

## 競賽項目二：二氧化碳與壓力

設計者：楊水平、張嘉宏

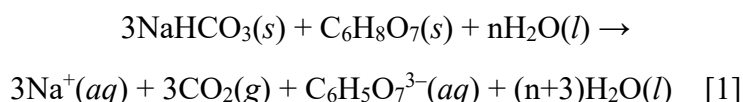
### 壹、前言

在活動一方面：你在遊樂場有看過或親自使用過空氣槍嗎？空氣槍是在密封空間中空氣經過壓縮來發射拋射物所製成的器具。本競賽項目使用寶特瓶當作簡易空氣槍，並使用矽膠塞當作發射彈，以化學反應產生氣體，使寶特瓶內充滿空氣和二氧化碳氣體並在密閉瓶中被壓縮。當二氧化碳氣體繼續產生而使得瓶內的氣體總壓力大於矽膠塞與瓶口的摩擦力時，發射彈即刻發射出去。

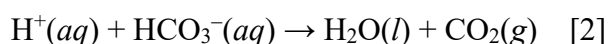
在活動二方面：你一定吹過或用打氣筒吹脹氣球，這是一件很容易的事。然而，在密閉的寶特瓶中吹脹氣球是一件相當困難的事。在本競賽項目中，使用家用產品，控制藥品的使用量，進行簡單的操作，你就可以在密閉瓶中使氣球膨脹。

### 貳、實驗原理

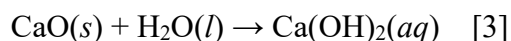
本實驗涉及的第一反應為碳酸氫鈉（ $\text{NaHCO}_3$ ）與檸檬酸（ $\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_7$ ）的反應，當兩反應物混合後，加入水會立即發生化學反應，產生二氧化碳（ $\text{CO}_2$ ）氣體和檸檬酸三鈉（ $\text{Na}_3\text{C}_6\text{H}_7\text{O}_7$ ），其反應如式[1]所示：



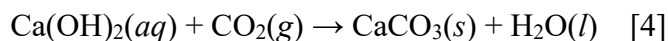
該反應式以淨反應式表示為檸檬酸的氫根離子（ $\text{H}^+$ ）與碳酸氫鈉的碳酸氫根離子（ $\text{HCO}_3^-$ ）反應，其反應如式[2]所示：



本實驗涉及的第二反應為氧化鈣（ $\text{CaOH}$ ，生石灰）與（ $\text{H}_2\text{O}$ ）水反應，生成氫氧化鈣（ $\text{Ca(OH)}_2$ ，熟石灰），其反應如式[3]所示：



本實驗涉及的第三反應為氫氧化鈣與二氧化碳氣體的反應，生成碳酸鈣（ $\text{CaCO}_3$ ）和水，其反應如式[4]所示：



### 參、使用器材

#### 一、大會提供之藥品與器材

| 項目    | 規格           | 數量           | 備註                    |
|-------|--------------|--------------|-----------------------|
| 檸檬酸   | 無水檸檬酸        | 20 g (1 包)   | 包裝在夾鏈袋中，<br>用於活動一及活動二 |
| 碳酸氫鈉  | 小蘇打粉         | 40 g (1 包)   |                       |
| 氧化鈣   | 乾燥劑（生石灰）     | 12.0 g (1 包) | 包裝在夾鏈袋中，用於活動二         |
| 硬質寶特瓶 | 圓底瓶，450 mL   | 4 個          | 用於活動一及活動二             |
| 咖啡攪拌匙 | 平匙容量約 0.1 mL | 2 支          | 用於量取小量藥品              |

|       |               |     |                                      |
|-------|---------------|-----|--------------------------------------|
| 布丁匙   | 平匙容量約 1.25 mL | 2 支 | 用於量取中量藥品                             |
| 布丁匙   | 平匙容量約 1.6 mL  | 2 支 | 用於量取大量藥品                             |
| 塑膠醬料碟 | 透明，小碟盤        | 5 個 | 用於盛裝預估的藥品                            |
| 塑膠漏斗  | 家庭用，大口徑       | 1 個 | 用於轉移藥品到瓶中                            |
| 塑膠量杯  | 容量 50 mL      | 1 個 | 用於活動一                                |
| 矽膠塞   | 8 號，白色軟質      | 2 個 | 用於製作發射彈， $27 \times 22 \times 28$ mm |
| 硬幣    | 10 元          | 2 個 | 製作發射彈                                |
| 乳膠氣球  | 15 吋，不易破      | 2 個 | 用於活動二                                |

備註：所提供材料於活動一、活動二共同使用，用完不再提供，材料不一定要全部用完。



(示意圖：活動一)



(示意圖：活動二)

## 二、大會公共使用的藥品與器材

| 項目    | 規格           | 數量(公共使用)               | 備註          |
|-------|--------------|------------------------|-------------|
| 自來水   | 一般自來水        | 活動一：50 mL<br>活動二：30 mL | 大會提供        |
| 自來水   | 一般自來水        | 40 L                   | 作為測量氣球膨脹的體積 |
| 塑膠量杯  | 容量 50 mL     | 10 個                   | 用於量測水量      |
| 塑膠量杯  | 容量 100 mL    | 10 個                   | 用於量測水量      |
| 塑膠量杯  | 容量 300 mL    | 10 個                   | 用於量測水量      |
| PE 滴管 | 容量 3 mL      | 100 支                  | 用於滴加少量的水    |
| 透明膠帶  | 寬度約 2 cm     | 3 捲                    | 用於黏貼硬幣在矽膠塞上 |
| 衛生紙   | 抽取式          | 10 包                   | 用於清潔        |
| 小型電子秤 | 3000 g/0.1 g | 6 台                    | 用於稱量物重      |
| 閱讀書架  | 可調整角度        | 3 座                    | 當作發射台       |
| 矽膠塞   | 6 號，白色軟質     | 2 個                    | 控制發射台角度     |



(示意圖)

### 三、學生自備

| 項目   | 規格        | 數量    | 備註      |
|------|-----------|-------|---------|
| 安全眼鏡 | 透明塑膠製     | 1 副/人 | 防護用具，自備 |
| 乳膠手套 | S、M 或 L 號 | 1 雙/人 | 防護用具，自備 |

## 肆、競賽活動

### 一、競賽說明

1. 在製作區配製活動一和活動二的第一個寶特瓶藥品，時間共 30 分鐘。
2. 大會提供的材料包用於活動一及活動二。
3. 活動一有兩次機會（兩個寶特瓶，一個寶特瓶使用兩顆發射彈），取成績較佳的一次當作成績。
4. 活動二有兩次機會（兩個寶特瓶和兩個氣球），取成績較佳的一次當作成績。
5. 參賽者競賽過程須全程配戴安全眼鏡和帶乳膠手套，違者該競賽項目成績乘以 0.8。
6. 本競賽提供的檸檬酸和小蘇打粉為固定供應量，參賽者不得要求額外發給。
7. 參賽者必須在工作區和公共發射區內完成操作，且在操作時不可有任何妨礙他人進行的行為，進行實驗時僅能使用大會提供的藥品和器材，違者該活動項目不予計分。
8. 寶特瓶和氣球不得做任何改造，如拉長氣球或事先吹脹或寶特瓶擠壓、扭轉等行為，違者本競賽項目不予以計分。
9. 在寶特瓶內殘留的液體不可以直接丟棄於垃圾桶中，應該用大量的水稀釋沖掉，再分類回收。不可再次使用它來裝水飲用。
10. 活動一和活動二的分數分別由高到低排序第一到最後一名，所得競賽積分即為反過來的組數（Ex: 有 60 組，第一名得 60 分，最後一名得 1 分）。
11. 活動一和活動二積分總和即為本競賽項目的成績。
12. 若兩組總積分相同，以同名次計算。（Ex: 第一名 115 分，第一名分 115 分，第二名從缺，接續第三名。）

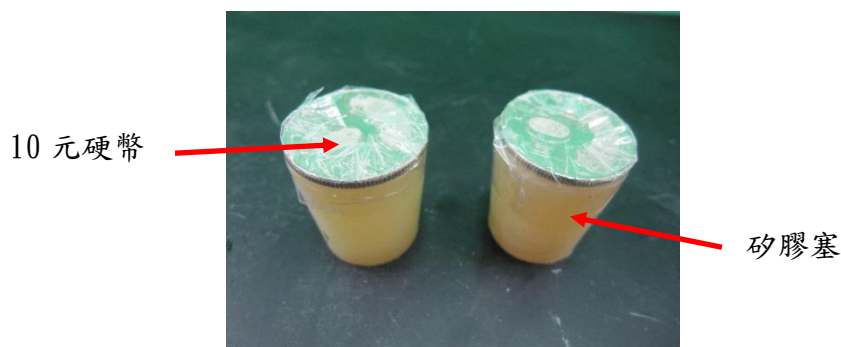
## 二、 競賽內容

### (一)活動一：我是有效率的射擊高手

本競賽項目的過程簡述如下：(1)取得一個空的寶特瓶；(2)在瓶中加入檸檬酸和小蘇打後加入水；(3)在瓶口塞住一個矽膠塞；(4)寶特瓶放在發射台上，等待矽膠塞發射；(4)測量矽膠塞發射的距離。

#### A、操作過程

1. 從材料包中，取得兩個矽膠塞和兩個 10 元硬幣，使用透明膠帶黏住矽膠塞寬徑與 10 元硬幣在一起，製作成兩顆發射彈。



2. 使用布丁匙和咖啡攪拌匙，取得適當的檸檬酸與小蘇打的使用量放在塑膠醬料碟中。(註：各隊自行預估，檸檬酸與小蘇打粉使用量會影響發射距離。)
3. 在小量杯中裝入水。(註：各隊自行預估，加入水量會影響發射距離。)
4. 攜帶此寶特瓶（不含瓶蓋）、裝水小量杯、裝藥品的塑膠醬料碟以及兩顆發射彈到公共區域。
5. 先在電子秤上放上一個空的寶特瓶和一個塑膠漏斗，然後電子秤歸零，再倒入藥品到寶特瓶中，測量此二藥品的重量（W），並紀錄。取至公克數小數點後一位。



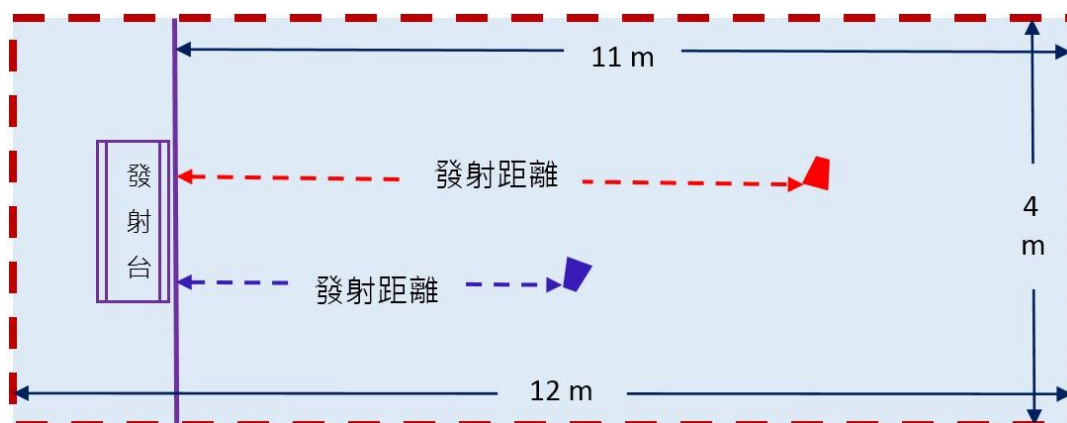
6. 發射區裝上有閱讀書架當作發射台，參賽者在發射前可事先調整好自己的發射角度。高角度可由閱讀書架的支撐物來控制，低角度可利用大矽膠塞放在適當位置來控制。(註：發射彈發射的角度會影響發射距離。)



7. 時間限時 3 分鐘，需於時間內完成 2 次發射。在工作人員喊「開始」後，立即將水倒入寶特瓶中，並用發射彈塞住此瓶的瓶口後立刻放置此寶特瓶在發射台上，等待發射。(註：發射彈塞住瓶口的方式和鬆緊度會影響發射距離，如發射彈發射到發射區之外，則不予計分。)



8. 第一顆發射彈發射後，立即用第二顆發射彈塞住瓶口，等待發射彈發射。(全部流程須在 3 分鐘內完成，若在時限內只發射一顆，則只計算一顆發距離的成績。)
9. 由工作人員測量這二顆發射彈落地後完全靜止時離基準線最近的距離（當作  $D_1$  和  $D_2$ ），如最後落地點由線內跳到線外則不予計分。



10. 第一個寶特瓶發射後回到製作區，使用另一個寶特瓶（當作第二瓶），調整藥品用量及水量，重複步驟 2-9，進行第二次實驗。
11. 本競賽結束後，寶特瓶內的溶液倒到廢棄桶中，然後放置此二寶特瓶到公共區域。

## B、評分標準

1. 本活動的評分為此二種藥品越少總重量 ( $W$ )，能使彈發射發射越遠的距離 ( $D$ )，則得分越高，即射遠效率 ( $E$ )，定義為二藥品的單位重量能使發射彈發射的距離，亦即  $E = D \div W$ 。 $E$  值越大，得分越高。
2. 本競賽項目的成績計算方式如下：
  - (1)發射彈發射的距離 ( $D$ )：兩顆發射彈落發射的距離之和 ( $D_1 + D_2$ )。取至公分後小數點後一位。
  - (2)射遠效率 ( $E$ )： $E = D \div W$ ，單位  $\text{cm/g}$ 。取四捨五入至小數點後一位。
  - (3)成績計算方式：依照射遠效率 ( $E$ ) 排序， $E$  值越大，得分越高。

(4)本競賽活動有兩次機會，取其中一次E值較大者進行排名和得分。

## (二) 活動二：我有奇招使氣球在密閉瓶中膨脹

本競賽活動的過程：(1)取得一個空的硬質寶特瓶；(2)在瓶中加入碳酸氫鈉和檸檬酸，再加入適量的水；(3)在反應的適當時機，加入氧化鈣；(3)在瓶口內套住一個氣球；(4)搖晃寶特瓶，促使氣球在寶特瓶中膨脹。

### A.操作過程

1. 使用布丁匙和咖啡攪拌匙，取適當的檸檬酸與小蘇打放在塑膠醬料碟中，再取適當的氧化鈣放在另一塑膠醬料碟中。(註：檸檬酸、小蘇打粉及氧化鈣的使用量會影響氣球膨脹的程度。)
2. 攜帶此寶特瓶（不含瓶蓋）、含檸檬酸與小蘇打塑膠的醬料碟、氧化鈣的塑膠醬料碟及塑膠漏斗到公共區域。



3. 取一個空的寶特瓶和一個漏斗放在電子秤上後將電子秤歸零，再倒入檸檬酸與小蘇打到寶特瓶中，測量此二藥品的重量 ( $W_1$ )。取至公克數小數點後一位。
4. 由工作人員加入 30.0 g 自來水，此時瓶內混合物開始反應，參賽者可輕輕地搖晃寶特瓶使其混合均勻。[註：統一由工作人員稱重 30.0 g (30.0 mL) 的水並加入瓶中。]



5. 參賽者將裝有混合物的寶特瓶和漏斗放在歸零的電子秤上，在適當時機將氧化鈣倒入寶特瓶中，測量氧化鈣的重量 ( $W_2$ )，並紀錄在大會的表單上。取至公克數小數點後一位。



6. 立即取下漏斗，隨即懸掛一顆氣球在寶特瓶的瓶口內，並套緊在瓶口上，使之形成密閉系統。



7. 帶回裝有氣球的寶特瓶製作區，輕輕地搖晃此寶特瓶，使氣球在寶特瓶中逐漸膨脹，需時 10-20 分鐘。



8. 參賽者等氣球不再膨脹後，攜帶裝有氣球的寶特瓶到公共區域，放在電子秤上，再將電子秤歸零。
9. 由工作人員提供自來水，讓參賽者慢慢倒入水到膨脹的氣球中。當水位接近瓶口時用滴管慢慢地滴加，直到水位與瓶口切齊後由工作人員秤重，並記錄水的重量 ( $W_3$ )。



10. 使用第二個寶特瓶（當作第二瓶），調整藥品用量，重複前述步驟 1-10，進行第二次實驗。
11. 本活動結束後，兩個寶特瓶（倒出自來水）繳回大會處，並由工作人員確認。寶特瓶內的殘留物將由工作人員統一處理。
12. 所有器材和剩餘的藥品放入材料包中，並放回到公共區域。

## B、評分標準

1. 本競賽項目的評分使用三種藥品越少量的總重量 ( $W$ )，能使汽球的體積 ( $V$ ) 膨脹越大者得分越高；氣球膨脹效率 ( $E$ )，定義為三藥品的單位重量能使氣球膨脹的體積大小，亦即  $E = V \div W$ 。

2. 本競賽項目成績計算方式如下：

- (1) 使用三種藥品的總重量 (W)：檸檬酸與小蘇打的重量 ( $W_1$ ) 加上氧化鈣的重量 ( $W_2$ )。
- (2) 汽球膨脹的體積 (V)：氣球膨脹後加水後的重量 ( $W_3$ )，若汽球膨脹的體積未達 100.0 mL (100.0 g 的水)，則本競賽機會的成績不予計分。[註：以水的重量代表體積。假設加入的水密度是 1.00 g/mL。]
- (3) 氣球膨脹效率 (E)： $E = V \div W$ ，單位 mL/g。取四捨五入至小數點後兩位。
- (4) 成績計算方式：依照氣球膨脹效率 (E) 排序，E 值越大，得分越高。本競賽項目有兩次機會（兩個寶特瓶），取其中一次 E 值較大者進行排名和得分。

伍、參考資料

1. 理想氣體狀態方程式，<https://zh.wikipedia.org/zh-tw/理想氣體狀態方程式>。
2. 道爾頓分壓定律，<https://zh.wikipedia.org/zh-tw/道爾頓分壓定律>。
3. 化學示範實驗：氣球在密閉瓶中膨脹—亞佛加厥定律 (Avogadro's Law)，科學 Online，<https://highscope.ch.ntu.edu.tw/wordpress/?p=14800>。
4. 化學示範實驗：氣球在密閉瓶中膨脹—亞佛加厥定律 (Avogadro's Law)，<https://www.youtube.com/watch?v=ffRSghnGcwg>。