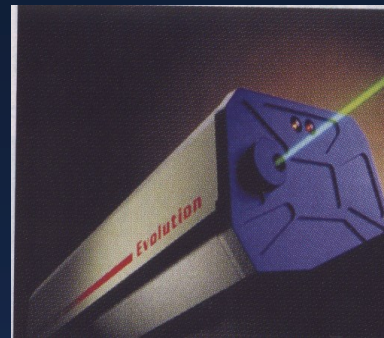
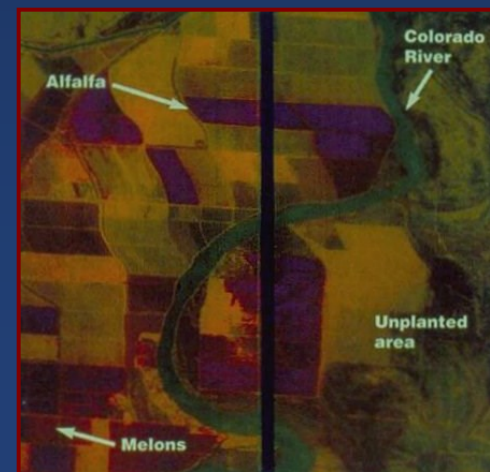
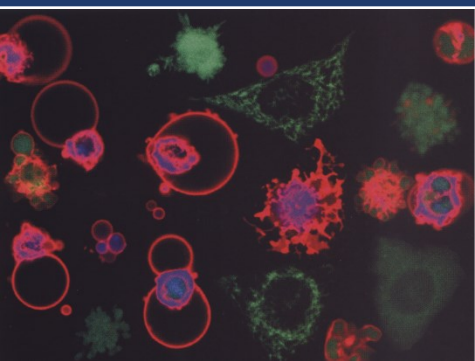




# Optika



Vědecká disciplína zabývající se světlem a zářením obdobných vlastností (optické záření) z hlediska jeho vzniku, šíření, interakcí s látkami a technickým využitím.



# Co je to světlo?



# Optika

**Co je světlo ?**

**Laser – vlastnosti a využití**

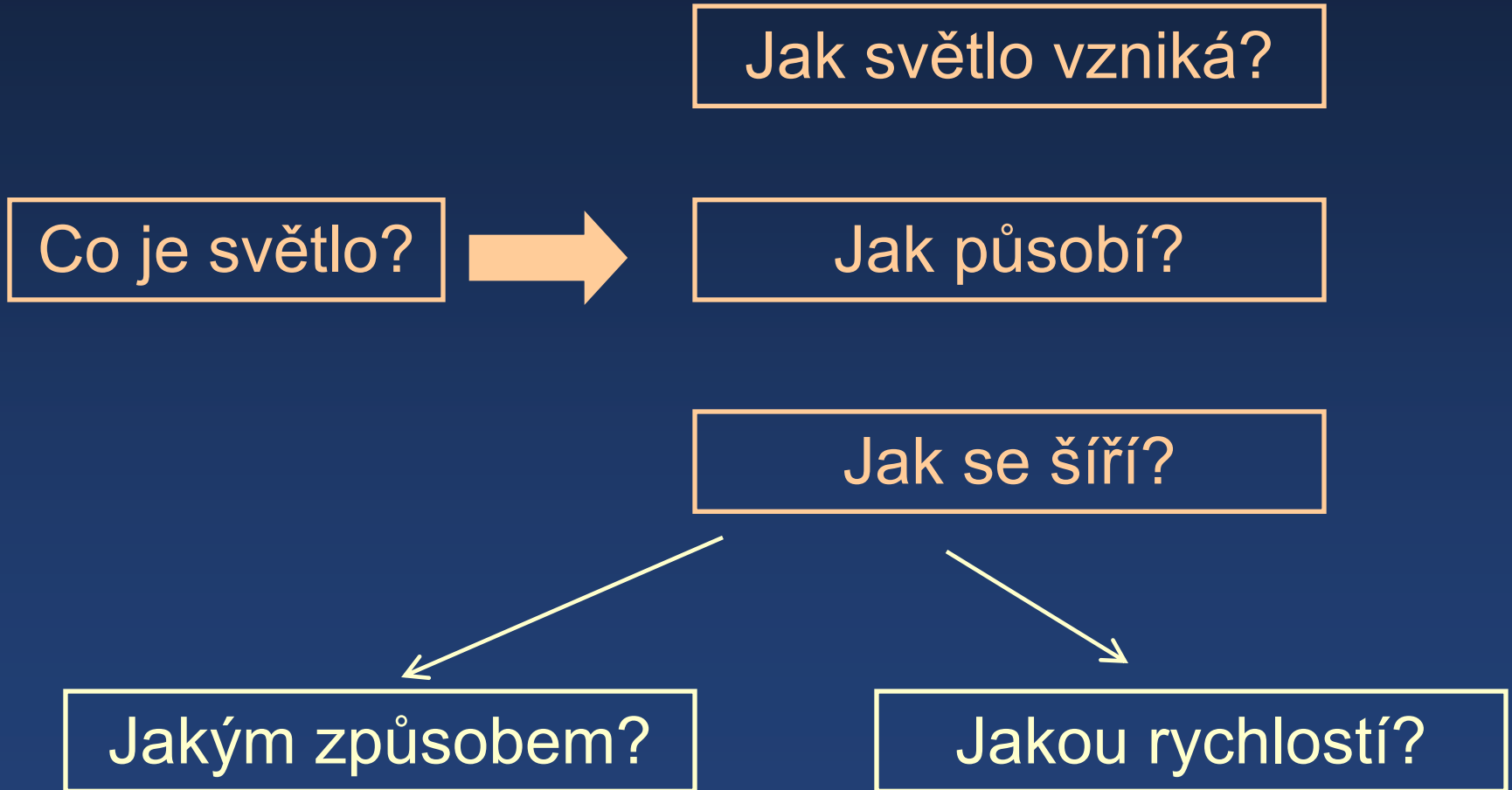
*Josef Štěpánek  
Fyzikální ústav MFF UK*

# Co je to světlo?

1. 17. století – souboj o otázku způsobu šíření světla
2. Začátek 19. století – konečné vyřešení otázky šíření světla z pohledu klasické fyziky
3. Polovina 19. století – existuje souvislost mezi světlem a jevy elektřiny a magnetismu?

# 17. století

## období vzniku moderní fyziky



**Jakým způsobem se světlo šíří?**

# Částicová (korporkulární) teorie



**Rene Descartes**  
(1596 – 1650)



**Isaac Newton**  
(1643 – 1727)

# Vlnová teorie



**Robert Hooke**  
(1635 – 1703)



**Christians Huygens**  
(1629 – 1695)



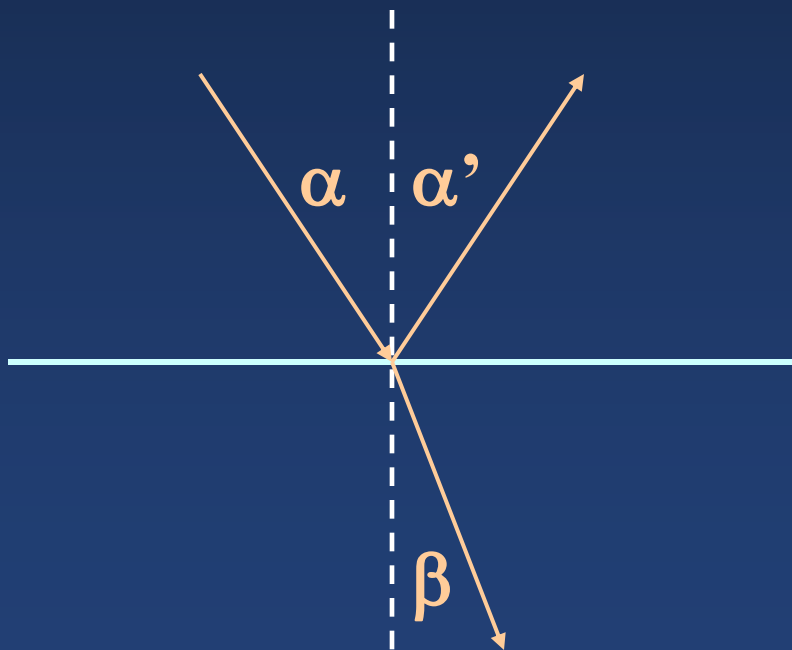
# Jaké vlastnosti světla byly známy?

## Přímocharé šíření světla



# Jaké vlastnosti světla byly známy?

## Zákon odrazu a zákon lomu

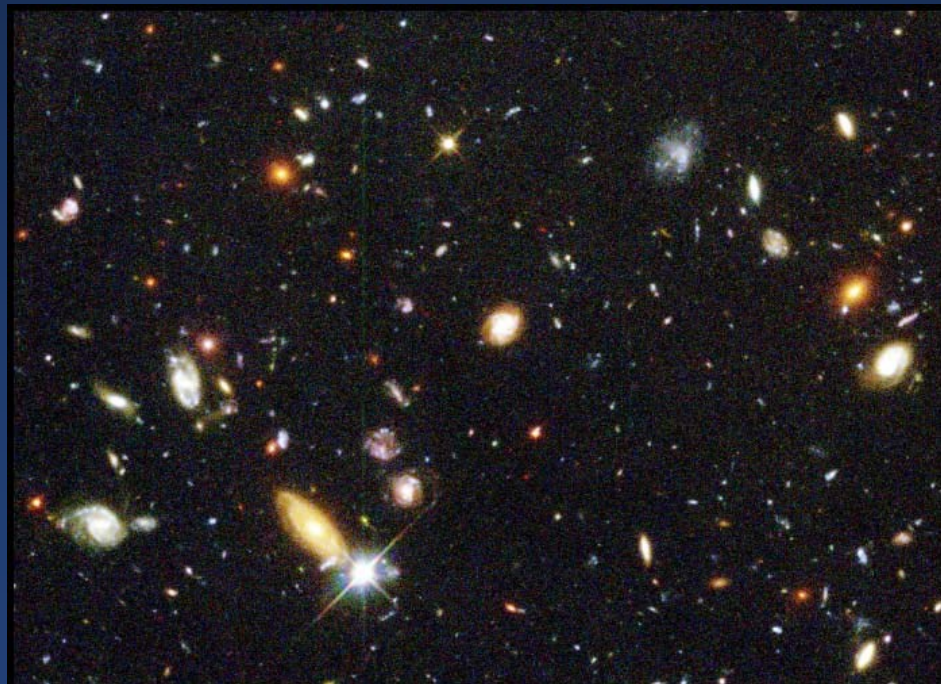


$$\alpha = \alpha'$$

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \text{konst.} = N_{12}$$

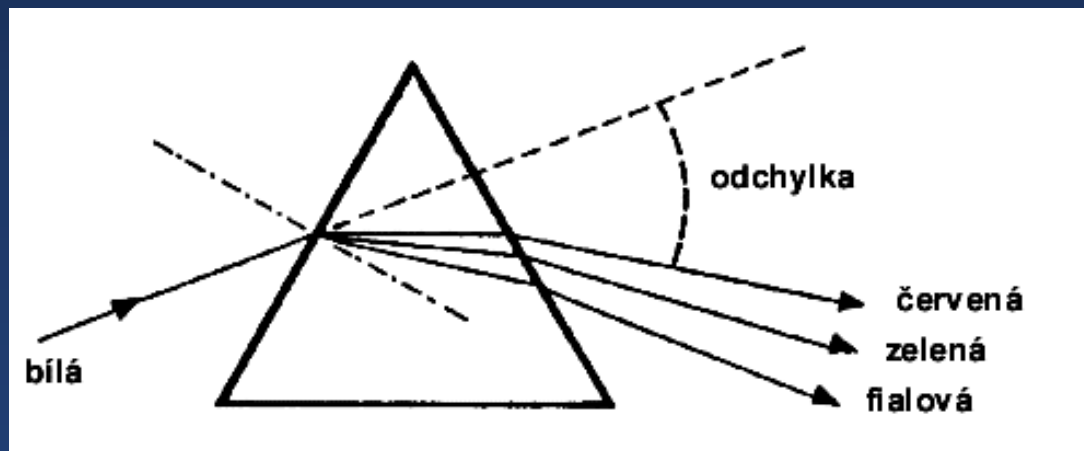
# Jaké vlastnosti světla byly známy?

## Šíření ve vakuu



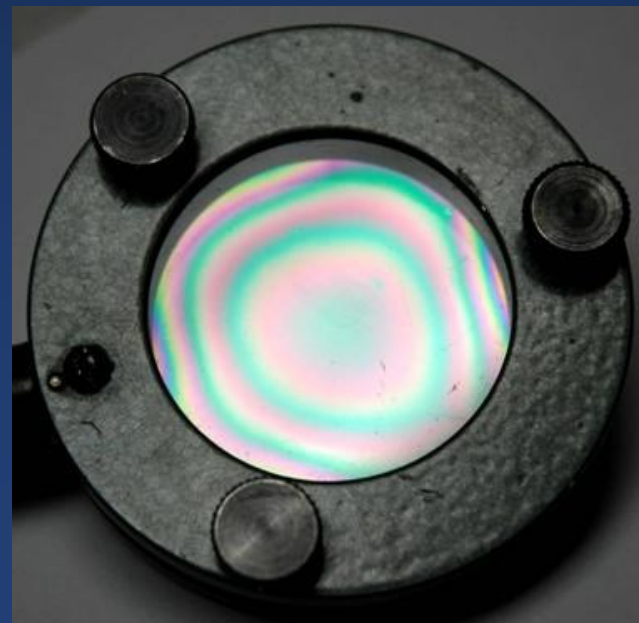
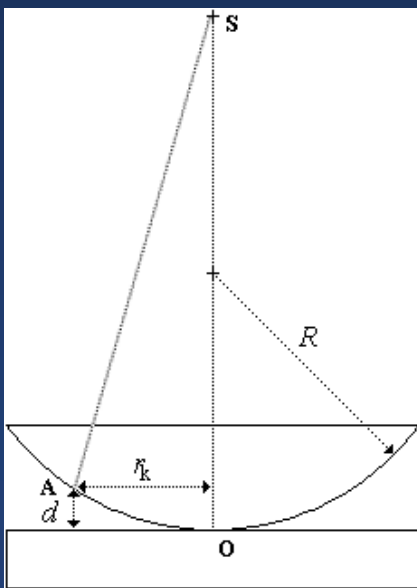
# Jaké vlastnosti světla byly známy?

## Rozklad bílého světla na barevné složky



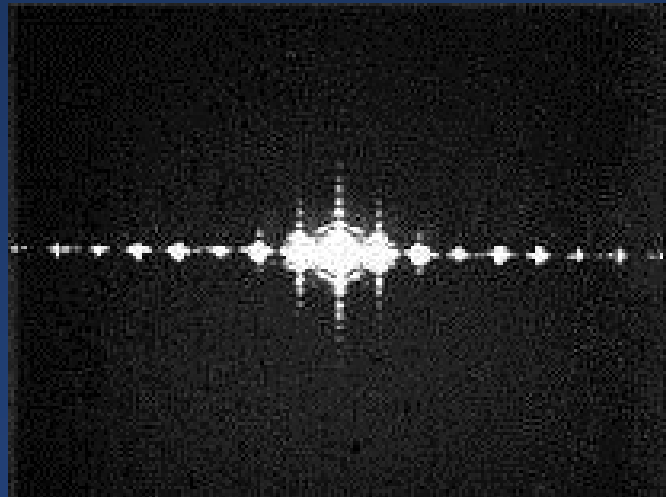
# Jaké vlastnosti světla byly známy?

Světlé a tmavé kroužky na tenké vrstvě  
(Newtonova skla)



# Jaké vlastnosti světla byly známy?

**Difrakční jevy**  
**(Grimaldiho pokusy)**



# Jak se obě teorie vyrovnaly se známými vlastnostmi světla?

| Jev                       | Vlnová teorie | Korpuskulární teorie |
|---------------------------|---------------|----------------------|
| Přímočaré šíření          |               |                      |
| Zákon odrazu              |               |                      |
| Zákon lomu                |               |                      |
| Šíření ve vakuu           |               |                      |
| Rozklad na barevné složky |               |                      |
| Newtonova skla            |               |                      |
| Difrakce                  |               |                      |

# Jak se obě teorie vyrovnaly se známými vlastnostmi světla?

| Jev                       | Vlnová teorie | Korpuskulární teorie |
|---------------------------|---------------|----------------------|
| Přímočaré šíření          |               | ANO                  |
| Zákon odrazu              |               |                      |
| Zákon lomu                |               |                      |
| Šíření ve vakuu           |               |                      |
| Rozklad na barevné složky |               |                      |
| Newtonova skla            |               |                      |
| Difrakce                  |               |                      |



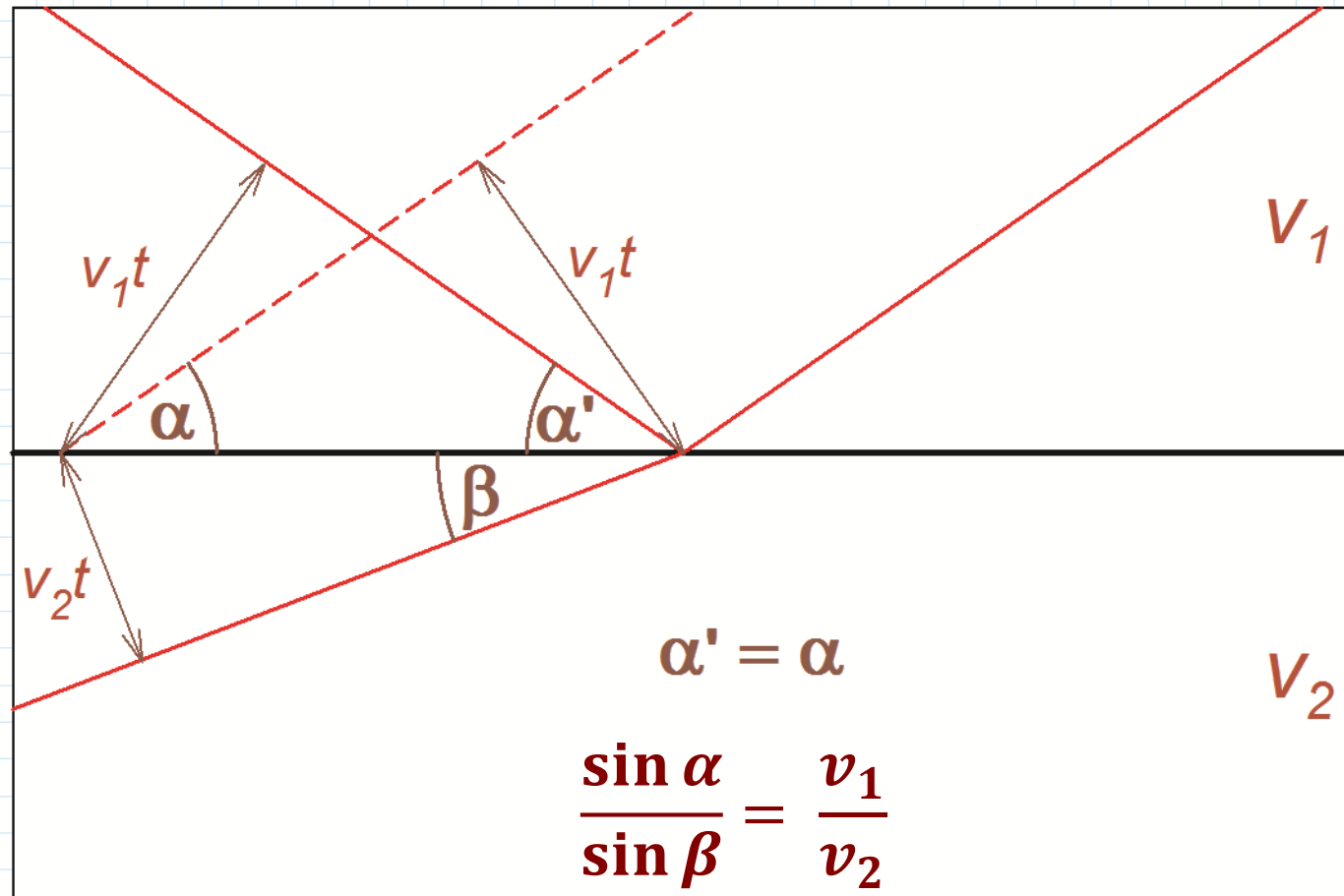
# Huygensův princip

Způsob šíření vlny – každé místo, kam vlna dospěje, se stane středem elementární kulové vlny. Výsledná vlnoplocha je obálkou elementárních vlnoploch.

# Jak se obě teorie vyrovnaly se známými vlastnostmi světla?

| Jev                       | Vlnová teorie                  | Korpuskulární teorie |
|---------------------------|--------------------------------|----------------------|
| Přímočaré šíření          | ANO, ale problém „zpětné vlny“ | ANO                  |
| Zákon odrazu              |                                |                      |
| Zákon lomu                |                                |                      |
| Šíření ve vakuu           |                                |                      |
| Rozklad na barevné složky |                                |                      |
| Newtonova skla            |                                |                      |
| Difrakce                  |                                |                      |

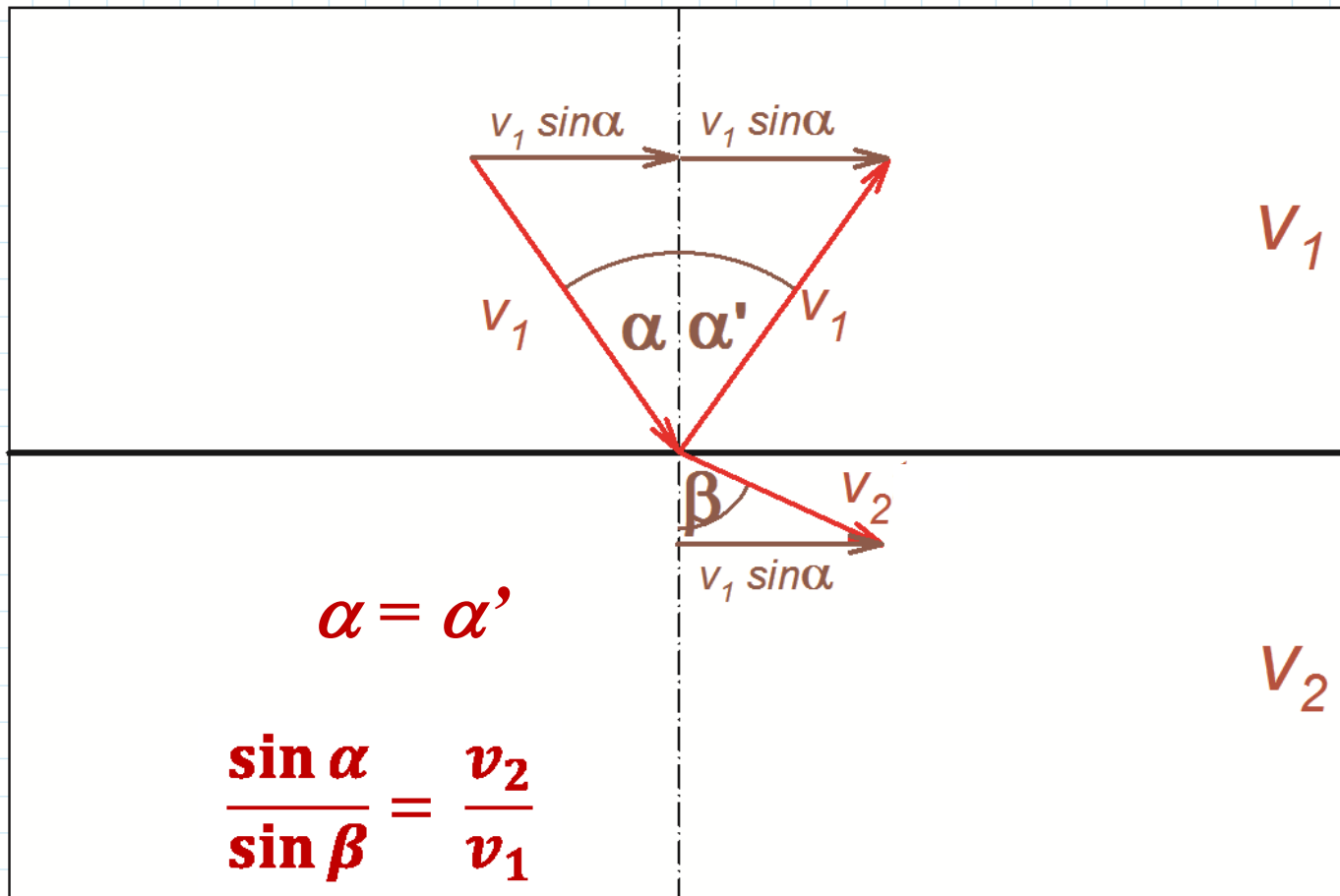
# Zákon odrazu a lomu podle vlnové teorie



# Jak se obě teorie vyrovnaly se známými vlastnostmi světla?

| Jev                       | Vlnová teorie                  | Korpuskulární teorie |
|---------------------------|--------------------------------|----------------------|
| Přímočaré šíření          | ANO, ale problém „zpětné vlny“ | ANO                  |
| Zákon odrazu              | ANO                            |                      |
| Zákon lomu                | ANO, $n_{12} = v_1/v_2$        |                      |
| Šíření ve vakuu           |                                |                      |
| Rozklad na barevné složky |                                |                      |
| Newtonova skla            |                                |                      |
| Difrakce                  |                                |                      |

# Zákon odrazu a lomu podle korpuskulární teorie



# Jak se obě teorie vyrovnaly se známými vlastnostmi světla?

| Jev                       | Vlnová teorie                  | Korpuskulární teorie    |
|---------------------------|--------------------------------|-------------------------|
| Přímočaré šíření          | ANO, ale problém „zpětné vlny“ | ANO                     |
| Zákon odrazu              | ANO                            | ANO                     |
| Zákon lomu                | ANO, $n_{12} = v_1/v_2$        | ANO, $n_{12} = v_2/v_1$ |
| Šíření ve vakuu           |                                |                         |
| Rozklad na barevné složky |                                |                         |
| Newtonova skla            |                                |                         |
| Difrakce                  |                                |                         |

# Jak se obě teorie vyrovnaly se známými vlastnostmi světla?

| Jev                       | Vlnová teorie                  | Korpuskulární teorie    |
|---------------------------|--------------------------------|-------------------------|
| Přímočaré šíření          | ANO, ale problém „zpětné vlny“ | ANO                     |
| Zákon odrazu              | ANO                            | ANO                     |
| Zákon lomu                | ANO, $n_{12} = v_1/v_2$        | ANO, $n_{12} = v_2/v_1$ |
| Šíření ve vakuu           | Triviálně nelze, pojem „éteru“ | ANO                     |
| Rozklad na barevné složky |                                |                         |
| Newtonova skla            |                                |                         |
| Difrakce                  |                                |                         |

# Jak se obě teorie vyrovnaly se známými vlastnostmi světla?

| Jev                       | Vlnová teorie                  | Korpuskulární teorie    |
|---------------------------|--------------------------------|-------------------------|
| Přímočaré šíření          | ANO, ale problém „zpětné vlny“ | ANO                     |
| Zákon odrazu              | ANO                            | ANO                     |
| Zákon lomu                | ANO, $n_{12} = v_1/v_2$        | ANO, $n_{12} = v_2/v_1$ |
| Šíření ve vakuu           | Triviálně nelze, pojem „éteru“ | ANO                     |
| Rozklad na barevné složky | ?                              | ANO                     |
| Newtonova skla            | ?                              | ?                       |
| Difrakce                  | ?                              | ?                       |



spor Hooke x Newton, příklon Newtona ke korpuskulární teorii, akceptováno po celé 18. století

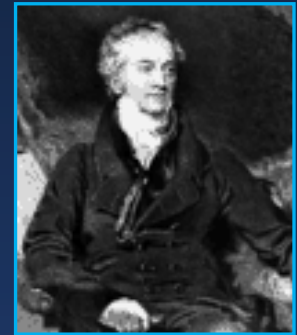
| Jev                       | Vlnová teorie                  | Korpuskulární teorie    |
|---------------------------|--------------------------------|-------------------------|
| Přímočaré šíření          | ANO, ale problém „zpětné vlny“ | ANO                     |
| Zákon odrazu              | ANO                            | ANO                     |
| Zákon lomu                | ANO, $N_{12} = v_1/v_2$        | ANO, $N_{12} = v_2/v_1$ |
| Šíření ve vakuu           | Triviálně nelze, pojem „éteru“ | ANO                     |
| Rozklad na barevné složky | ?                              | ANO                     |
| Newtonova skla            | ?                              | ?                       |
| Difrakce                  | ?                              | ?                       |

## Od 17. do začátku 19. století

- spor Hooke x Newton, příklon ke korpuskulární teorii po celé 18. století

## Od 17. do začátku 19. století

- spor Hooke x Newton, příklon ke korpuskulární teorii po celé 18. století
- konec 18. století ... **Thomas Young**: difrakce na dvojštěrbíně – interference



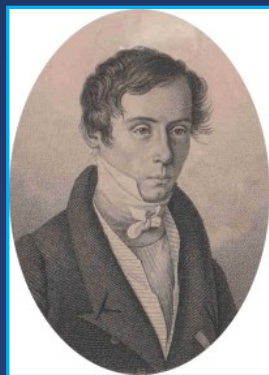
**Thomas Young**  
(1773 – 1829)

## Od 17. do začátku 19. století

- spor Hooke x Newton, příklon ke korpuskulární teorii po celé 18. století
- konec 18. století ... **Thomas Young**:  
difrakce na dvojštěrbíně – interference
- Vyhlášení ceny Francouzské akademie

## Od 17. do začátku 19. století

- spor Hooke x Newton, příklon ke korpuskulární teorii po celé 18. století
- konec 18. století ... Thomas Young:  
difrakce na dvojštěrbíně – interference
- Vyhlášení ceny Francouzské akademie
- **Fresnel**: světlo jako vlnění, které se skládá



Huygensův-Fresnelův princip

Augustin Jean **Fresnel**  
(1788 – 1827)

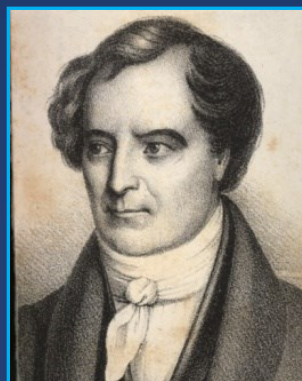
## Od 17. do začátku 19. století

- spor Hooke x Newton, příklon ke korpuskulární teorii po celé 18. století
- konec 18. století ... **Thomas Young**: difrakce na dvojštěrbíně – interference
- Vyhlášení ceny Francouzské akademie
- Augustin Jean **Fresnel**: světlo jako vlnění, které se skládá
- Snaha o zavržení Fresnelovy teorie (Poisson x Arago)

## Od 17. do začátku 19. století

- spor Hooke x Newton, příklon ke korpuskulární teorii po celé 18. století
- konec 18. století ... **Thomas Young**: difrakce na dvojštěrbíně – interference
- Vyhlášení ceny Francouzské akademie
- Augustin Jean **Fresnel**: světlo jako vlnění, které se skládá
- Snaha o zavržení Fresnelovy teorie (Poisson x Arago)

**Francois Arago**  
(1786 – 1853)



## Od 17. do začátku 19. století

- spor Hooke x Newton, příklon ke korpuskulární teorii po celé 18. století
- konec 18. století ... Thomas Young:  
difrakce na dvojštěrbíně – interference
- Vyhlášení ceny Francouzské akademie
- Augustin Jean **Fresnel**: světlo jako vlnění, které se skládá
- Snaha o zavržení Fresnelovy teorie (Poisson x Arago)
- Rozpor s jevem polarizace světla odrazem
- Young, Arago: světlo je příčné vlnění

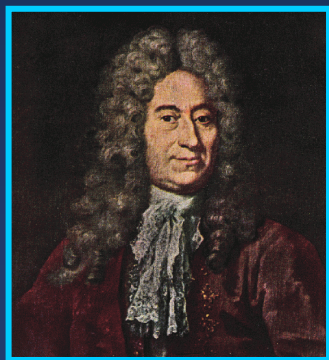


**Jakou rychlostí se světlo šíří?**

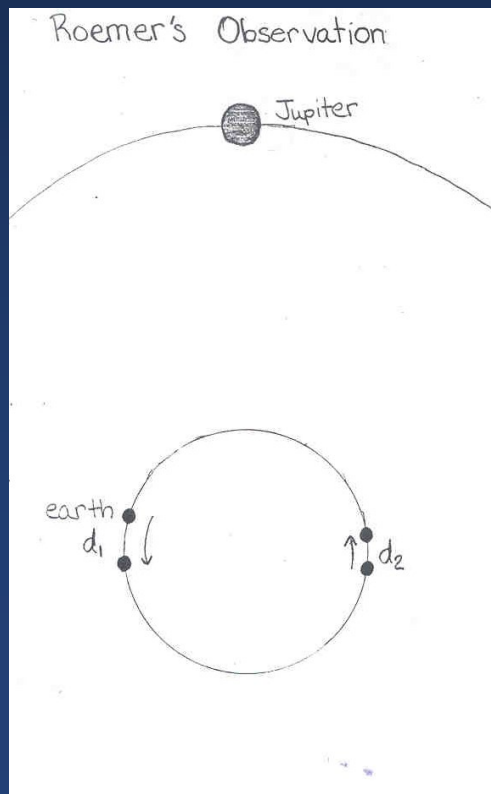
# První odhady rychlosti světla

Návrh pokusu o změření konečné rychlosti světla. **Galilei**: dva pozorovatelé s lucernami. Realizováno po jeho smrti, neúspěšné. **Hook**: Neznamená to, že rychlost světla je nekonečná.

**První realistický odhad rychlosti světla** – **Römer** (nápad údajně pochází od **Cassiniho**) na základě pozorovaných nepravidelností v zatmění Jupiterova měsíčku Io. Získal řádově správnou hodnotu  $c = 2 \times 10^8 \text{ m.s}^{-1}$

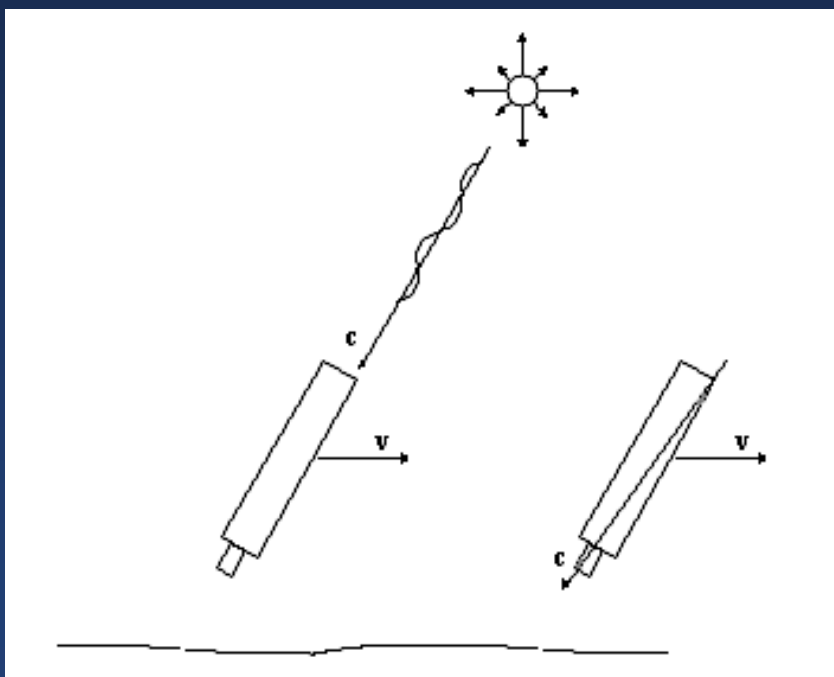


Olaf Rømer  
(1644–1710)



# První odhady rychlosti světla

**Další upřesnění** – **Bradley** při měření paralaxy hvězd zjistil odchylky v závislosti na poloze hvězdy vůči směru rotace Země – aberace hvězd. Bradley vysvětlil aberaci konečnou rychlostí světla, kterou vypočetl na hodnotu  $c = 2,95 \times 10^8 \text{ m.s}^{-1}$

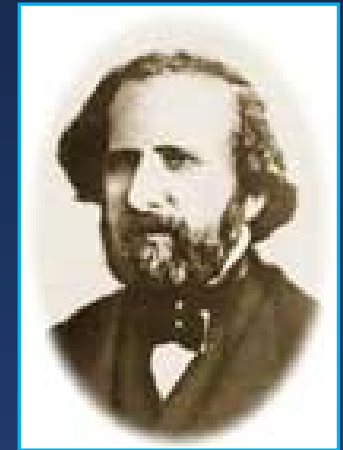


**James Bradley**  
(1693 – 1762)

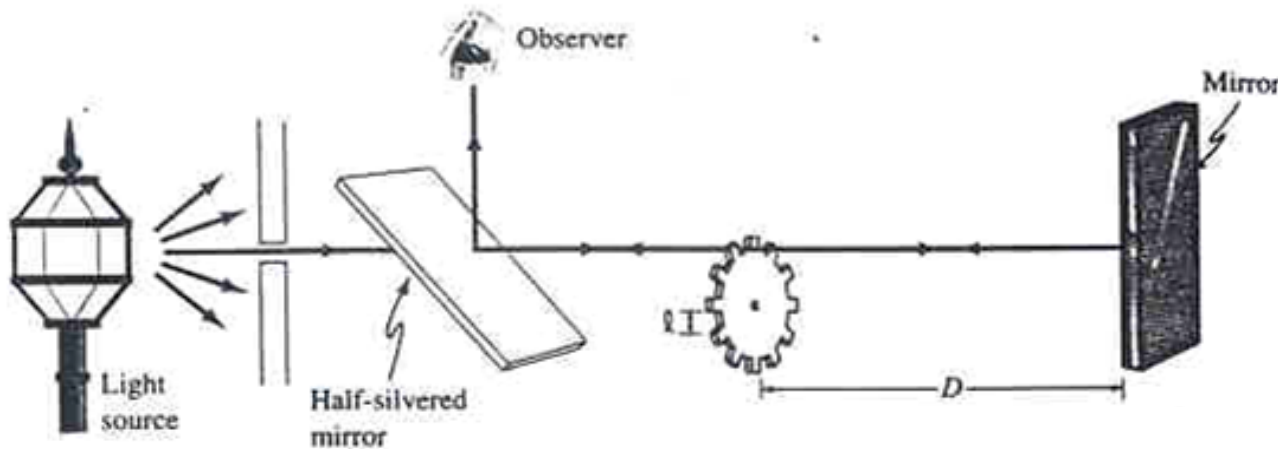
# První měření rychlosti světla v pozemských podmínkách

První změřením rychlosti světla v pozemských podmínkách

Fizeau (1849) pomocí rychle rotujícího ozubeného kola s využitím stroboskopického principu. Určil rychlost světla ve vzduchu  $c = 3 \times 10^8 \text{ m.s}^{-1}$  (s chybou 5%)



Armand Louis  
Fizeau  
(1819 – 1896)



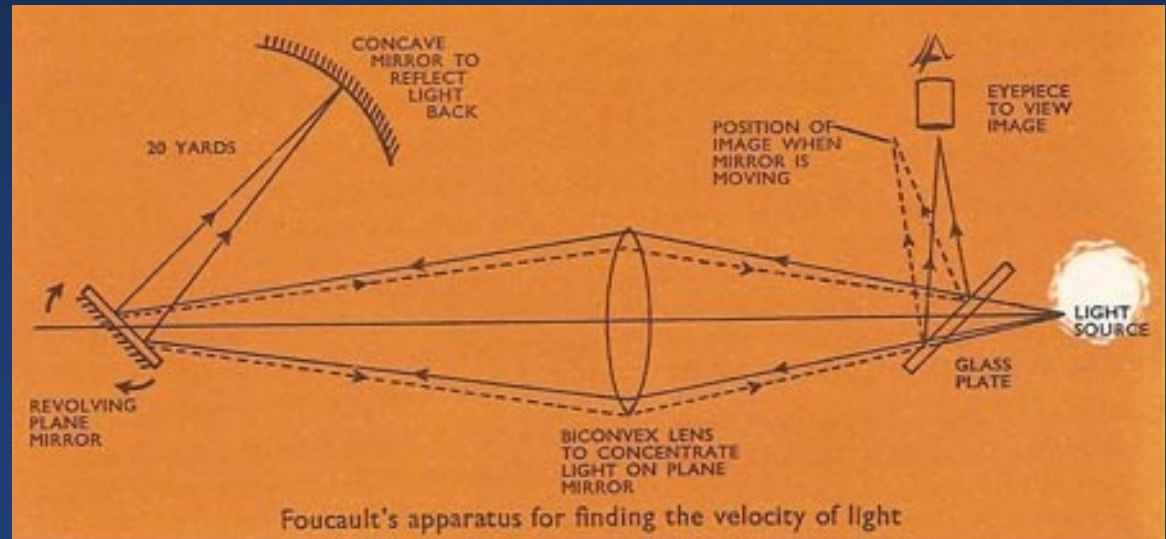
# První měření rychlosti světla v pozemských podmínkách

Zpřesnění rychlosti světla v pozemských podmínkách

**Foucault** (1850) pomocí rychle rotujícího zrcadla. Chyba pod 1% a změření rychlosti světla i v jiném látkovém prostředí (potvrzení nižší rychlosti v látce).



Jean Bernard Leon  
**Foucault**  
(1819 – 1868)



**Souvislost mezi světlem a  
elektrínou či magnetismem?**

# Překvapivé nalezení veličiny $3 \times 10^8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ v oblasti elektřiny a magnetismu

- V 19.století řešení soustavy jednotek. Pro mechaniku soustava **CGS** (Centimetr Gram Sekunda)

-Pro oblast elektřiny a magnetismu řešení pomocí fyzikálních rovnic. Dvě možná řešení:

## 1. Coulombův zákon

soustava **CGSE**

$$[ Q ]_E = \text{g}^{1/2}\text{cm}^{3/2}\text{s}^{-1}$$

$$F_{12} = \text{konst.} \frac{Q_1 Q_2}{R_{12}^2}, \quad \text{konst.} = 1$$

## 2. síla mezi vodiči

soustava **CGSM**

$$[ Q ]_M = \text{g}^{1/2}\text{cm}^{1/2}$$

$$F_{12} = \text{konst.} 2 \frac{I_1 I_2}{R_{12}^2} l, \quad \text{konst.} = 1$$

# Překvapivé nalezení veličiny $3 \times 10^8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ v oblasti elektřiny a magnetismu

Velikost obou jednotek náboje je možné určit měřením

$$\text{Výsledek: } [Q]_E / [Q]_M = 3 \times 10^{10} \text{ cm s}^{-1} \quad !!$$

Zpřesňování hodnot tohoto poměru i rychlosti světla ve  
vakuu  $\rightarrow$  nejde o nahodilou shodu

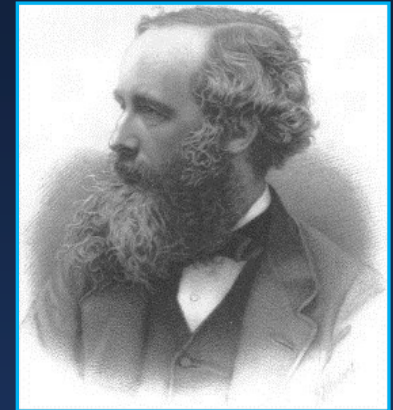


# Konečné vyřešení problému

**Maxwell** (1865) – vytvořil soustavu diferenciálních rovnic (Maxwellovy rovnice), které shrnovaly známé zákonitosti elektrostatického pole, magnetostatického pole, elektromagnetické indukce a vytváření magnetického pole kolem vodiče protékaného proudem. Soustavu ještě doplnil jedním členem.

Bylo možné ukázat, že tato soustava má řešení v podobě příčného elektromagnetického vlnění, které nese energii (proto se může nazývat záření) a ve vakuu se šíří rychlostí

$$c = 3 \times 10^8 \text{ m.s}^{-1} .$$



James Clerk  
**Maxwell**  
(1831 – 1879)

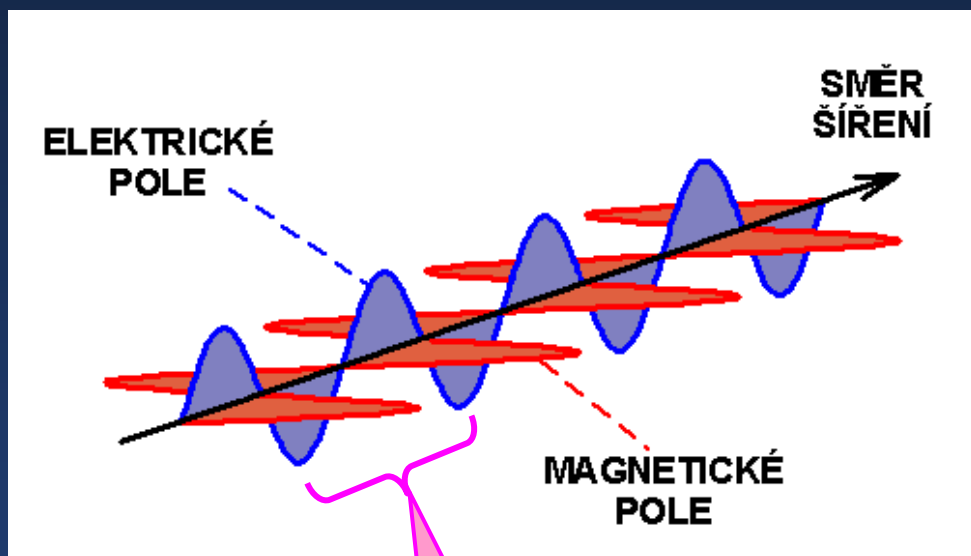
Závěr ze 70. let 19.století:

**Světlo je elektromagnetické záření z určitého frekvenčního oboru**

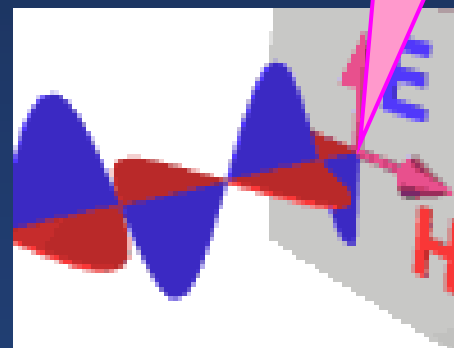
# Světlo je elektromagnetické záření

Postupná elektromagnetická vlna:

Elektrické a magnetické pole osciluje ve vzájemně kolmých směrech ve fázi; obě komponenty jsou kolmé na směr šíření



vlnová délka

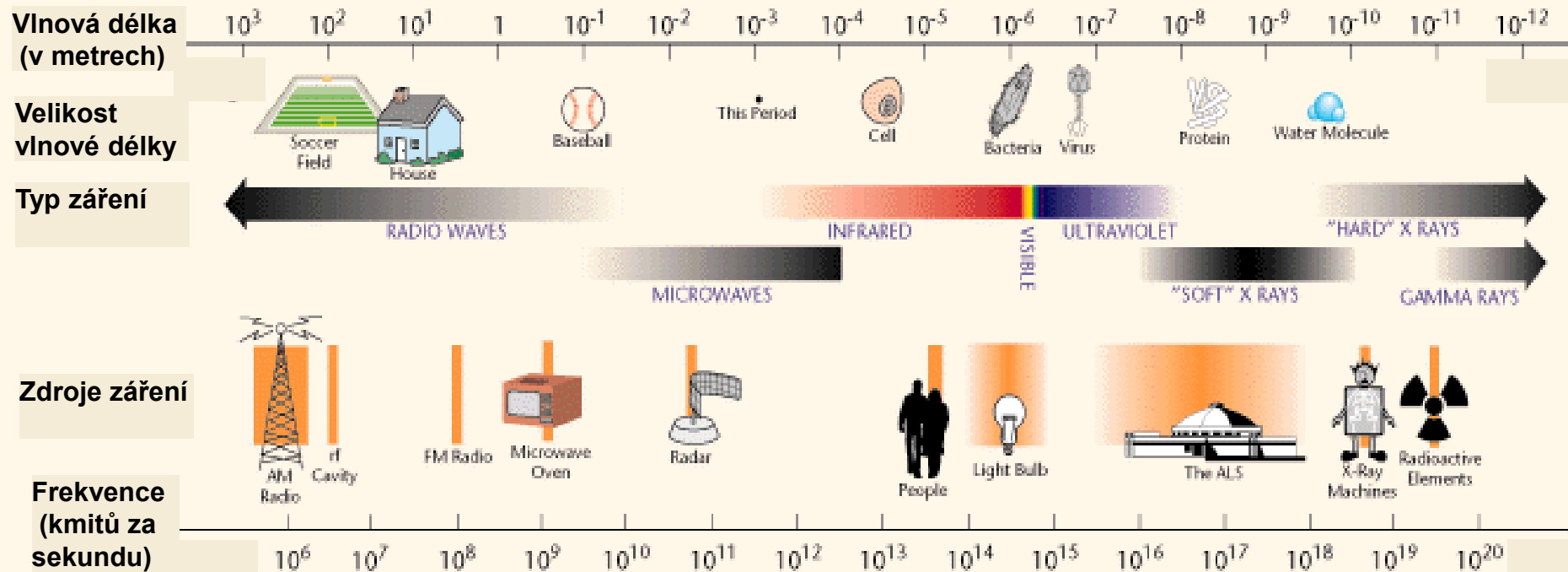


frekvence

**vlnová délka x frekvence = rychlost šíření**

# Světlo je elektromagnetické záření

## THE ELECTROMAGNETIC SPECTRUM



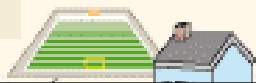
# Světlo je elektromagnetické záření

## THE ELECTROMAGNETIC SPECTRUM

Vlnová délka  
(v metrech)

$10^3$   $10^2$   $10^1$  1  $10^{-1}$   $10^{-2}$   $10^{-3}$   $10^{-4}$   $10^{-5}$   $10^{-6}$   $10^{-7}$   $10^{-8}$   $10^{-9}$   $10^{-10}$   $10^{-11}$   $10^{-12}$

Velikost  
vlnové délky



This Period



Typ záření

Objev infračerveného  
záření

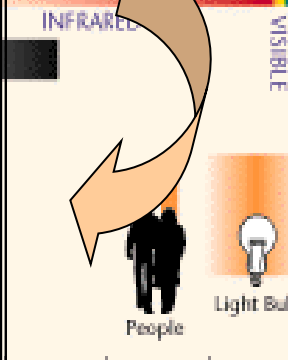


1800

William Herschel

Zdroje záření

Frekvence  
(kmitů za  
sekundu)



Objev ultrafialového  
záření

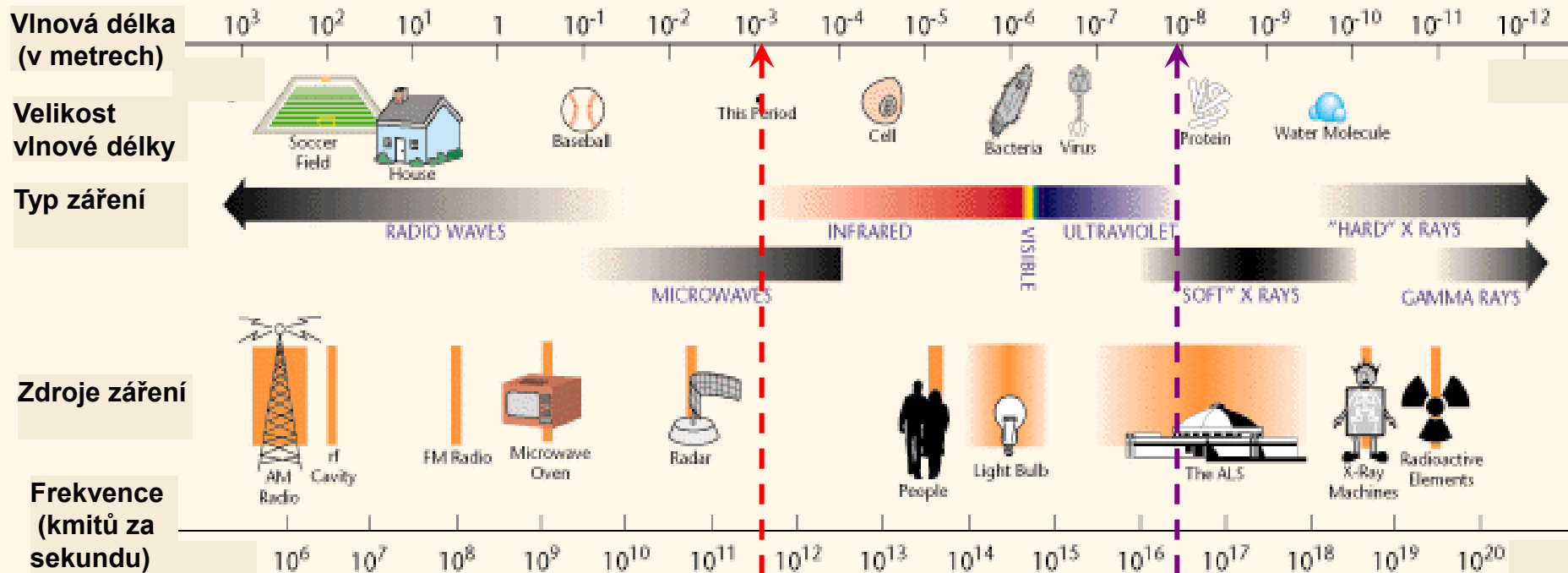


1801

Johann Wilhelm Ritter

# Světlo je elektromagnetické záření

## THE ELECTROMAGNETIC SPECTRUM



Vlnová délka přestává být mnohem menší než běžné velikosti technických prvků

Vlnová délka přestává být mnohem větší než meziatomové vzdálenosti