



Universidade Federal do Espírito Santo
Centro de Ciências Exatas



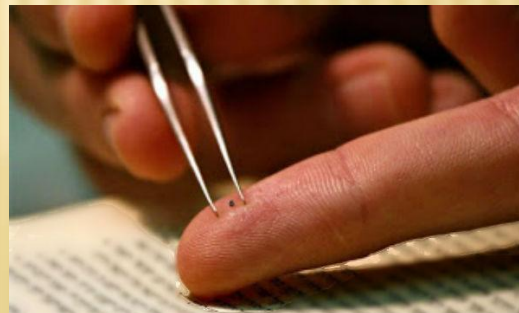
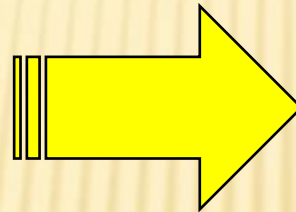
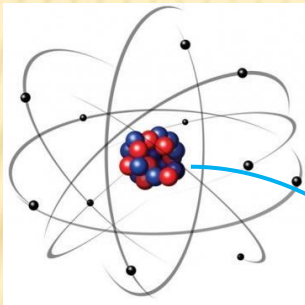
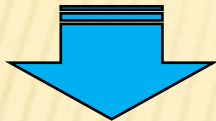
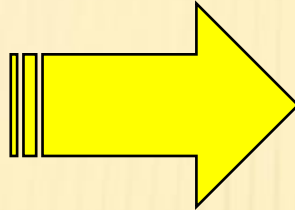
O QUE É MECÂNICA QUÂNTICA?

Prof. Dr. José Alexandre Nogueira
Departamento de Física - Ufes

Mecânica quântica

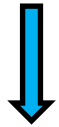


Mundo pequeno



Mecânica Clássica

Partícula



Ponto



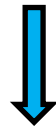
$$\vec{x}(t)$$



Onda



Campo



$$f(\vec{x}, t)$$

Mecânica Quântica

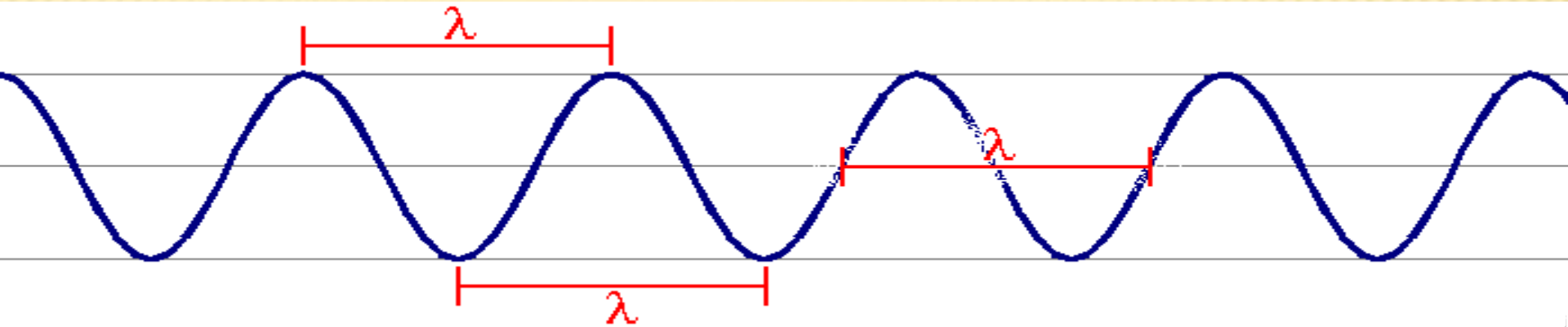


$$\begin{array}{ccc} \vec{p} & \longleftrightarrow & \vec{k} \\ E & \longleftrightarrow & \omega \end{array}$$



$\psi(x, t) \rightarrow$ informação sobre a localização da partícula

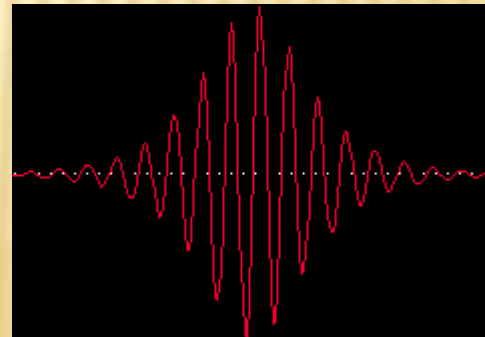
$\psi(x, t) \rightarrow$ Onda $\leftrightarrow$ Partícula!

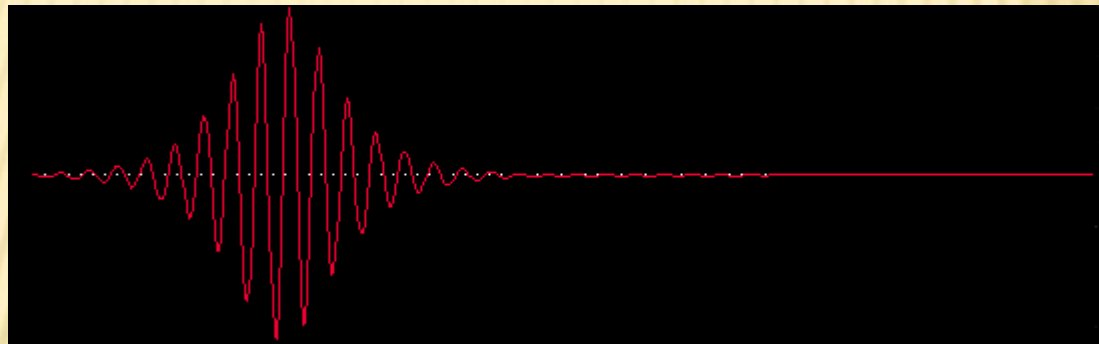


Ocupa todo espaço. $k = \frac{2\pi}{\lambda}$, portanto p bem definido

$\rightarrow x$ completamente indeterminado

• Ponto

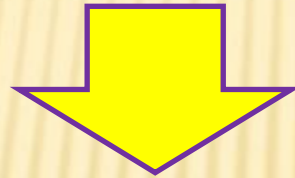




Imprecisão em $x \rightarrow \Delta x$ e Imprecisão em $p \rightarrow \Delta p$

$$\Delta x \propto \frac{1}{\Delta p} \rightarrow \Delta x \cdot \Delta p \neq 0$$

$$\Delta x \cdot \Delta p \geq \frac{\hbar}{2}$$



PRINCÍPIO DE INCERTEZA
DE
HEISENBERG

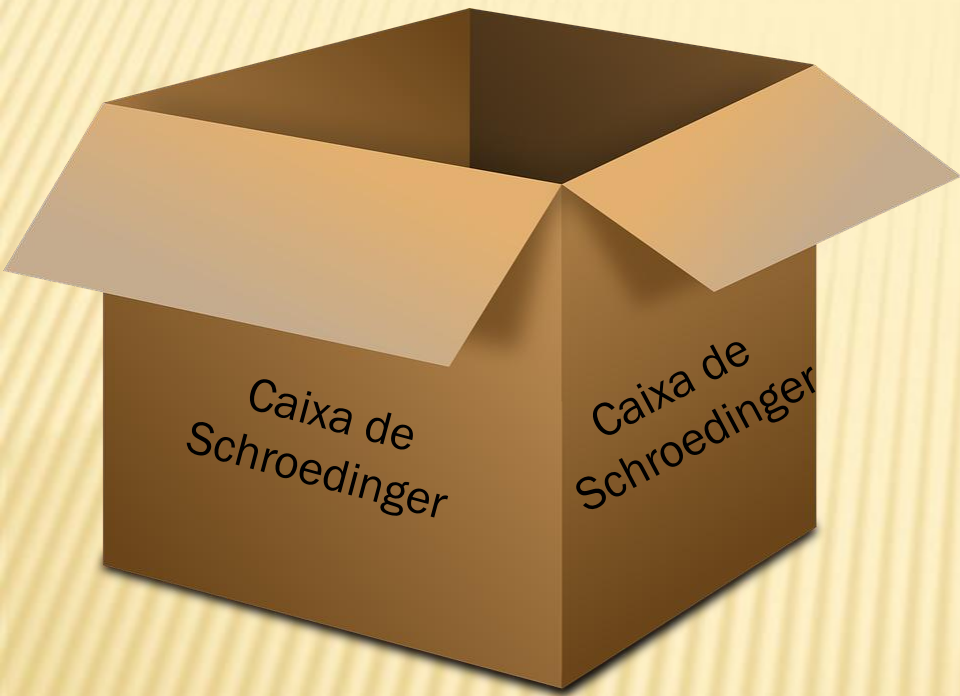
$\hbar \implies$ “marca” o nível (escala) quântico

$$\vec{p} = \hbar \vec{k}$$

$$E = \hbar \omega$$

$$\psi(\vec{x}, t) ???$$

ESTADO QUÂNTICO









Medida α :
cor mínion.

Não
determinístico



AMARELO

ROXO

Dois estados
possíveis:

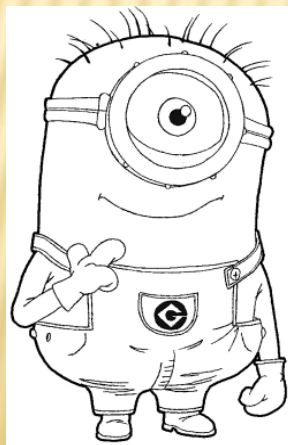


e



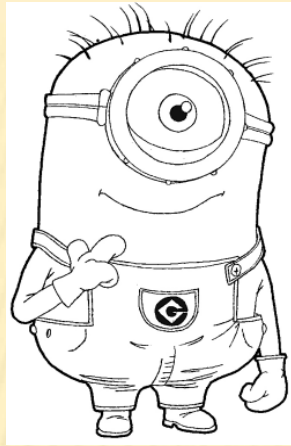


Note que somente podemos observar a cor. Não podemos dizer se ele tem um olho ou dois, se está triste ou alegre. precisaríamos fazer medidas correspondente.

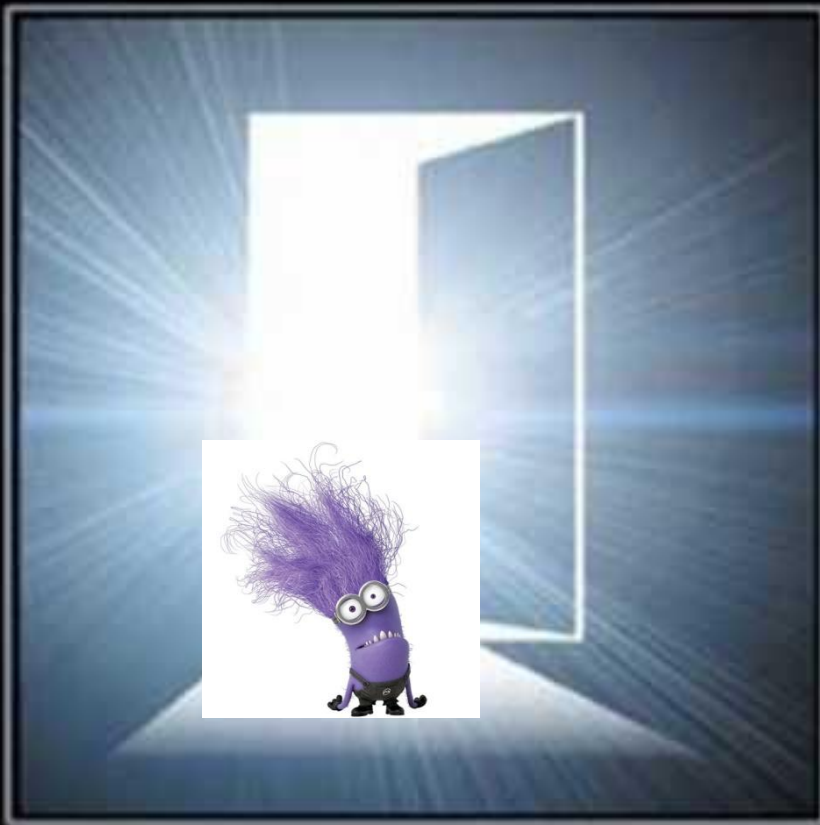




Nova medida da
cor:
certeza de que
seja amarelo o
estado
100 %



=



Nova medida da
cor:
certeza de que
seja roxo o
estado
100 %

A cada possível resultado, denominado **resultado próprio (autovalor)**, de uma medida de um observável corresponde um **estado próprio (autoestado)**.

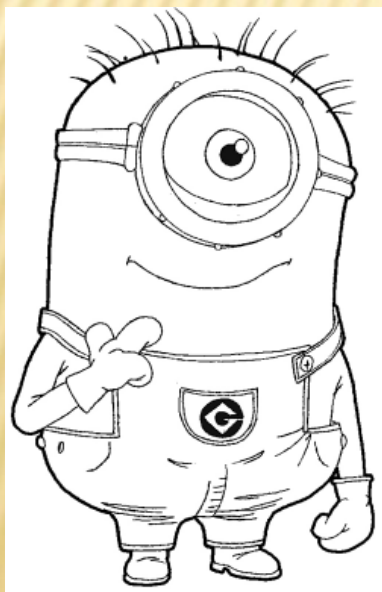
AMARELO



ROXO



Estado quântico mais geral



Medida β : emocional



ALEGRE

Dois estados
possíveis:

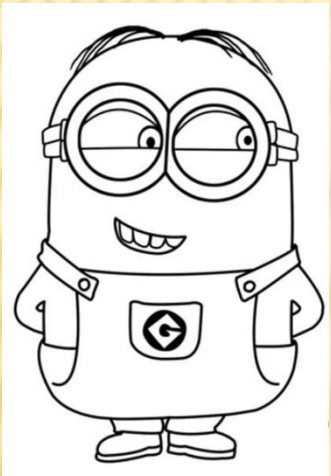


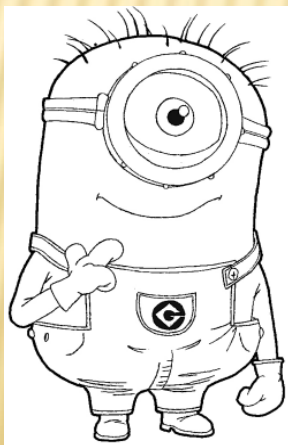
e

TRISTE



Estado quântico mais geral





=



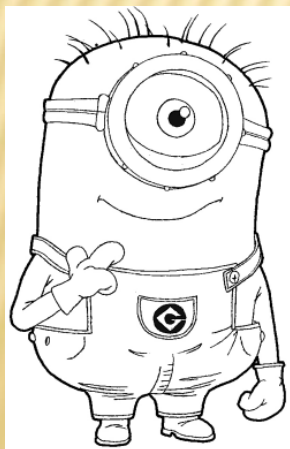
Medida α :
cor mínion.



Esperamos que o
resultado seja com
certeza amarelo (100%)







OBSERVÁVEIS INCOMPATÍVEIS (NÃO COMUTAM)

A medida da emoção (β)
“destrói” o resultado conhecido
da medida da cor (α)

A emoção (β) e a cor (α) não podem ser medidas ambas simultaneamente com a precisão que se queira

$$\Delta\alpha \propto \frac{1}{\Delta\beta} \rightarrow \Delta\alpha \cdot \Delta\beta \geq \frac{\hbar}{2}$$

Toda medida de um observável interfere na medida de outro observável?

Medida σ : Número de olhos

Poção que muda o nº de olhos 🧪



UM OLHO



Dois estados
possíveis:

e

DOIS OLHOS



Medida cor, α



AMARELO

Medida do nº de olhos



UM OLHO

Medida cor, α



AMARELO

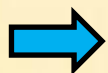


OBSERVÁVEIS COMPATÍVEIS (COMUTAM)

A medida do n^º olhos (σ)
não muda o resultado conhecido
da medida da cor (α)

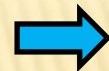
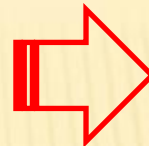
O n^º olhos (σ) e a cor (α) podem ser medidos ambos simultaneamente com a precisão que se queira.

$$\Delta\alpha \cdot \Delta\sigma = 0$$

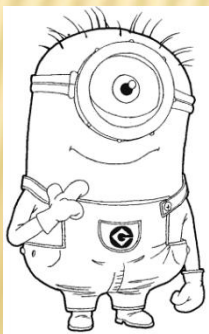
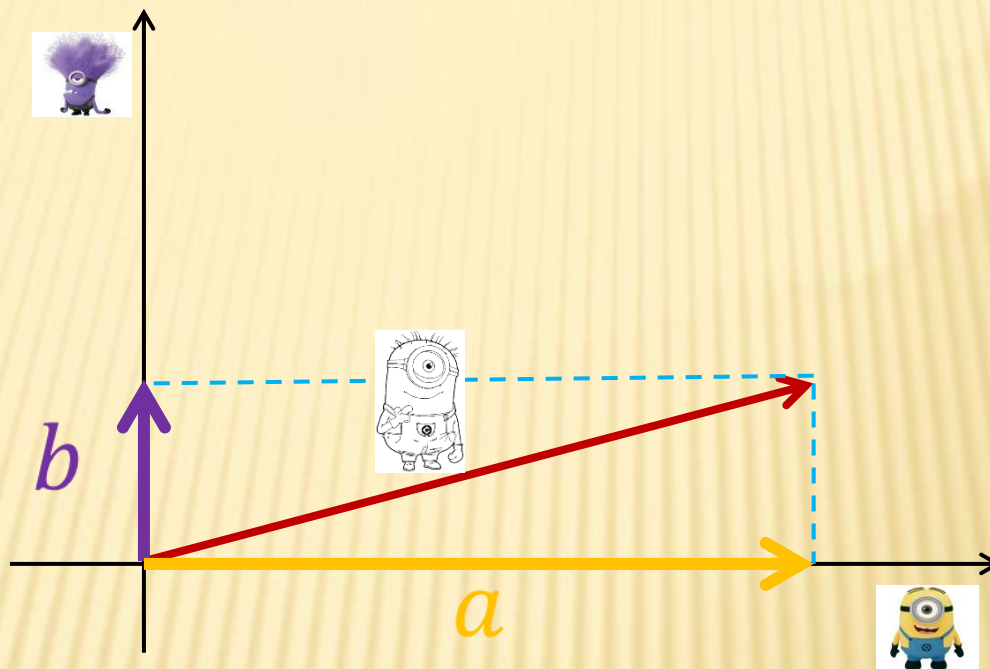


100 %

e



0



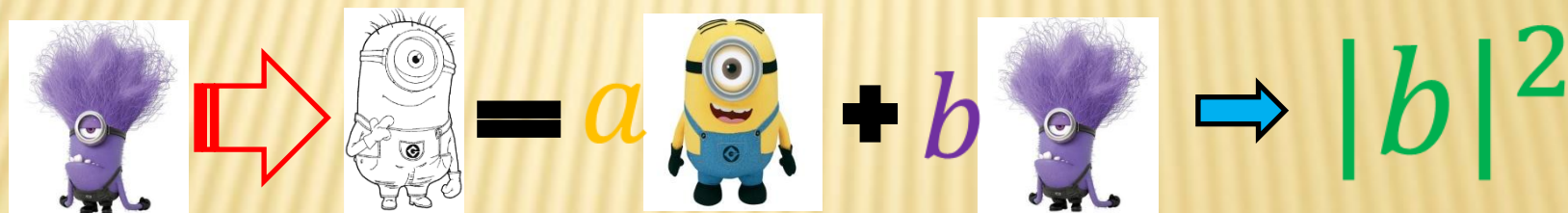
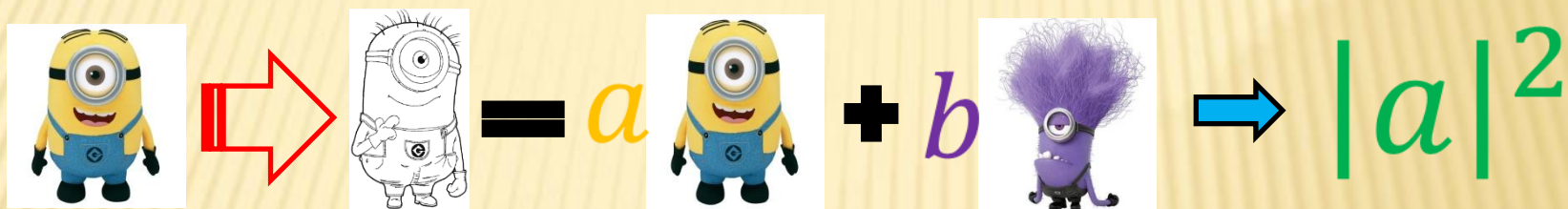
a

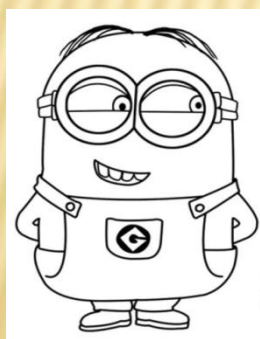
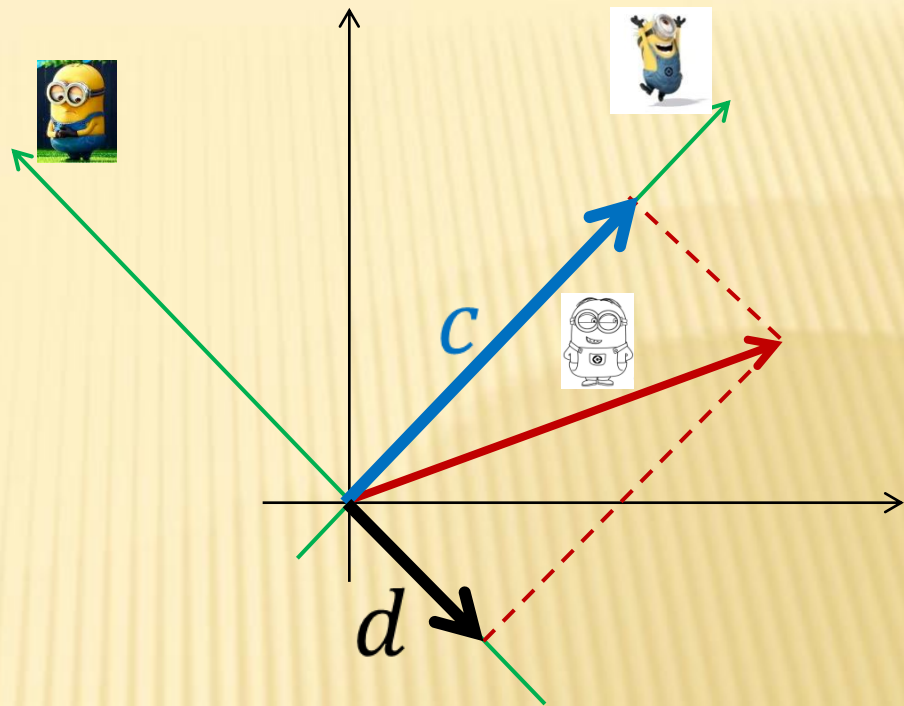
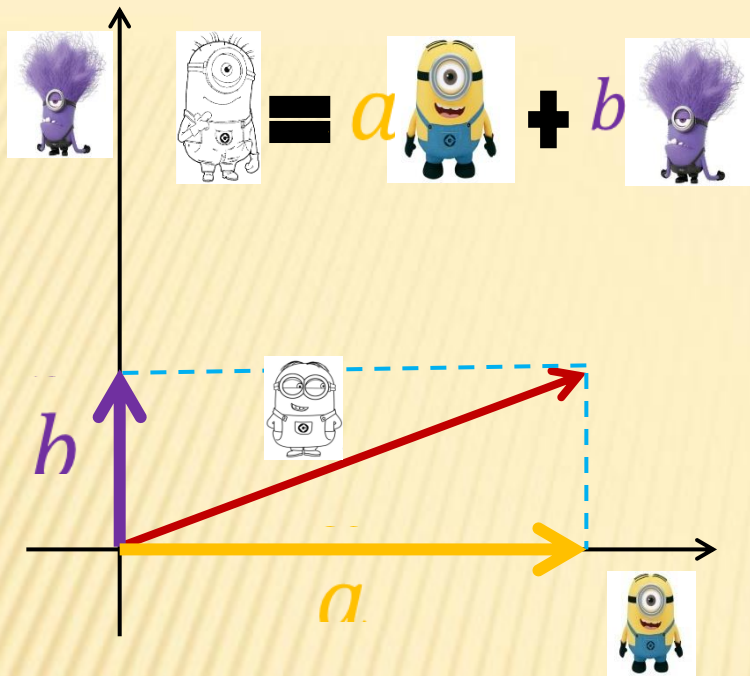


b



PROBABILIDADE



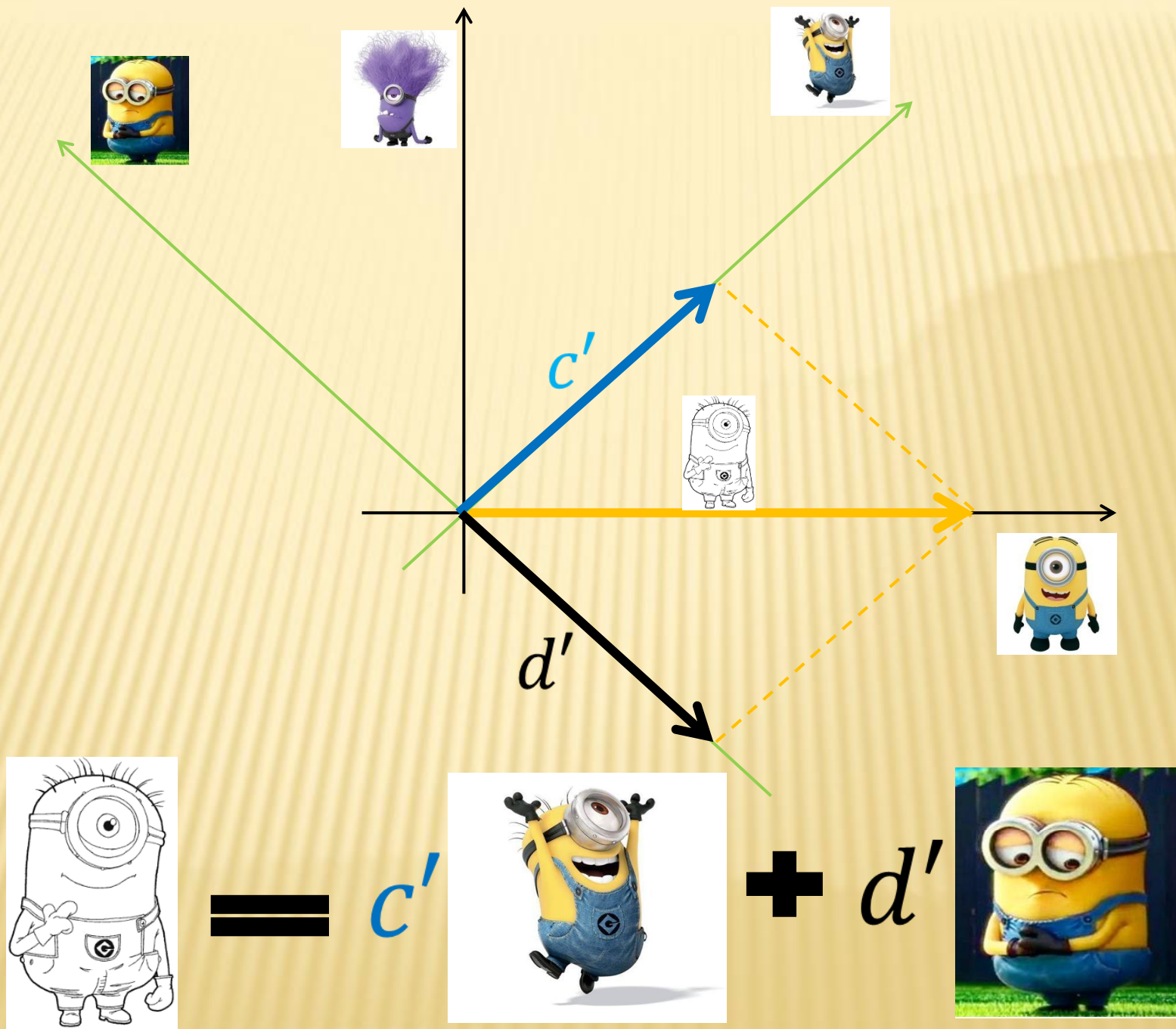


$= c$



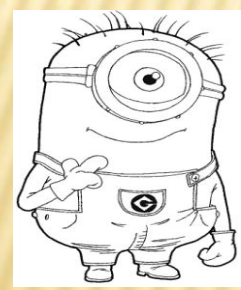
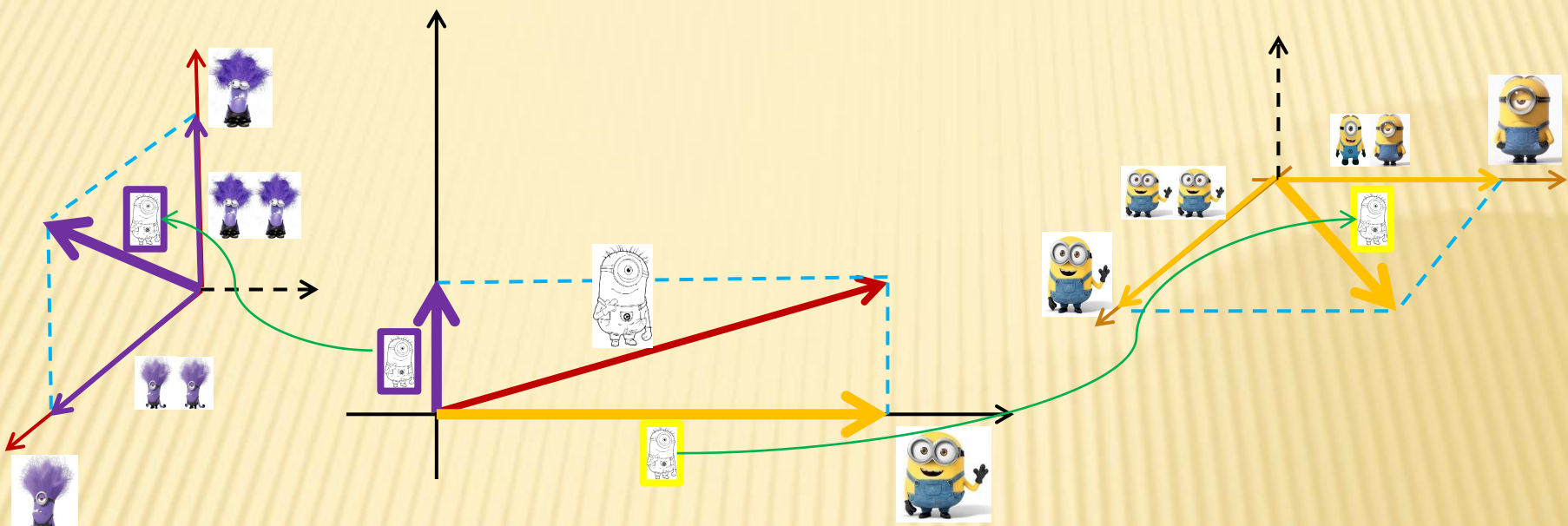
$+ d$





D

I



=

c_1



+

c_2



+

c_3



+

c_4



simplificadamente



=

c_1



+

c_2



+

c_3



+

c_4



Medida de uma grandeza A (observável $\hat{A}$)

Possíveis resultados: $a_1, a_2, \dots, a_n$

Estados próprios: $|a_1\rangle, |a_2\rangle, \dots, |a_n\rangle$

Qualquer estado pode ser escrito como

$$|\psi\rangle = c_1|a_1\rangle + c_2|a_2\rangle + c_3|a_3\rangle + \dots + c_n|a_n\rangle$$

Probabilidade de encontrar o valor a_j : $|c_j|^2$

Medida da posição x (observável $\hat{x}$)

Possíveis resultados: $x_1, x_2, x_3, \dots$ (Na verdade x é contínuo)

Estados próprios: $|x_1\rangle, |x_2\rangle, |x_3\rangle, \dots$

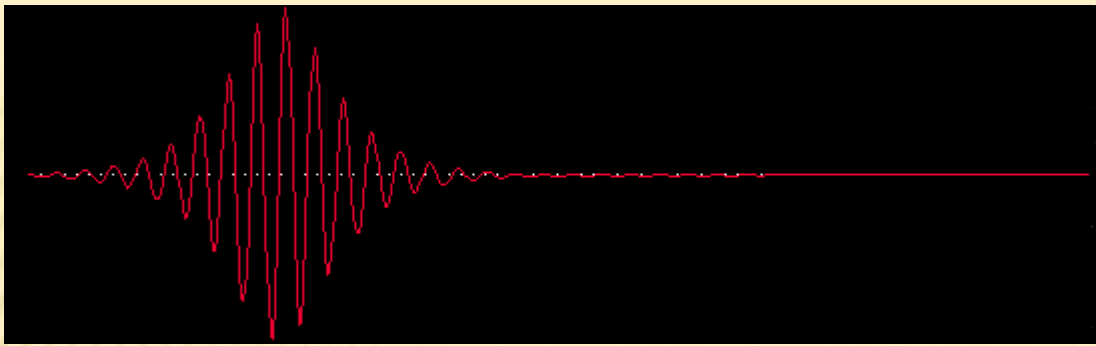
Qualquer estado pode ser escrito como

$$|\psi\rangle = \psi(x_1)|x_1\rangle + \psi(x_2)|x_2\rangle + \psi(x_3)|x_3\rangle + \dots$$

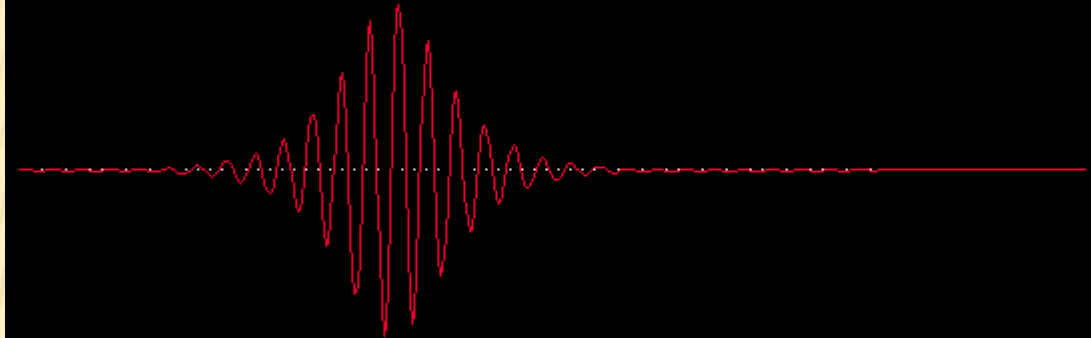
Probabilidade de encontrar a partícula
entre x e $x + \Delta x$:

$$|\psi(x)|^2 \Delta x$$

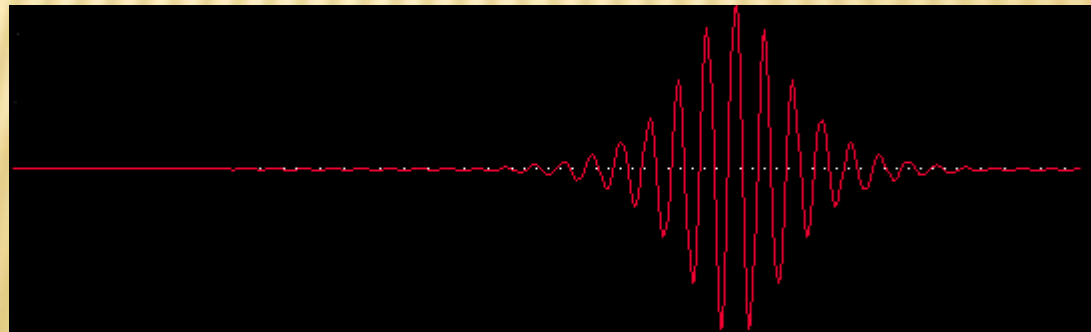
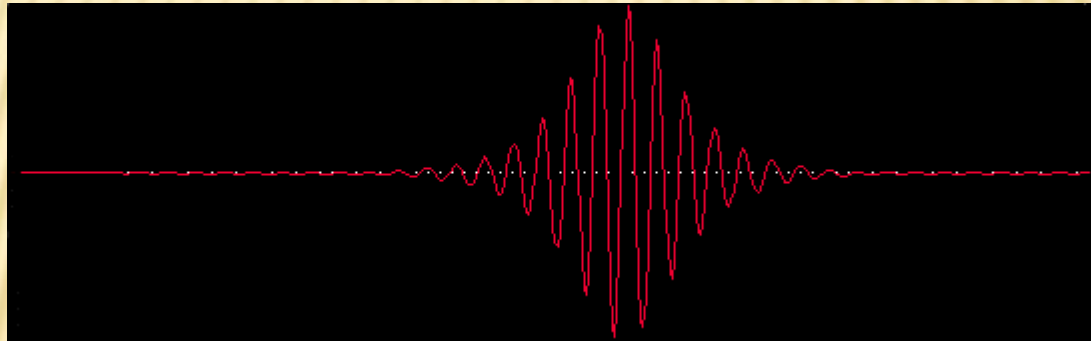
$\psi(x, t)$ Função de onda



$$\Delta x \cdot \Delta p = \frac{\hbar}{2}$$



Partícula livre
Pacote gaussiano



FIM

