

熱力學 預報

一、實驗目的

A. 熱輻射

1. 觀察物體表面材質、顏色、粗糙度和熱源溫度對熱輻射的影響。
2. 探討熱力學中著名的史蒂芬-波茲曼輻射定律。
3. 探討點熱源的平方反比輻射定律。

B. 熱引擎及氣體定律

1. 從熱力循環的過程中了解熱力過程及熱機的原理。
2. 探討波以耳定律、查理-給呂薩克定律。

C. 空氣 γ 值的測定

1. 探討氣體在絕熱過程情況下，氣體壓力 P 與體積 V 的關係為 $pV^\gamma = \text{常數}$ ，
其中 $\gamma \equiv \frac{C_p}{C_v}$ ， 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

A. 熱輻射

1. 史蒂芬-波茲曼輻射定律，即高溫時的輻射定律：
輻射強度 R_{rad} (單位面積功率) $\propto T^2(^{\circ}\text{K})$ 。
2. 物體表面材質愈粗糙，輻射率愈大；顏色愈深，越容易吸放熱輻射。

B. 熱引擎及氣體定律

1. 波以耳定律：定量定溫下，氣體壓力與氣體體積成反比。
2. 查理-給呂薩克定律：定量定壓下，氣體體積與絕對溫度成正比。
3. 理想氣體方程式： $PV = nRT$ 。
4. 熱機：利用燃燒的化學能轉換成內能做功。

C. 空氣 γ 值的測定

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，此稱為波以耳定律。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(例如：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 $p dV$ 之間有下式的關係：

$$dQ = dU + p dV \quad (1)$$

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：

$$dU = -p dV \quad (4)$$

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：

$$p dV + V dp = R dT \quad (6)$$

由(5)、(6)式消去 dT ，可以得到：

$$dU = \frac{C_v}{R} (p dV + V dp) \quad (7)$$

比較(4)與(7)式可得到：

$$\frac{C_v}{R} V dp = -\frac{C_v + R}{R} p dV \quad (8)$$

再加以整理：

$$V dp = -\frac{C_v + R}{C_v} p dV \quad (9)$$

因此

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

兩邊等式積分後，可將等式寫為

$$\ln p + C_1 = -\gamma \ln V + C_2 \quad (11)$$

或

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

三、 實驗器材

A. 熱輻射

熱輻射體、熱感應器、玻璃、史蒂芬-波茲曼燈泡、低壓直流電源供應器、毫伏特計、歐姆計、電流計、長尺、隔熱板、隔熱手套。

B. 熱引擎及氣體定律

熱引擎、支撐座與支撐桿、砝碼掛勾、砝碼、冷熱筒、尼龍線、抹布、轉動感應器、溫度感應器、壓力感應器、GLX 圖形精靈、集水桶、熱水瓶。

C. 空氣 γ 值的測定

氣體絕熱測量儀、LabQuest mini(數據處理盒)、三芯電纜訊號線。

四、 實驗步驟

A. 熱輻射

(一)不同材質表面的熱輻射效應實驗

1. 將熱功率分別調至 5、7 與 10，以熱感應器分別量測四面的熱輻射。

(二)點熱源之輻射平方反比定律

1. 以電源供應器連接史蒂芬波茲曼燈泡。
2. 在固定電壓的情況下，改變 5 組熱感應器與史蒂芬波茲曼燈泡之間的距離。
3. 測量在不同距離下的熱輻射，並畫出熱輻射和距離的 log-log 圖。

(三)高溫史蒂芬-波茲曼定律

1. 測量在常溫下史蒂芬波茲曼燈泡的電阻 R_{ref} 。
2. 利用公式 $T = \frac{R - R_{ref}}{\alpha R_{ref}} + T_{ref}$ 計算溫度， T 為燈泡的溫度， R 為燈泡電阻

(直接讀取電源供應器的電壓 V 與電流 I ，並使用歐姆定律 $R = \frac{V}{I}$ 計算)，

$\alpha = 4.5 \times 10^{-3} K^{-1}$ ， T_{ref} 為室溫(絕對溫度，可以直接設為 300K)。

3. 以電源供應器連接史蒂芬波茲曼燈泡。
4. 在史蒂芬波茲曼燈泡與熱感應器固定距離(約 6cm)的情況下，改變 5 組電源供應器輸入電壓，測量在不同溫度下的熱輻射。
5. 畫出熱輻射和溫度的 log-log 圖。

B. 熱引擎及氣體定律

(一)熱引擎實驗

1. 準備一桶熱水與冷水。
2. 將裝置組裝完成。
3. 開啟 GLX，設定在 P-V 圖。
4. 把氣瓶放入冷水，此為 a 點，紀錄下 P_a 、 V_a ，在活塞平台上加 200g 重，紀錄下 P_b 、 V_b ，把氣瓶從冷水移至熱水中，紀錄下 P_c 、 V_c ，在活

塞平台上拿掉 200g 重，記錄下 P_d 、 V_d 。

(二) 查理定律

1. 將熱引擎橫放，一端封閉，一端接上氣瓶，並將氣瓶放入水中。
2. 改變 5 個水的溫度，並畫出體積-溫度圖。

(三) 波以爾定律

1. 將熱引擎兩端封閉，在熱引擎上方放上砝碼。
2. 改變 5 個砝碼質量，畫出壓力-體積圖。

C. 空氣 γ 值的測定

1. 分別壓下三組裝有不同氣體儀器的橫桿，並記錄 $\log P$ - $\log V$ 圖的斜率， P 為壓力， V 為體積。