

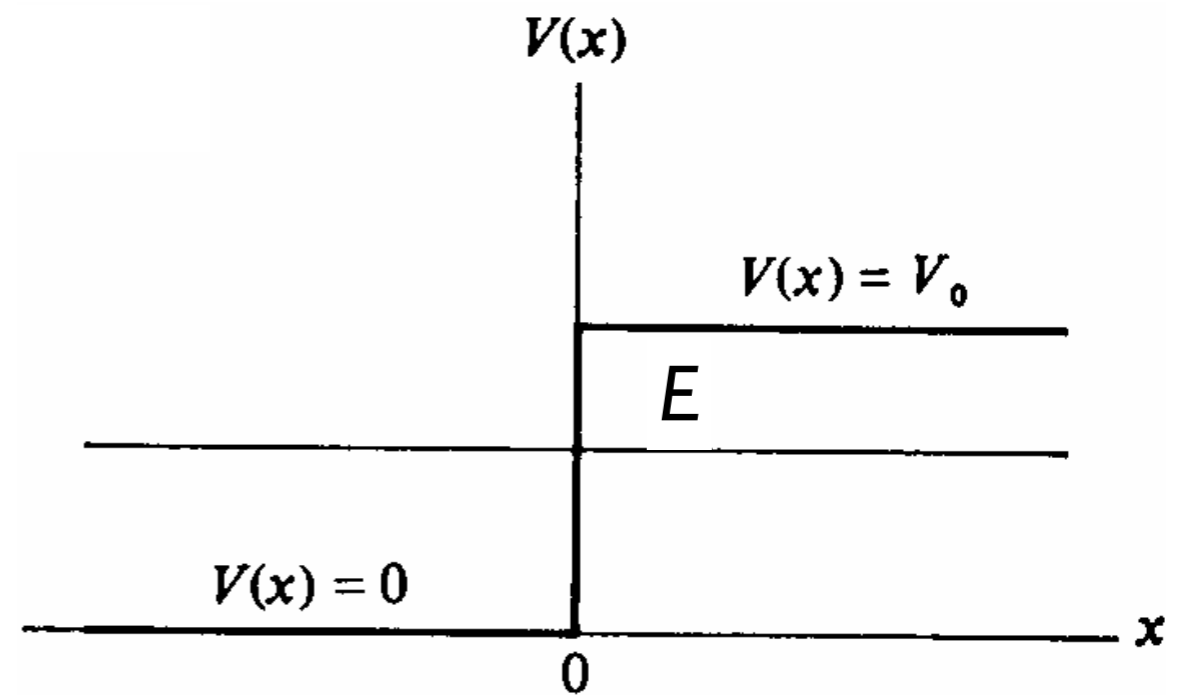
# Física Moderna I

## Aula 16

Marcelo G Munhoz  
Pelletron, sala 245, ramal 6940  
[munhoz@if.usp.br](mailto:munhoz@if.usp.br)

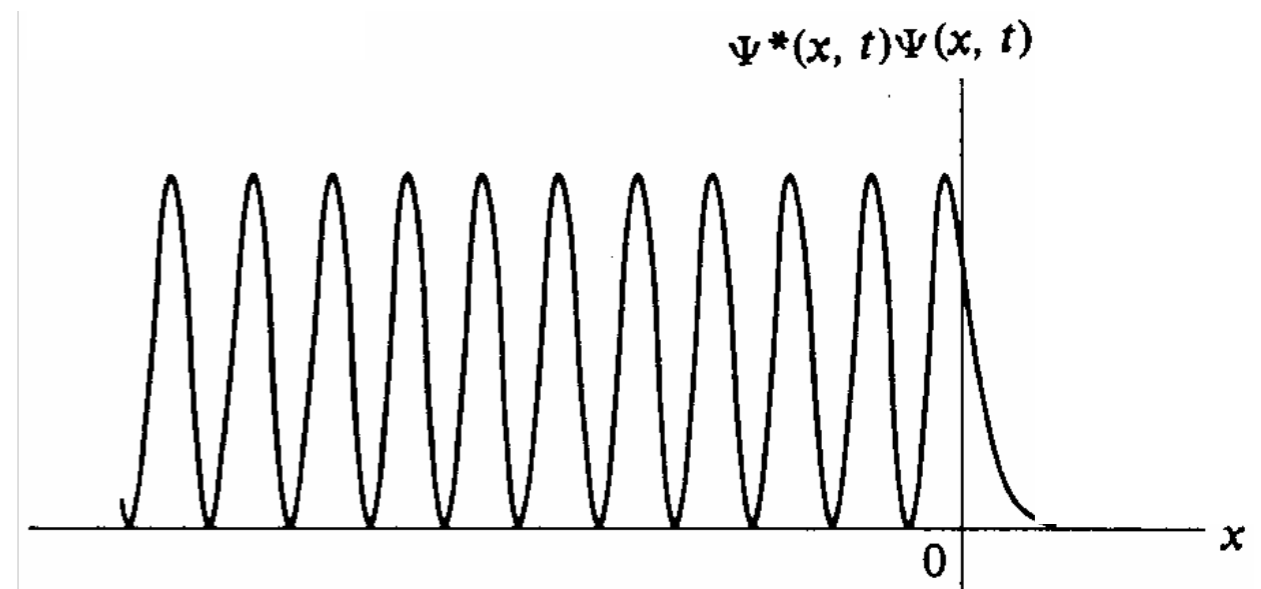
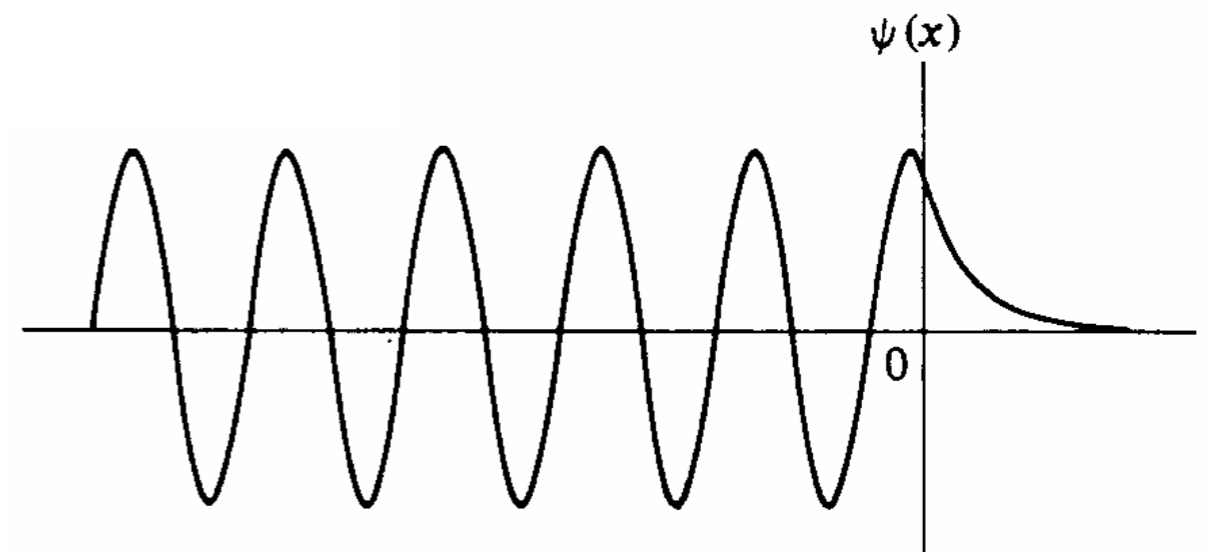
# Potencial Degrau

- O potencial degrau é uma das configurações mais simples de se resolver a equação de Schroedinger
- Apesar de idealizado, este potencial apresenta algumas aplicações práticas
- Inicialmente, vamos estudar o caso em que  $E < V_0$



# Potencial Degrau

- Como esperado, tem-se a função de onda da partícula livre para  $x < 0$
- Para  $x > 0$ , como no caso do poço de potencial finito, existe uma probabilidade da partícula ser encontrada na região classicamente proibida
- Animação (Scattering over Potential Step)



# Potencial Degrau

- Apesar disso, calculando-se o chamado coeficiente de reflexão da onda incidente ( $R$ ), que é dado pela razão entre o quadrado da amplitude da onda que viaja na direção de  $x$  negativo ( $B$ ) e o quadrado da amplitude da onda que viaja na direção de  $x$  positivo ( $A$ )

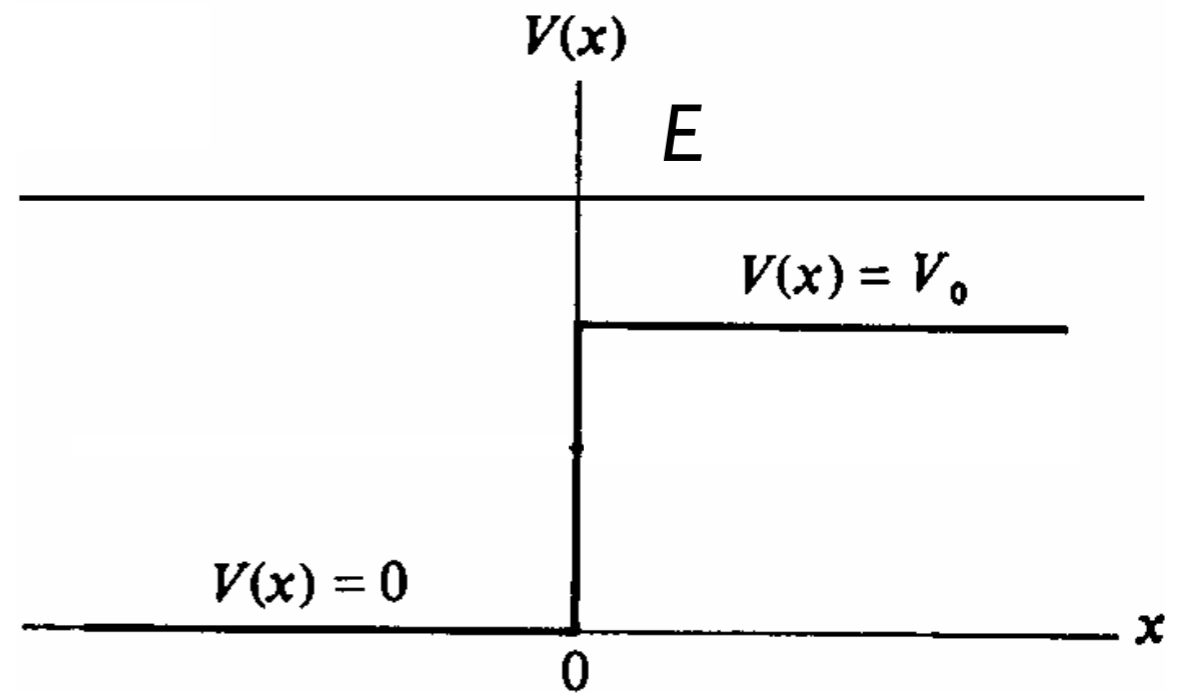
$$R = \frac{B^* B}{A^* A} = \frac{(1 - ik'/k)^*(1 - ik'/k)}{(1 + ik'/k)^*(1 + ik'/k)} = \frac{(1 + ik'/k)(1 - ik'/k)}{(1 - ik'/k)(1 + ik'/k)} = 1$$

tem-se que  $R = 1$

- Animação (1.5)

# Potencial Degrau

- Neste caso,  $E > V_0$
- Este tipo de problema reproduz, por exemplo, o efeito fotoelétrico quando o elétron tem energia ligeiramente superior à energia de ligação do átomo
- Classicamente, espera-se que a partícula apenas diminua sua velocidade ao passar por  $x=0$



# Potencial Degrau

- O resultado surpreendente neste caso é que  $R > 0$ , pois:

$$R = \frac{B^* B}{A^* A} = \left( \frac{k - k'}{k + k'} \right)^* \left( \frac{k - k'}{k + k'} \right) = \left( \frac{k - k'}{k + k'} \right)^2$$

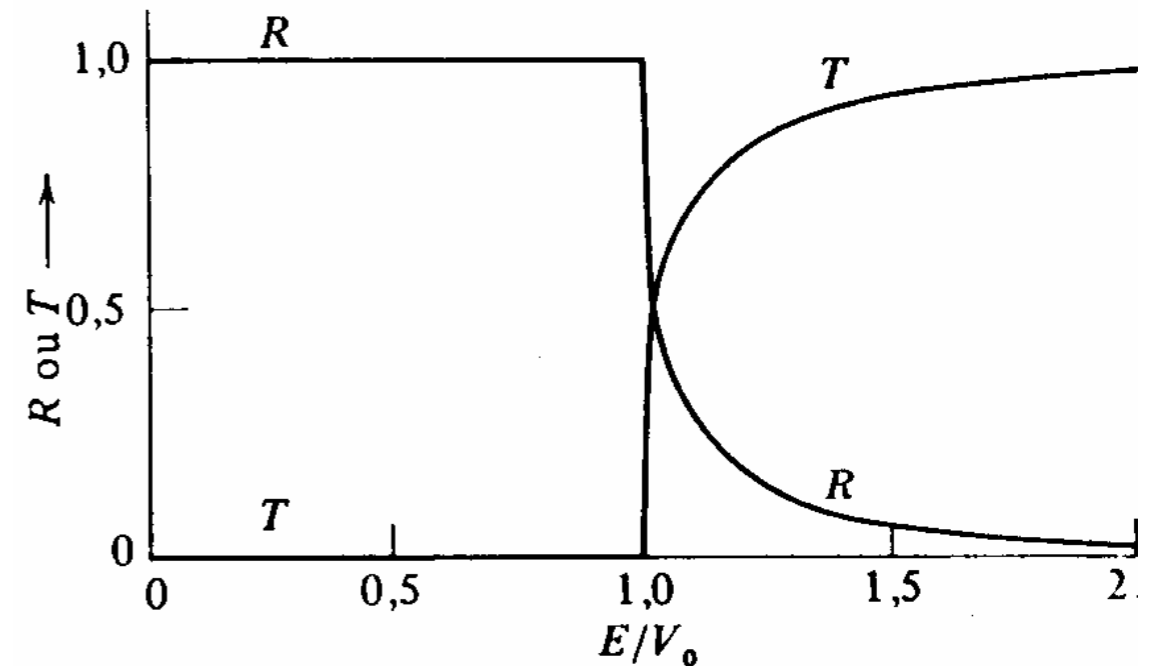
enquanto classicamente não se espera nenhuma reflexão.

- Podemos calcular também o coeficiente de transmissão pela barreira ( $T$ ), sabendo que:

$$R + T = 1 \Rightarrow T = \frac{4kk'}{(k + k')^2}$$

# Potencial Degrau

- Portanto, quando a energia da partícula é ligeiramente maior que a amplitude da barreira, existe uma probabilidade da partícula ser refletida, contrariando a expectativa da física clássica
- Animação (Scattering over Potential Step)



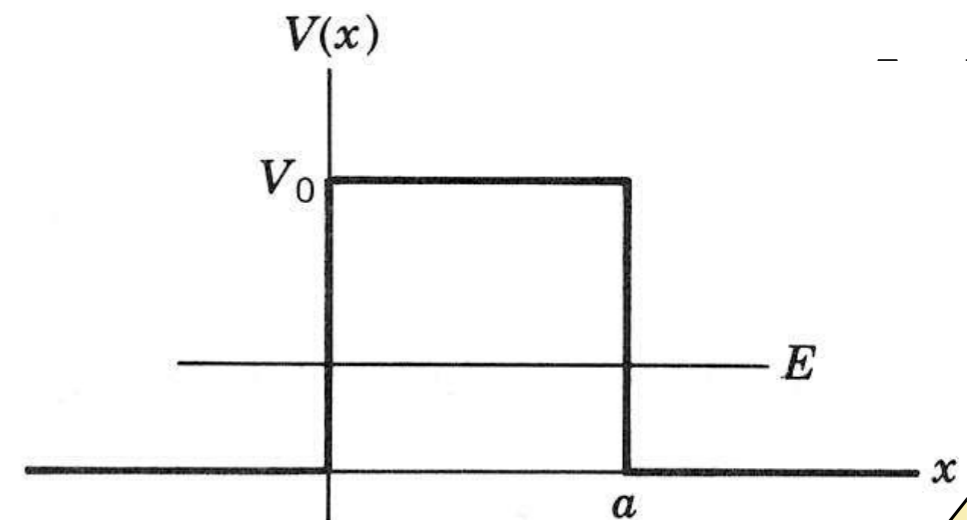
$$R = 1 - T = \left( \frac{1 - \sqrt{1 - V_0/E}}{1 + \sqrt{1 - V_0/E}} \right)^2$$

para  $E/V_0 > 1$

$$R = 1 - T = 1 \quad \text{para } E/V_0 < 1$$

# Barreira de Potencial

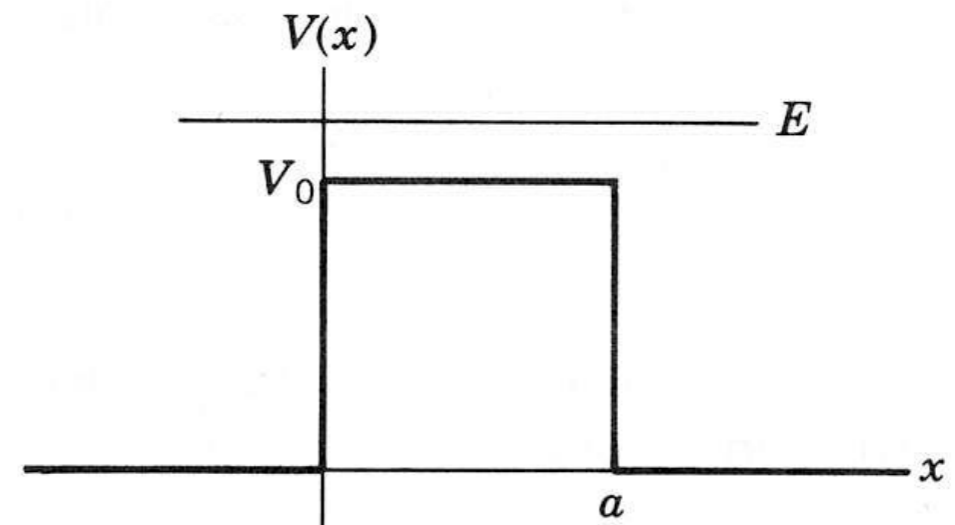
- Se o potencial apresentar um valor  $V_0$  para apenas um intervalo de  $x$ , dizemos se tratar de uma barreira de potencial
- Existem vários sistemas físicos que podem ser tratados com um potencial com este
- Inicialmente, vamos resolver o problema para o caso em que  $E < V_0$





# Barreira de Potencial

- Para o caso em que  $E > V_0$ , a solução é bastante similar à anterior, porém a função de onda em  $0 < x < a$  também é periódica (e não exponencial)



# Barreira de Potencial

- Os valores dos coeficientes de reflexão e transmissão no caso da barreira de potencial são similares ao caso do potencial degrau, porém, devido ao efeito de *tunelamento* pela barreira,  $R < 1$  e  $T > 0$ , mesmo para  $E < V_0$

