

# 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](https://github.com/quantum-tokyo/kawasaki-quantum-camp/blob/main/day1/20240730_Intro.pdf)



**IBM Quantum**

 **UTokyo**



# 量子とは？

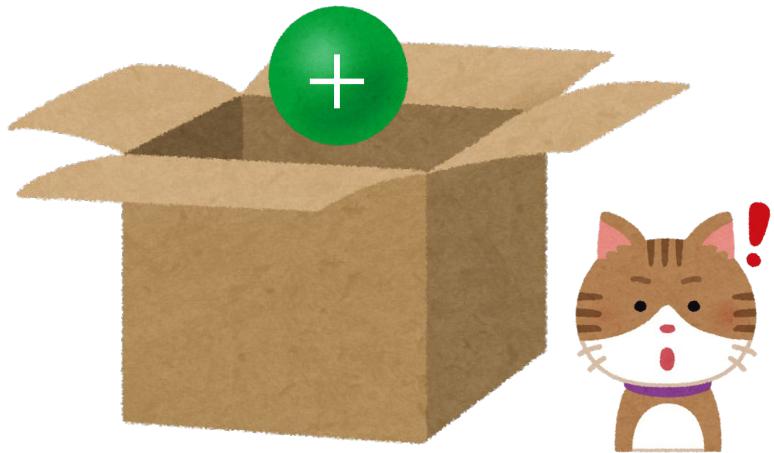
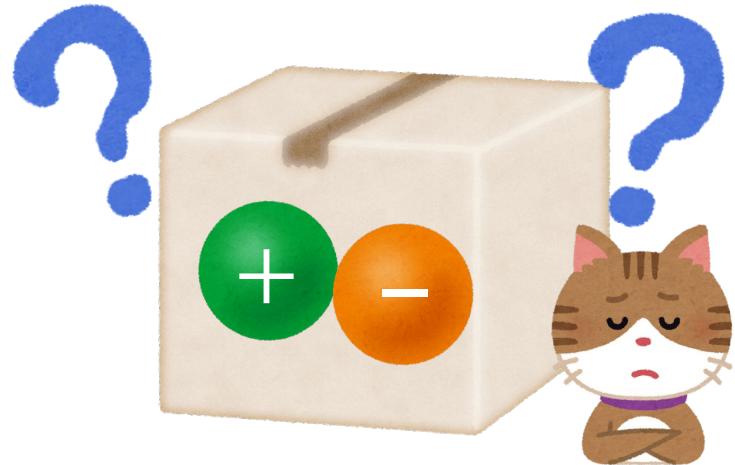
# 量子の不思議な現象：量子重ね合わせ

量子は1つしかなくとも、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

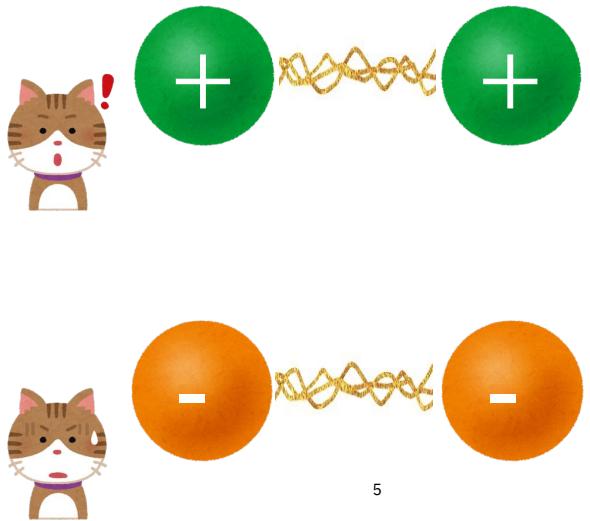
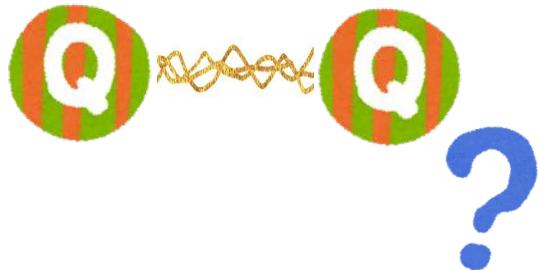
量子は1つしかなくとも、複数の状態を同時にとることができます。



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とも分かります。  
(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

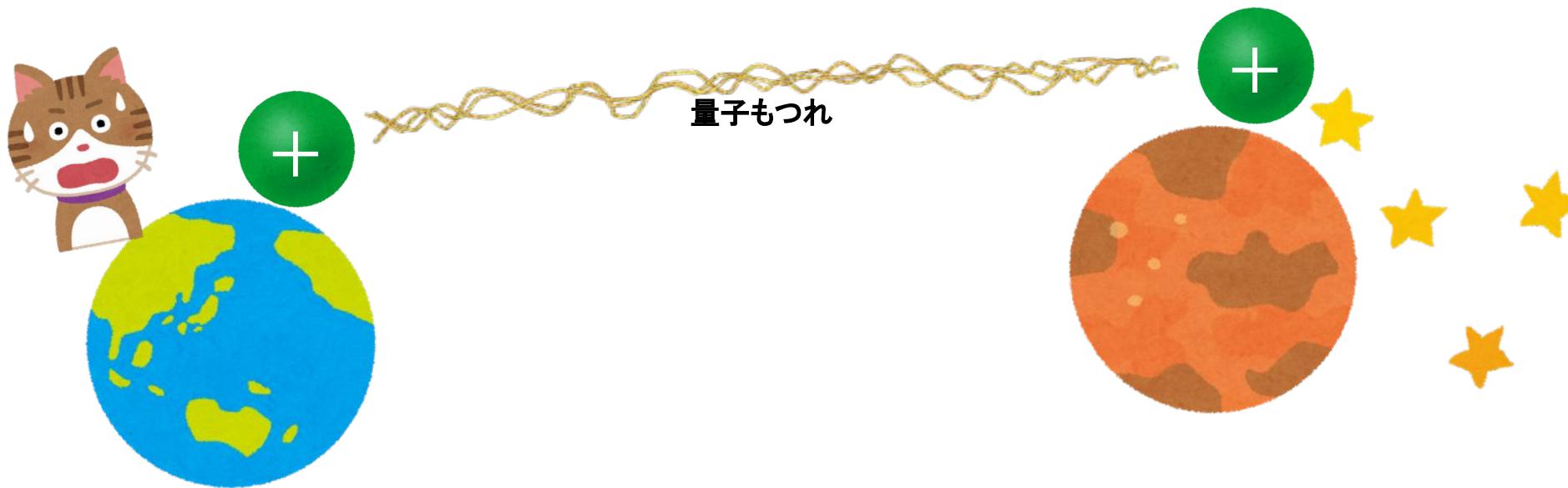
「量子もつれ」状態のふたごの量子を離れ離れにします。

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？



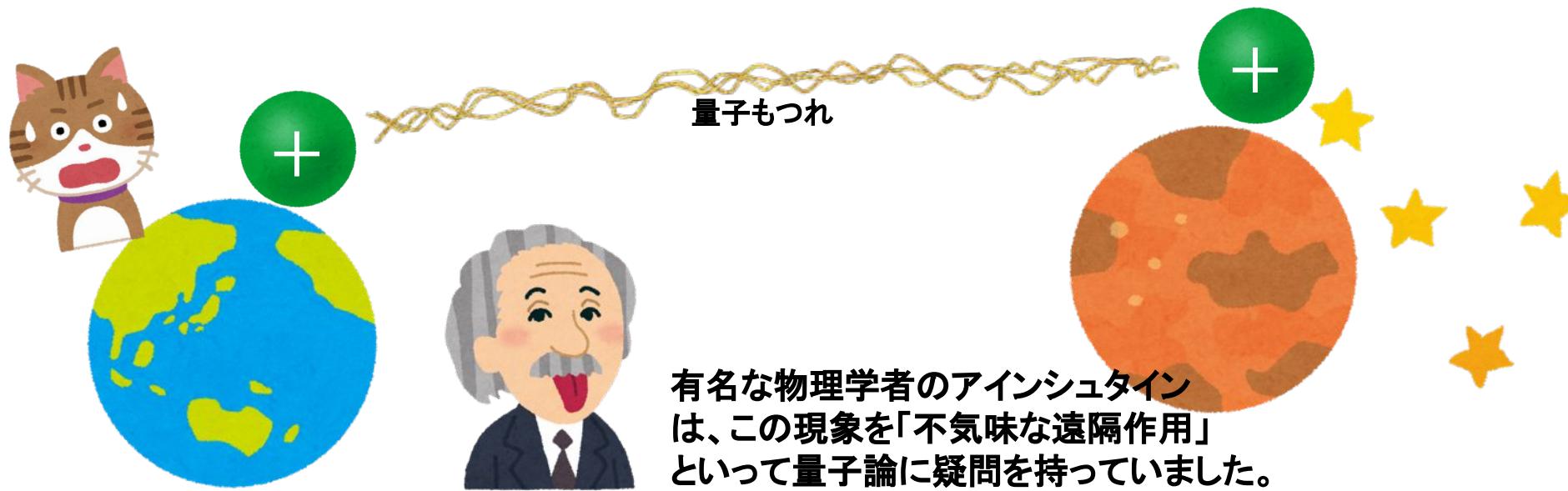
# 量子の不思議な現象：量子もつれ

「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とも分かります！



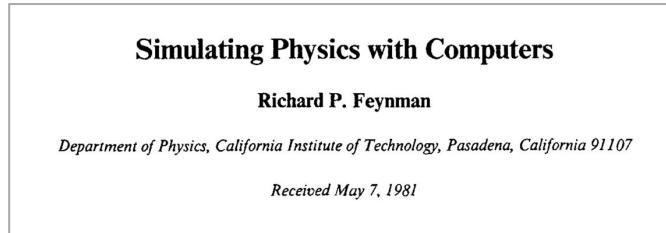
# 量子の不思議な現象：量子もつれ

「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とも分かります！



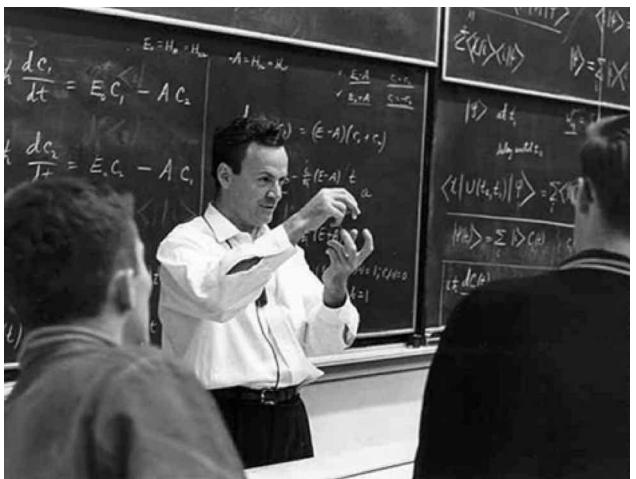
有名な物理学者のアインシュタイン  
は、この現象を「不気味な遠隔作用」  
といって量子論に疑問を持っていました。

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いけない。



*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

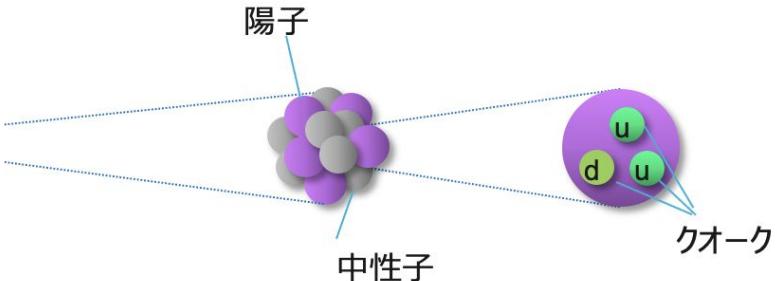
# 量子コンピューターは 量子の現象を仕組みとして使ったコンピューター



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。

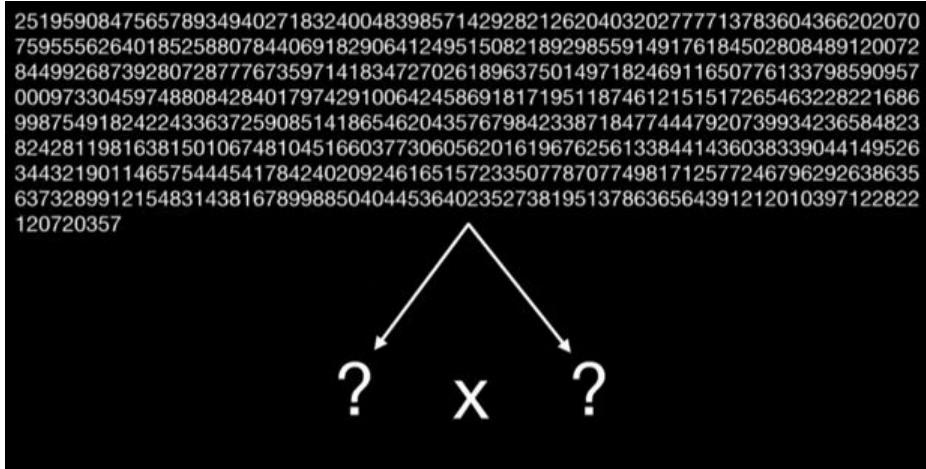
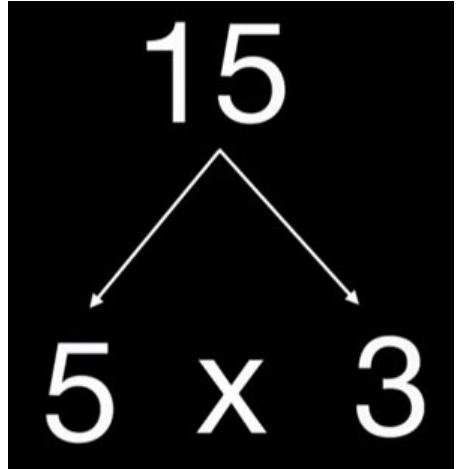
原子

直径0.1nm  
ナノメートル



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。

# 素因数分解



現在のコンピューター: 47億年



量子コンピューター: 8時間

この仕組みは、RSA暗号に使われています。

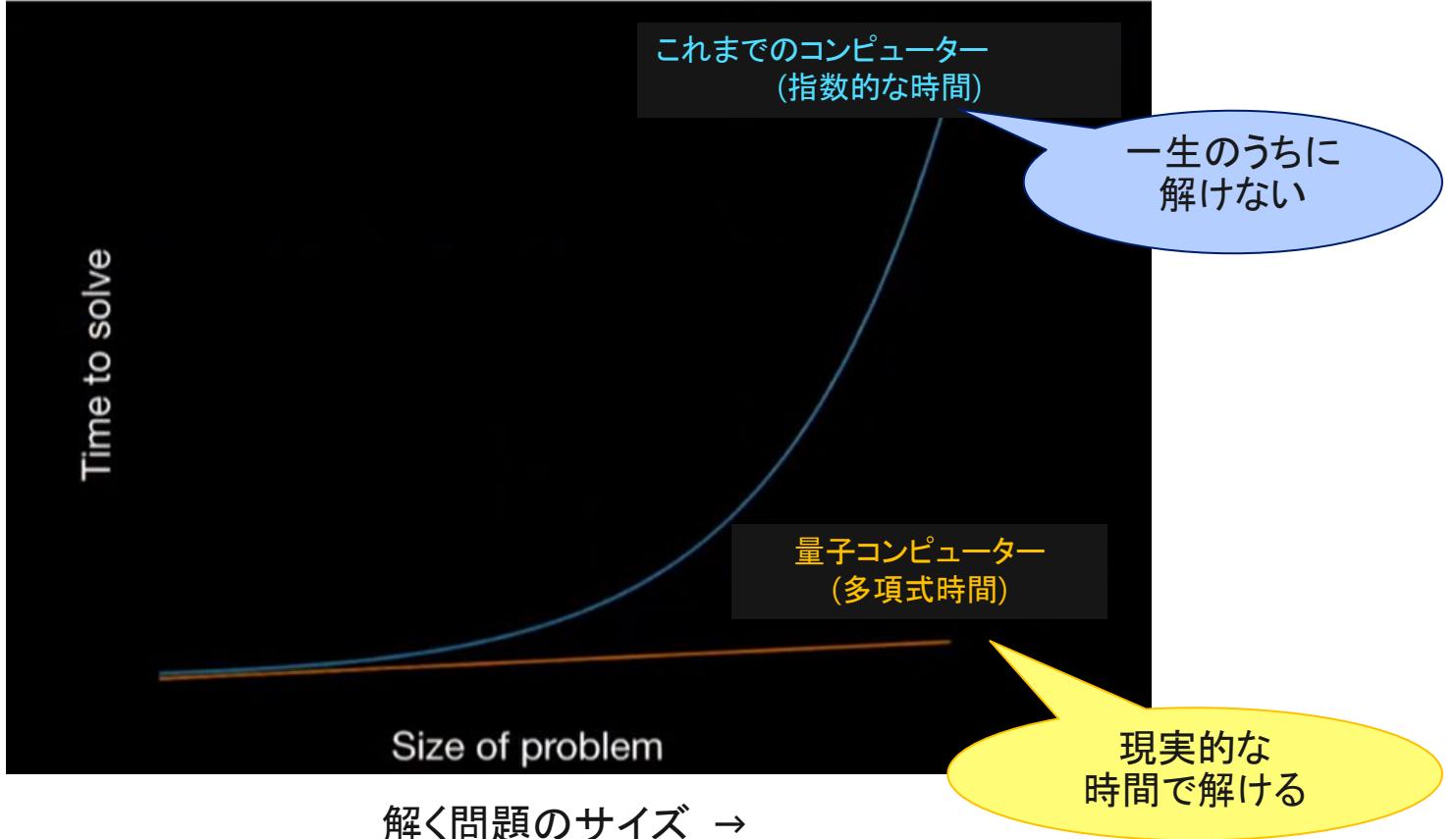
# 量子化学シミュレーション

現在のコンピューターで、カフェイン分子の一つのエネルギー状態を表現するには **10<sup>48</sup> ビット** ( $\sim 10^{32}$  PB) 必要。



材料開発・新薬創製

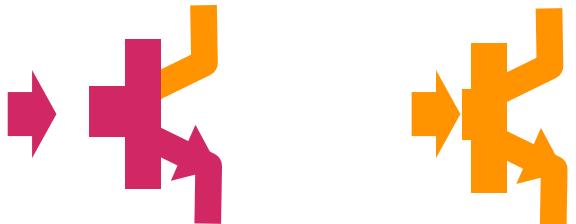
解くのにかかる時間 →



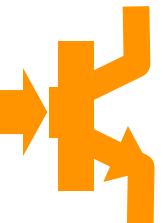
# 量子計算入門

# 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

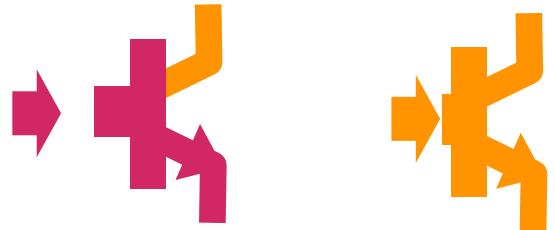
1

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

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

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」



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  
表  
おもて

コイン  
裏  
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」

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



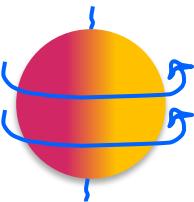
量子コンピューターの  
量子ビット

0 と 1

両方

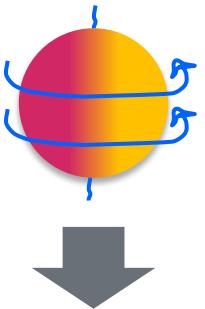
「重ね合わせ」

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

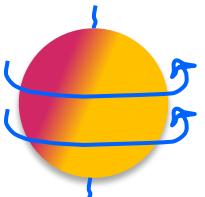
50%

1

50%



# 重ね合わせ状態の量子ビット



測定

五分五分でない状態も作れる



0

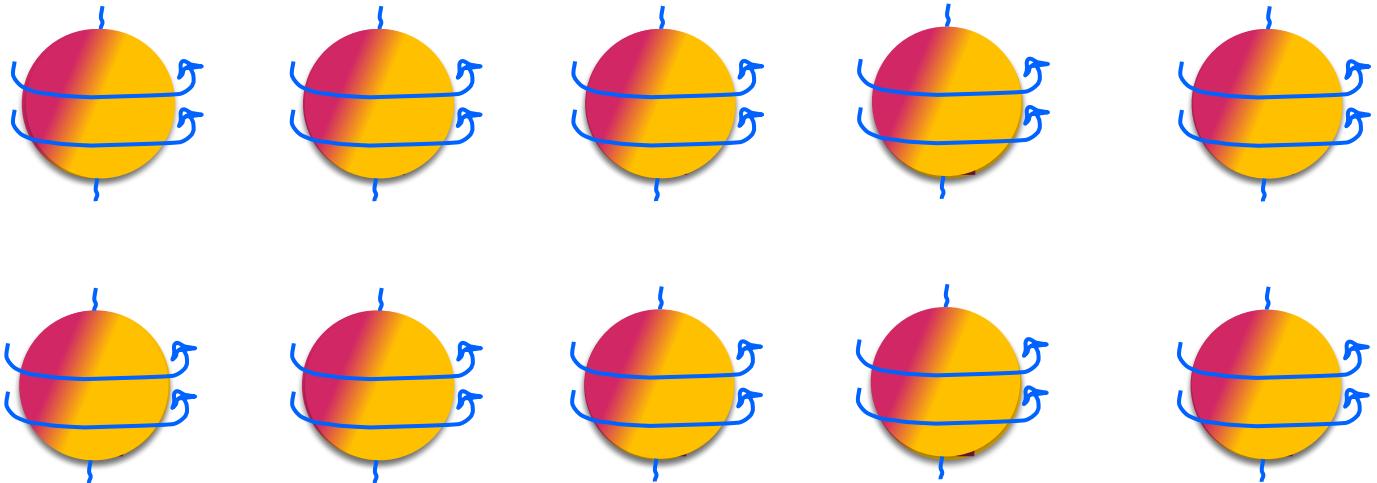
10%



1

90%

「0」10%、「1」90%の重ね合わせの量子ビットを



「0」10%、「1」90%の重ね合わせの量子ビットを  
10回測定すると

0

1

1

1

1

1

1

1

1

1

2ビット



または



または



または



のうちどれか1つ

2量子ビット



と



と



と



の重ね合わせ

## 2ビット



0 0

または



0 1

または



1 0

または



1 1

のうちどれか1つ

## 2量子ビット



0 0

25%

と



0 1

25%

と



1 0

25%

と



1 1

25%

の重ね合わせ

## 2ビット



## 2量子ビット

1ビット目  
の情報



2ビット目  
の情報



3ビット目  
の情報



4ビット目  
の情報



の重ね合わせ

# 3ビット



# 3量子ビット

0 0 0

1ビット目の情報

0 0 1

2ビット目の情報

0 1 0

3ビット目の情報

0 1 1

4ビット目の情報

1 0 0

5ビット目の情報

1 0 1

6ビット目の情報

1 1 0

7ビット目の情報

1 1 1

8ビット目の情報

の重ね合わせ

nビット

 (n個の0の並び)

 (n個の1の並び)

までの $2^n$ 個の可能な状態の  
いずれか

n量子ビット

 (n個の0の並び)

 (n個の1の並び)

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

00

+

01

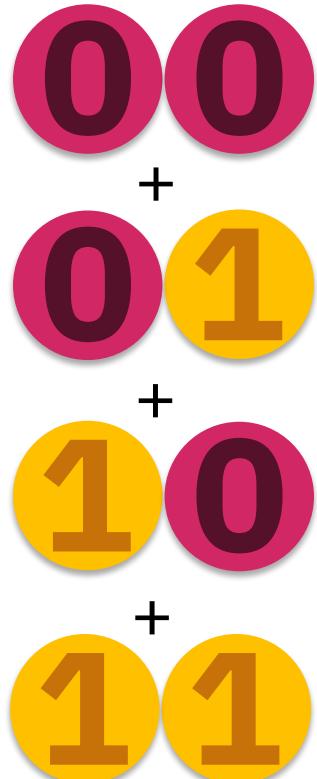
+

10

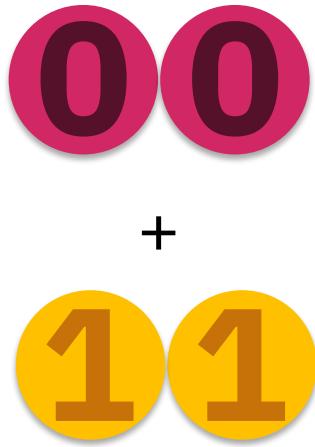
+

11

# 量子重ね合わせ



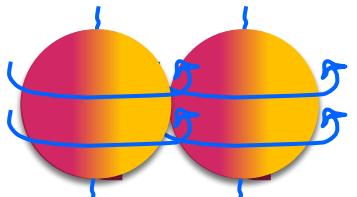
# エンタングルメント (量子もつれ)



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

# 重ね合わせ状態の量子ビット



測定



00

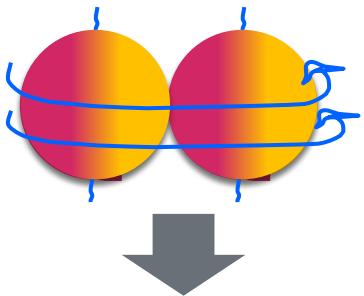
01

10

11



# エンタングル状態の量子ビット



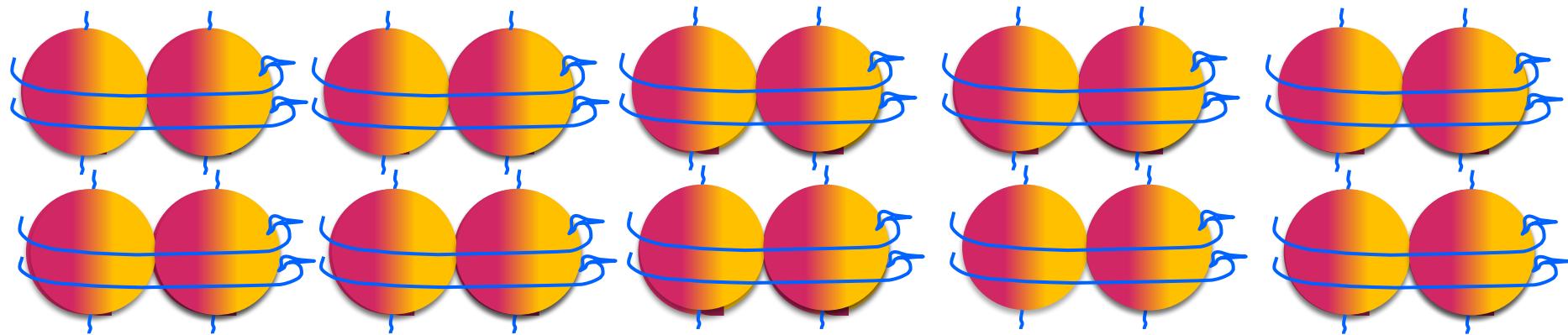
測定



00

11

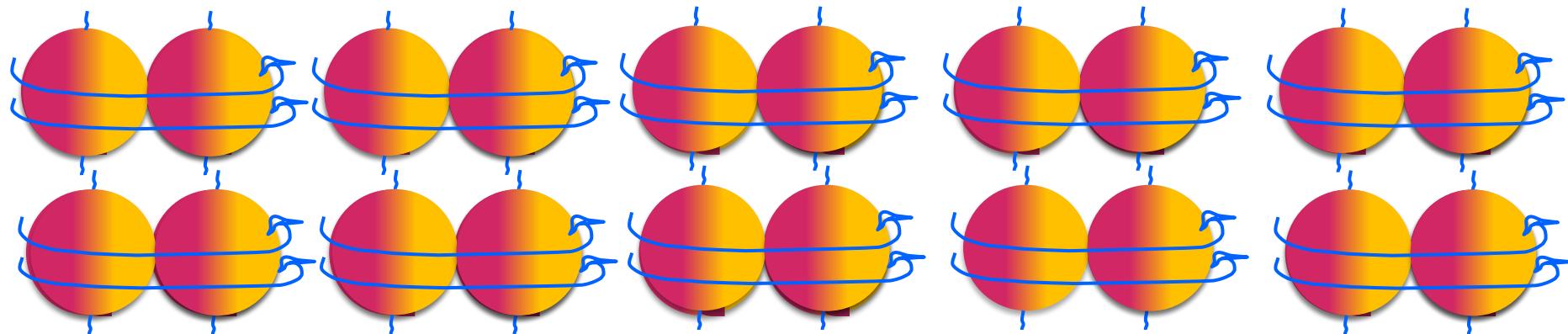
10個の同じエンタングル状態の2量子ビットを



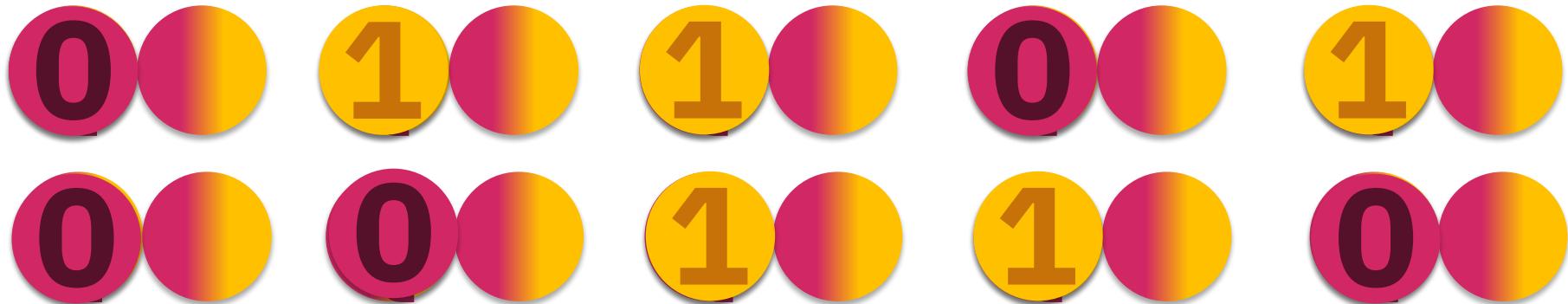
10個の同じエンタングル状態の2量子ビットを測定すると



10個の同じエンタングル状態の2量子ビットの片方だけを測定すると？



10個の同じエンタングル状態の2量子ビットの片方だけを測定すると



もう片方は測定しなくとも状態がわかる

このエンタングルメントも、量子計算の特徴の1つです。

## 量子重ね合わせ

0 0 0

0 0 1

0 1 0

0 1 1

1 0 0

1 0 1

1 1 0

1 1 1

## エンタングルメント (量子もつれ)

0 0 0

+

1 1 1

## 量子重ね合わせ

**0 0 0**

12.5%

**0 0 1**

12.5%

**0 1 0**

12.5%

**0 1 1**

12.5%

**1 0 0**

12.5%

**1 0 1**

12.5%

**1 1 0**

12.5%

**1 1 1**

12.5%

## エンタングルメント (量子もつれ)

**0 0 0**

50%

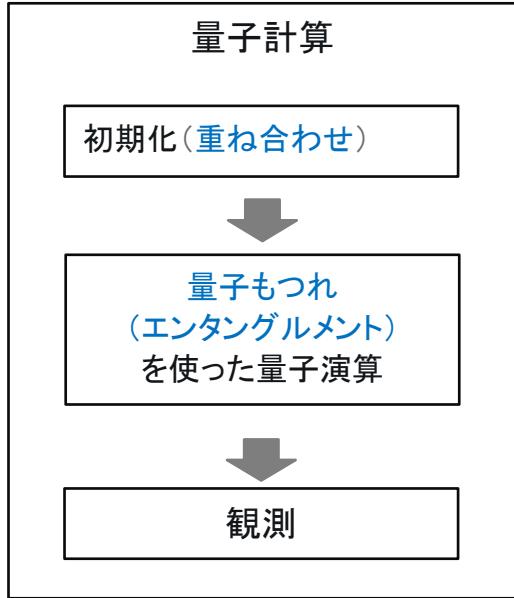
+

**1 1 1**

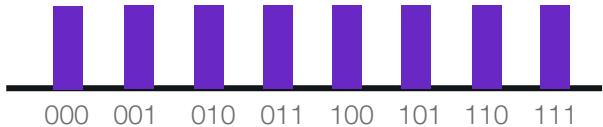
50%

GHZ状態

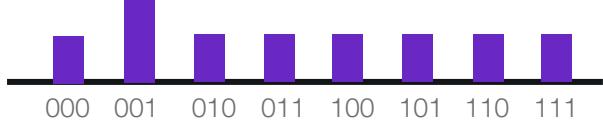
# 量子アルゴリズム



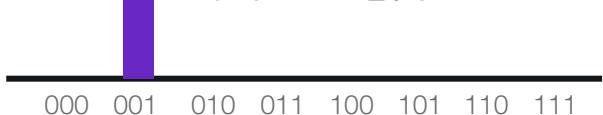
ex. 等確率重ね合わせ状態



量子ビットを干渉させる演算

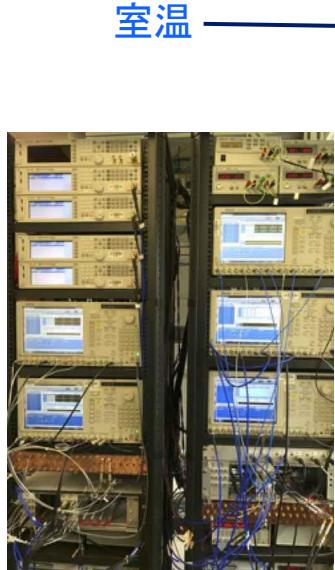


特定のパターンの  
確率のみを高める

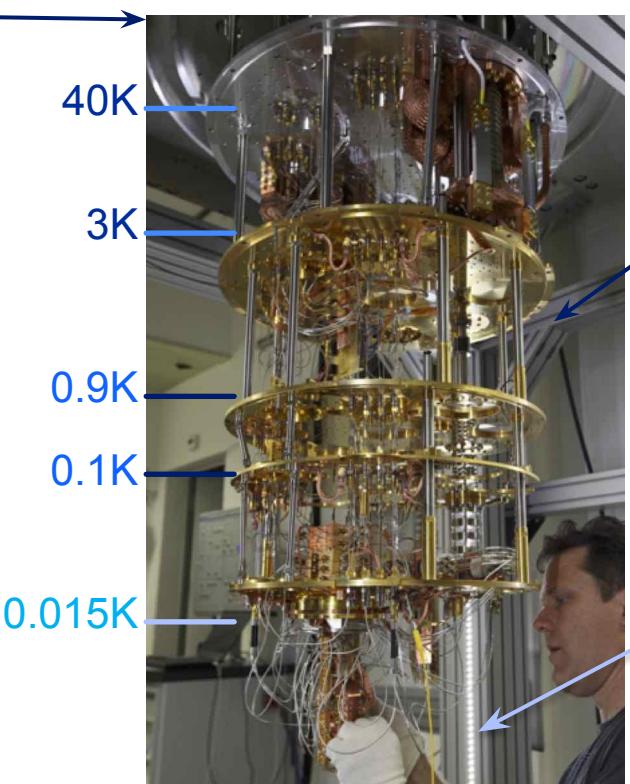


量子計算では、量子状態の**重ね合わせ**を干渉(量子もつれ)させて、ほしい解を取り出す。

# 量子コンピューターの構造

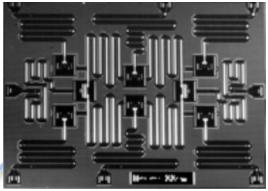


マイクロ波電子工学



0.015K

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。

$^3\text{He}$  と  $^4\text{He}$  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