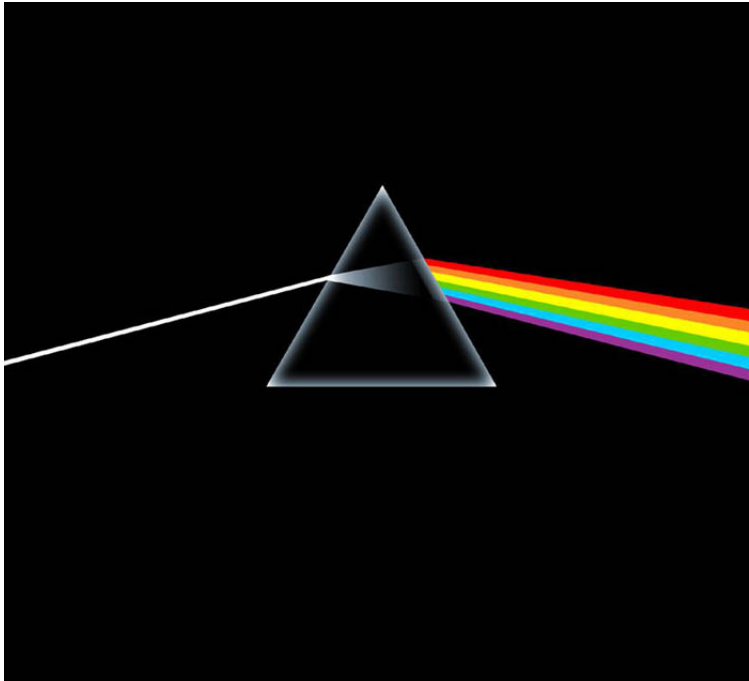


# Aula 13: Física Quântica

Bárbara Amaral  
Instituto de Física da USP

O espectro atômico de linhas e níveis de energia

Podemos obter o espectro de um feixe luminoso usando um prisma ou uma rede de difração.

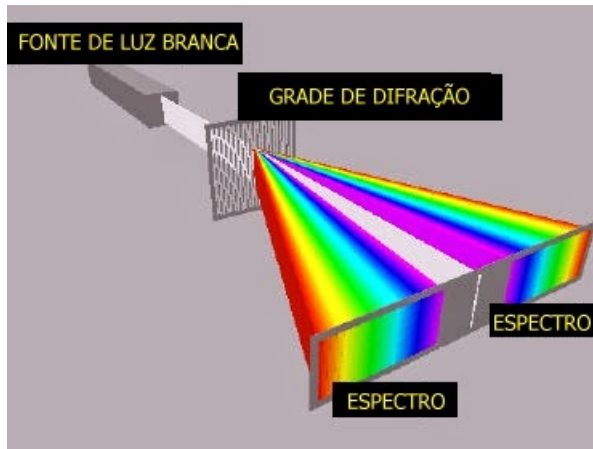


FONTE DE LUZ BRANCA

GRADE DE DIFRAÇÃO

ESPECTRO

ESPECTRO



Quando a fonte de luz é um sólido ou um líquido, obtemos um espectro **contínuo**.

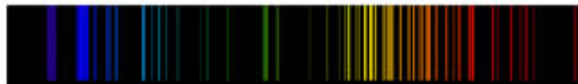
Quando a fonte de luz é um gás ou um sólido volátil, obtemos um espectro **discreto**.



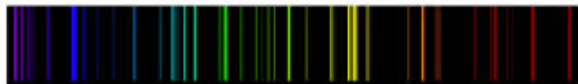
Hidrogênio



Hélio



Neônio



Mercúrio

Esse tipo de espectro é chamado **espectro de linhas**.

Cada elemento em sua forma gasosa possui em espectro de linhas que caracteriza esse elemento.

O espectro de linhas está relacionado à estrutura interna dos átomos.

Não é possível explicar o espectro de linhas através da física clássica.

A origem do **espectro de linhas** pode ser entendido a partir dos conceitos de **fótons** e **níveis de energia** do átomo.

O espectro de linhas de um elemento consiste de fótons com energias específicas que são emitidos por seus átomos.

Com a emissão, a energia do átomo varia de uma quantidade igual à energia do fóton.

# Hipótese de quantização

**Cada átomo possui um conjunto discreto de níveis de energia permitidos.**

Um átomo pode possuir qualquer valor de energia dentro desse conjunto, mas **não** pode possuir nenhum valor intermediário.

Um átomo pode fazer uma **transição** de um nível de energia para outro, emitindo ou absorvendo um fóton com energia igual à diferença de energia entre esses níveis.

Se um átomo passa de um nível de energia maior para um nível de energia menor ele **emite** um fóton de energia igual

$$hf = E_i - E_f.$$

Se um átomo passa de um nível de energia menor para um nível de energia maior ele **absorve** um fóton de energia igual

$$hf = E_f - E_i.$$

# O espectro do átomo de hidrogênio

O espectro de linhas do hidrogênio havia sido exaustivamente estudado experimentalmente.

Analizando os dados experimentais, foram encontradas fórmulas que forneciam o comprimento de onda de um conjunto de linhas do espectro.

# Série de Balmer

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

# Série de Lyman

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

# Série de Paschen

$$\frac{1}{\lambda} = R \left( \frac{1}{3^2} - \frac{1}{n^2} \right)$$

# Série de Brakett

$$\frac{1}{\lambda} = R \left( \frac{1}{4^2} - \frac{1}{n^2} \right)$$

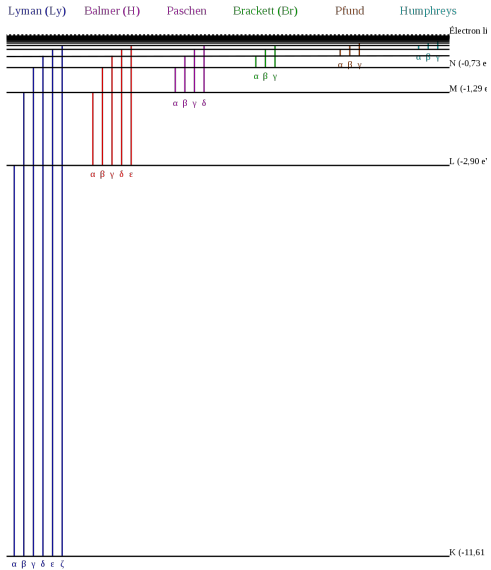
# Série de Pfund

$$\frac{1}{\lambda} = R \left( \frac{1}{5^2} - \frac{1}{n^2} \right)$$

Todas essas séries podem ser explicadas utilizando a quantização dos níveis de energia do hidrogênio e a relação entre as transições de um nível de energia para outro e a frequência dos fótons emitidos.

Além disso, essas séries sugerem que

$$E_n = \frac{-hcR}{n^2}$$



Outros átomos

Em geral não é possível representar os níveis de energia dos átomos através de fórmulas como no caso do hidrogênio.

Todo átomo possui um nível de energia mais baixo, chamado **estado fundamental**.

Os demais estados são chamados de **estados excitados**.

Um fóton correspondente a uma linha particular do espectro é emitido quando um átomo faz a transição de um nível de energia mais alta para um nível de energia mais baixa.

# Experimento de Frank-Hertz

Frank e Hertz estudaram o movimento de elétrons sob a ação de um campo elétrico em uma lâmpada de mercúrio.

Quando a energia cinética dos elétrons era maior ou igual a 4,9 eV, o vapor de mercúrio emitia luz ultravioleta com comprimento de onda  $0,25\mu\text{m}$ .

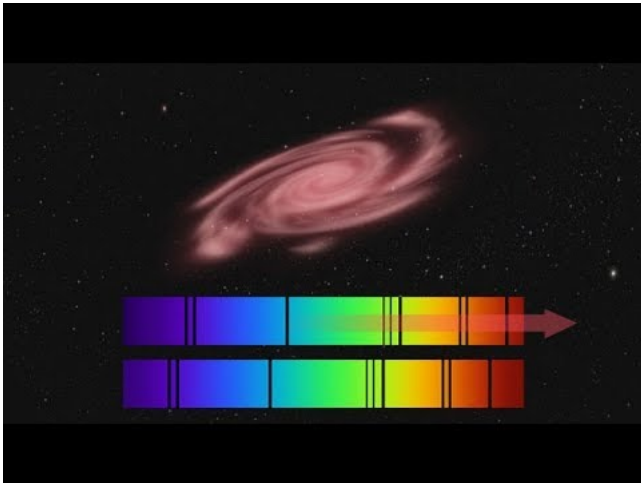
Os átomos de mercúrio possuem níveis de energia 4,9 eV acima do nível de energia do estado fundamental.

Um átomo pode ser excitado até esses níveis pela colisão com um elétron de energia alta o suficiente.

Um decaimento posterior o faz retornar ao estado fundamental com a emissão de um fóton.

Experiências semelhantes com outros elementos fornecem o mesmo tipo de comportamento, comprovando o modelo de níveis de energia proposto por Bohr.

# Aplicações



## Espectro de absorção

Um átomo em seu estado fundamental pode absorver um fóton com comprimento de onda adequado e passar a um nível de energia mais alto.

Quando fazemos um feixe de luz branca com espectro contínuo passar através de um gás e observamos a luz transmitida com um espectômetro, vemos uma série de linhas escuras correspondentes aos comprimentos de onda que foram absorvidos.

Essas linhas são chamadas **espectros de absorção**.



Continuous spectrum



Absorption spectrum of sodium (Na)



Absorption spectrum of mercury (Hg)



Absorption spectrum of lithium (Li)



Emission spectrum of lithium (Li)