

# Física quântica

Flaviano Williams Fernandes

Instituto Federal do Paraná  
Campus Irati

19 de Outubro de 2020

# Sumário

- 1 Quantização da energia
- 2 O modelo atômico
- 3 Dualidade onda partícula
- 4 Aplicações
- 5 Apêndice

## Radiação do corpo negro

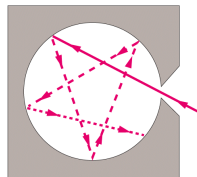
Um corpo negro é um material que absorve toda a radiação que incide sobre ele. Após absorver a radiação, o corpo negro aquece e emite radiação própria, que por sua vez depende da temperatura.

### Corollary

$$\text{Radiação} = \frac{\text{Energia}}{(\text{Área})(\text{Tempo})}$$

### Corollary

*Desde Maxwell consideramos que a luz é uma onda eletromagnética, cuja intensidade é definida como energia por tempo e área;*



Representação de um corpo negro.

## Discrepância entre a teoria clássica da radiação e a experiência

### O que era esperado pela teoria clássica

A radiação emitida pelo corpo negro deveria assumir qualquer valor, independente da frequência da onda eletromagnética.

A intensidade da onda eletromagnética é diretamente proporcional ao quadrado da frequência, portanto a intensidade da radiação deveria aumentar com o aumento da frequência.

### O que os físicos observaram

A radiação emitida pelo corpo negro aumenta até uma certa frequência, atingindo um valor máximo e decaindo a zero em seguida, à medida que a frequência aumenta.

## A Lei de Planck

### Hipótese de Planck

A energia das cargas oscilantes era uma variável discreta (quantizada) e seria proporcional a frequência da radiação emitida,

$$E_n = nhf, \quad n = 0, 1, 2, \dots$$

$$h \approx 6,63 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}, \quad (\text{Constante de Planck}).$$

### Corollary

*As idéias de Plank sobre quantização da energia marca o nascimento da Física quântica.*

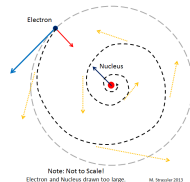
## Modelo planetário do átomo

### O que era esperado pela teoria clássica

Os elétrons se movem ao redor do núcleo em órbitas circulares;

Pela teoria do eletromagnetismo, cargas em movimento emitem radiação diminuindo sua energia;

À medida que a energia diminui, a órbita do elétron encolhe e ele colapsa para dentro do núcleo.



Teoria clássica.

### Corollary

*Com o colapso do elétron no interior do núcleo, não seria possível a formação de moléculas ou demais combinações envolvendo átomos.*

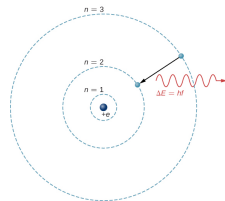
# O átomo de Bohr

## Postulados de Bohr

Os elétrons se movem em certas órbitas bem definidas sem irradiar energia;

O átomo emite radiação quando um elétron faz uma transição de uma órbita para outra;

No limite de grandes órbitas e altas energias, os resultados quânticos devem coincidir com a teoria clássica.



Modelo de Bohr.

## Princípio da correspondência

Para grandes números quânticos, os cálculos quânticos e os clássicos levam ao mesmo resultado.

## Espectro de linhas do hidrogênio

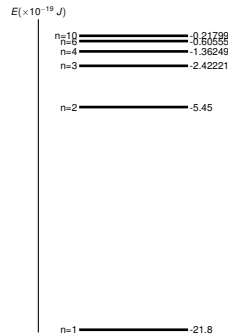
### Níveis de energia do átomo de hidrogênio

$$E_n = \frac{E_1}{n^2}, \quad (n = 1, 2, 3, \dots),$$

$$E_1 = -2,18 \times 10^{-18} \text{ J}, \quad (\text{estado fundamental}).$$

### Corollary

*O elétron ao redor do átomo adquire valores discretos de energia, e no limite  $n \rightarrow \infty$  se aproxima do resultado clássico (energias no continuum).*



Níveis de energia do hidrogênio.



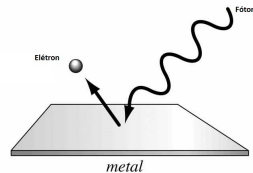
## O efeito fotoelétrico

### O que era esperado pela teoria clássica

A energia cinética dos elétrons deveria depender da intensidade da luz;

O efeito fotoelétrico deveria ocorrer com luz de qualquer frequência;

Deveria haver um retardo no tempo, de modo que o elétron absorveria continuamente o feixe de energia.



Representação de um corpo negro.

### Hipótese de Einstein

A luz é constituída por pacotes de energia ( $E = hf$ ) chamados fótons.

## Postulado de de Broglie

### Hipótese de de Broglie

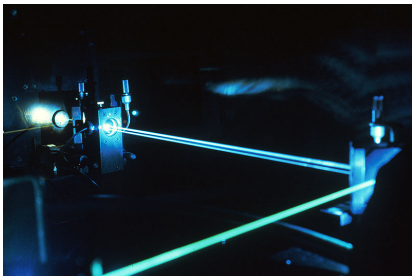
Devido a simetria da natureza, o dualismo onda-partícula é um fenômeno absolutamente geral,

$$f = \frac{E}{h}, \quad (\text{Efeito fotoelétrico}),$$
$$\lambda = \frac{h}{p}, \quad (\text{Postulado de de Broglie}).$$

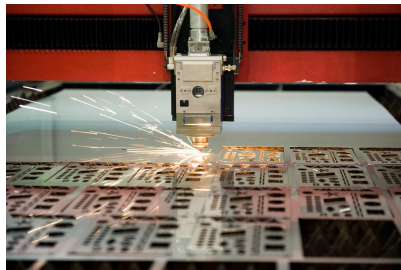
### Corollary

*Os elétrons se movem como ondas ao redor do núcleo, o que explica o modelo atômico de Bohr.*

# Laser



Laser de Argônio [2].



Laser usado para cortar chapas metálicas [3].

## Transformar um número em notação científica

### Corollary

*Passo 1: Escrever o número incluindo a vírgula.*

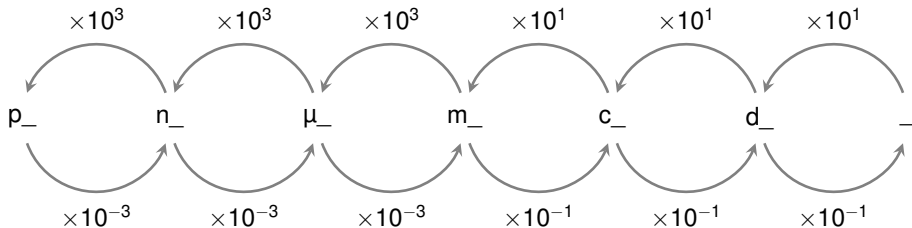
*Passo 2: Andar com a vírgula até que reste somente um número diferente de zero no lado esquerdo.*

*Passo 3: Colocar no expoente da potência de 10 o número de casas decimais que tivemos que "andar" com a vírgula. Se ao andar com a vírgula o valor do número diminuiu, o expoente ficará positivo, se aumentou o expoente ficará negativo.*

### Exemplo

$$6\,590\,000\,000\,000\,000,0 = 6,59 \times 10^{15}$$

## Conversão de unidades em uma dimensão

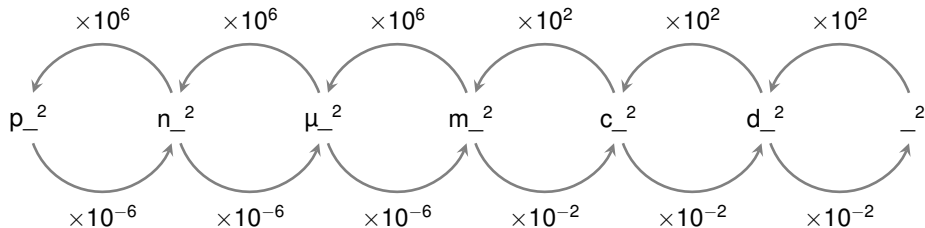


$$1 \text{ mm} = 1 \times 10^{(-1) \times 2} \text{ dm} \rightarrow 1 \times 10^{-2} \text{ dm}$$

$$2,5 \text{ g} = 2,5 \times 10^{(1) \times 3} \text{ mg} \rightarrow 2,5 \times 10^3 \text{ mg}$$

$$10 \mu\text{C} = 10 \times 10^{[(-3) \times 1 + (-1) \times 3]} \text{ C} \rightarrow 10 \times 10^{-6} \text{ C}$$

## Conversão de unidades em duas dimensões

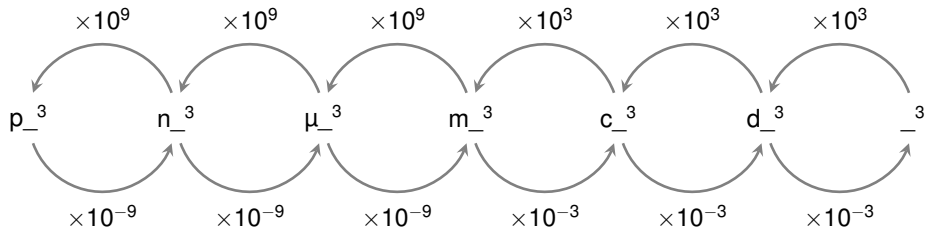


$$1 \text{ mm}^2 = 1 \times 10^{(-2) \times 2} \text{ dm}^2 \rightarrow 1 \times 10^{-4} \text{ dm}^2$$

$$2,5 \text{ m}^2 = 2,5 \times 10^{(2) \times 3} \text{ mm}^2 \rightarrow 2,5 \times 10^6 \text{ mm}^2$$

$$10 \mu\text{m}^2 = 10 \times 10^{[(-6) \times 1 + (-2) \times 3]} \text{ m}^2 \rightarrow 10 \times 10^{-12} \text{ m}^2$$

## Conversão de unidades em três dimensões



$$1 \text{ mm}^3 = 1 \times 10^{(-3) \times 2} \text{ dm}^3 \rightarrow 1 \times 10^{-6} \text{ dm}^3$$

$$2,5 \text{ m}^3 = 2,5 \times 10^{(3) \times 3} \text{ mm}^3 \rightarrow 2,5 \times 10^9 \text{ mm}^3$$

$$10 \mu\text{m}^3 = 10 \times 10^{[(-9) \times 1 + (-3) \times 3]} \text{ m}^3 \rightarrow 10 \times 10^{-18} \text{ m}^3$$

## Alfabeto grego

Alfa	$A$	$\alpha$	Ni	$N$	$\nu$
Beta	$B$	$\beta$	Csi	$\Xi$	$\xi$
Gama	$\Gamma$	$\gamma$	ômicon	$O$	$o$
Delta	$\Delta$	$\delta$	Pi	$\Pi$	$\pi$
Epsílon	$E$	$\epsilon, \varepsilon$	Rô	$P$	$\rho$
Zeta	$Z$	$\zeta$	Sigma	$\Sigma$	$\sigma$
Eta	$H$	$\eta$	Tau	$T$	$\tau$
Teta	$\Theta$	$\theta$	Ípsilon	$\Upsilon$	$v$
Iota	$I$	$\iota$	Fi	$\Phi$	$\phi, \varphi$
Capa	$K$	$\kappa$	Qui	$X$	$\chi$
Lambda	$\Lambda$	$\lambda$	Psi	$\Psi$	$\psi$
Mi	$M$	$\mu$	Ômega	$\Omega$	$\omega$



## Referências

-  A. Máximo, B. Alvarenga, C. Guimarães, Física. Contexto e aplicações, v.1, 2.ed., São Paulo, Scipione (2016)
-  [https://nl.m.wikipedia.org/wiki/Bestand:Nci-vol-2268-300\\_argon\\_ion\\_laser.jpg](https://nl.m.wikipedia.org/wiki/Bestand:Nci-vol-2268-300_argon_ion_laser.jpg)
-  <https://www.thefabricator.com/article/lasercutting/back-to-basics-the-subtle-science-of-burr-free-laser-cutting>

Esta apresentação está disponível para download no endereço  
<https://flavianowilliams.github.io/teaching>