

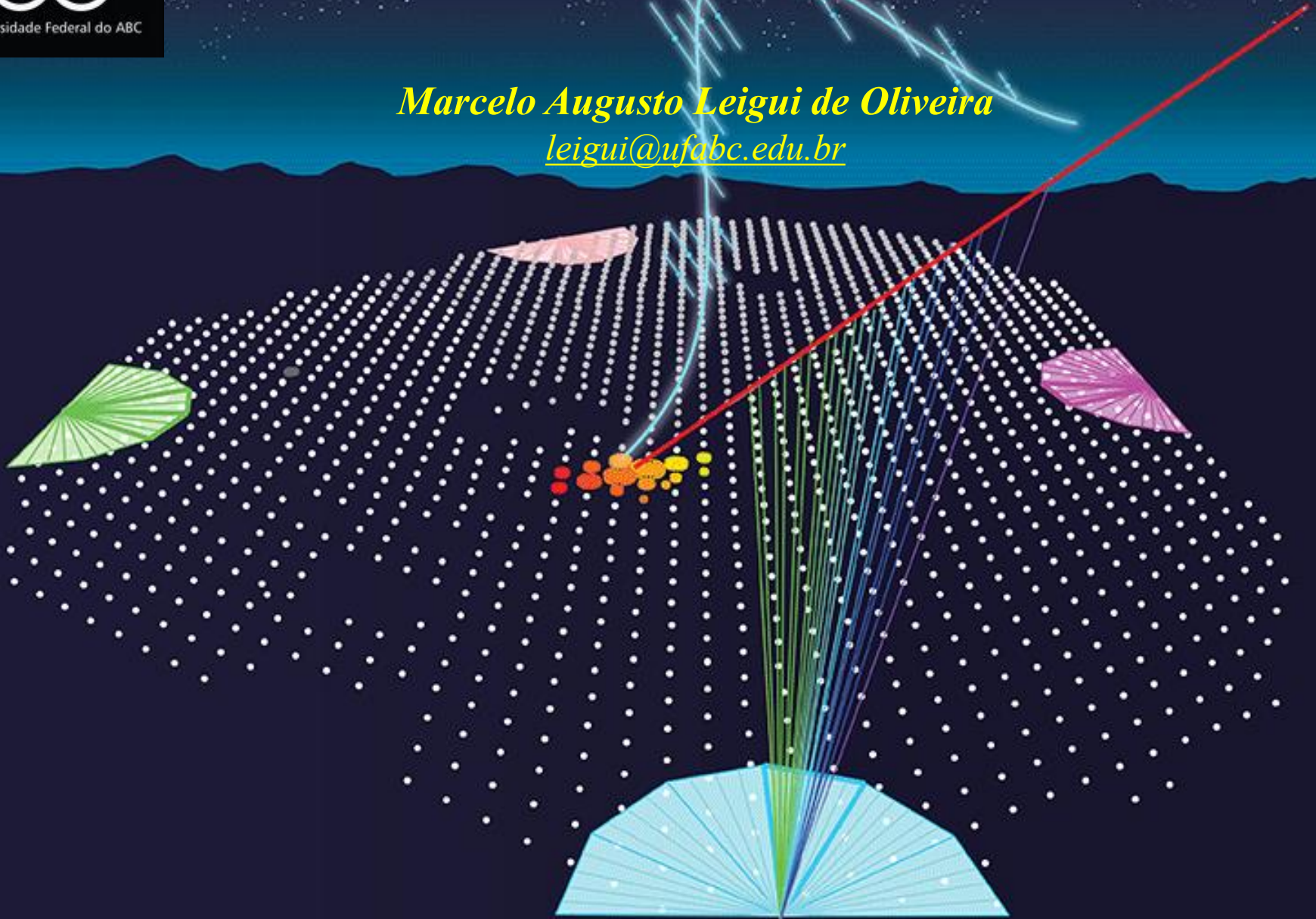


Universidade Federal do ABC

História das Astropartículas - I

Marcelo Augusto Leigui de Oliveira

leigui@ufabc.edu.br



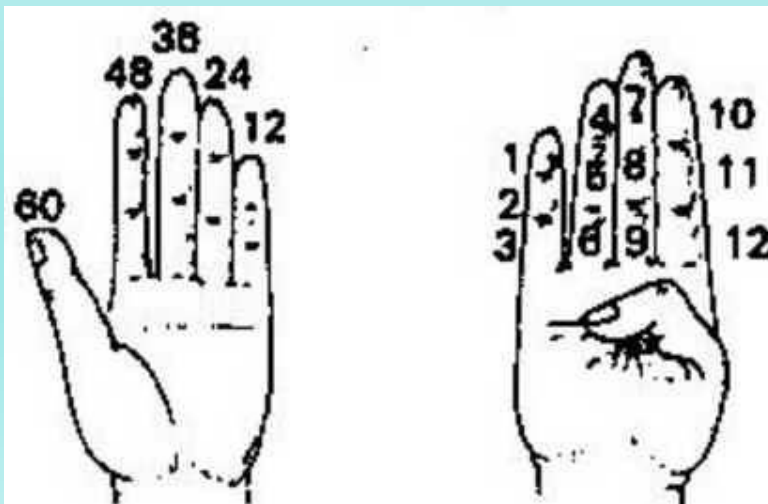
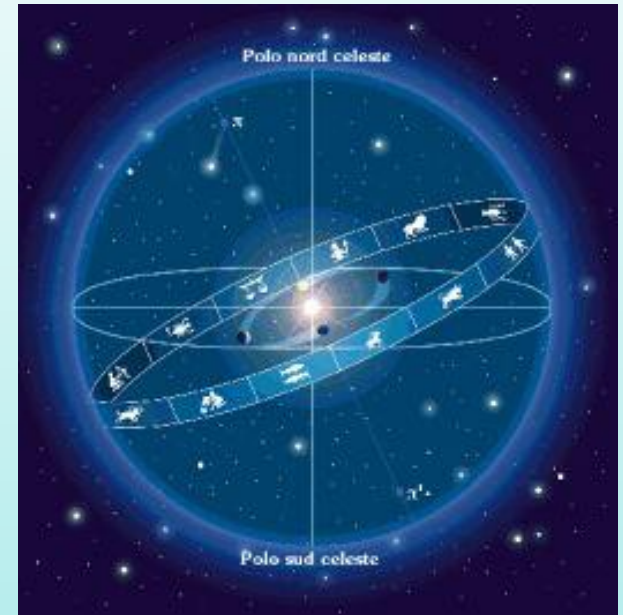
SUMÉRIOS



Ninkasi

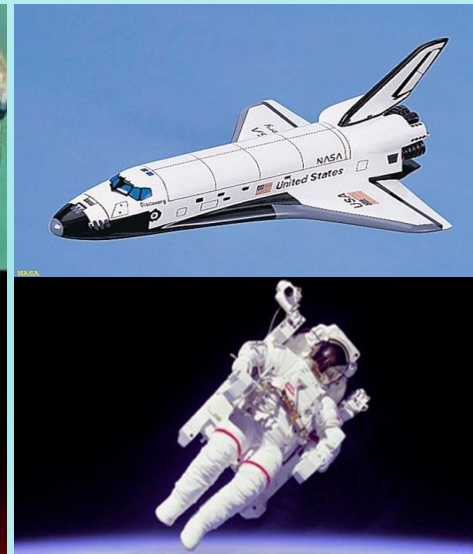
SUMÉRIOS

Calendário



SUMÉRIOS

descendentes dos Anunnakis? ☺



EGITO



afty (Cervejeiro)



Hnqt (Cerveja)

Na Antiguidade ...



Os físicos jônicos:

Physis (em grego Φύσις, "Natureza")

Thales de Mileto (c 625-c 547 a.C.): **água**

Anaximandro de Mileto (c 611 – c 547 a.C.): **ápeiron**
(indefinido)

Anaxímenes de Mileto (c 570 – c 500 a.C.): **ar**

Xenófanes de Colofão (c 570 – c 480 a.C.): **terra**

Heráclito de Éfeso (c 540 – c 470 a.C.): **fogo**

Empédocles (c 490 – c 430 a.C.)

- **4 elementos empedoclianos:**

água, ar, terra e fogo;



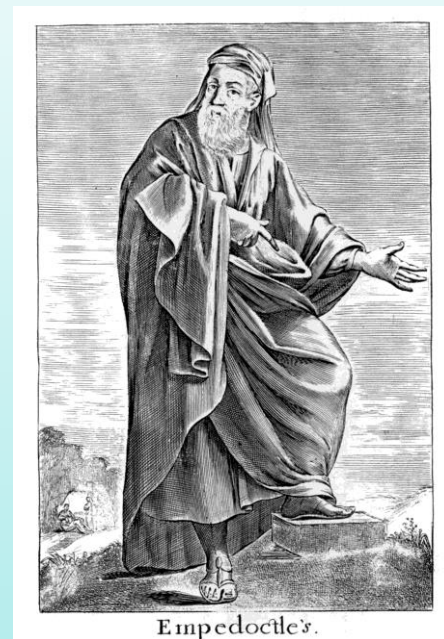
- **2 forças ou princípios:**

amor (*philia*) e ódio (*ekthos*), ou seja, atração e repulsão;



- A luz viaja em **linha reta**.

Os raios são emitidos pelos olhos e interagem com os corpos iluminados.

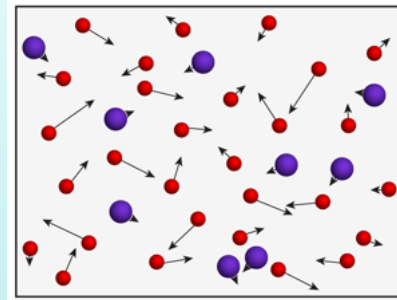


Empedocle's.



Demócrito (c 460 – c 380 a.C.) e seu discípulo Leucipo (c 460 – c 370 a.C.)

Os primeiros atomistas:
átomos (indivisíveis) em
constante movimento no **vácuo**.



Platão (c 427 – c 347 a.C.) e seu discípulo Aristóteles (384 – c 322 a.C.)

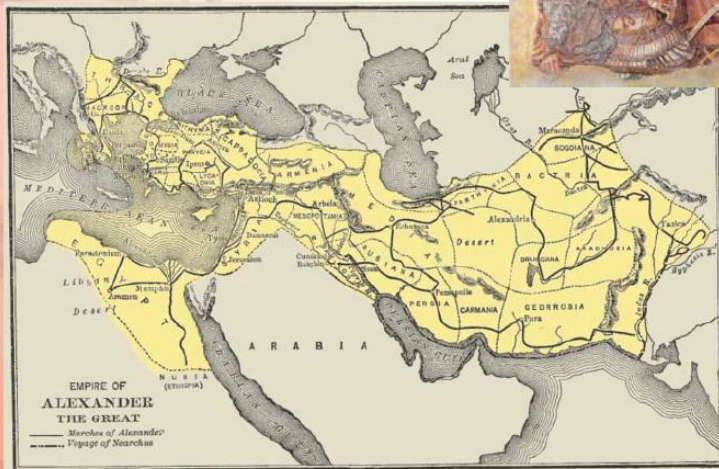
- propõe um modelo geométrico para os 4 elementos:



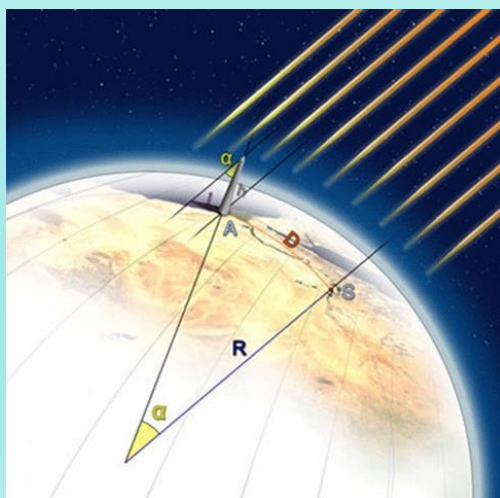
- rejeita a hipótese atomística: a matéria deve ser **contínua** e o vácuo não é físico;
- 5 elementos: **terra, fogo, água, ar e éter**.
- a luz é uma **onda** e propaga-se num meio muito rarefeito: o **éter**;
- achava que a luz arranca “lascas” dos corpos iluminados;

HELENIZAÇÃO

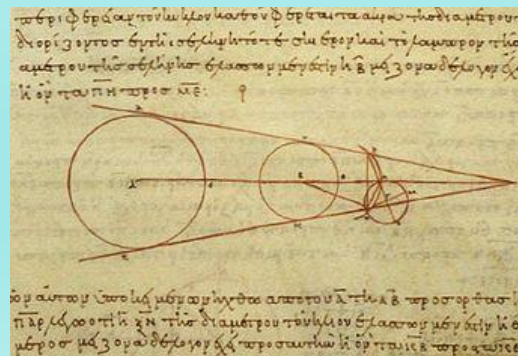
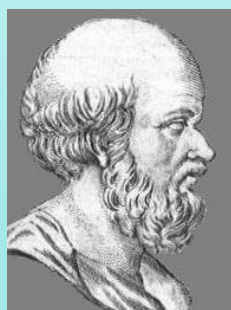
O Império de Alexandre, o Grande



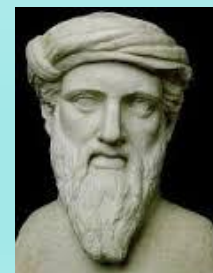
A Biblioteca de Alexandria (331 a.C – 642 d.C.) possuía um acervo de 600 mil a 1 milhão de pergaminhos.



Eratóstenes de Cirene (310 – 230 a.C.): **circunferência** da Terra.



Aristarco de Samos (310 – 230 a.C.): primeira teoria heliocêntrica.



A Biblioteca de Alexandria



Grande Sala da Biblioteca de Alexandria.
Nos quadros: Alexandre, o Grande (esquerda) e Sérapis (direita).

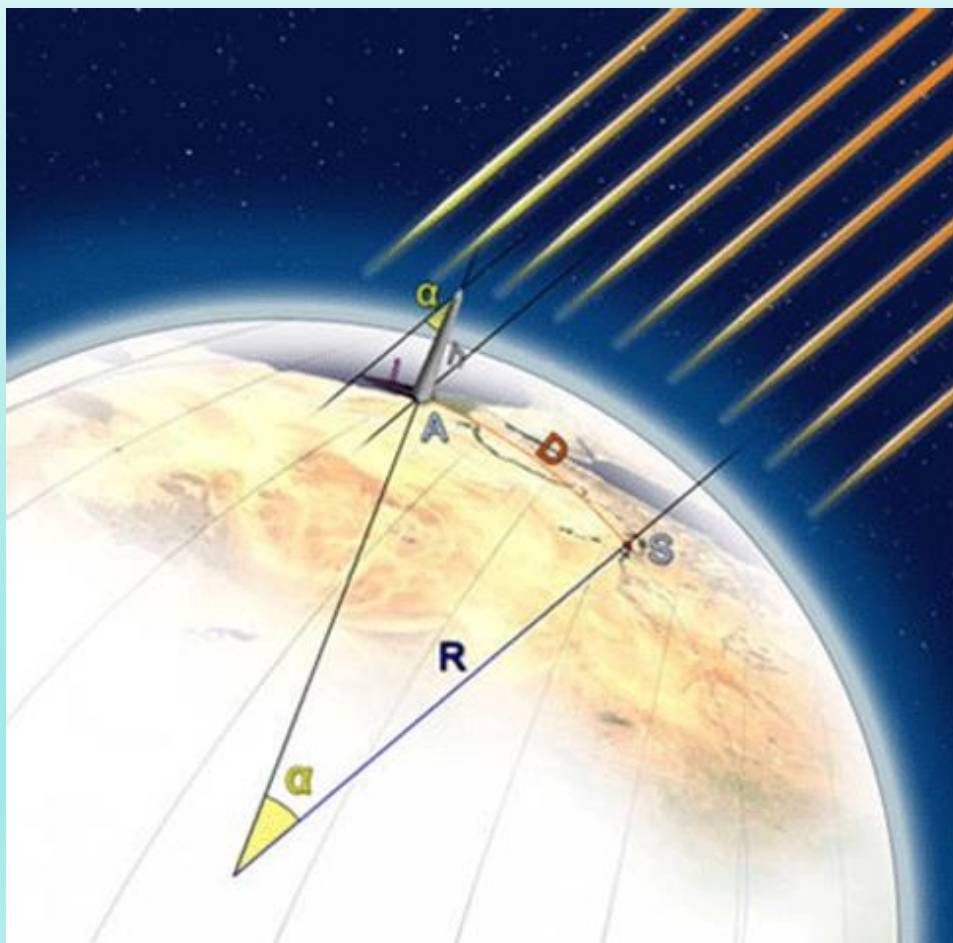
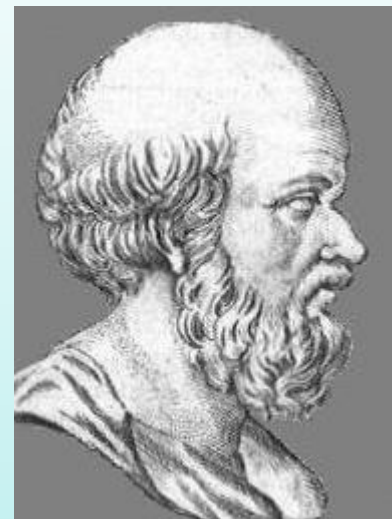
- Em 332 a.C., Alexandre, o Grande, conquista a Grécia, a Ásia Menor e o Egito, decide construir uma capital que seria a cidade mais imponente do mundo;
- Com a morte de Alexandre, Ptolomeu I sobe ao trono e Alexandria torna-se o lar da primeira universidade do mundo;
- Idéia do orador ateniense Demétrio Falero;

- Os livros eram adquiridos por agentes da biblioteca vasculharam Europa e Ásia comprando bibliotecas e até mesmo os navios que aportavam em Alexandria tinham seus livros confiscados. Os livros eram copiados e a cópia era dada ao antigo dono;
- Acervo de cerca de 600 mil pergaminhos escritos a mão;
- Os *Elementos* de Euclides, *Aritmética* de Diofante, o *Almagesto* de Ptolomeu, etc;



- A Biblioteca foi incendiada por Júlio César que tentou derrubar Cleópatra, em 47 a.C.;
- O imperador cristão Teodósio ordenou que o bispo de Alexandria Teófilo destruísse todos os monumentos pagãos, em 391;
- O califa Omar declarou que todos os livros contrário ao Corão fossem incendiados, em 642.

Eratóstenes (276 – c 194 a.C.)



- foi diretor da Biblioteca de Alexandria;
- **mediu a circunferência da Terra:**

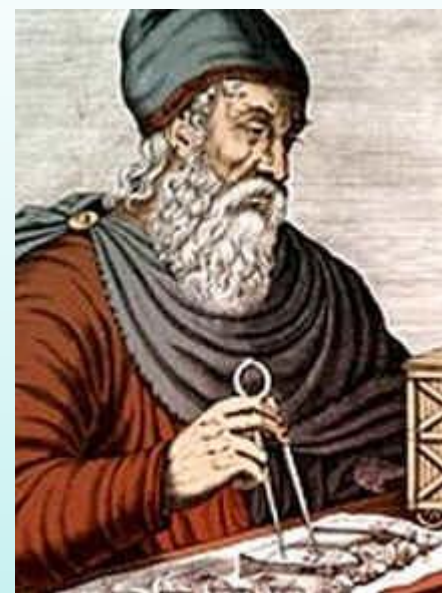
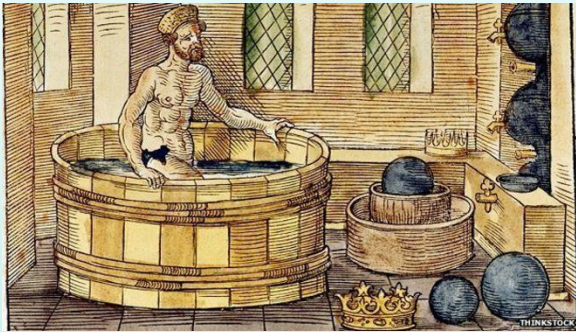
$$\alpha = 7,2^\circ = 360^\circ / 50$$

$$5040 \text{ estádios} \times 50 = 252000 \text{ estádios} \\ \approx 39700 \text{ km}$$

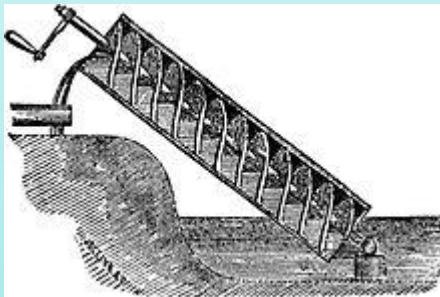
- crivo de Eratóstenes: 2,3,5,7,...;
- autor de *Geografia*, o atlas da Antiguidade, que foi obra de referência por séculos. Além dos mapas trazia uma base matemática com a introdução no globo terrestre das linhas *paralelas* e *meridianas*.

Arquimedes (c 287 – c 212 a.C.)

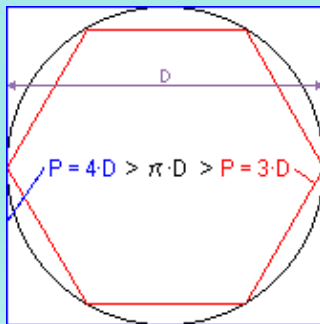
- o princípio de Arquimedes (empuxo):



- o parafuso de Arquimedes:



- estimativa para o número π :



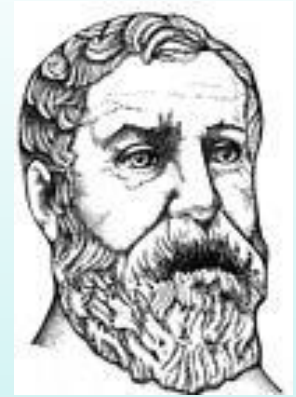
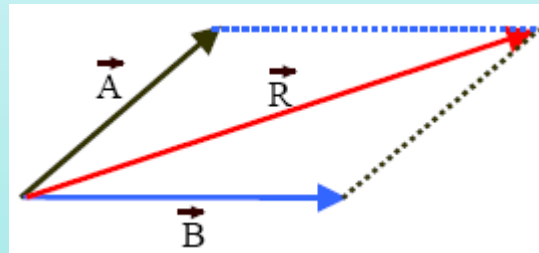
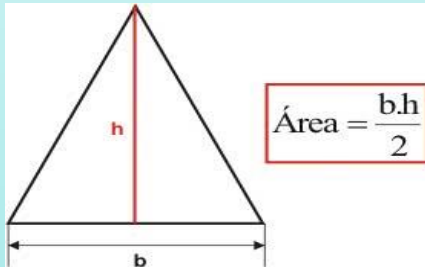
- outros cálculos geométricos



Heron ou Herão (10 – 70 d.C.)

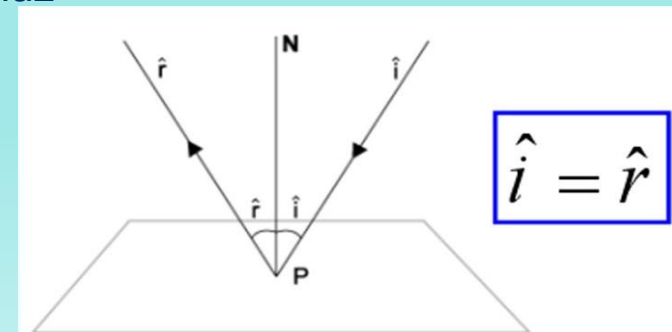
Sábio, geômetra e engenheiro de Alexandria. Popularmente conhecido pela primeira máquina à vapor documentada, a *eolípila* (já conhecida no século anterior).

Em sua obra *Métrica*, descreveu a fórmula para o cálculo da área de um triângulo (também já conhecida por Arquimedes), a regra do paralelogramo para a soma vetorial de velocidades, fez cálculos de centros de gravidade e estudou o funcionamento das engrenagens.



A *eolípila* de Heron.

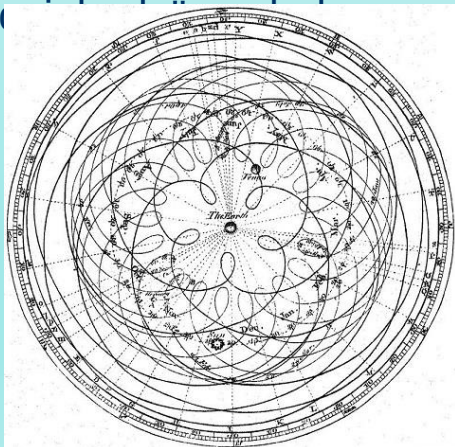
No campo da óptica geométrica, escreveu *Katoptrika*, onde demonstrou a lei fundamental da reflexão dos raios de luz em espelhos: o ângulo de incidência é igual ao ângulo de reflexão.



Claudio Ptolomeu (90 – 168 d.C.)

Famoso pelo seu tratado *Almagesto* onde descreve o sistema de mundo geocêntrico (ou ptolomaico) que perdurou por 14 séculos. Escreveu também o tratado *Geografia*.

Realizou pesquisas no campo da *dióptrica*, conduzindo experimentos para medir o caminho da luz nas passagens do ar para água, do ar para o vidro e do vidro para a água e apresentou seus resultados no seu livro *Óptica*, considerado um dos trabalhos mais importantes no ramo antes de Newton - apesar de erroneamente achar que a refração estivesse relacionada aos valores dos ângulos (e não aos dos seus senos, como na lei de Snell) e de ter, supostamente, "co-



Sistema cosmológico de Ptolomeu.



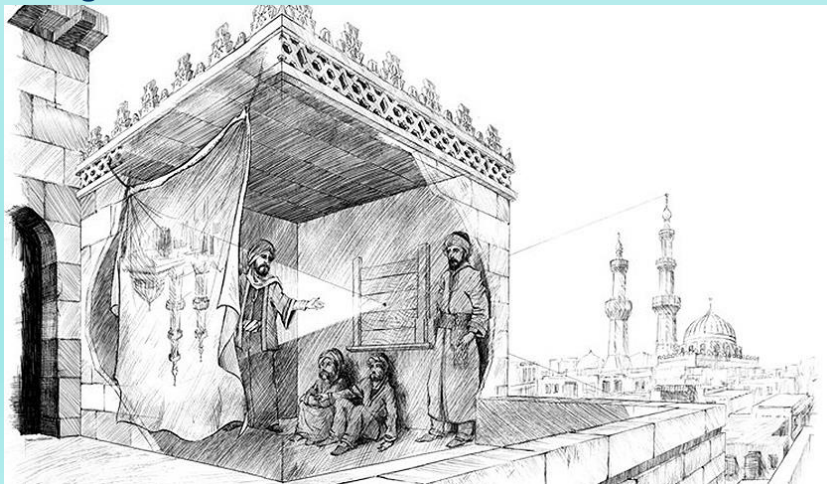
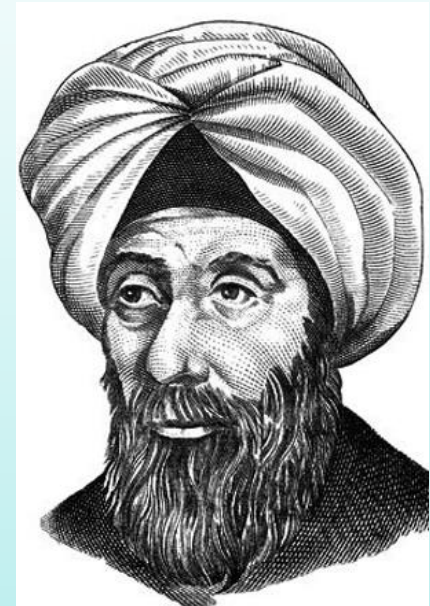
Mapa mundi de Ptolomeu.



Ptolomeu e a Astronomia (séc XVI).

Abū 'Alī al-Ḥasan ibn al-Haytham (965 – 1040), o “físico” Alhazen.

Físico, astrônomo e matemático árabe. Muitos o consideram o primeiro cientista, pois ele defendia que as hipóteses só poderiam ser comprovadas experimentalmente. Foi o grande pioneiro da óptica, ao publicar , no início século XI, seu tratado de 7 volumes *Livro de Óptica*, *Kitab al-Manazir*, onde propõe novas teorias sobre a luz, cor e a visão. Cita, pela primeira vez, as lentes, vidros biconvexos que utilizou para magnificar imagens.

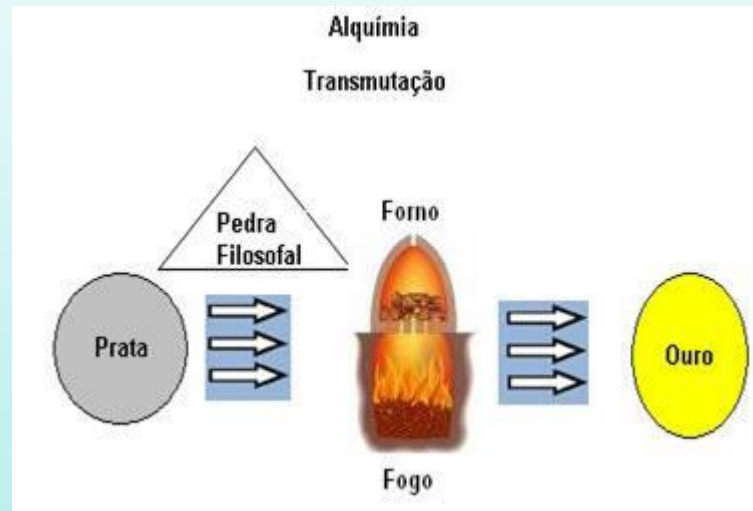


Câmara escura.

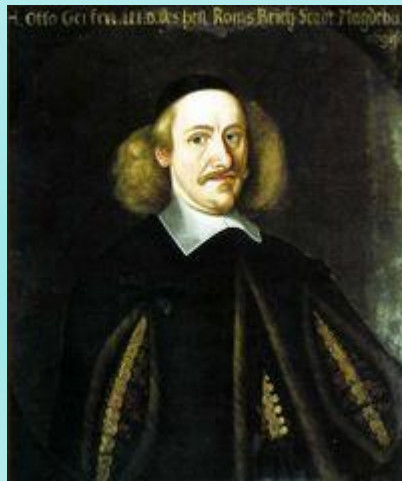


Diagrama dos olhos e dos nervos
ópticos.

Enquanto isso, na Europa, a idade das trevas...



Visão aristotélica dominante: a natureza tem *horror ao vácuo*?



Otto von Guericke (1602 - 1686)

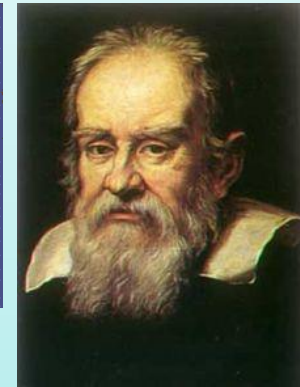
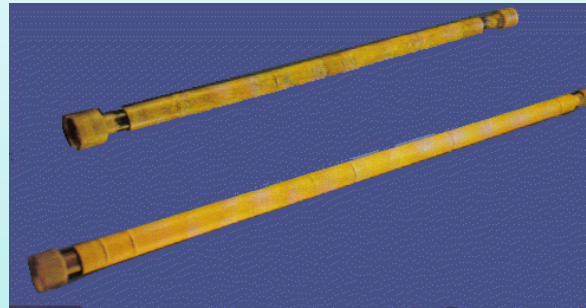


1654 Hemisferas de Magdeburgo

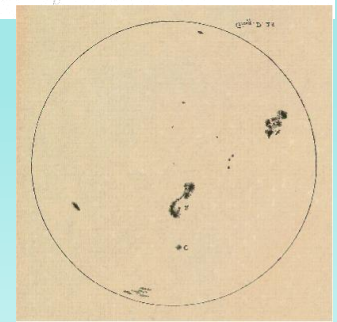
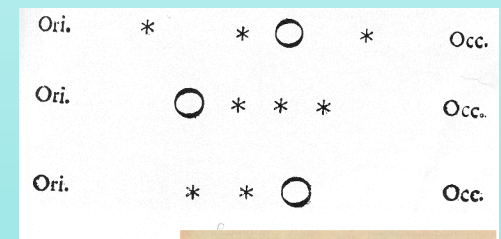
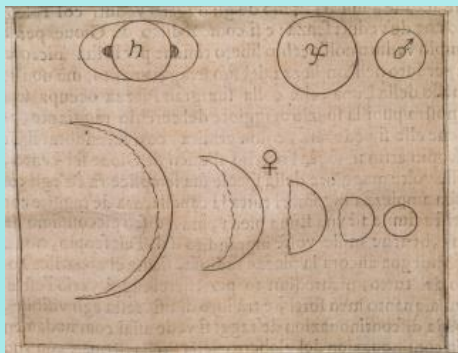
Com a visão além do alcance...



Em **1608**, o óptico holandês Hans Lippershey (1570 – 1619) deposita a patente da invenção do telescópio.



Em **1609**, o italiano Galileu Galilei (1564 - 1642) aperfeiçoa o instrumento e o aponta para o céu. Suas descobertas foram relatadas no livro *Mensageiro Sideral*, de **1610**.



Isaac Newton (1642 - 1727)

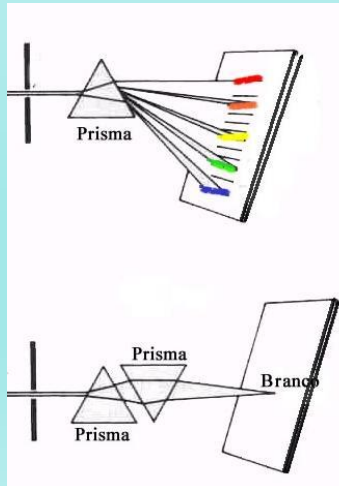
Newton deu várias contribuições para a óptica, sintetizadas em seu livro *Optiks* (1704).

- Construiu o primeiro telescópio refletor (ou newtoniano):

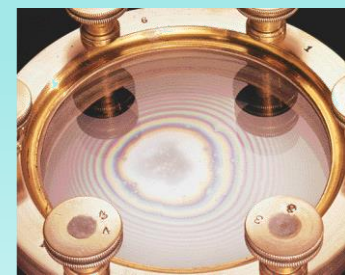


Sir Isaac Newton (1642-1727)

- Descobriu que a luz branca era uma composição de várias cores refratadas diferentemente por um prisma:

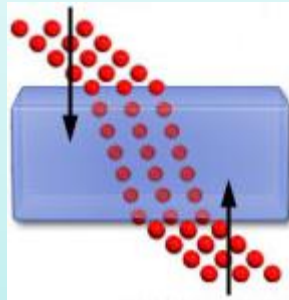


- E realizou o *experimentum crucis*:



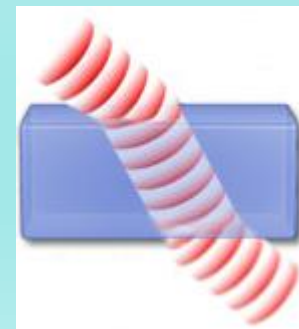
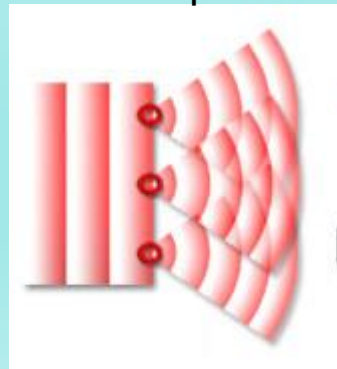
- Apresentou também os *anéis de Newton*:

Teoria corpuscular: Newton defendia que a luz era composta por uma “multidão de pequenos corpúsculos de vários tamanhos que pulavam dos corpos iluminados”.



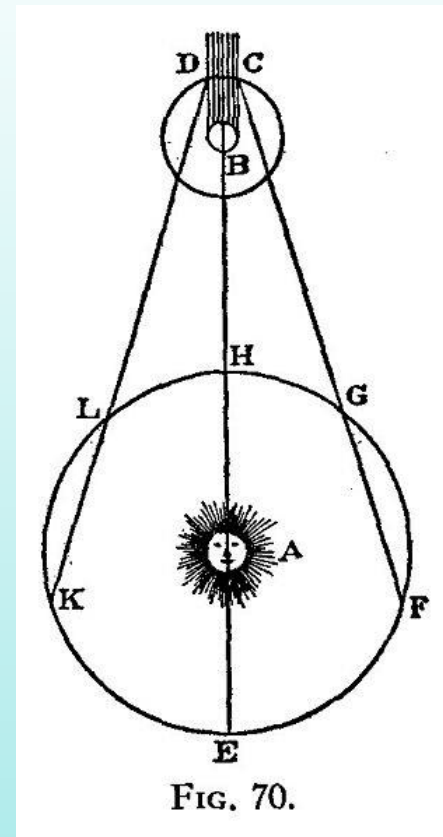
Sir Isaac Newton (1642-1727)

Teoria ondulatória: publicou *Traté de la lumière* de 1690, onde assumiu que o espaço era preenchido por um meio (éter) e que as perturbações do meio que constituíam a luz eram passadas para suas vizinhas que se tornam novas fontes de perturbação.



Christiaan Huygens (1629 - 1695)

Ole Christensen Römer (1644 - 1710)

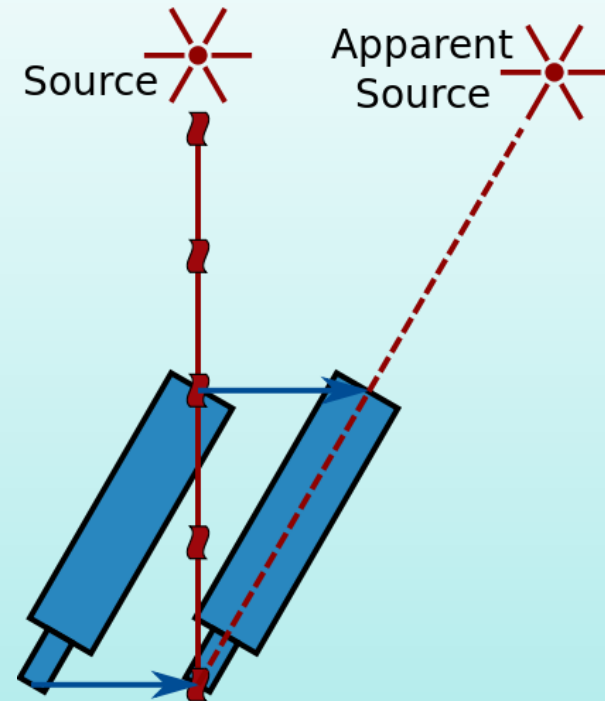


1ª medida da velocidade da luz: o dinamarquês Ole Roemer fez a primeira medida acurada da velocidade da luz, em 1676. No observatório Uraniborg, Roemer estudou por 8 anos a periodicidade dos eclipses de Io (satélite de Júpiter).

Ele notou que o tempo variava em 22 minutos quando a Terra se afastava de Júpiter (L-K) comparado com quando se aproximava (F-G). Isso só é possível se a velocidade da luz for finita.

Usando as medidas recentes de Cassini da distância da Terra a Júpiter anunciou que a luz viajava a 220 mil km/s

James Bradley (1693 - 1762)

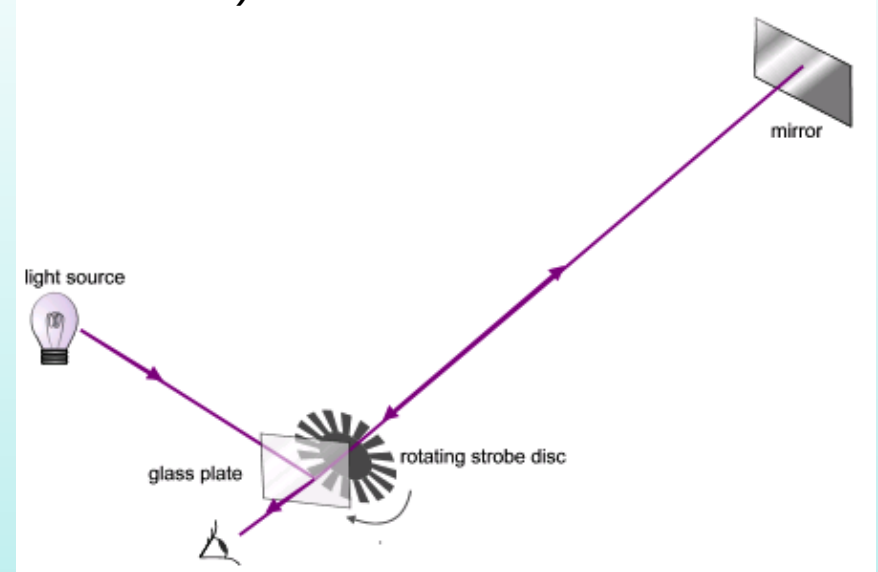
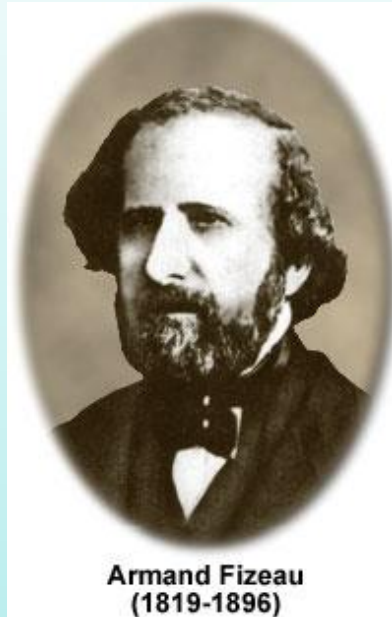


Ao observar a estrela Etanin (Gama do Dragão), no zênite em Londres notou um deslocamento (*paralaxe*) de 40 segundos de arco.

Em 1729 propôs que era o movimento da Terra combinado com o da luz que provocava esta aberração aparente.

Determinou que a velocidade da luz deveria ser 301 mil km/s

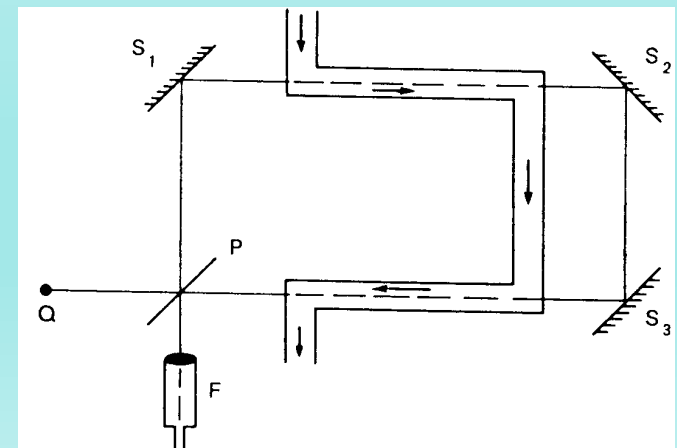
Armand Hippolyte Louis Fizeau (1819 - 1896)

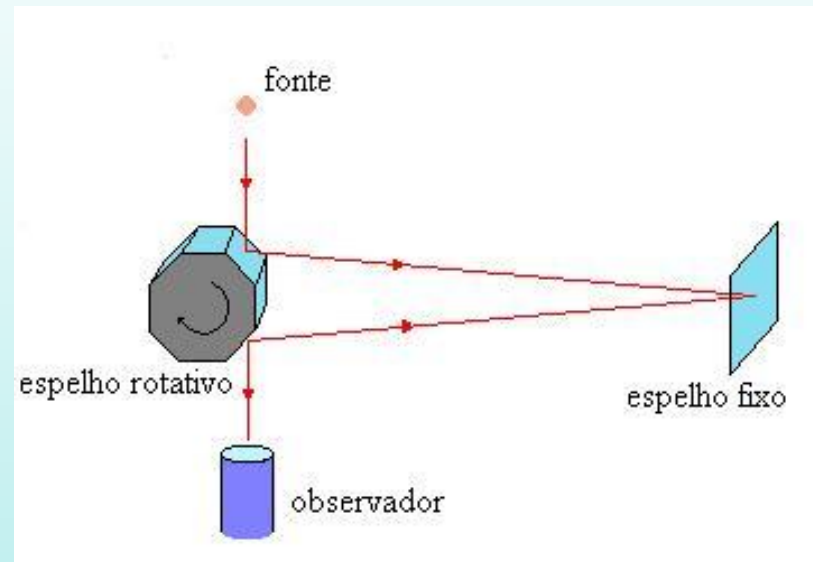


1º experimento a medir a velocidade da luz na Terra (1849), usando um engenhoso sistema que emprega uma roda dentada: a luz passa por um vão, é refletida e volta pelo vão adjacente

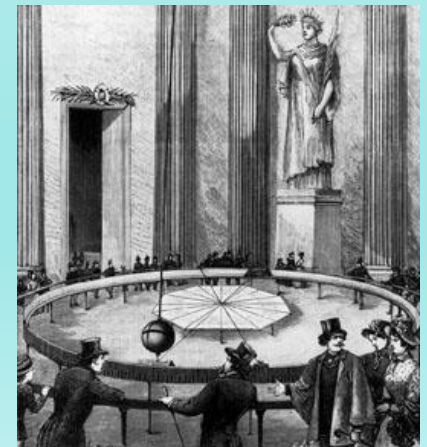
Determinou o valor de **313.300 km/s**

Fizeau conduziu também experimentos que demonstram que a velocidade da luz é constante, independentemente do movimento do meio e não pôde verificar o movimento do éter.

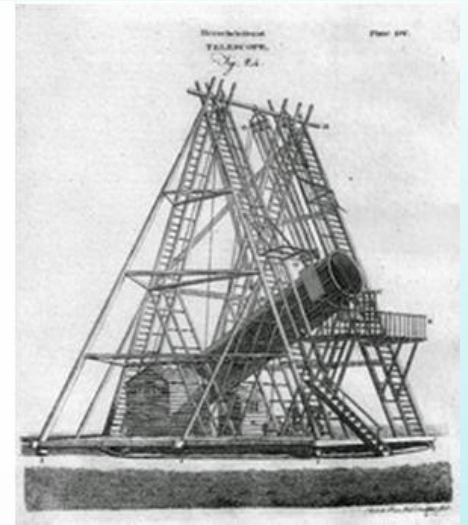
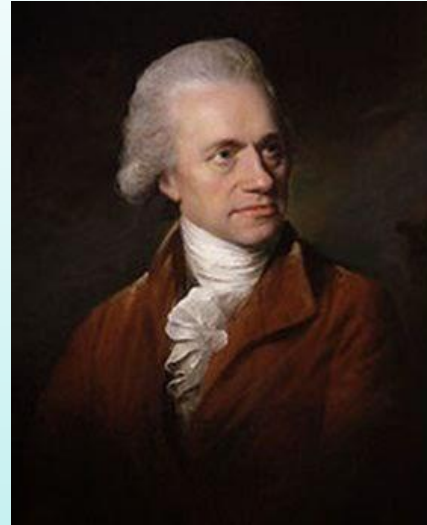




- Mostrou que a velocidade da luz no ar era maior que na água (1849);
- Em 1851 melhorou a medida de Fizeau da velocidade da luz com um experimento de espelhos rotativos: o valor obtido por ele foi de **293.000 km/s** ;
- *Pêndulo de Foucault*: Feira Mundial de 1851, no Panteão de Paris;
- É o inventor do giroscópio (1852);
- Descobriu as correntes de Foucault (1855).



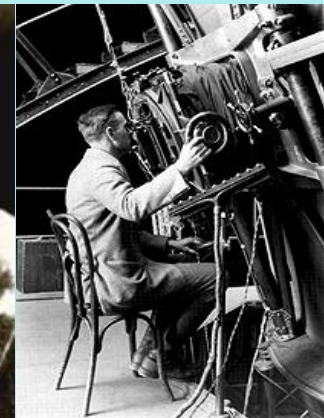
Ampliando o alcance



William Herschel (1738 - 1822) e seu telescópio (1778) com um espelho de 16 cm.

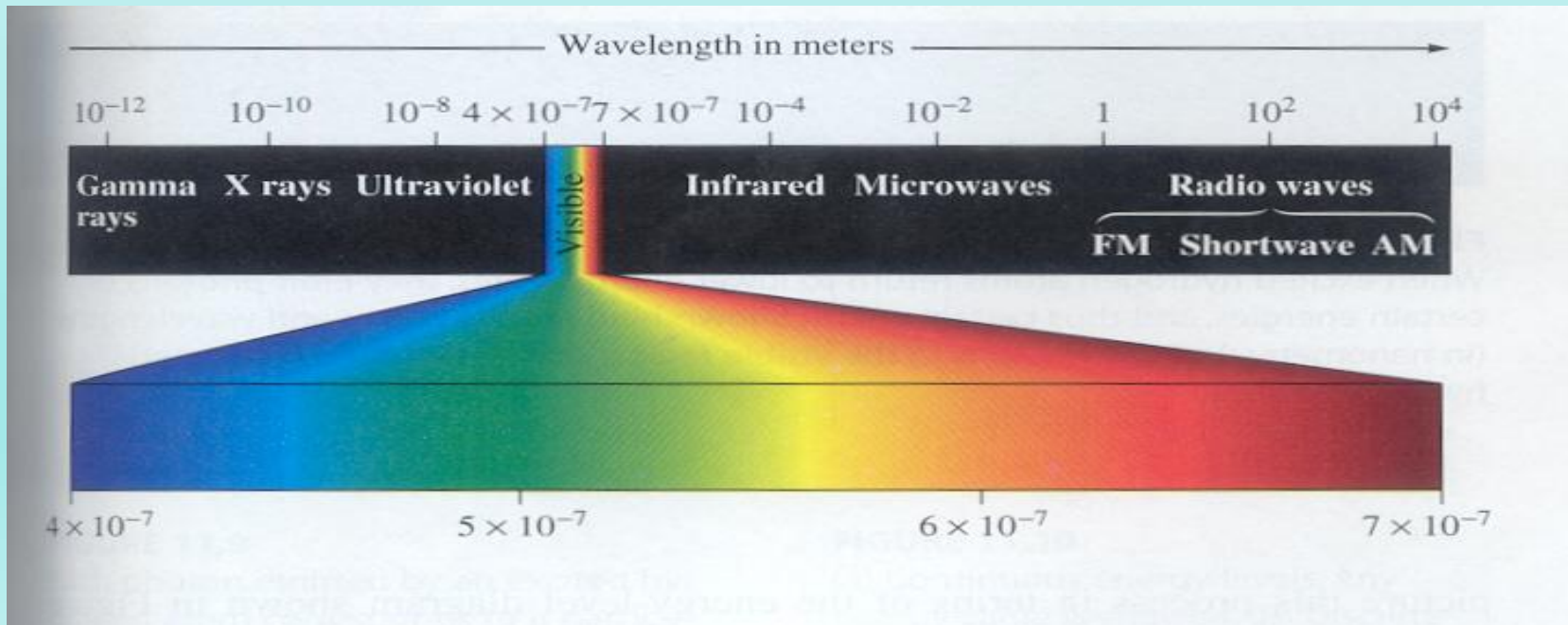
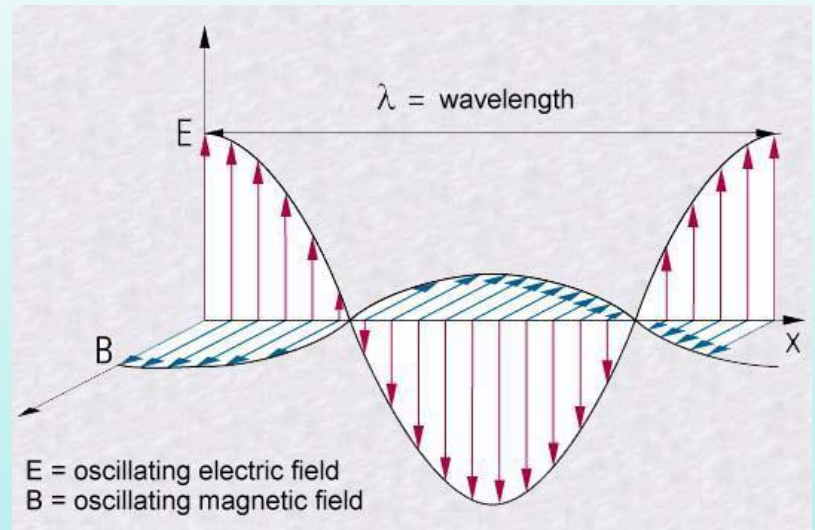
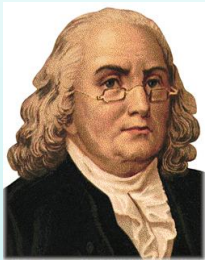


Telescópios do Observatório do Monte Wilson: à esquerda o de 150 cm e à direita o de 250 cm.



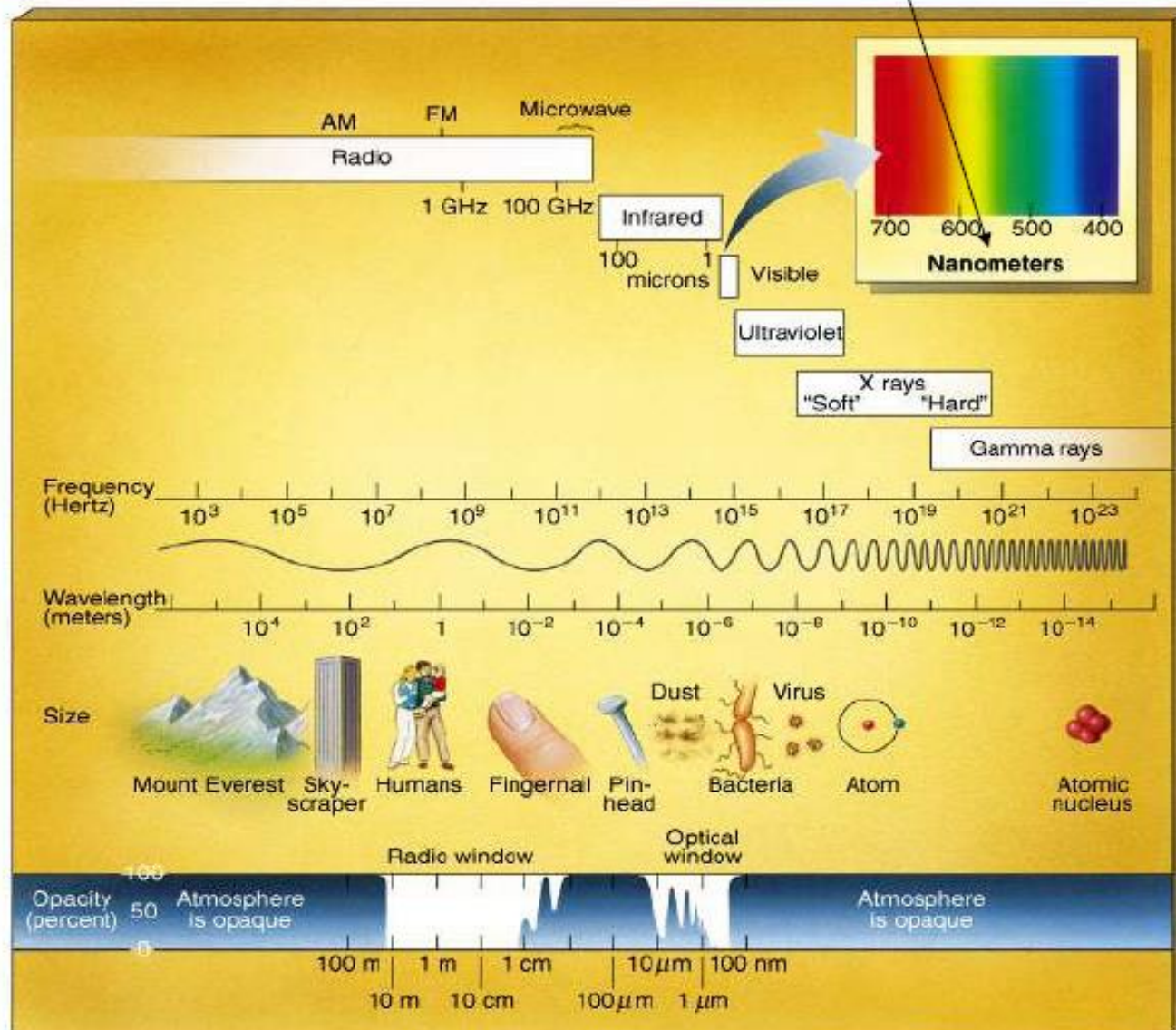
Edwin Hubble (1889 - 1953) em Monte Wilson.

Séculos XVIII e XIX: Eletromagnetismo

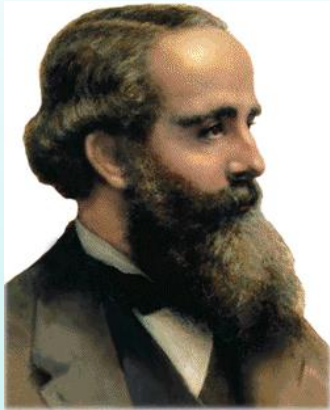


The Electromagnetic Spectrum

$1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$, $1 \text{ Angstrom} = 10^{-10} \text{ m}$



$$c = \lambda f$$



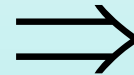
1864 James C. Maxwell descreve as 4 equações do eletromagnetismo, verificando que delas pode-se deduzir uma equação de onda.

$$\nabla \cdot \vec{E} = \frac{\rho}{\epsilon_0}$$

$$\nabla \cdot \vec{B} = 0$$

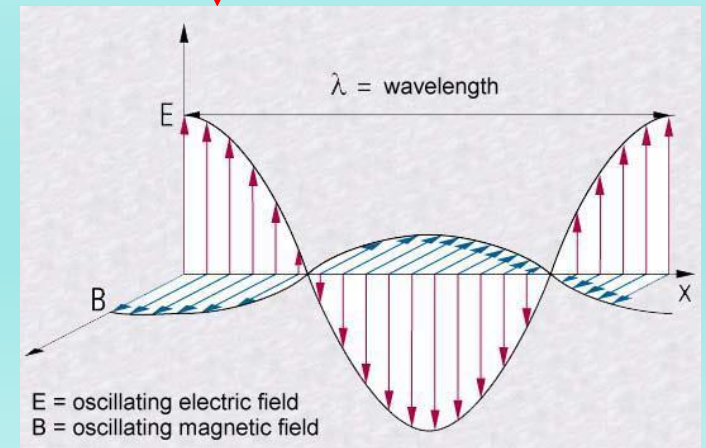
$$\nabla \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$$

$$\nabla \times \vec{B} = \mu_0 \left(\vec{J} + \epsilon_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} \right)$$



$$\nabla^2 \vec{E} = \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2}$$

$$\nabla^2 \vec{B} = \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 \vec{B}}{\partial t^2}$$

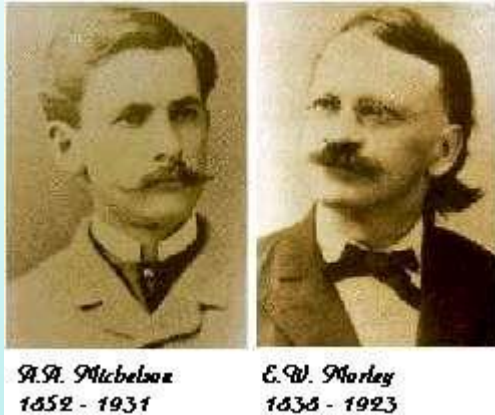


onde:

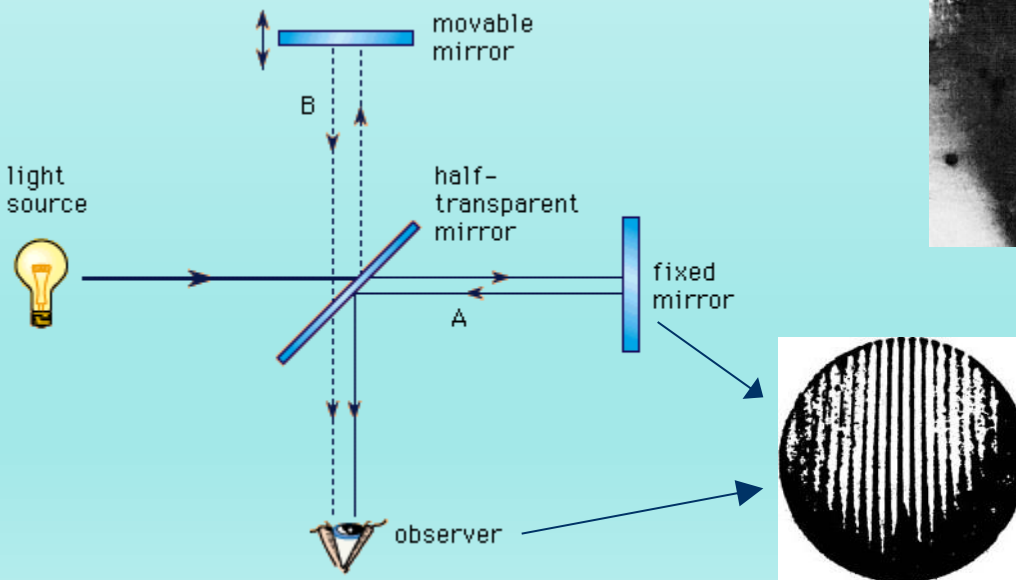
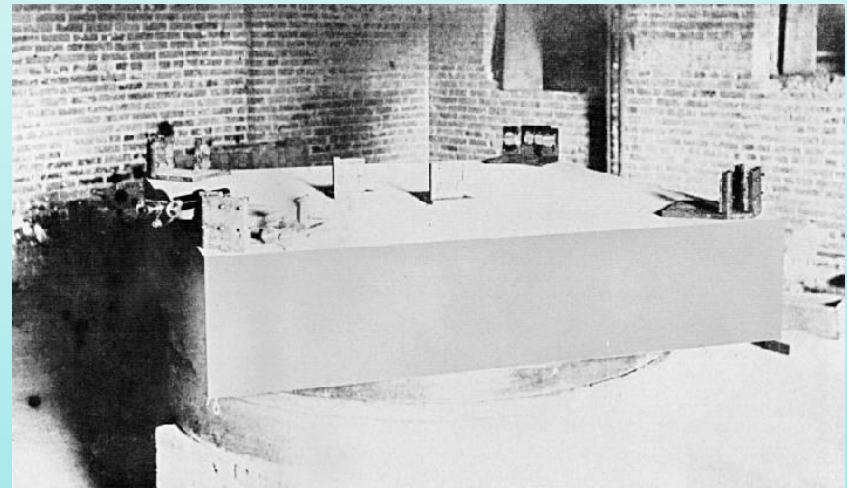
$$c = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \mu_0}}$$

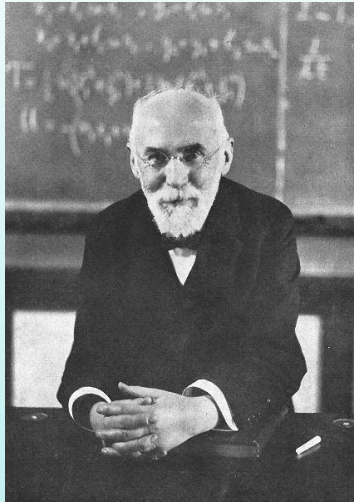
$$\approx 300.000 \text{ km/s}$$

O interferômetro de Michelson e Morley



1889 Albert Michelson e Edward Morley construíram um interferômetro para captar o vento de éter.



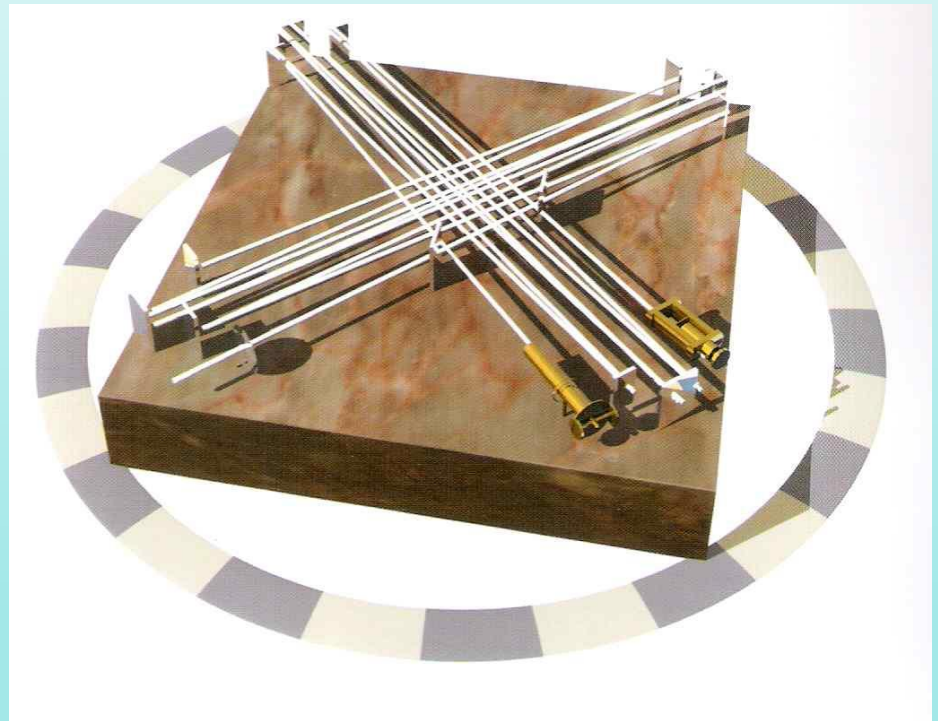


1889 Hendrik Lorentz e George Fitzgerald tentam “salvar” o éter propondo uma contração no braço do interferômetro de Michelson que dependia de v/c .

Fator gama de Lorentz:

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$$

1904 Hendrik Lorentz propõe transformações que substituem a de Galileu para velocidades comparáveis a da luz → transformações de Lorentz.





➡ (1905) Annus mirabilis de Einstein:

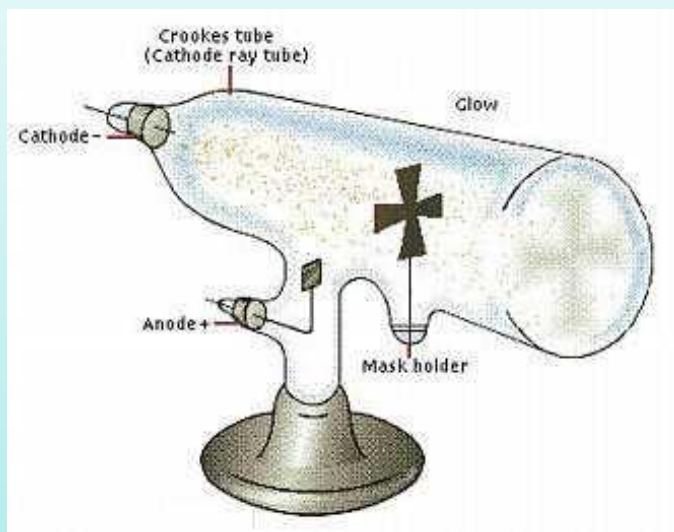
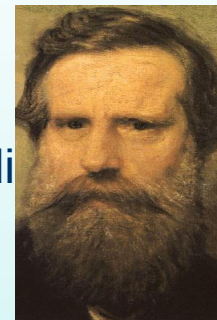
🕒 09/Jun.: “Sobre um ponto de vista heurístico a respeito da produção e a transformação da luz”;

✚ 18/Jul.: “Sobre o movimento de pequenas partículas em suspensão dentro de líquidos em repouso como exigido pela teoria cinético-molecular do calor”;

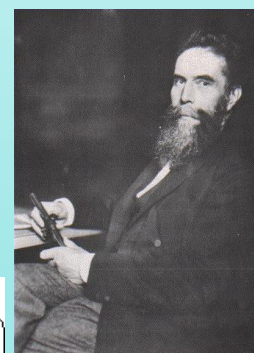
✚ 26/Set.: “Sobre a eletrodinâmica dos corpos em movimento”;

✚ 21/Nov.: “A inércia de um corpo depende de seu conteúdo energético?”.

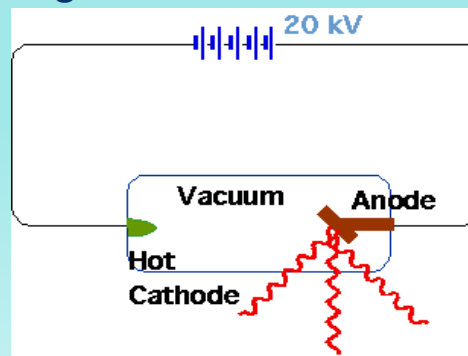
1875 Sir William Crookes desenvolveu o tubo de raios catódicos



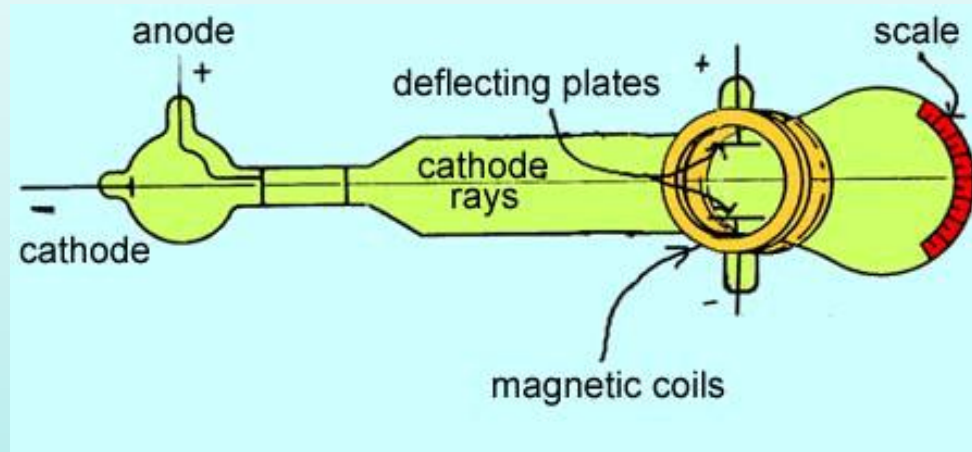
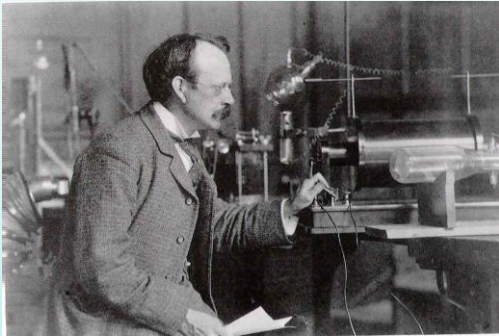
1895 Wilhelm Conrad Röntgen descobre os raios X.



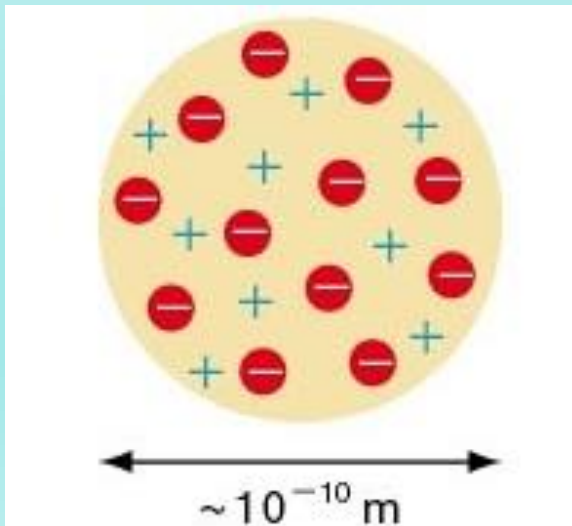
1901



1897 John Joseph Thomson descubre o elétron.

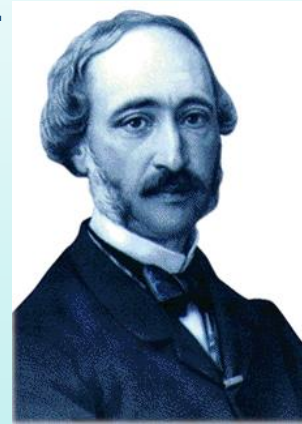


1906



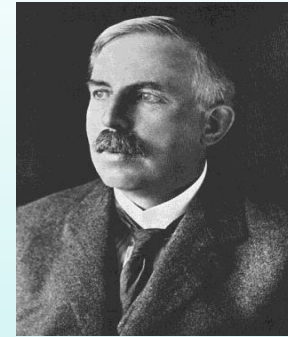
$$\frac{q}{m} = \frac{v}{r \cdot B} = 1,759 \times 10^{11} \text{ C / kg}$$

1896 Henri Becquerel descobre que o elemento urânio emite radiação que pode escurecer uma placa fotográfica.

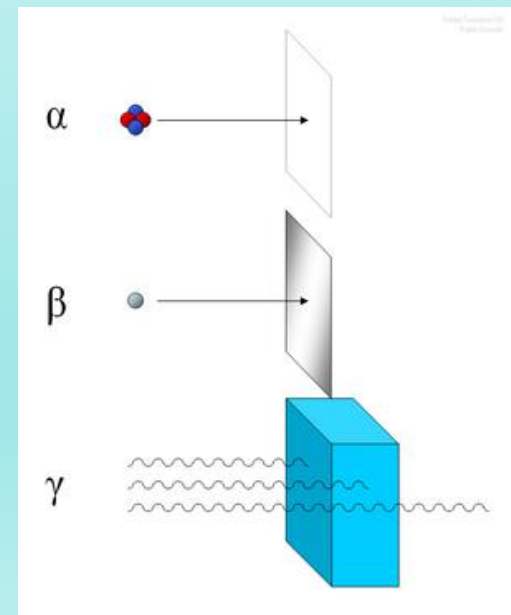
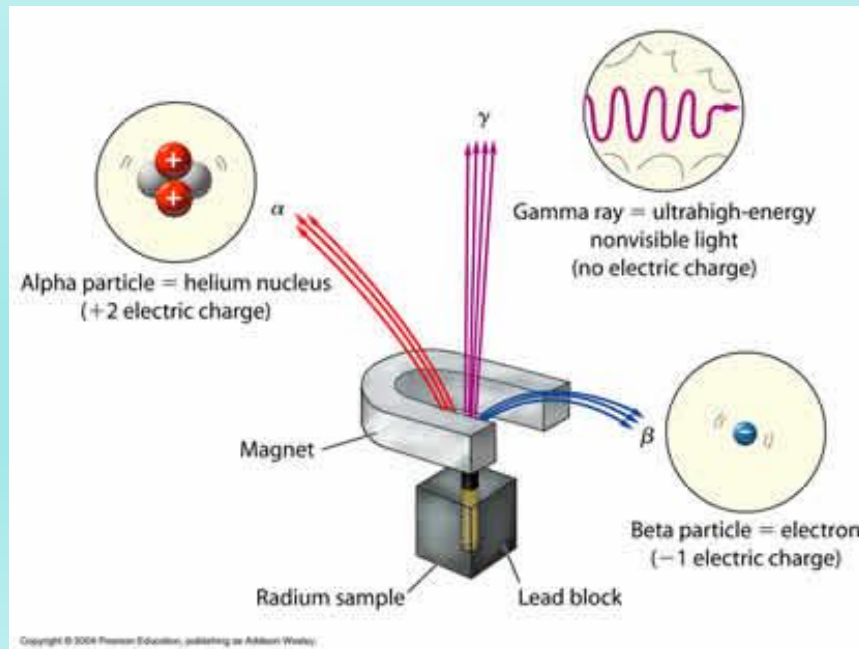


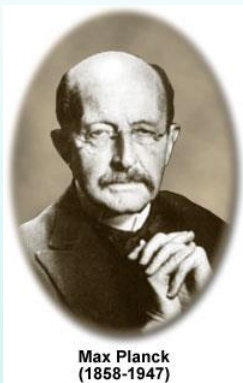
1898++ Marya Sklodowska & Pierre Curie: radioatividade era atômica, estava presente também no Th, descoberta do Ra e Po.

1898 Ernest Rutherford identifica 2 tipos de radiação: α e β .



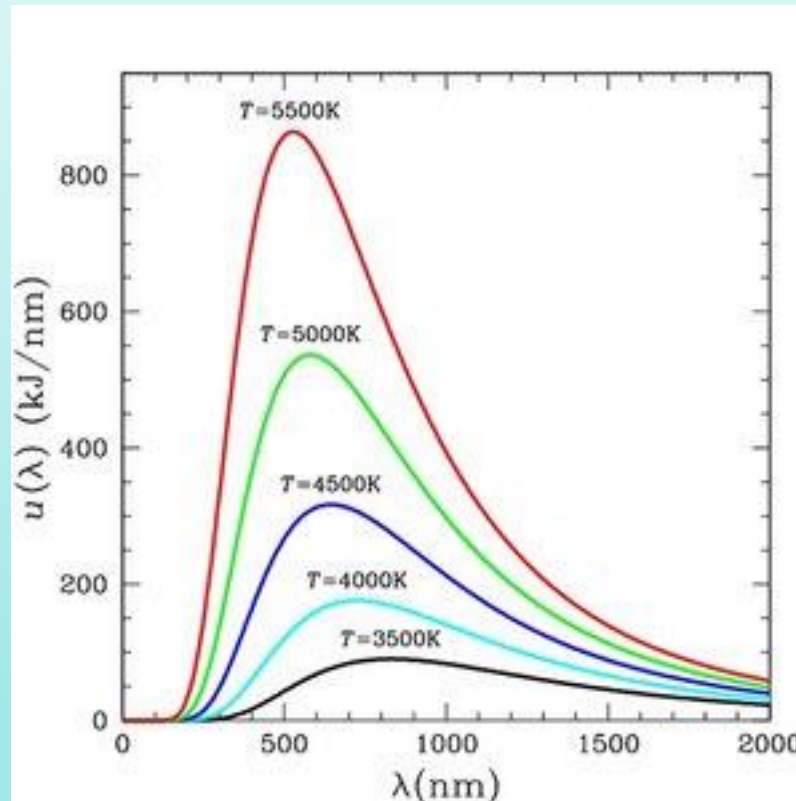
1899 Paul Villard descobre o 3º tipo de radiação (γ) que Rutherford identificou como onda eletromagnética, mais energética que o raio X.





1900 Max Planck formula uma lei de distribuição que se ajustava melhor aos dados em todas as frequências:

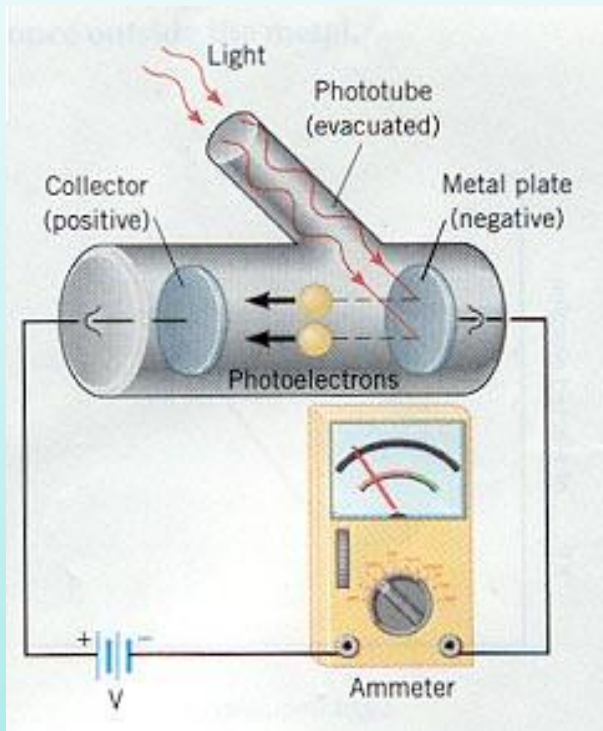
$$R_f df = \frac{2h}{c^3} \frac{f^3}{e^{\frac{hf}{kT}} - 1} df$$



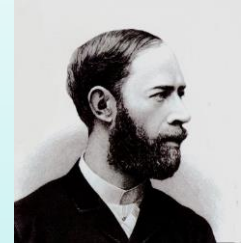
1918

Hipótese: as moléculas vibrantes somente podem ter valores discretos de energia: **$E_n = nhf$** , onde f é a frequência, n o número quântico e h a constante de Planck: $h = 6,626 \times 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$.

Efeito fotoelétrico

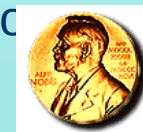


1887 Heinrich Hertz descobre o efeito fotoelétrico.

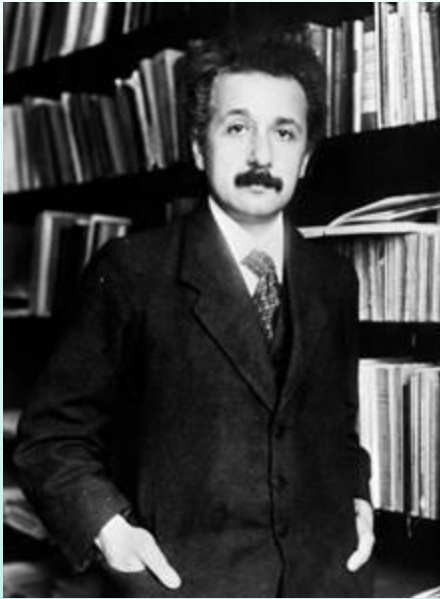


1897++ Philipp Lenard:

- Limiar de frequência de 10^{15} Hz;
- A emissão ocorre a alto vácuo, portanto, os portadores de carga não são íons gasosos;
- A ação de um campo magnético confirma a carga negativa dos portadores.



1905



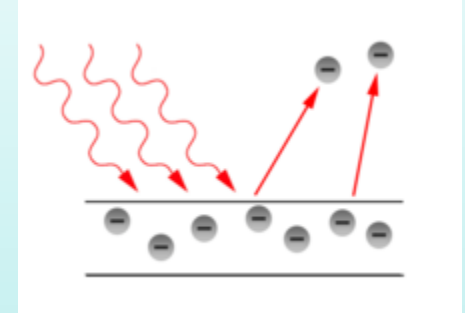
1905 Albert Einstein explica o efeito fotoelétrico. A luz deve se comportar como partícula na interação com a matéria.

$$E = hf = K + \Phi$$

$$\Rightarrow K_{\max} = hf - \Phi_0$$

$$\Rightarrow 0 = hf_0 - \Phi_0 \Rightarrow f_0 = \frac{\Phi_0}{h}$$

(frequência de corte)



$$\Rightarrow K_{\max} = eV_0 = hf - \Phi_0 \Rightarrow V_0 = \left(\frac{h}{e} \right) f - \frac{\Phi_0}{e}$$



1921

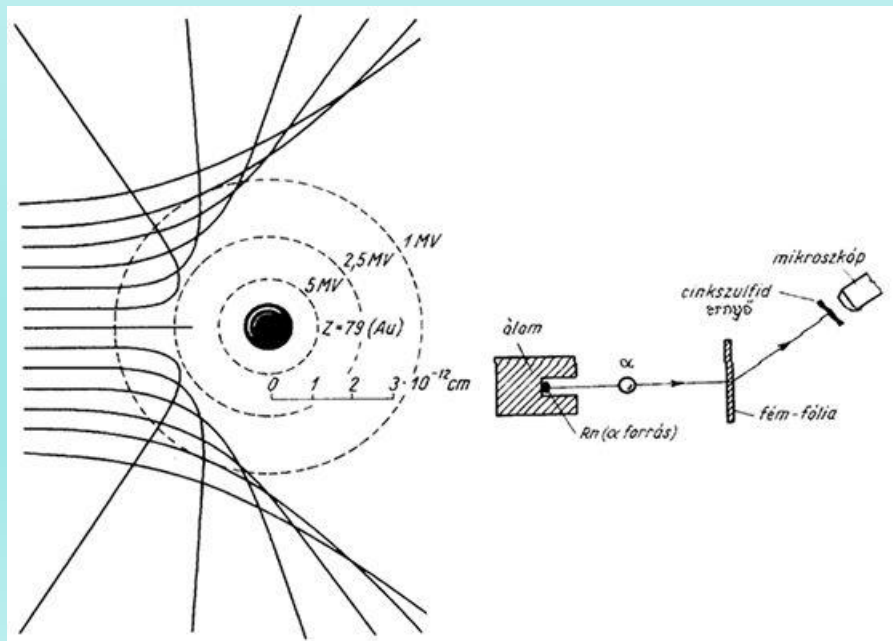
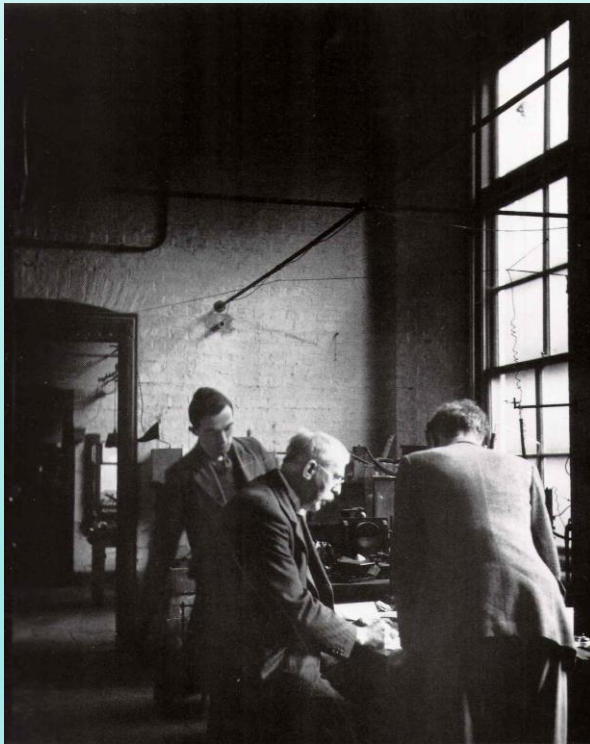


1905 Frederick Soddy e Rutherford constataam que o decaimento radioativo resulta na transmutação do elemento.



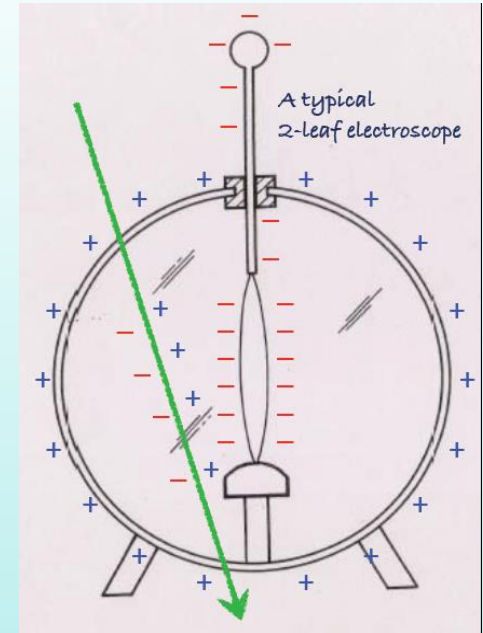
1908 Rutherford
(Química)

1909 Rutherford e seus estudantes Hans Geiger e Ernst Marsden fazem experimentos de espalhamentos de partícula α em folhas de ouro.





1936 Hess & Anderson



Razão de descarga 4x maior a 4880 m

1912 Victor Hess descobre a radiação de origem cósmica.

7. Fahrt (7. August 1912).

Ballon: „Böhmen“ (1680 cbm Wasserstoff).

Meteorolog. Beobachter: E. Wolf.

Führer: Hauptmann W. Hoffory.

Luftelektr. Beobachter: V. F. Hess.

Nr.	Zeit	Mittlere Höhe		Beobachtete Strahlung				Temp.	Relat. Feucht. Proz.
		absolut m	relativ m	Apparat 1		Apparat 3			
				φ_1	φ_2	φ_3	reduz. φ_3		
1	15 ^h 15—16 ^h 15	156	0	17,3	12,9	—	—	—	—
2	16 ^h 15—17 ^h 15	156	0	15,9	11,0	18,4	18,4	11,2 Tag vor dem Aufstiege (in Wien)	—
3	17 ^h 15—18 ^h 15	156	0	15,8	11,2	17,5	17,5	+6,4°	60
4	6 ^h 45—7 ^h 45	1700	1400	15,8	11,4	21,1	25,3	+1,4°	41
5	7 ^h 45—8 ^h 45	2750	2500	17,3	12,3	22,5	31,2	-6,3°	64
6	8 ^h 45—9 ^h 45	3850	3600	19,8	16,5	21,8	35,2	-9,8°	40
7	9 ^h 45—10 ^h 45	4800	4700	40,7	31,8	—	—	—	—
		(4400—5350)				—	—	—	—
8	10 ^h 45—11 ^h 15	4400	4200	28,1	22,7	—	—	—	—
9	11 ^h 15—11 ^h 45	1300	1200	(9,7)	11,5	—	—	—	—
10	11 ^h 45—12 ^h 10	250	150	11,9	10,7	—	—	+16,0°	68
11	12 ^h 25—13 ^h 12	140	0	15,0	11,6	—	—	(nach der Landung in Pieskow, Brandenburg)	—