

實驗 C: 空氣 γ 值的測定

一、實驗目的

探討氣體在絕熱過程 $dQ = 0$ 情況下，氣體壓力 P 與體積 V 的關係為 $pV^\gamma =$ 常數，其中 $\gamma \equiv C_p/C_v$ ， γ 和絕熱過程關係密切是氣體動力學上一個很重要的係數。

二、實驗原理

在維持溫度不變的條件下，一定莫耳數的理想氣體被壓縮或膨脹時，壓力 p 和體積 V 的乘積為定值，此稱為波義耳定律。但是氣體不是熱的良好導體，熱平衡的達成需要一段時間。當 pV 改變過快時(如:音波的傳導)，氣體各部分之間可能來不及交換熱量，因此實際發生的過程不可能是等溫變化，而應當作絕熱過程。

絕熱過程和等溫過程的不同處在於：絕熱過程中，氣體如果被壓縮，外界對它所作的功全部變為氣體的內能，因此氣體的壓力和溫度同時升高。氣體如果膨脹，對外界作功而消耗內能，因此氣體的壓力和溫度同時降低。由此可知：在絕熱過程中， p 隨 V 的變化率必定較等溫過程的明顯，即 $p-V$ 曲線必定較陡峭。

現在考慮 1 莫耳理想氣體，由熱力學第一定律知，流入氣體的熱量 dQ ，氣體的內能變化 dU ，和氣體對外界所作的功 pdV 之間有下式的關係：

$$dQ = dU + pdV \quad (1)$$

如果維持體積不變，1 莫耳氣體溫度每升高一度所需的熱量稱為該氣體的莫耳定容熱容量 C_v (molar heat capacity at constant volume)，由(1)式可得(參考資料 1~3)：

$$C_v \equiv \left(\frac{dQ}{dT}\right)_v = \left(\frac{\partial Q}{\partial T}\right)_v = \frac{dU}{dT} \quad (2)$$

(2) 式中，第三個等號成立的原因是理想氣體的內能只和其絕對溫度有關。如果容許體積改變但維持壓力一定，1 莫耳氣體溫度每升高一度所需的熱量稱為莫耳定壓熱容量 C_p (molar heat capacity at constant pressure)，由(1)式可得(參考資料 1~3)：

$$C_p \equiv \left(\frac{dQ}{dT}\right)_p = \left(\frac{\partial Q}{\partial T}\right)_p + p \left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_p \quad (3)$$

現在考慮絕熱過程，令(1)式中的 $dQ = 0$ ，可以得到：

$$dU = -pdV \quad (4)$$

但由(2)式也可得到：

$$dU = C_v dT \quad (5)$$

將理想氣體方程式 $pV = RT$ 兩邊微分，可以得到：

$$pdV + Vdp = RdT \quad (6)$$

由(5)、(6)式消去 dT ，可以得到：

$$dU = \frac{C_v}{R}(pdV + Vdp) \quad (7)$$

比較(4)與(7)式可得到：

$$\frac{C_v}{R}Vdp = -\frac{C_v+R}{R}pdV \quad (8)$$

再加以整理：

$$Vdp = -\frac{C_v+R}{C_v}pdV \quad (9)$$

因此

$$\frac{dp}{p} = -\gamma \frac{dV}{V} \quad (10)$$

兩邊等式積分後，可將等式寫為

$$\ln p + C1 = -\gamma \ln V + C2 \quad (11)$$

或

$$pV^\gamma = C \quad (12)$$

三、儀器介紹

本實驗儀器包含氣體絕熱測量儀、LabQuest mini(數據處理盒)、三芯電纜訊號線，如圖1所示。實驗中所有資料都是通過LabQuest mini(數據處理盒)介面接入電腦自動紀錄的，實驗資料也都是在軟體中進行處理的，因此實驗時要熟悉軟體的使用方法。在儀器的側面用一個不超過15伏的外部電源接入儀器，分別用三條三芯電纜線連接儀器側面的溫度、氣壓、及體積插孔與750感應器介面盒做連接。

實驗室提供氦氣(He)可作單原子分子，空氣(Air)雙原子分子，二氧化碳(CO₂)多原子分子組成，可作單原子分子，雙原子分子及多原子分子性質的分析。



圖1 儀器架設

※換置氣體方法：(若非置換氣體，請勿將閥門打開，避免實驗結果有誤)

1. 選擇一種氣體(開始最好用空氣)。
2. 如果用的不是空氣，則按下列過程清潔容器：
 - a. 將氣體供應連接到一個氣孔中。
 - b. 調整活塞極限控制，使氣缸容積可達到最大。
 - c. 把活塞壓到最下，關閉另一個氣孔，提起活塞給氣缸充氣到最大。
 - d. 關閉入氣孔，從出氣孔中排出所有氣體。
 - e. 關閉出氣孔，在從入氣孔中充氣。

重複以上步驟至少4~5次，最後使氣體充滿氣缸。關閉兩個通氣孔。若在實驗中有氣體洩漏，再加滿即可。

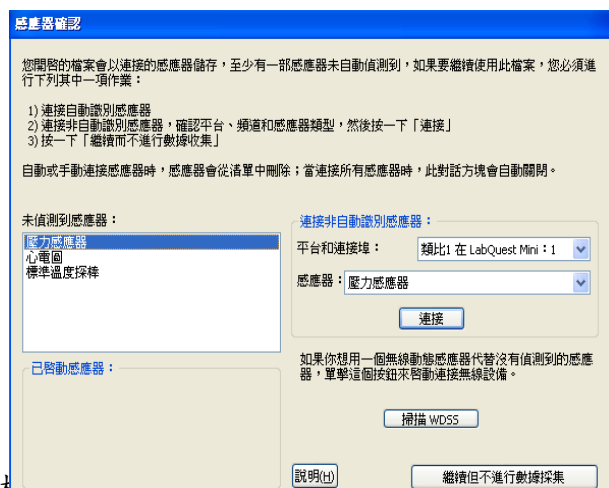
四、實驗操作步驟：

儀器設定(若已設定完成則可略過)

1. 使用 **LabQuest mini(數據處理盒)**，連接溫度、壓力與體積的訊號連接線。啟動 **Loggerpro** 軟體程式，增加類比感應器(1)壓力感測器，(2)心電圖(用於體積量測)，標準溫度感測棒，或以已設定感應器之程式(絕熱-n.cmbl)，將各感應器(1)壓力感測器，(2)心電圖(用於體積量測)，標準溫度感測棒與連接電腦。



OR



2. 檢

正:

將游標移至上排彩色米字處



- 壓力感測器: 單位:kpa, 校準使用方程式: 截距:0, 斜度:100, 套用, 完成。
 - 標準溫度感測器: 單位:K, 校準:單點校準, 立即校準, 溫度:當日溫度, 保留, 完成。
3. 欄位設定:

---除壓力, 電位, 溫度外, 增加體積, LnV, LnP 欄位:

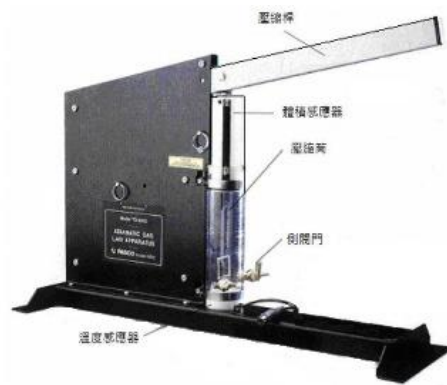
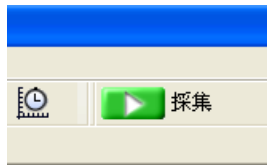
體積: 選取數據, 新的計算欄, 名稱:體積, 簡稱:V, 單位 m³, 表述:3E-005*” 電位” *9E-005, 其中” 電位” 由變數欄中加入, 完成。(體積欄位, 依 15cm 處及 6cm 對應之電位做線性 fitting, 將方程式並體積換算鍵入 (圓管直徑 4.45cm))。

4. 圖表設定:

新增圖表:壓力 vs.時間, 體積 vs.時間, 溫度 vs.時間, 及 LnV vs.LnP(做線性回歸求斜率 m)。

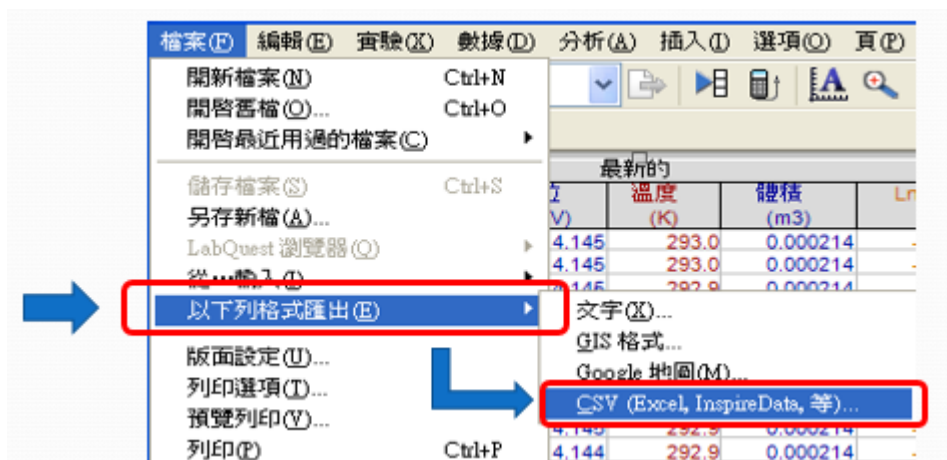
實驗測試:

按下箭頭 Run(取樣) & 迅速下壓橫桿，STOP(停止取樣)。壓縮過程和放開過程要非常迅速。



實驗數據:

先確認圖表 $\ln V$ vs. $\ln P$ ，斜率 m 數值與理論近似，記錄或將數據存出(在檔案中選取”以下列格式匯出”，選擇”csv”檔，存出。可以 Excel 開啟數據繪圖。



資料處理與分析

- (1) 從擷取的圖或資料表中找出空氣壓縮時的壓力 p 和溫度 T 。從圖中找出最好的資料點，根據實驗原理部分所給公式計算出溫度 T 和壓力 p 的理論值。注意，溫度要用絕對溫度。
- (2) 用統一的單位(如 Pascals 和 m)作出 p - V 圖像。作數值積分求出在壓縮過程中對氣體作的功。然後，根據絕熱氣體定律公式計算出該功的理論值，與計算值作比較。
- (3) 將 p 、 V 取自然對數，作 $\ln p - \ln V$ 圖，求出常數 γ ，與表 1 做比較。

表 1. 氣體常數 γ 值

Gas	C_V [J/(mol K)]	C_p [J/(mol K)]	$\gamma = C_p/C_V$
Helium (He)	12.5	20.8	1.66
Neon (Ne)	12.5	20.8	1.66
Argon (Ar)	12.5	20.8	1.66
Krypton (Kr)	12.5	20.8	1.66
Hydrogen (H ₂)	20.4	28.8	1.41
Nitrogen (N ₂)	20.7	29.1	1.41
Oxygen (O ₂)	21.0	29.4	1.41
Carbon dioxide (CO ₂)	28.2	36.6	1.29
Methane (CH ₄)	27.5	35.9	1.30

五、問題與思考

1. 如果壓縮氣體的時候比較緩慢，則對實驗結果有何影響？
2. 不同結構的氣體其 γ 有何不同？