

Revisão: Dualidade Onda-Partícula
Efeito Doppler
Corpo Negro

Formação de Linhas Espectrais
Modelos Atômicos Clássicos
Modelo de Schrodinger

IAGUSP

Sandra dos Anjos

<http://astroweb.iag.usp.br/~aga210/>

Natureza da luz

....200 anos para responder a estas perguntas....

Experimentos realizados mostram evidências de natureza corpuscular e ondulatória

Thomas Young - 1801



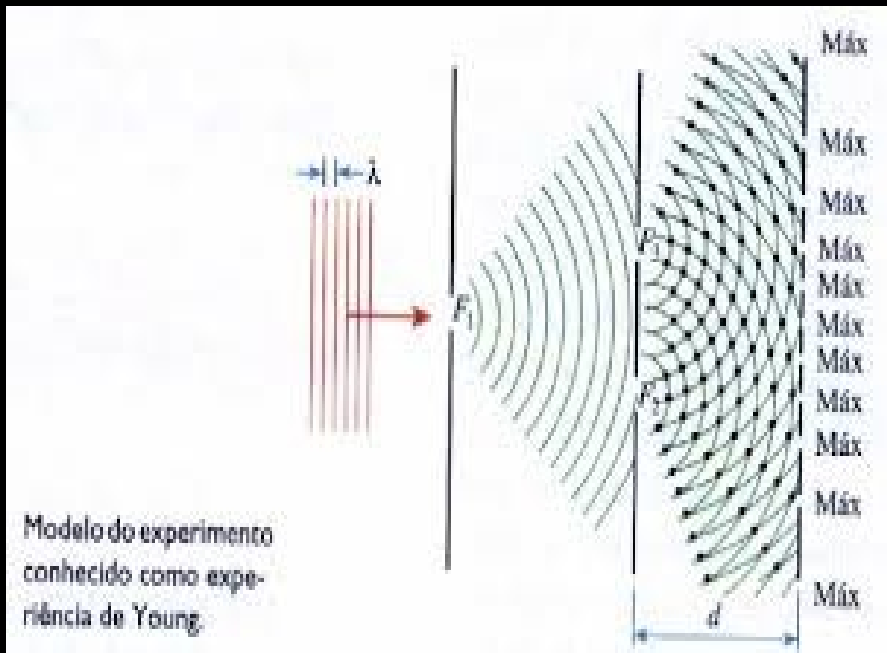
Natureza ondulatória da Luz

Efeito de Difração e Interferência da luz

Natureza da luz

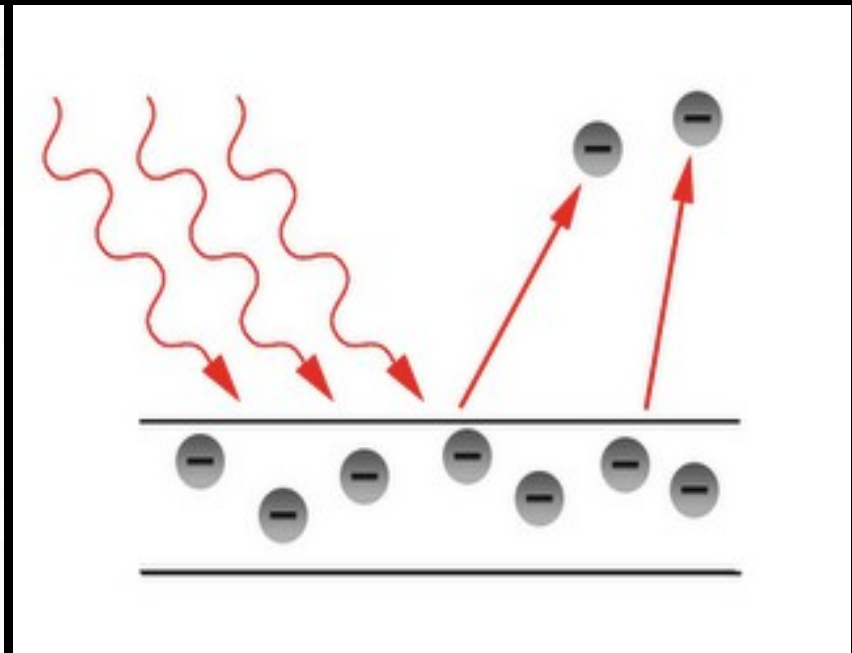
Experimentos realizados mostram evidências de natureza corpuscular e ondulatória

Thomas Young - 1801



Difração e
Interferência da luz

Einstein 1905



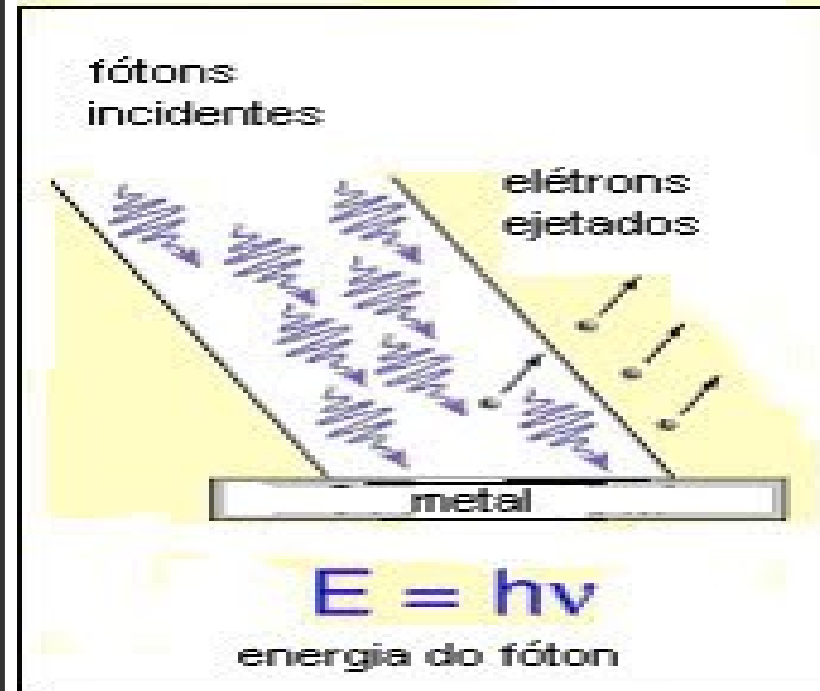
Efeito Fotoelétrico
verificado experimentalmente pelo físico
americano Robert Millikan.

Síntese - Correlações entre estas Propriedades

Propriedades das Ondas Eletromagnéticas (OE)

1. A luz que vem de uma fonte contem uma mistura de ondas com diferentes λ , ν , e diferentes direções de propagação...
2. Todas as ondas viajam a mesma **velocidade de propagação constante (c) no vácuo.**
3. A direção de propagação dos campos elétrico (E) e magnético (B), é **perpendicular um em relação ao outro.**
4. Direção da polarização é a mesma de (E).
5. Intensidade da onda depende da magnitude dos campos **B** e **E**.
6. Equações que relacionam as variáveis de uma onda eletromagnética

$c = \lambda \cdot \nu$	$\nu = c/\lambda$	$\lambda = c/\nu$
veloc.da luz	frequência	comprimento de onda



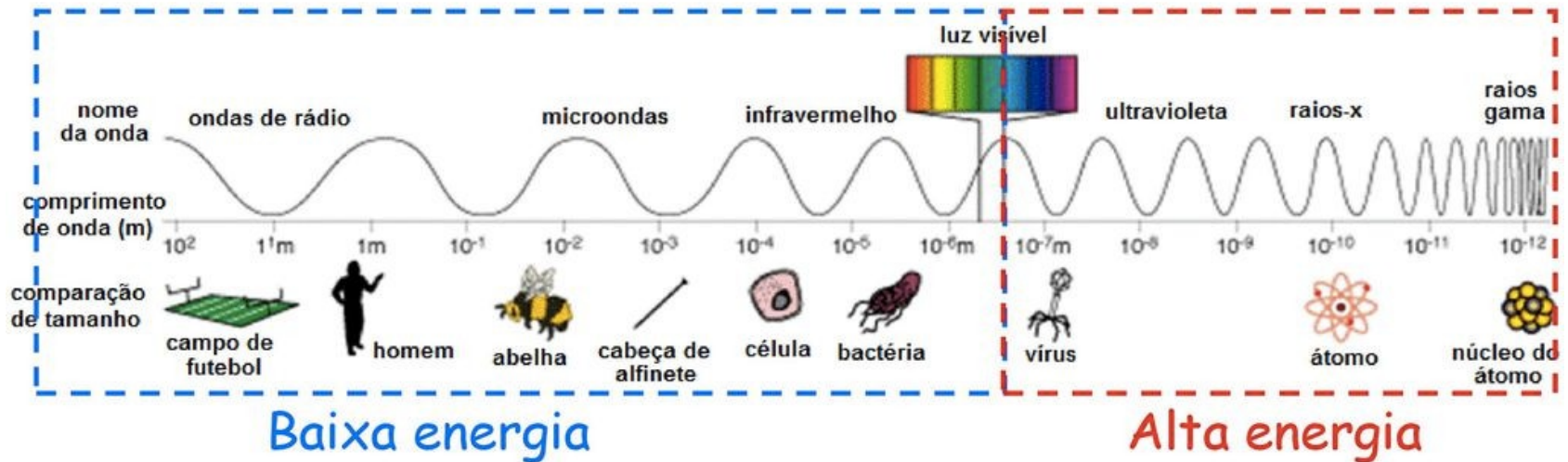
Equação da energia de um fóton (partícula)

$$E = h\nu, \text{ onde } \nu = c/\lambda,$$

$$\text{Então, } E = hc/\lambda$$

$$\begin{aligned} h &= 6,62607 \times 10^{-34} \text{ joule / segundo,} \\ &= 6,62607 \times 10^{-27} \text{ erg / segundo, e} \\ c &= 2.9979 \times 10^8 \text{ m/s} \end{aligned}$$

Comprimento de onda e Energia



E = energia

$$E = h\nu = h \frac{c}{\lambda}$$

h = constante de Planck ($6,626 \cdot 10^{-34} \text{ J s}$)

ν = frequência

c = velocidade da luz ($2,998 \cdot 10^8 \text{ m s}^{-1}$)

λ = comprimento de onda

Ondas Eletromagnéticas

...quando a fonte está em movimento as ondas eletromagnéticas se modificam

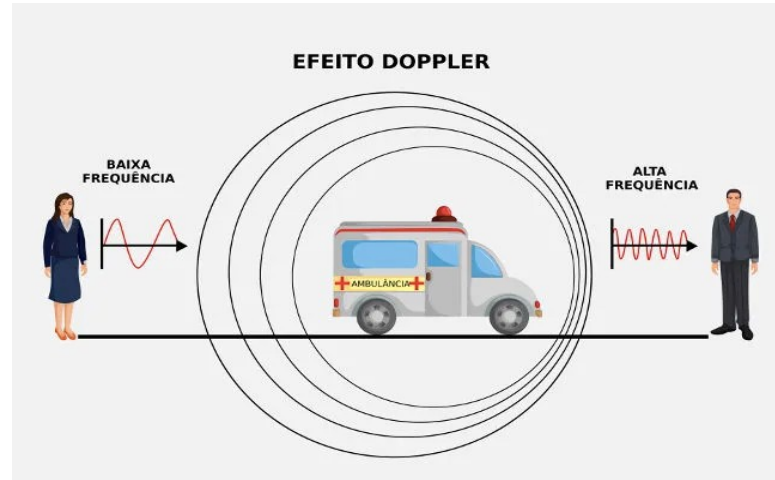
Exemplo cotidiano: sirene de um carro de polícia

Fonte se afasta

O som fica mais grave

Explicação:

Frequência (ν) diminui, comprimento de onda aumenta e como consequência o som fica mais grave.



Direção do movimento →

Fonte se aproxima

O som fica mais agudo

Explicação:

Frequência (ν) aumenta, o comprimento de onda diminui e como consequência o som fica mais agudo.

A imagem mostra a equação da velocidade da onda:
$$v = \frac{\lambda}{f}$$
 onde v é a "VELOCIDADE DE ONDA", λ é o "COMPRIMENTO DE ONDA" e f é a "FREQUÊNCIA". No topo, há um gráfico de uma onda senoidal com o eixo vertical rotulado "PRESSÃO" e o eixo horizontal rotulado "TEMPO".

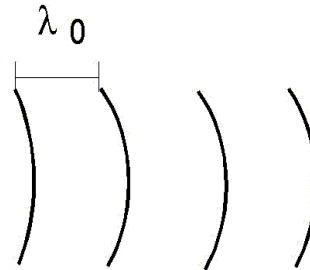
Efeito Doppler

...vai ocorrer uma mudança na frequência e no comprimento de onda quando a fonte está em movimento....

...Lembrando que: $c = \lambda \nu$

Fonte em repouso, emitindo luz a um comprimento de onda λ_0 .

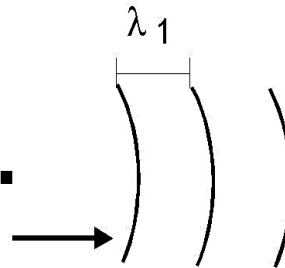
repouso ■



$$\nu_0 = \frac{c}{\lambda_0}$$

Fonte aproxima-se do observador => comprimento de onda observado será menor ($\lambda_1 < \lambda_0$).

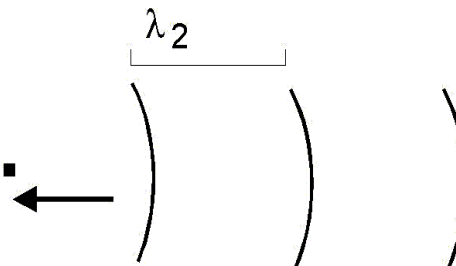
aproximação ■



$$\nu_1 = \frac{c}{\lambda_1}$$

Fonte afasta-se: comprimento de onda observado será maior ($\lambda_2 > \lambda_0$).

afastamento ■



$$\nu_2 = \frac{c}{\lambda_2}$$

Efeito Doppler

Este fenômeno também ocorre com a luz.....

Se uma fonte luminosa está em movimento, ocorre uma mudança na frequência ou no comprimento de onda, devido ao **movimento relativo** entre a **fonte** (λ_{obs} - medido) e o “observador” (λ_0 - em repouso)

Fonte se afasta

Frequência (ν) diminui, comprimento de onda aumenta e como consequência o som fica mais grave.

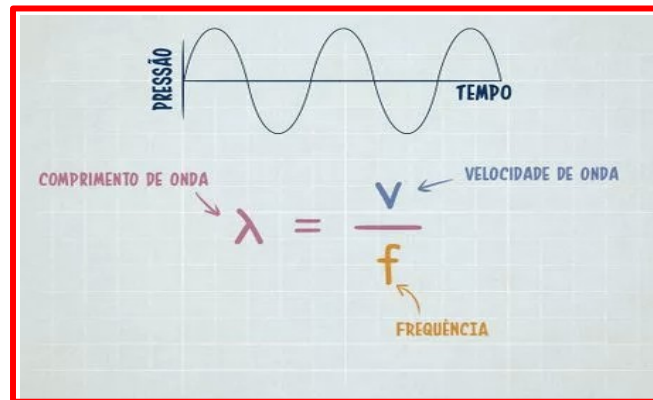
No caso da luz ela ficaria mais vermelha



Fonte se aproxima

Frequência (ν) aumenta, o comprimento de onda diminui e como consequência o som fica mais agudo.

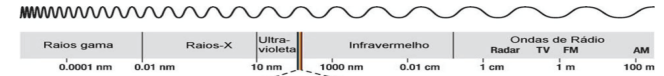
No caso da luz, ficaria mais azul



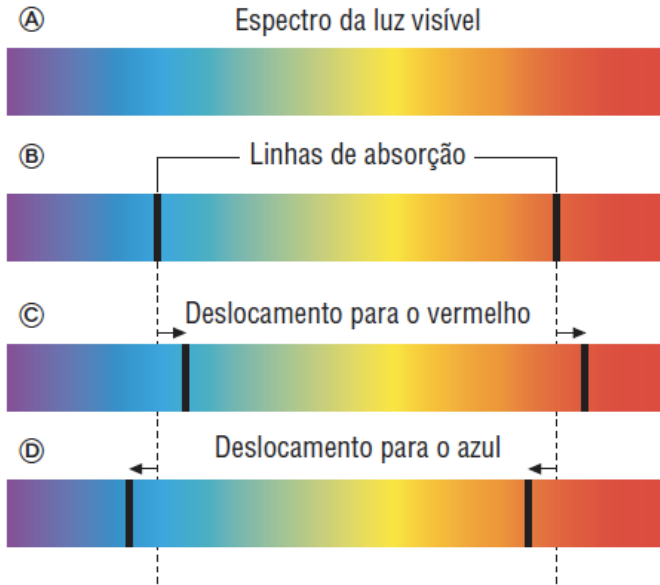
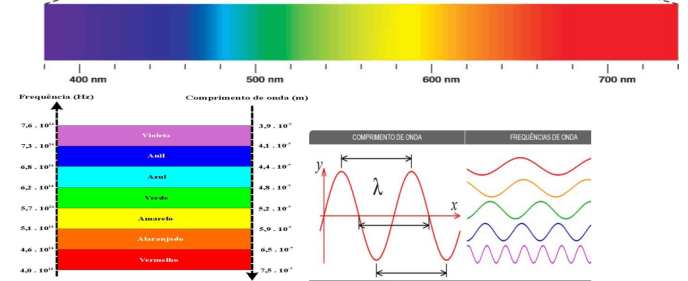
ESPECTRO ELETROMAGNÉTICO

1. Uma abordagem histórica acerca do Espectro Eletromagnético:

1.1 - **Descoberta:** Durante muito tempo, a Luz visível era a única parte conhecida do espectro eletromagnético.



Espectro visível da luz



λ_0 - repouso

$(\lambda_{\text{obs}} > \lambda_0)$

$(\lambda_{\text{obs}} < \lambda_0)$

Quando a fonte de luz está parada as linhas escuras que se superpõem ao espectro contínuo se localizam em uma posição fixa e bem determinada, catalogadas e identificadas gerando o que chamamos de biblioteca de espectros. O Comprimento de Onda e, conseqüentemente, a Frequência das linhas escuras que aparecem são representadas em repouso - caso B

Se o **padrão de linhas** está deslocado para a região vermelha do espectro, a fonte está se **afastando**, por que o **comprimento de onda está aumentando** e a **frequência diminuindo** em relação ao observador - caso C - “red-shift”

Se o **padrão de linhas** está deslocado para a região azul do espectro, a fonte está se **aproximando**, por que o **comprimento de onda está diminuindo** e a **frequência aumentando** – caso D- “blue-shift”

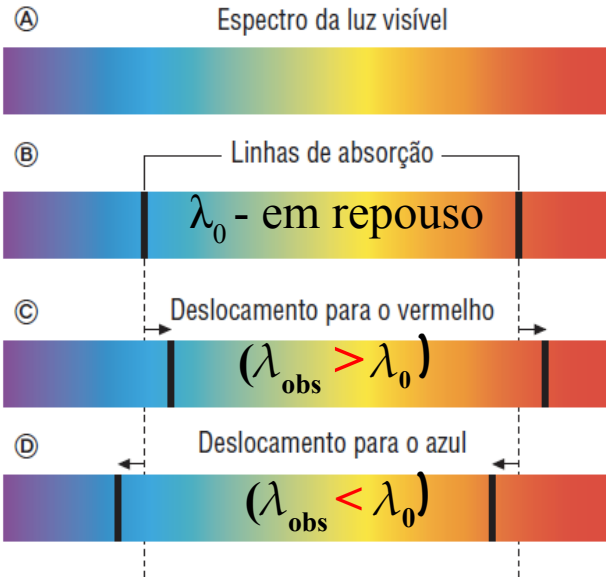


Interpretação

Fonte se afasta

Frequência (ν) diminui, comprimento de onda aumenta e como consequência o som fica mais grave.

No caso da luz o padrão de linhas se desloca para o vermelho



Fonte se aproxima

Frequência (ν) aumenta, o comprimento de onda diminui e como consequência o som fica mais agudo.

No caso da luz o padrão de linhas se desloca para o azul

Este fenômeno permite obter a velocidade radial (v_r), dada pela equação a seguir e por definição o “redshift” (z) : = z

$$\frac{\lambda_{\text{obs}} - \lambda_0}{\lambda_0} = \frac{\Delta\lambda}{\lambda} = \frac{v_r}{c} = z$$

Se v_r é **positivo**, a fonte está se afastando, pois o comprimento de onda observado é maior que o de repouso. Se o **sinal é negativo** a fonte está se aproximando e o comprimento de onda diminui. Ex: um $z = 0,3$ significa um afastamento com 30% da velocidade da luz, ou seja, 90 000 km/s.

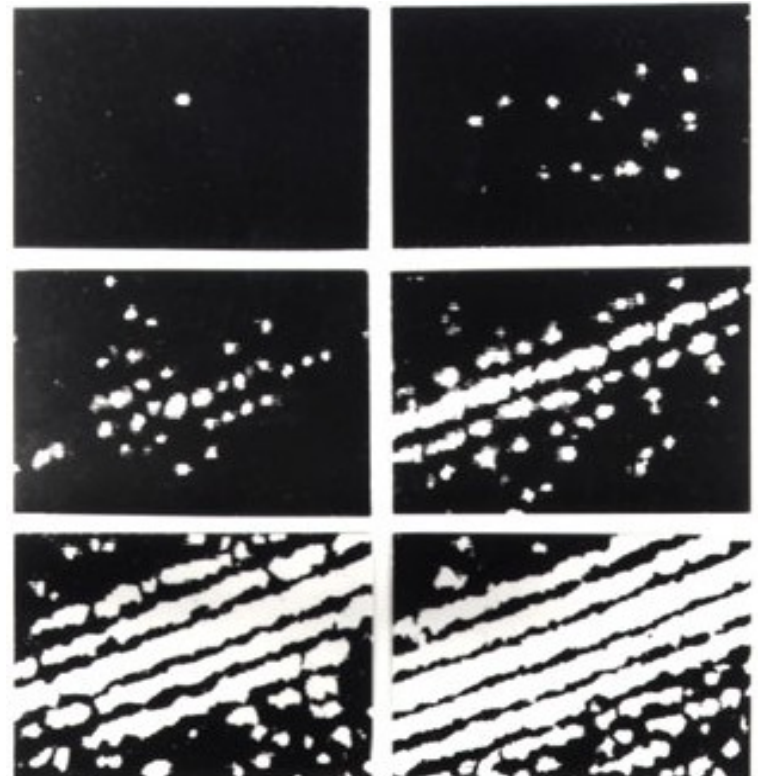
Dualidade Onda-Partícula : o caso do elétron...

...se a luz se comporta como partícula em certas situações, então o elétron também poderia se comportar como onda em certas situações..., como de fato se observa

- 1926, dualidade onda-partícula de Louis de Broglie (Prêmio Nobel).
- **Estende o caráter dual da luz para a matéria.**
- Elétrons, e outras partículas, se comportam como ondas.

Experiência de interferência com elétrons ao invés de luz, em 1976, feita pelo grupo de Bolonha, Itália.

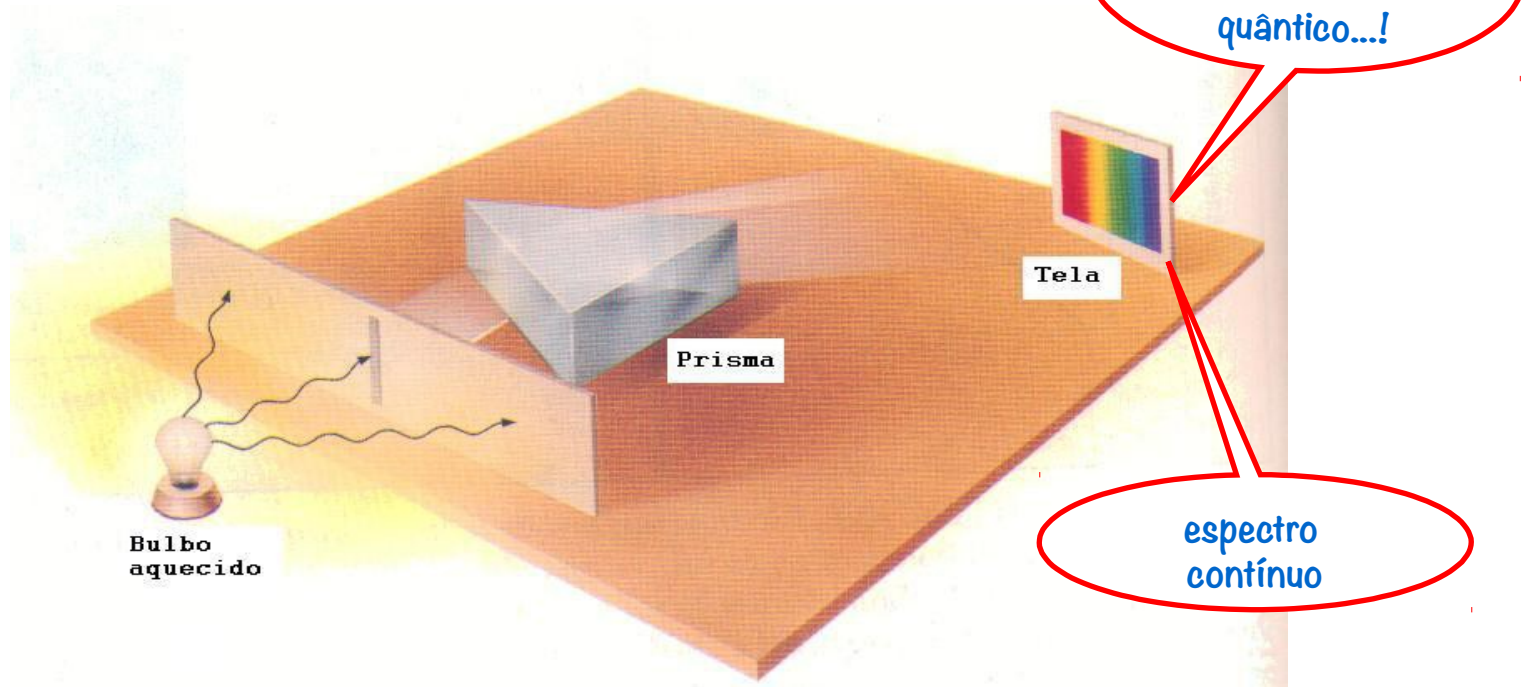
Um feixe de elétrons se comporta como um feixe de ondas, causando um padrão de interferência.



Ainda restaria a explicação da natureza da formação do Arco-Iris... do que chamamos tecnicamente de Radiação Contínua

Restaria também encontrar uma expressão matemática que pudesse representar esta Radiação Contínua

Um Modelo para o Espectro Contínuo



Newton realizava experimentos que já mostravam que a luz branca ao passar por um prisma se decompõe nas cores do arco-íris, formando um **espectro contínuo**.

Como se forma este espectro contínuo? **Qual o modelo que explica este fenômeno?** Que tipo de **informação física** podemos obter a partir das cores?

Radiação de Corpo Negro ...ou radiação contínua, ou radiação térmica

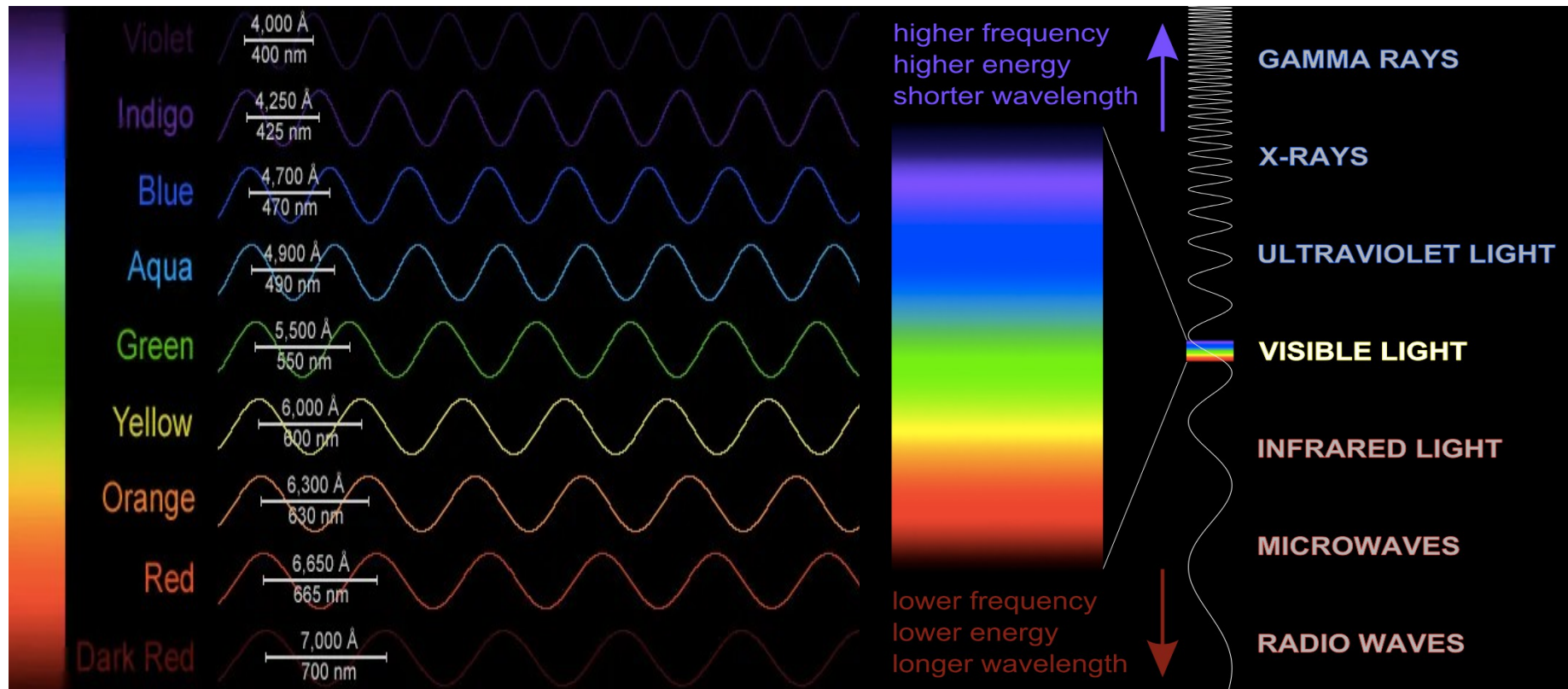


A correlação entre a **cor** da **luz emitida** por um **objeto quente** e sua **temperatura** foi observada pela 1ª vez em 1792, por **Thomas Wedgwood** (químico, ceramista) a partir de suas **observações em relação** a queima de cerâmica em um forno em sua fábrica.

A cor vermelha, por ex., sempre aparecia à mesma temperatura, independentemente do tamanho, forma e constituição do objeto.....

A explicação a este fato somente seria “entendida” no final do séc. XIX, com os estudos da radiação térmica por Kirchhoff (1859), onde ele sugere o conceito teórico de corpo negro.

1800-1889: experimentos mostram que a luz se decompõem em outros comprimentos de onda (λ) além do visível, gerando o que chamamos de “Espectro Eletromagnético”



Experimentos mostram também que:

- 1- Qualquer objeto com temperatura **acima do zero absoluto** emite luz em todos os λ s, variando no grau de eficiência.
- 2- Existe uma correlação entre a **cor da luz** emitida por um objeto e sua **temperatura**

Corpo Negro Ideal

emitem radiação térmica na mesma medida que a absorve

Qualquer objeto constituído de matéria possui átomos e moléculas que **vibram** ou se **agitam** geram calor (ou energia térmica ou radiação térmica), e quando aceleradas, produzem **radiação eletromagnética em vários comprimentos de onda.**

Este estado de agitação de partículas, é definido como **Energia Cinética** (E_c), e o **valor médio da medida** deste estado de agitação define uma grandeza conhecida como **TEMPERATURA*** (em Kelvin-K*).

Lembrem-se que vimos na aula anterior, que:

****Radiação** é o processo de transferência de energia através de ondas eletromagneticas
...é consequência da oscilação dos campos elétrico e magnético gerada pelas cargas em movimento

*Kelvin (K) é uma unidade de temperatura da base do Sistema Internacional de Unidades (SI).

Zero kelvin = 0 K -> zero absoluto, quando **param os movimentos moleculares.**

Conversão: $K = ^\circ C + 273,15$

Corpo Negro

Estes experimentos levaram a introdução de um conceito de um **emissor ideal** que seria um objeto que absorveria toda a luz incidente sobre ele e re-irradiaria toda esta energia.

Como um **emissor ideal** não **REFLETE** luz ele aparece aos **nossos olhos** como sendo **negro**, sem luz. Define-se assim, um “**Corpo Negro**” ideal como sendo aquele que, em equilíbrio termodinâmico (ET), emite radiação térmica na mesma medida que a absorve.

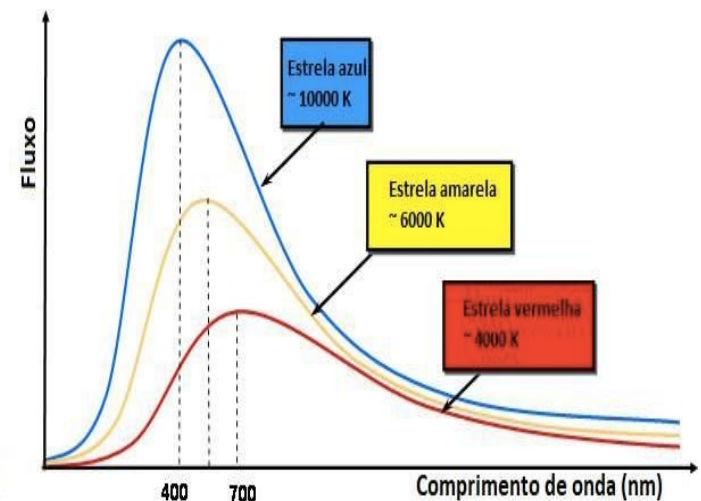
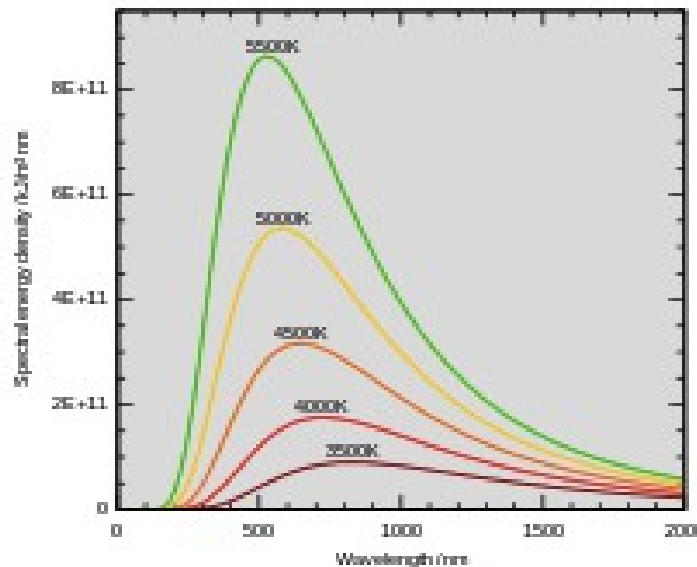
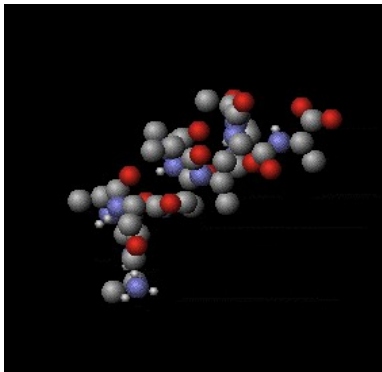
Um “**Corpo Negro**” ideal está em equilíbrio termodinâmico (ET) pois **emite radiação térmica na mesma medida que a absorve**. A radiação que ele emite é chamada de “**Emissão de Corpo Negro**”



A interpretação das diferentes Curvas de Corpo Negro (figs abaixo)...

Se a **temperatura** de um objeto aumenta, as vibrações também aumentam e o objeto emite mais energia por segundo, em **todos os Comprimentos de Onda**.

Quanto **maior a T** do Corpo Negro, **maior sua energia/segundo**, para todos os λ s. **Corpos Negros**, representados pelas curvas abaixo, de **mesma temperatura**, emitem radiação térmica com o **mesmo comportamento de espectro**.

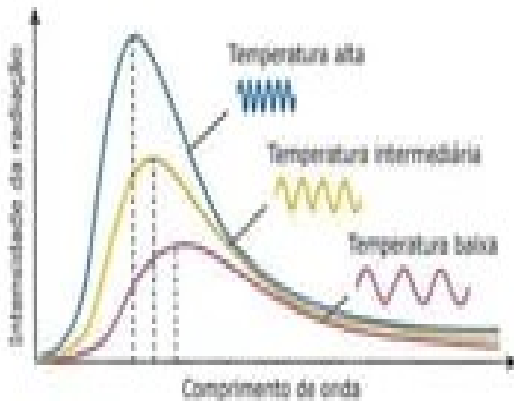


Distribuição Espectral da Radiação de Corpo Negro em diferentes temperaturas (T), emitindo um “espectro contínuo” com energia em todos os comprimentos de onda.

Estrelas e planetas são Corpos Negros, em primeira aproximação...

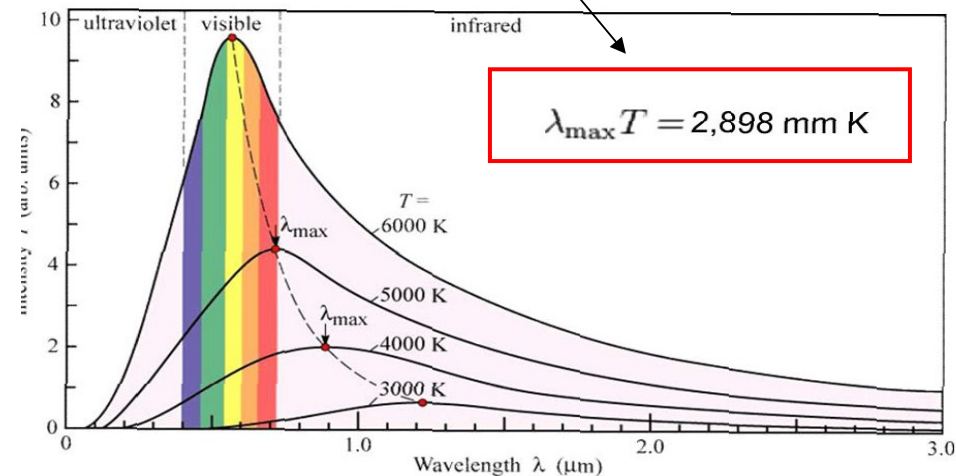
Propriedades da Radiação Térmica

Lei de Wien: O comprimento de onda do pico de intensidade ($\lambda_{\max}$) de uma fonte é inversamente proporcional a temperatura superficial (T_s) da fonte



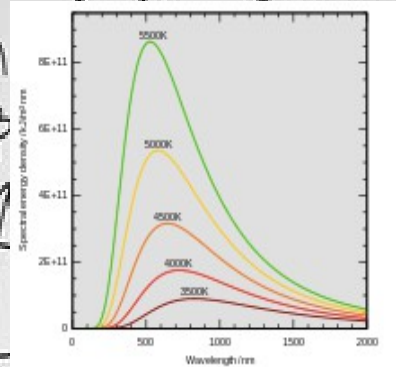
O máximo do gráfico depende da temperatura da cavidade

As curvas obtidas tem sempre a mesma forma, independente do material que constitui a cavidade

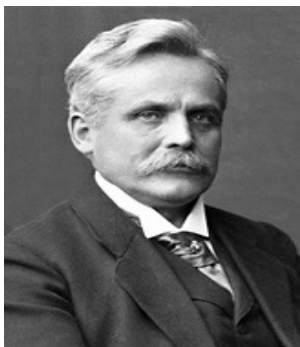


...ou Lei do deslocamento de Wien

Quanto maior é a Temperatura (T_s) do Corpo Negro, menor é o $\lambda_{\max}$, se deslocando para **comprimentos de onda menores** → maior sua energia/segundo, para todos os λ 's



O comportamento destas curvas semi-empírica pode ser representado e generalizado por uma expressão matemática?



Wien e Lummer (1895)



Lord Rayleigh (1842-1919)



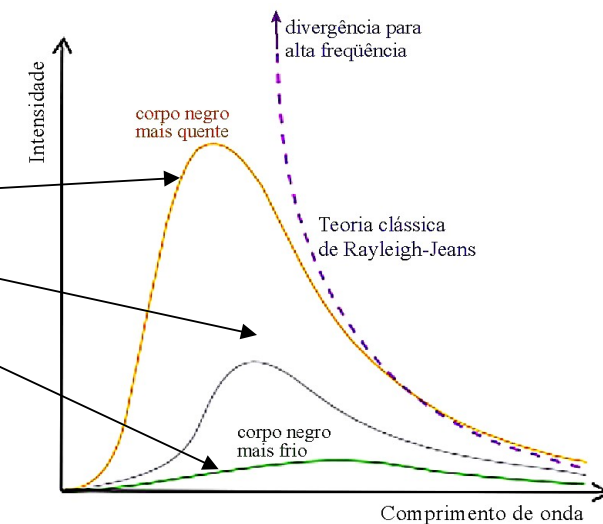
James Jeans (1877-1946)

Wilhelm Wien (1864-1928)
Prêmio Nobel de Física 1911

Os resultados falhavam
para baixas frequências

Os resultados falhavam
para altas frequências

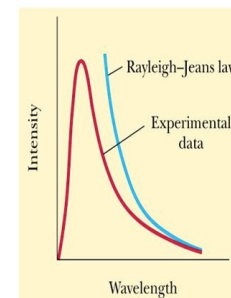
Observado
(previsão clássica)



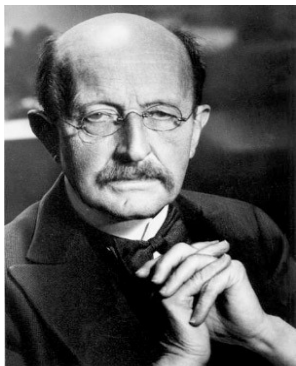
Lei de Rayleigh-Jeans

$$I(\lambda, T) = 2\pi c k_B T / \lambda^4$$

(Catástrofe do ultravioleta)



Um pequeno problema a ser resolvido.....!

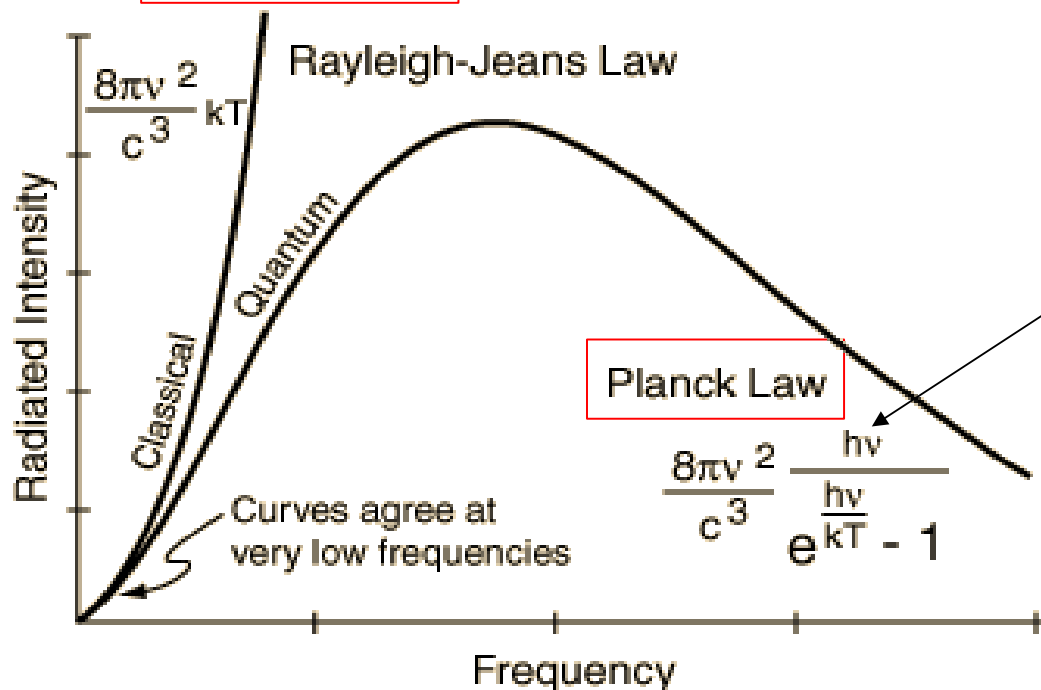


As ondas eletromagnéticas estacionárias não podem adquirir qualquer quantidade de energia arbitrária, devem ter apenas **valores de energia específica permitidas** que sejam **multiplos inteiros de uma energia de onda mínima** -

“Quantum de Energia” → $E=h\nu$

...funcionou...!!

Toward the
“ultraviolet
catastrophe”



Expressão Clássica

$$E_{\lambda} = \frac{C_1}{\lambda^5 \left[\exp\left(\frac{C_2}{\lambda T}\right) - 1 \right]}$$

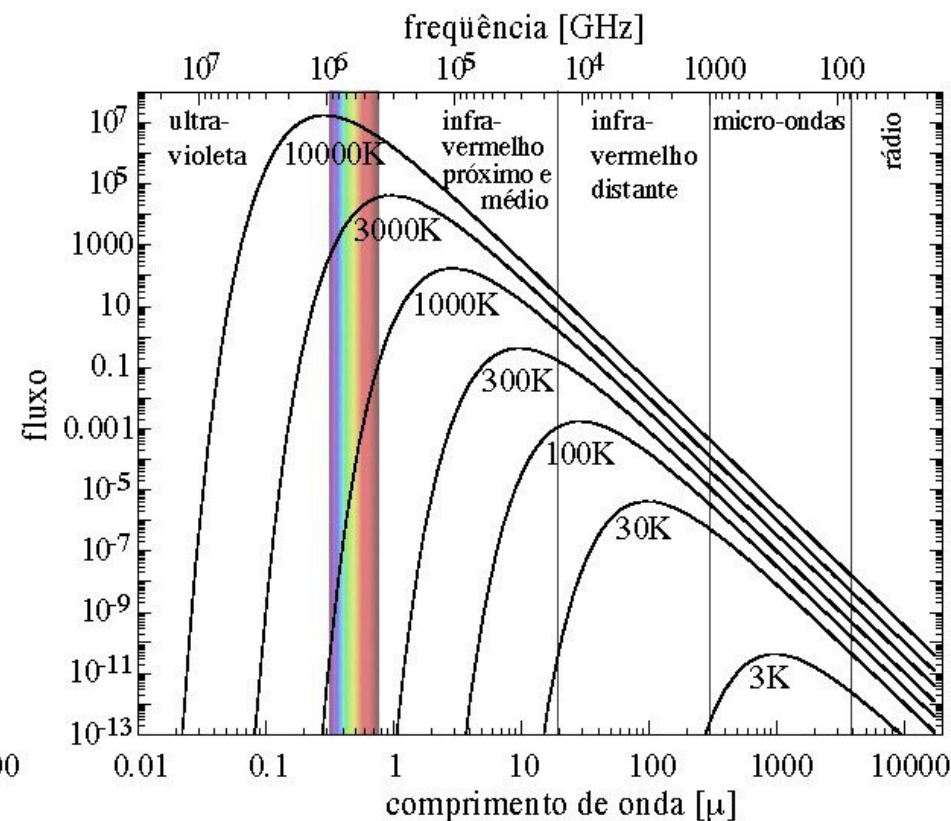
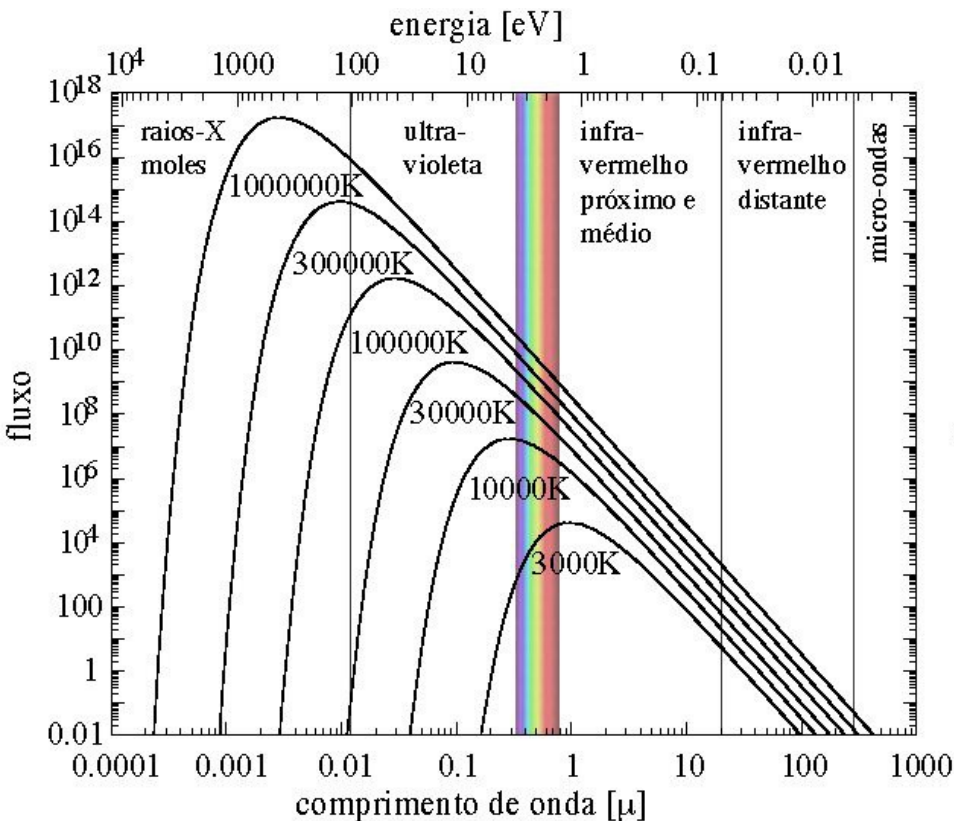
Ctes C1 e C2 são substituídas pelos
“quantum de energia”...

$h \rightarrow$ limita o quanto de energia as frequências de altas energias podem ter → dá a escala de incerteza quântica, a escala de pixel da realidade

Radiação de Corpo Negro

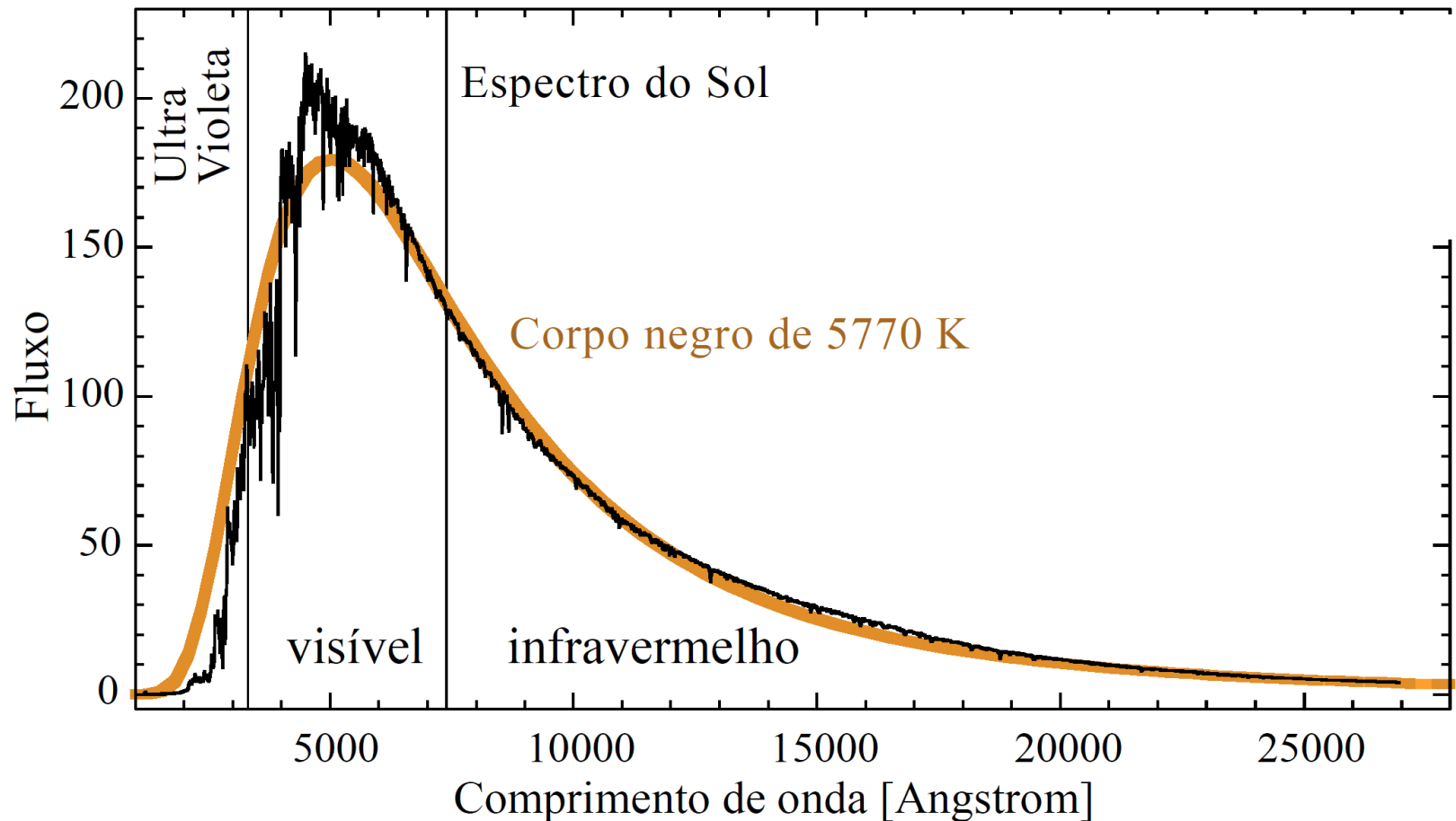
Intensidade, $I(\nu, T)$ corresponde ao espectro de corpo negro para uma dada temperatura.

$$I(\nu, T) = \frac{2h\nu^3}{c^2} \frac{1}{e^{\frac{h\nu}{kT}} - 1}$$



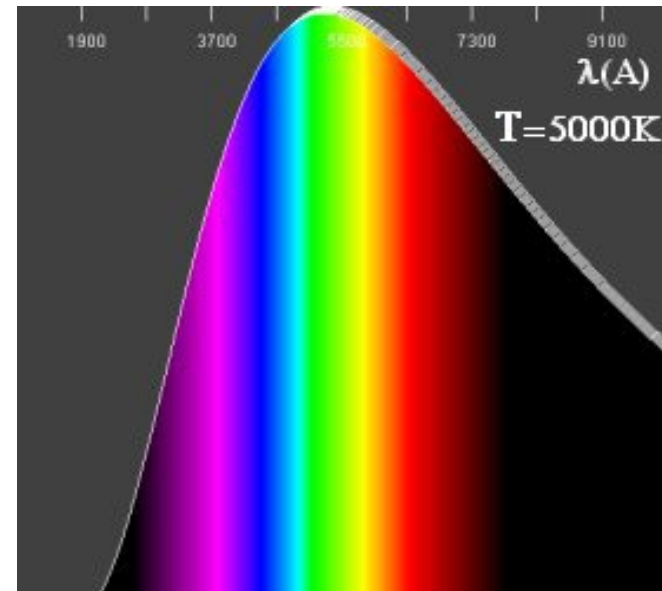
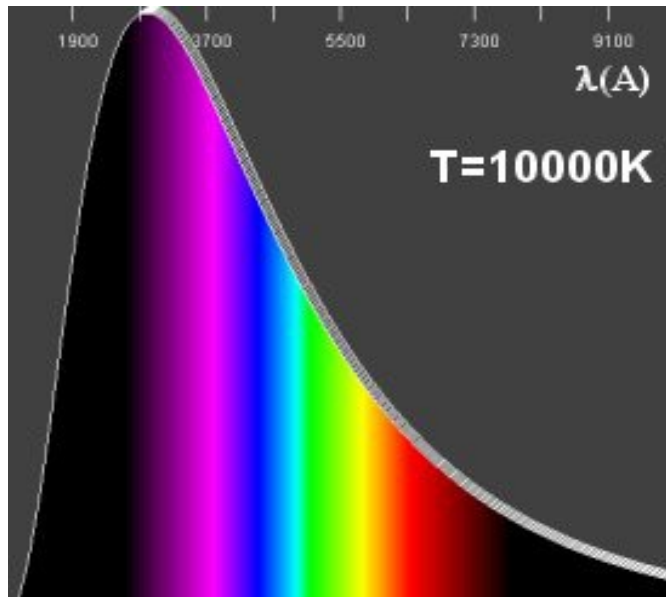
O exemplo do Sol

Estrelas são exemplo de astros “quase corpos negros”, ou corpos negros em primeira aproximação



Aplicação na Astrofísica

Obtendo o espectro de uma estrela é possível obter sua Temperatura pela Lei de Wien



Lei de Wien $\rightarrow \lambda_{\text{m\acute{a}x}} \times T = 0,290 \text{ (cm.K)}$

Em 1879 o físico Stefan mostra que a luminosidade (**L**) de um “corpo negro” de **área A** e **temperatura T** é dada por $L = A \cdot \sigma T^4$, onde $A=4\pi R^2$; $\sigma = c^{\text{te}} = 5,670 \times 10^{-5} (\text{ergs}^{-1} \text{cm}^{-2} \text{K}^{-4})$

Conhecendo a **T** e sabendo a distância (**d**) de uma estrela, pode-se obter o raio ou tamanho da estrela pela aplicação da Lei de Stefan-Boltzman $L = 4 \pi R^2 \sigma T^4$

Nasce assim a teoria considerada pelos físicos a mais sofisticada da Física já produzida pela humanidade. A **Física Quântica**

Inteiramente fundamentada em uma linguagem matemática que aliada a conceitos físicos fornece um arcabouço capaz de determinar o comportamento de **sistemas em escala atômica...**

O legado determinístico da descrição do universo é abalado..!

No início dos anos 1905 Einstein revoluciona a física transformando a idéia de espaço e tempo, energia e matéria.

A visão da descrição rígida, mecânica, do universo pareceu uma ilusão e foi trocada por uma visão de leis de probabilidade e estatísticas.

Mas havia mais um problema relacionado com os espectros.....

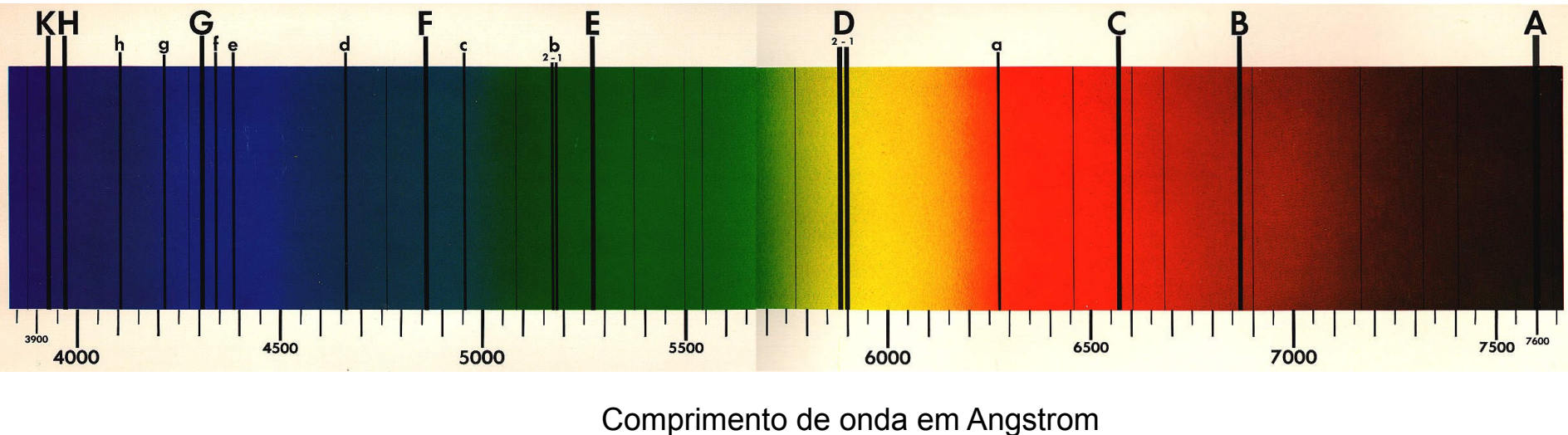
Espectro do Sol

...as linhas escuras

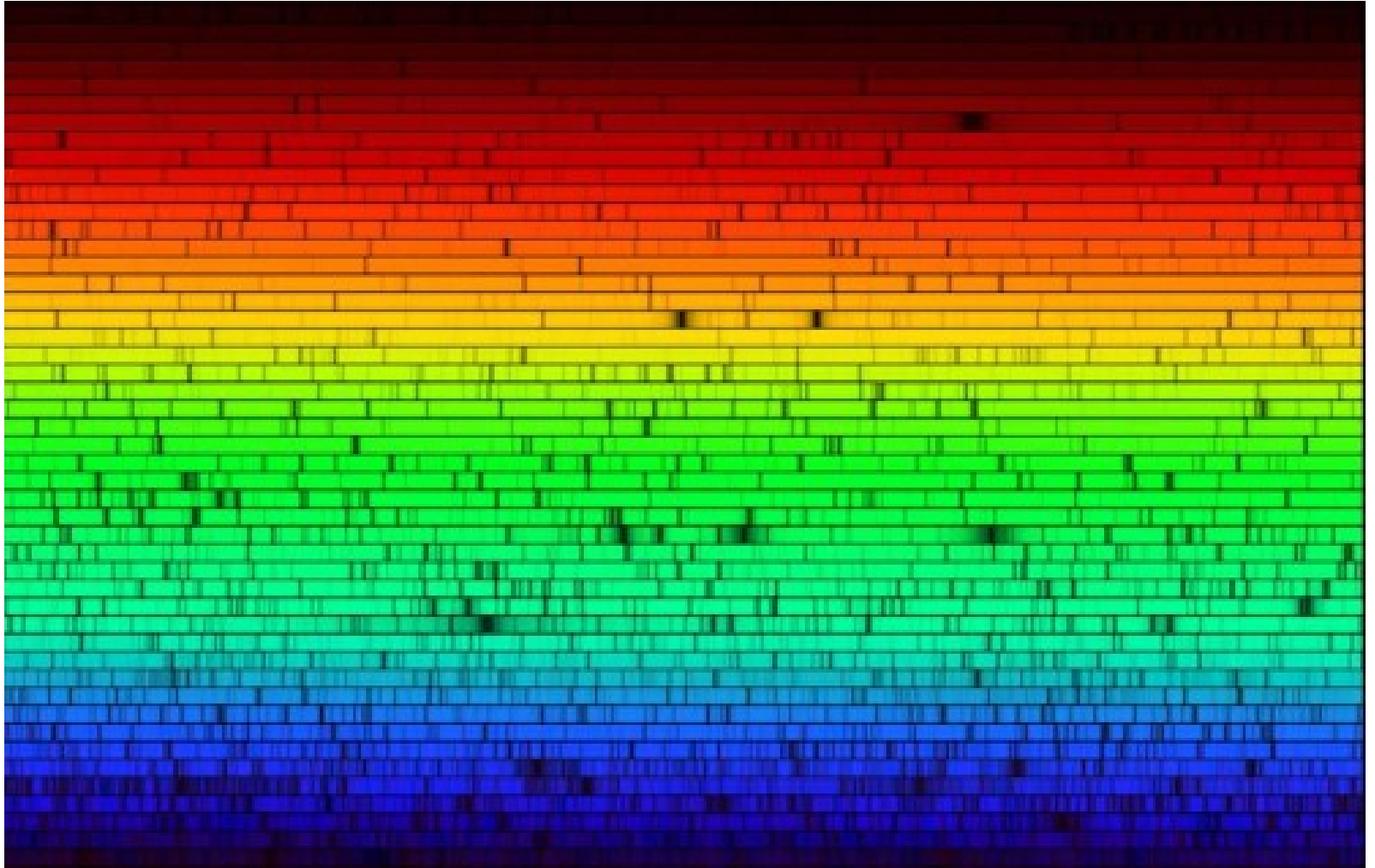


Em 1814, Joseph von Fraunhofer (1787-1826) obtém o espectro do Sol.

Este espectro é composto de um contínuo (radiação térmica) e de **linhas escuras**. Como explica-las?



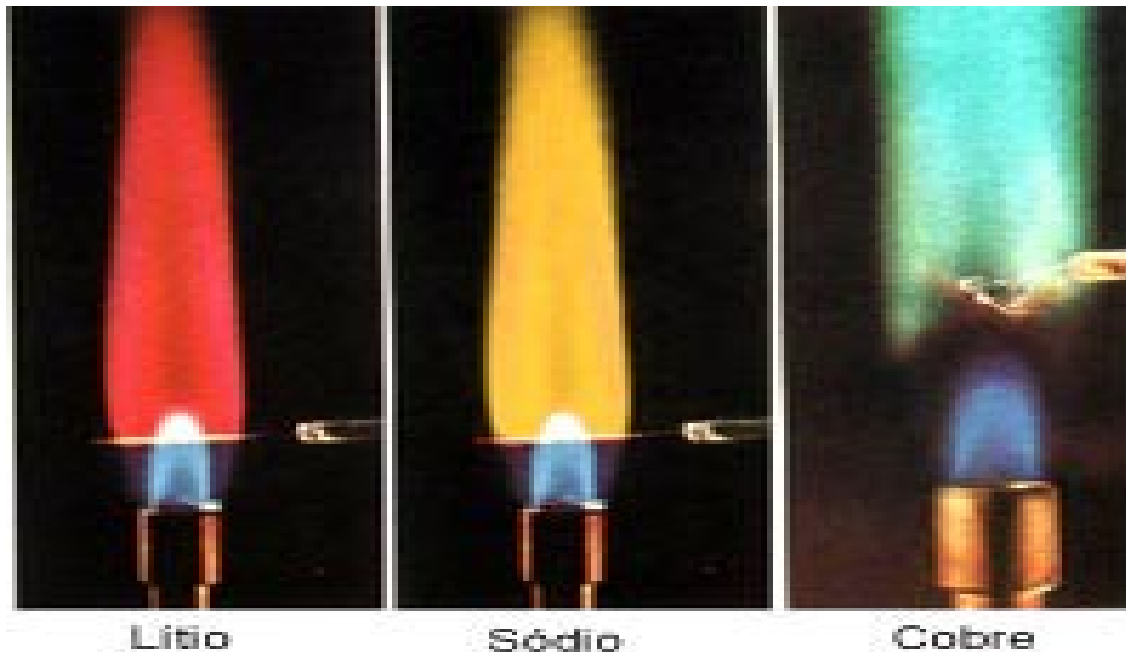
Cataloga e Determina “Comprimentos de Onda” de todo o espectro
...mas ainda não sabe porque estas linhas escuras aparecem



Invenção do Bico de Bunsen

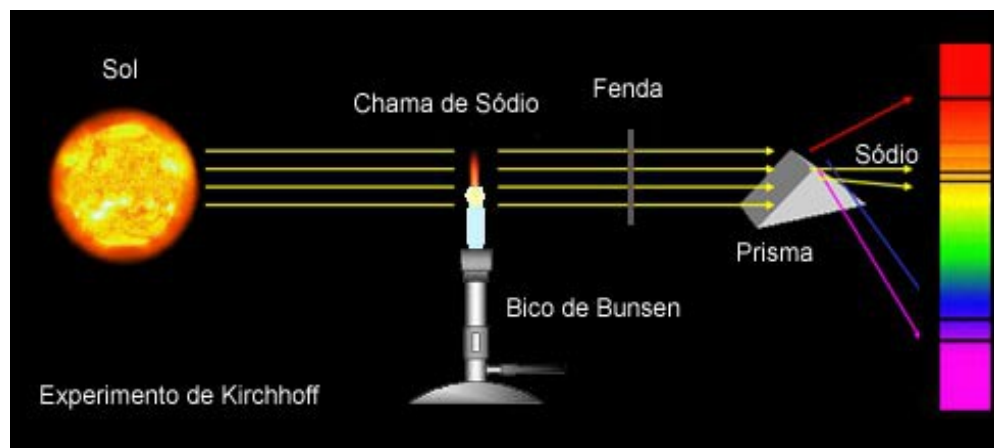
...bico de gás utilizado em laboratórios com chama incolor

Experimentos realizados com este bico revelam que quando se vaporiza algum material no bico de Bunsen, a **cor emitida** é a **da própria substância** e não a da chama do bico.



Experimentos de Kirchhoff e Bunsen

Kirchhoff sugeriu a Bunsen que a **cor da chama vaporizada** no bico de gás seria melhor observada se fosse passada através de um conjunto de lentes e um prisma.



Durante muitos dias os dois cientistas vaporizaram diversas substâncias sobre a chama do bico, entre eles o sódio, mercúrio e cálcio.

Cada elemento que era vaporizado produzia raias (linhas escuras) em diferentes posições do espectro:

o **sódio** produzia linhas na **porção amarela** do espectro, o **mercúrio** produzia linhas na **porção amarela e verde** e o **cálcio** produzia linhas em **diversas posições**, com **predominância no vermelho, verde e amarelo**.

Invenção do Bico de Bunsen

...bico de gás utilizado em laboratórios com chama incolor

Teste da Chama

Identificação de um metal
ou metalóide

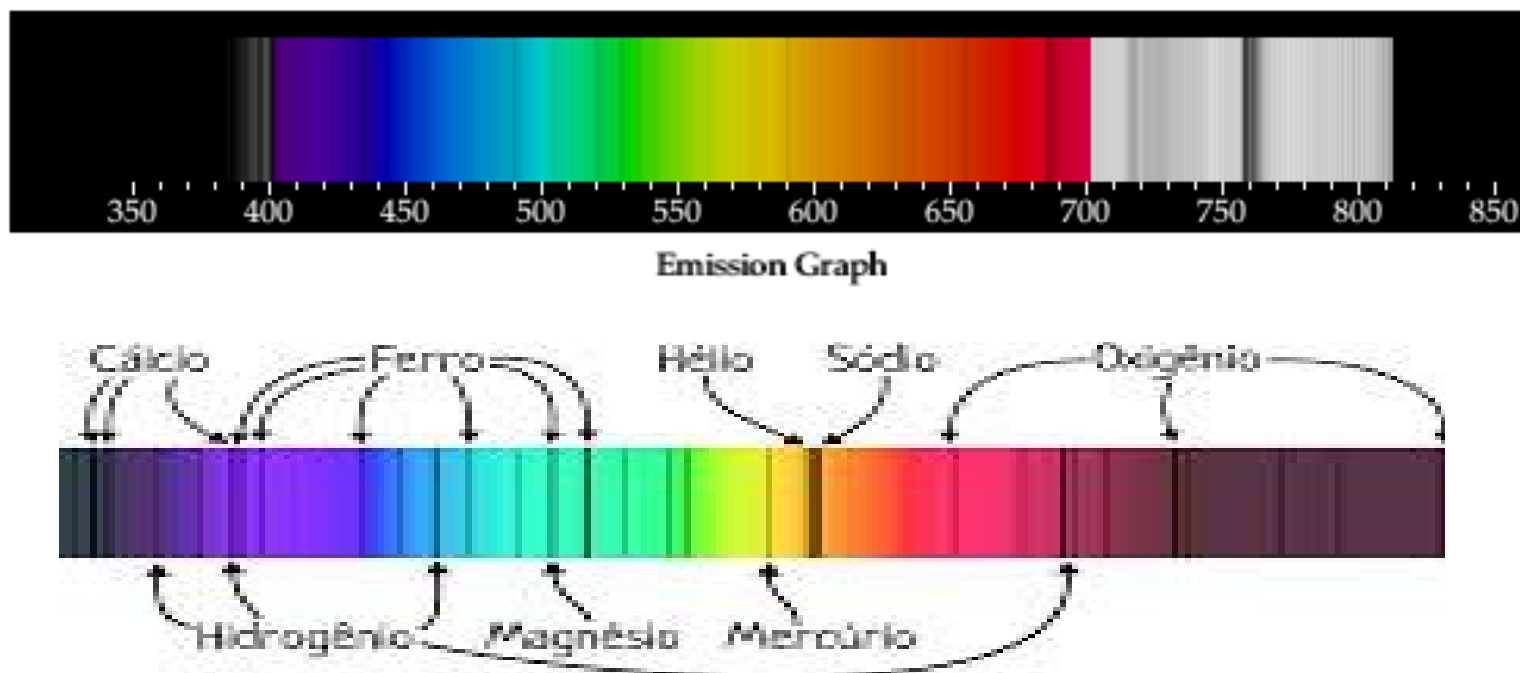


Metal	Côr da Chama
Lítio (Li)	Magenta Vermelho
Sódio (Na)	Amarelo Vermelho
Potássio (K)	Violeta Vermelho
Rubídio (Rb)	Roxo Cinzento
Césio (Cs)	Violeta
Cálcio (Ca)	Vermelho Laranja
Estrôncio (Sr)	Vermelho Vivo
Bário (Ba)	Verde
Ferro (Fe)	Dourado
Fósforo (P)	Azul Verde Pálido
Zinco (Zn)	Água Marinho
Chumbo (Pb)	Verde Cinzento Claro
Selênio (Se)	Azul Vivo
Antimônio (Sb)	Verde Pálido
Arsênico (As)	Azul
Manganês (Mn)	Verde Limão

L. C. Soares, adaptado de: <https://files.gutenberg.org/files/60374/60374-h/60374-h.htm>

O teste da chama permite identificar um metal (elemento cujos átomos têm a capacidade de deslocar facilmente os electrões das órbitas externas e que por isso são bons conductores do calor e da electricidade) ou metalóide (possue propriedades dos metais e dos não-metaís) pela cor característica que o seu sal dá à chama de um bico de Bunsen. O calor da chama excita os electrões dos íões metálicos, que emitem uma luz visível. Cada elemento tem um assinatura espectral característica. Na tabela periódica de Mendeleev, os elementos não-metaís estão localizados no lado superior direito, separados dos metais por uma linha que corta diagonalmente através da tabela periódica. Os metalóides estão localizados ao longo da linha diagonal entre os metais e os não metálicos (<https://www.thoughtco.com/perform-and-interpret-flame-tests-603740>).

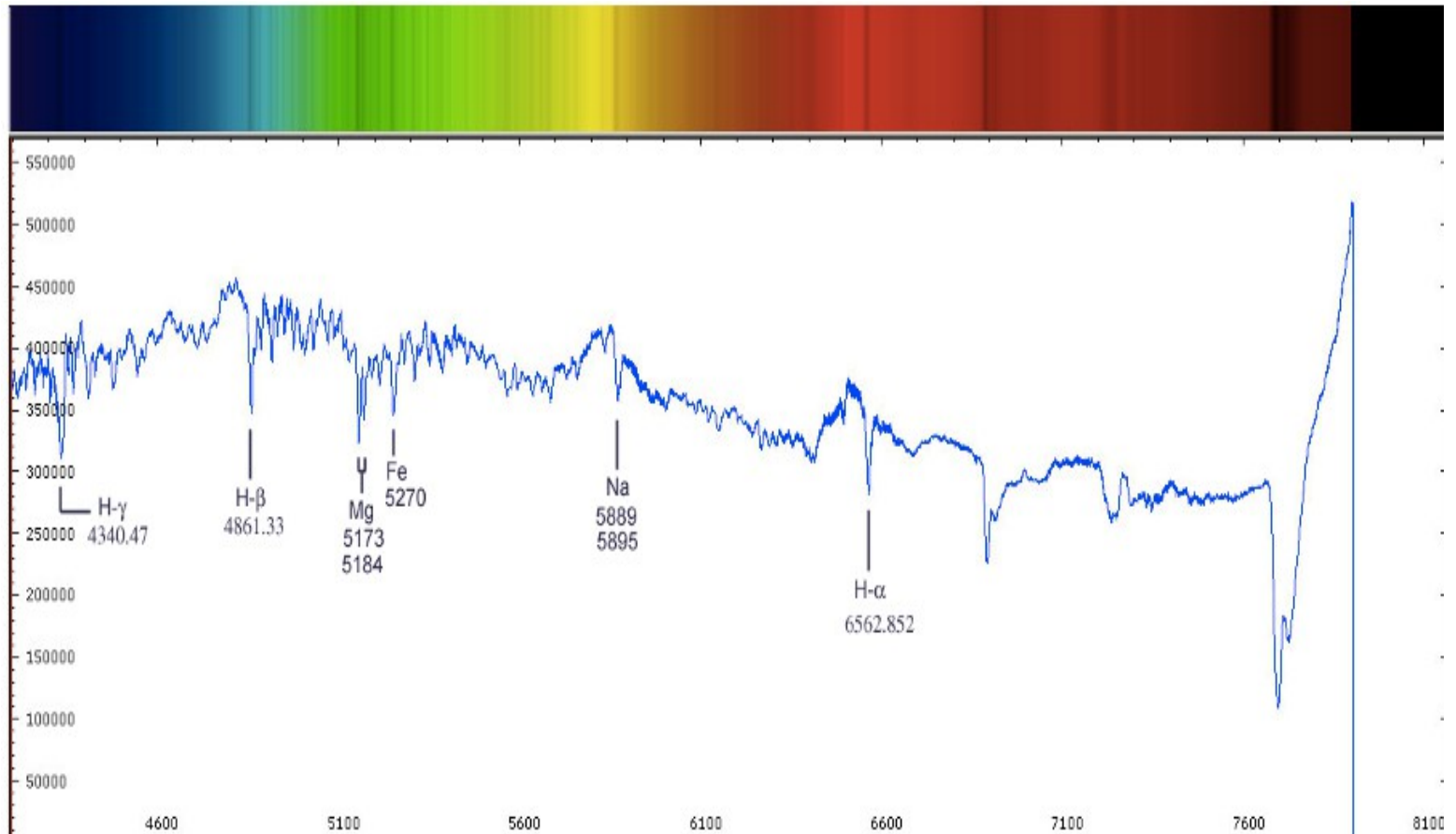
Experimentos de Kirchhoff e Bunsen



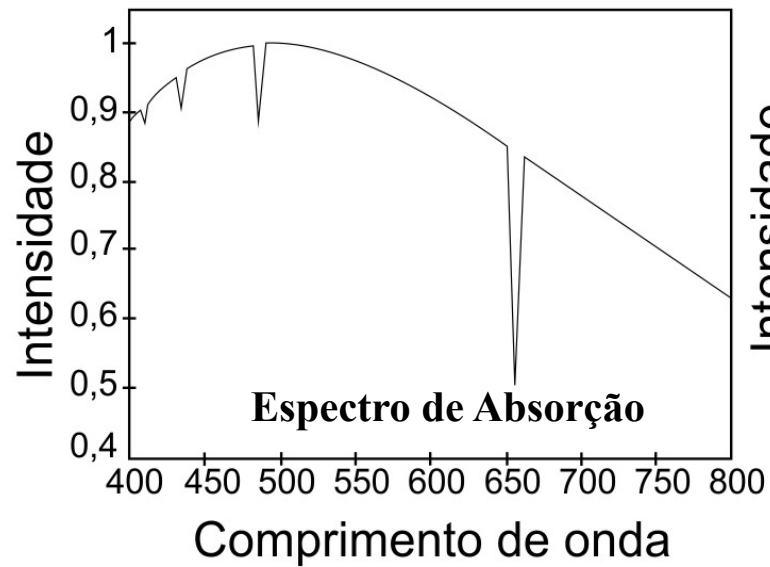
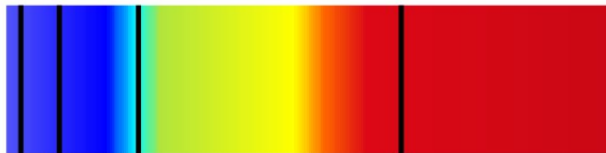
Após muitas observações Kirchhoff e Bunsen concluíram que cada elemento químico produzia suas próprias linhas, o que significava que, vistos através do prisma, cada um tinha uma assinatura própria, inconfundível.

Espectro de absorção ... e respectiva forma gráfica

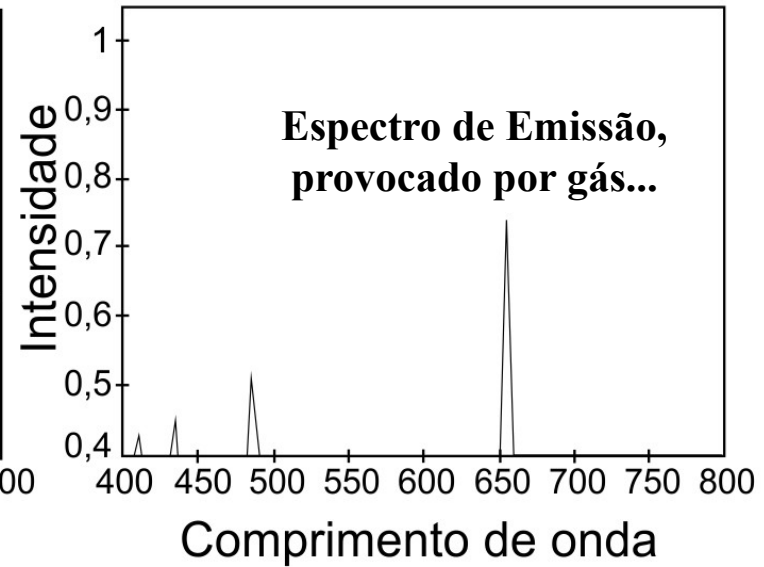
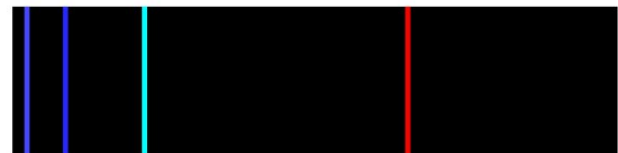
...identificação de algumas linhas



Linhas de Absorção

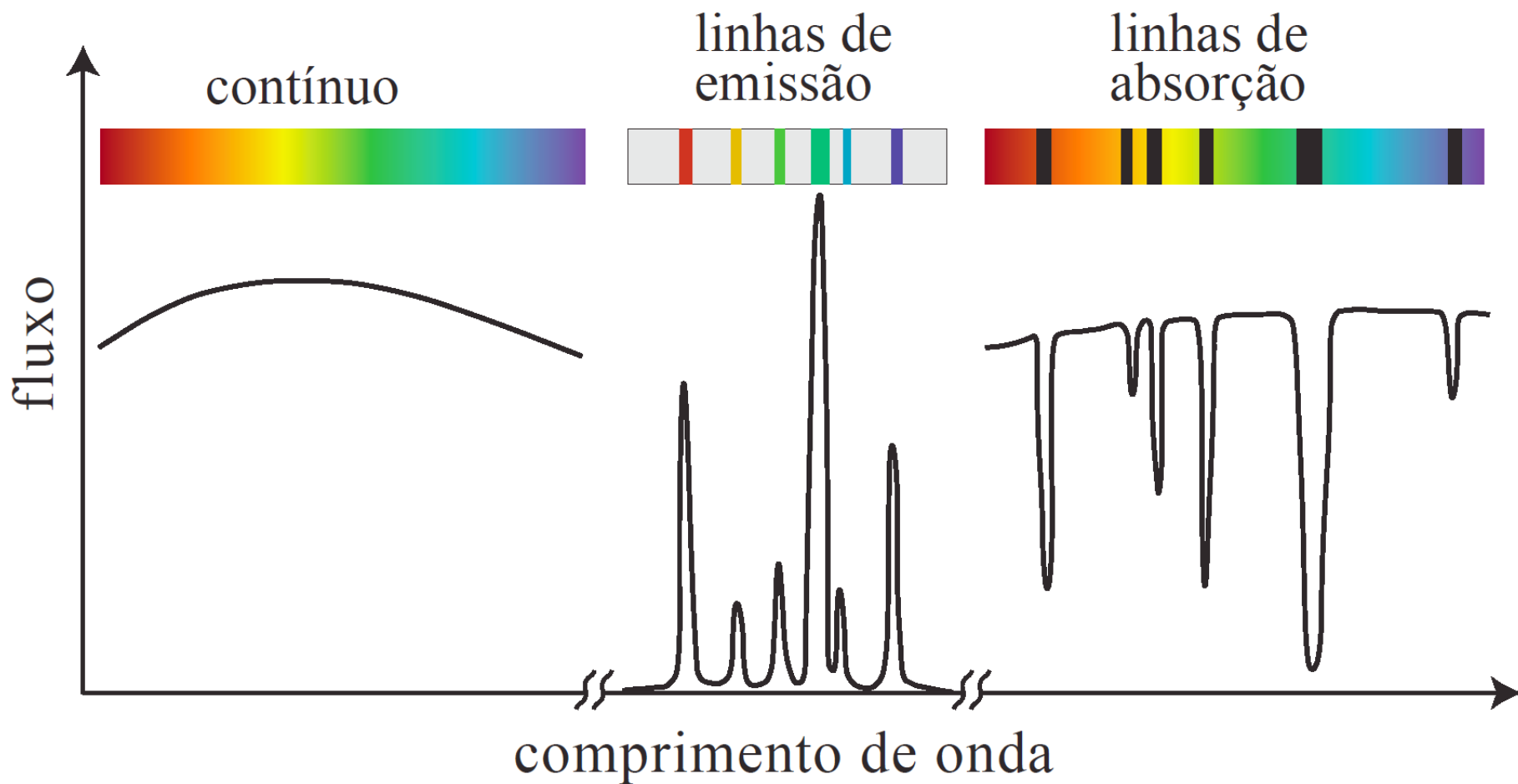


Linhas de Emissão



Leis de Kirchhoff

3 tipos de espectro observado



Leis de Kirchhoff

Nos anos 1860, Gustav Kirchhoff formula as leis que resumem os 3 tipos de espectro possíveis:

- 1ª: Um **sólido ou líquido**, ou um **gás suficientemente denso**, emite energia em todos os comprimentos de onda, de modo que produz um **espectro contínuo** de **radiação**. (Fig.1)
- 2ª: Um **gás quente de baixa densidade** emite luz cujo espectro consiste apenas de **linhas de emissão** características da composição química do gás. (Fig.2)
- 3ª: Um gás frio de baixa densidade absorve certos comprimentos de onda quando uma luz contínua o atravessa, de modo que o espectro resultante será um **contínuo superposto por linhas de absorção** características da composição química do gás. (Fig.3)

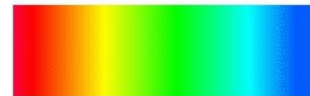
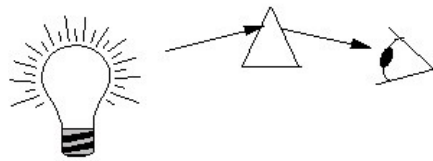


Fig.1

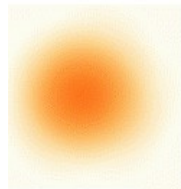


Fig.2

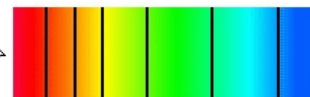
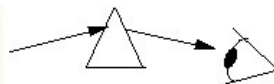
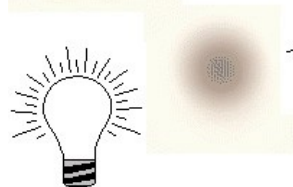


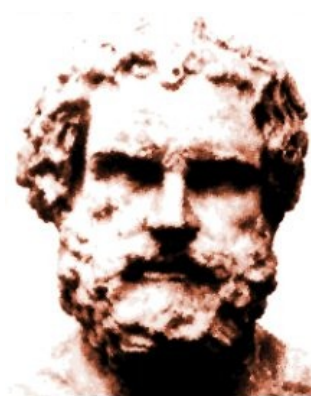
Fig.3

Qual a natureza das linhas espectrais?
...a resposta está vinculada ao conceito de átomo...

Modelos Atômicos

A noção de átomo surgiu na Grécia no séc. V a.C. proposta por Leucipo e Demócrito.

- átomo = partícula indivisível, em grego.



John Dalton
1766 - 1844



Em 1808, John Dalton sugere que os átomos de um mesmo elemento são idênticos.

Modelos Atômicos

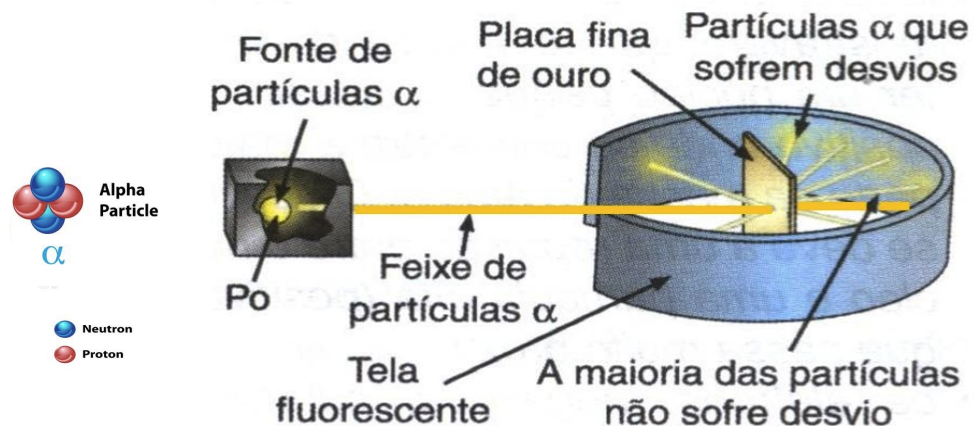


Ernest Rutherford
1871 - 1937

Em 1911, Ernest Rutherford realiza alguns experimentos e verifica que a maioria do feixe de luz que atravessa a placa metálica não se desvia significativamente da direção de incidência. Conclui que o **atomo não era maciço** e sim constituído por imensos vazios.

Propõe o primeiro modelo atômico moderno, composto por um núcleo compacto e com carga positiva, e por partículas de carga negativa que orbitam o núcleo.

Rutherford



1º Modelo Atômico



Ernest Rutherford
1871 - 1937

Propõe o primeiro modelo atômico moderno, estruturado da seguinte forma:

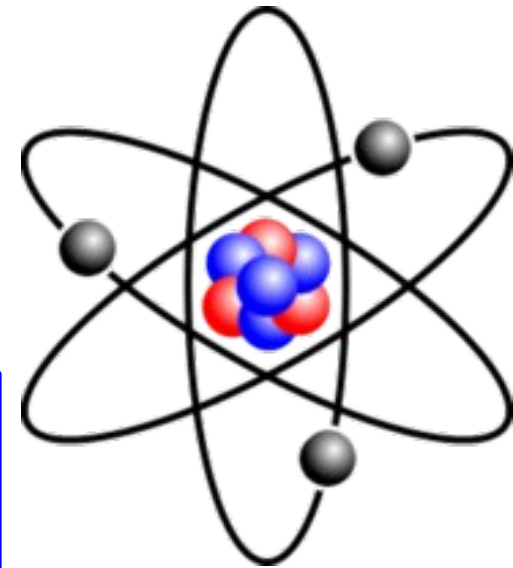
Um núcleo compacto, com carga positiva, e partículas de carga negativa que orbitam o núcleo. (Fig.)

Os elétrons não tem órbitas definidas ao redor do núcleo.

Grave problema: **elétrons em órbita estão sempre acelerados, logo deveriam emitir energia (radiação), espiralar e cair no núcleo.**

...Portanto, sem sustentação...

Se o átomo de hidrogênio fosse do tamanho de um campo de futebol, o núcleo teria 1mm de diâmetro. Revela a natureza das emissões de radiação.....



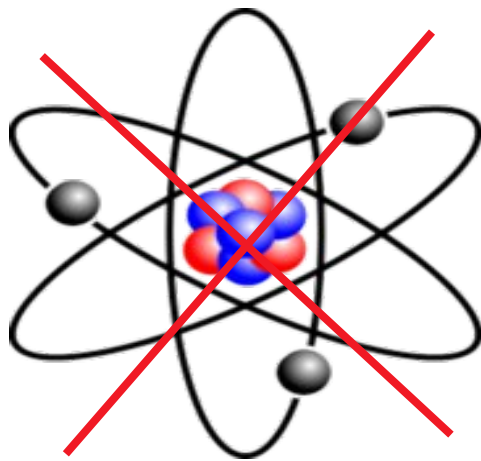
Modelo Atômico de Rutherford é substituído pelo de Bohr



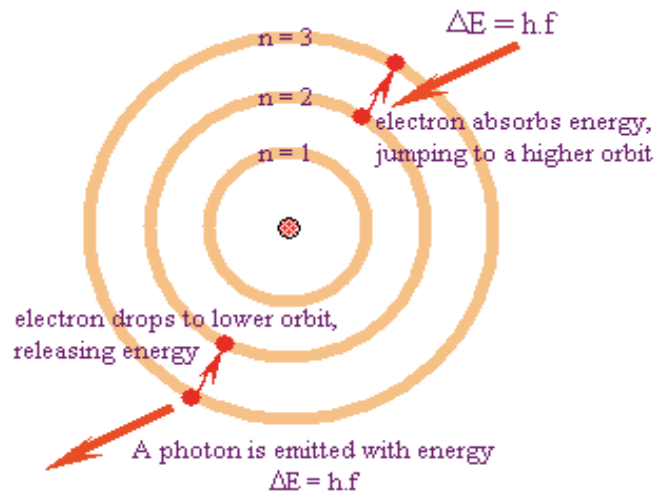
Niels Henrik David Bohr
(1885-1962)

Em 1914, Niels Bohr influenciado pelo cenário deixado pelas pesquisas de Planck e Einstein, utiliza uma “mistura” entre a (então) nova mecânica quântica e a clássica. Modifica o modelo de Rutherford e introduz o **conceito de orbitais** (órbitas bem definidas) para os elétrons.

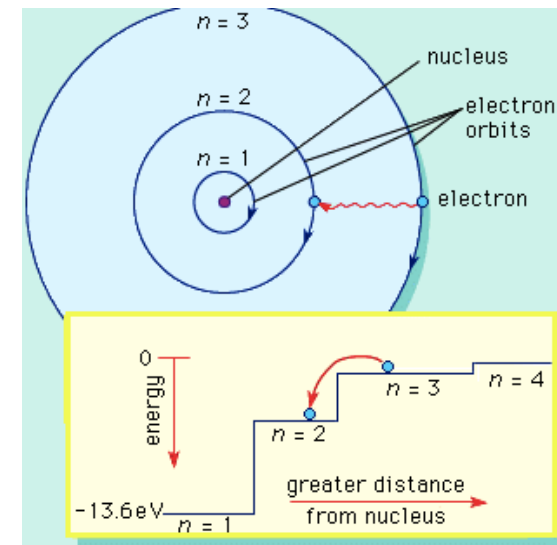
Isto significa que os **elétrons podem ocupar somente órbitas bem definidas** (quantizadas) em torno do núcleo e definidas pelo **número quântico (n)**, não emitem radiação enquanto estão na mesma órbita e que o tamanho da órbita deve conter um **número inteiro de comprimentos de onda**.



**Modelo de Rutherford
não se sustenta.....!**



Modelo Atômico de Bohr

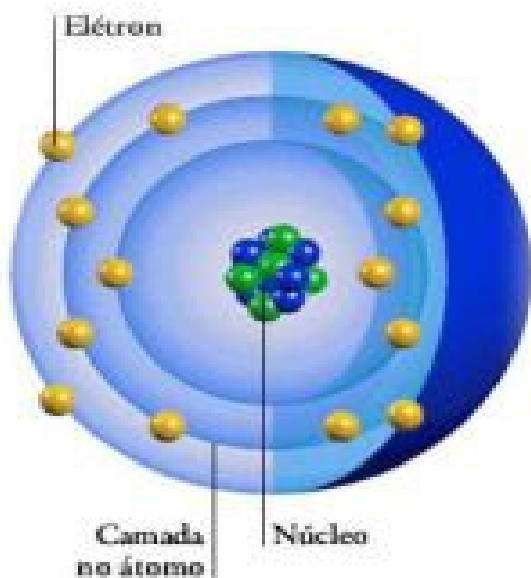


Detalhando o Modelo Atômico de Bohr (1)

Os eletrons giram em órbitas circulares ao redor do núcleo e não emitem radiação enquanto estão na mesma órbita.

Apenas algumas órbitas são permitidas definidas pelo **número quântico (n)**.

Cada órbita possui um valor de energia.



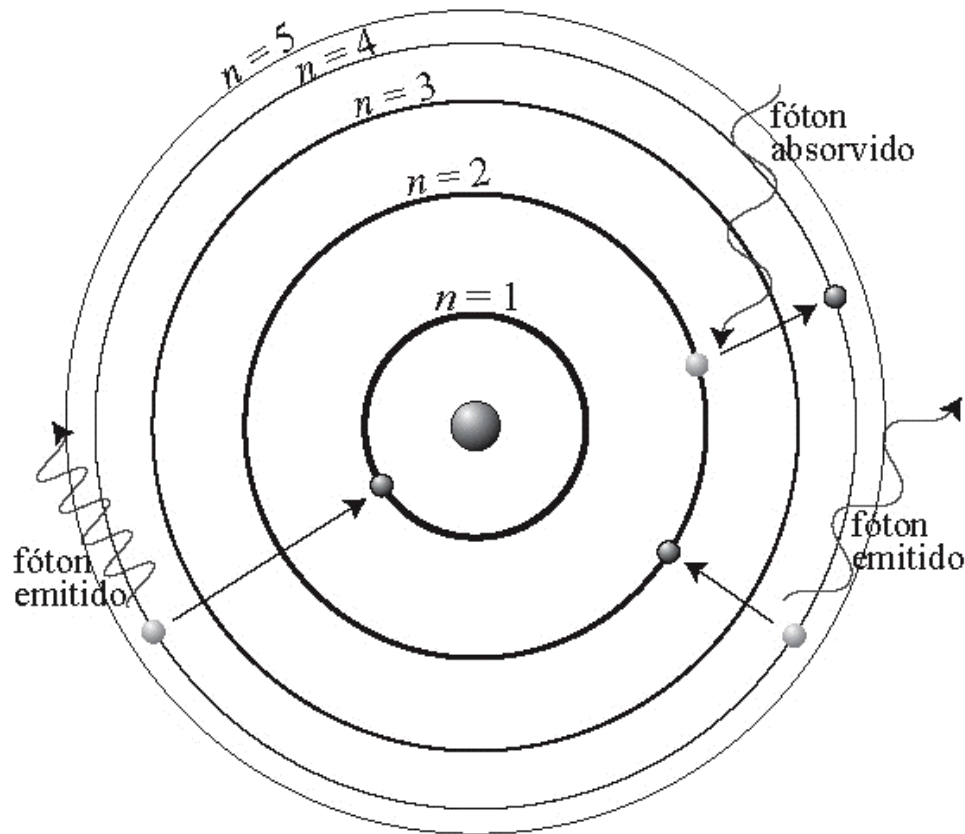
A força que mantém o elétron em órbita é a atração eletromagnética.

Qualquer processo que leve o eletron de uma determinada órbita para uma órbita superior é chamado de “**excitação**”. Se o eletron recebe energia que pode escapar do átomo, o processo é chamado “**ionização**”.

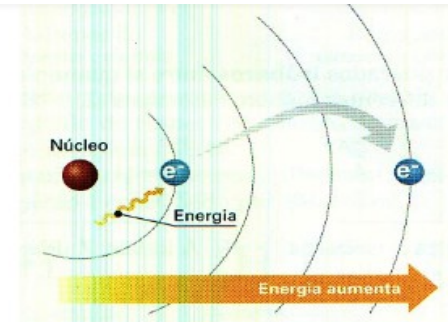
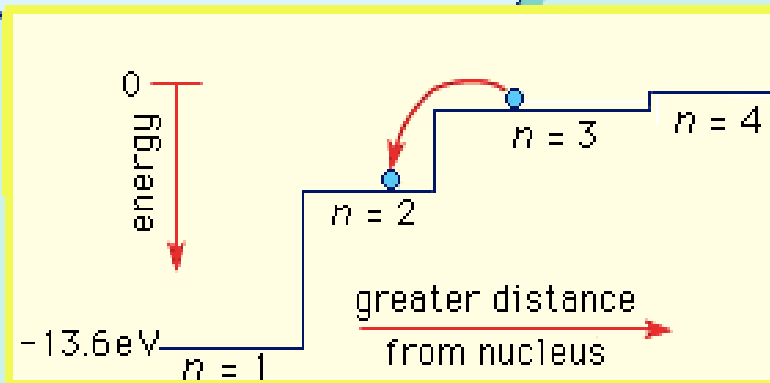
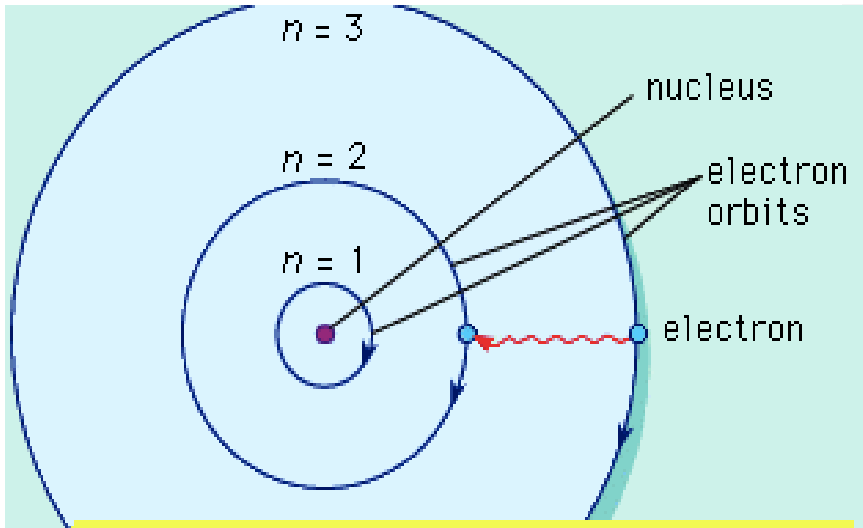
Detalhando o Modelo Atômico de Bohr (2)

Se o elétron salta de uma dada órbita para outra vai haver **ganho ou perda de energia**. Este fenômeno é conhecido como “salto quântico”.

A energia **absorvida** ou **emitida** devido ao salto quântico é definida pela diferença de energia entre os 2 níveis: n_{antes} e n_{depois} .



Os elétrons estão sujeitos a mudanças de níveis, perdendo e recebendo energia, realizando o que chamamos de povoamento e despovoamento eletrônico

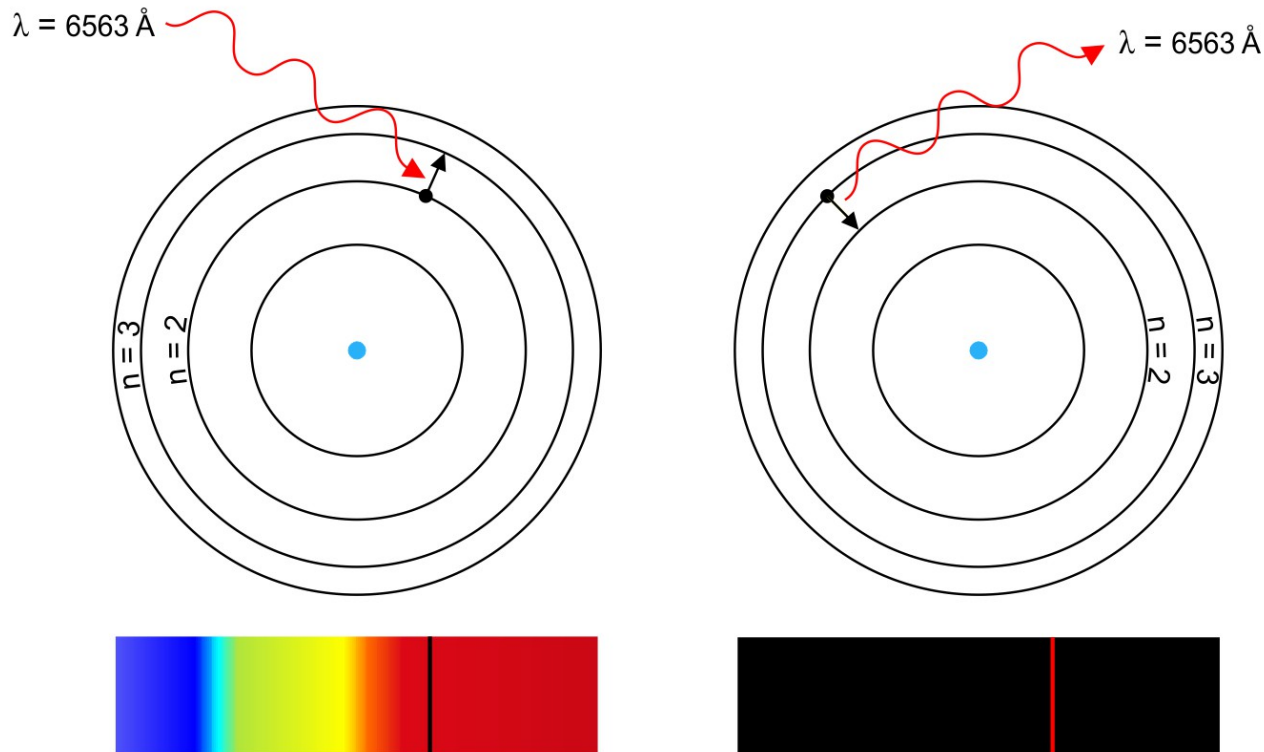


RECEBER energia = PULA para FORA

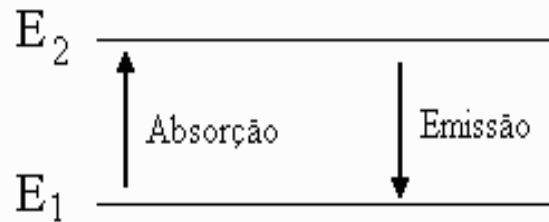


PERDER energia = CAI para DENTRO

O **povoamento** e **despovoamento** eletrônico gera as linhas de **emissão** e **absorção** que observamos nos espectros



Para um elétron sair de um nível mais baixo de energia E_1 e subir a outro com maior energia E_2 é preciso ganhar energia....portanto, **retira energia do meio**



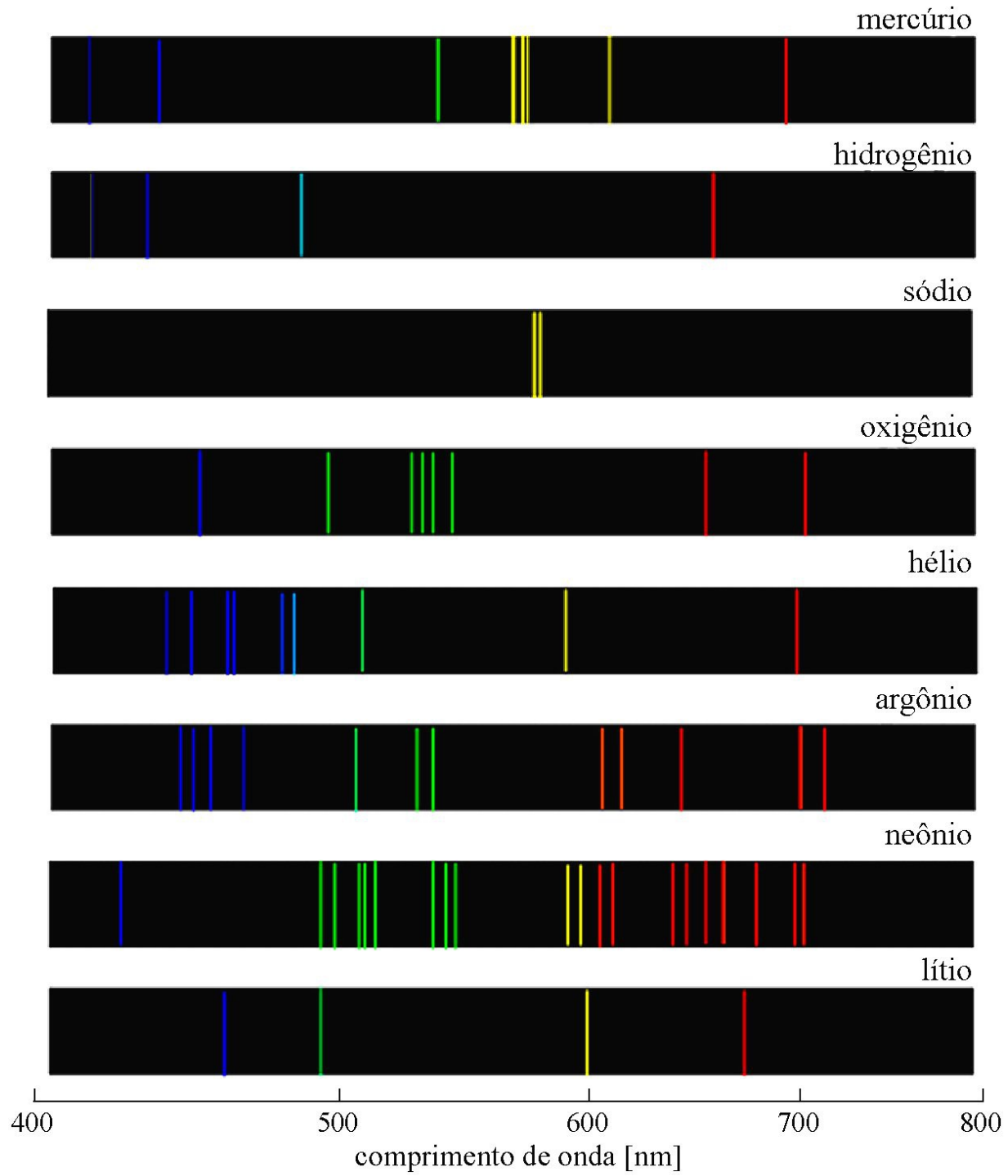
Para um elétron sair de um nível mais alto de energia E_2 e descer a outro com menor energia E_1 é preciso perder energia...portanto, **liberar energia para o meio**

...no processo de “perda de energia” dos elétrons ocorre a emissão de luz...



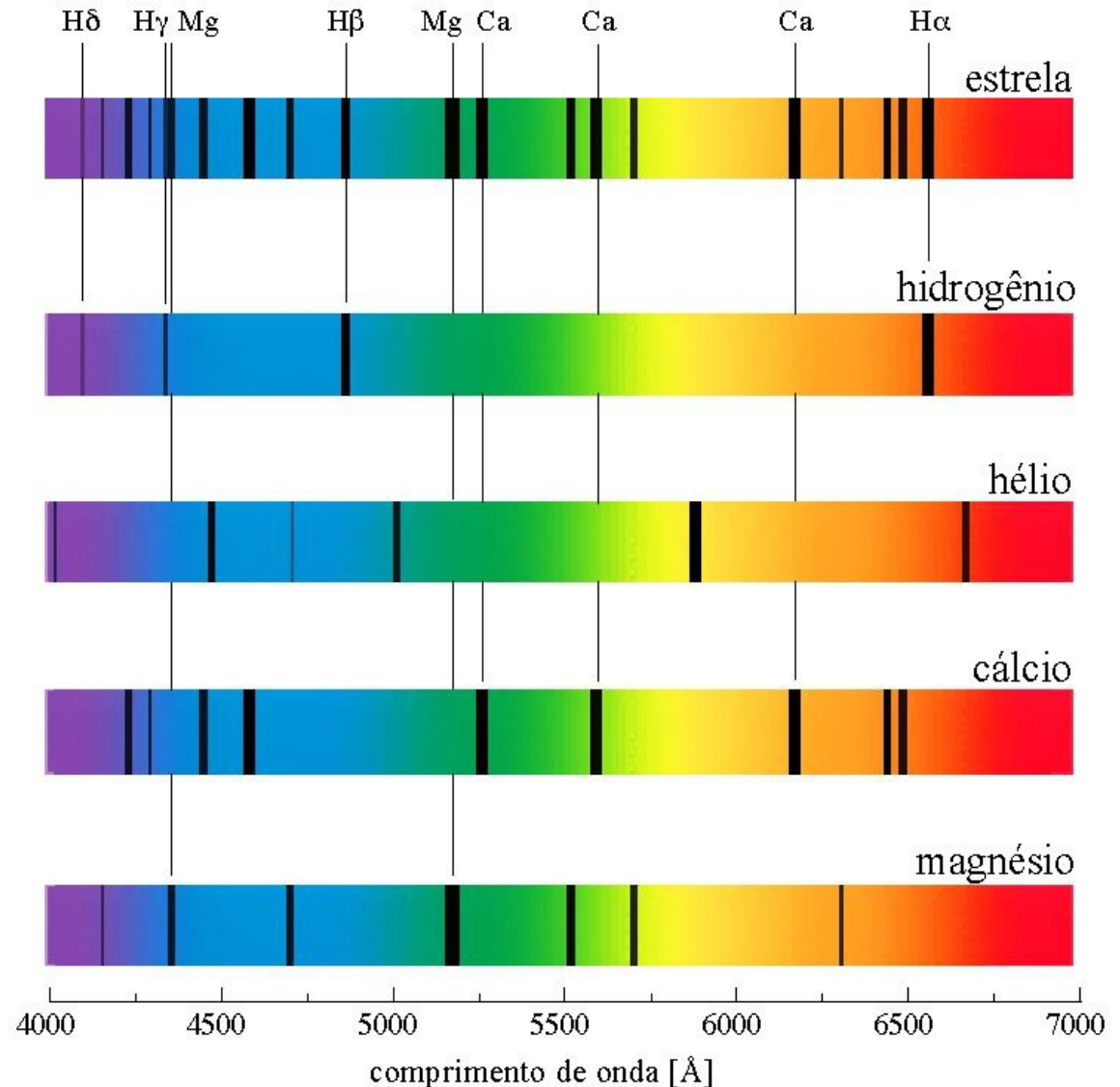
Linhas Espectrais de diversos elementos químicos

O espectro de um elemento é a assinatura de cada elemento, é como sua impressão digital.



Linhas espectrais de absorção superpostas a um espectro contínuo de uma dada estrela e a identificação dos elementos químicos

O espectro de uma estrela é usado para determinar sua composição química.



Espectro contínuo, identificação dos elementos químicos pelas raia de absorção e emissão



Continuous spectrum



Absorption spectrum of sodium (Na)



Absorption spectrum of mercury (Hg)

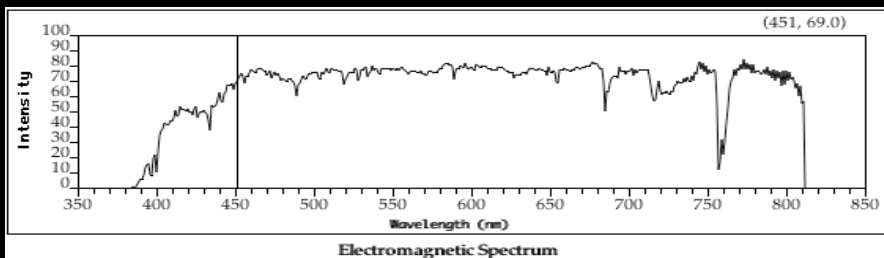


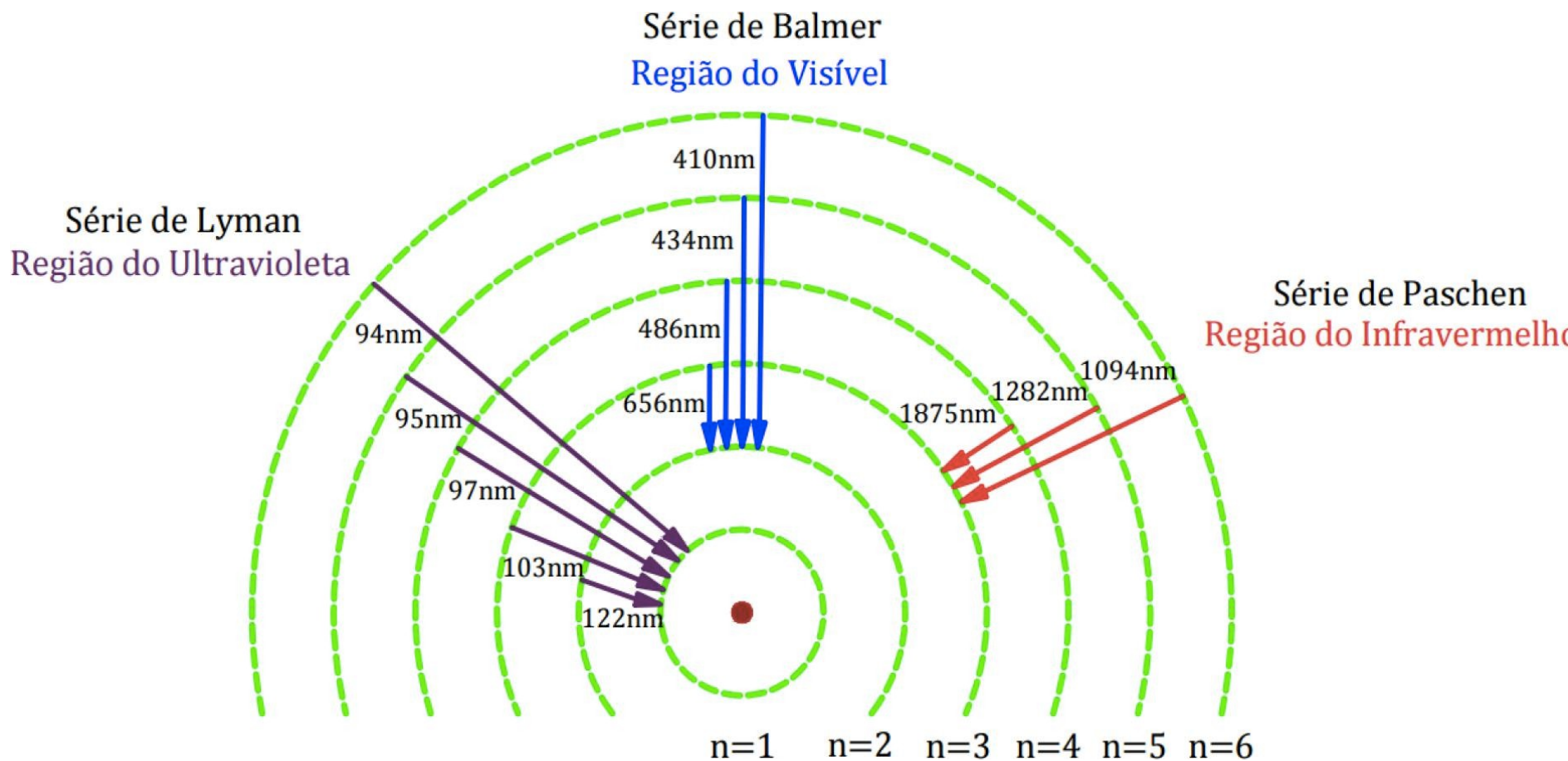
Absorption spectrum of lithium (Li)



Emission spectrum of lithium (Li)

O espectro de um elemento é a assinatura de cada elemento, químico e é como sua **impressão digital**.





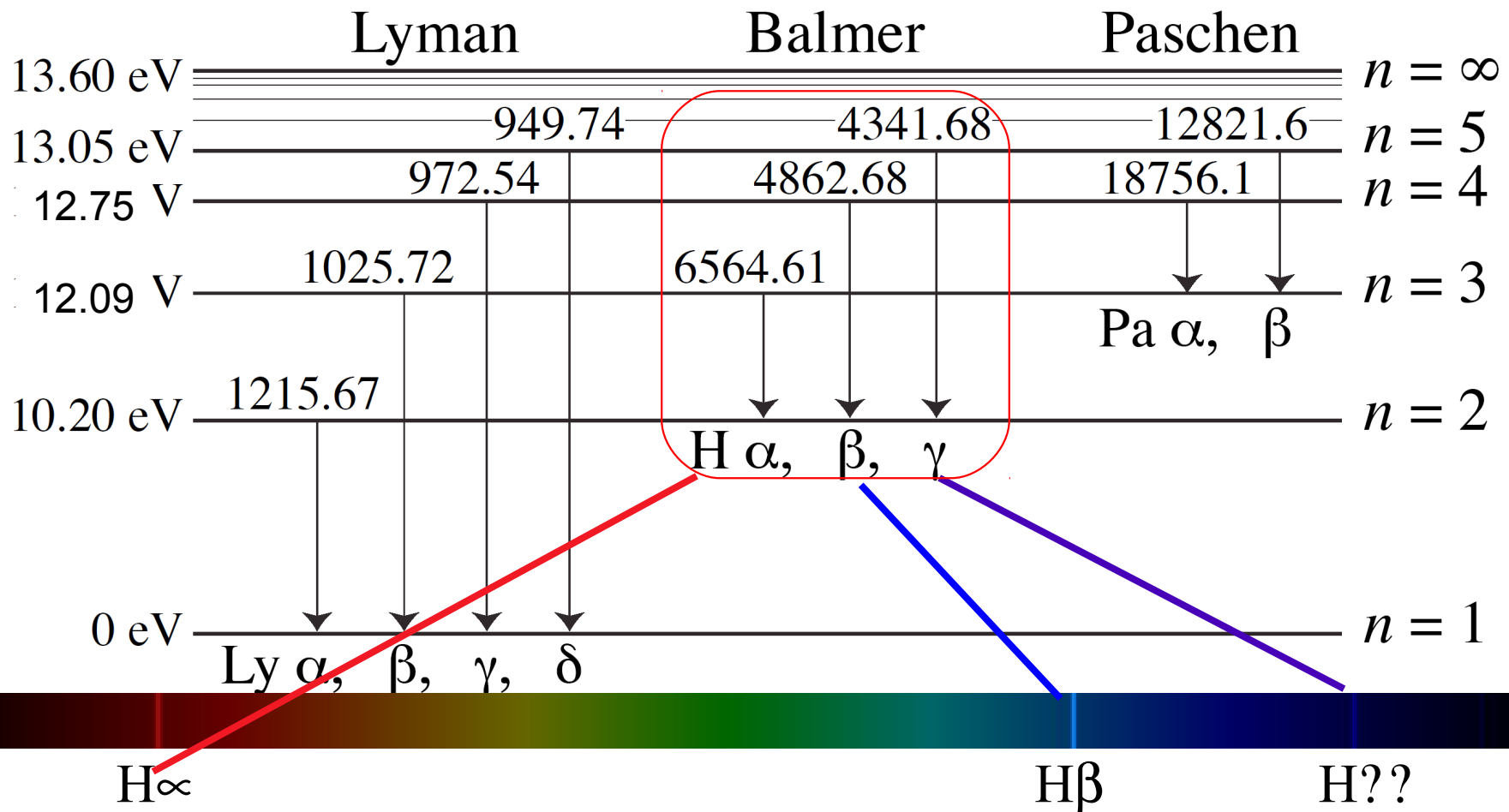
Linhas do Hidrogênio

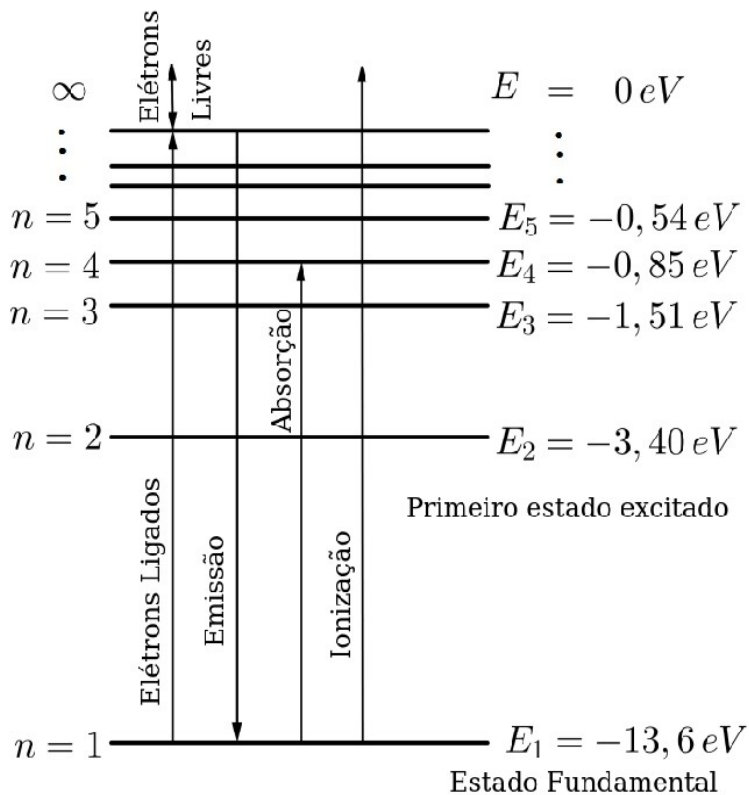
1885, Johann Balmer dá fórmula para uma série de linhas do Hidrogênio no **visível**.

1906, Theodore Lyman descobre a linha $\text{Ly}\alpha$ no **ultravioleta**.

1908, Friedrich Paschen descobre a série no **infravermelho**.

1914, Niels Bohr explica todas estas séries com seu modelo atômico.





O nível de energia mais elevado corresponde ao **número quântico $n = \infty$** , que corresponde à energia total $E = 0$

Nesta situação o elétron encontra-se removido do sistema e se diz que ele não está mais “ligado” ao átomo.

O átomo de hidrogênio, sem o elétron, está agora no estado ionizado.

A energia mínima para se conseguir ionizar o átomo de hidrogênio é de $13,6 \text{ eV}$, como mostra o diagrama ao lado

Formação de Linhas Espectrais

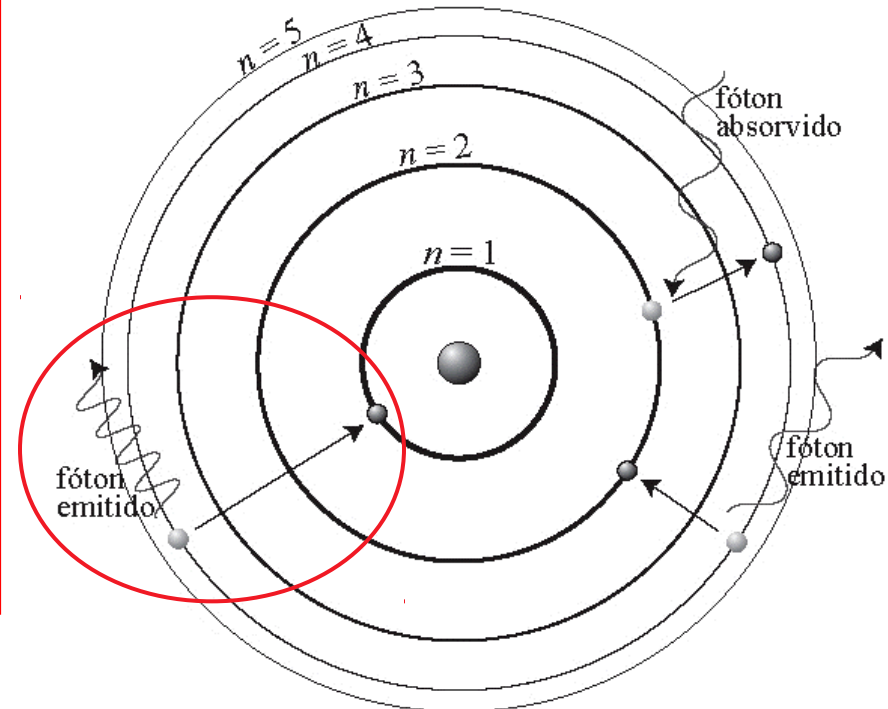
- A diferença de energia de dois níveis, $\Delta E = E_2 - E_1$ é:

$$\Delta E = +13,6 Z^2 \left[\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right] \text{eV}$$

Para o Hidrogênio ($Z = 1$), a transição do nível $n = 4$ para $n = 1$ produz a emissão de um fóton de:

- Energia 12,73 eV.
- Frequência $3,083 \times 10^6$ GHz
- Comprimento de onda 972,5 Å

Z - quantidade de prótons existentes no núcleo do átomo de determinado elemento químico.



Linhas Espectrais

...a viabilização na identificação dos elementos químicos

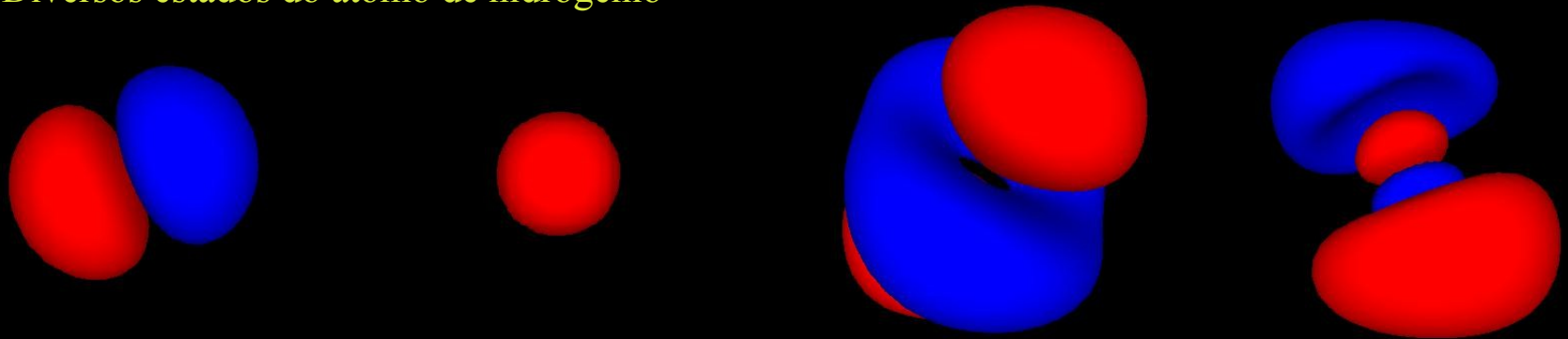
Cada elemento químico produz seu próprio “conjunto-padrão” de linhas espectrais.

O modelo de Bohr é bom para o **Hidrogênio** e elementos com a mesma configuração eletrônica.

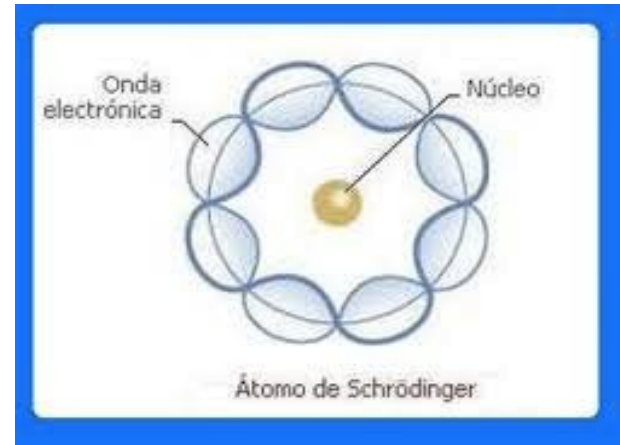
Para outros elementos é necessário um modelo quântico mais completo.

- 1925, equação de Schrödinger (átomo de Schrodinger).
- Não há órbitas, os **elétrons são uma “nuvem de probabilidades”**.

Diversos estados do átomo de hidrogênio



Átomo de Schrodinger

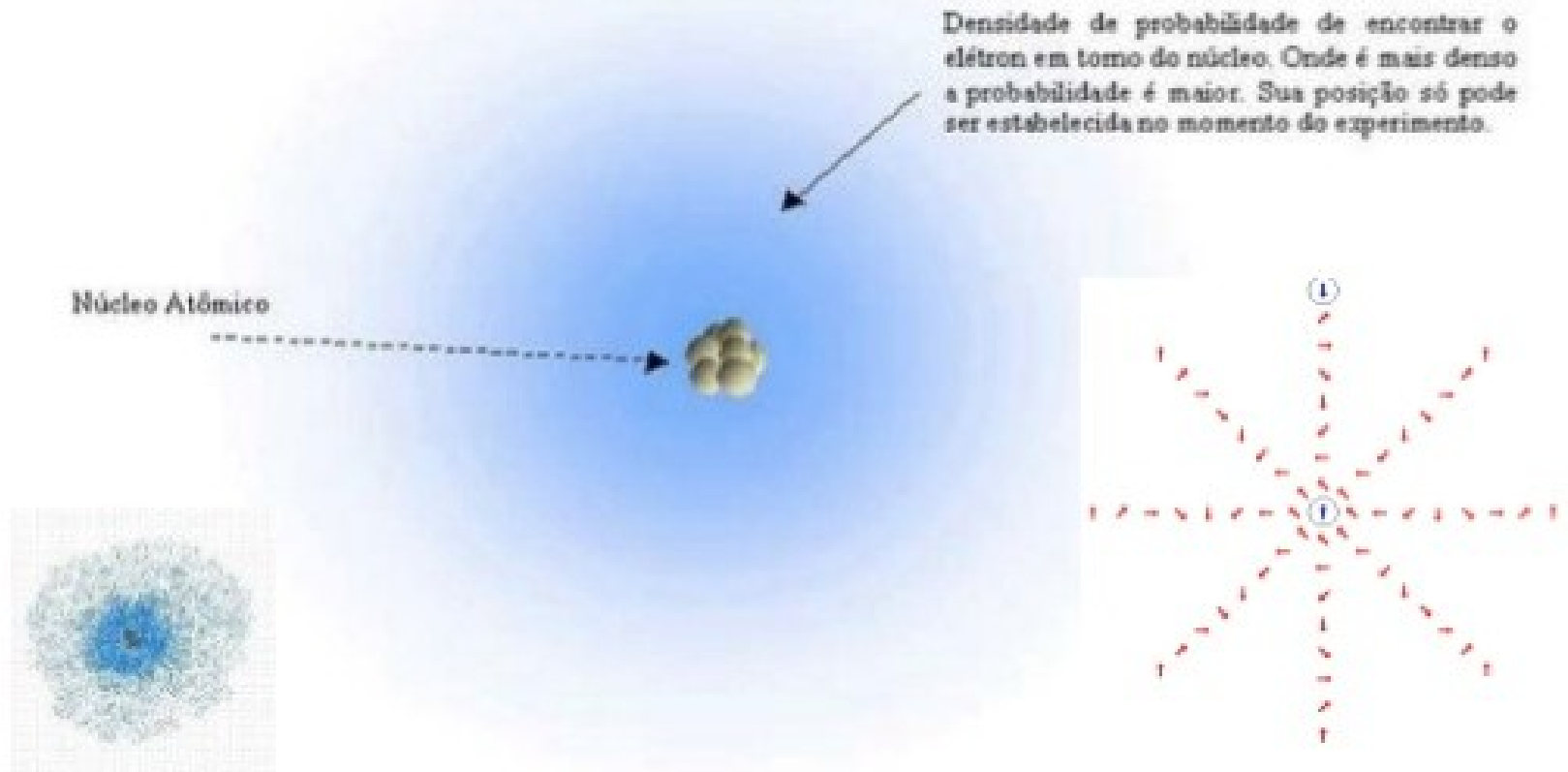


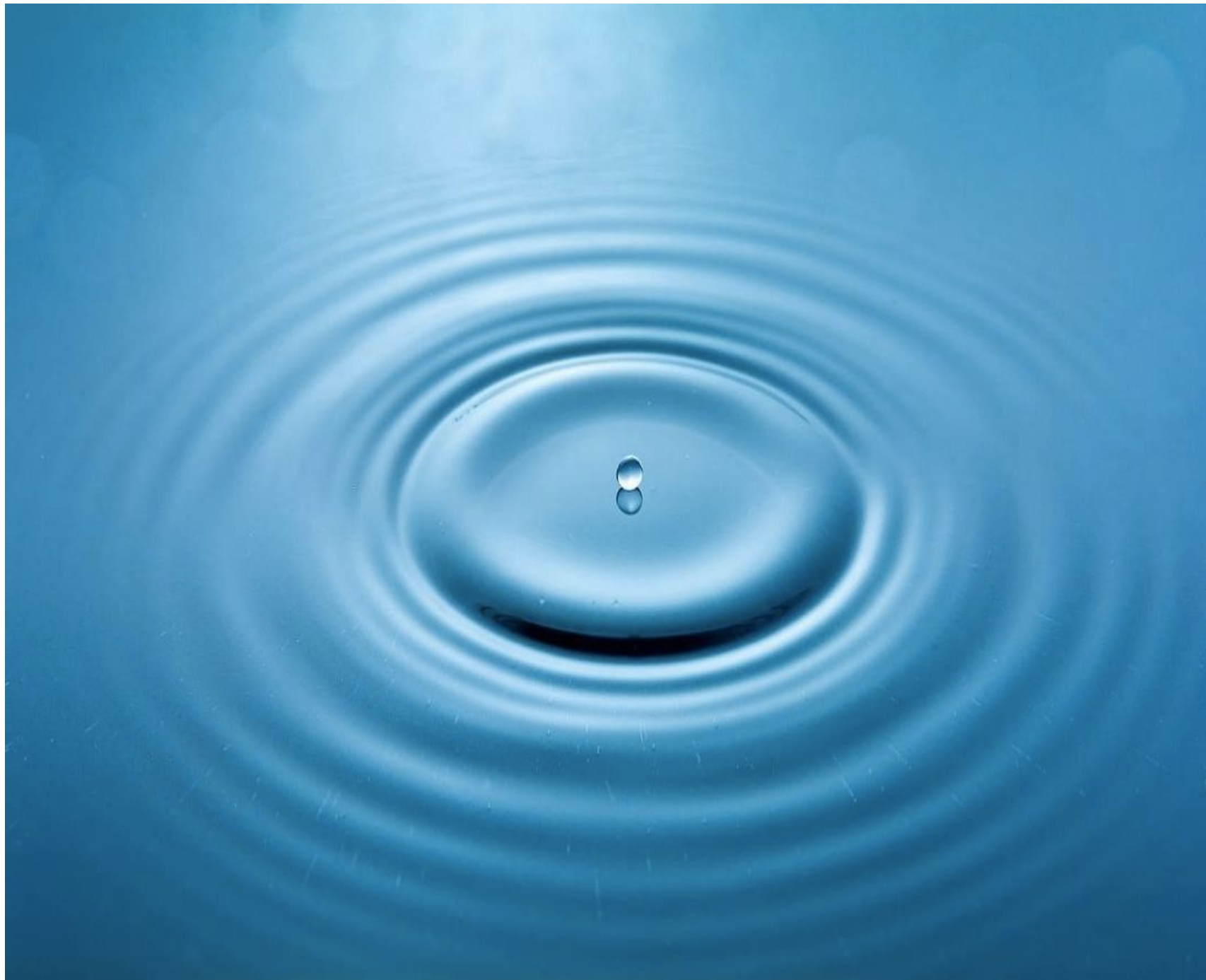
Em 1924, como resultado de sua tese de doutorado, **de Broglie** postula que partículas também se comportam como ondas. Relaciona o comprimento de onda (λ) com a quantidade de movimento (**p**) da partícula: $\lambda = h/p$

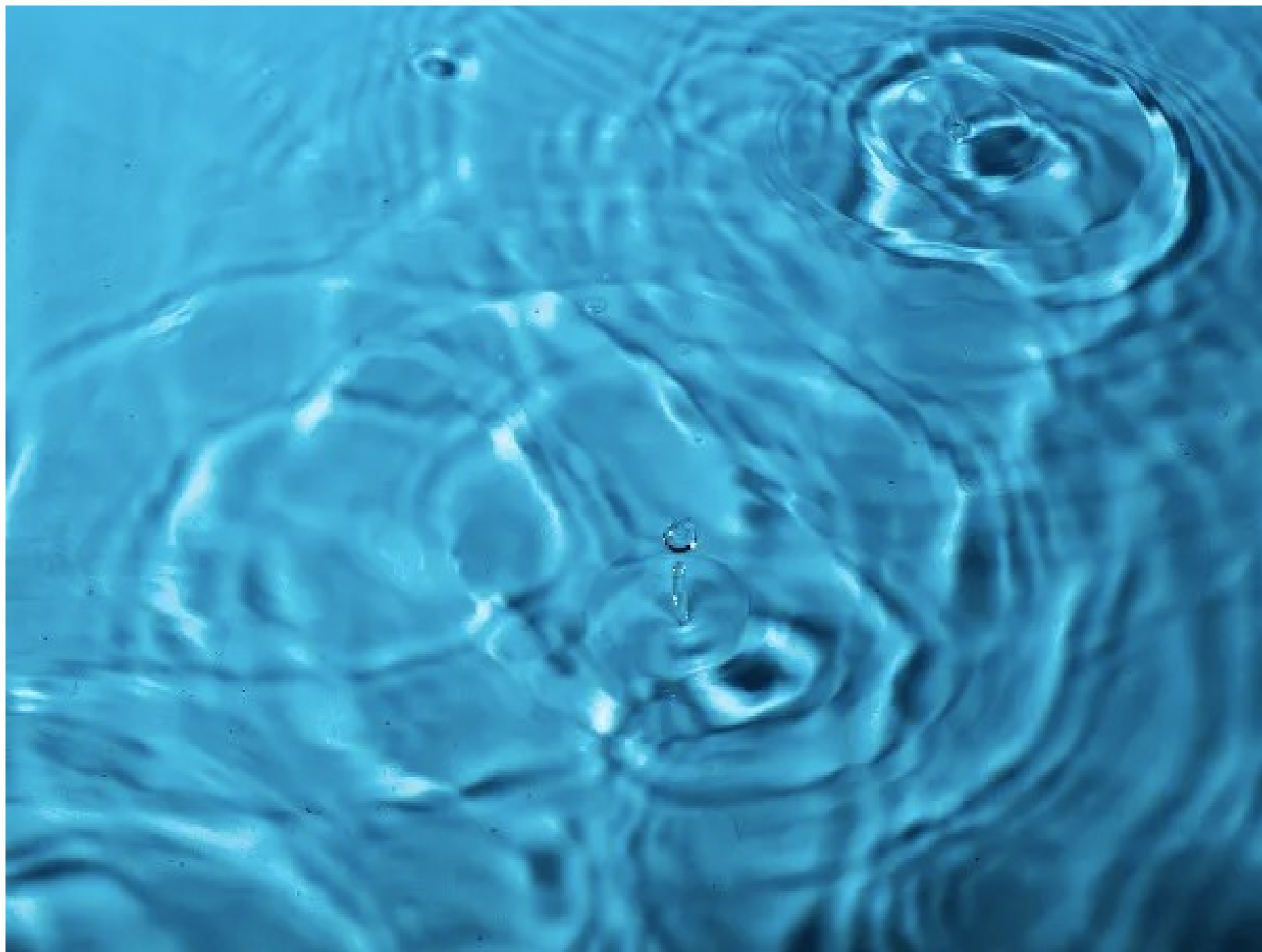
Influenciado pelos resultados de **de Broglie**, **Schroendinger** considera o elétron como uma **onda de matéria**.

Cada onda é descrita por uma **equação matemática**, que permite calcular a **probabilidade** de encontrar o elétron em uma dada região do espaço.

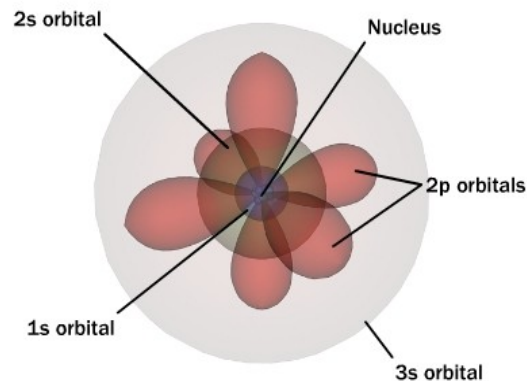
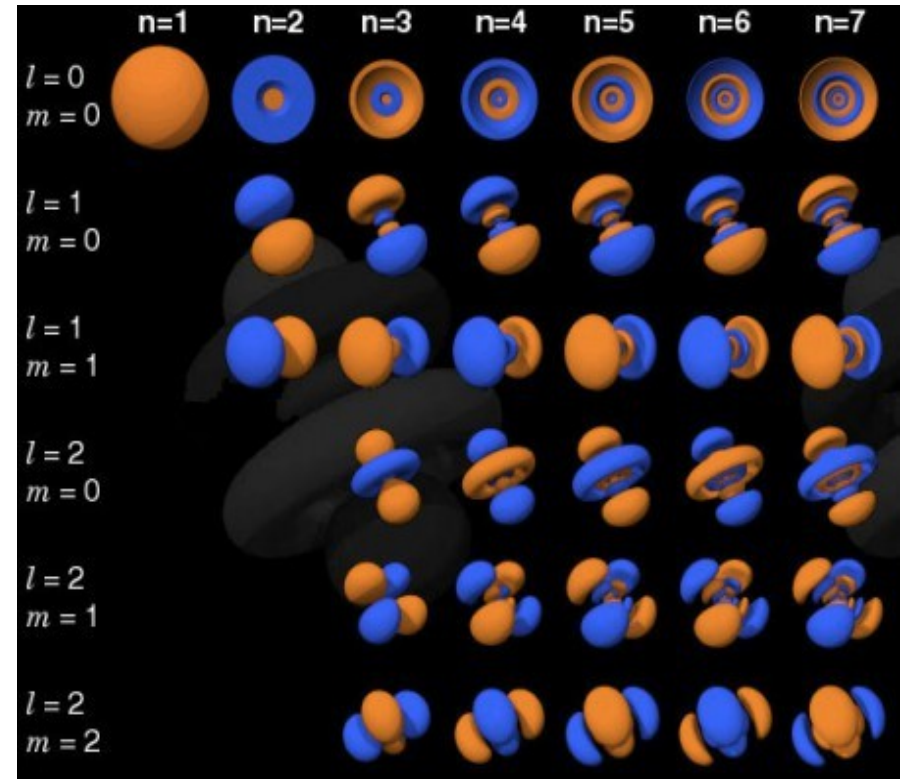
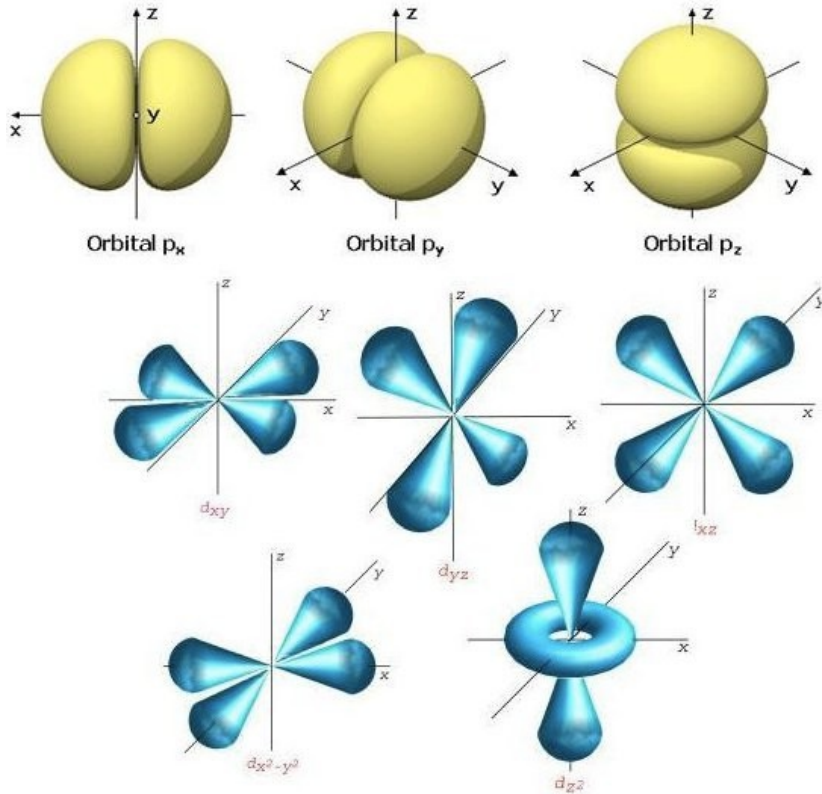
Modelo atômico de Schrödinger - A partir das equações de Schrödinger não é possível determinar a trajetória do elétron em torno do núcleo, mas, a uma dada energia do sistema, obtém-se a região mais provável de encontrá-lo.







Orbitais Atômicos e Moleculares

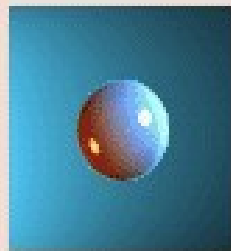


Evolução de Modelos de Átomos

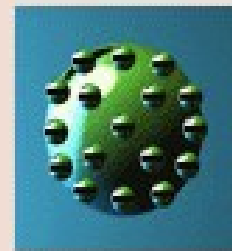
A EVOLUÇÃO DOS MODELOS ATÔMICOS



2.200 anos



100 anos

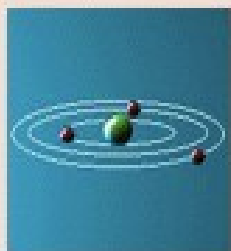


400 a. C. - Modelo de Demócrito.
Bolinha maciça.

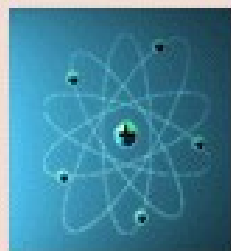
1808 - Modelo de Dalton.
Bolinha maciça baseada
em resultados experimentais.

1903 - Modelo de Thomson.
"Pasta" positiva incrustada
de elétrons negativos.

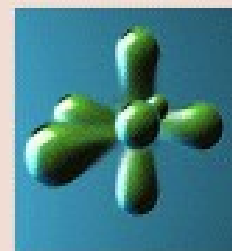
8 anos



2 anos



10 anos



1911 - Modelo de Rutherford.
Núcleo positivo, elétrons
girando em órbitas circulares.

1913 - Modelo de Rutherford - Bohr.
Semelhante ao de Rutherford,
porém com órbitas quantizadas.

1923 - Modelo de Orbitais.
O elétron considerado como uma
partícula-onda e situado em orbitais.