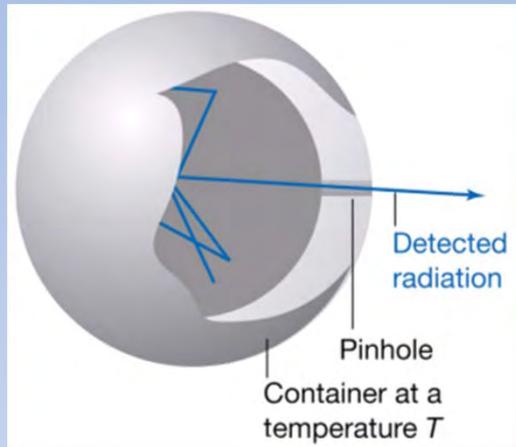


Radiação do corpo negro

Corpo Negro

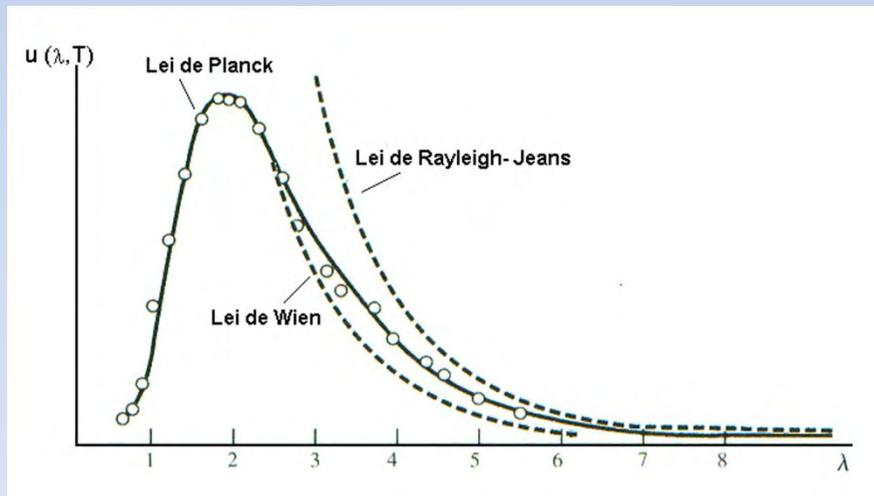


Teoria de Rayleigh-Jeans:

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

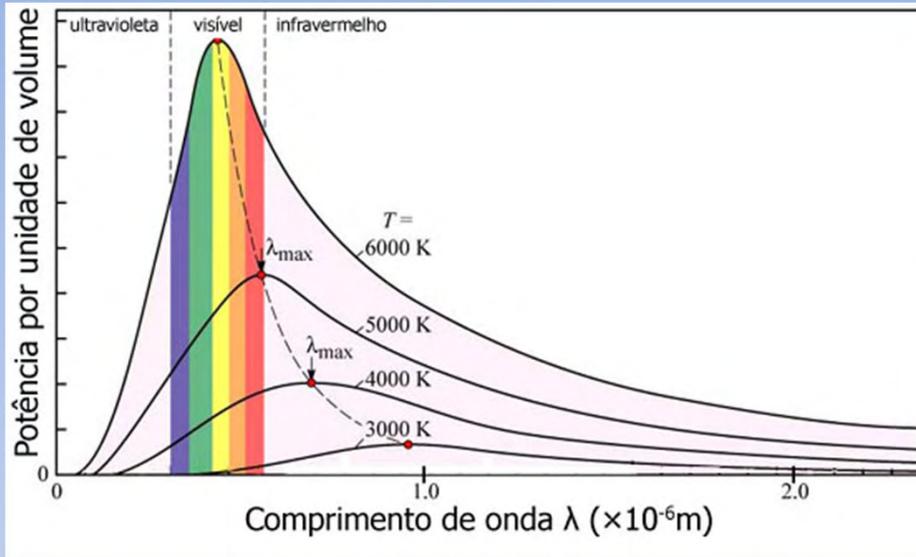
Teoria de Planck:

$$I(\lambda, T) = \frac{2\pi c^2 h}{\lambda^5 \left(e^{hc/\lambda k_B T} - 1 \right)}$$



$$h = 6,63 \times 10^{-34} \text{ J.s}$$

(constante de Planck)



Teoria de Planck:

$$I(\lambda, T) = \frac{2\pi c^2 h}{\lambda^5 \left(e^{hc/\lambda k_B T} - 1 \right)}$$

Lei do deslocamento de Wien:

$$\lambda_{m\acute{a}x} T = 0,2898 \cdot 10^{-2} m.K$$

Postulados de Planck

- 1) As moléculas oscilantes que emitem radiação só podem ter valores discretos de energia:

$$E_n = n h f$$

- 2) As moléculas emitem ou absorvem energia em unidade discreta de energia luminosa, os quanta (fótons).

Corpo Negro

- 1) Calcular a energia de um fóton cuja frequência seja (a) $6,2 \cdot 10^{14}$ Hz, (b) 3,1 GHz, (c) 46 MHz. Dar as respostas em eV.

Resposta: (a) $2,57 \text{ eV}$, (b) $1,28 \cdot 10^{-5} \text{ eV}$, (c) $1,91 \cdot 10^{-7} \text{ eV}$.

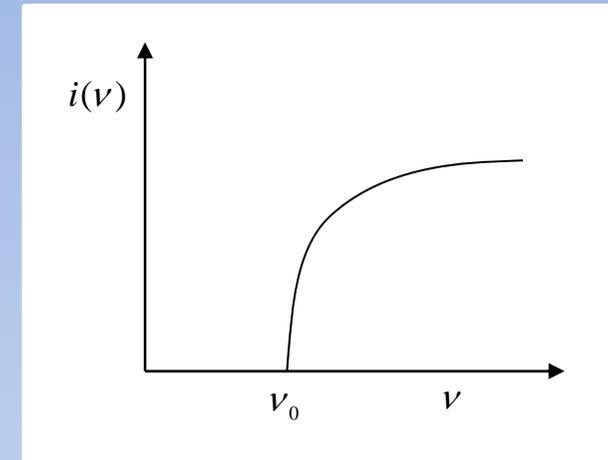
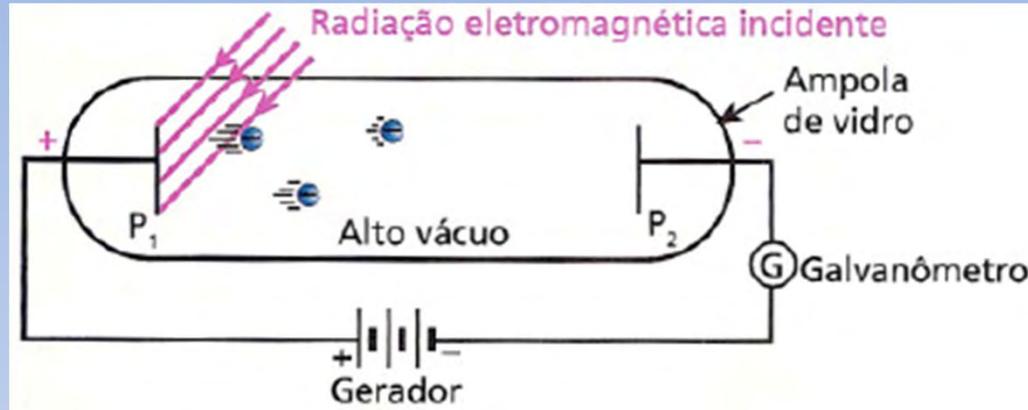
- 2) Com a lei do deslocamento de Wien, calcular a temperatura superficial de uma estrela gigante vermelha que irradia com o pico de intensidade em $\lambda_{\text{máx}} = 650 \text{ nm}$.

Resposta: $4,46 \cdot 10^3 \text{ K}$.

- 3) Qual o comprimento de onda do pico de radiação emitida pelo corpo humano? Admitir que a temperatura do corpo seja 35°C e use a lei do deslocamento de Wien. Em que parte do espectro eletromagnético está este comprimento de onda?

Resposta: $9,35 \mu\text{m}$; infravermelho.

Efeito Fotoelétrico



$$E_c = E - \phi$$

- E é a energia do fóton absorvido pelo elétron
- E_{cmax} é a energia cinética máxima dos fotoelétrons
- ϕ_0 é uma característica do metal, função trabalho.

$$E_c = hf - \phi_0$$

Assumindo que a absorção de energia de 1 elétron se dê através da absorção de 1 quantum.

Efeito Fotoelétrico

- 4) A função trabalho do potássio é $2,24 \text{ eV}$. Se uma superfície de potássio metálico for iluminada por luz de comprimento de onda de 480 nm , achar (a) a energia cinética máxima dos fotoelétrons e (b) o limiar de comprimento de onda.

Resposta: (a) $0,350 \text{ eV}$; (b) 555 nm .

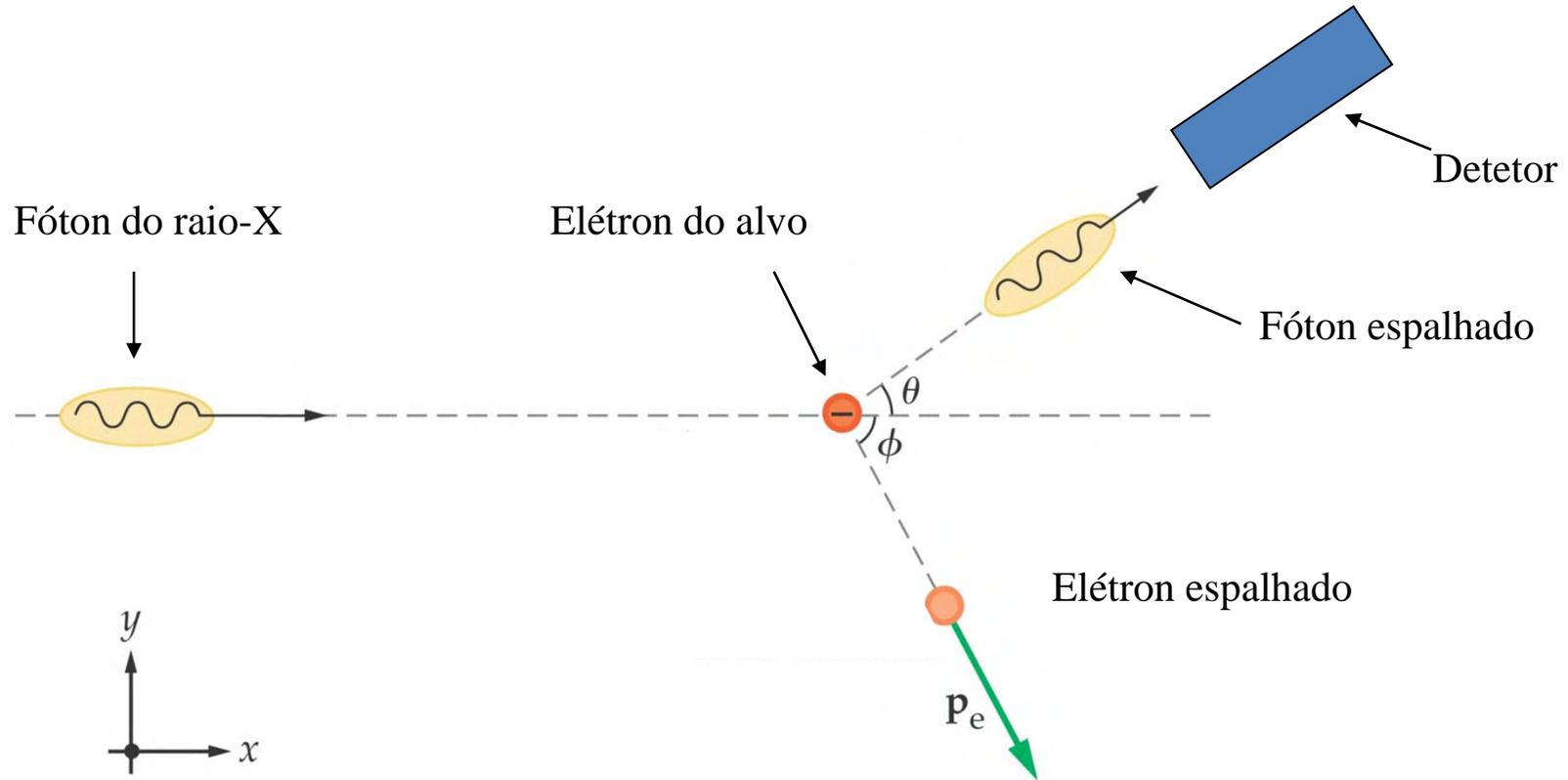
- 5) Quando o metal césio for iluminado por luz de comprimento de onda de 500 nm , os fotoelétrons emitidos terão a energia cinética máxima de $0,57 \text{ eV}$. Achar (a) a função trabalho do césio e (b) o potencial frenador se a luz incidente tiver o comprimento de onda de 600 nm .

Resposta: (a) $1,92 \text{ eV}$; (b) $0,159 \text{ V}$.

- 6) Duas fontes de luz são usadas em uma experiência de efeito fotoelétrico que visa determinar a função trabalho de certa superfície metálica. Quando é usada a luz verde de uma lâmpada de mercúrio ($\lambda = 546,1 \text{ nm}$), o potencial retardador de $1,70 \text{ V}$ reduz a fotocorrente a zero. a) Com essa medida qual é a função trabalho desse metal? (b) Qual o potencial frenador que seria observado se fosse usada a luz amarela de um tubo de descarga em hélio ($\lambda = 587,5 \text{ nm}$)?

Resposta: (a) $0,571 \text{ eV}$; (b) $1,54 \text{ V}$.

Efeito Compton



$$\lambda' - \lambda_0 = \frac{h}{m_0 c} (1 - \cos \theta)$$

$$\lambda_c \equiv \frac{h}{m_0 c} \approx 2,43 \times 10^{-12} \text{ m}$$

λ_c é o comprimento de onda de Compton da partícula espalhada.

Efeito Compton

- 7) Calcular a energia e o momento de um fóton de comprimento de onda de 700 nm.

Resposta: 1,78 eV; $9,47 \cdot 10^{-28}$ Kg.m/s.

- 8) Qual o ângulo de espalhamento sob o qual o deslocamento do comprimento de onda de um raio X de 1 nm é 0,02%?

Resposta: 23,4°.

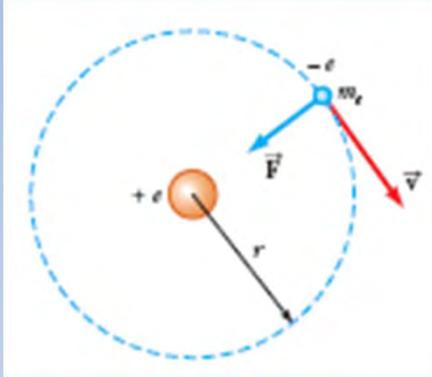
- 9) Um fóton de raios X com 0,03 nm é espalhado por um elétron livre. (a) Se o deslocamento no comprimento de onda do raio X for igual ao comprimento de onda Compton do elétron, qual será a energia cinética do elétron depois da colisão? (b) Qual sua velocidade?

Resposta: (a) 3,10 keV, (b) $0,110c = 32,9 \cdot 10^6$ m/s

- 10) Depois de espalhar o fóton de um raio X com 0,80 nm, um elétron livre recua com velocidade igual a $1,4 \cdot 10^6$ m/s. (a) Qual foi o deslocamento Compton no comprimento de onda do fóton? (b) Sob que ângulo o fóton foi espalhado?

Resposta: (a) $2,88 \cdot 10^{-12}$ m; (b) 101°.

A teoria de Bohr para o átomo de Hidrogênio



- 1) O elétron se move em órbitas circulares em torno do próton, sob a influência da força de atração coulombiana.
- 2) Somente certas órbitas são estáveis, nas quais o elétron não irradia energia.
- 3) A radiação é emitida pelo átomo quando um elétron salta de um estado estacionário inicial, com energia maior, para um estado com menor energia.

$$E_i - E_f = hf$$

- 4) As órbitas permitidas são aquelas nas quais o momento angular orbital do elétron é um múltiplo inteiro de \hbar .

$$mvr = n\hbar \quad n = 1, 2, 3, \dots$$

Modelo Quântico do Átomo de Bohr

- 11) Use $r_n = \frac{n^2 \hbar^2}{mke^2}$ para calcular o raio da primeira, da segunda e da terceira órbita de Bohr no hidrogênio.

Resposta: $0,529 \text{ \AA}$; $2,12 \text{ \AA}$; $4,77 \text{ \AA}$.

- 12) (a) Construir o diagrama de níveis de energia do íon He^+ no qual $Z = 2$. (b) Qual a energia de ionização do He^+ ?

Resposta: (a) $E_n = -\frac{54,4}{n^2} \text{ eV}$, $n = 1, 2, 3, \dots$; (b) $-54,4 \text{ eV}$.

- 13) Qual o raio da primeira órbita de Bohr no (a) He^+ , (b) Li^{2+} e (c) Be^{3+} ?

Resposta: (a) $0,265 \text{ \AA}$; (b) $0,177 \text{ \AA}$; (c) $0,132 \text{ \AA}$.

- 14) Um fóton é emitido por um átomo de hidrogênio que sofre uma transição do estado $n = 6$ para o estado $n = 2$. Calcule (a) a energia, (b) o comprimento de onda e (c) a frequência do fóton emitido.

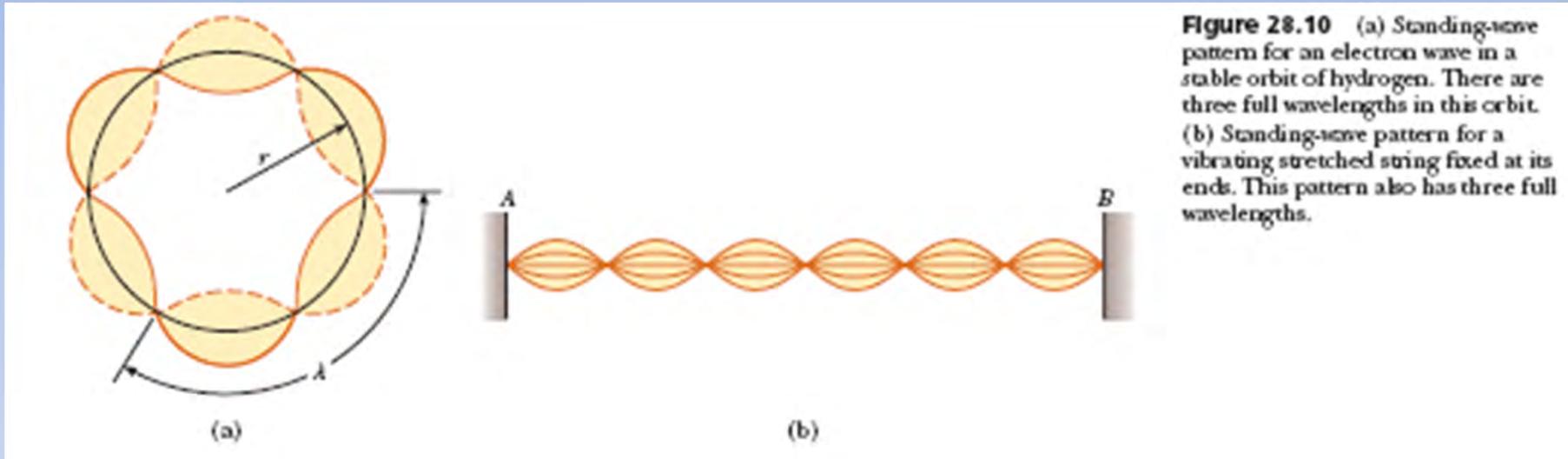
Resposta: (a) $3,03 \text{ eV}$; (b) 411 nm ; (c) $7,32 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$.

- 15) Ache a energia potencial e a energia cinética de um elétron no primeiro estado excitado do átomo de hidrogênio.

Resposta: $-6,80 \text{ eV}$; $+3,40 \text{ eV}$.

Quantização do Momento Angular no Modelo de Bohr

Louis de Broglie e as propriedades ondulatórias das partículas



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

$$n\lambda = 2\pi r$$

$$\hbar = \frac{h}{2\pi}$$

$$L = mvr = n\hbar$$

A natureza exata da onda não era determinada, e o modelo leva a densidades eletrônicas não razoáveis e a grandes distâncias do núcleo.

Propriedades Ondulatórias das Partículas

- 16) Calcular o comprimento de onda de de Broglie de a) um próton à velocidade de 10^6 m/s e b) uma pessoa de 75 kg que esteja correndo a 5 m/s.

Resposta: a) $3,97 \cdot 10^{-13}$ m; b) $1,77 \cdot 10^{-36}$ m.

- 17) Um elétron tem o comprimento de onda de de Broglie igual ao perímetro de um átomo de hidrogênio. Qual a energia cinética do elétron? Como esta energia se compara com a energia do átomo de hidrogênio no seu estado fundamental?

Resposta: 13,6 eV.

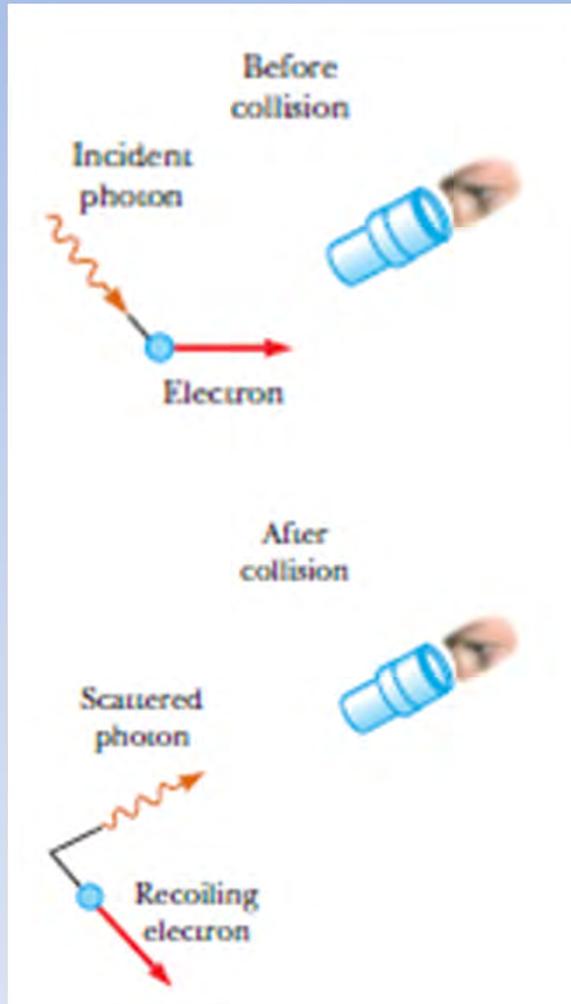
- 18) Num microscópio eletrônico, os elétrons são acelerados por 40.000 V. Qual seria, teoricamente, a menor distância entre dois objetos que poderia ser percebida no microscópio?

Resposta: 6,13 pm.

- 19) O poder de resolução de um microscópio é proporcional ao comprimento de onda da radiação usada. Para que seja possível "ver" um átomo, a resolução do microscópio usado deve ser de aproximadamente 10^{-11} m (0,1Å). a) Se forem usados elétrons (microscópio eletrônico), qual a energia cinética mínima que deveria ter os elétrons? b) Se forem usado fótons, qual a energia mínima dos fótons para que se tenha resolução de 10^{-11} m?

Resposta: a) 15 keV; b) 124 keV.

Princípio da Incerteza de Heisenberg



Posição-velocidade:

$$\Delta x \Delta p \geq \hbar$$

Energia-tempo:

$$\Delta E \Delta t \geq \hbar$$

Princípio da Incerteza

20) Uma fonte de luz é usada para determinar a localização de um elétron num átomo com uma precisão de $0,05 \text{ nm}$. Qual a incerteza na velocidade do elétron?

Resposta: $2,3 \cdot 10^6 \text{ m/s}$.

21) Um próton tem uma energia cinética de 1 MeV . Se o seu momento for medido com uma incerteza de 5%, qual a incerteza mínima na posição?

Resposta: $9,08 \cdot 10^{-14} \text{ m}$.

22) Um garoto deixa uma pequenina pelota cair do alto de uma escada visando a um alvo no solo. a) mostre que, conforme o princípio da incerteza, o afastamento em relação ao alvo deve ser pelo menos

$$\Delta x = \left(\frac{\hbar}{m} \right)^{1/2} \left(\frac{H}{2g} \right)^{1/4}$$

onde H é a distância vertical inicial de cada pelota em relação ao solo e m a massa de cada pelota.

b) Se $H = 2 \text{ m}$ e $m = 0,5 \text{ g}$, qual o valor de Δx ?

Resposta: $2,6 \cdot 10^{-16} \text{ m}$.

Introdução à Mecânica Quântica

Função de Onda que representa uma partícula: $\Psi(\vec{r}, t)$

Densidade de Probabilidade: $|\Psi(\vec{r}, t)|^2$

Probabilidade por unidade de volume de que a partícula será encontrada em qualquer ponto do volume.

Caso Unidimensional: $P_{ab} = \int_a^b |\Psi(x)|^2 dx$

Condição de normalização: $\int_{-\infty}^{\infty} |\Psi(x)|^2 dx = 1$

Introdução à Mecânica Quântica

23) Um elétron tem a função de onda

$$\Psi(x) = \sqrt{\frac{2}{L}} \operatorname{sen}\left(\frac{2\pi x}{L}\right)$$

Achar a probabilidade de se encontrar o elétron entre $x=0$ e $x=L/4$.

Resposta: 0,250.

24) Uma partícula alfa pode ser imaginada como uma partícula que se move numa caixa com 10^{-14} m de largura (o diâmetro aproximadamente do núcleo). Usando este modelo estime a energia e o momento da partícula alfa no seu estado fundamental. A massa da partícula alfa é $4 \times 1,66 \cdot 10^{-27}$ kg.

Resposta: 0,516 MeV; $3,31 \cdot 10^{-20}$ kg.m/s

Equação de Schrödinger

$$\frac{\partial^2 \Psi}{\partial x^2} = -\frac{2m}{\hbar^2} (E - V) \Psi$$

A Equação de Schrödinger

25) A função de onda de uma partícula confinada numa caixa unidimensional é dada por

$$\Psi(x) = A \operatorname{sen}\left(\frac{n\pi x}{L}\right)$$

Usar a condição de normalização da função de onda para mostrar que a constante A é dada por

$$A = \sqrt{\frac{2}{L}}$$

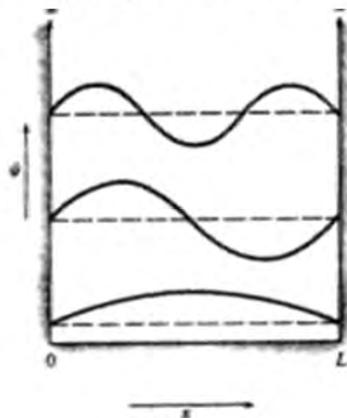
26) A função de onda de uma partícula é dada por

$$\Psi(x) = A \cos(kx) + B \operatorname{sen}(kx)$$

onde, A, B e k são constantes. Mostrar que a função de onda é solução da equação de Schrödinger, admitindo que a partícula seja livre, e achar a energia da partícula.

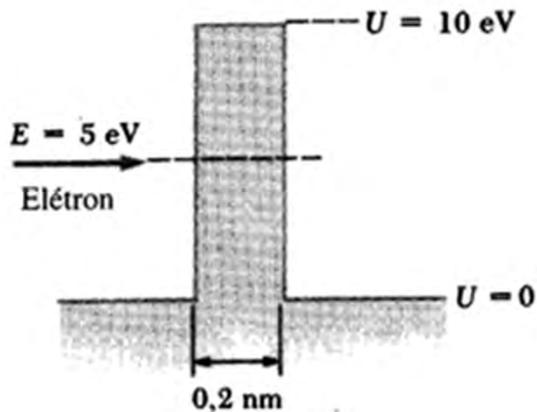
$$\text{Resposta: } E = \frac{\hbar^2 k^2}{2m}$$

- 27) Suponha que a partícula esteja confinada, no seu estado fundamental, numa caixa com paredes de alturas infinitas, como indicado na figura. Suponha então que a altura da barreira à esquerda seja, num certo instante, reduzida a uma altura finita. a) faça um gráfico qualitativo da função de onda da partícula em um pequeno intervalo de tempo depois do abaixamento. b) se a caixa tiver uma largura L , qual o comprimento de onda da onda que penetra a barreira?



Resposta: b) $2L$.

- 28) Um elétron de 5 eV incide sobre uma barreira que tem $0,2 \text{ nm}$ de espessura e 10 eV de altura. a) Qual a probabilidade de o elétron tunelar através da barreira? b) Qual a probabilidade de o elétron ser refletido?



Resposta: $T = 1\%$; $R = 99\%$.

O átomo de hidrogênio

$$E\Psi(x, y, z) = -\frac{\hbar^2}{2m_e} \nabla^2 \Psi + U\Psi \quad \text{Onde, } U = -k \frac{e^2}{r}$$

Tabela II – Os três números quânticos do átomo de hidrogênio.

Número quântico	Nome	Valores permitidos	Número de estados permitidos
n	Número quântico principal	$n = 1, 2, 3, 4, 5, \dots \infty$	Qualquer número
ℓ	Número quântico orbital	$\ell = 0, 1, 2, 3, 4, \dots, n-1$	n
m_ℓ	Número quântico magnético orbital	$m_\ell = -\ell, -\ell+1, \dots, +\ell-1, +\ell$	$2\ell + 1$

Camadas e subcamadas

Tabela V – Capacidades de acomodação de elétrons nas camadas eletrônicas.

n	Símbolo da Camada	Capacidade da Camada $2n^2$	ℓ	Símbolo da Subcamada	Capacidade da Subcamada $2(2\ell+1)$
1	K	2	0	s	2
2	L	8	1	p	6
3	M	18	2	d	10
4	N	32	3	f	14
5	O	50	4	g	18
6	P	72	5	h	22
...

Exemplo:

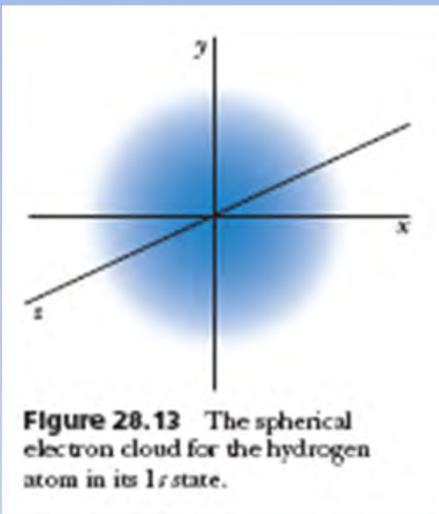
$$3p \longrightarrow n = 3 \text{ e } l = 1$$

$$2s \longrightarrow n = 2 \text{ e } l = 0$$

$$2d \longrightarrow n = 2 \text{ e } l = 2 \longrightarrow \text{Não existe}$$

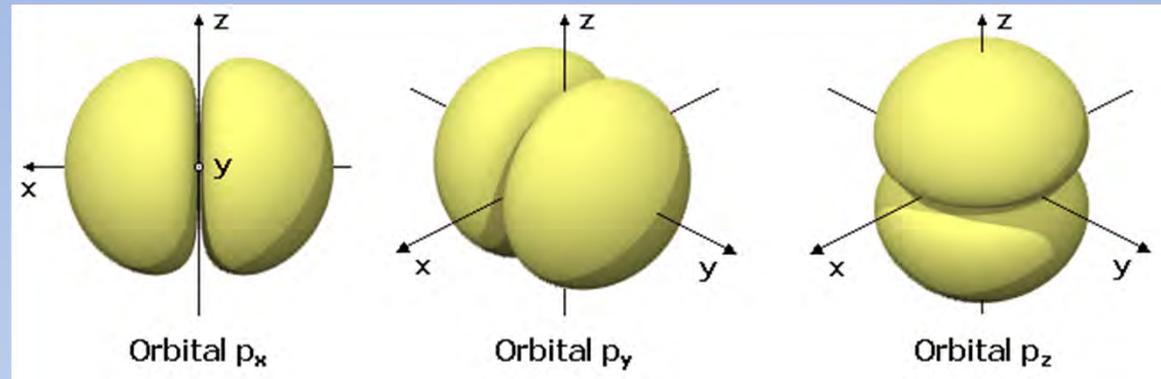
Orbital s

$$\begin{aligned} n &= 1 \\ l &= 0 \\ m_l &= 0 \end{aligned}$$



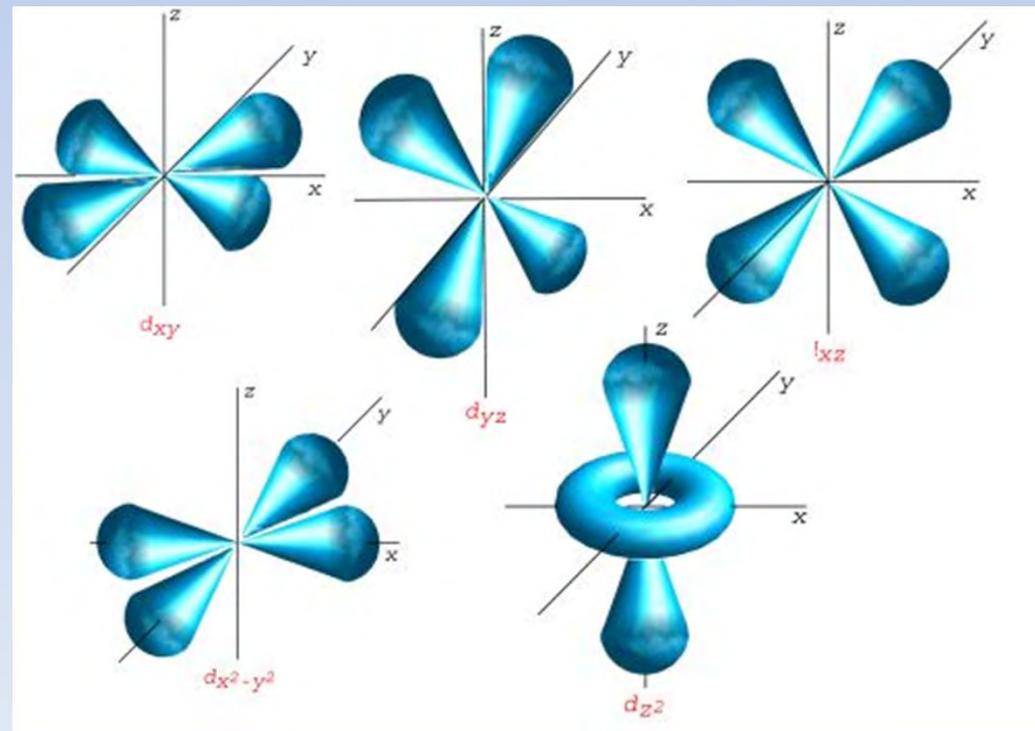
Orbital p

$$\begin{aligned} n &= 2 \\ l &= 1 \\ m_l &= -1, 0, 1 \end{aligned}$$



Orbital d

$$\begin{aligned} n &= 3 \\ l &= 2 \\ m_l &= -2, -1, 0, 1, 2 \end{aligned}$$



O Átomo de Hidrogênio

29) a) Determinar os números quânticos l e m_l do íon de He^+ no estado correspondente a $n = 3$. b) Qual a energia deste estado?

30) A função de onda de um elétron, no estado $1s$ do hidrogênio é

$$\Psi_{1s} = \frac{1}{\sqrt{\pi a_0^3}} e^{-r/a_0}$$

Qual a distância, ao núcleo H, e, que mais provavelmente se pode encontrar um elétron no estado $1s$?

Resposta: $r = a_0$.

THE ELECTROMAGNETIC SPECTRUM

Penetrates Earth Atmosphere?

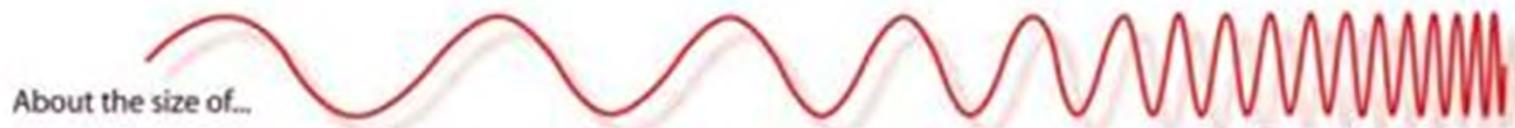


Wavelength (meters)

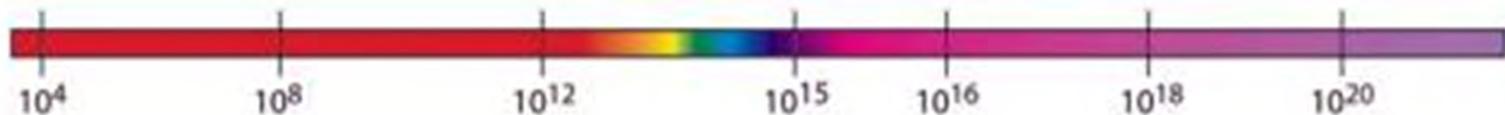


10^3 10^{-2} 10^{-5} $.5 \times 10^{-6}$ 10^{-8} 10^{-10} 10^{-12}

About the size of...



Frequency (Hz)



Temperature of bodies emitting the wavelength (K)

