

Qiskit Fall Fest 2024

量子コンピューター入門

Dec 19, 2024

Created by Kifumi Numata

Edited & Presented by Hiromichi Hayashi

Original: https://github.com/quantum-tokyo/kawasaki-quantum-camp/blob/main/day1/20240730_Intro.pdf



IBM Quantum



量子とは？

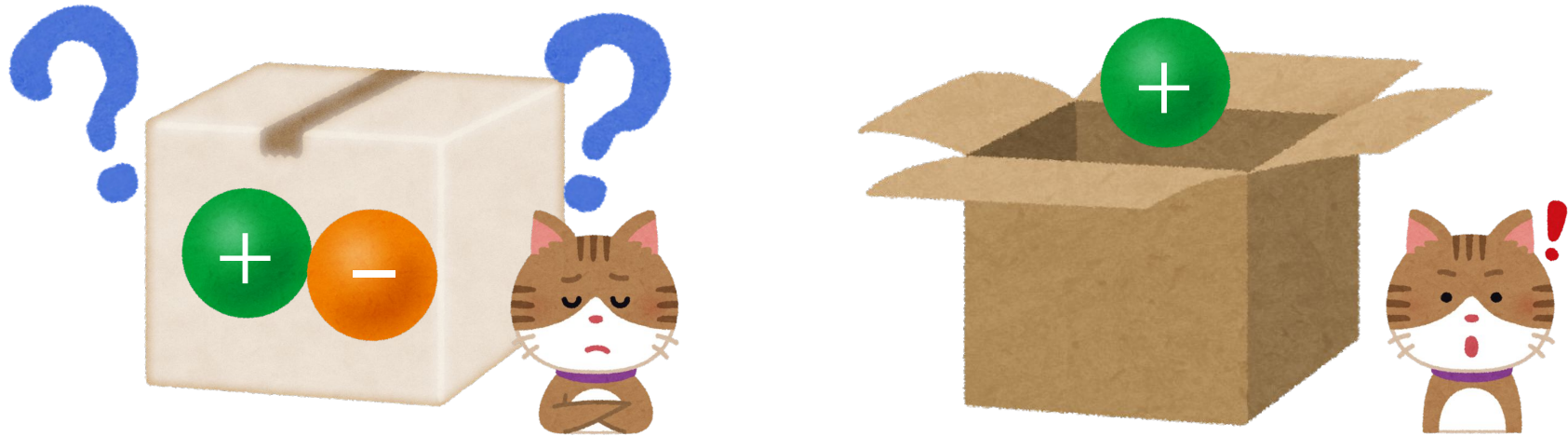
量子の不思議な現象：量子重ね合わせ

量子は1つしかなくても、複数の状態を同時にとることができます。



量子の不思議な現象：量子重ね合わせ

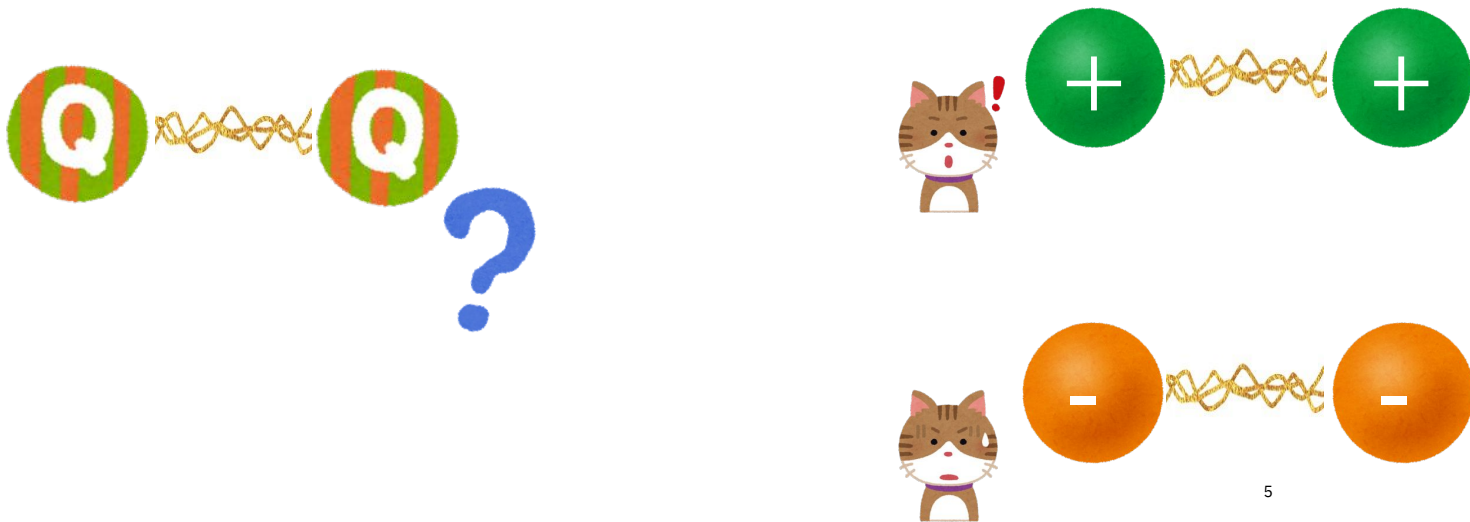
量子は1つしかなくても、複数の状態を同時にとることができます。



例えば、+と-の2つの状態が共存していて、観測するとどちらかの状態に決まります

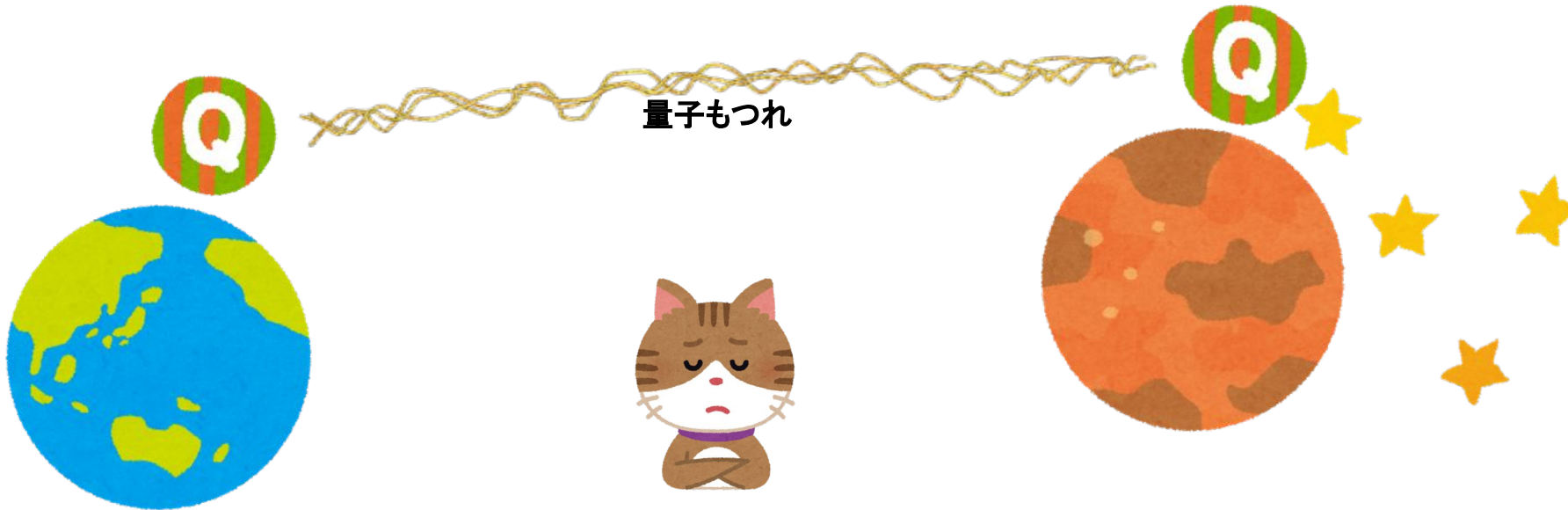
量子の不思議な現象：量子もつれ

「量子もつれ」という特別な関係のふたごの量子は、
片方の状態を測定すると、もう片方の状態が測定しなくても分かります。
(片方しか測定していないのに！)



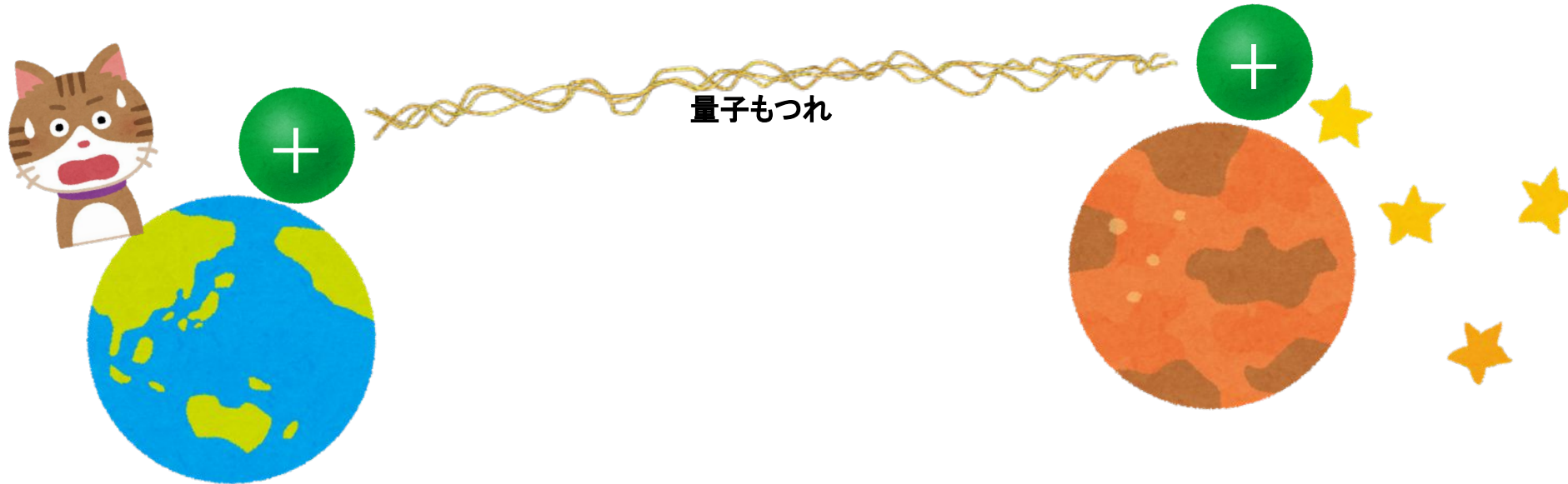
量子の不思議な現象：量子もつれ

「量子もつれ」状態のふたごの量子を離れ離れにします。
地球の量子を測定して「+」と判明したら、火星の量子の状態はどうなるでしょうか？



量子の不思議な現象：量子もつれ

「量子もつれ」状態のふたごの量子を離れ離れにしても
片方を測定するだけで、遠く離れたもう片方の量子の状態は測定しなくても分かります！



自然界は古典的な理論では説明できない。
だから、自然を予測したいのであれば、
量子力学の原理でコンピューターを作らなくてはならない。

Simulating Physics with Computers

Richard P. Feynman

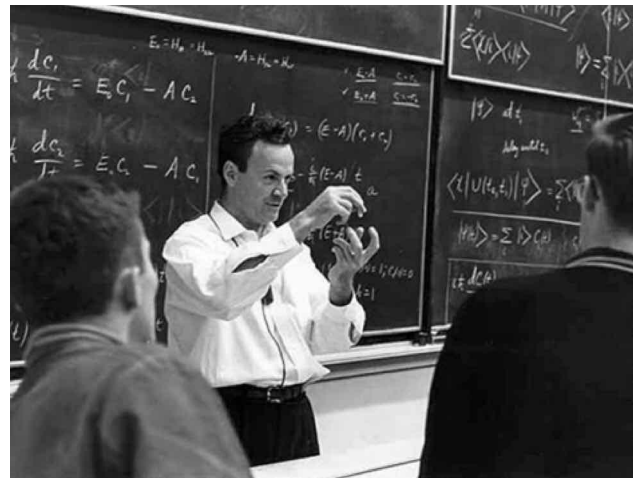
Department of Physics, California Institute of Technology, Pasadena, California 91107

Received May 7, 1981

International Journal of Theoretical Physics, Vol 21, Nos. 6/7, 1982
コンピューターによる物理現象のシミュレーション

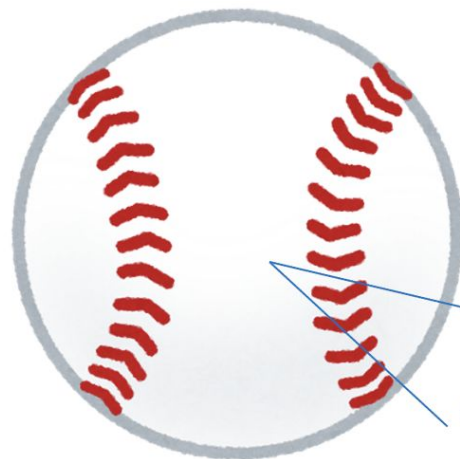
Richard P. Feynman

Department of Physics, California Institute of Technology, Pasadena,
California 91107

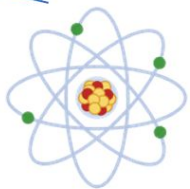


ファインマン先生

量子コンピューターは 量子の現象を仕組みとして使ったコンピューター



直径7cm

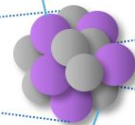


原子

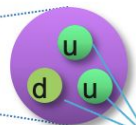
直径0.1nm
ナノメートル

量子力学は、ミクロの世界を表現する物理法則
「重ね合わせ」「量子もつれ(エンタングルメント)」などの量子現象を表現する手法。

陽子



中性子

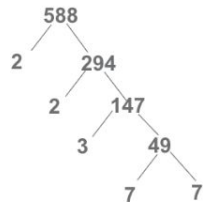


クォーク

量子コンピューター は、この自然界に存在する**量子力学**の法則を利用したもの。これまでのコンピューターの計算処理とは根本的に異なる手法を使っています。

従来のコンピューターが苦手な分野

2048ビットの整数(619桁の整数)の
素因数分解 (量子だと8時間で解ける!?[2])



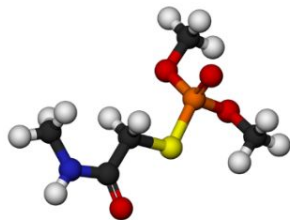
素因数分解



新しいセキュリティー技術



小さな分子のシミュレーションは
スーパーコンピューターでも困難



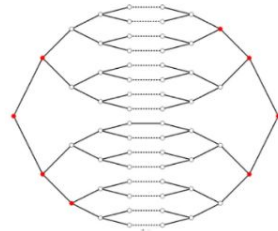
化学シミュレーション



創薬、新しい材料研究



従来のコンピューターでは真の
乱数生成はできない

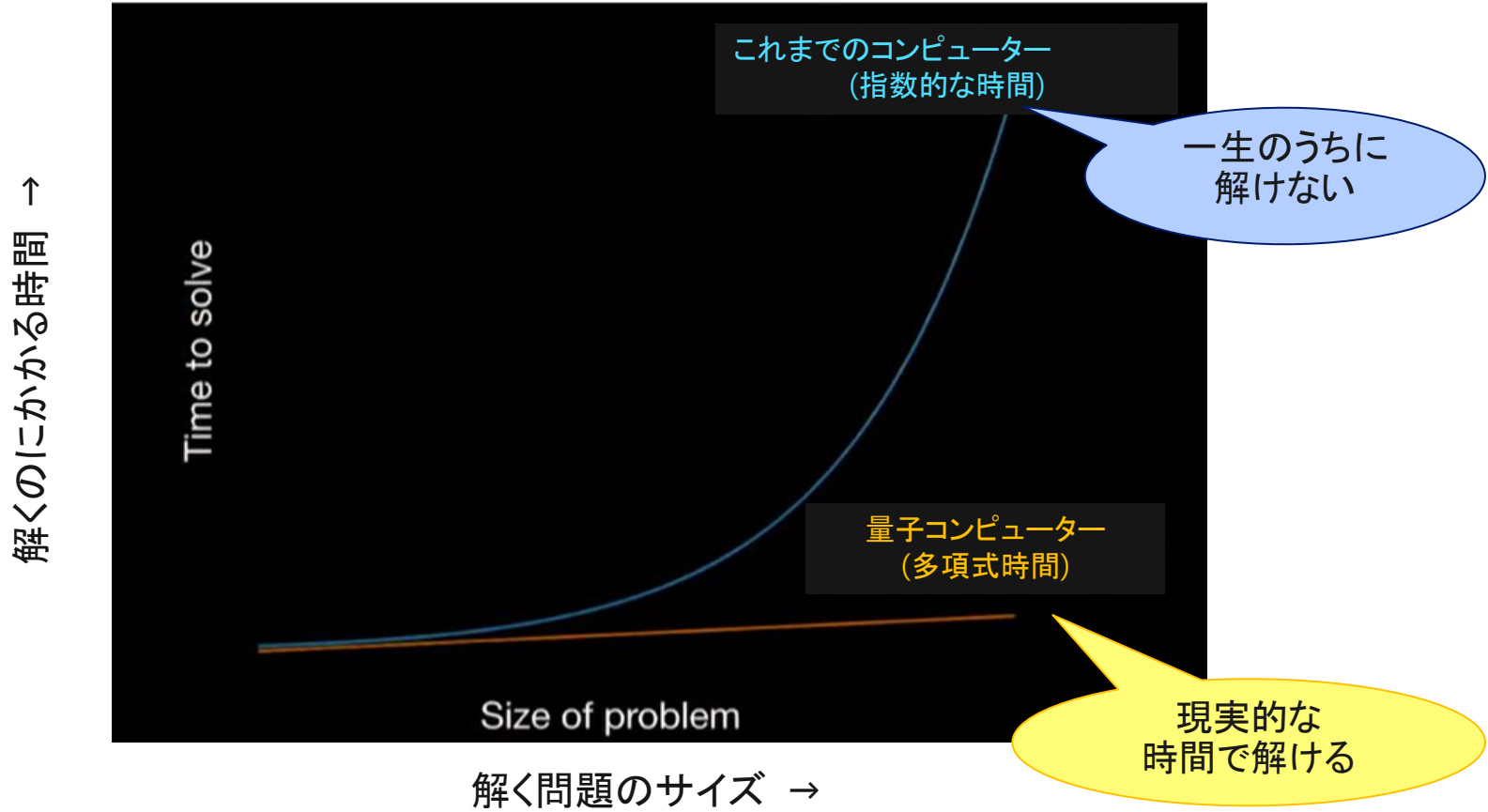


乱択アルゴリズム



探索、決定問題への応用

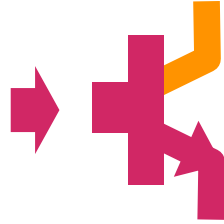




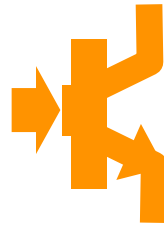
量子計算入門

コンピューターの中は、ビットで計算

スイッチ



オフ



オン

ビット

0

1

例)

文字列	ビット
7	111
A	0100 0001



いつも使っている コンピューターのビット

0 または 1

どちらか

コイン



おもて

コイン



うら

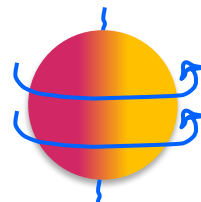
量子コンピューターの 量子ビット

0 と 1

両方

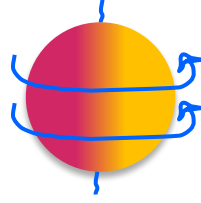
「重ね合わせ」

くるくる回っているコイン(イメージ)



測定すると表か裏にバシッと決まる

重ね合わせ状態の量子ビット



測定



0

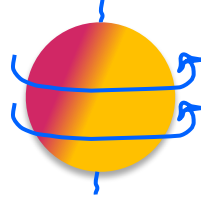
50%



1

50%

重ね合わせ状態の量子ビット



五分五分でない状態も作れる



測定



0

10%



1

90%

2ビット

00

または

01

または

10

または

11

のうちどれか1つ

2量子ビット

00

と

01

と

10

と

11

の重ね合わせ

2ビット

00

または

01

または

10

または

11

のうちどれか1つ

2量子ビット

00 25%

と

01 25%

と

10 25%

と

11 25%

の重ね合わせ

2ビット



2量子ビット



の重ね合わせ

3ビット



3量子ビット



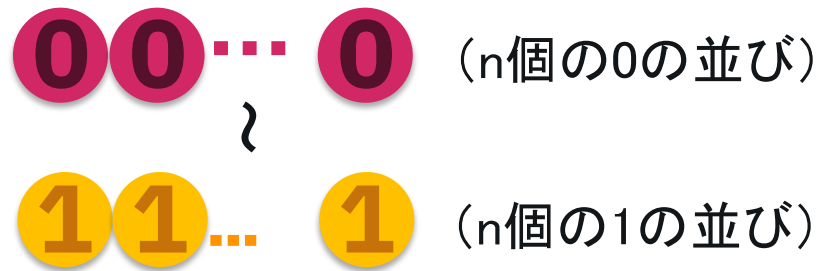
の重ね合わせ

nビット



までの 2^n 個の可能な状態の
いずれか

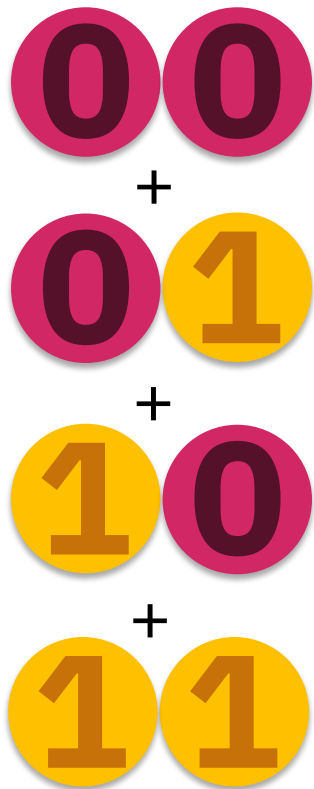
n量子ビット



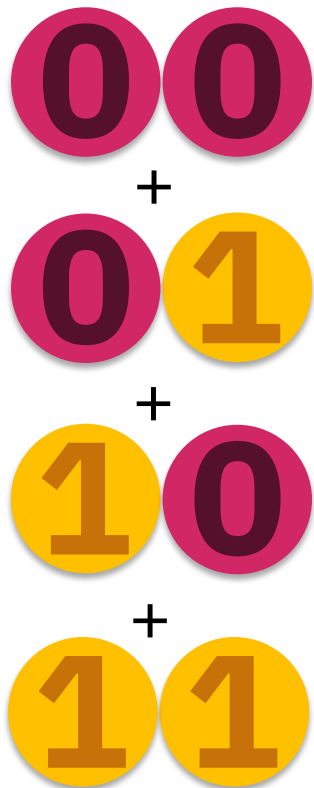
までの 2^n 個の可能な状態の
重ね合わせ

この重ね合わせは、量子計算の特徴の1つです。

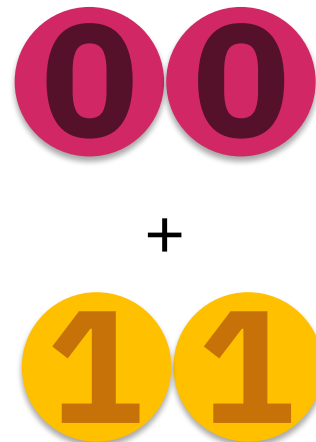
量子重ね合わせ



量子重ね合わせ



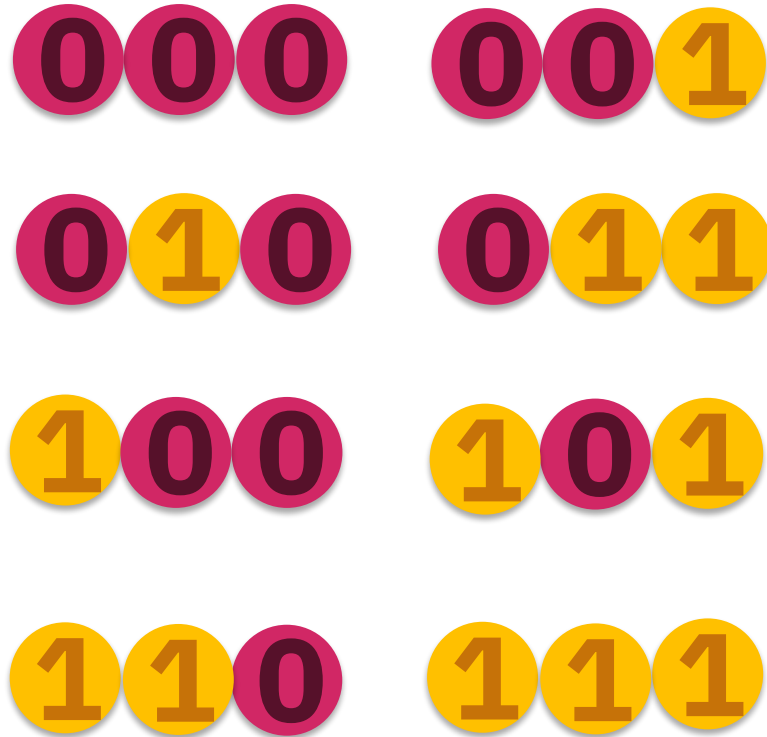
エンタングルメント (量子もつれ)



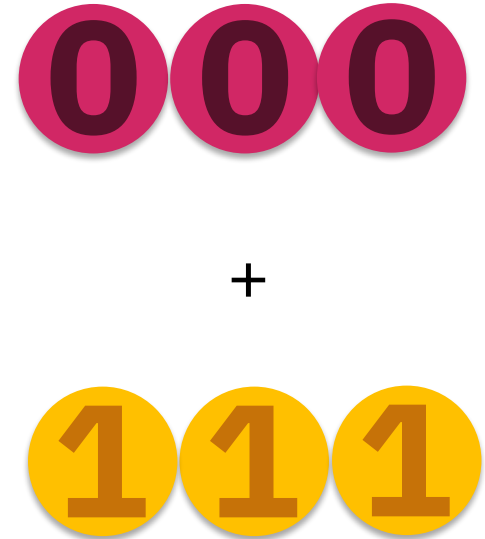
ベル状態

複数の量子ビット同士に
ある特定の強い相関関係がある

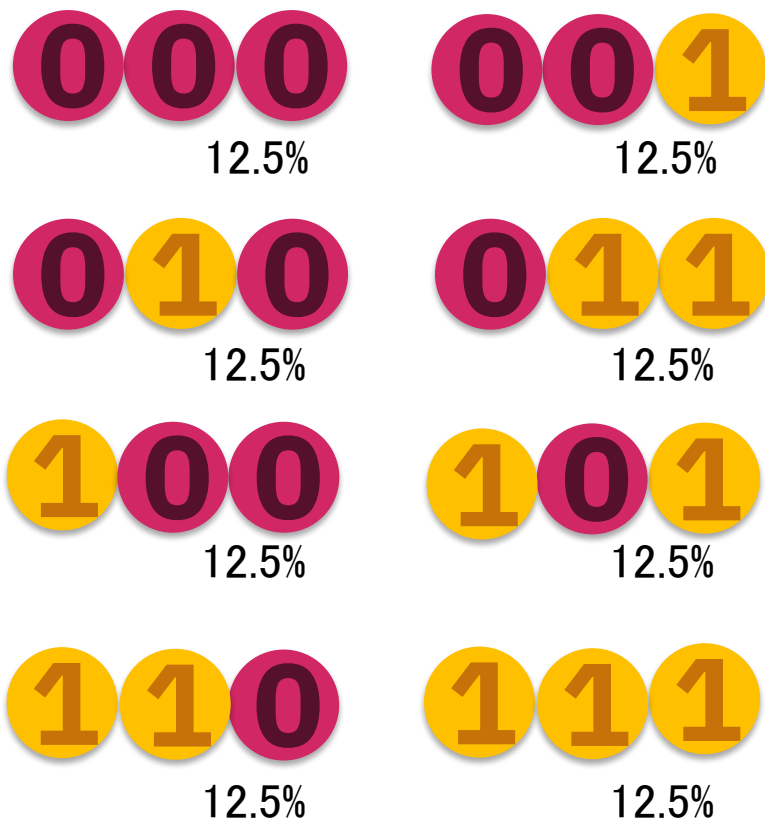
量子重ね合わせ



エンタングルメント (量子もつれ)



量子重ね合わせ



エンタングルメント (量子もつれ)

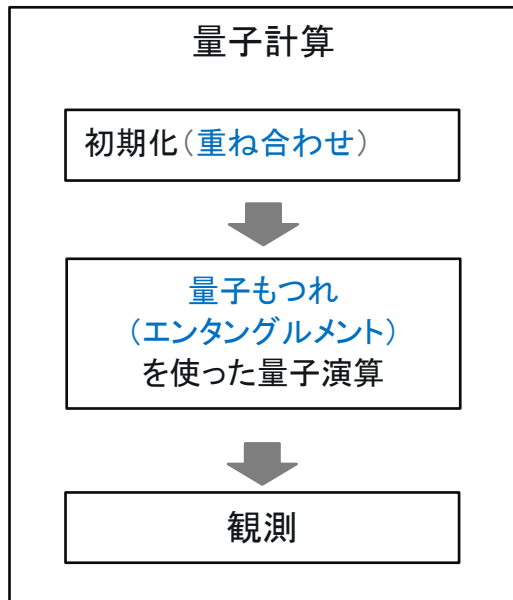


+

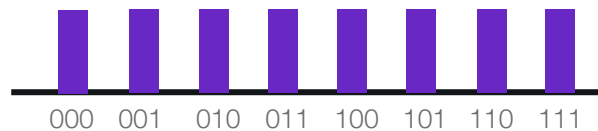


GHZ状態

量子計算まとめ



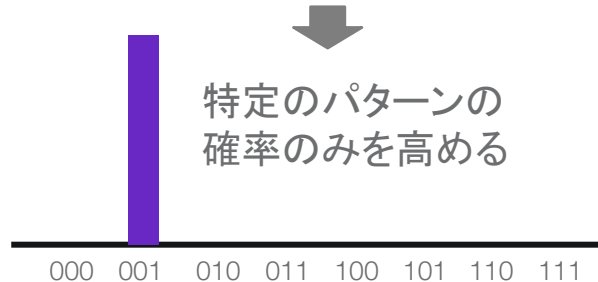
ex. 等確率重ね合わせ状態



量子ビットを干渉させる演算



特定のパターンの確率のみを高める



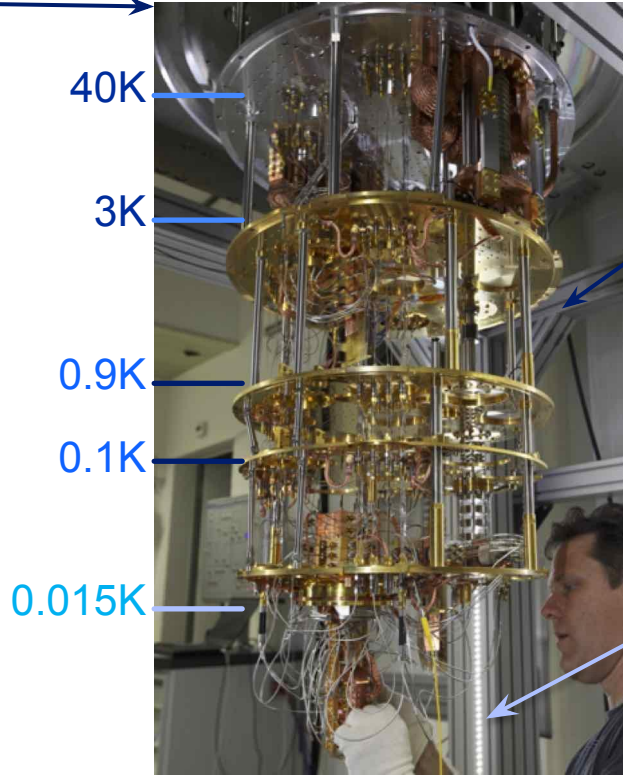
量子計算では、量子状態の重ね合わせを干渉(量子もつれ)させて、ほしい解を取り出す。

量子コンピューターの構造

室温



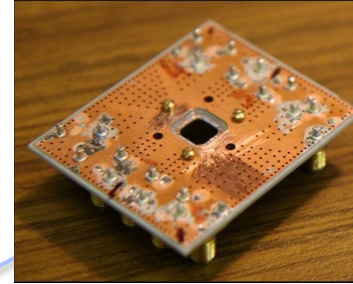
マイクロ波電子工学



宇宙マイクロ波
背景放射 2.7K



超電導量子ビットと共振
器のチップ



量子ビットチップの搭載
された基板は15mKの温
度で複数のシールドに
よって保護されている。

^3He と ^4He の混合体によって量
子ビットを15 mKまで冷却する
冷蔵庫

現在の量子コンピューターはまだノイズ
の影響を受けやすい

Noisy Intermediate-Scale Quantum Computer
ノイズのある小中規模の量子コンピューター



Fault-tolerant Universal Quantum Computer
エラー耐性のある万能量子コンピューターへ

まとめ

量子コンピューターは

- 量子力学の性質（重ね合わせ、もつれ）を使った新しい計算技術。
- 従来のコンピューターよりも速いのではなく、異なる原理(量子力学の原理)を活用して、効率良く解を導きだす。
- 黎明期のテクノロジーであり、実用化に向けて今後、量子システムの性能を全体的に高めていくことが必要。
- 創薬、新しい材料の開発、最適化問題、そしてAIなどへの応用も期待。

IBM