

# Física quântica

Flaviano Williams Fernandes

Instituto Federal do Paraná  
Campus Irati

31 de outubro de 2025

# Sumário

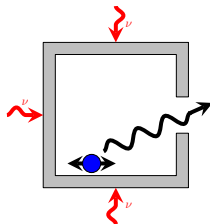
- 1 **Quantização da energia**
- 2 **Dualidade onda partícula**
- 3 **O modelo atômico**
- 4 **Incerteza na física quântica**
- 5 **Aplicações**
- 6 **Apêndice**

## 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

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



Representação de um corpo negro.

### Corollary

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

## 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 no interior do corpo negro não pode assumir qualquer valor, mas sim valores discretos (quantizados), e que 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

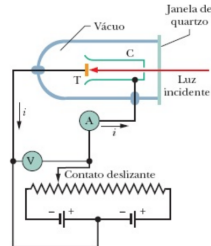
*As idéias de Plank sobre quantização da energia marca o nascimento da Física quântica.*

## O efeito fotoelétrico - O que era esperado?

A luz incide na parte T, os elétrons do metal absorve a energia da luz e pela teoria clássica deveria escapar do material, acusando uma corrente  $i$  no amperímetro.

### 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.

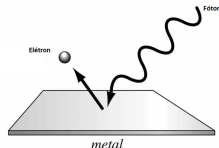


Montagem usada para o estudo do efeito fotoelétrico..

## O efeito fotoelétrico - O que foi obtido!

### O que era esperado pela teoria clássica

- ✓ Os elétrons não escapam do material, independente da intensidade da luz incidente;
- ✓ Foi observado um valor mínimo para a frequência para que os elétrons escapem do material;
- ✓ Os elétrons não escapam do material se a frequência for menor que o valor mínimo, não importa o tempo que fique exposto.



Elétron escapando do metal após absorver a energia do fóton.

### Surgimento do fóton

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

## Efeito fotoelétrico - caráter corpuscular da luz

De acordo com Einstein, a luz deveria possuir além de energia mas também momento, onde

$$p = \frac{E}{c}.$$

Sabendo que pela onda  $c = \lambda f$ , teremos

### Hipótese de Einstein

$$E = hf, \quad (\text{Efeito fotoelétrico}),$$
$$p = \frac{h}{\lambda}.$$

Assim, a luz assumiria um caráter corpuscular.



## Postulado de de Broglie

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

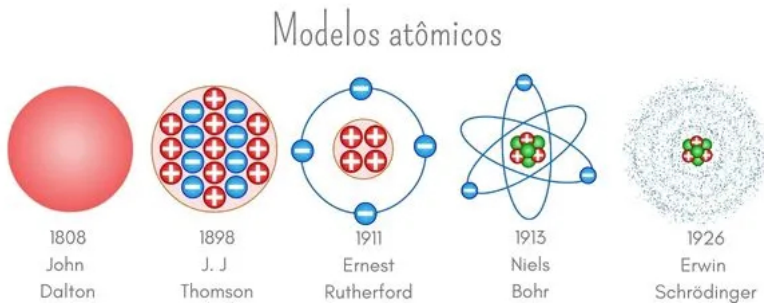
### Hipótese de de Broglie

$$f = \frac{E}{h},$$
$$\lambda = \frac{h}{p}.$$

### Corollary

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

## Modelos atômicos



Fonte: Uol: BrasilEscola [4]

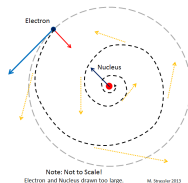
## Modelo planetário do átomo

### 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.*

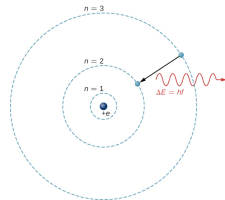
# O átomo de Bohr

## 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

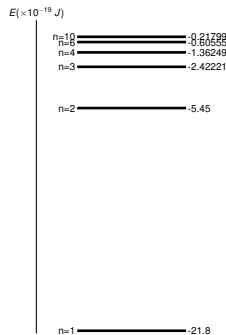
### Níveis de energia do átomo de hidrogênio

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

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

### 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.

## Princípio da incerteza de Heisenberg

A física quântica afirma que é impossível saber com total exatidão...

- ✓ a quantidade de movimento e a localização de uma partícula simultaneamente,

$$\Delta x \Delta p \geq \frac{\hbar}{2}$$

- ✓ e a energia de uma partícula e o instante que essa partícula possui essa energia simultaneamente,

$$\Delta E \Delta t \geq \frac{\hbar}{2}$$

### Corollary

*$\hbar$  é chamado constante reduzida de Planck e seu valor é  $\frac{h}{2\pi}$ .*

## Princípio filosófico da física quântica

Foi defendido por Niels Bohr e Wener Heisenberg em 1927, logo após a conferência de Solvay, a interpretação de Copenhague, que consistia dos seguintes preceitos:

- ✓ Nunca poderemos saber com total exatidão os valores de grandezas físicas na física quântica;
- ✓ A física é a ciência onde os resultados são obtidos através de um processo de medida;
- ✓ O simples ato de observar destrói a certeza da medição.

### Corollary

*Assista o vídeo demonstrando o princípio filosófico da física quântica.*

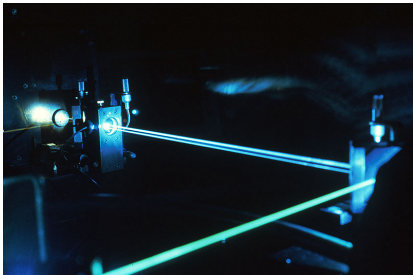
## Princípio filosófico da física quântica (continuação)



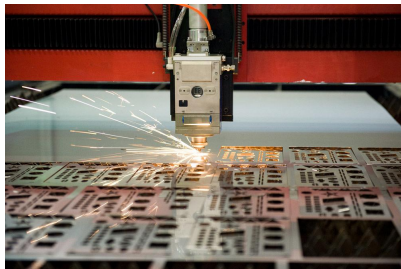
Conferência de Solvay em 1927.



# Laser



Laser de Argônio [2].







Laser usado para cortar chapas metálicas [3].

## Alfabeto grego

Alfa	$A$	$\alpha$
Beta	$B$	$\beta$
Gama	$\Gamma$	$\gamma$
Delta	$\Delta$	$\delta$
Epsílon	$E$	$\epsilon, \varepsilon$
Zeta	$Z$	$\zeta$
Eta	$H$	$\eta$
Teta	$\Theta$	$\theta$
Iota	$I$	$\iota$
Capa	$K$	$\kappa$
Lambda	$\Lambda$	$\lambda$
Mi	$M$	$\mu$

Ni	$N$	$\nu$
Csi	$\Xi$	$\xi$
ômicon	$O$	$o$
Pi	$\Pi$	$\pi$
Rô	$P$	$\rho$
Sigma	$\Sigma$	$\sigma$
Tau	$T$	$\tau$
Ípsilon	$\Upsilon$	$\upsilon$
Fi	$\Phi$	$\phi, \varphi$
Qui	$X$	$\chi$
Psi	$\Psi$	$\psi$
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>
-  <https://brasilecola.uol.com.br/fisica/modelos-atomicos.htm>

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