

## Aula 09

Revisão: Dualidade Onda-Partícula e Efeito Doppler

Corpo Negro

Formação de Linhas Espectrais

Modelos Atômicos Clássicos

IAGUSP

Sandra dos Anjos

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

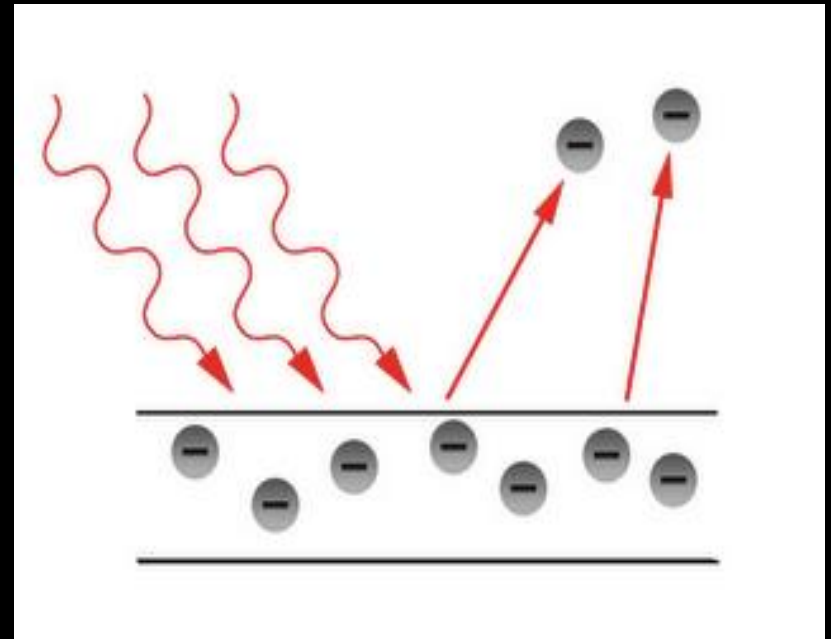
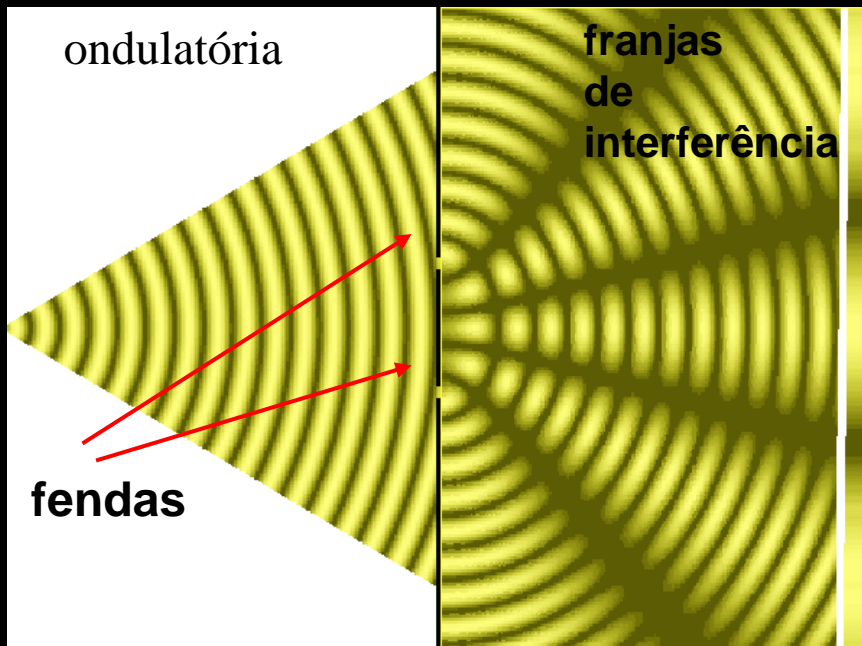
# Natureza da luz

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

Experimentos realizados mostram evidências de natureza corpuscular e ondulatória

Thomas Young - 1801

Einstein 1905

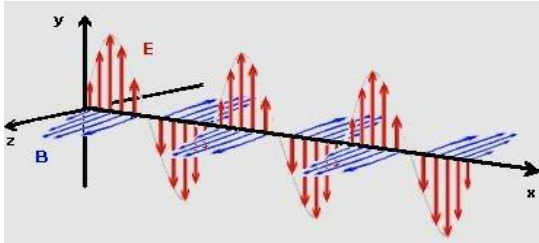


Difração e  
Interferência da luz

Efeito Fotoelétrico  
verificado experimentalmente pelo físico  
americano Robert Millikan.

# Síntese, onde se observa correlações entre estas propriedades

## 4 Propriedades das Ondas Eletromagnéticas (OE)



1. Velocidade de propagação,  $c$ , no vácuo é constante.
2. Direção de propagação é perpendicular a ambos os campos, o elétrico ( $E$ ) e o magnético ( $B$ ), que são **perpendiculares um em relação ao outro**.
3. Direção da polarização é a mesma de ( $E$ ).
4. Intensidade da onda depende da magnitude dos campos  $B$  e  $E$ .
5. Equações que relacionam as variáveis de uma onda eletromagnética

$$c = \lambda \cdot \nu$$

veloc.da luz

$$\nu = c/\lambda$$

frequência

$$\lambda = c/\nu$$

comprimento de onda



**Equação da energia de um fóton (partícula)**

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

$$\text{Então, } E = h c/\lambda$$

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

# Ondas Eletromagnéticas

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

Christian Doppler, em 1842, e Hippolyte Fizeau, em 1848, explicam a **mudança de frequência** de uma onda quando a **fonte está em movimento** em relação ao observador.

Este fenômeno ocorre também com ondas mecânicas (som, p.ex.) e ondas eletromagnéticas (luz, p.ex.).



Christian Andreas Doppler  
(1803 - 1853)



Hippolyte Fizeau  
(1819 - 1896)

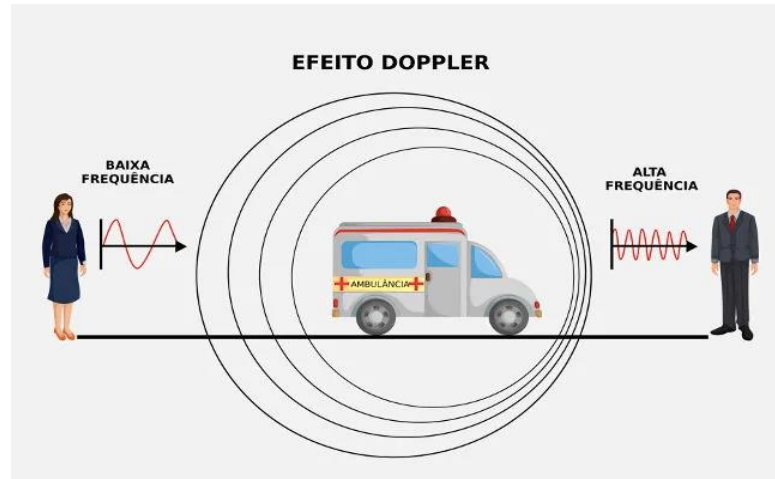
Exemplo cotidiano:

sirene de um carro de polícia

Fonte se afasta  
O som fica mais grave

Explicação:

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

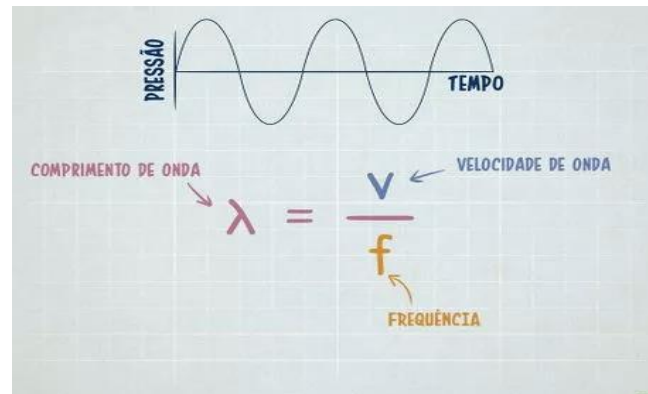


Fonte se aproxima  
O som fica mais agudo

Explicação:

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

Direção do movimento  $\longrightarrow$



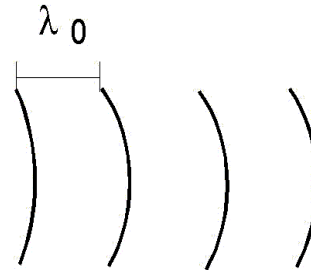
# Efeito Doppler

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

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

Fonte em repouso, emitindo luz a um comprimento de onda  $\lambda_0$ .

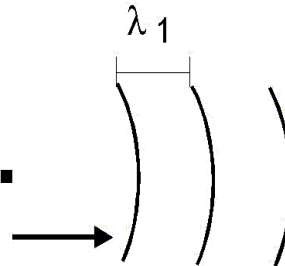
repouso ■



$$v_0 = \frac{c}{\lambda_0}$$

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

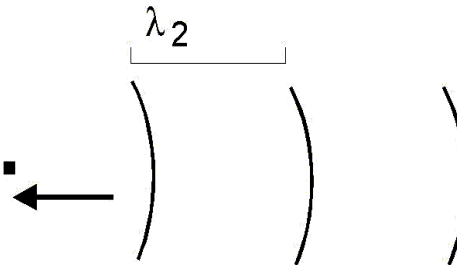
aproximação ■



$$v_1 = \frac{c}{\lambda_1}$$

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

afastamento ■



$$v_2 = \frac{c}{\lambda_2}$$

# 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** ( $\lambda_{\text{obs}}$  - medido) e o “**observador**” ( $\lambda_0$  - em repouso)

## Fonte se afasta

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

**No caso da luz ela ficaria mais vermelha**



## Fonte se aproxima

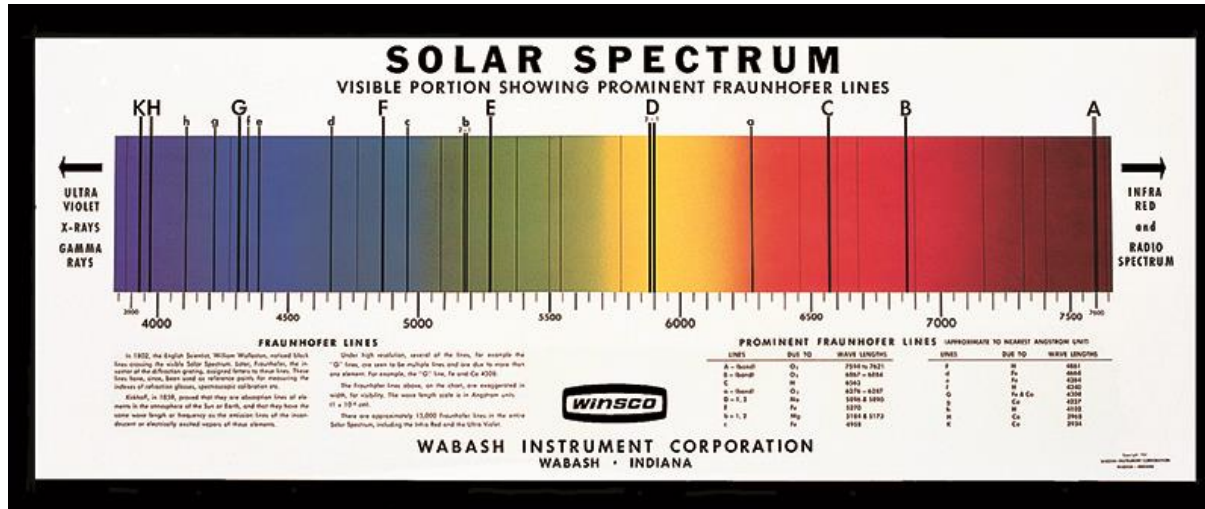
Frequência ( $\nu$ ) aumenta, o comprimento de onda diminui e como consequência o som fica mais agudo.

**No caso da luz, ficaria mais azul**





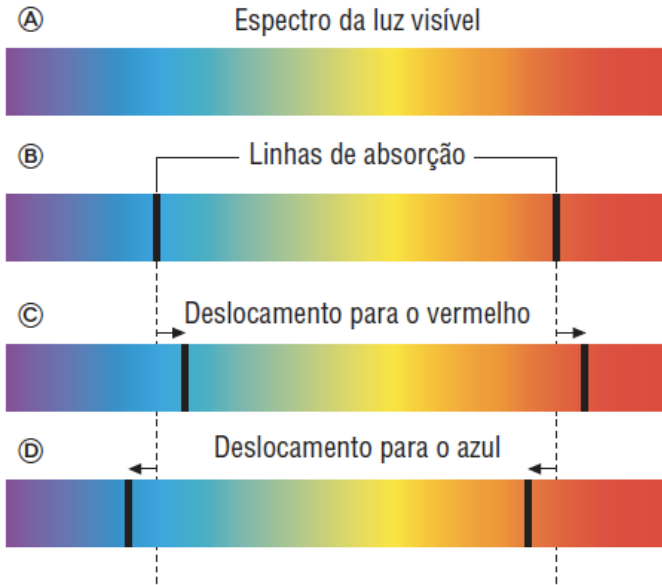
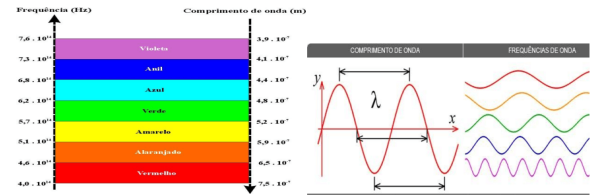
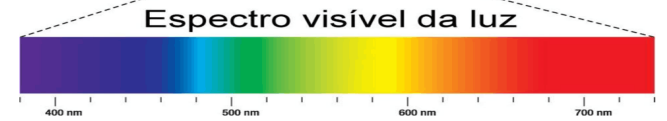
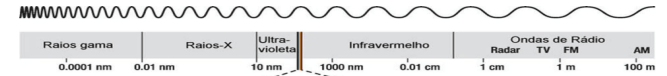
# ...e como identificar este fenômeno na Astrofísica?





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.



$\lambda_0$  - repouso

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

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

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”

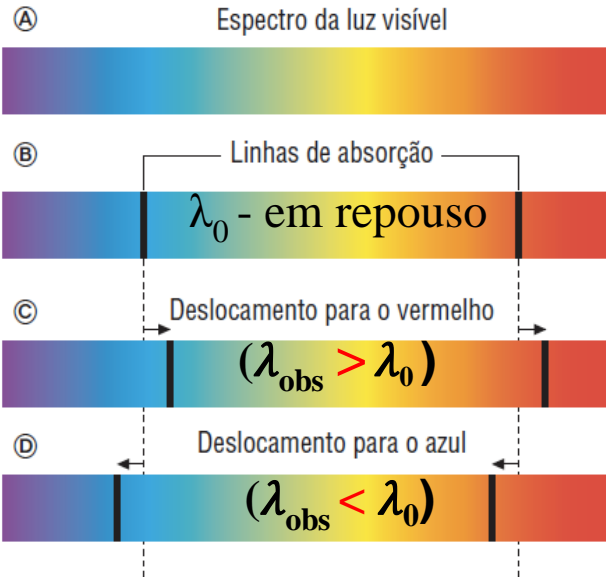


# Interpretação

## Fonte se afasta

Frequência ( $\nu$ ) diminui, comprimento de onda aumenta e como consequencia o som fica mais grave.

**No caso da luz ela ficaria mais vermelha**



## Fonte se aproxima

Frequência ( $\nu$ ) aumenta, o comprimento de onda diminui e como consequencia o som fica mais agudo.

**No caso da luz, ficaria mais azul**

Este fenômeno permite obter a velocidade radial ( $\mathbf{vr}$ ), 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  $\mathbf{vr}$  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.

# Uma curiosidade: **ouvindo** o Efeito Doppler ....

A compositora norte-americana **Adrienne Albert**, nascida em 1941, escreveu uma peça intitulada "Efeito Doppler", e conta como lhe surgiu a ideia: "A ideia de escrever uma peça, baseada nas constatações de um matemático austríaco que observou o aumento e a diminuição da altura do som quando a fonte e o observador se aproximavam ou se afastavam, surgiu-me durante uma viagem a Itália, ao ouvir as miríades de sirenes passando pelo meio de um trânsito tão intenso.

## Doppler Effect

for Flute, Bassoon and Harp

$\text{♩} = 120$   
Con moto, A Roman Holiday  
*melody*

**ADRIENNE ALBERT**  
Revised 07.06.2010

Bassoon

6

12

17

*mf*  $\leftarrow$  *f*  $\leftarrow$  *mf*  $\leftarrow$  *f*

*mf*  $\leftarrow$  *f*  $\leftarrow$  *mf*  $\leftarrow$  *f*  $\rightarrow$  *mp* *mf*  $\leftarrow$

*f*  $\leftarrow$   $\leftarrow$  *f*  $\leftarrow$   $\leftarrow$

*mf*  $\leftarrow$  *f*  $\leftarrow$  *mf*

[https://www.youtube.com/watch?v=xqP\\_wYjC](https://www.youtube.com/watch?v=xqP_wYjC)

Y M

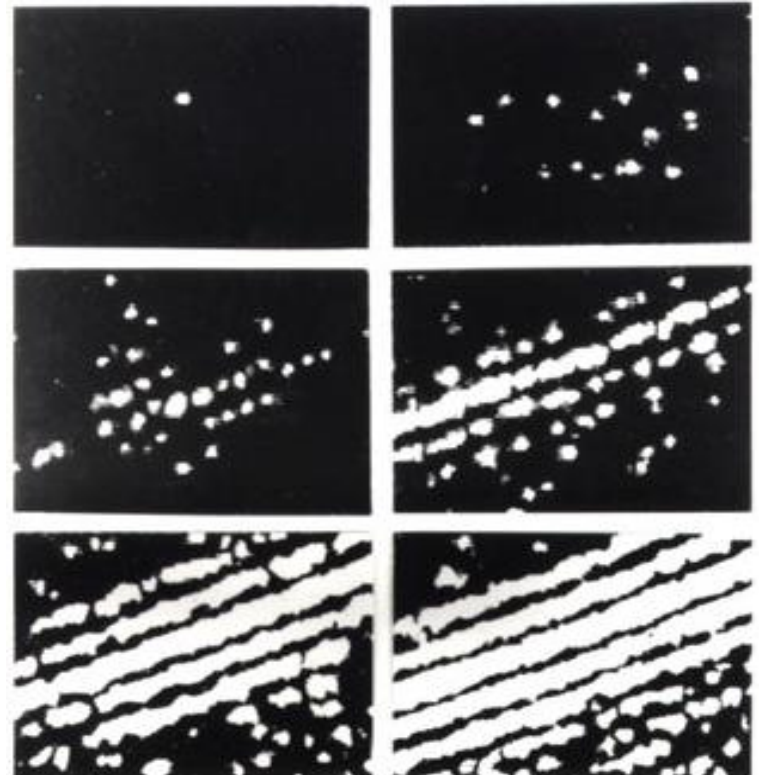
# Dualidade Onda-Partícula : o caso do elétron...

...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.

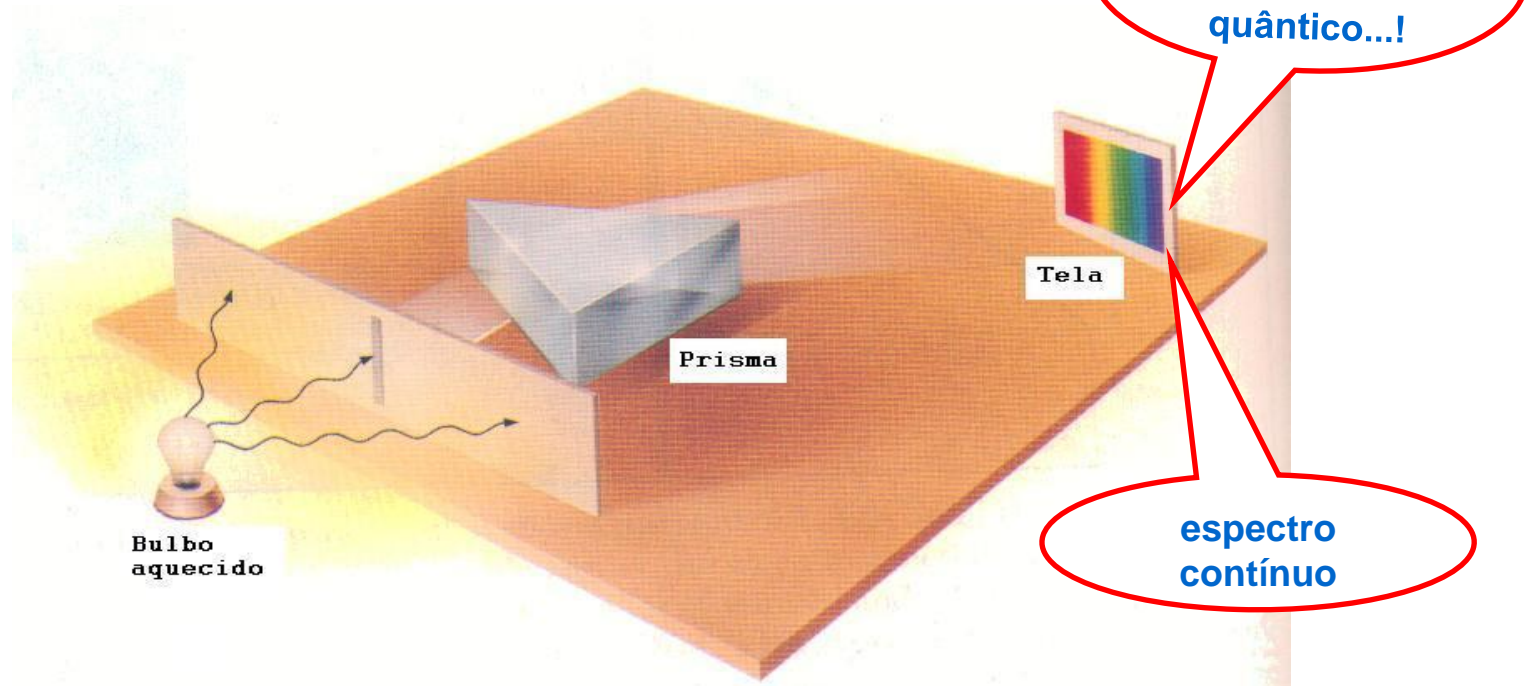


Ainda restaria a explicação da natureza da formação do Arco-Iris... do que chamamos tecnicamente de Radiação Contínua

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.....

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



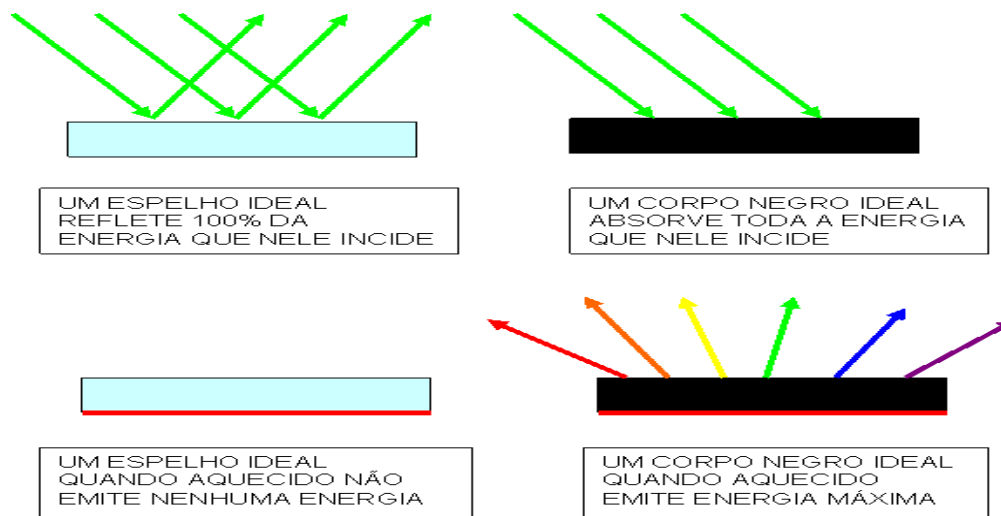
## Corpo Negro

Representa conceitualmente um objeto que **absorve toda energia** de radiação que **incide sobre ele e re-emite toda esta energia**.

Como é um **absorvedor perfeito** e também é um **emissor perfeito**, não **REFLETE luz** e 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**.

A radiação que ele emite é chamada de **“Emissão de Corpo Negro”**



# 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 eletromagnéticas  
...é consequência da oscilação dos campos elétrico e magnético gerada pelas cargas em movimento

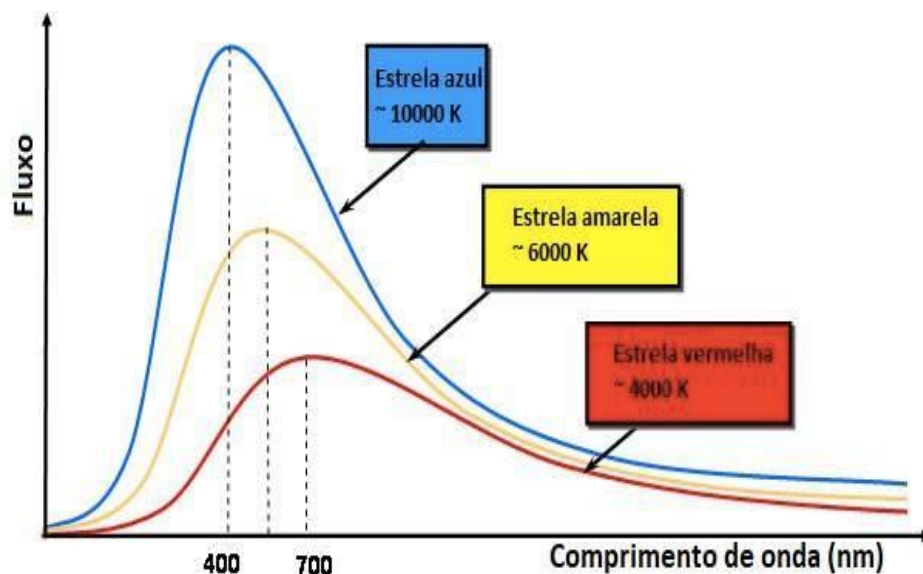
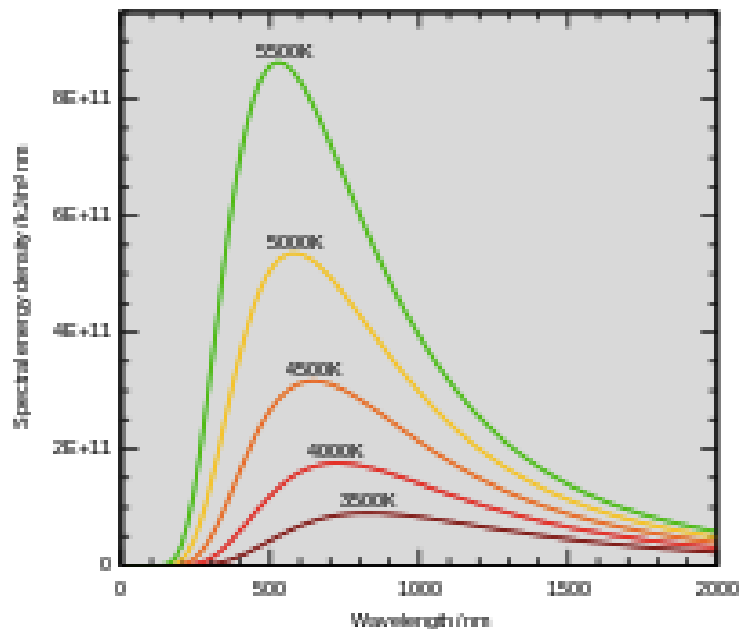
\*Kelvin (K) é uma unidade de temperatura da base do Sistema Internacional de Unidades (SI).

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

Conversão:  $K = ^\circ C + 273,15$

Se a **Temperatura aumenta**, 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  $\lambda$  **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.

Este conceito é importante porque as estrelas e planetas são **Corpos Negros**, em primeira aproximação...

Vale a pena lembrar que dizemos que um corpo é negro na luz do dia, quando este objeto não emite nenhum raio de luz que sensibilize nossos olhos...

A luz que nossos olhos recebem a partir dos objetos, que **não parecem negros na luz do dia**, geralmente, não é a luz que estes objetos emitem por conta própria, mas sim a **luz REFLETIDA** por estes objetos.

A luz solar aparece amarela para nós, mas a maioria dos objetos na Terra não aparecem amarelos apesar de nós vermos apenas a luz solar refletida por eles.

A razão disto se deve ao fato de que qualquer objeto absorve parte da luz solar e apenas a parte que não é absorvida pode ser **refletida**.

Se um objeto **absorve** apenas luz azul, então ele vai parecer a quem observa mais vermelho que o Sol. Se **absorve** mais vermelho, vai parecer mais azul...e assim por diante!

**Se todos os comprimentos de onda forem fortemente absorvidos, então não vai sobrar luz a ser refletida para nossos olhos, e aí o objeto passa a ser negro !! O Corpo negro !!**

Isto não significa que todo Corpo Negro vai parecer negro...!

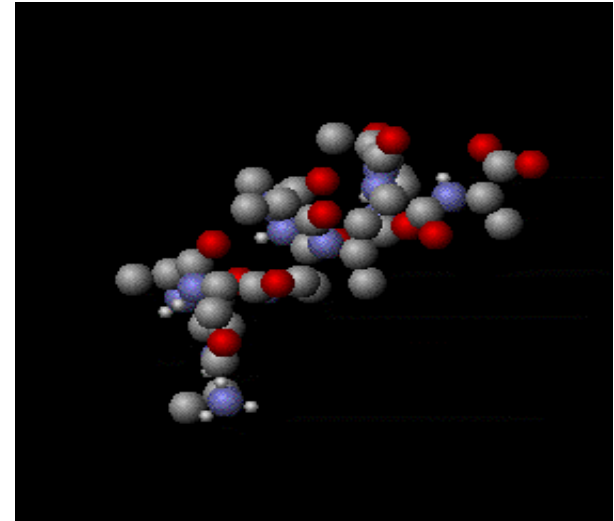
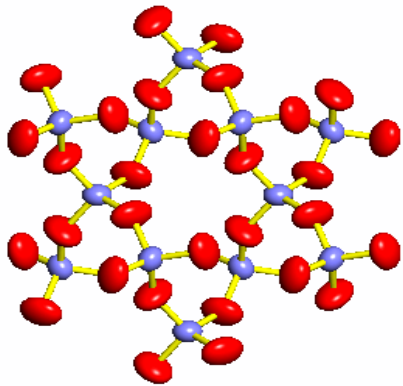
Um Corpo Negro pode gerar radiação por ele próprio, podendo ser bastante brilhante, embora absorva toda a luz que recebe de outras fontes de luz...

Um bom exemplo é observar uma placa quente sobre um **fogão apagado**...que vai parecer negra pq ele absorve td luz que incide sobre ele.....

Se o fogão for ligado a uma certa temperatura, a placa ficará quente e vai emitir sua própria luz e vai brilhar intensamente, e a **placa não parecerá mais negro**, mesmo “desligando” todas as fontes de luz externas.

Se aumentarmos gradativamente a temperatura, o brilho vai mudando de cor, passando de vermelho a amarelo e azul quando a temperatura for muito alta.

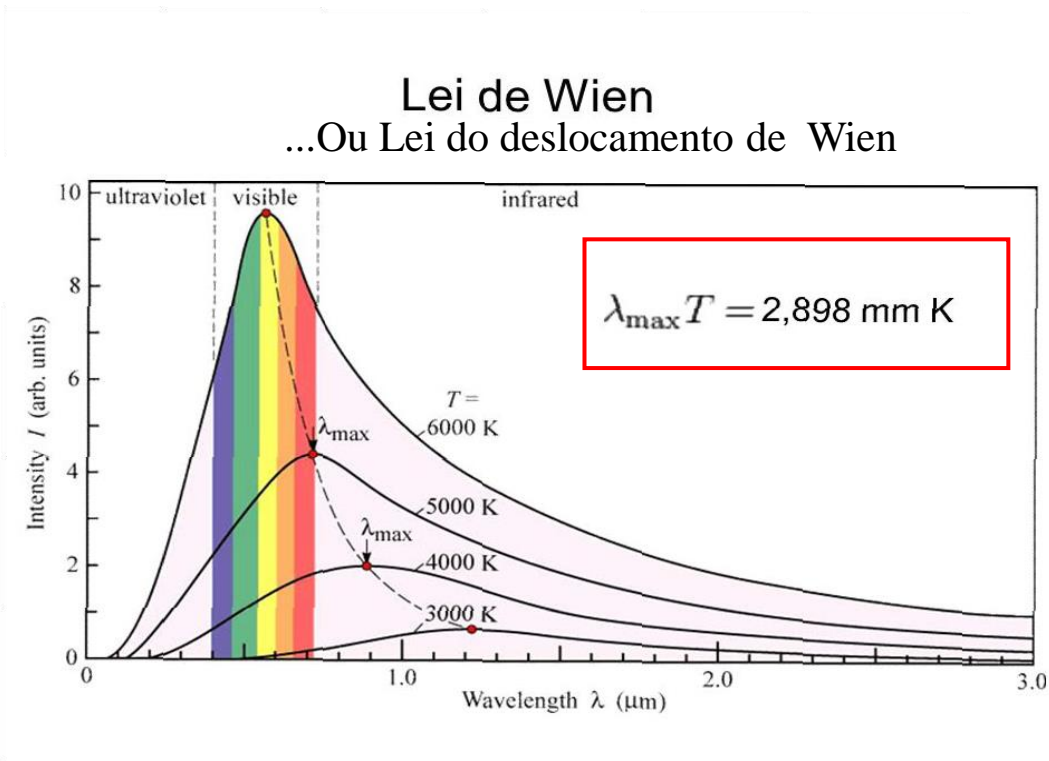
Reparem na figura abaixo que devido a diferentes vibrações de átomos e moléculas nos corpos, ocorre emissão de pacotes de fótons com diferentes frequências.



A **frequência média** dos fótons, define sua cor. Cuidado aqui....!

# Propriedades da Radiação Térmica

**1a-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



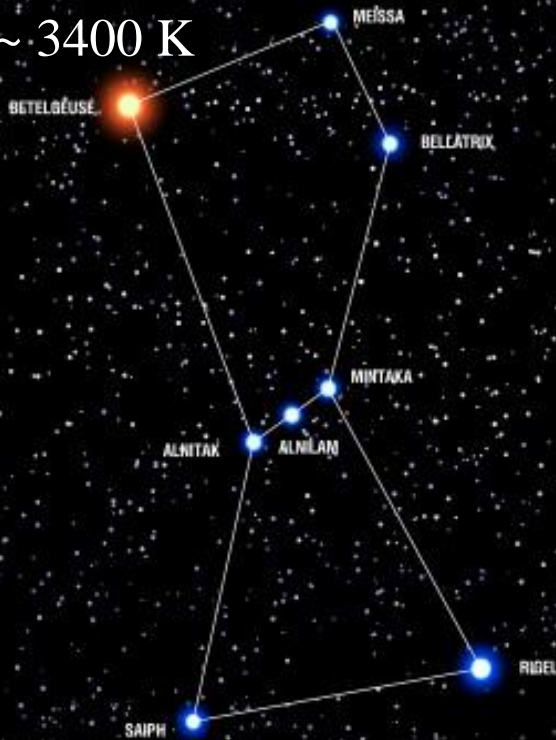
**Eq. 1**

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

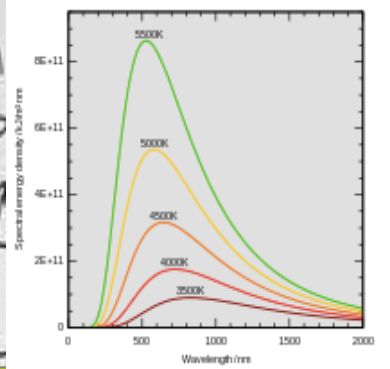


As diferentes cores observadas nas estrelas **Rigel** e **Betelgeuse** na Constelação de Orion, por exemplo, refletem a diferença entre a temperatura superficial destas 2 estrelas

$T \sim 3400 \text{ K}$



$T \sim 10100 \text{ K}$



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



Wien e Lummer (1895)



Lord Rayleigh (1842-1919)



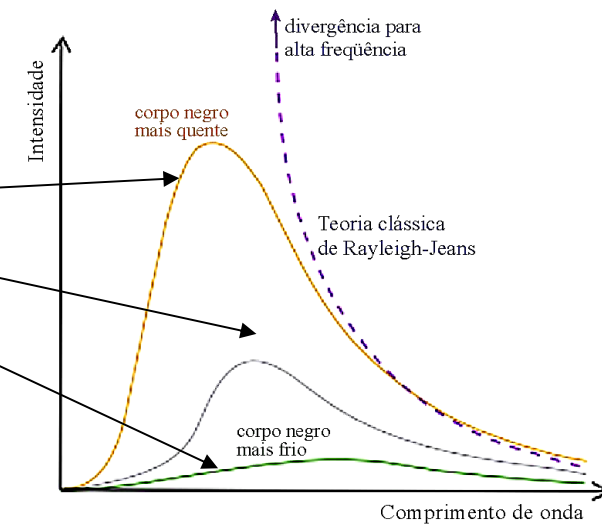
James Jeans (1877-1946)

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

Os resultados falhavam  
para altas frequências

Os resultados falhavam  
para baixas frequências

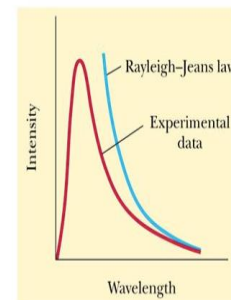
Observado  
(previsão clássica)



### Lei de Rayleigh-Jeans

$$I(\lambda, T) = \frac{2\pi^5 c^2 k_B^4 T^4}{15 \lambda^4}$$

(Catástrofe do ultravioleta)



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

# Desfecho de uma Era de Ouro

No final do Século XIX os físicos e astrofísico da época acreditaram que todos os princípios que governavam o mundo físico tinham finalmente sido descobertos.

Eles tinham uma visão de que toda a física clássica tinha florescido nos últimos 300 anos de avanços e por isto mesmo **Era de Ouro**.

Resultado das primeiras observações de Galileu, as Leis de Newton embasadas nos pilares da Conservação de Energia e Momentum, e finalmente iluminada pelas ondas eletromagnéticas de Maxwell.

**Um legado determinístico da descrição do universo!**

## Os limites de conhecimento dos astros...

Auguste Comte, filósofo positivista francês.

Entre 1835-1842 declara sobre as estrelas que:  
**“Nós vemos como podemos determinar suas formas, suas distancias e seus movimentos, mas nunca poderemos saber nada sobre sua estrutura química e mineralogia”**

Para Comte a astronomia deveria se concentrar na geometria e na mecânica: “todo casamento com a física ou a química seria monstruoso”.

...estava enganado...!

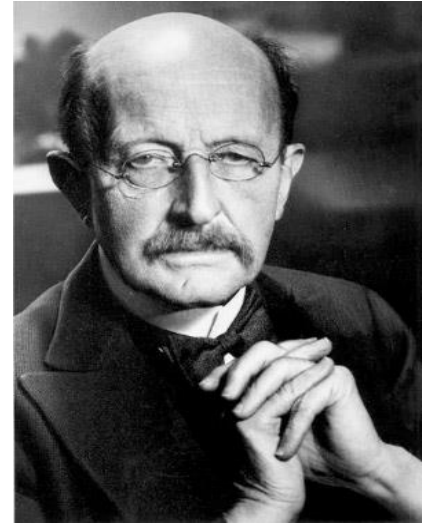


Isidore Auguste Comte  
(1798-1857)



Max Karl Ernst Ludwig Planck (1858 – 1947)

Prêmio Nobel de Física em 1918.



No final de 1900 Planck descobre uma **fórmula empírica** que se ajusta aos Corpos Negros

$$E_{\lambda b} = \frac{C_1}{\lambda^5 \left[ \exp\left(\frac{C_2}{\lambda T}\right) - 1 \right]} \quad \text{onde } C_1 \text{ e } C_2 \text{ são constantes.}$$

...para encontrar uma interpretação física a esta expressão, Planck assume que a energia das oscilações são quantificadas

Assume que as ondas eletromagnéticas estacionárias não podem adquirir qualquer quantidade de energia arbitrária. Elas deveriam ter apenas valores de energia específica permitidas que fossem múltiplos inteiros de uma energia de onda mínima – **o quantum de energia:  $E=h\nu$ .**

Números inteiros eram fundamentais em todos os ramos da física onde fenômenos ondulatórios estavam presentes: elasticidade, acústica e óptica.

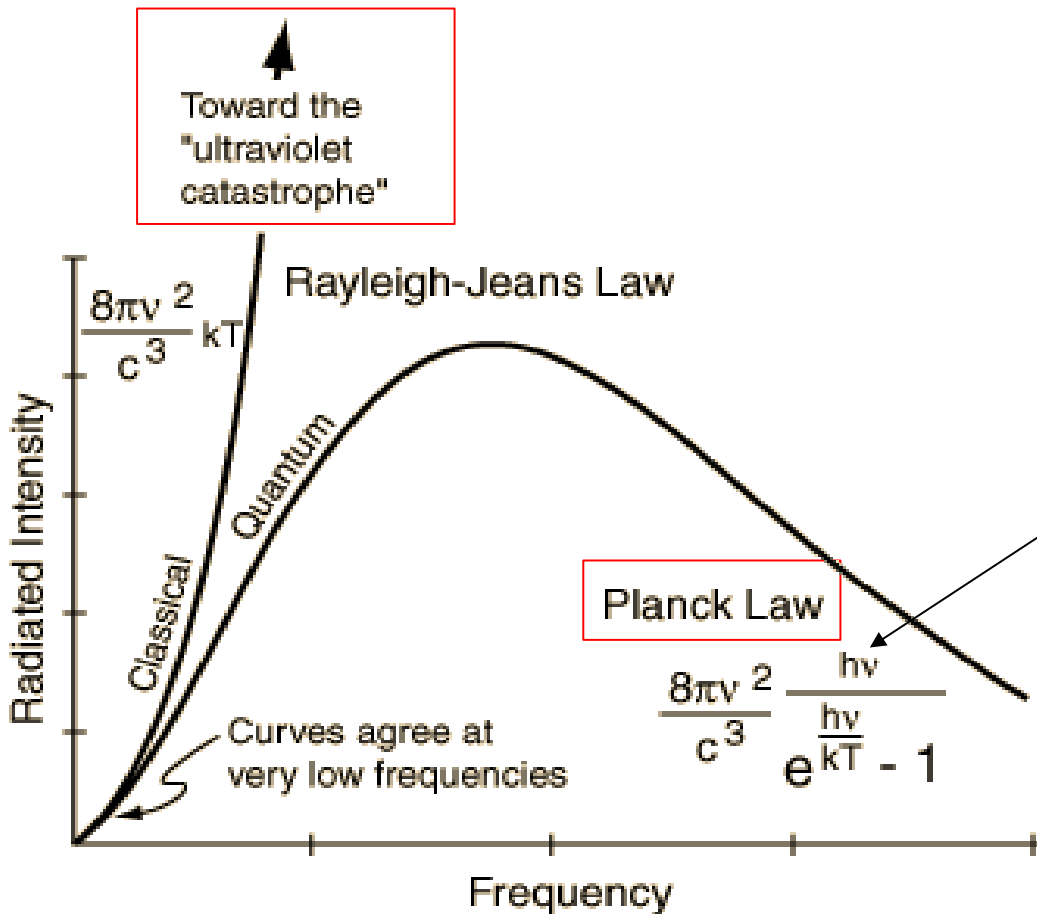
“Quantum de Energia” dado por:  $E=h\nu$   
 ...funcionou...!!

Expressão Clássica

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

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

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

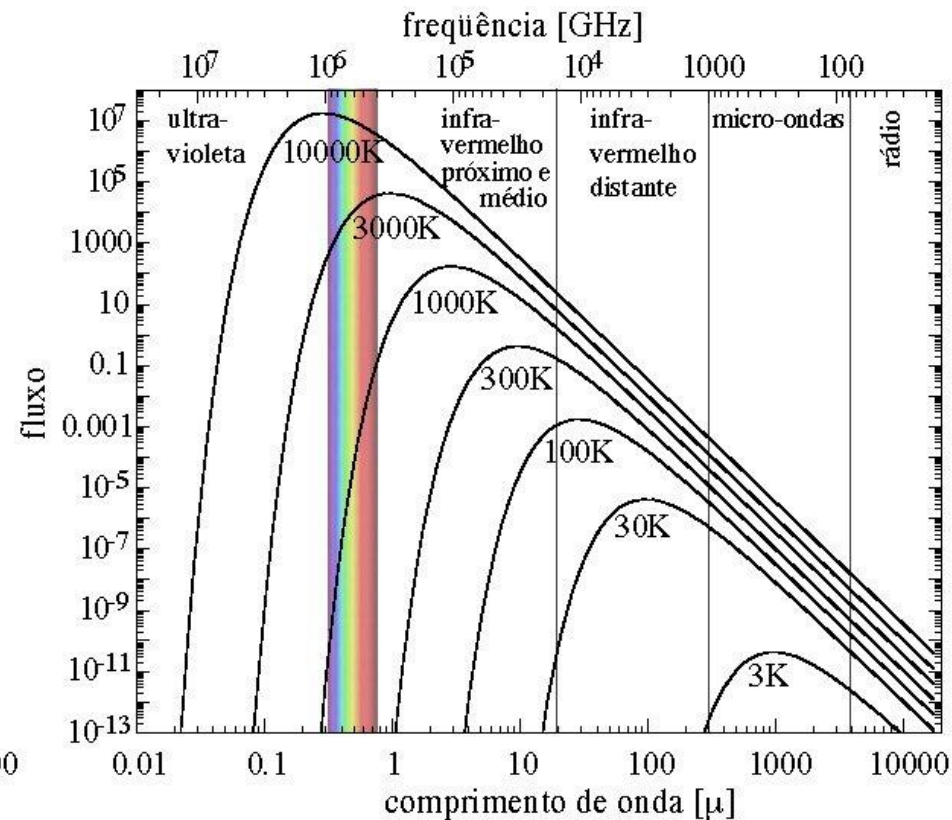
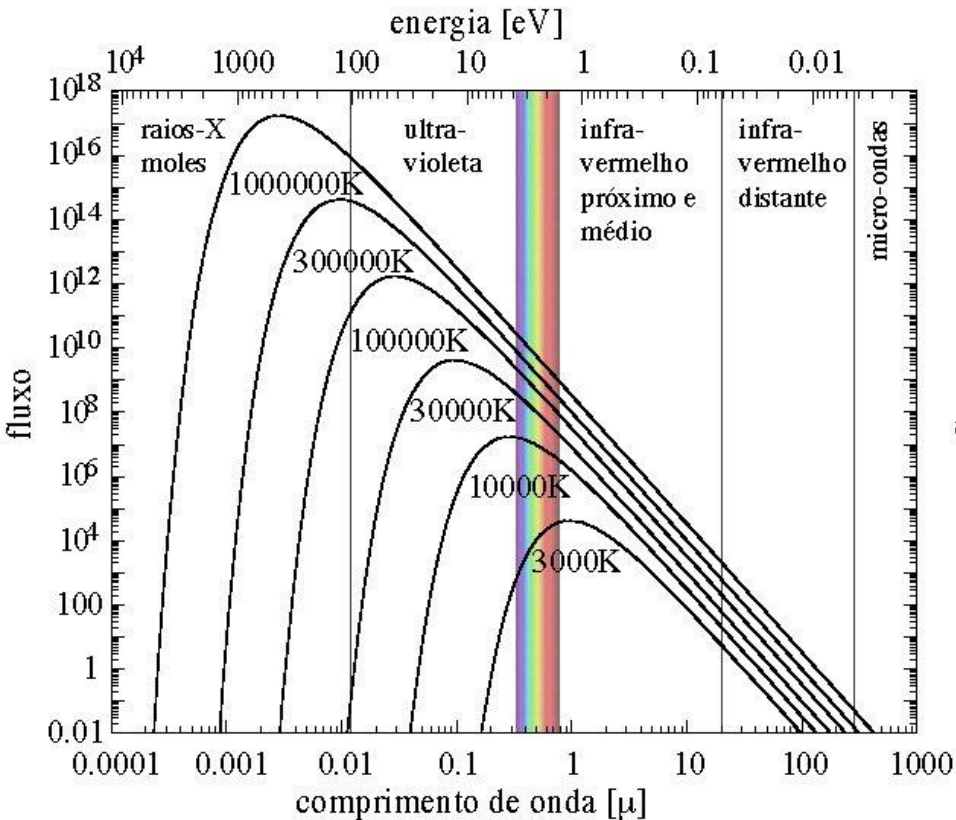




# Radiação de Corpo Negro

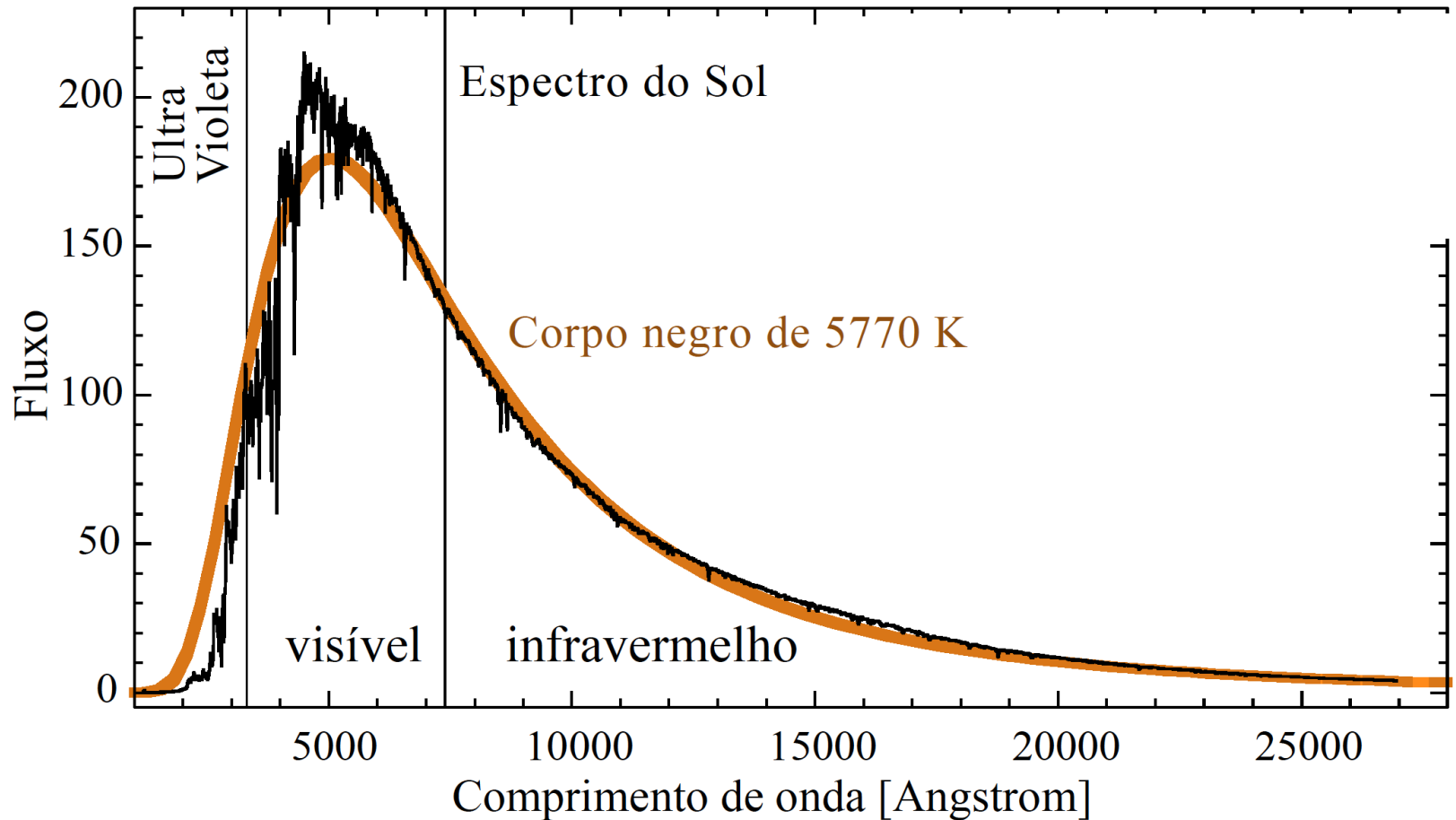
Intensidade,  $I(\nu, T)$  corresponde ao espectro de corpo negro para uma dada temperatura.

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



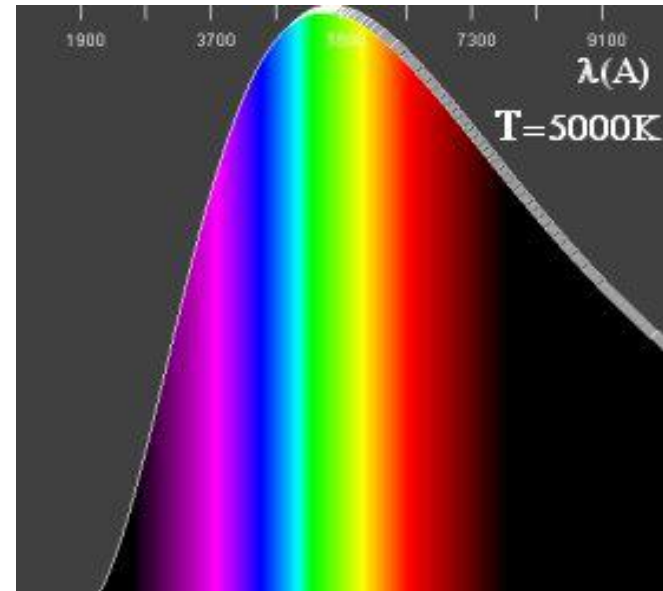
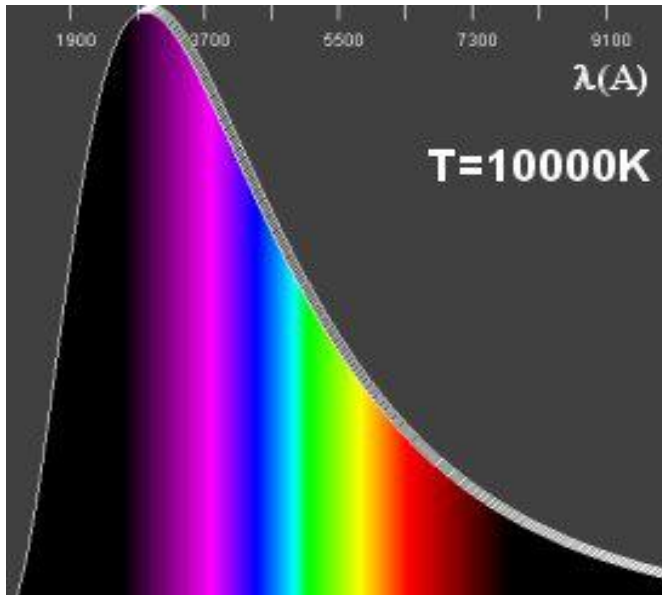
# O exemplo do Sol

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



Lei de Wien

$$\lambda_{\text{máx}} \times T = 0,290 \text{ (cm.K)}$$

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.....**

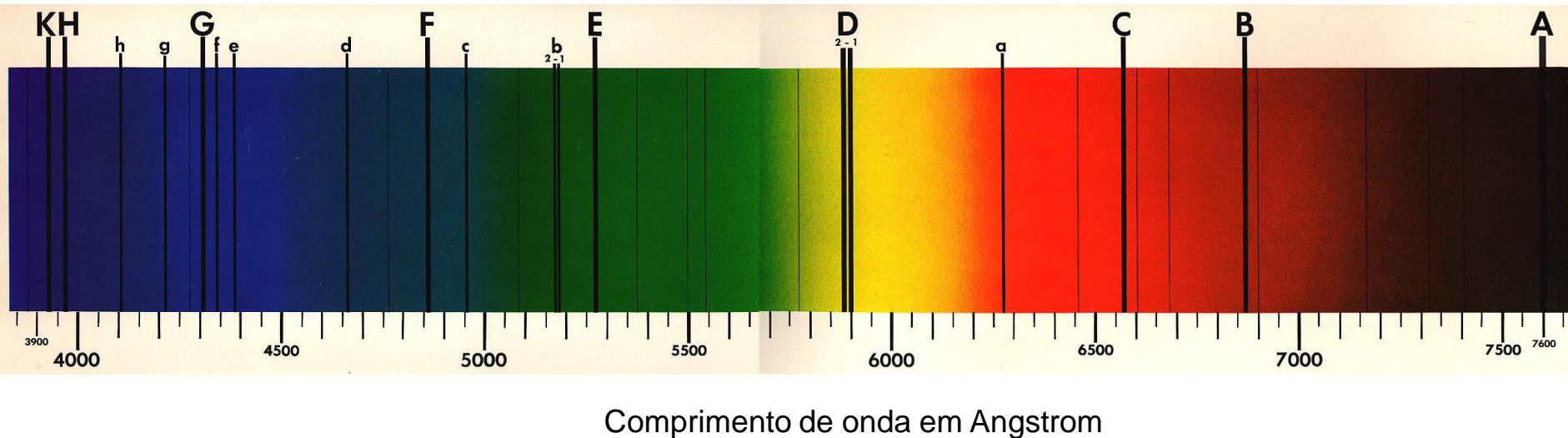
# Espectro do Sol

...as linhas escuras



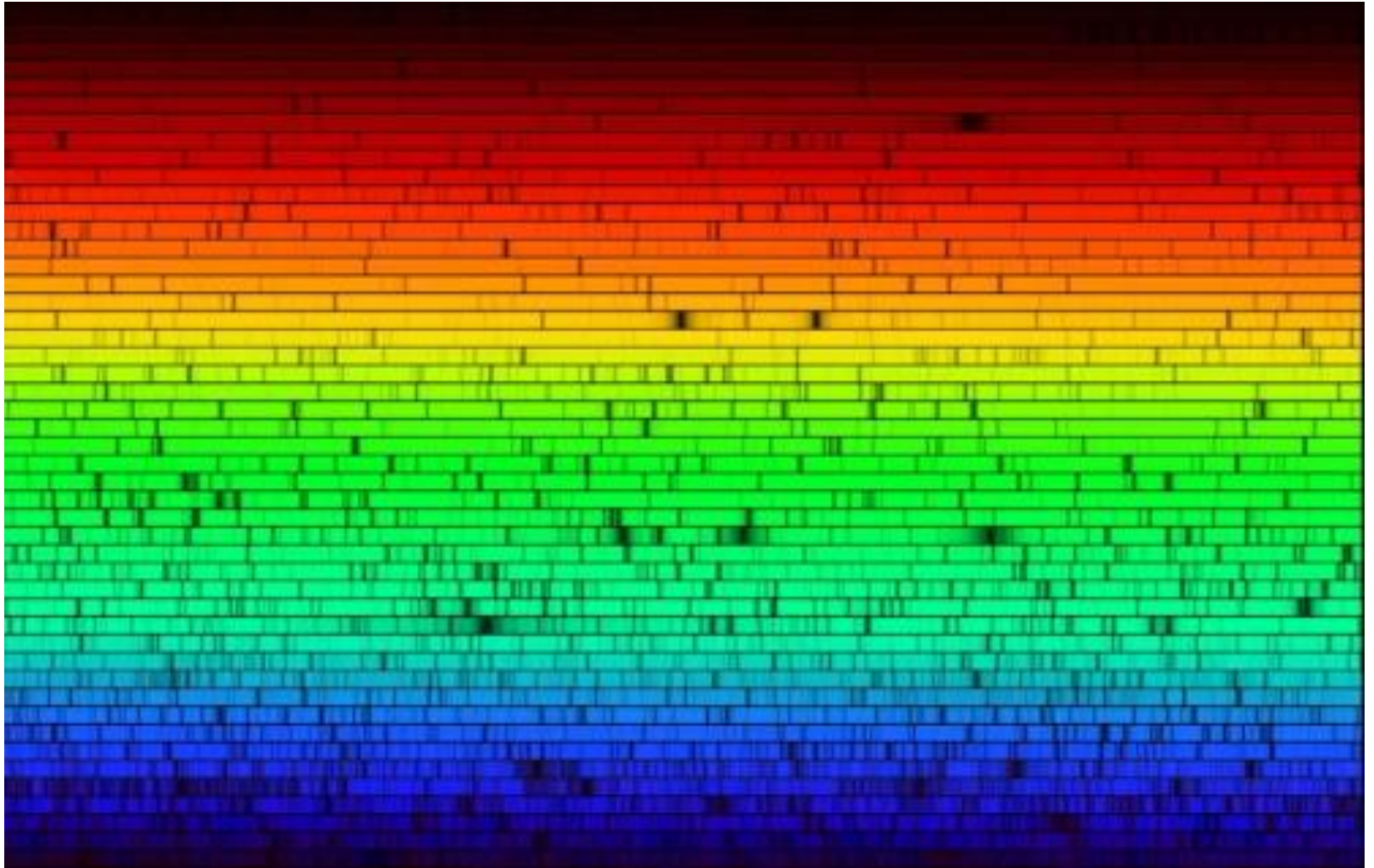
Em 1814, Joseph von Fraunhofer (1787-1826) obtém o espectro do Sol.

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





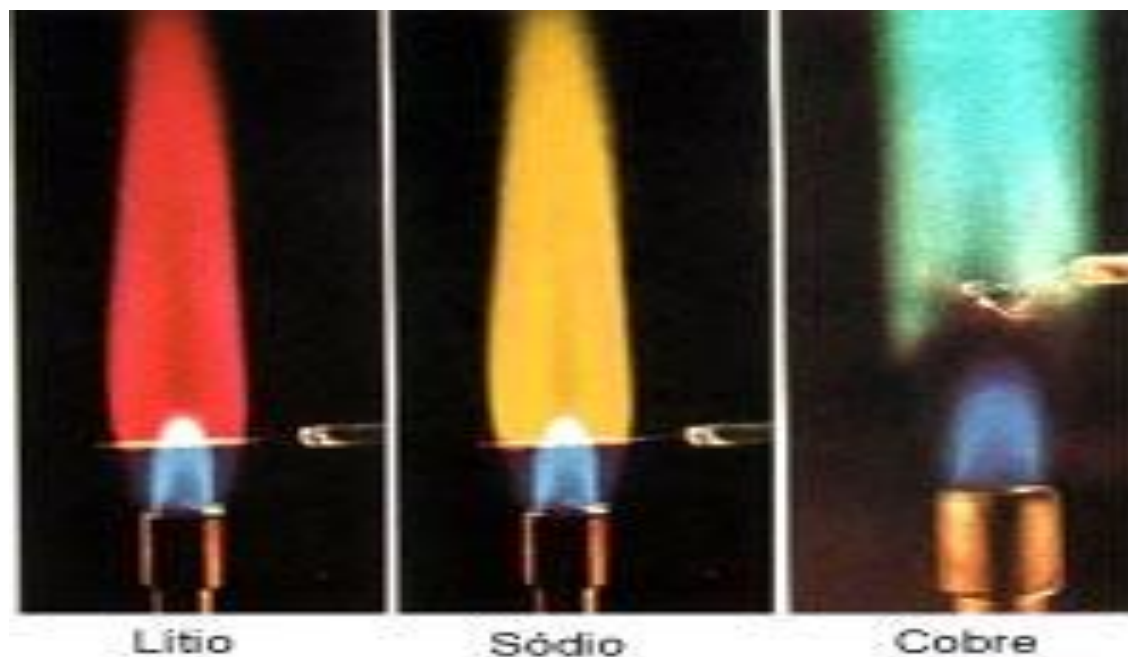
Cataloga e Determina “Comprimentos de Onda” de todo o espectro  
...mas ainda não sabe porque estas linhas escuras aparecem



## Invenção do Bico de Bunsen

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

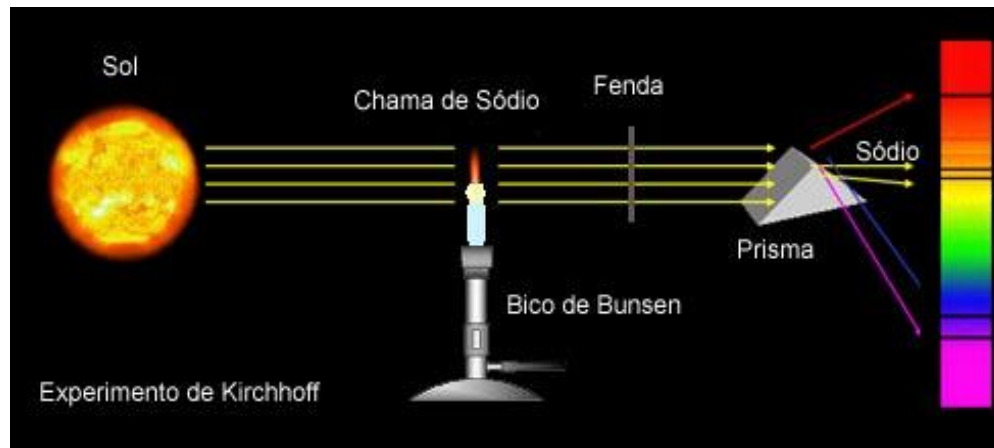
Experimentos realizados com este bico revelam que quando se vaporiza algum material no bico de Bunsen, a **cor emitida** é a **da própria substância** e não a da chama do bico.





# Experimentos de Kirchoff e Bunsen

Kirchoff 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

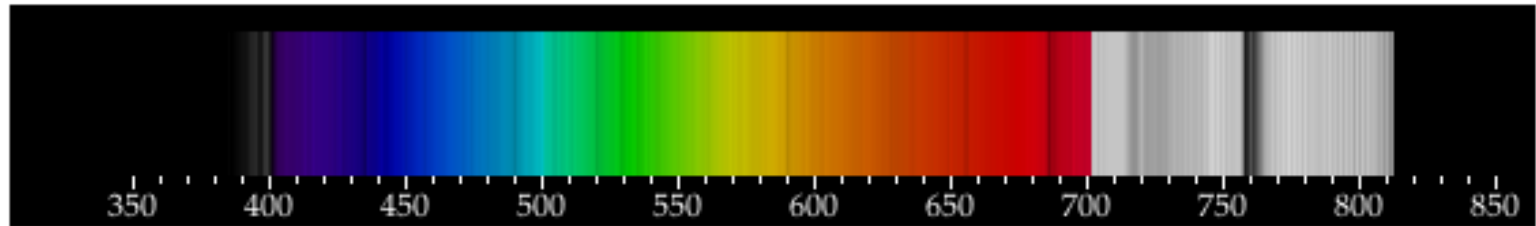
Identificação de um metal  
ou metalóide



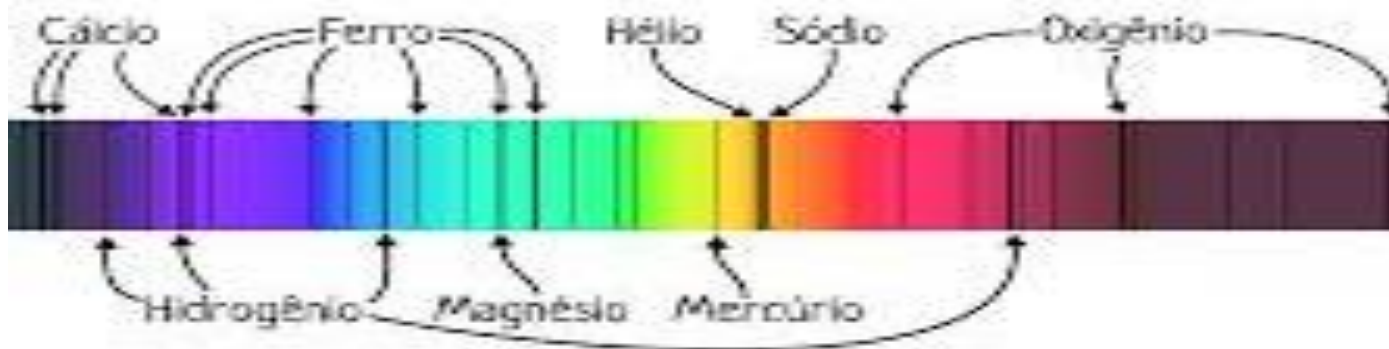
Metal	Côr da Chama
Lítio (Li)	Magenta Vermelho
Sódio (Na)	Amarelo Vermelho
Potássio (K)	Violeta Vermelho
Rubídio (Rb)	Roxo Cinzento
Césio (Cs)	Violeta
Cálcio (Ca)	Vermelho Laranja
Estrôncio (Sr)	Vermelho Vivo
Bário (Ba)	Verde
Ferro (Fe)	Dourado
Fósforo (P)	Azul Verde Pálido
Zinco (Zn)	Água Marinho
Chumbo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

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-metais) pela cor característica que o seu sal dá à chama de um bico de Bunsen. O calor da chama excita os electrões dos iões metálicos, que emitem uma luz visível. Cada elemento tem uma assinatura espectral característica. Na tabela periódica de Mendeleev, os elementos não-metais estão localizados no lado superior direito, separados dos metais por uma linha que corta diagonalmente através da tabela periódica. Os metaloides 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



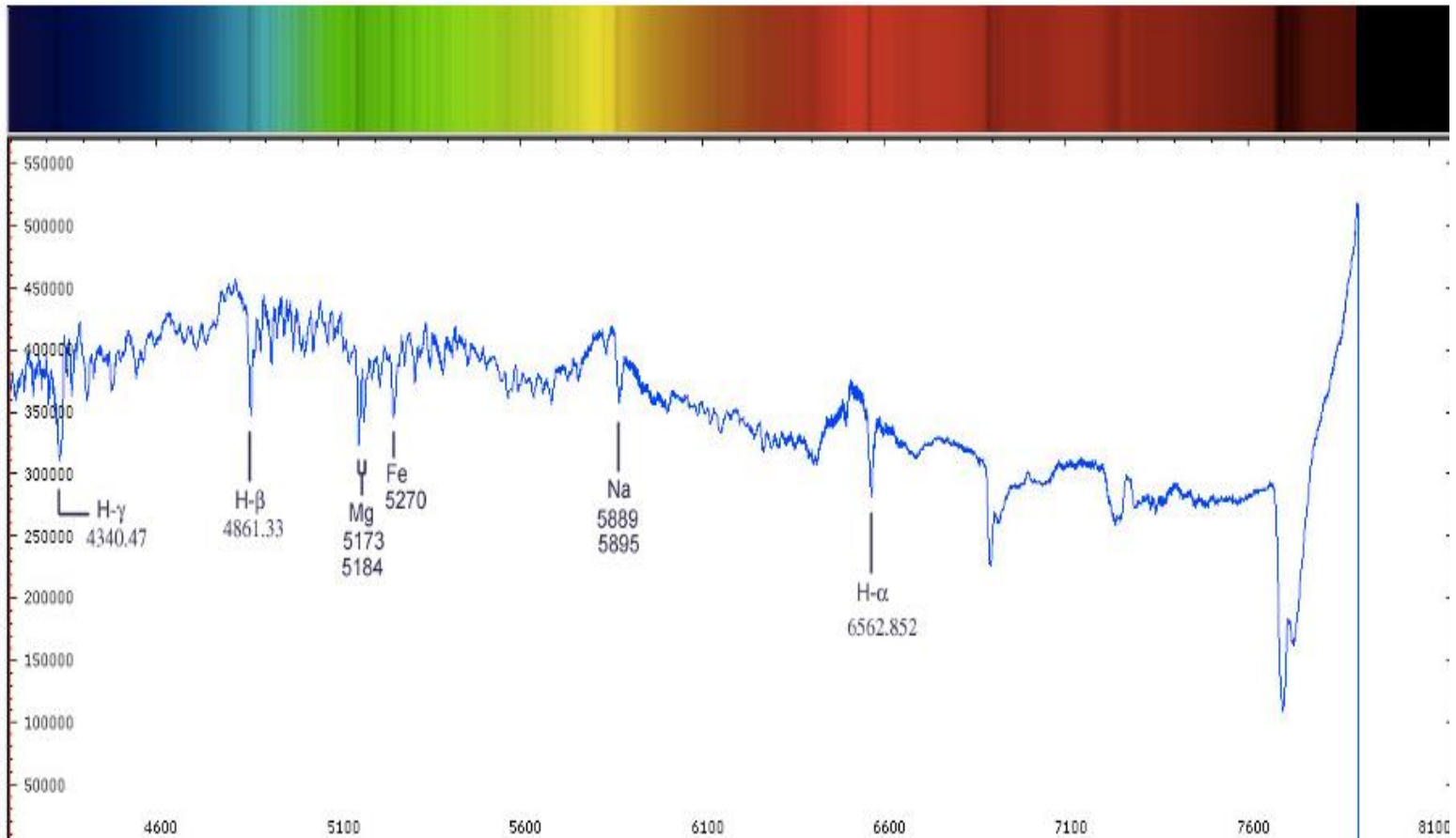
Emission Graph



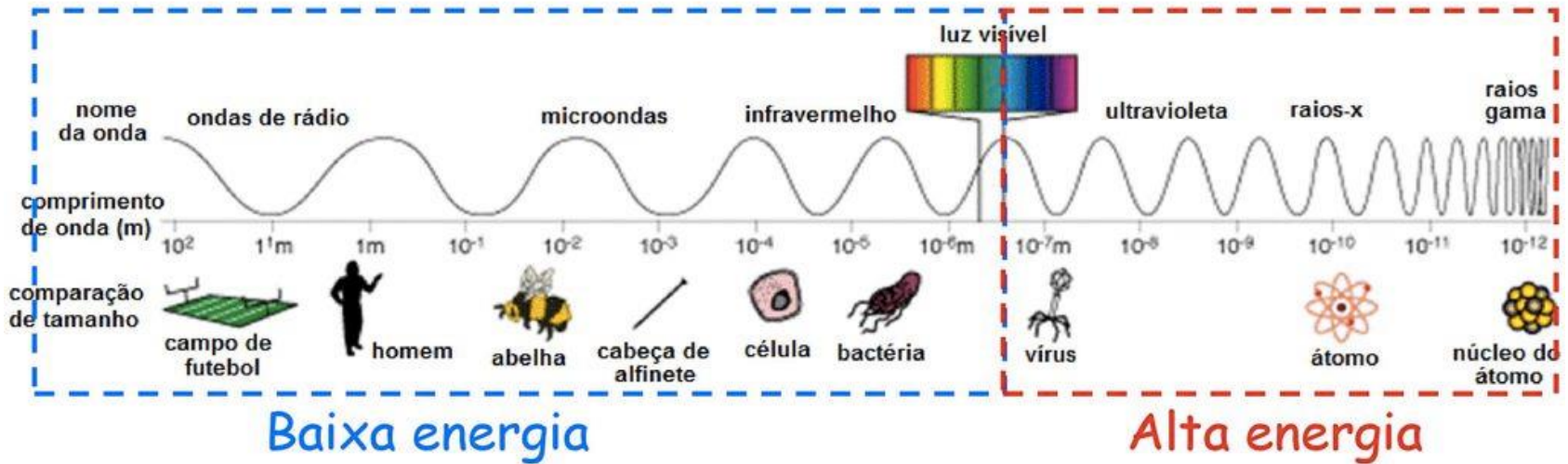
Após muitas observações Kirchhoff e Bunsen concluíram que cada elemento químico produzia suas próprias linhas, o que significava que vistos através do prisma, cada um tinha uma assinatura própria, inconfundível.

# Espectro de absorção

...identificação de algumas linhas



# Comprimento de onda e Energia



$E = \text{energia}$

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

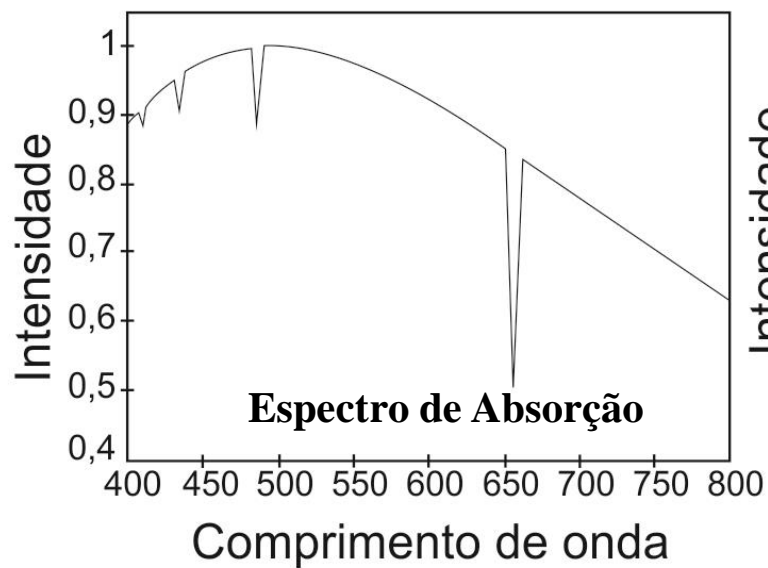
$\nu = \text{frequência}$

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

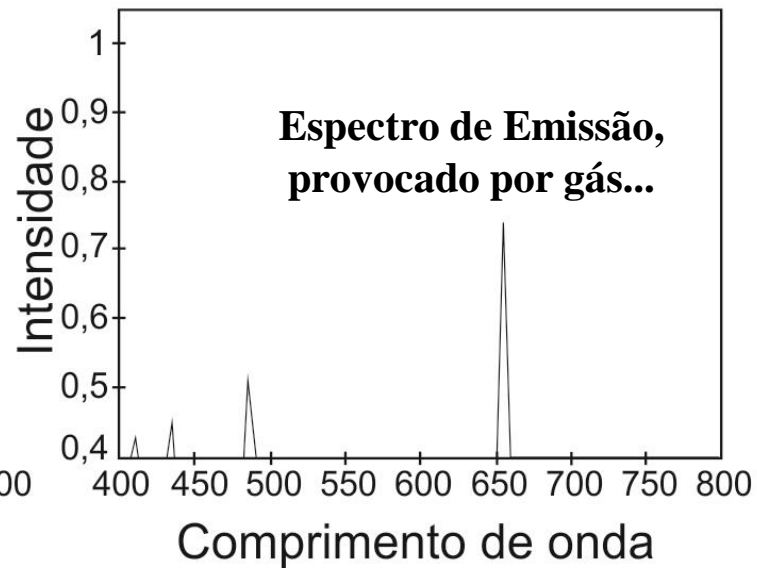
$\lambda = \text{comprimento de onda}$

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

## Linhas de Absorção

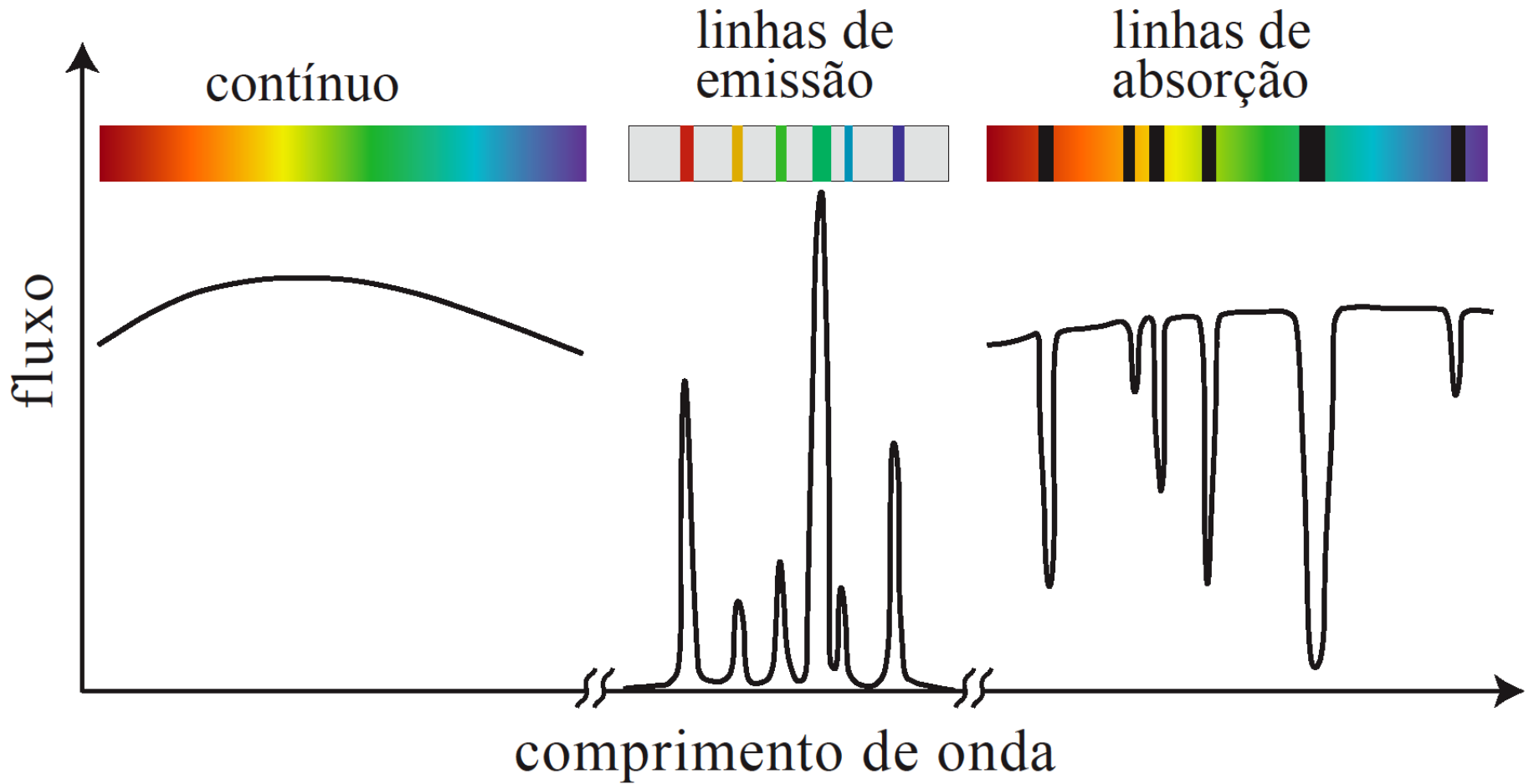


## Linhas de Emissão



# Leis de Kirchhoff

3 tipos de espectro observado





# Leis de Kirchoff

Nos anos 1860, Gustav Kirchoff 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)

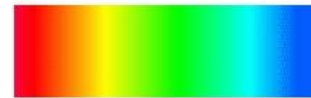
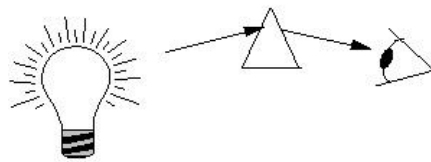


Fig.1

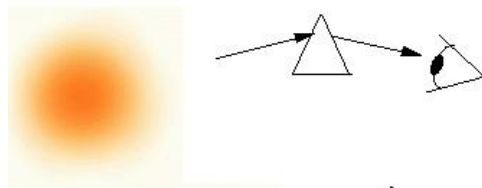


Fig.2

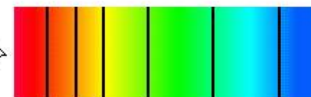
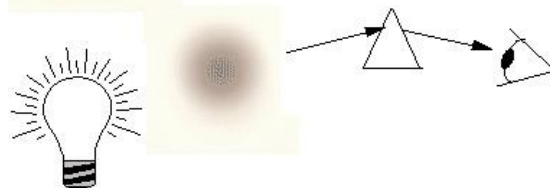


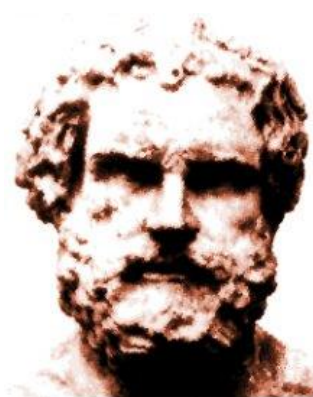
Fig.3

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

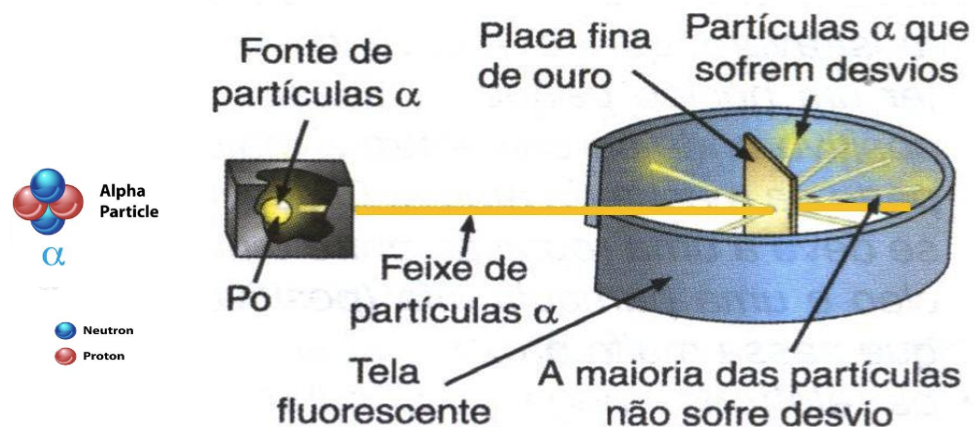


Ernest Rutherford  
1871 - 1937

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:

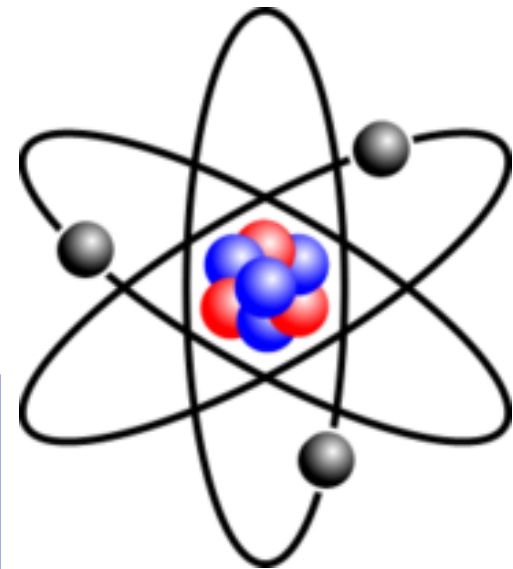
Um núcleo compacto, com carga positiva, e partículas de carga negativa que orbitam o núcleo. (Fig. )

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.....



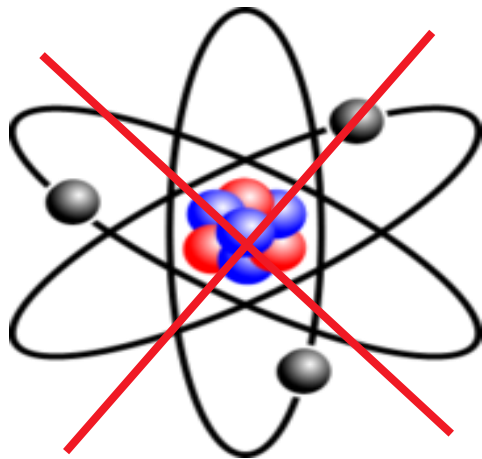
# Modelo Atômico de Rutherford é substituído pelo de Bohr



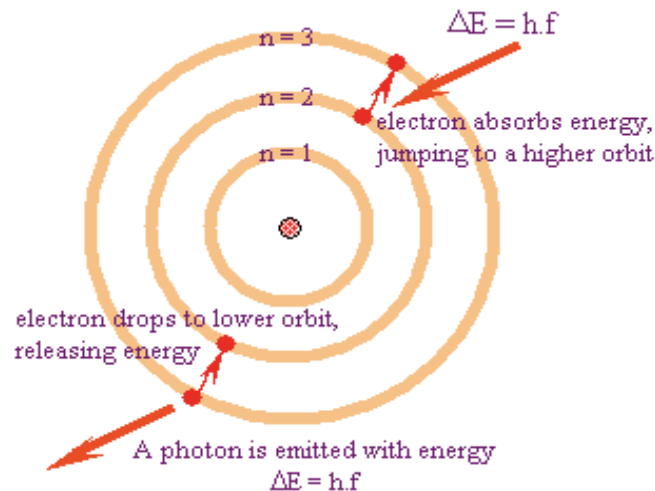
Niels Henrik David Bohr  
(1885-1962)

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.

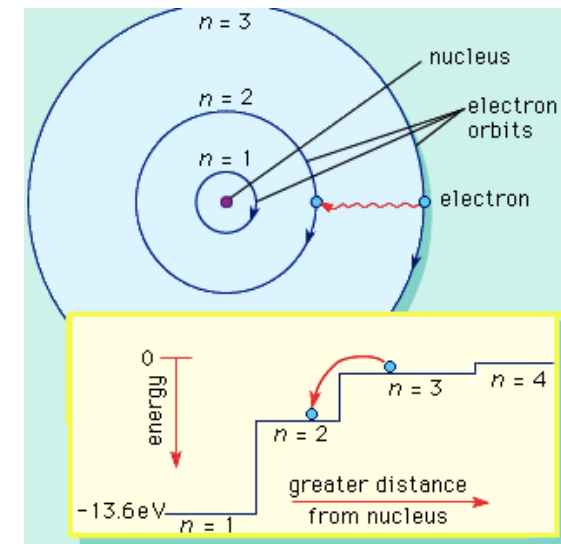
Isto significa que os **elétrons podem ocupar somente órbitas bem definidas** (quantizadas) em torno do núcleo e definidas pelo **número quântico (n)**, não emitem radiação enquanto estão na mesma órbita e que o tamanho da órbita deve conter um **número inteiro de comprimentos de onda**.



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



**Modelo Atômico de Bohr**



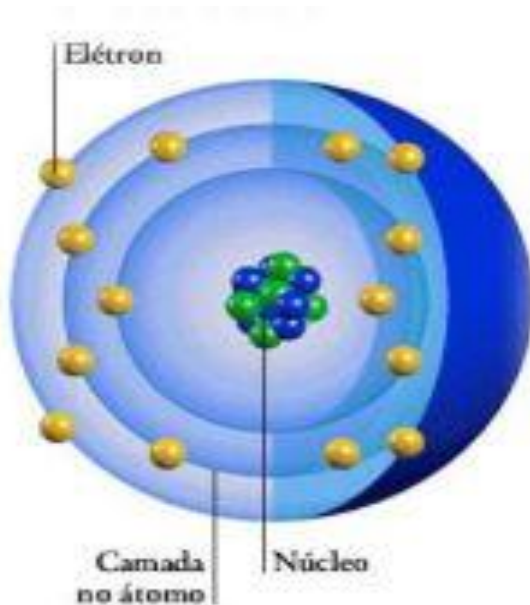


## Detalhando o Modelo Atômico de Bohr (1)

Os elétrons 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.



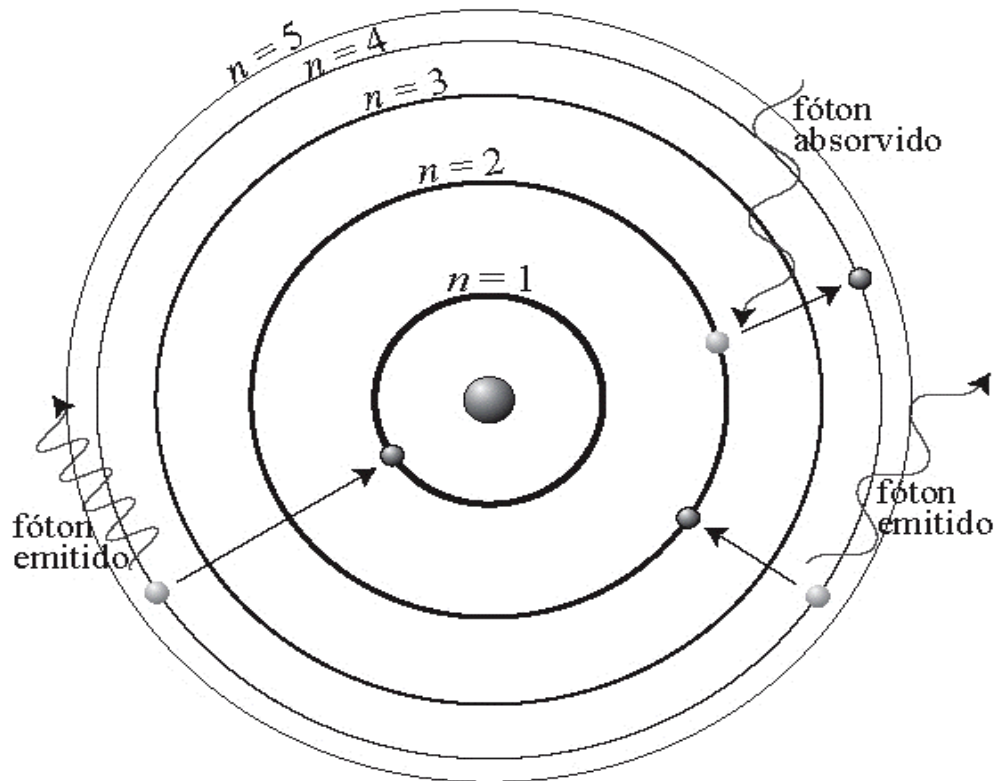
A força que mantém o elétron em órbita é a atração eletromagnética.

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

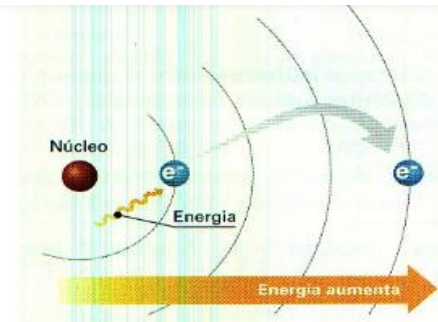
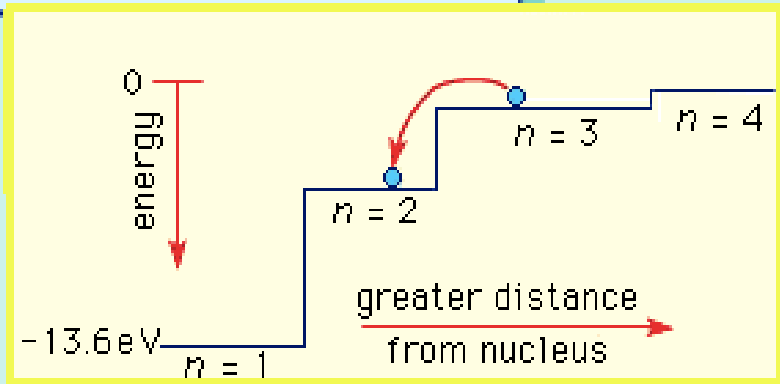
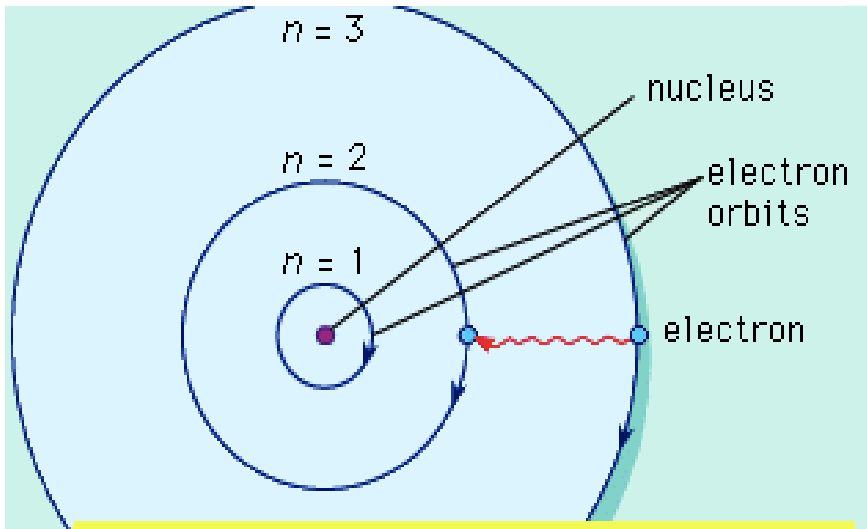
## Detalhando o Modelo Atômico de Bohr (2)

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

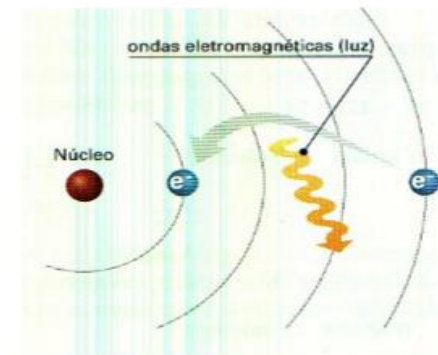
A energia **absorvida** ou **emitida** devido ao salto quântico é definida pela diferença de energia entre os 2 níveis:  $n_{\text{antes}}$  e  $n_{\text{depois}}$ .



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



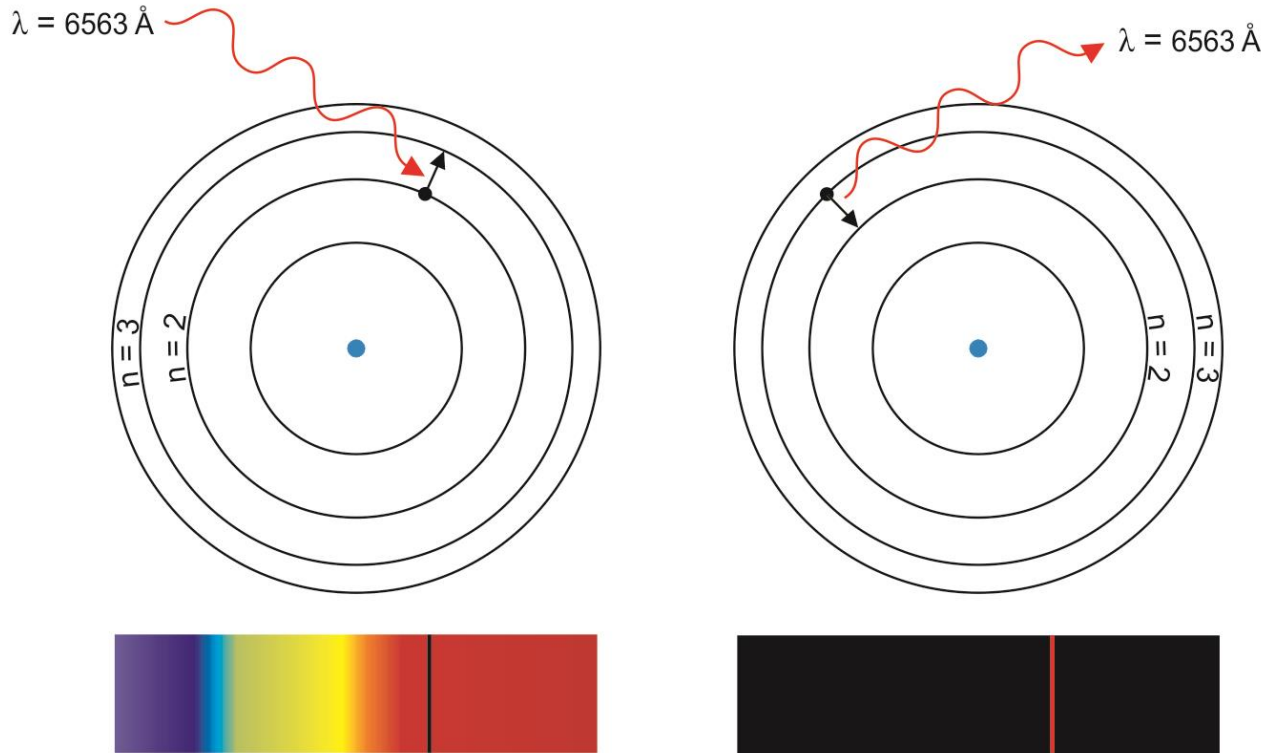
RECEBER energia = PULA para FORA



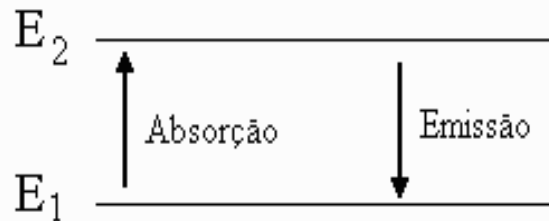
PERDER energia = CAI para DENTRO

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**



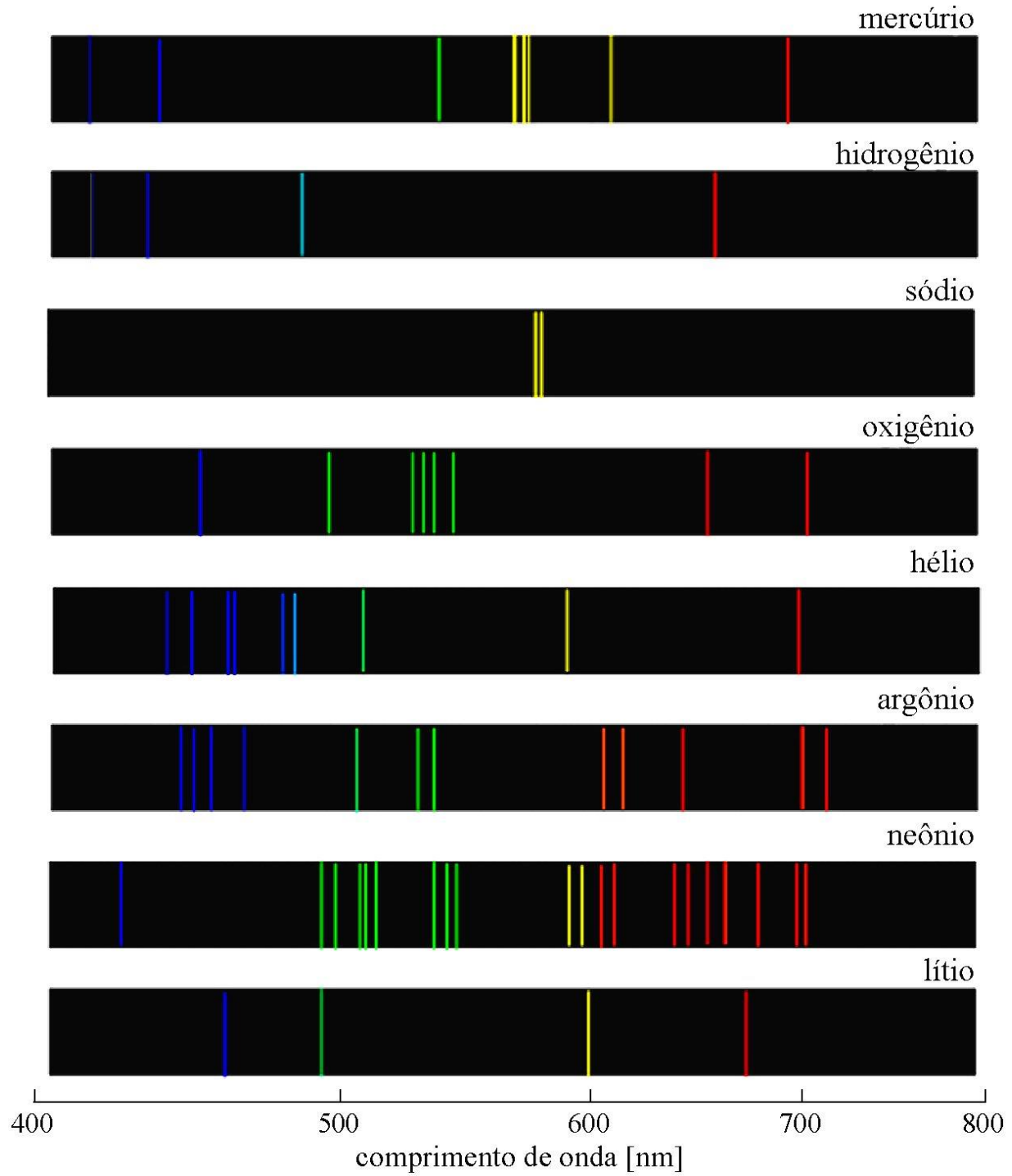
Para um elétron sair de um nível mais alto de energia  $E_2$  e descer a outro com menor energia  $E_1$  é preciso perder energia...portanto, **liberar energia para o meio**

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



# Linhas Espectrais de diversos elementos químicos

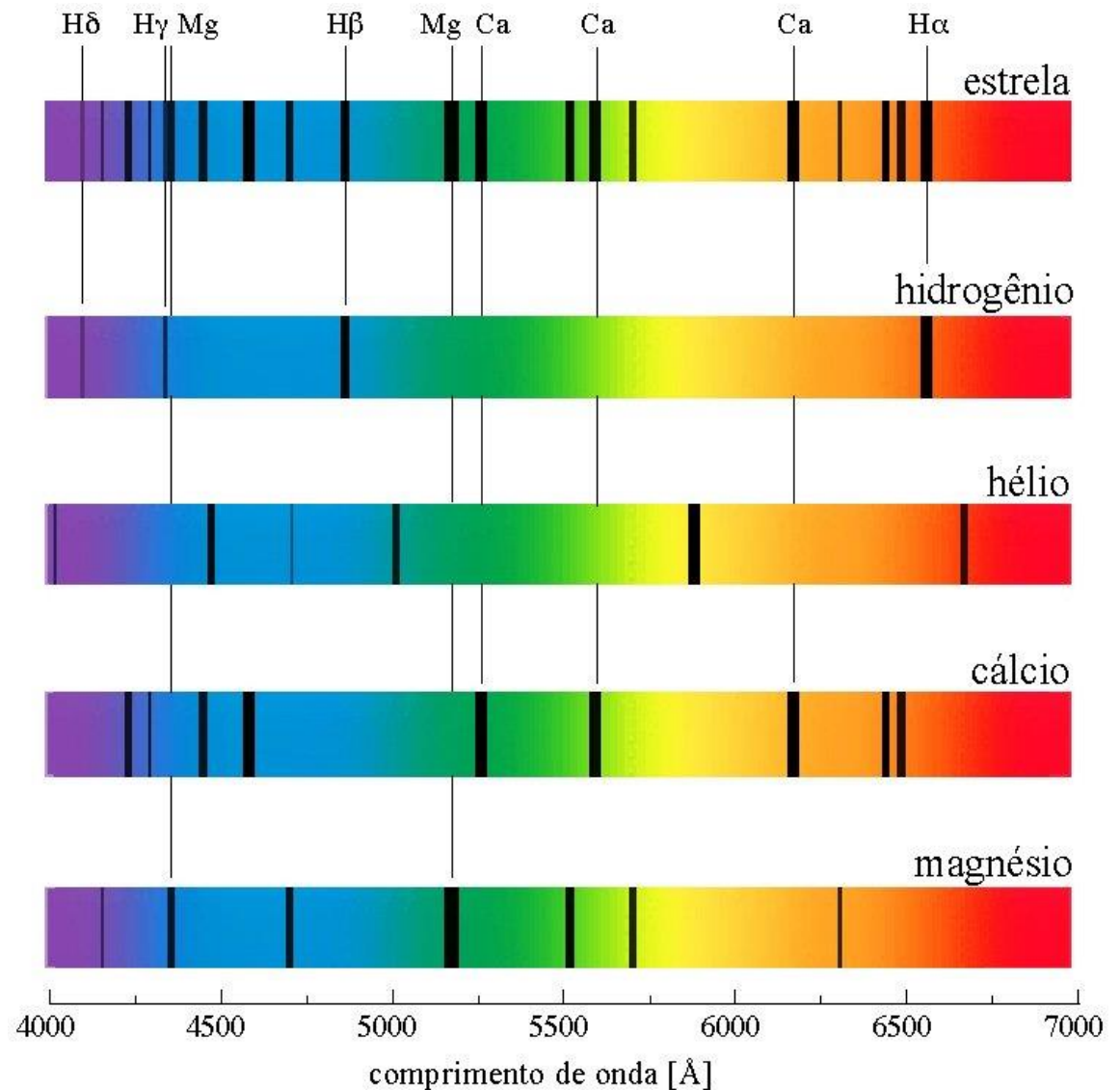
O espectro de um elemento é a assinatura de cada elemento, é como sua impressão digital.





## Linhas espectrais de uma dada estrela e a identificação dos elementos químicos

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





Continuous spectrum



Absorption spectrum of sodium (Na)



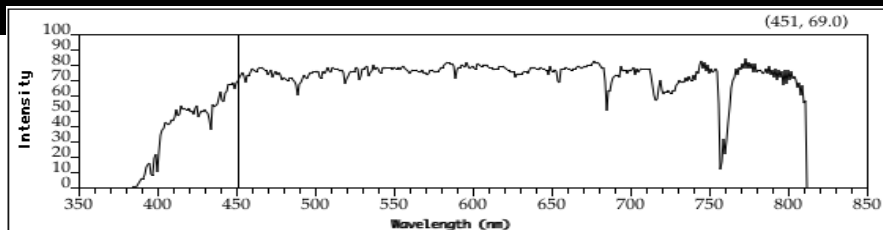
Absorption spectrum of mercury (Hg)



Absorption spectrum of lithium (Li)

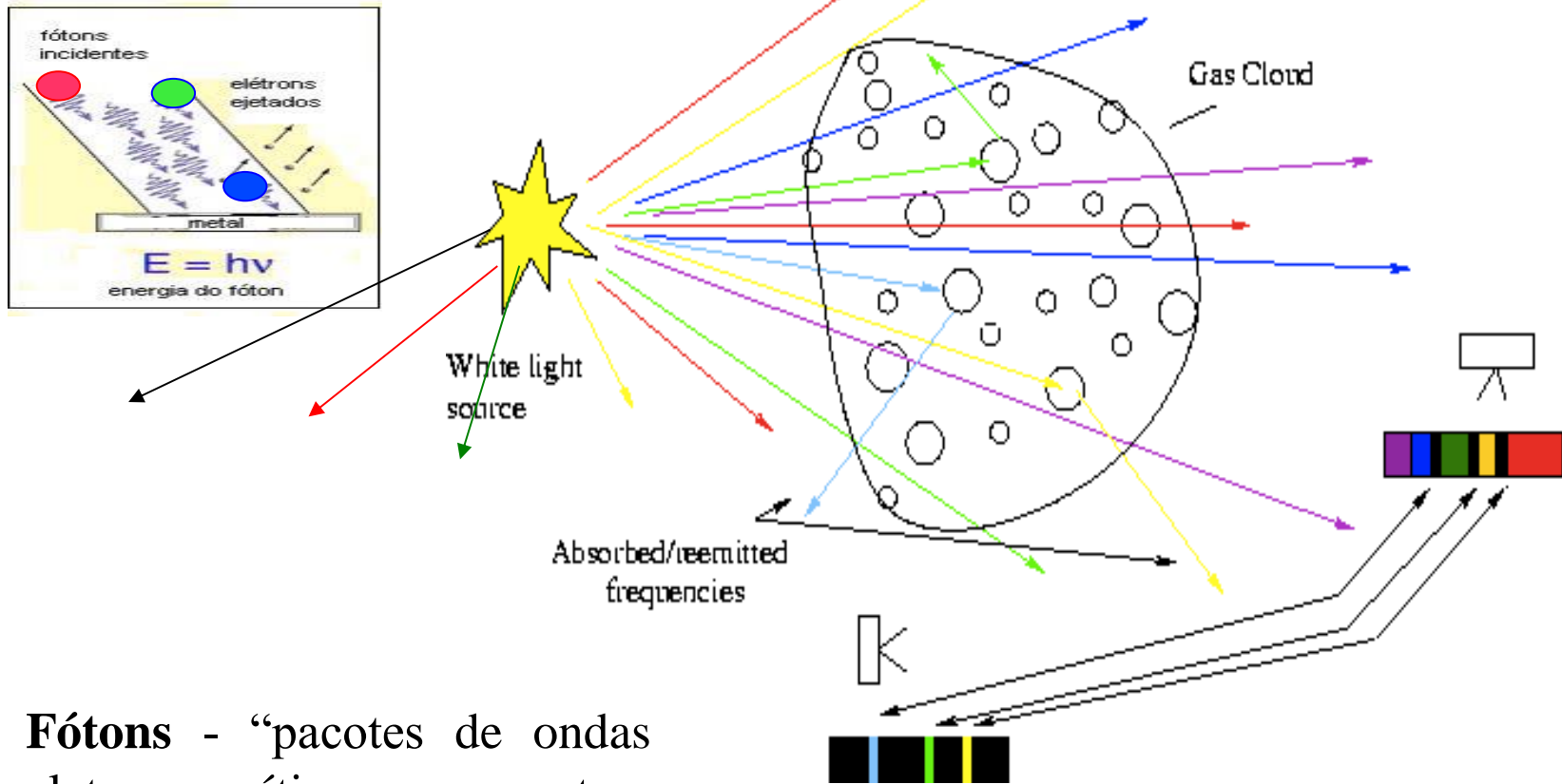


Emission spectrum of lithium (Li)



Electromagnetic Spectrum

Dependendo das condições físicas que ocorrem no Meio Interestelar é possível observar linhas de emissão ou absorção nos espectros



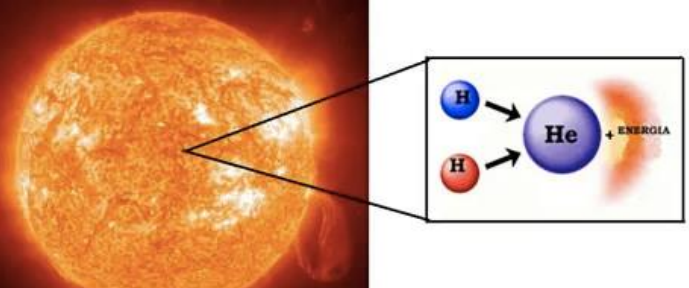
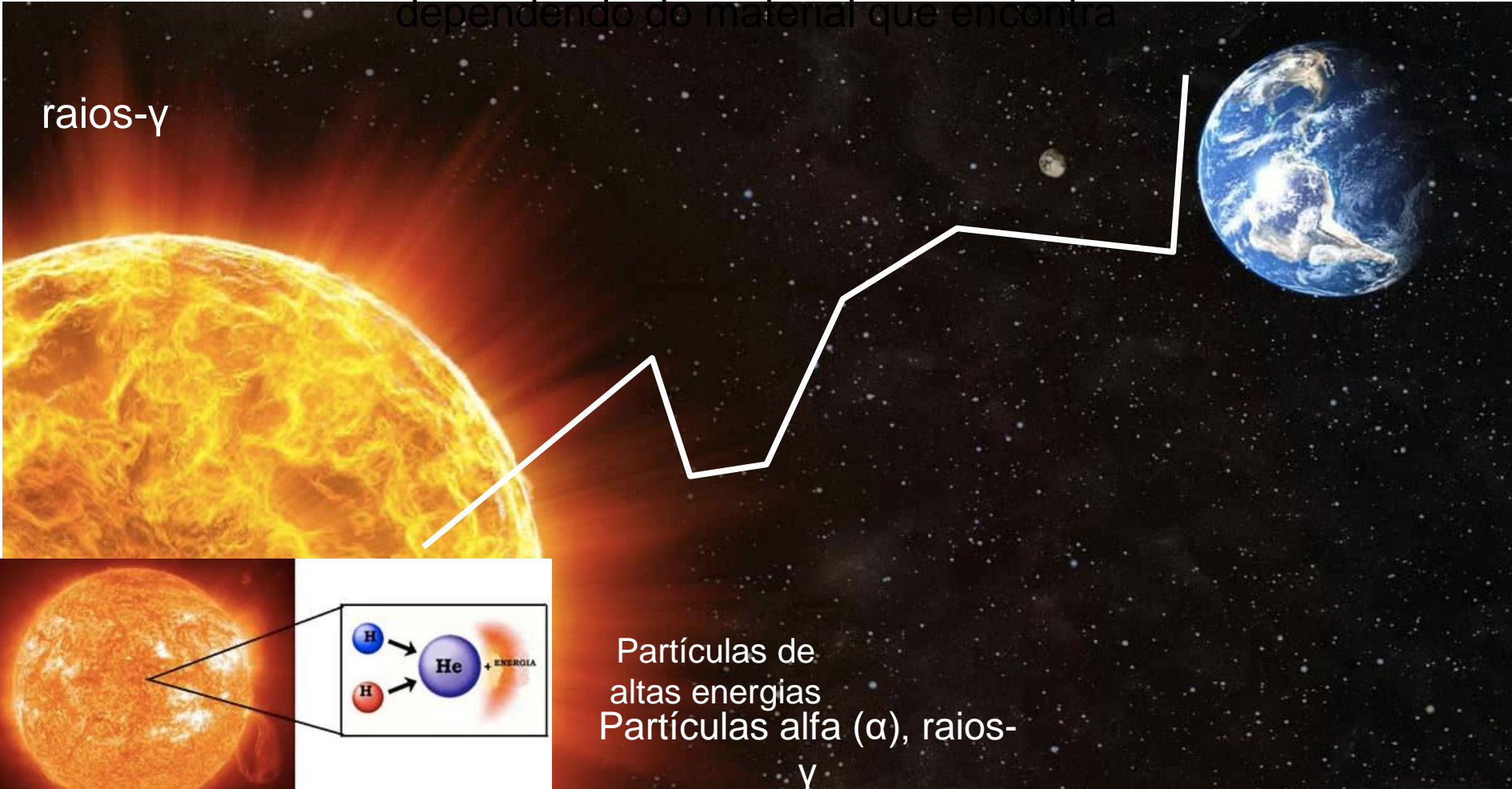
**Fótons** - “pacotes de ondas eletromagnéticas que tem **energia fixada** ( $E = h\nu = hc/\lambda$ ) e viajam como partículas”

No núcleo do Sol ocorrem reações termonucleares que realizam a fusão de núcleos de hidrogênio produzindo hélio, além de partículas de altas energias como partículas alfa ( $\alpha$ ) e raios gama ( $\gamma$ ).

Estas partículas viajam do centro do Sol para a fotosfera, colidindo com outros átomos de H, e perdem energia até que emergem como luz visível e UV, quando então atinge a Terra. Esta luz pode ser absorvida ou refletida

dependendo do material que encontra

raios- $\gamma$



Partículas de altas energias  
Partículas alfa ( $\alpha$ ), raios-

$\gamma$