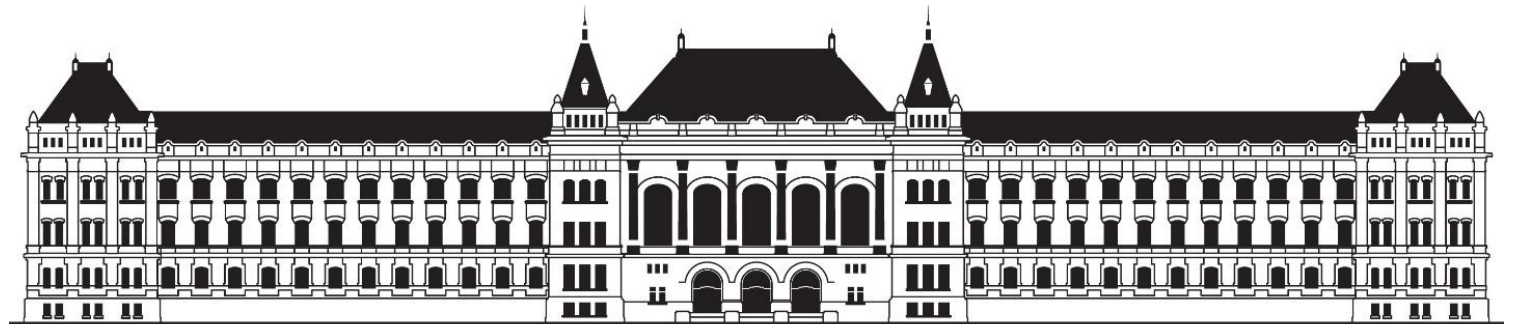
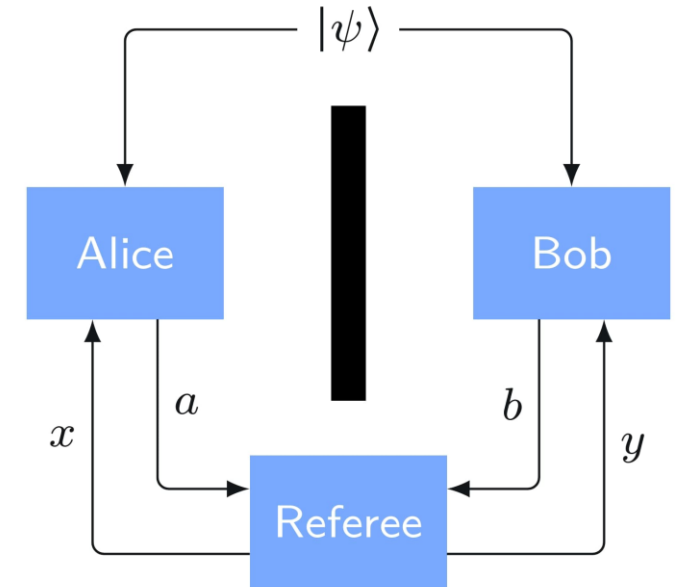
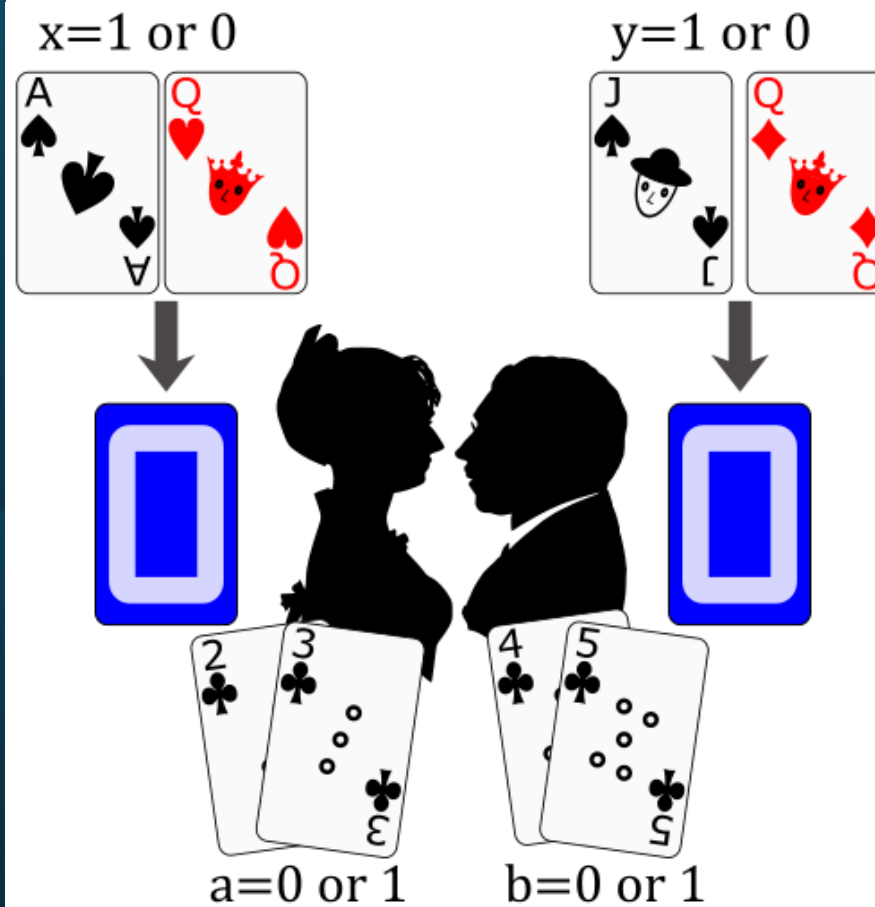


Kvantumfölény

Kupás Lőrinc Pál
2026.07.10.



M Í S K O L C I 7 8 2

Mi az a kvantumfölény?

Q Qubit

Egy új korszak kezdete: a Google elérte a kvantumfölényt

A Google kvantumprocesszora 3 perc és 20 másodperc alatt végzett el egy olyan számítást, ami a világ leggyorsabb szuperszámítógépének 10 000...

2019. szept. 24.



Mi az a kvantumfölény?

 Qubit

Egy új korszak kezdete: a Google elérte a kvantumfölényt

A Google kvantumprocesszora 3 perc és 20 másodperc alatt végzett el egy olyan számítást, ami a világ leggyorsabb szuperszámítógépének 10 000...

2019. szept. 24.

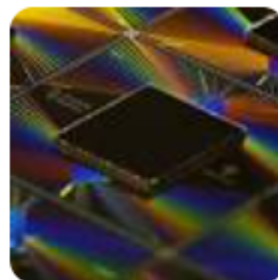


 | hvg.hu

Tech: Holnaptól borul a fél világ? Mit jelent a kvantumfölény, mire számíthatunk ezután?

A Google bejelentette, hogy elérte a kvantumfölényt, azaz olyan kvantumszámítógépet építettek, amely meghaladja a klasszikus...

2019. okt. 27.



Mi az a kvantumfölény?

Q Qubit

Egy új korszak kezdődött

A Google kvantumprocesszor elnyerte a világ legerősebb számítógépe címét, ami a világ legjobb szuperszámítógépeitől gyorsabb, mint a világ legjobb szuperszámítógépei,...

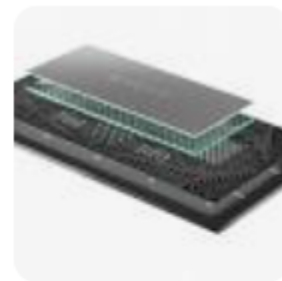
2019. szept. 24.

Q Qubit

Az új, kínai kvantumprocesszor egybilliárdszor gyorsabb, mint a szuperszámítógépek, de ez még nem a kvantumfölény.

Kínai kutatók olyan kvantumprocesszort fejlesztettek ki, amely egybilliárdszor (10^{15}) gyorsabb, mint a világ legjobb szuperszámítógépei,...

2025. márc. 14.



hvg | hvg.hu

Tech: Holnaptól borul a fél világ? Mit jelent a kvantumfölény, mire számíthatunk ezután?

A Google bejelentette, hogy elérte a kvantumfölényt, azaz olyan kvantumszámítógépet építettek, amely meghaladja a klasszikus...

2019. okt. 27.



Mi az a kvantumfölény?

Q Qubit

Egy új korszak ke

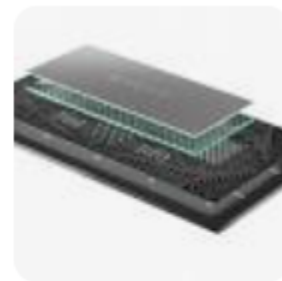
A Google kvantumproce
számítást, ami a világ le
2019. szept. 24.

Q Qubit

Az új, kínai kvantumprocesszor egybilliárdszor gyorsabb,
mint a szuperszámítógépek, de ez még nem a
kvantumfölény.

Kínai kutatók olyan kvantumprocesszort fejlesztettek ki, amely egybilliárdszor (10^{15})
gyorsabb, mint a világ legjobb szuperszámítógépei,...

2025. márc. 14.



hvg | hvg.hu

Tech: Holnap mire számítha

A Google bejelentet
kvantumszámítógép
2019. okt. 27.

Index.hu

Tech-Tudomány - Legyőzte a Google gépét az új kvantumfölény-rekorder

Legyőzte a Google gépét az új kvantumfölény-rekorder - Egy szuperszámítógép
energiaigényének harmincezred része kellett hozzá.

2024. júl. 18.



Mi az a kvantumfölény?

- Copilot:
Létezik egy problémaosztály, amelyet egy kvantumalgoritmus hatékonyan kezel, míg minden ismert klasszikus algoritmus ehhez lényegesen több, erőforrást igényel.

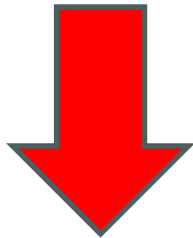
Mi az a kvantumfölény?

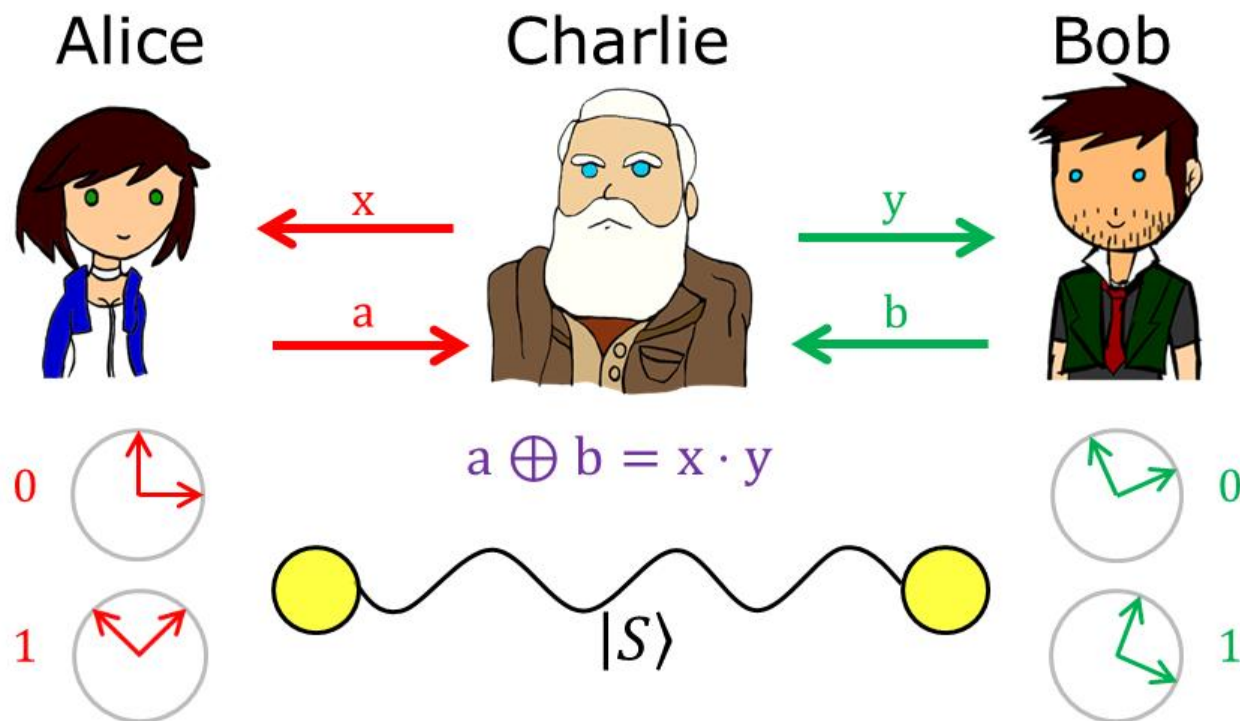
- Copilot:
Létezik egy problémaosztály, amelyet egy kvantumalgorithmus hatékonyan kezel, míg minden ismert klasszikus algorithmus ehhez lényegesen több, erőforrást igényel.
- Kvantumbit, kvantumalgorithmus

Mi az a kvantumfölény?

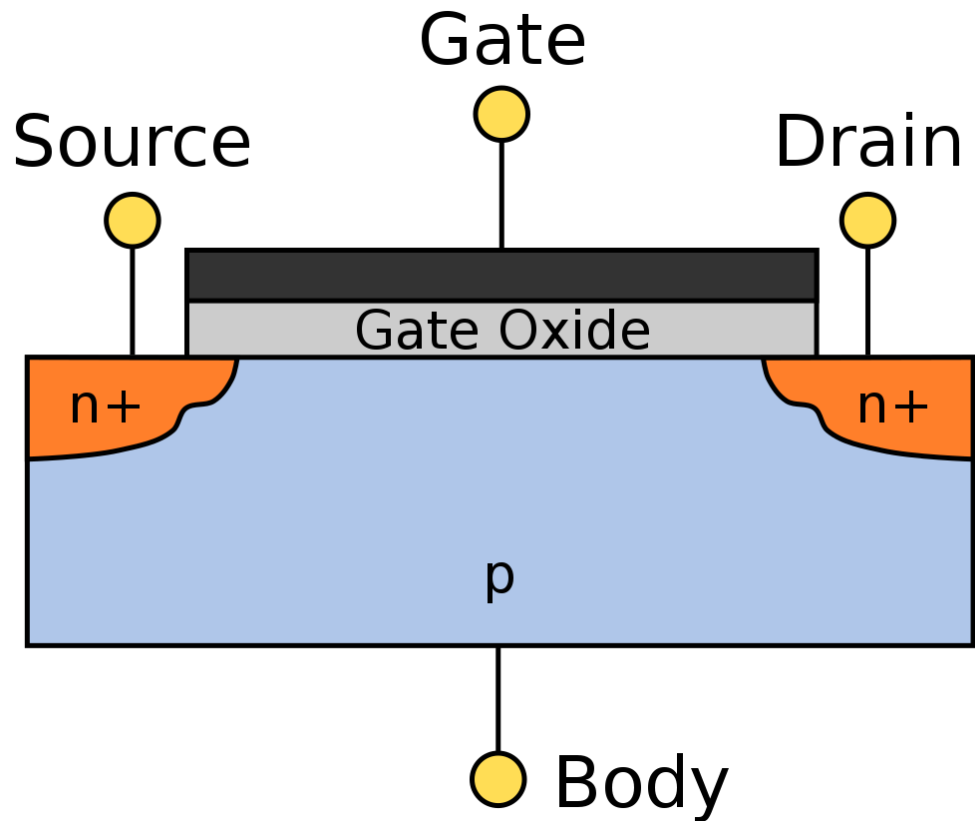
- Copilot:
Létezik egy problémaosztály, amelyet egy kvantumalgorithmus hatékonyan kezel, míg minden ismert klasszikus algorithmus ehhez lényegesen több, erőforrást igényel.

- Kvantumbit, kvantumalgorithmus


 CHSH játék

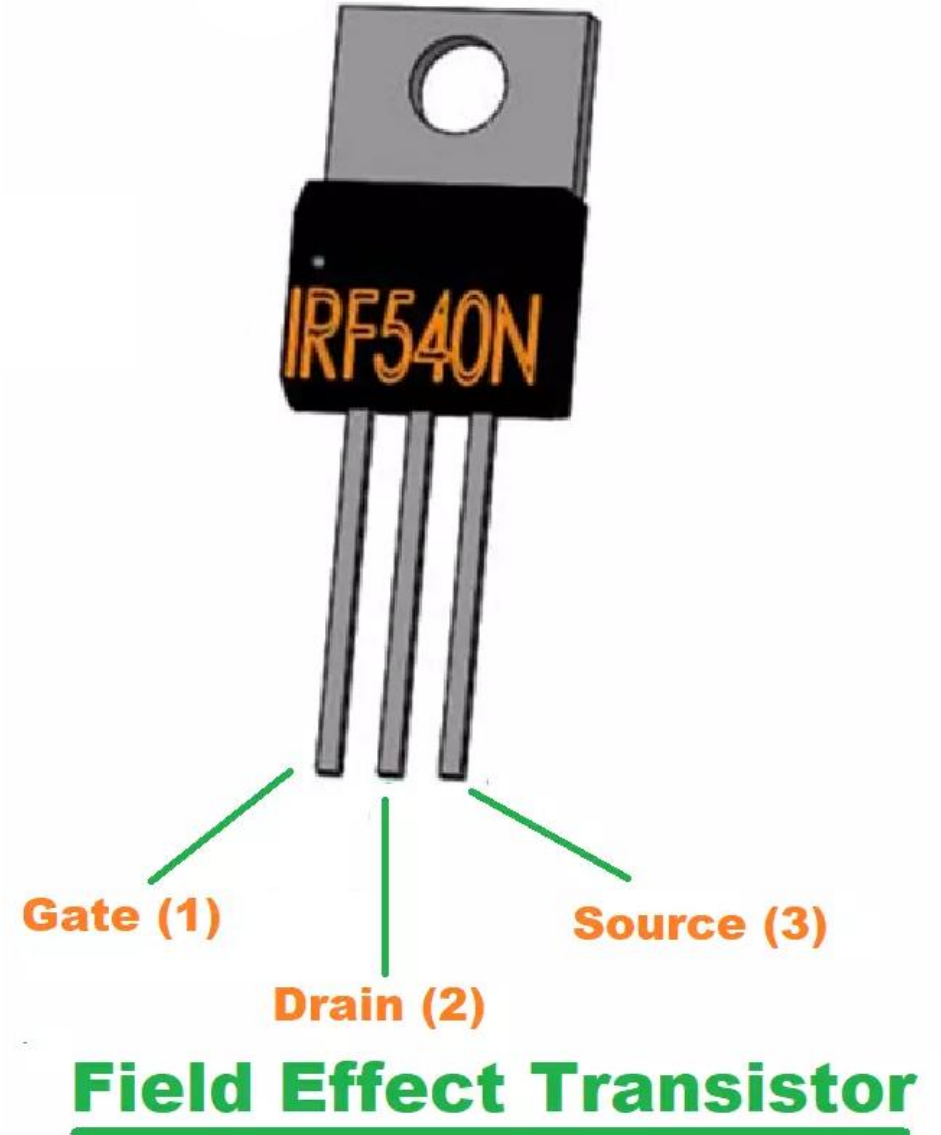


Félvezető tranzisztor



$V_{\text{kapu}} > 0$  áram folyik

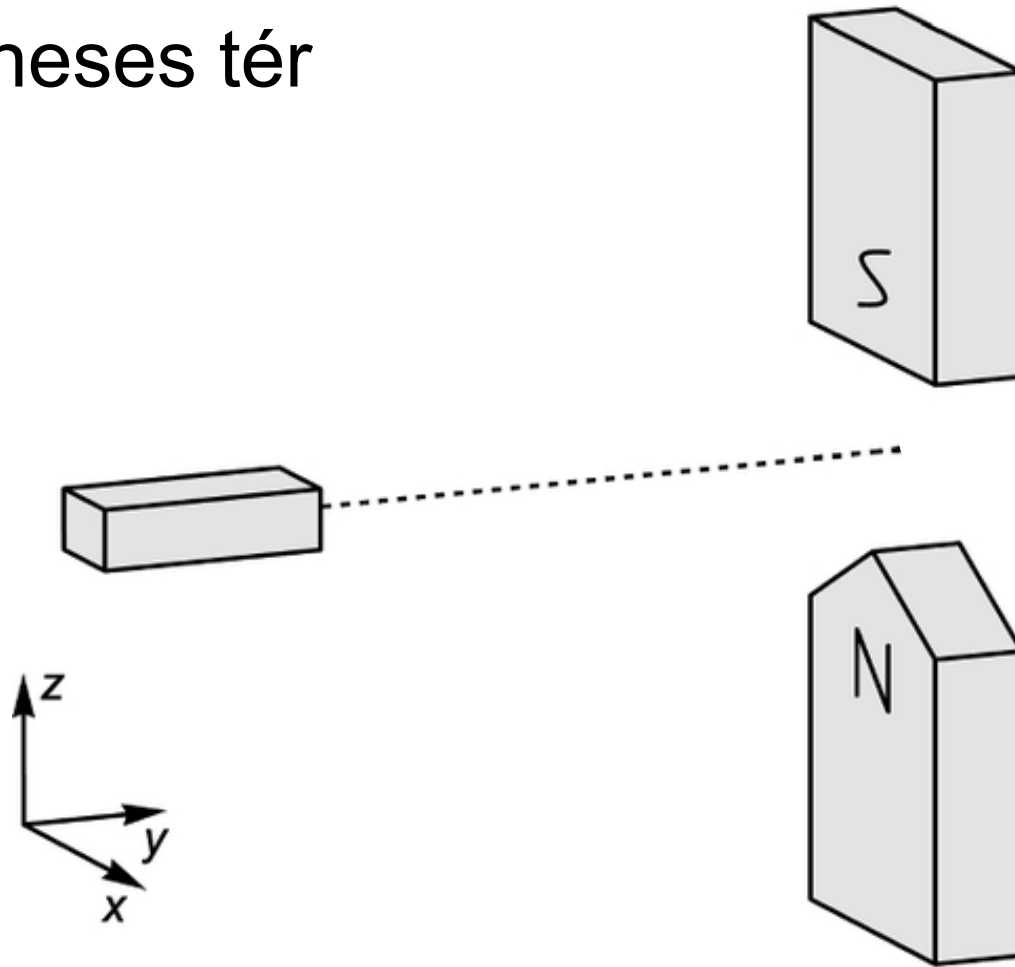
$V_{\text{kapu}} \leq 0$  nem folyik áram



Bit = elektron?

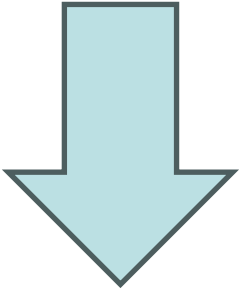
- Inhomogén mágneses tér
- Elektronsugár

Stern - Gerlach kísérlet 1922

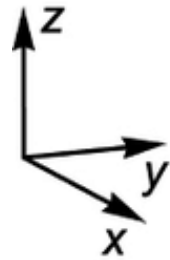


Bit = elektron?

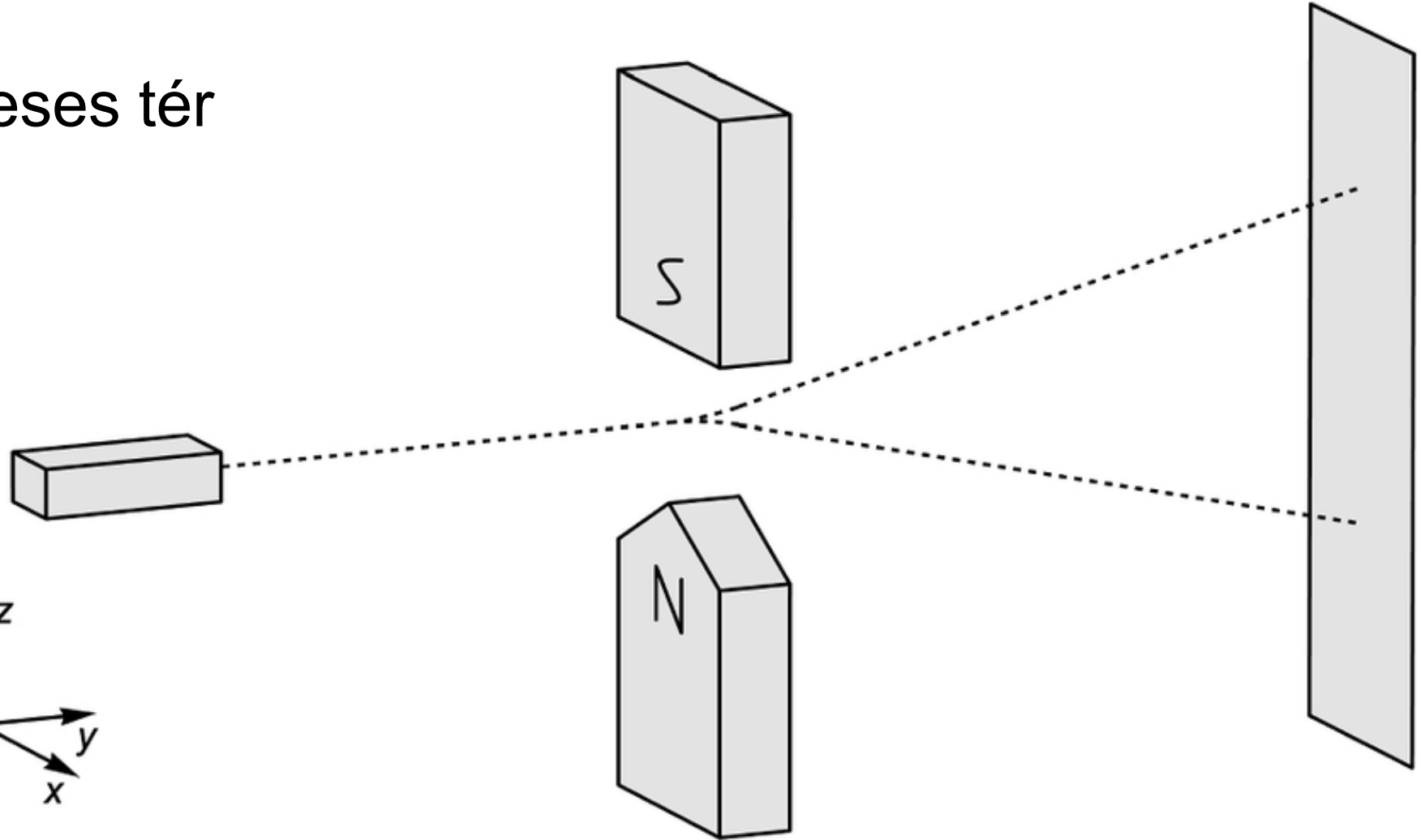
- Inhomogén mágneses tér
- Elektronsugár
- Szétválasztás



Lehetséges bit!

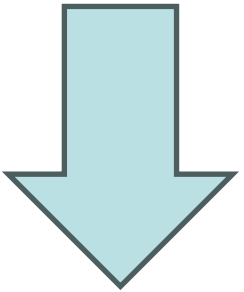


Stern - Gerlach kísérlet 1922



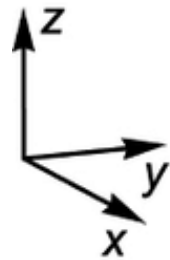
Bit = elektron?

- Inhomogén mágneses tér
- Elektronsugár
- Szétválasztás

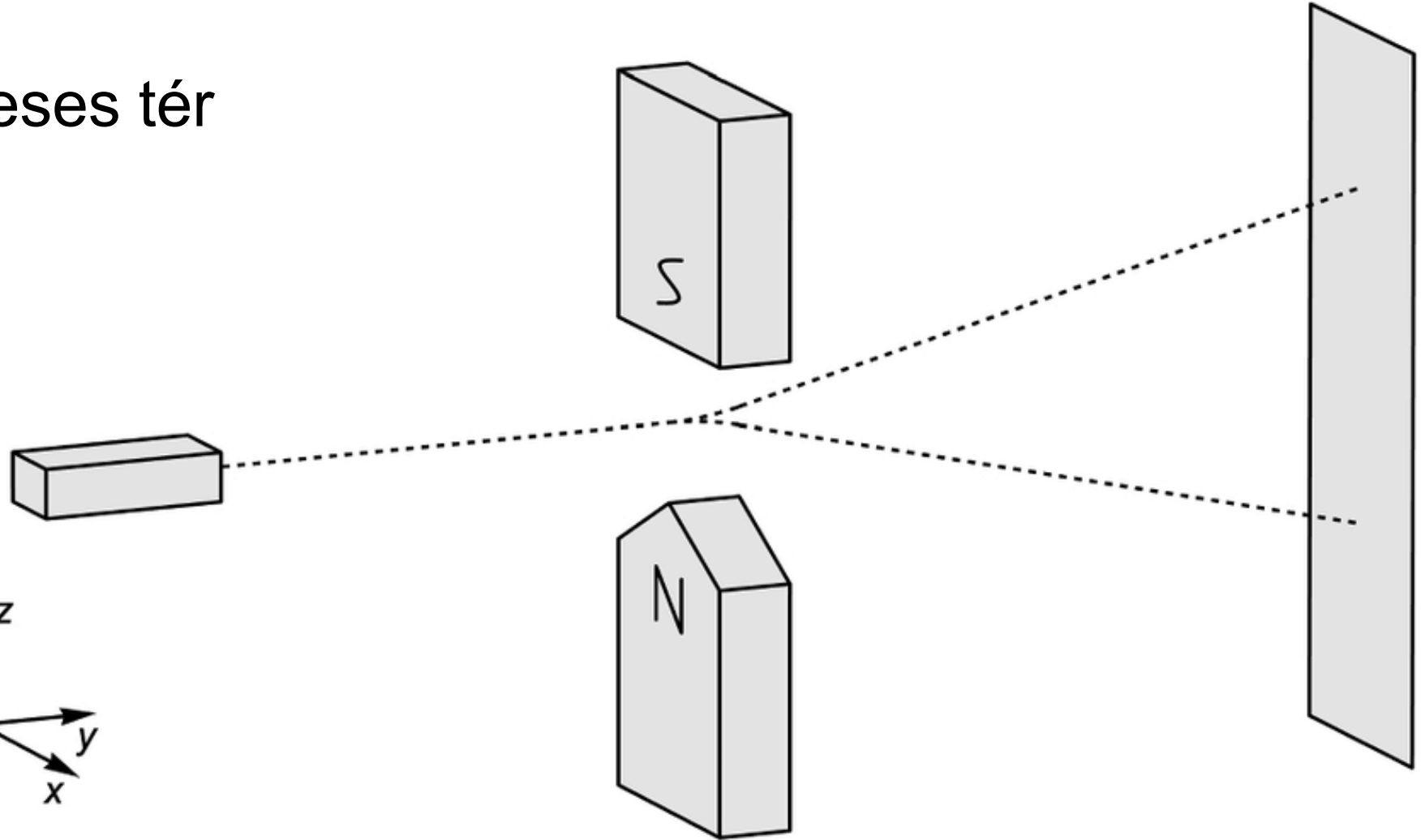


Lehetséges bit!

1. Kérdés: Miért?

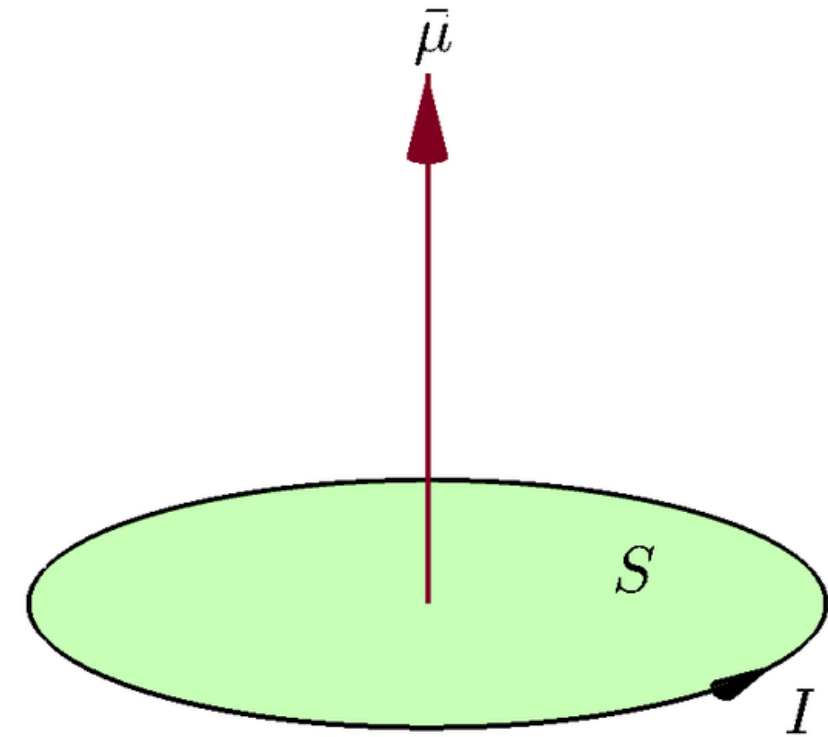


Stern - Gerlach kísérlet 1922



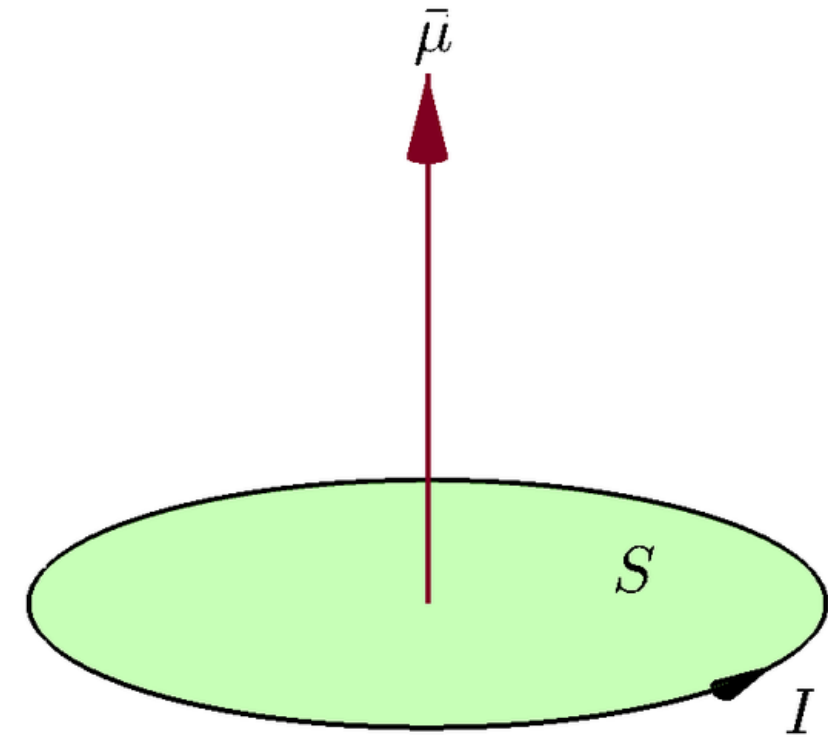
Mágneses dipólmomentum

- Inhomogén mágneses térben folyó áramra erő hat



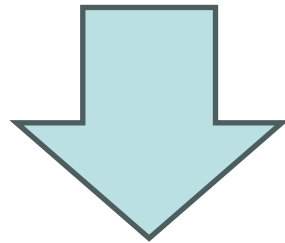
Mágneses dipólmomentum

- Inhomogén mágneses térben folyó áramra erő hat
- Dipólmomentum arányos az impulzusmomentummal



Mágneses dipólmomentum

- Inhomogén mágneses térben folyó áramra erő hat
- Dipólmomentum arányos az impulzusmomentummal



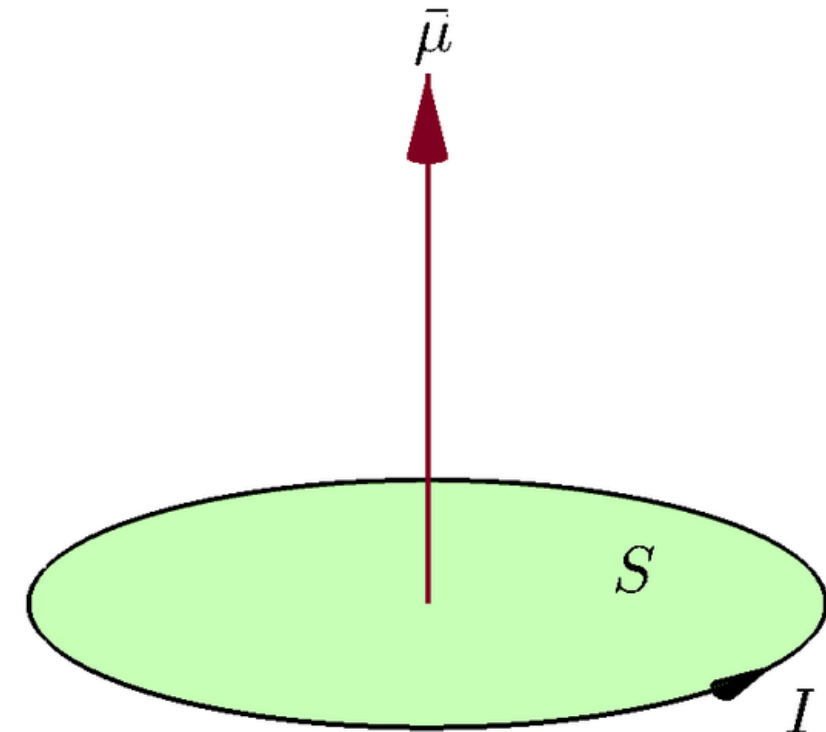
Electron Spin (Up and Down)



1

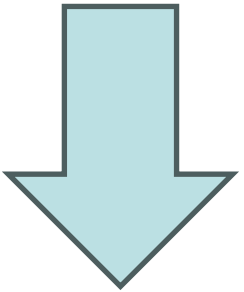


0



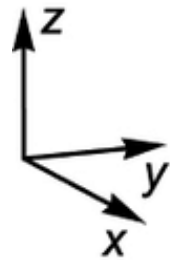
Bit = elektron?

- Inhomogén mágneses tér
- Elektronsugár
- Szétválasztás

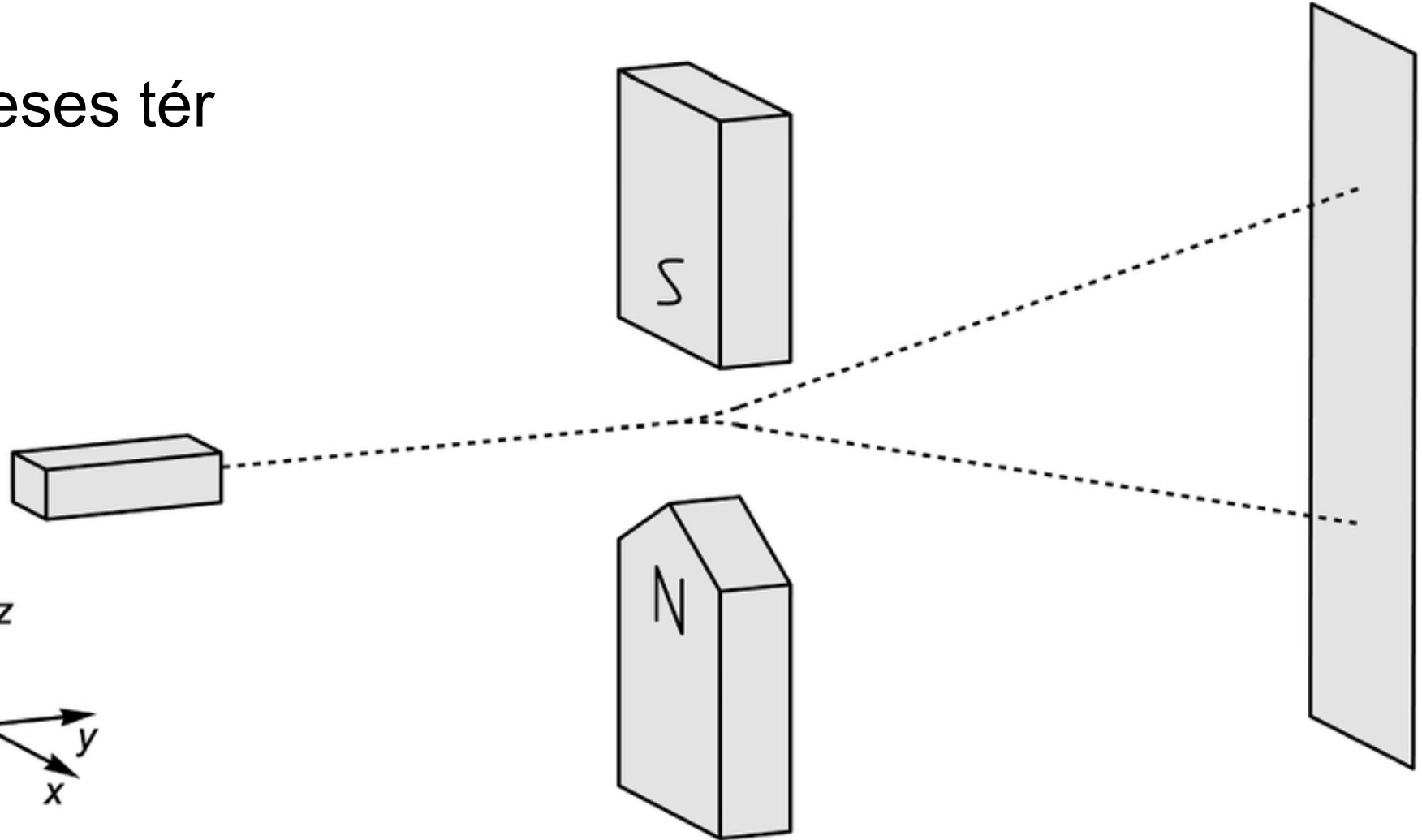


Lehetséges bit!

1. Kérdés: Miért?
2. Kérdés: Hogyan kapcsolom?

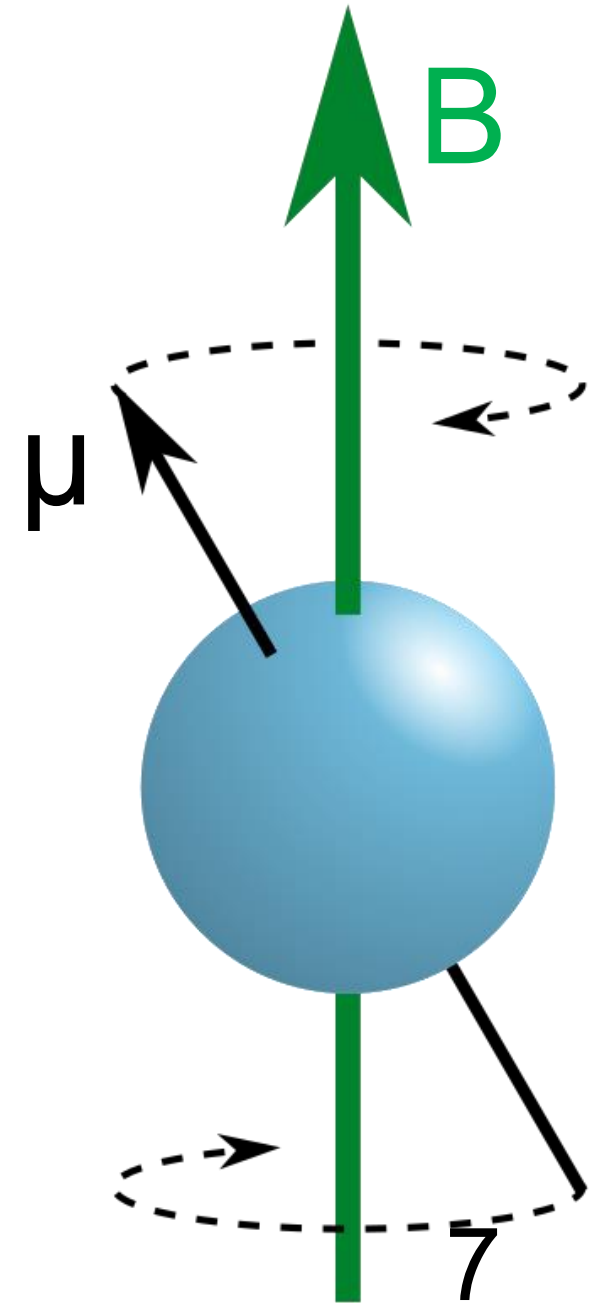


Stern - Gerlach kísérlet 1922



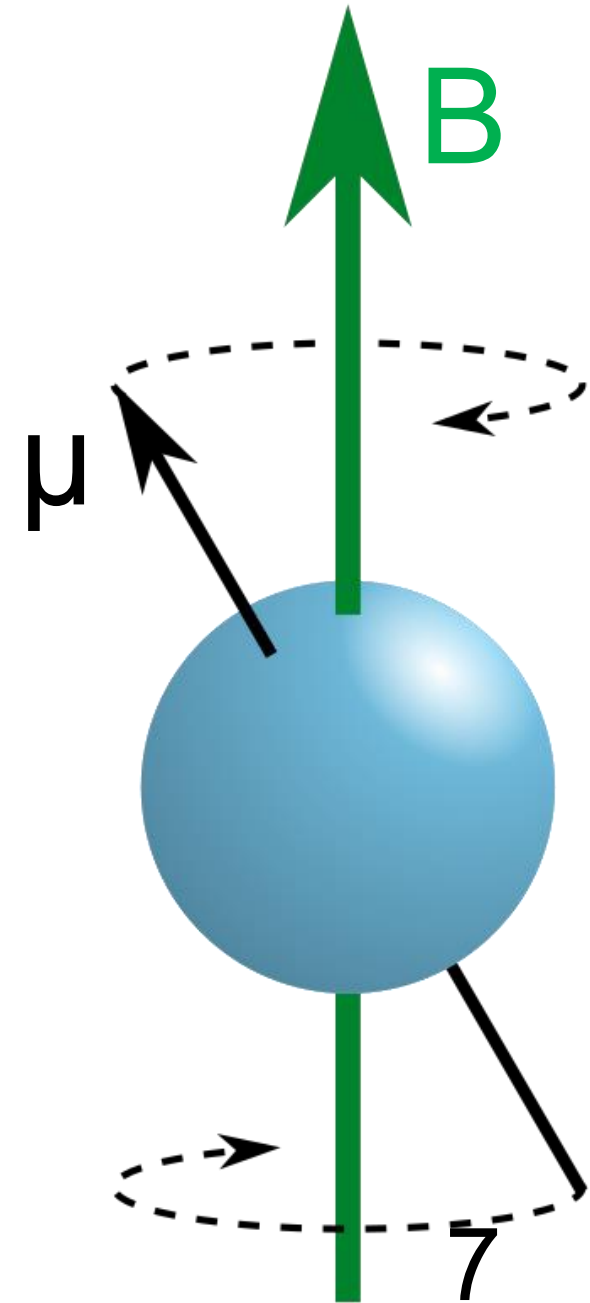
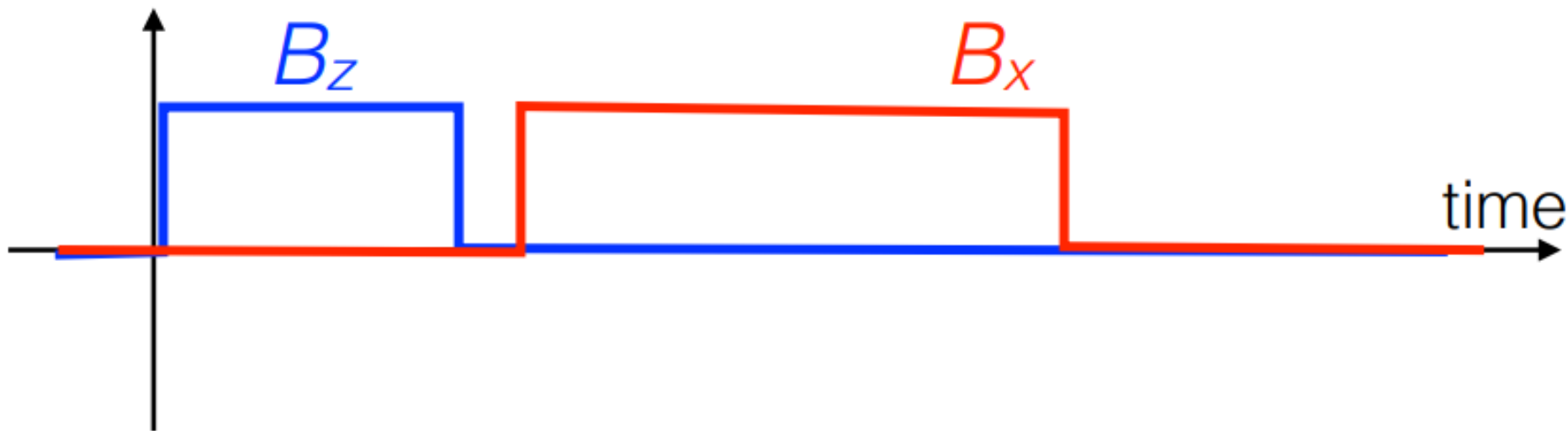
Mágneses dipólmomentum

- Dipólmomentum mágneses térben precesszál
- z és x irányú mágneses impulzusok



Mágneses dipólmomentum

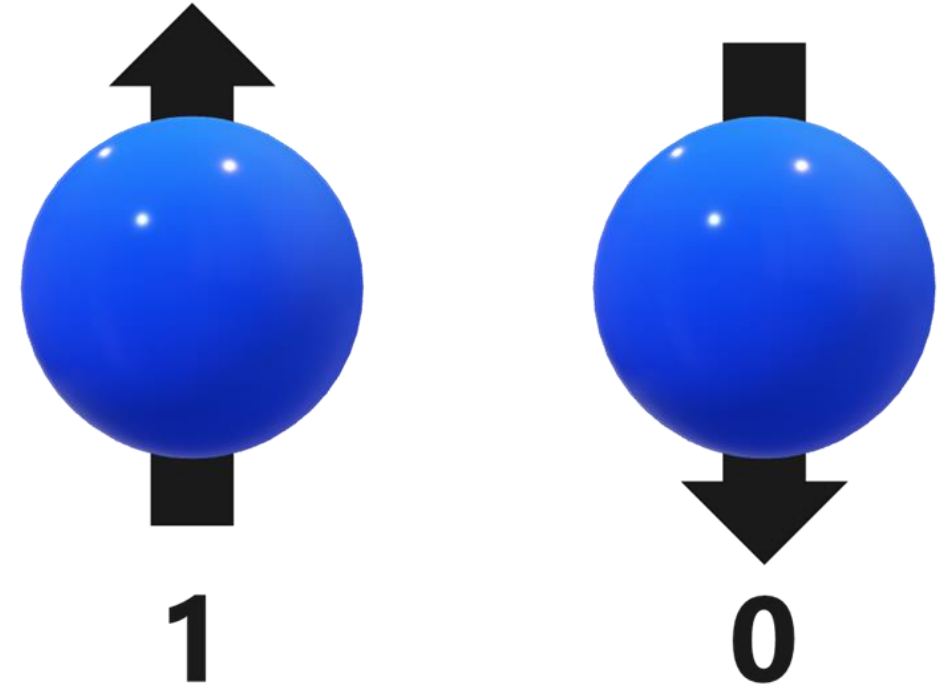
- Dipólmomentum mágneses térben precesszál
- z és x irányú mágneses impulzusok



Kvantumbit

- 2 diszkrét spinállapot! Miért?

Electron Spin (Up and Down)



Kvantumbit

- 2 diszkrét spinállapot! Miért?

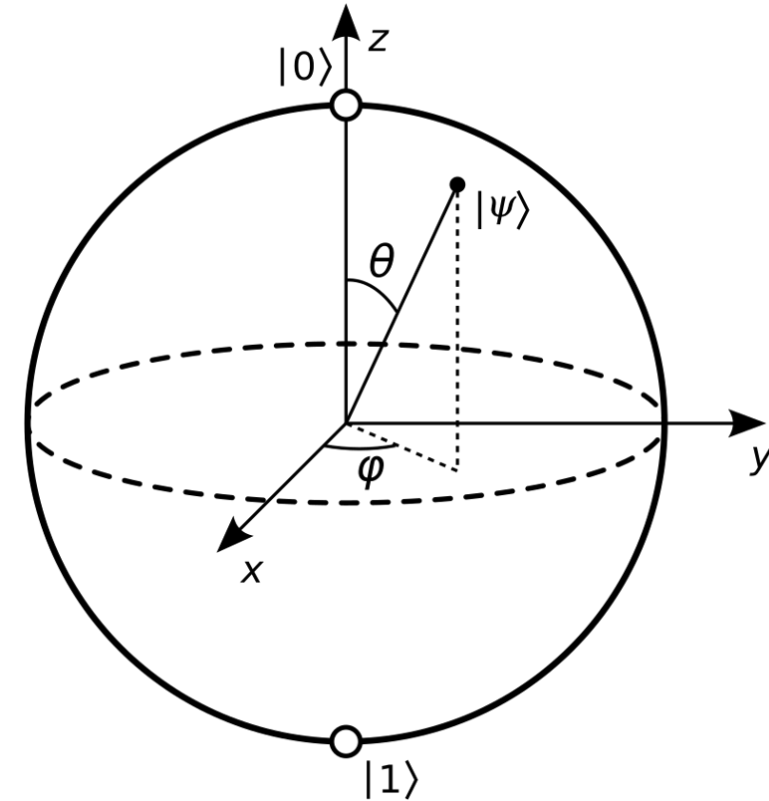
1. $\psi = \alpha_0|0\rangle + \alpha_1|1\rangle$

2. $|0\rangle: P_0 = |\alpha_0|^2$

3. $|1\rangle: P_1 = |\alpha_1|^2 = 1 - P_0$

4. $\alpha_0 = \cos\left(\frac{\theta}{2}\right)$

5. $\alpha_1 = e^{i\phi} \sin\left(\frac{\theta}{2}\right)$



Kvantumbit

- 2 diszkrét spinállapot! Miért?

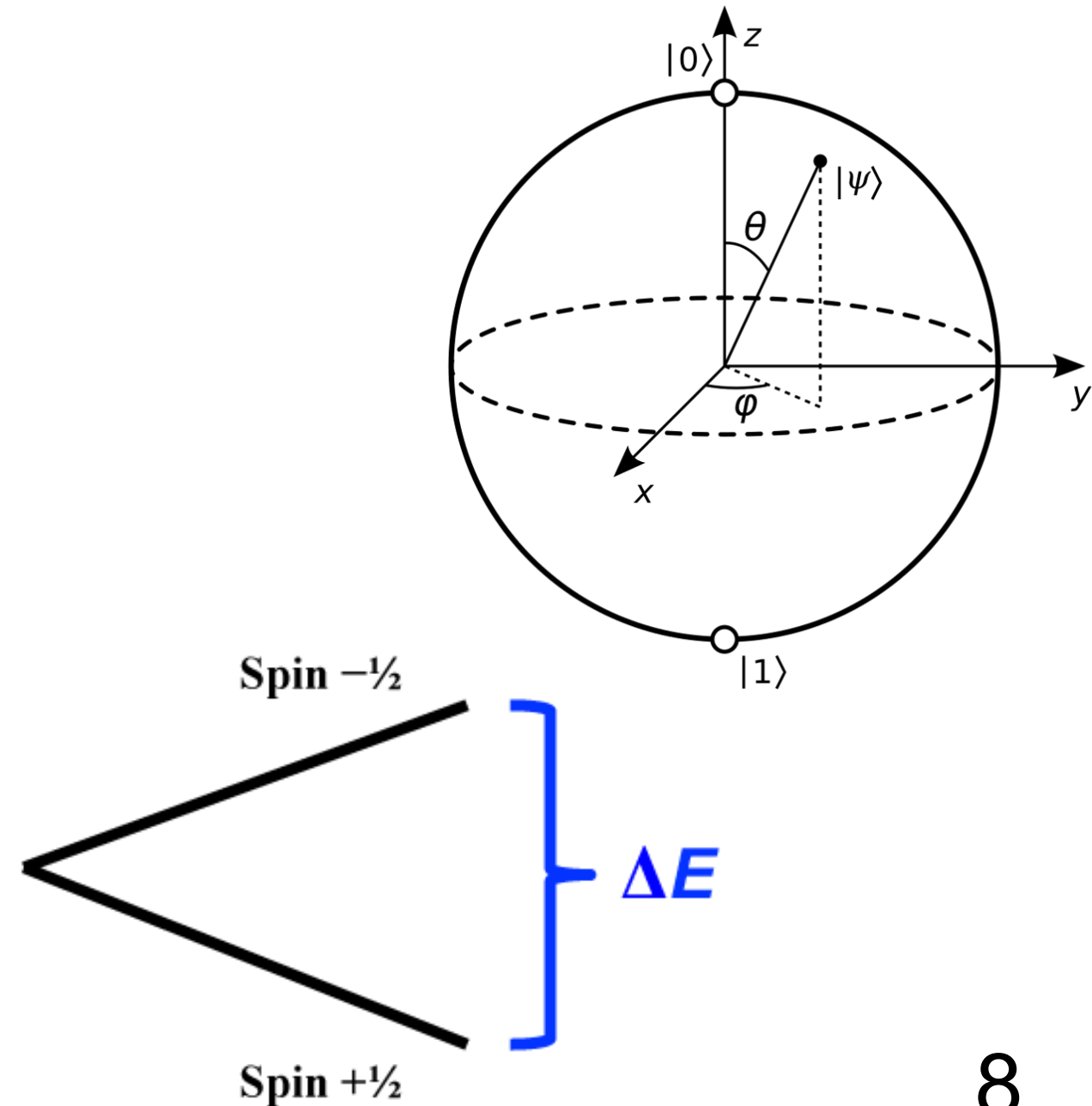
$$1. \quad \psi = \alpha_0 |0\rangle + \alpha_1 |1\rangle$$

$$2. \quad |0\rangle: P_0 = |\alpha_0|^2$$

$$3. \quad |1\rangle: P_1 = |\alpha_1|^2 = 1 - P_0$$

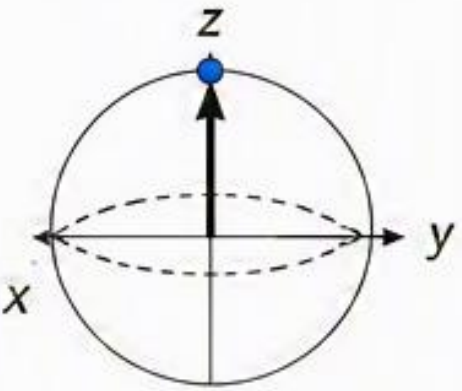
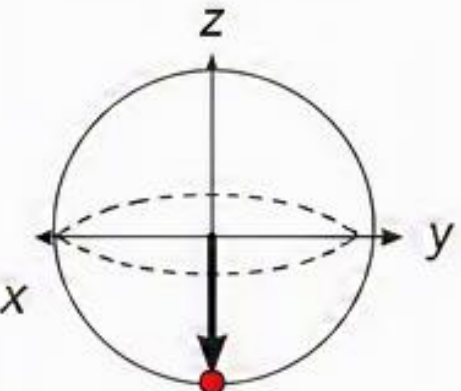
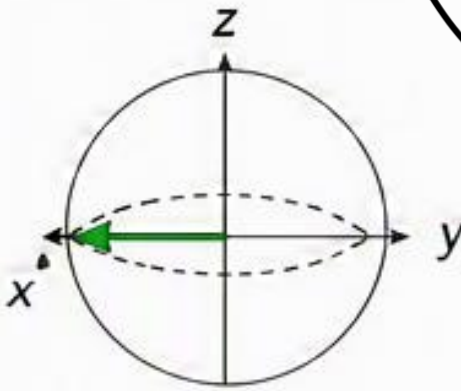
$$4. \quad \alpha_0 = \cos\left(\frac{\theta}{2}\right)$$

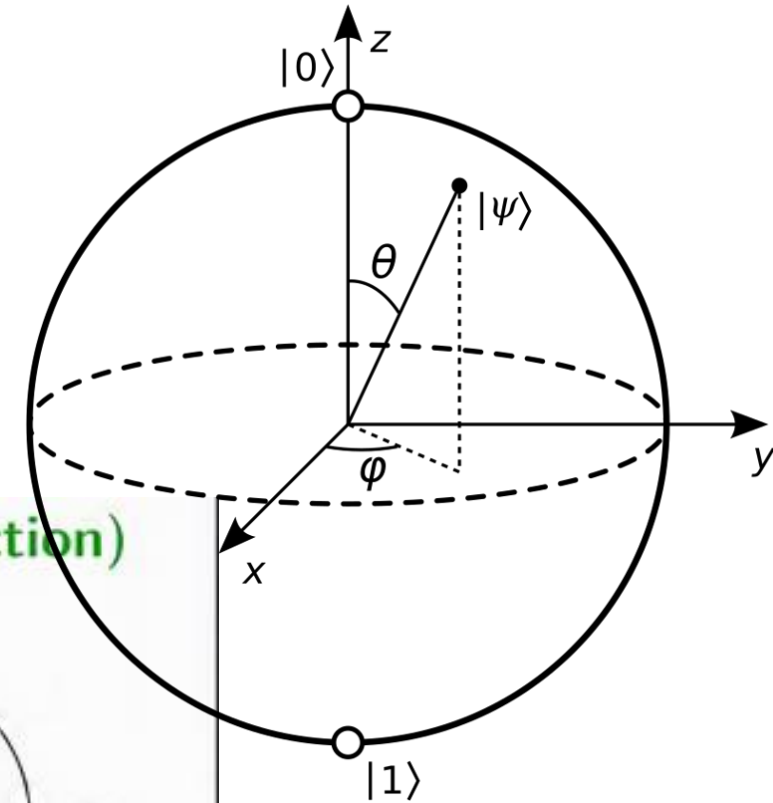
$$5. \quad \alpha_1 = e^{i\phi} \sin\left(\frac{\theta}{2}\right)$$



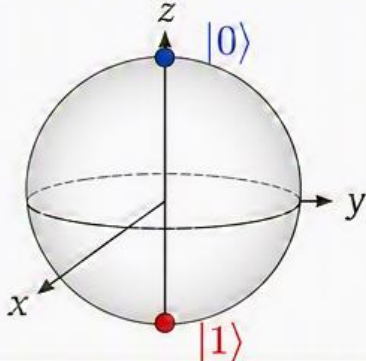
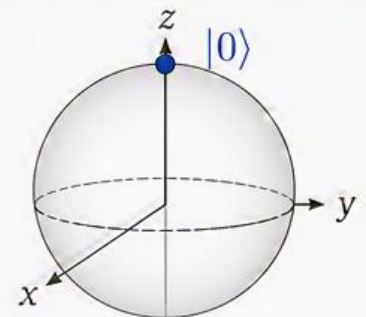
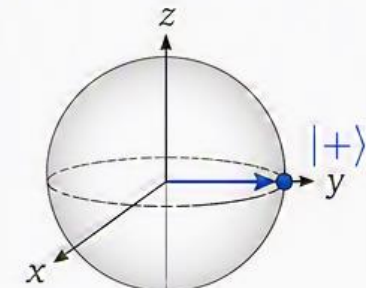
Kvantumbit

- 2 diszkrét spinállapot! Miért?

$0\rangle$ (north pole) 	$1\rangle$ (south pole) 	$+\rangle$ (+x direction) 
$\psi\rangle = 0\rangle$ $\theta = 0$ $\phi = 0$ (any ϕ)	$\psi\rangle = 1\rangle$ $\theta = \pi$ $\phi = 0$ (any ϕ)	$\psi\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}} (0\rangle + 1\rangle)$ $\theta = \frac{\pi}{2}$ $\phi = 0$



Kvantumbit operáció

Gate	Matrix Representation	Action on $ 0\rangle$	Resulting State (vector form)	Bloch Sphere Representation (final state)	Bloch Angles (θ, ϕ)
X gate (bit flip) 	$X = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix}$	$X 0\rangle = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix} = 1\rangle$	$ 1\rangle = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix}$		$\theta = \pi$ $\phi = 0$ (any ϕ)
Z gate (phase flip) 	$Z = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -1 \end{bmatrix}$	$Z 0\rangle = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix} = 0\rangle$	$ 0\rangle = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix}$		$\theta = 0$ $\phi = 0$ (any ϕ)
Hadamard gate (H) 	$H = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & -1 \end{bmatrix}$	$H 0\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & -1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix} = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \end{bmatrix} = +\rangle$	$ +\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \end{bmatrix}$		$\theta = \frac{\pi}{2}$ $\phi = 0$

2 qubit állapot

- Kvantumállapot: A rendszer klasszikus állapotai mérési valószínűségeikkel súlyozva.
- Általánosítható 2 qubit állapotokra is!

2 qubit állapot

- Kvantumállapot: A rendszer klasszikus állapotai mérési valószínűségeikkel súlyozva.
- Általánosítható 2 qubit állapotokra is!

$$1. |\psi\rangle = \alpha_{00}|00\rangle + \alpha_{01}|01\rangle + \alpha_{10}|10\rangle + \alpha_{11}|11\rangle$$

$$2. |00\rangle: P_{00} = |\alpha_{00}|^2, \quad |01\rangle: P_{01} = |\alpha_{01}|^2$$

$$3. |10\rangle: P_{10} = |\alpha_{10}|^2, \quad |11\rangle: P_{11} = |\alpha_{11}|^2$$

$$P_{00} + P_{01} + P_{10} + P_{11} = 1$$

2 qubit állapot

- Kvantumállapot: A rendszer klasszikus állapotai mérési valószínűségeikkel súlyozva.
- Általánosítható 2 qubit állapotokra is!

$$1. |\psi\rangle = \alpha_{00}|00\rangle + \alpha_{01}|01\rangle + \alpha_{10}|10\rangle + \alpha_{11}|11\rangle$$

$$2. |00\rangle: P_{00} = |\alpha_{00}|^2, \quad |01\rangle: P_{01} = |\alpha_{01}|^2$$

$$3. |10\rangle: P_{10} = |\alpha_{10}|^2, \quad |11\rangle: P_{11} = |\alpha_{11}|^2$$

$$P_{00} + P_{01} + P_{10} + P_{11} = 1$$

$$\text{Start from } |\Phi^+\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}(|00\rangle + |11\rangle)$$

$$(X \otimes Z)|\Phi^+\rangle$$

$$= \frac{1}{\sqrt{2}}[(X \otimes Z)|00\rangle + (X \otimes Z)|11\rangle]$$

$$= \frac{1}{\sqrt{2}}[(X|0\rangle) \otimes (Z|0\rangle) + (X|1\rangle) \otimes (Z|1\rangle)]$$

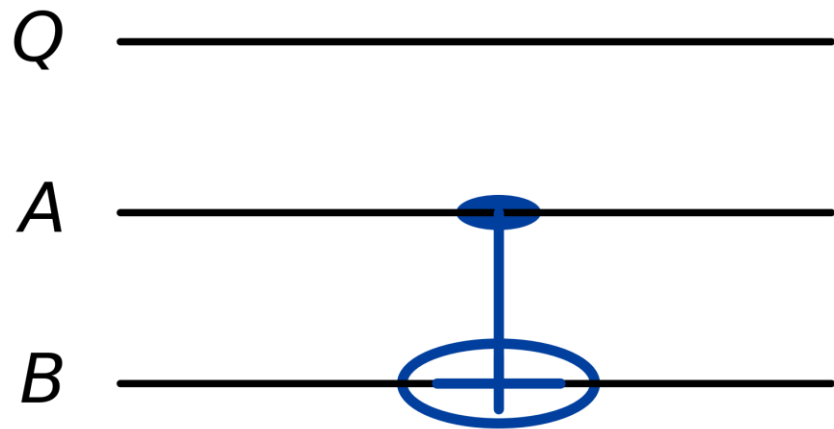
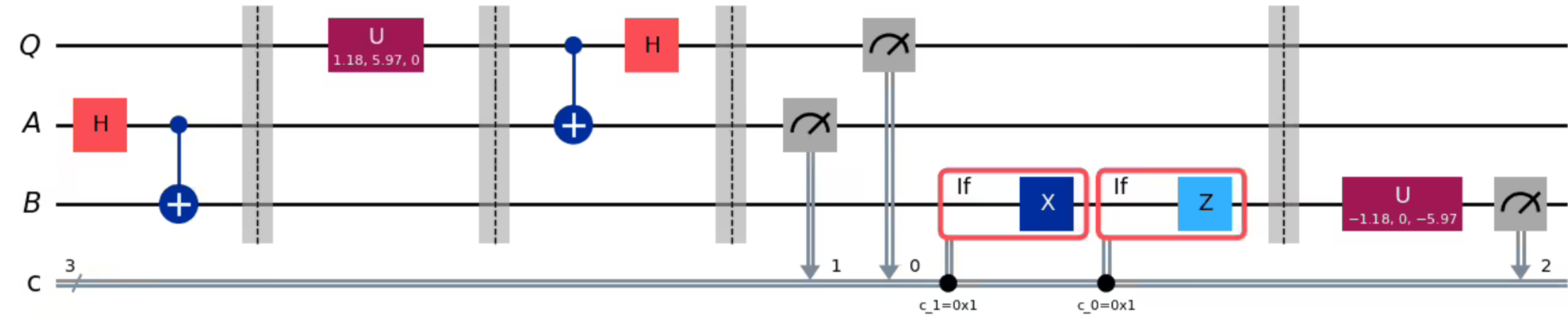
$$= \frac{1}{\sqrt{2}}[|1\rangle \otimes |0\rangle + |0\rangle \otimes (-|1\rangle)]$$

$$= \frac{1}{\sqrt{2}}(|10\rangle - |01\rangle)$$

$$= -\frac{1}{\sqrt{2}}(|01\rangle - |10\rangle)$$

$$= -|\Psi^-\rangle, \quad \text{where } |\Psi^-\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}(|01\rangle - |10\rangle)$$

Kvantum algoritmus



$A \rightarrow B$ CNOT

$$= I_Q \otimes \text{CNOT}_{A \rightarrow B}$$

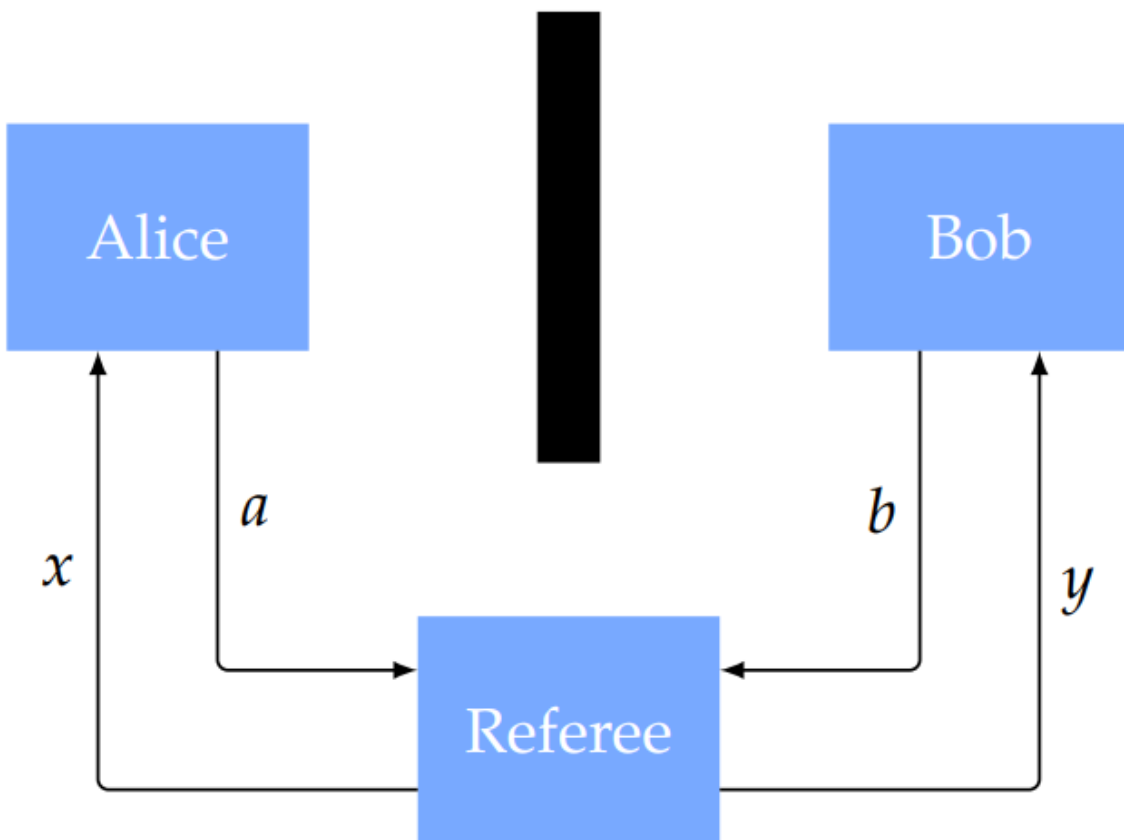
$$= I_Q \otimes \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{pmatrix}$$

$\{|00\rangle, |01\rangle, |10\rangle, |11\rangle\}$ basis for (A, B)

Mi az a kvantumfölény?

- Copilot:
Létezik egy problémaosztály, amelyet egy **kvantumalgorithmus** hatékonyan kezel, míg minden ismert klasszikus algoritmus ehhez lényegesen több, erőforrást igényel.

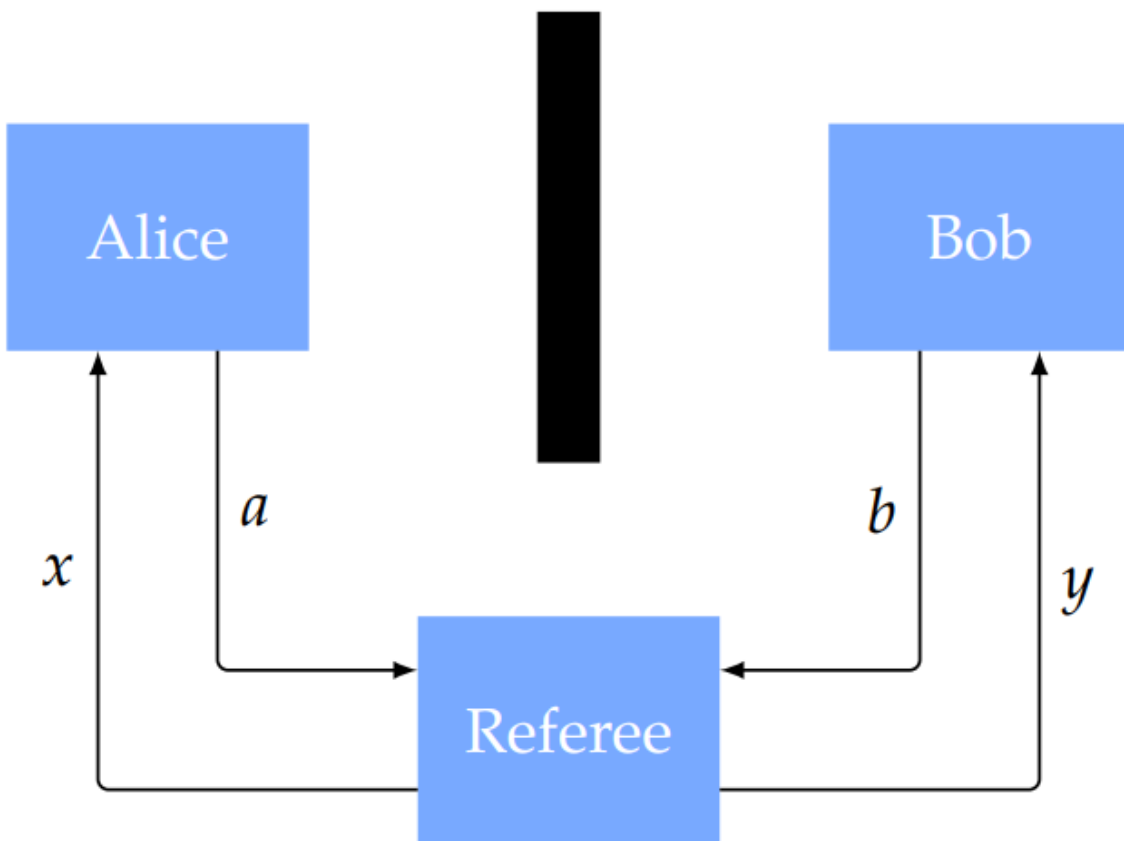
CHSH játék



- $x, y, a, b \in \{0, 1\}$.
- $P(0,0)=P(0,1)=P(1,0)=P(1,1)=1/4$
- Az (a,b) győz, ha $a \oplus b = x \wedge y$.

(x, y)	nyer	veszít
$(0, 0)$	$a = b$	$a \neq b$
$(0, 1)$	$a = b$	$a \neq b$
$(1, 0)$	$a = b$	$a \neq b$
$(1, 1)$	$a \neq b$	$a = b$

CHSH játék

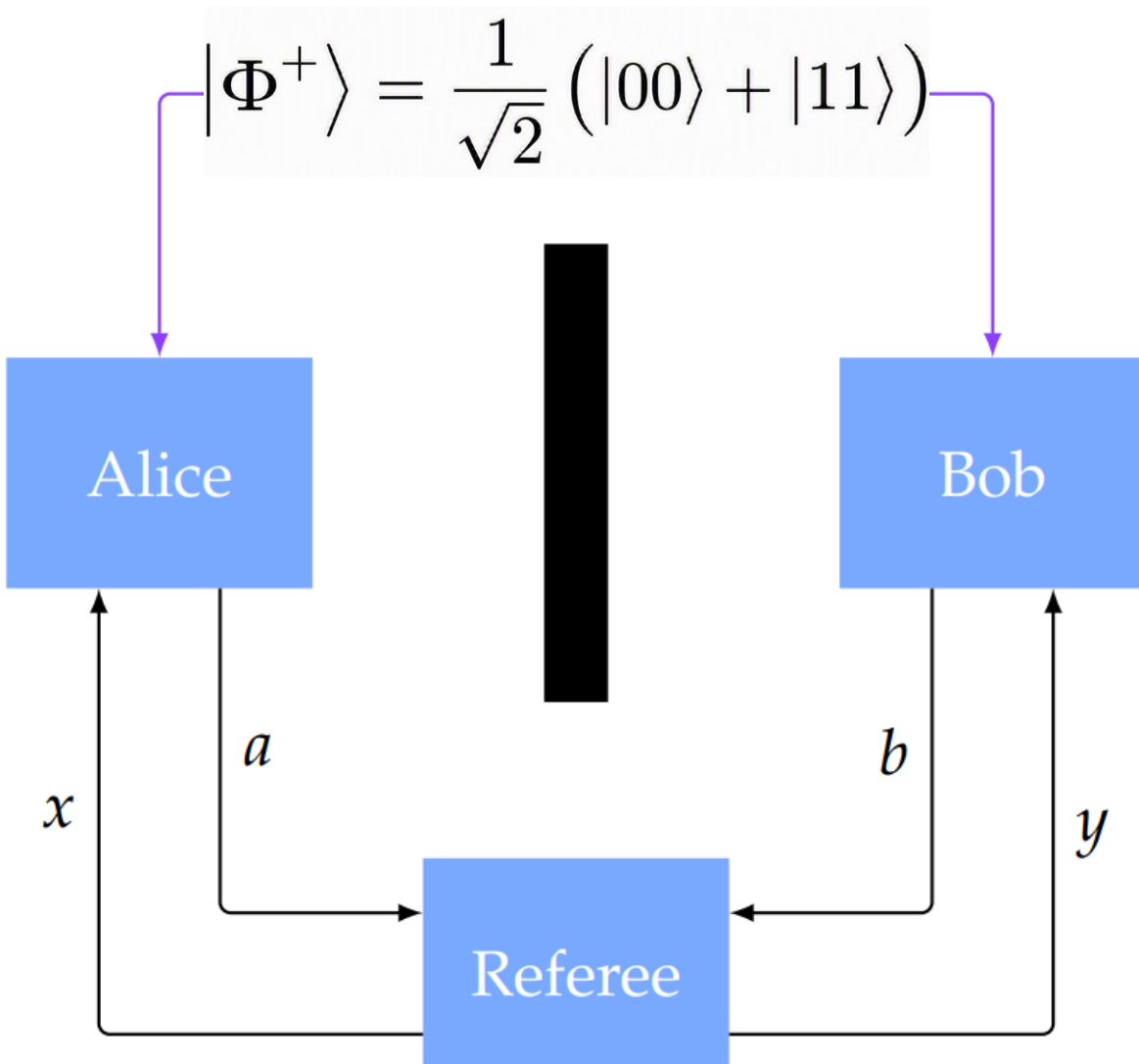


$$P(\text{győzelem}) \leq 75\%$$

- $x, y, a, b \in \{0, 1\}$.
- $P(0,0)=P(0,1)=P(1,0)=P(1,1)=1/4$
- Az (a,b) győz, ha $a \oplus b = x \wedge y$.

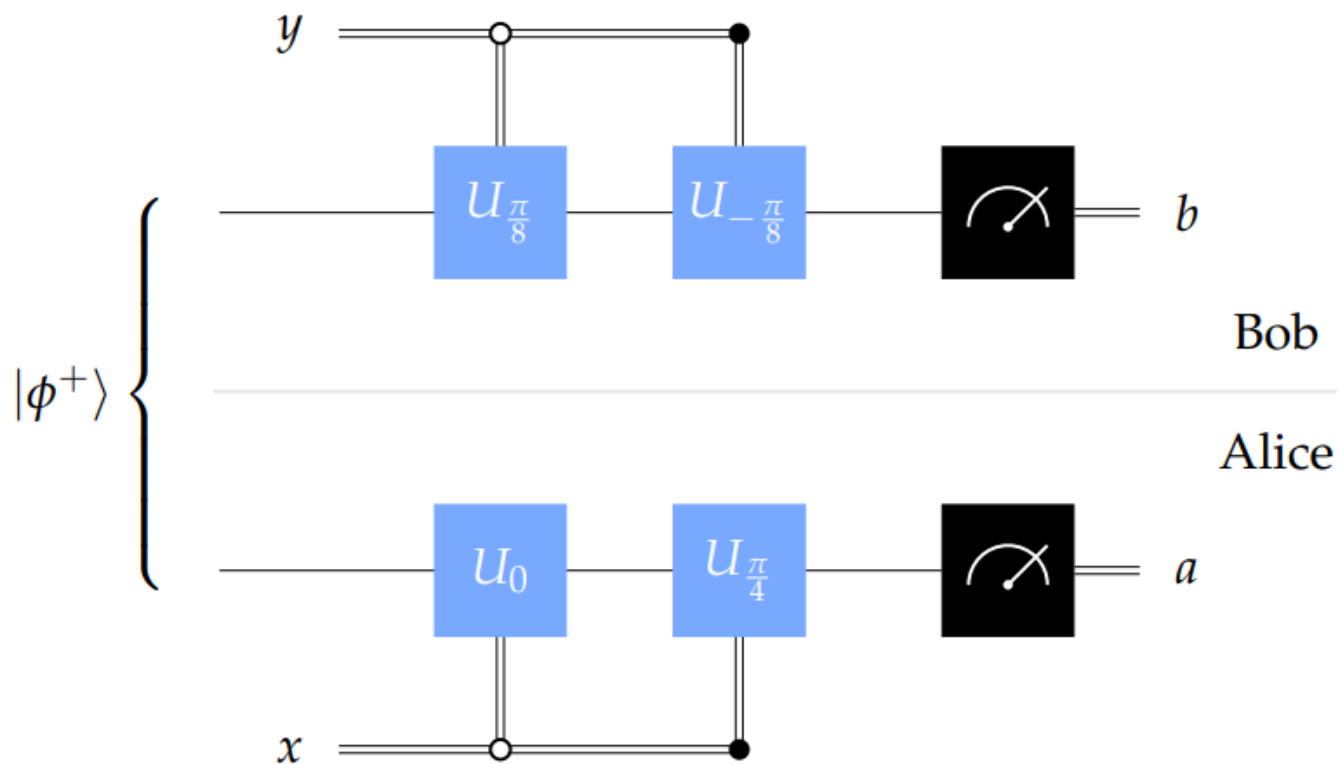
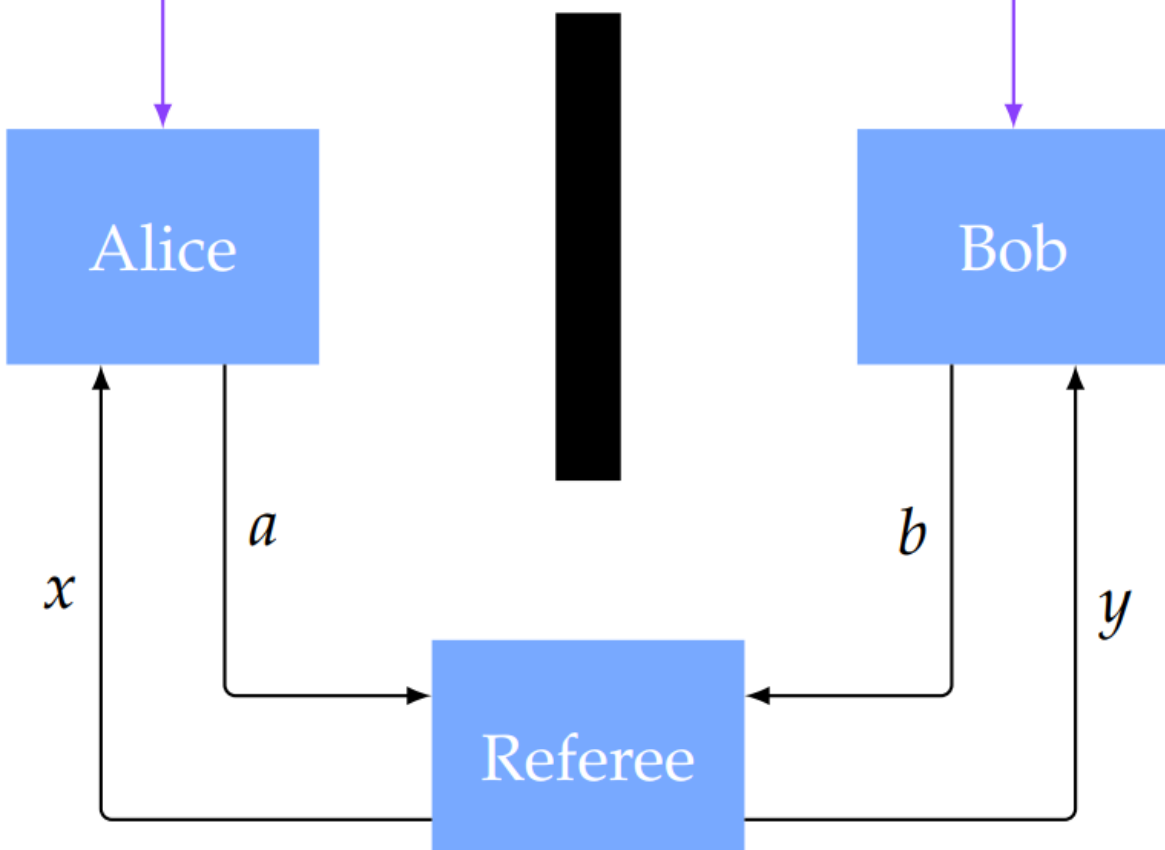
(x, y)	nyer	veszít
$(0, 0)$	$a = b$	$a \neq b$
$(0, 1)$	$a = b$	$a \neq b$
$(1, 0)$	$a = b$	$a \neq b$
$(1, 1)$	$a \neq b$	$a = b$

CHSH játék-kvantum

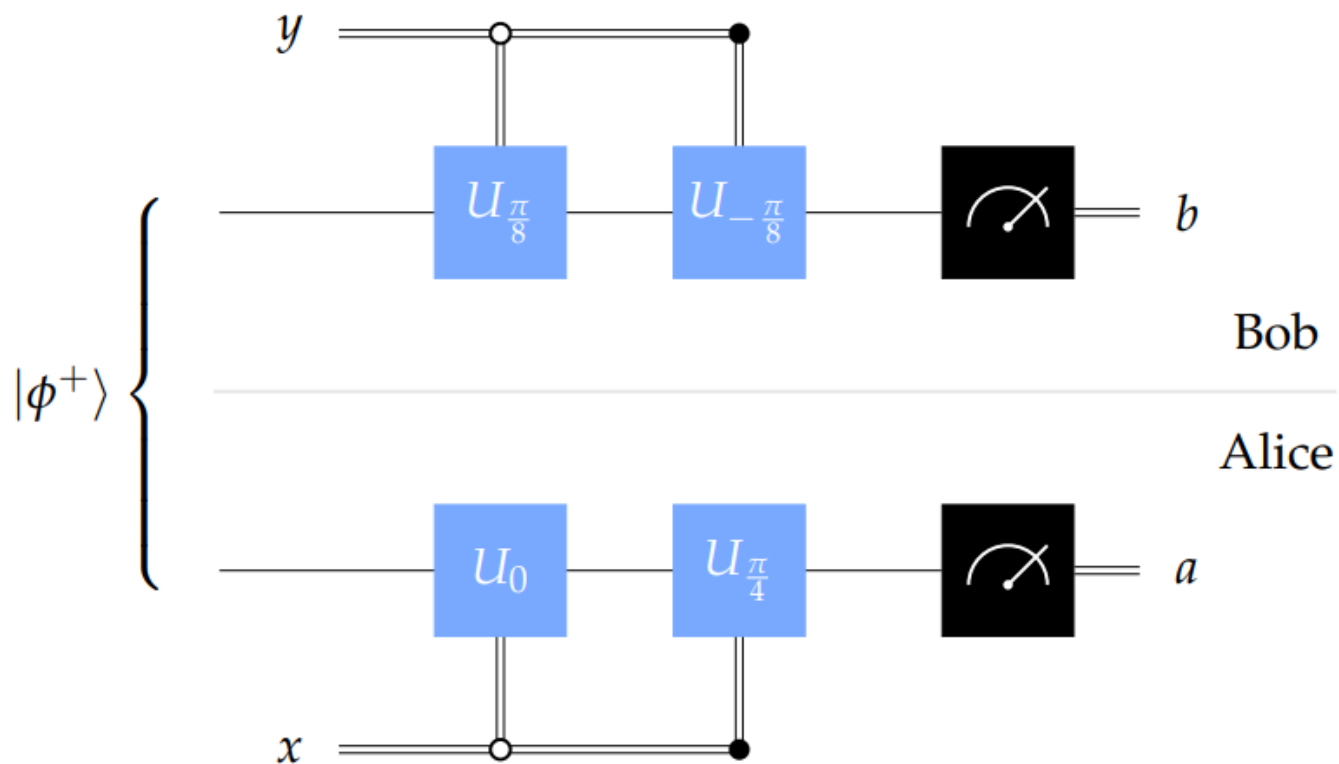
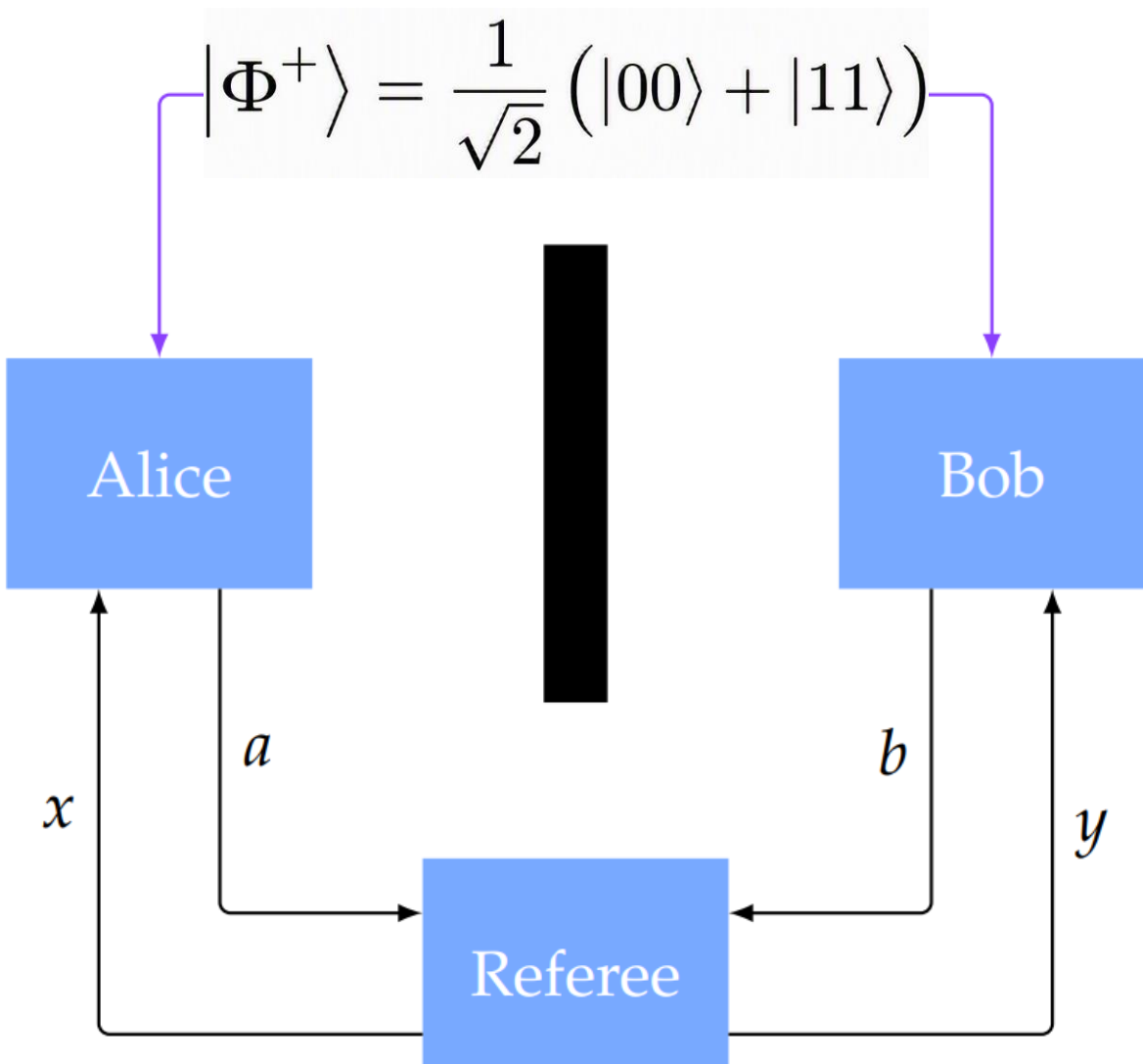


CHSH játék-kvantum

$$|\Phi^+\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}} (|00\rangle + |11\rangle)$$



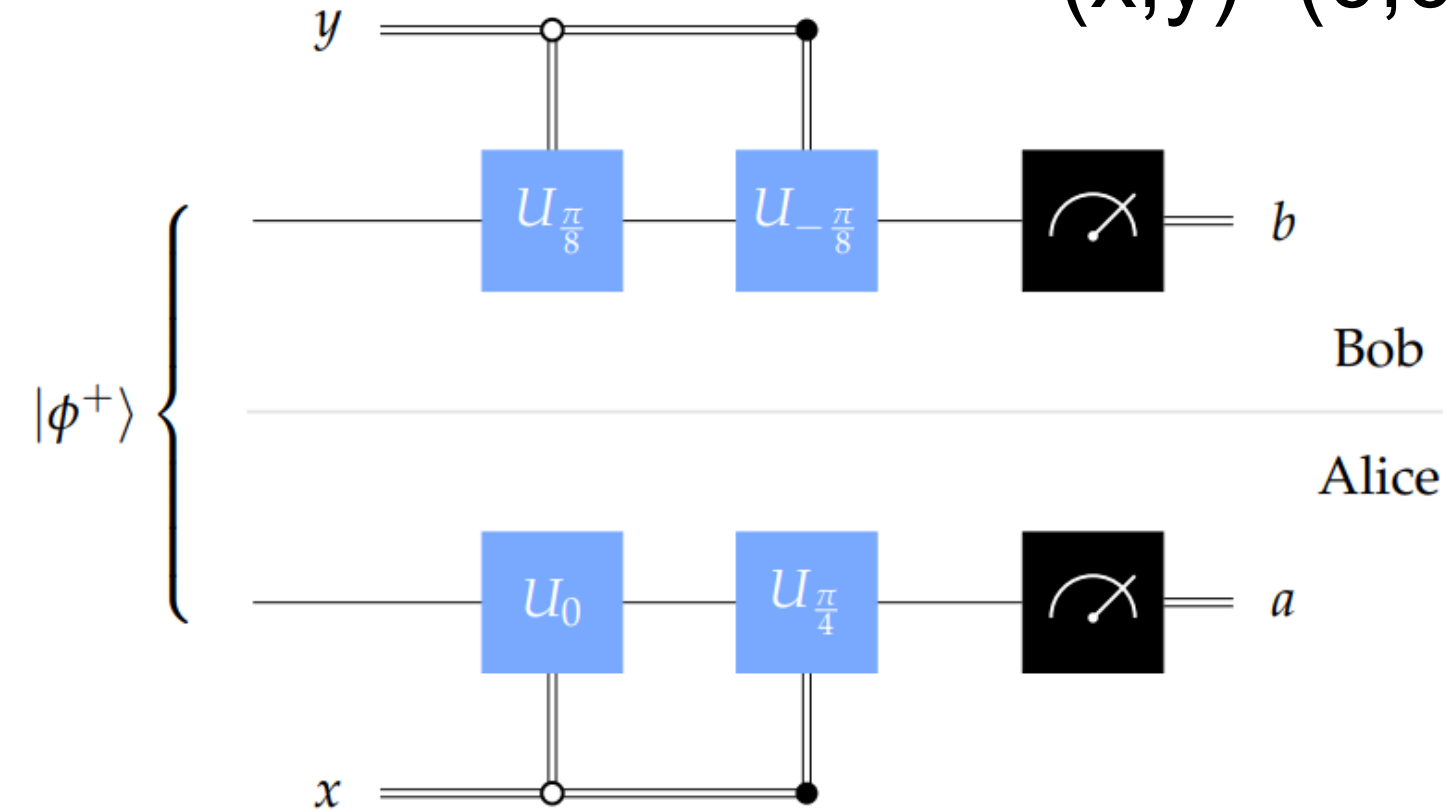
CHSH játék-kvantum



$$U_\theta = \begin{pmatrix} \cos(\theta) & \sin(\theta) \\ \cos(\theta + \pi/2) & \sin(\theta + \pi/2) \end{pmatrix}$$

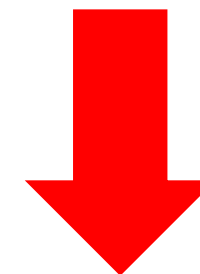
CHSH játék-kvantum

$(x,y)=(0,0)$ eset: $(U_0 \otimes U_{\pi/8})|\phi^+\rangle$



CHSH játék-kvantum

$(x,y)=(0,0)$ eset: $(U_0 \otimes U_{\pi/8})|\phi^+\rangle$

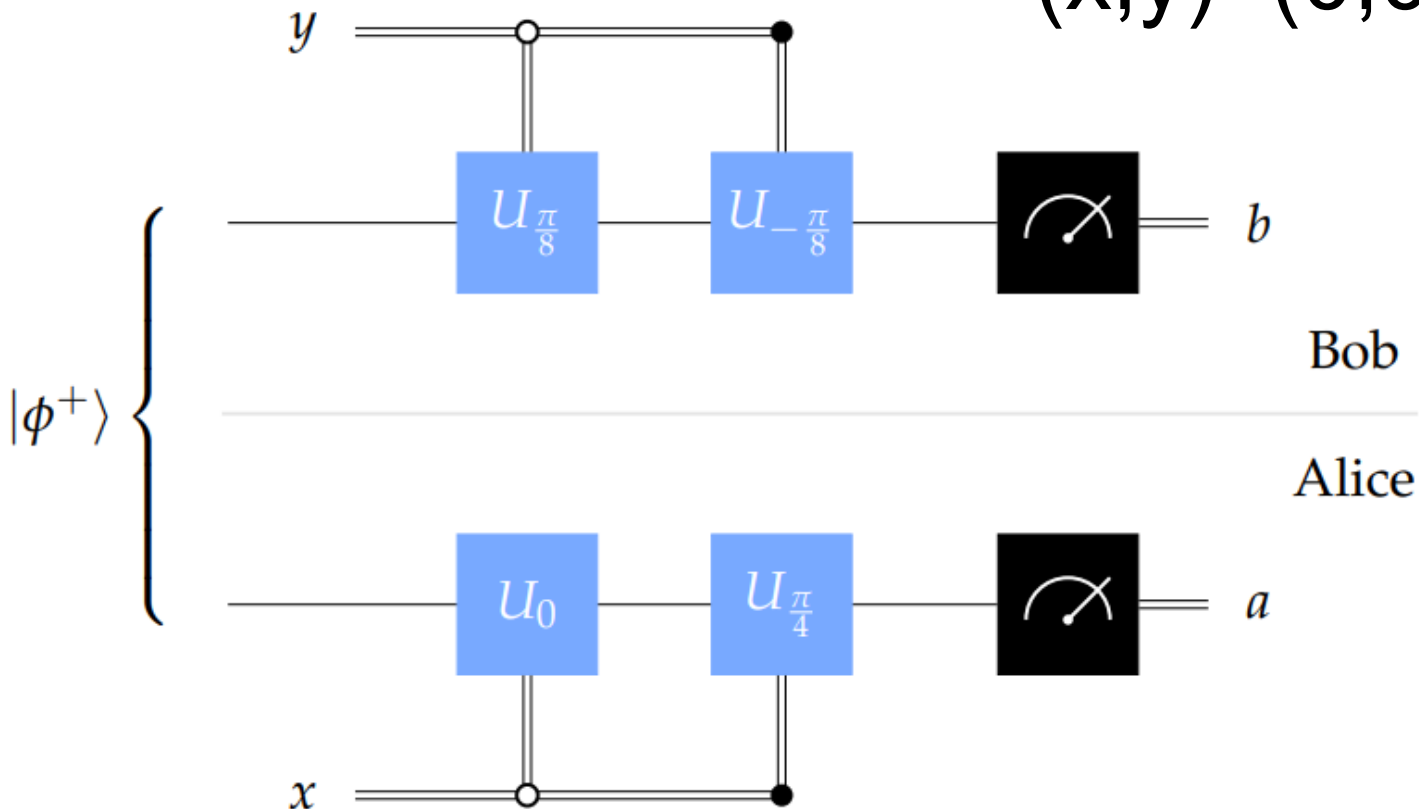


$$\Pr(a = b) = \frac{2 + \sqrt{2}}{4}$$

$$\Pr(a \neq b) = \frac{2 - \sqrt{2}}{4}$$

$$\frac{2 + \sqrt{2}}{4} \approx 0.85$$

Minden lehetséges (x,y) pár esetén:



Grover keresési algoritmus

- Copilot:
Létezik egy problémaosztály, amelyet egy **kvantumalgoritmus hatékonyan** kezel, míg minden ismert klasszikus algoritmus ehhez lényegesen több, erőforrást igényel.

Grover keresési algoritmus

- Copilot:
Létezik egy problémaosztály, amelyet egy kvantumalgoritmus hatékonyan kezel, míg minden ismert klasszikus algoritmus ehhez lényegesen több, erőforrást igényel.
- Feladat: Keressünk meg egy helyes elemet N lehetőség közül!

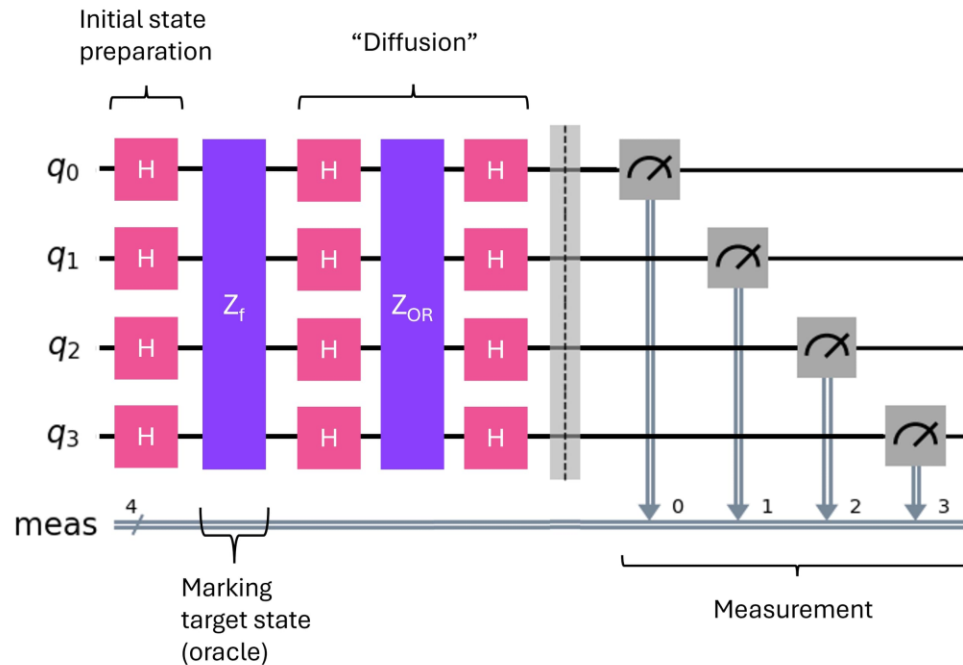
Grover keresési algoritmus

- Copilot:
Létezik egy problémaosztály, amelyet egy kvantumalgoritmus hatékonyan kezel, míg minden ismert klasszikus algoritmus ehhez lényegesen több, erőforrást igényel.
- Feladat: Keressünk meg egy helyes elemet N lehetőség közül!

klasszikus keresés $O(N)$,
kvantum algoritmus $O(\sqrt{N})$

Grover keresési algoritmus

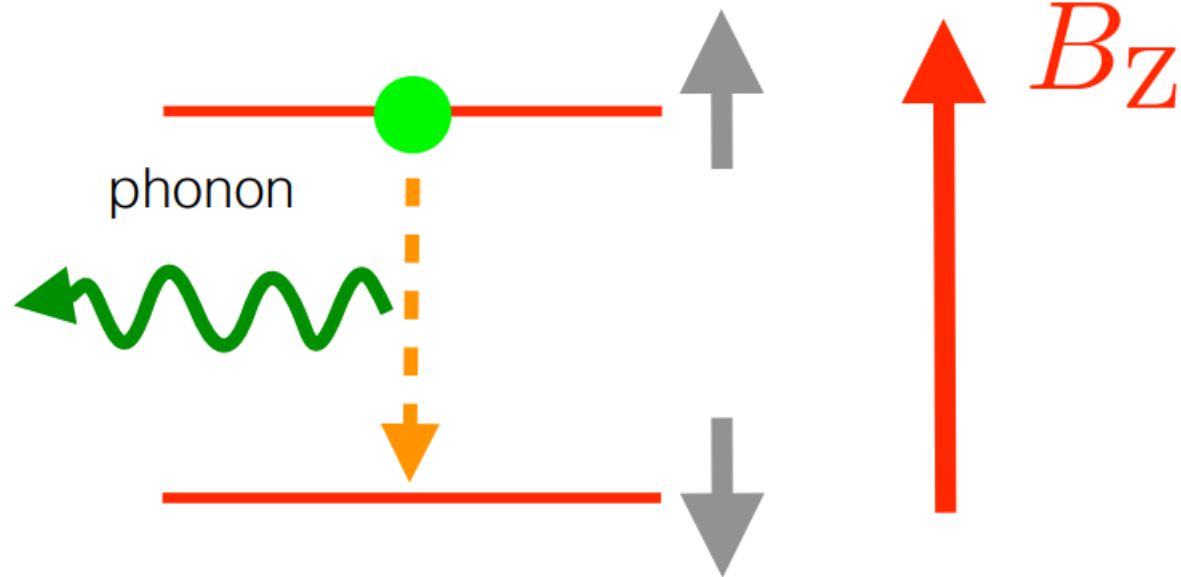
- Copilot:
Létezik egy problémaosztály, amelyet egy kvantumalgoritmus hatékonyan kezel, míg minden ismert klasszikus algoritmus ehhez lényegesen több, erőforrást igényel.
- Feladat: Keressünk meg egy helyes elemet N lehetőség közül!



klasszikus keresés $O(N)$,
kvantum algoritmus $O(\sqrt{N})$

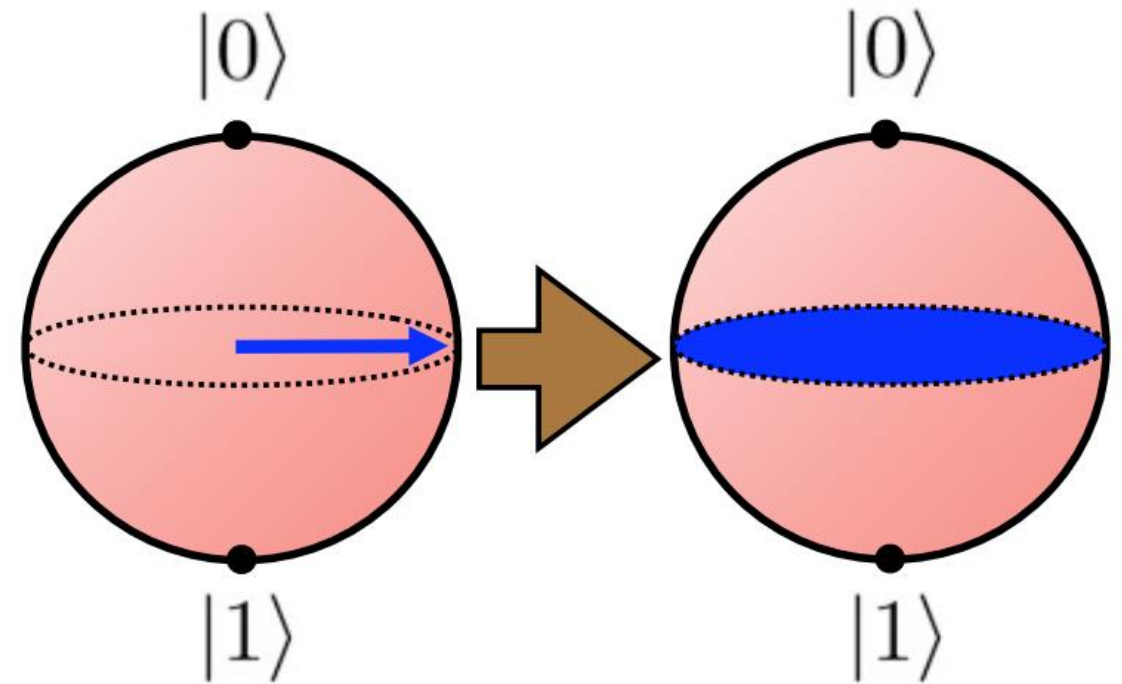
Mi a baj?

Relaxáció



$$T_1 = 1\text{s}; T_2 = 1\text{ms}$$

Fázisdekoherencia



$$\bar{p}_x(t) = e^{-(t/T_2^*)^2}$$