



Universidade Federal do ABC

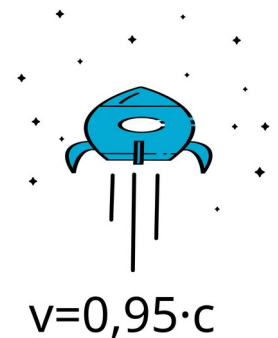
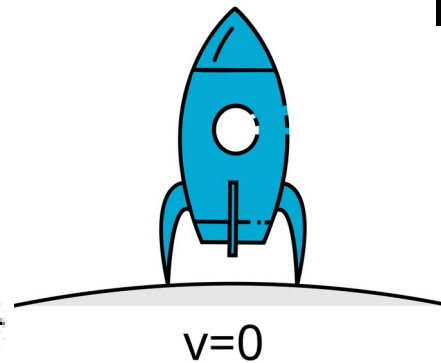
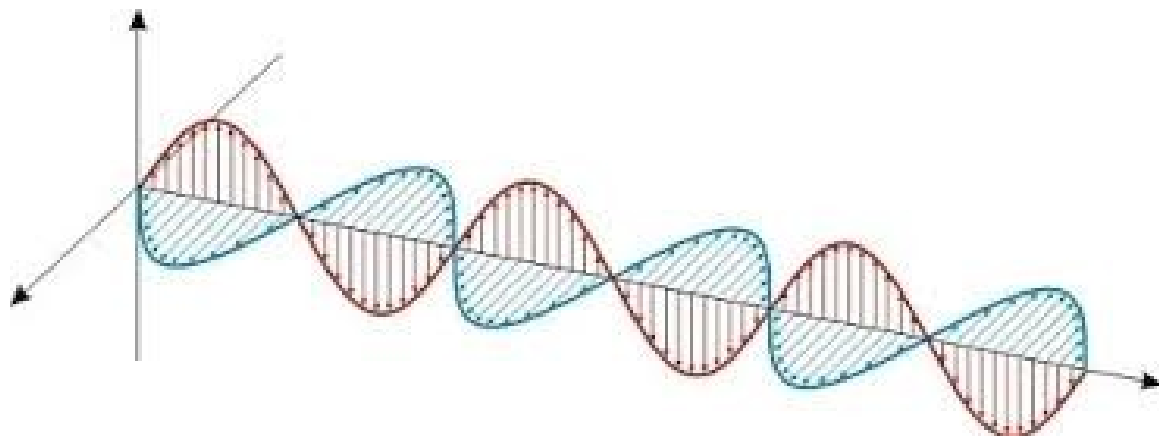
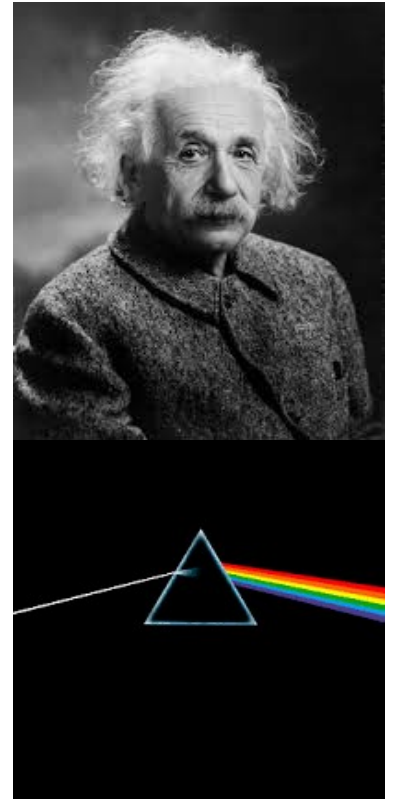
Ótica e Relatividade

01. Introdução, História do Conceito de Luz

Prof. Pieter Westera

pieter.westera@ufabc.edu.br

<http://professor.ufabc.edu.br/~pieter.westera/OtRel.html>



Ótica

Wikipedia (versão inglesa, traduzida por google):

A **ótica** é o ramo da **física** que estuda o **comportamento**, a **manipulação** e a **detecção** da **radiação eletromagnética**, incluindo suas **interações** com a **matéria** e os **instrumentos** que a **utilizam** ou **detectam**. A ótica geralmente descreve o comportamento da **luz visível**, **ultravioleta** e **infravermelha**.

O estudo da ótica se estende a outras formas de radiação eletromagnética, incluindo ondas de rádio, micro-ondas e raios X.

O termo ótica também é aplicado à tecnologia para manipular feixes de partículas elementares carregadas.

Ótica

A luz pode ser tratada de diferentes maneiras:

- **Ótica Geométrica**: Que entende a luz como **raios**, que se comportam frequentemente como **feixes** de **partículas**.
- **Ótica Física/Eletromagnética/Ondulatória**: que entende a luz como **ondas eletromagnéticas**.
- **Ótica Quântica**, que leva em conta a natureza **dual** da luz, e descreve ela (e outras **partículas/ondas**) por **funções de onda**.
- **Eletrodinâmica Quântica** (QED): que entende a luz como **oscilações quantizadas do campo eletromagnético**.

Na primeira metade desta disciplina trataremos a **ótica geométrica** e **ondulatória**.

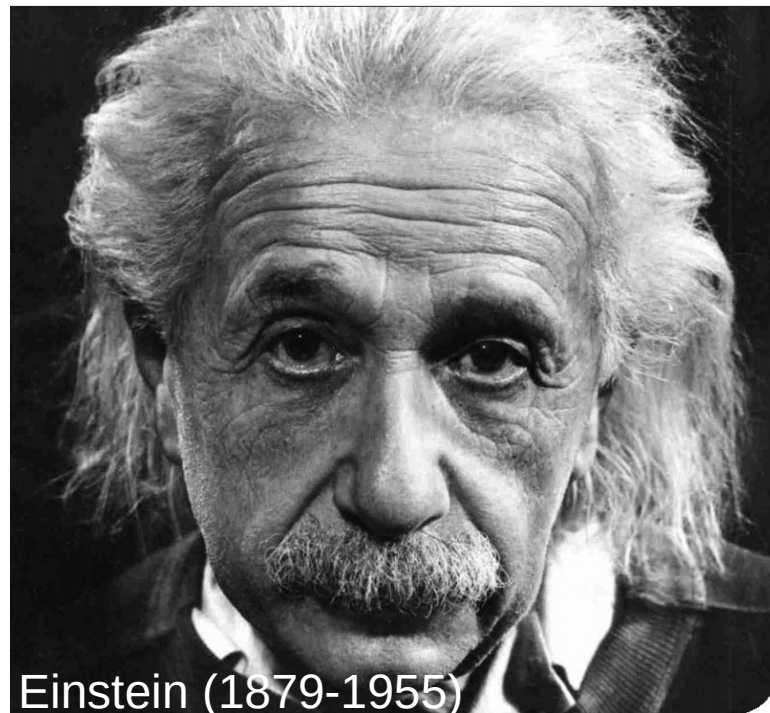
Ótica quântica e QED são tratadas em outras disciplinas.

Relatividade

A **Teoria da Relatividade** foi desenvolvida por **Albert Einstein** (com contribuições de outros) de 1905 (Relatividade **Restrita**) a 1915 (Relatividade **Geral**).

Ela afirma que as **propriedades** (geometria, eixo do tempo) de **espaço** e **tempo** dependem da situação do **observador**, do seu **estado** de **movimento** (velocidade, aceleração), e a sua **posição** em relação a **massas altas**.

Na segunda metade do quadrimestre falaremos sobre a **Relatividade Restrita** e algumas **consequências** desta.

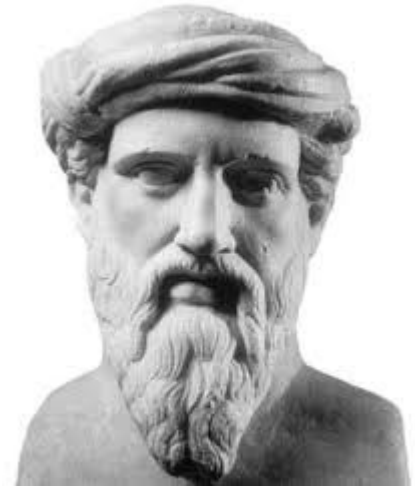


Einstein (1879-1955)

O que é a Luz?

Na **antiguidade**, imaginava-se que a **luz** seria composta por **partículas** emitidas por uma **fonte** luminosa, que **estimulavam** a **visão** ao **penetrar** no **olho**.

Isso foi defendido, por exemplo, por **Pitágoras de Samos**.



Pitágoras (570-495 a. C.)

A teoria corpuscular da luz explica bem:

- sua propagação em **linha reta**
- a formação de **sombras bem definidas**.



O que é a Luz?

Isto foi geralmente aceito até a época de **Isaac Newton** (século XVII), que também preferia essa hipótese.

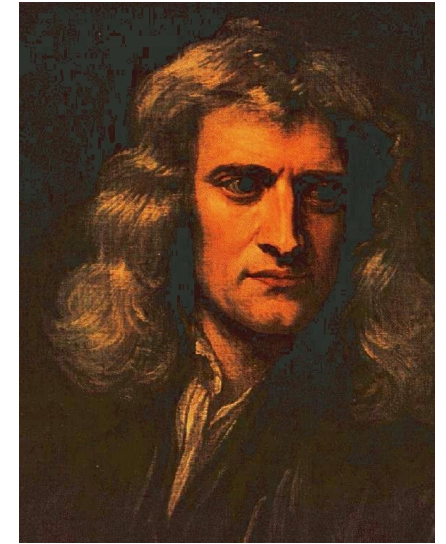
Em 1665, ele demonstrou que a **luz branca**, como a luz do Sol, ao passar por um **prisma** se **decompõe** em luz de **diferentes cores**:

- **dispersão**.

Usando a **hipótese corpuscular** e as **leis** da **mecânica**, ele conseguiu explicar, além da dispersão:

- a **reflexão** (=> próxima aula)

- a **refração** (tb. próxima aula) da luz.

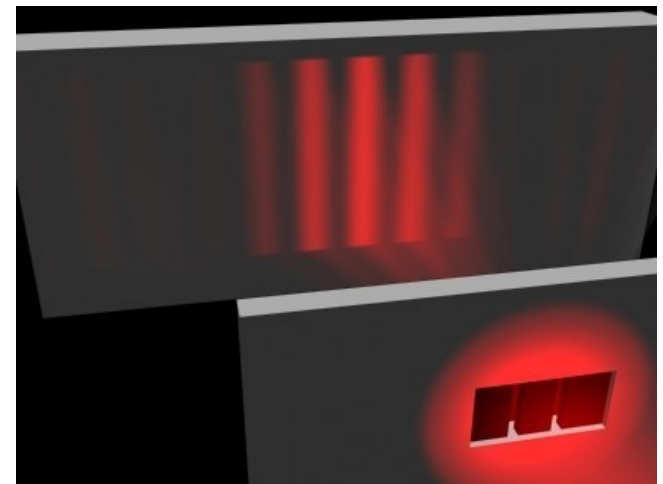
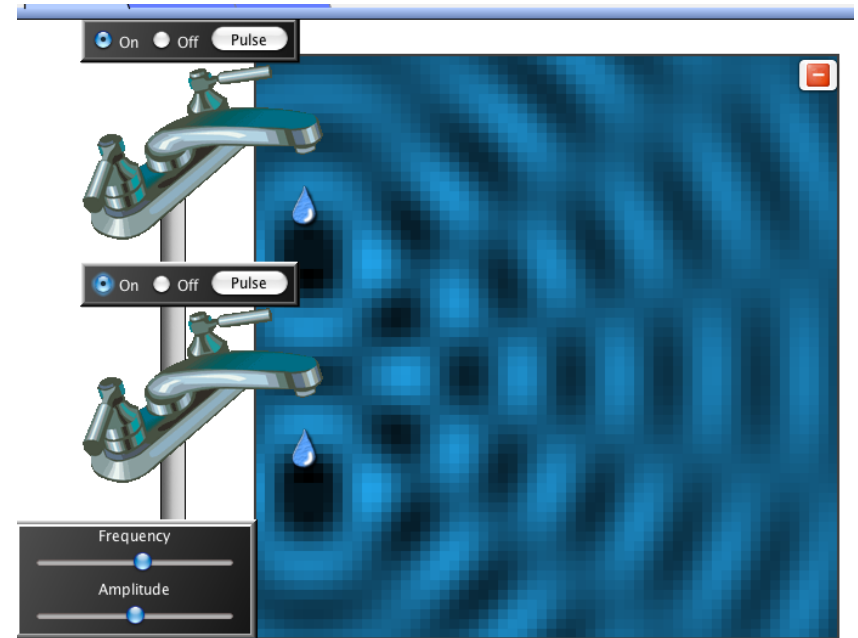
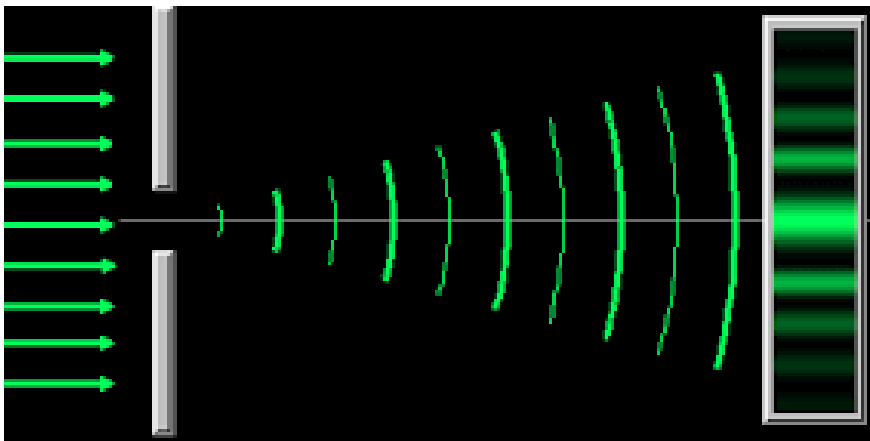


Newton (1642-1727)



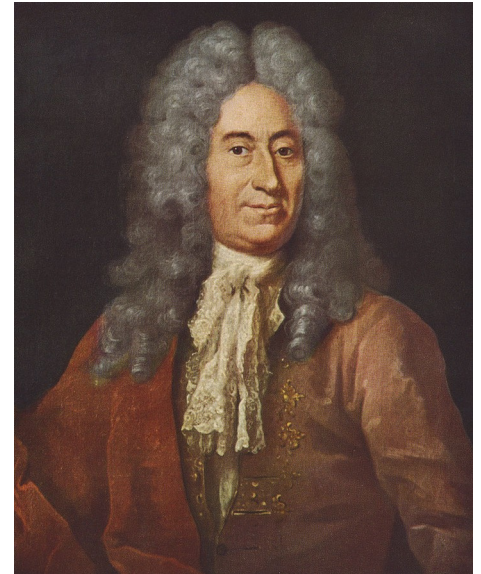
O que é a Luz?

Mas quando a luz passa por uma **abertura pequena**, ou até por uma **fenda dupla**, o comportamento parece mais o de **ondas** (**difração** em direção esférica, **interferência**).



A velocidade da luz

Independente, se a luz é um feixe de partículas ou uma onda, ela deve se **propagar** com uma certa **velocidade**, que deveria ser **muito alta**, já que a luz parece agir **praticamente instantaneamente** sobre **grandes distâncias**.



Rømer (1644-1710)

Ole Christensen Rømer observou **eclipses** das **luas** de **Jupiter** para **estimar** a **velocidade da luz**, e chegou em $\sim 200\,000$ km/s.

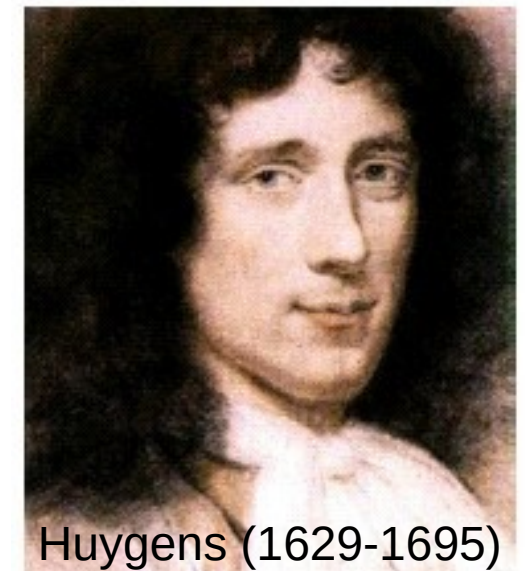
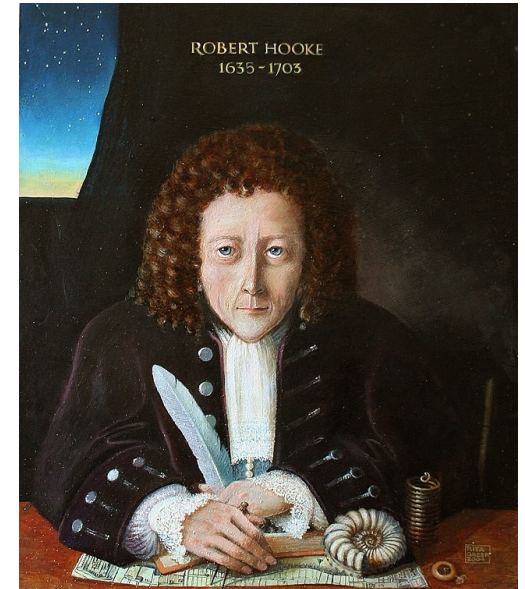
Já no **começo** do **século XIX**, chegou-se a um valor de $300\,000$ km/s, praticamente o **valor** conhecido **atualmente**.

Modelo Ondulatório (1667/1678)

Em 1667, o cientista inglês **Robert Hooke**, e em 1678, o físico holandês **Christiaan Huygens** desenvolveram o **modelo ondulatório**: A luz como **onda**.

O modelo ondulatório **explica** corretamente a **dispersão**, as leis de **refração** e **reflexão**, a **interferência** e a **difração**, então **todas** as **propriedades** da luz e **fenômenos óticos conhecidos até então**, inclusive aqueles que não podiam ser explicados pelo modelo corpuscular.

=> A **luz** se tornou uma **onda**.



Modelo Ondulatório da Luz

Esse modelo ondulatório da luz **não** foi **aceito** de **imediato**.

Um dos **argumentos contra** foi, que as **ondas conhecidas** na **época** (som, ondas na superfície da água, etc.) eram **ondas mecânicas** e necessitavam de um **meio** para se **propagar**.

Pra **luz** hipotetizaram um meio de propagação também, que chamaram de **éter luminífero**, mas **não** conseguiram **detectá-lo**, ou **determinar** suas **propriedades**.

A **luz viaja** do Sol até a Terra no **vácuo**.

O éter foi finalmente abandonado com o surgimento da **Relatividade Restrita** em 1905.

Mais sobre (a não-existência d) o éter na parte sobre Relatividade.

Modelo Ondulatório da Luz

Voltando pro **XVIII** e o início do **XIX** século:

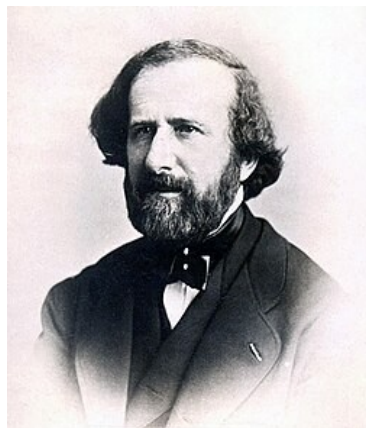
Vários cientistas, **Armand Hyppolyte Louis Fizeau** e **Jean Bernard Léon Foucault** (**velocidade da luz na água**), **Thomas Young** (**interferência**), **Augustin Jean Fresnel** (**difração**) e outros desenvolveram **experimentos** e **modelos** que **fortaleceram** o **modelo ondulatório** da luz.



Young (1773-1829)



Fresnel (1788-1827)



Fizeau (1819-1896)

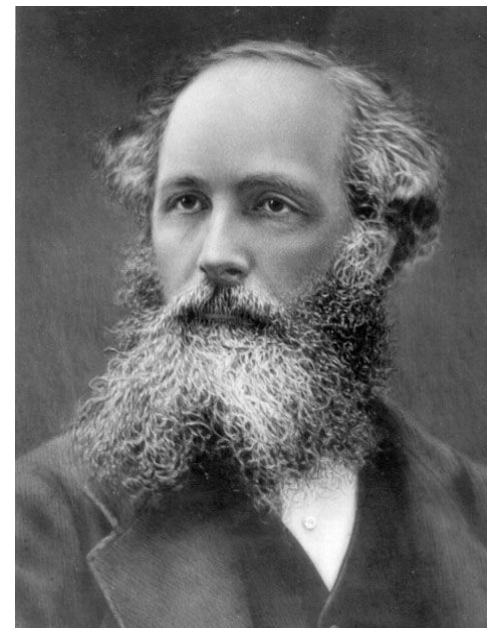
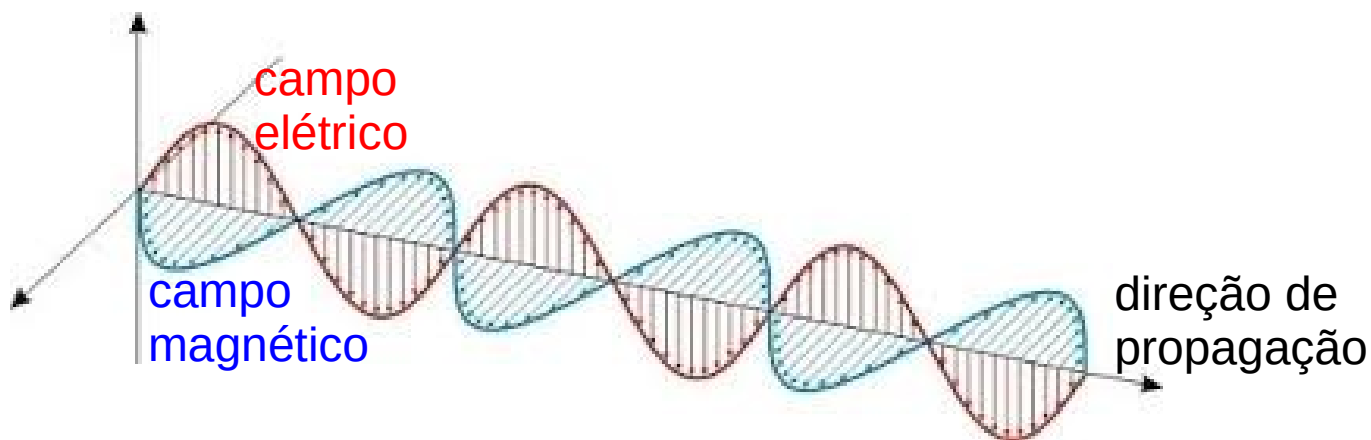


Foucault (1819-1868)

Modelo Ondulatório da Luz

Em 1865, **James Clerk Maxwell** fez **previsões matemáticas** de que a luz seria uma **onda eletromagnética** de **alta frequência**.

Estas previsões foram **confirmadas** experimentalmente por **Heinrich Rudolf Hertz** em 1887.



Maxwell (1831-1879)



Hertz (1857-1894)

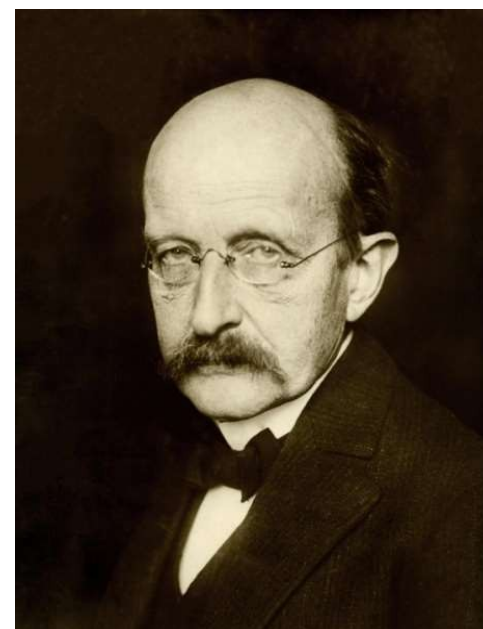
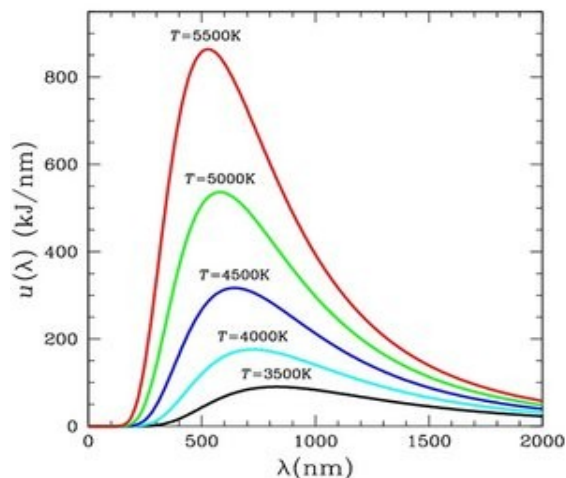
Mas a Luz é uma Partícula mesmo assim?

Em paralelo ao desenvolvimento da Relatividade, surgiram **evidências**, de que afinal a luz é composta de **partículas**, sim!

Chamaremos estas partículas de **fótons**.

Entre estes:

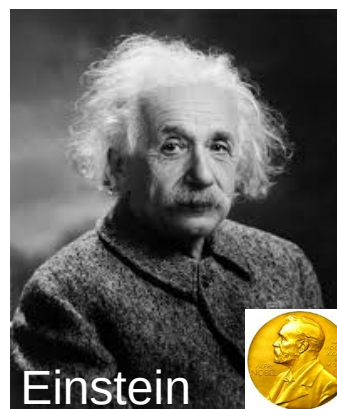
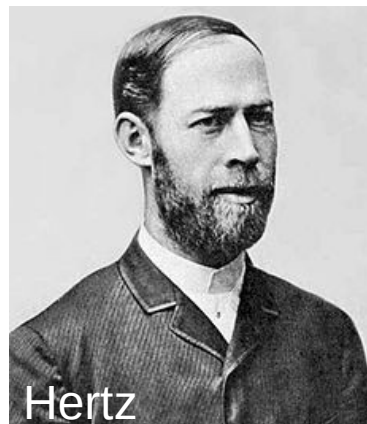
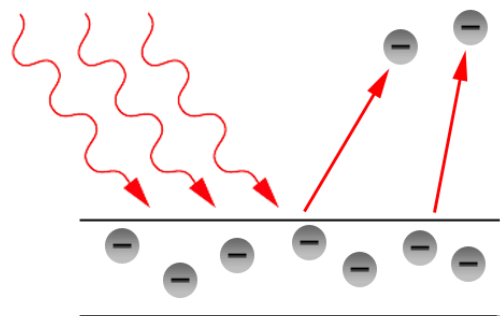
A Radiação do Corpo Negro,



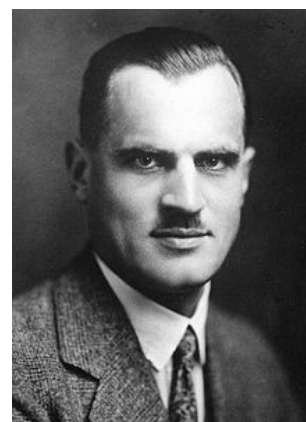
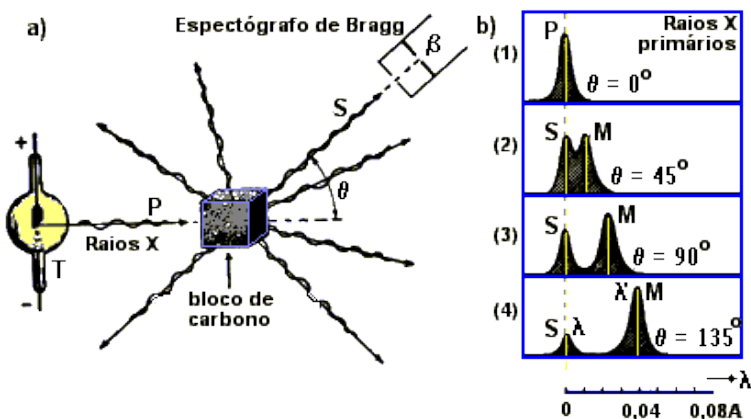
Max Planck (1858-1947)

Mas a Luz é uma Partícula mesmo assim?

O Efeito Fotoelétrico e



O Efeito Compton,



Arthur Holly Compton (1892-1962)

que vocês conhecem de sobra (Estrutura da Matéria, Física Quântica, ...) e que ajudaram a estabelecer a **Física Quântica**.

A Luz é Onda E Partícula (ou nenhum dos dois)

Mas a luz continua mostrando os fenômenos que só podem ser explicados através da natureza ondulatória.

Isto pode ser resolvido descrevendo os fótons (na verdade, tudo que existe) por funções de onda, que levam em conta as duas naturezas:

Dualidade Onda-Partícula

Dependendo da situação percebemos um objeto quântico (um fóton, elétron, ...) como um ou outro.

Ná pratica, os conceitos partícula e onda continuam sendo muito úteis, mas são apenas aproximações, que descrevem bem o comportamento do objeto numa situação ou em outra.

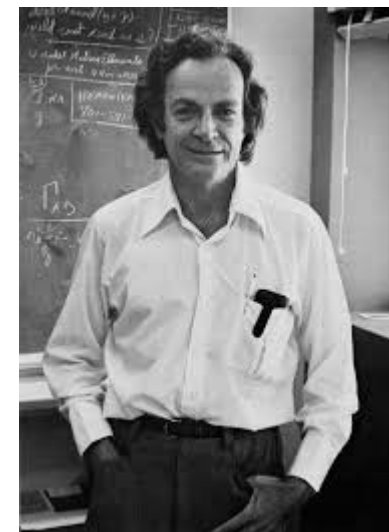
Mais sobre este assunto nas disciplinas de Física Quântica.

Eletrodinâmica Quântica

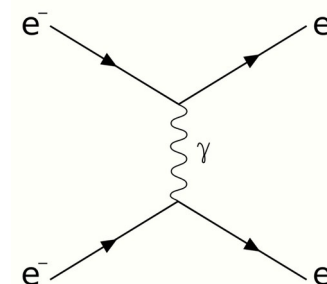
A **descrição teórica** mais **fundamental** da **luz** se encontra na teoria chamada de QED - **Eletrodinâmica Quântica** (anos 1940). Trata-se de uma **teoria quântica** de **campos** que descreve a **interação** de **partículas carregadas** (elétrons) através de **partículas mediadoras** chamadas de **fótons**.

Nesta teoria, fótons são entendidos como **oscilações quantizadas** do **campo eletromagnético**.

A teoria explica porque o fóton possui **massa zero**, porque possui **polarizações**, e porque a luz não interage diretamente com a luz (princípio da **superposição**), do ponto de vista quântico.



Richard Phillips Feynman
(1918-1988)

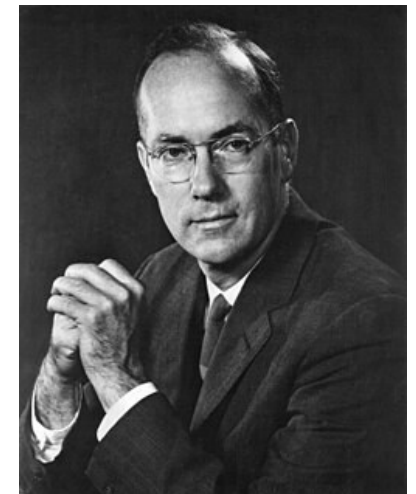
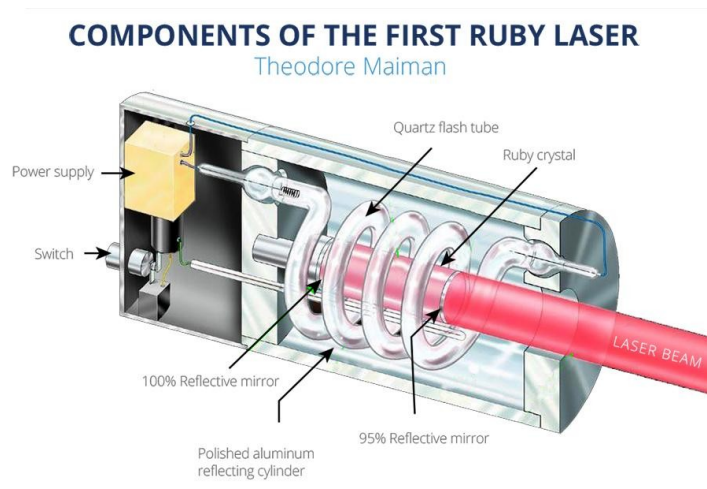


LASERs

Baseado nos estudos de Einstein (1916) sobre **emissão estimulada** de **fótons**, **Arthur Leonard Schawlow** e **Charles Hard Townes** desenvolveram, na década de 60, o **LASER** (*Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation*), uma luz extremamente **coerente** e que pode ser **focada** com alta precisão.



Schawlow (1921-1999)



Townes (1915-2015)

LASERs

Os lasers têm sido aplicados em **diversas áreas**, como **medicina**, **biologia**, **química**, **engenharia**, **telecomunicações**, **estética**, **bélica**, etc.

Além disso, na física, impulsionaram a

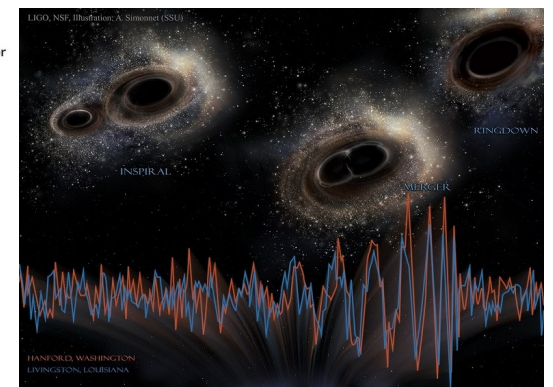
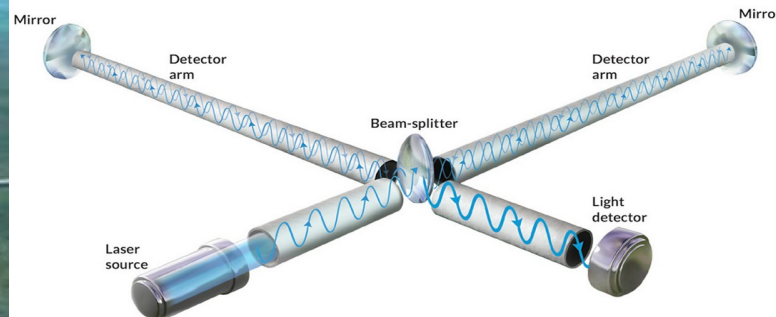
pesquisa científica com a descoberta de diversos fenômenos em **ótica não linear** e ótica **quântica**, que permitiram um melhor entendimento da **natureza da luz** e desenvolvimento de **novas tecnologias**.



LASERs

LASERs também são usados em **observatórios** de **ondas gravitacionais** como o **LIGO** (*Laser Interferometer Gravitational-Wave Observatory*).

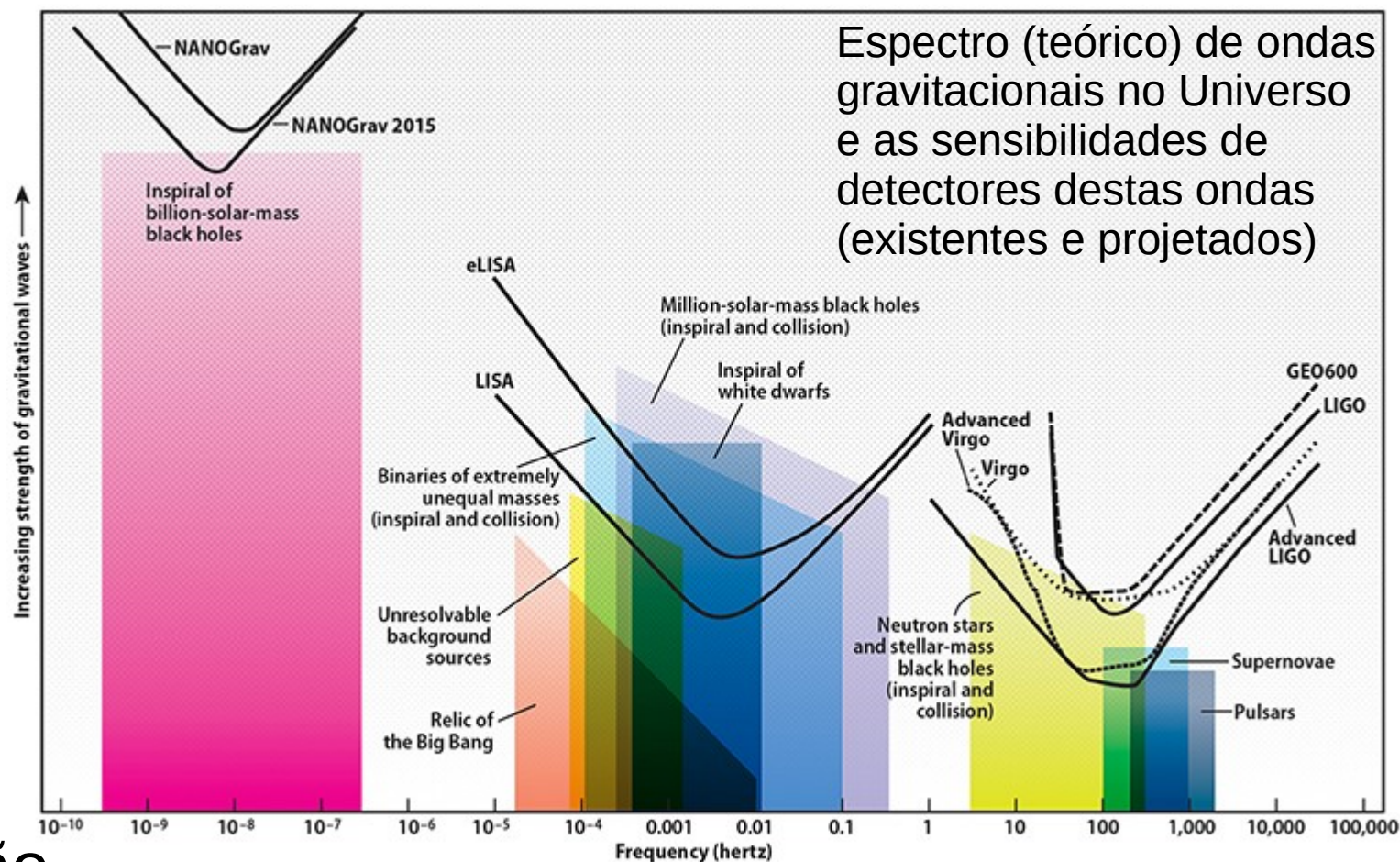
Ondas gravitacionais foram previstas por Einstein (1916) na Teoria da **Relatividade Geral** como **oscilações** no "tecido do **espaço-tempo**" e, **detectadas** pela primeira vez no LIGO em 2015 (anunciado em 2016).



LASERs

O nível de sensibilidade do LIGO permite apenas detecção de eventos como colisões de buracos negros.

A observação de ondas gravitacionais pode trazer **novas perspectivas** para o futuro da **Astronomia** e **Cosmologia**.



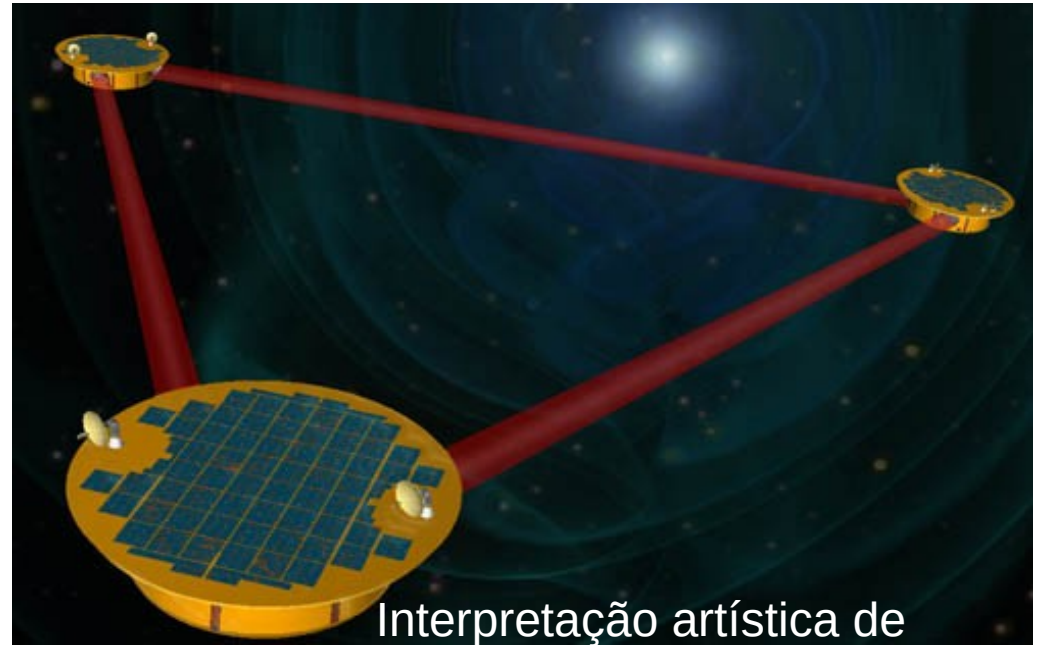
“Telescópios” de Ondas Gravitacionais

Telescópios de ondas gravitacionais do futuro incluem o *Einstein Telescope* e conjuntos de satélites, resultando em braços muito maiores:

O “telescópio” **LISA** (*Laser Interferometer Space Antenna*) foi projetado como

colaboração das NASA e ESA. Porém, a NASA saiu do projeto por causa dos custos altos, e a ESA redimensionou o projeto, agora projetado para ser lançado em 2035.

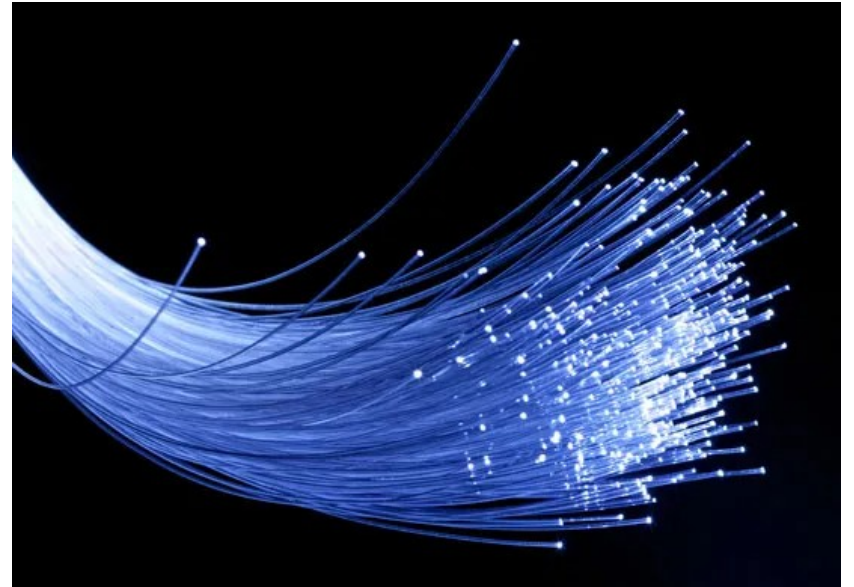
O Japão propôs um telescópio similar, chamado **DECIGO** (*Deci-Hertz Interferometer Gravitational wave Observatory*), a ser lançado nos anos 2030 (2037?).



Interpretação artística de

Tecnologia Envolvendo Luz atualmente e no Futuro

Atualmente, a ótica já é base fundamental de todo o nosso sistema de **telecomunicações** e **internet** por meio das redes de **fibras óticas** e toda a tecnologia necessária (fontes de luz, repetidores, amplificadores, etc.).



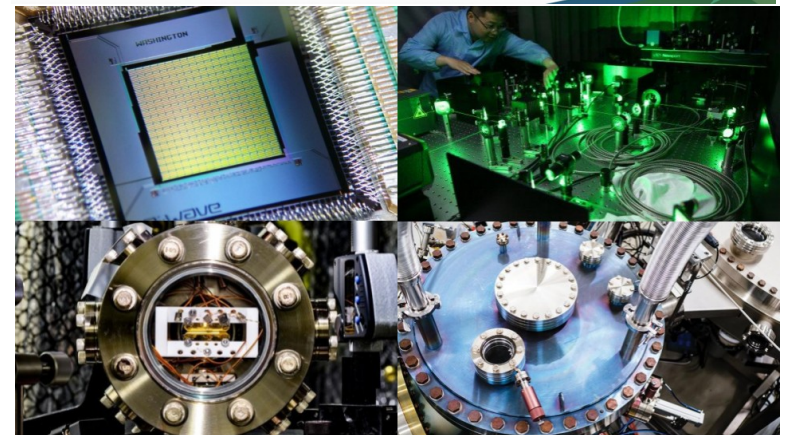
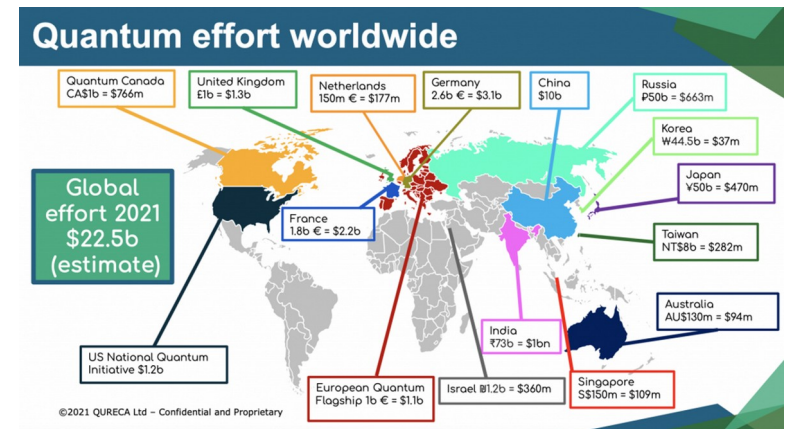
Tecnologia Envolvendo Luz atualmente e no Futuro

Além disso, novas formas para o uso de **estados quânticos** da **luz** estão sendo **pesquisadas**, tecnologias que explicitamente exploram, criam, manipulam e utilizam **estados quânticos** ou fenômenos como **superposição** e **emaranhamento**.

A luz também pode ser utilizada como **qubit** (bits quânticos) em **processamento**,

armazenamento e **transmissão** de **informação quântica**.

Vários *startups* fazem pesquisas nestas áreas e realizam tecnologias quânticas.





Universidade Federal do ABC

Ótica e Relatividade

FIM PRA HOJE

