

# 量子コンピュータの作り方

## 1 はじめに

量子コンピュータという言葉自体は、耳に覚えがあるかもしれませんが。しかし、それがどのような物理現象に基づいて実装されているかを詳しく知っている人はあまり多くないと思うので、この記事では部分に絞って解説をします。

## 2 量子力学からの準備

量子コンピュータというからには、原理に量子力学が深くかかわっています。

### 2.1 調和振動子

まずは、普通のばねを考えてみましょう。

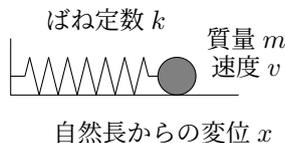


図 1: よく見るタイプのばね

高校で習うとおり、ばねとおもりのエネルギーは

$$E = \frac{1}{2}mv^2 + \frac{1}{2}kx^2 = \frac{p^2}{2m} + \frac{m\omega^2 x^2}{2}$$

となります。このエネルギー自体は、おもりに初速度を与えてみたり、ばねを自然長から縮めたり伸ばしたりすることで、様々な値にすることができます。

### 2.2 離散準位

一方で、量子力学的にばねを取り扱ってみましょう。量子力学的には運動量と位置は演算子として扱われ、これらの間には交換関係  $[\hat{x}, \hat{p}] = i\hbar$  が成

り立つので、エネルギーは

$$\hat{E} = \hbar\omega \left( \hat{N} + \frac{1}{2} \right)$$

となります。ここで  $\hat{N}$  は数演算子というもので、0以上の整数をとります。このようにみると、もはやエネルギーの値は連続的に変化させることができず、あるきまった値のみをことがわかります。これを離散準位といいます。

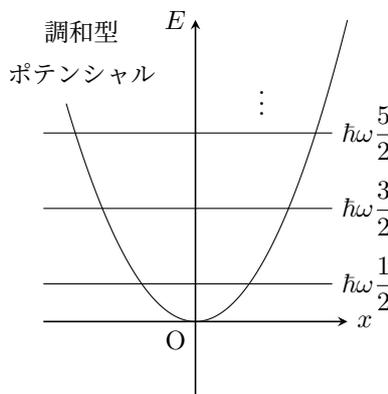


図 2: ポテンシャルの形と離散準位

ざっくりとえば、量子コンピュータは、このような離散準位のうちの特定の2つに着目して、0と1に見立ててコンピュータとして使おうというものです。

### 2.3 超伝導

では、ばねを量子力学的に扱うにはどうしたらよいのでしょうか。代表的な方法として、超電導のジョセフソン効果を使うという方法があります。 $n$ をクーパー対の数、 $\theta$ を位相差として、エネルギーは

$$\hat{E} = \frac{q^2}{2C}\hat{n}^2 - E_J \cos \theta$$

となります [1]。cos を 2 次まで展開すると、本質的には調和振動子と同じ式になることがわかります。ただし、4 次以上の効果によって、離散準位のエ

ネルギー差は準位ごとに異なります。これによって、ある準位を区別することができ、それらを 0 と 1 に見立てるのです。

## 3 制御

最後に、物理系をどう制御するかについて説明します。

### 3.1 冷やす

超伝導状態にするため、また、熱由来のノイズを減らすために、系全体を数 K にまで冷却します。みなさんがニュースなどで見る量子コンピュータの写真は、実のところその大部分が冷却器です。

### 3.2 光をあてる

系に対してちょうど励起できる分のエネルギーをもった光子を照射すると、光子を吸収して励起状態になります。

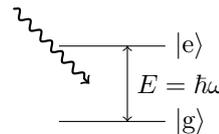


図 3: 光を吸収して励起する

量子ビットが多くなるなど、これよりも複雑な場合であっても、基本的にはマイクロ波照射によって制御しています。

## 参考文献

- [1] Yvonne Y.Gao et al. **Practical Guide for Building Superconducting Device**. PRX Quantum 2, 040202, 2021.