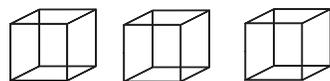


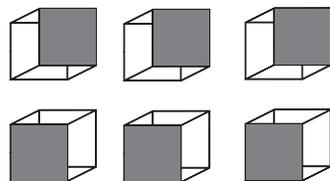
量子もつれ (エンタングルメント)



脳は視覚的なデータを「もつれ」させている

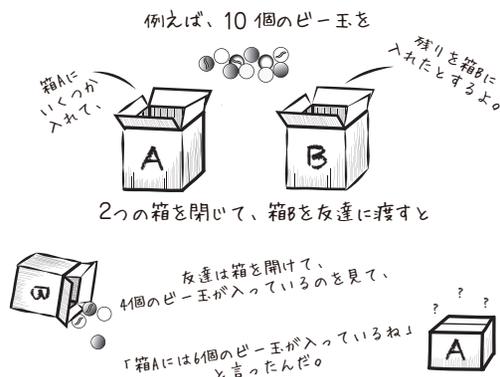


上の箱を見てごらん。
すべて同じ方向を向いているよ！
右上か左下のどちらかだね。



手がかりが無いと、
脳はどちらにも見えてしまうんだ。

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



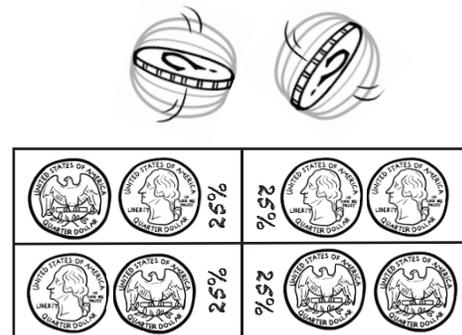
どうやって友達は箱Aを開けずに何個入っているかが分かったんだろう？

そうか！片方の箱の中のビー玉の数が、もう片方に依存するからなんだ！

コイントスが独立なときは...

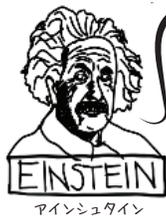


2枚のコイン:



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:

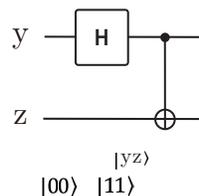


信じられない!
私はそれを信じない。
数学が間違っているに
違いない!

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:



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

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

$$\frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & -1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} |0\rangle \\ |0\rangle \end{bmatrix} = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} |0\rangle + |1\rangle \\ |0\rangle \end{bmatrix}$$

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

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

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

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

3. CNOTゲートを z と y' に作用

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & \frac{1}{\sqrt{2}} \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix} = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix}$$

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/>

May 2023

Translated by BCSC, Kyushu University, Japan

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

