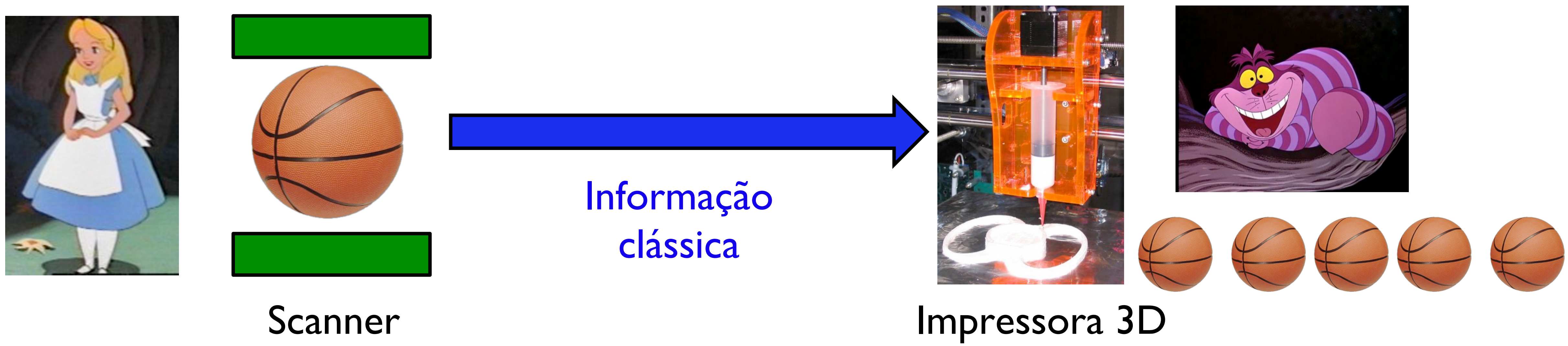
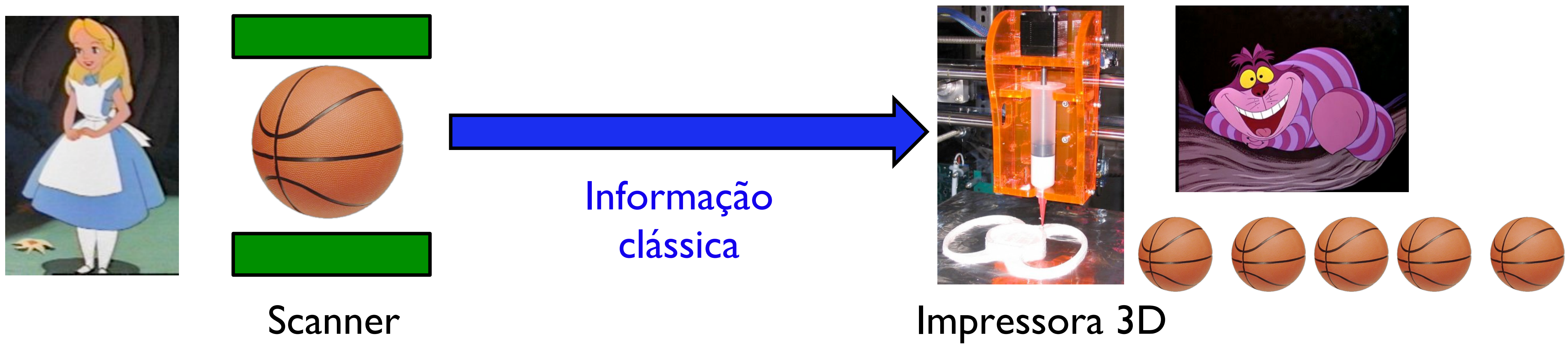
Teletransporte

Teletransporte: equivale a conjunto perfeito de scanner/impressora.



Teletransporte

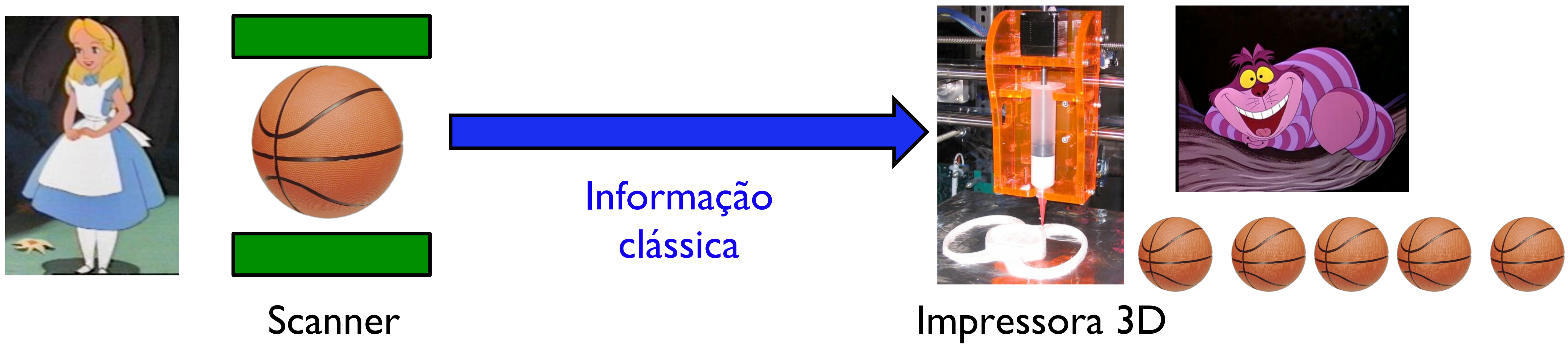
Teletransporte: equivale a conjunto perfeito de scanner/impressora.



Problema: não dá para obter toda a informação de uma única cópia de sistema quântico – (Princípio da Incerteza de Heisenberg)

Teletransporte

Teletransporte: equivale a conjunto perfeito de scanner/impressora.

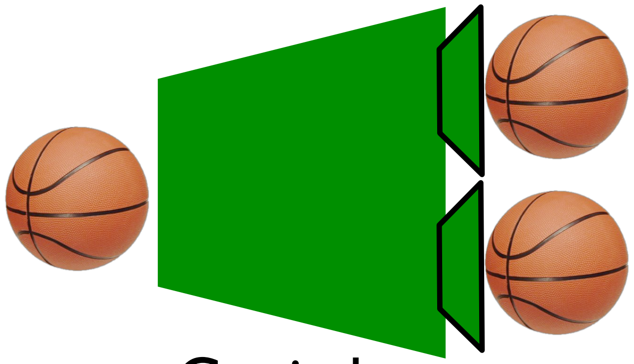


Problema: não dá para obter toda a informação de uma única cópia de sistema quântico – (Princípio da Incerteza de Heisenberg)

Redefinindo a tarefa: eu só quero fazer uma copiadora quântica perfeita, sem tentar obter/transmitir informação sobre o original.

Copiadoras quânticas

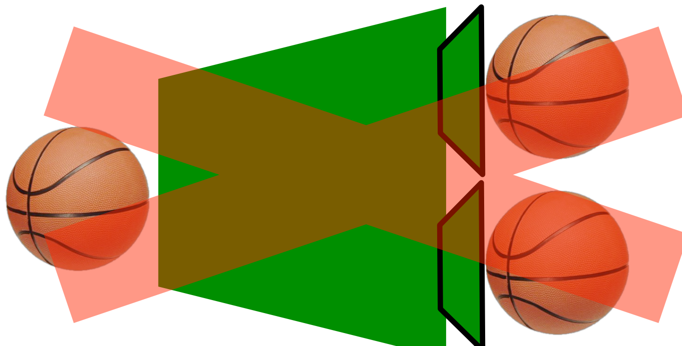
Copiadora quântica: usa evolução quântica (unitária) para criar cópias de um sistema quântico.



Copiadora

Copiadoras quânticas

Copiadora quântica: usa evolução quântica (unitária) para criar cópias de um sistema quântico.



Copiadora

Problema: não dá!
Teorema da não clonagem – Wootters/Zurek (1982).

original

Suponha que *U* é unitário que clona:

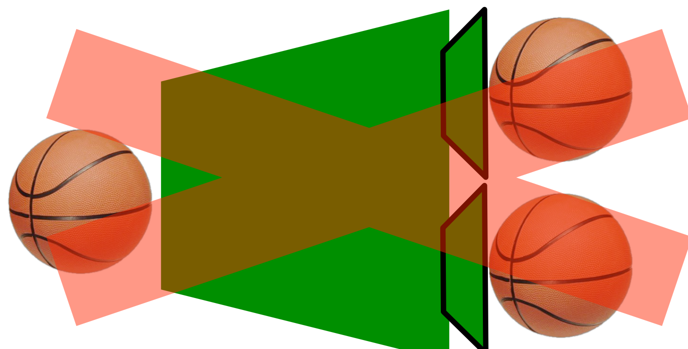
$$|\psi\rangle_O |0\rangle_B \xrightarrow{U} |\psi\rangle_O |\psi\rangle_B$$

$$|\phi\rangle_O |0\rangle_B \xrightarrow{U} |\phi\rangle_O |\phi\rangle_B$$

Sistema "em branco"

Copiadoras quânticas

Copiadora quântica: usa evolução quântica (unitária) para criar cópias de um sistema quântico.



Copiadora

Problema: não dá!
Teorema da não clonagem – Wootters/Zurek (1982).

original

Suponha que *U* é unitário que clona:

$$|\psi\rangle_O|0\rangle_B \xrightarrow{U} |\psi\rangle_O|\psi\rangle_B$$

$$|\phi\rangle_O|0\rangle_B \xrightarrow{U} |\phi\rangle_O|\phi\rangle_B$$

Sistema “em branco”

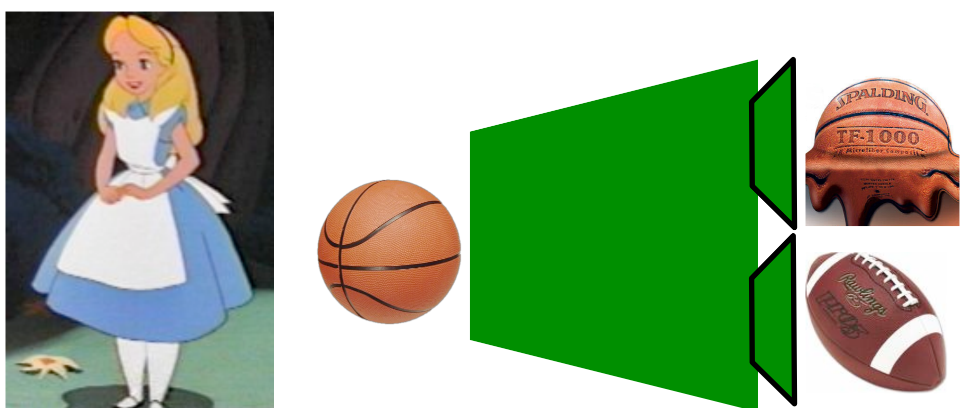
Unitários preservam produtos internos:

$$\Rightarrow \langle\psi|\phi\rangle = \langle\psi|\phi\rangle^2 \Rightarrow |\langle\psi|\phi\rangle| = \{0,1\}$$

$\Rightarrow$ Não é possível clonar estados não - ortogonais.

Copiadoras quânticas

Copiadora quântica *(quantum cloning machine):* usa evolução quântica (unitária) para criar cópias imperfeitas de um sistema quântico.



Copiadora imperfeita

Copiadoras imperfeitas são possíveis – os limites são impostos pela MQ

Teletransporte quântico

Precisamos recriar à distância estado original, destruindo-o e sem obter nenhuma informação sobre ele.

Teletransporte quântico

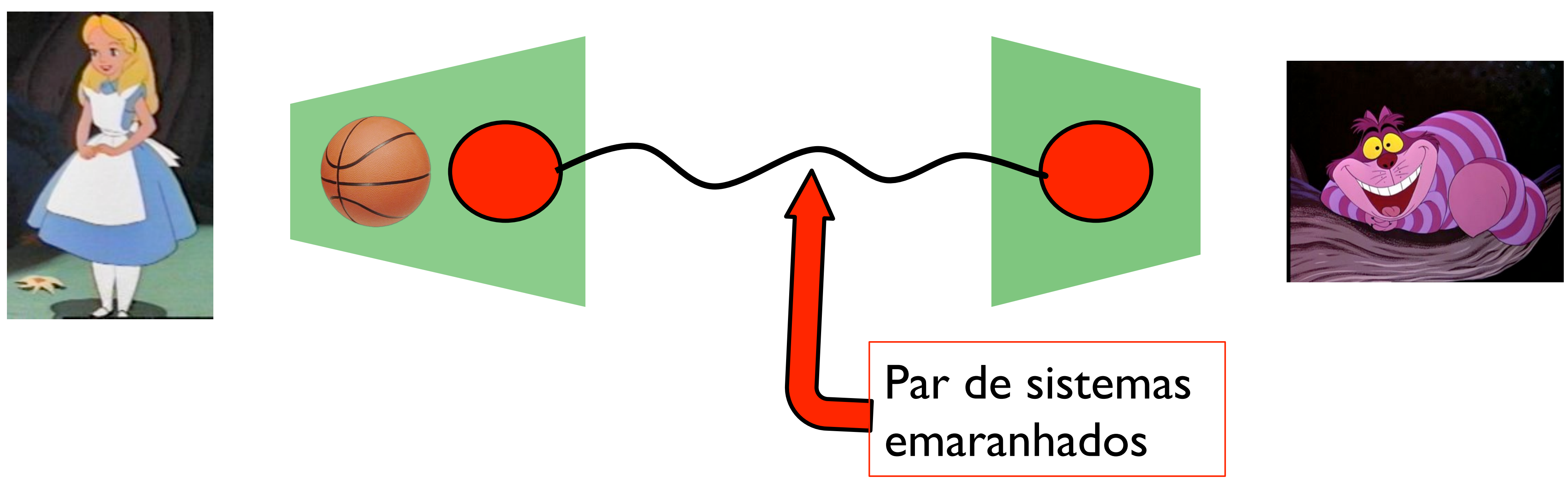
Precisamos recriar à distância estado original, destruindo-o e sem obter nenhuma informação sobre ele.

Impossível classicamente, mas possível se usarmos efeitos quânticos.

Teletransporte quântico

Precisamos recriar à distância estado original, destruindo-o e sem obter nenhuma informação sobre ele.

Impossível classicamente, mas possível se usarmos efeitos quânticos.



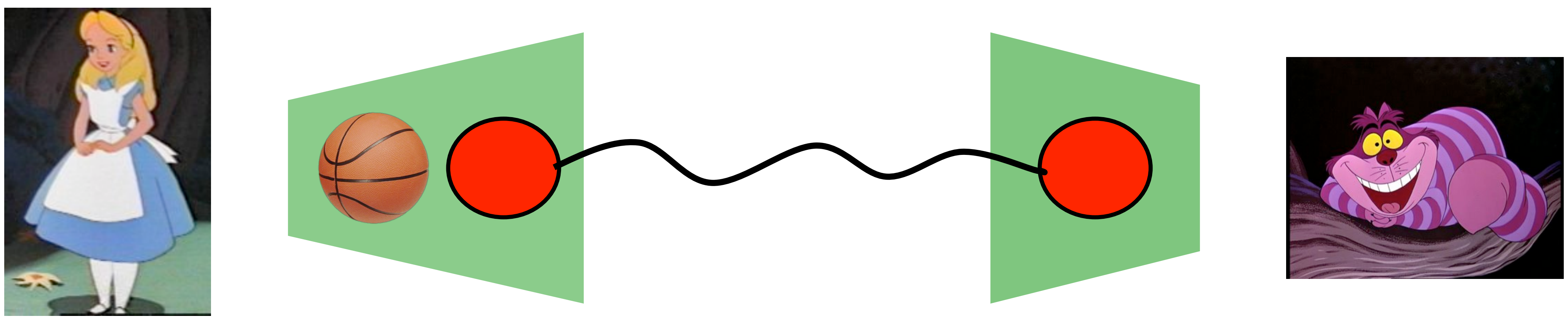
Protocolo de teletransporte: (Bennett et al., 1993)

1- A e B dispõem de par de partículas emaranhadas.

Teletransporte quântico

Precisamos recriar à distância estado original, destruindo-o e sem obter nenhuma informação sobre ele.

Impossível classicamente, mas possível se usarmos efeitos quânticos.



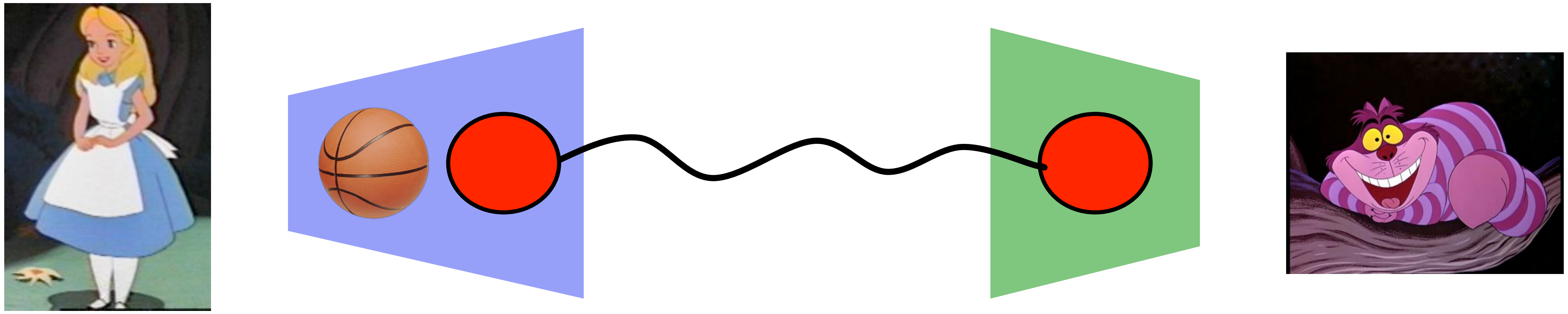
Protocolo de teletransporte: (Bennett et al., 1993)

1- A e B dispõem de par de partículas emaranhadas.
2- A faz medida conjunta em [original + uma perna do par].

Teletransporte quântico

Precisamos recriar à distância estado original, destruindo-o e sem obter nenhuma informação sobre ele.

Impossível classicamente, mas possível se usarmos efeitos quânticos.



Protocolo de teletransporte: (Bennett et al., 1993)

1- A e B dispõem de par de partículas emaranhadas.
2- A faz medida conjunta em [original + uma perna do par].

Teletransporte quântico

Precisamos recriar à distância estado original, destruindo-o e sem obter nenhuma informação sobre ele.

Impossível classicamente, mas possível se usarmos efeitos quânticos.

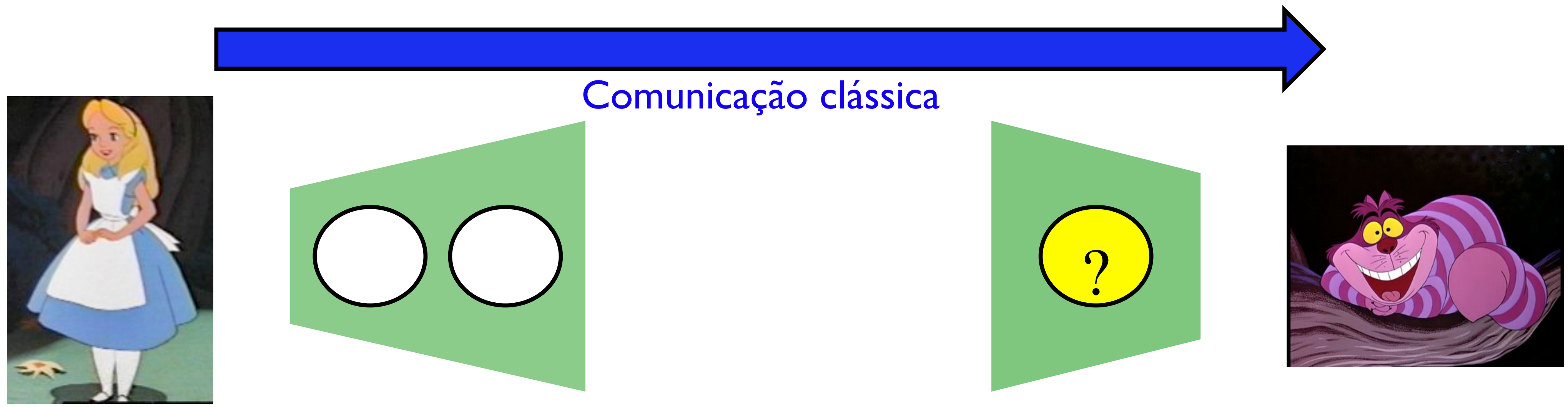
Protocolo de teletransporte: (Bennett et al., 1993)

1- A e B dispõem de par de partículas emaranhadas.
2- A faz medida conjunta em [original + uma perna do par].

Teletransporte quântico

Precisamos recriar à distância estado original, destruindo-o e sem obter nenhuma informação sobre ele.

Impossível classicamente, mas possível se usarmos efeitos quânticos.



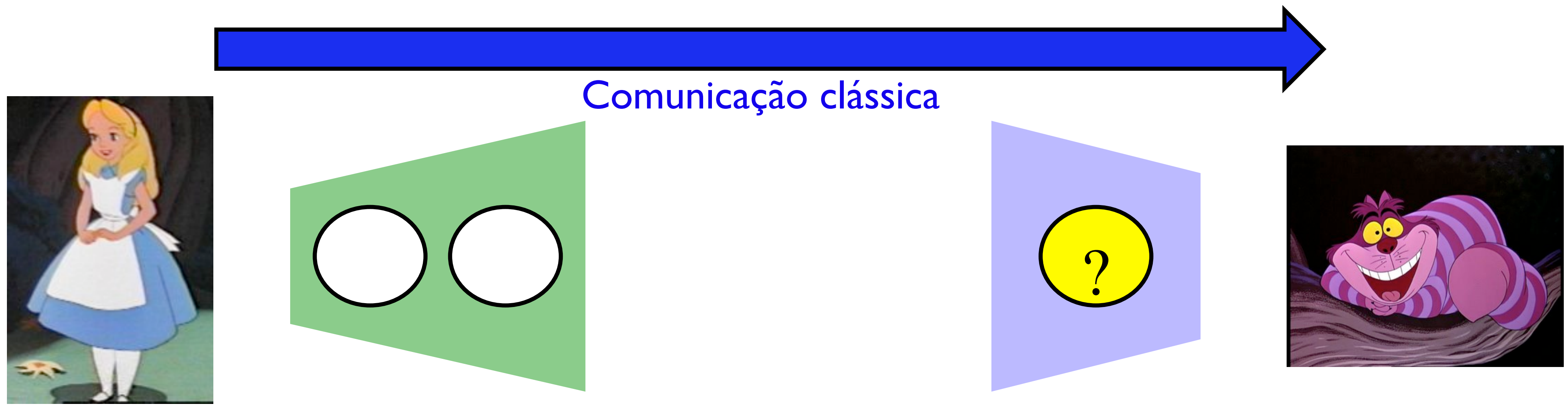
Protocolo de teletransporte: (Bennett et al., 1993)

1- A e B dispõem de par de partículas emaranhadas.
2- A faz medida conjunta em [original + uma perna do par].
3- A diz a B o resultado da medida, que B usa para aplicar unitário que faz seu sistema assumir o estado do original.

Teletransporte quântico

Precisamos recriar à distância estado original, destruindo-o e sem obter nenhuma informação sobre ele.

Impossível classicamente, mas possível se usarmos efeitos quânticos.



Protocolo de teletransporte: (Bennett et al., 1993)

1- A e B dispõem de par de partículas emaranhadas.
2- A faz medida conjunta em [original + uma perna do par].
3- A diz a B o resultado da medida, que B usa para aplicar unitário que faz seu sistema assumir o estado do original.

Teletransporte quântico

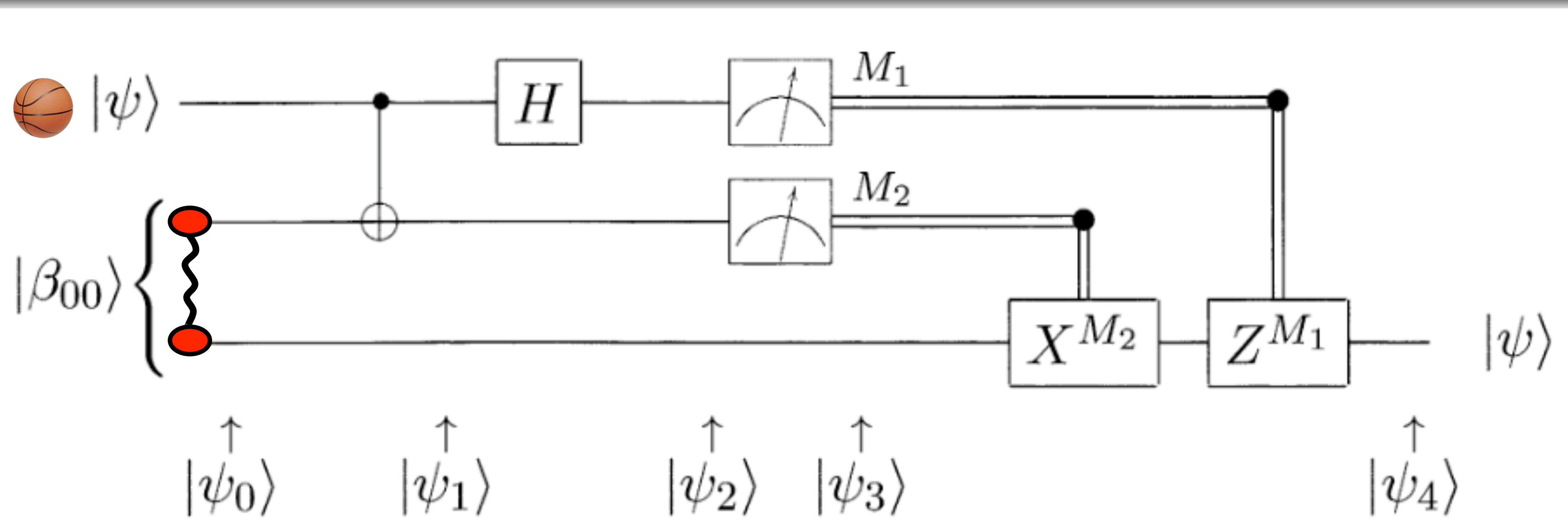
Precisamos recriar à distância estado original, destruindo-o e sem obter nenhuma informação sobre ele.

Impossível classicamente, mas possível se usarmos efeitos quânticos.

Protocolo de teletransporte: (Bennett et al., 1993)

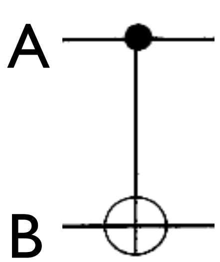
1- A e B dispõem de par de partículas emaranhadas.
2- A faz medida conjunta em [original + uma perna do par].
3- A diz a B o resultado da medida, que B usa para aplicar unitário que faz seu sistema assumir o estado do original.

Teletransporte quântico, passo a passo



- Estado inicial:

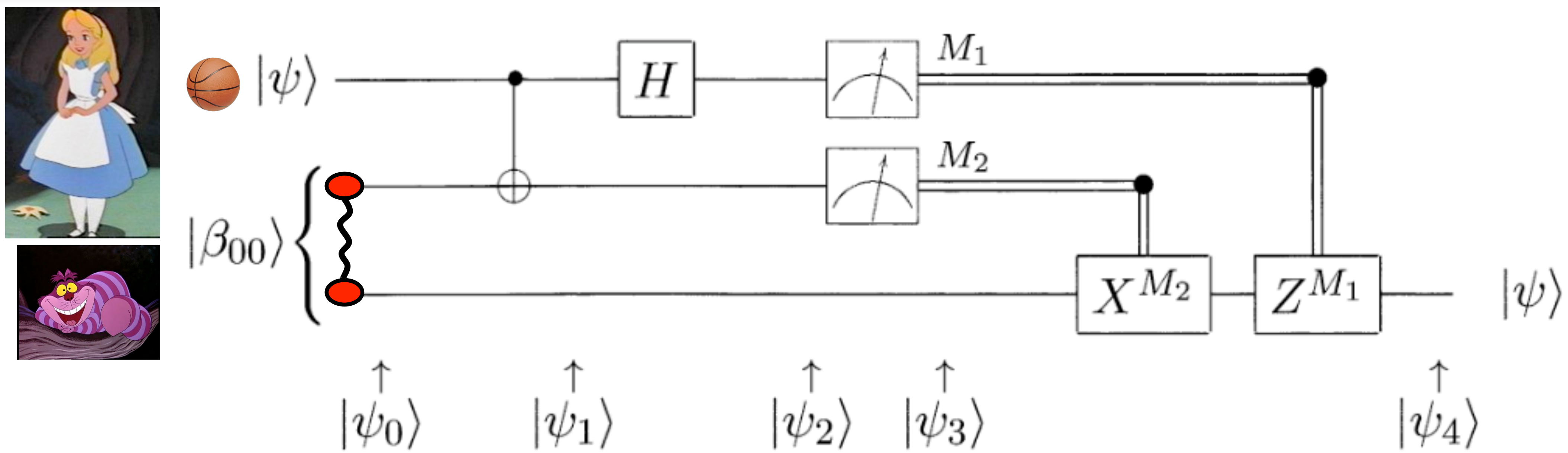
$$|\psi_0\rangle = \underbrace{\left(\alpha|0\rangle + \beta|1\rangle\right)}_{|\psi\rangle}\underbrace{\frac{1}{\sqrt{2}}\left(|00\rangle + |11\rangle\right)}_{|\beta_{00}\rangle} = \frac{1}{\sqrt{2}}\left[\alpha|0\rangle(|00\rangle + |11\rangle) + \beta|1\rangle(|00\rangle + |11\rangle)\right]$$



$$= CNOT_{A\rightarrow B}$$

$$\xrightarrow{CNOT} |\psi_1\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}\left[\alpha|0\rangle(|00\rangle + |11\rangle) + \beta|1\rangle(|10\rangle + |01\rangle)\right]$$

Teletransporte quântico, passo a passo



$$|\psi_1\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}\left[\alpha|0\rangle(|00\rangle + |11\rangle) + \beta|1\rangle(|10\rangle + |01\rangle)\right]$$

$$-\boxed{H}- = Hadamard = \frac{1}{\sqrt{2}}\begin{pmatrix} 1 & 1 \\ 1 & -1 \end{pmatrix}$$

$$\xrightarrow{H}|\psi_2\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}\left[\alpha(|0\rangle + |1\rangle)(|00\rangle + |11\rangle) + \beta(|0\rangle - |1\rangle)(|10\rangle + |01\rangle)\right]$$

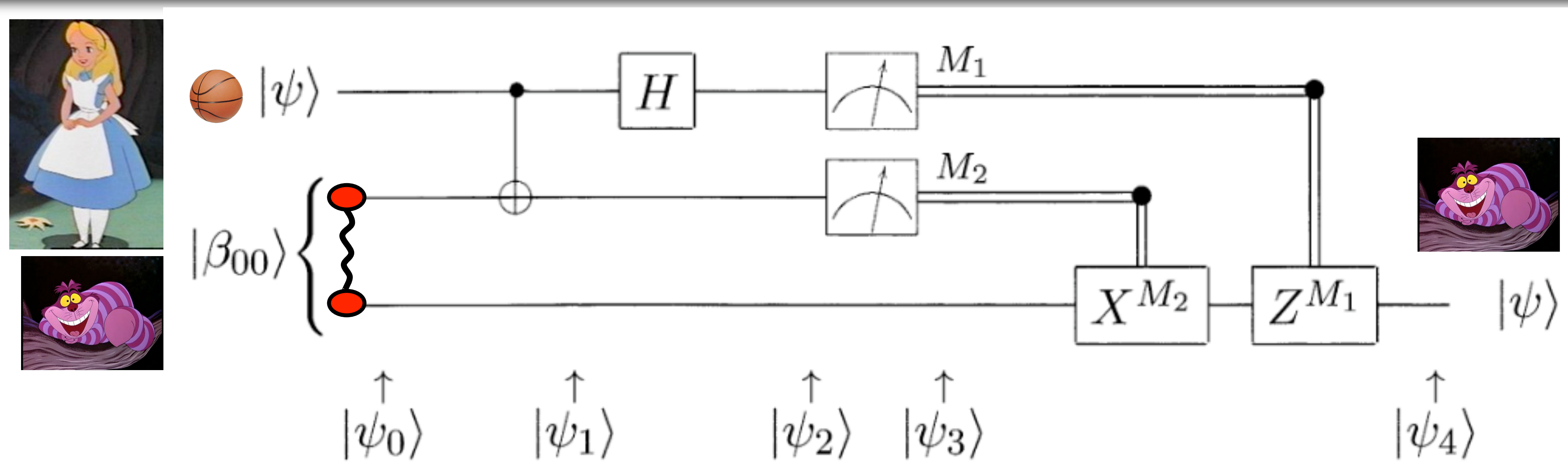
$$= \frac{1}{2}\left[\begin{array}{l}|00\rangle(\alpha|0\rangle + \beta|1\rangle) + |01\rangle(\alpha(|1\rangle + \beta|0\rangle) \\ +|10\rangle(\alpha(|0\rangle - \beta|1\rangle) + |11\rangle(\alpha(|1\rangle - \beta|0\rangle)\end{array}\right]$$

$H:$

$$|0\rangle \rightarrow \frac{1}{\sqrt{2}}(|0\rangle + |1\rangle)$$

$$|1\rangle \rightarrow \frac{1}{\sqrt{2}}(|0\rangle - |1\rangle)$$

Teletransporte quântico, passo a passo



$$|\psi_2\rangle = \frac{1}{2}\Big[|00\rangle(\alpha|0\rangle + \beta|1\rangle)) + |01\rangle(\alpha(|1\rangle + \beta|0\rangle)) + |10\rangle(\alpha(|0\rangle - \beta|1\rangle)) + |11\rangle(\alpha(|1\rangle - \beta|0\rangle))\Big]$$

- Medidas: resultados M_1M_2 e estados $|\psi_3(M_1M_2)\rangle$ em cada caso:

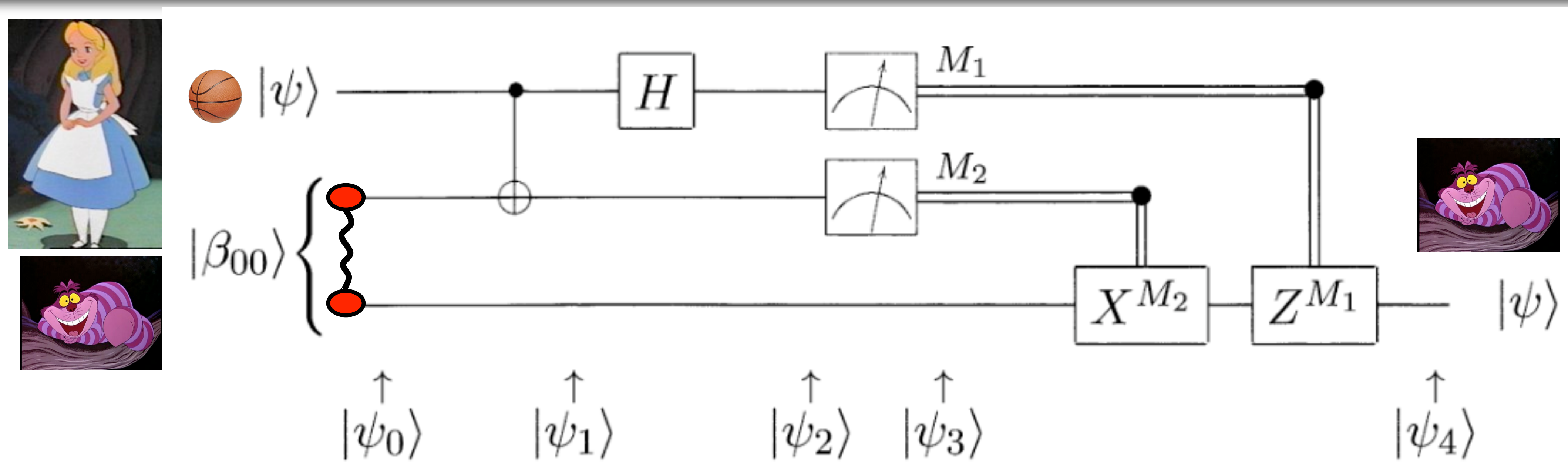
$$00 \longmapsto |\psi_3(00)\rangle \equiv \Big[\alpha|0\rangle + \beta|1\rangle\Big]$$

$$01 \longmapsto |\psi_3(01)\rangle \equiv \Big[\alpha|1\rangle + \beta|0\rangle\Big]$$

$$10 \longmapsto |\psi_3(10)\rangle \equiv \Big[\alpha|0\rangle - \beta|1\rangle\Big]$$

$$11 \longmapsto |\psi_3(11)\rangle \equiv \Big[\alpha|1\rangle - \beta|0\rangle\Big]$$

Teletransporte quântico, passo a passo

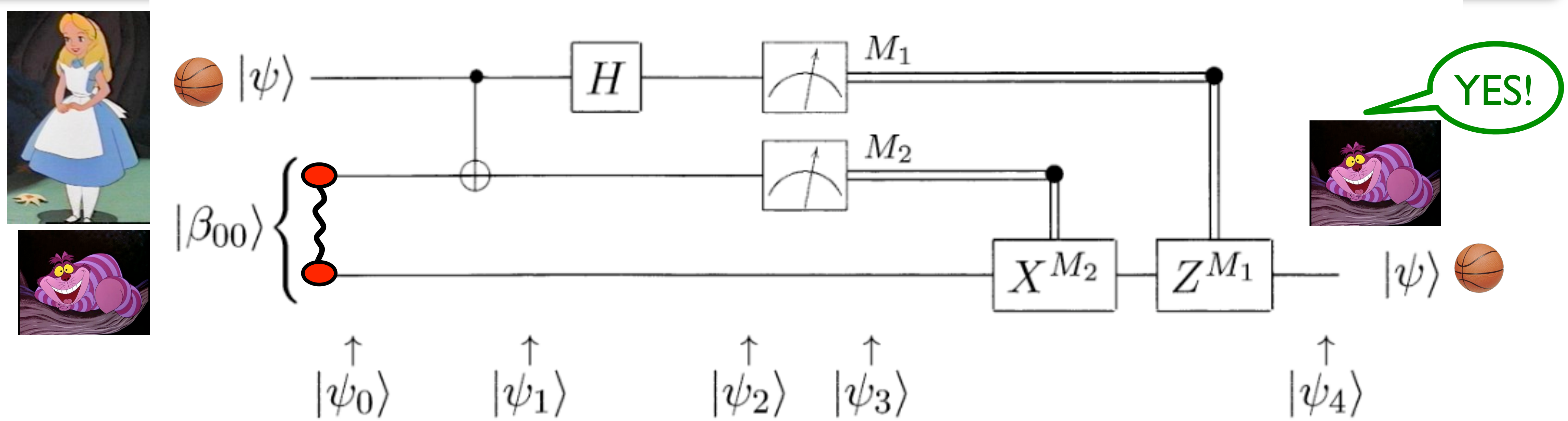


$$|\psi_2\rangle = \frac{1}{2}\Big[|00\rangle(\alpha|0\rangle + \beta|1\rangle) + |01\rangle(\alpha(|1\rangle + \beta|0\rangle)) + |10\rangle(\alpha(|0\rangle - \beta|1\rangle)) + |11\rangle(\alpha(|1\rangle - \beta|0\rangle))\Big]$$

- Medidas: resultados $M_1 M_2$ e estados $|\psi_3(M_1 M_2)\rangle$ em cada caso:

$$\left.\begin{array}{l}
00 \longmapsto |\psi_3(00)\rangle \equiv \Big[\alpha|0\rangle + \beta|1\rangle\Big] \quad \xrightarrow{1} |\psi\rangle \\
01 \longmapsto |\psi_3(01)\rangle \equiv \Big[\alpha|1\rangle + \beta|0\rangle\Big] \quad \xrightarrow{X} |\psi\rangle \\
10 \longmapsto |\psi_3(10)\rangle \equiv \Big[\alpha|0\rangle - \beta|1\rangle\Big] \quad \xrightarrow{Z} |\psi\rangle \\
11 \longmapsto |\psi_3(11)\rangle \equiv \Big[\alpha|1\rangle - \beta|0\rangle\Big] \quad \xrightarrow{ZX} |\psi\rangle
\end{array}\right\} = Z^{M_1} X^{M_2} |\psi_3\rangle$$

Teletransporte quântico, passo a passo

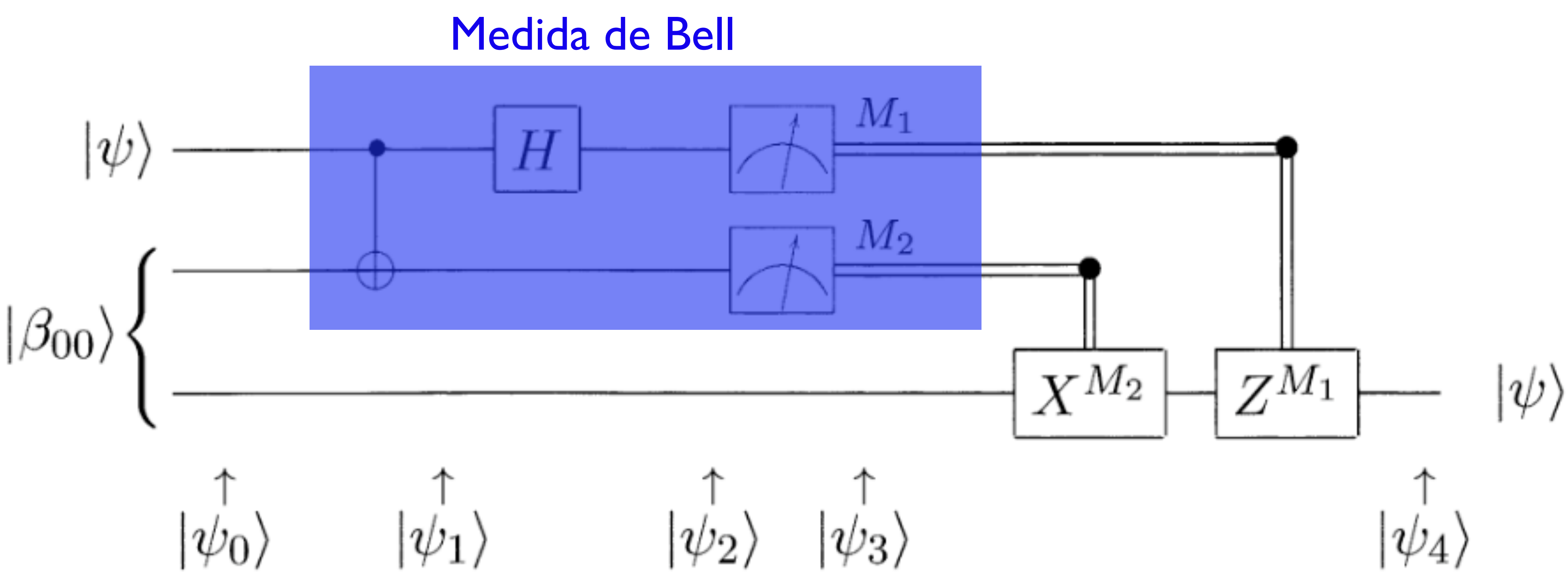


$$|\psi_2\rangle = \frac{1}{2}\Big[|00\rangle(\alpha|0\rangle + \beta|1\rangle) + |01\rangle(\alpha(|1\rangle + \beta|0\rangle) + |10\rangle(\alpha(|0\rangle - \beta|1\rangle) + |11\rangle(\alpha(|1\rangle - \beta|0\rangle)\Big]$$

- Medidas: resultados M_1M_2 e estados $|\psi_3(M_1M_2)\rangle$ em cada caso:

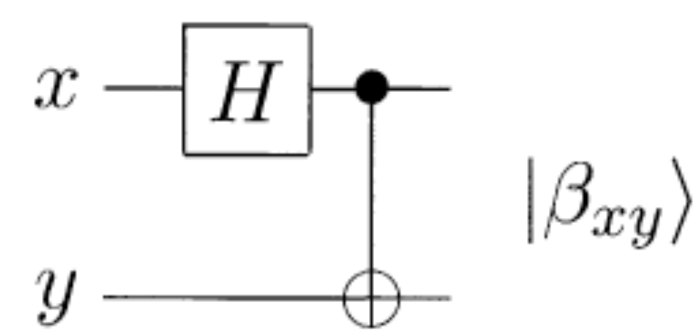
$$\left.\begin{array}{l}
00 \longmapsto |\psi_3(00)\rangle \equiv \big[\alpha|0\rangle + \beta|1\rangle\big] \xrightarrow{1} |\psi\rangle \\
01 \longmapsto |\psi_3(01)\rangle \equiv \big[\alpha|1\rangle + \beta|0\rangle\big] \xrightarrow{X} |\psi\rangle \\
10 \longmapsto |\psi_3(10)\rangle \equiv \big[\alpha|0\rangle - \beta|1\rangle\big] \xrightarrow{Z} |\psi\rangle \\
11 \longmapsto |\psi_3(11)\rangle \equiv \big[\alpha|1\rangle - \beta|0\rangle\big] \xrightarrow{ZX} |\psi\rangle
\end{array}\right\} = Z^{M_1}X^{M_2}|\psi_3\rangle =$$

Teletransporte quântico - experimentos



Medida de Bell = o inverso de criar estados de Bell:

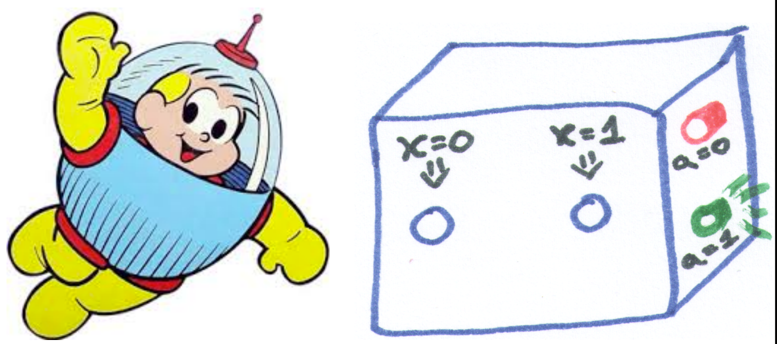
In	Out
$\|00\rangle$	$(\|00\rangle + \|11\rangle)/\sqrt{2} \equiv \|\beta_{00}\rangle$
$\|01\rangle$	$(\|01\rangle + \|10\rangle)/\sqrt{2} \equiv \|\beta_{01}\rangle$
$\|10\rangle$	$(\|00\rangle - \|11\rangle)/\sqrt{2} \equiv \|\beta_{10}\rangle$
$\|11\rangle$	$(\|01\rangle - \|10\rangle)/\sqrt{2} \equiv \|\beta_{11}\rangle$



O Jogo do Astronauta e Bidu

O Astronauta parte numa missão e Bidu fica na Terra. Estão sem comunicação entre si, mas eles têm 2 máquinas que programaram com cuidado antes da viagem.

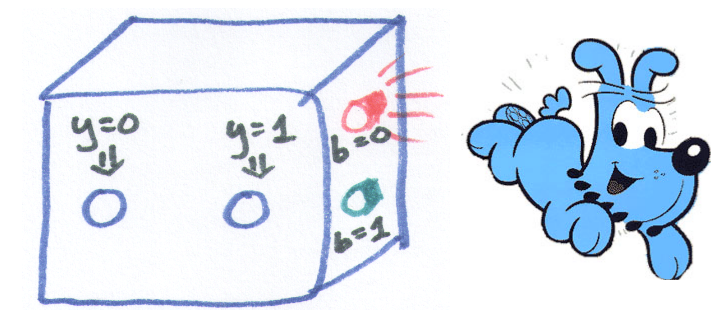
Astronauta (A):
- recebe bit de entrada x
- gera bit de resposta a



<u>A e B ganham o jogo se:</u>
- $a \neq b$ quando $(x,y) = (1,1)$
- $a = b$ quando $(x,y) \neq (1,1)$

Qual é a maior probabilidade P de sucesso?

Bidu (B):
- recebe bit de entrada y
- gera bit de resposta b

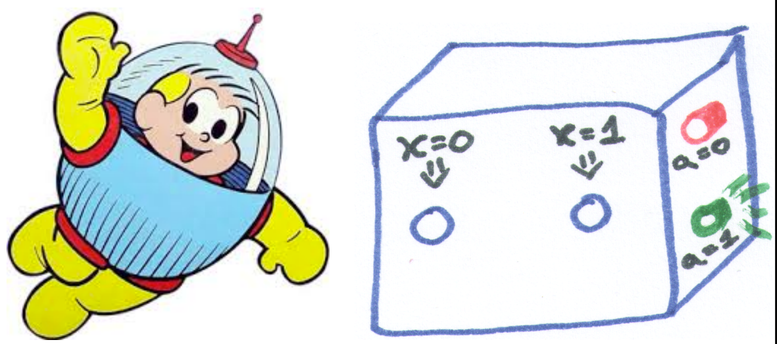


O Jogo do Astronauta e Bidu

O Astronauta parte numa missão e Bidu fica na Terra. Estão sem comunicação entre si, mas eles têm 2 máquinas que programaram com cuidado antes da viagem.

Astronauta (A):

- recebe bit de entrada *x*
- gera bit de resposta *a*



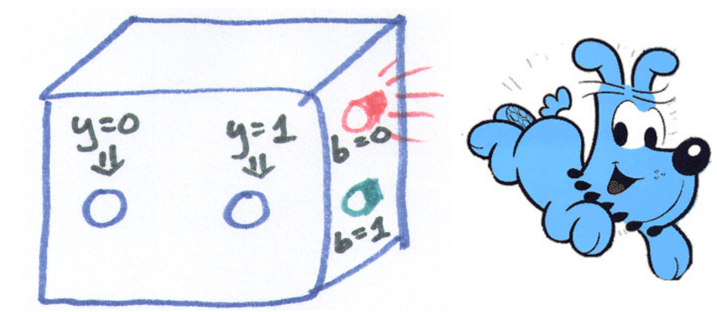
A e B ganham o jogo se:

- $a \neq b$ quando $(x,y)=(1,1)$
- $a = b$ quando $(x,y)\neq(1,1)$

Qual é a maior probabilidade *P* de sucesso?

Bidu (B):

- recebe bit de entrada *y*
- gera bit de resposta *b*



Estratégia 1: A inverte, B não

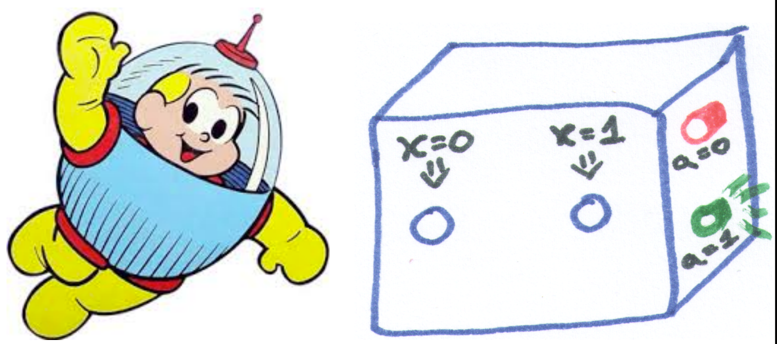
x	y	a	b	Ganham?
0	0	1	0	Não
0	1	1	1	Sim
1	0	0	0	Sim
1	1	0	1	Sim

$P=3/4$

O Jogo do Astronauta e Bidu

O Astronauta parte numa missão e Bidu fica na Terra. Estão sem comunicação entre si, mas eles têm 2 máquinas que programaram com cuidado antes da viagem.

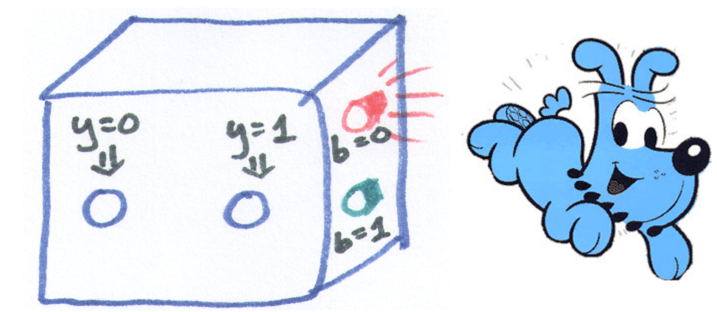
Astronauta (A):
- recebe bit de entrada *x*
- gera bit de resposta *a*



<u>A e B ganham o jogo se:</u>
- $a \neq b$ quando $(x,y)=(1,1)$
- $a = b$ quando $(x,y) \neq (1,1)$

Qual é a maior probabilidade *P* de sucesso?

Bidu (B):
- recebe bit de entrada *y*
- gera bit de resposta *b*



Estratégia 1: A inverte, B não

x	y	a	b	Ganham?
0	0	1	0	Não
0	1	1	1	Sim
1	0	0	0	Sim
1	1	0	1	Sim

$P=3/4$

Estratégia 2: sempre 0

x	y	a	b	Ganham?
0	0	0	0	Sim
0	1	0	0	Sim
1	0	0	0	Sim
1	1	0	0	Não

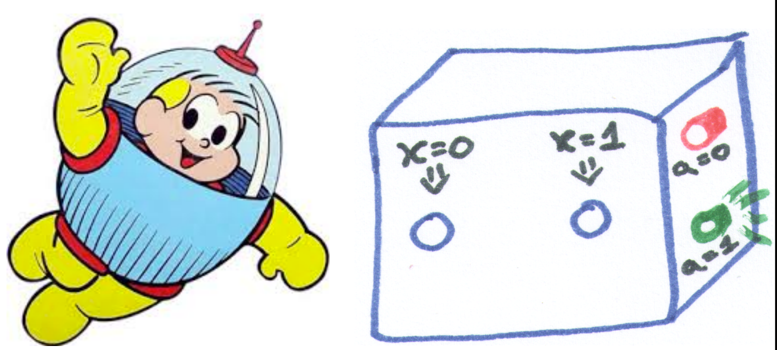
$P=3/4$

O Jogo do Astronauta e Bidu

O Astronauta parte numa missão e Bidu fica na Terra. Estão sem comunicação entre si, mas eles têm 2 máquinas que programaram com cuidado antes da viagem.

Astronauta (A):

- recebe bit de entrada *x*
- gera bit de resposta *a*



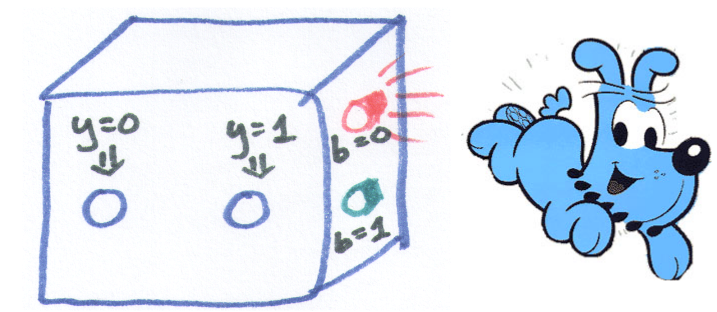
<u>A e B ganham o jogo se:</u>

- $a \neq b$ quando $(x,y)=(1,1)$
- $a = b$ quando $(x,y) \neq (1,1)$

Qual é a maior probabilidade *P* de sucesso?

Bidu (B):

- recebe bit de entrada *y*
- gera bit de resposta *b*



Estratégia 1: A inverte, B não

x	y	a	b	Ganham?
0	0	1	0	Não
0	1	1	1	Sim
1	0	0	0	Sim
1	1	0	1	Sim

$P=3/4$

Estratégia 2: sempre 0

x	y	a	b	Ganham?
0	0	0	0	Sim
0	1	0	0	Sim
1	0	0	0	Sim
1	1	0	0	Não

$P=3/4$

Só há 16 estratégias determinísticas.

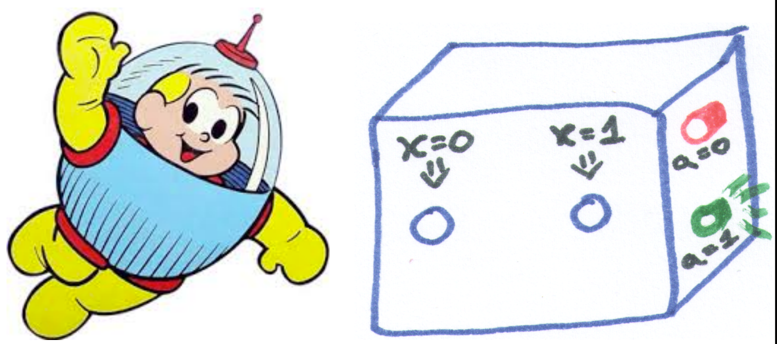
<u>A maior probabilidade de sucesso é *P*= ¾.</u>

O Jogo do Astronauta e Bidu

O Astronauta parte numa missão e Bidu fica na Terra. Estão sem comunicação entre si, mas eles têm 2 máquinas que programaram com cuidado antes da viagem.

Astronauta (A):

- recebe bit de entrada *x*
- gera bit de resposta *a*

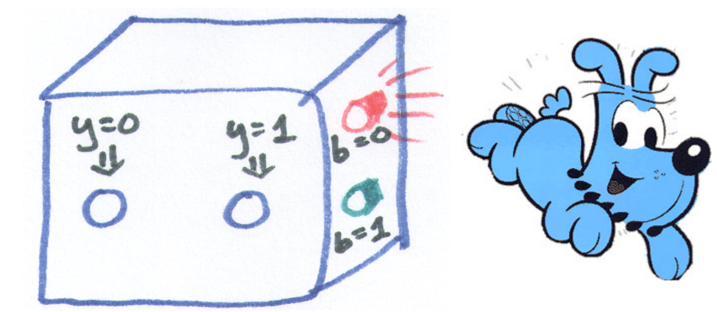


A e B ganham o jogo se:

- $a \neq b$ quando $(x,y)=(1,1)$
- $a = b$ quando $(x,y)\neq(1,1)$

Bidu (B):

- recebe bit de entrada *y*
- gera bit de resposta *b*



Qual é a maior probabilidade *P* de sucesso?

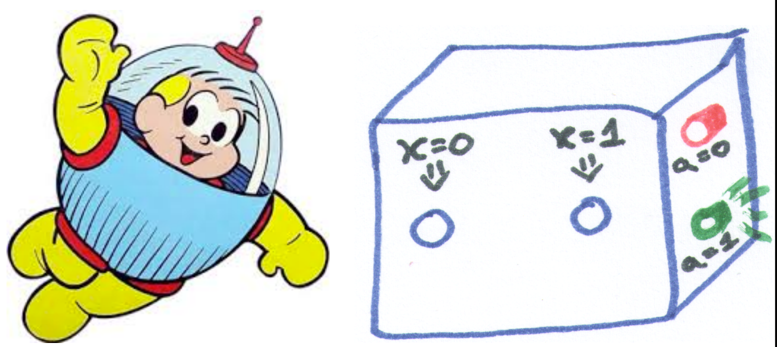
- Vimos que a maior probabilidade de sucesso é *P*=3/4.

O Jogo do Astronauta e Bidu

O Astronauta parte numa missão e Bidu fica na Terra. Estão sem comunicação entre si, mas eles têm 2 máquinas que programaram com cuidado antes da viagem.

Astronauta (A):

- recebe bit de entrada *x*
- gera bit de resposta *a*



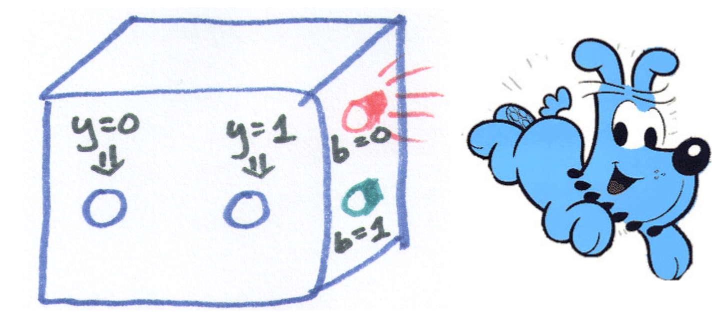
<u>A e B ganham o jogo se:</u>

- $a \neq b$ quando $(x,y)=(1,1)$
- $a = b$ quando $(x,y)\neq(1,1)$

Qual é a maior probabilidade *P* de sucesso?

Bidu (B):

- recebe bit de entrada *y*
- gera bit de resposta *b*

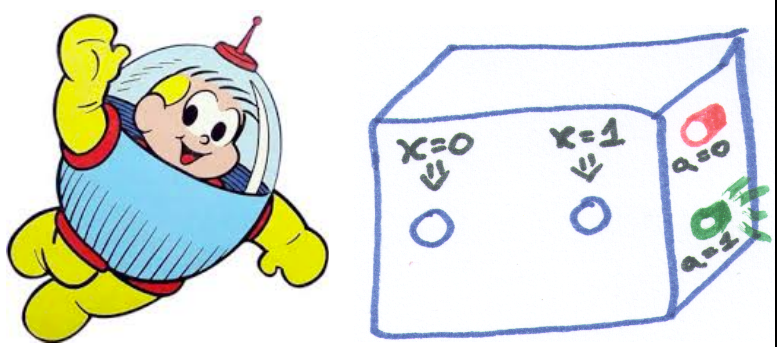


- Vimos que a maior probabilidade de sucesso é *P*=3/4.
- Se A e B pudessem se comunicar, *P*=1.

O Jogo do Astronauta e Bidu

O Astronauta parte numa missão e Bidu fica na Terra. Estão sem comunicação entre si, mas eles têm 2 máquinas que programaram com cuidado antes da viagem.

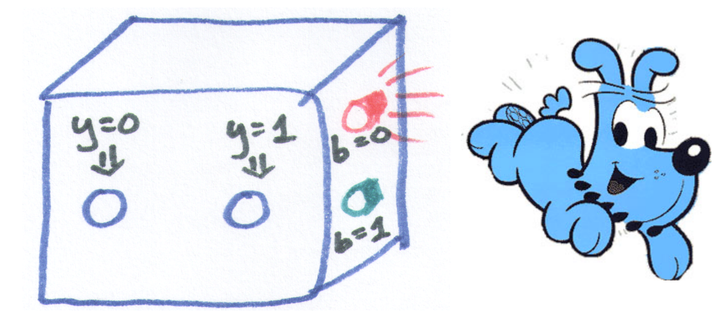
Astronauta (A):
- recebe bit de entrada *x*
- gera bit de resposta *a*



A e B ganham o jogo se:
- $a \neq b$ quando $(x, y) = (1,1)$
- $a = b$ quando $(x, y) \neq (1,1)$

Qual é a maior probabilidade *P* de sucesso?

Bidu (B):
- recebe bit de entrada *y*
- gera bit de resposta *b*

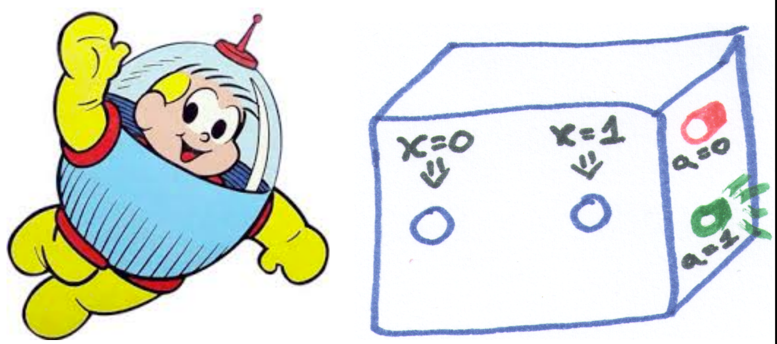


- Vimos que a maior probabilidade de sucesso é *P*=3/4.
- Se A e B pudessem se comunicar, *P*=1.
- E se *P*>3/4? Melhor desconfiar de A e B:

O Jogo do Astronauta e Bidu

O Astronauta parte numa missão e Bidu fica na Terra. Estão sem comunicação entre si, mas eles têm 2 máquinas que programaram com cuidado antes da viagem.

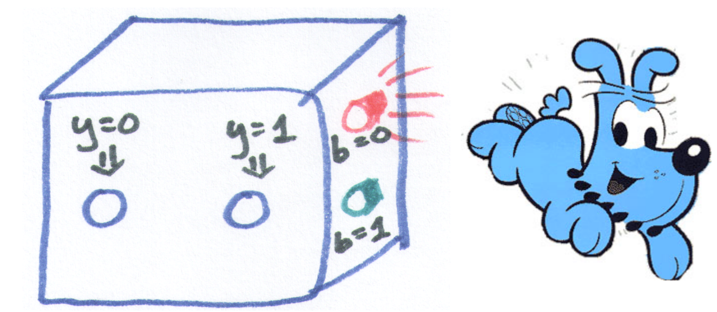
Astronauta (A):
- recebe bit de entrada *x*
- gera bit de resposta *a*



<u>A e B ganham o jogo se:</u>
- $a \neq b$ quando $(x,y)=(1,1)$
- $a = b$ quando $(x,y) \neq (1,1)$

Qual é a maior probabilidade *P* de sucesso?

Bidu (B):
- recebe bit de entrada *y*
- gera bit de resposta *b*



- Vimos que a maior probabilidade de sucesso é *P*=3/4.
- Se A e B pudessem se comunicar, *P*=1.
- E se *P*>3/4? Melhor desconfiar de A e B:

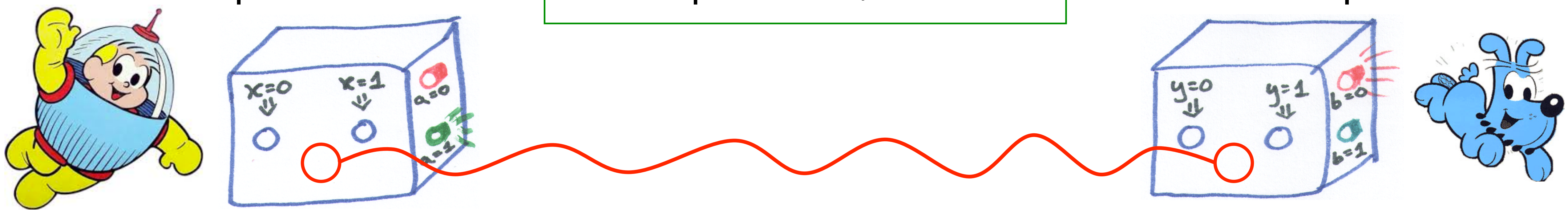
E se P>3/4 mesmo sem comunicação?

Emaranhamento quântico

Astronauta (A):
- bit de entrada *x*
- bit de resposta *a*

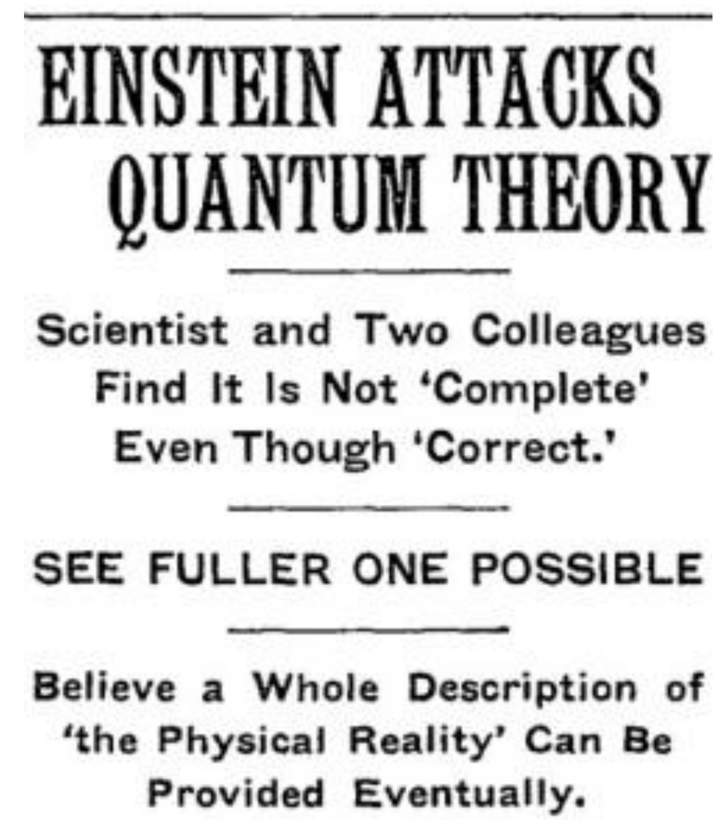
<u>A e B ganham o jogo se:</u>
- $a \neq b$ quando $(x,y) = (1,1)$
- $a = b$ quando $(x,y) \neq (1,1)$

Bidu (B):
- bit de entrada *y*
- bit de resposta *b*



- É possível criar pares de **partículas quânticas emaranhadas** (Einstein, Podolsky, Rosen 1935)

A. Einstein B. Podolsky N. Rosen



EINSTEIN ATTACKS QUANTUM THEORY

Scientist and Two Colleagues Find It Is Not 'Complete' Even Though 'Correct.'

SEE FULLER ONE POSSIBLE

Believe a Whole Description of 'the Physical Reality' Can Be Provided Eventually.

Emaranhamento quântico

Astronauta (A):

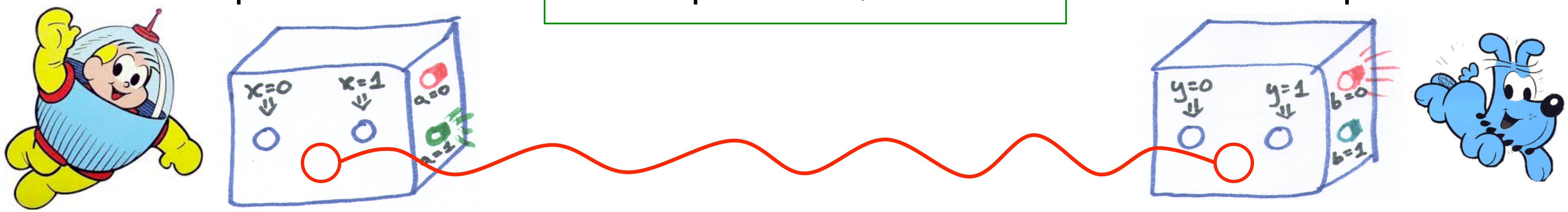
- bit de entrada *x*
- bit de resposta *a*

A e B ganham o jogo se:

- $a \neq b$ quando $(x,y) = (1,1)$
- $a = b$ quando $(x,y) \neq (1,1)$

Bidu (B):

- bit de entrada *y*
- bit de resposta *b*



- É possível criar pares de **partículas quânticas emaranhadas** (Einstein, Podolsky, Rosen 1935)

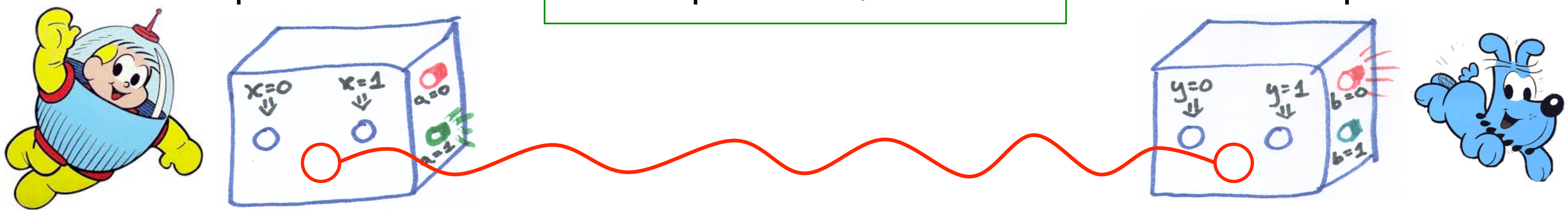
- Medições sobre cada partícula de um par terão resultados mais correlacionados do que a física clássica (local) permite (John Bell, 1964)

Emaranhamento quântico

Astronauta (A):
- bit de entrada *x*
- bit de resposta *a*

A e B ganham o jogo se:
- $a \neq b$ quando $(x,y) = (1,1)$
- $a = b$ quando $(x,y) \neq (1,1)$

Bidu (B):
- bit de entrada *y*
- bit de resposta *b*

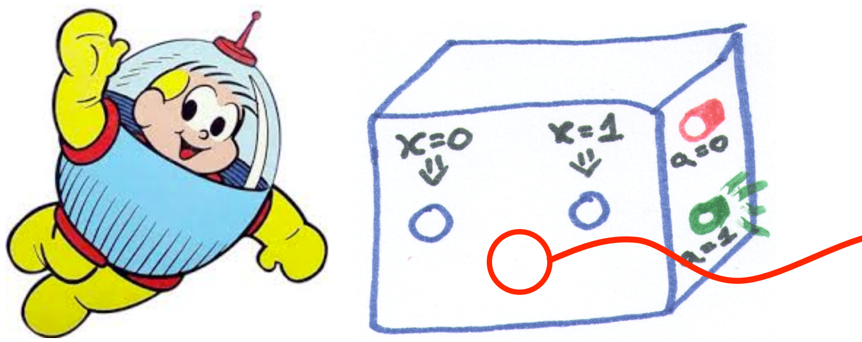


- É possível criar pares de **partículas quânticas emaranhadas** (Einstein, Podolsky, Rosen 1935)

- Medições sobre cada partícula de um par terão resultados mais correlacionados do que a física clássica (local) permite (John Bell, 1964)

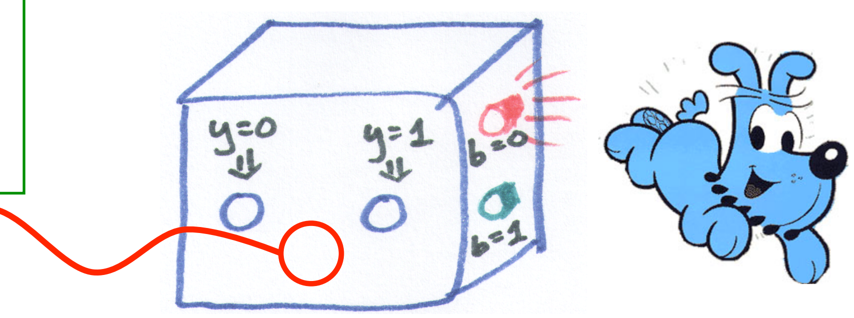
- Se o Astronauta e Bidu construírem suas caixas com "recheio" de partículas quânticas emaranhadas, conseguem uma probabilidade de sucesso **P=0.85** > 3/4.

Emaranhamento não permite comunicação instantânea



<u>A e B ganham o jogo se:</u>

- $a \neq b$ quando $(x, y) = (1,1)$
- $a = b$ quando $(x, y) \neq (1,1)$



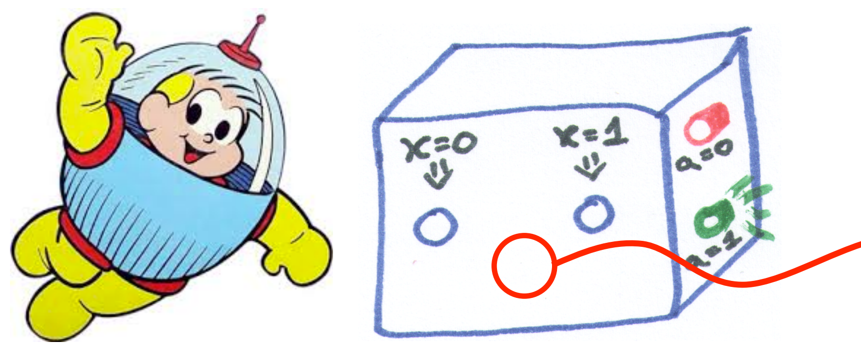
- Emaranhamento requer comunicação para simular, mas não permite comunicação instantânea entre A e B.

- A estratégia 3 é não-local e permite comunicação instantânea:

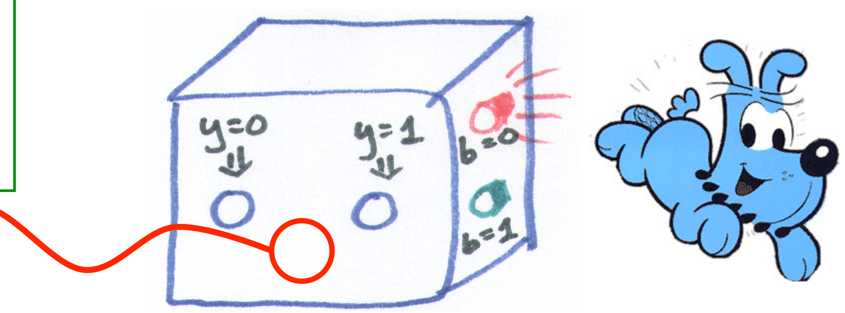
Estratégia 3: a=y, b como abaixo

x	y	a	b	Ganham?
0	0	0	0	Sim
0	1	1	1	Sim
1	0	0	0	Sim
1	1	1	0	Sim

Emaranhamento não permite comunicação instantânea



A e B ganham o jogo se:
- $a \neq b$ quando $(x,y)=(1,1)$
- $a = b$ quando $(x,y)\neq(1,1)$



- Emaranhamento requer comunicação para simular, mas não permite comunicação instantânea entre A e B.

- A estratégia 3 é não-local e permite comunicação instantânea:

- A estratégia 4 ganha o jogo, mas resultados probabilísticos impedem uso para comunicação instantânea:

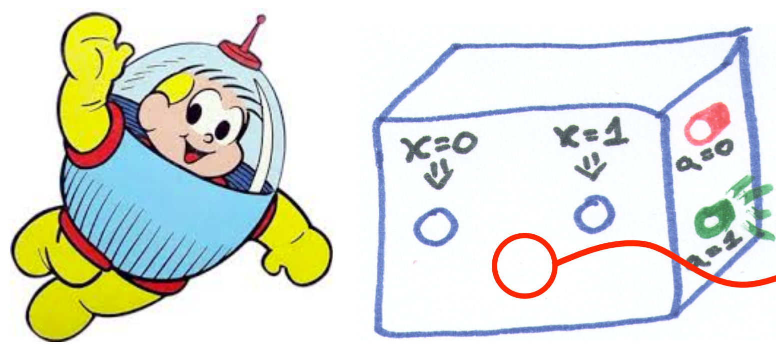
Estratégia 4: vencedora e probabilística

x	y	a b	Ganham?
0	0	00 ou 11 (p=1/2)	Sim
0	1	00 ou 11 (p=1/2)	Sim
1	0	00 ou 11 (p=1/2)	Sim
1	1	01 ou 10 (p=1/2)	Sim

Estratégia 3: a=y, b como abaixo

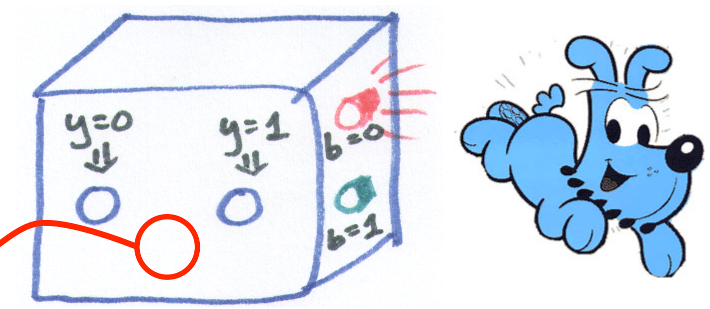
x	y	a	b	Ganham?
0	0	0	0	Sim
0	1	1	1	Sim
1	0	0	0	Sim
1	1	1	0	Sim

Emaranhamento não permite comunicação instantânea



A e B ganham o jogo se:

- $a \neq b$ quando $(x,y) = (1,1)$
- $a = b$ quando $(x,y) \neq (1,1)$



- Emaranhamento requer comunicação para simular, mas não permite comunicação instantânea entre A e B.
- A estratégia 3 é não-local e permite comunicação instantânea:
- A estratégia 4 ganha o jogo, mas resultados probabilísticos impedem uso para comunicação instantânea:

Estratégia 3: a=y, b como abaixo

x	y	a	b	Ganham?
0	0	0	0	Sim
0	1	1	1	Sim
1	0	0	0	Sim
1	1	1	0	Sim

Estratégia 4: vencedora e probabilística

x	y	a b	Ganham?
0	0	00 ou 11 (p=1/2)	Sim
0	1	00 ou 11 (p=1/2)	Sim
1	0	00 ou 11 (p=1/2)	Sim
1	1	01 ou 10 (p=1/2)	Sim

- A MQ também dá resultados probabilísticos, só que *P=0.85* (ao invés de *P*=1)
- A MQ não permite comunicação instantânea