

中華民國第42屆中小學科學展覽會

::: 作品說明書 :::

高中-物理科

科 別：物 理 科

組 別：高 中 組

作品名稱：氣體動力模擬

關 鍵 詞：電功率=(常數) \times (氣體總動能)

編 號：040111

學校名稱：

國立花蓮高級中學

作者姓名：

翁 平、徐瑋廷、江培維、何端書

指導老師：

林恆毅、翁新建



氣體動力模擬

摘要：氣體動力論是一種微觀理論，而波以耳、查理定律雖是巨觀的實驗，但對我們而言，終究還是一種看不到的氣體性質推理，而促使我們本次的模擬實驗藉由真實粒子撞擊所形成的現象，解說氣體定律。

一、理想氣體的粒子模型很難取得，因為真實的粒子必有重量，也很難達到彈性碰撞，我們以 B.B 彈為氣體粒子模型，以馬達轉動撞擊 B.B 彈，輸入的電功率 $P=IV$ 轉為粒子的動能，就算粒子與器壁為非彈性碰撞，若其散失有一定的比例，也就是當能量平衡時，以功率觀點， $p_{\text{電}} = p_{\text{粒子得到}} + p_{\text{散逸}} \Rightarrow p_{\text{電}} = k_o p_{\text{粒子得到}} (k_o > 1)$ ，我們可視為粒子 E_k 不變，由 $IV = k_o \cdot NE_k$ (N ：粒子數， E_k ：粒子動能)，所以當 N 固定時，我們可由 $p_{\text{電}}$ 值來代表粒子動能的大小，當 N 非固定時，可由 $p_{\text{電}}/N$ 代表粒子動能大小。

二、 \because 分子動能 $\frac{1}{2}mv^2 = \frac{3}{2}KT \therefore \frac{IV}{N}$ 也可用來代表氣體溫度 (T)。

三、垂直放置的活塞受有重力 Mg (\downarrow)，若底部有粒子撞擊而使活塞上升一段距離而平衡，可得到 $F_{\text{撞擊力}} = Mg$ ，而壓力 $P = \frac{F}{A} = \frac{Mg}{A}$ ， \therefore 若活塞截面 A 固定則活塞質量 M 可代表氣體壓力 P 。

四、B.B 彈活動的空間體積 $V=hA$ 也就代表氣體容器的體積， \because 活塞的截面積 A 固定 \therefore 可用 h 來代表容器體積。

\therefore 此次探討中，氣體的 P 、 V 、 N 、 T 各以 M (活塞質量)， h (活塞高度)， N (粒子數)， $p_{\text{電}}/N$ (電功率/粒子數) 來代表。



壹、動機：

本學期物理第十二章介紹氣體，並提及馬克士威的氣體動力論，氣壓來自氣體分子撞擊器壁所形成 $P = \frac{1}{3}mv^2 \frac{N}{V}$ ，而查理、給呂薩克及波爾茲曼由巨觀的實驗求得

$P = \frac{nRT}{V}$ ，雖然在科學上對氣體的行為早有定論，但對我們初學者而言，僅只停留在微觀的想像與知識的接受，所以促使我們四位同學利用專題研究的時間，進行粒子運動形成壓力的探討，以實際粒子模擬氣體分子撞器壁形成壓力，並作定量解析。

貳、實驗構想：

一、氣體粒子的模型：

以質量極輕、質地堅硬的 BB 彈（質量約為 0.11 克直徑 4mm）作為氣體粒子模型，雖然不可能與器壁彈碰，但是若持續輸給粒子動能，在供入與耗失的功率上必定有其平衡狀態，此時 BB 彈的動能可視為定值（如同與器壁作彈性碰撞）。

二、粒子動能的來源：

以馬達帶動轉盤，轉盤面上佈置一些不規則的撞擊物，撞擊 BB 彈，使 BB 彈獲得動能而作不規則的運動，當轉速變大則 BB 彈被擊出的 E_k 愈大。

三、粒子撞擊器壁所形成的壓力：

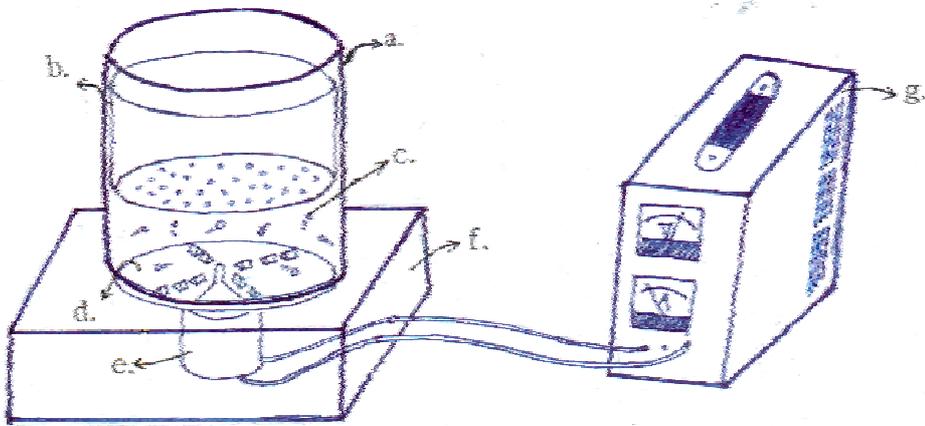
以固定截面的活塞，當粒子運動撞擊活塞，使活塞上升到某高度而平衡，我們可由活塞的重力得知撞擊力，由於壓力 $P = \frac{F}{A} = \frac{Mg}{A}$ ，其中 A 固定，∴可由活塞的重力來代表壓力的大小。

四、粒子運動分佈的體積：

由於粒子撞擊活塞，使活塞停在某平衡位置，我們可以求得分佈體積的大小，當粒子速度改變撞擊使活塞位置改變，如同氣體體積的改變。

參、實驗設計：

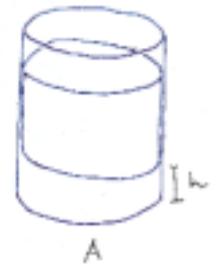
(完整圖)



(細部說明)

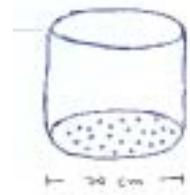
a. 圓型狀玻璃缸：(或壓克力缸)

- 使用玻璃缸目的在以可直接見到粒子運動，並使碰撞盡可能趨近彈性碰撞。



b. 活塞：

- 使用質輕的硬塑膠製成，為圓筒狀，便於放置質量代碼，以改變活塞質量。
- 底部鑽小洞以減少轉盤轉動形成對流風吹動活塞增加實驗的不準度。



c. 粒子：

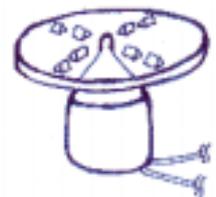
- 代表運動中的氣體分子，以直徑=0.4cm，質量 $m=0.11$ 克的 BB 彈代表。
- 數目約在 1000 顆上下。

d. 轉盤：

- 直徑 $D=19\text{cm}$ 的厚 0.5cm 壓克力板製成，上面貼有不規則壓力塊。
- 盤心與馬達軸心接在一起。

e. 馬達：

- DC，24V。
- 使用直流馬達爲了便於測定其電流(I)、電壓(V)值。



f. 木質支架箱：

- 支撐實驗設計與馬達，並消除振盪。

g. 電源供應器：

- 使用直流檔，便於直接讀出馬達的電流與電壓。

肆、理論依據與構想：

一、理論：

(一)、粒子的速度：

- 實驗時馬達 I 約 3Amp，V = 18volt，∴ 每秒輸入能量 $54 \frac{J}{s}$ ，粒子運動上下高度 0~20 cm，若以 500 顆粒子而言，上下的重力位能差 $\Delta U_g = mgh = 500 \times 0.11 \times 10^{-3} \times 9.8 \times 0.2 = 0.1 J$ ，由於 $\Delta U_g = p_{電}$ ∴ 在實驗中，活塞的升降粒子運動的 h 改變，可以不必計算粒子位能(U_g)的變化

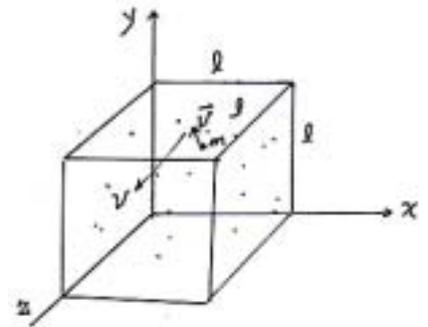
- 由於 $p_{電功} = k_o \cdot \Sigma E_k \text{ 粒子} \Rightarrow IV = k_o \cdot N \frac{1}{2} mv^2 (k_o > 1)$ ，∴ 在 N 固定時 $v \propto \sqrt{IV}$ or $E_k \propto IV$ 。

(二)、氣體動力論：

- 以動力論的觀點，某面受粒子撞擊形成的壓力

$$P = \Sigma \frac{\Delta p_y}{A \Delta t} = \Sigma \frac{2mv_{iy}}{A \Delta t} = \Sigma \frac{2m \frac{2l}{v_{iy}}}{A \cdot l} = \Sigma \frac{mv_{iy}^2}{A \cdot l}$$

$$\Rightarrow P = \frac{m \Sigma v_{iy}^2}{V} = \frac{m \frac{1}{3} N v_{rms}^2}{V} \Rightarrow P = \frac{1}{3} m v_{rms}^2 \frac{N}{V}。$$



- (三)、構想：本次實驗以活塞總質量 Mg 代表壓力，以輸入電功率 IV 代表粒子總動能 ($N \frac{1}{2} mv^2$)，而體積以 Ah 代表。我們預計完成下述探討實驗。

1. 粒子的邊際效應：

因為粒子動能的表示，我們是以每秒動能 $P_{電} = P_{\text{粒子}} + P_{\text{散逸}}$ 來推想，當平衡時 $P_{電} = k_o \cdot P_{\text{粒子}} (k_o > 1)$ 但在不同的 $P_{電}$ 或不同的粒子數時，其 k_o 值可能不同，所以先以不同的粒子數，而固定的 $P_{電}$ ，求取在 k_o 一定時粒子數 N 範圍值，與粒子數 N 固定時， $P_{電}$ 的範圍值

2.若 N 固定則 $IV=k_0 \cdot N \frac{1}{2} mv^2 \Rightarrow IV=k_0 \cdot N \frac{3}{2} kT$ ，IV 值代表溫度 T，今固定 h，

改變 IV 值測求總質量 M

· 相當於定量氣體在定容下，改變 T 求 P

3.固定活塞質量 M 與粒子數目 N，改變 IV 值，測求活塞高度 h

· 相當於定壓下定量氣體，改變 T 求 V

4.固定分子數目與 IV 值，改變活塞 M，測求高度 h，

· 相當於定量氣體定溫下，改變 P 求 V

5.∵ $IV=k_0 \cdot N \frac{3}{2} kT$ 改變粒子數目 N，依 $IV \propto N$ 改變 IV 值，固定活塞質量 M

· 相當於 T，P 固定，改變 N 求 V。

6.∵ $IV=k_0 \cdot N \frac{3}{2} kT$ ，改變粒子數 N，依 $IV \propto N$ 改變 IV 值，固定活塞高度

· 相當於 T，V 固定，改變 N 求 P

伍、實驗步驟：

依我們預定要模擬的現象，設計下述實驗步驟

一、粒子的邊際效應：

- 本實驗目的，求取最佳的粒子數範圍，與最佳電功率範圍
- 容器內置入粒子數 N，起動馬達，固定 IV 值，測活塞高度 h，改變粒子數 N'，在相同的 IV 值，測活塞高度 h'.....作 $\frac{P_{電}}{hA}$ 與 N 關係圖
- 容器內置入粒子數 N₁，起動馬達，調變 IV 值，測活塞高度作 $\frac{P_{電}}{hA}$ 與 IV 關係圖
- 改變粒子數為 N₂，重作上述實驗。

二、定量的氣體在定容下，壓力（P）與溫度（T）關係

- 在容器中置入數目固定的 BB 彈
- 起動馬達，粒子撞擊活塞而使活塞上升，記下活塞平衡時停在 h 刻度
- 在活塞上加砝碼，活塞位置改變，改變 IV 值，使活塞停於 h 刻度
- 讀取數組 IV 值與活塞砝碼總 M，作 M~（IV）圖

三、定量氣體在定壓下，體積 V 與溫度 T 的關係

- 固定活塞砝碼的總 M 與粒子總數
- 起動馬達，記下 IV 值與活塞平衡的高度
- 作 $h - \left(\frac{P_e}{N}\right)$ 圖

四、定量氣體在定溫下，P 與 V 關係

- 固定粒子數目與每次輸入的 IV 值
- 在活塞上加入不同質量砝碼，記下活塞平衡時高度 h
- 記下活塞與砝碼總質量 M，作 M~h 圖

五、定溫，定壓下，氣體體積 V 與 N 關係

- 使活塞、砝碼總質量 M 固定，起動馬達使每次 IV 值依所置入的粒子數成正比調變
- 改變粒子數目 (N)，測求活塞平衡時的高度
- 作 $h - N$ 圖

六、定溫，定體積時，P 與分子數 N 關係

- 起動馬達，使 IV 值依所置入的粒子數成正比調變。
- 調變 IV 值在活塞上加入砝碼，使高度 h 保持固定
- 記下活塞砝碼總質量 M 與粒子數 (N)
- 作 M-N 圖

陸、數據：

一、粒子數的邊際實驗：

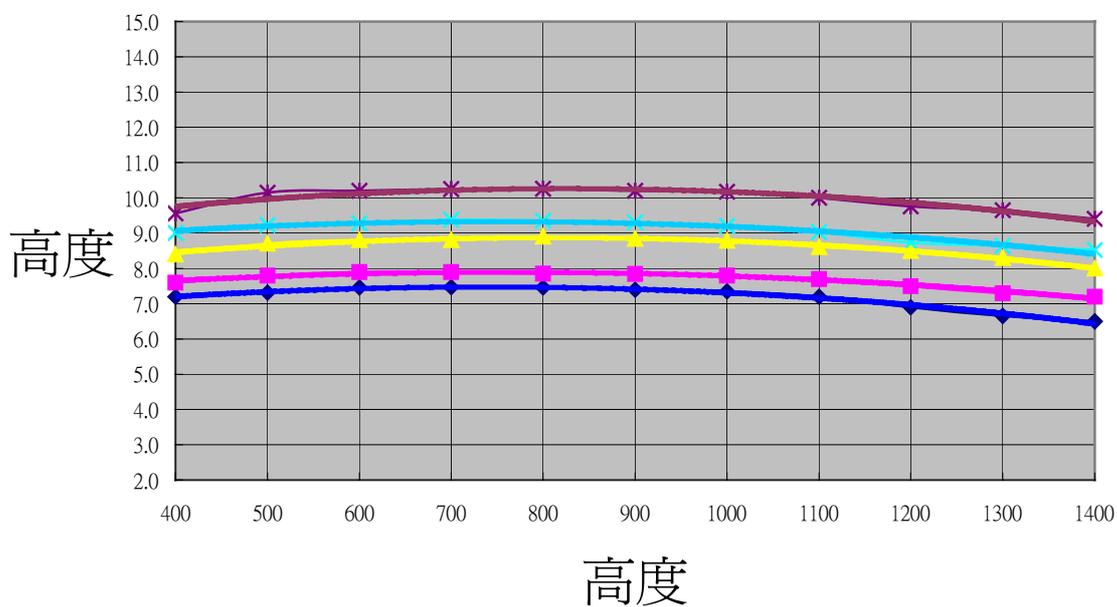
(本實驗在於求取最佳的粒子數與電功率值)

- 由於 $P_{\text{電}} = k_o \left(N \frac{1}{2} mv^2\right) \Rightarrow P_{\text{電}} = k_o \left(\frac{3}{2} PV\right)$ ，當 k_o 值為一定值，此時 N 或 $P_{\text{電}}$ 為最佳值
- 在 IV 值固定，活塞 M 固定，取不同粒子數 N，測活塞高度 h 與粒子數 N 關係
- 在粒子數 N 固定，改變 IV 值，測活塞高度 h 與 IV 值關係

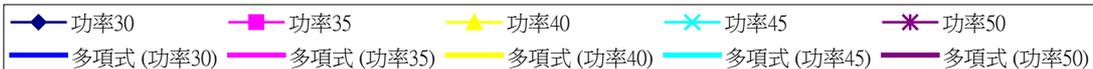
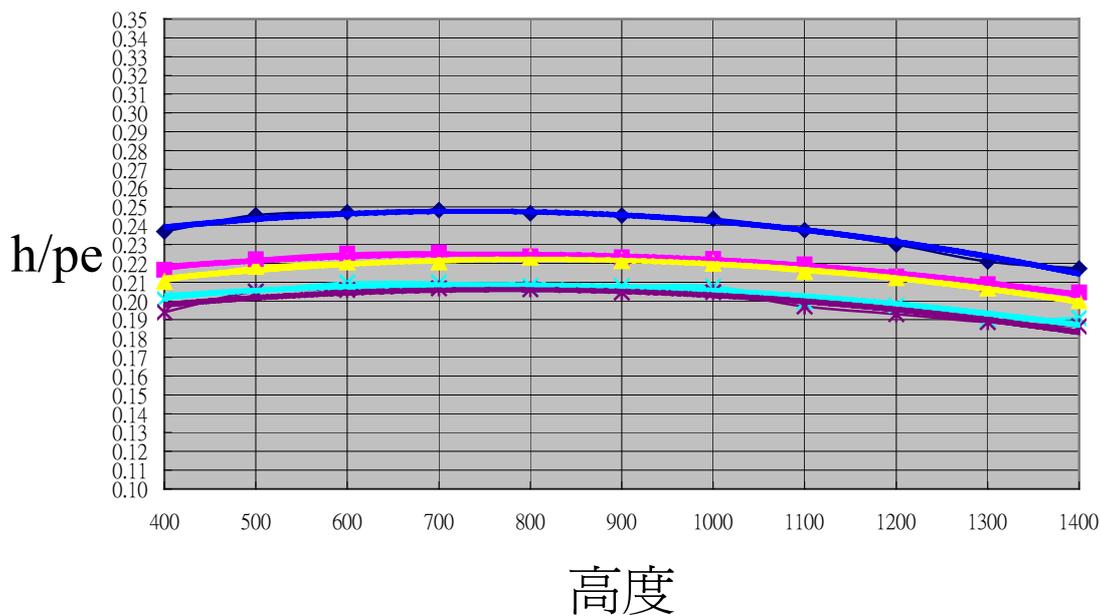
	粒子數	電流	電壓	功率	高度	Pe/h
	N(顆)	I(A)	V(volt)	P(W)	h(cm)	
1	400	2.5	12.4	30.4	7.2	0.237
2	500	2.5	12.2	29.8	7.3	0.246
3	600	2.6	11.7	30.2	7.5	0.247
4	700	2.7	11.1	30.1	7.5	0.248
5	800	2.7	11.2	30.2	7.5	0.247
6	900	2.7	11.0	30.1	7.4	0.246
7	1000	2.9	10.4	30.2	7.4	0.244
8	1100	3.0	10.1	30.3	7.2	0.238
9	1200	3.0	10.0	30.0	6.9	0.230
10	1300	3.2	9.5	30.1	6.7	0.221
11	1400	3.2	9.5	29.9	6.5	0.217
1	400	2.6	13.5	35.1	7.6	0.217
2	500	2.7	13.0	35.1	7.8	0.222
3	600	2.8	12.8	35.1	7.9	0.225
4	700	2.8	12.5	35.0	7.9	0.226
5	800	2.9	12.1	35.1	7.9	0.224
6	900	3.0	11.8	35.1	7.8	0.223
7	1000	3.2	11.1	35.1	7.8	0.222
8	1100	3.3	10.6	35.1	7.7	0.220
9	1200	3.2	11.0	35.2	7.5	0.213
10	1300	3.3	10.8	34.9	7.3	0.209
11	1400	3.3	10.6	35.2	7.2	0.205
1	400	2.7	14.8	40.0	8.4	0.210
2	500	2.8	14.5	39.9	8.7	0.218
3	600	2.9	14.0	39.9	8.8	0.221
4	700	2.8	14.3	39.9	8.8	0.221
5	800	3.0	13.3	39.9	8.9	0.223
6	900	3.1	13.1	40.0	8.8	0.221
7	1000	3.2	12.5	40.0	8.8	0.220
8	1100	3.3	12.1	39.9	8.6	0.215
9	1200	3.3	12.1	40.1	8.5	0.212
10	1300	3.4	11.9	40.2	8.3	0.207
11	1400	3.4	11.7	40.0	8.0	0.200

	粒子數	電流	電壓	功率	高度	Pe/h
	N(顆)	I(A)	V(volt)	P(W)	h(cm)	
1	400	2.8	16.0	44.8	9.0	0.201
2	500	2.9	15.5	45.0	9.2	0.205
3	600	3.0	15.0	44.3	9.3	0.210
4	700	3.0	15.0	44.7	9.4	0.210
5	800	3.1	14.5	45.0	9.4	0.208
6	900	3.1	14.4	44.7	9.3	0.208
7	1000	3.3	13.3	44.3	9.2	0.208
8	1100	3.4	13.5	45.2	9.0	0.200
9	1200	3.4	13.0	44.2	8.7	0.198
10	1300	3.5	13.0	45.5	8.6	0.190
11	1400	3.5	12.8	44.6	8.5	0.191
1	400	2.9	17.0	49.3	9.6	0.194
2	500	3.0	16.5	49.5	10.2	0.205
3	600	3.1	16.3	49.6	10.2	0.206
4	700	3.1	16.0	49.6	10.3	0.207
5	800	3.2	15.7	49.8	10.3	0.206
6	900	3.2	15.6	49.9	10.2	0.205
7	1000	3.3	15.1	49.7	10.2	0.205
8	1100	3.5	14.5	50.8	10.0	0.197
9	1200	3.6	14.3	50.6	9.8	0.193
10	1300	3.6	14.2	51.1	9.7	0.189
11	1400	3.6	14.0	50.4	9.4	0.187

高度~數量



高度~h/pe



討論：由實驗上得知，當粒子數目分佈在 500~1000 之間，由 $IV = k_0 N \frac{1}{2} m \bar{v}^2$ 得到 k_0 值約為

一常數，氣體總能量的可信度越高，所以我們下述的實驗，粒子數盡量用在 600~1400 之間

二、定量氣體定容下，壓力與溫度關係

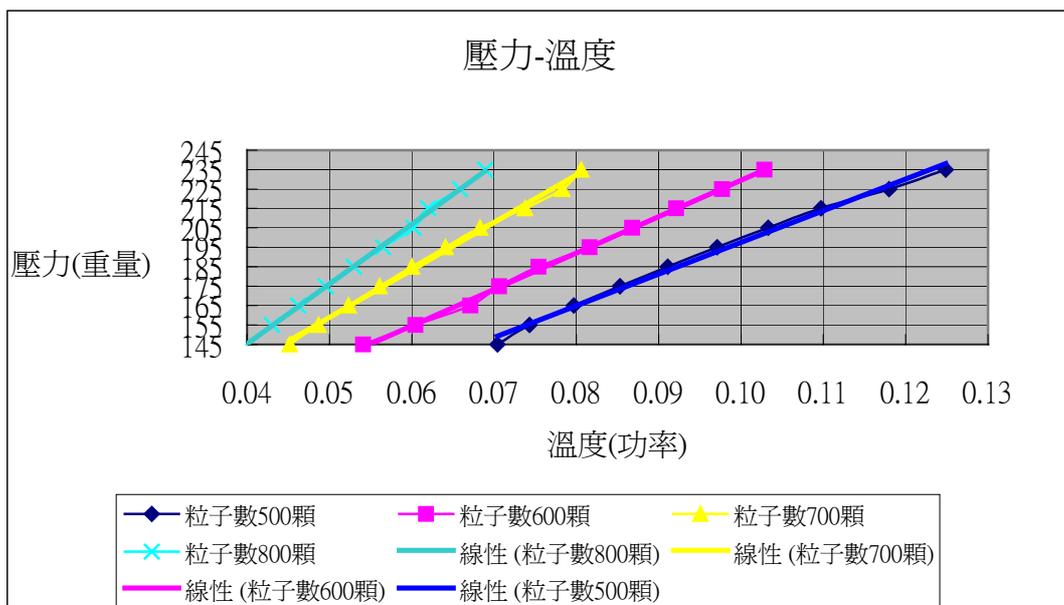
(本實驗主要是探討查理·給呂薩克壓力定律)

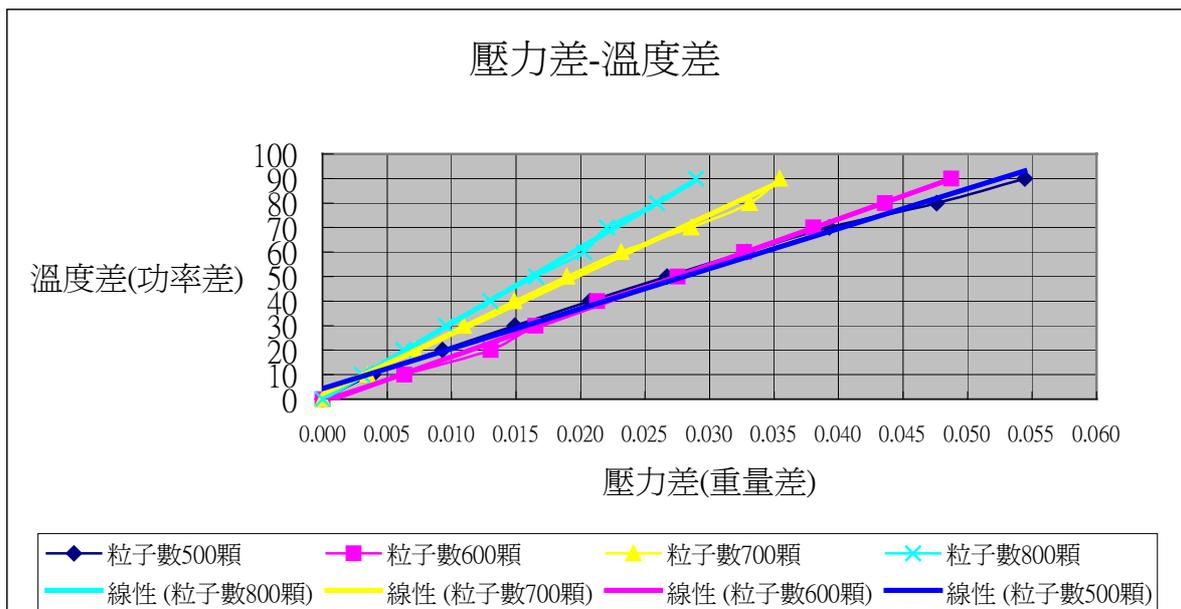
- 粒子數固定，改變 IV 值(改變 T)
- 在活塞上加入砝碼，使平衡位置(h)固定(即 V 固定)
- 讀取活塞總質量(M)與 IV 值 \Rightarrow 即 P 與 T 關係值

數據上得到 M-IV 圖

	粒子數	電流	電壓	功率	Pe/n	$\Delta Pe/n$	高度	砝碼重	總重
	N(顆)	I(A)	V(volt)	P(W)	J	J	h(cm)	A(cm)	W(gw)
1	500	2.6	13.0	33.2	0.0663	0.0000	8	0	145
2	500	2.6	13.5	35.1	0.0702	0.0039	8	10	155
3	500	2.7	14.0	37.8	0.0756	0.0093	8	20	165
4	500	2.8	14.5	40.6	0.0812	0.0149	8	30	175
5	500	2.9	15.0	43.5	0.0870	0.0207	8	40	185
6	500	3.0	15.5	46.5	0.0930	0.0267	8	50	195
7	500	3.1	16.0	49.6	0.0992	0.0329	8	60	205
8	500	3.2	16.5	52.8	0.1056	0.0393	8	70	215
9	500	3.4	17.0	57.0	0.1139	0.0476	8	80	225
10	500	3.5	17.5	60.4	0.1208	0.0545	8	90	235
1	600	2.5	12.0	30.0	0.0500	0.0000	8	0	145
2	600	2.6	13.0	33.8	0.0563	0.0063	8	10	155
3	600	2.8	13.8	37.8	0.0630	0.0130	8	20	165
4	600	2.8	14.3	39.9	0.0665	0.0165	8	30	175
5	600	2.9	14.8	42.8	0.0713	0.0213	8	40	185
6	600	3.1	15.3	46.5	0.0775	0.0275	8	50	195
7	600	3.2	15.8	49.6	0.0827	0.0327	8	60	205
8	600	3.2	16.8	52.8	0.0880	0.0380	8	70	215
9	600	3.2	17.6	56.2	0.0936	0.0436	8	80	225
10	600	3.3	18.0	59.2	0.0987	0.0487	8	90	235

	粒子數	電流	電壓	功率	Pe/n	$\Delta Pe/n$	高度	砝碼重	總重
	N(顆)	I(A)	V(volt)	P(W)	J	J	h(cm)	A(cm)	W(gw)
1	700	2.5	11.5	28.8	0.0411	0.0000	8	0	145
2	700	2.6	12.0	31.2	0.0446	0.0035	8	10	155
3	700	2.7	12.5	33.8	0.0482	0.0071	8	20	165
4	700	2.8	13.0	36.4	0.0520	0.0109	8	30	175
5	700	2.9	13.5	39.2	0.0559	0.0149	8	40	185
6	700	3.0	14.0	42.0	0.0600	0.0189	8	50	195
7	700	3.1	14.5	45.0	0.0642	0.0231	8	60	205
8	700	3.3	15.0	48.8	0.0696	0.0286	8	70	215
9	700	3.4	15.5	51.9	0.0742	0.0331	8	80	225
10	700	3.4	15.8	53.6	0.0765	0.0354	8	90	235
1	800	2.6	11.3	28.7	0.0359	0.0000	8	0	145
2	800	2.7	11.8	31.1	0.0389	0.0031	8	10	155
3	800	2.8	12.3	33.7	0.0421	0.0063	8	20	165
4	800	2.9	12.8	36.3	0.0454	0.0096	8	30	175
5	800	3.0	13.3	39.1	0.0489	0.0130	8	40	185
6	800	3.1	13.8	41.9	0.0524	0.0166	8	50	195
7	800	3.2	14.3	44.9	0.0561	0.0203	8	60	205
8	800	3.3	14.3	46.3	0.0579	0.0220	8	70	215
9	800	3.4	14.8	49.4	0.0618	0.0259	8	80	225
10	800	3.4	15.3	51.9	0.0648	0.0290	8	90	235





討論：由實驗的數據，發現壓力和溫度的確有正比的關係，然而我們擔心自己的數據有系統誤差存在，於是又作了一張 $\Delta P \sim \Delta T$ 之座標圖來消除系統誤差，發現確實通過原點證實了我們的確沒錯。

三、定壓下，定量氣體，體積與溫度關係

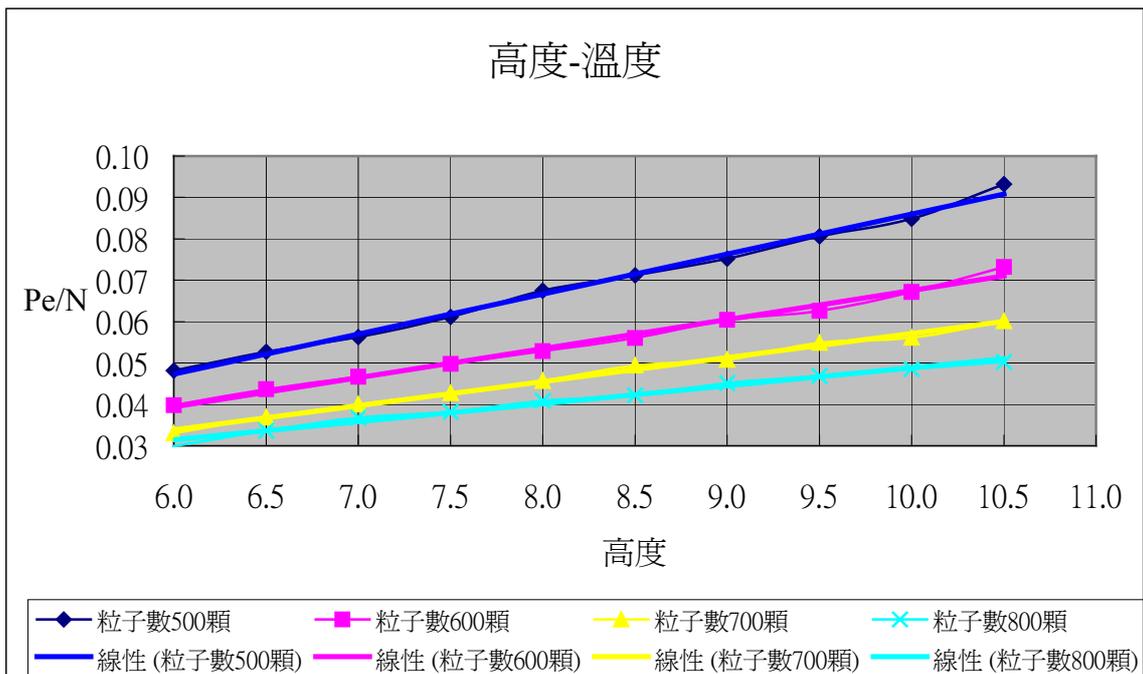
(本實驗主要是探討查理·給呂薩克體積定律)

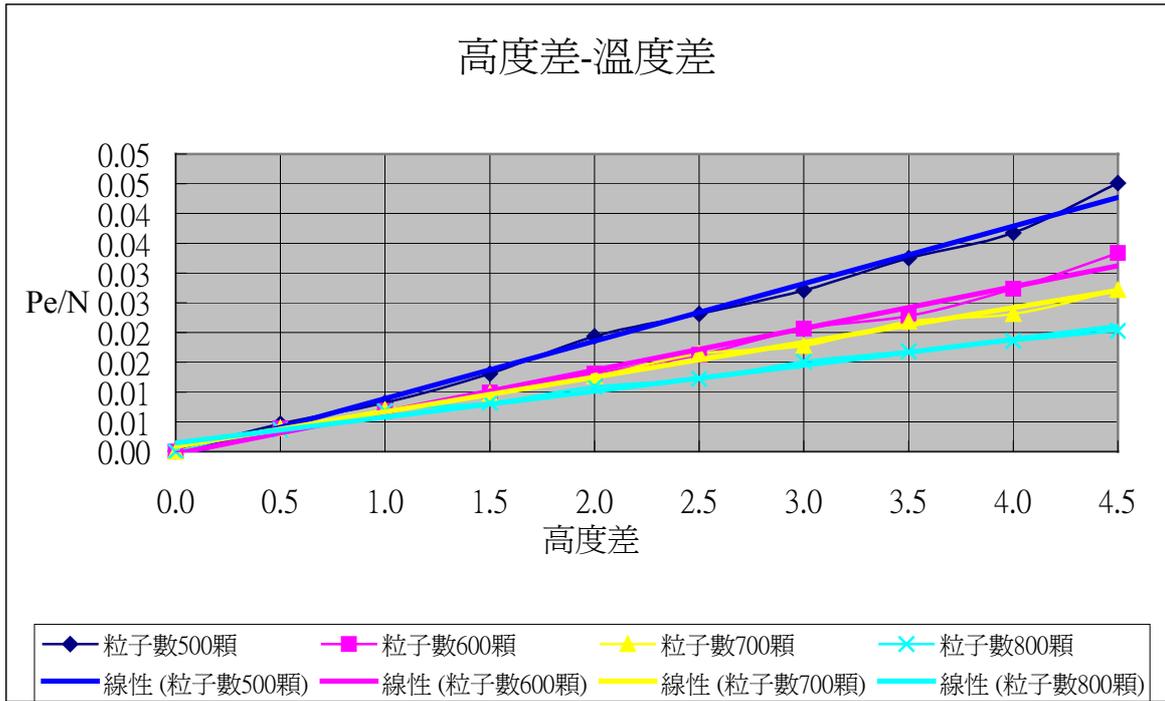
- 活塞上加入適當砝碼使總 M 固定，容器中置入定量粒子數
- 改變輸入的 IV 值 (T 改變)，測求活塞平衡時的高度 h (V)
- 作出 $h \sim P_e/N$ 的關係圖 \Rightarrow 即 $V \sim T$ 關係圖

由數據上得到 $h - P_e/N$ 圖

	粒子數	電流	電壓	功率	Pe/N	$\Delta Pe/N$	高度	Δ 高度
	N(顆)	I(A)	V(volt)	P(W)	J	J	h(cm)	h(cm)
1	500	2.3	10.8	24.7	0.0495	0.0000	6.0	0.0
2	500	2.4	11.5	27.0	0.0541	0.0047	6.5	0.5
3	500	2.4	12.0	28.8	0.0576	0.0082	7.0	1.0
4	500	2.5	12.8	31.2	0.0625	0.0131	7.5	1.5
5	500	2.5	13.8	34.4	0.0688	0.0194	8.0	2.0
6	500	2.5	14.5	36.3	0.0725	0.0231	8.5	2.5
7	500	2.6	15.0	38.3	0.0765	0.0271	9.0	3.0
8	500	2.6	15.8	41.0	0.0819	0.0325	9.5	3.5
9	500	2.7	16.3	43.1	0.0861	0.0367	10.0	4.0
10	500	2.7	17.5	47.3	0.0945	0.0451	10.5	4.5
1	600	2.4	10.5	24.7	0.0411	0.0000	6.0	0.0
2	600	2.4	11.3	27.0	0.0450	0.0039	6.5	0.5
3	600	2.5	11.8	28.8	0.0480	0.0069	7.0	1.0
4	600	2.5	12.3	30.6	0.0510	0.0099	7.5	1.5
5	600	2.6	12.8	32.5	0.0542	0.0131	8.0	2.0
6	600	2.6	13.5	34.4	0.0574	0.0163	8.5	2.5
7	600	2.6	14.3	37.1	0.0618	0.0207	9.0	3.0
8	600	2.6	14.8	38.4	0.0639	0.0228	9.5	3.5
9	600	2.7	15.5	41.1	0.0685	0.0274	10.0	4.0
10	600	2.8	16.3	44.7	0.0745	0.0334	10.5	4.5

	粒子數	電流	電壓	功率	Pe/N	Δ Pe/N	高度	Δ 高度
	N(顆)	I(A)	V(volt)	P(W)	J	J	h(cm)	h(cm)
1	700	2.4	10.0	24.0	0.0343	0.0000	6.0	0.0
2	700	2.5	10.7	26.8	0.0382	0.0039	6.5	0.5
3	700	2.6	11.4	28.9	0.0413	0.0070	7.0	1.0
4	700	2.6	11.9	30.8	0.0440	0.0097	7.5	1.5
5	700	2.6	12.7	32.9	0.0470	0.0127	8.0	2.0
6	700	2.7	13.4	35.5	0.0507	0.0164	8.5	2.5
7	700	2.7	13.8	36.4	0.0521	0.0178	9.0	3.0
8	700	2.7	14.6	39.3	0.0562	0.0219	9.5	3.5
9	700	2.7	14.8	40.2	0.0574	0.0231	10.0	4.0
10	700	2.8	15.4	43.0	0.0614	0.0271	10.5	4.5
1	800	2.5	10.0	25.0	0.0313	0.0000	6.0	0.0
2	800	2.6	10.8	28.0	0.0349	0.0036	6.5	0.5
3	800	2.7	11.5	30.5	0.0381	0.0068	7.0	1.0
4	800	2.7	11.7	31.6	0.0395	0.0082	7.5	1.5
5	800	2.7	12.5	33.8	0.0422	0.0109	8.0	2.0
6	800	2.7	12.9	34.8	0.0435	0.0122	8.5	2.5
7	800	2.8	13.5	37.1	0.0464	0.0151	9.0	3.0
8	800	2.8	14.0	38.5	0.0481	0.0168	9.5	3.5
9	800	2.8	14.5	39.9	0.0498	0.0185	10.0	4.0
10	800	2.8	15.0	41.3	0.0516	0.0203	10.5	4.5





討論：根據實驗的數據，發現溫度和體積的確有正比的關係，然而，我們擔心自己的數據有系統誤差存在，於是又作了一張 $\Delta V \sim \Delta T$ 之座標圖來消除系統誤差，發現確實通過原點證實了我們的確沒錯。

四、定量氣體在定溫下，壓力與體積關係

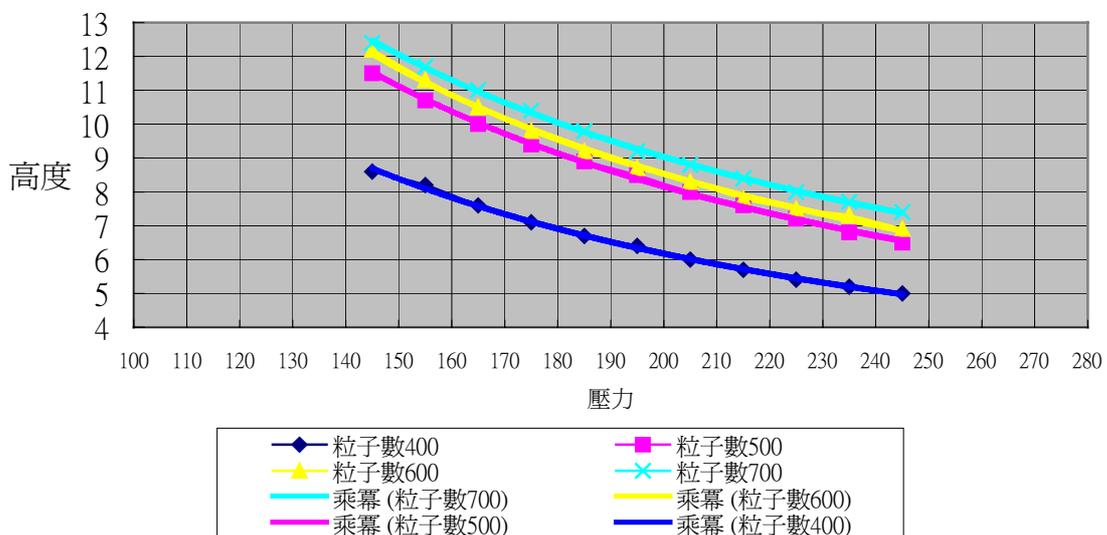
(本實驗主要是探討波以耳定律)

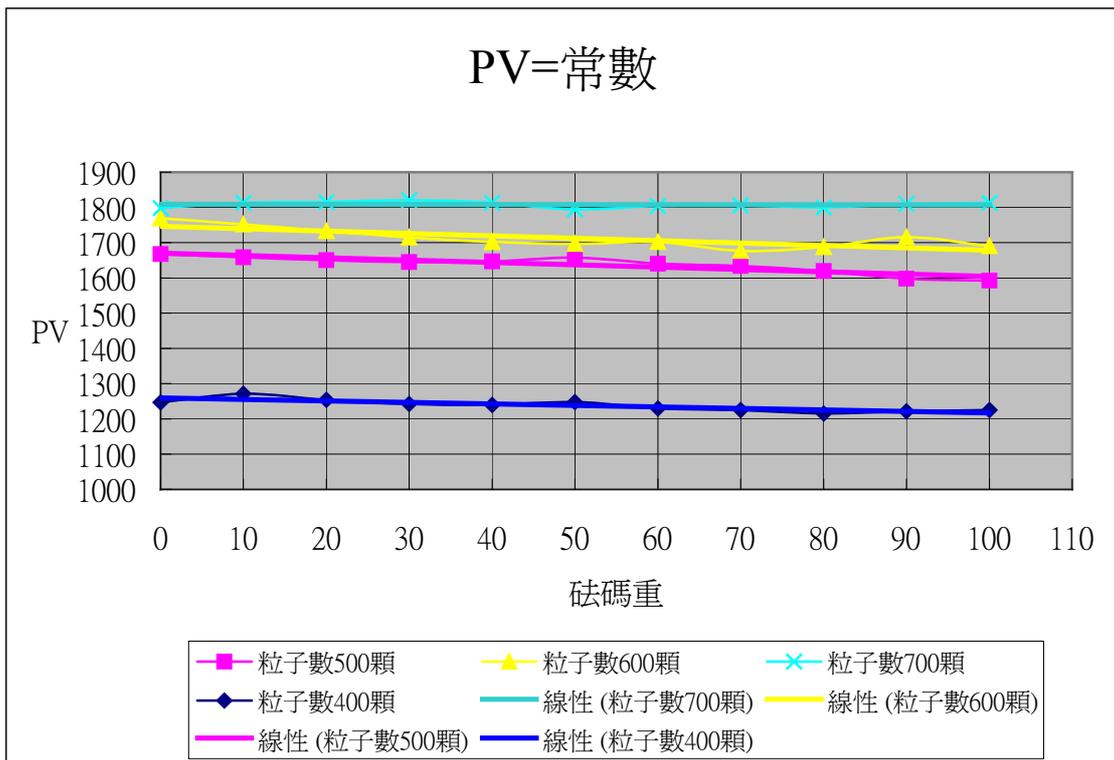
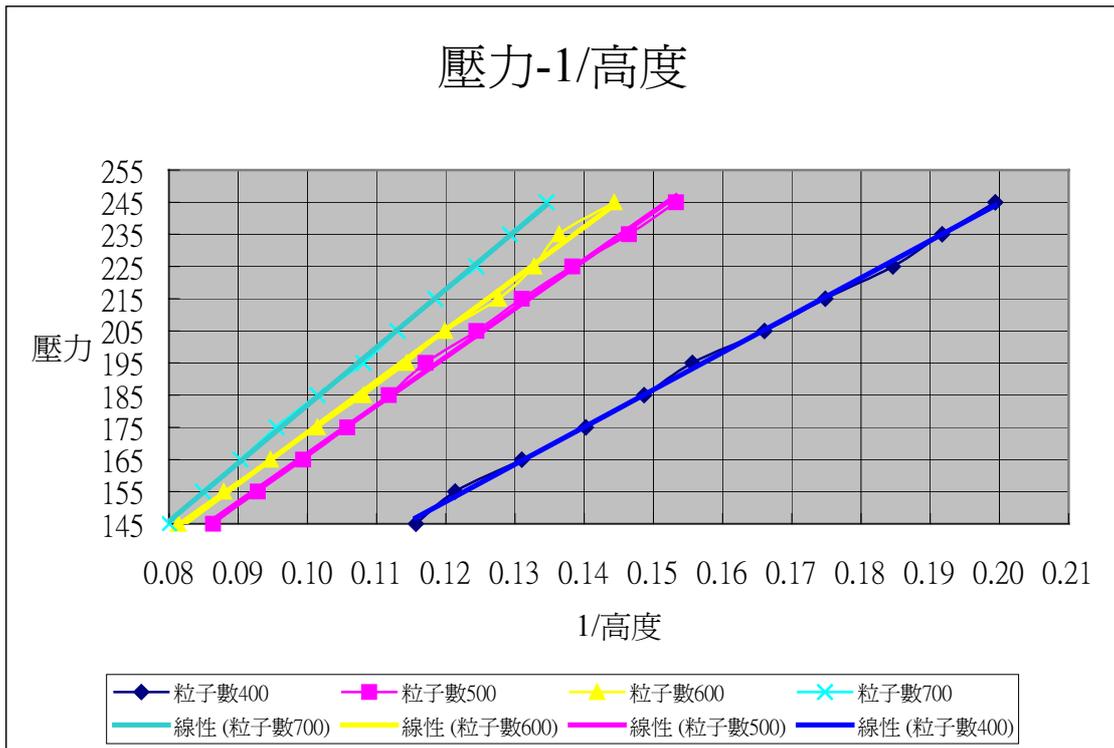
- 容器內置入定量的粒子數，起動馬達後，使 IV 值固定
- 改變活塞上的砝碼，記下總質量 M 與平衡位置 h
- 作 $M \sim h$ 圖與 $M \sim \frac{1}{h}$ 圖(即 $P \sim \frac{1}{V}$ 圖)

	粒子數	功率	高度	砝碼重	總重	P V	1/h
	N(顆)	P(W)	h(cm)	W(gw)	W(gw)	Wh	1/cm
1	400	50.00	8.6	0	145	1247	0.1163
2	400	50.00	8.2	10	155	1271	0.1220
3	400	50.00	7.6	20	165	1254	0.1316
4	400	50.00	7.1	30	175	1242.5	0.1408
5	400	50.00	6.7	40	185	1239.5	0.1493
6	400	50.00	6.4	50	195	1248	0.1563
7	400	50.00	6.0	60	205	1230	0.1667
8	400	50.00	5.7	70	215	1225.5	0.1754
9	400	50.00	5.4	80	225	1215	0.1852
10	400	50.00	5.2	90	235	1222	0.1923
11	400	50.00	5.0	100	245	1225	0.2000
1	500	49.88	11.5	0	145	1667.5	0.0870
2	500	50.75	10.7	10	155	1658.5	0.0935
3	500	49.40	10.0	20	165	1650	0.1000
4	500	50.25	9.4	30	175	1645	0.1064
5	500	50.02	8.9	40	185	1646.5	0.1124
6	500	50.38	8.5	50	195	1657.5	0.1176
7	500	50.40	8.0	60	205	1640	0.1250
8	500	50.40	7.6	70	215	1634	0.1316
9	500	50.33	7.2	80	225	1620	0.1389
10	500	50.33	6.8	90	235	1598	0.1471
11	500	49.50	6.5	100	245	1592.5	0.1538

	粒子數	功率	高度	砵碼重	總重	P V	1/h
	N(顆)	P(W)	h(cm)	W(gw)	W(gw)	Wh	1/cm
1	600	50.80	12.2	0	145	1769	0.0820
2	600	50.25	11.3	10	155	1751.5	0.0885
3	600	49.56	10.5	20	165	1732.5	0.0952
4	600	49.60	9.8	30	175	1715	0.1020
5	600	50.40	9.2	40	185	1702	0.1087
6	600	50.40	8.7	50	195	1696.5	0.1149
7	600	49.56	8.3	60	205	1701.5	0.1205
8	600	49.50	7.8	70	215	1677	0.1282
9	600	50.08	7.5	80	225	1687.5	0.1333
10	600	50.25	7.3	90	235	1715.5	0.1370
11	600	49.30	6.9	100	245	1690.5	0.1449
1	700	49.50	12.4	0	145	1798	0.0806
2	700	49.56	11.7	10	155	1813.5	0.0855
3	700	49.60	11.0	20	165	1815	0.0909
4	700	50.40	10.4	30	175	1820	0.0962
5	700	49.60	9.8	40	185	1813	0.1020
6	700	49.56	9.2	50	195	1794	0.1087
7	700	50.33	8.8	60	205	1804	0.1136
8	700	49.58	8.4	70	215	1806	0.1190
9	700	50.12	8.0	80	225	1800	0.1250
10	700	50.03	7.7	90	235	1809.5	0.1299
11	700	50.75	7.4	100	245	1813	0.1351

高度-壓力





討論：觀察我們的數據，作出了 $P \sim V$ 圖，發現同溫度時， $P \sim V$ 似乎為反比關係

為了驗證數據，我們又作了 $P \sim \frac{1}{V}$ 圖，發現確實有正比關係，我們又更進一步

作出了 $PV \sim P$ 圖，也得到了漂亮的圖形，本實驗也成功的說明了波以耳定律。

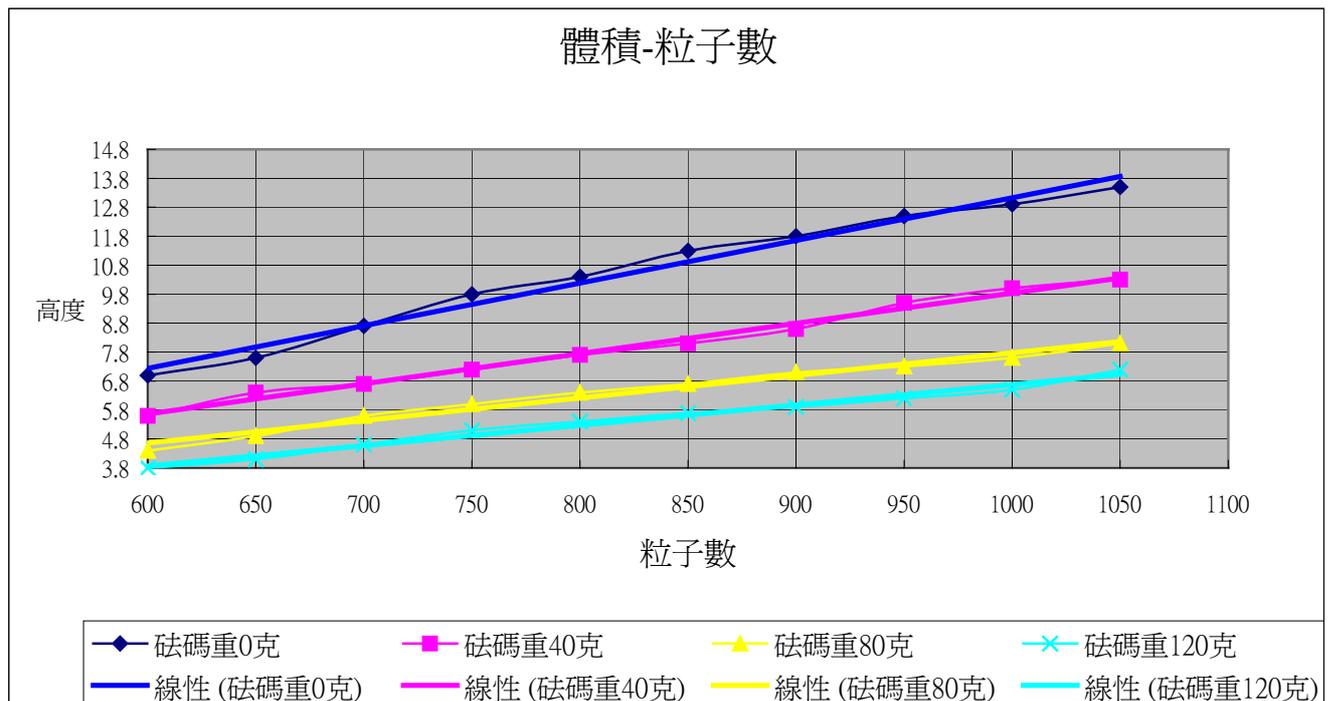
五、定溫下，定壓下，氣體 V 與分子數 N 關係

(本實驗主要是探討亞佛加厥定律)

- 使活塞總質量固定
- 改變粒子數 (N) 起動馬達後調變 IV 值 (此值依 N 成正比調變)
- 記下活塞平衡的高度 (h) 與粒子數 (N)

	粒子數	電流	電壓	功率	Pe/N	高度	砝碼重	總重
	N(顆)	I(A)	V(volt)	P(W)	J	h(cm)	W(gw)	W(gw)
1	600	2.5	13.0	32.9	0.0548	7.0	0	145
2	650	2.6	13.5	35.1	0.0540	7.6	0	145
3	700	2.7	14.0	37.1	0.0530	8.7	0	145
4	750	2.7	14.5	39.5	0.0527	9.8	0	145
5	800	2.8	15.0	41.9	0.0523	10.4	0	145
6	850	2.9	15.5	45.0	0.0529	11.3	0	145
7	900	3.0	16.0	47.6	0.0529	11.8	0	145
8	950	3.1	16.5	50.3	0.0530	12.5	0	145
9	1000	3.2	17.0	53.6	0.0536	12.9	0	145
10	1050	3.2	17.5	56.0	0.0533	13.5	0	145
1	600	2.7	12.0	32.4	0.0540	5.6	40	185
2	650	2.8	13.0	36.4	0.0560	6.4	40	185
3	700	2.9	13.8	39.9	0.0570	6.7	40	185
4	750	3.0	14.3	42.4	0.0565	7.2	40	185
5	800	3.1	14.8	45.4	0.0567	7.7	40	185
6	850	3.3	15.3	49.9	0.0588	8.1	40	185
7	900	3.2	15.8	50.4	0.0560	8.6	40	185
8	950	3.3	16.8	54.9	0.0578	9.5	40	185
9	1000	3.4	17.6	58.8	0.0588	10.0	40	185
10	1050	3.4	18.0	60.7	0.0578	10.3	40	185

	粒子數	電流	電壓	功率	Pe/N	高度	砝碼重	總重
	N(顆)	I(A)	V(volt)	P(W)	J	h(cm)	W(gw)	W(gw)
1	600	2.9	11.5	33.1	0.0552	4.4	80	225
2	650	3.0	12.0	35.4	0.0545	4.9	80	225
3	700	3.1	12.5	38.4	0.0549	5.6	80	225
4	750	3.1	13.0	40.6	0.0542	6.0	80	225
5	800	3.3	13.5	43.9	0.0548	6.4	80	225
6	850	3.4	14.0	46.9	0.0552	6.7	80	225
7	900	3.4	14.5	49.3	0.0548	7.1	80	225
8	950	3.5	15.0	51.8	0.0545	7.3	80	225
9	1000	3.6	15.5	55.8	0.0558	7.6	80	225
10	1050	3.6	15.8	56.7	0.0540	8.1	80	225
1	600	3.0	11.3	33.8	0.0563	3.8	120	265
2	650	3.2	11.8	37.0	0.0569	4.1	120	265
3	700	3.2	12.3	39.2	0.0560	4.6	120	265
4	750	3.3	12.8	42.1	0.0561	5.1	120	265
5	800	3.4	13.3	45.3	0.0566	5.4	120	265
6	850	3.5	13.8	48.1	0.0566	5.7	120	265
7	900	3.6	14.3	50.6	0.0562	5.9	120	265
8	950	3.7	14.3	52.4	0.0552	6.2	120	265
9	1000	3.8	14.8	55.3	0.0553	6.5	120	265
10	1050	3.8	15.3	57.6	0.0549	7.2	120	265



討論：由實驗上可以看出 $V \sim N$ 有正比關係，也可說明亞佛加厥定律(定溫定壓下，
體積與分子數成正比)

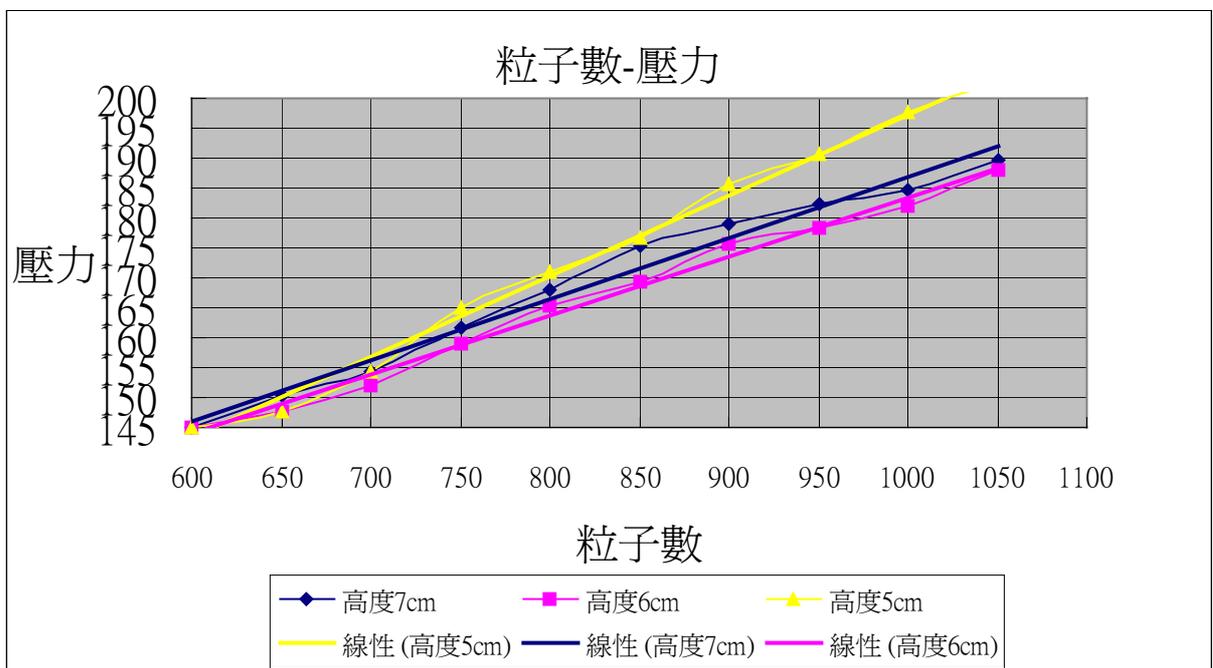
六、定溫下，定體積的氣體壓力與分子數關係

(本實驗主要探討動力論中壓力與撞壁頻率關係)

- 起動馬達，依 N 成正比調變(IV)值
- 改變 N ，調變 IV 由加入的砝碼，使活塞在固定高度平衡
- 記錄活塞總質量 (M) 與粒子數 (N)

	N(顆)	I(A)	V(volt)	P(W)	J	h(cm)	W(gw)	W(gw)
1	600	2.5	12.1	30.0	0.0500	7	0	145.00
2	650	2.6	12.8	32.5	0.0500	7	5.35	150.35
3	700	2.6	13.8	35.8	0.0511	7	9.28	154.28
4	750	2.7	14.0	37.1	0.0495	7	16.64	161.64
5	800	2.8	14.5	40.6	0.0508	7	23	168.00
6	850	2.9	14.8	42.2	0.0496	7	30.34	175.34
7	900	2.9	15.8	45.4	0.0504	7	33.87	178.87
8	950	3.0	16.0	47.2	0.0497	7	37.18	182.18
9	1000	3.0	16.6	49.8	0.0498	7	39.83	184.83
10	1050	3.1	17.0	52.7	0.0502	7	44.65	189.65
1	600	2.3	10.8	24.7	0.0412	6	0	145.00
2	650	2.4	11.1	26.6	0.0410	6	2.77	147.77
3	700	2.5	11.5	28.8	0.0411	6	6.85	151.85
4	750	2.5	12.0	30.3	0.0404	6	13.97	158.97
5	800	2.6	12.8	33.5	0.0419	6	20.35	165.35
6	850	2.7	13.3	35.1	0.0413	6	24.5	169.50
7	900	2.8	13.5	37.1	0.0413	6	30.71	175.71
8	950	2.8	14.0	39.2	0.0413	6	33.36	178.36
9	1000	2.9	14.4	41.0	0.0410	6	36.88	181.88
10	1050	3.0	14.8	43.5	0.0414	6	42.9	187.90

	N(顆)	I(A)	V(volt)	P(W)	J	h(cm)	W(gw)	W(gw)
1	600	2.3	10.0	22.5	0.0375	5	0	145.00
2	650	2.4	10.4	24.4	0.0376	5	2.74	147.74
3	700	2.4	10.9	26.4	0.0377	5	9.5	154.50
4	750	2.5	11.5	28.8	0.0383	5	20.11	165.11
5	800	2.6	11.6	29.9	0.0373	5	25.91	170.91
6	850	2.6	12.1	31.7	0.0373	5	31.82	176.82
7	900	2.7	12.5	33.9	0.0376	5	40.67	185.67
8	950	2.8	13.0	35.9	0.0378	5	45.56	190.56
9	1000	2.8	13.3	37.4	0.0374	5	52.8	197.80
10	1050	2.9	13.9	40.0	0.0381	5	57.58	202.58



討論：由實驗的 M~N 圖形中，也不難看出在同溫同體積下，壓力和粒子數有正

比的關係同時也符合了氣體運動論的理論($P = \frac{NkT}{V}$ ，在 T、V 固定時 $P \propto N$)

柒、總結：

經過這次的探討實驗我們得到下述心得與結論：

- 一、在真實的碰撞中，彈性碰撞是很難做到的，但若持續對物系輸入能量，由 $P_{\text{輸入功率}} = P_{\text{粒子得到}} + P_{\text{耗失功率}}$ 在達到平衡時 $P_{\text{輸入}} = k_0 P_{\text{粒子}}$ ，在 k_0 為定值時仍可視為同一種彈性碰撞
- 二、實驗時我們所用的體積並非很大(約 4.5 公升)所以粒子數(BB 彈的數目)不可使用過多或太少，我們由邊際效應分析當粒子太多或太少 $P_{\text{電}} = k_0 N \frac{1}{2} m v^2$ 無法成一定值，以我們所用的體積大約粒子數 $N = 500 \sim 1000$ 最佳。
- 三、本次探討中我們得到氣體中各種定律的關係，如波以耳定律、查理－給呂薩克定律、亞佛加厥定律，以及 $P \propto \frac{N}{A \Delta T}$ ，所得到的結果與課本上所述完全相符，這是我們非常滿意的地方。
- 四、由於篇幅關係，在實驗中有些數據的處理方式並未在報告中呈現出來，如高度 h 我們即量取 10 組數據，再經平方差方式處理，才列入報告中。
- 五、本實驗的誤差，我們固歸直線法，求得之標準差和 R-Squared 值，如下所述

實驗二、($p \propto T$)

粒子數	方程式	標準差	R^2
500	$y = 1630.4x + 41.8$	1.664	0.994
600	$y = 1873.4 x + 49.92$	0.446	0.9983
700	$y = 2439.9 x + 46.94$	0.8129	0.9966
800	$y = 3079.2 x + 34.755$	0.2236	0.9984

實驗三、($V \propto T$)

粒子數	方程式	標準差	R^2
500	$y = 0.0097x - 0.0093$	0.0299	0.9942
600	$y = 0.007 x - 0.0014$	0.02	0.9915
700	$y = 0.0058 x - 0.0002$	0.0154	0.9947
800	$y = 0.0044 x - 0/0066$	0.014	0.9876

實驗四、($p \propto k$)

粒子數	方程式	標準差	R^2
500	$y = 1159x + 12.029$	0.64	0.9987
600	$y = 1506.8x + 15.118$	0.677	0.9998
700	$y = 1947x + 12.755$	0.69	0.9976
800	$y = 1803x + 0.502$	0.374	0.9994

實驗五、($w \propto h$)

重量	方程式	標準差	R^2
145	$y = 0.0147x - 1.68$	0.4	0.9840
185	$y = 0.0104x - 0.6$	0.0447	0.9918
225	$y = 0.0078x - 0.02$	0.27	0.9820
265	$y = 0.007x - 0.36$	0.214	0.985

實驗六、($N \propto p$)

高度	方程式	標準差	R^2
7	$y = 0.102x - 84.84$	0.364	0.983
6	$y = 0.0984x - 85.05$	0.47	0.9916
5	$y = 0.1353x - 62.016$	0.6559	0.9941

六、在高中物理第十二章有一個波以耳定律實驗(如附錄)實驗時所用的氣體為空氣，而氣壓以($P_{atm} + \rho_{汞}hg$)表示，但是汞具有毒性，而且橡皮軟管經一段時間後常被腐蝕或穿洞使汞外流，而且由於所用的氣體體積(或莫耳數)太小，所以在實驗上誤差不小，也無法直接體會到氣體分子撞擊所形成的壓力，所以我們本次的模擬實驗，若經教授們認為還可以，我們很樂意可以推廣到其他學校使用。

七、本實驗在儀器設計上，缺點是撞擊聲太大，若在壓克力筒內側與木架能車出螺紋，將筒直接轉鎖在木箱架子上，加上海綿的蓋子來消音，效果將更佳，但礙於經費，我們只做海綿蓋子來消音。

