

有趣的原子結構解說教具

曾慶輝 姜宏哲

國立臺灣師範大學化學研究所

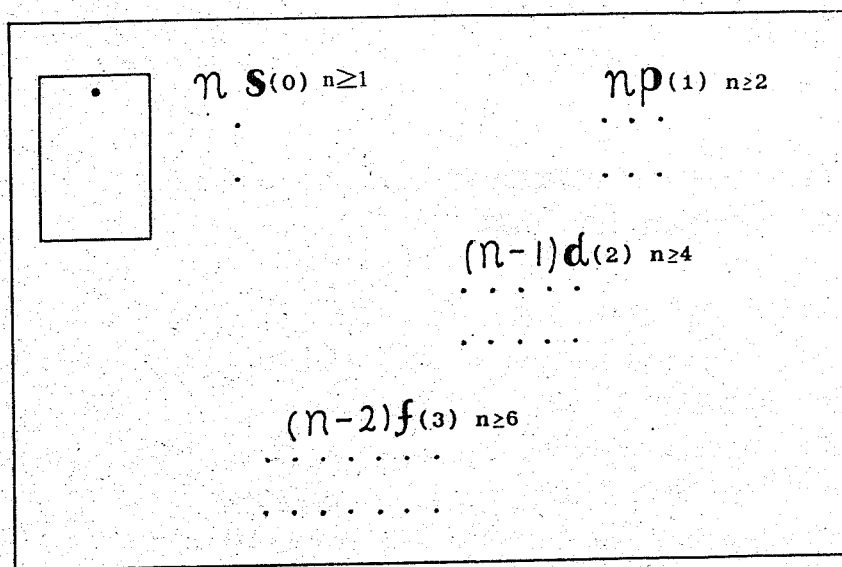
在高中化學及大一普化課程中，教師講解觀念較為抽象的原子結構時，往往不易引起學生的學習興趣，本教具因此採用實體的材料，將電子能階的概念，泡立不相容原則（Pauli Exclusion Principle），奧夫堡原則（Aufbau Principle），宏德原則（Hund's Rule），電子組態，週期表及游離能的變化，以一種有趣的方式介紹給學生。

一、材料：

一塊長 60 公分、寬 40 公分、厚 0.5～1 公分的軟質木板，33 支鐵釘（1.5 公分長），20 公分長橡皮管 2 條（實驗室所用導管，紅、黃各一條），及名片卡 11 張（或硬紙板，大小視需要而定）。

二、製作：

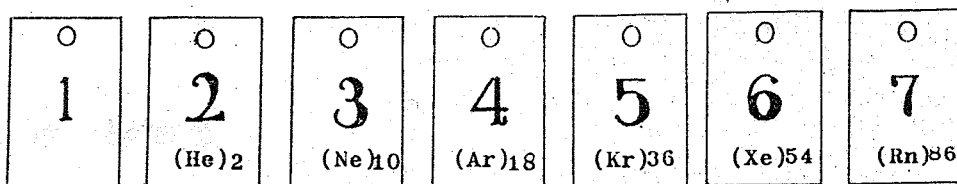
① 如圖 1 所示，將鐵釘釘於木板上：



(圖 1)

取二張名片卡，分別對半橫切成四張長方形卡片，並依次寫上： $ns(0) \ n=1$ ； $np(1) \ n \geq 2$ ； $(n-1)d(2) \ n \geq 4$ ； $(n-2)f(3) \ n \geq 6$ 貼於圖1所示位置。

② 主量子數牌：取名片卡7張，以打孔器打孔，便於懸掛，並分別寫上如圖2之數字：



(圖2)

③ 將紅、黃二條橡皮管各剪16段(每段1公分)代表電子。

三、說明：

1. $(n-1)d(1) \ n \geq 3$ 中， $n \geq 3$ 表示主量子數大於或等於3時，電子之填入始包含此一軌域； $(n-1)$ 之值表示此一軌域所存在的能階殼層； d 表示 d 軌域； (1) 表示 d 軌域的角動量子數為1。其餘三種軌域所寫符號意義，依此類推。

2. 主量子數牌右下方數字(如圖2)表示內層所含有的電子數，此一電子數恰為某一鈍氣元素的核外電子總數，因此在其左方括號內寫上該鈍氣之元素符號，表示電子組態與該鈍氣相同。

3. 圖1中，四種軌域的能量由左而右遞增(不管上、下位置)，即：

$ns < (n-2)f < (n-1)d < np$ ，當 $n < 4$ 時，不含 $(n-2)f$ 及 $(n-1)d$ ， $n < 6$ 時不含 $(n-2)f$ 。

四、應用：

先將主量子數牌按次序排列(1號硬紙板在最上面)，掛於左上角鐵釘上，其他鐵釘代表空軌域，橡皮管代表電子，黃色為順轉，紅色為逆轉。

(一) 量子數：

根據波動力學而言，電子在空間出現的機率可以下列四個量子數描述。

1. 主量子數 n (Principal quantum number)：決定電子在空間分佈的範圍，即表示電子的能階殼層， n 愈大該殼層距核愈遠。本教具中以主量子數牌代表。

2. 角動量子數 ℓ (Angular-momentum quantum number)：決定軌域形狀， $\ell=0$ ，電子分佈在 s 軌域； $\ell=1$ ，電子分佈在 p 軌域； $\ell=2$ ，電子分佈在 d 軌域； $\ell=3$ ，電子分佈在 f 軌域。本教具中，軌域符號後，括號內之數字(如圖1)即為該軌域的角動量子數。

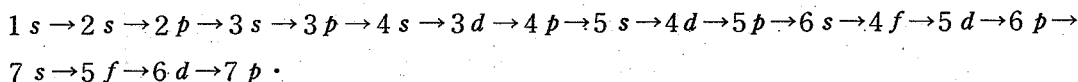
3. 磁量子數 m (Magnetic quantum number)：決定軌域數目及電子分佈之空間方位， m 值

受 ℓ 值之限制，共有 $(2\ell+1)$ 個。本教具中，上、下一對鐵釘構成同一方位的一個軌域，如 d 軌域， $\ell=2$ ，因此共有不同方位的軌域 5 個： $dxy, dxz, dyz, dz^2, dx^2-y^2$ ，教具中即是以 5 對鐵釘代表。

4. 旋轉量子數 s (Spin quantum number)：決定電子自轉方向，電子自轉只有順時針和逆時針二個方向，即 $-\frac{1}{2}$ 和 $+\frac{1}{2}$ ，本教具中以黃、紅二色橡皮管分別表示 $-\frac{1}{2}$ 和 $+\frac{1}{2}$ 自轉方向的電子。

(二) 多電子原子能階順序之簡易記憶法：

如本教具所示，電子填入軌域之順序： $n=1$ 時，只填 $1s$ 軌域； $2 \leq n < 4$ 時填 ns 及 np 軌域，即 $2s, 2p, 3s, 3p$ ； $4 \leq n < 6$ 時，填 $ns, (n-1)d, np$ 軌域，即 $4s, 3d, 4p, 5s, 4d, 5p$ ； $n \geq 6$ 時，則填 $ns, (n-2)f, (n-1)d, np$ 軌域，即 $6s, 4f, 5d, 6p, 7s, 5f, 6d, 7p$ ，因此可以很容易排出 $n=1 \sim 7$ 的多電子能階：



(三) 泡立不相容原則：

一個軌域中，最多只能容納兩個電子，若已有二個電子，則它們自轉方向必須相反，正如同本教具中每個方向的軌域只含二根鐵釘，此一軌域若含二個電子，則必須掛上不同顏色的橡皮管，表示轉向的不同。

(四) 奧夫堡原則：

電子填充軌域時，須按照能量的增加順序，依次填入，教師可應用本教具示範填入。

(五) 宏德原則：

當電子加到相同能階的軌域時，在成對以前，必先單獨的一個一個地填入各軌域，教師使用本教具表示電子組態時，可順便介紹此一概念，亦即電子加入相同能階軌域時，橡皮管必須掛滿下排鐵釘後，始可掛於上排，且下排使用黃色橡皮管，上排則使用紅色橡皮管。

(六) 電子組態：

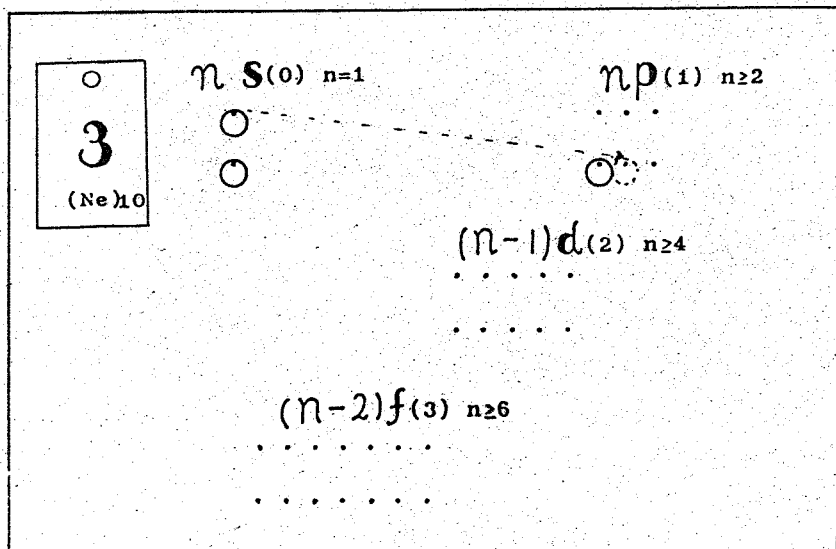
電子組態表示原子核外的電子數目及其所佔之能階，以及軌域種類。電子填入軌域的順序係依照多電子能階的高低次序，並遵循泡立原則，奧夫堡原則及宏德原則，今舉例如下：

1. $_{13}\text{Al}$ ：比較主量子數牌右下角的電子數，由第一張開始選擇，發現 13 小於 4 號的 18，因此選擇 3 號的主量子數牌，3 號牌電子數為 10，尚餘 3 個電子，分佈在第三層軌域，以本教具表示：(如圖 3)

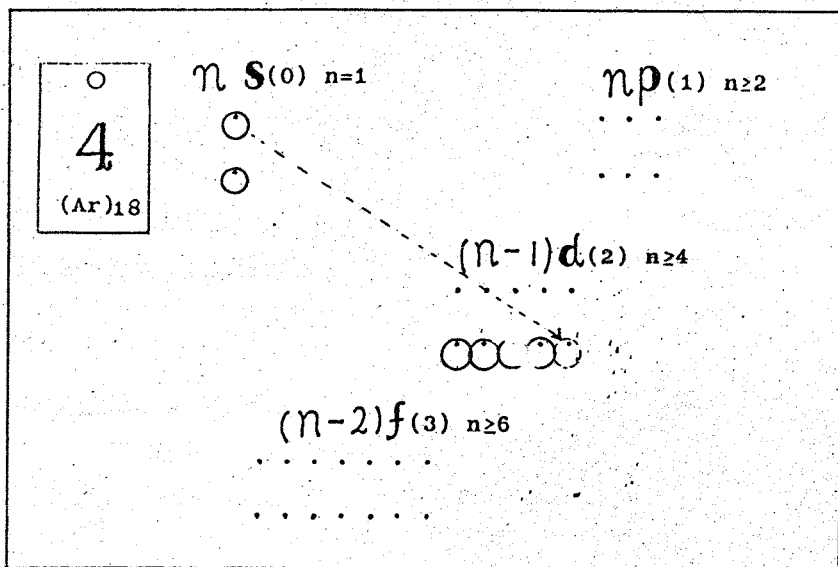
其電子組態為 $[\text{Ne}] 3s^2 3p^1$ 當它形成鍵結時，必須先將 $3s$ 中的一個電子提升至 $3p$ ，而成 sp^2 結合，教師講解時，可應用本教具說明，如圖 3 虛線所表示者。

2. $_{24}\text{Cr}$ ：24 小於 5 號的 36，所以最外層電子在第四能階層，且較 $_{18}\text{Ar}$ 多出 6 個電子，又因為 $n \geq 4$ ，所以電子填入之次序為 $ns, (n-1)d, np$ ，以本教具表示：(如圖 4)

其電子組態本來是 $[\text{Ar}] 4s^2 3d^4$ ，但因半滿軌道為一安定狀態，因此 $4s$ 中的一個電子提升至 $3d$ ，使得 $4s$ 與 $3d$ 均成半滿，電子組態因此成為 $[\text{Ar}] 4s^1 3d^5$ 。



(圖 3)



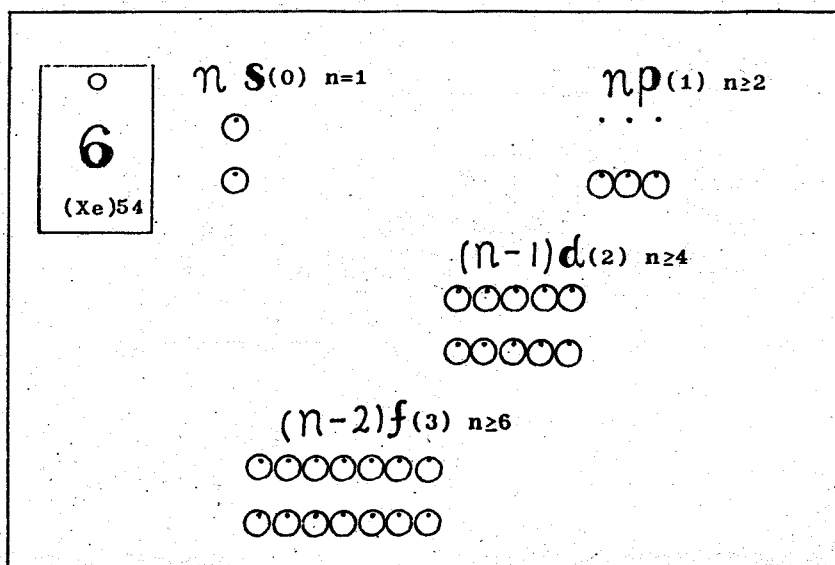
(圖 4)

3. ${}_{83}\text{Bi}$, $n=6$, 尚餘 29 個電子, 因 $n \geq 6$ 電子填入之次序為 ns , $(n-2)f$, $(n-1)d$, np , 因此, 以本教具表示: (如圖 5)

其電子組態為 $[\text{Xe}] 6s^2 4f^{14} 5d^{10} 6p^3$

(七) 電子組態與週期表:

由應用(二)看出, $n=1$ 時, 只含 $1s$ 軌域, 只有二支鐵釘, 可容納 2 個電子, 表示第一週期只



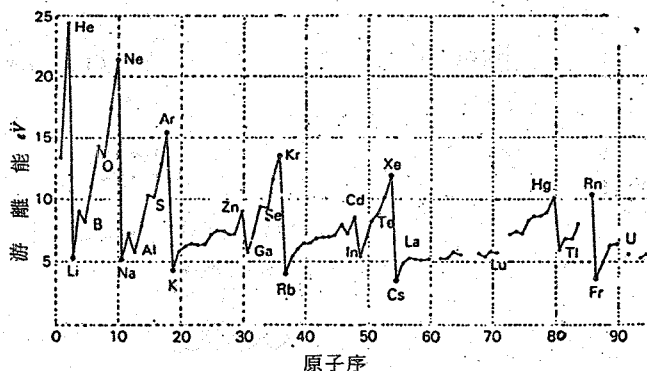
(圖 5)

有二個元素。 $n = 2$ 或 3 時，含 s 與 p 軌域共有 8 支鐵釘，恰可容納 8 個電子，因此第二、三週期各含 8 個元素。 $n = 4$ 或 5 時，含 s, p, d 軌域，恰可容納 18 個電子，因此第四、五週期各含 18 個元素； $n = 6$ 或 7 時含 s, p, d, f 軌域，恰可容納 32 個電子，因此第六、七週期各含 32 個元素，圖 1 中最上面一行含 s, p 軌域共有 8 支鐵釘，表示週期表含有 8 個 A 族；次行含 d 軌域共有 10 支鐵釘，表示 10 個 B 族。因此本教具與週期表實有密切關係。任何一個元素，只要知道原子序（即電子數），便可由本教具之主量子數牌找出存在之週期，再由其餘電子之排列，根據最後一個電子填入之軌域，得知該元素在週期表的正確位置，如圖 3 之 $_{13}\text{Al}$ ，主量子數牌看出位於第三週期，更由最後一個電子填入之位置得知為 $3A$ 族之元素，若該元素最後一個電子填入 d 軌域則此元素必為過渡元素，填入 f 軌域則為鑷系或錒系元素。

(八) 軌域與游離能：

由第一游離能與原子序的相關曲線，我們發現每一週期元素的第一游離能數值與理想的週期性有些偏差，此一事實必須以電子在軌域中的能量關係說明，教師應用本教具可容易地解釋這些現象。將電子由小而大，依此填入各能階軌域，謹記①主量子數愈大，游離能愈小。②同一週期原子序愈大游離能愈大的基本原則，再以全滿與半滿軌域特別安定的特性解釋偏差現象。圖 6 所示鈍氣為全滿狀態，非常安定，因此游離能高， He 之原子最小，原子核與電子吸引力最大，因此游離能在鈍氣中最高，對同一週期而言，原子軌域數一樣，大小相近，原子序愈大，原子核中質子數愈多，對核外電子之拉力愈大，游離能應該隨原子序之增加而升高，如第二週期元素之游離能依上述解釋應為： $\text{Li} < \text{Be} < \text{B} < \text{C} < \text{N} < \text{O} < \text{F} < \text{Ne}$ ，但圖 6 中顯示 $\text{B} < \text{Be}$ ， $\text{O} < \text{N}$ ，此一現象可由教具看出， Be 為 $2s$ 全滿， N 為 $2p$ 半滿，安定性增加，游離能因而偏高，餘者依此類推。

(九) 以上各點，只就本教具的基本應用，略作描述，教師講課時，可視需要增刪之。



(圖6) 第一游離能與原子序的相關曲線

五、結論：

本教具不但製作簡便且又經濟，可由學校大量訂製，於上課時供學生使用；也可由學生自己製作，如此不但可提高學習興趣，且達到良好教學效果。教師利用教具講解時，應將教具尺寸放大，便於學生清楚地觀察教師的示範情形。

編輯室小啓

- 一、來稿請附添作者簡歷，以便在揭刊時介紹。
- 二、稿前請附提綱。
- 三、非特約稿請勿超過10,000字。
- 四、凡來稿具時間性或需提前刊載者請於每期截稿前五日（次月份于當月20日截稿）寄下。
- 五、答詢稿件，因須邀聘專家解答，來件請儘量提早，以便即期刊出。
- 六、歡迎各地科教活動通訊稿，稿酬從優。
- 七、譯稿請附原文本（或複印本），譯名請附原文。