

# Ótica, Introdução á ótica

---



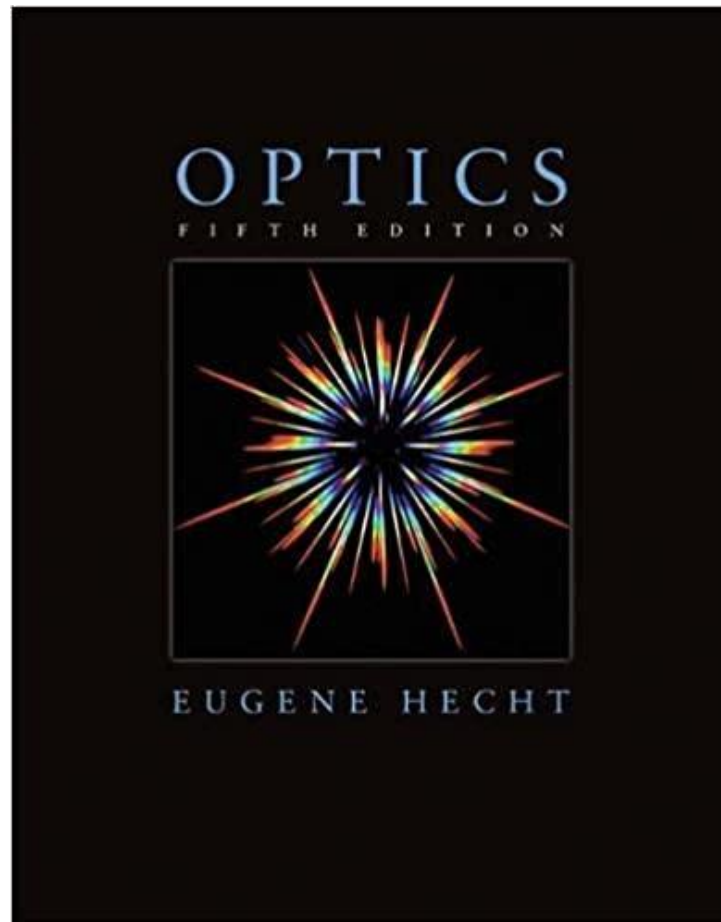
Ótica - “a ciência da luz”



Michael Belsley  
[belsley@fisica.uminho.pt](mailto:belsley@fisica.uminho.pt)  
Edifício 6 gab 1.10; lab 1.06

# Texto

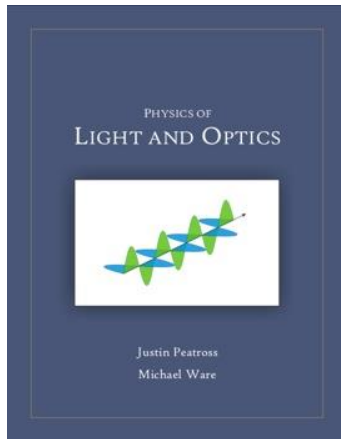
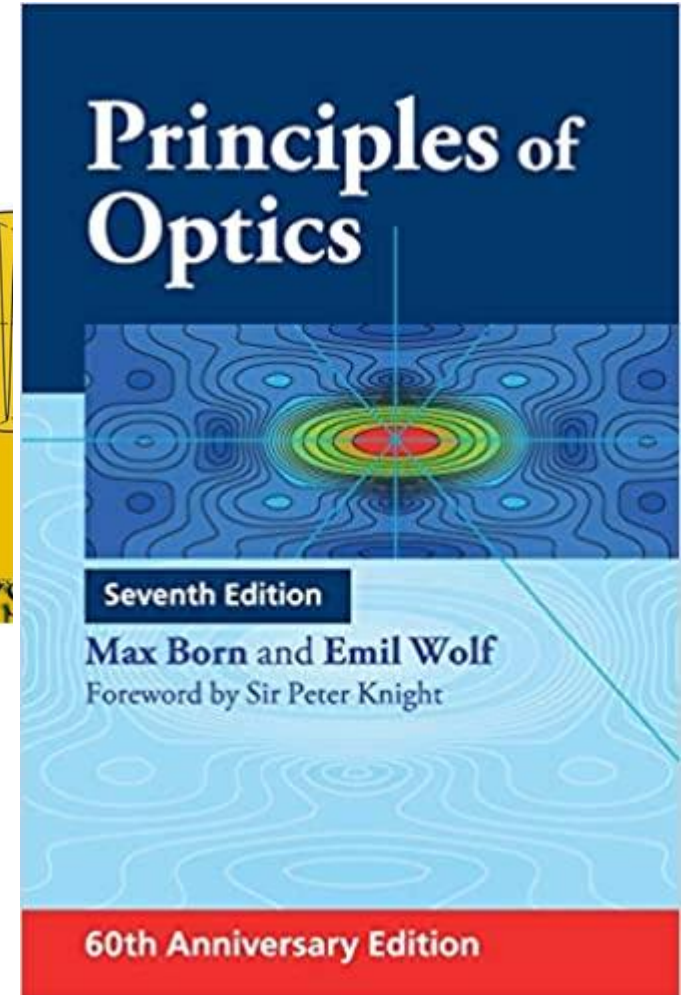
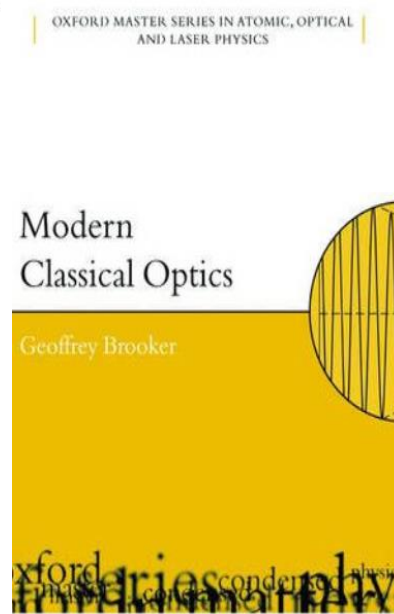
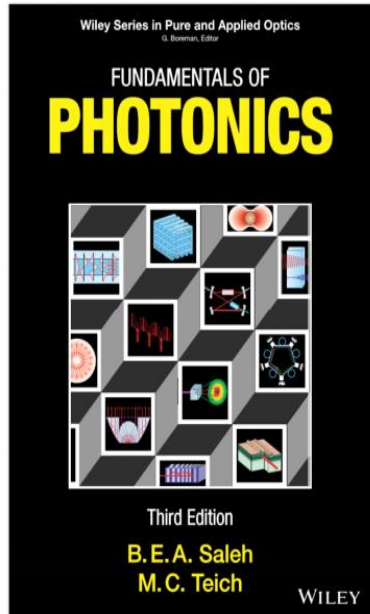
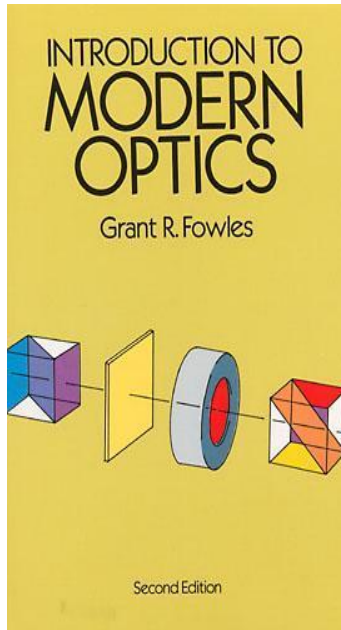
---



2016

1 A Brief History	1
2 Wave Motion	10
3 Electromagnetic Theory, Photons, and Light	37
4 The Propagation of Light	88
5 Geometrical Optics	151
6 More on Geometrical Optics	247
7 The Superposition of Waves	282
8 Polarization	330
9 Interference	390
10 Diffraction	449
⋮	
?	

# Bibliografia alternativa

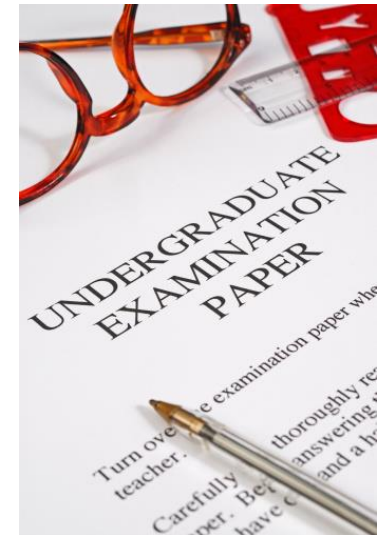
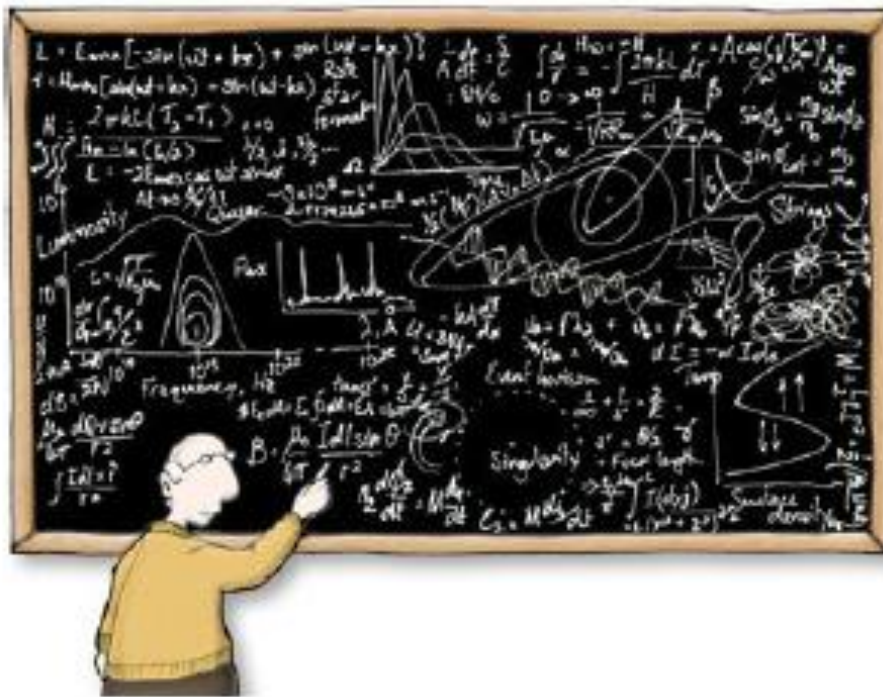


Acesso livre  
<https://optics.byu.edu/textbook>

---

## Avaliação:

**2 Testes escritos (4 Abril, 23 Maio)?**





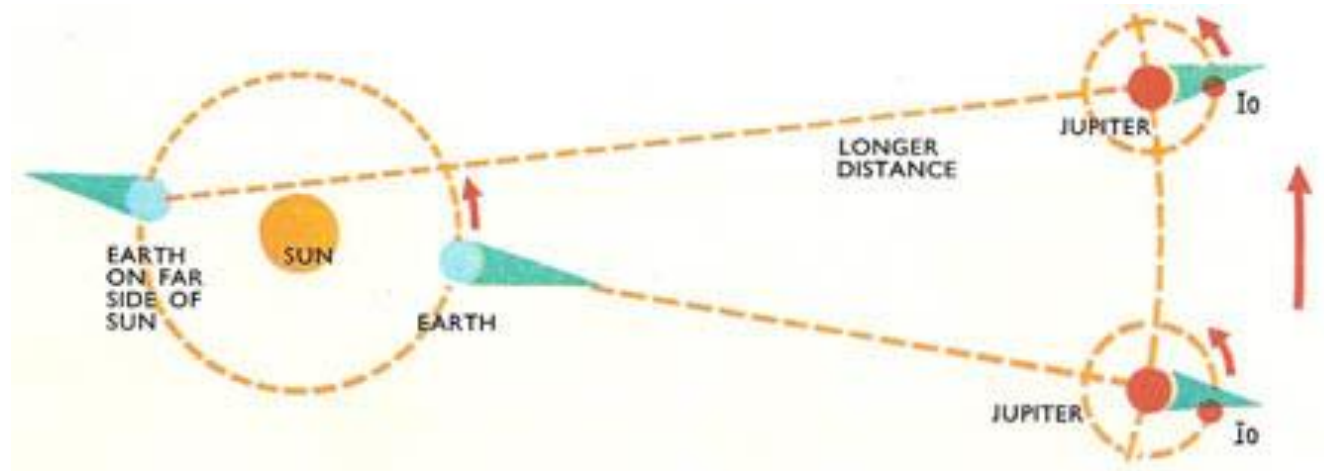
# Pergunta Fundamental

Qual é a velocidade da luz? (reposta do Galileu – “muita elevada”)  
Como é possível de a medir?



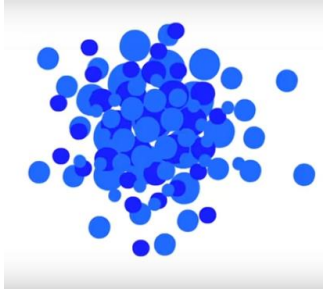
Ole Römer 1676

cerca de  $2,2 \times 10^8$  m/s



# Pergunta fundamentais II

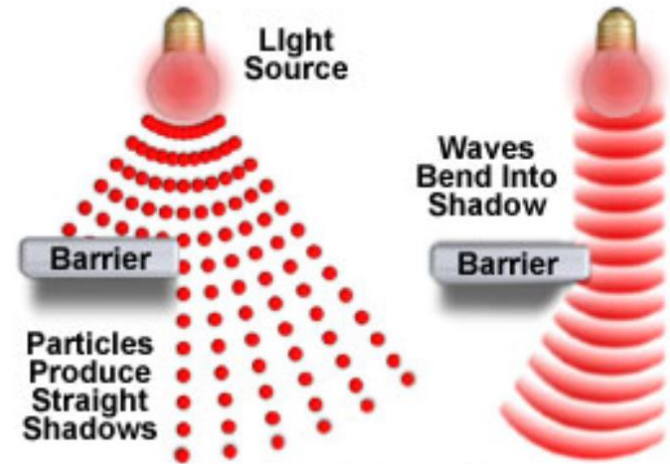
Qual é a natureza da luz?  
É um fenómeno ondulatório ou corpuscular?



Partículas tem massa, momento

Sem forças externas propagam em linhas retas

São inteiros (um metade dum elétron não faz sentido)



Ondas transportam energia mas não massa

possível diminuir arbitrariamente  
(não existe uma onda que é a mais pequena)

Ondas clássicas necessitam um meio

# Breve historia de ótica



Um espelho de cobre polido descoberto no quartel dos trabalhadores perto do tombo de Sesóstris II (~1900 AEC)

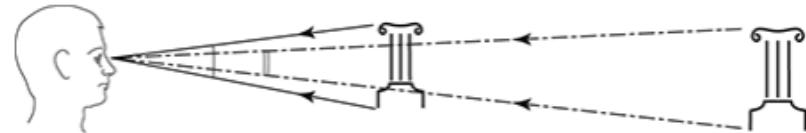


**Gregos antigos** (500-300 AEC)

Vidro que cria chamas Aristófanes (424 AEC)

Lei de reflexão Euclides (300 AEC)

Refração em água mencionado pelo Platão no “Republica”



**Chineses antigos** (500-400 AEC) câmara obscura, lei de reflexão, espelhos curvados focam luz

Sêneca (3 AEC - 65 EC) – uso esferas de vidro para ampliar objetos

Alhazém (~1000) estudou espelhos esféricas e parabólicas, percebeu que visão resulta da luz entrar no olho

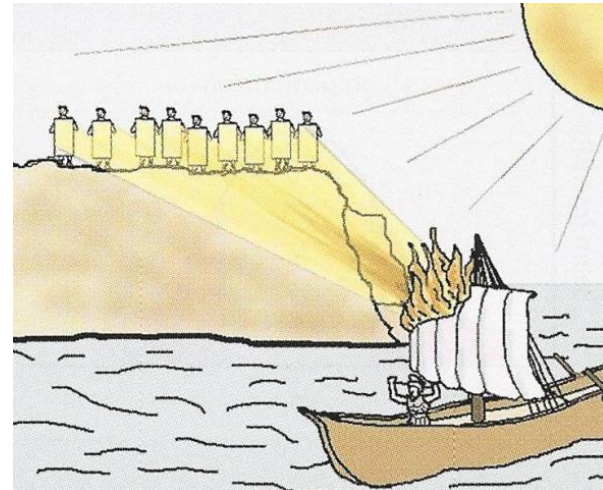
Ibn Sahl (940-1000) Lei de refração



# Lenda

---

A lenda disse que Arquimedes equipou centenas de pessoas com espelhos metais para incendiar os barcos dos Romanos invasoras em Siracusa (- 213 AEC)



“Myth busters” (2006)

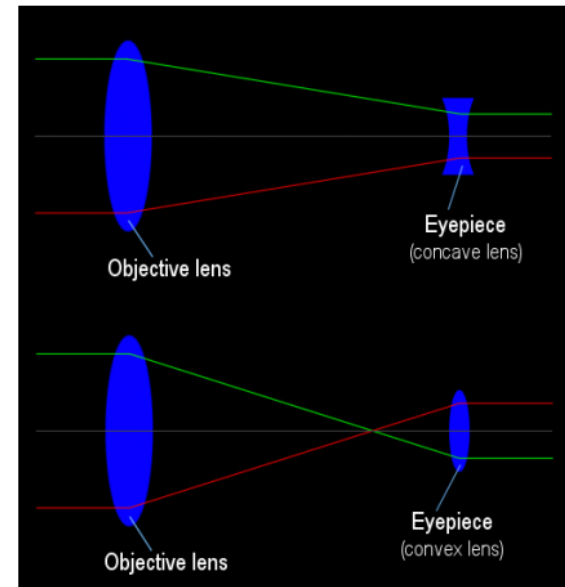
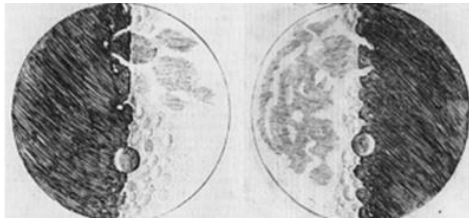
Pouco provável que aconteceu  
(mas serviu de inspiração para  
estudar ótica durante muito anos)



# Ótica no século 17 em Europa

Hans Lippershy (Holandês) patenteou o telescópio “galileu” em 1608.

Um ano mais tarde o Galileu fabricou um e uso para observar as lua de Júpiter.



Francesco Fontana (Italiano 1580-1654) trocou a lente concava (divergente) por uma lente convexa (positiva) e assim criou o telescópio “Keplariano”

Johannes Kepler (1571-1631) descobriu reflexão interna total, explicou como os telescópios criam imagens ampliadas dos corpos distantes, desenvolveu uma teoria da ótica geométrica, uso telescópios “Keplarianos” para estudar os planetas

# Mais ótica do século 17

---

**René Descartes** Pensou que luz deve se propagar na forma ondulatório tal como som; redescobriu a lei de refração

**Pierre de Fermat** desenvolveu o princípio de tempo menor para descrever a propagação da luz

**Francesco Maria Grimaldi** explorou o fenómeno de difração

**Robert Hooke** estudou interferência entre filmes finos e desenvolveu uma teoria ondulatória da luz

**Willibrord Snell va Royen** redescobriu a lei de refração pela terceira vez (que ficou conhecido com a Lei de Snell)

$$n_1 \sin(\theta_1) = n_2 \sin(\theta_2)$$



Rene Descartes  
(1596-1650)



Pierre de Fermat  
(1601-1665)

---

# Christiaan Huygens (1629 – 1695)

---

Estendeu a teoria ondulatória de ótica

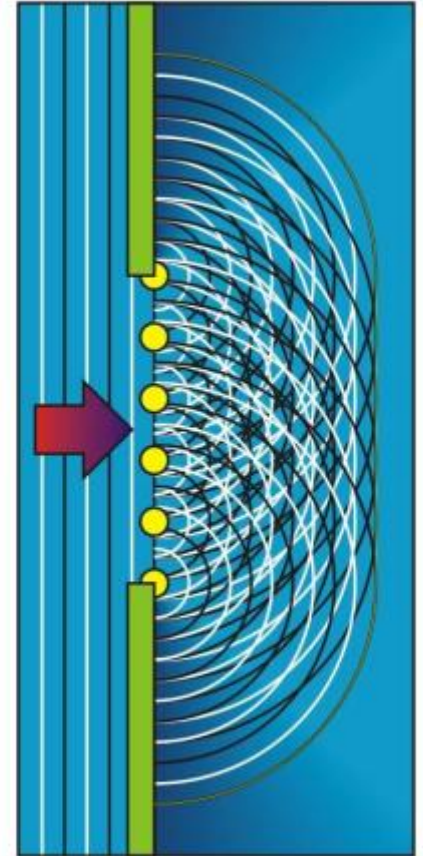
Entendeu que luz se propaga mais devagar quando entre no meio mais denso.

Explicou polarização e refração dupla



Christiaan Huygens

Um onda se propaga como cada ponto na frente de onda fosse um fonte de ondas esféricas



# Issac Newton (1642 – 1727)

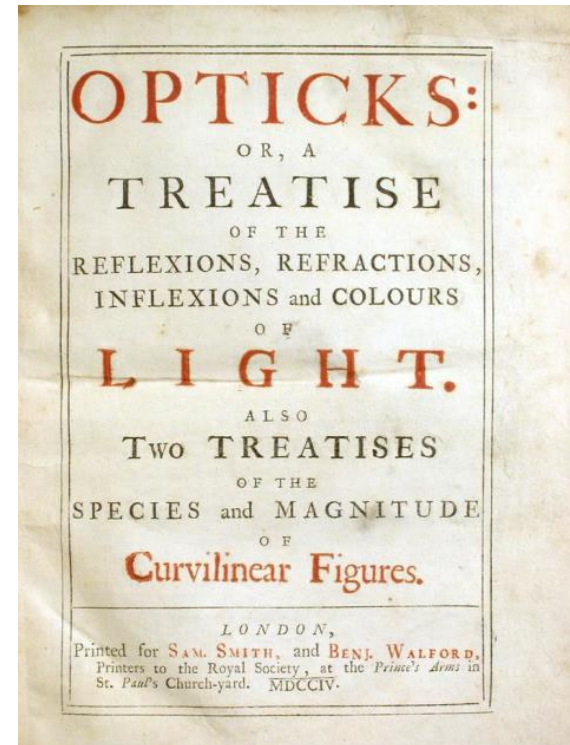
---

Com 23 anos (em quarentena) realizou seu trabalho famoso sobre a dispersão das cores através prismas.



Depois muitos anos de ambivalência decidiu em favor da teoria corpuscular da luz

Em 1704 publicou “Optiks” (em Inglês)





# Século 18, início século 19

---

**Leonard Euler (1707-1783)** avançou a teoria ondulatório e desenhou lentes acromáticas (combinação de vidros diferentes)

**Thomas Young (1772-1829)** demonstrou que luz é uma onda transversa, explicou interferência da dupla fenda, franjas coloridas

**Augustin Fresnel (1788-1827)** Realizou experiências para estabelecer a teoria ondulatória redescobriu interferência e difração

**Joseph Fraunhofer (1787 – 1826)** Inventou o espectrómetro, perfeccionou técnicas para fabricar ótica da qualidade.

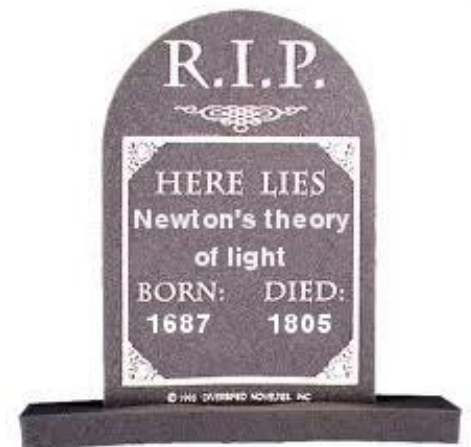
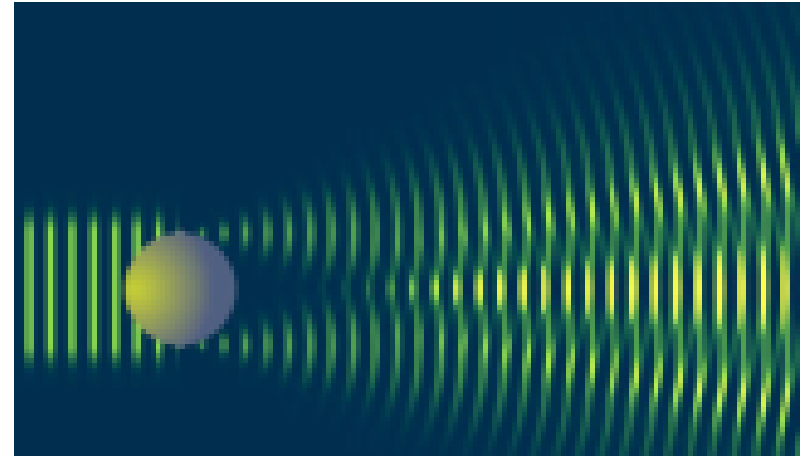
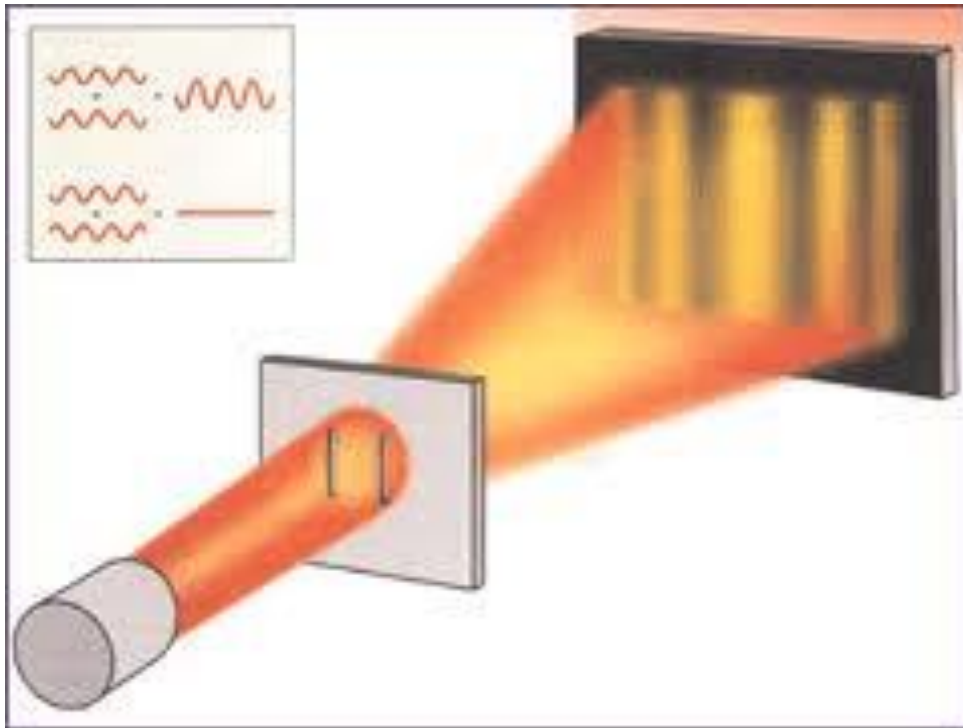


Thomas Young (1773-1829)



Augustin Fresnel

---

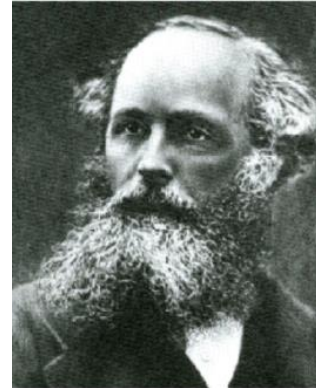


# Maxwell

Unificou eletricidade com magnetismo

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{E} = \rho / \epsilon_0 \quad \vec{\nabla} \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$$

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{B} = 0 \quad \vec{\nabla} \times \vec{B} = \mu_0 \vec{J} + \mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t}$$



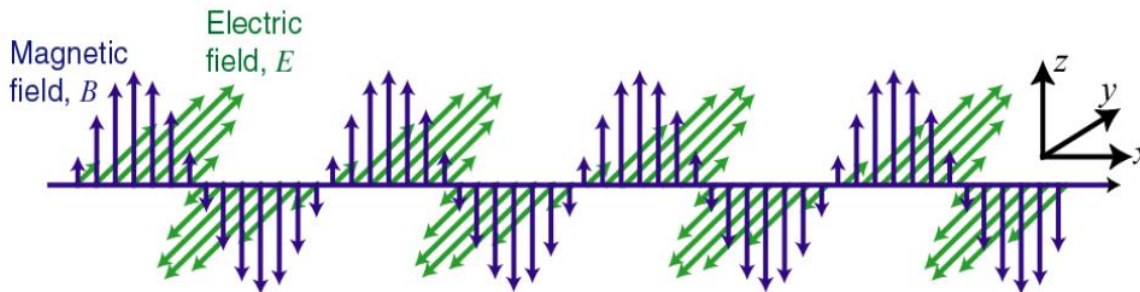
James Clerk Maxwell  
(1831 – 1879)

Uma consequência é a equação de onda para um campo elétrico ou magnético

$$\left( \nabla^2 - \epsilon_0 \mu_0 \frac{\partial^2}{\partial t^2} \right) \begin{Bmatrix} \vec{E}(\vec{r}, t) \\ \vec{B}(\vec{r}, t) \end{Bmatrix} = 0$$

Onda que se propaga com uma velocidade

$$c = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \mu_0}} \approx 3 \times 10^8 \text{ m/s}$$



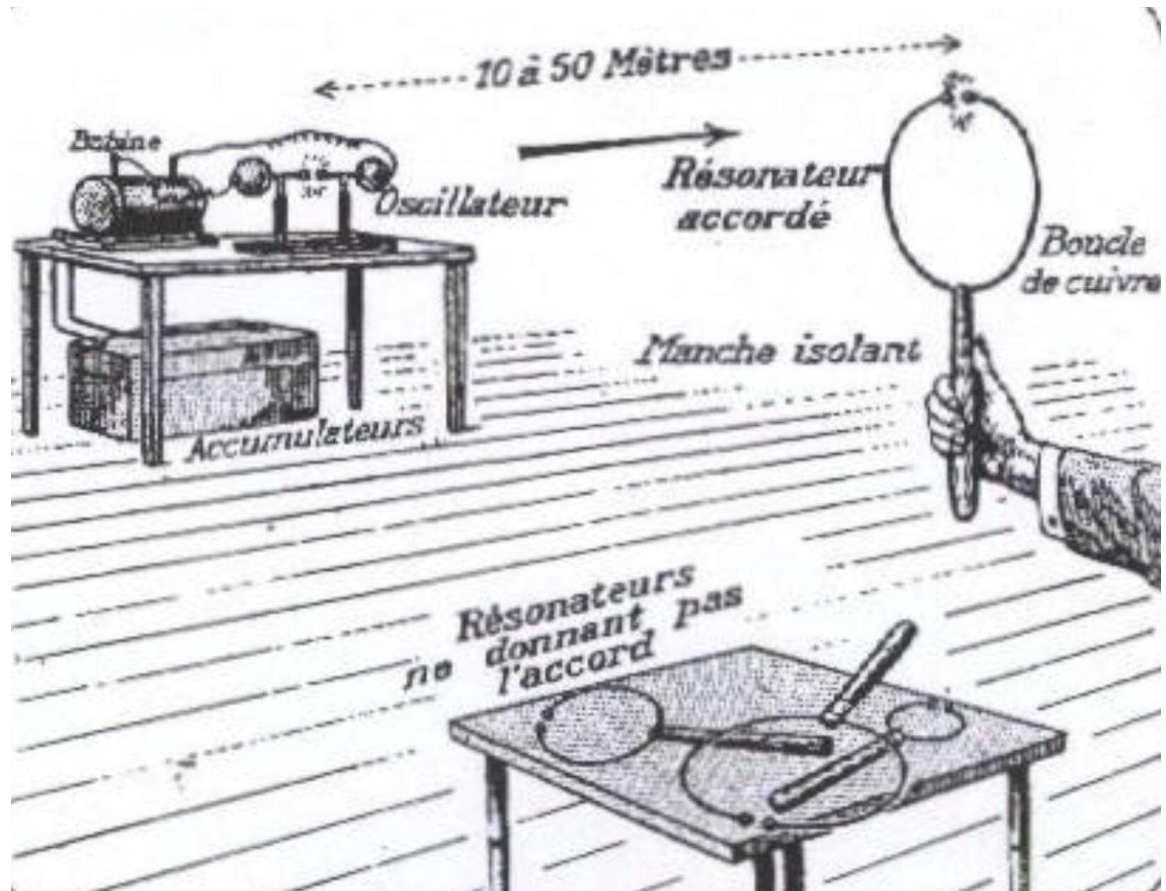
Maxwell assumiu que ondas EM como todas as ondas necessitam um meio para se propagar. O “éter”

# Confirmação experimental



Heinrich Hertz (1886)

Verificou que onda eletromagnéticas podiam ser geradas e detetadas





# Michelson-Morely

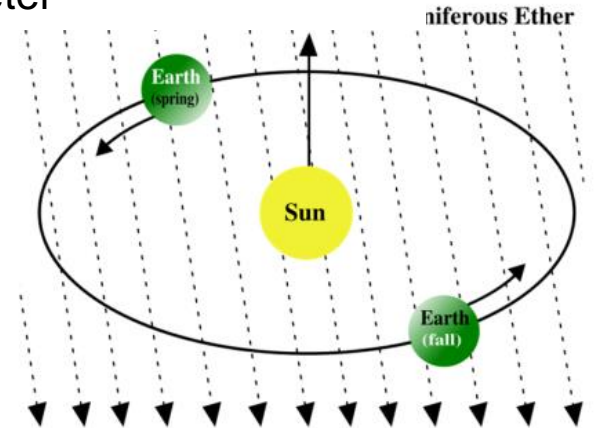
Numa séries de experiências cuidadosas (1890s) o Albert Michelson e Edward Morley tentavam detetar a velocidade da Terra em relação ao éter

Não foi encontrado nenhuma indicação que existe uma velocidade relativo entre a Terra e o éter.

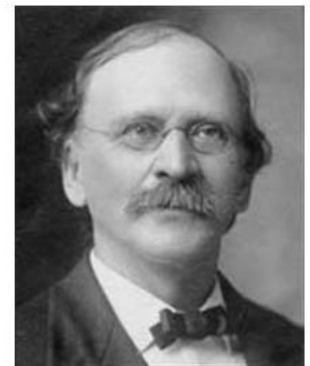
A implicação é:

- (a) O éter não existe (i.e. radiação EM não necessita um meio para se propagar)
- (b) A Terra fico no centro do Universo ao volta da qual tudo revolve.

Ninguém gostou muito opção (b)



Albert Michelson  
(1852 – 1931)



Edward Morley  
(1838 – 1923)

# Albert Einstein (1905)



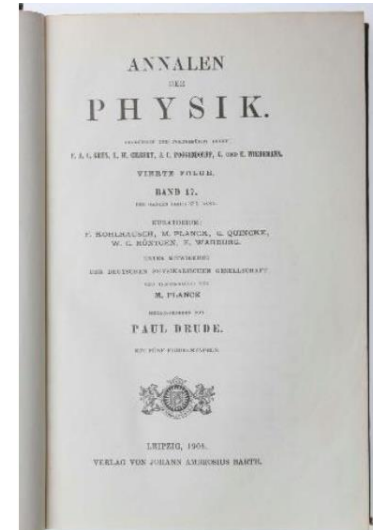
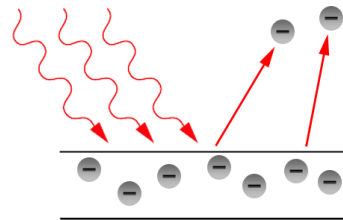
Notou que as equações de Maxwell só são consistentes se a velocidade da radiação EM fosse independente da velocidade da fonte ou do observador.

“A eletrodinâmica dos corpos em movimento”

Desenvolveu a teoria da **relatividade restrita**: o espaço e o tempo não são dois fenómenos distintos, mas dois aspeto da mesma entidade.

“ Uma visão pragmática sobre produção e transformação da luz”  
Reanimou parcialmente a teoria corpuscular do Newton em propor que a energia da luz é quantizada (fotões).

Efeito fotoelétrico  
(observado pelo Hertz em 1887)



# Ótica quântica

---



Natureza quântica da luz mais saliente nas intensidades baixas.

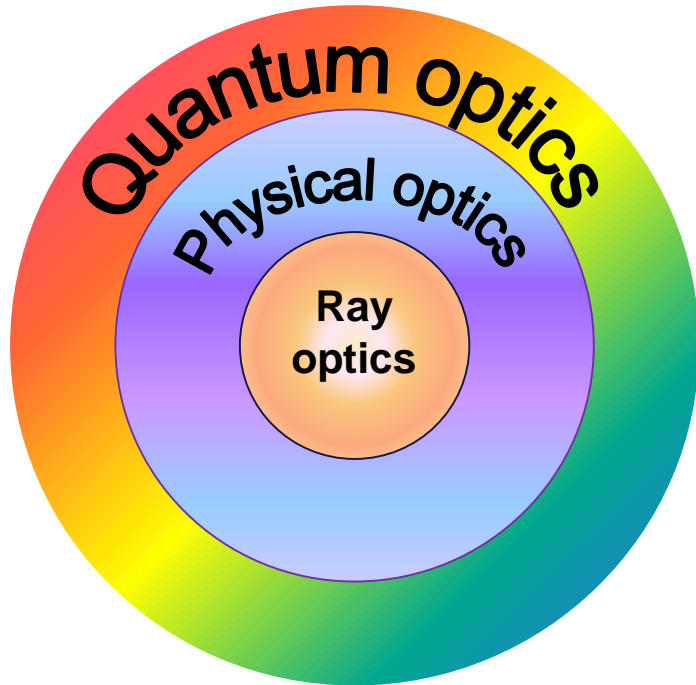
Luz tem uma natureza dual: corpuscular e ondulatória

Uma plataformas possíveis para o desenvolvimento de computadores quânticos

---

# Áreas de ótica

---



## Ótica geométrica (raios) →

- luz se propaga em linhas retas (raios)
- $\lambda \rightarrow 0, \nu \rightarrow \infty$
- Refração reflexão
- Util para desenhar sistemas de capturar imagens
- 



## Ótica física (ondas)

- Radiação electromagnética é um fenómeno ondulatório (equações de Maxwell)
- Explica refração, reflexão, dispersão, polarização, interferência, difração

## Quantum optics •

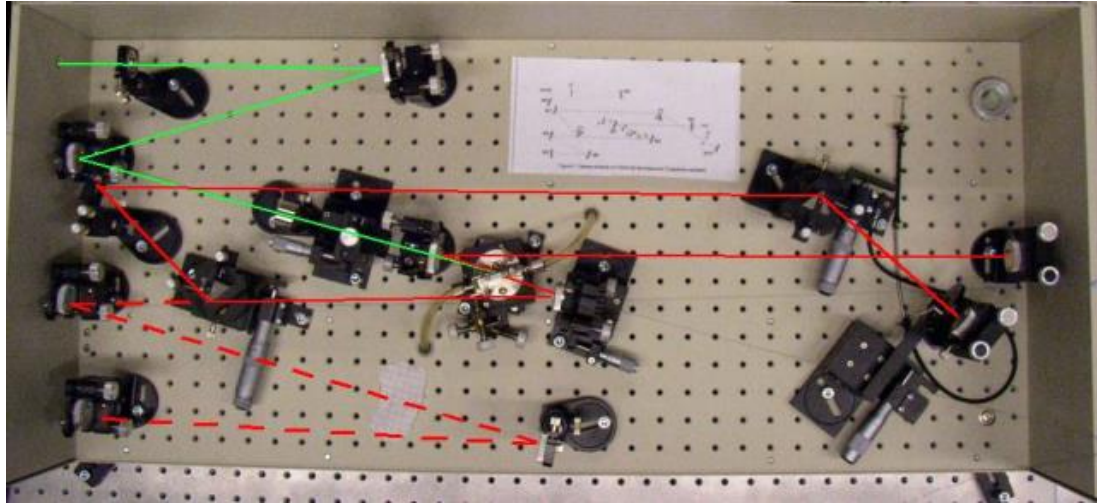
- Luz consiste de fótons com propriedades de partículas e de ondas
  - Explica a interação entre luz e matéria (e.g. Efeito fotoelétrico, lasers, ...)
-



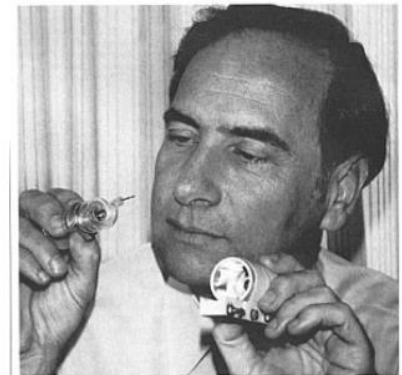
# Época “moderna” de ótica

---

Começa com a invenção do laser um dispositivo que emite energia na forma dum feixe coerente.



Criou uma revolução na ótica ( e outros campos de pesquisa)

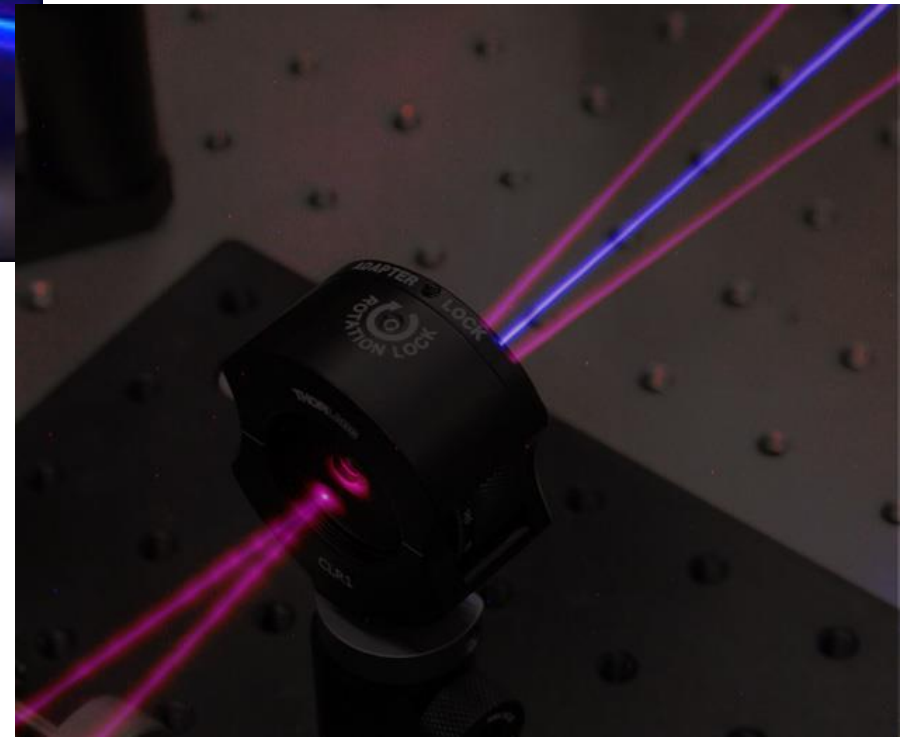
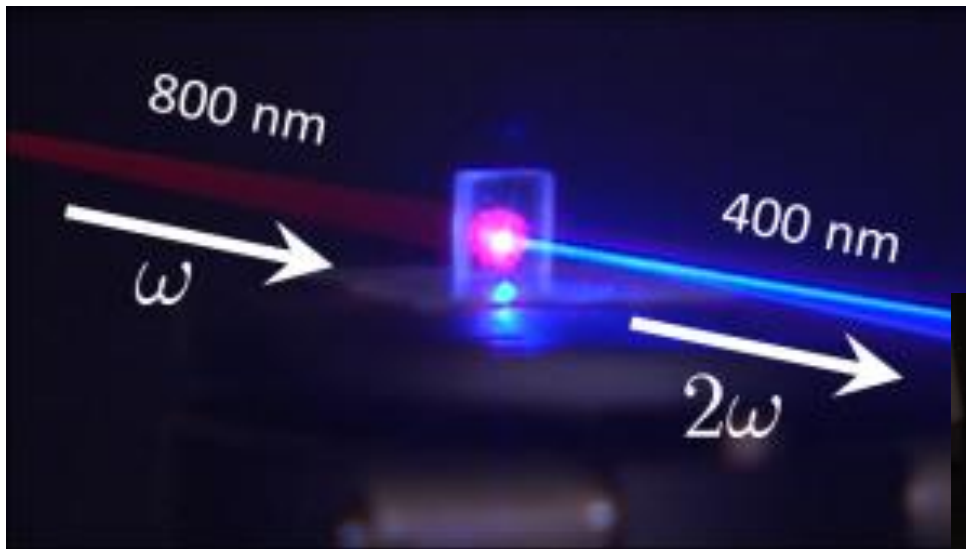


Ted Maiman (1927-2007), holding his invention

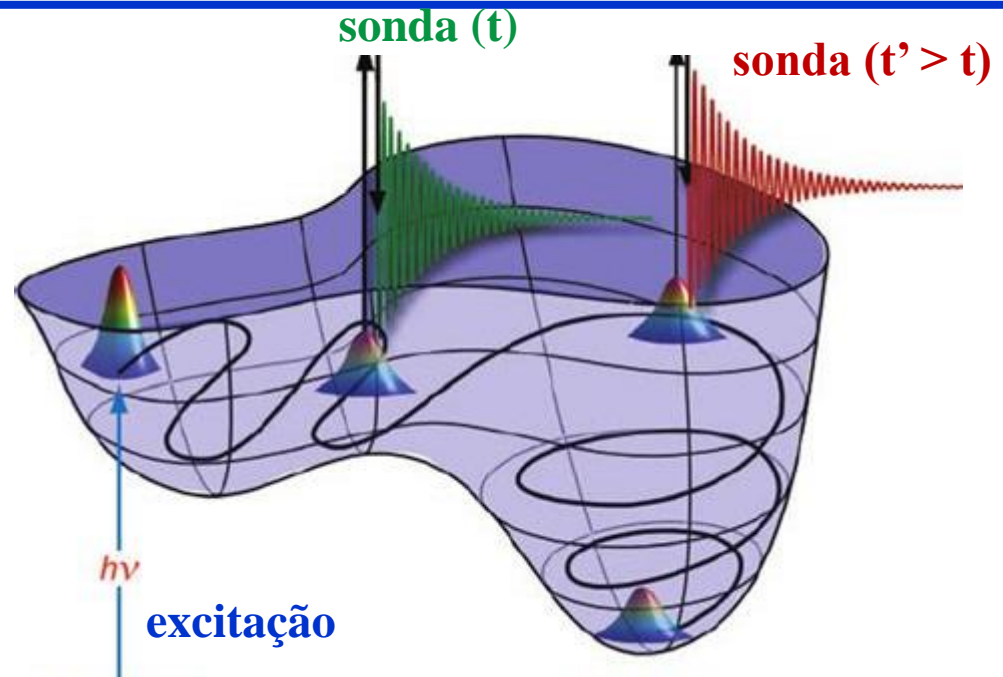
---

# Ótica Não-linear

---

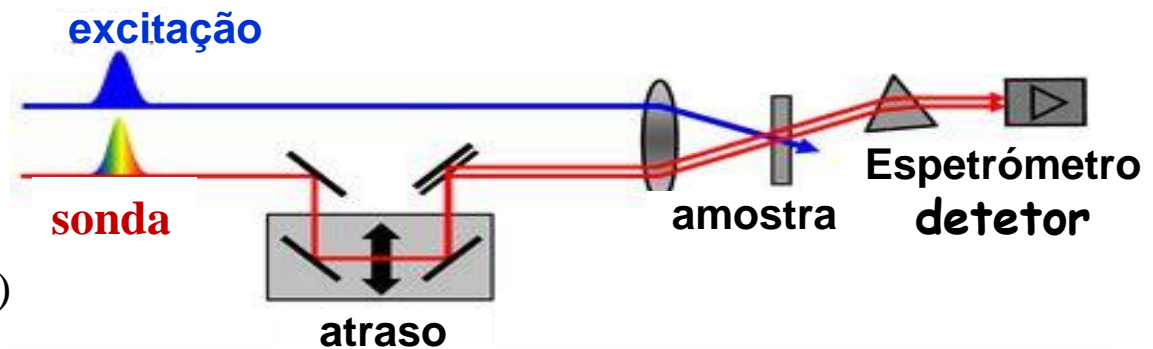


# Espetroscopia ultrarrápida

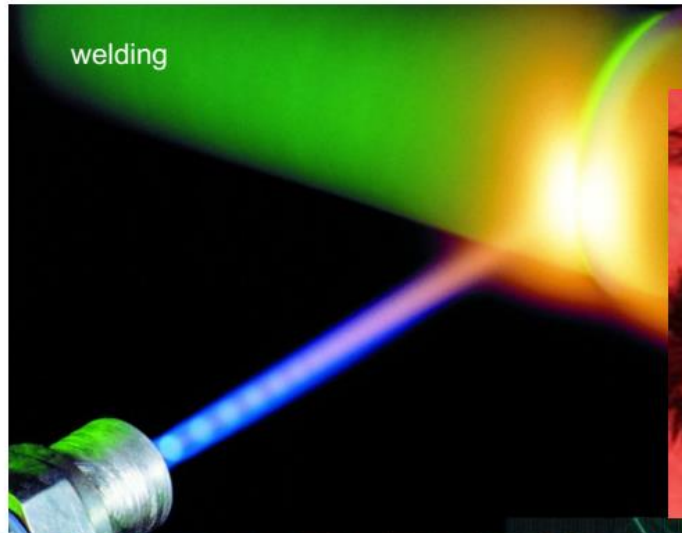


Alta resolução temporal  
 $\sim 100 \text{ fs} = 10^{-13} \text{ s}$

durante 100 fs a luz  
se propaga cerca de  $30 \mu\text{m}$   
(espessura dum cabelo –nota que a  
luz só precisa  $\sim 1.3 \text{ s}$  para ir até a lua)



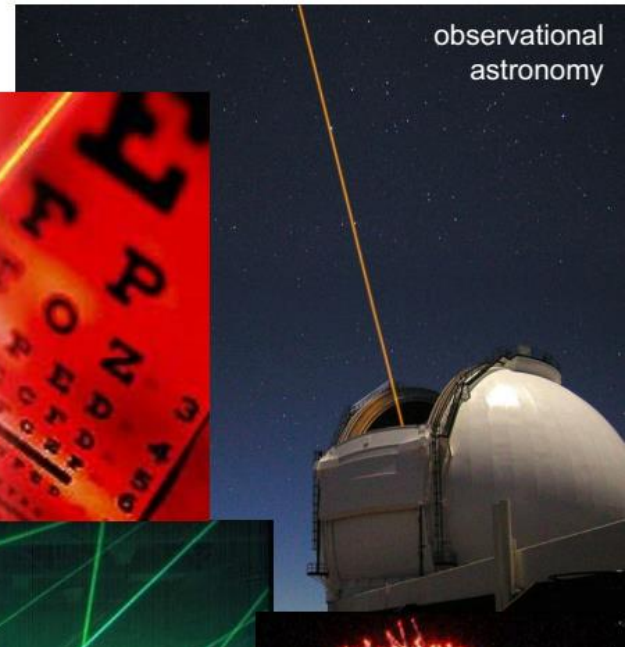




welding



medicine



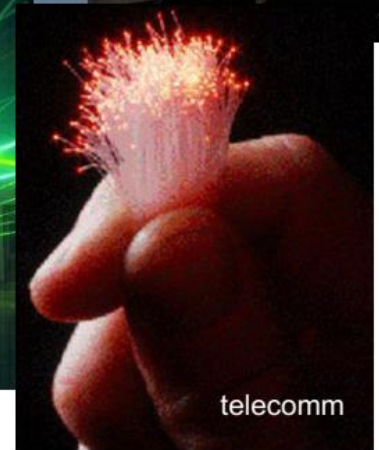
observational  
astronomy



research



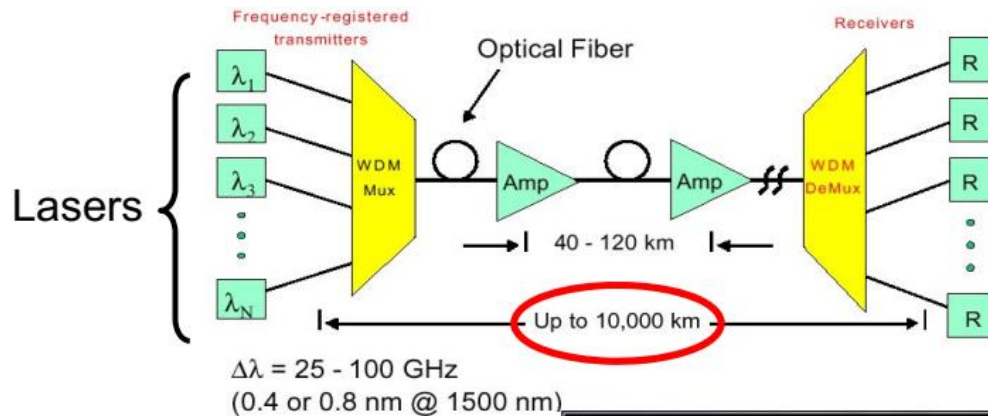
entertainment / displays



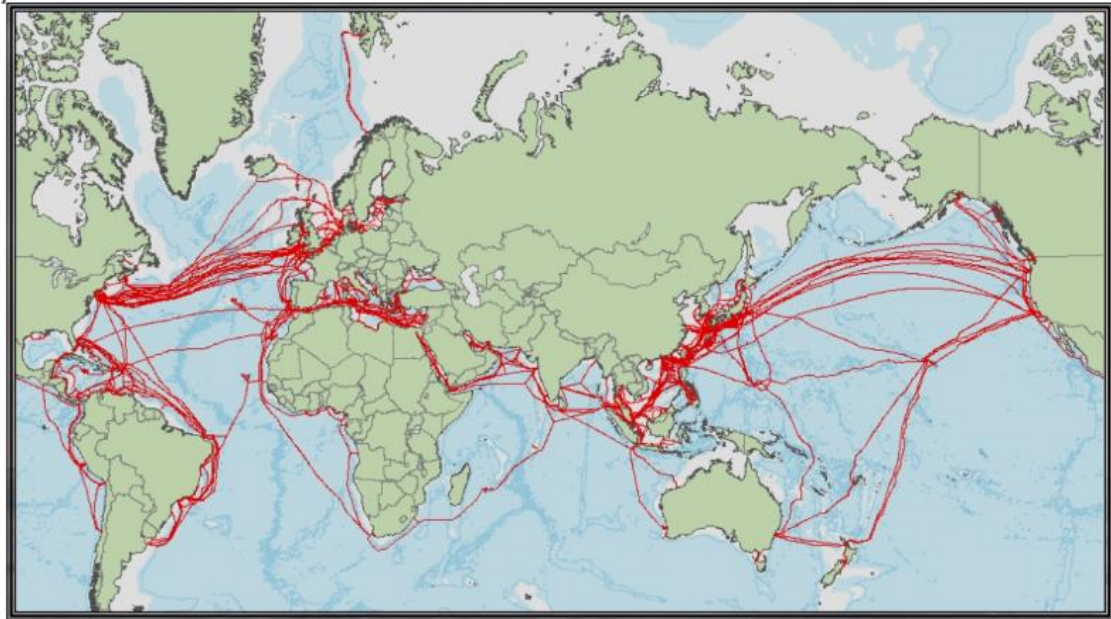
telecomm



# Comunicação por luz laser através fibras óticas



Existe mais do que  
100 milhões de km  
de fibra ótica  
instalada abaixo do  
mar



**“Light is, in short, the most refined form of matter.”**

**Louis de Broglie**

