

機關算盡 量子電腦的概念與技術

台大化學系 曾紀為

電腦

- 電腦是什麼？

- ▣ 電腦，就是計算機。

- 電腦如何運作？

- ▣ 想想看，你是如何計算出 $3+1$ 的答案的？

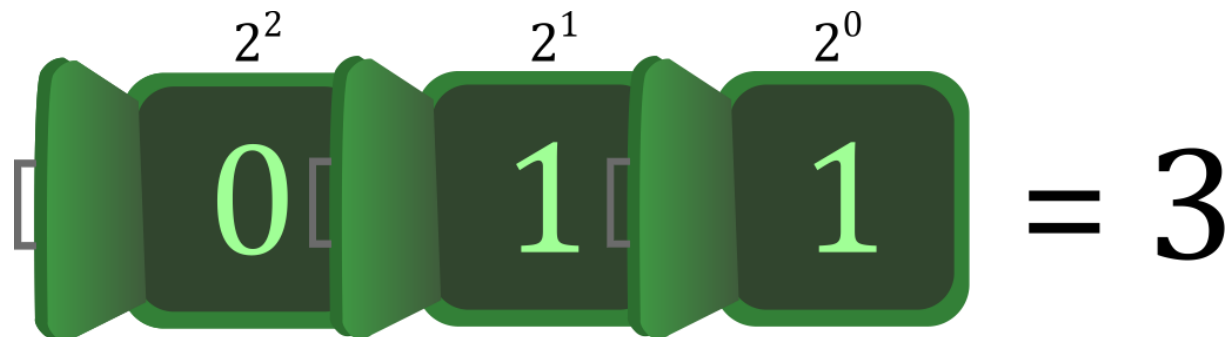
電腦的結構

- 儲存單元：

- 很多個儲存1或0的小櫃子，也就是記憶體。

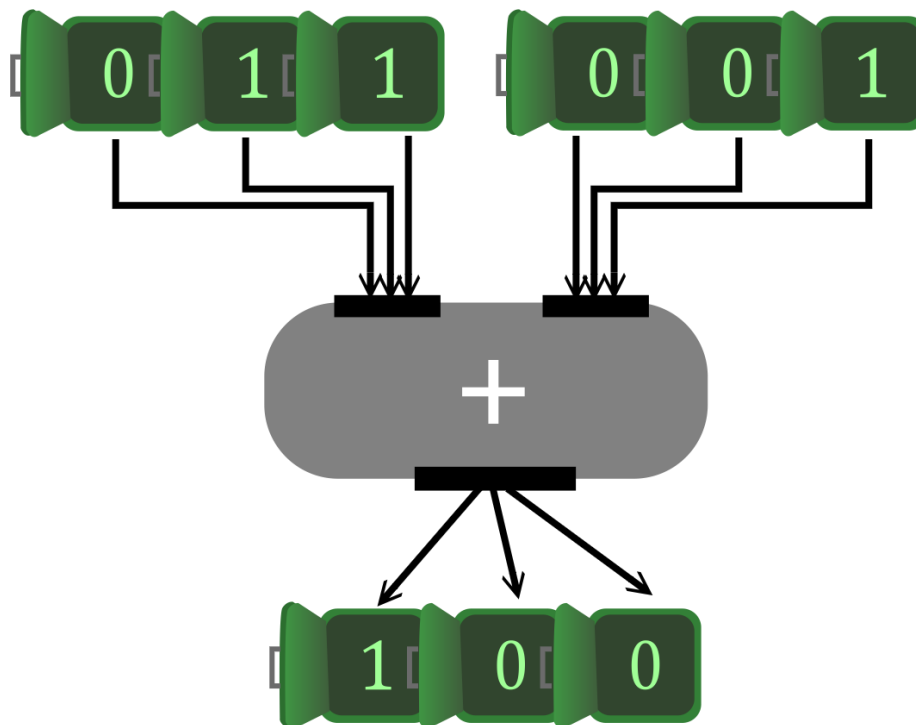


- 例如：



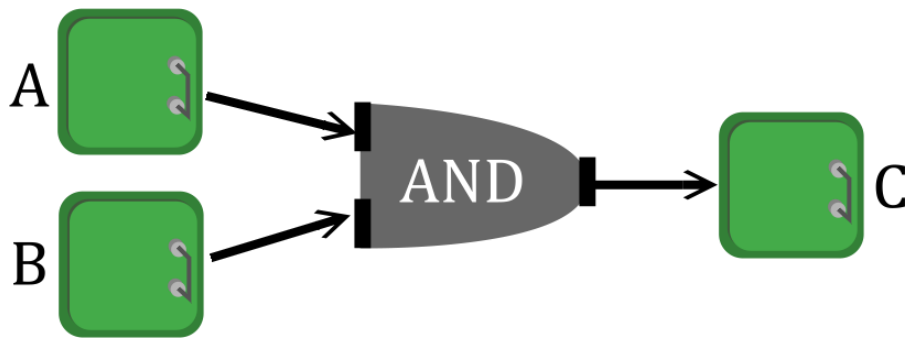
電腦的結構

- 運算/邏輯單元：
 - ▣ 對小櫃子中的0或1進行操作的裝置

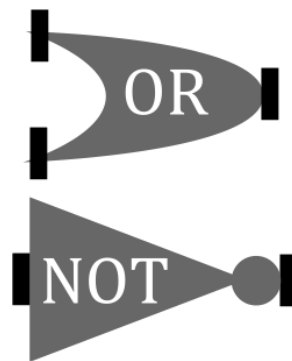


電腦的結構

- 傳統電腦使用各種邏輯閘拼出運算單元(像是上一頁的加法器)。



A	B	C
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1



量子電腦

□ 什麼是量子電腦？

- ▣ 量子電腦也是一種計算機。

- ▣ 但，其儲存單元、運算單元都與傳統電腦不同！

□ 量子電腦的優勢是什麼？

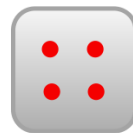
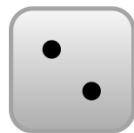
- ▣ 更快的運算速度。

- ▣ 可以對數值還不確定的記憶體做新的運算。

(我們之後再來看看這些優勢是如何達到的.....)

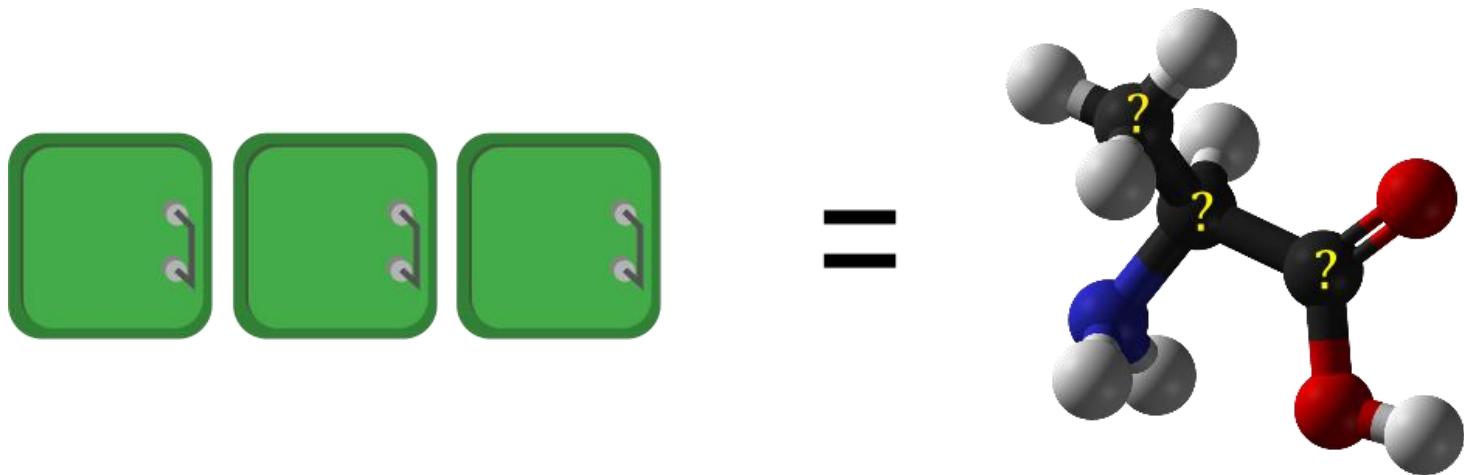
量子數

- 量子化：
 - 存在不連續的多個狀態。



量子數

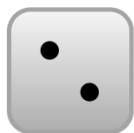
- 首先，我們可否拿原子作為儲存單元呢？
 - ▣ 要這麼做，原子某些物理性質必須是「量子化」的。



量子數(再看一次)

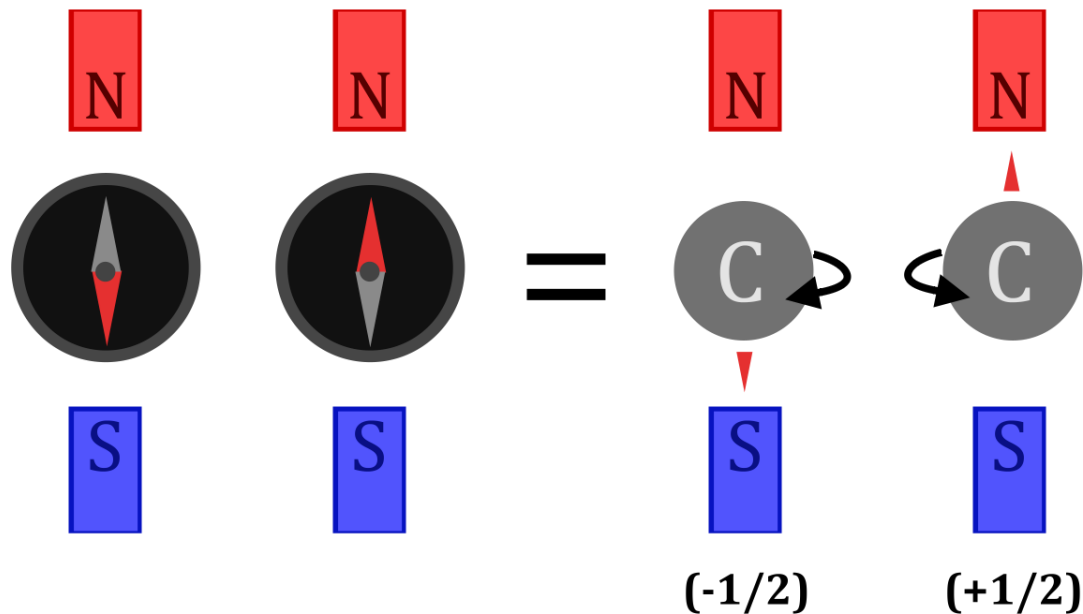
□ 量子化：

□ 存在不連續的多個狀態。



量子數

- 有的！原子核的某些特性確實是量子化的，例如自旋。
- ▣ 外加磁場中， C^{13} 原子核只有兩種穩定的自旋狀態。



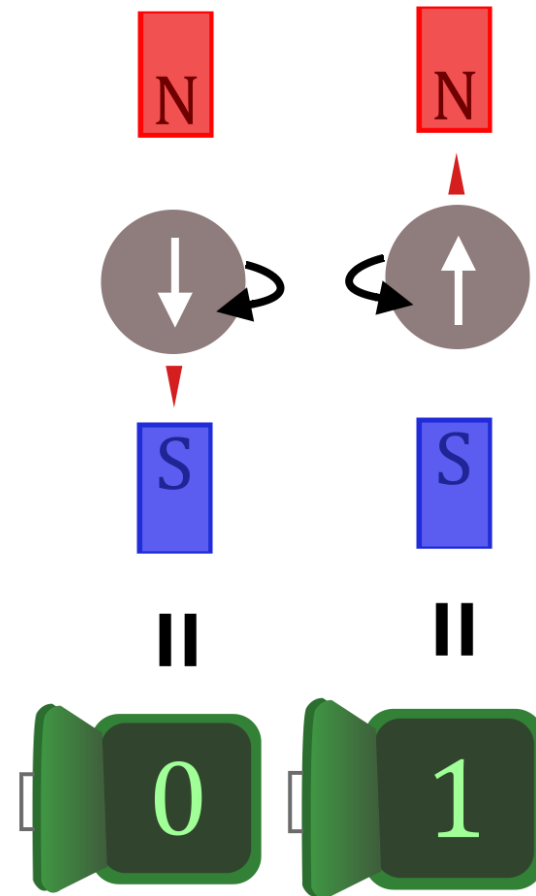
量子位元

□ 於是，我們開始可以用這兩個狀態.....

↓ 、 ↑

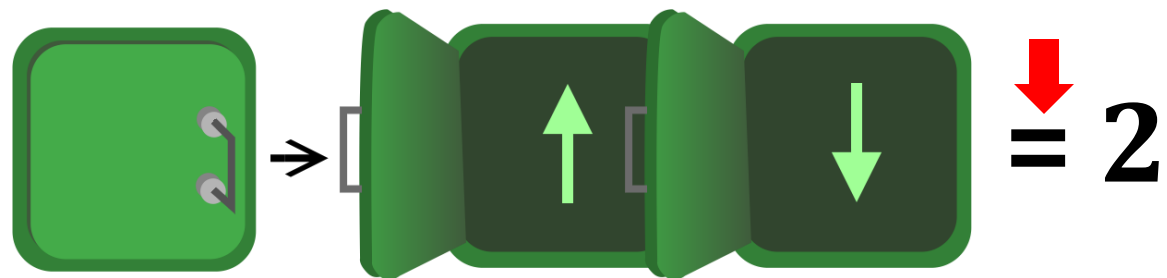
來代表.....

0 、 1



疊加狀態


- 要讀出記憶體內存入的數字，要進行一個「測量」的步驟。
 - 傳統電腦、量子電腦都需要。



疊加狀態

□ 然而，經過相同運算程序的量子電腦，測量後卻有機會讀出不同的結果！

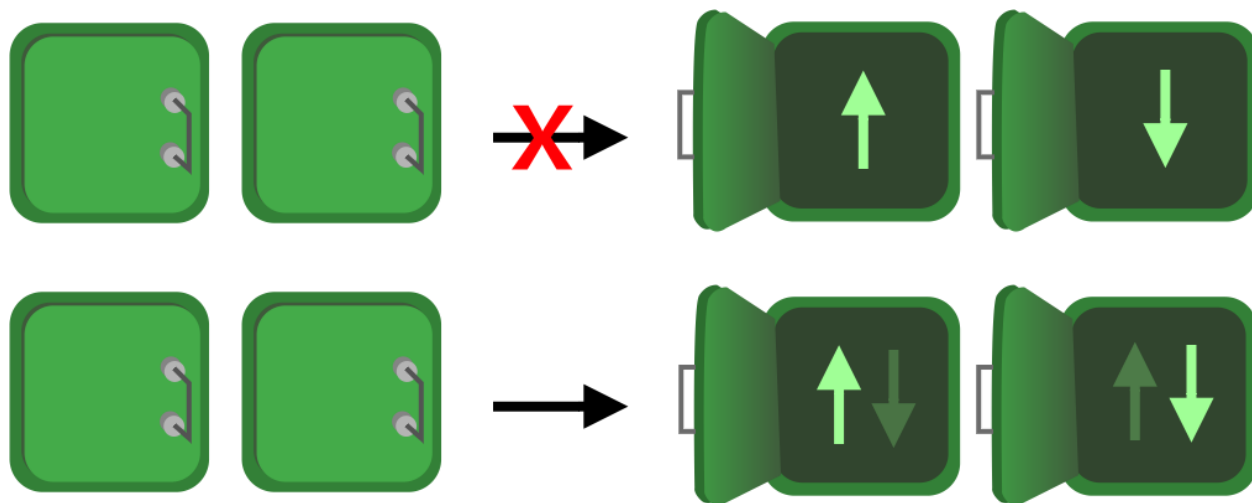
□ 例如：


$$\left\{ \begin{array}{l} = 1 \quad (75\%) \\ = 0 \quad (25\%) \end{array} \right.$$

□ 怎麼會發生這樣的怪事？！

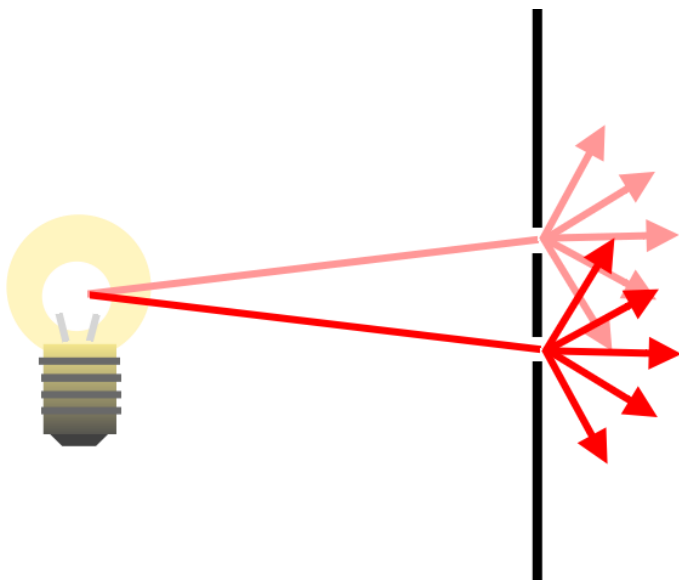
疊加狀態

- 量子電腦的儲存單元，不是我們想像的那樣！
 - ▣ 每格記憶體都是「既 \uparrow 且 \downarrow 」的。



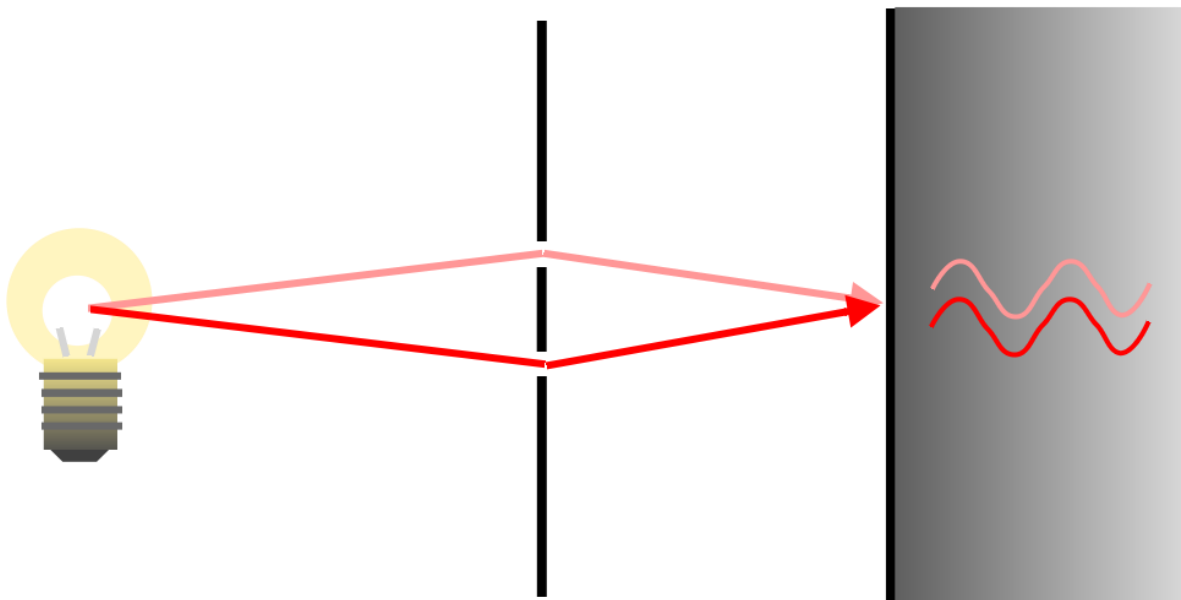
疊加狀態

- 可以用雙狹縫實驗來觀察。
- 先來看看光的特質.....



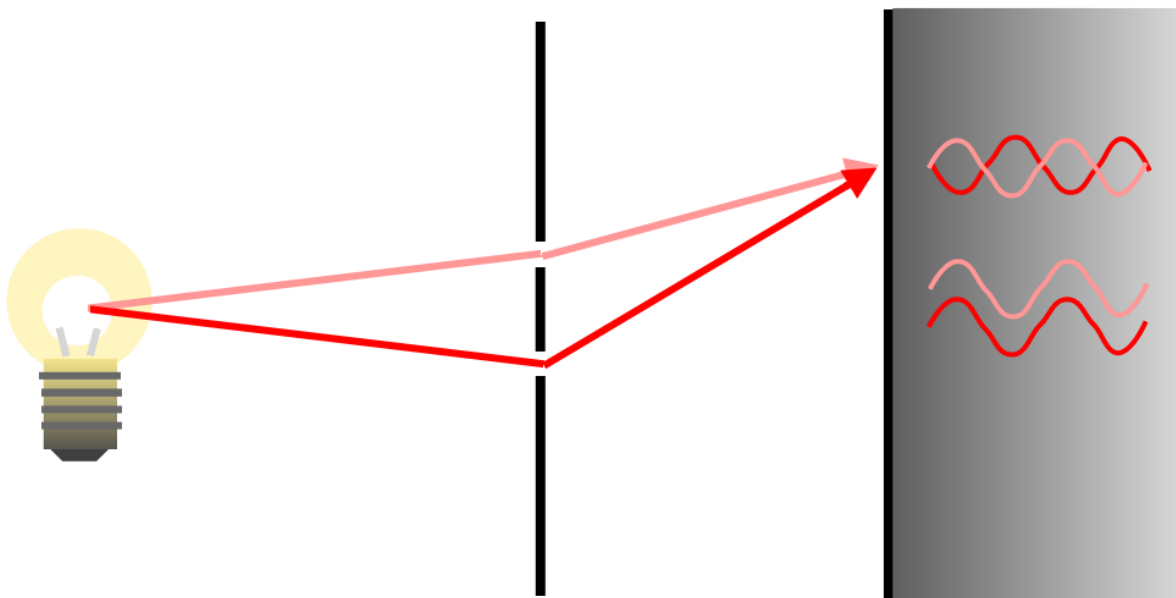
疊加狀態

- 究竟什麼是「既 \uparrow 且 \downarrow 」呢？
 - 可以用雙狹縫實驗來觀察。
 - 先來看看光的特質.....



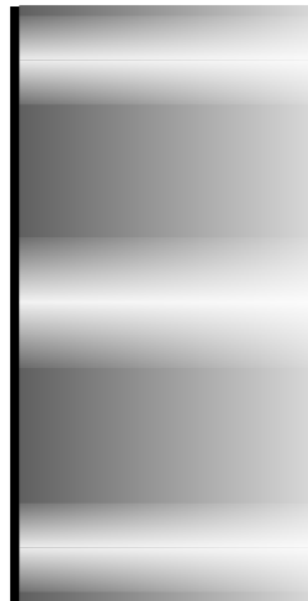
疊加狀態

- 究竟什麼是「既 \uparrow 且 \downarrow 」呢？
 - 可以用雙狹縫實驗來觀察。
 - 先來看看光的特質.....



疊加狀態

- 究竟什麼是「既 \uparrow 且 \downarrow 」呢？
 - 可以用雙狹縫實驗來觀察。
 - 先來看看光的特質.....



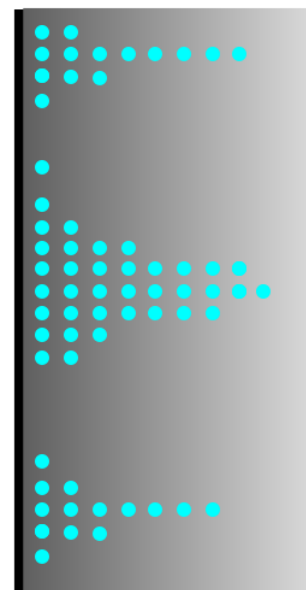
疊加狀態

□ 如果來源不是光而是電子槍呢？



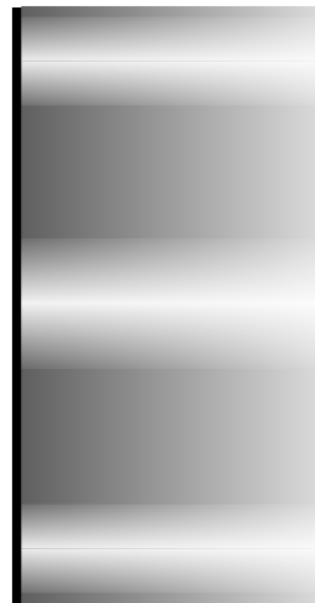
疊加狀態

- 如果來源不是光而是電子槍呢？
 - ▣ 電子位置的訊息竟是以波的方式傳遞！



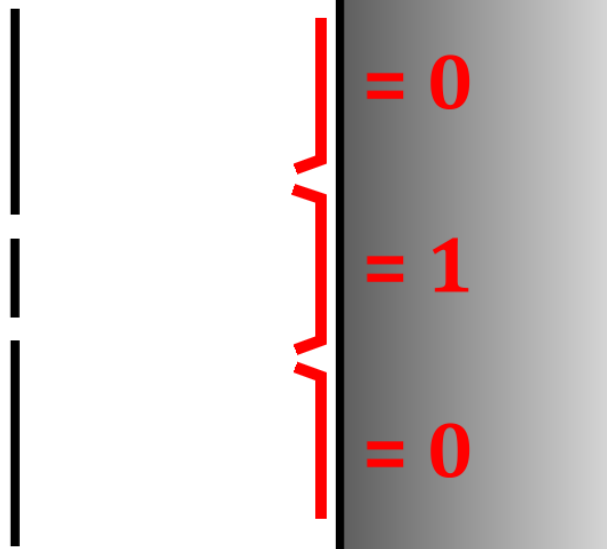
疊加狀態

- 如果來源不是光而是電子槍呢？
 - ▣ 電子位置的訊息竟是以波的方式傳遞！



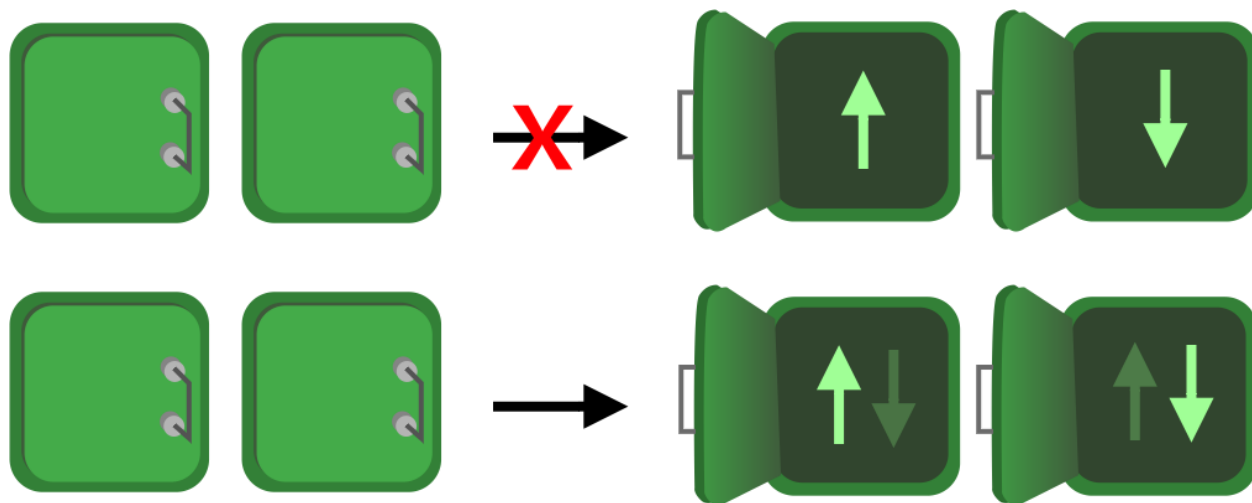
疊加狀態

- 所以，究竟什麼是「既 \uparrow 且 \downarrow 」？
 - ▣ 顯然，我們發射的每顆電子都相同。
 - ▣ 各顆電子經過測量卻會落入不同的狀態！



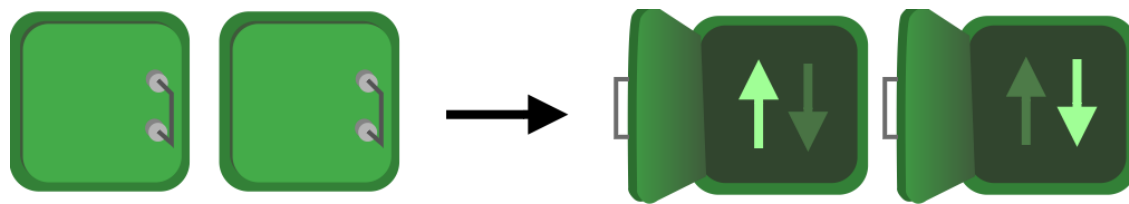
疊加狀態(再看一次)

- 量子電腦的儲存單元，不是我們想像的那樣！
 - ▣ 每格記憶體都是「既 \uparrow 且 \downarrow 」的。



量子崩陷現象

- 未讀值前，記憶體處於疊加狀態中。



- 讀值時，我們找到一種確定的狀態。
 - ▣ 再重讀記憶體，只會得到和初次測量相同的結果。
 - ▣ 記憶體從「既 \uparrow 且 \downarrow 」變成「 \uparrow 」或「 \downarrow 」之一！

量子電腦(再看一次)

□ 什麼是量子電腦？

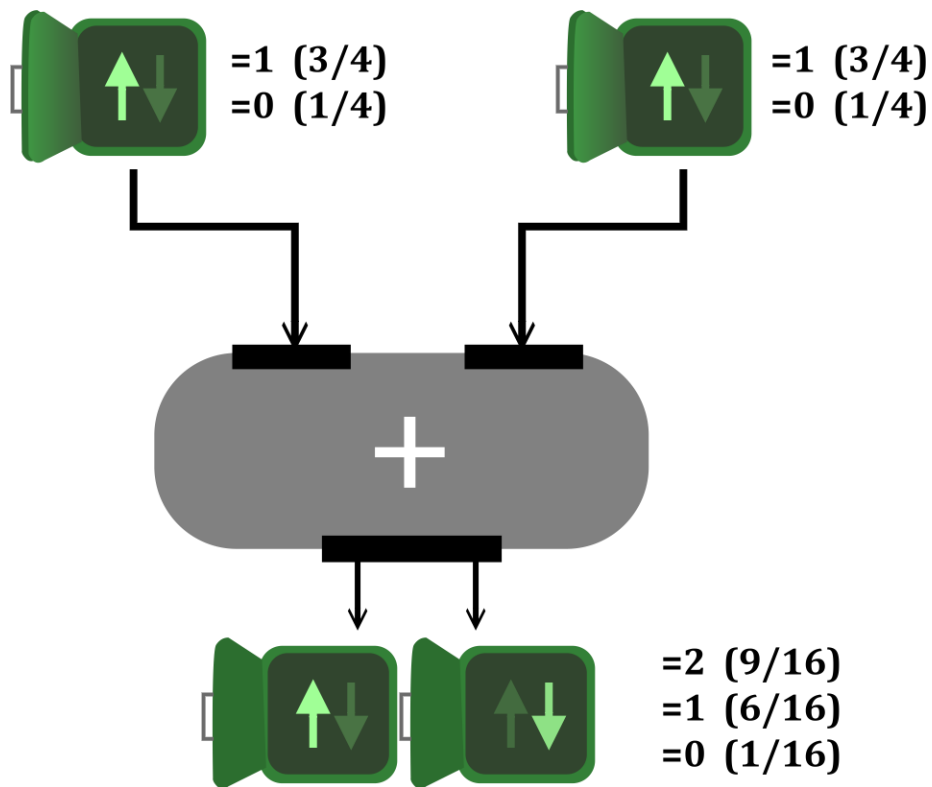
- ▣ 量子電腦也是一種計算機。
- ▣ 但，其儲存單元、運算單元都與傳統電腦不同！

□ 量子電腦的優勢是什麼？

- ▣ 更快的運算速度。
- ▣ 可以對數值還不確定的記憶體做新的運算。

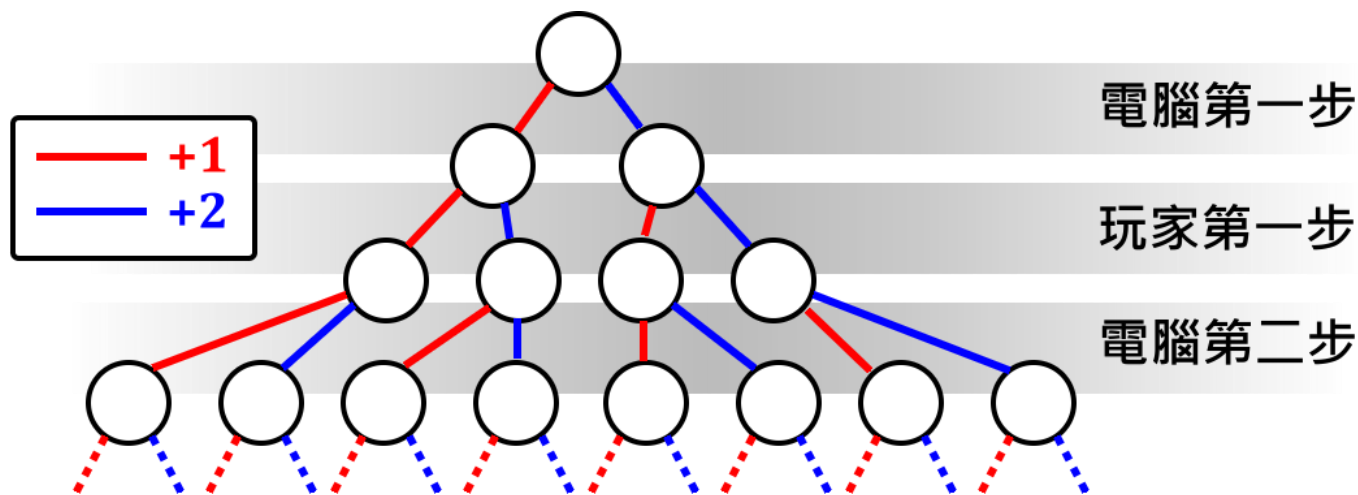
平行計算與疊加

- 若我們將兩個「既 \uparrow 且 \downarrow 」的量子位元丟給量子運算單元處理.....



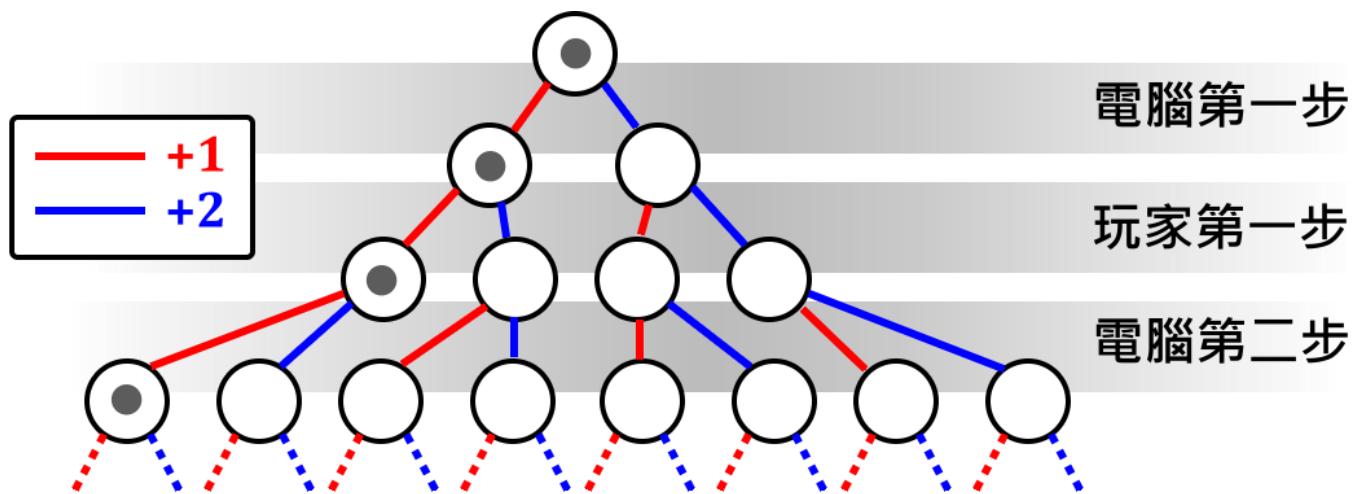
平行計算與疊加

- 例如：找出最佳遊戲策略。
 - ▣ 搶30，電腦和玩家一人一回，每回可選擇+1或+2。
 - ▣ 先將所有可能的狀況表示成樹狀圖：



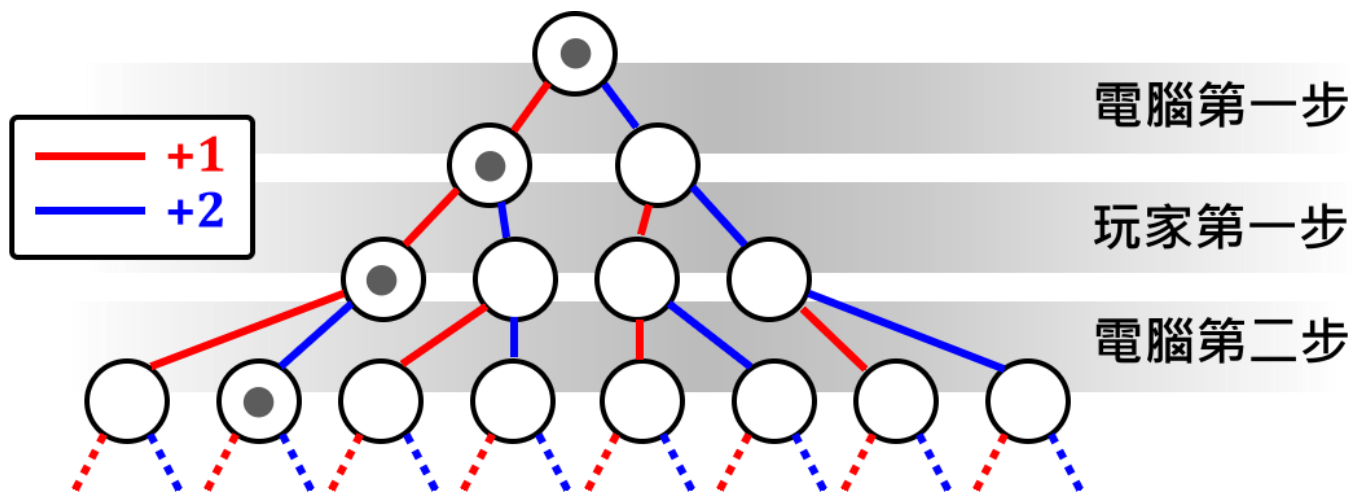
平行計算與疊加

□ 傳統電腦的計算方式：



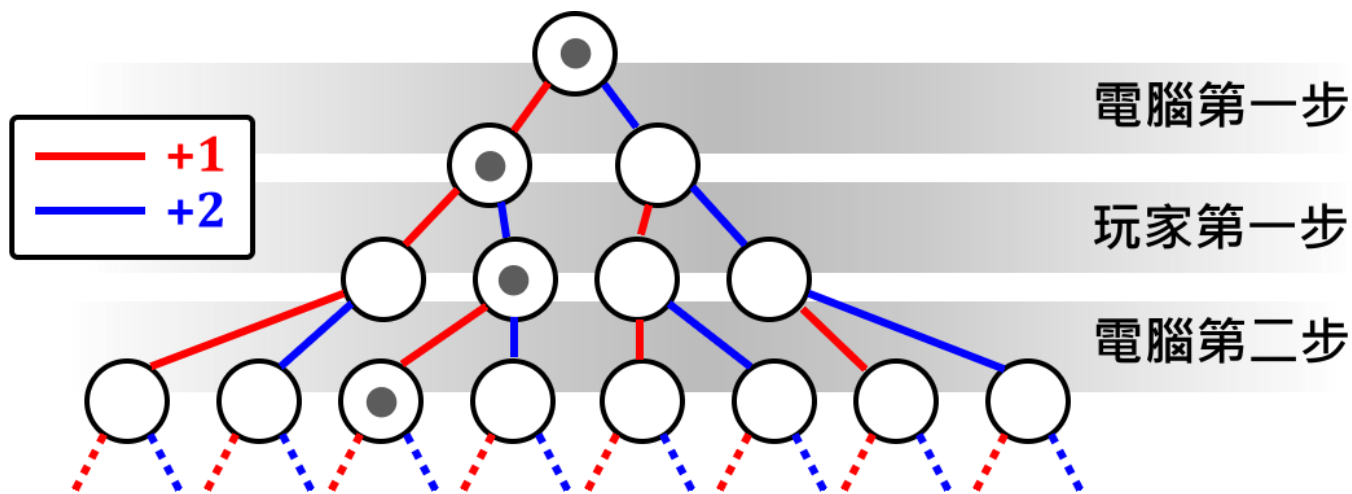
平行計算與疊加

□ 傳統電腦的計算方式：

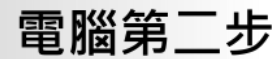


平行計算與疊加

□ 傳統電腦的計算方式：

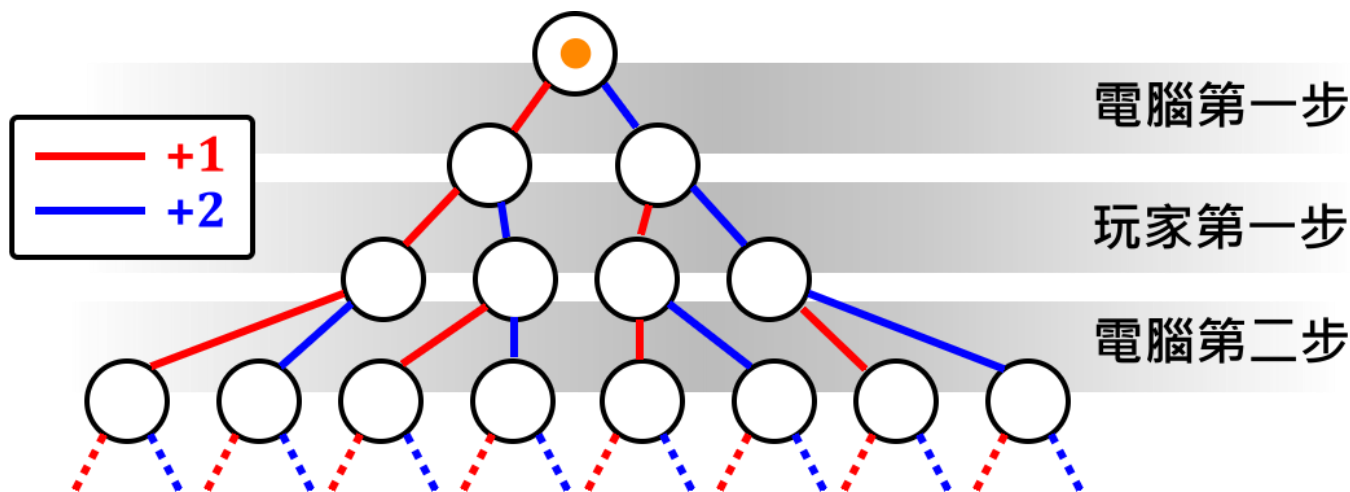


□ 傳統電腦的計算方式：



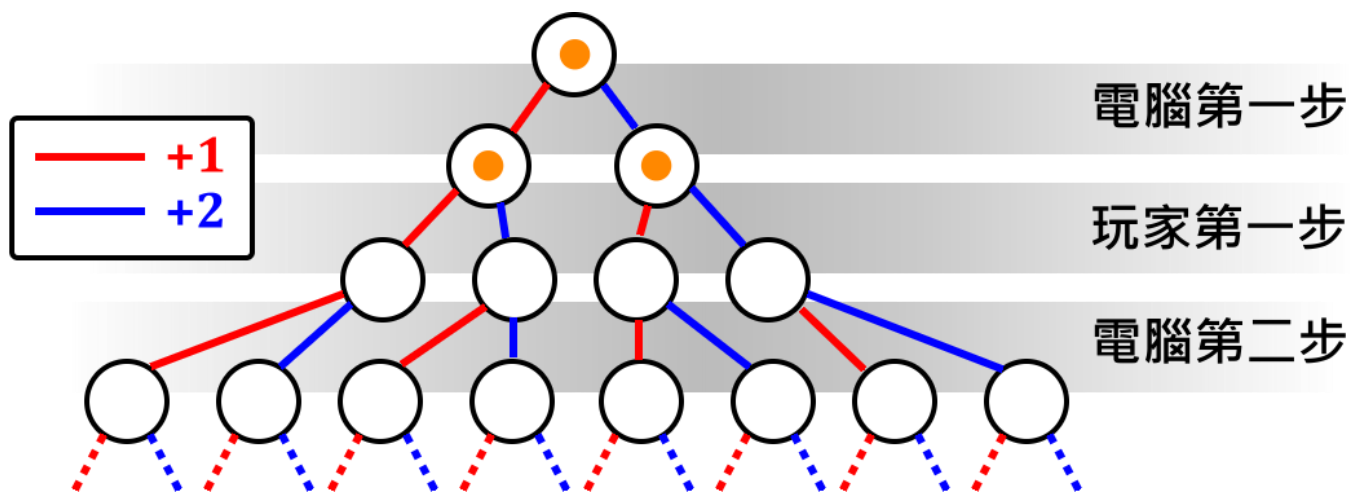
平行計算與疊加

□ 量子電腦的計算方式(平行計算)：



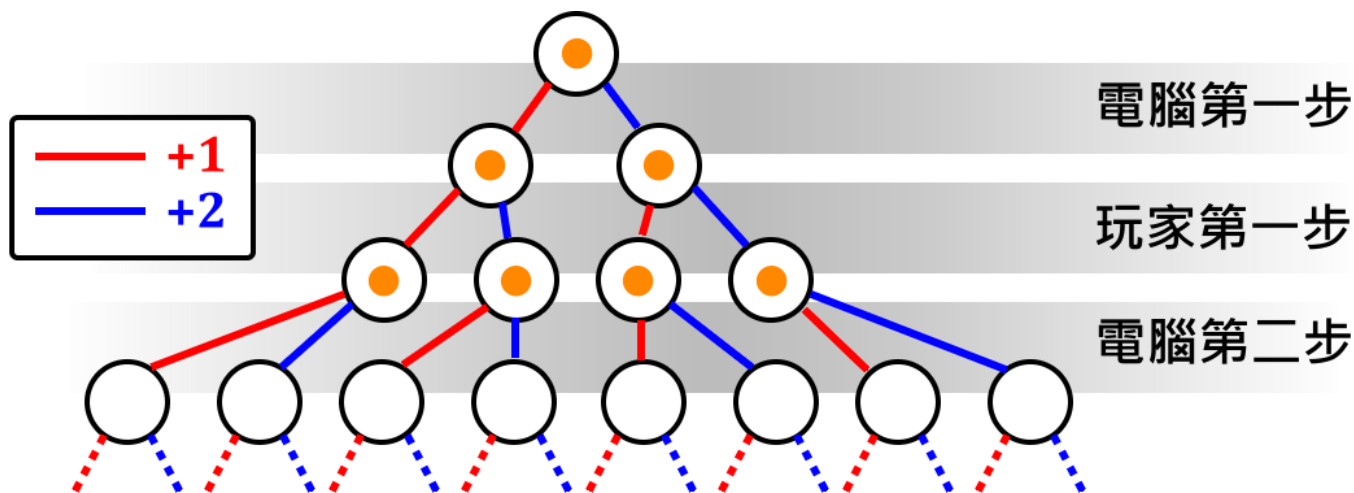
平行計算與疊加

□ 量子電腦的計算方式(平行計算)：



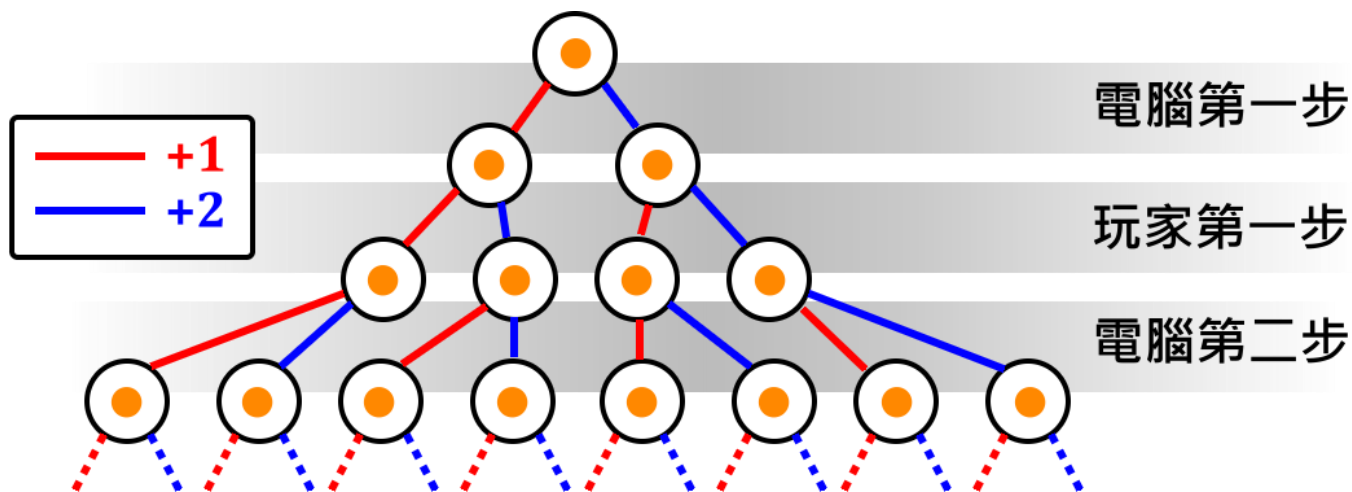
平行計算與疊加

□ 量子電腦的計算方式(平行計算)：



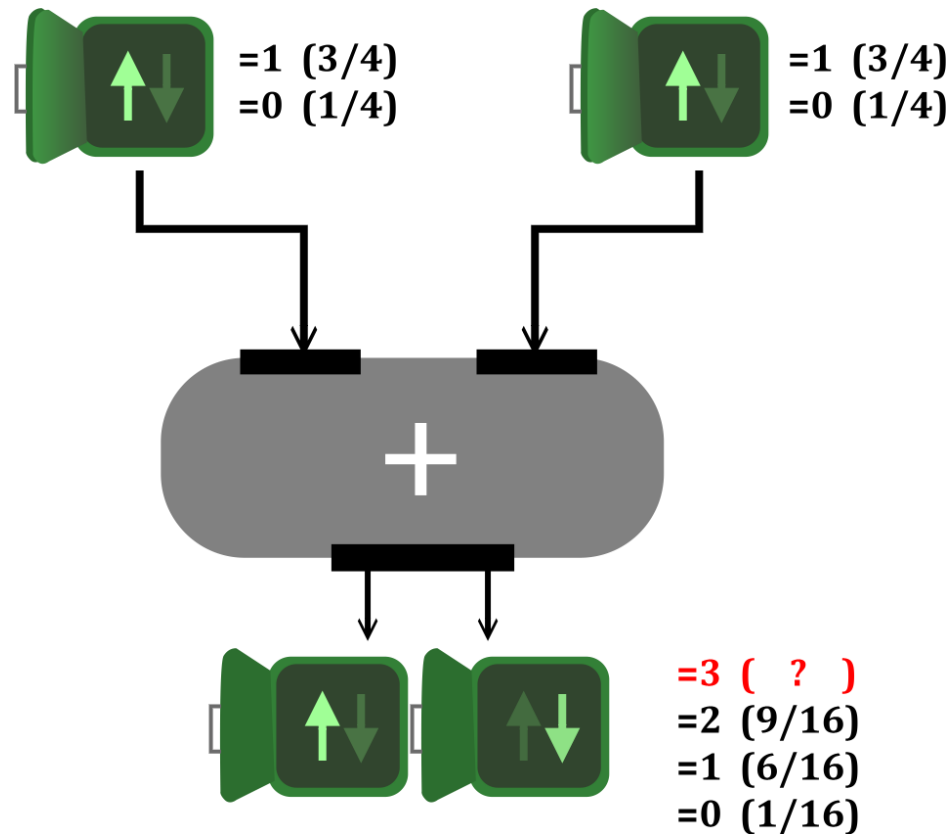
平行計算與疊加

□ 量子電腦的計算方式(平行計算)：



量子糾纏

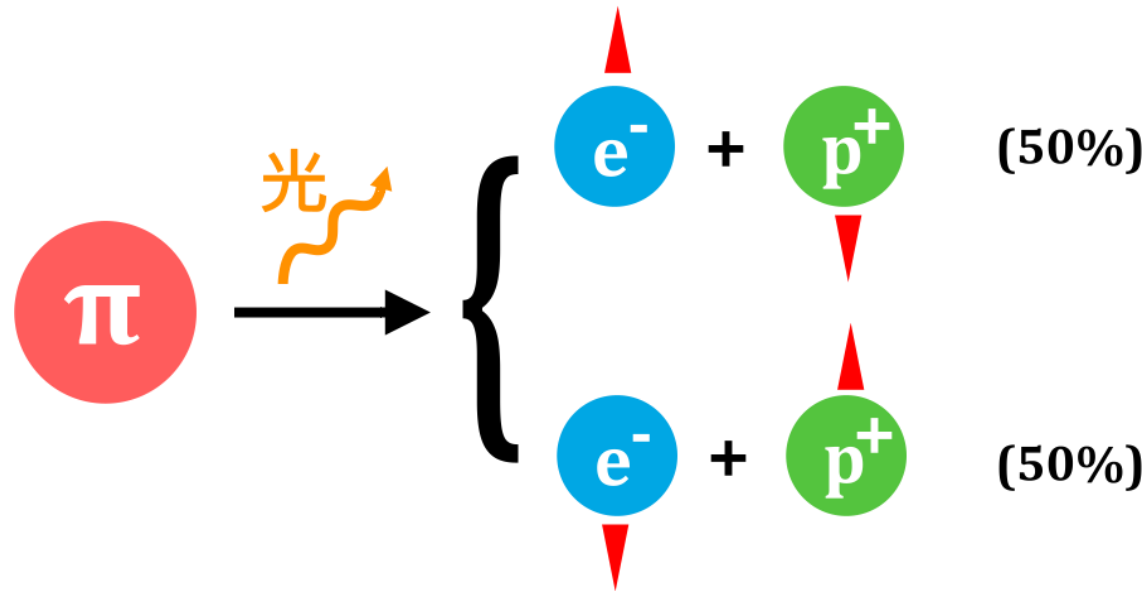
□ 憑什麼讀不出3這個結果？



量子糾纏

□ 先看一個現象。

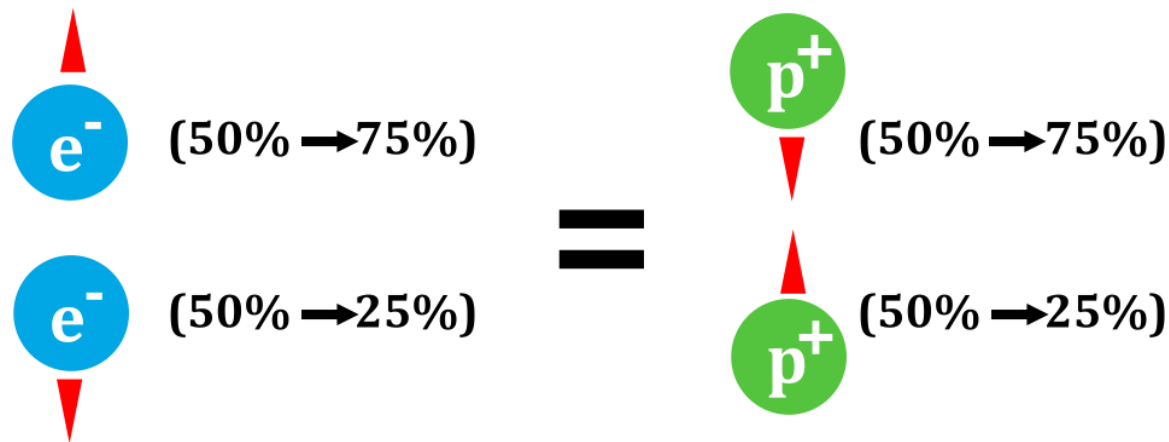
▣ 有種粒子叫 π 粒子，衰變時會分裂成自旋方向相反的一顆電子與一顆正子。



量子糾纏

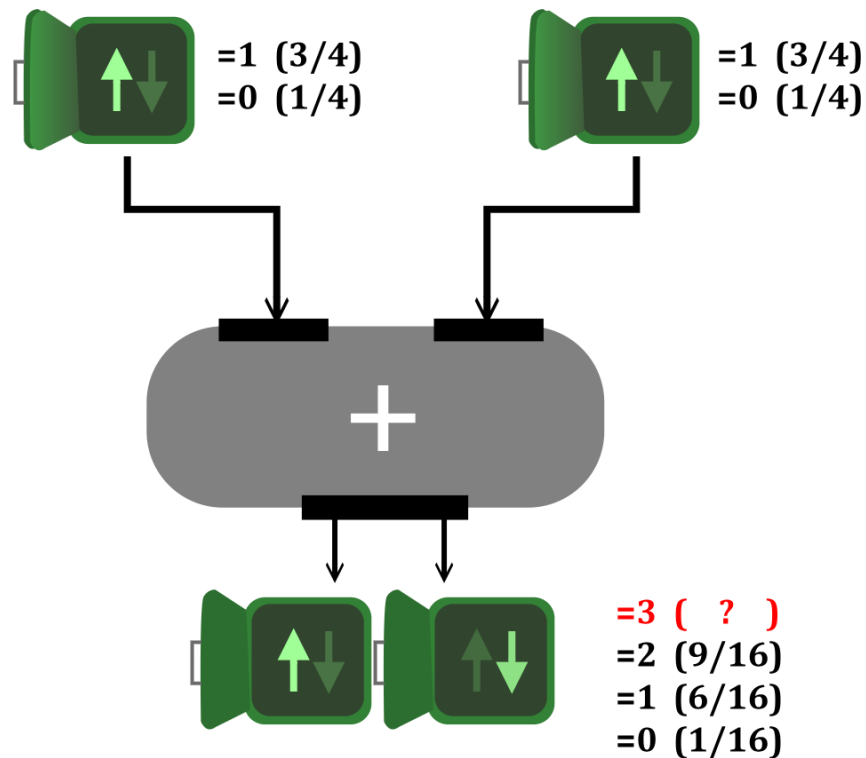
□ 正子和電子分離後：

- ▣ 測量正子自旋，即測量電子自旋。
- ▣ 未測量正子自旋，即未測量電子自旋。
- ▣ 改變正子於 \uparrow 和 \downarrow 的機率分佈，即改變電子 \downarrow 和 \uparrow 的機率分佈！



量子糾纏

- 讀不出3，與通過運算單元時發生糾纏有關。
 - ▣ 量子糾纏，是架構量子電腦運算單元的骨幹。



量子電腦(再看一次)

- 什麼是量子電腦？
 - ▣ 量子電腦也是一種計算機。
 - ▣ 但，其儲存單元、運算單元都與傳統電腦不同！

- 量子電腦的優勢是什麼？
 - ▣ 更快的運算速度。
 - ▣ 可以對數值還不確定的記憶體做新的運算。

量子電腦實例

- NMR量子電腦：
 - ▣ 儲存單元：丙胺酸各個 C^{13} 原子核的自旋方向。
 - ▣ 運算單元：量子糾纏現象。
 - ▣ 使用者介面：可以翻轉特定 C^{13} 自旋方向的光源。
- 2001年，*IBM*成功用一台含有7個量子位元的量子電腦，對15作質因數分解。

總結

- 量子電腦是一種極具潛力的未來電腦。
 - ▣ 用記憶體的疊加狀態，進行平行運算，節省步數。
 - ▣ 透過記憶體的量子糾纏，快速調整記憶體之內容。
- 展現近代應用科學的特色。
 - ▣ 尋找多個學科巧妙融會的關聯性。
 - ▣ 把呈現自然之美的理論，轉為提升生活品質的實踐。



謝謝！