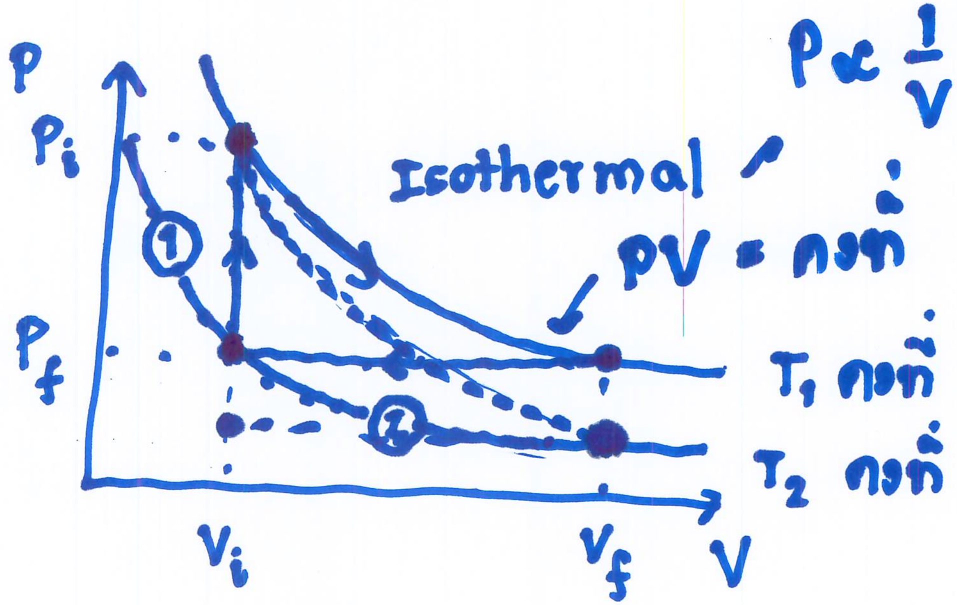
พิจารณา process



จากการพิจารณา process ที่ ①

$$W = 0$$

$$\Rightarrow \Delta E_{int} = Q$$

ความจุความร้อนที่ปริมาตรคงที่

$$Q = nC_v\Delta T$$

จำนวน molecule ใน mol

$$\Rightarrow \Delta E_{int} = nC_v\Delta T$$

$$\Rightarrow C_v = \frac{1}{n}\frac{\Delta E_{int}}{\Delta T} \rightarrow \frac{1}{n}\frac{dE_{int}}{dT}$$ โดยที่ $E_{int} = \frac{3}{2}nRT$

$$\Rightarrow C_v = \frac{1}{n}\frac{3}{2}nR = \frac{3}{2}R.$$

พิจารณา process ที่ ② Isobaric process

ทั้ง Q และ W

ความจุความร้อนที่ P คงที่

$$\Delta E_{int} = Q + W = nC_p\Delta T + (-P\Delta V)$$

$$nC_v\Delta T = nC_p\Delta T - P\Delta V \quad \cdots\cdots (1)$$

จะพิจารณา equation of state ของ ideal gas

$$\Delta(PV) = \Delta(nRT)$$

$$P\Delta V + V\Delta P = nR\Delta T \quad \cdots\cdots (2)$$

แต่เรารู้ว่า ใน process ที่ ② P คงที่ ⇒ $\Delta P = 0$

$$\Rightarrow P\Delta V = nR\Delta T$$

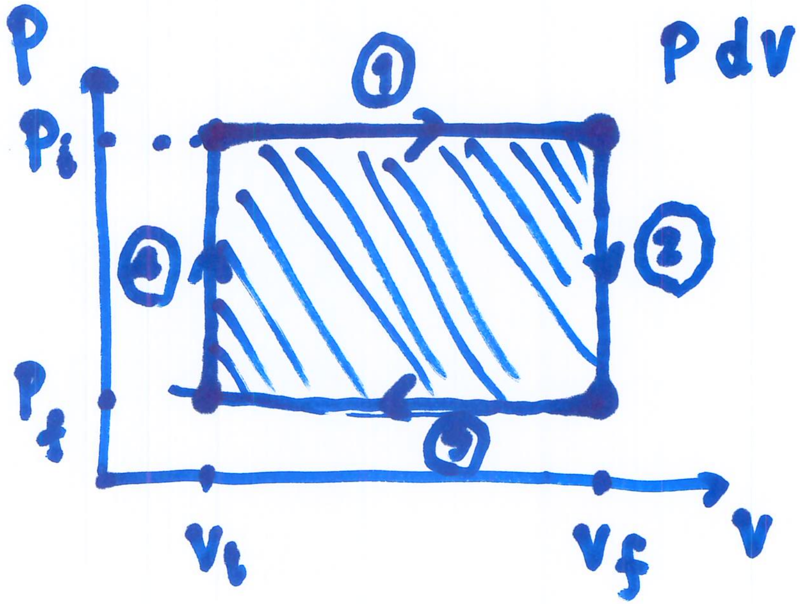
จากสมการที่ (1)

$$\cancel{n}C_v\cancel{\Delta T} = \cancel{n}C_p\cancel{\Delta T} - \cancel{n}R\cancel{\Delta T}$$

$$\Rightarrow C_v = C_p - R$$

$$\frac{3}{2}R = C_p - R$$

$$\Rightarrow \boxed{C_p = \frac{5}{2}R}$$



Pdv

* ΔE_{int} ของทั้ง loop $= 0$.

จงหา W และ หา Q ?

Quiz

หางานอย่างเดียว

1 หางาน W_1 , หา W_2 W_3 และ W_4

หม. จงหางานรวมของทั้ง loop , $W_{\text{รวม}}$

2 จงหา $Q_{\text{รวม}}$ ของทั้ง loop โดยใช้กฎข้อที่ 1

$$\cancel{\Delta E_{int}}^{\,0} = Q_{\text{รวม}} + W_{\text{รวม}} \Rightarrow Q_{\text{รวม}} = -W_{\text{รวม}}$$

$$|W_{\text{รวม}}| = (P_i - P_f)(V_f - V_i) = |Q_{\text{รวม}}|$$

Adiabatic expansion

$Q = 0$ ไม่มีการและเปลี่ยนความร้อน.

$$\Delta E_{int} = W$$

ΔE_{int} ของ process ที่ 1

$$\Rightarrow \quad \Delta E_{int} = nC_V \Delta T$$

$$W = \cancel{-PdV} \; -P\Delta V$$

$$\Rightarrow \quad nC_V \Delta T = -P\Delta V$$

$$\Rightarrow \quad nC_V \Delta T + P\Delta V = 0 \quad \ldots \quad (1)$$

พิจารณา equation of state

$$\Delta(PV) = \Delta(nRT)$$

$$P\Delta V + V\Delta P = nR\Delta T \quad \ldots \quad (2)$$

จากสมการที่ 2.

$$\Delta T = \frac{1}{nR}(P\Delta V + V\Delta P)$$

แทน ΔT ในสมการที่ 1.

$$\cancel{n}C_v \cdot \frac{1}{\cancel{n}R}(P\Delta V + V\Delta P) + P\Delta V = 0$$

$$\frac{C_v}{R}P\Delta V + P\Delta V + \frac{C_v}{R}V\Delta P = 0$$

$\times R$

$$(C_v + R)\,P\Delta V + C_v V\Delta P = 0$$

$\div C_v PV$

$$\frac{C_v + R}{C_v}\frac{\Delta V}{V} + \frac{\Delta P}{P} = 0 \qquad C_v + R = C_p$$

$$\Rightarrow \quad \frac{C_p}{C_v}\frac{dV}{V} + \frac{dP}{P} = 0$$

$$\gamma = \frac{C_p}{C_v}$$

$$\gamma \frac{dV}{V} + \frac{dP}{P} = 0$$

$$\int_{V_i}^{V_f} \gamma \frac{dV}{V} = \int_{P_i}^{P_f} -\frac{dP}{P}$$

โดยทั่วไป จะใช้ indefinite integral

$$\gamma \int \frac{dV}{V} = -\int \frac{dP}{P}$$

$$\gamma \ln V = -\ln P + C$$

ยกกำลัง e ทั้ง 2 ข้าง

$$e^{\gamma \ln V} = e^{-\ln P + C}$$

$$V^{\gamma} = C' P^{-1}$$

$$\Rightarrow \quad \boxed{PV^{\gamma} = C' = \text{ค่าคงที่}}$$

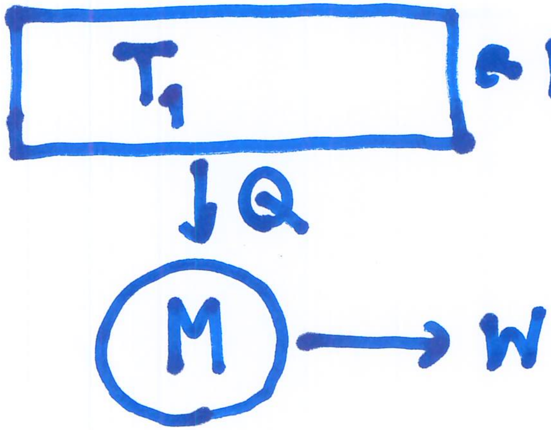
เรารู้ว่า $\gamma = \frac{C_p}{C_v} > 1$

ประโยชน์ของกฎข้อที่ 2 $\Delta S = \frac{\Delta Q}{T}$ และ $\Delta S \geq 0$ เสมอ

↳ ใช้กำหนดและอธิบายประสิทธิภาพของเครื่องจักร

Heat engines : เครื่องจักรที่เปลี่ยน<u>ความร้อน</u>ให้เป็น<u>งาน</u>

Ideal Heat engines



← heat reservier

ถ้า M ไม่มีการเปลี่ยนแปลง E_{int}

$\Rightarrow \Delta E_{int} = 0$

$\Rightarrow \cancel{\Delta E_{int}}^{\,0} = Q + W$

$\Rightarrow Q = -W$ ✗ ทำไม่ได้

เพราะกฎข้อที่ 2.

<u>ทำไมไม่ได้</u>

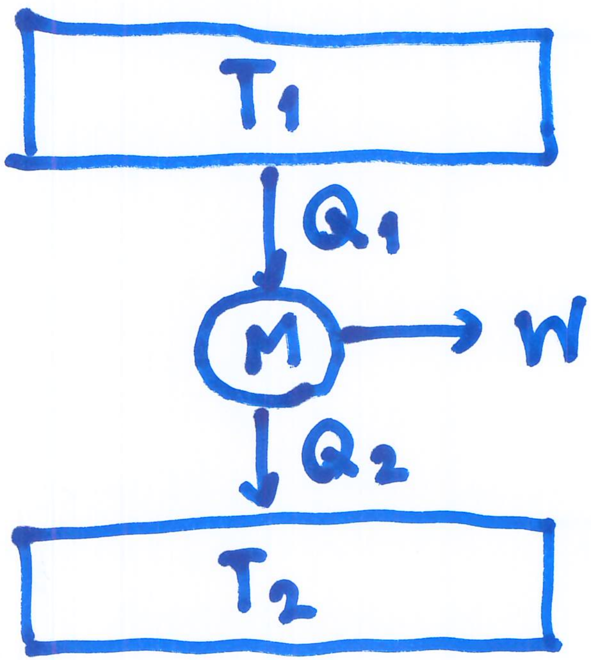
ถ้าพิจารณา ΔS ของ heat reservior

$$\Delta S = \frac{-Q}{T} < 0$$

ขัดกับกฎข้อที่ 2
$\Rightarrow$ เป็นไม่ได้.

Ideal heat engines ไม่มี

แก้ปัญหาโดยการเพิ่ม heat reservior อีก 1 อัน.



$T_2 < T_1$

$$\Delta S_1 = \frac{-Q_1}{T_1}$$

$$\Delta S_{รวม} = \Delta S_1 + \Delta S_2 \geq 0$$

เป็นไปได้.

$$\Delta S_2 = \frac{Q_2}{T_2}$$

<u>หาประสิทธิภาพของ</u> heat engines. (Real heat engines)

$$\eta \ (\text{eta}) = \frac{W}{Q_1} < 1$$

จาก diagram

$$\Rightarrow \quad Q_1 = W + Q_2 \Rightarrow Q_2 = Q_1 - W$$

$$\Delta S_{\text{รวม}} = -\frac{Q_1}{T_1} + \frac{Q_2}{T_2} \geq 0$$

$$\Rightarrow \quad -\frac{Q_1}{T_1} + \frac{Q_1 - W}{T_2} \geq 0$$

$\div Q_1$

$$\Rightarrow \quad -\frac{1}{T_1} + \frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_2}\left(\frac{W}{Q_1}\right) \geq 0$$

$$\frac{1}{T_2}\left(\frac{W}{Q_1}\right) \leqslant \frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} < 1$$

$$\frac{W}{Q_1} \leqslant 1 - \frac{T_2}{T_1} \quad ; \quad T_2 < T_1$$

$$\Rightarrow \quad \eta = \frac{W}{Q_1} < 1.$$

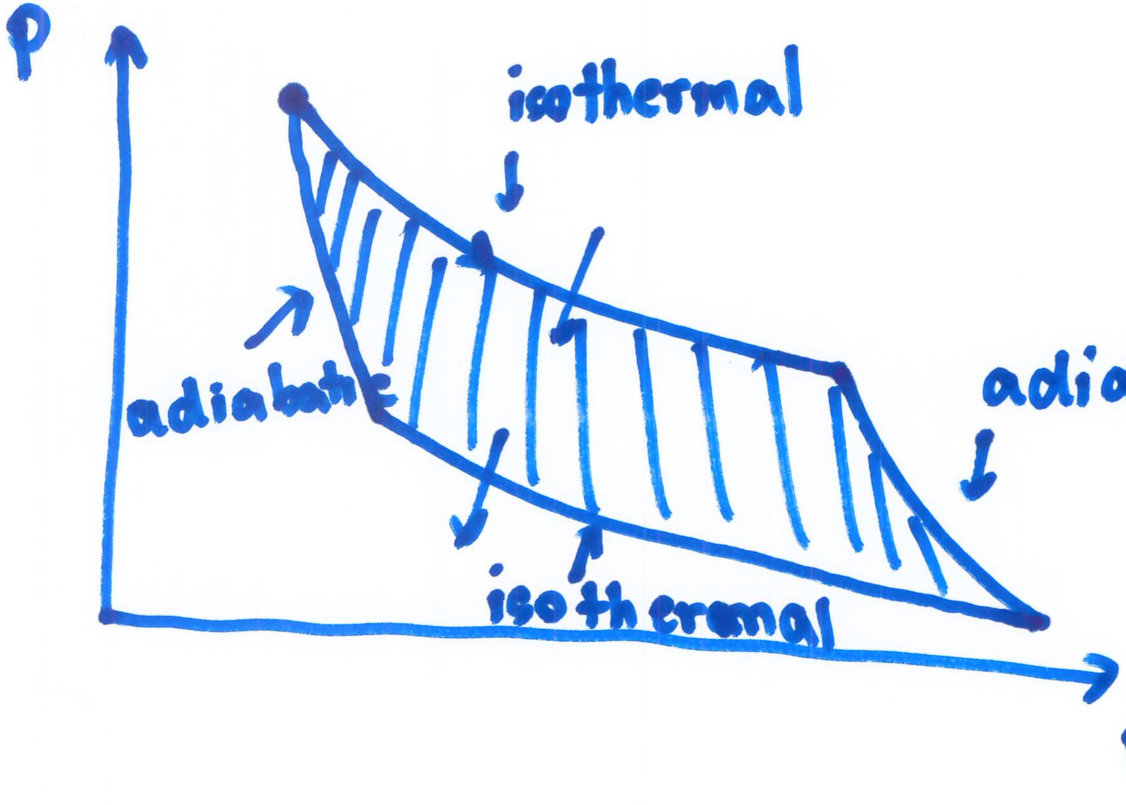
$$\Rightarrow \quad \boxed{\eta = \frac{W}{Q_1} = 1 - \frac{T_2}{T_1} = \frac{T_1 - T_2}{T_1}}$$

หา heat engine ที่มีประสิทธิภาพมากที่สุด

<u>Carnot engine</u>. (กลจักรคาร์โนท์).

<u>หลักการ</u> : 1. ถ้า T เปลี่ยน $\Delta Q = 0$ (adiabatic)

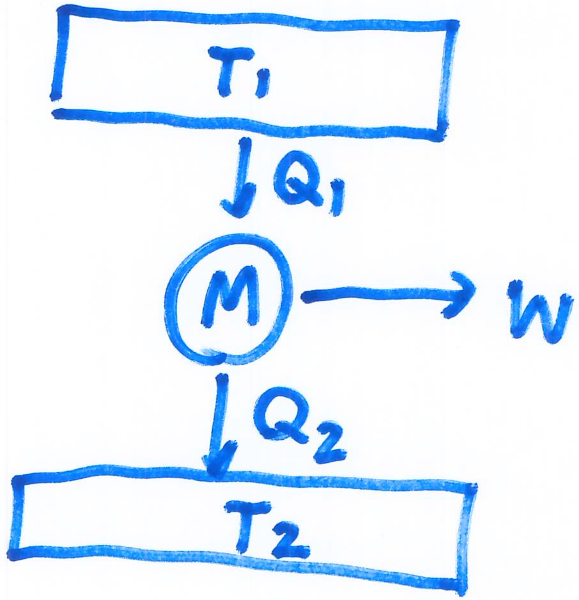
2. ถ้า $\Delta Q \neq 0$ T ต้องไม่เปลี่ยน (isothermal)



ถ้าอยากรู้ η

$$\eta = \frac{W}{Q_1}$$

Heat engine



จากกฎข้อที่ 2 $\Delta S \geq 0$

ประสิทธิภาพของ heat engine

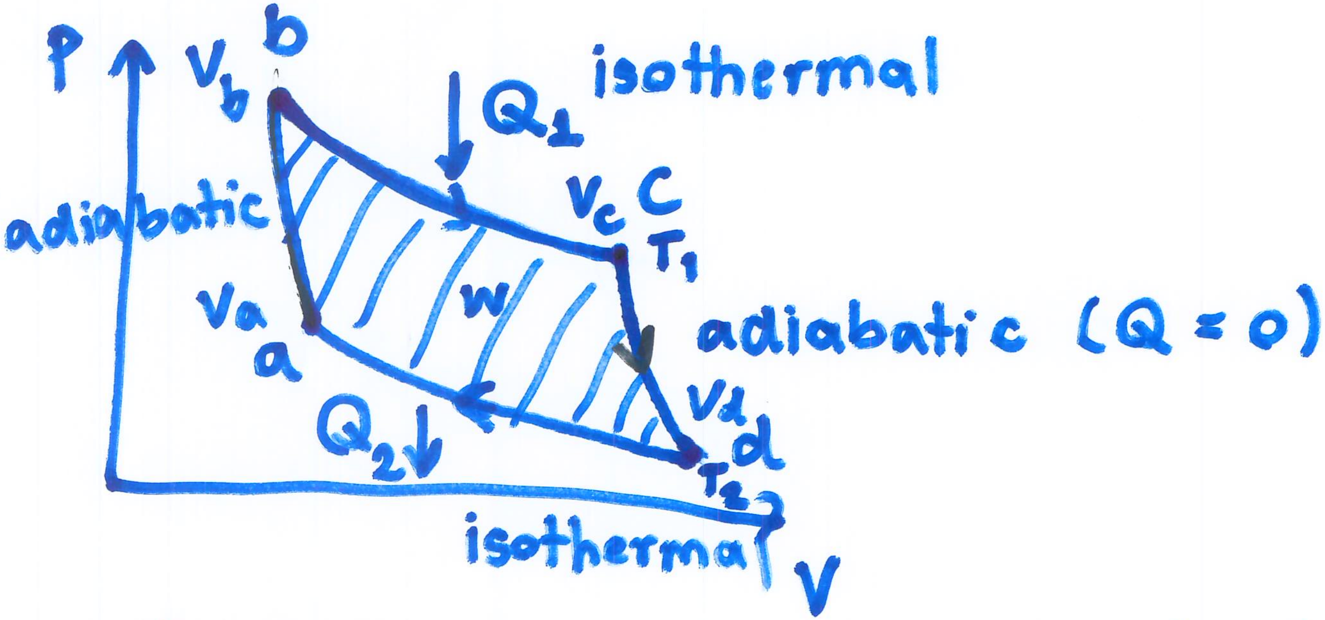
$$\eta = \frac{W}{Q_1} < 1$$

ค่า η ที่มากที่สุดที่เป็นไปได้

$$\eta = 1 - \frac{T_2}{T_1}$$

Carnot engine

1. ถ้า T เปลี่ยน $dQ = 0$ (adiabatic)
2. ถ้า $Q \neq 0$ T คงที่ (Isothermal)



$$Q_1 = W + Q_2$$ จากการอนุรักษ์พลังงาน

$$\eta = \frac{W}{Q_1} = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{Q_2}{Q_1}$$

จาก isothermal process

$$W = nRT \ln\left(\frac{V_i}{V_f}\right)$$

$$Q_1 : \quad W_1 = nRT_1 \ln\left(\frac{V_b}{V_c}\right)$$

Q_2 : $W_2 = nRT_2 \ln\left(\frac{V_d}{V_a}\right)$

$\Delta E_{int} = 0$ เพราะ T คงที่และระบบเป็น ideal gas

$\Rightarrow \quad Q = -W$

$|Q_1| = |-W_1| = nRT_1 \ln\left(\frac{V_c}{V_b}\right)$

$|Q_2| = |-W_2| = nRT_2 \ln\left(\frac{V_d}{V_a}\right)$

$\Rightarrow \quad \eta = 1 - \frac{|Q_2|}{|Q_1|} = 1 - \frac{\cancel{n}\cancel{R}T_2 \ln\left(V_d/V_a\right)}{\cancel{n}\cancel{R}T_1 \ln\left(V_c/V_b\right)}$ --- (3)

พิจารณา adiabatic process

PV^{γ} = ค่าคงที่

equation of state $PV = nRT$.

$$\underline{PV}\,(V^{\gamma-1}) = \text{ค่าคงที่}$$

$$\underline{nRT}\,(V^{\gamma-1}) = \underline{\text{ค่าคงที่}}$$

$$\Rightarrow \quad TV^{\gamma-1} = \text{ค่าคงที่}$$

พิจารณาจาก $V_a \rightarrow V_b$

$$T_2 V_a^{\gamma-1} = T_1 V_b^{\gamma-1} \quad \cdots \quad (1)$$

พิจารณาจาก $V_c \rightarrow V_d$

$$T_1 V_c^{\gamma-1} = T_2 V_d^{\gamma-1} \quad \cdots \quad (2)$$

$(2) \div (1)$

$$\left(\frac{V_d}{V_a}\right)^{\gamma-1} = \left(\frac{V_c}{V_b}\right)^{\gamma-1}$$

$$\cancel{(\gamma-1)} \ln\left(\frac{V_d}{V_a}\right) = \cancel{(\gamma-1)} \ln\left(\frac{V_c}{V_b}\right)$$

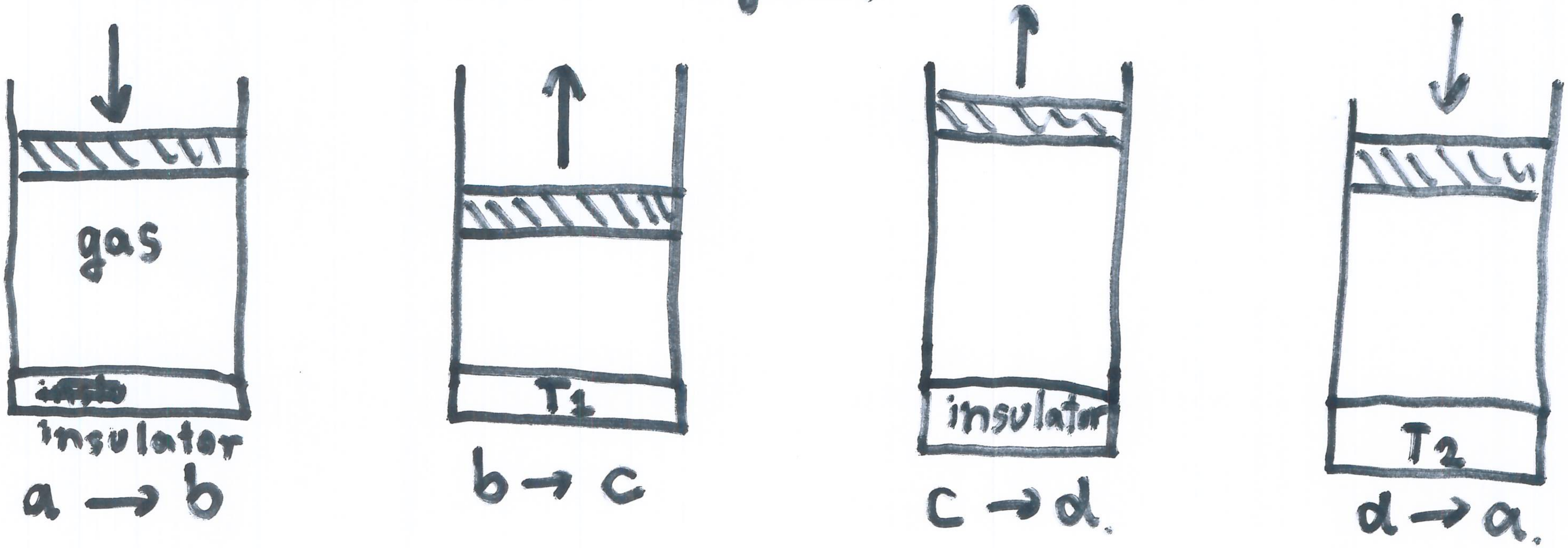
สมการที่ (3)

$$\Rightarrow \quad \eta = 1 - \frac{T_2}{T_1} \cdot \cancel{\frac{\ln(V_d/V_a)}{\ln(V_c/V_b)}}$$

$$\Rightarrow \quad \boxed{\eta = 1 - \frac{T_2}{T_1}}$$

$\Rightarrow$ Carnot engine มีประสิทธิภาพมากที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ ตามกฎข้อที่ 2.

ตัวอย่างของ Carnot engine.



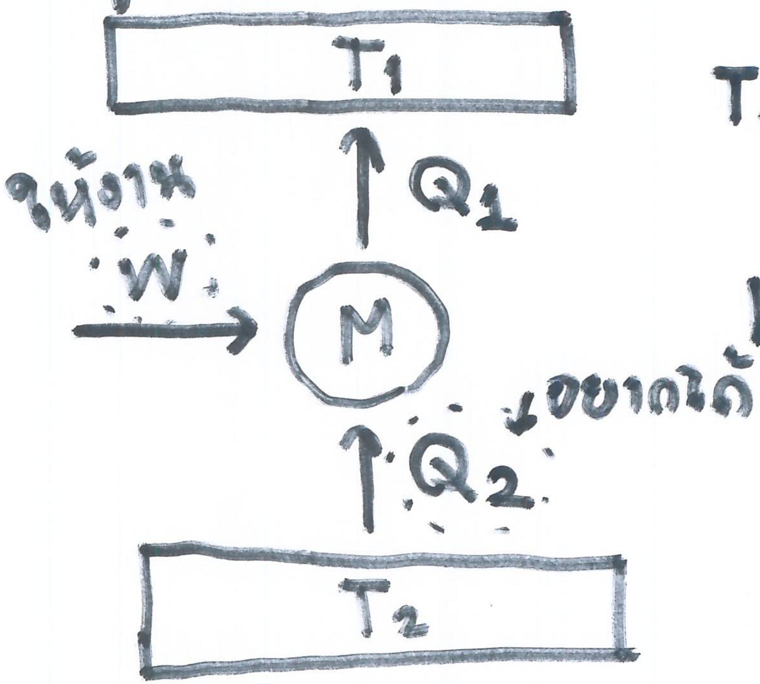
Carnot's Theorem

ไม่มีกลจักรใดที่ทำงานระหว่าง heat reserviors $T_1 > T_2$ ที่มีค่า η มากกว่า Carnot engine.

$$\eta = 1 - \frac{T_2}{T_1}$$

Heat engine : เปลี่ยน $Q \rightarrow W$

ตู้เย็น : เปลี่ยน $W \rightarrow Q$ ← การดึงความร้อนออกมาก



$T_2 < T_1$

heat pump.

$$Q_1 = W + Q_2$$

$$\eta = \frac{Q_2}{W} = \frac{Q_2}{Q_1 - Q_2}$$

ใช้กฎข้อที่ 2.

$$\Delta S = \frac{Q_1}{T_1} + \frac{(-Q_2)}{T_2} \geq 0 \Rightarrow \frac{Q_2}{Q_1} \leq \frac{T_2}{T_1}.$$

$$\Rightarrow \eta = \frac{Q_2}{Q_1 - Q_2} = \frac{Q_2/Q_1}{1 - Q_2/Q_1} \leq \frac{T_2/T_1}{1 - T_2/T_1} = \frac{T_2}{T_1 - T_2} \quad \blacksquare$$