



# 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	<i>Introdução – Raízes Cristãs da Ciência</i> - Jesus: o Logos divino -
14.10	<i>Gênese da Ciência Moderna</i> - a Glória de Deus -
21.10	<i>Do Átomo aos Quarks: o Mundo Quântico</i> - Deus está nos detalhes -
28.10	<i>Leis Fundamentais da Natureza</i> - 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**  
D I  
**GALILEO GALILEI LINCEO**  
MATEMATICO SOPRAORDINARIO  
DELLO STUDIO DI PISA.  
*E Filosofo, e Matematico primario del*  
SERENISSIMO  
**GR.DVCA DI TOSCANA.**

*Doce ne i congressi di quattro giornate si discorre  
sopra i due*

**MASSIMI SISTEMI DEL MONDO**  
TOLEMAICO, E COPERNICANO;

*Proponendo indeterminatamente le ragioni Filosofiche, e Naturali  
tanto per l'una, quanto per l'altra parte.*

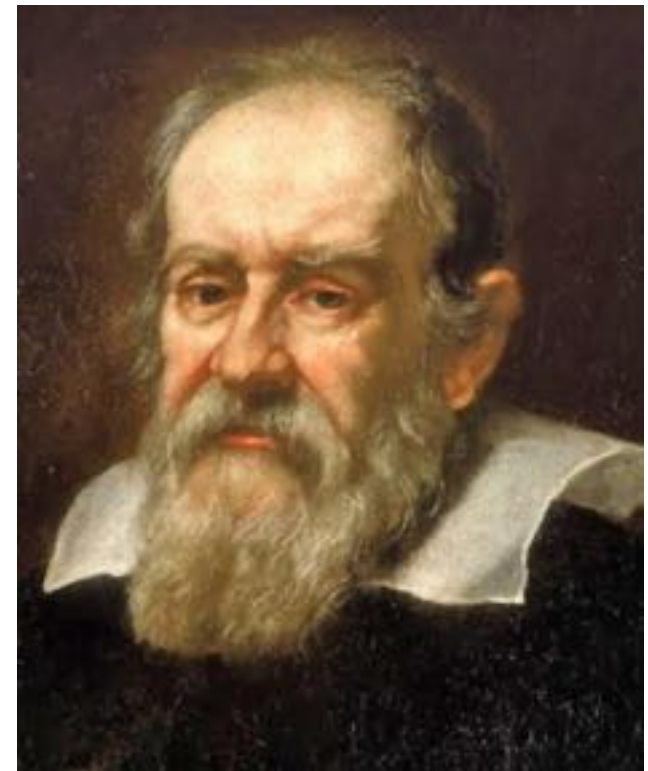


CON PRI

VILEGI.

IN FIRENZA, Per Gio: Batista Landini MDCXXXII.

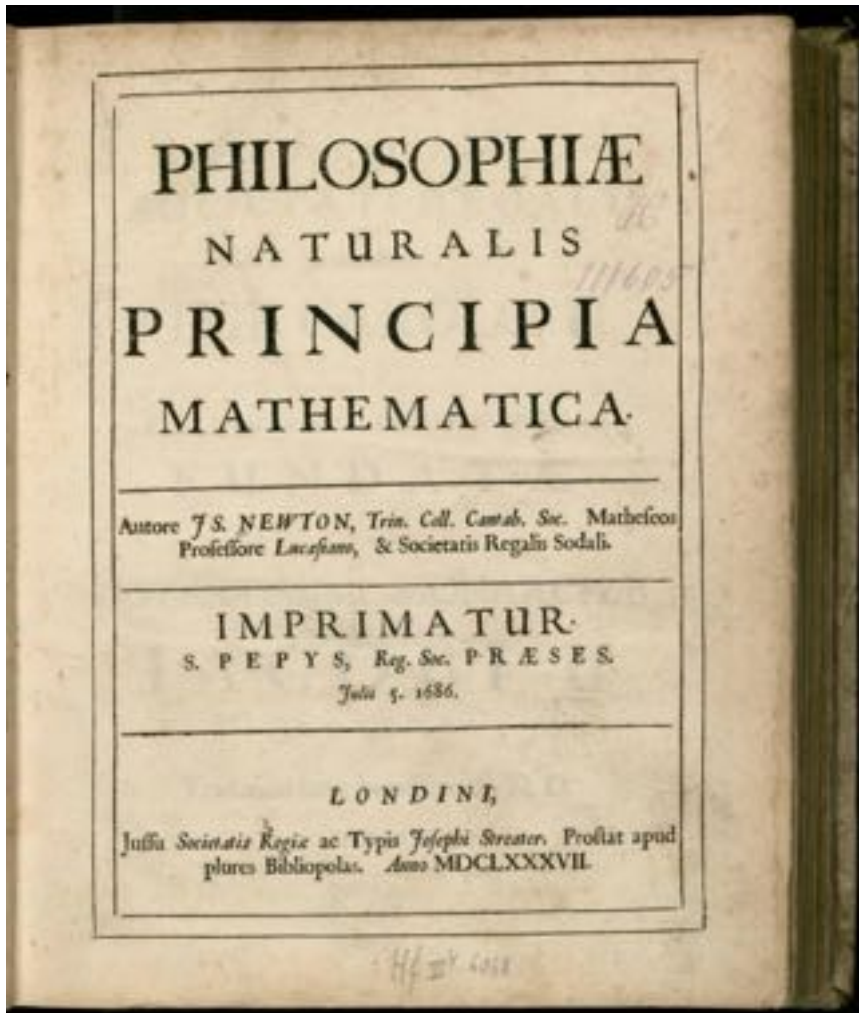
CON LICENZA DE' SUPERIORI.



# 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

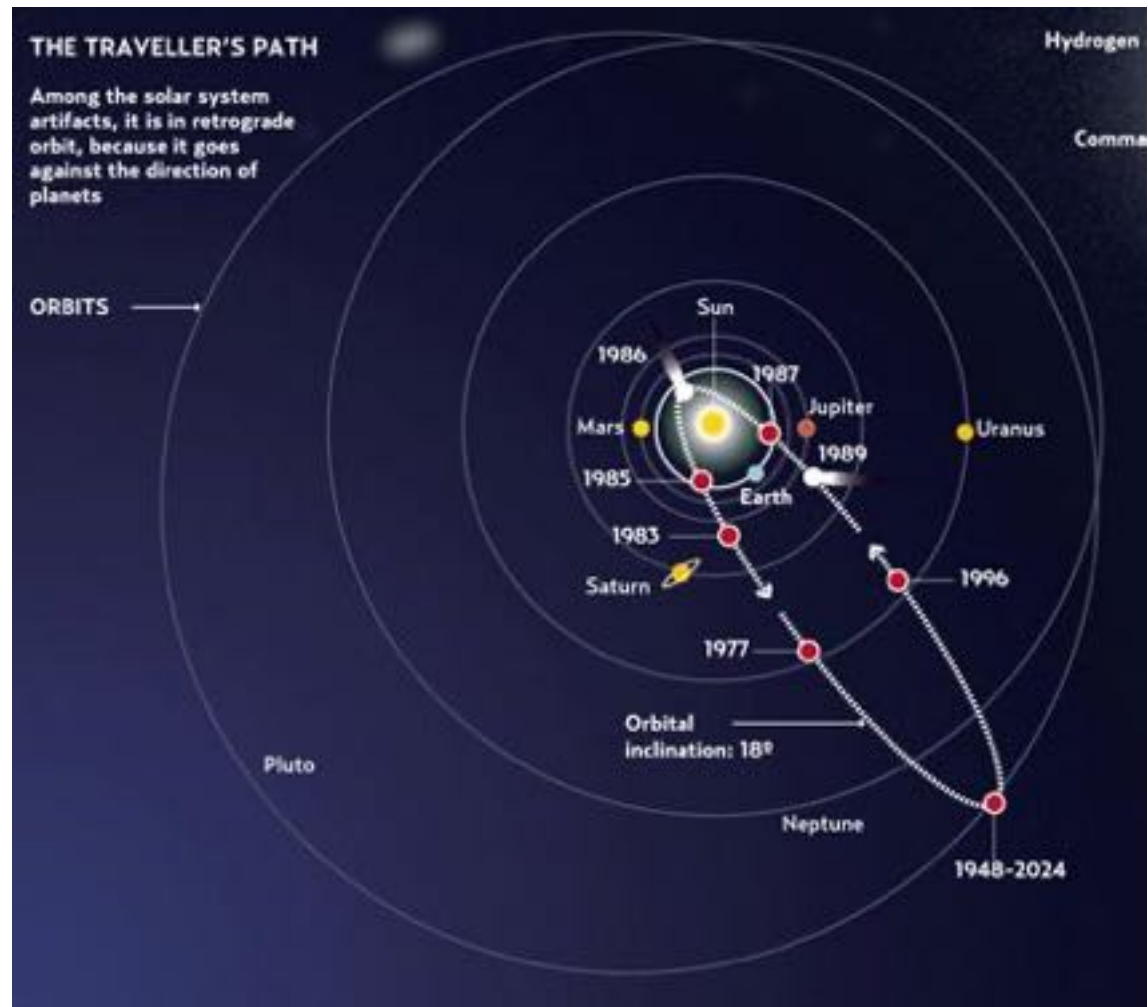
- **Mecânica Newtoniana: grande triunfo do método científico**
- **Acertos na descrição das órbitas de planetas e cometas**
- **Capacidade de fazer previsões científicas**
- **Extrapolação metafísica: cosmovisão materialista e determinista**



# 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

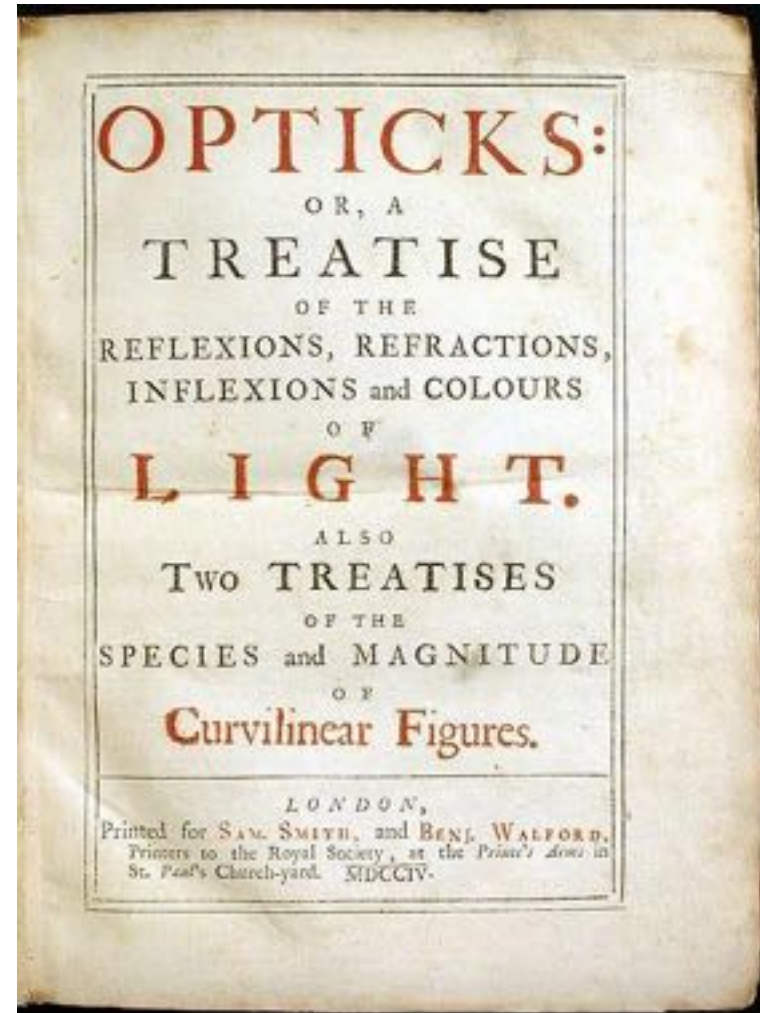
- Newton observou o **espectro visível** pela **decomposição da luz solar** ao incidir sobre uma das faces de um prisma



# Isaac Newton

## - teoria corpuscular da luz -

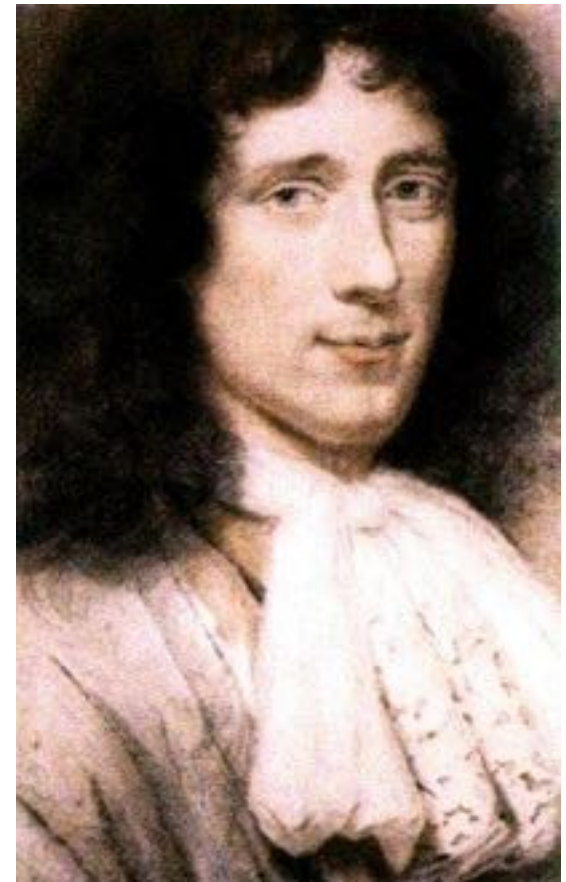
- Em 1704, Isaac Newton escreveu a sua obra mais importante sobre a óptica, chamada **Opticks**, na qual expõe sua teoria sobre a **natureza corpuscular da luz**



# 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

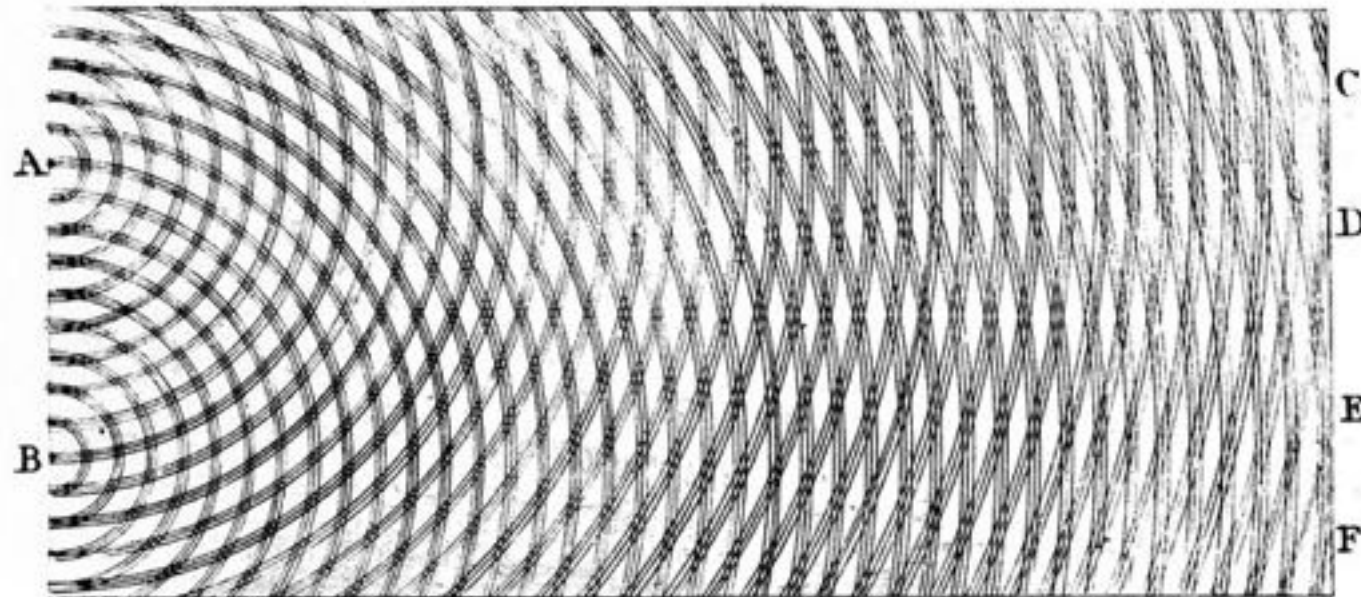




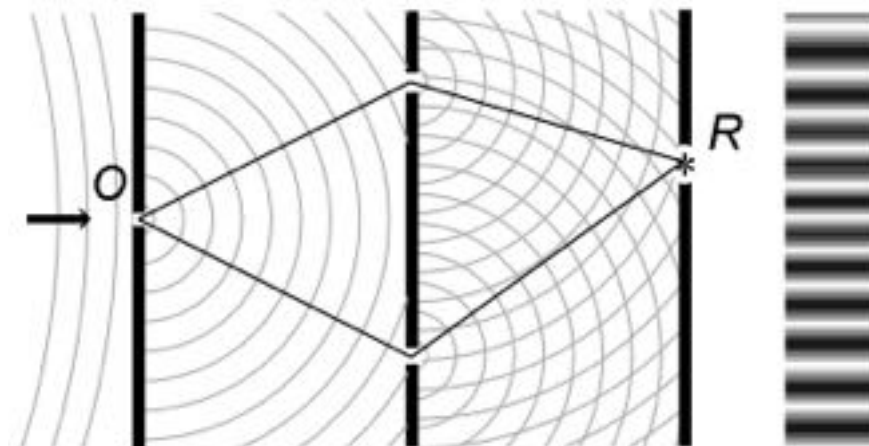
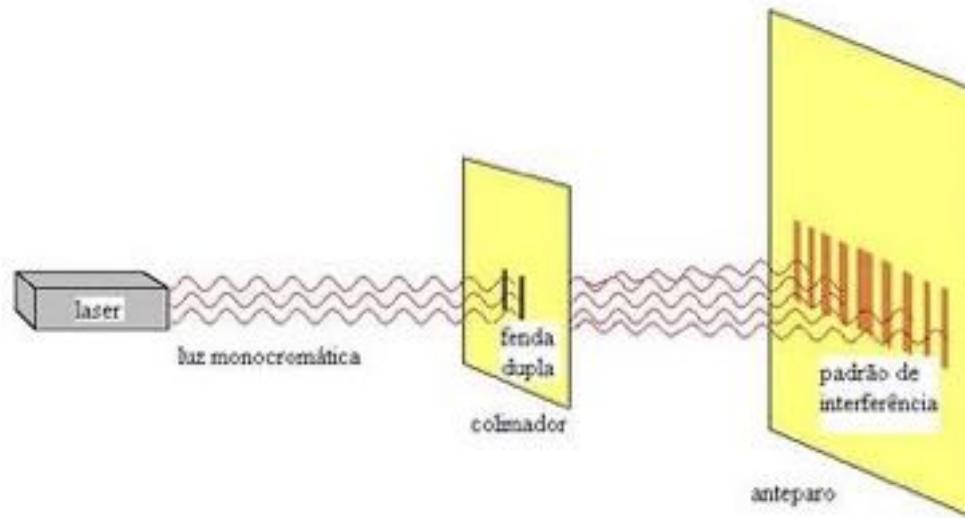
# Thomas Young

## - fenômeno da interferência -

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



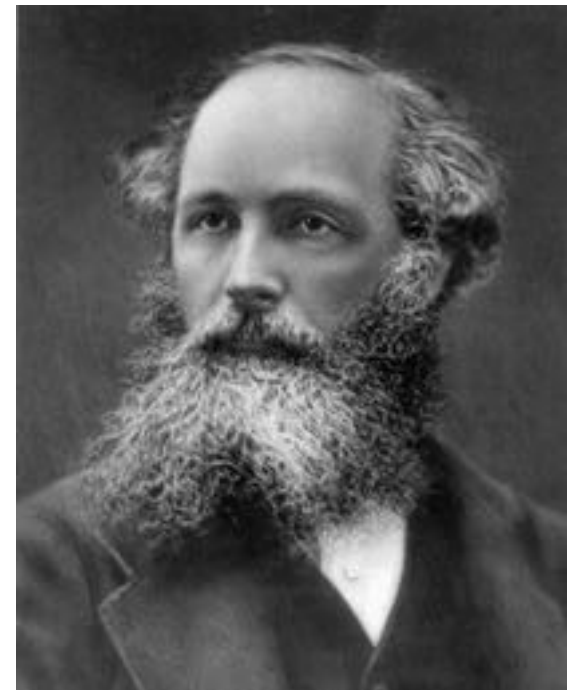
# Experimento da Dupla Fenda





# James Clerk Maxwell

## - a teoria eletromagnética da luz -



James Clerk Maxwell  
(1831 –1879)

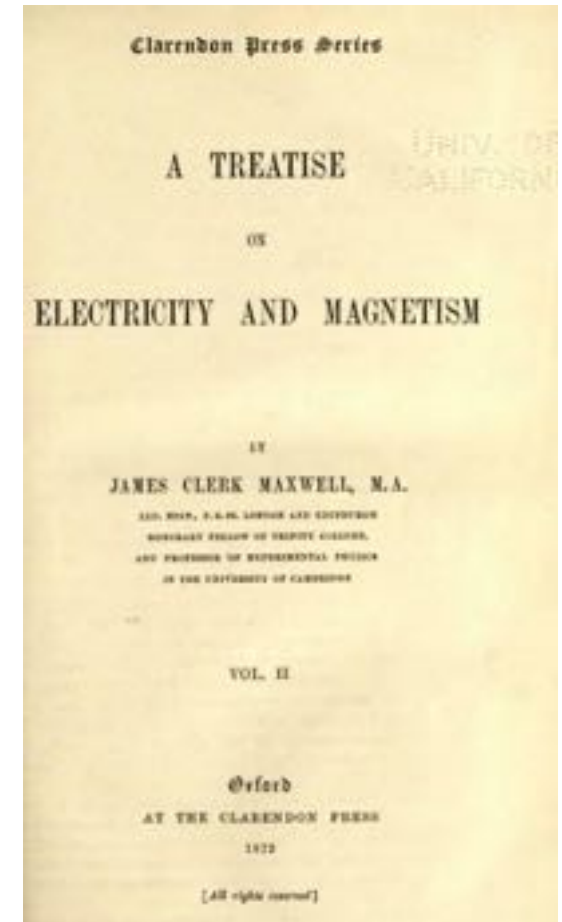
# James Clerk Maxwell

## - 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:

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

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

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

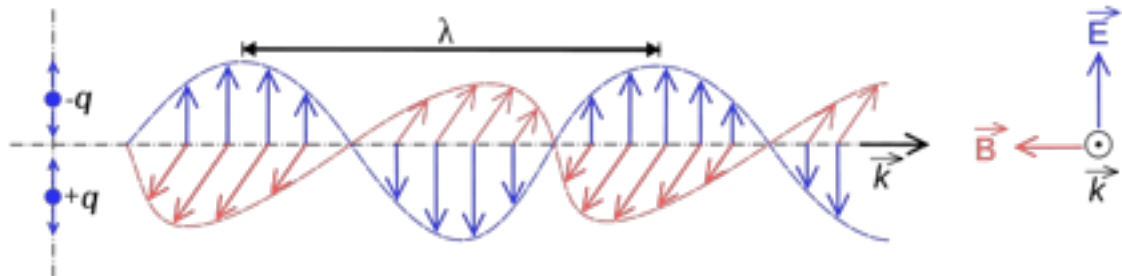
$$\nabla \times \mathbf{B} = \mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t}$$



- Equações de onda:

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

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

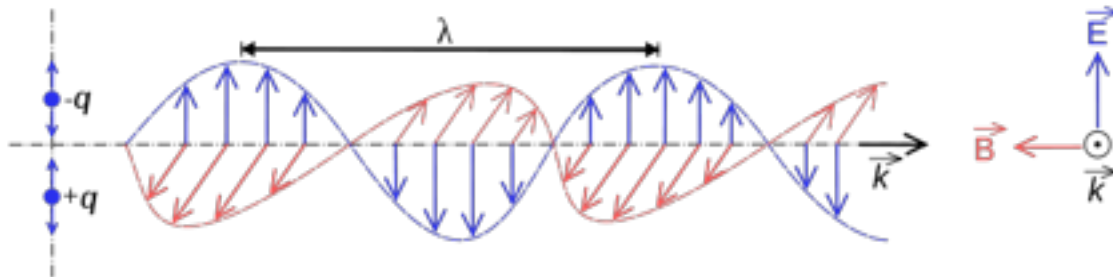


# Equações de Maxwell

- 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**



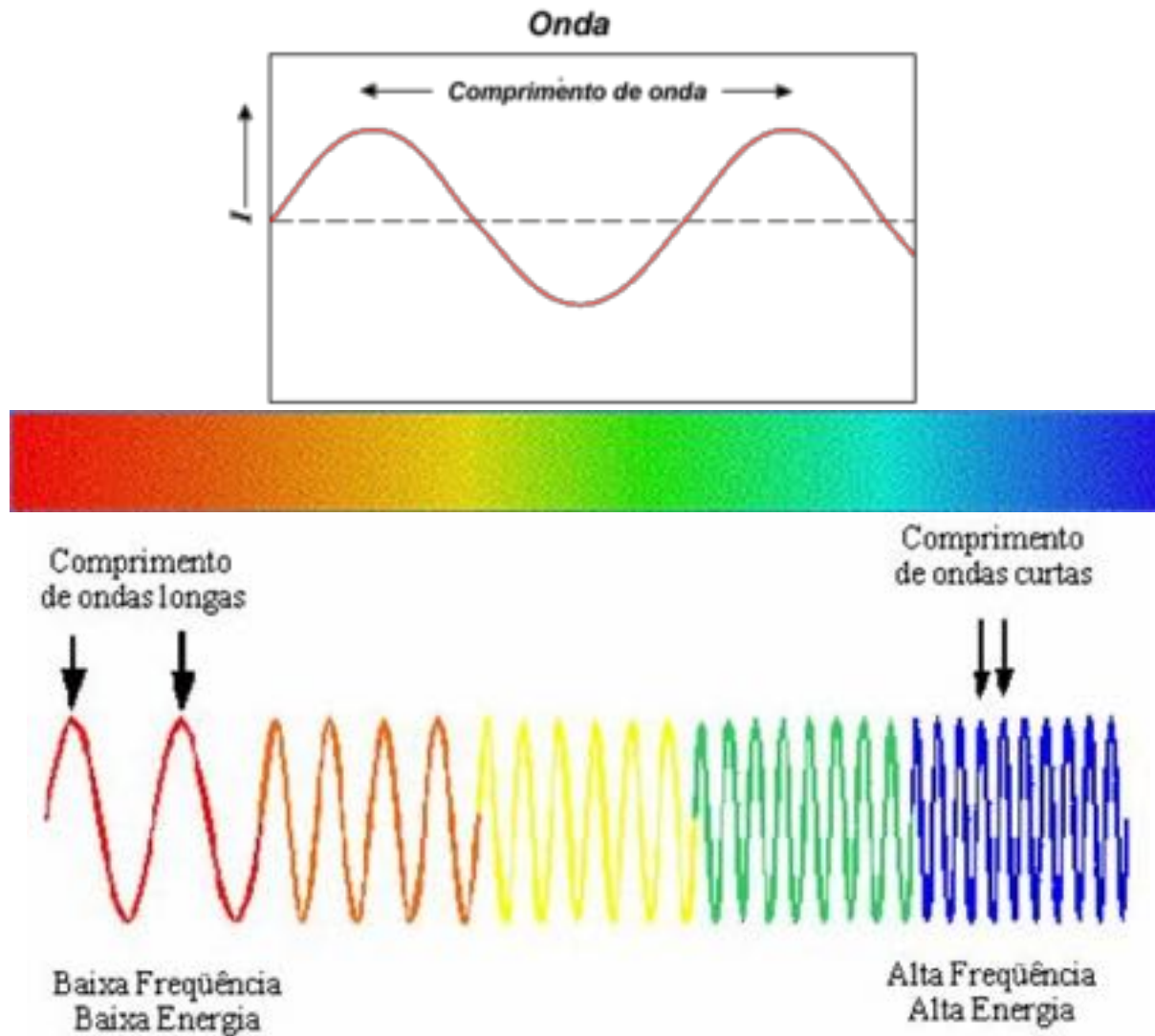
# **Eletromagnetismo**

## **- resumo da ópera -**

### **Teoria de Maxwell**

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

# Ondas eletromagnéticas

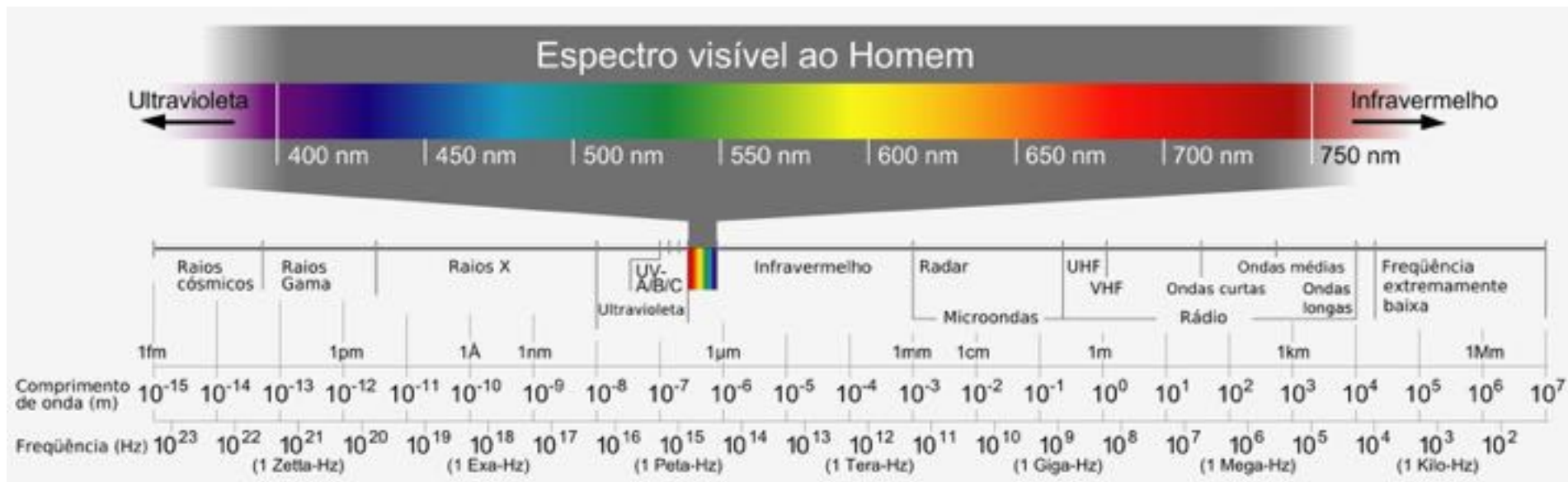


# Espectro Eletromagnético

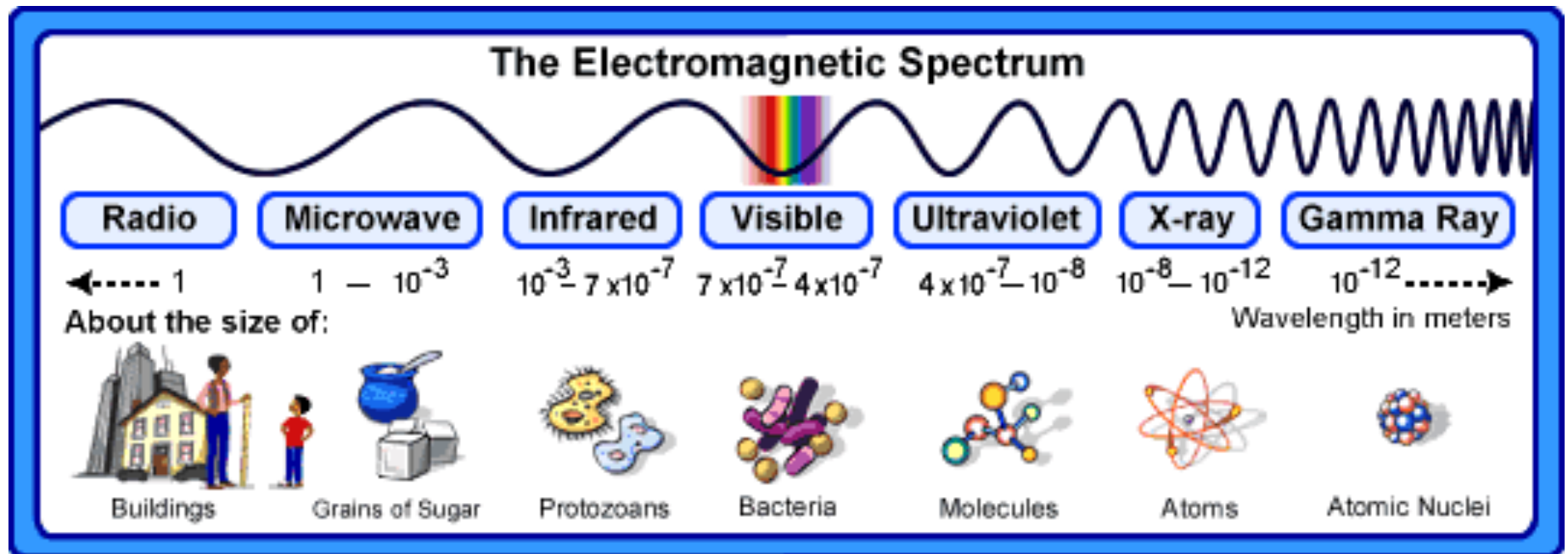
Espectro de Radiação Eletromagnética		
Tipo de Radiação	Comprimento de Onda (cm)	Frequência (Hz)
Rádio	$> 10$	$< 3 \times 10^9$
Micro-ondas	$10 - 0.01$	$3 \times 10^9 - 3 \times 10^{12}$
Infravermelho	$0.01 - 7 \times 10^{-5}$	$3 \times 10^{12} - 4.3 \times 10^{14}$
Luz Visível	$7 \times 10^{-5} - 4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



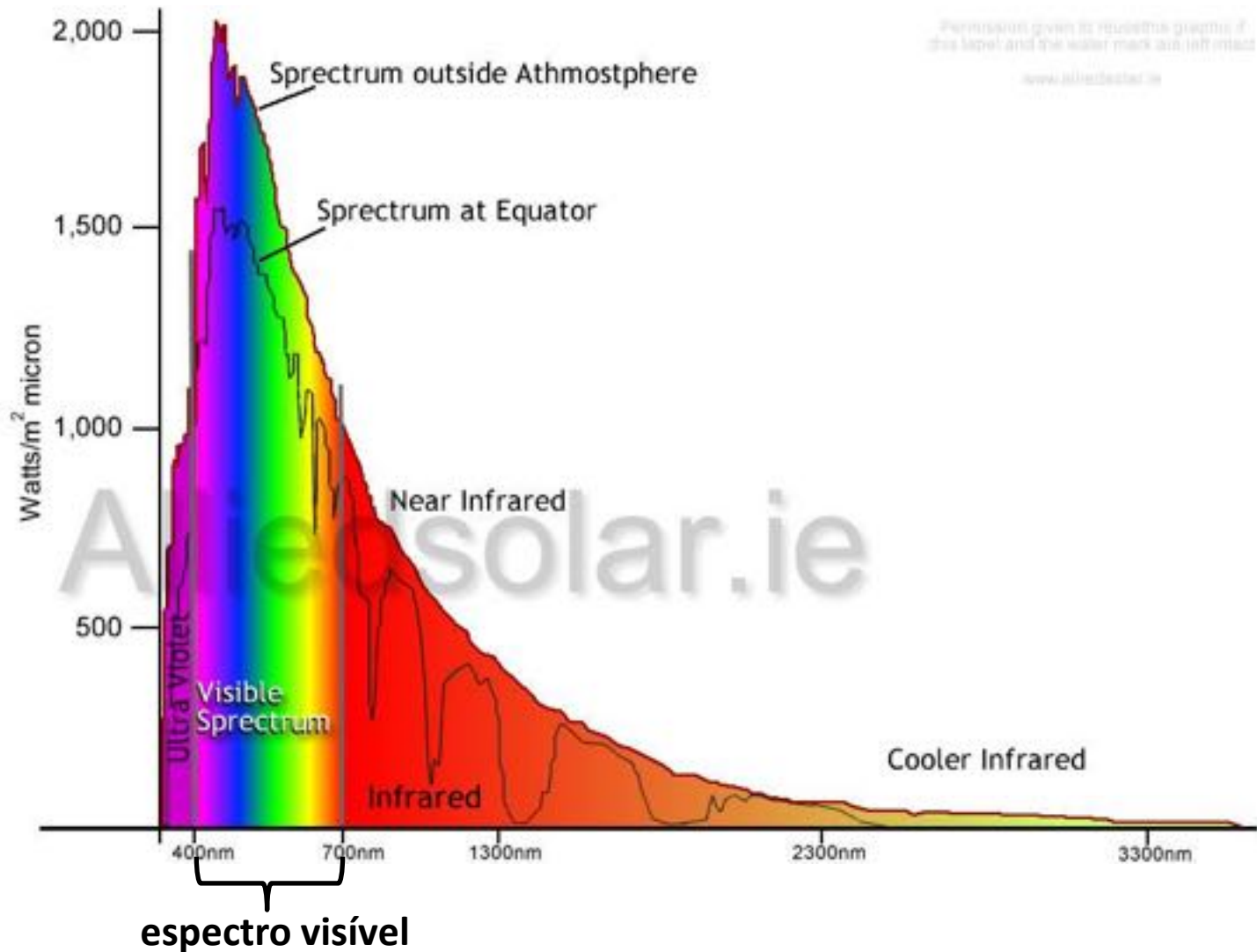
# Espectro Eletromagnético



# Espectro Eletromagnético



# Luz solar

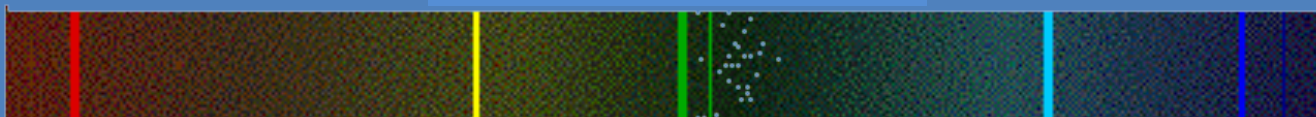


# Diferentes tipos de espectro

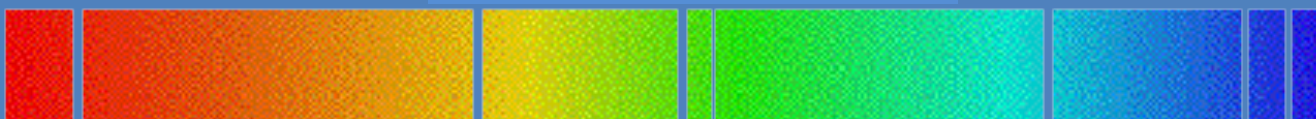
Espectro contínuo



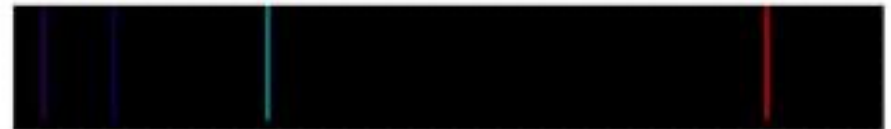
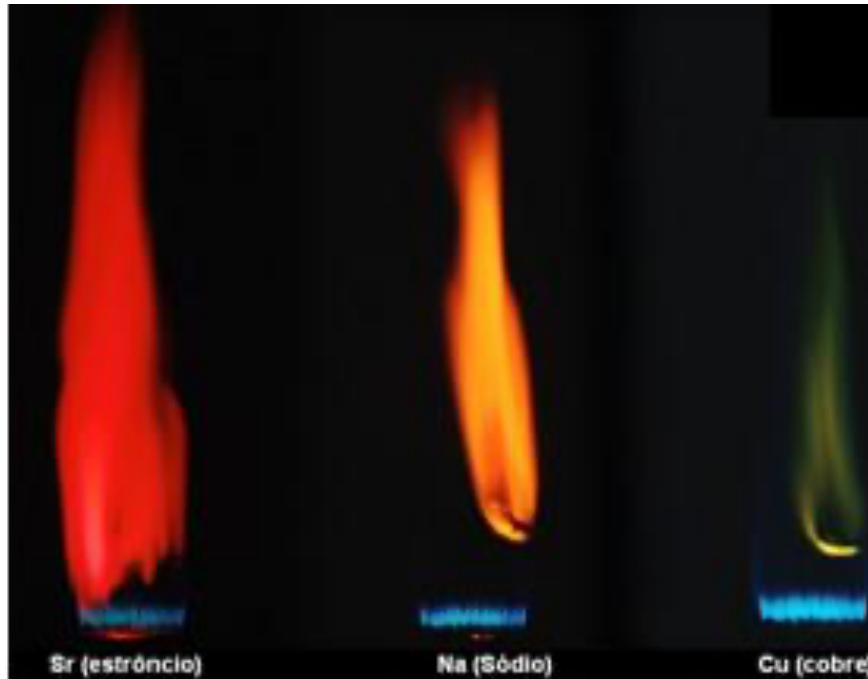
Espectro de emissão



Espectro de absorção



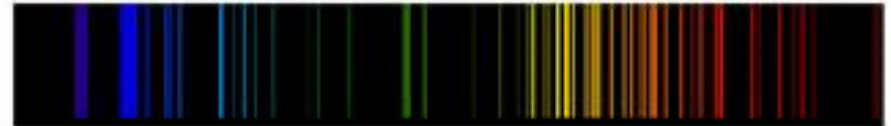
# Espectroscopia



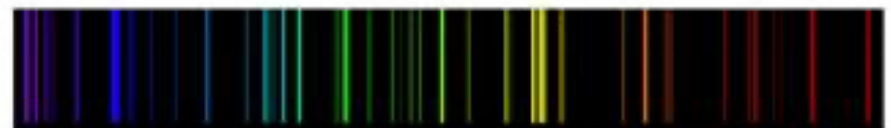
Hidrogênio



Hélio



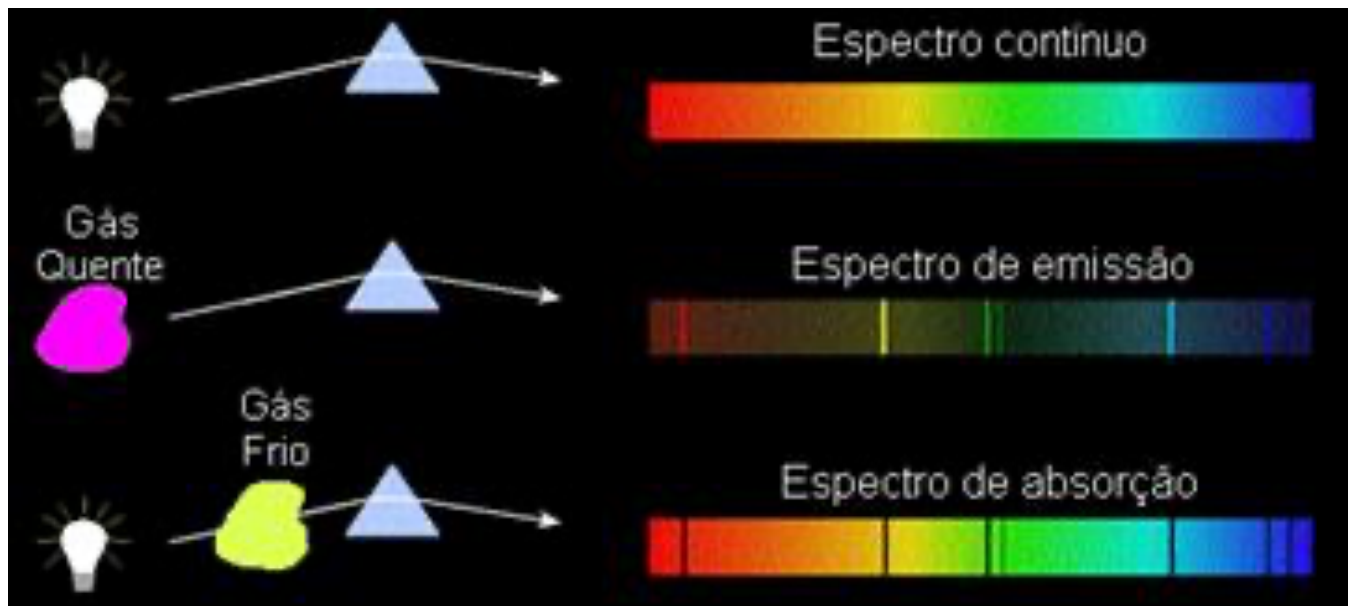
Neônio



Mercúrio

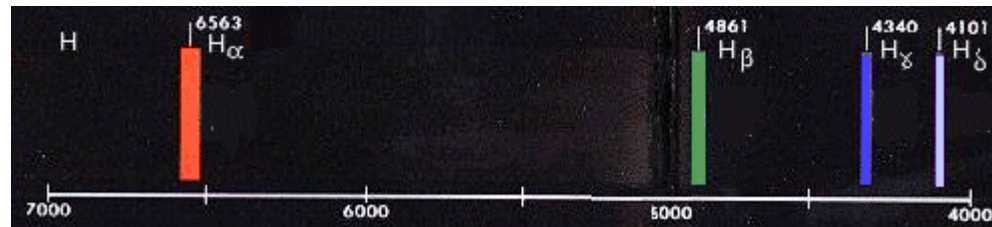
- **Espectro descontínuo:** observa-se apenas algumas linhas luminosas coloridas intercaladas por regiões sem luz
- Cada **elemento químico** tem um espectro diferente

# Diferentes tipos de espectro



# Espectro do Hidrogênio

## - série de Balmer -



COR	NOME	λ (em Angstroms)	n
VERMELHO	H <sub>α</sub>	6563	3
VERDE	H <sub>β</sub>	4858	4
AZUL	H <sub>γ</sub>	4340	5
VIOLETA	H <sub>δ</sub>	4101	6

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

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

# 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



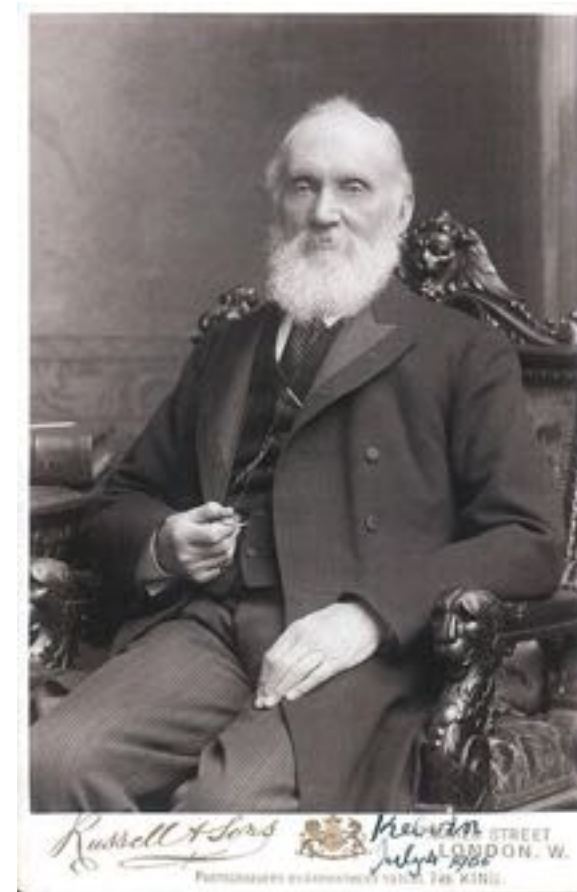
# Física do século 19

## 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.



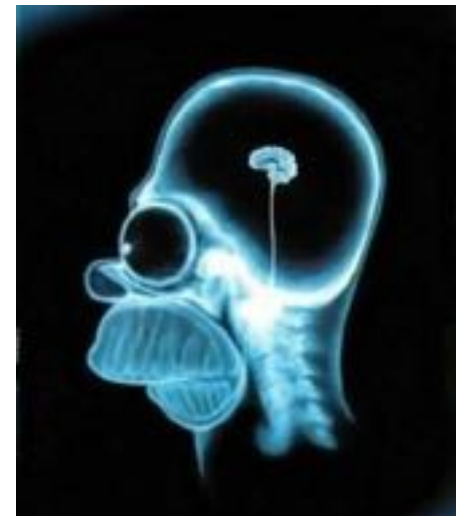
# Novas descobertas experimentais

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



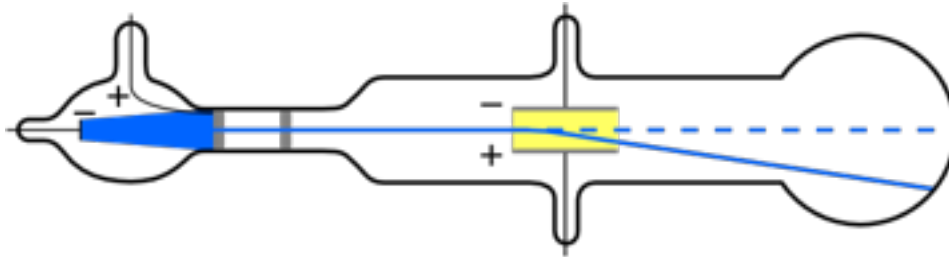
# Novas descobertas experimentais

- 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

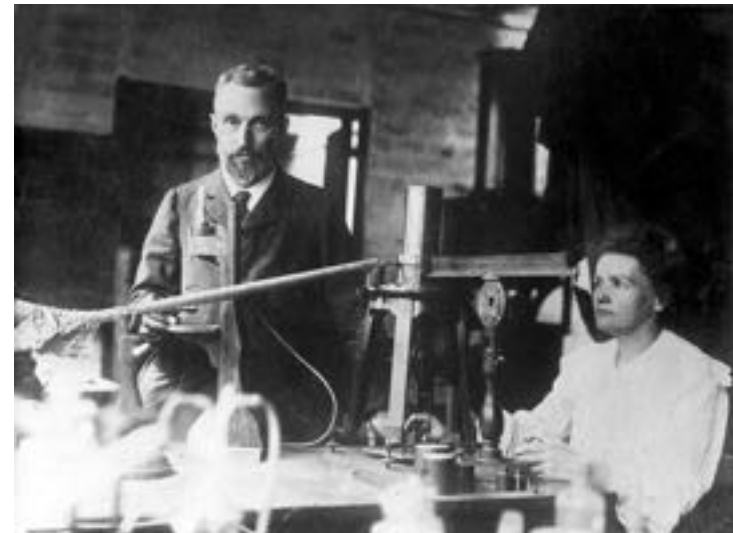
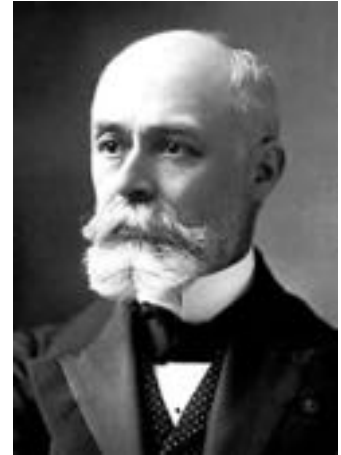
- Em 1897, J. J. Thomson descobriu o **elétron**, também estudando os raios catódicos
- Mas que relação os elétrons tinham com os átomos da matéria?





# 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



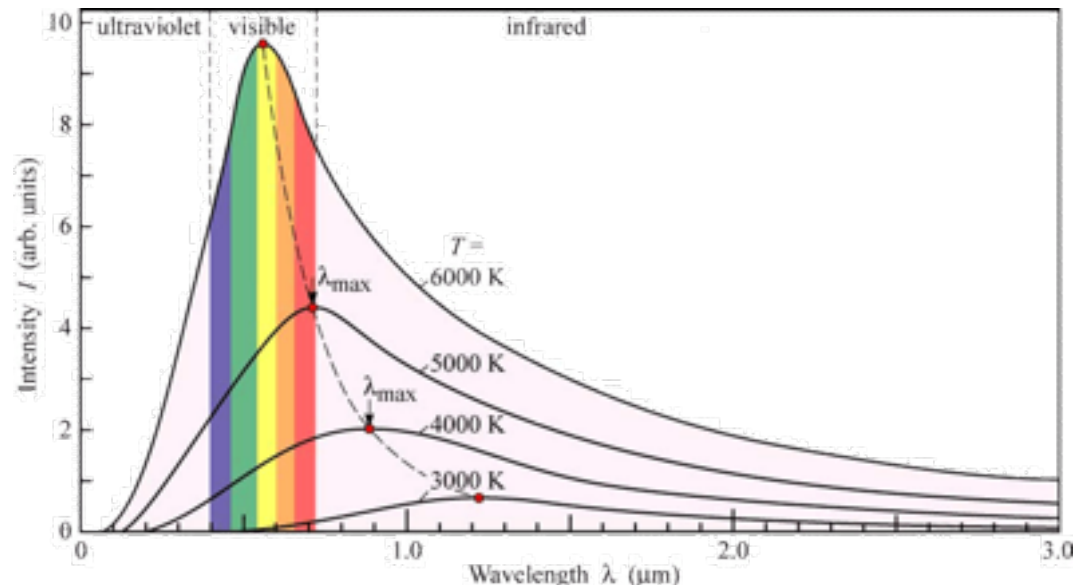


## 2ª. Revolução Científica

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

# Nascimento da Física Quântica

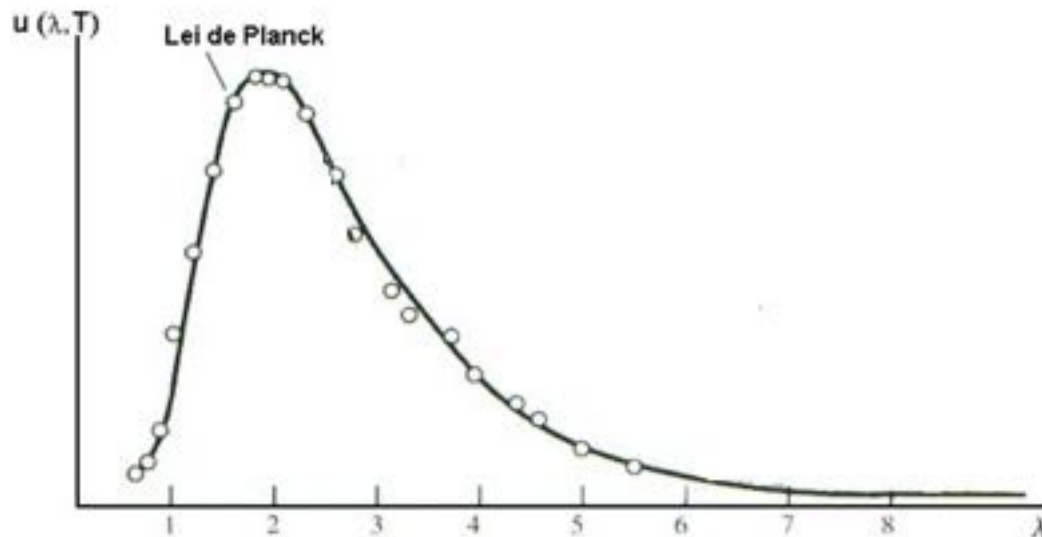
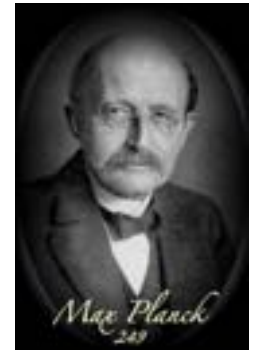
- Uma cavidade quente (“corpo negro”) emite radiação contínua
- A teoria previa que ela deveria emitir mais radiação de pequenos comprimentos de onda do que de grandes comprimentos de onda. Mas não era isso o que se observava



# Max Planck: criação da Física Quântica

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

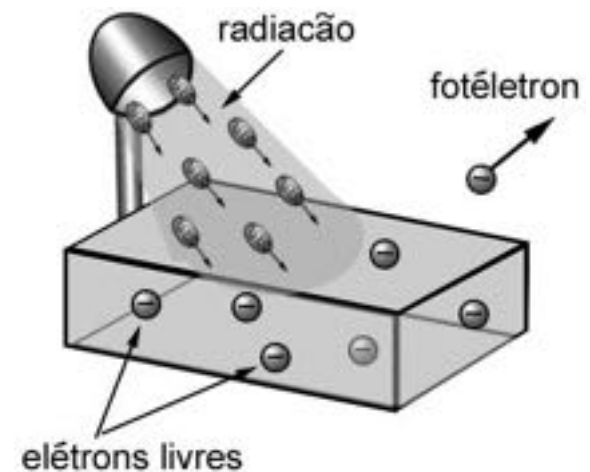
$$\mathcal{D}_T(\lambda) = \frac{8\pi hc}{\lambda^5} \frac{1}{\exp^{hc/k_B T \lambda} - 1}$$



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**



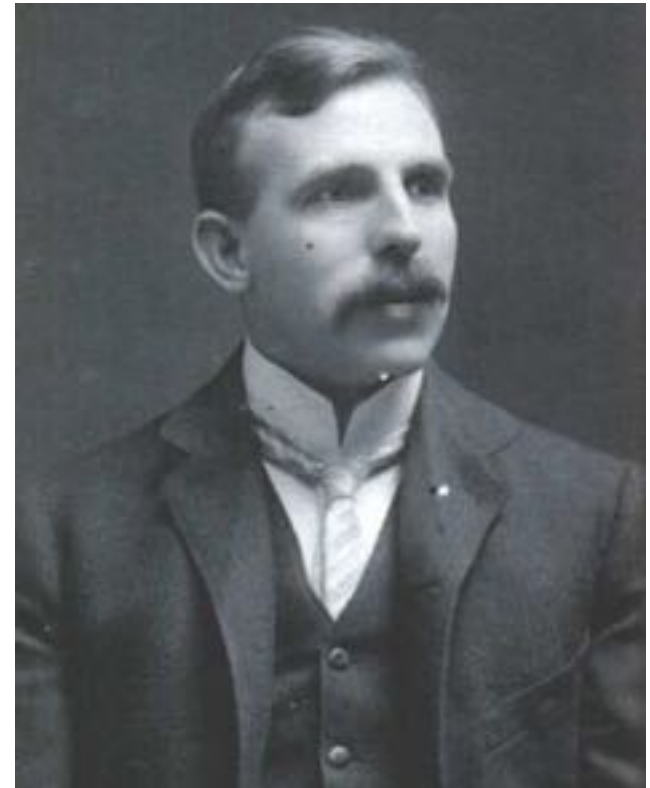
# Consolidação da Física Quântica

- 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?



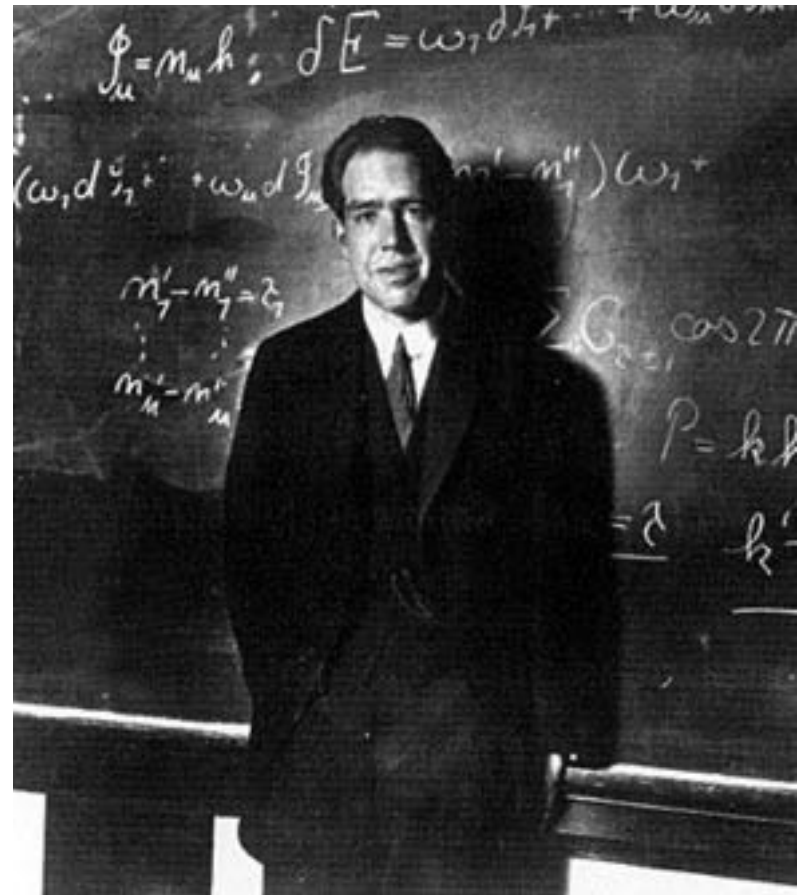
# Ernest Rutherford - o núcleo atômico

- **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





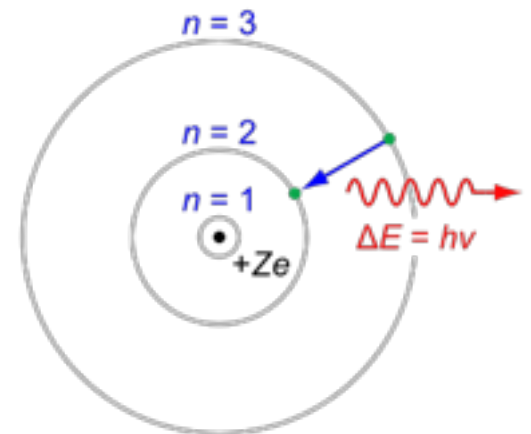
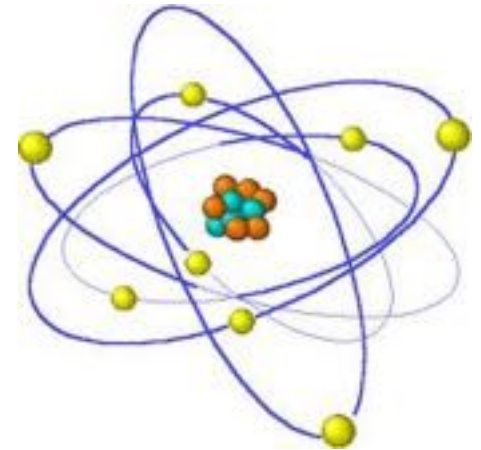
# O Átomo de Bohr e a Luz

- 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**

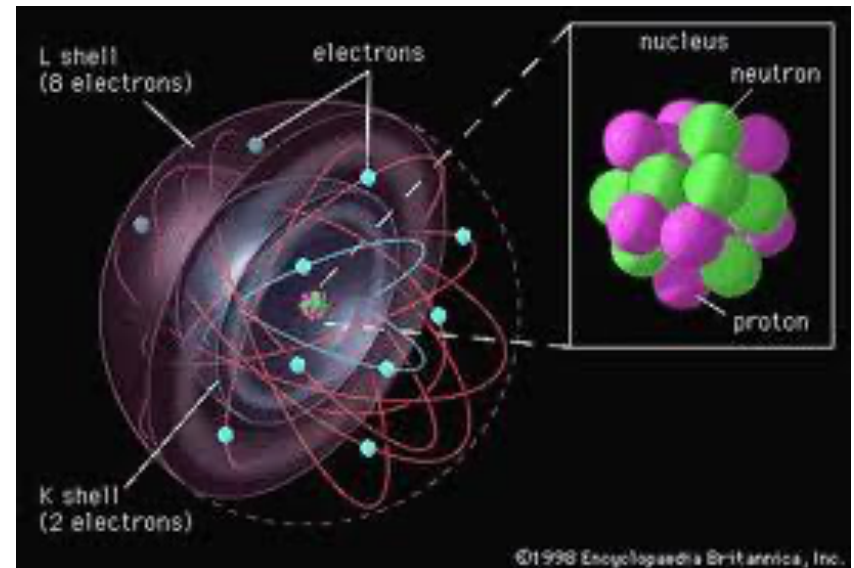
$$\Delta\Psi + \frac{8\pi^2m}{h^2}(E - U)\Psi = 0$$

**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.

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



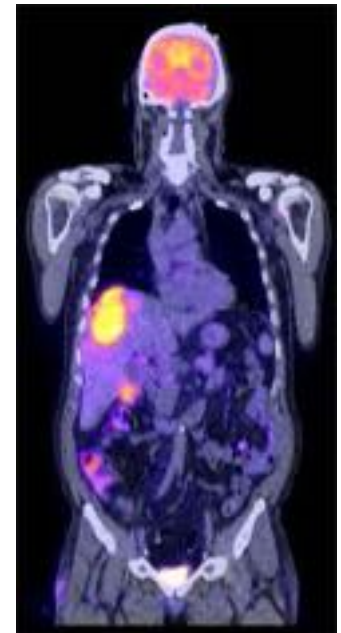
# Impactos da Nova Física

## 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

अलस्य यज्ञस्य धूर्तस्य धृतिं निर्वहणे सौमनसं यज्ञनिर्वाहकस्य  
मिथुनमिथुनस्य ममिधानः दृष्टेदविद्यमानः अश्नुते । प्रमाधयति ।  
अश्नुतिः प्रमाधनकर्म । दन्धानः । सम्यग्दोषमानः । अक्षः ।  
ज्वालामसिदादिभिराकाशः । अन्तरनाकाशो वा । प्रसेखान्दसो  
यः । विदधेयः । यज्ञेषु वेदयस्य मोक्षेषु निमित्तभूतेषु दातुन  
स्वयं दाप्यमानोऽप्यदायां धियं प्रज्ञां आगादिविषयां ग्राहयतो  
गृह्यमाणो निमित्तो ज्योतिषोमादि कर्म वा उद् यंयते । उद्योतय-  
न्तेव । यसेर्मेऽश्वगमः । मिथुः । उद्योतोऽप्यधारणे । धीरिति कर्म  
नाम । धीः । ज्ञस्योति तस्यामम् पाठान् ॥

अप्रयुक्तप्रयुक्तद्विरग्ने

शिवेभिर्नः पायुभिः पाहि जग्मेः ।

अदब्धेभिर्हविषेभिर्हिष्टे-

निमिषद्विः परि पाहि नो जाः ॥ ८ ॥

परपाठः ।

अप्रयुक्तन् । अप्रयुक्तःभिः । अग्ने । शिवेभिः ।  
नः । पायुभिः । पाहि । जग्मेः । अदब्धेभिः ।  
अदपितेभिः । हिष्टे । अनिमिषतःभिः । परि । पाहि ।  
नः । जाः । ८ ॥

$$\mathcal{L} = \bar{\psi} \gamma^\mu D_\mu \psi - \frac{1}{2} g \bar{\psi} \gamma^\mu (Q U) \psi - m \bar{\psi} \psi + \frac{1}{4k} T_\mu (D^\mu U D_\mu U^\dagger) \\ + \bar{N} \gamma^\mu (Q_\mu M_\mu) N - m \bar{N} N + \frac{1}{4k} T_\mu (D^\mu U D_\mu U^\dagger)$$

$$D_\mu U = \partial_\mu U - 2(g f_{\mu\nu} f^{\nu\lambda} (\vec{q} \cdot \vec{e}_\lambda) + (g f_{\mu\nu} \vec{e}_\lambda - 2g f_{\mu\lambda} \vec{e}_\nu) \\ D_\mu N = \partial_\mu N - i g \left[ \frac{1}{2} \vec{\sigma} \cdot (\vec{u} g) f_{\mu\nu} (\vec{e}_\nu \cdot \vec{f}) + \frac{1}{2} \vec{f} \cdot (\vec{e} g) \vec{f} \right] N \vec{e}_\mu \\ - i g \left[ (\vec{u} g) f_{\mu\nu} \frac{\vec{\sigma}}{2} - f_{\mu\nu} (\vec{e}_\nu \cdot \vec{f}) + (\vec{u} g) f_{\mu\lambda} \frac{1}{2} \vec{f} \cdot (\vec{e} g) \vec{f} \right] N \vec{e}_\mu \\ M_\mu = U^\dagger \partial_\mu U^\dagger = \frac{1}{4} (U^\dagger \partial_\mu U^\dagger) U^\dagger$$

$$\mathcal{L} = \bar{N} \gamma^\mu (Q_\mu M_\mu) N - m \bar{N} N + \frac{1}{4k} T_\mu (D^\mu U D_\mu U^\dagger) \\ - \frac{1}{2} \vec{R}^\mu \cdot \vec{R}_\mu - \frac{1}{2} \vec{A}^\mu \cdot \vec{A}_\mu + \frac{1}{2} m^2 (\vec{e}^\mu \vec{e}_\mu + \vec{e}^\mu \vec{e}_\mu)$$

$$\vec{R}_\mu = \partial_\mu \vec{e}_\nu - \partial_\nu \vec{e}_\mu + g (\vec{e}_\mu \cdot \vec{e}_\nu) + g (\vec{e}_\nu \cdot \vec{e}_\mu) \\ \vec{A}_\mu = \partial_\mu \vec{a}_\nu - \partial_\nu \vec{a}_\mu + g (\vec{a}_\mu \cdot \vec{e}_\nu) + g (\vec{e}_\mu \cdot \vec{a}_\nu) \\ \partial \vec{R}_\mu = -g \vec{V}_\mu^\nu + m \vec{e}_\mu, \quad \vec{V}_\mu = \vec{V}_\mu^\nu + \frac{1}{2} \partial \vec{R}_\mu \\ \partial \vec{A}_\mu = -g \vec{A}_\mu^\nu + m \vec{a}_\mu, \quad \vec{A}_\mu = \vec{A}_\mu^\nu + \frac{1}{2} \partial \vec{A}_\mu$$

$$[V_\mu^\nu(x), V_\lambda^\sigma(y)] = [A_\mu^\nu(x), A_\lambda^\sigma(y)] = (e^{ikx} V_\mu^\nu(x) \delta^3(x-y))$$

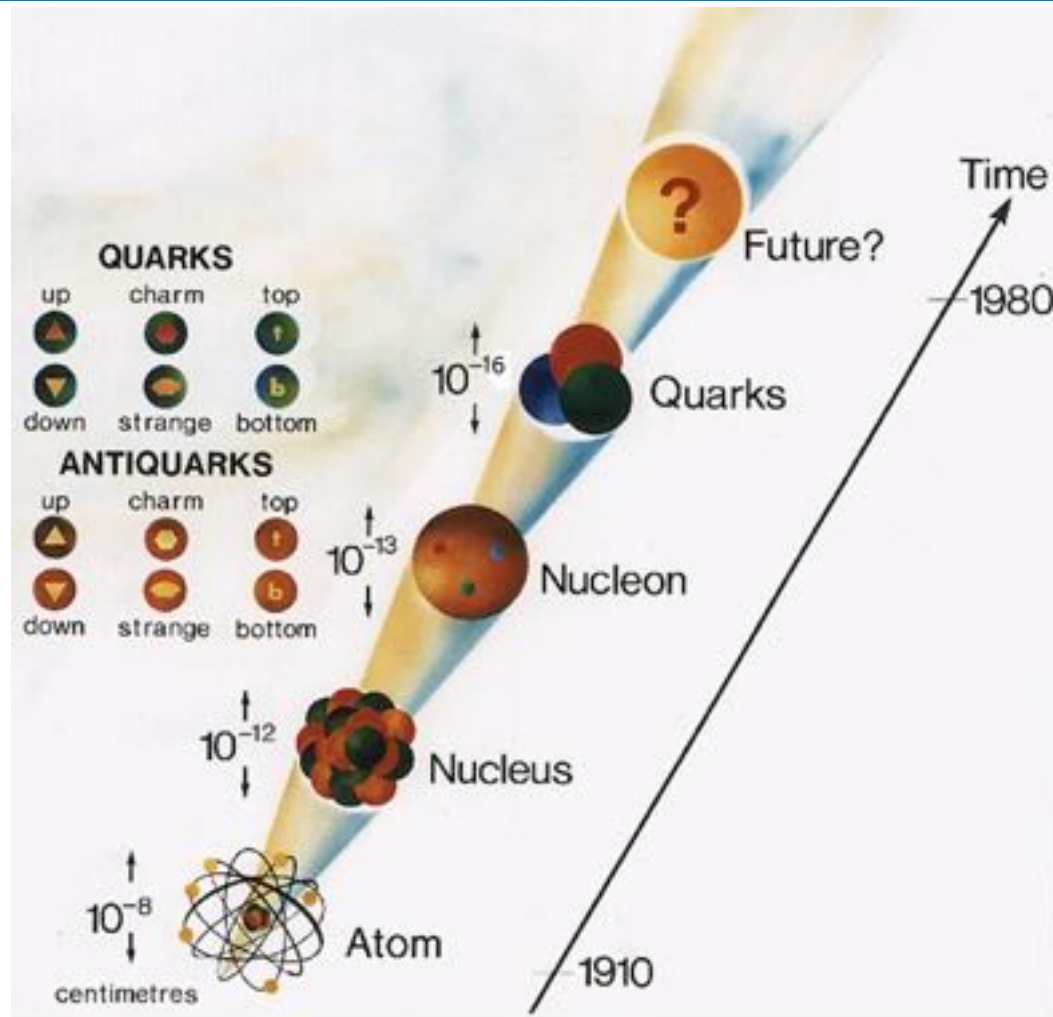
$$[V_\mu^\nu(x), A_\lambda^\sigma(y)] = [A_\mu^\nu(x), V_\lambda^\sigma(y)] = (e^{ikx} A_\mu^\nu(x) \delta^3(x-y))$$

$$[V_\mu^\nu(x), A_\lambda^\sigma(y)] = [A_\mu^\nu(x), V_\lambda^\sigma(y)] = (e^{ikx} A_\mu^\nu(x) \delta^3(x-y))$$

# A tal da Física...

- **Física da Nova Era:**
  - “Holismo quântico”
  - “Cura quântica”
- **Questões para ateus (e crentes)**
  - racionalidade 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.***

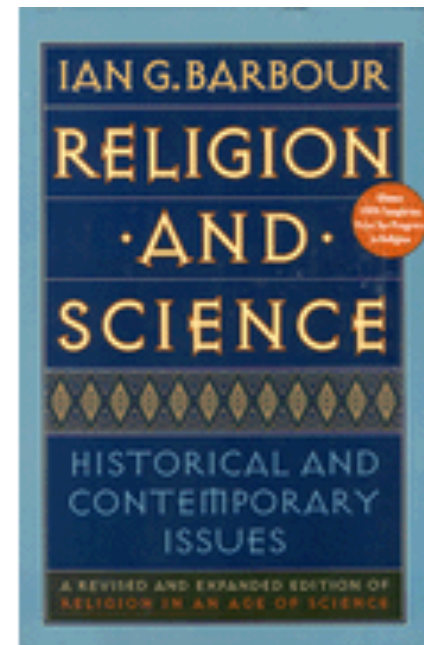
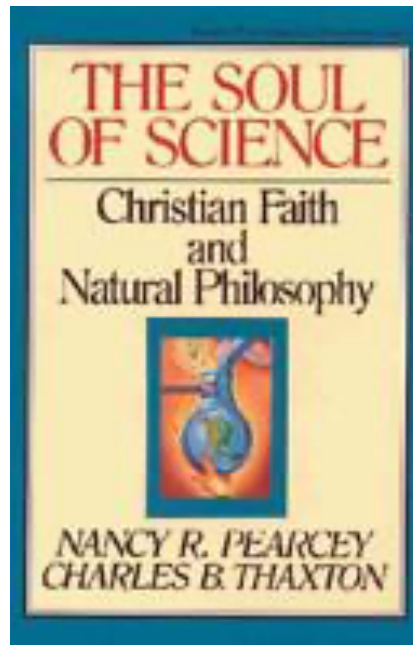
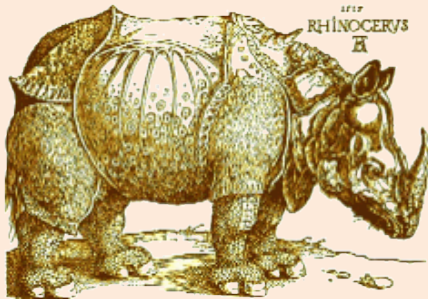
***Eclesiastes 3:11***

# Bibliografia

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

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

**Unicamp**



*[eba@ibcu.org.br](mailto:eba@ibcu.org.br)*