

Física quântica

Flaviano Williams Fernandes

Instituto Federal do Paraná
Campus Iratí

5 de novembro de 2025

Sumário

1 Quantização da energia

2 Dualidade onda partícula

3 O modelo atômico

4 Incerteza na física quântica

5 Aplicações

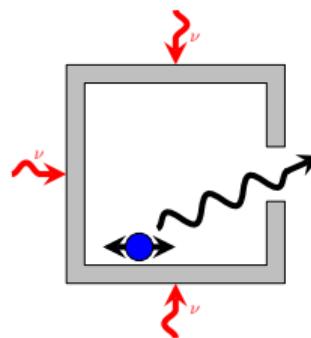
6 Apêndice

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

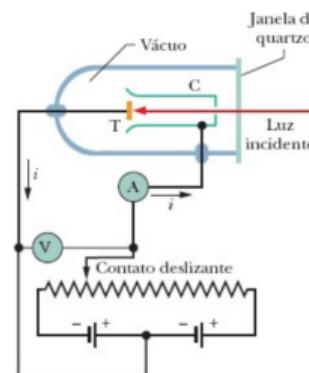
As idéias de Plank sobre quantização da energia marca o nascimento da Física quântica.

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.

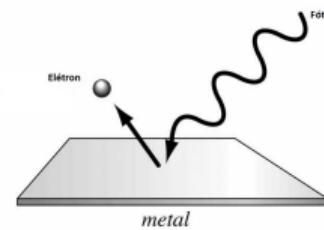


Montagem usada para o estudo do efeito fotoelétrico..

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

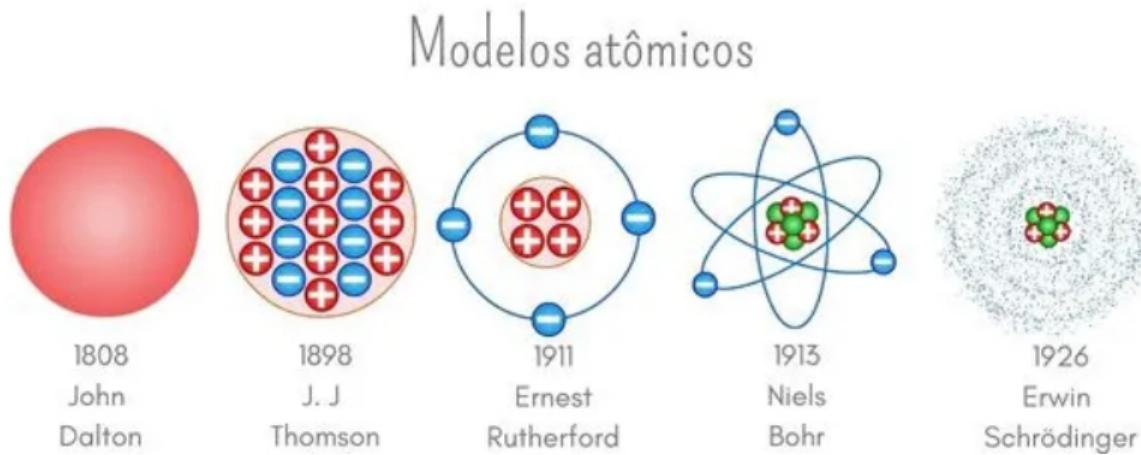
$$f = \frac{E}{h},$$

$$\lambda = \frac{h}{p}.$$

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]

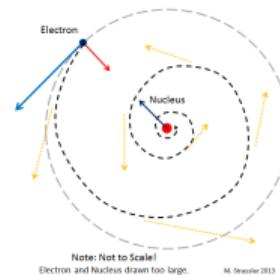
Modelo planetário do átomo

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.

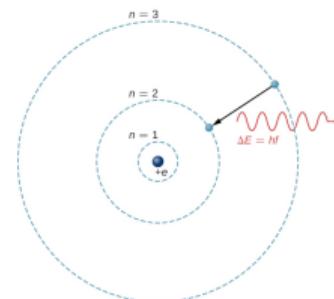
O átomo de Bohr

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

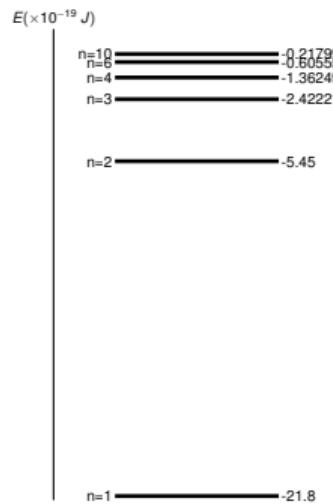
Níveis de energia do átomo de hidrogênio

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

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

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,

$$\Delta x \Delta p \geq \frac{h}{4\pi}$$

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

$$\Delta E \Delta t \geq \frac{h}{4\pi}$$

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 Werner 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

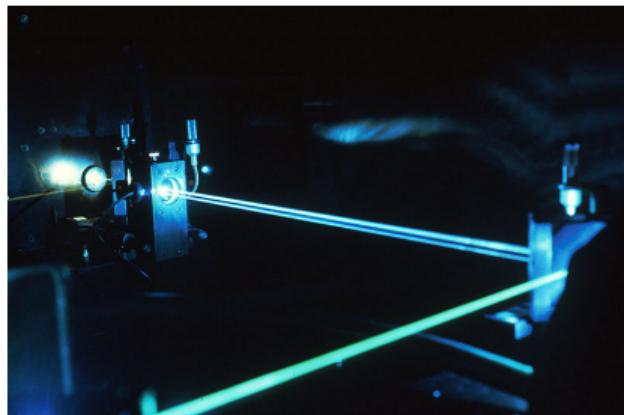
Assista o vídeo demonstrando o princípio filosófico da física quântica.

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	α	Ni	N	ν
Beta	B	β	Csi	Ξ	ξ
Gama	Γ	γ	ômicron	O	o
Delta	Δ	δ	Pi	Π	π
Epsílon	E	ϵ, ε	Rô	P	ρ
Zeta	Z	ζ	Sigma	Σ	σ
Eta	H	η	Tau	T	τ
Teta	Θ	θ	Ipsilon	Υ	v
Iota	I	ι	Fi	Φ	ϕ, φ
Capa	K	κ	Qui	X	χ
Lambda	Λ	λ	Psi	Ψ	ψ
Mi	M	μ	Ômega	Ω	ω

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://www.thefabricator.com/article/lasercutting/back-to-basics-the-subtle-science-of-burr-free-laser-cutting>
-  [https://brasilescola.uol.com.br/fisica/modelos-atatomicos.htm](https://brasilescola.uol.com.br/fisica/modelos-atomicos.htm)

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