4300375 - Física moderna I

Aula 9 – Soluções da equação de Schrödinger

Parte 2

Nesta aula...

- Soluções da equação de Schrödinger, parte 2
  - Potencial de confinamento
    - O poço quadrado infinito
    - O poço quadrado finito

Soluções da equação de Schrödinger

- De agora em diante no curso, resolveremos a equação de Schrödinger para alguns potenciais simples, porém com características importantes para o entendimento da mecânica quântica
- Potenciais a serem resolvidos no curso:
  - Potencial degrau
  - Potencial barreira
  - Potencial quadrado infinito
  - Potencial quadrado finito
  - Oscilador harmônico
  - Átomo de hidrogênio

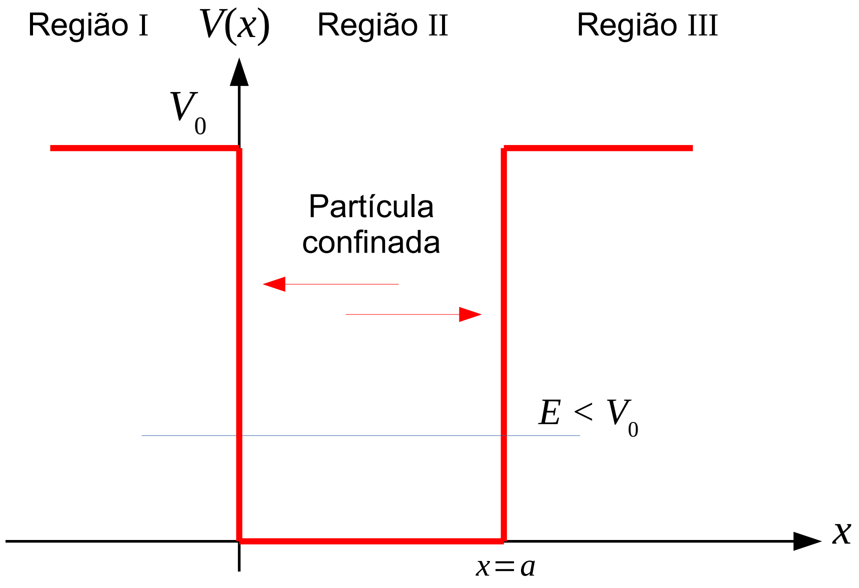
Aula anterior

Nesta aula

Até o fim do curso

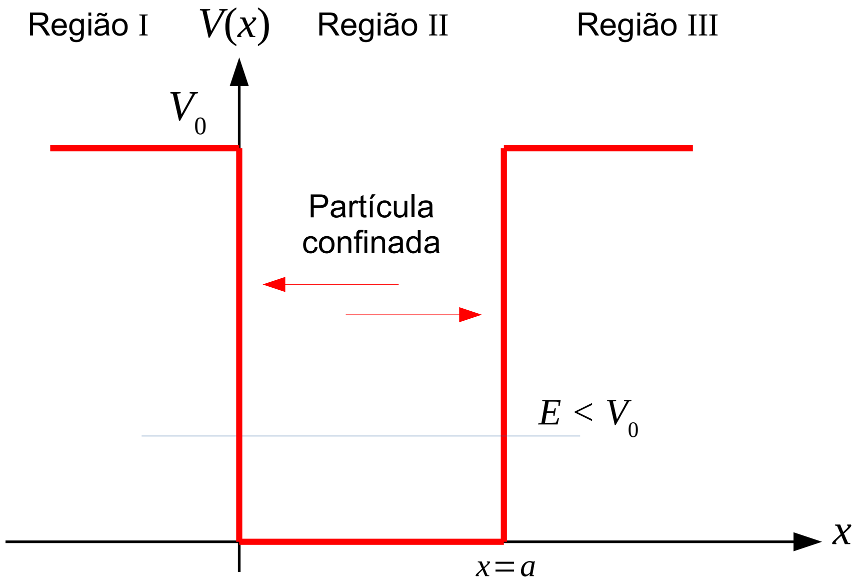
O poço quadrado

A partícula aprisionada...



O poço quadrado

A partícula aprisionada...

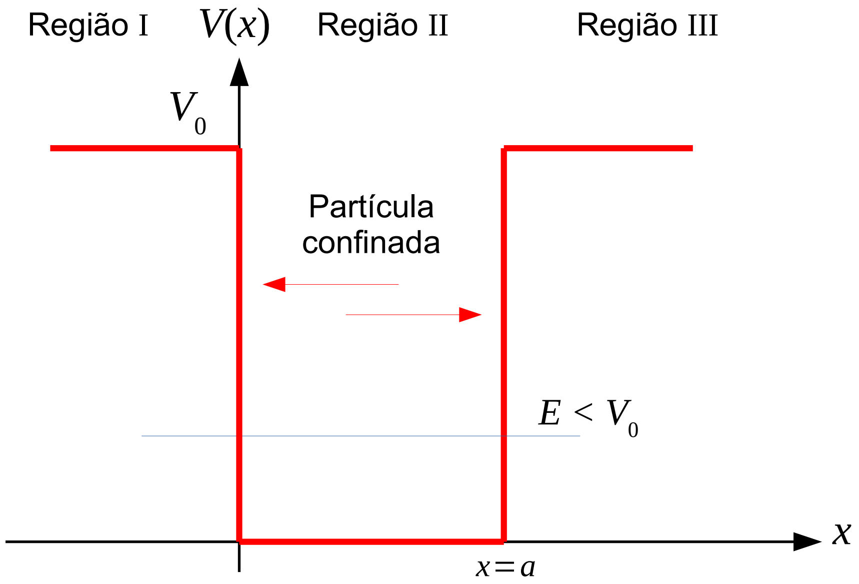


$$\boxed{-\frac{\hbar^2}{2m}\frac{d^2[\psi(x)]}{dx^2}+[V(x)-E]\psi(x)=0}$$

Equação de Schrödinger independente do tempo

O poço quadrado

A partícula aprisionada...



$$\boxed{-\frac{\hbar^2}{2m}\frac{d^2[\psi(x)]}{dx^2}+[V(x)-E]\psi(x)=0}$$

Equação de Schrödinger independente do tempo

Soluções:

$$\psi_I(x)=A.e^{k_I x}+B.e^{-k_I x} \qquad (x<0)$$

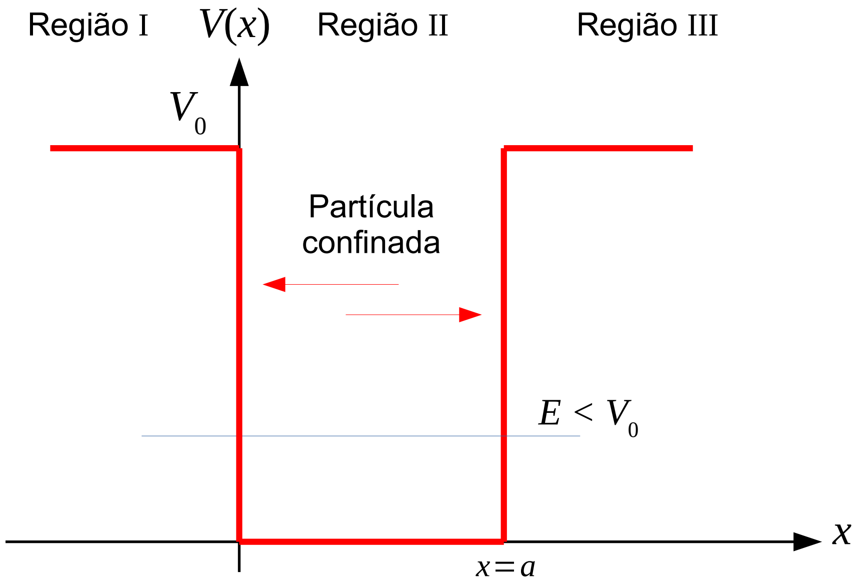
$$\psi_{II}(x)=C.e^{ik_{II} x}+D.e^{-ik_{II} x} \qquad (0<x<a)$$

$$\psi_{III}(x)=F.e^{k_{III} x}+G.e^{-k_{III} x} \qquad (a<x)$$

$$k_{II}=\frac{\sqrt{2mE}}{\hbar} \qquad k_I=k_{III}=\frac{\sqrt{2m(V_0-E)}}{\hbar}$$

O poço quadrado

A partícula aprisionada...



$$-\frac{\hbar^2}{2m}\frac{d^2[\psi(x)]}{dx^2}+[V(x)-E]\psi(x)=0$$

Equação de Schrödinger independente do tempo

Soluções:

$$\psi_I(x) = A.e^{k_I x}+B.e^{-k_I x} \qquad (x<0)$$

$$\psi_{II}(x) = C.e^{ik_{II} x}+D.e^{-ik_{II} x} \qquad (0<x<a)$$

$$\psi_{III}(x) = F.e^{k_{III} x}+G.e^{-k_{III} x} \qquad (a<x)$$

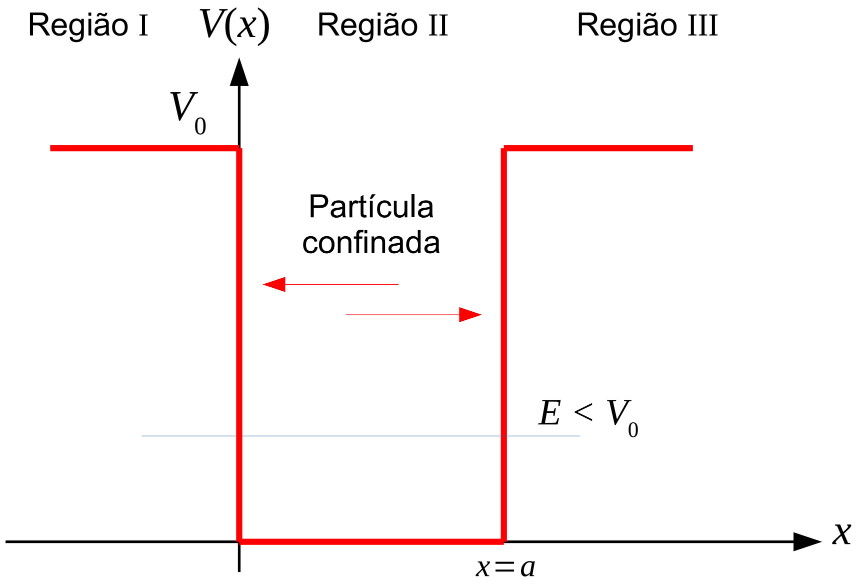
$$k_{II}=\frac{\sqrt{2mE}}{\hbar} \qquad k_I=k_{III}=\frac{\sqrt{2m(V_0-E)}}{\hbar}$$

Note que: $B = F = 0$! Por que?

Note também que: $C = \pm D$! Por que?

O poço quadrado

A partícula aprisionada...



$$\boxed{-\frac{\hbar^2}{2m}\frac{d^2[\psi(x)]}{dx^2}+[V(x)-E]\,\psi(x)=0}$$

Equação de Schrödinger independente do tempo

Soluções:

$$\psi_I(x) = A\,.\,e^{k_I x} \qquad (x<0)$$

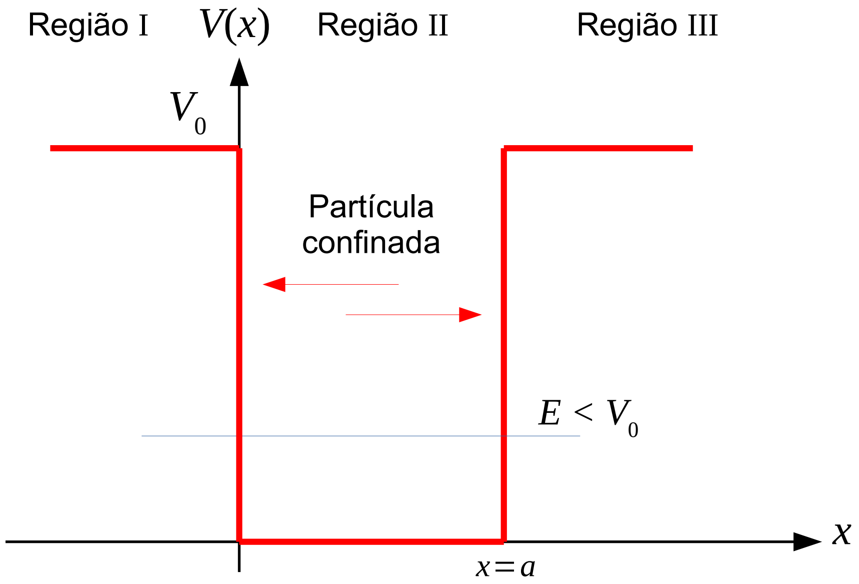
$$\psi_{II}(x) = C\left[e^{ik_{II}x} \pm e^{-ik_{II}x}\right] \qquad (0<x<a)$$

$$\psi_{III}(x) = G\,.\,e^{-k_I x} \qquad (a<x)$$

$$k_{II}=\frac{\sqrt{2mE}}{\hbar} \qquad k_I=\frac{\sqrt{2m(V_0-E)}}{\hbar}$$

O poço quadrado

A partícula aprisionada...



$$-\frac{\hbar^2}{2m}\frac{d^2[\psi(x)]}{dx^2}+[V(x)-E]\psi(x)=0$$

Equação de Schrödinger independente do tempo

Soluções:

$$\psi_I(x) = A.e^{k_I x} \qquad (x<0)$$

$$\psi_{II}(x) = C\left[e^{ik_{II}x} \pm e^{-ik_{II}x}\right] \qquad (0<x<a)$$

$$\psi_{III}(x) = G.e^{-k_I x} \qquad (a<x)$$

$$k_{II}=\frac{\sqrt{2mE}}{\hbar} \qquad k_I=\frac{\sqrt{2m(V_0-E)}}{\hbar}$$

Note que:

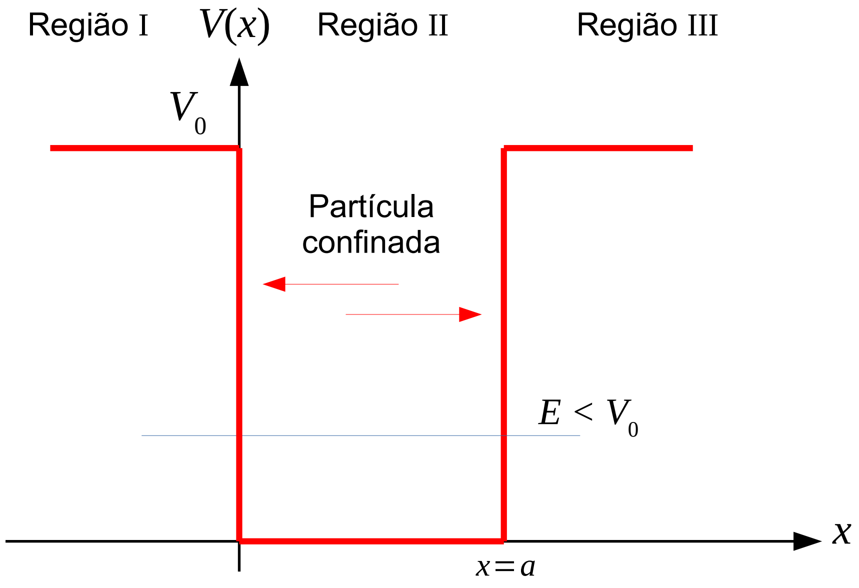
$$e^{i\theta}\pm e^{-i\theta}=\cos(\theta)+i\,\text{sen}(\theta)\pm[\cos(\theta)-i\,\text{sen}(\theta)]$$

$$e^{i\theta}+e^{-i\theta}=2.\cos(\theta)$$

$$e^{i\theta}-e^{-i\theta}=2i.\text{sen}(\theta)$$

O poço quadrado

A partícula aprisionada...



$$-\frac{\hbar^2}{2m}\frac{d^2[\psi(x)]}{dx^2}+[V(x)-E]\,\psi(x)=0$$

Equação de Schrödinger independente do tempo

Soluções:

$$\psi_I(x)=A\,.\,e^{k_I x} \qquad (x<0)$$

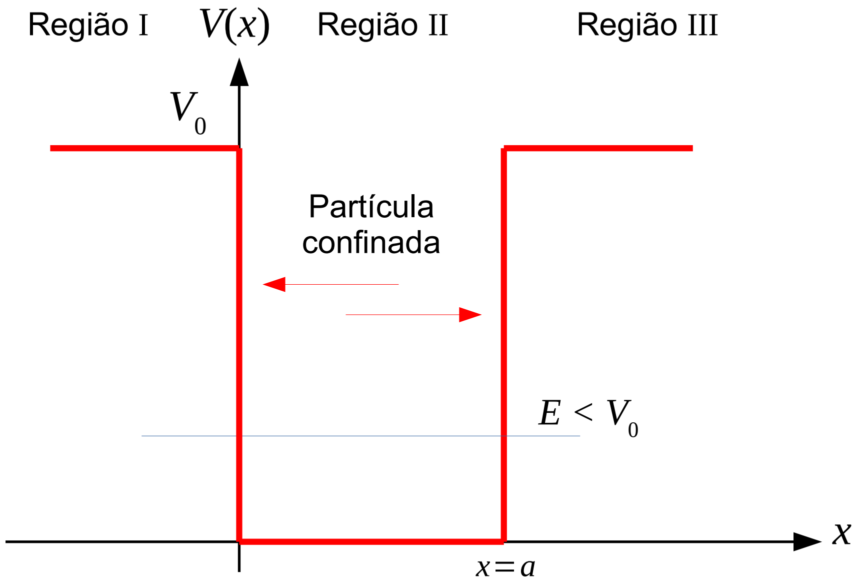
$$\psi_{II}(x)=C_c\,.\cos(k_{II}x)+C_s\,.\text{sen}\,(k_{II}x) \qquad (0<x<a)$$

$$\psi_{III}(x)=G\,.\,e^{-k_I x} \qquad (a<x)$$

$$k_{II}=\frac{\sqrt{2mE}}{\hbar} \qquad\qquad k_I=\frac{\sqrt{2m(V_0-E)}}{\hbar}$$

O poço quadrado

A partícula aprisionada...



$$-\frac{\hbar^2}{2m}\frac{d^2[\psi(x)]}{dx^2}+[V(x)-E]\,\psi(x)=0$$

Equação de Schrödinger independente do tempo

Soluções:

$$\psi_I(x) = A.e^{k_I x} \qquad (x<0)$$

$$\psi_{II}(x) = C_c.\cos(k_{II}x)+C_s.\mathrm{sen}(k_{II}x) \qquad (0<x<a)$$

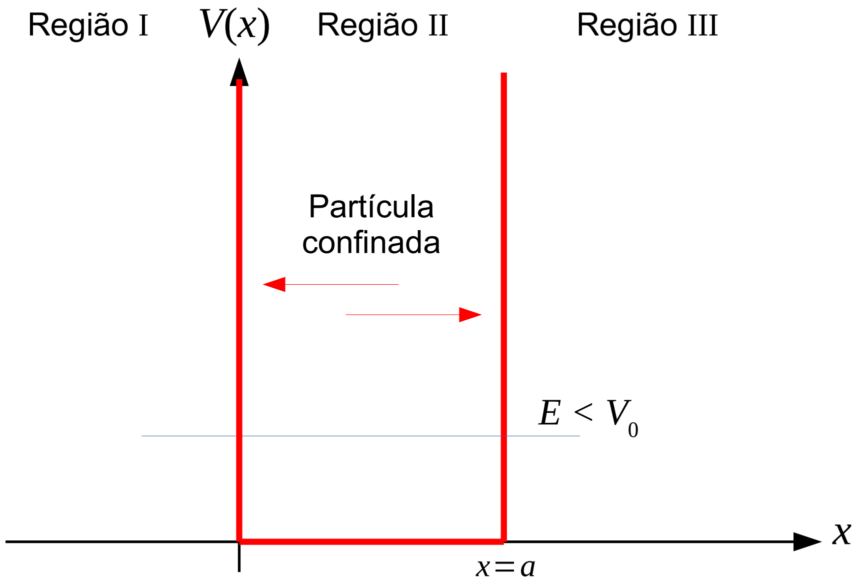
$$\psi_{III}(x) = G.e^{-k_I x} \qquad (a<x)$$

$$k_{II}=\frac{\sqrt{2mE}}{\hbar} \qquad k_I=\frac{\sqrt{2m(V_0-E)}}{\hbar}$$

Note que, se $V_0 >> E$: $\begin{cases} \psi_I(x) \to 0 & (x<0) \\ \psi_{III}(x) \to 0 & (a<x) \end{cases}$

O poço quadrado

A partícula aprisionada...



$$-\frac{\hbar^2}{2m}\frac{d^2[\psi(x)]}{dx^2}+[V(x)-E]\,\psi(x)=0$$

Equação de Schrödinger independente do tempo

Soluções:

$$\psi_I(x) = A.e^{k_I x} \qquad (x<0)$$

$$\psi_{II}(x) = C_c.\cos(k_{II}x)+C_s.\mathrm{sen}(k_{II}x) \qquad (0<x<a)$$

$$\psi_{III}(x) = G.e^{-k_I x} \qquad (a<x)$$

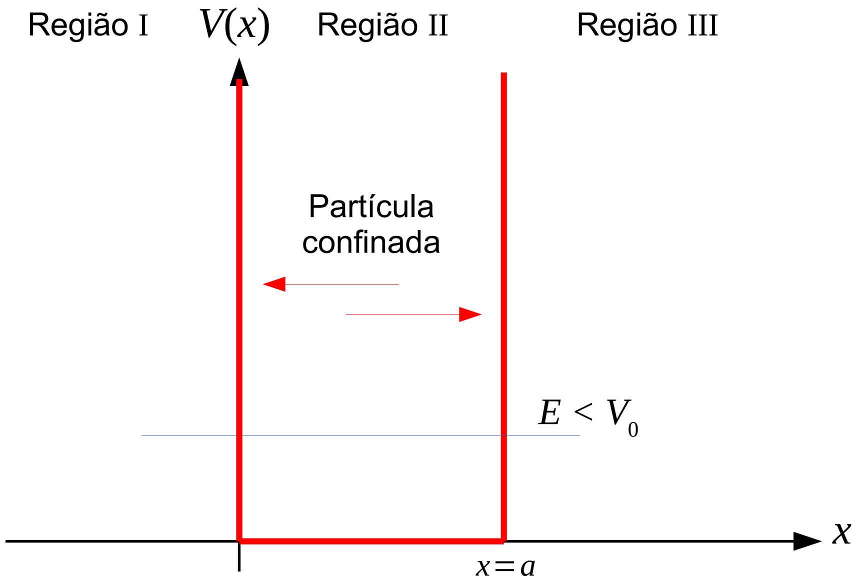
$$k_{II}=\frac{\sqrt{2mE}}{\hbar}$$

$$\boxed{k_I=\frac{\sqrt{2m(V_0-E)}}{\hbar}\rightarrow\infty}$$

Note que, se $V_0 >> E$: $\begin{cases}\psi_I(x)\rightarrow 0 & (x<0)\\ \psi_{III}(x)\rightarrow 0 & (a<x)\end{cases}$

O poço quadrado

A partícula aprisionada...



$$V_0 >> E: \begin{cases} \psi_I(x) \to 0 & (x<0) \\ \psi_{III}(x) \to 0 & (a<x) \end{cases}$$

$$\psi_I(x) = 0 \qquad (x<0)$$

$$\psi_{II}(x) = C_c . \cos(k_{II} x) + C_s . \text{sen}(k_{II} x) \qquad (0<x<a)$$

$$\psi_{III}(x) = 0 \qquad (a<x)$$

$$k_{II} = \frac{\sqrt{2mE}}{\hbar}$$

$$\boxed{-\frac{\hbar^2}{2m}\frac{d^2[\psi(x)]}{dx^2} + [V(x) - E]\,\psi(x) = 0}$$

Equação de Schrödinger independente do tempo

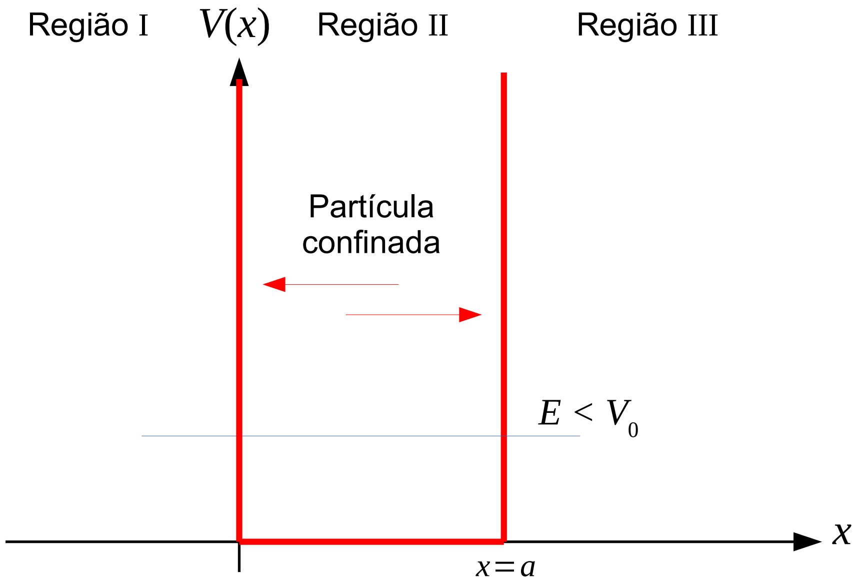
Aplicando a condição de continuidade da função de onda:

$$\psi_I(0) = \psi_{II}(0) = 0 \Rightarrow C_c \cdot \cos(0) + C_s \cdot \text{sen}(0) = 0$$

$$\psi_{II}(a) = \psi_{III}(a) = 0 \Rightarrow C_c \cdot \cos(k_{II} a) + C_s \cdot \text{sen}(k_{II} a) = 0$$

O poço quadrado

A partícula aprisionada...



$$-\frac{\hbar^2}{2m}\frac{d^2[\psi(x)]}{dx^2}+[V(x)-E]\,\psi(x)=0$$

Equação de Schrödinger independente do tempo

$$V_0>>E:\ \begin{cases}\psi_I(x)\to 0 & (x<0)\\ \psi_{III}(x)\to 0 & (a<x)\end{cases}$$

$$\psi_I(x)=0 \qquad (x<0)$$

$$\psi_{II}(x)=C_c.\cos(k_{II}x)+C_s.\text{sen}(k_{II}x) \qquad (0<x<a)$$

$$\psi_{III}(x)=0 \qquad (a<x)$$

$$k_{II}=\frac{\sqrt{2mE}}{\hbar}$$

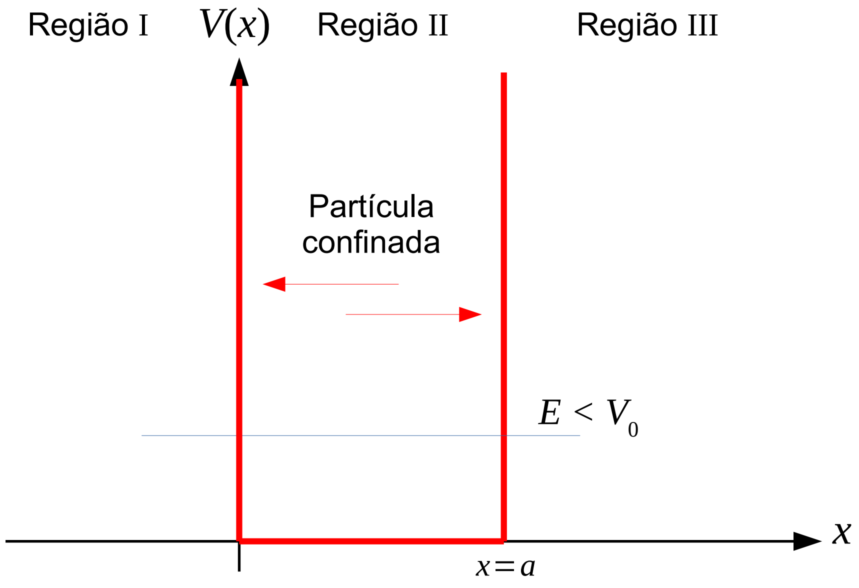
Aplicando a condição de continuidade da função de onda:

$$\psi_I(0)=\psi_{II}(0)=0\Rightarrow \cancel{C_c}\cdot\cos(0)+C_s\cdot\text{sen}(0)=0$$

$$\psi_{II}(a)=\psi_{III}(a)=0\Rightarrow \cancel{C_c}\cdot\cos(k_{II}a)+C_s\cdot\text{sen}(k_{II}a)=0$$

O poço quadrado

A partícula aprisionada...



$$-\frac{\hbar^2}{2m}\frac{d^2[\psi(x)]}{dx^2}+[V(x)-E]\psi(x)=0$$

Equação de Schrödinger independente do tempo

$$V_0 >> E: \begin{cases} \psi_I(x) \to 0 & (x<0) \\ \psi_{III}(x) \to 0 & (a<x) \end{cases}$$

Soluções ($V_0 >> E$):

$$\psi_I(x) = 0 \qquad (x<0)$$

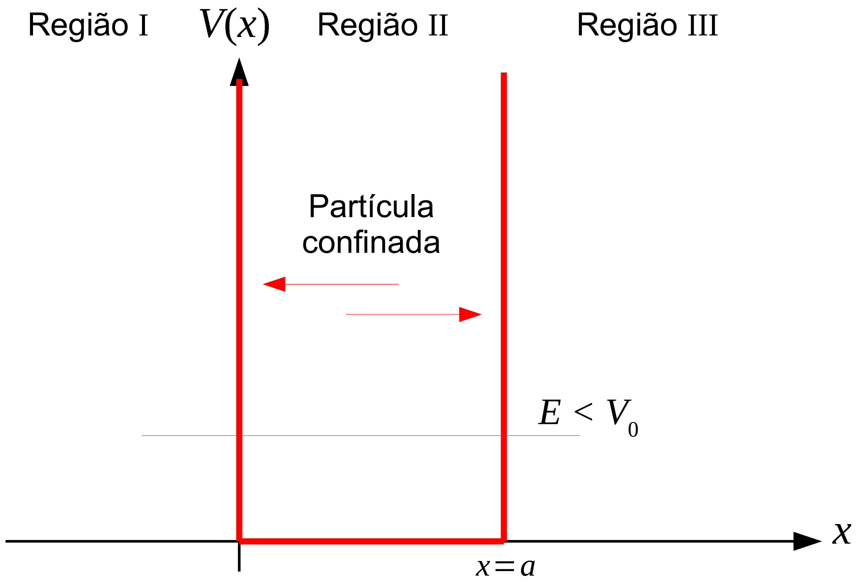
$$\psi_{II}(x) = C_s.\mathrm{sen}(k_{II}x) \qquad (0<x<a)$$

$$\psi_{III}(x) = 0 \qquad (a<x)$$

$$k_{II}=\frac{\sqrt{2mE}}{\hbar}$$

O poço quadrado

A partícula aprisionada...



$$-\frac{\hbar^2}{2m}\frac{d^2[\psi(x)]}{dx^2}+[V(x)-E]\psi(x)=0$$

Equação de Schrödinger independente do tempo

$$V_0 >> E: \begin{cases} \psi_I(x) \to 0 & (x<0) \\ \psi_{III}(x) \to 0 & (a<x) \end{cases}$$

Soluções ($V_0 >> E$):

$$\psi_I(x) = 0 \qquad (x<0)$$

$$\psi_{II}(x) = C_s.\text{sen}(k_{II}x) \qquad (0<x<a)$$

$$\psi_{III}(x) = 0 \qquad (a<x)$$

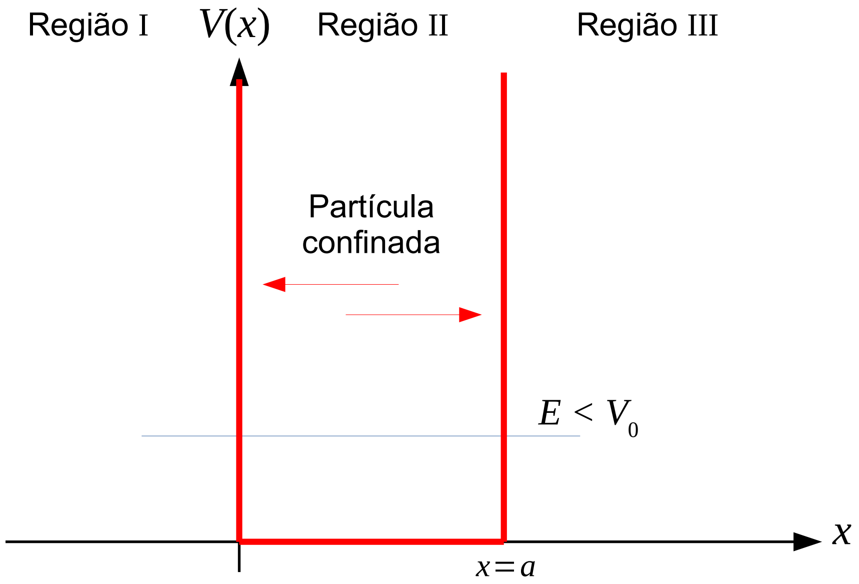
$$k_{II}=\frac{\sqrt{2mE}}{\hbar}$$

Ainda da condição de continuidade da função de onda:

$$\psi_{II}(a) = \psi_{III}(a)=0 \Rightarrow \text{sen}(k_{II}a)=0 \qquad \boxed{k_{II}a=n\pi}$$

O poço quadrado

A partícula aprisionada...



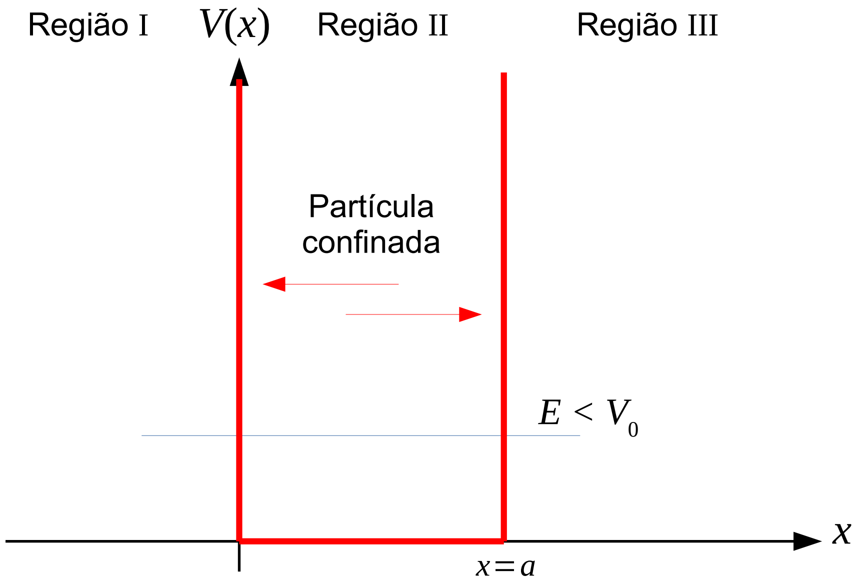
$$k_{II} a = n\pi \quad \Rightarrow \quad E = \frac{p^2}{2m} = \frac{\hbar^2 k^2}{2m} = \frac{\pi^2 \hbar^2 n^2}{2ma^2}$$

$$-\frac{\hbar^2}{2m}\frac{d^2[\psi(x)]}{dx^2} + [V(x) - E]\,\psi(x) = 0$$

Equação de Schrödinger independente do tempo

O poço quadrado

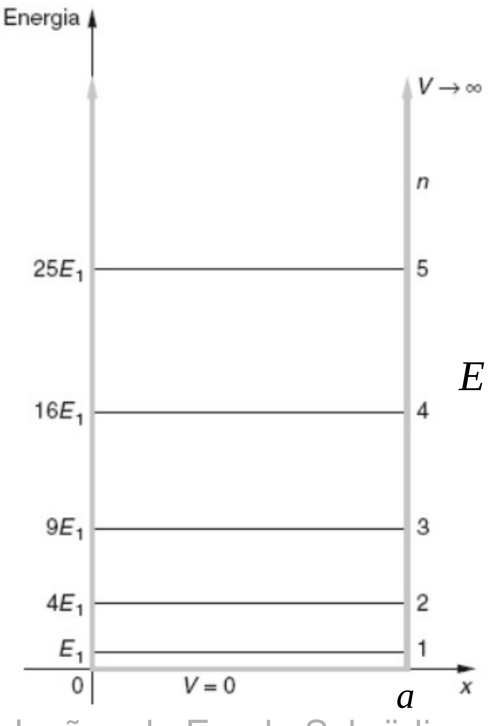
A partícula aprisionada...



$$-\frac{\hbar^2}{2m}\frac{d^2[\psi(x)]}{dx^2}+[V(x)-E]\,\psi(x)=0$$

Equação de Schrödinger independente do tempo

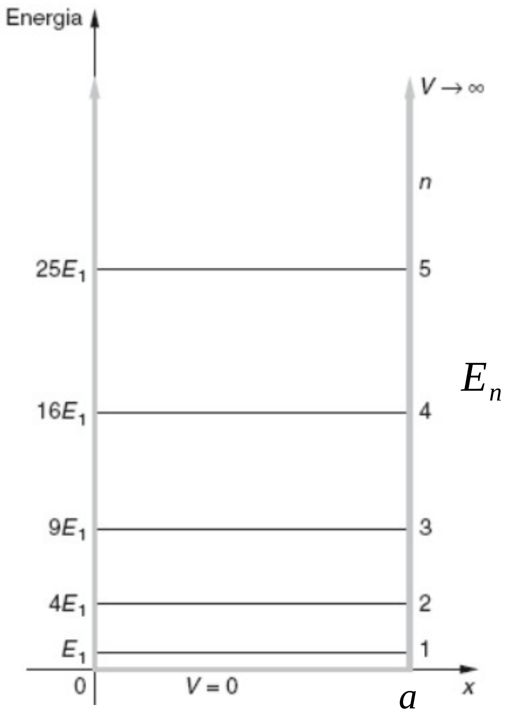
$$k_{II}\,a=n\pi \quad\Rightarrow\quad E=\frac{p^2}{2m}=\frac{\hbar^2k^2}{2m}=\frac{\pi^2\hbar^2n^2}{2ma^2}$$



$$E_n=\underbrace{\left(\frac{\pi^2\hbar^2}{2ma^2}\right)}_{E_1}n^2$$

O poço quadrado

A partícula aprisionada...



$$E_n = \underbrace{\left(\frac{\pi^2 \hbar^2}{2 m a^2}\right)}_{E_1} n^2$$

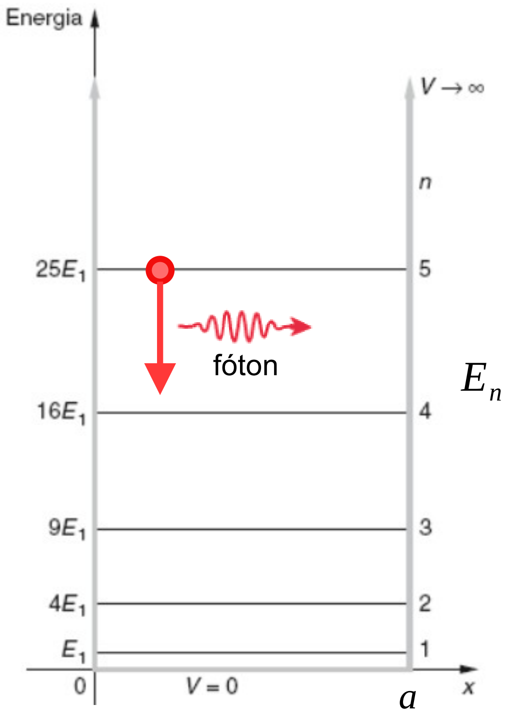
Diferença de energia entre níveis ($E_i > E_f$)

$$\boxed{\Delta E = E_i - E_f = \frac{\pi^2 \hbar^2}{2 m a^2}\left(n_i^2 - n_f^2\right)}$$

Energia de fótons emitidos na transição entre os estados i e f !

O poço quadrado

A partícula aprisionada...



$$E_n = \underbrace{\left(\frac{\pi^2 \hbar^2}{2ma^2}\right)}_{E_1} n^2$$

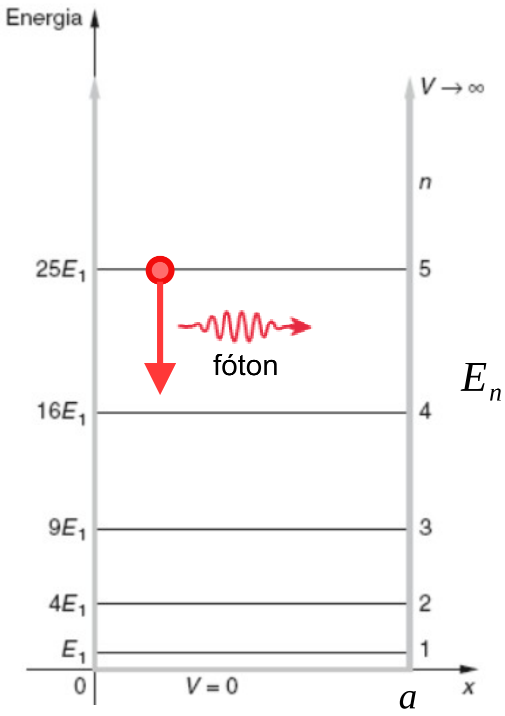
Diferença de energia entre níveis ($E_i > E_f$)

$$\boxed{\Delta E = E_i - E_f = \frac{\pi^2 \hbar^2}{2ma^2}\left(n_i^2 - n_f^2\right)}$$

Energia de fótons emitidos na transição entre os estados i e f !

O poço quadrado

A partícula aprisionada...



$$E_n = \underbrace{\left(\frac{\pi^2 \hbar^2}{2 m a^2}\right)}_{E_1} n^2$$

Diferença de energia entre níveis ($E_i > E_f$)

$$\boxed{\Delta E = E_i - E_f = \frac{\pi^2 \hbar^2}{2 m a^2}\left(n_i^2 - n_f^2\right)}$$

Energia de fótons emitidos na transição entre os estados i e f !

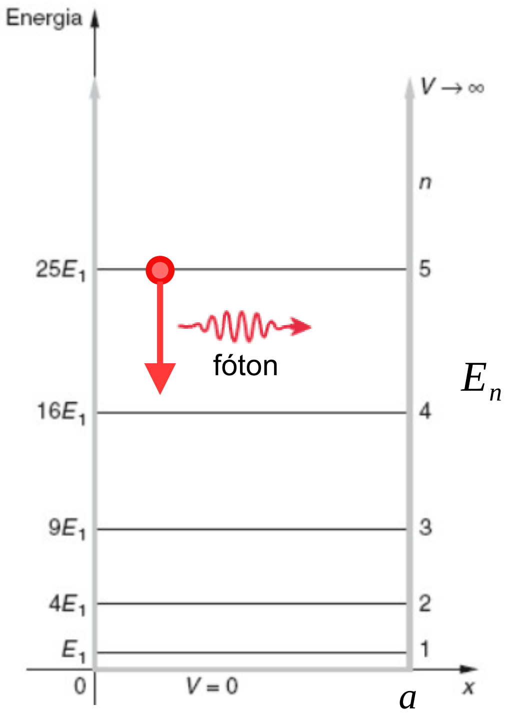
Diferença de energia entre dois níveis consecutivos:

$$\Delta E = E_i - E_{i-1} = \frac{\pi^2 \hbar^2}{2 m a^2}\left[\underbrace{n_i^2 - (n_i - 1)^2}\right] = \frac{\pi^2 \hbar^2}{2 m a^2}(2 n_i - 1)$$

$$n_i^2 - (n_i - 1)^2 = n_i^2 - (n_i^2 - 2 n_i + 1)$$
$$= 2 n_i - 1$$

O poço quadrado

A partícula aprisionada...



$$E_n = \underbrace{\left(\frac{\pi^2 \hbar^2}{2 m a^2}\right)}_{E_1} n^2$$

Diferença de energia entre níveis ($E_i > E_f$)

$$\boxed{\Delta E = E_i - E_f = \frac{\pi^2 \hbar^2}{2 m a^2}\left(n_i^2 - n_f^2\right)}$$

Energia de fótons emitidos na transição entre os estados i e f !

Diferença de energia entre dois níveis consecutivos:

$$\Delta E = E_i - E_{i-1} = \frac{\pi^2 \hbar^2}{2 m a^2}\left[\underbrace{n_i^2 - (n_i - 1)^2}\right] = \frac{\pi^2 \hbar^2}{2 m a^2}(2 n_i - 1)$$

$$n_i^2 - (n_i - 1)^2 = n_i^2 - (n_i^2 - 2 n_i + 1)^2$$
$$= 2 n_i - 1$$

Princípio da correspondência: $\lim_{n_i \to \infty} \frac{\Delta E}{E} \propto \lim_{n_i \to \infty} \frac{n_i}{n_i^2} = 0$

O poço quadrado

A partícula aprisionada...

Diferença de energia entre dois níveis consecutivos:

$$\boxed{\Delta E = E_i - E_{i-1} = \frac{\pi^2 \hbar^2}{2ma^2}(2n_i - 1)}$$

Energia do fóton emitido na transição do primeiro estado excitado para o estado fundamental:

$$\Delta E_{21} = \frac{3\pi^2 \hbar^2}{2ma^2} = \frac{3(hc)^2}{8mc^2 a^2}$$

Relação entre o comprimento de onda e o tamanho do sistema:

$$\frac{3\pi^2 \hbar^2}{2ma^2} = \frac{hc}{\lambda} \qquad \boxed{\lambda = \frac{8mc^2}{3hc} a^2}$$

Fótons emitidos por processos nucleares têm energias típicas da ordem de 10^6 eV (1 MeV)

Imagine um próton confinado no núcleo (m = 938 MeV). Qual é o tamanho esperado para o núcleo supondo um potencial quadrado de confinamento?

$$a^2 = \frac{3(hc)^2}{8mc^2 \Delta E_{21}} = \frac{3(1240\,[\text{eV.nm}])^2}{8 \cdot 938 \times 10^6 [\text{eV}] \cdot 10^6 [\text{eV}]}$$

$$a \sim 10^{-5} \text{ nm} = 10 \text{ fm} \quad (1 \text{ fm} = 10^{-15} \text{m})$$

O poço quadrado

A partícula aprisionada...

Diferença de energia entre dois níveis consecutivos:

$$\boxed{\Delta E = E_i - E_{i-1} = \frac{\pi^2 \hbar^2}{2ma^2}(2n_i - 1)}$$

Energia do fóton emitido na transição do primeiro estado excitado para o estado fundamental:

$$\Delta E_{21} = \frac{3\pi^2 \hbar^2}{2ma^2} = \frac{3(hc)^2}{8mc^2 a^2}$$

Relação entre o comprimento de onda e o tamanho do sistema:

$$\frac{3\pi^2 \hbar^2}{2ma^2} = \frac{hc}{\lambda} \qquad \boxed{\lambda = \frac{8mc^2}{3hc} a^2}$$

Qual é o tamanho esperado para um sistema quântico de potencial quadrado emitir fótons no intervalo da luz visível?

400 nm (violeta) até 750 nm (vermelho)

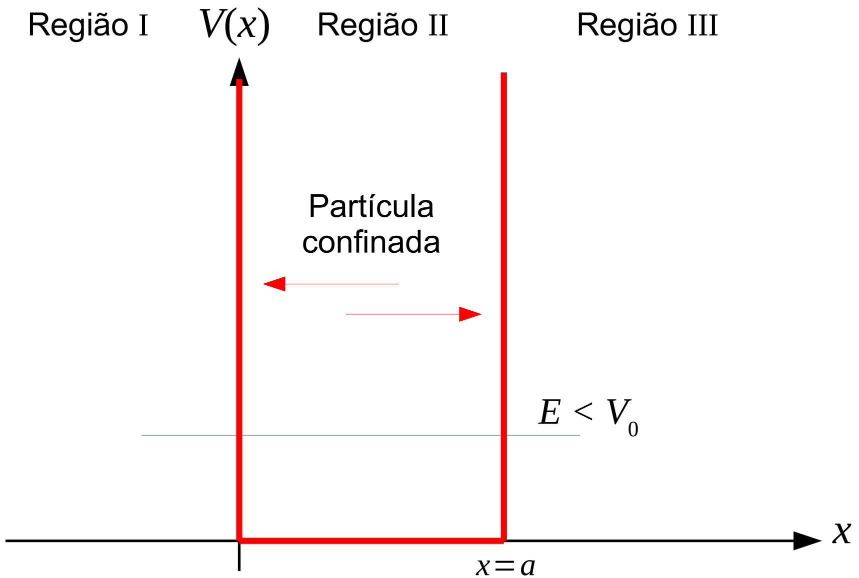
$$a_{\min}^2 = \frac{3(hc)}{8mc^2}\lambda = \frac{3(1240\,[\mathrm{eV.nm}])}{8 \cdot 511 \times 10^3\,[\mathrm{eV}]} 400\,[\mathrm{nm}]$$

$$a_{\max}^2 = \frac{3(hc)}{8mc^2}\lambda = \frac{3(1240\,[\mathrm{eV.nm}])}{8 \cdot 511 \times 10^3\,[\mathrm{eV}]} 750\,[\mathrm{nm}]$$

Em ambos os casos, o tamanho típico é: $a \sim 1\,\mathrm{nm}$

O poço quadrado

A partícula aprisionada...



$$-\frac{\hbar^2}{2m}\frac{d^2[\psi(x)]}{dx^2}+[V(x)-E]\,\psi(x)=0$$

Equação de Schrödinger independente do tempo

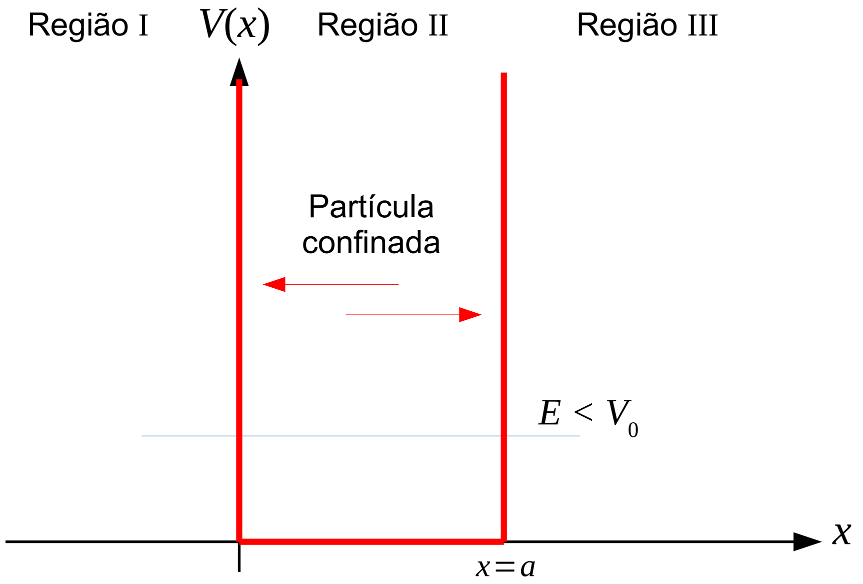
$$\int_{-\infty}^{+\infty}\psi^*(x)\,\psi(x)\,dx=$$

$$=\int_0^a C_s^2\,\mathrm{sen}^2\left(\frac{n\pi x}{a}\right)dx=1 \quad\Rightarrow\quad C_s=(2/a)^{1/2}$$

$$\boxed{\psi_n(x)=\sqrt{\left(\frac{2}{a}\right)}\,\mathrm{sen}\left(\frac{n\pi x}{a}\right) \quad \text{com } n=1,2,3,\ldots}$$

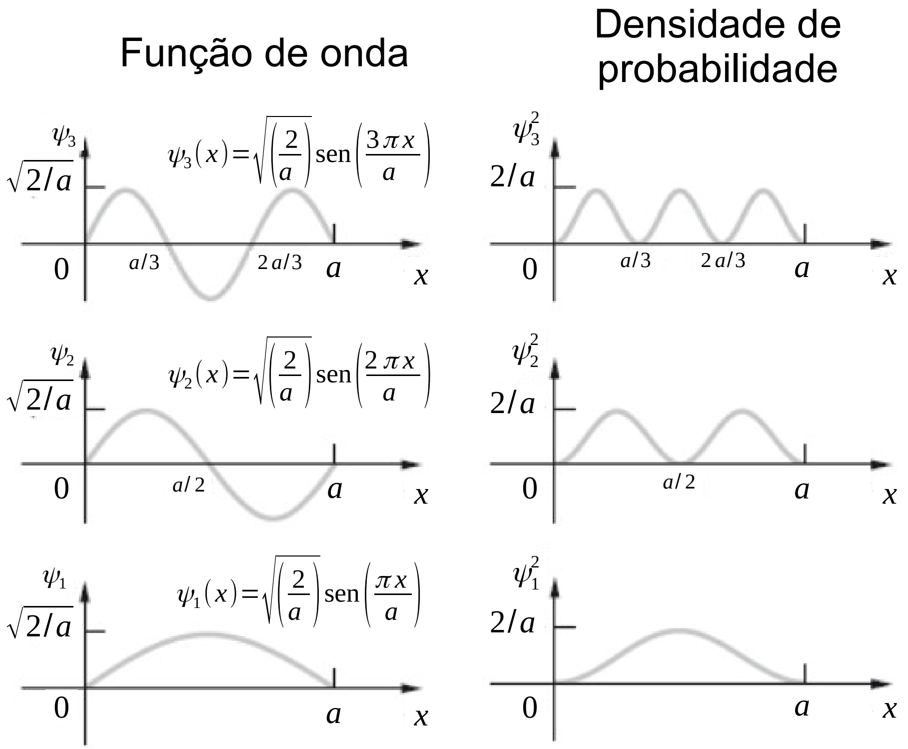
O poço quadrado

A partícula aprisionada...



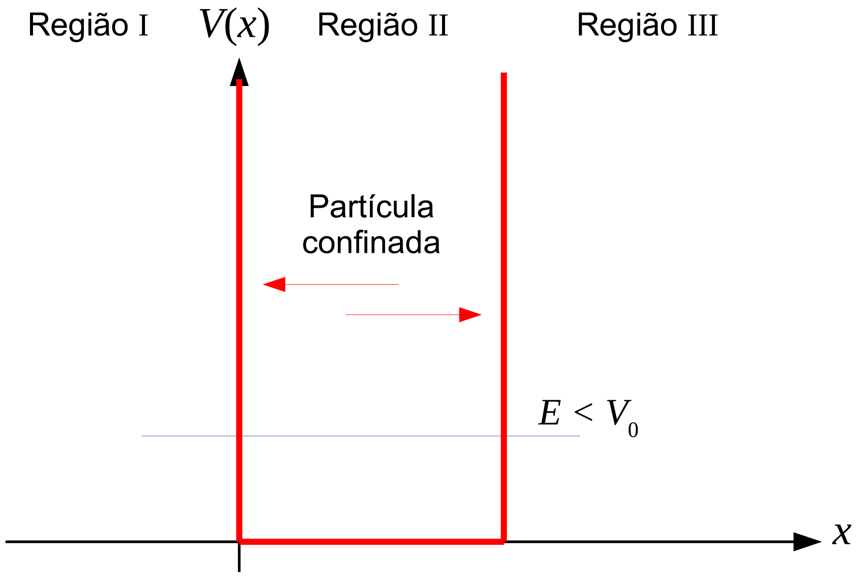
$$-\frac{\hbar^2}{2m}\frac{d^2[\psi(x)]}{dx^2}+[V(x)-E]\,\psi(x)=0$$

Equação de Schrödinger independente do tempo



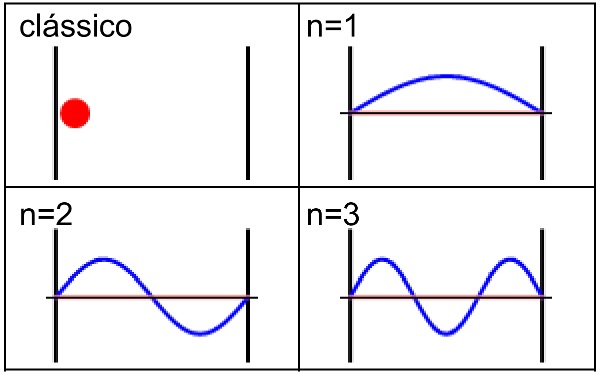
O poço quadrado

A partícula aprisionada...



$$\Psi_n(x,t)=\sqrt{\left(\frac{2}{a}\right)}\,\mathrm{sen}\left(\frac{n\pi x}{a}\right)\cdot e^{-iE_n t/\hbar}$$

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



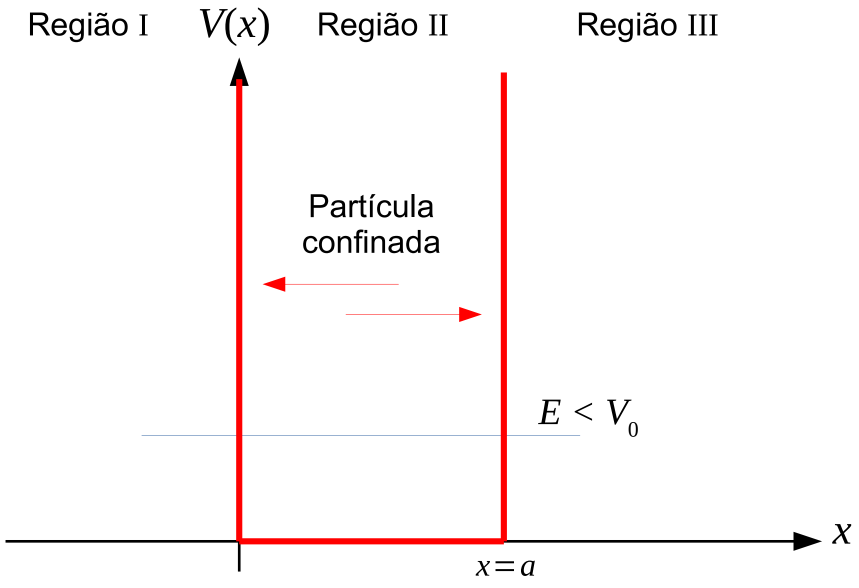
wikipedia.org

$$\boxed{-\frac{\hbar^2}{2m}\frac{d^2[\psi(x)]}{dx^2}+[V(x)-E]\,\psi(x)=0}$$

Equação de Schrödinger independente do tempo

O poço quadrado

A partícula aprisionada...

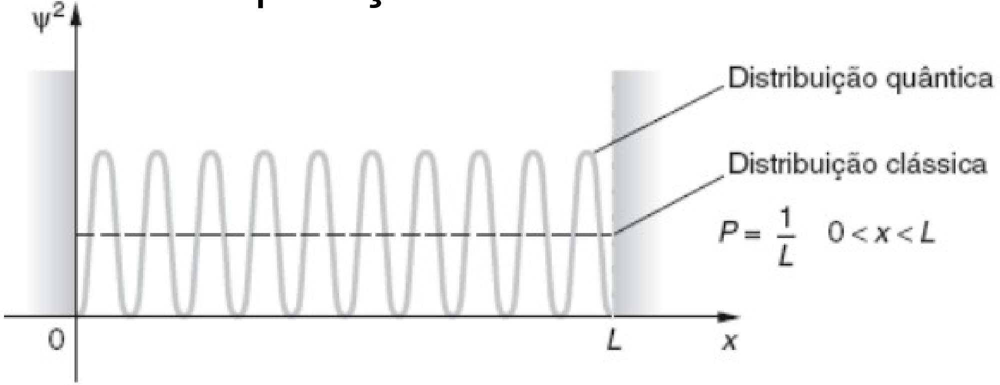


$$-\frac{\hbar^2}{2m}\frac{d^2[\psi(x)]}{dx^2}+[V(x)-E]\psi(x)=0$$

Equação de Schrödinger independente do tempo

$$\psi(x)=\sqrt{\left(\frac{2}{a}\right)}\,\mathrm{sen}\left(\frac{n\pi x}{a}\right)\quad \text{com } n=1,2,3,\ldots$$

Comparação com o caso clássico:

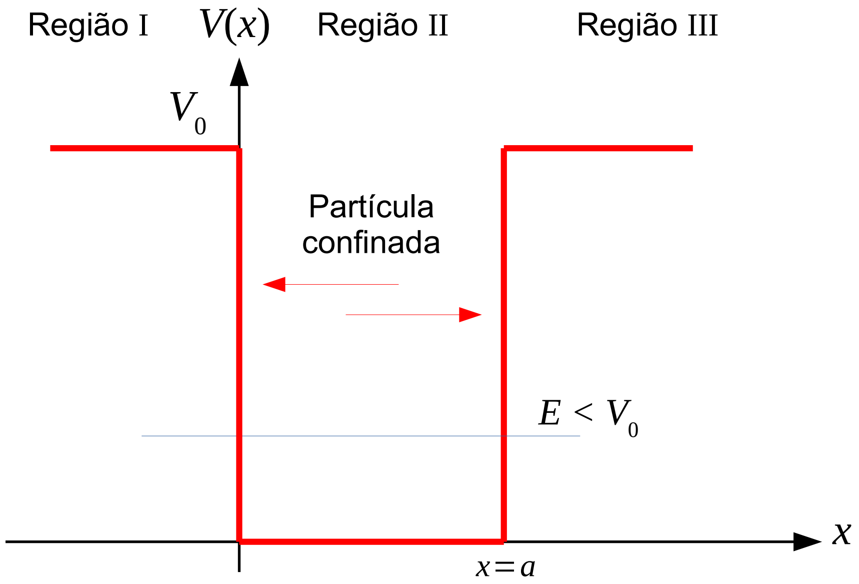


$$[\psi^2(x)]_{\text{med}}=\left[\left(\frac{2}{a}\right)\mathrm{sen}^2\left(\frac{n\pi x}{a}\right)\right]_{\text{med}}=\frac{2}{a}\frac{1}{2}=\frac{1}{a}$$

A probabilidade média é igual à clássica!

O poço quadrado

A partícula aprisionada...



$$-\frac{\hbar^2}{2m}\frac{d^2[\psi(x)]}{dx^2}+[V(x)-E]\,\psi(x)=0$$

Equação de Schrödinger independente do tempo

Soluções:

$$\psi_I(x) = A.e^{k_I x} \qquad (x<0)$$

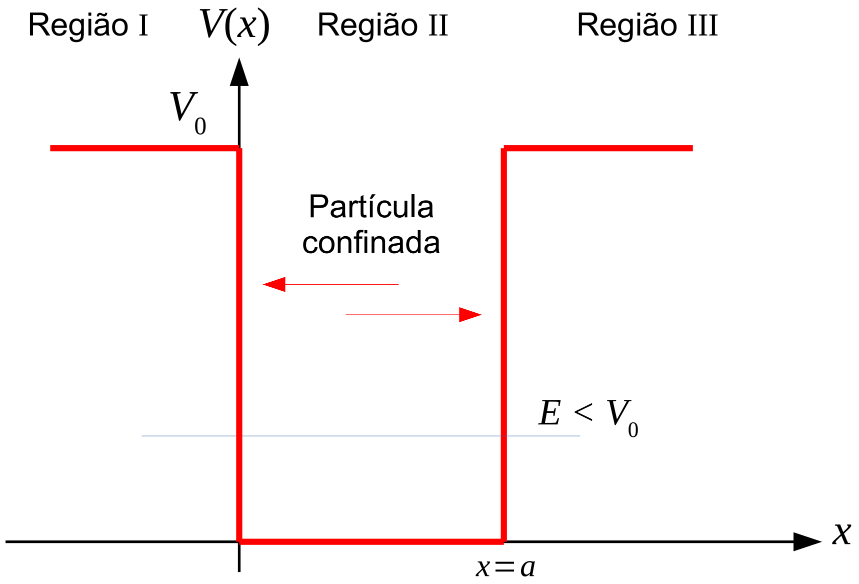
$$\psi_{II}(x) = C_c.\cos(k_{II}x)+C_s.\mathrm{sen}(k_{II}x) \qquad (0<x<a)$$

$$\psi_{III}(x) = G.e^{-k_I x} \qquad (a<x)$$

$$k_{II}=\frac{\sqrt{2mE}}{\hbar} \qquad k_I=\frac{\sqrt{2m(V_0-E)}}{\hbar}$$

O poço quadrado

A partícula aprisionada...



$$-\frac{\hbar^2}{2m}\frac{d^2[\psi(x)]}{dx^2}+[V(x)-E]\,\psi(x)=0$$

Equação de Schrödinger independente do tempo

Soluções:

$$\psi_I(x) = A.e^{k_I x} \qquad (x<0)$$

$$\psi_{II}(x) = C_c.\cos(k_{II}x)+C_s.\text{sen}(k_{II}x) \qquad (0<x<a)$$

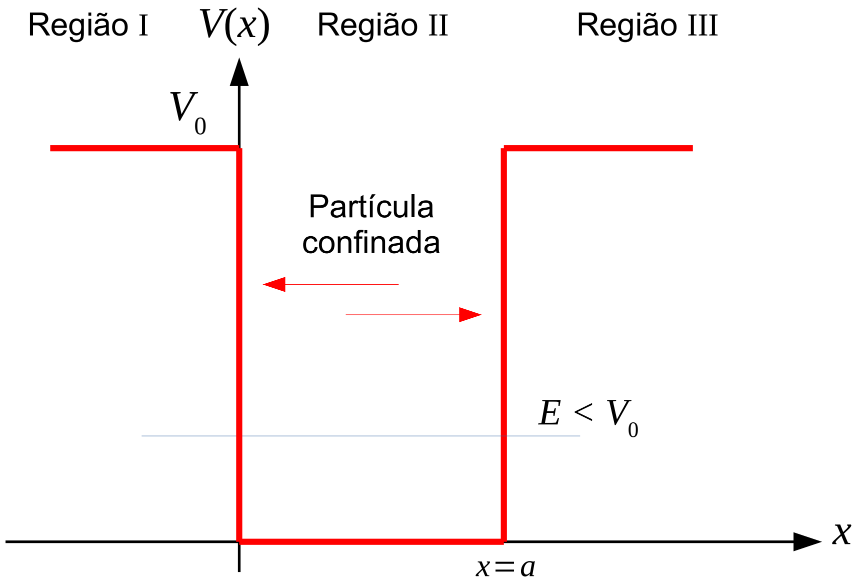
$$\psi_{III}(x) = G.e^{-k_I x} \qquad (a<x)$$

Devemos aplicar as condições:

$$\begin{cases} \psi_I(0) = \psi_{II}(0) \\ \dfrac{d\,\psi_I(0)}{dx} = \dfrac{d\,\psi_{II}(0)}{dx} \\ \psi_{II}(a) = \psi_{III}(a) \\ \dfrac{d\,\psi_{II}(a)}{dx} = \dfrac{d\,\psi_{III}(a)}{dx} \end{cases}$$

O poço quadrado

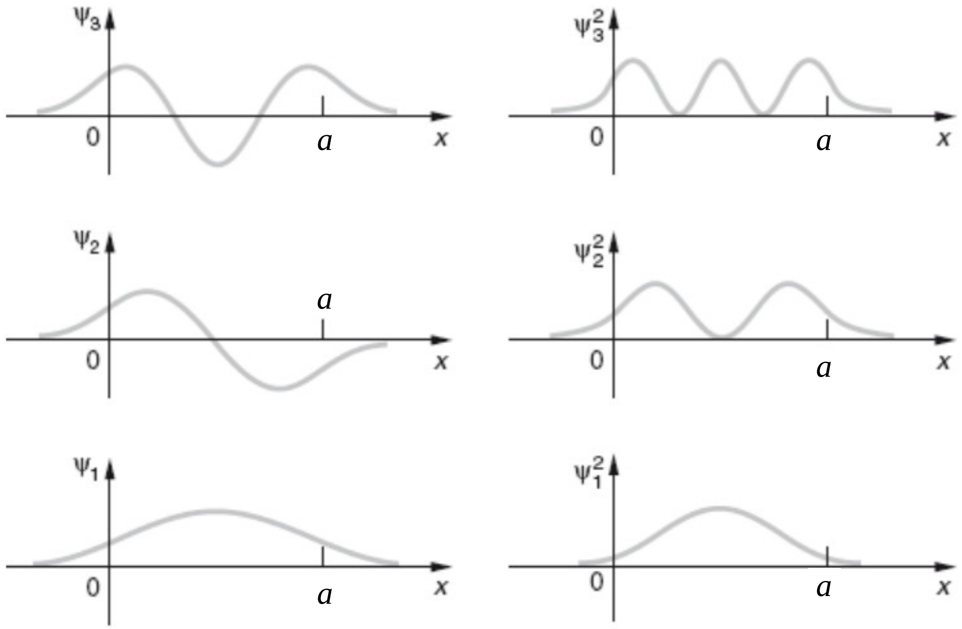
A partícula aprisionada...



$$-\frac{\hbar^2}{2m}\frac{d^2[\psi(x)]}{dx^2}+[V(x)-E]\,\psi(x)=0$$

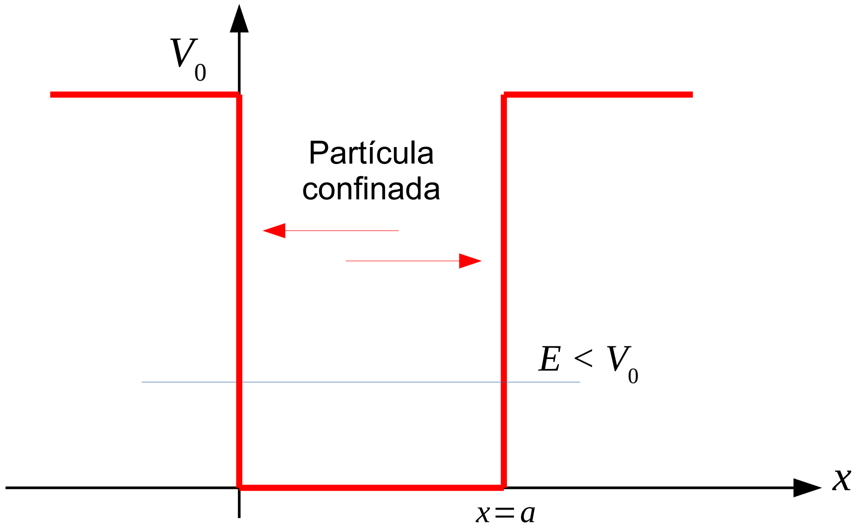
Equação de Schrödinger independente do tempo

Voltando ao caso, $V_0 > E$:



O poço quadrado

A partícula aprisionada...

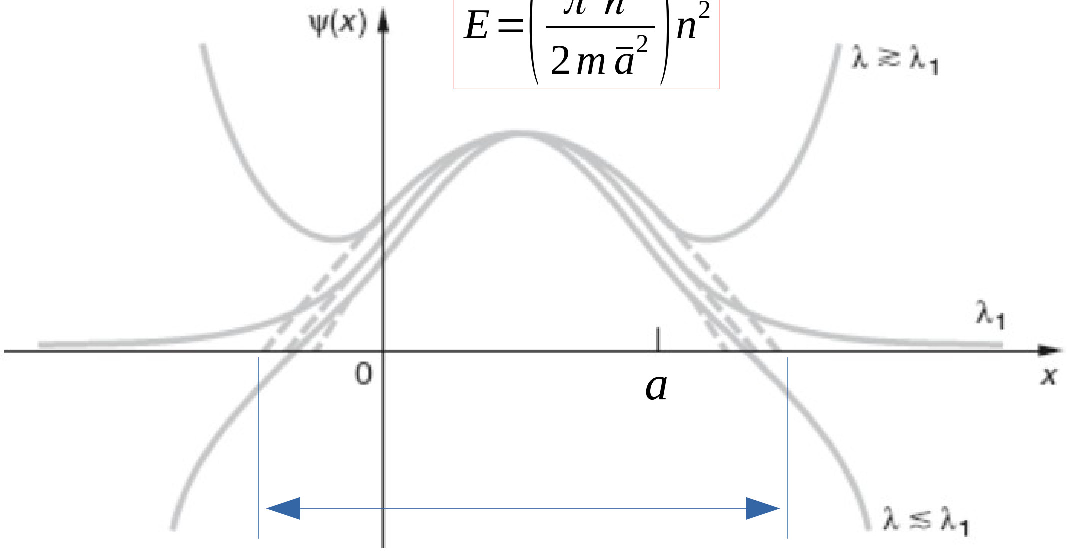


$$\boxed{-\frac{\hbar^2}{2m}\frac{d^2[\psi(x)]}{dx^2} + [V(x) - E]\,\psi(x) = 0}$$

Equação de Schrödinger independente do tempo

Voltando ao caso, $V_0 > E$:

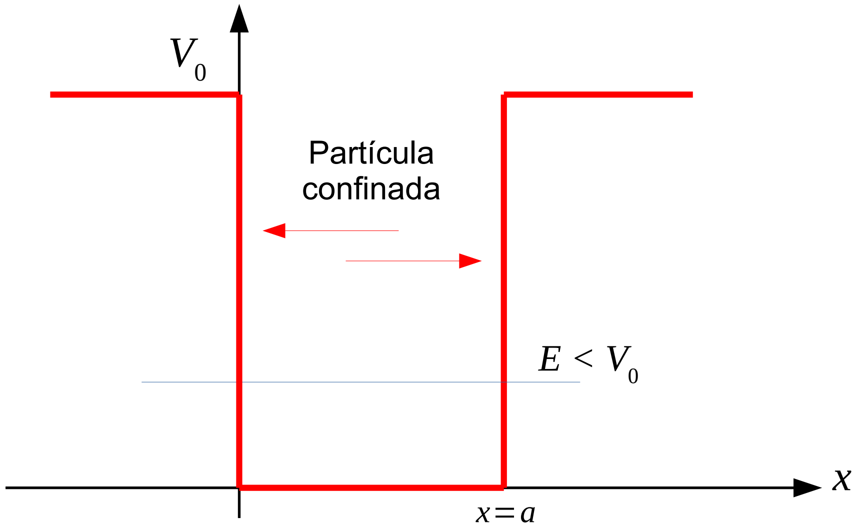
$$\boxed{E = \left(\frac{\pi^2 \hbar^2}{2 m \bar{a}^2}\right) n^2}$$



Comprimento efetivo maior → energia menor

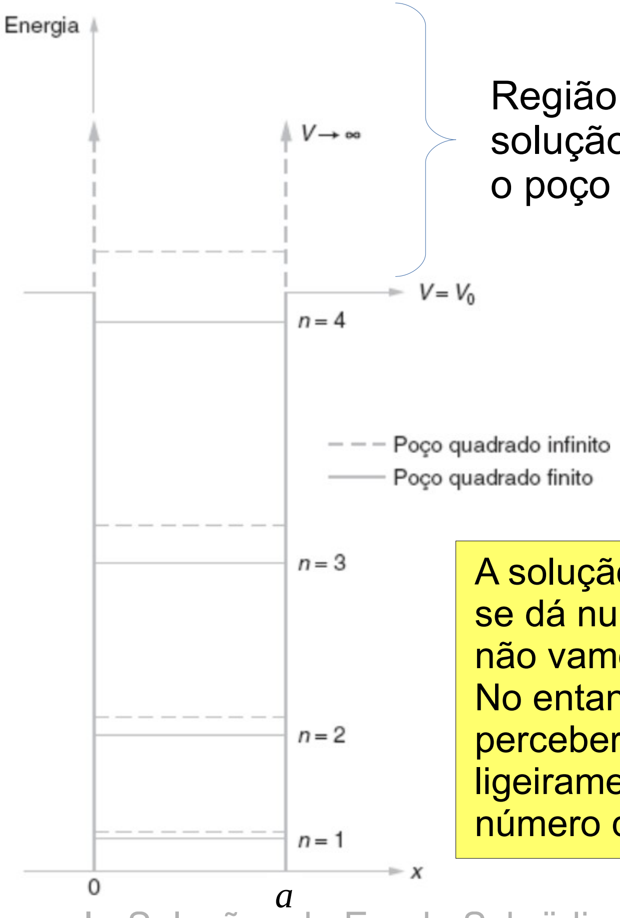
O poço quadrado

A partícula aprisionada...



$$-\frac{\hbar^2}{2m}\frac{d^2[\psi(x)]}{dx^2} + [V(x) - E]\,\psi(x) = 0$$

Equação de Schrödinger independente do tempo



Região sem solução para o poço finito!

A solução para o poço finito se dá numericamente, e nós não vamos ver nesse curso. No entanto, é importante perceber que as energias são ligeiramente mais baixas e o número de estados é finito!

Resumo...

Começamos a ver soluções da equação de Schrödinger para partículas aprisionadas (poço quadrado)

- Em uma aproximação $V_0 >> E$ (poço infinito) as soluções possíveis oferecem infinitos níveis discretos de energia
- Em média, a previsão quântica concorda com a previsão clássica para a distribuição de probabilidades
- No caso do poço finito, temos um número finito de estados possíveis e a energia é ligeiramente menor graças a um comprimento efetivo maior

Na próxima aula...

- Potencial do oscilador harmônico
- Solução tridimensional da equação de Schrödinger
  - Degenerescência