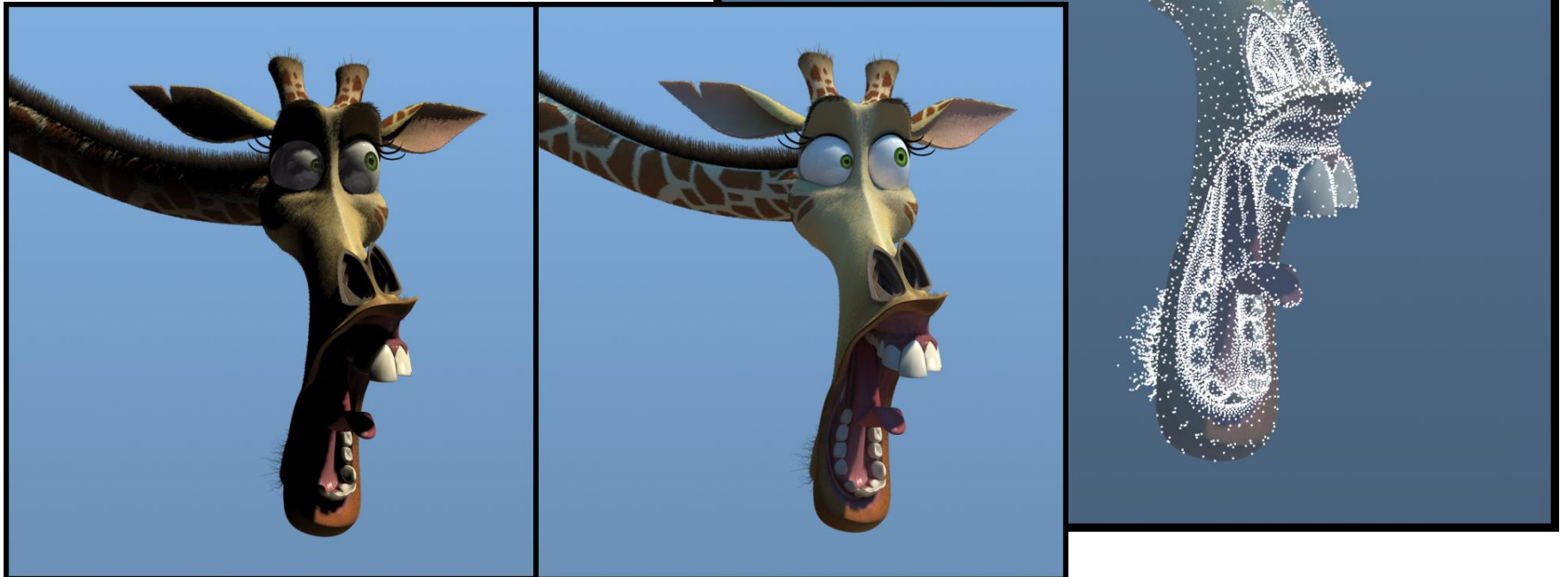


Image credit: Eric Tabellion, PDI DreamWorks

Irradiance caching



Image credit: Eric Tabellion, PDI DreamWorks

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

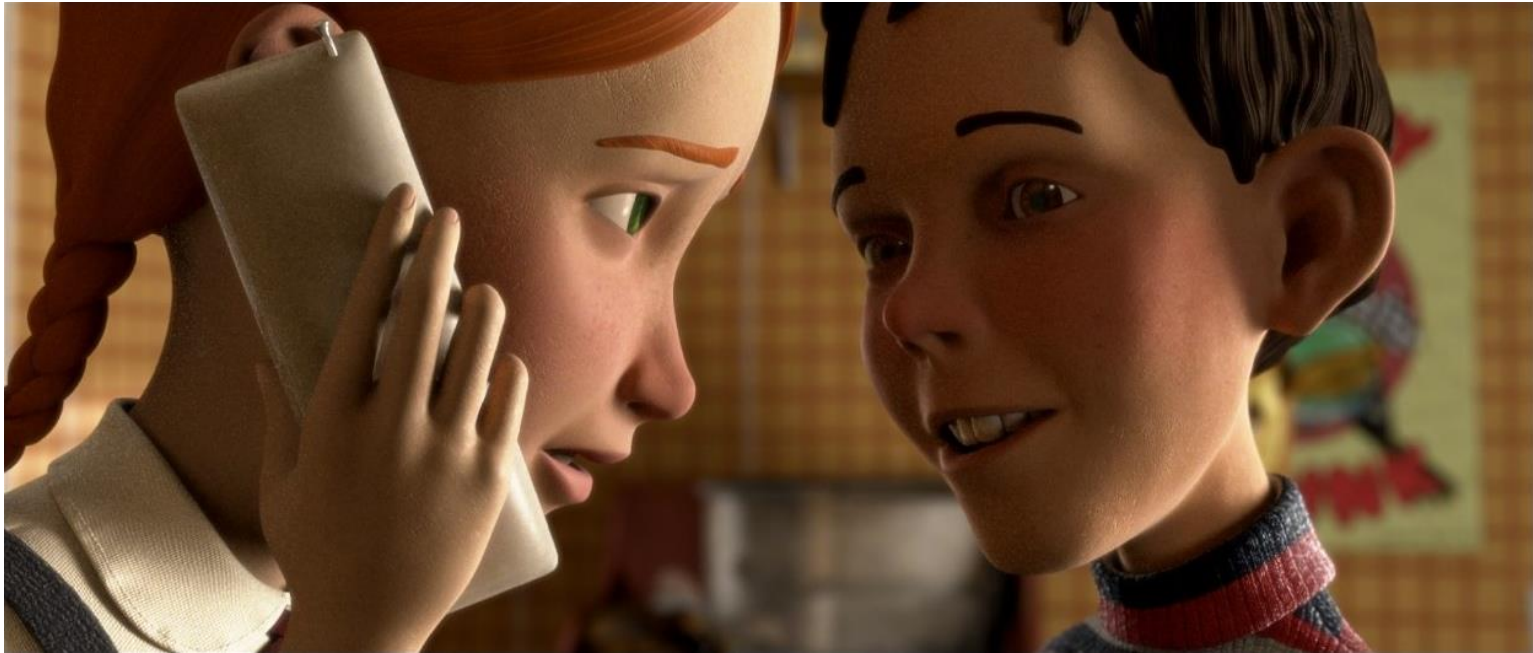


Image courtesy of Columbia Pictures. © 2006 Columbia Pictures Industries, Inc. All rights reserved.

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



Point-based GI: “Up” (bez GI)



Point-based GI: “Up” (s GI)



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



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

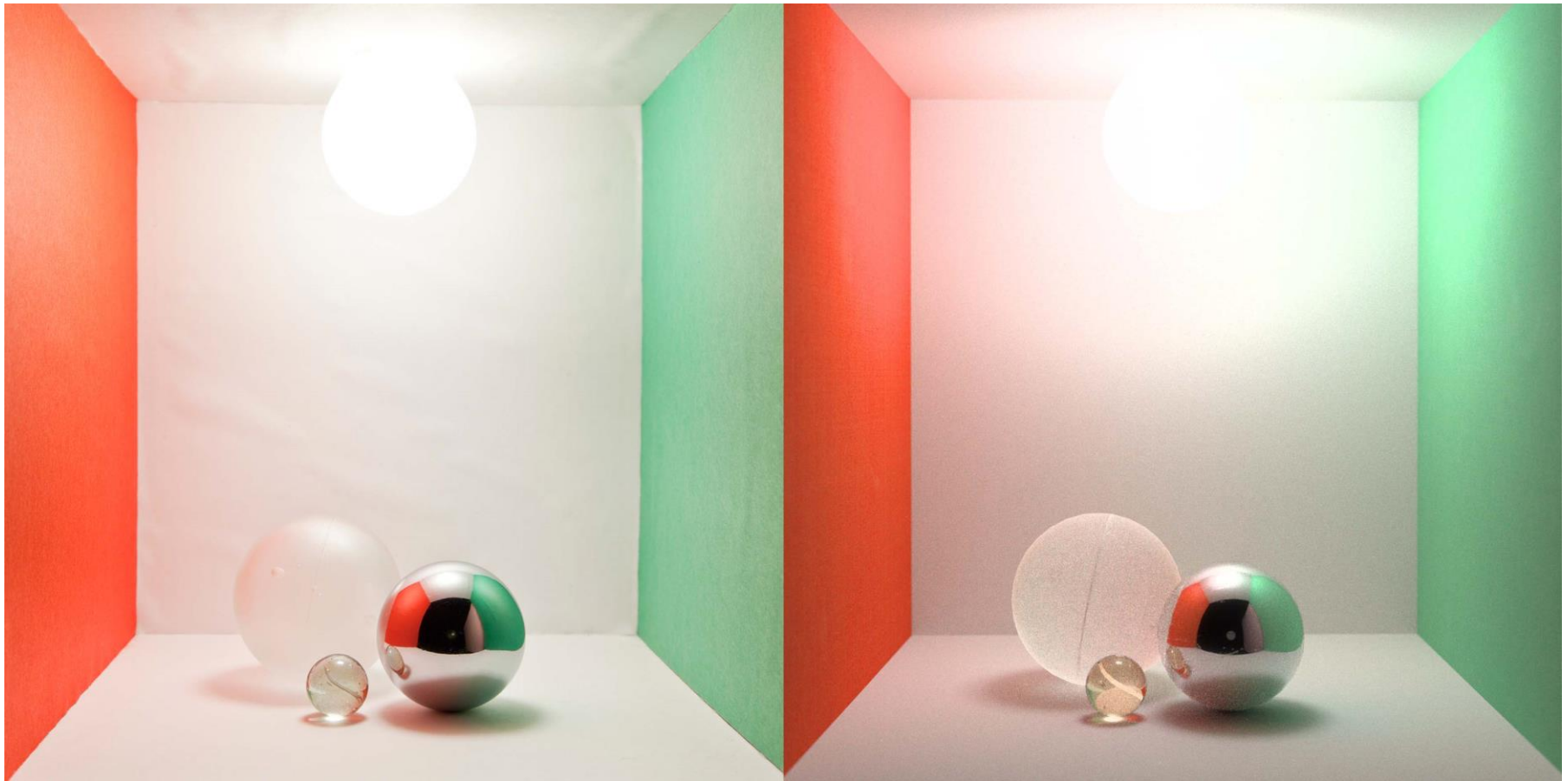


Realita vs. Rendering

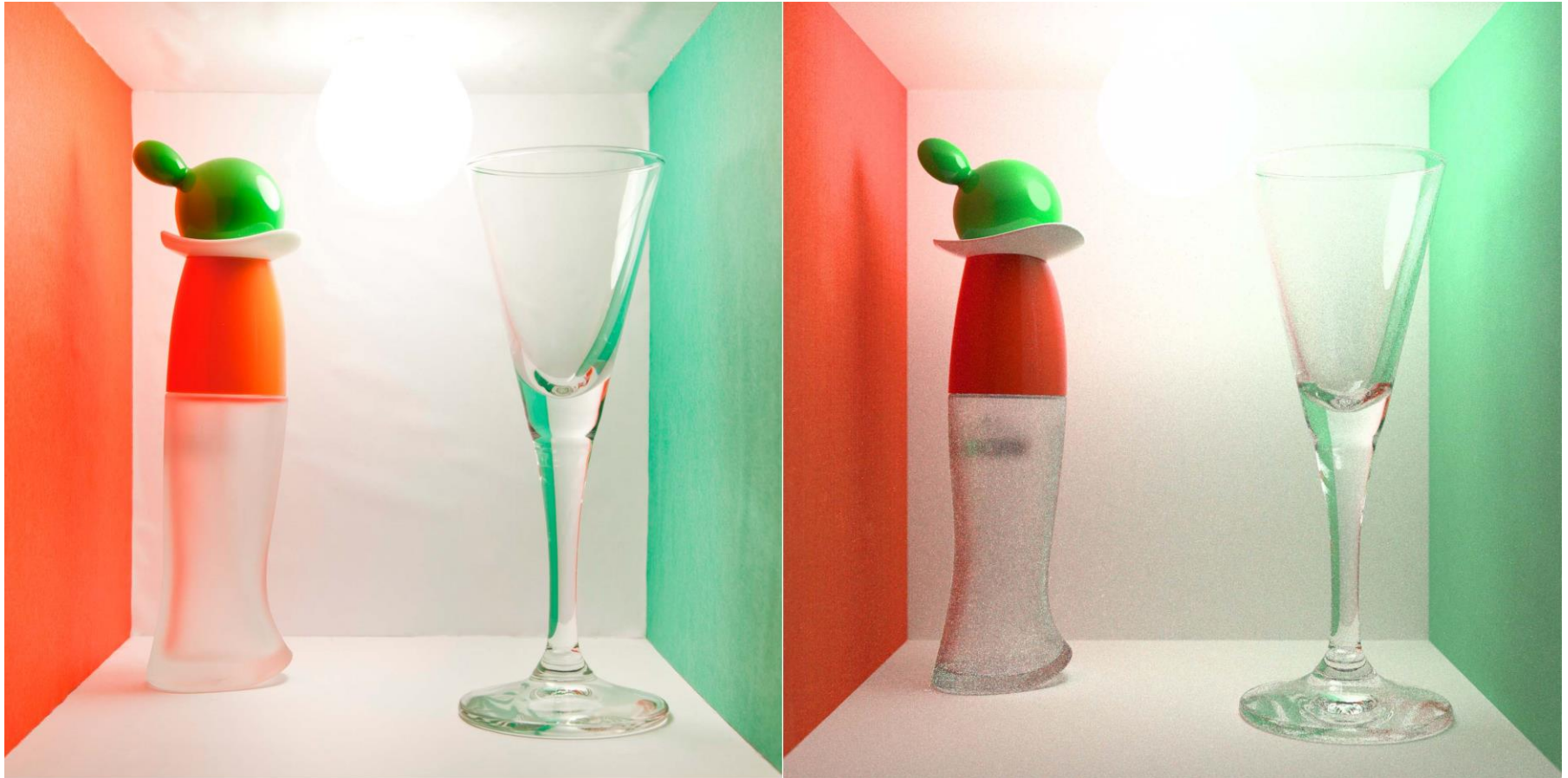
První porovnání – Cornell box



Realita vs. Rendering



Realita vs. Rendering



Realita vs. Rendering

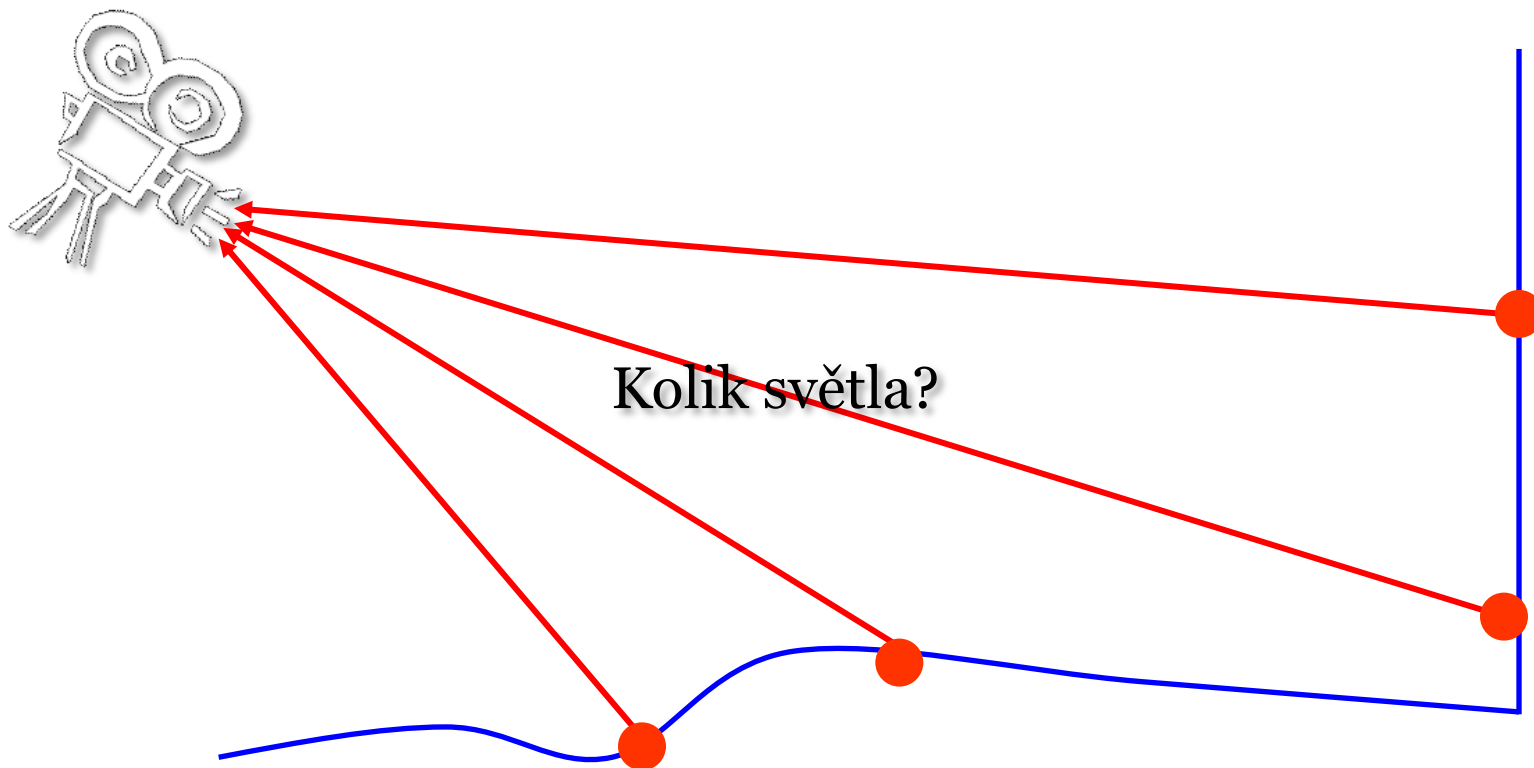


Realita vs. Rendering



Světlo

Fotorealistická syntéza obrazu



Různé přístupy k renderingu

■ Fenomenologický

- Tradiční počítačová grafika
- Např. Phongův model, Barva mezi 0 a 1, atp.

■ Exaktní – Fyzikálně založený

- Formulace matematického modelu
- Algoritmy = různé přístupy k řešení rovnic tohoto modelu

Matematický model

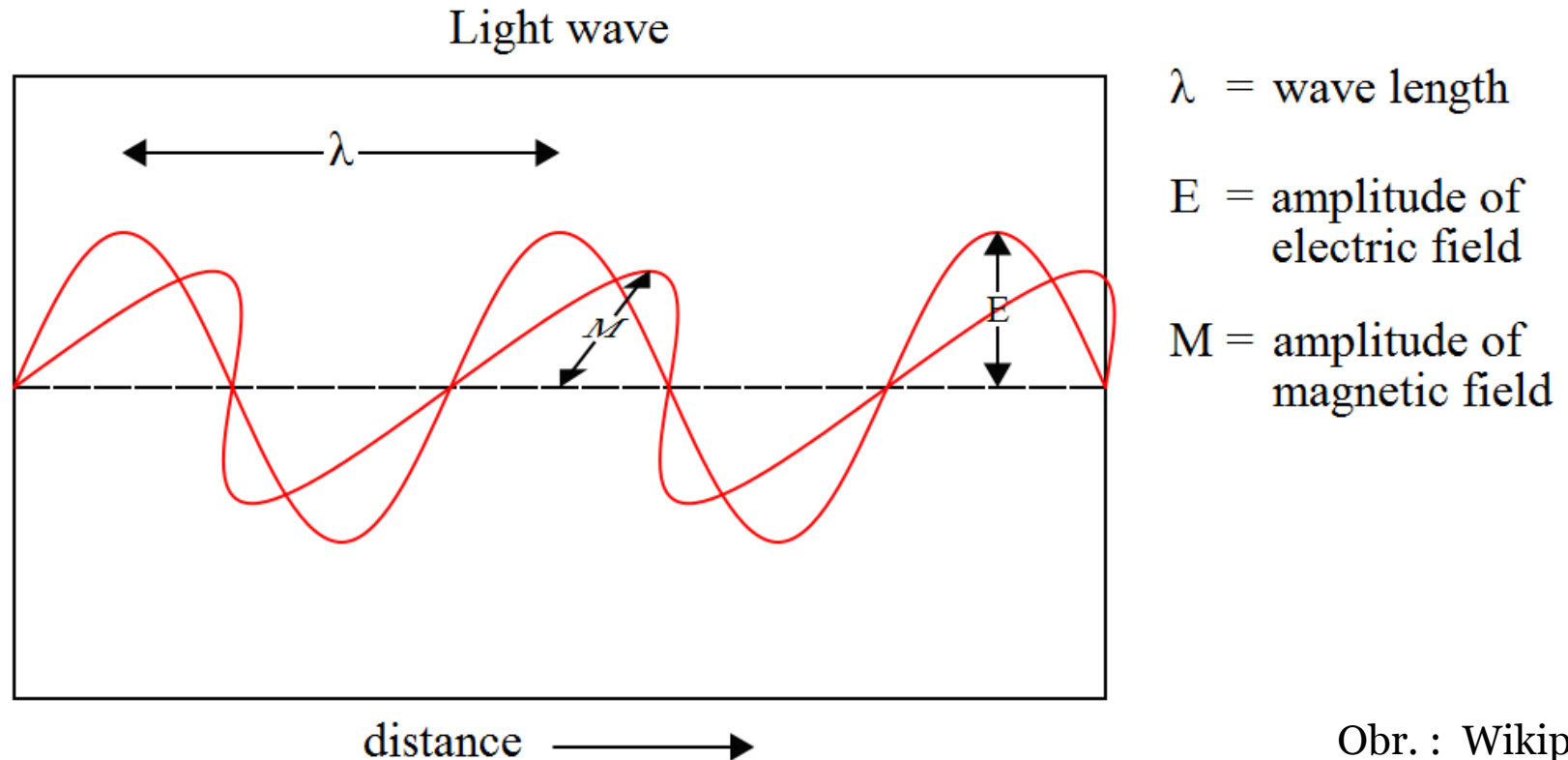
- Syntéza obrazu (rendering) = Simulace propagace světla
- Potřebujeme **matematický model**
 - Popis scény (geometrie, materiály, zdroje světla, kamera, ...)
 - Matematický model světla a jeho chování
- Formulace modelu = volba úrovně detailu
 - Nepotřebujeme modelovat chování každého fotonu
 - Nutnost zjednodušujících předpokladů

Formulace modelu světla

1. Co je světlo, jak je charakterizováno a měřeno
2. Jak popisujeme prostorové rozložení světla
3. Jak charakterizujeme interakci světla s hmotou
4. Jaké jsou podmínky na rovnovážné rozložení světla ve scéně

Světlo

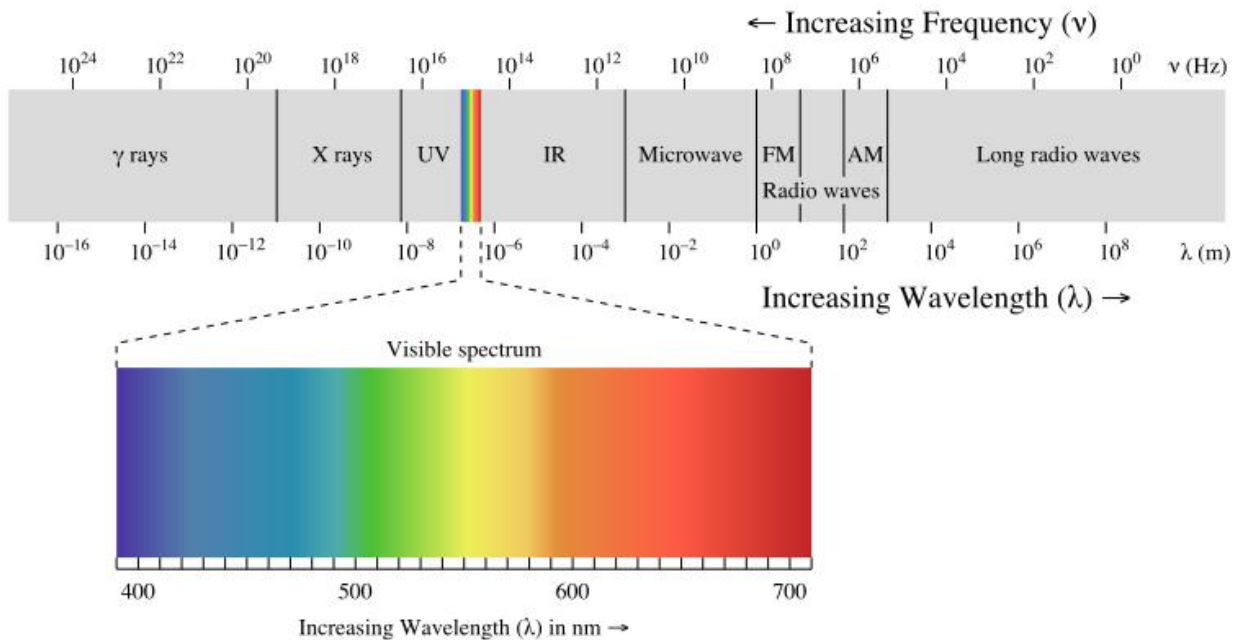
- EM záření (EM vlna šířící se prostorem)



Obr. : Wikipedia

Světlo

- Frekvence oscilací => vlnová délka => barva



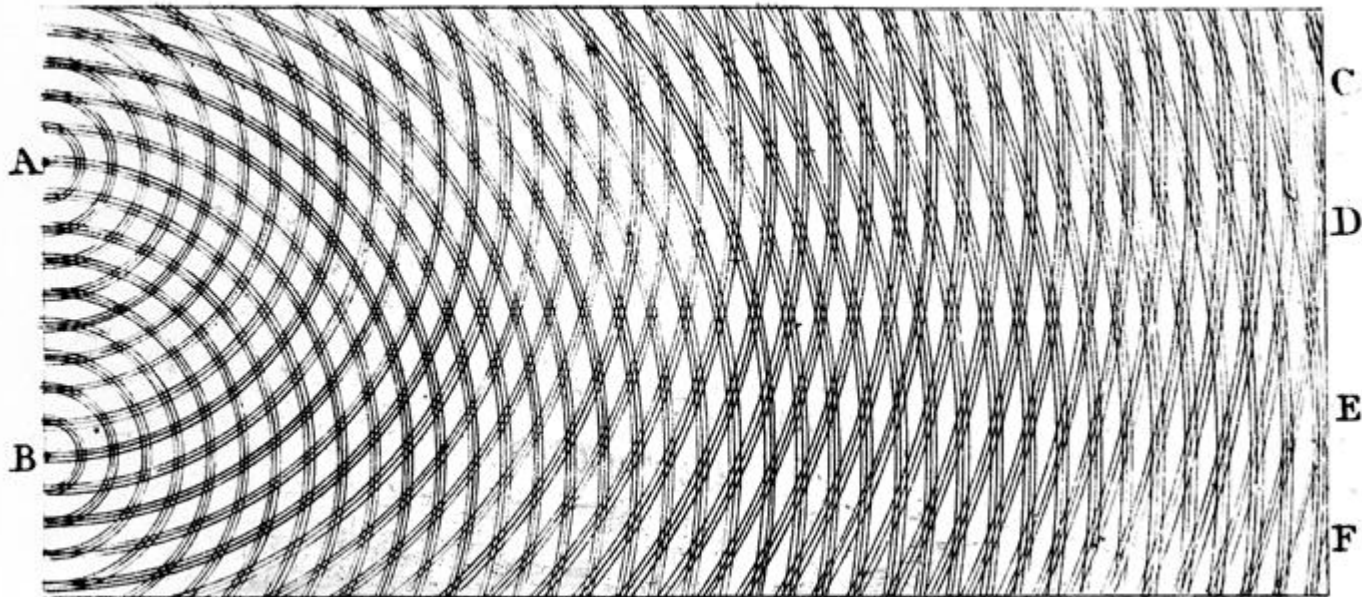
Obr. : Wikipedia

Optika

- **Geometrická (paprsková) optika**
 - Nejužitečnější pro rendering
 - Popisuje makroskopické vlastnosti světla
 - Není kompletní teorií (nepopisuje všechny pozorované jevy – difrakce, interference)
- **Vlnová optika (světlo = E-M vlna)**
 - Důležitá pro popis interakce světla s objekty o velikosti přibližně rovné vlnové délce
 - Interference (bubliny), difrakce, disperze
- **Kvantová optika (světlo = fotony)**
 - Interakce světla s atomy

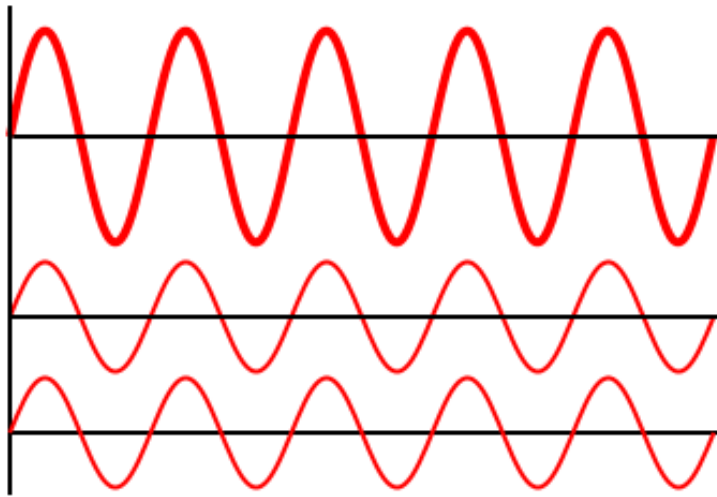
Projevy vlnové podstaty světla

- **Difrakce (ohyb)**
 - Youngův experiment

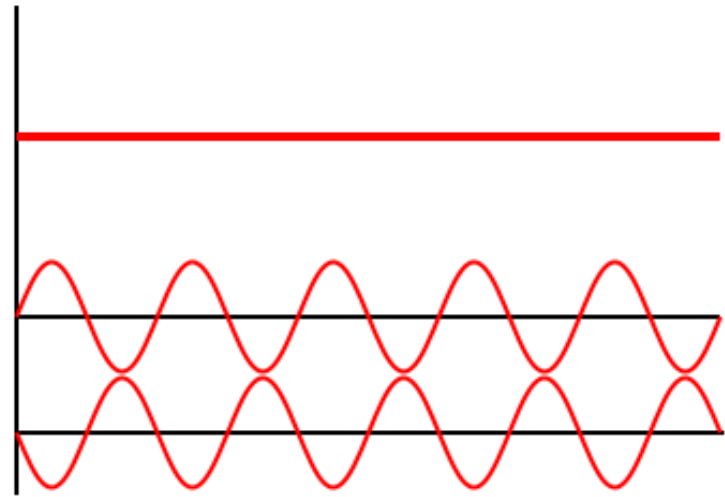


Projevy vlnové podstaty světla

■ Interference



Konstruktivní



Destruktivní

- Způsobuje **iridescenci**

Iridescence

- Změna barvy jako funkce úhlu pohledu



Obr. : <http://en.wikipedia.org/wiki/Iridescence>

Iridescence – Strukturální barva



Obr. : <http://en.wikipedia.org/wiki/Iridescence>

Iridescence – Strukturální barva



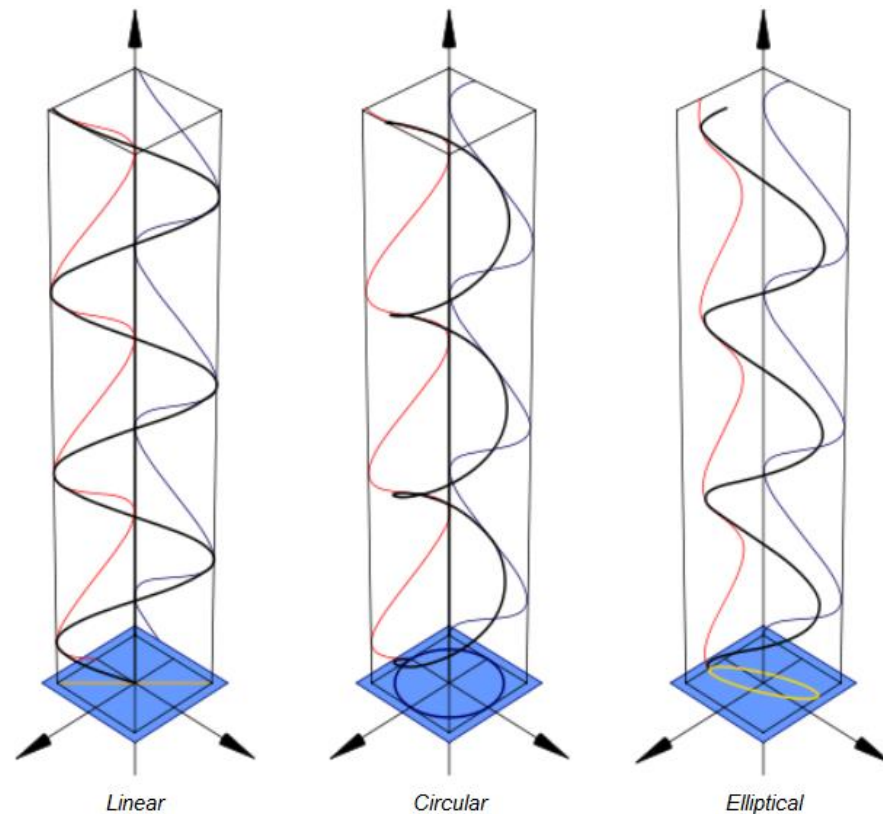
Iridescence – Strukturální barva



PG III (NPGR010) – J. Křivánek 2013

Polarizace

- Přednostní orientace E-M vln vzhledem ke směru šíření
- Nepolarizované světlo – mnoho vln s náhodnou orientací



Polarizace

- Světlo z atmosféry je částečně polarizované



- Zrcadlové odrazy jsou polarizované

