

第 108 學年度清華大學普通物理實驗(一)

☐預報 或 ☒結報 課程編號： 10810PHYS101010

實驗名稱： 熱力學實驗 (Thermodynamics)

系 級： 電機資訊學院學士班 1 年級 組 別： 13

學 號： 108060018 姓 名： 葉承泓

組 員： 陳竑廷

實驗日期： 108 年 12 月 25 日 補作日期： 年 月 日

◎ 以下為助教記錄區

預報繳交日期	報告成績	助教簽名欄
結報繳交日期		
報告缺失紀錄		

六、實驗結果與分析

(A) 熱輻射(Thermal Radiation)實驗

1. 不同材質表面的熱輻射效應實驗

表 1 以 5 伏特加熱輻射體之不同表面輻射強度

	歐姆計(多功能電表)所測量 出之電阻值 $R(k\Omega)$	伏特計(多功能電表)所測量 出之熱感應器所輸出的電 壓值 $V(mV)$
霧面	33.1	2.2
黑面	33	4.6
亮面	32.5	0.3
銀白面	32.4	4.6

表 2 以 7 伏特加熱輻射體之不同表面輻射強度

	歐姆計(多功能電表)所測量 出之電阻值 $R(k\Omega)$	伏特計(多功能電表)所測量 出之熱感應器所輸出的電 壓值 $V(mV)$
霧面	26.3	2.7
黑面	25.8	5.8
亮面	25.2	0.3
銀白面	25	6

數據分析：

1. 架設所有實驗儀器和器材，兩個多功能電表分別選用直流毫伏特及歐姆檔，並將兩組測試接線分別連接至熱感應器的感應電壓輸出端點及熱輻射體的熱電阻輸出端。
2. 打開熱輻射體的電源，並將燈泡之加熱功率調到 HIGH，觀察熱輻射體之熱電阻值的變化，當電阻值下降到 $40 k\Omega$ 時，將加熱功率調降到 5
3. 當熱輻射體達到熱平衡(電阻數值緩慢下降)時，記錄電阻值於表 1 中
4. 將熱感應器上的金屬環往前推，使遮罩打開，分別量測熱輻射體四面之輻射強度的輸出電壓，紀錄於表 2 中
5. 改變熱輻射體的燈泡加熱功率為 7，重複步驟 3.~4.

2. 熱輻射的穿透與吸收

表 3 以 5 伏特加熱輻射體之經過不同阻擋物(隔板)所剩餘的輻射強度

	歐姆計(多功能電表)所測量 出之電阻值 $R(k\Omega)$	伏特計(多功能電表)所測量 出之熱感應器所輸出的電 壓值 $V(mV)$
無障礙	30.4	13.6
玻璃板	30.3	6.6
檔板	32.4	0.1

表 4 以 7 伏特加熱輻射體之經過不同阻擋物(隔板)所剩餘的輻射強度

	歐姆計(多功能電表)所測量 出之電阻值 $R(k\Omega)$	伏特計(多功能電表)所測量 出之熱感應器所輸出的電 壓值 $V(mV)$
無障礙	32.5	27.6
玻璃板	32.3	17.6
檔板	32.8	0.2

數據分析：

1. 架設所有實驗儀器和器材，兩個多功能電表分別選用直流毫伏特及歐姆檔，並將兩組測試接線分別連接至熱感應器的感應電壓輸出端點及熱輻射體的熱電阻輸出端。
2. 打開熱輻射體的電源，並將燈泡之加熱功率調到 HIGH，觀察熱輻射體之熱電阻值的變化，當電阻值下降到 $40 k\Omega$ 時，將加熱功率調降到 5
3. 當熱輻射體達到熱平衡(電阻數值緩慢下降)時，將熱輻射體的上蓋移開，並將其倒著放
4. 將熱感應器對準熱輻射體中的燈泡，記錄輻射強度的電壓信號以及此時的電阻值，即為表 3 及表 4 中之「無障礙」的情況
5. 將玻璃板放置在感應器與燈泡中間，記錄通過玻璃板後的輻射強度的電壓信號以及此時的電阻值，如表 3 所示
6. 將玻璃板更換為檔板，記錄通過檔板後的輻射強度的電壓信號以及此時的電阻值，如表 3 所示
7. 改變熱輻射體的燈泡加熱功率為 7，重複步驟 3.~6.，即可得到表 4

3. 點熱源之輻射平方反比定律(Inverse Square Law)——

距離對熱輻射的影響(距離與熱輻射之間的關係)

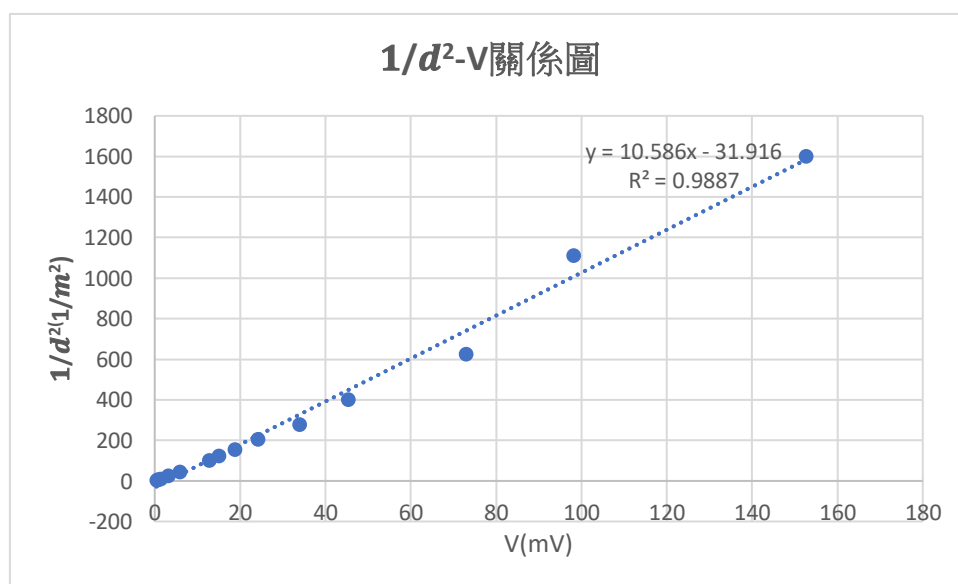
表 5 實驗時之環境背景輻射值

熱感應器與燈泡的距離 $d(m)$	伏特計(多功能電表)所測量 出之熱感應器所輸出的 電壓值 $V_0(mV)$	V_0 的平均值 (mV)
0.1	0	-0.08
0.2	0	
0.3	-0.1	
0.4	-0.1	
0.5	-0.2	
0.6	0.2	
0.7	0	
0.8	-0.2	
0.9	-0.2	
1.0	-0.2	

表 6 以 10 伏特加熱史蒂芬-波茲曼燈泡之不同距離下的輻射強度

熱感應器與燈泡的距離 d(m)	$d^2(m^2)$	$\frac{1}{d^2}(1/m^2)$	伏特計(多功能電表)所測量出之熱感應器所輸出的電壓值 V(mV)	所量得之輻射強度減掉環境的平均輻射強度 $V-V_0$ (mV)
0.025	0.000625	1600	152.6	152.52
0.03	0.0009	1111.11	98.1	98.02
0.04	0.0016	625	72.9	72.82
0.05	0.0025	400	45.3	45.22
0.06	0.0036	277.78	34	33.92
0.07	0.0049	204.08	24.2	24.12
0.08	0.0064	156.25	18.7	18.62
0.09	0.0081	123.46	15	14.92
0.1	0.01	100	12.8	12.72
0.15	0.0225	44.44	5.8	5.72
0.2	0.04	25	3.2	3.12
0.3	0.09	11.11	1.4	1.32
0.4	0.16	6.25	0.7	0.62
0.5	0.25	4	0.4	0.32

圖 1 以 10 伏特加熱史蒂芬-波茲曼燈泡之距離與輻射強度關係圖



數據分析：

1. 當燈泡尚未打開(發亮)時，先分別距離燈泡 10cm、20cm、30cm、40cm、50cm、60cm、70cm、80cm、90cm、100cm，以熱感應器測量環境背景輻射強度，記錄其輸出的電壓值於表 5 中，並計算出其平均值，紀錄在表 5 中

2. 將直流電源供應器的輸出電壓端連接至燈泡的電源輸入端
3. 設定直流電源供應器的輸出電壓為 10 伏特，並按下開關開始輸出電壓
4. 燈泡開始發光，此時分別距離燈泡 2.5cm、3cm、4cm、5cm、6cm、7cm、8cm、9cm、10cm、15cm、20 cm、30 cm、40 cm、50 cm，以熱感應器測量燈泡及環境背景輻射所共同造成的輻射強度
5. 將環境背景輻射所造成的輻射強度因素扣除後，將所得到的數據與距離平方的倒豎作圖，如圖 1 所示，可發現其呈線性關係

4. 高溫史蒂芬-波茲曼定律(High-temperature Stefan-Boltzmann Law) — 溫度對熱輻射的影響(溫度與熱輻射之間的關係)

表 7 以 10 伏特加熱史蒂芬-波茲曼燈泡之不同距離下的輻射強度

未發光時之燈泡電阻值 $R_0 \cong 0.6 \text{ (k}\Omega\text{)}$

熱感應器與燈泡的距離 $d \cong 2.5 \text{ (cm)}$

直流電源供應器之輸出電壓 $V'(\text{V})$	直流電源供應器之輸出電流 $I'(\text{A})$	伏特計(多功能電表)所測量出之熱感應器所輸出的電壓值 $V(\text{mV})$	燈泡(燈絲)電阻值 $R = \frac{V}{I}$	$\frac{R}{R_0}$	$T(\text{K})$	$T^4(\text{K}^4)$
1	0.803	0.3	1.25	2.08		
2	1.076	1.4	1.86	3.10	748.61	314061357296
3	1.301	3.8	2.31	3.84	892.92	635704474452
4	1.502	7.5	2.66	4.44	1005.28	1021298703480
5	1.684	12.1	2.97	4.95	1099.73	1462656382892
6	1.853	17.3	3.24	5.40	1184.27	1967022364115
7	2.01	23.4	3.48	5.80	1258.97	2512208605095
8	2.157	29.7	3.71	6.18	1327.53	3105844533615
9	2.298	36.6	3.92	6.53	1390.44	3737729849835
10	2.43	44	4.12	6.86	1449.77	4417699053282

圖 2 以 10 伏特加熱史蒂芬-波茲曼燈泡之輸出電壓與輻射強度的關係圖

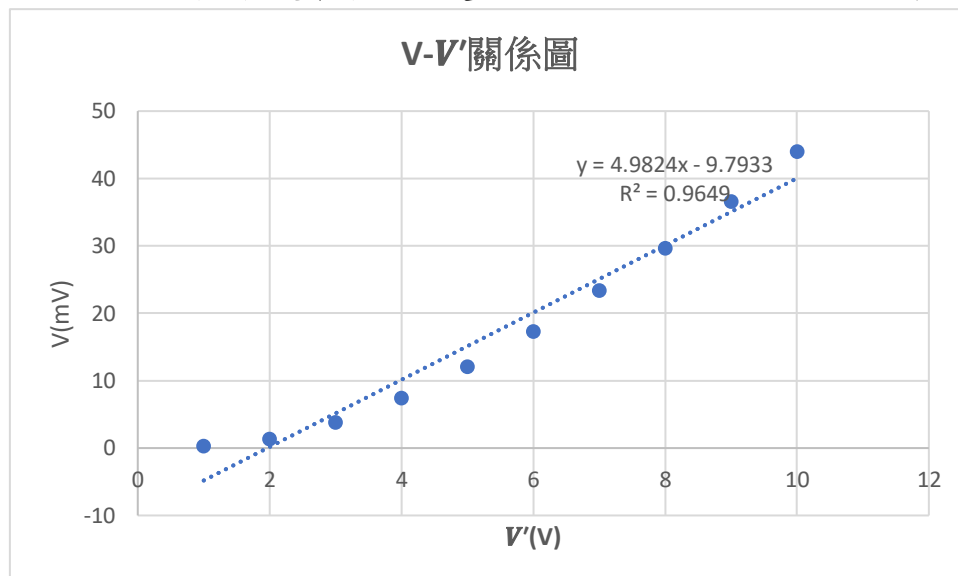
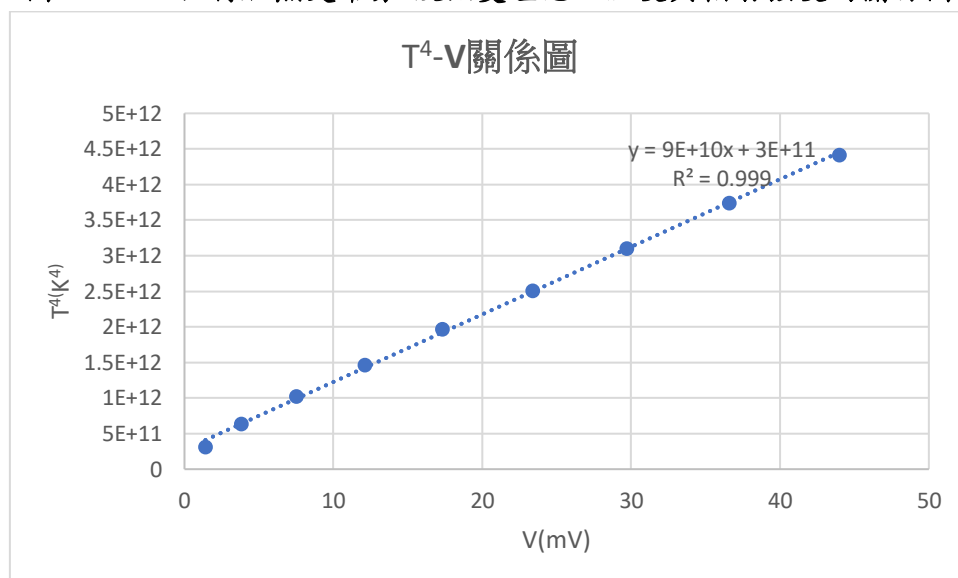


圖 3 以 10 伏特加熱史蒂芬-波茲曼燈泡之溫度與輻射強度的關係圖



數據分析：

1. 以歐姆計(多功能電表)測量燈泡未發亮時的電阻值 R_0
2. 固定熱感應器與燈泡的距離(熱感應器的測量距離)為 2.5cm
3. 將直流電源供應器之輸出電壓分別設定為 1V、2V、3V、4V、5V、6V、7V、8V、9V、10V，記錄下此時直流電源供應器之輸出電流以及熱感應器所輸出的電壓值
4. 畫出直流電源供應器之輸出電壓與熱感應器所輸出的電壓值之間的關係圖，如圖 2 所示
5. 由 $R = \frac{V}{I}$ 可計算出各次實驗之燈泡(燈絲)電阻值
6. 計算 $\frac{R}{R_0}$ 並查表可得燈泡之溫度
7. 如圖 3，畫出燈泡溫度的 4 次方與熱感應器所輸出的電壓值之間的關係圖，可發現

其成一線性關係

(B) 熱引擎及氣體定律(Heat Engine and Gas Law)

1. 熱引擎實驗

表 8 不同狀態下的氣體壓力 P、活塞高度 h 測量值

狀態	a	b	c	d	a'
P(Pa)	101.71	105.54	105.55	101.71	101.72
h(cm)	27.5	20.7	38	44	26

圖 4 不同狀態下的 P、h 關係圖

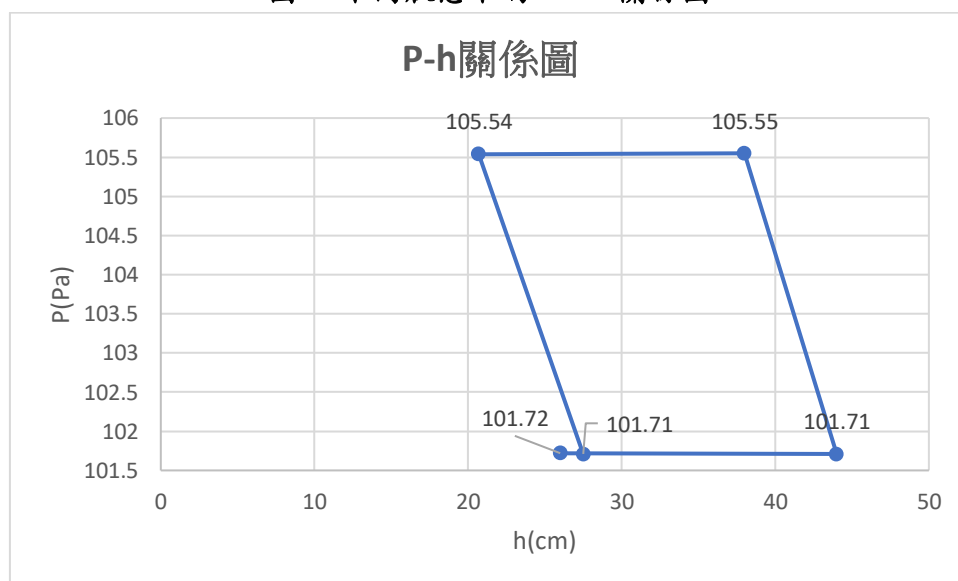


表 9 W 比較

利用 $W=Mg\Delta h$	$0.2(\text{kg})\times 9.8(\text{m/s}^2)\times (27.5-20.7)(\text{m})=13.328$
利用 P-V 圖之面積	三角形面積=底 \times 高 $\div 2=(105.55-101.71)\times (27.5-20.7)(\text{m})\div 2=13.056$
誤差百分比	2.04%

數據分析：

1. 開啟 GLX 電腦，將電腦設定在壓力與體積的關係圖。
2. 依照下列步驟，先將氣瓶放在冷水中，記錄溫度
 - (1) a \rightarrow b:將 200g 砝碼放在活塞平台上，記錄 b 點的溫度。
 - (2) b \rightarrow c:將氣瓶從冷水移到熱水中，記錄 c 點的溫度。
 - (3) c \rightarrow d:將 200g 砝碼移開，記錄 d 點的溫度。
 - (4) d \rightarrow a:將氣瓶從熱水移回冷水中，記錄 a 點的溫度。
3. 將循環圖的四個角落標上 a、b、c、d 並標示溫度，同時亦畫一箭頭表示循環方向。
4. 利用公式 $W=Mg\Delta h$ 計算出因高度改變而產生的機械功，並與 P-V 圖之面積作比

較。

2. 查理定律

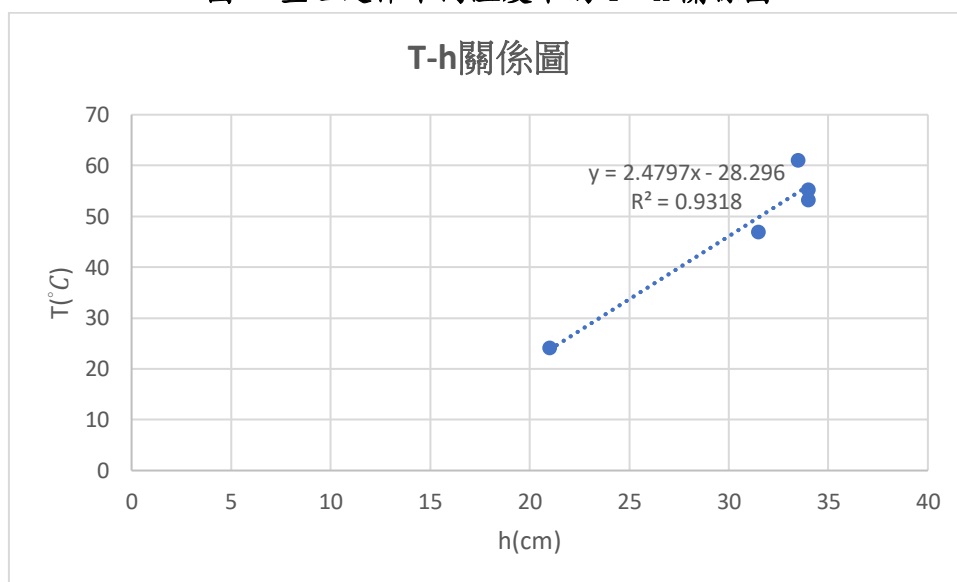
表 10 不同溫度 T 下的活塞高度 h 測量值

測量次數	第一次測量	第二次測量	第三次測量	第四次測量	第五次測量
$T(^{\circ}\text{C})$	61	55.2	53.2	46.9	24.1
$h(\text{cm})$	33.5	34	34	31.5	21

數據分析：

1. 將熱引擎側放避免重力影響熱引擎內的氣體壓力。將活塞固定在 20ml 的位置,並將氣瓶接在熱引擎管路的接口上,另一端連接溫度感應器。
2. 將氣瓶放入熱水中,待氣瓶溫度與熱水溫度相等後記錄此時溫度與熱引擎活塞的位置。
3. 在熱筒裡加入適量冷水,至少調配出 5 個溫度,分別記錄 5 個溫度下的溫度及活塞刻度。
4. 劃出溫度與體積的關係圖。

圖 5 查理定律不同溫度下的 T 、 h 關係圖



3. 波以爾定律

表 11 不同壓力 P 下的活塞高度 h 測量值

測量次數	第一次測量	第二次測量	第三次測量	第四次測量	第五次測量	$\frac{Max_{P \times h} - min_{P \times h}}{Max_{P \times h}}$
$P(\text{Pa})$	101.73	102.52	103.48	104.45	105.42	
$h(\text{cm})$	50	48	47	47	45.5	
$P \times h(\text{Pa} \times \text{cm})$	5086.5	4920.96	4863.56	4909.15	4796.61	0.057

數據分析：

1. 將熱引擎活塞拉到最高的位置,將壓力感應器接上管路的接口,將另一端的管路夾壓緊。

2. 記錄活塞在最高位置時的壓力與體積。
3. 利用砝碼將活塞往下壓,記錄不同壓力下相對應的體積
4. 畫出壓力與體積的關係圖。

(C) 空氣 γ 值的測定

1. 二氧化碳 γ 值的測定：

圖 6 二氧化碳的 $\ln(P)$ 、 $\ln(V)$ 關係圖

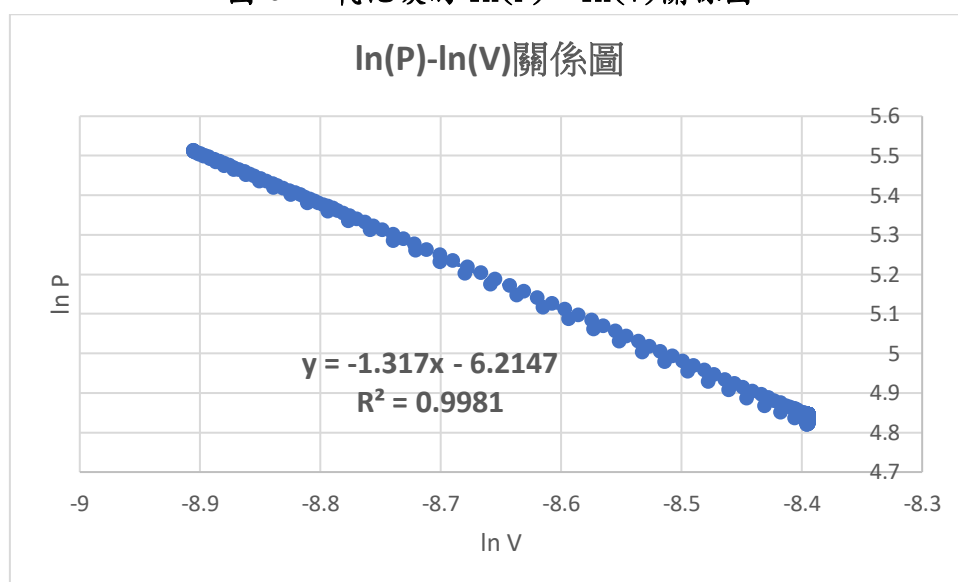


表 12 二氧化碳 γ 值的誤差

γ_{CO_2} 理論值	1.29
由斜率得到的實驗(測量)值 γ_{CO_2}	1.317
誤差百分比	2.09%

2. 空氣 γ 值的測定：

圖 7 空氣的 $\ln(P)$ 、 $\ln(V)$ 關係圖

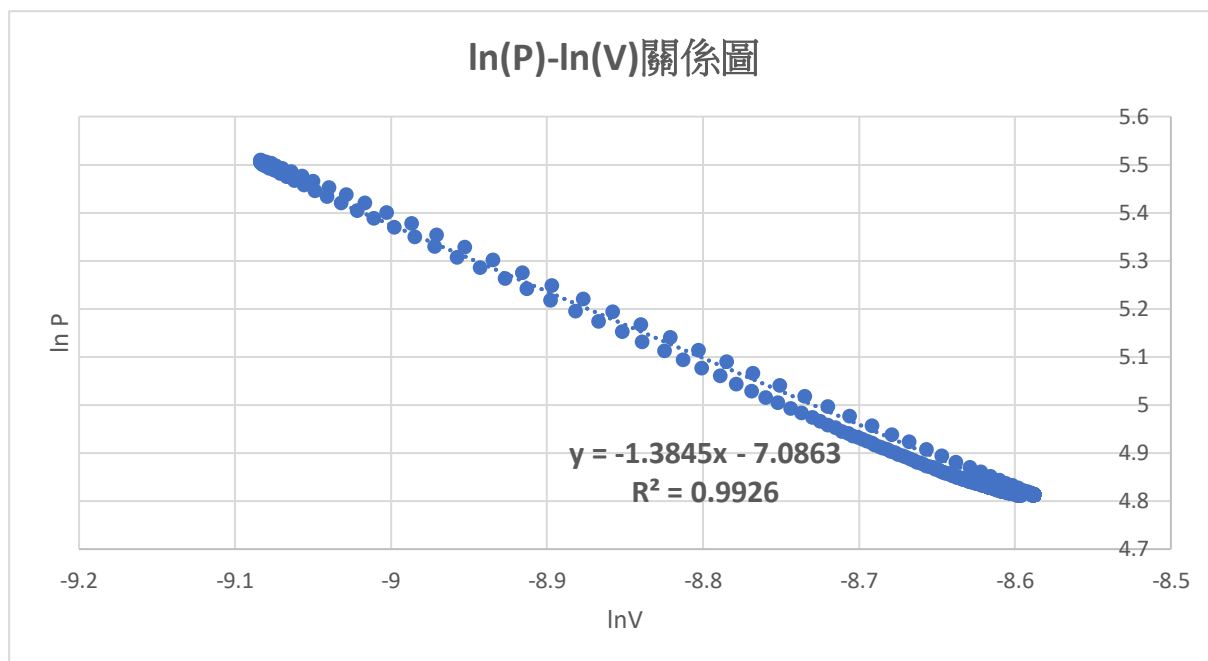


表 13 空氣 γ 值的誤差

γ_{air} 理論值	1.41
由斜率得到的實驗(測量)值 γ_{air}	1.3845
誤差百分比	-1.81%

3. 氬氣 γ 值的測定：(原本打算重新測量，但儀器已損壞(設定跑掉了)，因此在此的數據為重新測量前的)

圖 8 空氣的 $\ln(P)$ 、 $\ln(V)$ 關係圖

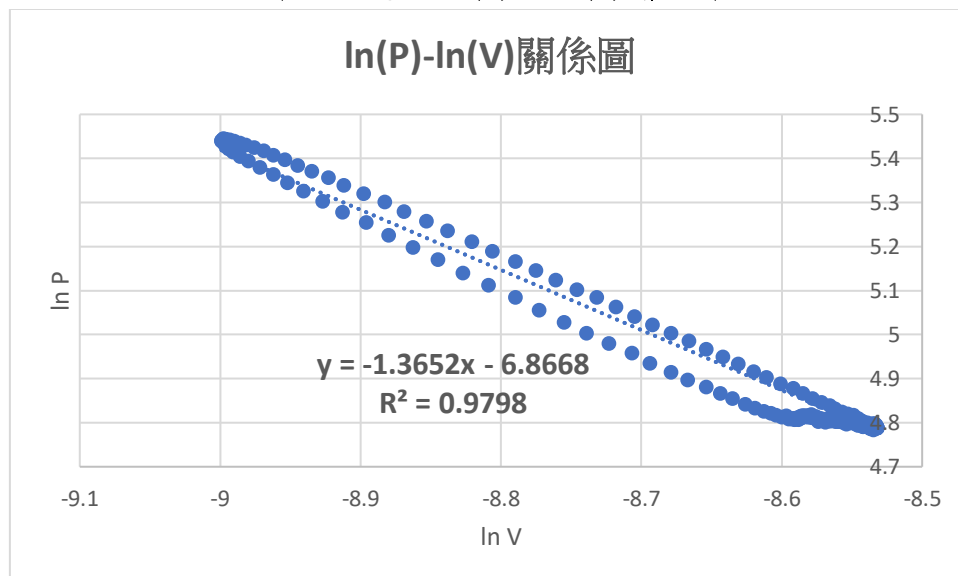


表 14 氦氣 γ 值的誤差

γ_{He} 理論值	1.66
由斜率得到的實驗(測量)值 γ_{He}	1.3652
誤差百分比	-17.76%

七、問題與討論

Q1：此實驗中可能引起誤差的因素有哪些？

A1：1. 儀器測量精確度：熱輻射感應器及空氣(二氧化碳、氦氣) γ 值測定的儀器精確程度導致誤差的產生
2. 觀測記錄者觀測之精確度(人為判斷誤差)：在讀取量筒上的刻度時，並不精確，且有估計值，造成與實際值的誤差

Q2：將熱輻射體四面的輻射能量高低排序，是否跟溫度有關？

A2：黑=白>粗糙>光滑，輻射能量與溫度正相關

Q3：根據實驗結果，哪些材質能隔絕熱輻射、哪些材質不能隔絕熱輻射？

A3：擋板可以有效阻隔熱輻射，玻璃亦可以，但在輻射量太大時效率會降低。

Q4：平方反比定律實驗中，輻射強度與距離的關係圖，何者為線性？在所量測的範圍中是否都呈線性關係？

A4：強度與距離個別取對數的關係為線性，亦都呈線性在量測範圍中。

Q5：Stefan-Boltzmann 燈泡是否為一真正的點光源？如果不是，會對實驗有何影響？在所測得的實驗數據中是否看得到此現象？

A5：否，在距離遠時，比較可以當作一點光源，但在近距離時可能因為加熱面積的不同，造成實驗數據不準。

Q6：在史蒂芬一波茲曼定律中，輻射強度與絕對溫度的關係為何？是否在實驗量測範圍內皆維持此種關係？

A6：溫度跟強度的四次方成正比，在實驗量測範圍內皆維持此種關係。

Q7：史蒂芬一波茲曼定律在真正黑體情況下才成立，實驗的燈泡是否為真正黑體？

A7：否，黑體是只能完全吸收輻射熱之物體，燈泡不是。

Q8：實驗過程中，除了燈泡的熱輻射外，還有哪些會影響實驗結果？

A8：環境溫度也會影響到實驗的結果。此外組員站在燈泡旁邊也會有所影響。

Q9：要如何改善實驗 B 讓結果更精準？

A9：在活塞那裏上少許潤滑油，或最基本地將砝碼的數量放少一點，使資料點間距可以稍微放大。

Q10：生活中有什麼應用與實驗 B 的熱引擎類似？

A10：蒸汽引擎，利用加熱膨脹的氣體來驅動引擎，其他比如壓力鍋，電鍋也是。

Q11：如果壓縮氣體的時候比較緩慢，則對實驗結果有何影響？

A11：壓縮太慢的話，一來氣體可能會洩出，二來電腦上的圖形可能會因此變成曲線(不夠陡峭而導致不能視之為直線)。

Q12：不同結構的氣體其 γ 有何不同？

A₁₂ :

單原子氣體	1.67
雙原子氣體	1.4
三原子氣體	1.33
空氣	1.4

八、心得及建議

這次的實驗好難啊，然後真是抱歉，因為這幾周在忙月考，所以沒什麼時間拿來打結報，這是這學期最後一次實驗了，雖然有點晚才做完，但卻是個 Happy Ending！(啊不對！還要考物理實驗期末考，喔不~~~)

九、參考資料

1. 國立清華大學普通物理實驗室網站—熱力學實驗 (Thermodynamics) • 網址：

<http://www.phys.nthu.edu.tw/~gplab/exp010.html>

5. 熱力學實驗：A. 熱輻射 和 B. 熱引擎與氣體定律講義 • 網址：

<http://www.phys.nthu.edu.tw/~gplab/file/10%20Thermodynamics/Thermodynamics.pdf>

6. 實驗 C: 空氣 γ 值的測定講義 • 網址：

<http://www.phys.nthu.edu.tw/~gplab/file/10%20Thermodynamics/Heat%20capacity%20ratio.pdf>