

## 物理與化學的交叉點：國中理化概念之統整

林宣安

台中市立長億高中教師  
10930984547@gmail.com

(投稿日期：民國 103 年 10 月 19 日，接受日期：103 年 12 月 04 日)

**摘要：**國中階段的物理與化學，經常被整合成「理化」一科，然而對於授課教師而言，其背景卻可能來自物理系或化學系，造成知識的不周延，以致於對於自己不在行的主題時，常常會陷於「只知其然而不知其所以然」的窠臼，因而教出「一知半解」的學生。國中的理化實驗中，經常都不會僅含單一原理，對理化老師來說，充分了解原理與實驗之間的關聯性，是絕對必要的，而在連結兩者的過程中，就可統整教師與學生在物理與化學的知識。本文透過兩個實驗實例，以闡述「物理原理融入化學實驗」，以及「化學原理融入物理實驗」的特點及可行性。

**關鍵詞：**知識統整、科學實驗、理化概念

### 壹、前言

在目前國中自然與生活科技的課程中混雜了生物、物理、化學、生活科技等眾多科目，但許多老師在大學的專業訓練裡，卻往往只有一個科目的學習。雖然許多學校，還是以分科為排課原則，但物理、化學多年來仍是維持一個科目。因此，許多物理背景的老師在教授化學；或化學背景教授物理時，常面臨知識不足的困境。或許是因為學科屬性的差異，物理學科有較多的原理原則可供遵循，也有較多的思考實驗 (thought

experiment)，但化學科比較貼近實證科學 (empirical science)，因此更強調實驗的方法、過程與結果驗證。再加上不同學科還是有許多細節，若非深入研究很容易落入「只知其然而不知其所以然」的窠臼中，更不用說初學自然科學的學生往往就是一知半解。

在現階段國中教科書很多的實驗中，經常都不會是單一種原理的應用，但礙於課程的順序，很多還沒詳細教授的單元，卻已經在實驗中出現，是否要「話說從頭」就成了許多國中理化老師的兩難，甚至可能連許多老師都無法詳細了解這些原理之間彼此的相

關性，反而使得部分不太正確的觀念因此傳遞給學生，這是老師們必須先自我省思之處。

但對理化老師來說，充分了解原理與實驗之間的關聯性卻是絕對必要的，畢竟如果連老師都無法確切了解，如何能將正確的觀念傳達給學生？在此，筆者舉出八年級兩個類似的例子和大家一同探討。

## 貳、物理原理融入化學實驗

八年級上學期的自然科第二章進入物質的分類，早期實驗利用蠟燭在密閉容器中燃燒水位上升來說明空氣只有部分的成分具有助燃性，實驗本身的設計其實問題不大，但卻有少部分的老師將實驗結果直接引入容器進入  $1/5$  體積的水，因此空氣成分中含有  $1/5$  體積的氧氣。這樣的實驗結果要推論到空氣成分含有約  $1/5$  的氧氣其實非常不恰當，首先進入容器中的水無法明確測量體積，蠟燭也占據了一定程度的體積，再者，以蠟燭的燃燒效率也不容易將容器內部的助燃物消耗殆盡，定量的部分相對就難以測量。

但是，再回到實驗本身的原理來看，為何容器內部分氣體被消耗掉，水就會進入容器內部？這就必須採用壓力的角度來解釋比較合適，但壓力單元卻又是下學期的內容。蠟燭燃燒後雖然消耗掉空氣中的助燃物(在此直接先以氧氣來說明)，但同一時間也產生了二氧化碳，這些二氧化碳不也佔據了原本被消耗掉的氧氣體積嗎？那產生的二氧化碳體積又有多少？為何水還會進入容器中？這些問題其實還是有必要說明清楚。

有關二氧化碳延伸出來的實驗問題，後來的教科書已經有改良成利用鋼絲絨的氧化(產生氧化鐵固體，而非二氧化碳)來避免解釋上的困擾，確實使得二氧化碳的干擾降到

最低，但實驗時間卻必須拉長到數天才能明顯觀察出結果，也不太適合在課堂中即時呈現。因此，筆者嘗試改良了實驗的方式，或許仍無法作出精確的定量實驗，但方便在課堂中操作，也可以提供老師另一個教學參考。

教具製作方式如下：

- 一、將 18 號的注射針頭插入 15 號的橡皮塞(剛好可以塞住 250ml 的廣口瓶，如圖 1 所示)。再利用斜口鉗剪去注射針的尖銳處，以確保使用安全。



圖 1：所需裝置。

- 二、再將約 5 公分左右的鐵絲插在橡皮塞的另一端中央處，如圖 2 所示。



圖 2：剪去注射針的尖銳處，中央端為鐵絲。

- 三、將注射軟管的末端(插注射針那端)裁下約 30 公分的長度，並留下流量控制器，在將注射軟管插上 18 號的注射針中，如圖 3 所示。



圖 3：裝置完成圖。

四、將廣口瓶內的體積均分五等份，並利用簽字筆做上記號，如圖 4 所示。  
(想一想，廣口瓶非均勻圓柱體，因此不能以廣口瓶高度作為均分依據，還有什麼方法可以將其五等分?)



圖 4：將廣口瓶內的體積均分五等份。

操作方法如下：

- 一、將衛生紙纏繞在鐵絲上，沾上少許酒精幫助燃燒。
- 二、點燃衛生紙，等待火焰較小時再迅速蓋上廣口瓶，避免廣口瓶內的空氣熱膨脹使得實驗產生誤差，如圖 5 所示。



圖 5：點火後等火焰較小時迅速塞入廣口瓶中。

三、將注射軟管放入水中，再打開流量控制器，水立刻被吸入廣口瓶中，觀察吸入廣口瓶中的水量。如圖 6、圖 7 所示。



圖 6：水因低壓流入廣口瓶中。



圖 7：體積約佔廣口瓶的 1/5

在稍微練習過操作技巧後，可以做出非常接近 1/5 的結果，但產生的二氧化碳跑到哪裡去了？

根據美國維基百科的資料(註 1)，在 100KPa，25°C 時，二氧化碳對水的溶解度約 1.45g/L，這又是多大呢？大部分的人其實對這個數字有多大並沒有明確的概念，若將二氧化碳轉化為體積，就比較容易理解了，計算的方式如下：

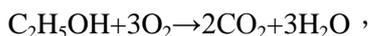
代入理想氣體方程式： $PV=nRT$

$$1 \times V = 1.45 / 44 \times 0.082 \times 298$$

$$V = 0.805(L)$$

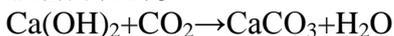
也就是 1 公升的水，約溶解 0.8 公升的二氧化碳。

這樣的溶解度以氣體來說不算小，若以筆者所設計的實驗來說，在容器中利用乙醇來燃燒，反應式如下：



假設完全燃燒，且溫度變化不大，依亞佛加厥定律，體積減少約  $(3-2)/3 \times 0.21 = 7\%$ ，因此容器內部壓力因氣體分子數變小而較外界壓力小，水就會往容器內部流動，一旦水流入容器中，產生的二氧化碳就會溶入水中，我們特別將吸入的水加入廣用試劑，從變色的情況(綠色變為黃色)就可以知道二氧化碳確實有溶入水中，使得水呈現出弱酸性的黃色，理論上有 80.5% 的二氧化碳溶入水中，依比例來說約有  $(21\% - 7\%) \times 0.805 = 11.27\%$ ，加上原本因燃燒所減少的 7%，理論上水位約上升容器體積的 18.25%，和我們預期的 21% 仍有約有 13.1% 的相對誤差(註 2)。

但若將吸入的水改為石灰水，石灰水和二氧化碳會結合成固態的碳酸鈣，所影響的體積就會降低許多。



若產生 1000cm<sup>3</sup>，1atm，25°C 的二氧化碳  
代入理想氣體方程式： $PV=nRT$

$$\text{二氧化碳莫耳數} = (1 \times 1) / (0.082 \times 298)$$

$$= 0.041 \text{ 莫耳}$$

$$\text{產生的碳酸鈣質量} = 0.041 \times 100 = 4.1 \text{ 克，}$$

$$\text{體積} = 4.1 / 2.8 = 1.46 \text{ cm}^3$$

也就是說，當二氧化碳轉化為碳酸鈣，體積約縮小至原體積的  $1.46/1000 = 0.146\%$ ，理論上水位會上升容器體積的

$$(1 - 0.146\%) \times 14\% + 7\% = 20.98\%,$$

若以相對誤差來說，約只剩下 0.095%，當然這只是理論值，實際操作還有許多人為與環境的不確定因素，使得準確率下降，但卻可以讓實驗本身有更多的參考價值。

### 參、化學原理融入物理實驗

在「壓力」單元，馬德堡半球算是非常經典，也是令人感到驚奇的實驗。許多老師都不會放過這個讓學生瞠目結舌的機會，但一般實驗室的馬德堡半球直徑約 6~8 公分，需用抽氣機抽成低壓狀態，才能進行相關實驗。若要在一般教室進行確實有許多的不便，因此，近幾年許多教材，都改用兩個吸盤，來模擬馬德堡半球的實驗。這樣的改良，雖讓學生可以人手一套，進行體驗，但那種「球」的感覺卻不見了，也失去了這個實驗原本最重要的「驚訝感」。因此筆者嘗試著重新設計實驗裝置，希望可以方便操作，又能保有「球」和「驚訝感」的特點。

製作與操作方式如下：

- 一、將兩個相同的不銹鋼鍋子(約 25~30 公分)背面鑽孔，利用螺絲固定拉環。在接縫處務必塗上氣密膠(可利用汽車引擎蓋塗裝用的氣密膠)，以達最好的氣密效果，如圖 8 與圖 9 所示。



圖 8：內部以螺絲加上氣密膠鎖上。



圖 9：外部加上拉環。

二、在其中一個不鏽鋼鍋的邊緣黏貼上泡棉，使兩個鍋蓋可以密合，如圖 10 所示。



圖 10：另一個鍋子貼上泡棉。

三、另外一個鍋子的側面鑽出一個小孔，方便排氣，如圖 11 所示。



圖 11：其中一個鍋子先鑽出一個小孔。

四、使用前先將小孔利用金屬膠帶封住，建議不要使用一般透明膠帶，容易因加熱而燒融。

五、再利用紙張在鍋子內燃燒，再蓋上另一個鍋蓋，如圖 12 所示，可使鍋內大部分的氧氣耗盡，加上氣體熱膨脹的影響，降溫後原本氣體冷卻之後體積縮小，便可以在鍋內產生低壓，簡單又方便。



圖 12：利用熱膨脹使內部產生低壓狀態。

六、在拉環處接上童軍繩，可方便施力，兩邊各兩個人都無法拉開，如圖 13 所示！



圖 13：自製馬德堡半球的上課現場。

七、若要解開鍋子，只要將膠帶撕開，便可聽到氣體灌入鍋內的聲音，兩邊壓力相等後便可輕易將鍋子打開了。

利用燃燒，讓密閉容器內部產生低壓，固然方便，但在實際進行教學時，卻發現學生反而產生困惑。先前作空氣成分檢驗實驗時，我們同樣利用燃燒讓廣口瓶內部產生低壓，因此許多學生也類推了相同的原理在這個教具身上。但這時我們並沒有讓容器內部吸入水，換句話說，內部因燃燒所產生的二氧化碳並沒有被吸收，如此內部並無法產生如預期的低壓，那又是怎麼一回事？

這時老師就有必要引導學生進一步思考，我們利用燃燒使馬德堡半球內部產生低壓的原因，和空氣成分檢驗的實驗所利用的原理是不一樣的，我們此時單純只是利用高溫使氣體體積膨脹，當回到室溫時自然就形成低壓，這時所利用到的原理就不單純只是壓力的變化，而必須牽涉到化學的理想氣體方程式來說明。

假設產生的火燄溫度約  $600^{\circ}\text{C}\sim 800^{\circ}\text{C}$ ，容器內空氣的溫度達  $200^{\circ}\text{C}$ ，此時未完全蓋住上鍋蓋，因此壓力維持 1 大氣壓，蓋上上

鍋蓋降回室溫  $25^{\circ}\text{C}$  後，內部壓力就為因為氣體分子數的減少而變小。

代入理想氣體方程式： $PV=nRT$

當  $P$  與  $V$  維持固定的前提，莫耳數( $n$ )與溫度( $T$ )會成反比，

所以  $n(\text{前})/n(\text{後}) = (273+25)/(273+200)=0.63$

也就是說約有 40% 空氣量因高溫而溢出容器，內外的壓力差也就有約 0.4 atm，我們自製的馬德堡半球直徑約 23 公分，代入壓力公式  $F=PA=1033.6 \times 0.4 \times (23/2)^2 \times \pi$

$$= 171687\text{gw} = 171.687\text{kgw}$$

因此產生的力就有 170kgw 左右，在實際操作時，兩邊各 2~3 個學生也幾乎拉不開，實驗的高潮就在此沸騰到頂點。

實驗的另一個神奇之處當然就是老師如何利用科學將馬德堡半球輕易打開，其實我們事先已經在不鏽鋼鍋的邊緣鑽一小孔，雖然說壓力差約有  $400\text{gw}/\text{cm}^2$ ，但小孔的截面積卻只有  $0.03\text{cm}^2$  左右(小孔半徑約 0.1cm)，因此擠壓在膠帶上的力只有 12gw，當然我們就可以輕易將膠帶撕開了，一旦撕開膠帶，不鏽鋼鍋內外的壓力恢復平衡，鍋子也就自動分離了。

## 肆、結語

上帝在創造宇宙萬物不是先有物理和化學，再將東西一一丟在這兩個大籃子中，也不是單純用一個原理原則就決定了萬事萬物的結果，但我們在處理自然現象時，往往超過二個以上的變因就很難預測出真實的結果，這也是在中國階段許多學生會提出的質疑，「這些教科書說的和真實世界根本不一樣！」，「實驗根本作不出課本的結果！」，「課本都太理想化了！」。

「沒錯，你們說的都對！」我經常在課堂上對孩子們這樣說，因為初學自然科學通常只能處理一個變因所產生的結果(一個變因已經讓許多學生都搞不定了)。但，這個世

界往往不是我們所常用的二分法，也不是我們如實驗室般可以儘量控制所有的條件(其實也不可能做得到)。因此，科學並不如一般人認為是準確無誤，且可被預測結果的學科，真實世界的科學往往答案只是一個「機率」，有幾分證據，說幾分話，才是學習科學真正的態度。

即使最厲害的科學老師也無法解釋所有的現象，最先進的實驗室也無法掌握所有的變因與條件，因此面對大自然我們應該更謙卑的面對，或許這才是自然科學真正要教導我們的課題，也是我們應該要給孩子們最重要的科學素養。

加上國中小階段是義務教育，參雜了各種不同學習屬性與興趣的學生，所以自然科學對沒有理科傾向的學生來說，可能都是「用不到的知識」，雖然這是以偏概全的說法，但對許多人來說卻也是不爭的事實。因此，在國中教授自然科學時，藉由這些知識概念，傳達有關科學現象與理論推理之間的連結與思考模式，也就是所謂的科學方法(scientific method)與科學素養(scientific literacy)，或許對更多孩子來說是才是更重要的能力。這也是自然科老師在執著這些內容屬於物理或化學？或者這些物質屬於純物質或混合物？或者這些現象屬於物理變化或化學變化時，可以有更多的解釋空間，畢竟培養孩子們處理這些資訊的能力應該比分類他們來得重要吧！

註 1

[http://en.wikipedia.org/wiki/Carbon\\_dioxide](http://en.wikipedia.org/wiki/Carbon_dioxide)

註 2

以上推論都是假設我們利用乙醇可以將容器內部的氧氣完全燃燒且沒有熱膨脹的情況下來討論，因此可能會因為操作技巧與外在環境等因素，導致實驗產生極大的誤差，在此僅就數學上作探討。

## **Integration of Physics and Chemistry Principles in Junior High Physical Science Courses**

**Hsuan-An Lin**

Taichung Municipal Chang Yie High School  
10930984547@gmail.com

### **Abstract**

At the stage of junior high school, teachers who have graduated from either physics or chemistry departments are expected to teach the “physical science” course, which comprises both physics and chemistry. Therefore, when a physics background teacher teaches chemistry topics, s/he might encounter the difficulty of insufficient knowledge. In order to enhance teachers’ knowledge, the author introduced two experiments incorporating physics principles in chemistry experiments and vice versa. Therefore, by means of reasoning experiments with science principles in depth, teachers and students may be able to integrate the knowledge of physics and chemistry in a coherent manner.

**Key words:** knowledge integration, science experiments, physical science