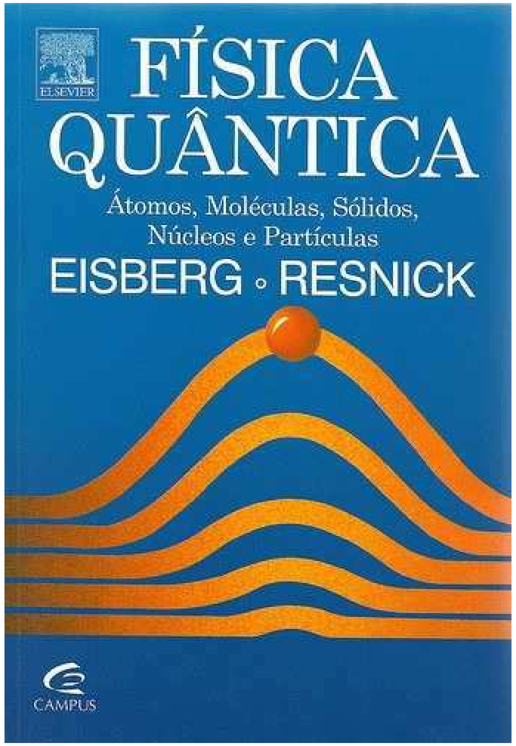
CAPÍTULO 28 e 29: Física Quântica e Atômica

- ❑ **RESOLUÇÃO DE EXERCÍCIOS**
- ❑ **REVISÃO**
- ❑ **SIMULADO PARA A PROVA**



Lista de exercícios sugerida – Capítulo 28:
28.4, .12, 13, 14, 15, 16, 19, 20, 21, 33, 35, 38, 42, 43, 52

Lista de exercícios sugerida – Capítulo 29:
29.2, 4, 7, 9, 10, 17, 18, 15, 27, 29, 37, 25, 39, 44, 49, 51, 53, 55, 56

Seção 28.3: O Efeito Compton

Exercício 13: Raios-X tendo uma energia de 300KeV sofrem um espalhamento Compton a partir de um alvo. Os raios espalhados são detectados a 37º em relação aos raios incidentes. Encontre

(a) O deslocamento Compton neste ângulo

(b) A energia do raio-X espalhado e

(c) A energia do elétron que recua

$$\Delta\lambda = \frac{h}{m_e c}(1 - \cos\theta)$$

$$\lambda' = \lambda_0 + \Delta\lambda$$

$$E = \frac{hc}{\lambda}$$

$$K_e = E_0 - E'$$

Seção 28.3: O Efeito Compton

Exercício 13: Raios-X tendo uma energia de 300KeV sofrem um espalhamento Compton a partir de um alvo. Os raios espalhados são detectados a 37º em relação aos raios incidentes. Encontre

(a) O deslocamento Compton neste ângulo

$$\text{(a) } \Delta\lambda = \frac{h}{m_e c}(1-\cos\theta) = \frac{6.63\times10^{-34}(J\cdot s)}{\left(9.11\times10^{-31}Kg\right)\left(3\times10^{8}\,{m}/{s}\right)}\left(1-\cos 37^{o}\right)$$

$$\Delta\lambda = 4.88\times10^{-13}m$$

Seção 28.3: O Efeito Compton

Exercício 13: Raios-X tendo uma energia de 300KeV sofrem um espalhamento Compton a partir de um alvo. Os raios espalhados são detectados a 37º em relação aos raios incidentes. Encontre

(b) A energia do raio-X espalhado e

$$E_0 = \frac{hc}{\lambda_0}$$

$$300KeV = \frac{6.63\times10^{-34}(J\cdot s)\times\left(3\times10^{8}\, m/s\right)}{\lambda_0(m)} =$$

$$\lambda_0(m) = \frac{6.63\times10^{-34}(J\cdot s)\times\left(3\times10^{8}\, m/s\right)}{(300\times10^{3}eV)\cdot\left(1.6\times10^{-19}\, J/eV\right)} = 4.14\times10^{-12}\, m$$

$$\lambda' = \lambda_0 + \Delta\lambda = 4.63\times10^{-12}\, m$$

$$E' = \frac{hc}{\lambda'} = \frac{6.63\times10^{-34}(J\cdot s)\left(3\times10^{8}\, m/s\right)}{4.63\times10^{-12}\, m} = 4.3\times10^{14}\, J = 268KeV$$

Seção 28.3: O Efeito Compton

Exercício 13: Raios-X tendo uma energia de 300KeV sofrem um espalhamento Compton a partir de um alvo. Os raios espalhados são detectados a 37º em relação aos raios incidentes. Encontre

(c) A energia do elétron que recua

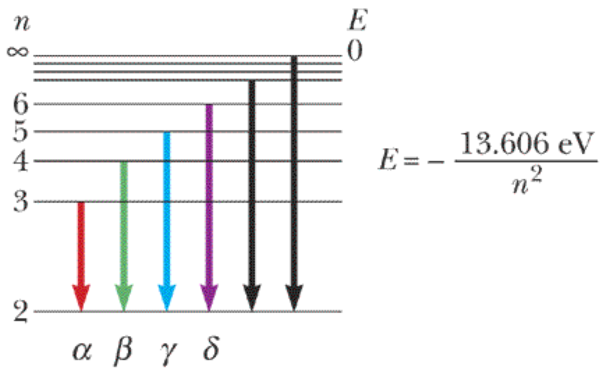
$$K_e = E_0 - E' = 300KeV - 268.5KeV = 31.5KeV$$

Seção 29.2: Novamente o Átomo de Hidrogênio

Exercício 2: A série de Balmer para o átomo de hidrogênio corresponde às transições eletrônicas que terminam no estado com número quântico n=2.

(a) Considere o fóton com maior comprimento de onda; determine sua energia e seu comprimento de onda λ.
(b) Considere a raia espectral de menor comprimento de onda, estime a energia e o comprimento de onda do fóton.

$$E = -\frac{13.6eV}{n^2}$$



$$f = \frac{\Delta E}{h} \quad \text{e} \quad \lambda = \frac{c}{f} = \frac{hc}{\Delta E}$$

Exercício: A série de Balmer para o átomo de hidrogênio corresponde às transições eletrônicas que terminam no estado com número quântico n=2.

(a) Considere o fóton com maior comprimento de onda; determine sua energia e seu comprimento de onda λ.

Para o maior comprimento de onda, menor frequência e menor energia, o átomo decai desde o estado mais próximo, isto é. dois estados consecutivos (neste caso de n=3 para n=2), de modo que:

$$\Delta E = -\frac{13.6eV}{3^2} - -\frac{13.6eV}{2^2} = 1.89eV$$

A frequência do fóton é dada por:

$$f = \frac{\Delta E}{h} \quad \text{e} \quad \lambda = \frac{c}{f} = \frac{hc}{\Delta E} = \frac{(6.63\times10^{-34}J\cdot s)\times\left(3\times10^{8}m/s\right)}{\left(1.89eV\right)}\left(\frac{eV}{1.6\times10^{-19}J}\right)$$

$$\lambda = 656nm$$

Exercício: A série de Balmer para o átomo de hidrogênio corresponde às transições eletrônicas que terminam no estado com número quântico n=2.

(b) Considere a raia espectral de menor comprimento de onda, estime a energia e o comprimento de onda do fóton.

Analogamente a maior energia se dá para um átomo que decai desde uma configuração próxima à condição de ionização, isto é, desde n~∞

$$n = \infty \rightarrow n = 2$$

$$\Delta E = -\frac{13.6eV}{\infty} - -\frac{13.6eV}{2^2} \sim 3.4eV$$

$$\lambda = \frac{hc}{\Delta E} = \frac{\left(6.63\times10^{-34}\,J\cdot s\right)\left(3.0\times10^{8}\,m/s\right)}{\left(3.4eV\right)\left(1.6\times10^{-19}\,J/eV\right)} = 365nm$$

Seção 28.5: Propriedades Ondulatórias das Partículas

Exercício 21: O núcleo de um átomo tem um diâmetro da ordem de $10^{-14}\,m$ Para um elétron ficar confinado a um núcleo, seu comprimento de onda de "De Broglie" teria que ser desta ordem de grandeza ou menor.

(a) Qual seria a energia cinética (relativística) de um elétron confinado a esta região?

(b) Com base nesse resultado, você esperaria encontrar o elétron associado a um núcleo? Explique.

$$\lambda_{e^-} = 10^{-14}\,m \quad \text{ou menos}$$

$$p_{mín} = \frac{h}{\lambda}$$

$$E_e = \sqrt{p^2c^2 + m_e^2c^4}$$

$$U_e = \frac{k_e q_1 q_2}{r}$$

$$K = E_e - m_e c^2$$

Seção 28.5: Propriedades Ondulatórias das Partículas

Exercício 21: O núcleo de um átomo tem um diâmetro da ordem de Para um elétron ficar confinado a um núcleo, seu comprimento de onda de "De Broglie" teria que ser desta ordem de grandeza ou menor.

(a) Qual seria a energia cinética (relativistica) de um elétron confinado a esta região?

$$p_{mín} = \frac{h}{\lambda} \approx \frac{6.63\times10^{-34}\,J\cdot s}{10^{-14}\,m} = 10^{-19}\,\frac{Js}{m} \text{ ou } \left(\frac{\text{kg}\cdot\text{m}}{\text{s}}\right)$$

$$E_e = \sqrt{p^2c^2 + m_e^2c^4} \approx \sqrt{\left(10^{-19}\right)^2\left(3\times10^8\right)^2 + \left(9.11\times10^{-31}\right)^2\left(3\times10^8\right)^4}$$

$$E_e = \sqrt{p^2c^2 + m_e^2c^4} \approx \sqrt{\left(9\times10^{-22}\right) + \left(6722\times10^{-30}\right)} \approx \sqrt{9\times10^{-22}}$$

$$E_e \approx 3\cdot10^{-11}\,J \rightarrow \approx 19\cdot10^7\,eV \approx 2\cdot10^8 \text{ ou mais}$$

$$K = E_e - m_ec^2 \approx 2\cdot10^8\,eV - \left(0.5\times10^6\,eV\right) \approx 2\cdot10^8\,eV \text{ ou mais}$$

Seção 28.5: Propriedades Ondulatórias das Partículas

Exercício 21: O núcleo de um átomo tem um diâmetro da ordem de
Para um elétron ficar confinado a um núcleo, seu comprimento de onda de "De Broglie" teria que ser desta ordem de grandeza ou menor.

> (b) Com base nesse resultado, você esperaria encontrar o elétron associado a um núcleo? Explique.

$$U_e = \frac{k_e q_1 q_2}{r} \approx \frac{\left(9\times10^9\, N\cdot m^2 / C^2\right)\left(10^{-19}\, C\right)\left(-e\right)}{10^{-14}\, m} \approx -10^5 eV$$

como a energia cinética é muito maior que a energia potencial, o elétron não deve ficar associado ao núcleo, mas sim escapar.

EXERCÍCIO 28.37: Os valores esperados para uma partícula na caixa.

Uma partícula em um poço quadrado, de potencial infinitamente profundo, tem uma função de onda que é dada por:

$$\psi(x) = \sqrt{\frac{2}{L}} sen\left(\frac{2\pi x}{L}\right) \text{ para } 0 \le x \le L$$

e é nula nas outras partes.

(a) Determine o valor esperado de "x".

(b) Determine a probabilidade de encontrar a partícula em L/2, calculando a probabilidade de que a partícula esteja no intervalo: $0.49L \le x \le 0.51L$

(c) Determine a probabilidade de encontrar a partícula próxima de L/4, calculando-se a probabilidade de que a partícula esteja no intervalo $0.24L \le x \le 0.26L$

$$\langle x \rangle \equiv \int_{-\infty}^{+\infty} \psi^* x \psi dx \equiv \int_a^b \psi^* x \psi dx \qquad \int_a^b x sen^2(x) dx = \int_a^b x\left(\frac{1}{2} - \frac{1}{2}\cos 2x\right) dx$$

$$(a)\ \langle x\rangle = \int_0^L x\frac{2}{L}sen^2\left(\frac{2\pi x}{L}\right)dx = \frac{2}{L}\int_0^L x\left(\frac{1}{2}-\frac{1}{2}\cos\frac{4\pi x}{L}\right)dx$$

$$\langle x\rangle = \frac{1}{L}\frac{x^2}{2}\bigg|_0^L - \frac{1}{L}\frac{L^2}{16\pi^2}\left[\frac{4\pi x}{L}sen\frac{4\pi x}{L}+\cos\frac{4\pi x}{L}\right]_0^L = \frac{L}{2}$$

$$(b)\ P = \int_{0.49L}^{0.51L}\frac{2}{L}sen^2\left(\frac{2\pi x}{L}\right)dx = \left[\frac{1}{L}x - \frac{1}{L}\frac{L}{4\pi}sen\frac{4\pi x}{L}\right]_{0.49L}^{0.51L}$$

$$P = 0.020 - \frac{1}{4\pi}\left(sen 2.04\pi - sen 1.96\pi\right) = 5.26\times10^{-5}$$

$$(c)\ P\left[\frac{x}{L} - \frac{1}{4\pi}sen\frac{4\pi x}{L}\right]_{0.24L}^{0.26L} = 3.99\times10^{-2}$$

Problema 38: A função de onda de uma partícula confinada a deslocar-se em uma caixa unidimensional é

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

Use a condição de normalização em ψ para mostrar que $A = \sqrt{\frac{2}{L}}$

Tenha em mente que, como a largura da caixa é L, a função de onda é nula para x<0 e para x>L, de tal forma que a condição de normalização

$$\int_{-\infty}^{+\infty} |\psi|^2 dx = 1$$

se reduz a

$$\int_{0}^{L} |\psi|^2 dx = 1$$

Problema 38: A função de onda de uma partícula confinada a deslocar-se em uma caixa unidimensional é

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

Use a condição de normalização em ψ para mostrar que $A = \sqrt{\frac{2}{L}}$

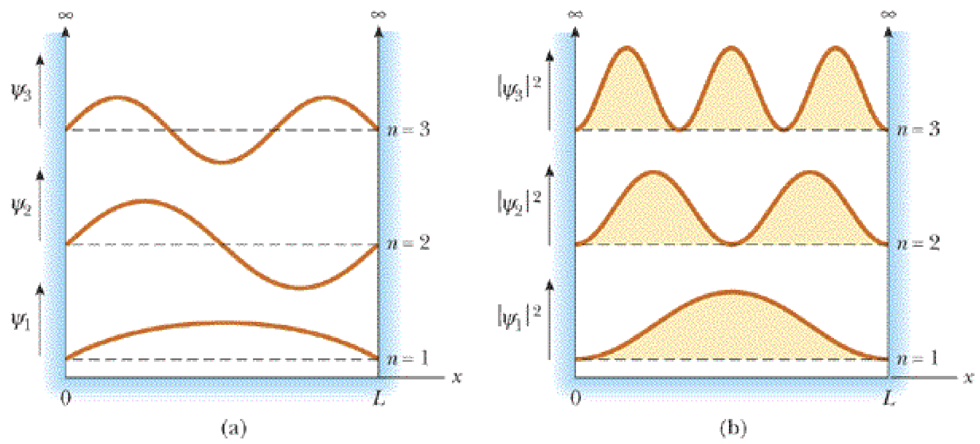
Normalização implica em:

$$\int_{-\infty}^{+\infty} |\psi|^2 dx = 1 \quad \text{ou} \quad \int_0^L A^2 sen^2\left(\frac{n\pi x}{L}\right) dx = 1$$

$$\int_0^L A^2 sen^2\left(\frac{n\pi x}{L}\right) dx = A^2\left(\frac{L}{2}\right) = 1 \quad \text{ou} \quad \mathrm{A} = \sqrt{\frac{2}{\mathrm{L}}}$$

❑ UMA PARTÍCULA EM UMA CAIXA

Serway/Jewett; Principles of Physics, 3/e
Figure 28.21



$$\psi(x) = Asen\left(\frac{2\pi x}{\lambda}\right)$$

$$\psi(L) = 0 = Asen\left(\frac{2\pi L}{\lambda}\right) \Leftrightarrow \frac{2\pi L}{\lambda} = n\pi \Rightarrow \lambda = \frac{2\pi L}{\pi n} = \frac{2L}{n}$$

$$n = 1,2,3\ldots$$

$$\psi(x) = Asen\left(\frac{2\pi x}{\lambda}\right) = Asen\left(\frac{2\pi x}{2L/n}\right) = Asen\left(\frac{n\pi x}{L}\right)$$

$$\frac{2\pi L}{\lambda} = n\pi \Rightarrow \lambda = \frac{2\pi L}{\pi n} = \frac{2L}{n}$$

$$n = 1,2,3\ldots$$

Os comprimentos de onda permitidos são idênticos aos comprimentos de onda permitidos em uma corda vibrante fixa entre duas extremidades.

No caso da corda vibrante, o comprimento de onda está relacionado com a frequência e temos um conjunto de “harmônicos” ou frequências quantizadas. Neste caso a frequência está relacionada com a energia:

$$E = h \cdot f$$

EXEMPLO 28.10: Quantização da energia para um corpo macroscópico.

Um corpo de 1.0mg está confinado entre duas paredes rígidas separadas por 1.0 cm.

(a) Calcule sua velocidade mínima.

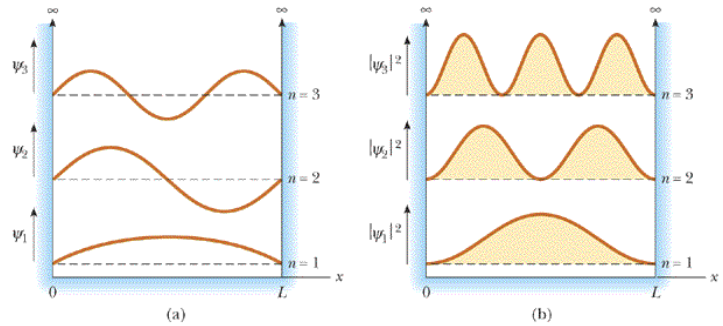
(b) Se a velocidade do corpo é 0.03m/s, encontre o valor esperado de "n".

$$p = \frac{h}{\lambda} = \frac{h}{2L/n} = \frac{nh}{2L}$$

$$E_n = \frac{1}{2}m\mathrm{v}^2 = \frac{p^2}{2m} = \frac{1}{2m}\left(\frac{nh}{2L}\right)^2 = \frac{h^2}{8mL^2}n^2 \quad (\mathrm{n} = 1,2,3...)$$

❑ UMA PARTÍCULA EM UMA CAIXA

Serway/Jewett; Principles of Physics, 3/e
Figure 28.21



$$\psi(x) = A sen\left(\frac{2\pi x}{\lambda}\right)$$, a qual

tem que satisfazer as condições de contorno nas paredes

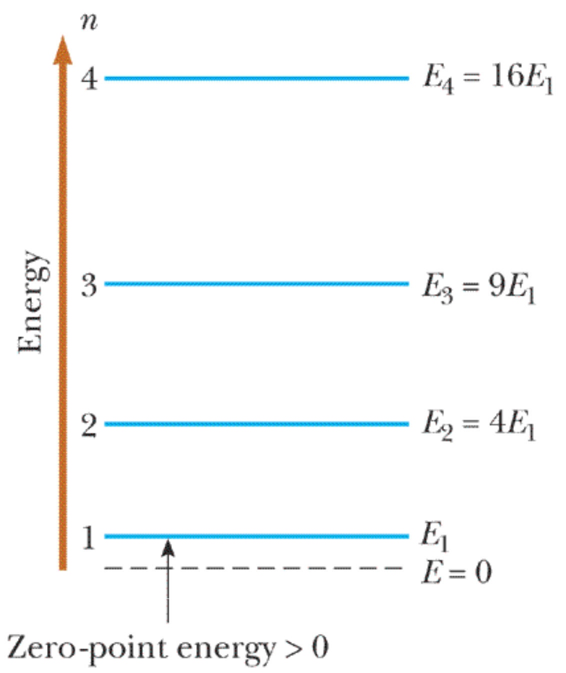
$$\begin{cases} \psi(x=0)=0 \\ \psi(L)=0=A sen\left(\frac{2\pi L}{\lambda}\right) \Leftrightarrow \frac{2\pi L}{\lambda}=n\pi \Rightarrow \lambda=\frac{2\pi L}{\pi n}=\boxed{\frac{2L}{n}} \end{cases}$$

$$n\pi$$

$$n=1 \Rightarrow \lambda = 2L; \quad n=2 \Rightarrow \lambda = L; \quad n=3 \Rightarrow \lambda = \frac{2L}{3}$$

$$\psi(x) = A sen\left(\frac{2\pi x}{\lambda}\right) = A sen\left(\frac{2\pi x}{\boxed{2L/n}}\right) = A sen\left(\frac{n\pi x}{L}\right)$$

❑ UMA PARTÍCULA EM UMA CAIXA



$$\lambda = \frac{2L}{n}$$

$$p = \frac{h}{\lambda} = \frac{h}{2L/n} = \frac{nh}{2L}$$

$$E_n = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{p^2}{2m} = \frac{1}{2m}\left(\frac{nh}{2L}\right)^2 = \frac{h^2}{8mL^2}n^2 \qquad (n = 1,2,3\ldots)$$

Quantização de energia

EXEMPLO 28.10: Quantização da energia para um corpo macroscópico.

Um corpo de 1.0mg está confinado entre duas paredes rígidas separadas por 1.0 cm.

(a) Calcule sua velocidade mínima.

$$p = \frac{h}{\lambda} = \frac{h}{2L/n} = \frac{nh}{2L}$$

$$E_n = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{p^2}{2m} = \frac{1}{2m}\left(\frac{nh}{2L}\right)^2 = \frac{h^2}{8mL^2}n^2 \quad (\mathrm{n} = 1,2,3...)$$

$$E_{n=1} = \frac{h^2}{8mL^2}1^2 = \frac{\left(6.63\times10^{-34}\,J\cdot s\right)^2}{8\cdot\left(1.0\times10^{-6}\,Kg\right)\cdot\left(1.0\times10^{-2}\,m\right)^2} = 5.49\times10^{-58}\,\mathrm{J}$$

$$E = K = \frac{1}{2}\mathrm{mv}^2 = 5.49\times10^{-58}\,\mathrm{J} \Rightarrow \mathrm{v}^2 = \left[\frac{2\cdot\left(5.49\times10^{-58}\,J\right)}{1.0\times10^{-6}\,Kg}\right]$$

$$\mathrm{v} = 3.31\times10^{-26}\,m/s$$

Este resultado é tão pequeno que o corpo parece estar em repouso

EXEMPLO 28.10: Quantização da energia para um corpo macroscópico.

Um corpo de 1.0mg está confinado entre duas paredes rígidas separadas por 1.0 cm.
(b) Se a velocidade do corpo é 0.03m/s, encontre o valor esperado de “n”.

$$K = \frac{1}{2}m\text{v}^2 = \frac{1}{2}\left(1\times10^{-6}\,Kg\right)\left(3\times10^{-2}\,m/s\right) = 4.5\times10^{-10}\,J$$

$$E_n = n^2E_1 \quad \text{e} \quad E_1 = 5.49\times10^{-58}\,J$$

$$n = \left(\frac{4.5\times10^{-10}\,J}{E_1}\right) = \left(\frac{4.5\times10^{-10}\,J}{5.49\times10^{-58}\,J}\right)^{1/2} = 9.05\times10^{23}$$

Este valor de n é tão grande que nunca seríamos capazes de distinguir a natureza quantizada dos níveis de energia, isto é, a diferença de energia entre os dois estados:

$$n_1 = 9.05\times10^{23} \quad \text{e} \quad n_2 = \left(9.05\times10^{23}\right)+1$$

é muito pequena para ser detectada experimentalmente.

❑ Exemplo 29.5 O Sistema Solar Quantizado

Considere a Equação de Schrödinger para a Terra e o Sol como sendo um sistema constituído de duas partículas interagindo por meio da força gravitacional. Qual é o número quântico (n) do sistema com a Terra em sua órbita atual?

$$U_{T-S}(r) = -G\frac{m_T m_S}{r}$$

$$U_{e^-}(r) = -\frac{k_e e^2}{r}$$

$$G m_T m_S \quad \text{e} \quad k_e e^2 \equiv cte$$

$$m_T = 5.98\times10^{24}\,Kg$$

$$G = 6.67\times10^{11}\,Nm^2/Kg^2$$

$$m_S = 1.99\times10^{30}\,Kg$$

$$a_0 = \frac{\hbar^2}{m_T\left(G m_T m_S\right)}$$

$a_0 \equiv$ raio de Bohr para o sistema Terra - Sol

$m_T \equiv$ massa da Terra

$m_S \equiv$ massa do SOL

$G \equiv$ constante universal da gravidade

$$E_n = -\left(\frac{G m_T m_S}{2a_0}\right)\frac{1}{n^2} \quad \text{n} = 1,2,3...$$

energias permitidas para o sistema

❑ Exemplo 29.5 O Sistema Solar Quantizado

Considere a Equação de Schrödinger para a Terra e o Sol como sendo um sistema constituído de duas partículas interagindo por meio da força gravitacional. Qual é o número quântico do sistema com a Terra em sua órbita atual?

$$U_{T-S}(r) = -G\frac{m_T m_S}{r}$$

$$U_{e^-}(r) = -\frac{k_e e^2}{r}$$

$$Gm_T m_S \quad \text{e} \quad k_e e^2 \equiv cte$$

$$m_T = 5.98\times 10^{24}\,Kg$$

$$G = 6.67\times 10^{11}\,Nm^2/Kg^2$$

$$m_S = 1.99\times 10^{30}\,Kg$$

$$a_0 = \frac{\hbar^2}{m_T\left(Gm_T m_S\right)}$$

$a_0 \equiv$ raio de Bohr para o sistema Terra - Sol

$m_T \equiv$ massa da Terra

$m_S \equiv$ massa do SOL

$G \equiv$ constante universal da gravidade

A solução para a equação de Schrödinger para o sistema Terra-SOL é a mesma que a obtida na aula passada para o átomo de hidrogênio, isto é

$$E = -\frac{mZ^2e^4}{(4\pi\varepsilon_0)^2 2\hbar^2}\frac{1}{n^2} \quad (\mathrm{n} = 1,2,3...)$$

porém com a mudança adequada das constantes $E_n = -\left(\frac{Gm_T m_S}{2a_0}\right)\frac{1}{n^2} \quad \mathrm{n} = 1,2,3...$

AULA PASSADA: Dada a **condição para órbita circular do elétron**

$$\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{Ze^2}{r^2} = m\frac{\mathrm{v}^2}{r} = F \Rightarrow m\mathrm{v}^2 = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{Ze^2}{r}$$

Dada a **energia potencial de um elétron atômico**, **se movendo em uma das órbitas possíveis**, por:

$$\mathrm{V} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{Ze^2}{r}$$

$$\mathrm{v} \equiv \text{velocidade do elétron em sua órbita}$$

$$\mathrm{r} \equiv \text{o raio da órbita}$$

Sendo, $r = 4\pi\varepsilon_0 \dfrac{n^2\hbar^2}{Ze^2 m}$ obtido a partir da **quantização do momento angular**

e da **condição de órbita circular acima**. A **quantização do momento angular orbital do elétron** implica na **quantização de sua energia total.**

$$E = K + V = -\frac{mZ^2e^4}{(4\pi\varepsilon_0)^2 2\hbar^2}\frac{1}{n^2} \quad (\mathrm{n} = 1,2,3\ldots)$$

❑ Exemplo 29.5 O Sistema Solar Quantizado

Considere a Equação de Schrödinger para a Terra e o Sol como sendo um sistema constituído de duas partículas interagindo por meio da força gravitacional. Qual é o número quântico (n) do sistema com a Terra em sua órbita atual?

$$E_n = -\left(\frac{Gm_T m_S}{2a_0}\right)\frac{1}{n^2} \qquad \mathrm{n} = 1,2,3...$$

$$a_0 = \frac{\hbar^2}{m_T(Gm_T m_S)} = \frac{1.055\times10^{-34}\,Js}{\left(6.67\times10^{-11}\,Nm^2/Kg^2\right)\left(5.98\times10^{24}\,Kg\right)^2\left(1.99\times10^{30}\,Kg\right)}$$

$$= 2.22\times10^{-104}\,m$$

$$E_n = -\left(\frac{Gm_T m_S}{2a_0}\right)\frac{1}{n^2}$$

$$E_n = \frac{\left(6.67\times10^{-11}\,Nm^2/Kg^2\right)\left(5.98\times10^{24}\,Kg\right)^2\left(1.99\times10^{30}\,Kg\right)}{2\left(2.22\times10^{-104}\,m\right)}\frac{1}{n^2}$$

$$= \frac{1.79\times10^{148}\,J}{n^2} \qquad \mathrm{n} = 1,2,3...$$

Estas são as energias permitidas para o sistema

Considerando o raio de Bohr para o sistema Terra - SOL

$$E_n = -\left(\frac{G m_T m_S}{2a_0}\right)\frac{1}{n^2} \qquad \mathrm{n} = 1,2,3...$$

$$E = -\frac{\left(6.67\times10^{-11}\,Nm^2/Kg^2\right)\left(5.98\times10^{24}\,Kg^2\right)\left(1.99\times10^{30}\,Kg\right)}{2\left(1.50\times10^{11}\,m\right)} = -2.65\times10^{33}\,J$$

$$E_n = -\frac{1.79\times10^{148}\,J}{n^2} \Rightarrow -2.65\times10^{33}\,J = -\frac{1.79\times10^{148}\,J}{n^2}$$

$$n^2 = -\frac{1.79\times10^{148}\,J}{-2.65\times10^{33}\,J}$$

$$n = \sqrt{\frac{-1.79\times10^{148}\,J}{E}} = \sqrt{\frac{-1.79\times10^{148}\,J}{-2.65\times10^{33}\,J}} = 2.60\times10^{57}$$

Este é um número quântico imenso. As energias dos estados quânticos para valores adjacentes de “n” estão tão próximos que não percebemos o aspecto quantizado da energia.

Solução Completa em uma única página

$$E_n = -\left(\frac{G m_T m_S}{2a_0}\right)\frac{1}{n^2} \quad \mathrm{n} = 1,2,3...$$

$$a_0 = \frac{\hbar^2}{m_T (G m_T m_S)} = \frac{1.055\times10^{-34}\,Js}{\left(6.67\times10^{-11}\,Nm^2/Kg^2\right)\left(5.98\times10^{24}\,Kg\right)^2\left(1.99\times10^{30}\,Kg\right)}$$

$$= 2.22\times10^{-104}\,m$$

$$E_n = -\left(\frac{G m_T m_S}{2a_0}\right)\frac{1}{n^2}$$

$$E_n = -\frac{\left(6.67\times10^{-11}\,Nm^2/Kg^2\right)\left(5.98\times10^{24}\,Kg\right)^2\left(1.99\times10^{30}\,Kg\right)}{2\left(2.22\times10^{-104}\,m\right)}\frac{1}{n^2}$$

$$= -\frac{1.79\times10^{148}\,J}{n^2} \quad \mathrm{n} = 1,2,3...$$

$$E = -\frac{\left(6.67\times10^{-11}\,Nm^2/Kg^2\right)\left(5.98\times10^{24}\,Kg^2\right)\left(1.99\times10^{30}\,Kg\right)}{2\left(1.50\times10^{11}\,m\right)} = -2.65\times10^{33}\,J$$

$$E_n = -\frac{1.79\times10^{148}\,J}{n^2} \Rightarrow n = \sqrt{\frac{-1.79\times10^{148}\,J}{E}} = \sqrt{\frac{-1.79\times10^{148}\,J}{-2.65\times10^{33}\,J}} = 2.60\times10^{57}$$