

# 熱機與氣體定律實驗

Heat Engine / Gas Law Apparatus

# 實驗目的

- 利用 Heat Engine/Gas Law Apparatus 驗證下列各項：
  1. 波以耳定律 (Boyle's Law)
  2. 查理-給呂薩克定律  
(Charles-Gaylussac's Law)
  3. 理想氣體方程式 (Equation of Ideal Gas)
  4. 驗證卡諾循環 (Carnot cycle)

# 實驗原理

## ➤ 波以耳定律 (Boyle's Law)

在密度很低時，有固定莫耳數 $n$ 的氣體，在定溫 $T$ 下，其壓力 $P$ 與體積 $V$ 的乘積為一常數

$$PV = \text{constant}$$



# 實驗原理

## ➤ 查理-給呂薩克定律

(Charles - Gaylussac' s Law)

1. 在密度很小時，有固定莫耳數n的氣體，在定壓P下，其體積V與溫度T成正比

$$\frac{V}{T} = \text{constant}$$

2. 在密度很小時，有固定莫耳數n的氣體，在定容V下，其壓力P和溫度T成正比

$$\frac{P}{T} = \text{constant}$$



Gaylussac

# 實驗原理

➤ 亞佛加厥定律  
(Avogadro's Law)

在定壓與定溫下，氣體  
體積和莫耳數成正比

$$\frac{V}{n} = \text{constant}$$



# 實驗原理

## ➤ 理想氣體狀態方程式

(ideal gas equation of state)

符合波以耳定律、查理-給呂薩克定律、亞佛加厥定律的理想氣體方程式為

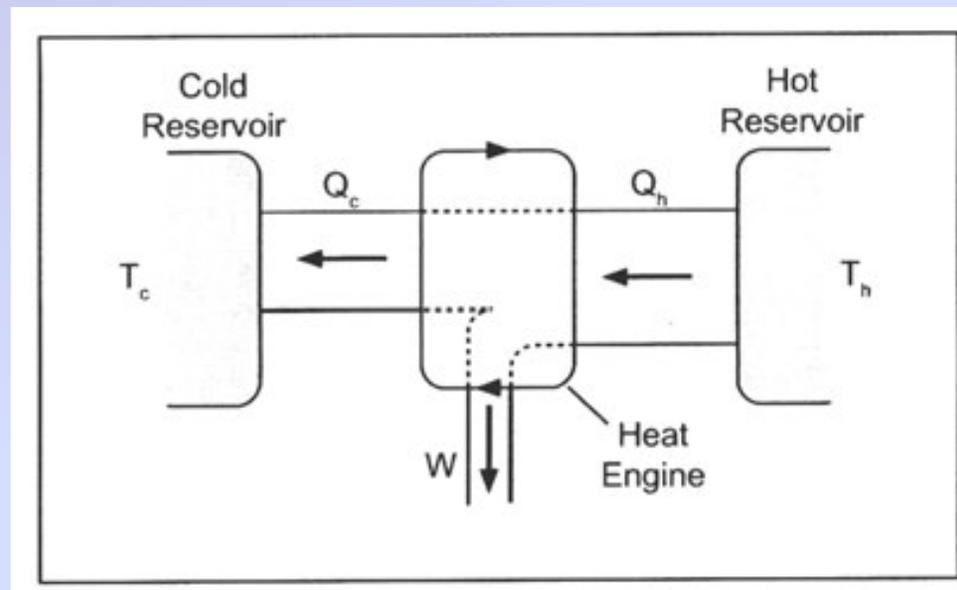
$$\frac{PV}{nT} = \text{constant} = R = 8.315\text{J/mole}\cdot\text{K}$$

## ➤ 實際上沒有理想氣體(不占空間且彼此之間無交互作用力的氣體)存在，故修正氣體方程式

$$\left(P + \frac{n^2 a}{V^2}\right)(V - nb) = nRT \quad a, b \text{ 是不同氣體的修正項}$$

# 熱機(Heat Engine)

- 利用熱庫(Hot Reservoir)與冷庫(Cold Reservoir)溫度差做功的裝置，統稱為熱機(Heat Engine)



- 1824年卡諾(Carnot)證明：對於任一個熱機來說，其最大效率僅取決於熱庫溫度 $T_H$ 與冷庫溫度 $T_C$

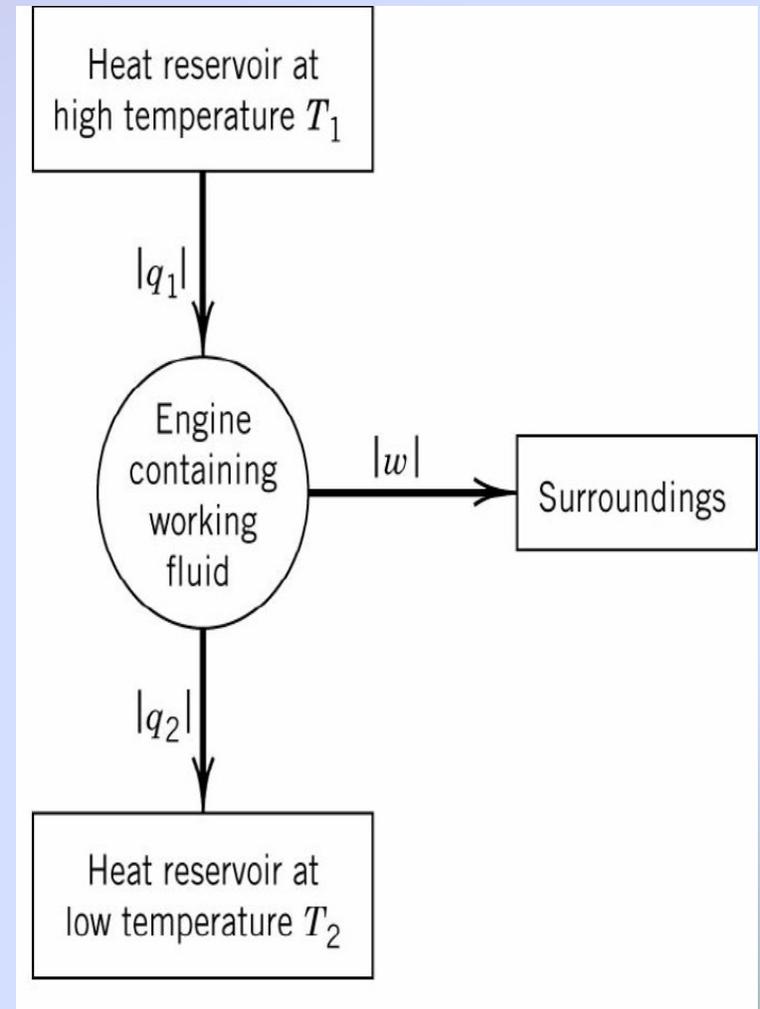
$$\eta_{Carnot} = \frac{T_H - T_C}{T_H}$$

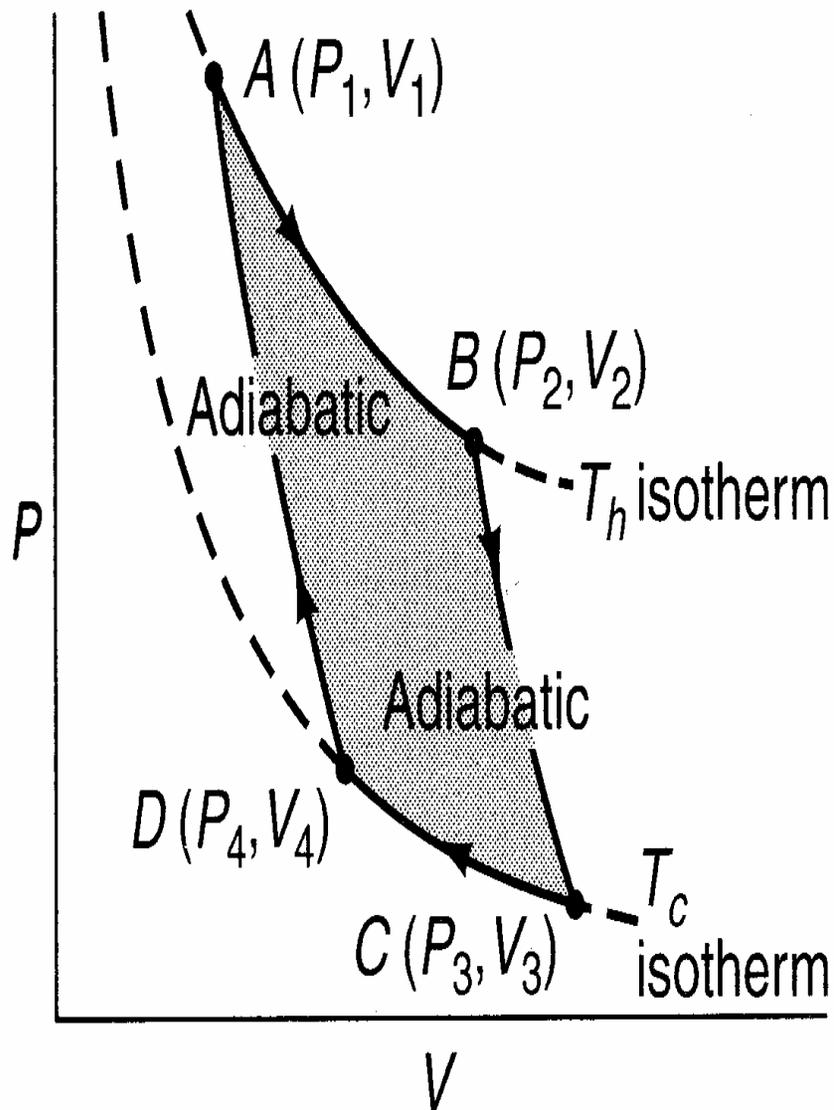
$\eta_{Carnot}$ 稱Carnot efficiency， $T_H$ 與 $T_C$ 為絕對溫度

- Carnot efficiency 為一熱機在沒有能量散失的情形下的最佳效率。由於Carnot efficiency 為一熱機的最大效率，故可以得知若存在一個效率為100%的熱機，則其冷庫溫度必須為絕對零度，即 $T_C = 0 \text{ K}$

# 卡諾循環 (Carnot Cycle)

- 分析理想熱機的理论效率，決定熱功轉換的極限
- 結構最簡單的熱機至少有一個高溫熱源和一個低溫熱源，故熱機必是由兩個等溫過程和兩個絕熱過程所組成的一個循環，即所謂“卡諾熱機”，這種熱機的循環可以順序進行，也可以逆序進行





1. 等溫膨脹( $A \rightarrow B$ ):  
過程中系統從環境中吸收熱量
2. 絕熱膨脹( $B \rightarrow C$ ):  
過程中系統對環境中作功
3. 等溫壓縮( $C \rightarrow D$ ):  
程中系統向環境中放出熱量
4. 絕熱壓縮( $D \rightarrow A$ ):  
過程中系統對環境作負功，系統恢復原來狀態

# 實驗儀器

- PASCO Heat Engine/Gas Law Apparatus 一組
- 電腦一組



工作平台



熱機



Pressure sensor



Temperature sensor



氣筒

# 實驗步驟

## (一) 固定溫度，改變壓力並測量體積變化

1. 直放熱機
2. 維持氣筒為室溫
3. 在秤盤上放置砝碼以改變熱機壓力  
(可用Pressure sensor 測量)
4. 記錄空氣體積變化
5. 繪製  $P - V$  圖
6. 驗證波以耳定律

# 實驗步驟

(一) 固定溫度，改變壓力並測量體積變化



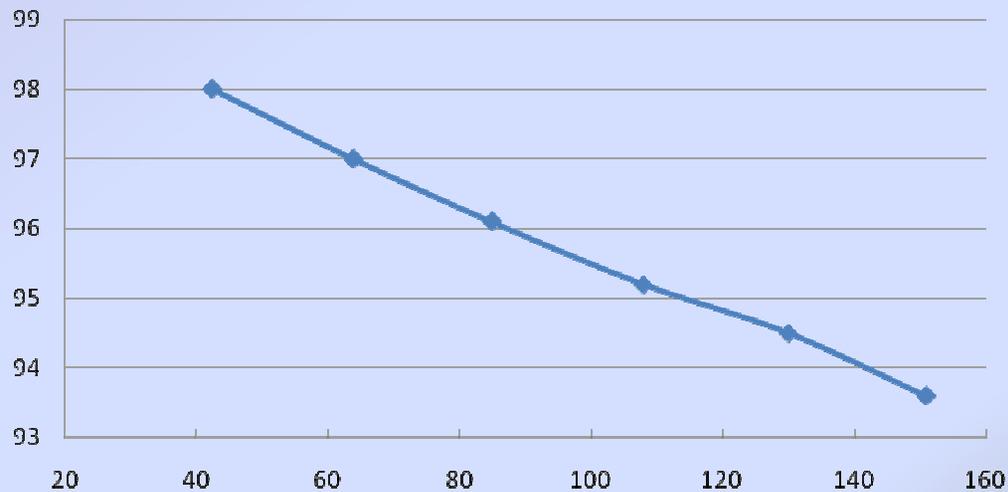
# 實驗數據

(一) 固定溫度，改變壓力並測量體積變化

$$T = \text{constant} = 25.3^{\circ}\text{C}$$

P (kpa)	42.5	64	85	108	130	151
V (cm <sup>3</sup> )	98	97	96.1	95.2	94.5	93.6

P-V圖



# 實驗步驟

## (二) 固定壓力，改變溫度並測量體積變化

1. 橫放熱機
2. 打開管子以便固定壓力為 1 atm
3. 把空氣筒放入裝熱水的燒杯
4. 平衡後接上管子，並記錄溫度平衡時熱機的體積及溫度(可用 Temperature sensor 測量)
5. 逐次加入冰塊降溫，記錄空氣的溫度與體積
6. 繪製  $V - T$  圖
7. 驗證定壓查理—給呂薩克定律

# 實驗步驟

(二) 固定壓力，改變溫度並測量體積變化



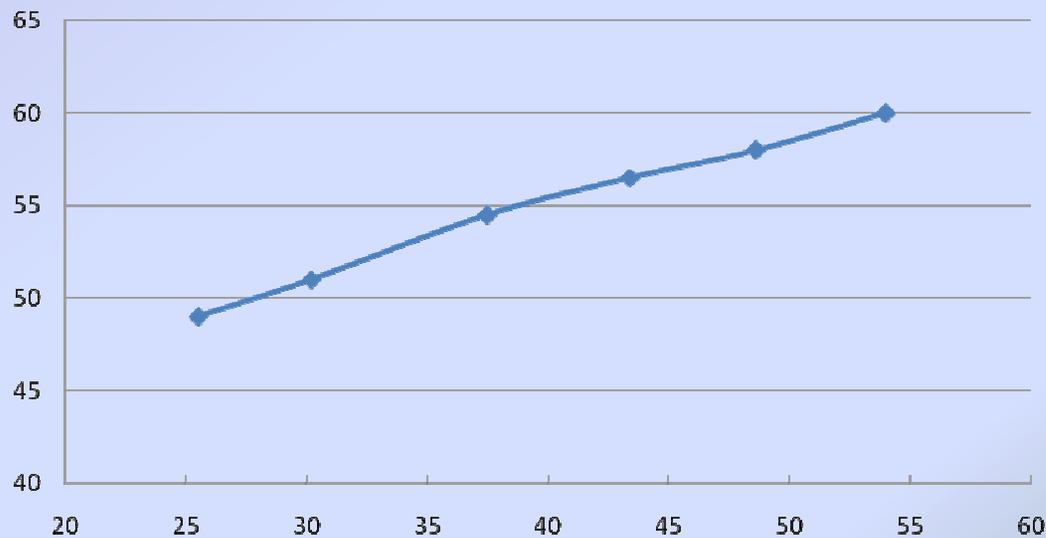
# 實驗數據

(二) 固定壓力，改變溫度並測量體積變化

$$P = \text{constant} = 1 \text{ atm}$$

T(°C)	54	48.6	43.4	37.5	30.2	25.5
V (cm <sup>3</sup> )	60	58	56.5	54.5	51	49

T-V圖



# 實驗步驟

## (三) 固定體積，改變溫度並測量壓力變化

1. 橫放熱機
2. 將氣筒放到裝有熱水的燒杯中，熱平衡時，接上管子並鎖上螺絲，以便固定氣體體積
3. 慢慢加冰塊於燒杯中，使水溫下降
4. 待平衡時，記錄溫度及壓力  
(可用 Temperature sensor 及 pressure sensor 測量)
5. 繪製  $P - T$  圖
6. 驗證定容查理—給呂薩克定律



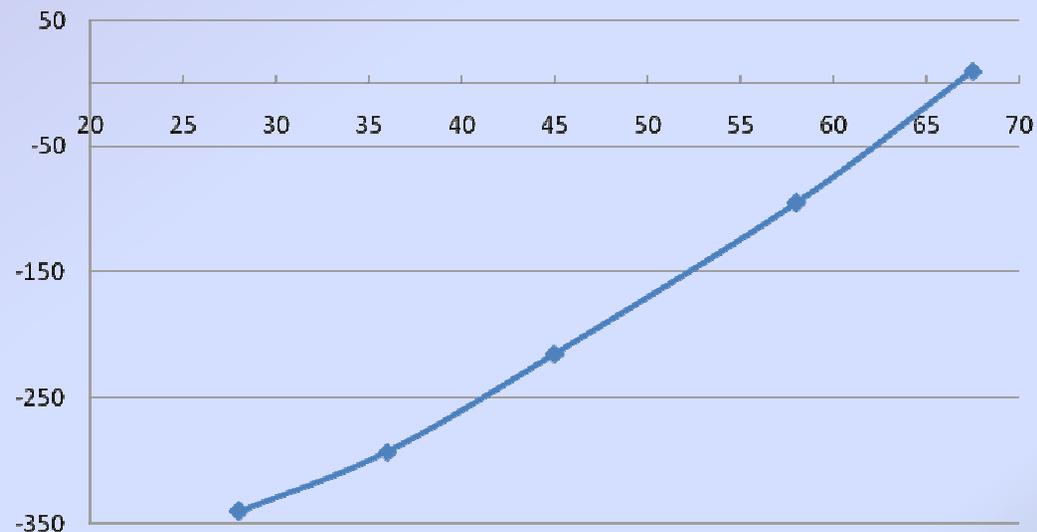
# 實驗數據

(三) 固定體積，改變溫度並測量壓力變化

$$V = \text{constant} = 50 \text{ cm}^3$$

T(°C)	67.5	58	45	36	28
P(kPa)	10	-95	-215	-293	-340

T-P圖



# 實驗步驟

## (四)舉重熱機

1. 直放熱機
2. 將氣筒放到裝有熱水的燒杯中，打開熱機管子
3. 把熱機拉開到一定高度時接上管子，記錄當時溫度、壓力與體積
4. 加砝碼於秤盤上，記錄當時溫度、壓力與體積
5. 加熱使得熱機體積到達初始高度，記錄當時的溫度、壓力與體積
6. 移走砝碼，記錄當時溫度、壓力與體積
7. 降溫至初始溫度，記錄當時壓力與體積
8. 比較最後情況與初使情況的壓力與體積是否相符
9. 繪製  $P - V$  圖，並驗證是否符合卡諾循環

# 實驗步驟

## (四) 舉重熱機



# 實驗數據

## (四)舉重熱機

	熱機拉開時	加砝碼時	加熱使熱機達原高度時	移走砝碼時	降回原溫時	error
T(°C)	32.6	32.7	36.3	36.4	32.5	0.3%
P(kPa)	42	87	88.5	44.5	42.6	1.4%
V(cm <sup>3</sup> )	49	48	49	49.9	47.5	3.1%

# 實驗數據

## (四)舉重熱機之卡諾循環圖

V-P圖

