

2025年【科學探究競賽-這樣教我就懂】

☐國中組 ☒普高組 ☐技高組 成果報告格式

題目名稱：以自製發射台探討寶特瓶瓦斯火箭最佳配方
一、摘要
本研究以瓦斯填裝於的寶特瓶中，倒扣產生推進力製成寶特瓶火箭，相較於傳統注重飛行軌跡與飛行高度的火箭，寶特瓶火箭射程較短，因此可以利用手機通過錄影後的畫面截取與重疊分析，對火箭的飛行過程進行軌跡描繪，測量火箭的飛行速度。 在實驗中，我們以木工及磁鐵搭配，自製了一個穩固的發射台，以快速翻轉方式確保每次發射的角度維持在90度，從而提高飛行測量結果的準確性，並透過手機高解析度錄影、事後截取飛行過程中的關鍵畫面，再將畫面重疊進行分析，計算火箭在不同時間點的速度變化，過程中調整丁烷瓦斯與水的用量比例，並根據測得的速度數據進行比對與分析，取得寶特瓶火箭的最佳配方。
二、探究題目與動機
本研究的起因是偶然瀏覽社群媒體Instagram Reels 時看到網友的實驗影片，寶特瓶翻轉沖天瞬間帶給我很大震撼。剛好適逢中秋連假烤肉活動，家中備有卡式爐用瓦斯罐，讓尚未了解原理的我有機會親自體驗，以寶特瓶搭配瓦斯進行火箭實驗，並探討寶特瓶中瓦斯與水的比例對飛行速度的影響。 為了維持發射角度固定，我們針對寶特瓶尺寸與翻轉方式設計，親手進行木材切割與組裝，並在多次測試後不斷修改結構、加裝磁鐵，製作專屬的發射平台，用以固定火箭發射角度，提升數據的準確性與再現性。
三、探究目的與假設
本實驗假設當寶特瓶容器中含有丁烷重量不同(丁烷與水含量不同)，氣化造成的體積也將不同，而寶特瓶形狀也會對飛行速率產生不同影響。為此我們的研究目的為： 1. 改變不同形狀的寶特瓶經多次實驗後找出飛行軌跡最穩定、筆直的寶特瓶形狀。 2. 以最適合實驗的寶特瓶尺寸進行專屬發射平台製作。 3. 改變丁烷瓦斯液體量，經過多次實驗收集數據並利用錄影進行畫面擷取與重疊分析得出每次飛行的最快速度，探討獲得最快射程的丁烷瓦斯液體量比例。
四、探究方法與驗證步驟

1. 測量寶特瓶容量並估算瓦斯氣化後體積:根據成分表,實驗用的卡式爐瓦斯罐主要成分為丁烷,以寶特瓶體積0.7L帶入,假設裝入7g丁烷(前測實驗使用配方)做為預計填裝的丁烷g數,則完全氣化後將額外造體積,藉此推算所對應的莫耳數,以便填裝適

1. 丁烷氣化量計算
丁烷分子量: $M(C_4H_{10}) = 58 \text{ g/mol}$
假設加入7克丁烷 $n = \frac{m}{M} = \frac{7}{58} \approx 0.121 \text{ mol}$

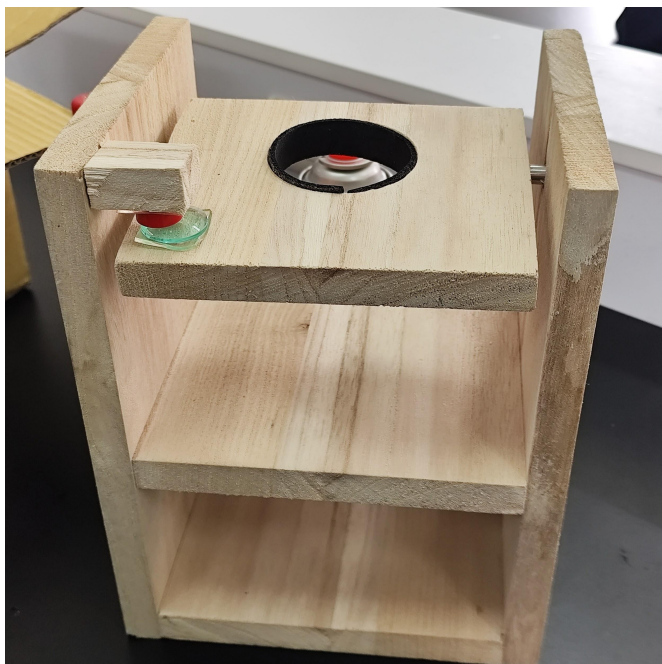
2. 氣體體積計算
 $V = nRT = 0.121 \times 0.0821 \times 273.15 \approx 2.72 \text{ L}$

3. 壓力變化計算
假設瓶子總容量為0.7L $V_1 = 0.7 \text{ L}$
根據氣體狀態方程式 $P_1 V_1 = P_2 V_2$ P_1 為1 atm.
 $P_2 = \frac{0.7}{2.71} \approx 0.257 \text{ atm}$. 因此氣體壓力從1 atm $\rightarrow$ 0.257

當質量進行實驗,計算過程如圖。

2. 自製發射裝置說明與裝置圖:

為了確保每次火箭發射角度精準且穩定,我們自行設計並製作了發射裝置,這個發射台的主要特點是確保每次發射都能翻轉為90°角的功能,另外加裝了防滑設計用於穩固結構,並經過多次測試與調整,決定裝入磁鐵等裝置,製成自製裝置。裝置如下圖。



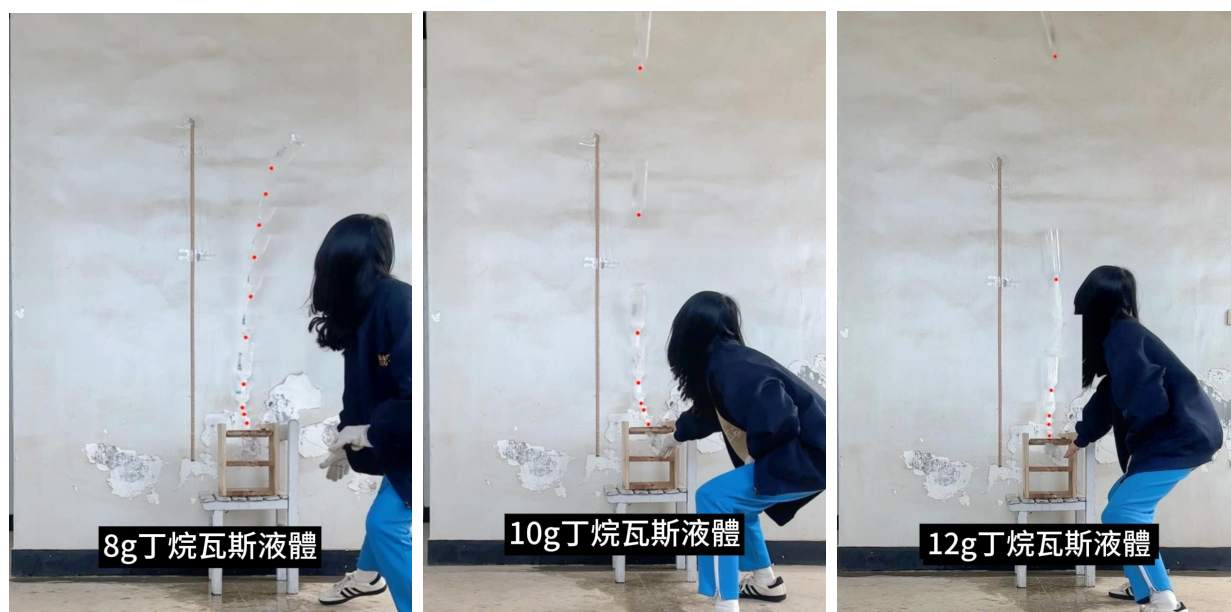
由於丁烷於常壓時易揮發成氣體造成重量誤差,因此實際操作時,如果沒有馬上操作

，會導致實驗有誤差，所以實驗進行前，我們先以一罐寶特瓶裝200g的水與再裝一罐灌好液態丁烷的瓶子進行空白校正，將上述寶特瓶放置電子秤計時，經過10次實驗觀察發現，液態丁烷在常溫下揮發1g所需時間為30秒。

為了減少自然揮發造成的誤差，我們在稱重時會多秤入1克液態瓦斯，例如實驗需要8克，我們會添加9克並於30秒後發射，以確保每次實驗中的液態丁烷的用量相同。實驗執行時自放上秤重台達到指定重量後就開始計時，倒數20秒時，我們會將裝有液態丁烷與水的寶特瓶正放入發射台的圓孔中，並確認擺放位置位於圓孔中心，完成發射預備，倒數最後1秒瞬間快速翻轉木板，藉由木板兩側磁鐵的相吸完成一次的翻轉。為確保每次液態丁烷揮發量的一致性，每次實驗都會計時30秒之後再迅速下壓，使發射平台旋轉並發射。

3. 錄影與分析方法：

我們使用iPhone 15在固定距離錄影，並利用畫面轉圖片3.3.2、醒圖12.0.0應用程式來進行畫面截取與重疊分析，以下是我們透過該方法得出的火箭飛行影像分析圖，途中每個紅點的時間間距為0.05秒圖的下方丁烷標示了丁烷的含量每個比例共進行上述測量三次。疊圖點的間距越大，表示火箭的速度越快。

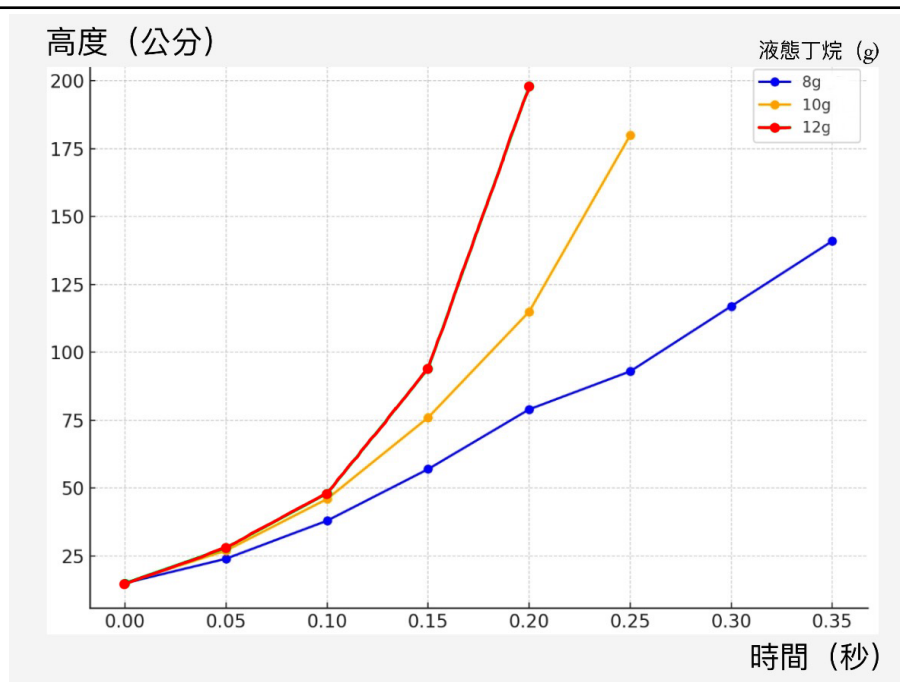


實驗過程觀察：使用上述發射台以及影像分析方法，並分別測量了8g、10g、12g的丁烷填充量下，火箭的速度變化，根據上圖可以觀察到：隨著丁烷量的增加，火箭的發射速度也呈現上升趨勢，分析過程如下：

水量(g)	丁烷瓦斯液體 (g)	結果
200	4	並無噴射
200	6	微微向上並無噴射
200	8	噴射最慢
200	10	飛行最直速度中等
200	12	飛最快

實驗結果與討論：

- 我們將實驗所得的紅點間時間間距對垂直飛行高度作圖，得到下圖。其中藍色為8克、黃色為10克、紅色為12克，由圖可以看出8克時飛行較接近斜直線，點與點之間的間距變化不大，接近等速度運動。
- 10克時有變速度越來越快，在飛行中仍然有加速度。12克時點與點之間的垂直距離越來越大變速度越來越快，代表有加速度，且加速度較為明顯。
- (0.00~0.10秒)，12g 與10g 的軌跡幾乎重疊，代表初速差距不大。但到了 0.15秒時，12g 的點距急速變大。呈現「斜直線」，代表速度非常快、力道強。
- 空氣阻力與速度平方成正比：飛得越快，阻力越大。8g火箭速度慢，空氣阻力小，所以軌跡變化平穩。10g 與 12g 火箭速度越來越快，空氣阻力也越來越強，尤其是12g 的上升末段可能因為空氣阻力變大導致變速度有所壓制(圖中看起來略趨平緩)。
- 瞬時速度分析(從點的高度變化計算出速度) 利用每兩點見的高度差除以時間間隔(0.05秒)，可以計算出每個時間段的平均速度近似瞬時速度。例如：8g 第1~2點： $\Delta H=24-15=9 \rightarrow 9/0.05=180 \text{ cm/s}$ ，最後兩點： $\Delta H=141-117=24 \rightarrow 24/0.05=480 \text{ cm/s}$ ；10g第1~2點 $\Delta H=(27-15)/0.05 = 240 \text{ cm/s}$ ，最後兩點 $\Delta H=(180-115)/0.05 = 1300 \text{ cm/s}$ ；12g的第1~2點 $\Delta H=(28-15)/0.05 = 260 \text{ cm/s}$ ，最後兩點 $\Delta H= (198-94)/0.05 = 2080 \text{ cm/s}$ 。從上述分析我們認為從瞬時速度可以看到三種推進的方式，8g就像是一台穩穩發動的機車，10g像一輛順順加速的汽車，而12g就像是一台突然飆車的賽車。
- 小總結：如果是想當小遊戲玩和確保安全，建議使用8g丁烷，因為它的速度穩定、上升較緩，比較沒有傷害力；如果研究速度與動能，就可以選擇12g丁烷，可以明顯觀察到加速度與變速度的變化，但相較8g來說就會比較危險，衝擊力大。



組別	丁烷 (g)	總高度差 (cm)	總時間 (s)	平均速度 (cm/s)	平均速度 (m/s)
第一組	8	126	0.35	360	3.6
第二組	10	165	0.25	660	6.6
第三組	12	183	0.2	915	9.15

由此表可知:液態丁烷量越多,平均速度越來越大

五、結論與生活應用

結論:

1. 當瓶中裝200g水時, 丁烷含量越多, 目視速度與計算出的噴發速度也最快
2. 瓶裝丁烷含量超過12g時, 最容易造成歪斜
3. 噴射角度90°才可發射

其他生活應用:

之前瀏覽如何製作水火箭時有看到一個利用酒精燃燒做為噴射力的火箭, 但因為這種火箭有危險性所以在我們決定製作火箭的方案時就直接被pass了, 丁烷水火也有危險性但是相較不可控的酒精火箭安全許多。

參考資料

xing_lee_0321(民國113年10月15日)。這算牛頓第幾運動定律? #校園生活_#李行自然_#作用力與反作用力。

取自 <https://www.instagram.com/reel/DBI6F9jP0Zf/?igsh=MWlh2VqZDhtenFuYQ==>