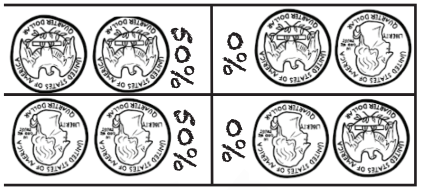
量子もつれ
(エンタングルメント)

もし、コイントス同士が もつれていたら!?

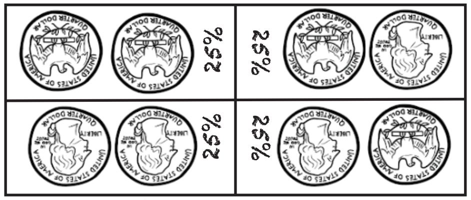
次のような状況が考えられるよ;



コイントスが独立なときは…

1枚のコイン;

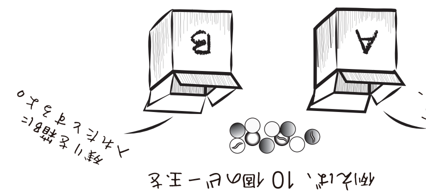
2枚のコイン;



数学的に「もつれ」させる

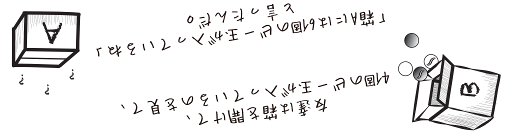
2つのものごとに依存関係があることがあるよ

例えば、10個のビー玉を



2つの箱を閉じて、箱Bを友達に渡すと

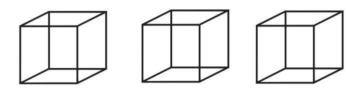
友達は箱を開けて、
4個のビー玉が入っているのを見て、
「箱Aには6個のビー玉が入っているね」
と言ったんだ。



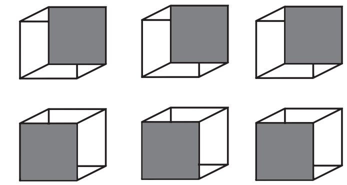
どうやって友だちは箱 A を開けずに
何個入っているかが分かったんだろう?

そうか!片方の箱の中のビー玉の数が、
もう片方のに依存するからなんだ!

脳は視覚的なデータを「もつれ」させている



上の箱を見てごらん。
すべて同じ方向を向いているよ!
右上か左下のどちらかだね。

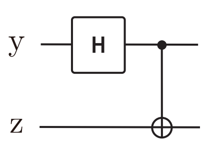


手がかりが無いと、
脳はどちらにも見えてしまうんだ。

量子の世界における「もつれ」

量子ビットは特別な方法によって
もつれさせられるよ。

次の量子回路で $y = |0\rangle$ と $z = |0\rangle$
のときをもつれさせてみよう;



そしたら、$|yz\rangle$ は
同じ確率で $|00\rangle$ と $|11\rangle$ になるんだ。
つまり、yとzが異なる状態と
測定されることはないね!

$$\tfrac{1}{\sqrt{2}}|00\rangle + 0|01\rangle + 0|10\rangle + \tfrac{1}{\sqrt{2}}|11\rangle$$

この回路では、
もつれている量子ビットの片方を測定すると、
もう片方は必ず同じ値を取るんだ。

さて、アインシュタインが信用しなかった数学は…

1. アダマールゲートをyに作用させて、y' を生成

$$\underbrace{\boxed{H}}_{\frac{1}{\sqrt{2}}\begin{bmatrix}1 & 1\\ 1 & -1\end{bmatrix}} \quad \begin{matrix}|0\rangle\\ \downarrow \\ \begin{bmatrix}1\\0\end{bmatrix}\end{matrix} \quad \begin{matrix} = \\ \\ = \end{matrix} \quad \underbrace{\tfrac{1}{\sqrt{2}}|0\rangle + \tfrac{1}{\sqrt{2}}|1\rangle}_{\frac{1}{\sqrt{2}}\begin{bmatrix}1\\1\end{bmatrix}}$$

2. 2量子ゲートを作用させるために、
y'とzの確率を結合

$$y' = \tfrac{1}{\sqrt{2}}|0\rangle + \tfrac{1}{\sqrt{2}}|1\rangle \quad と \quad z = 1|0\rangle + 0|1\rangle$$

$$\tfrac{1}{\sqrt{2}}|00\rangle + 0|01\rangle + \tfrac{1}{\sqrt{2}}|10\rangle + 0|11\rangle$$

行列での記法に変換 $\longrightarrow \frac{1}{\sqrt{2}}\begin{bmatrix}1\\0\\1\\0\end{bmatrix}$

3. CNOT ゲートをzとy'に作用

$$\overbrace{\begin{bmatrix}1&0&0&0\\0&1&0&0\\0&0&0&1\\0&0&1&0\end{bmatrix}}^{\text{CNOT}} \frac{1}{\sqrt{2}}\begin{bmatrix}1\\0\\1\\0\end{bmatrix} = \frac{1}{\sqrt{2}}\begin{bmatrix}1\\0\\0\\1\end{bmatrix}$$

量子ゲートは
もはや数学上のものではない。

物理的に
作れるようになったんだ!

https://www.epiqc.cs.uchicago.edu/resources/

March 2019 (v2)

Translated by QCSC, Kyushu University, Japan

This work is funded in part by EPiQC,
an NSF Expedition in Computing,
under grant 1730449

AN NSF EXPEDITION IN COMPUTING
EPiQC
https://www.epiqc.cs.uchicago.edu/