



Fé Cristã e Ciência Contemporânea

Do Átomo aos Quarks: o Mundo Quântico

- Deus está nos detalhes -

Aula 3

Fé Cristã e Ciência Contemporânea

(outubro)

DIA

TEMA

07.10

Introdução – Raízes Cristãs da Ciência
- Jesus: o *Logos* divino -

14.10

Gênese da Ciência Moderna
- a Glória de Deus -

21.10

Do Átomo aos Quarks: o Mundo Quântico
- Deus está nos detalhes -

28.10

Leis Fundamentais da Natureza
- a Sabedoria de Deus -

Fé Cristã e Ciência Contemporânea

(novembro)

DIA	TEMA
04.11	<i>Cosmologia e Expansão do Universo</i> - o Mistério da Criação -
11.11	<i>O Princípio Antrópico e a Sintonia Fina</i> - Deus está no controle -
18.11	<i>Criacionismo Evolucionário</i> - Transcendência e Imanência de Deus -
25.11	<i>A Função Teológica da Ciência</i> - Jesus: o Alfa e o Ômega -

Epígrafe

*Para ver um mundo num grão de areia,
E um céu numa flor silvestre,
Segure o infinito na palma de sua mão,
E a eternidade em uma hora.*

William Blake - Auguries of Innocence

*To see a world in a grain of sand,
And a heaven in a wild flower,
Hold infinity in the palm of your hand,
And eternity in an hour.*

Epígrafe

Ele [Deus] fez tudo apropriado a seu tempo. Também pôs no coração do homem o anseio pela eternidade; mesmo assim este não consegue compreender inteiramente o que Deus fez.

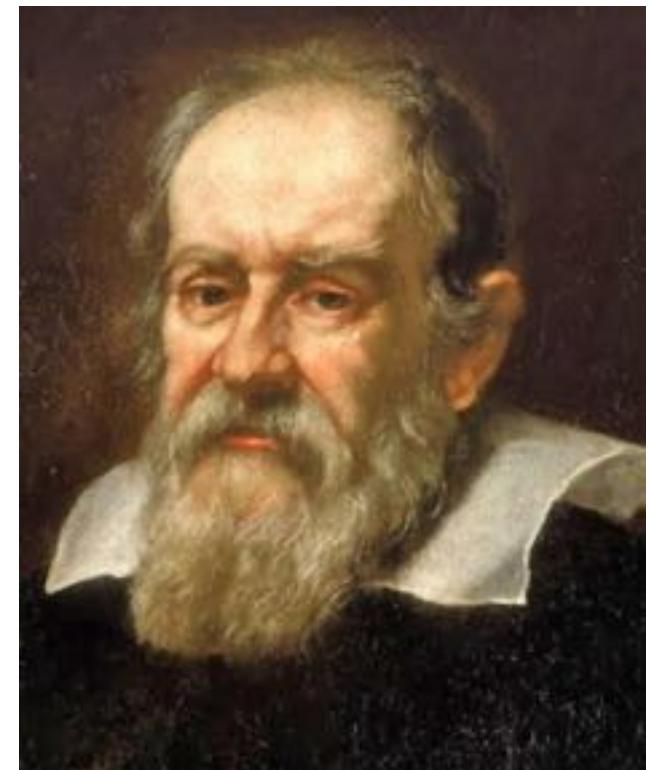
Eclesiastes 3:11

Aula passada – Galileu Galilei

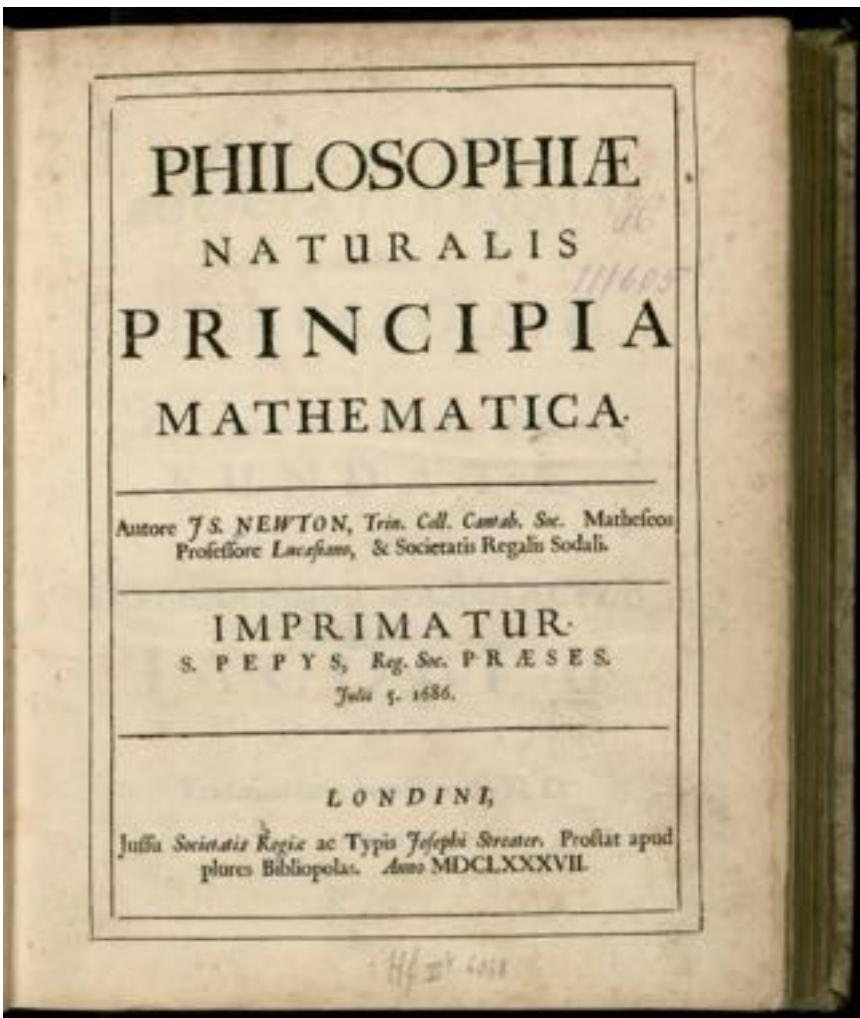
“Diálogo sobre os Dois Principais Sistemas do Mundo” (1632)



DIALOGO
DI
GALILEO GALILEI LINCEO
MATEMATICO SOPRAORDINARIO
DELLO STUDIO DI PISA.
E Filosofo, e Matematico primario del
SERENISSIMO
GR.DVCA DI TOSCANA.
Dove ne i congreffi di quattro gioenate si discorre
sopra i due
MASSIMI SISTEMI DEL MONDO
TOLEMARICO, E COPERNICANO;
Proponendo indeterminatamente le ragioni Filosofiche, e Naturali
tanto per l'una, quanto per l'altra parte.
CON PRI
VILEGI.
IN FIORENZA, Per Gio.Batista Laadini MDCXXXII.
CON LICENZA DEI SUPERIORI.

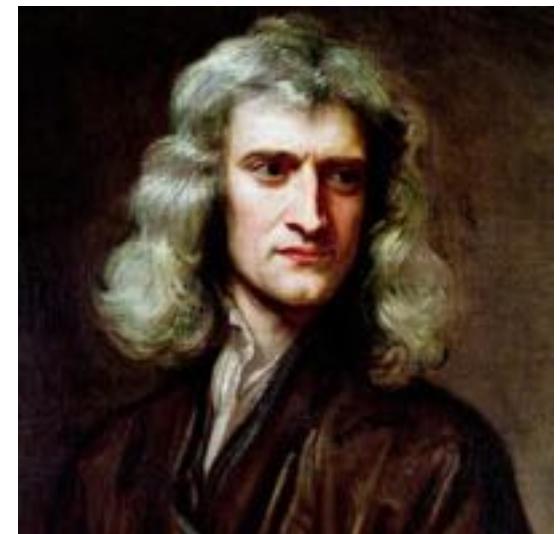


Aula passada – Isaac Newton



“Princípios Matemáticos da Filosofia Natural” (1687)

Uma das mais importantes obras científicas de todos os tempos



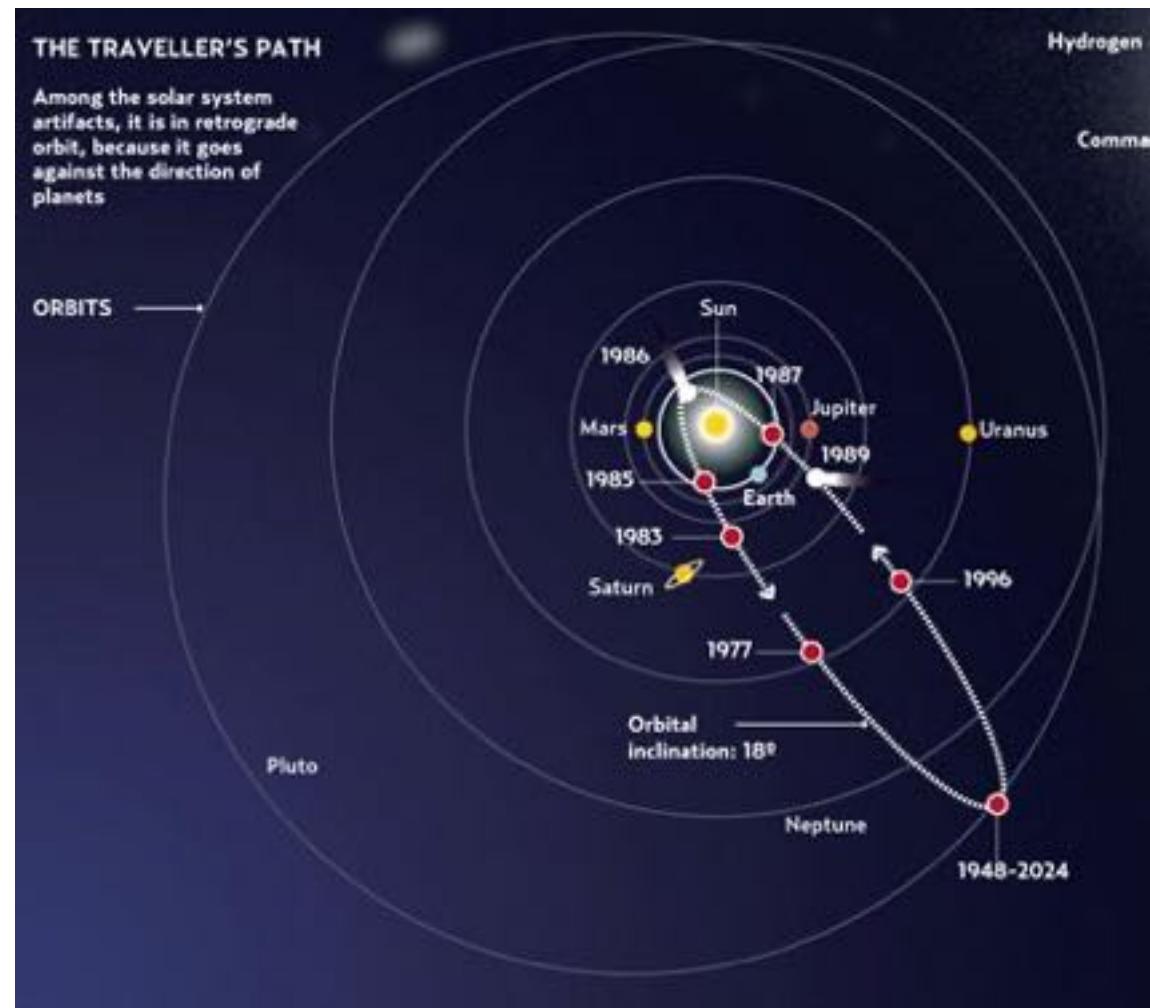
Aula passada – O universo mecânico

- Mecânica Newtoniana: grande triunfo do método científico
- Acertos na descrição das órbitas de planetas e cometas
- Capacidade de fazer previsões científicas
- Extrapolação metafísica: cosmovisão materialista e determinista

Cometa Halley

O cometa Halley foi o primeiro cometa a ser reconhecido como periódico

O próximo periélio do Cometa Halley será em 28 de julho de 2061



Determinismo científico

- Pierre-Simon Laplace (1749 – 1827): levou 26 anos para concluir a sua obra **Mecânica Celeste (5 vols.)**

“Podemos considerar o estado presente do universo como o efeito do seu passado e a causa do seu futuro. Um intelecto que, em um certo momento, conhecesse todas as forças que colocam a natureza em movimento, e todas as posições de todos os itens de que a natureza é composta, se este intelecto fosse também vasto o suficiente para submeter todos esses dados à análise, ele poderia incluir em uma única fórmula os movimentos dos maiores corpos do universo e aqueles dos menores átomos; para tal intelecto nada seria incerto e o futuro, assim como o passado, estaria presente diante de seus olhos.”

Disse Deus: "Haja luz", e houve luz.

Gn 1:3

- O que é a luz?
- Para chegar aos átomos e quarks,
vamos seguir “o caminho da luz”

Isaac Newton - espectro da luz

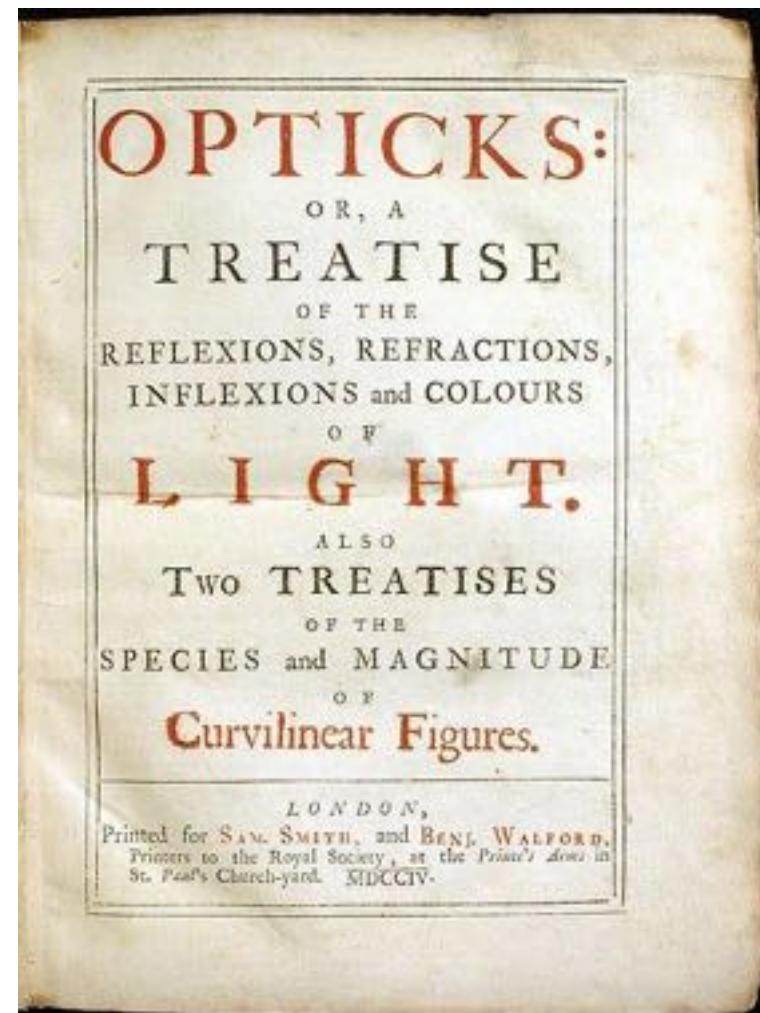
- Newton observou o **espectro visível** pela **decomposição da luz solar** ao incidir sobre uma das faces de um prisma



Isaac Newton

- teoria corpuscular da luz -

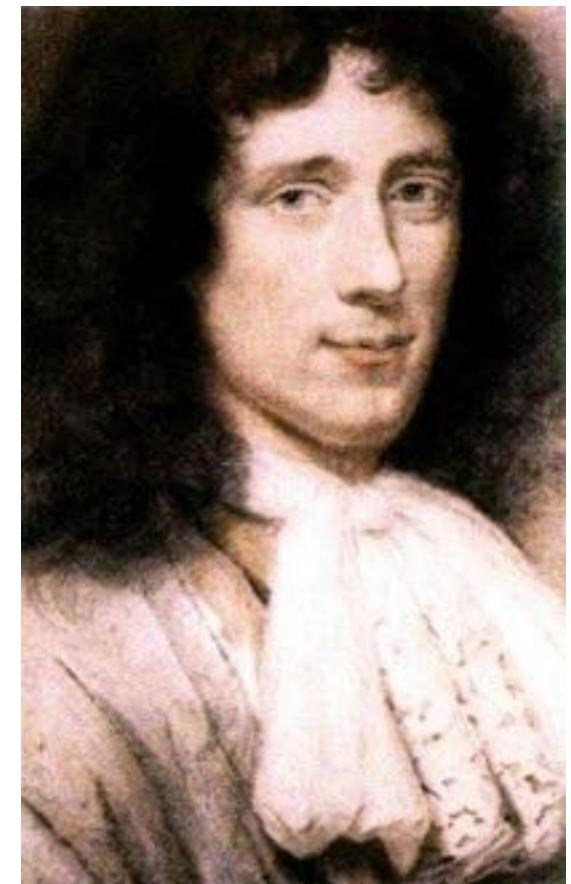
- Em 1704, Isaac Newton escreveu a sua obra mais importante sobre a óptica, chamada **Opticks**, na qual expõe sua teoria sobre a natureza corpuscular da luz



Christiaan Huygens

- teoria da ondulatória da luz -

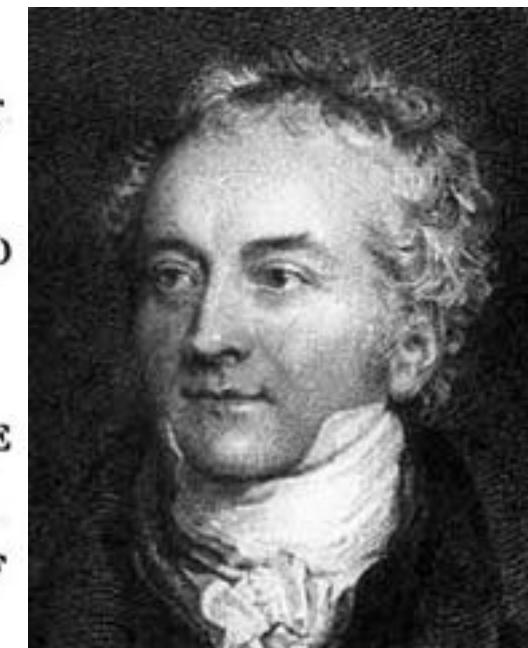
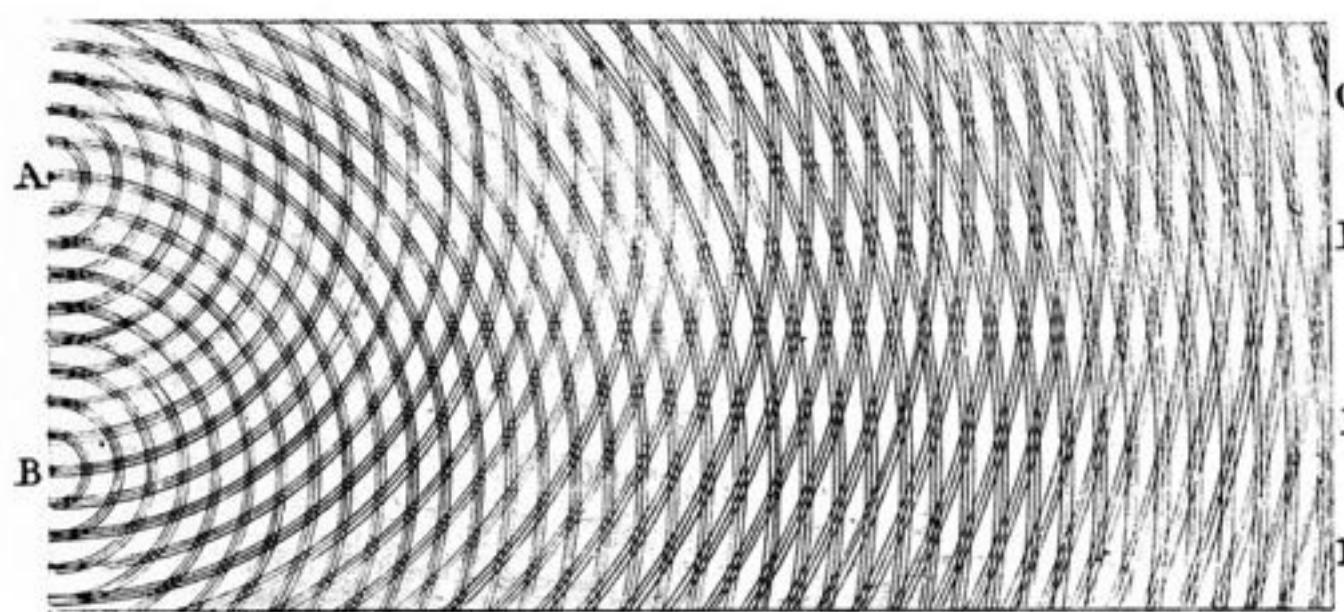
- Em 1660, Robert Hooke publicou uma teoria ondulatória da luz
- Christiaan Huygens elaborou sua teoria própria onda de luz, em 1678, e publicou em seu Tratado sobre a Luz em 1690
- Ele propôs que a luz era emitida em todas as direções, como uma série de ondas em um meio chamado éter luminoso



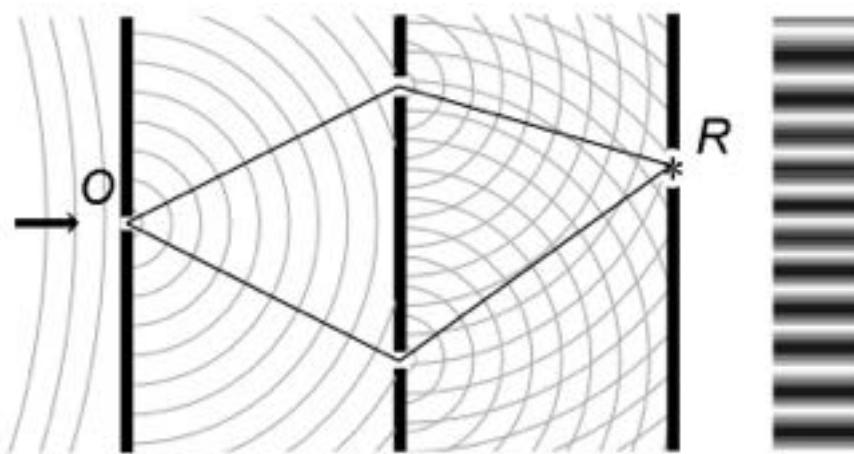
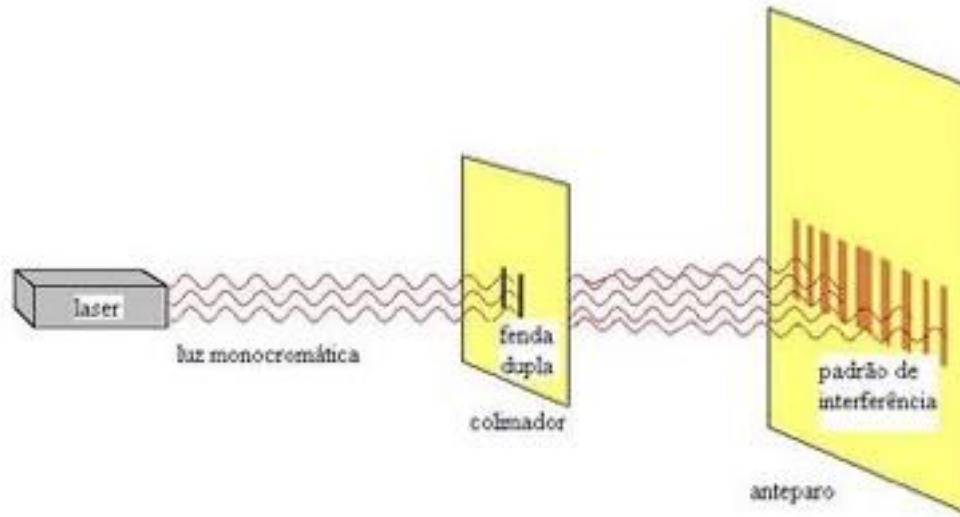
Thomas Young

- fenômeno da interferência -

- Thomas Young (1773 -1829): realizou a experiência da dupla fenda, que possibilitou a determinação do carácter ondulatório da luz

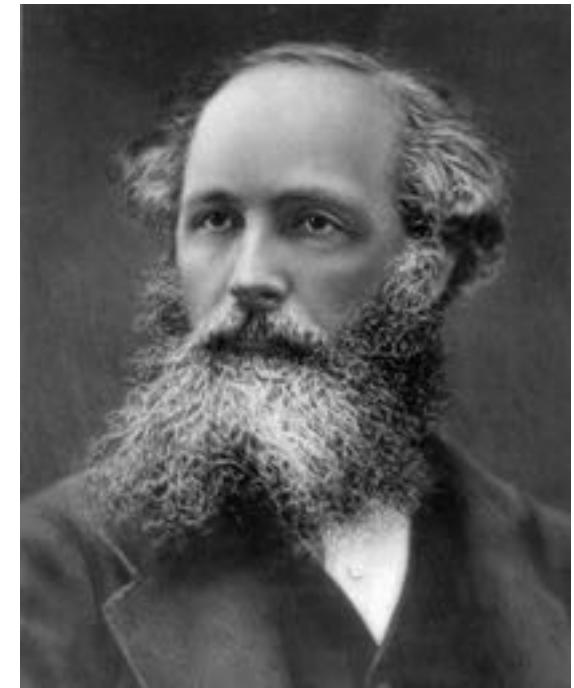


Experimento da Dupla Fenda



James Clerk Maxwell

- a teoria eletromagnética da luz -



James Clerk Maxwell
(1831 –1879)

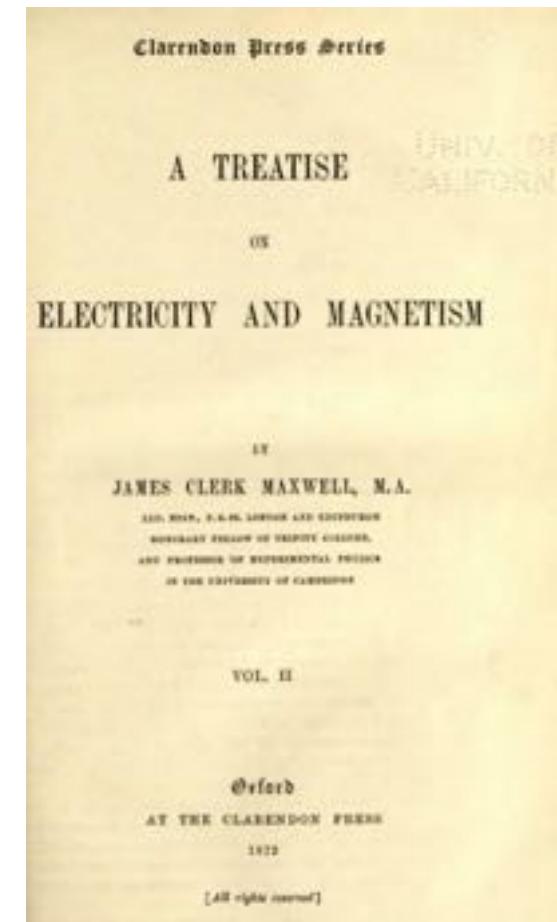
James Clerk Maxwell

- a teoria eletromagnética da luz -

- 1873: “Um Tratado sobre Eletricidade e Magnetismo”

Nome	Forma diferencial
Lei de Gauss	$\nabla \cdot \mathbf{E} = \frac{\rho}{\epsilon_0}$
Lei de Gauss para o magnetismo	$\nabla \cdot \mathbf{B} = 0$
Lei de Faraday da indução	$\nabla \times \mathbf{E} = -\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t}$
Lei de Ampère (com a correção de Maxwell)	$\nabla \times \mathbf{B} = \mu_0 \mathbf{J} + \mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t}$

Equações de Maxwell



Equações de Maxwell

- No vácuo:

$$\nabla \cdot \mathbf{E} = 0$$

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

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

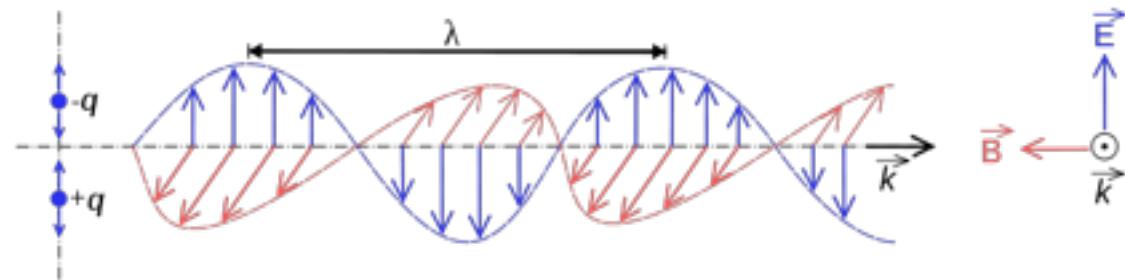
$$\nabla \times \mathbf{B} = \mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t}$$



- Equações de onda:

$$\nabla^2 \mathbf{E} = \mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial^2 \mathbf{E}}{\partial t^2}$$

$$\nabla^2 \mathbf{B} = \mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial^2 \mathbf{B}}{\partial t^2}$$

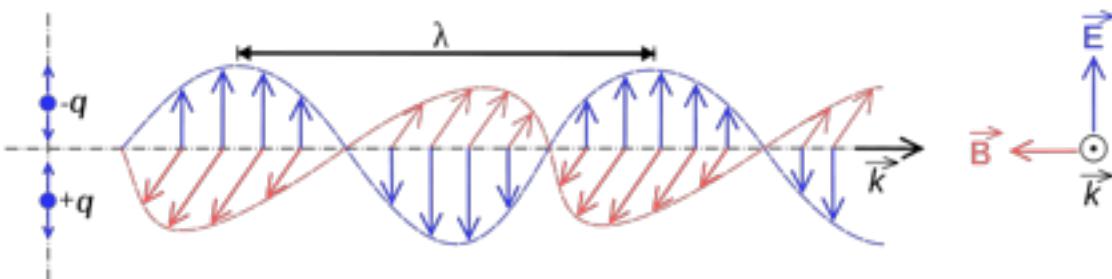


Equações de Maxwell

- **Velocidade da onda de Maxwell:**

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

- **Velocidade calculada pelo EM: 310.740 Km/s**
- **Velocidade exp. da luz no vácuo: 300.000 Km/s**
- **Luz: onda eletromagnética**



Heinrich Hertz

- ondas de rádio -

- Heinrich Hertz (1857 - 1894): físico alemão que demonstrou a existência da radiação eletromagnética criando aparelhos emissores e detectores de ondas de rádio



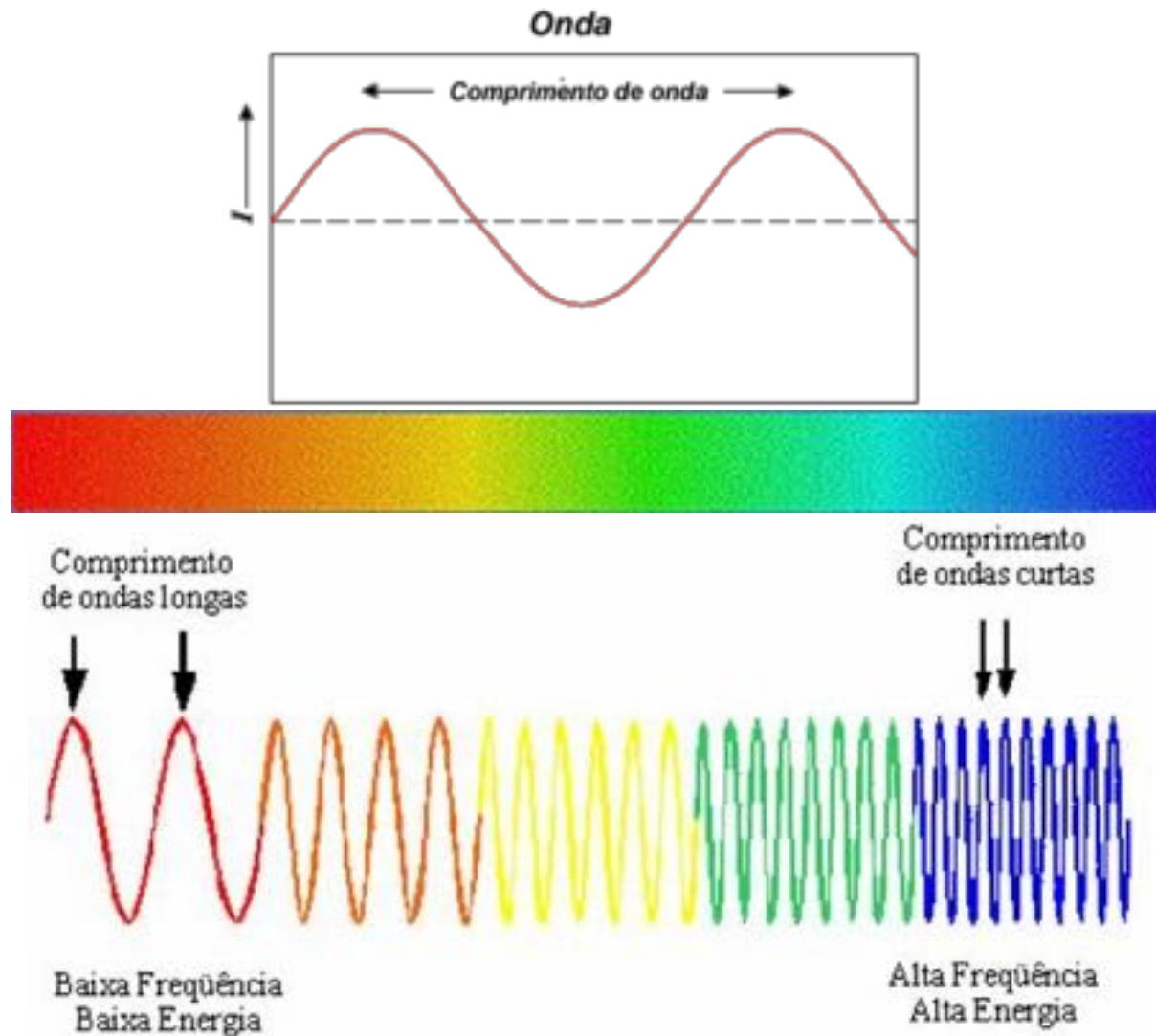
Eletromagnetismo

- resumo da ópera -

Teoria de Maxwell

- previsão: onda eletromagnética com velocidade igual à da luz
- produção de ondas Hertzianas
- luz = ondas eletromagnéticas

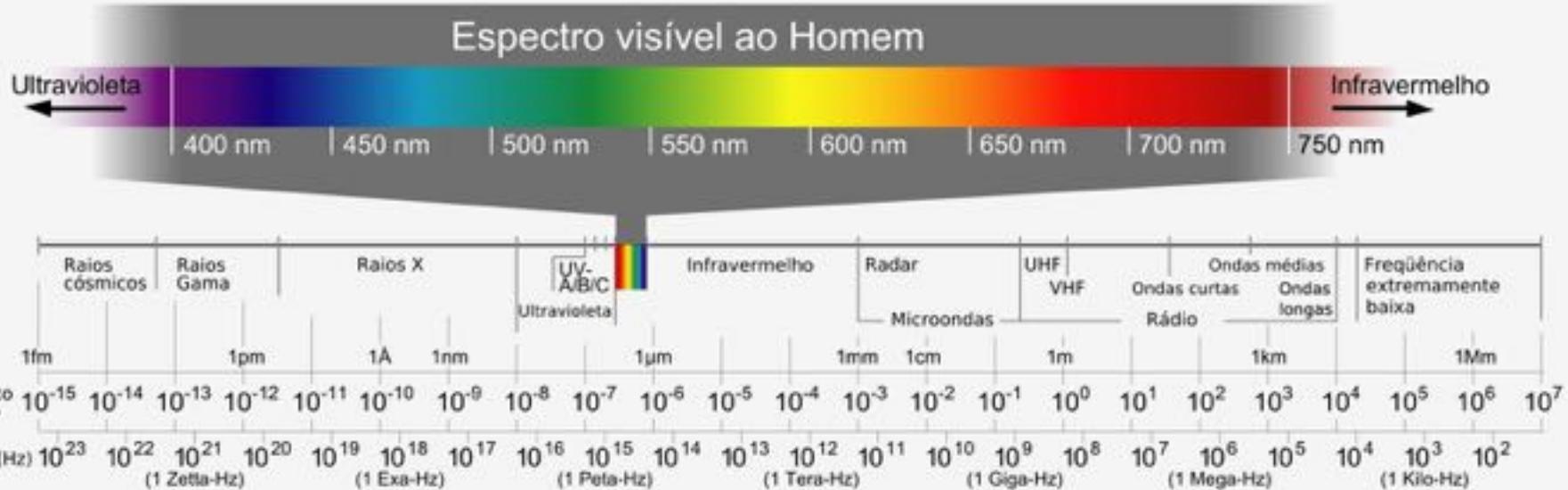
Ondas eletromagnéticas



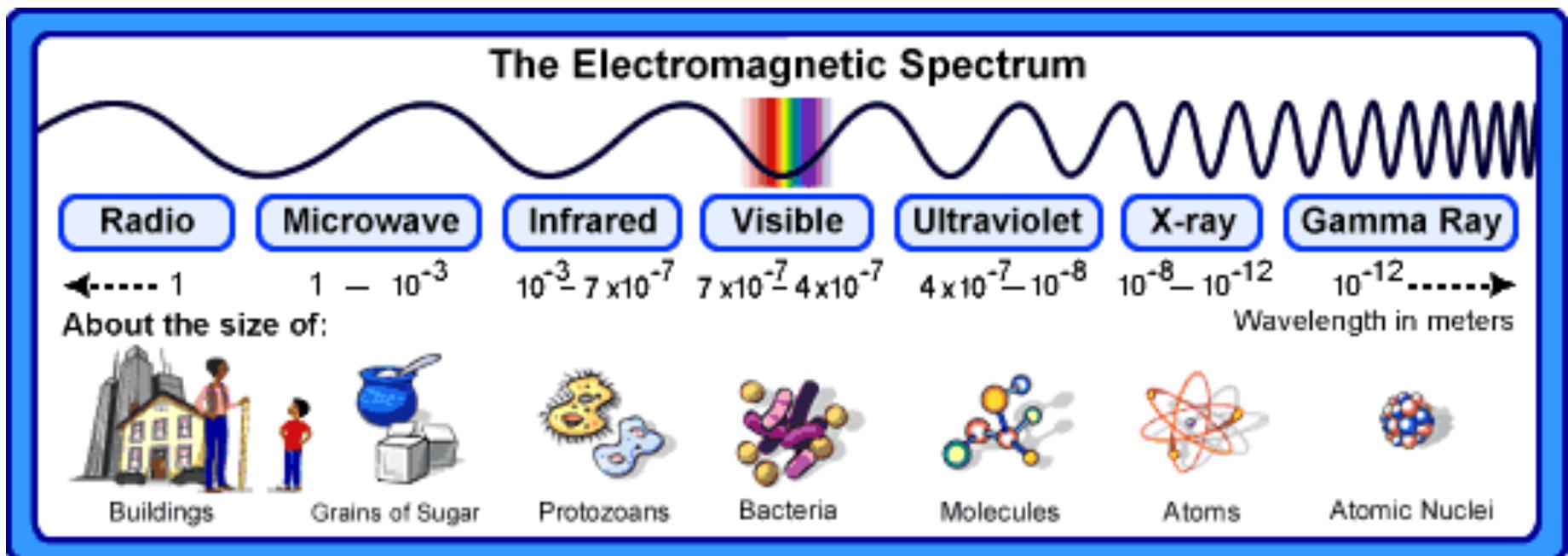
Espectro Eletromagnético

Espectro de Radiação Eletromagnética		
Tipo de Radiação	Comprimento de Onda (cm)	Frequência (Hz)
Rádio	> 10	$< 3 \times 10^9$
Micro-ondas	10 - 0.01	$3 \times 10^9 - 3 \times 10^{12}$
Infravermelho	$0.01 - 7 \times 10^{-5}$	$3 \times 10^{12} - 4.3 \times 10^{14}$
Luz Visível	$7 \times 10^{-5} - 4 \times 10^{-5}$	$4.3 \times 10^{14} - 7.5 \times 10^{14}$
Ultravioleta	$4 \times 10^{-5} - 10^{-7}$	$7.5 \times 10^{14} - 3 \times 10^{17}$
Raios-X	$10^{-7} - 10^{-9}$	$3 \times 10^{17} - 3 \times 10^{19}$
Raios Gama	$< 10^{-9}$	$> 3 \times 10^{19}$

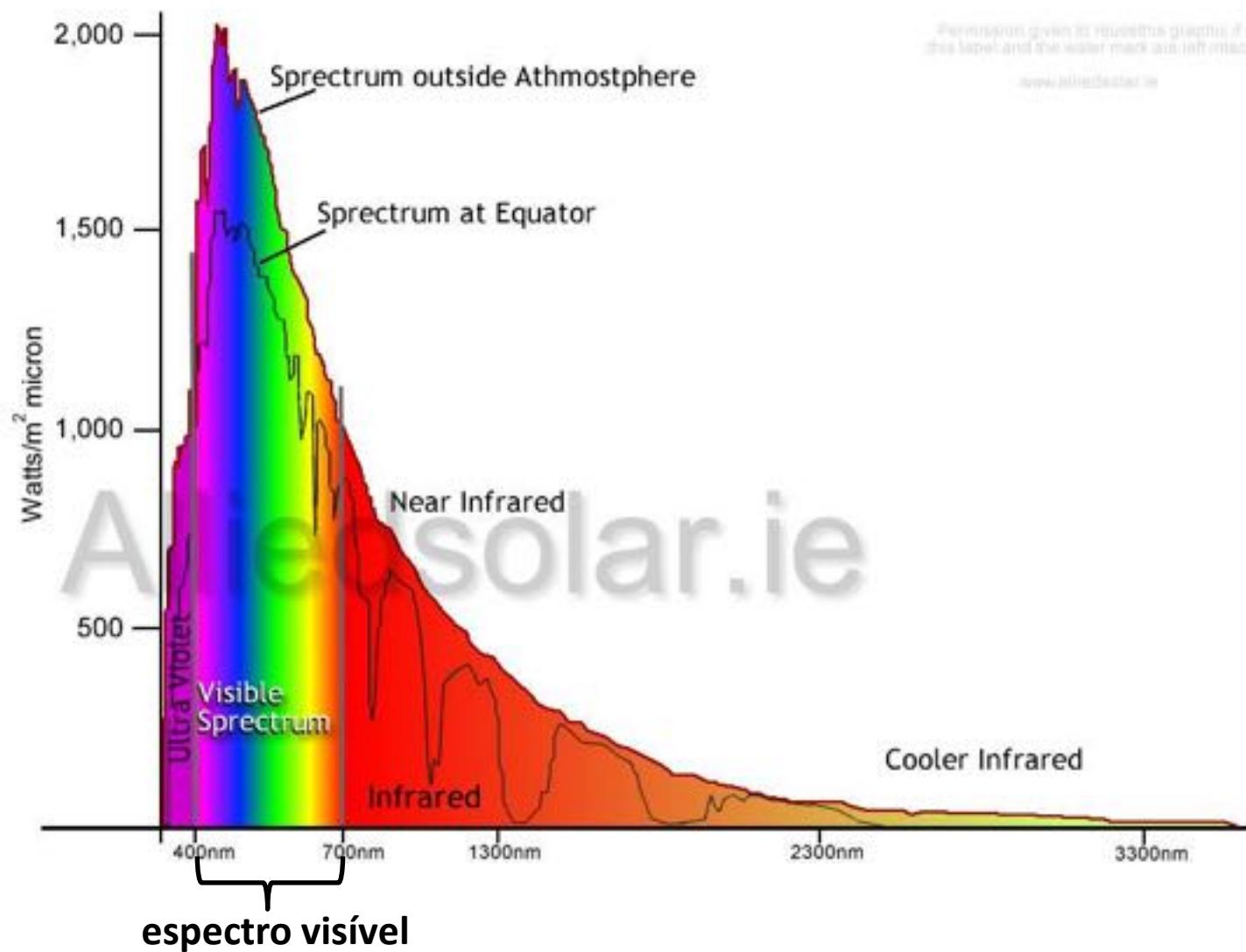
Espectro Eletromagnético



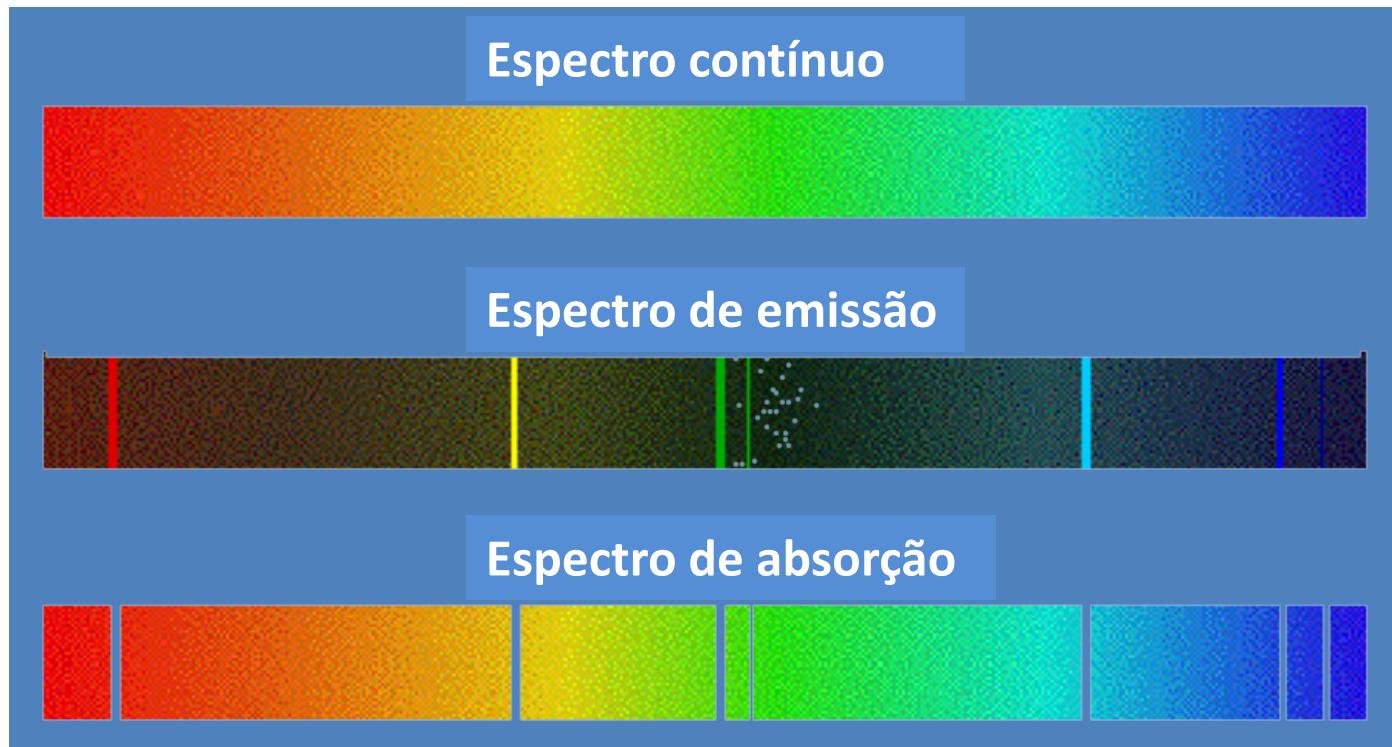
Espectro Eletromagnético



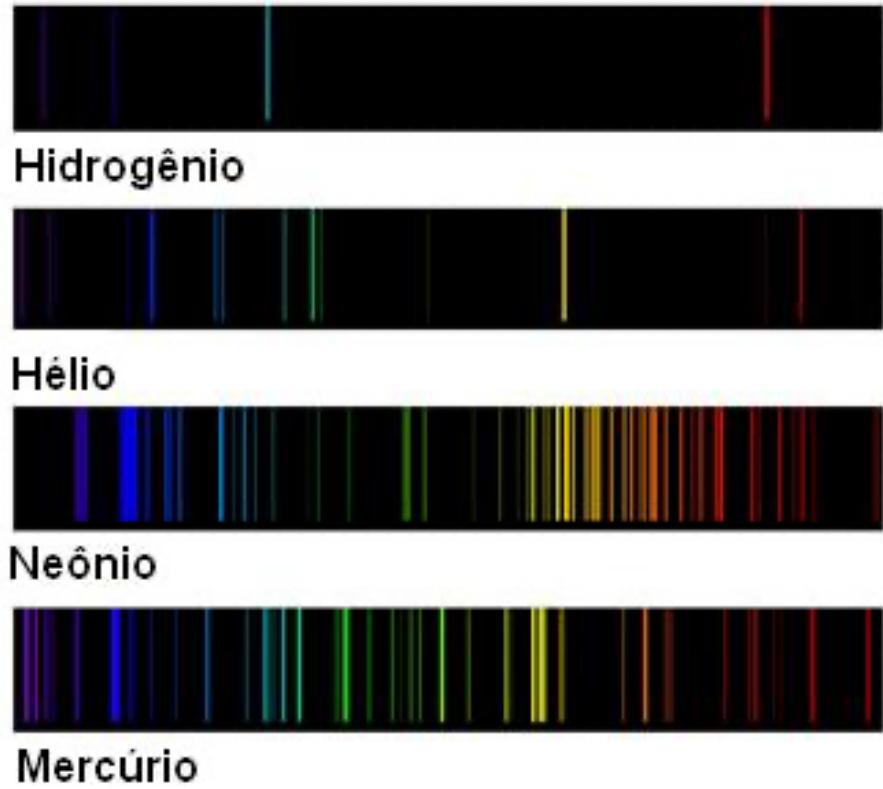
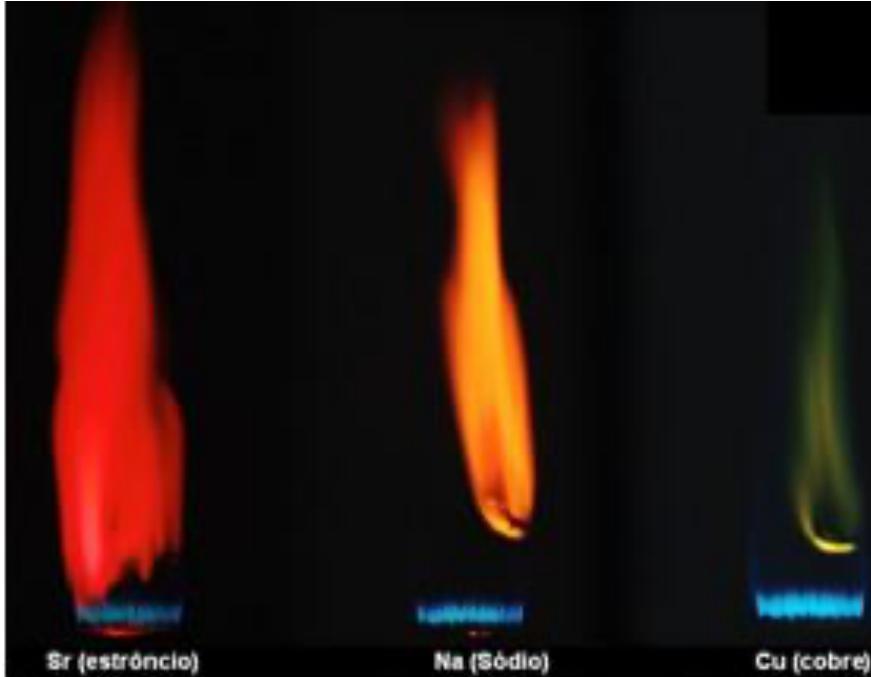
Luz solar



Diferentes tipos de espectro

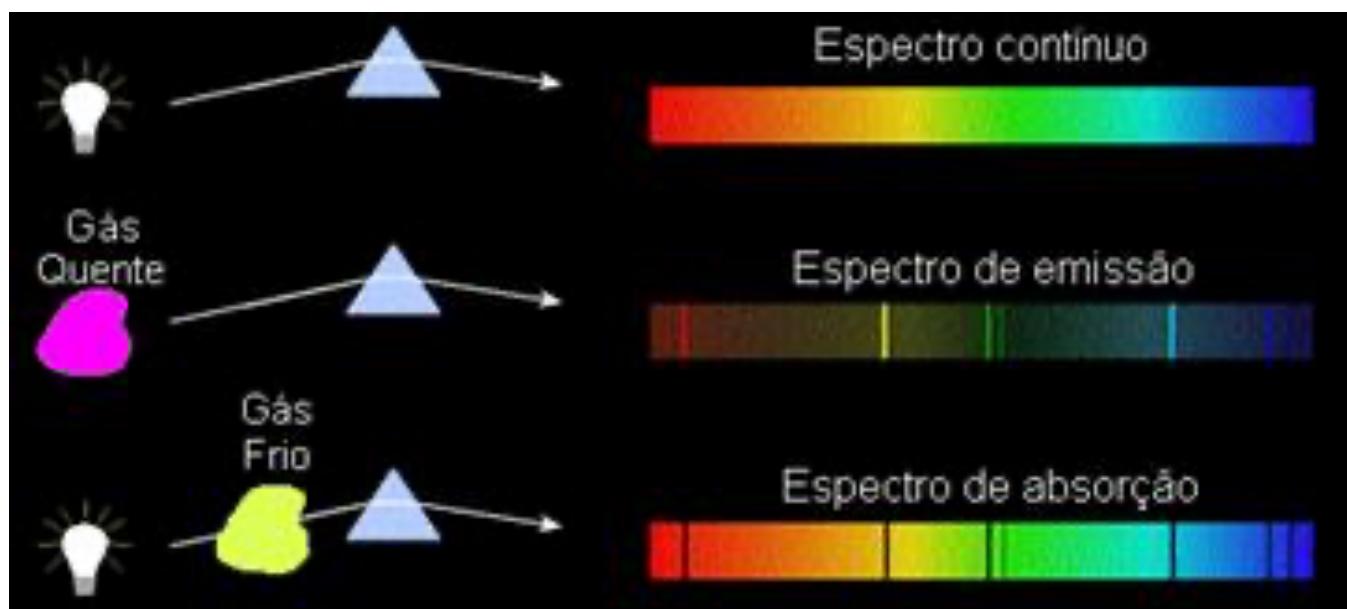


Espectroscopia



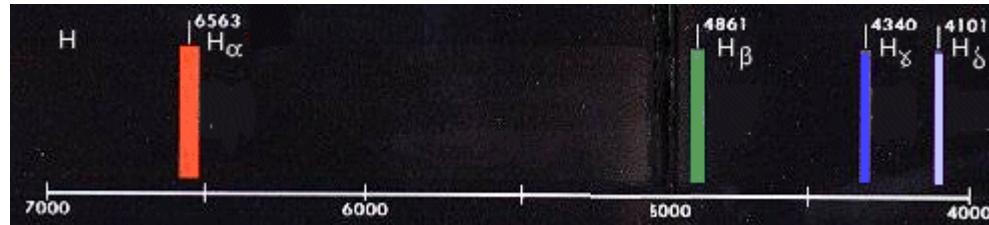
- **Espectro descontínuo:** observa-se apenas algumas linhas luminosas coloridas intercaladas por regiões sem luz
- Cada **elemento químico** tem um espectro diferente

Diferentes tipos de espectro



Espectro do Hidrogênio

- série de Balmer -



COR	NOME	λ (em Angstroms)	n
VERMELHO	H_{α}	6563	3
VERDE	H_{β}	4858	4
AZUL	H_{γ}	4340	5
VIOLETA	H_{δ}	4101	6

$$\lambda_n = 3644 \left(\frac{n^2}{n^2 - 2^2} \right)$$

$$\lambda_3 = 3644 (9 / (9 - 4)) = 6562,8 \text{ Angstroms!}$$

Séries espectrais

- Foram descobertas várias outras séries espectrais, além da série de Balmer, que é dada por:

$$\lambda_n = 3644 \left(\frac{n^2}{n^2 - 2^2} \right)$$

- O físico sueco Johannes Rydberg, em 1890, descobriu que poderia representar todas elas com uma única fórmula

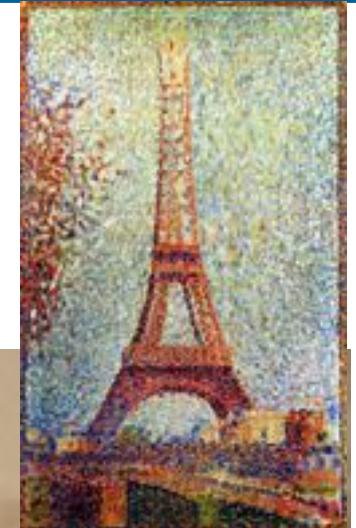
$$\frac{1}{\lambda} = R_H \left(\frac{1}{n_f^2} - \frac{1}{n_i^2} \right)$$

Problemas...

- O que são esses espectros descontínuos?
- Qual a razão de existirem essas linhas de cores diferentes e separadas?
- E por que essa numerologia dava certo?
- **Mistério!** Ninguém tinha as respostas...

Final do século 19 – *Belle époque*

- Havia um otimismo geral com o progresso da humanidade e com o desenvolvimento técnico e científico



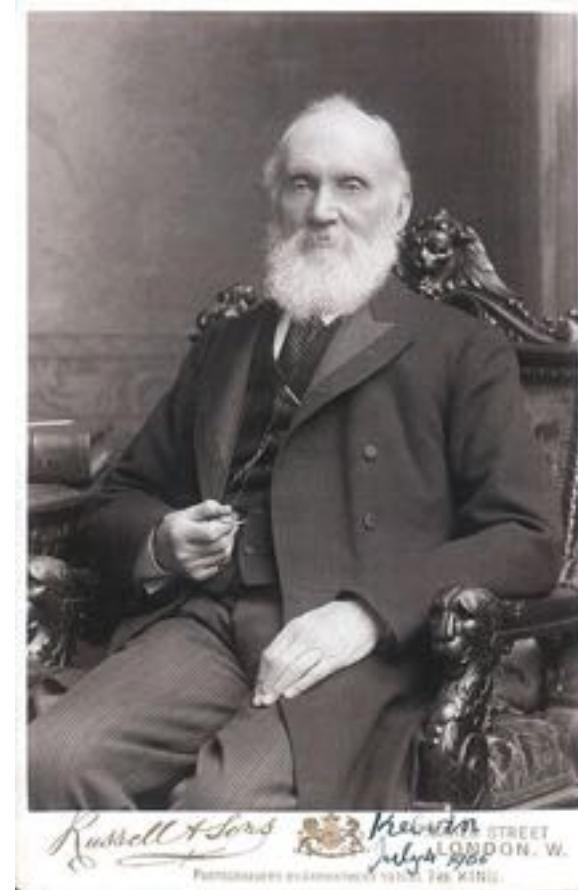
Física do século 19

Época de grandes unificações

- eletricidade e magnetismo
- eletromagnetismo e óptica
- mecânica e termodinâmica

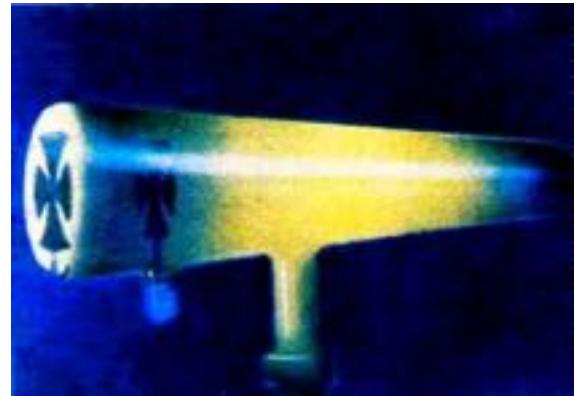
Física do século 19 – Fim da Física?

- Em 1900, alguns físicos pensavam que a física estava praticamente completa
- William Thomson (Lord Kelvin) recomendava que os jovens não se dedicassem à física, pois só faltavam alguns detalhes pouco interessantes, como o refinamento de medidas.



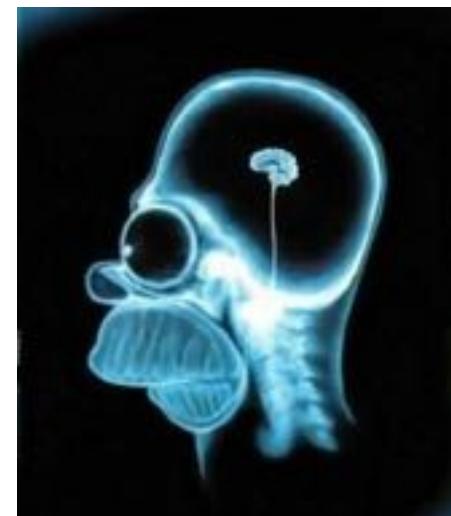
Novas descobertas experimentais

- O estudo de descargas elétricas em gases rarefeitos levou à descoberta dos raios catódicos
- O quer seriam esses raios?



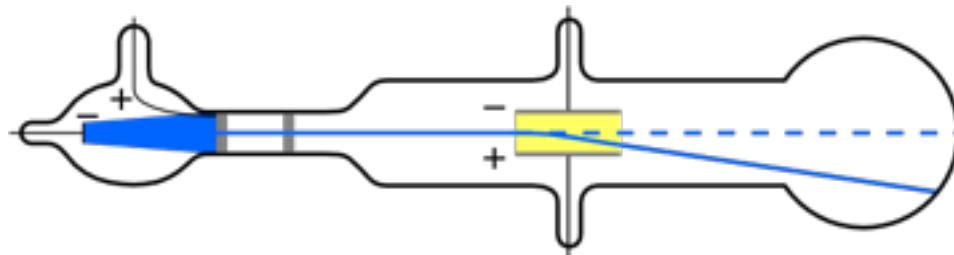
Novas descobertas experimentais

- Em 1895, Wilhelm Conrad Röntgen, descobre os **raios-X** a partir de pesquisas com raios catódicos
- Os **raios-X** eram muito úteis, mas misteriosos



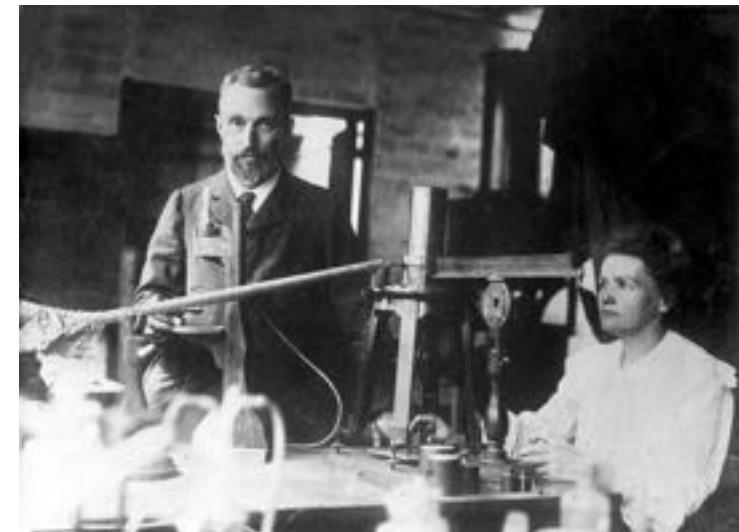
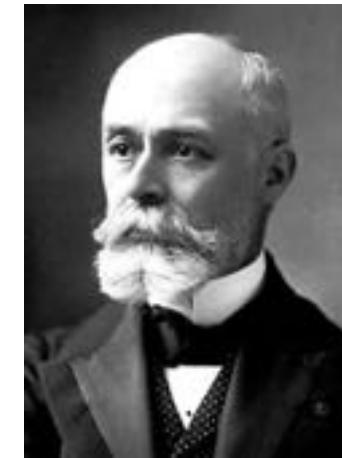
Novas descobertas experimentais

- Em 1897, J. J. Thomson descobriu o **elétron**, também estudando os raios catódicos
- Mas que relação os elétrons tinham com os átomos da matéria?



Novas descobertas experimentais

- Em 1896, os estudos de Henri Becquerel levaram à **descoberta da radioatividade**
- Os trabalhos dele e do casal Pierre e Maria Curie levaram a estranhos elementos que emitiam energia de origem desconhecida

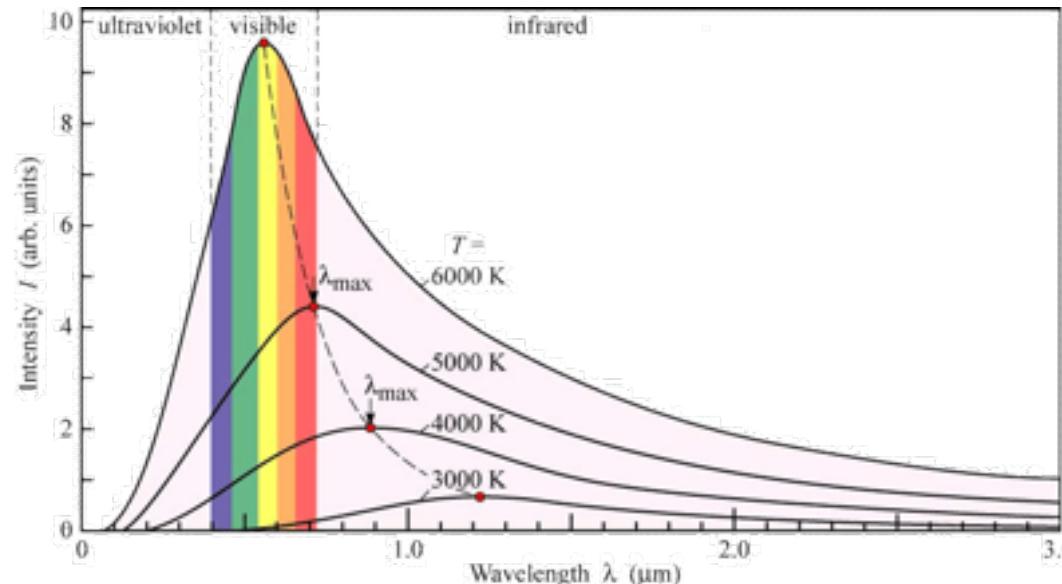


2ª. Revolução Científica

Essas descobertas, juntamente com os estudos em **radiação de corpo negro** e **efeito fotoelétrico** levaram ao nascimento da **Física Quântica**

Nascimento da Física Quântica

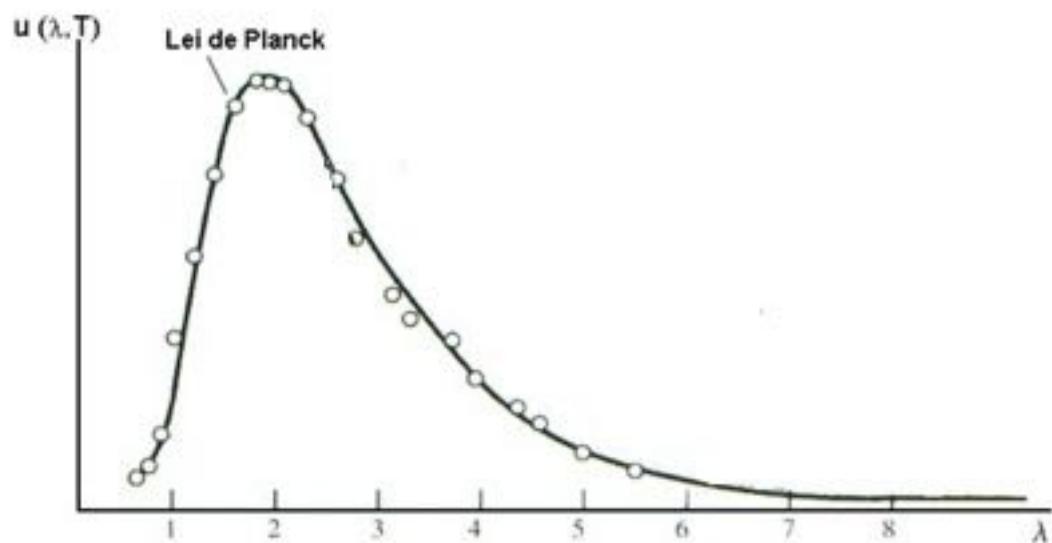
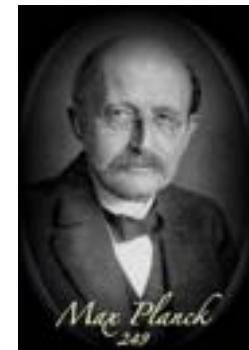
- Uma cavidade quente (“corpo negro”) emite radiação contínua
- A teoria previa que ela deveria emitir mais radiação de pequenos comprimentos de onda do que de grandes comprimentos de onda. **Mas não era isso o que se observava**



Max Planck: criação da Física Quântica

- Lei de Planck (1900) para radiação de corpo negro:

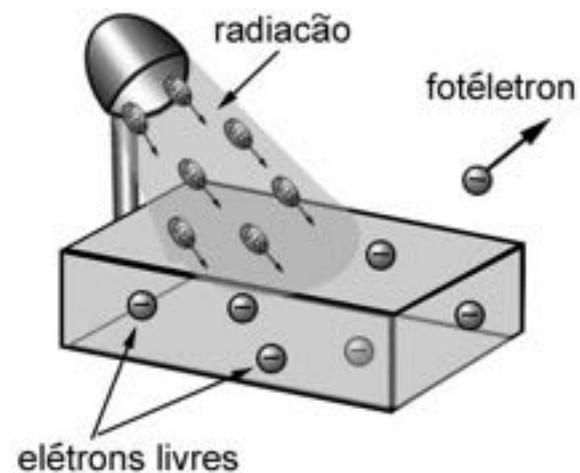
$$\mathcal{D}_T(\lambda) = \frac{8\pi hc}{\lambda^5} \frac{1}{\exp^{hc/k_B T \lambda} - 1}$$



Planck usou uma ideia que considerou desesperadora: a de que a radiação só era emitida em “pacotes de energia”, que chamou de *quanta* (plural de *quantum*)

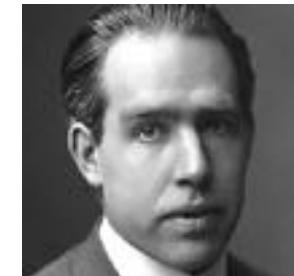
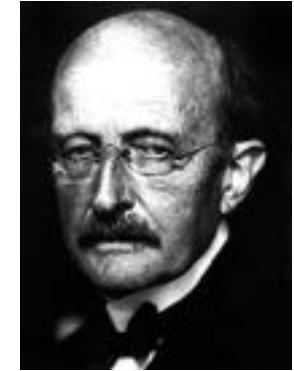
Albert Einstein: efeito fotoelétrico

- **Efeito Fotoelétrico:** emissão de elétrons para superfícies de metais quando iluminado com luz de frequência adequada
- Em 1905, **Einstein** fornece a explicação para o efeito fotoelétrico usando a **Lei de Planck** e a **teoria dos quanta**



Consolidação da Física Quântica

- Nos primeiros anos do século XX, a teoria quântica começou a resolver diversos problemas:
 - radiação do corpo negro - Planck
 - efeito fotoelétrico - Einstein
 - calor específico de sólidos - Einstein
 - espectro atômico descontínuo – Bohr
- Questão importante: Mas, então, a luz é uma partícula ou o quê?



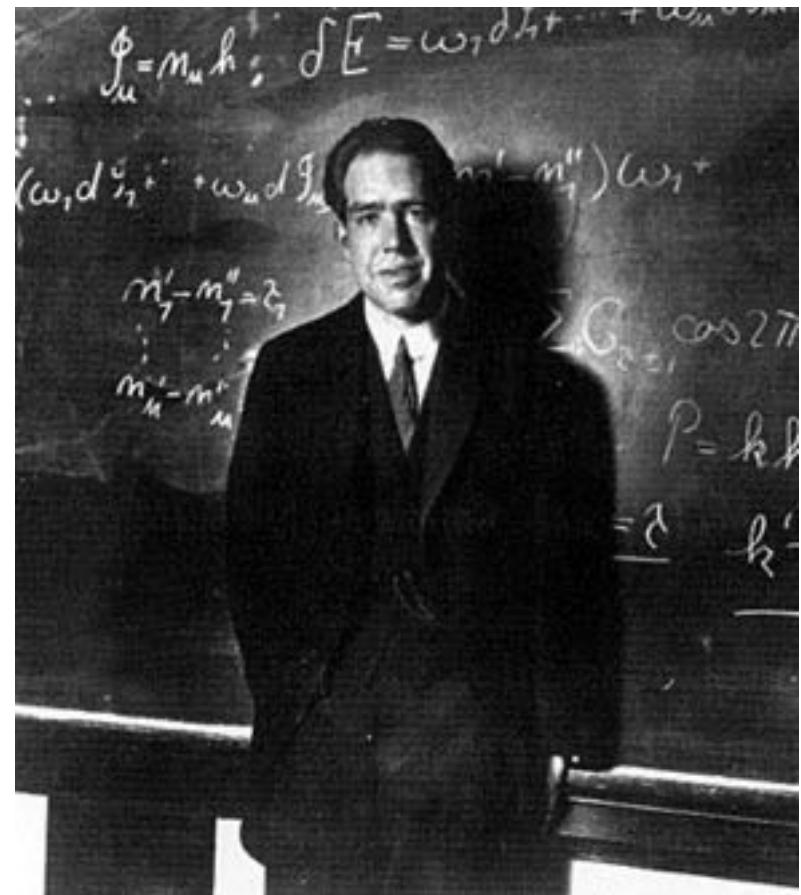
Ernest Rutherford - o núcleo atômico

- **Descoberta do núcleo atômico**
- Em 1911, **Rutherford defendeu que os átomos têm sua carga positiva concentrada em um pequeno núcleo**
- Criou o chamado **modelo atômico de Rutherford, ou modelo planetário do átomo**



Niels Bohr - Teoria do Átomo

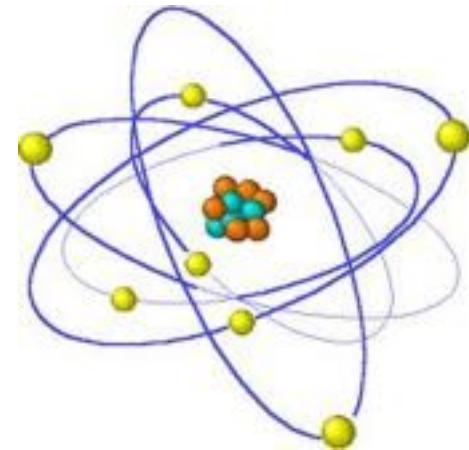
- **Teoria do Átomo de Bohr (1913)**
- **Bohr propôs uma teoria para a explicação do modelo atômico de Rutherford, baseada na teoria quântica**



O Átomo de Bohr e a Luz

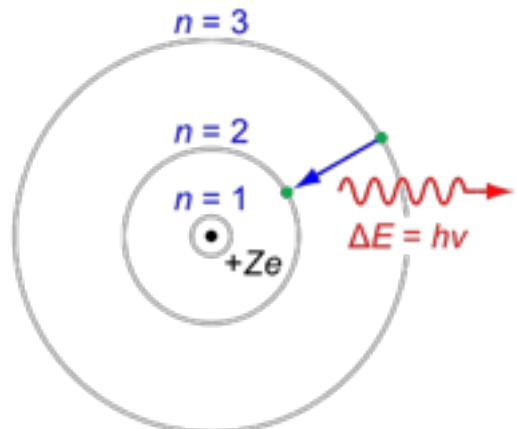
- Níveis de energia do átomo de Bohr

$$E = E_i - E_f = R_E \left(\frac{1}{n_f^2} - \frac{1}{n_i^2} \right)$$



- Fórmula de Rydberg

$$\frac{1}{\lambda} = R \left(\frac{1}{n_f^2} - \frac{1}{n_i^2} \right).$$



Louis de Broglie: Dualidade onda-partícula

- Louis-Victor-Pierre-Raymond, 7.º duque de Broglie, geralmente conhecido por **Louis de Broglie** (1892 - 1987), foi um físico francês.
- Em 1924, escreve sua tese de doutoramento, "Recherches sur la théorie des quanta".
- de Broglie introduz a sua **teoria de ondas de elétrons**, que inclui a teoria de dualidade **onda-corpúsculo** da matéria, baseada na **teoria dos quanta** proposta por Max Planck e Albert Einstein.



Louis de Broglie: Dualidade onda-partícula

1. Não existem diferenças entre os quanta da luz e de qualquer outro tipo de partícula, como os elétrons

2. Deve-se tratar todas as partículas utilizando a teoria da relatividade

3. Pode-se aplicar a todas as partículas as relações $E=hf$ e $E=mc^2$



Surgimento da Mecânica Quântica



Schrödinger



Heisenberg



Dirac

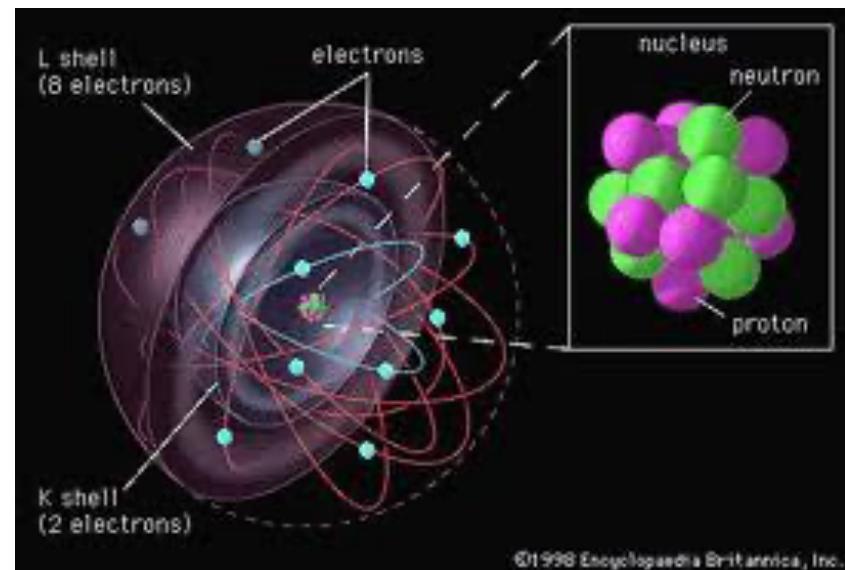
$$\Delta\Psi + \frac{8\pi^2m}{h^2}(E - U)\Psi = 0$$

Equação de Schrödinger

Princípio da Incerteza, de Heisenberg

- Não se pode medir com precisão arbitrariamente alta, *ao mesmo tempo*, o momentum e a posição de uma partícula.

$$\Delta x \cdot \Delta p_x \geq h/2\pi$$



©1998 Encyclopaedia Britannica, Inc.

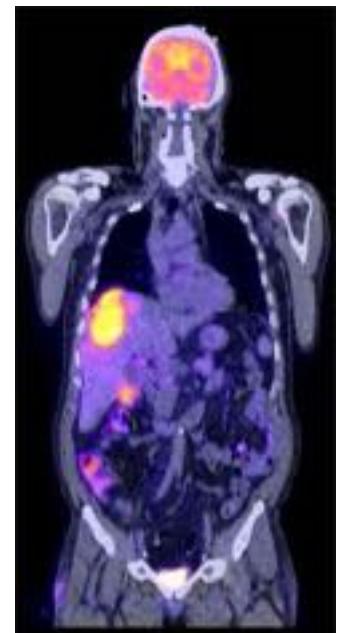
Impactos da Nova Física

No campo filosófico-teológico:

- Indeterminismo quântico: Deus joga dados com o Universo?

Na vida real:

- Bombas Atômicas
- Energia nuclear
- Aplicações médicas
- Alta tecnologia



Por que tratar do Mundo Quântico?

- A Física Quântica é, muitas vezes, vista como apoio a diversas formas de misticismo
- A Física Clássica era mecanicista: objetiva, determinista e materialista
- Física Quântica parece ser subjetiva, indeterminista e idealista
 - Idealista no sentido filosófico de dar primazia ao espiritual ou realidade mental sobre a realidade material

O Tao da Física

III THE PARALLELS

सत्यः यज्ञः शुद्धिः पूर्वः निर्वहणं सोदनं वज्रादित्यकमङ्गि
मिष्ठेन मित्रित्वं मन्त्रिधानः दृष्टिप्रयत्नमानः वहन्ति अपाधानिः
अभ्युत्तिः प्रकाशनकर्त्ता । दृष्टिमानः । मन्त्रादीत्यमानः । वहनः ।
ज्ञानात्मसिद्धादिभिर्वाक्यानां । अन्यतरवाक्यानां वा । वसेन्यान्दमो
हः । विद्येषः । यज्ञे वेदव्याख्या भौतिक्य निमित्तमत्तेषु दात्यन
व्यये दीर्घमानोऽप्यदायत् यथा प्रकाश यागादिविवरणो ग्रन्थकर्त्ता
ग्रन्थवालो निसेचनी ज्ञानिदोमादि कल्प वा उद्द वस्ते । उद्दीपन-
कर्त्ता । यसेन्यादामसः । विषयः उद्दादोऽप्यधारणे । धोरिति कर्म-
नामः । धोः ग्रन्थाति तत्त्वामसम् पाठान् ॥

अप्रयुक्तवप्रयुक्तद्विरङ्गे

ग्रिवेभिनः पायुभिः पाहि ग्रग्मः ।

अद्व्येभिराह्वितेभिरिष्ट-

निमिषद्विः परि पाहि नो ज्ञाः ॥८॥

वदपाठः ।

अप्रयुक्ततः । अप्रयुक्ततःभिः । अप्ते । ग्रिवेभिः ।
नः । पायुभिः । पाहि । ग्रग्मः । अद्व्येभिः ।
अहपितेभिः । इष्टे । अनिमिषतःभिः । परि । पाहि ।
नः । ज्ञाः ॥८॥

$$\mathcal{L} = \bar{\psi}_i \gamma^\mu D_\mu \psi - \bar{\psi} \gamma^\mu (\partial_\mu U) \psi - \bar{\psi} U \psi + \frac{1}{\sqrt{N}} T_r (D^\mu U Q_r U^\dagger)$$

$$+ \bar{N}_r \gamma^\mu (Q_r M_r) N - m \bar{N} N + \frac{1}{\sqrt{N}} T_r (D^\mu U Q_r U^\dagger)$$

$$D_\mu U = \partial_\mu U - 2g f_{\mu\nu} \gamma^\nu (\vec{q} \cdot \vec{p}_r) + g f_{\mu\nu} \vec{R} \vec{Q}_r - 2g f_{\mu\nu} \vec{q} \cdot \vec{p}_r$$

$$D_\mu N = \partial_\mu N - g \left[\partial_\mu \frac{U}{2} - (m g) f_{\mu\nu} (\vec{q} \cdot \vec{p}) + \frac{2g^2}{m} (\vec{q} \cdot \vec{p})^2 \right] N \vec{Q}_r$$

$$- g \left[(m g) f_{\mu\nu} \frac{\vec{U}}{2} - f_{\mu\nu} (\vec{q} \cdot \vec{p}) + (m g)^2 f_{\mu\nu} \frac{N \vec{Q}_r}{m} (\vec{q} \cdot \vec{p})^2 \right] N \vec{Q}_r$$

$$M_r = U^k Q_r U^k + \frac{1}{k} (U^k \vec{Q}_r U^k) U^{-k}$$

$$\mathcal{L} = \bar{N}_r \gamma^\mu (Q_r M_r) N - m \bar{N} N + \frac{1}{\sqrt{N}} T_r (D^\mu U Q_r U^\dagger)$$

$$+ i \vec{R}^\mu \vec{R}_{\mu\nu} - \frac{1}{2} \vec{A}^\mu \vec{A}_{\mu\nu} + \frac{1}{2} m^2 (\vec{p}^2 \vec{p}_r + \vec{q}^2 \vec{q}_r)$$

$$\vec{R}_{\mu\nu} = \partial_\mu \vec{p}_r - \partial_\nu \vec{p}_r + g (\vec{p}_r \times \vec{p}_r) + g (\vec{q}_r \times \vec{q}_r)$$

$$\vec{A}_{\mu\nu} = \partial_\mu \vec{q}_r - \partial_\nu \vec{q}_r + g (\vec{q}_r \times \vec{p}_r) + g (\vec{p}_r \times \vec{q}_r)$$

$$i \vec{R}^\mu = -g \vec{V}_r^\mu + m \vec{p}_r ; \quad \vec{V}_r = \vec{Q}_r + \frac{1}{2} i \vec{R}^\mu$$

$$i \vec{A}^\mu = -g \vec{A}_r^\mu + m \vec{q}_r ; \quad \vec{A}_r = \vec{P}_r + \frac{1}{2} i \vec{A}^\mu$$

$$[V_r^\mu (q, t), V_r^\nu (q, t)] = [A_r^\mu (q, t), A_r^\nu (q, t)] = i e^{i k q} V_r^\mu (q, t) \delta^3 (q, t)$$

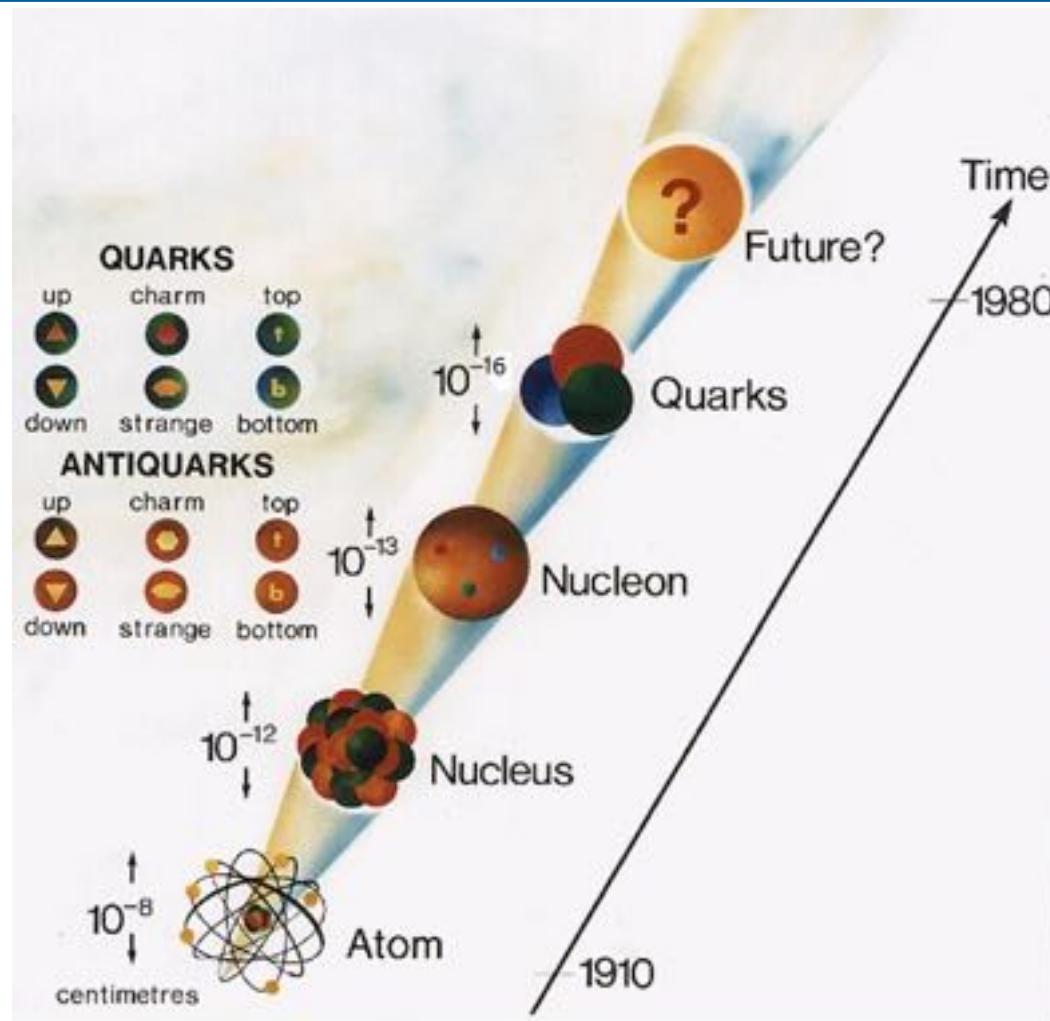
$$[V_r^\mu (q, t), A_r^\nu (q, t)] = [A_r^\mu (q, t), V_r^\nu (q, t)] = i e^{i k q} A_r^\mu (q, t) \delta^3 (q, t)$$

$$[V_r^\mu (q, t), A_r^\nu (q, t)] = [A_r^\mu (q, t), V_r^\nu (q, t)] = i e^{i k q} A_r^\mu (q, t) P(q, t)$$

A tal da Física...

- **Física da Nova Era:**
 - “Holismo quântico”
 - “Cura quântica”
- **Questões para ateus (e crentes)**
 - rationalidade das leis naturais

E os quarks ?



Fundamento

- Deus está nos detalhes -

Epígrafe

Ele [Deus] fez tudo apropriado a seu tempo. Também pôs no coração do homem o anseio pela eternidade; mesmo assim este não consegue compreender inteiramente o que Deus fez.

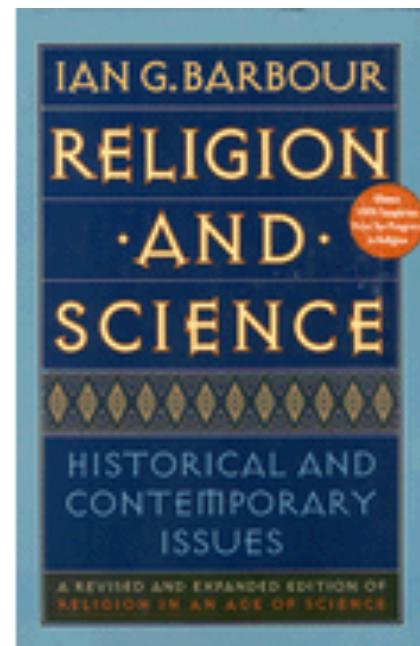
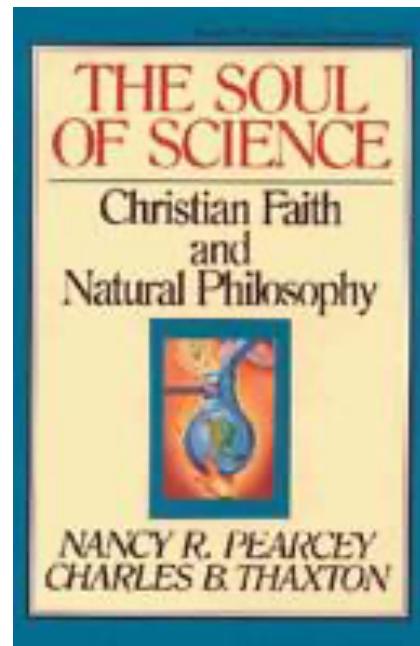
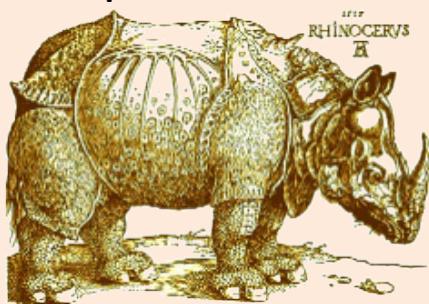
Eclesiastes 3:11

Bibliografia

**Notas de Aula do
Prof. Roberto Martins**

**Grupo de História, Teoria
e Ensino de Ciências**

Unicamp



eba@ibcu.org.br