

112學年度普通型高級中等學校數理及資訊學科能力競賽 第4區複賽物理科實驗參考解

1. 此題是開放狀況，有可能看到以下幾種情形：

- (1) 大的氣球會變得更大，小的氣球變得更小。
- (2) 兩顆氣球大小不變。
- (3) 大的氣球變小，而小的氣球變大。

關鍵並非是氣球的大小，而是取決於氣球內對應的壓力關係，氣體會往壓力小的地方宣洩，使壓力小的一方體積變大。

氣球大小與內部壓力並非線性關係，因氣球是由橡膠等聚合物製造的，這些橡膠有很高的彈性，受了拉力可以伸長很多倍，其聚合物分子是一串長鏈，不受力時卷曲成一團，剛開始給氣球吹氣時，這些分子長鏈才開始被拉開，此時阻力較大，需要注入較高的氣壓才能克服，這就是開始吹氣球時需要較大氣力的原因。隨著分子長鏈開始被拉順了，就較易再拉開，這時氣球變大，內部壓力反而減少。

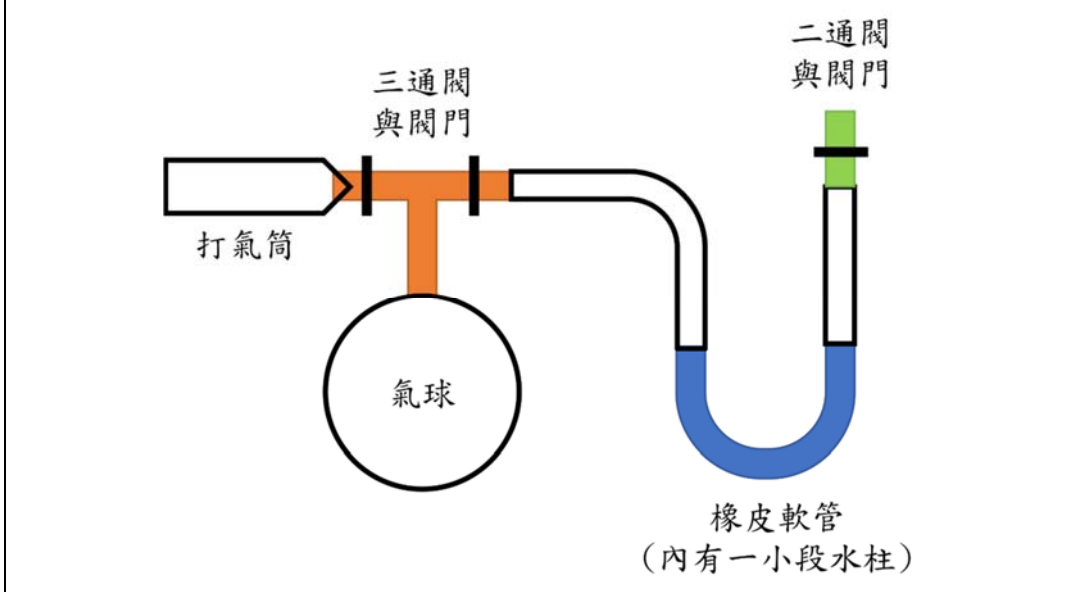
2. 設計實驗探討：

2.1 當氣球充氣時(氣球體積由小變大)，氣球半徑與其內部壓力之關係。

步驟：

裝置圖

(三通閥與橡皮軟管分別以支架、橫桿、直角夾等器材固定，支架組未繪出)



- (1) 如上圖架設實驗裝置。
- (2) 氣球未充氣前，將所有閥門打開，此時橡皮軟管內壓力與外界壓力相同(假設為 1atm)。
- (3) 封閉二通閥之閥門，使橡皮軟管右端形成封閉端，記錄此時橡皮軟管內水面至二通閥門之長度。

- (4) 先關閉三通閥連通橡皮軟管之閥門，用打氣筒將氣球充氣後，關閉三通閥連通打氣筒之閥門。
- (5) 開啟三通閥連通橡皮軟管之閥門，記錄此時橡皮軟管內水面至三通閥門之長度與氣球圓周長(假設氣球膨脹後仍為球體)。
- (6) 關閉三通閥連通橡皮軟管之閥門，用打氣筒繼續將氣球充氣，改變不同的氣球體積，重複步驟(4)至(5)，直至氣球呈充飽氣體之狀態。
- (7) 由軟管內水面至三通閥門之長度推算氣球內部壓力，並由氣球圓周長推算氣球半徑，繪製氣球半徑與其內部壓力之關係圖。
(為方便比較充氣與放氣過程之實驗結果，兩份數據會於同一張圖上)

原理(推算氣球內部壓力)：

現有一截面積固定之橡皮軟管，其右端封閉、左端連接一氣球，管內有一小段水柱，在其達成平衡狀態時，水柱左右兩邊內的氣體壓力應相同。

當左側氣球內部壓力改變(充氣或放氣)，水柱將被推動，達成新平衡，右端封閉管內之氣壓隨之改變，再次與氣球內部壓力相同。

由 $PV=nRT$ 可知，當溫度 T 不變，且右端管內保持封閉(氣體莫爾數 n 不變) 狀況下，氣體壓力 P 與體積 V 之乘積為定值。又因橡皮軟管截面積固定，因此管內氣體體積 V 正比於管長 L ，即：

$$PV \propto PL = \text{定值}$$

若已知初始氣體壓力 P 與管長 L ，測量達新平衡後之管長 L' 即可推算新平衡後之壓力 P' ，即氣球改變(充氣或放氣)後之內部壓力。

$$PL = P'L'$$

$$P' = P \frac{L}{L'}$$

數據紀錄：

一開始橡皮管內壓力 P 與外界相同，假設均為 1atm

橡皮軟管內水面至三通閥門之原始長度 $L=61.70\text{cm}$

橡皮軟管內水面至三通閥門之長度 L' (cm)	氣球圓周長(cm)	氣球內部壓力 P' (atm)	氣球半徑 R (cm)
59.80	19.80	1.031	3.15
59.40	24.80	1.039	3.95
59.60	34.30	1.035	5.46
59.85	41.00	1.031	6.53
60.10	55.00	1.027	8.76
59.40	68.30	1.039	10.87
58.90	78.30	1.048	12.46
58.30	82.00	1.058	13.05

2.2 當氣球放氣時(氣球體積由大變小)，氣球半徑與其內部壓力之關係。

步驟：(裝置圖同充氣過程，但取下打氣筒)

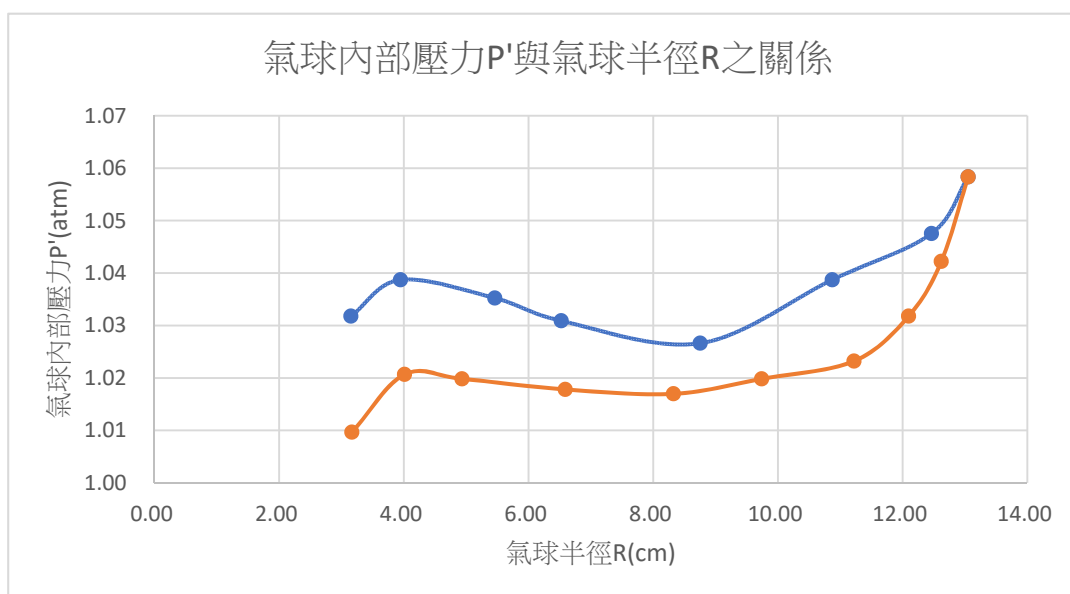
- (1)開啟三通閥所有的閥門，使氣球慢慢放氣，再關閉三通閥連通外界之閥門，記錄此時橡皮軟管內水面至二通閥門之長度與氣球圓周長。
- (2)開啟三通閥連通外界之閥門，使氣球繼續放氣，改變不同的氣球體積，重複步驟(1)，直至氣球呈完全放氣之狀態。
- (3)由軟管內水面至二通閥門之長度推算氣球內部壓力，並由氣球圓周長推算氣球半徑，繪製氣球半徑與其內部壓力之關係圖。

數據紀錄：

橡皮軟管內水面至二通閥門之原始長度 $L=61.70\text{cm}$

橡皮軟管內水面至二通閥門之長度 L' (cm)	氣球圓周長(cm)	氣球內部壓力 P' (atm)	氣球半徑 R (cm)
58.30	82.00	1.058	13.05
59.20	79.30	1.042	12.62
59.80	76.00	1.032	12.10
60.30	70.50	1.023	11.22
60.50	61.20	1.020	9.74
60.67	52.30	1.017	8.32
60.62	41.40	1.018	6.59
60.50	31.00	1.020	4.93
60.45	25.20	1.021	4.01
61.11	19.90	1.010	3.17

作圖：(為方便比較充氣與放氣過程之實驗結果，兩份數據會於同一張圖上)



2.3 討論題2.1與題2.2實驗結果之異同。

由上方作圖可知，氣球充氣與放氣過程之氣球內部壓力對氣球半徑之關係曲線圖具有類似特徵，但兩者之曲線並未完全重疊。

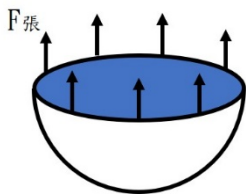
相同處：氣球內部壓力與氣球半徑並非完全正相關，當氣球大到某一程度之後，其內部壓力可能隨半徑增加而減小，這解釋了為什麼吹氣球的時候一開始較難吹，在吹到某一程度之後就變得較好吹了，也說明了前面題目1大小兩氣球連通之後，為什麼可以觀察到不同的現象。

相異處：同一氣球充氣後放氣，其內部壓力對半徑之關係曲線圖路徑不重複，呈現一個類似遲滯迴圈的現象，兩曲線所包覆之面積代表充氣後放氣有能量損耗，損耗的能量來自氣球形變內能，以熱的形式散失於環境中。

3. 已知壓力(P)是指作用在與物體表面垂直方向上的每單位面積的力，其大小為 $P = \frac{F}{A}$ ；表面張力是指兩種不同物態的物質之間界面上的張力，其大小為 $F = \sigma L$ (σ :表面張力係數、L為分界線的長度)
註：假設環境壓力為 $1 \text{ atm} = 1033.6 \text{ gw/cm}^2$

3.1 請利用作用力、壓力、表面張力三者之間的關係推導氣球內部壓力公式。

假設氣球是一半徑為R之球體，內部壓力與外部壓力差為 ΔP ，氣球表面之表面張力 $F_{\text{張}}$ 使氣球縮小，而氣球內外壓力差所造成之力 $F_{\text{壓}}$ 則使氣球向外擴張，當氣球處於平衡狀態時， $F_{\text{張}} = F_{\text{壓}}$ 。



考慮一半的氣球，

其表面張力 $F_{\text{張}} = \sigma L = \sigma \times 2\pi R \times 2 = 4\pi\sigma R$

而下半球壓力合的投影面積為圖中的藍色截面，

故 $F_{\text{壓}} = \Delta P \times \pi R^2$

又 $F_{\text{張}} = F_{\text{壓}}$

得 $\Delta P = \frac{4\sigma}{R}$ ，可知氣球內外壓力差 ΔP 與半徑R成反比。

因此，氣球內部壓力 $P = 1 + \Delta P = 1 + \frac{4\sigma}{R}$

3.2 討論題3.1之推導公式與題2實驗結果之異同。

題3.1推導之結果顯示氣球內外壓力差為 ΔP 與半徑R成反比，若我們將題2實驗結果的曲線依正比或反比趨勢簡單分成前中後三段，題3.1之結果與題2的曲線中段較接近。

在曲線前段，氣球尚未完全沉張階段，表面張力之影響不明顯，此氣球仍呈現半徑隨壓力增加之趨勢，而曲線後段發生於氣球膨脹大一定大小之後，此時橡膠的聚合物鏈可能有部分斷裂或疲乏現象，使得橡膠產生硬化效應，進而使表面張力之影響減小。

實驗討論：

1. 計算封閉管之壓力時，因三通閥內也有一小段氣柱，此氣柱與橡膠軟管之截面積不同，但因提供器材之限制，未能詳細測量，僅能將此段氣柱之影響省略。
2. 計算之壓力並非只作用於氣球，且包含氣球端到水柱中間的橡膠軟管。
3. 氣球膨脹並非正球體，不同方向之膨脹係數可能有差異。
4. 橡膠軟管上並未附有刻度，紀錄水面高度時可利用1mm方格紙浮貼於管上當成刻度使用。
5. 1atm為76公分-水銀柱，若換成本次實驗使用的水柱高，則為1033.6公分，如果使用連通管方式測量壓力，可能需要的管長會超出提供之橡膠軟管，因此選用封閉端方式測量。
6. 氣球充氣後，需注意體積是否有逐漸減小或是洩氣的嘶嘶聲，可用電工膠帶纏繞於連接端之間，避免洩氣的情況發生。