

學生姓名：_____

實驗活動學習單

海洋酸化：二氧化碳扮演的角色

在這個實驗中我們將會探討溫度對海洋吸收二氧化碳量的影響，請寫下計算過程。

第一部分：動手做科學

老師會利用寶特瓶、水與指示劑來模擬二氧化碳從大氣中進入到海洋中的情形，選定的指示劑在中性溶液中呈現黃色，在酸性（ $\text{pH} < 4$ ）環境下則會變成紅色，實驗亦會比較海水與淡水是否有不同的反應，請仔細觀察並記錄你的回答。

問題1：原本的水是什麼顏色？

問題2：二氧化碳加入到淡水後，你觀察到什麼變化？在海水瓶中又發生什麼變化？

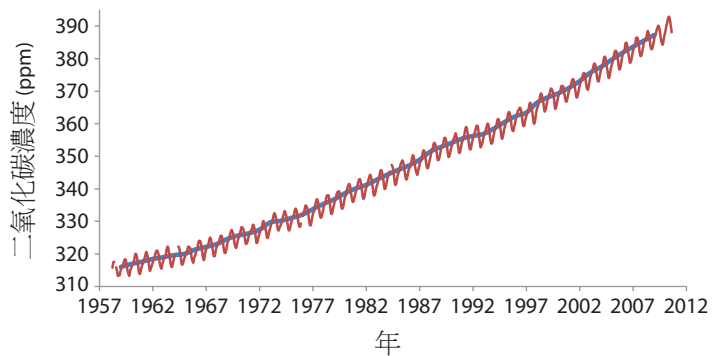
問題3：哪些物理機制控制了二氧化碳進入到瓶內的水中的運動？

問題4：有沒有辦法再把水變回黃色？你怎麼辦到的？

第二部分：大氣中的二氧化碳

問題5：請利用下圖一中冒納羅亞山上紀錄到的大氣中二氧化碳含量變化來回答下面的問題。

1. 目前大氣中二氧化碳含量為何？（譯者註：請老師們列印前可以上網更新）
2. 圖上有兩條線，是什麼機制讓紅色的現有上下震盪？
3. 請描述藍線隨時間變化的趨勢，有什麼人類活動導致這個趨勢的增加？



圖一、夏威夷冒納羅亞山上測量到的大氣中二氧化碳含量。藍色線代表每一年平均的二氧化碳濃度。紅色線顯示每個月的值，因而可以看到大氣中二氧化碳含量呈現顯著的季節性的變動。圖片 <https://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/mlo.html>

第三部分：大氣中二氧化碳溶解於水

問題6：請寫下二氧化碳溶解於水中的化學反應式，請將海水中含量最高的物種圈起來。

問題7：二氧化碳溶於水的過程如何使pH值改變？請解釋。

第四部分：理想氣體定律

我們可以利用理想氣體定律來估算寶特瓶中的氣體量，在這邊，我們是利用簡化的氣體方程式來計算大氣中的二氧化碳如何影響海水的酸度。

給老師的話：這個部分可以根據學生程度而調整內容，在本文中有指出，當二氧化碳溶到水中，只有1/400的二氧化碳分子會形成 HCO_3^- 與一個氫離子，比較精細的計算，則建議加入這個的影響。

器材

- » 2個輪胎氣閥
- » 2個1公升的寶特瓶，含蓋子
- » 1個 500 mL量筒
- » 大約1公升熱水（ $\sim 50^\circ\text{C}$ ）
- » 大約1公升冷水（ $\sim 10^\circ\text{C}$ ）
- » 1個簡易胎壓計
- » pH 試紙（可選擇性使用）

註：熱水可以用飲水機的熱水來調整溫度，冷水則可用加入冰塊的方式。

化學概念的複習

科學家利用莫耳數來描述分子或原子的數量，否則如果真正的分子或原子數量將會是很大的數目，令人眼花撩亂。

一個莫耳數代表 6.02×10^{23} 個原子或分子

理想氣體定律（ $PV = nRT$ ）可以協助我們計算氣體如氧氣、二氧化碳、氮氣等在不同溫度壓力下的體積，各參數的單位為

P = 壓力（kPa）， V = 體積（L）， n = 莫耳（mole）， R = 氣體常數 = $8.314 \text{ (J mole}^{-1} \text{K}^{-1})$ ， T = 溫度（K）。

問題8：把寶特瓶裝滿水，再把水倒入量筒，量測瓶子的實際體積。用“公升”作為單位，請問瓶子的體積為何？

問題9：利用量筒量測，將0.8公升的水倒入寶特瓶中後，請問瓶中的空氣體積為何？這個稱為頂部空氣（簡稱：頂空量）。

問題10：請利用理想氣體方程式，假設空氣是理想氣體，瓶子中裝入0.8公升水後，頂空中空氣的總莫耳數為何？

問題11：寶特瓶頂空中的氣體應與實驗室大氣中的氣體組成相同，而目前一般大氣中約有0.044%是二氧化碳。（譯者註：這個數量需每年更新）

1. 請問目前寶特瓶的頂空中，有多少莫耳的二氧化碳？（務必寫下計算過程）
2. 如果頂空中的全部二氧化碳都溶於水中，請問會有多少莫耳的氫離子可被釋放出來？註：這是個假設的題目，因為實際上，氣態與溶解態的氣體之間會達成平衡，也就是仍會有些許的二氧化碳留於頂空中。
3. 每一公升純水中有 1×10^{-7} 莫耳的氫離子，現在你的寶特瓶中有0.8公升的水，也就是在二氧化碳溶到水中之前，總共會有 0.8×10^{-7} 莫耳的氫離子，如果頂空中所有的二氧化碳都溶到水中後，將會有多少莫耳的氫離子。（必須將水中原有的氫離子再加上假設二氧化碳全部解離後貢獻的氫離子。）

問題12： $\text{pH} = -\log(\text{氫離子濃度}) = -\log(\text{總氫離子莫耳數}/\text{水體積}, \text{moles}/\text{公升})$

1. 請計算純水的 pH
2. 請計算假設頂空中全部的二氧化碳溶解後水的 pH

第五部分：二氧化碳的溶解

實驗活動的這一部分，我們將二氧化碳溶解在溫水和冷水中。在開始本練習之前，先做出假設，預測這兩者會有什麼差別。

給老師的話：這份練習包括使用 pH 計/ pH 試紙和手工計算 pH 值，計算量稍大。

問題13：假設：寫一個關於在溫水瓶和冷水瓶二氧化碳溶解的假設，例如描述二氧化碳在不同溫度下溶解於水體中，將如何改變冷暖水瓶中溶液的 pH 值？

編寫完假設後，繼續執行以下步驟。

步驟1» 在一瓶裝有0.4升的冷水瓶中，中加入0.4升的熱水。

步驟2» 將0.8升冷水加入另一瓶中。

步驟3» 將瓶蓋輕放於瓶子上，不要旋緊。

步驟4» 擠壓每個瓶子，以除去所有空氣（不會濺出水）。

步驟5» 將每個瓶子上的蓋子牢固地旋緊。

問題14：從瓶子中擠出所有空氣後，每個瓶子裡有多少莫耳的二氧化碳？假設大氣中沒有二氧化碳溶解在水中。

問題15：水的 pH 值是多少？

步驟6» 將瓶子給講師，用純二氧化碳氣體加壓。

步驟7» 加壓後可以使用輪胎壓力表測量瓶內壓力。

注意：如果沒有立即對閥門進行密封，則瓶子中的二氧化碳將會稍稍流失；如果測量壓力不止一次，瓶子中的二氧化碳亦會流失，壓力會下降。

問題16：瓶中的初始壓力：_____ psi

問題17：房間內的壓力為14.7 psi（1013 百帕）。為什麼如果沒有把瓶口封好，瓶子頂空中的二氧化碳會流失？

問題18：和以前一樣，我們可以計算瓶子頂部空間中的二氧化碳莫耳數。請記住，我們將瓶內壓力加倍（從~1000 百帕到~2000 百帕），因此頂空中的氣體量增加了一倍。使用理想氣體方程式，計算瓶子頂部空間中有多少莫耳二氧化碳？

問題19：搖動瓶子（別將閥門指向同學，以防漏水噴濺發生危險）。

1. 瓶內壓力發生了什麼變化？
2. 溫水和冷水瓶之間的壓力是否有差異？
3. 為什麼瓶內壓力會發生變化？

問題20：現在我們將對兩瓶中溶解的二氧化碳量做一些假設：

1. 假設頂空中40%的二氧化碳溶解在溫水中。多少莫耳的 H^+ 釋放到水中？水的 pH 值是多少？

2. 假設頂空中60%的二氧化碳溶解在冷水中。多少莫耳的 H^+ 被釋放到水中？水的 pH 值是多少？

問題21：反思你的假設。你學到了什麼？

注意：爲了產生可見和快速的效果，我們在瓶子中使用的二氧化碳壓力比現在大氣中的高得多。然而在頂部空間和瓶子中的水之間觀察到的過程的確在大氣和海洋之間自然發生，但速度慢得多且不太明顯。

第六部分：你的碳足跡

已經了解海水的 pH 值如何隨著二氧化碳的加入而改變，接著我們將研究一些人類活動如何影響大氣中二氧化碳的濃度。（1莫耳二氧化碳 = 44.01克二氧化碳）

給老師的話：此部分有許多耗時的計算。要縮減時間，請將以下問題分給不同的學生組別討論，然後分享。

以下問題請全部列出計算過程

問題22：列出三種你可以增加大氣中二氧化碳含量的方法。你認為哪種活動將增加最多的二氧化碳到大氣中。

問題23：我們吸入氧氣，呼出二氧化碳，稱為呼吸作用。如果你每天呼出1公斤（1,000克）的二氧化碳，那麼一天的莫耳數是多少？一年有多少莫耳？

（可以在以下位置計算碳足跡：<http://www.carbonfootprint.com/calculator.aspx>）

問題24：大氣中二氧化碳的另一個來源是化石燃料（煤，汽油，天然氣）的燃燒。駕駛汽車可能是最容易掌握的，一加侖氣體的燃燒釋放出8.8公斤的二氧化碳。

1. 將8.8公斤二氧化碳轉化為二氧化碳莫耳數。

2. 現在讓我們來看看每英里行駛中的汽車釋放多少莫耳二氧化碳。

a. 一輛耗油量為15英里/加侖（6.4公里/升）的汽車（大型卡車）

b. 一輛耗油量為30英里/加侖（12.8公里/升）的汽車（例如本田Civic compact）

c. 一輛耗油量為50英里/加侖（21.3公里/升）油電混和車（例如豐田Prius hybrid）

3. 如果你每天駕駛10英里（16公里），每年你會釋放出多少莫耳的二氧化碳到大氣中？

a. 一輛耗油量為15英里/加侖（6.4公里/升）的汽車（大型卡車）

b. 一輛耗油量為30英里/加侖（12.8公里/升）的汽車（例如本田Civic compact）

c. 一輛耗油量為50英里/加侖（21.3公里/升）的油電混和車（例如豐田Prius hybrid）

問題25：電力是另一個不太引人注意的大氣中二氧化碳來源。即使你不開車（或乘坐公共汽車），仍然會從使用電力來產生二氧化碳。電力以千瓦時（kWh）計算，而石油是許多地區的主要電力來源。一加侖的石油產生36千瓦時的電力，1千瓦的電力等於1,000瓦特（W）。

1. 1加侖（3.8公升）的石油燃燒，可以提供多少小時的電力給1個100瓦的燈泡使用？

2. 假設教室裡的燈泡各40瓦。如果課程長達3個小時，房間裡有34個燈泡，那麼燃燒多少油就可以為它們供電？

問題26：在美國，每天消耗18,810,000桶石油。

1桶= 42加侖= 159升

1加侖油= 8.8公斤二氧化碳

1. 計算一天內釋放到大氣中的二氧化碳莫耳數。

2. 一年內向大氣釋放出多少莫耳的二氧化碳？

3. 人類對二氧化碳的大氣輸入增加如何影響海洋？

問題27：上面的人為過程對環境的二氧化碳貢獻最大的是？

第七部分：總結

問題28：如果大氣中溫室氣體濃度增加，更多的紅外輻射會反射回地球，海面溫度將如何受到影響？

問題29：人類活動向大氣輸入的二氧化碳如何影響海洋的 pH 值？

問題30：隨著海水溫暖，如何改變海氣間二氧化碳交換？這會改變大氣中二氧化碳增加的速度嗎？

問題31：大氣中二氧化碳濃度增加會對珊瑚有孔蟲等鈣化生物產生怎樣的影響？

問題32：如果我們繼續增加大氣中二氧化碳的濃度，今天使用這些瓶子的實驗室練習是否真實地證明了海洋的 pH 值會如何變化？想想實驗開始時的示範。為什麼淡水組在海水組保持黃色時已變色？