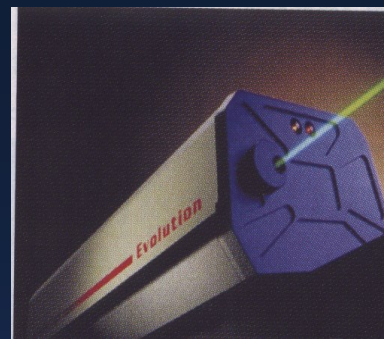


Co je světlo?

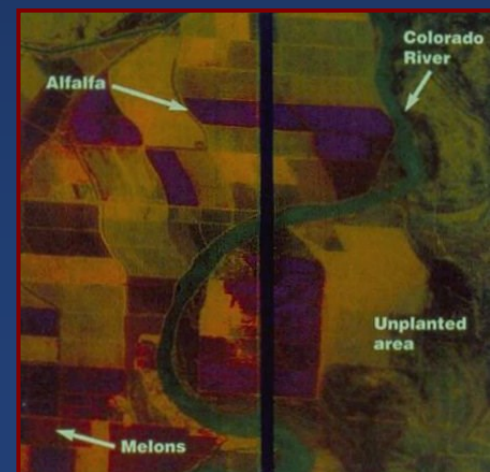
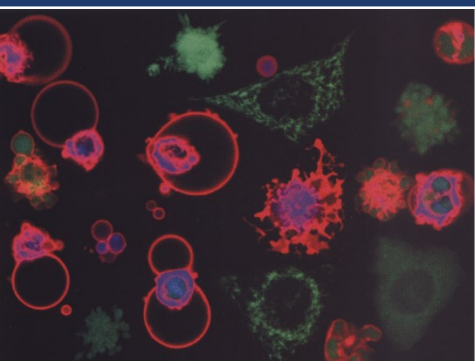
*Josef Štěpánek
Fyzikální ústav MFF UK*



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?

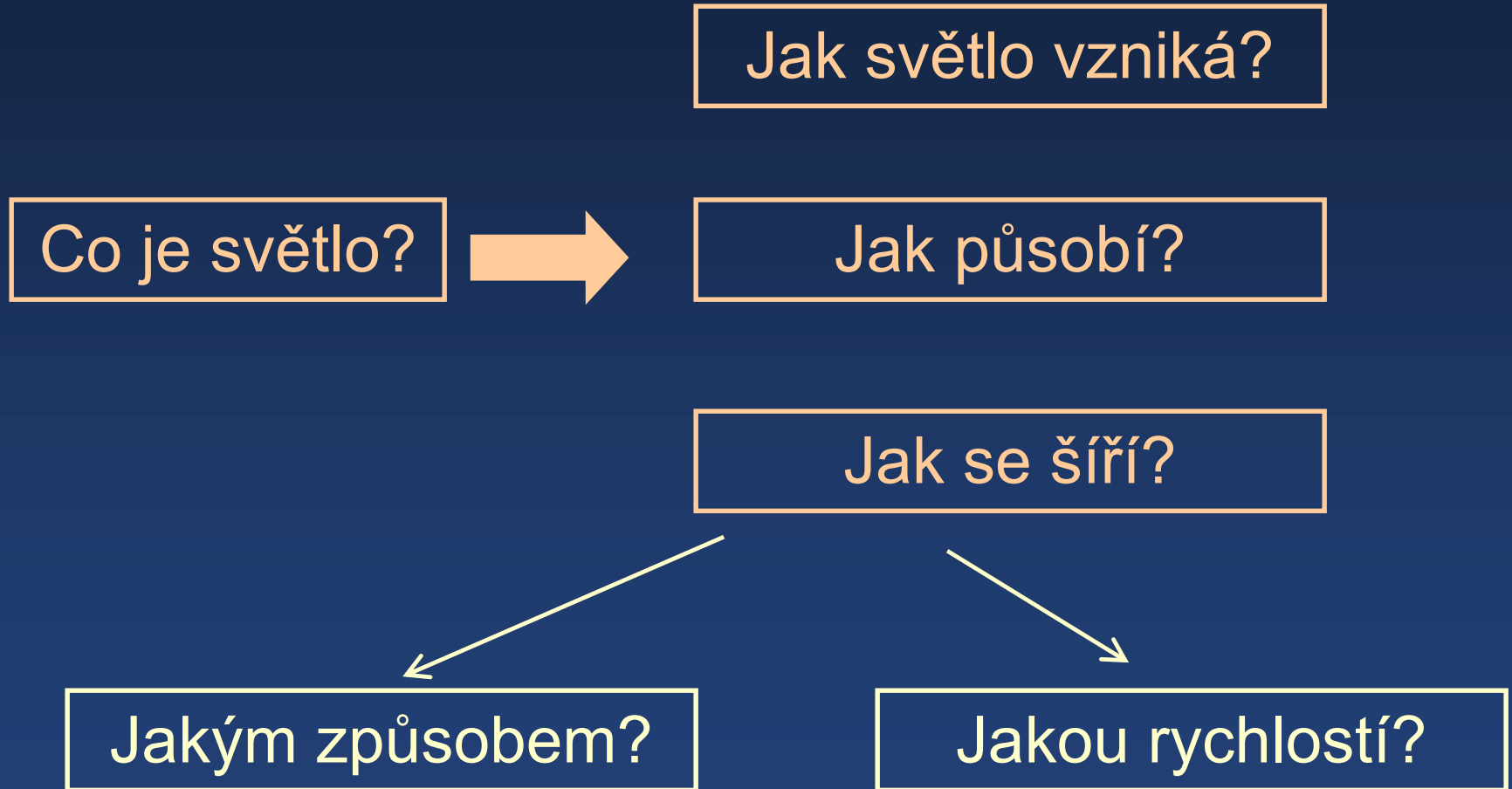


Co je to světlo?

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 (korpuskulární) teorie

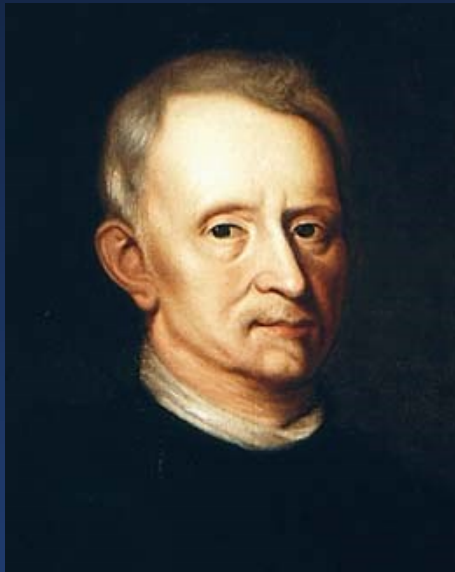


Rene Descartes
(1596 – 1650)



Isaac Newton
(1643 – 1727)

Vlnová teorie



Robert **Hooke**
(1635 – 1703)



Christians **Huygens**
(1629 – 1695)

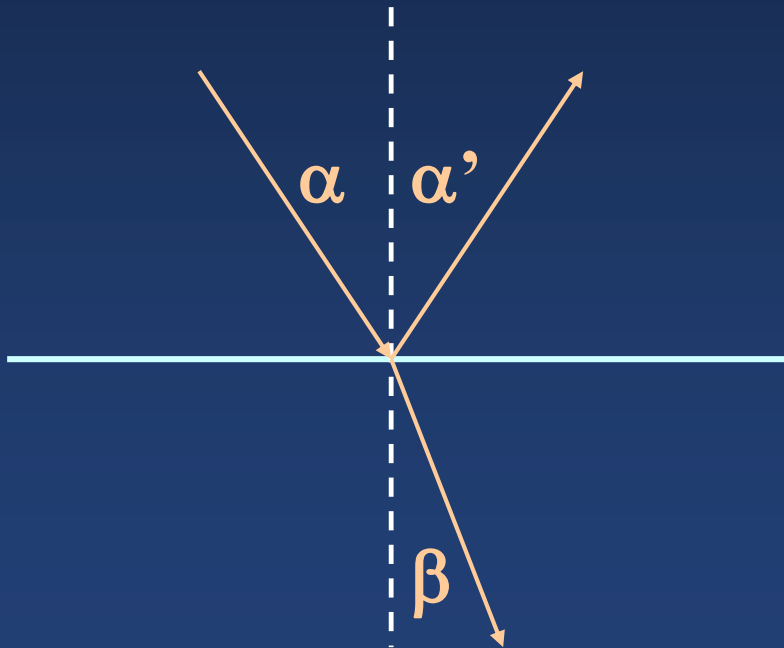
Jaké vlastnosti světla byly známy?

Přímočaré šíření světla



Jaké vlastnosti světla byly známé?

Zákon odrazu a zákon lomu

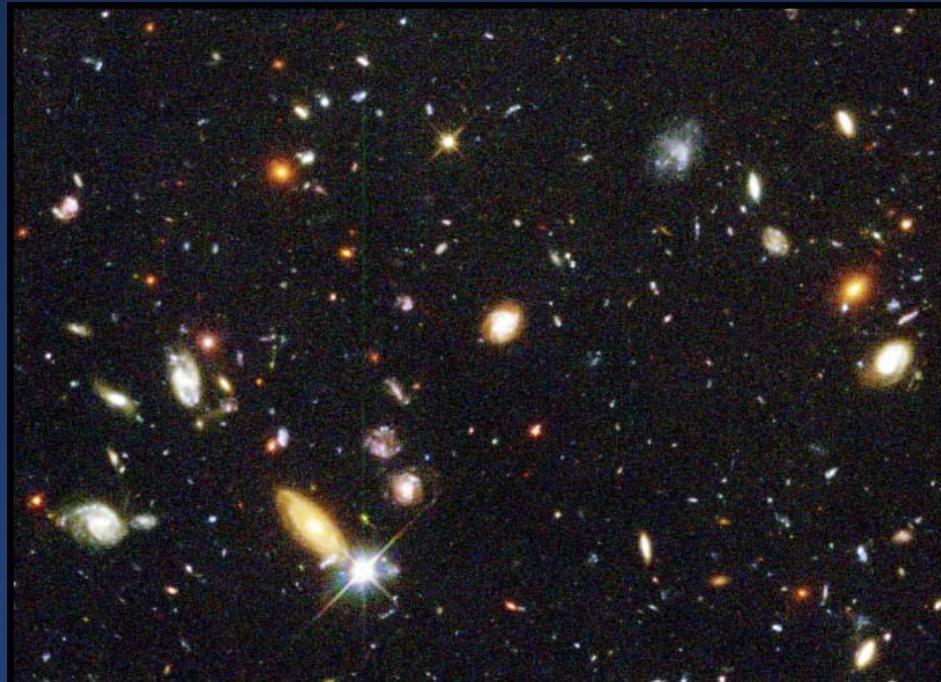


$$\alpha = \alpha'$$

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

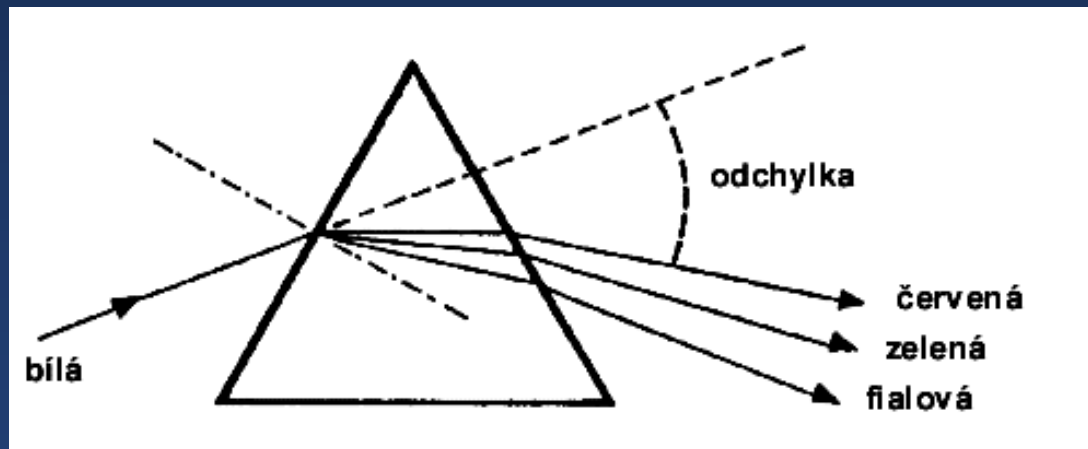
Jaké vlastnosti světla byly známé?

Šíření ve vakuu



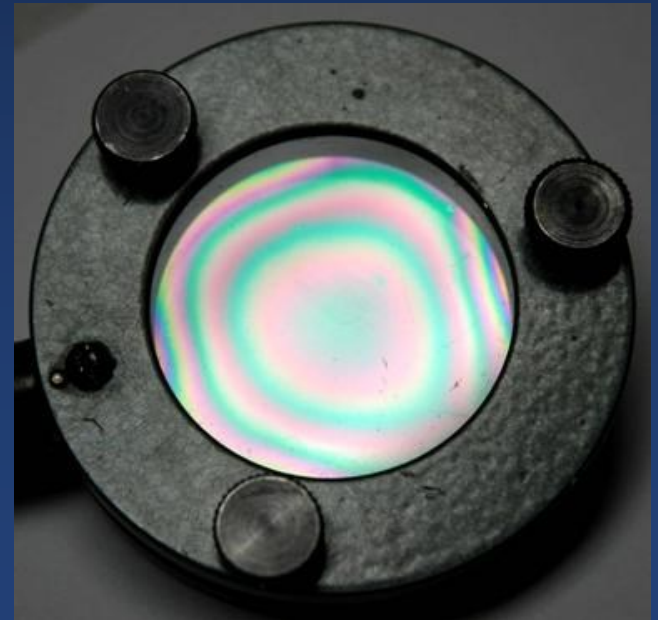
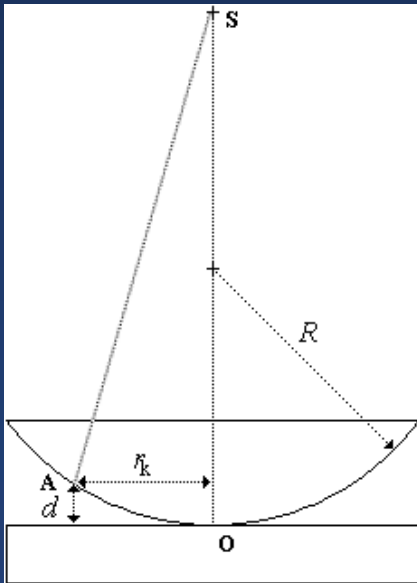
Jaké vlastnosti světla byly známy?

Rozklad bílého světla na barevné složky



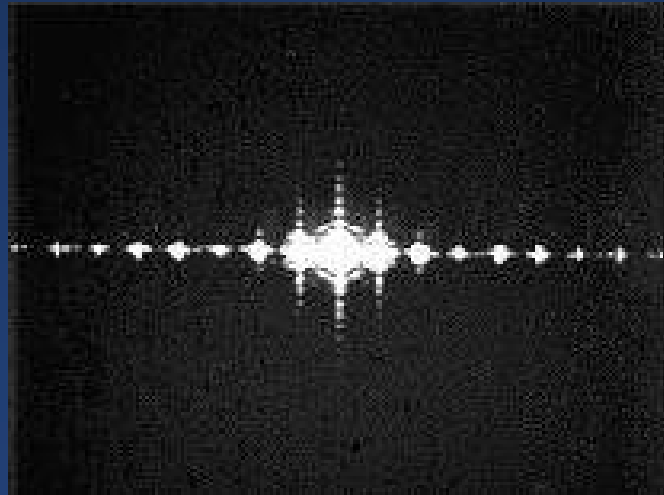
Jaké vlastnosti světla byly známé?

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		

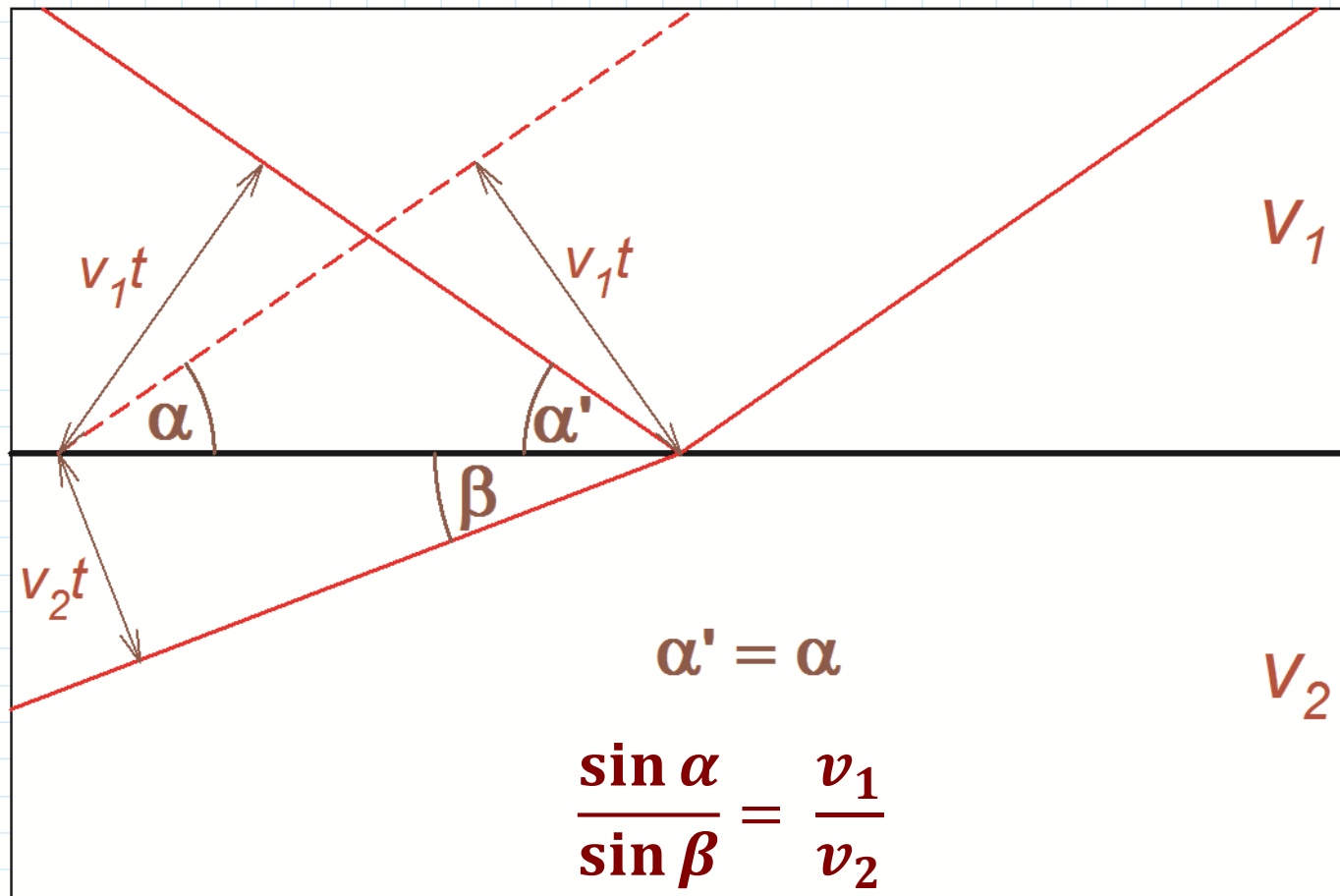
Huygensův princip

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		

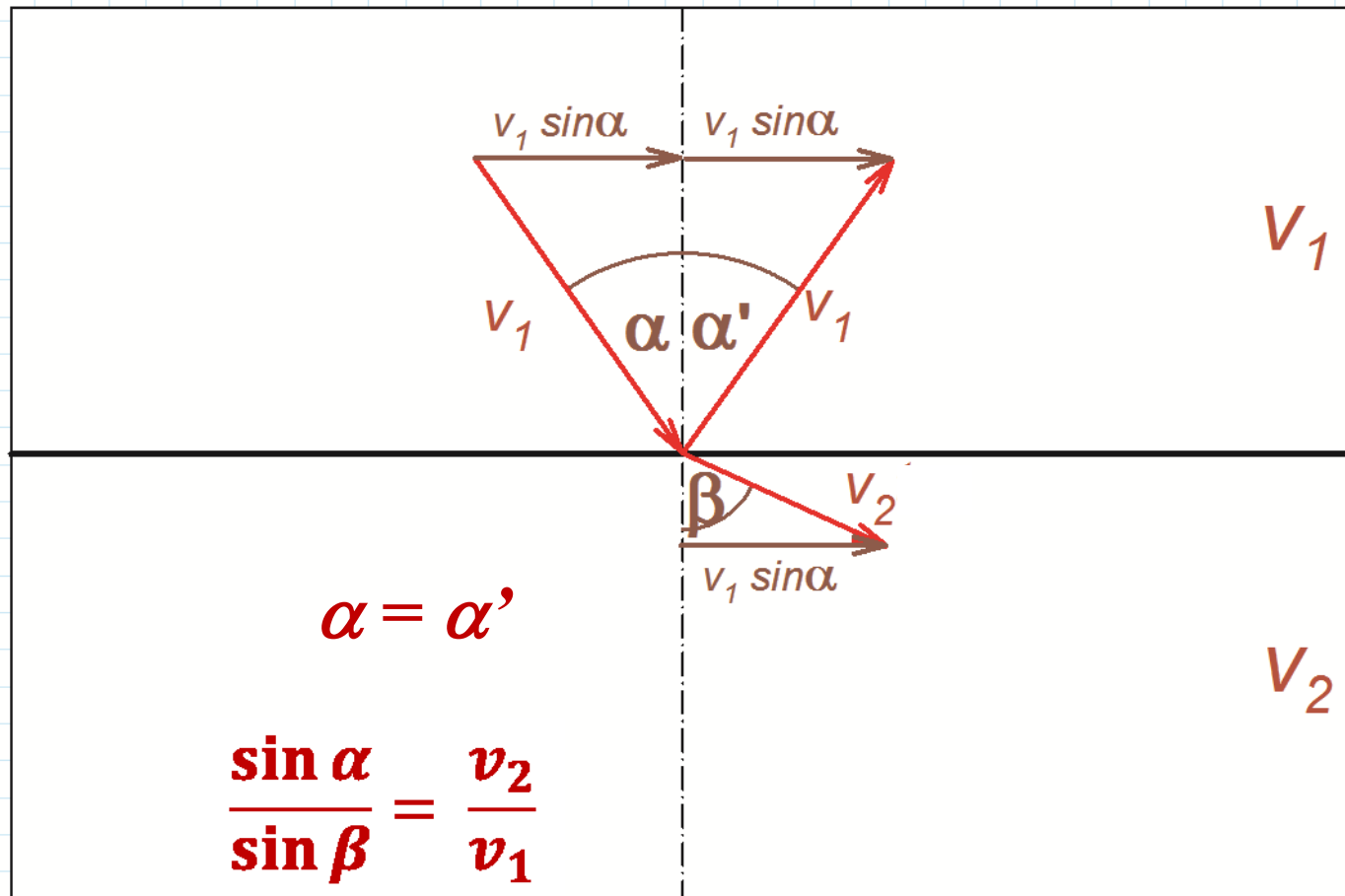
Zákon odrazu a lomu podle vlnové teorie



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



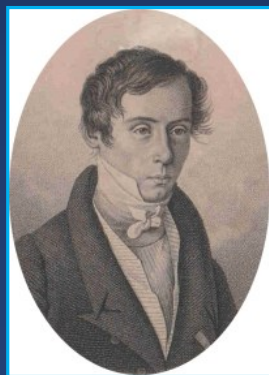
Thomas **Young**
(1773 – 1829)

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)

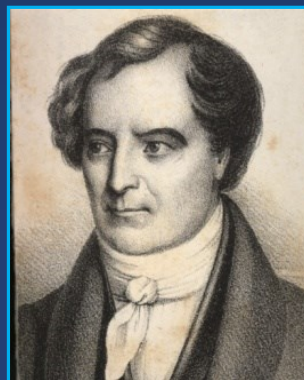
Od 17. do začátku 19. století

- 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

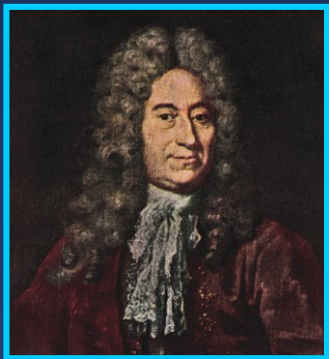
- spor Hooke x Newton, příklon ke korpuskulární teorii po celé 18. století
- konec 18. století ... Thomas **Young**:
difrakce na dvojštěrbíně – interference
- Vyhlášení ceny Francouzské akademie
- Augustin Jean **Fresnel**: světlo jako vlnění, které se skládá
- Snaha o zavržení Fresnelovy teorie (Poisson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

Jakou rychlostí se světlo šíří?

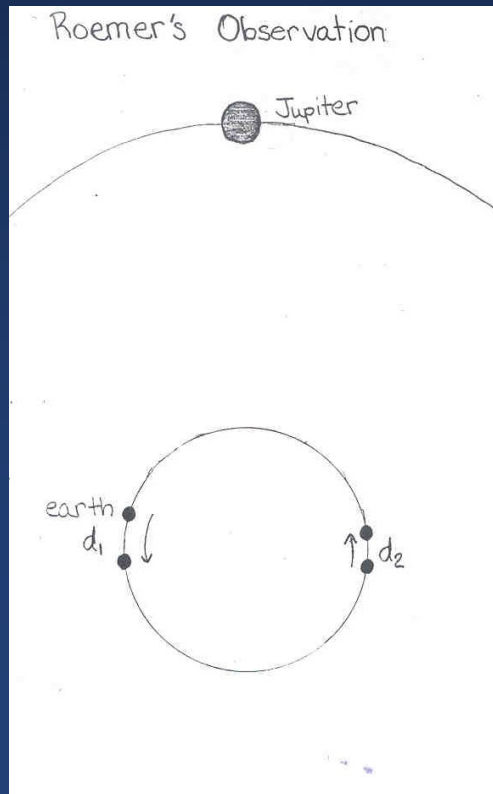
První odhady rychlosti světla

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 $c = 2 \times 10^8 \text{ m.s}^{-1}$

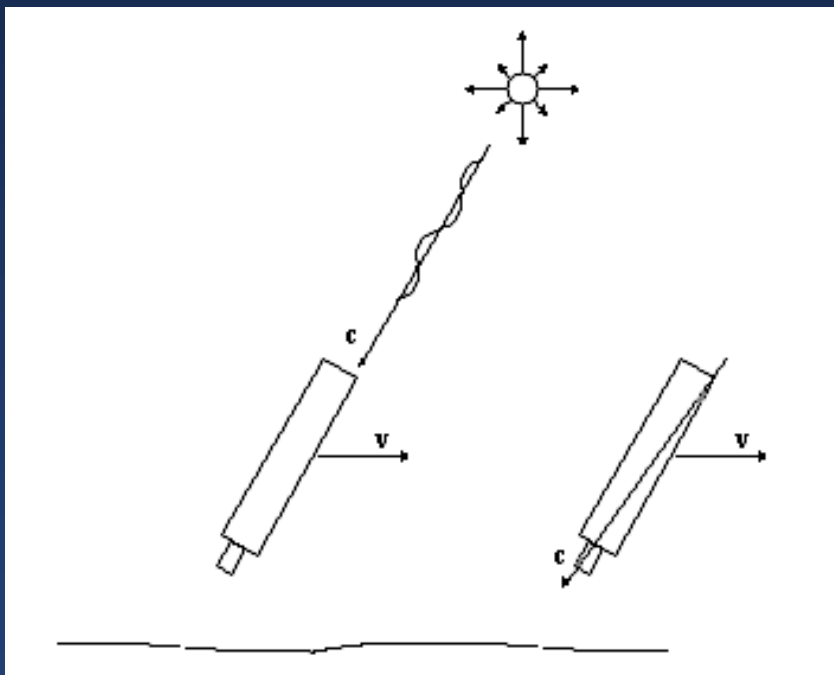


Olaf Rømer
(1644–1710)



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 $c = 2,95 \times 10^8 \text{ m.s}^{-1}$

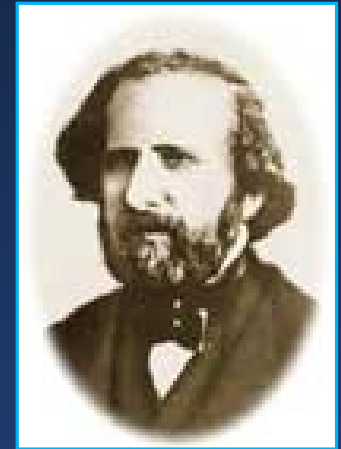
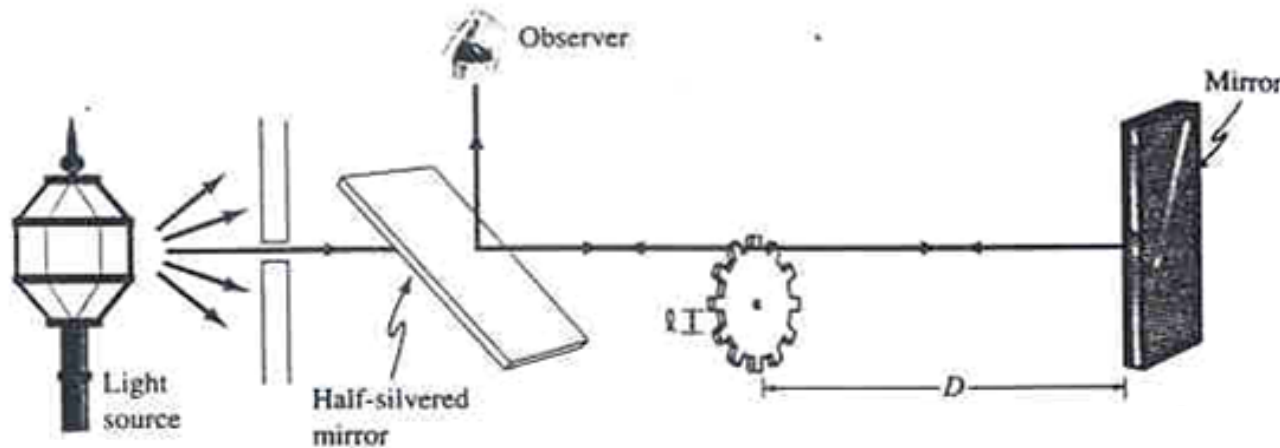


James Bradley
(1693 – 1762)

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)

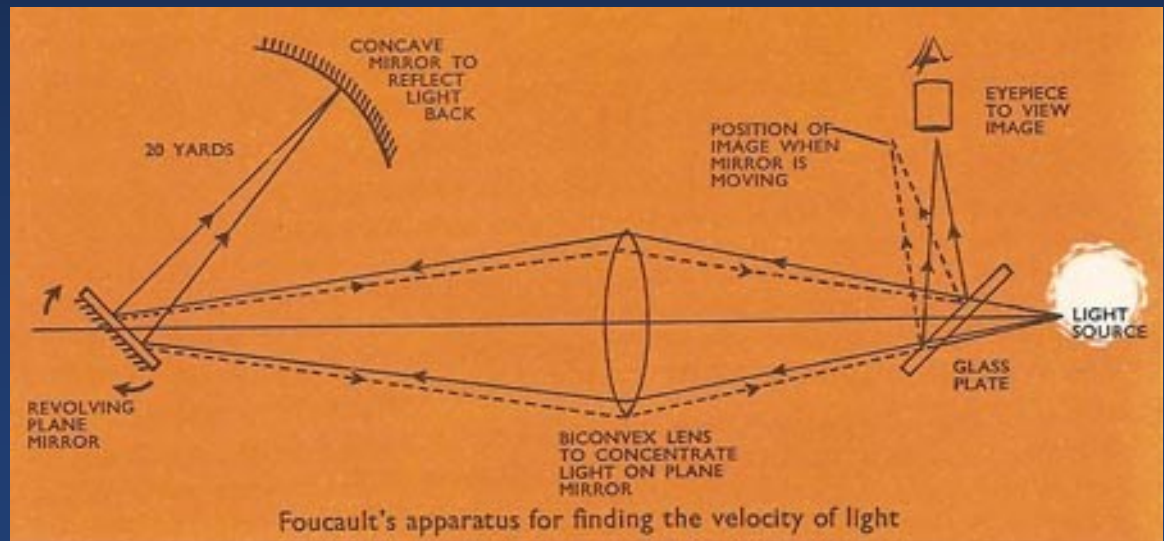
První měření rychlosti světla v pozemských podmínkách

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 $3 \times 10^8 \text{ m.s}^{-1}$ 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 $3 \times 10^8 \text{ m.s}^{-1}$ v oblasti elektřiny a magnetismu

Velikost obou jednotek náboje je možné určit měřením

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

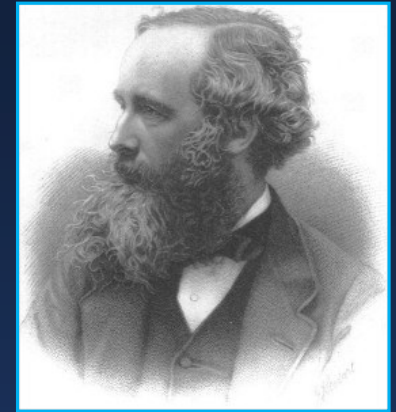
Zpřesňování hodnot tohoto poměru i rychlosti světla ve vakuu → nejde o nahodilou shodu

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)

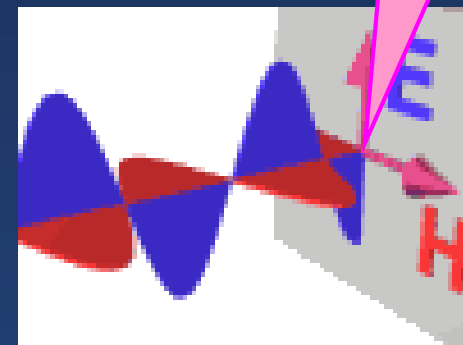
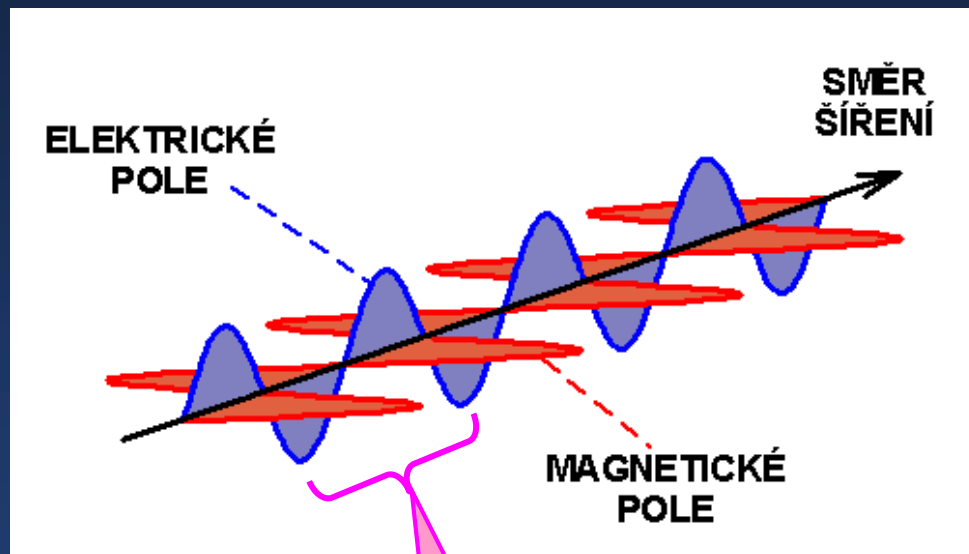
Závěr ze 70. let 19.století:

**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



$$\text{vlnová délka} \times \text{frekvence} = \text{rychlost šíření}$$

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

Typ záření

Zdroje záření

Frekvence
(kmitů za
sekundu)

Objev infračerveného záření



1800

William Herschel

Objev ultrafialového záření

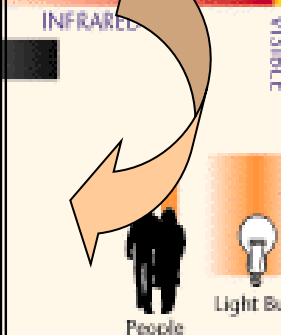


1801

Johann Wilhelm Ritter



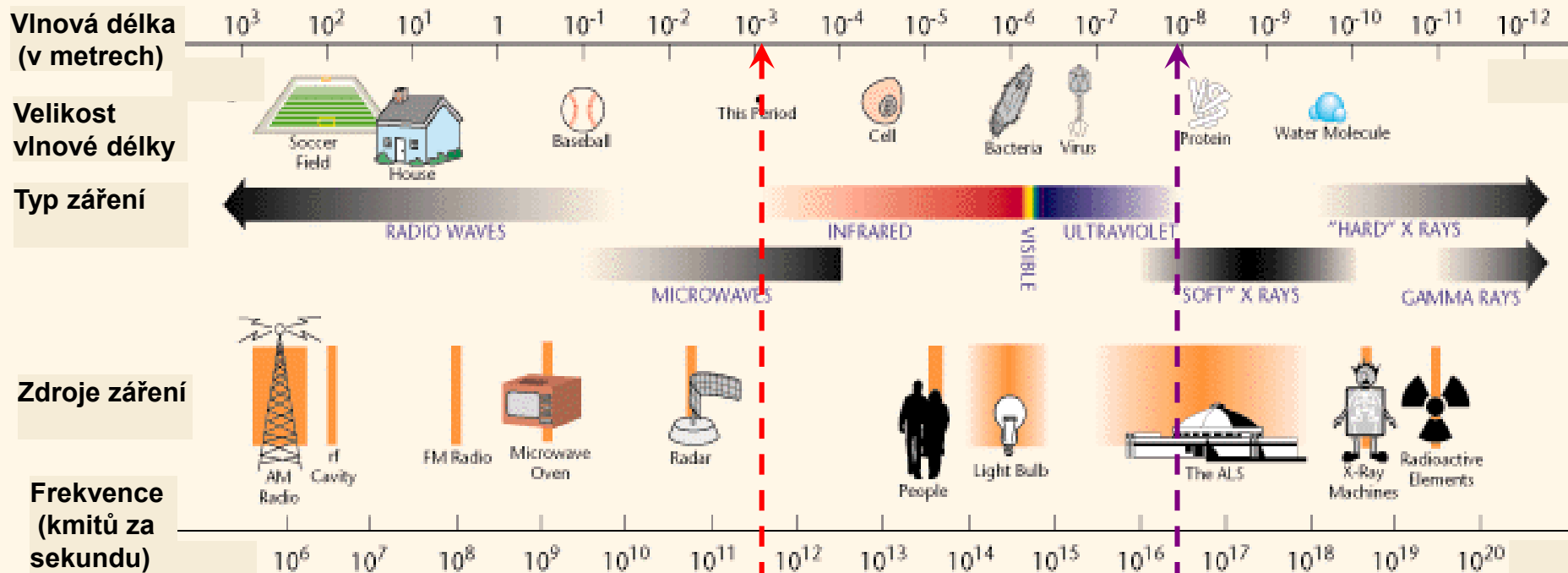
This Period



12 10^{13} 10^{14}

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