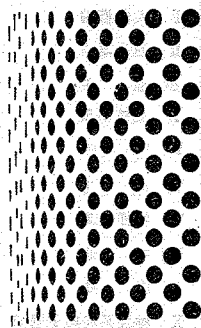


宇稱守恒定律簡介

蘇賢錫
國立臺灣師範大學



去年十月間，國內人士均因我國旅美實驗物理學家丁肇中發現新粒子，榮獲一九七六年諾貝爾物理獎而感到非常興奮，不免使我們聯想到二十年前另外兩位中國旅美理論物理學家因為推翻了宇稱守恒定律而獲得同樣榮譽。筆者以為或許部分讀者對此事蹟經過具有興趣，乃特於此為文，作一粗淺介紹。

早期探討自然界的奧秘，主要是靠哲學家。他們有敏銳的觀察力，可惜缺乏現代科學的設備。當時的哲學家萊布尼茲提出一個原理，說互相不能識別的兩個狀態便是同一個狀態。從今天的眼光來看，萊布尼茲是以神學而不是以科學作為辯論的依據。然而這個原理已成為近代物理的最重要原理之一。它是構成相對論和其他能量、動量等各種守恒定律的基礎，而我們就是靠這些定律以認識自然現象。廿一年前在物理界發生一件驚人事件，使這原理有更深刻更重要的意義。這件事情就是本文的標題——宇稱守恒定律的推翻與左右對稱性的闡明。

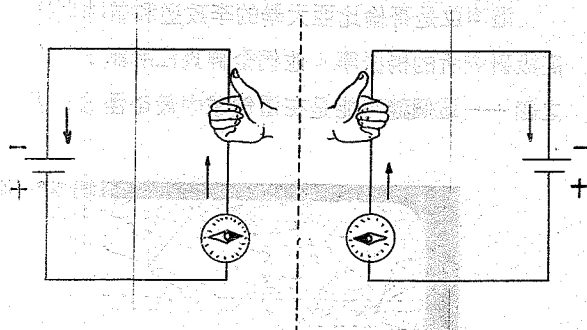
在萊布尼茲的原理中，最主要的是「不能識別」這幾個字。近代物理最重視那些能夠識別，那些不能識別。其中最有力最有效的假設之一便是絕對空間、時間和方向不能識別。例如，在一張世界地圖上，各地都有代表當地經度和緯度的一對數字，這對數字很有用很方便，但並不是該地的特質，所以沒有物理意義。假如經度起算點

自格林威治移到台北，那麼這對數字會改變，但是沒有一座山會移動。這對數字只不過是任意採用的。這就是在物理中處理空間的一般方法。標明空間中一個位置的座標，只是代表相對位置。我們用以解釋物理定律的數學方法中，從來沒有絕對位置。無論用那一種參考座標，空間保持不變。

再舉一個更富戲劇性更廣泛的例子。假設有熟練的導演，要在你面前的舞台上演出一些物理現象而沒有告訴你演出的日期，舞台的方位，和戲院的位置，你能用任何證據來識別這些嗎？當然不能。你可以把日期訂在你的一生中，但這顯然是主觀的相對時間。你能判斷在戲院內那個方向是向上，那個方向是向下。但是向上向下只是對地球而言。你也無法用羅盤來定北向，因為導演可能以磁場欺騙你。就算找到地球上的北向，也無法知道你在空間的絕對方位。你也不能從窗口望外看到熟悉的目標或星星以確定戲院的位置，因為地球本身在運動，其他所有外界參考點也都在運動。原則上而且實際上，絕對時間，絕對空間和絕對方向都不能識別。

這些事實在物理上極為重要，愛因斯坦的特殊相對論就是奠基在絕對座標不能識別的事實上。物理方程式不能參考絕對時間，空間和方位，這個事實經過邏輯推理便變成古典物理的能量和動量守恒定律。

宇稱守恒定律的基礎在於左右兩方不能識別的性質。這不能識別原理也可以說，實物（或事件）和其鏡像之間沒有絕對區別。右手套和左手套確實不同，但是如果做得好，看到鏡內的右手套，你不能由其性質道出你看的是左手套的鏡像。鏡內世界的人一定很不平常。你的鏡像受過不良教育，他不用右手而用左手跟你握手，又用左手寫字。但是鏡內世界的古怪，主要是慣例的。我們毫無理由懷疑這種世界的存在。事實上，任何好指揮家能設計並指揮演奏團，使你不能辨別傳統演奏和它的鏡像。



圖一：右手定則的鏡像就是左手定則

左右兩方不能識別的物理原理意味著每一個情形，每一個實驗都可能有其鏡像對稱物。自然界實在偏愛指派某一方向（左旋或右旋）給蝸牛或其他動物的外殼螺紋以及生物體的分子，但是這事對物理學家沒有決定性的影響。他知道分子在鏡內的像也同樣動作的很好。他能想像一個像我們一樣的生物世界，只是其左右方向與我們的相反者，鏡內世界的生活與實際世界的沒有兩樣。

直到二十一年前，左右兩方不變性如同時間或空間的不變性一樣似乎沒有爭論的餘地。所有經驗均能支持無法找到本質上的差異以辨別鏡內世界與實際世界的物理現象。所有想要區別左右兩方的嘗試均告失敗。學習電學的人都知道，有一個辨認電磁場方向的著名右手定則：用右手握住導線，若拇指指向電流方向，則其他手指頭的方向就是北極在導線的周圍磁場內移動的方向。然而，北極和南極有什麼區別？是的，你可以拿磁針作為參考。磁針的指北極塗成藍色，並蓋有大型N字母。但是這種慣例很容易反過來。如果我們把大型N字母蓋在磁針的另一端，則左手定則亦可成立。所以只有慣例在區別我們的實驗和鏡內對稱的實驗。無論在宏觀的或微觀的世界上，北極和南極在物理上的本質沒有區別。右手定則純粹是一種慣例，沒有一個電磁場的定律能夠對左右兩方作絕對的區別。

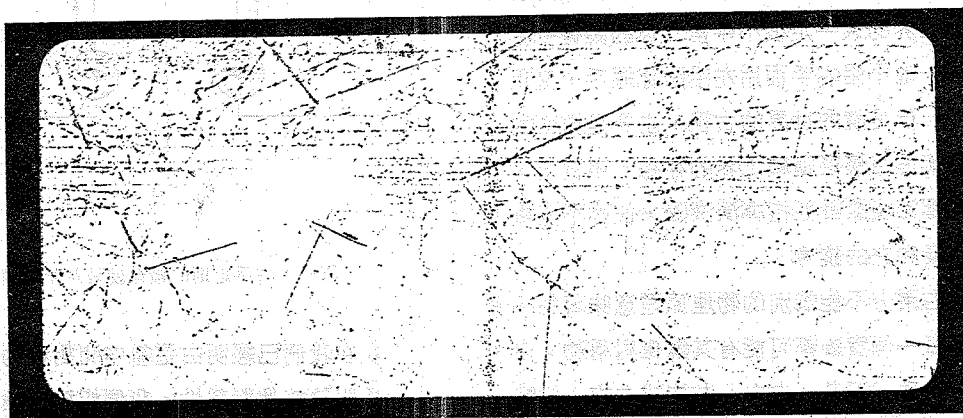
現在我們已經明白這種空間對稱的觀念。如果我們假設鏡像對稱性，我們能夠推論磁北極和磁南極不能識別。這個不能識別性是粒子在微觀世界裏的重要原理，俾便我們說明微觀世界的一些現象。這意味著宇稱守恒定律，正如空間和時間的不變性意味著能量守恒定律。

宇稱是一個數學概念，不能用物理名詞來下定義。它是量子力學中描寫粒子的波性及代表其在空間的位置時所用的所謂波動函數的特性。波動函數的變數就是我們通常用以指定空間位置的那些座標。我們現在不難瞭解，如果改變一個座標的符號（由正變負），就相當於把這系統反射在鏡內。宇稱表示波動函數經過這種倒轉的效果。當波動函數的三個空間變數之一的符號改變時，如果波動函數保持不變，我們說這函數有偶宇稱。如果變數符號的改變導致波動函數的符號改變，我們說它有奇宇稱。總而言之，宇稱有奇偶二種，而由經驗和理論知，孤立系統的宇稱永不改變，叫做宇稱守恒定律。

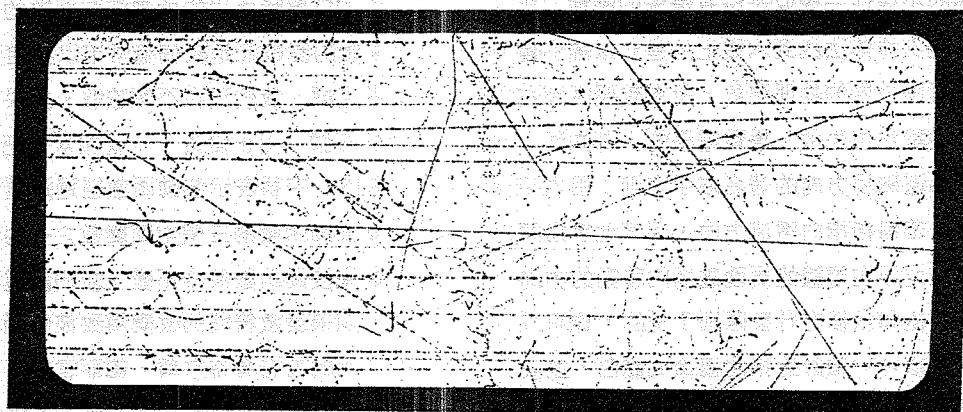
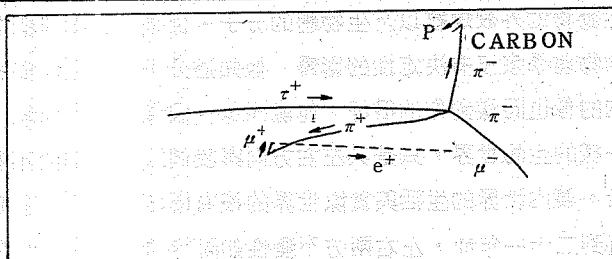
現在我們發現宇稱守恒定律遭到明顯的失敗。故事發生在二十一年前，從事研究原子世界內新近發現的奇異粒子的兩位極其富於想像力而聰明的中國人，提出一項真正奇特的建議，結果使他們獲取一九五七年諾貝爾物理獎。

這兩位是哥倫比亞大學的李政道和普林斯頓高級研究所的楊振寧。他們全神貫注所謂 $\tau - \theta$ 之謎——這個謎可能是在這領域中最奇怪的矛盾

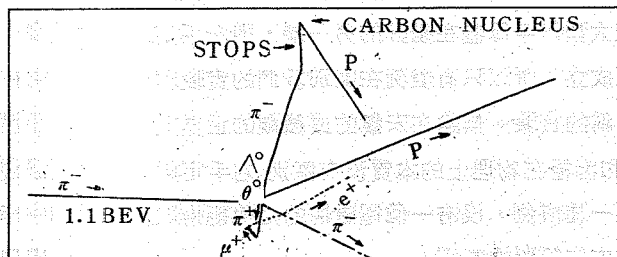
事。 τ 和 θ 是兩種介子， τ 介子經過一些時候蛻變成爲三個 π 介子， θ 介子則蛻變成爲兩個 π 介子。令人困惑的是， τ 介子和 θ 介子，除了蛻變



圖二： τ 介子蛻變成爲三個 π 介子的泡沫室照片



圖三： θ 介子蛻變成爲兩個 π 介子的泡沫室照片



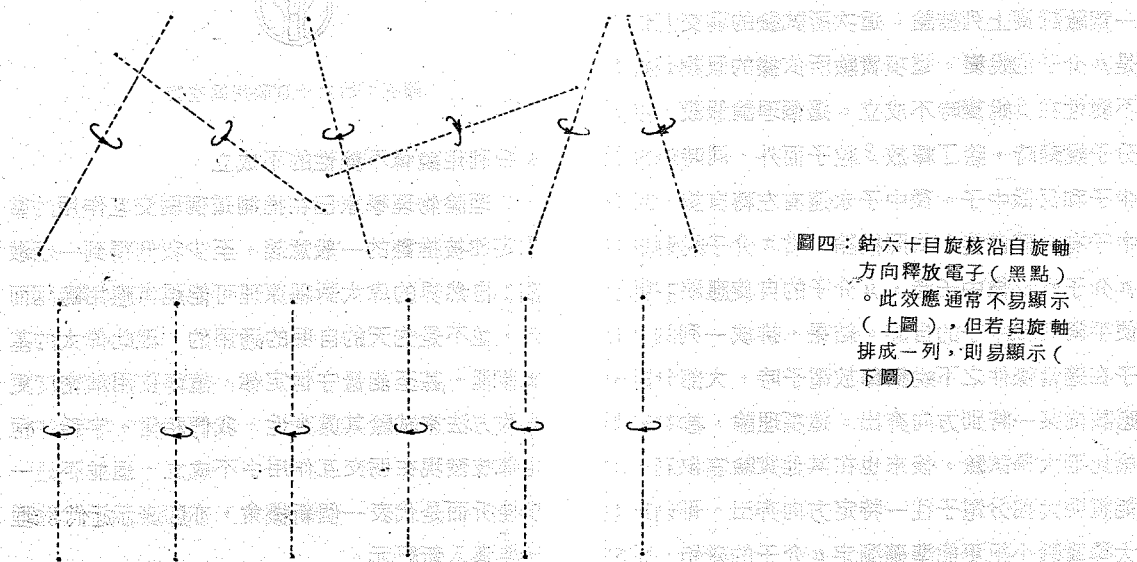
過程不同而外，其他性質都是一樣，可謂一對雙胞胎。它們會不會是同一種粒子呢？理論上和慣例上，一種粒子確實可以經由兩種不同過程而蛻變，但在這個情形，宇稱守恒定律正在妨礙。 τ 介子蛻變成爲總宇稱是奇數的 π 介子，而 θ 介子則蛻變成爲總宇稱是偶數的 π 介子。宇稱守恒定律要求，因爲 τ 介子和 θ 介子的宇稱不同，所以它們應爲不同的兩種粒子。

然而，另外還有一個問題。爲什麼 τ 介子和 θ 介子除了宇稱不同而外其他一切性質都很相像？李政道和楊振寧大胆地假設一個令人困窘而惹人注目的可能性：也許宇稱守恒定律在 τ 介子和 θ 介子的蛻變時不能成立！

他們大胆的假設，細心求證。他們想要證明，成爲宇稱守恒觀念之基礎的鏡像不變性可能在其他領域中成立，但在 τ 介子和 θ 介子的領域中不一定成立，因爲 τ 介子和 θ 介子的蛻變屬於非常特殊的反應，叫做弱交互作用。這種作用所包含的力實在太小——比電子在原子內被束縛的力量要小得多。這種力量是在一定能量之下測定釋放粒子所需的時間以衡量它。根據這樣測定，伴

隨著弱交互作用（例如 τ 介子或 θ 介子的蛻變）的力較原子內電子的束縛力小一千億倍。楊振寧和李政道覺得，以前在其他各種現象所做的鏡像不變性試驗，可能在這種未曾試驗過的弱交互作用領域中不成立。

他們提議做一次實驗，以便觀察是否在這領域中能夠區別左右兩方性質。 τ 介子和 θ 介子本身對於做這種實驗不很合適，因爲它們的壽命太短，只有十億分之一秒。但是放射性原子核的 β 蛻變（ β 粒子的釋放）也是一件弱交互作用，而這種蛻變如果在非常低能狀態進行，其壽命可以長到幾秒鐘，甚至幾年（例如鈷六十的 β 蛻變半衰期爲 5.3 年）。簡而言之，楊振寧和李政道所提議的實驗是，先把釋放 β 粒子的原子核的自旋沿著同一軸排成一列，再看 β 粒子被釋放是否沿著該軸的一邊的數目比較他邊的爲多。本來那一方都無關重要，因爲軸上並沒有箭頭。但是自旋原子核釋放 β 粒子較多的方向，事實上可定爲箭頭的方向，右旋螺絲釘或左旋螺絲釘前進的方向——而其鏡像應與實際情況相反。這實驗應該能夠證明在 β 蛻變時左右兩方的性質必能區別。

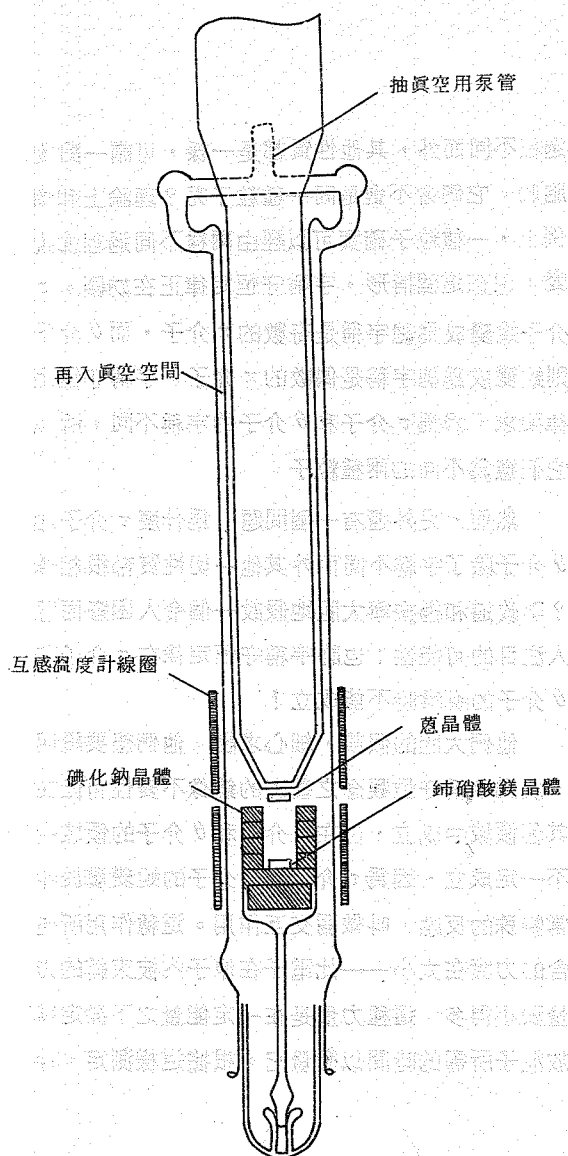


於是一個陣容堅強的實驗小組接受了挑戰。哥倫比亞大學吳健雄負責實驗設計，國家標準局安伯勒所率領的小組負責把原子核排成一列。安伯勒的工作是提供直線，吳健雄的工作是尋找箭頭的方向（即釋放 β 粒子較多的方向）。

原子核的排列是一項新技術，當時只有三、四年歷史。能夠操作原子核的唯一把手是原子核的磁矩。沒有一個實驗室的發電機能夠產生足夠強磁場使這些小磁矩排成一列，只有在原子本身裏面才有夠強的磁場。因此必須先把特種原子排成一列以便產生磁場，再用這磁場把原子核的磁矩排成一列。為了排列整齊，原子的熱攪亂必須減少到最小，亦即該系統要冷卻到很低的溫度，在絕對溫度一度以內。用以釋放 β 粒子的鈷六十，由最好的熱水瓶保護著，由液態氦冷卻著，終能排成一列，每次可達十五分鐘之久。

他們化費了六個月時間的設計和準備，只是為了十五分鐘的實驗，但要仔細觀測，十五分鐘是夠久的。由排成一列的鈷原子核釋放出來的 β 粒子，大部分奔向和磁場相反的方向。由 β 蛻變的觀點而言。這表示原子核在本質上有大轉自旋，亦即左右兩方的性質能夠區別！鏡像不變性顯然滅亡。但是鏡像不變性在其他部門仍可成立，只是在弱交互作用中不成立而已。

一九五六年十二月第一次實驗後數週內，另一實驗證實上列結論。這次所試驗的弱交互作用是 μ 介子的蛻變。這項實驗所依據的假設是鏡像不變性在 β 蛻變時不成立。這個理論假設，在 μ 分子蛻變時，除了釋放 β 粒子而外，同時釋放微中子和反微中子。微中子永遠有左轉自旋，反微中子有右轉自旋。依照推論，當 π 介子蛻變成爲 μ 介子和反微中子時， μ 介子的自旋應該右轉以便平衡反微中子的自旋。結果，排成一列的 μ 介子在適當條件之下蛻變釋放電子時，大部分電子應該向某一特別方向奔出。這項理論，首次在哥倫比亞大學試驗，後來也在其他實驗室做過，均能證明大部分電子往一特定方向奔出。哥倫比亞大學實驗小組更能準確測定 μ 介子的磁矩，這樣



圖五：鈷六十實驗用真空管

充分利用鏡像不變性的不成立。

理論物理學家已在推測這個弱交互作用的基本定律被推翻的一般意義，至少我們得到一個教訓：自然界的偉大對稱原理可能視其應用範圍而定，並不是先天的自明的通用的，因此偉大的基本原理，甚至能量守恒定律，值得使用精密度更高的方法來試驗其真實性。我們相信，宇稱守恒定律被發現在弱交互作用中不成立，這並不是一項挫折而是代表一個新機會，亦即表示近代物理已經邁入新紀元。