

สรุปคร่าวที่แล้ว

คร่าวที่แล้วเราพิจารณากระบวนการทางอุณหพลศาสตร์ โดยสรุปคร่าวๆดังตารางข้างล่าง

$\Delta U = Q - W$		
Process	เงื่อนไข	ผลที่ได้
Adiabatic	$Q=0$	$\Delta U = -W$
Constant volume	$W=0$	$\Delta U = Q$
Closed cycle	$\Delta U=0$	$Q=W$
Constant pressure	$\Delta P=0$	$W = P\Delta V$
Free expansion	$Q=W=0$	$\Delta U=0$
Constant temperature	$\Delta U=0$	$Q=W, PV$ คงที่

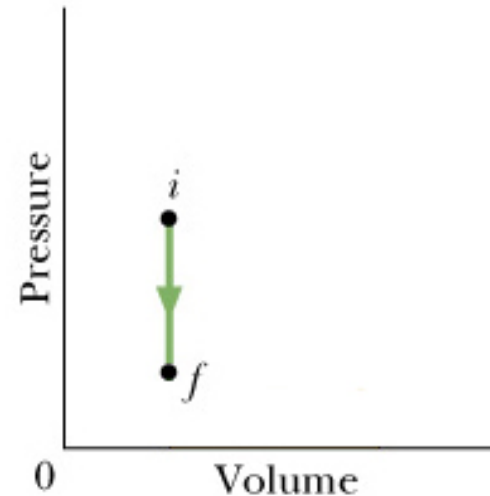
Constant-volume process (Isochoric process)

ถ้าปริมาตรของระบบถูกบังคับให้มีค่าคงที่ไม่สามารถขยายตัวหรือหดตัวได้ งานของระบบจะมีค่าเป็นศูนย์

$$W = -W_{on} = 0$$

จากกฎข้อที่หนึ่งของอุณหพลศาสตร์จะได้ว่า

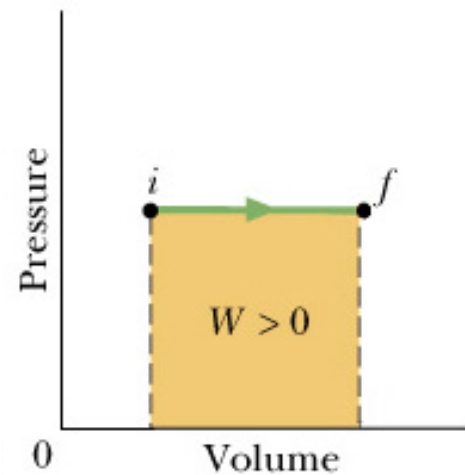
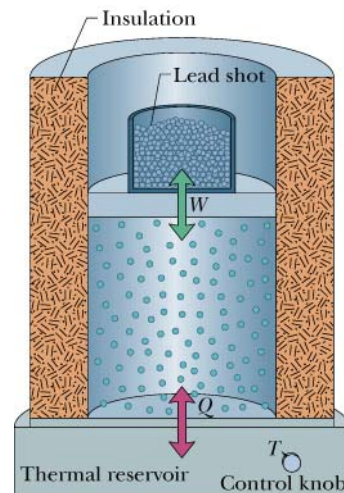
$$\Delta U = Q$$



พลังงานความร้อนที่ถ่ายเทเข้าสู่ระบบ จะเป็นผลทำให้พลังงานภายในของก๊าซมีค่าเพิ่มมากขึ้น ในทางกลับกันถ้าความร้อนถ่ายเทออกจากระบบ พลังงานภายในของก๊าซก็จะมีค่าลดลง

Constant-pressure process (Isobaric process)

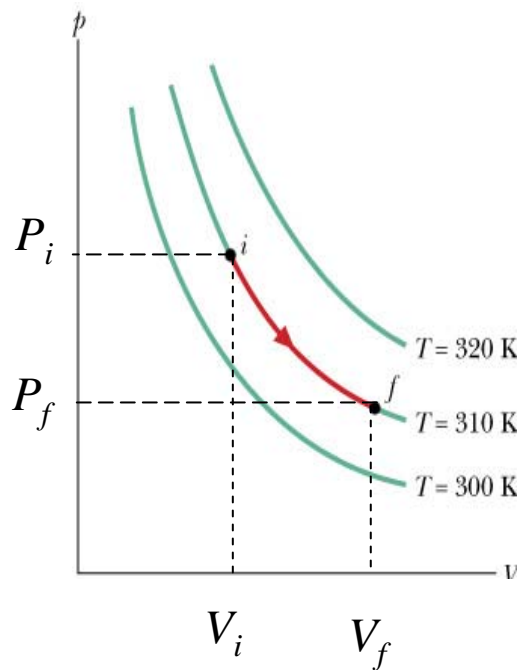
ตัวอย่างเช่นกระบวนการที่ลูกสูบสามารถเคลื่อนที่ได้อย่างอิสระ โดยที่ P มีค่าคงที่



เนื่องจากความดันมีค่าคงที่ตลอดกระบวนการ $W = P(V_f - V_i) = P\Delta V$

เดี๋ยวเราจะกลับมาพูดถึงกระบวนการปริมาตรคงที่ และกระบวนการความดันคงที่อีกครั้งหนึ่ง

Constant-temperature process (Isothermal process)



ในการขยายตัวแบบอุณหภูมิคงที่ของก๊าซ ถ้าเขียนกราฟระหว่าง P กับ V จะได้เป็นกราฟ ไฮเพอร์โบลา (Hyperbola) พิจารณาได้จากกฎของก๊าซในอุดมคติ

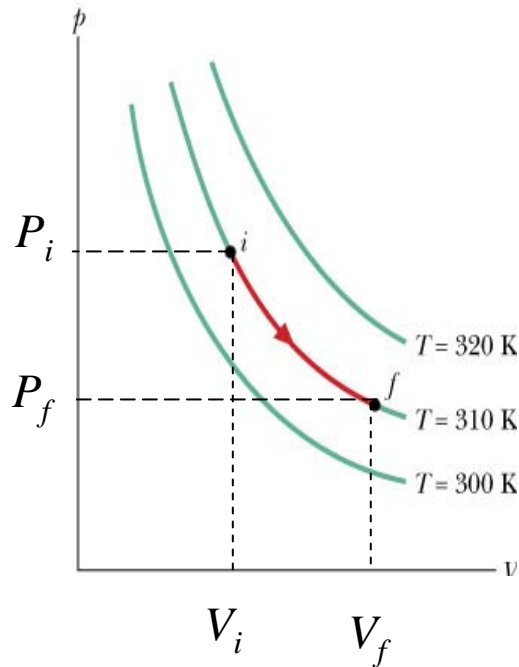
$$PV = NkT = \text{constant}$$

งานที่ก๊าซทำยังสามารถคำนวณได้จาก

$$W = \int_{V_i}^{V_f} PdV$$

งานใน Isothermal process

เขียน P ในรูปของ V โดยใช้กฎของก๊าส



$$PV = NkT \rightarrow P = \frac{NkT}{V}$$

จะได้ว่า

$$W = \int_{V_i}^{V_f} P dV = \int_{V_i}^{V_f} \frac{NkT}{V} dV = NkT \int_{V_i}^{V_f} \frac{1}{V} dV$$

เนื่องจาก

$$\int_{V_i}^{V_f} \frac{1}{V} dV = \ln(V) \Big|_{V_i}^{V_f} = \ln(V_f) - \ln(V_i) = \ln\left(\frac{V_f}{V_i}\right)$$

จะได้ว่างานที่ก๊าสกระทำมีค่าเป็น

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

งานใน Isothermal process

เนื่องจากอุณหภูมิมีค่าคงที่เราจะได้

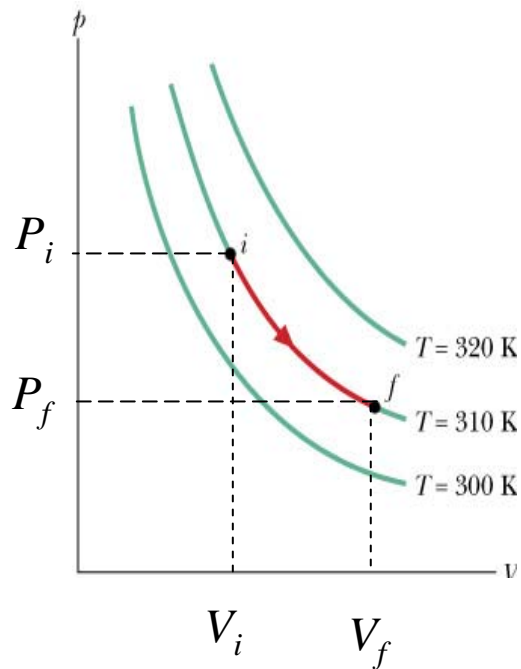
$$P_i V_i = P_f V_f = NkT$$

หรือ

$$\frac{V_f}{V_i} = \frac{P_i}{P_f}$$

ซึ่งสามารถเขียนงานที่ระบบทำได้เป็น

$$W = NkT \ln \left(\frac{V_f}{V_i} \right) = NkT \ln \left(\frac{P_i}{P_f} \right)$$



ความจุความร้อนและความร้อนจำเพาะ

ความจุความร้อน หรือ Heat capacity (C') คือ ปริมาณความร้อนที่ต้องการใช้เพื่อที่จะให้ระบบมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้น 1 เคลวิน

ความร้อนจำเพาะ หรือ Specific heat (C) คือปริมาณความร้อนที่ต้องการใช้เพื่อที่จะทำให้อาหารหนึ่งกรัม มีอุณหภูมิเพิ่มขึ้น 1 เคลวิน หรือ ความร้อนจำเพาะคือ ความจุความร้อนต่อมวลหนึ่งกรัม

$$C = \frac{C'}{M}$$

ในบางกรณีเราอาจนิยามความจุความร้อนต่อโมล หรือ Molar heat capacity

$$C_{\text{mol}} = \frac{C'}{n}$$

ความร้อนจำเพาะของก๊าซเมื่อปริมาตรคงที่ C_V

จากนิยามของความร้อนจำเพาะ ปริมาณความร้อนที่ต้องการใช้ในการทำให้ระบบมีอุณหภูมิเปลี่ยนไป ΔT สามารถเขียนได้เป็น

$$Q = C'\Delta T = MC\Delta T$$

สมมติว่าระบบเปลี่ยนแปลงตามกระบวนการปริมาตรคงที่ $\Delta V = 0 \rightarrow W = 0$
นิยามความร้อนจำเพาะของก๊าซเมื่อปริมาตรคงที่ C_V เป็น

$$C_V = \frac{1}{M} \left(\frac{\partial Q}{\partial T} \right)_V$$

จากกฎข้อที่ 1 ของเทอร์โมไดนามิก $Q = \Delta U$

$$C_V = \frac{1}{M} \left(\frac{dU}{dT} \right)$$

เหมือนกับที่เราพิจารณาเมื่อครั้งที่แล้วๆมา

C_V สำหรับก๊าซอะตอมเดี่ยว

สำหรับก๊าซอะตอมเดี่ยว $U = \frac{3}{2} NkT$

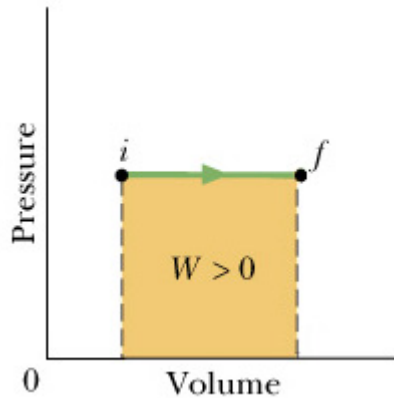
จะได้ว่า $C_V = \frac{1}{M} \left(\frac{dU}{dT} \right) = \frac{1}{M} \frac{d}{dT} \left(\frac{3}{2} NkT \right) = \frac{3Nk}{2(Nm)} = \frac{3k}{2m}$

ปริมาณความร้อนที่ทำให้ก๊าซเปลี่ยนอุณหภูมิจาก T_i ไปเป็น T_f สามารถคำนวณได้จาก

$$\int_0^Q dQ = M \int_{T_i}^{T_f} C_V dT \rightarrow Q = MC_V (T_f - T_i)$$

ความร้อนจำเพาะของก๊าซเมื่อความดันคงที่ C_P

งานของก๊าซในกระบวนการความดันคงที่หาได้โดย $W = P(V_f - V_i)$



จากกฎของก๊าซในอุดมคติ

$$\left. \begin{array}{l} PV_f = NkT_f \\ PV_i = NkT_i \end{array} \right\} \rightarrow P(V_f - V_i) = Nk(T_f - T_i) = Nk\Delta T$$

จากกฎข้อที่หนึ่งของอุณหพลศาสตร์

$$\begin{aligned} \Delta U = Q - W &\rightarrow Q = \Delta U + W \\ &= \Delta U + Nk\Delta T \end{aligned}$$

เราสามารถนิยามความร้อนจำเพาะของก๊าซในกระบวนการความดันคงที่ได้โดย

$$C_P = \frac{1}{M} \left(\frac{\partial Q}{\partial T} \right)_P = \frac{1}{M} \left(\frac{dU}{dT} + Nk \frac{dT}{dT} \right) = \frac{1}{M} \frac{dU}{dT} + \frac{k}{m}$$

ซึ่งสามารถเขียนในรูปของ C_V ได้เป็น

$$C_P = C_V + \frac{k}{m}$$

ค่าแกมมา

เรากำหนดให้อัตราส่วนของความร้อนจำเพาะเป็น

$$\gamma = \frac{C_P}{C_V}$$

นั่นคือ

$$\gamma = \frac{C_V + k/m}{C_V}$$

ในกรณีของก๊าซโมเลกุลเดี่ยวและก๊าซในอุดมคติ $C_V = \frac{3k}{2m}$ จะได้ว่า

$$\gamma = \frac{3/2 + 1}{3/2} = \frac{5}{3}$$

กระบวนการความร้๑นค๑งที่ Adiabatic process

ในกระบวนการความร้๑นค๑งที่ $Q = 0$ จากกฎข้อที่ 1 จะได้ว่า $\Delta U = -W$

สำหรับการเปลี่ยนแปลงน้อยๆจะได้ว่า $dU = -dW$

เราสามารถเขียนการเปลี่ยนแปลงของพลังงานภายใน ในรูปของความร้๑นจ้๑เพาะได้โดย

$$dU = MC_V dT$$

และการเปลี่ยนแปลงน้อยๆอาจประมาณได้ว่าความดันมีค่าค๑งที่ ดังนั้นเราจะได้ว่า

$$\begin{array}{l} dU = -dW \\ MC_V dT = -PdV \end{array} \quad \longrightarrow \quad dT = -\frac{P}{MC_V} dV$$

จากกฎของก๊าซอุดมคติ $PV = NkT$

หาอนุพันธ์ทั้งสองข้างของสมการ $d(PV) = PdV + VdP = NkdT$

แทนค่า dT จากหน้าที่แล้วจะได้ว่า

$$PdV + VdP = Nk \left(-\frac{P}{mC_V} dV \right) = -\frac{k}{mC_V} PdV$$

เนื่องจาก

$$\gamma = \frac{C_P}{C_V} = \frac{C_V + k/m}{C_V} = 1 + \frac{k}{mC_V} \rightarrow -\frac{k}{mC_V} = 1 - \gamma$$

จะได้ว่า

$$PdV + VdP = (1 - \gamma) PdV$$

$$VdP = -\gamma PdV$$

หรือ

$$\frac{dP}{P} = -\gamma \frac{dV}{V} \rightarrow \ln P = -\gamma \ln V + c$$

จัดรูปสมการใหม่ได้เป็น

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

$$\ln P + \gamma \ln V = c$$

$$\ln(PV^\gamma) = c$$

นั่นคือ $PV^\gamma = \text{ค่าคงที่}$ หรือ

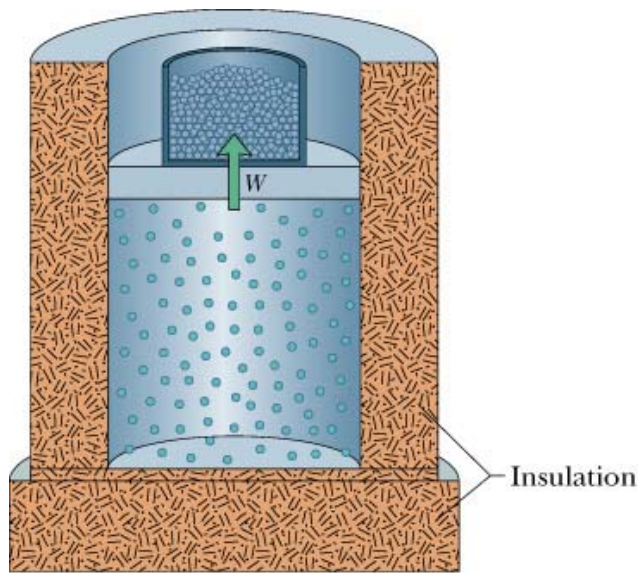
$$P_i V_i^\gamma = P_f V_f^\gamma$$

จากกฎของก๊าซ $PV = NkT \rightarrow P = \frac{NkT}{V}$

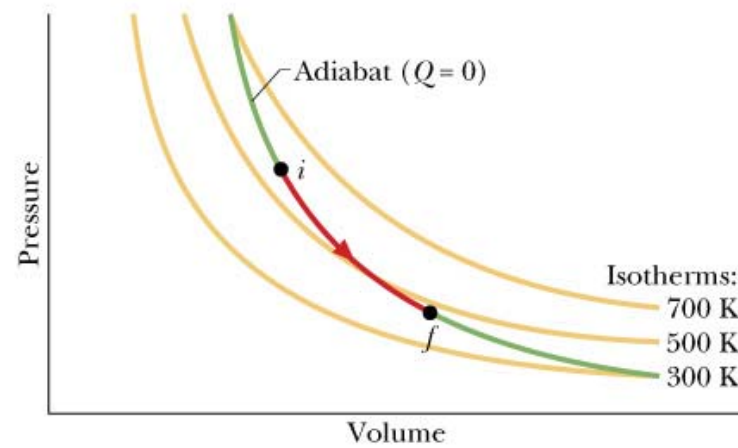
จะได้ว่า

$$T_i V_i^{\gamma-1} = T_f V_f^{\gamma-1}$$

กระบวนการ adiabatic สามารถเกิดขึ้นได้ในกรณีที่ระบบมีการเปลี่ยนแปลงแบบรวดเร็ว จนความร้อนไม่สามารถถ่ายเทเข้าออกจากระบบได้ทัน หรือ เกิดในกรณีที่ระบบห่อหุ้มด้วยฉนวนกันความร้อน อย่างในรูป (a) ส่วนในรูป (b) เปรียบเทียบกราฟ P-V ระหว่างกระบวนการ Adiabatic กับ กระบวนการ Isothermal



(a)



(b)

$$P_i V_i^\gamma = P_f V_f^\gamma$$

ค่าแกมมา

$$\gamma = \frac{C_P}{C_V}$$

ในกรณีของก๊าซโมเลกุลเดี่ยวและก๊าซในอุดมคติ $C_V = \frac{3k}{2m}$ จะได้ว่า

$$\gamma = \frac{3/2 + 1}{3/2} = \frac{5}{3}$$

กระบวนการความร้อนคงที่ adiabatic $Q = 0$

ในกระบวนการนี้ $PV^\gamma = \text{constant}$

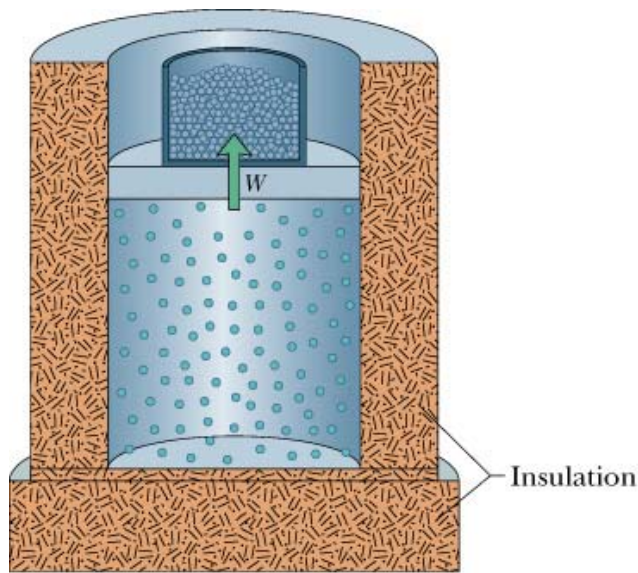
ซึ่งจะได้ว่า

$$P_i V_i^\gamma = P_f V_f^\gamma$$

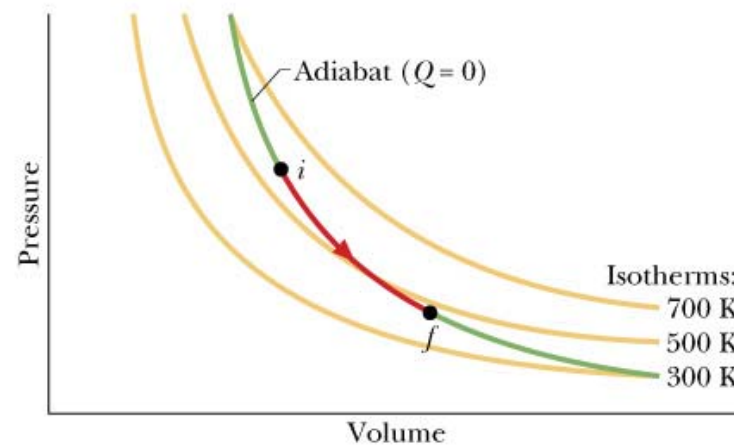
หรือ

$$T_i V_i^{\gamma-1} = T_f V_f^{\gamma-1}$$

กระบวนการ adiabatic สามารถเกิดขึ้นได้ในกรณีที่ระบบมีการเปลี่ยนแปลงแบบรวดเร็ว จนความร้อนไม่สามารถถ่ายเทเข้าออกจากระบบได้ทัน หรือ เกิดในกรณีที่ระบบห่อหุ้มด้วยฉนวนกันความร้อน อย่างในรูป (a) ส่วนในรูป (b) เปรียบเทียบกราฟ P-V ระหว่างกระบวนการ Adiabatic กับ กระบวนการ Isothermal



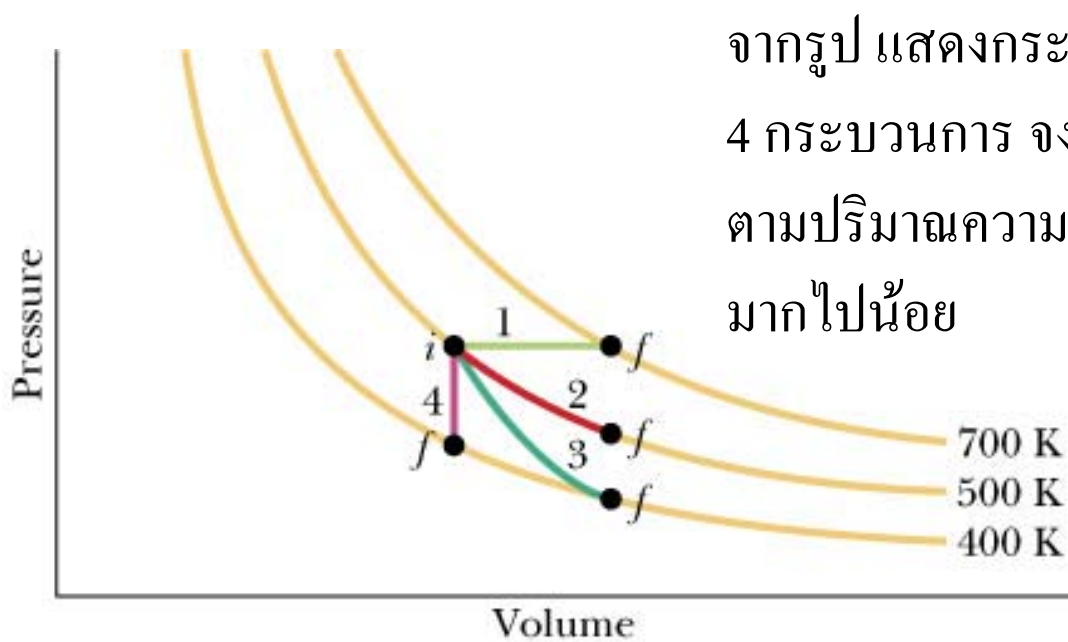
(a)



(b)

$$P_i V_i^\gamma = P_f V_f^\gamma$$

ทดสอบความเข้าใจ



จากรูป แสดงกระบวนการทางอุณหพลศาสตร์ 4 กระบวนการ จงเรียงลำดับกระบวนการทั้งสี่ตามปริมาณความร้อนที่ไหลเข้าระบบ จากมากไปน้อย

1) $\Delta U > 0, W > 0$

2) $\Delta U = 0, W > 0$

3) $Q = 0$

4) $\Delta U < 0, W = 0$

จากกฎข้อที่หนึ่ง $\Delta U = Q - W \rightarrow Q = \Delta U + W$

จะได้ว่า $Q_1 > Q_2 > Q_3 > Q_4$

ตัวอย่าง

ก๊าซ O_2 1 mol สมมติให้ประพฤติตัวเหมือนก๊าซอุดมคติ ที่อุณหภูมิ 310K เริ่มขยายตัว โดยแบบความร้อนคงที่จากปริมาตร 12 ลิตร ไปเป็น 19 ลิตร จงหา

ก) อุณหภูมิสุดท้ายของก๊าซออกซิเจน ในกรณีนี้เราคิดว่าออกซิเจนเป็นก๊าซโมเลกุลคู่ และไม่คิดการสั่นระหว่างโมเลกุล

วิธีทำ

เนื่องจากระบบมีการขยายปริมาตร ดังนั้นก๊าซทำงาน $W > 0$

เนื่องจากเป็นกระบวนการ adiabatic เราจะได้ว่า $Q=0$

จาก

$$T_i V_i^{\gamma-1} = T_f V_f^{\gamma-1}$$

เนื่องจากเป็นก๊าซอะตอมคู่

$$U = \frac{5}{2} NkT$$

จะได้ว่า

$$C_V = \frac{1}{M} \left(\frac{dU}{dT} \right)_V = \frac{1}{M} \frac{d}{dT} \left(\frac{5}{2} NkT \right) = \frac{5k}{2m}$$

และ

$$C_P = C_V + \frac{k}{m} = \left(\frac{5}{2} + 1 \right) \frac{k}{m} = \frac{7k}{2m}$$

ดังนั้น

$$\gamma = \frac{C_P}{C_V} = \frac{7/2}{5/2} = 1.40$$

แทนค่าเข้าไปใน $T_i V_i^{\gamma-1} = T_f V_f^{\gamma-1}$ จะได้ว่า

$$T_f = \frac{T_i V_i^{\gamma-1}}{V_f^{\gamma-1}} = \frac{(310 \text{ K})(12 \text{ L})^{1.40-1}}{(19 \text{ L})^{1.40-1}} = 258 \text{ K}$$

Free expansion อีกรอบ

Free expansion เป็นกรณีพิเศษของกระบวนการ adiabatic ซึ่งไม่มีการถ่ายเทความร้อนระหว่างระบบกับสิ่งแวดล้อม และไม่มีการทำงานที่กระทำโดยระบบ

$$Q = W = 0$$

จากกฎข้อที่หนึ่งของอุณหพลศาสตร์จะได้ว่า

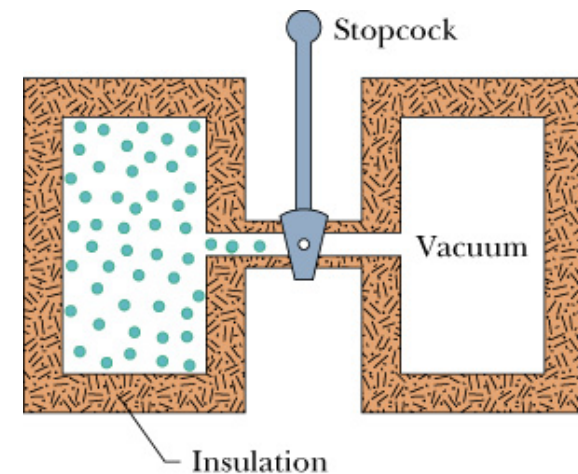
$$\Delta U = 0$$

เนื่องจากพลังงานภายในไม่มีการเปลี่ยนแปลง เราจะได้ว่า

$$T_i = T_f$$

และเมื่ออาศัยกฎของก๊าส จะได้ว่า

$$P_i V_i = P_f V_f$$



ตัวอย่าง

ก๊าซ O_2 1 mol สมมติให้ประพฤติตัวเหมือนก๊าซอุดมคติ ที่อุณหภูมิ 310K ความดัน 2.0 Pa เริ่มขยายตัวโดยแบบอิสระจากปริมาตร 12 ลิตร ไปเป็น 19 ลิตร จงหา

- ก) อุณหภูมิสุดท้ายของก๊าซออกซิเจน
- ข) ความดันสุดท้ายของก๊าซออกซิเจน

วิธีทำ

ก) เนื่องจากระบบมีการขยายตัวแบบ Free expansion จะได้ $\Delta U = 0$

นั่นคือ

$$T_f = T_i = 310K$$

ข) จาก $P_i V_i = P_f V_f$ จะได้ $P_f = P_i \frac{V_i}{V_f} = (2.0 \text{ Pa}) \frac{12 \text{ L}}{19 \text{ L}} = 1.3 \text{ Pa}$

(ตัวอย่าง) กระบวนการ adiabatic กับอัตราเร็วเสียงในอากาศ

เราได้ทราบมาแล้วว่าอัตราเร็วของคลื่นเสียงในอากาศ ขึ้นอยู่กับ ความยืดหยุ่นของ
ตัวกลาง ซึ่งวัดได้จากค่าของบัลค์โมดูลัส (Bulk Modulus)

$$B = -\frac{\Delta p}{\Delta V/V} \rightarrow B = -V \frac{dP}{dV}$$

เนื่องจากอัตราเร็วเสียงมีความเร็วสูง การเปลี่ยนแปลงของความดันในตัวกลางจึงเกิดขึ้น
ด้วยความรวดเร็ว จนอาจจะถือได้ว่าเป็นกระบวนการแบบ adiabatic นั่นคือ

$$PV^\gamma = \text{constant} \rightarrow P = (\text{constant}) V^{-\gamma}$$

จะได้ว่า

$$\begin{aligned} B &= -V \frac{dP}{dV} = -V (\text{constant}) \frac{dV^{-\gamma}}{dV} \\ &= -V (\text{constant}) (-\gamma) V^{-\gamma-1} \\ &= \gamma (\text{constant}) V^{-\gamma} = \gamma P \end{aligned}$$

จากนิยามของอัตราเร็วเสียงในอากาศ $v = \sqrt{\frac{B}{\rho}} = \sqrt{\frac{\gamma P}{\rho}}$

จากกฎของก๊าซ $PV = NkT \rightarrow P = \frac{NkT}{V}$

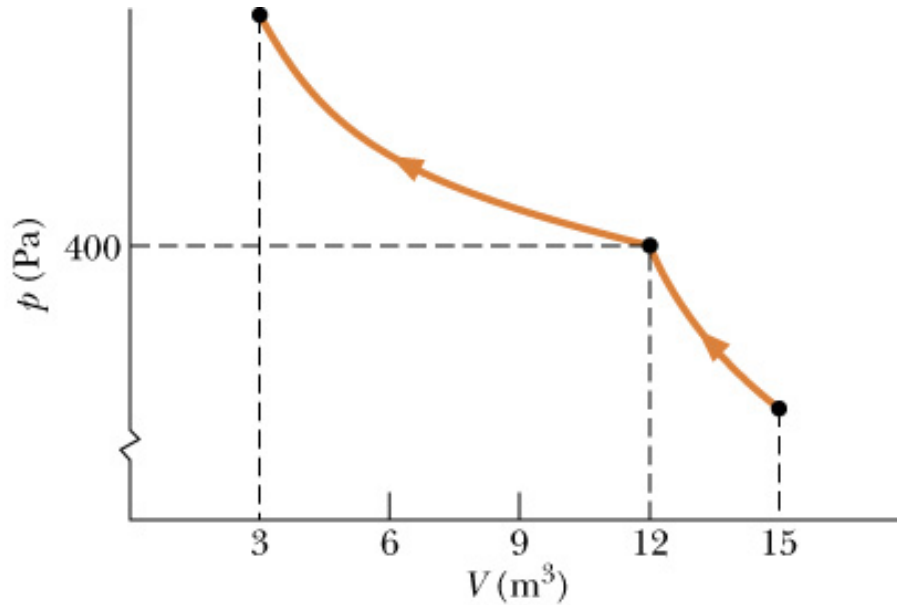
และ $\rho = M/V = Nm/V$

จะได้ว่า $v = \sqrt{\frac{\gamma(NkT/V)}{Nm/V}} = \sqrt{\frac{\gamma kT}{m}}$

จะเห็นว่าอัตราเร็วของเสียงในก๊าซขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ

$$v = \sqrt{\frac{\gamma kT}{m}}$$

ทดสอบความเข้าใจ



จากรูป ก๊าซในอุดมคติ 2 mol ถูกอัดด้วยกระบวนการ adiabatic จากปริมาตร 15 m^3 ไปเป็น 12 m^3 และถูกอัดต่อด้วยกระบวนการความร้อนคงที่ที่อุณหภูมิ 300 K จนกระทั่งมีปริมาตรสุดท้ายเป็น 3.0 m^3 จงหาปริมาณความร้อนที่ไหลเข้าออกจากระบบ

วิธีทำ เนื่องจากในกระบวนการ adiabatic ไม่มีความร้อนไหลเข้าออกจากระบบ

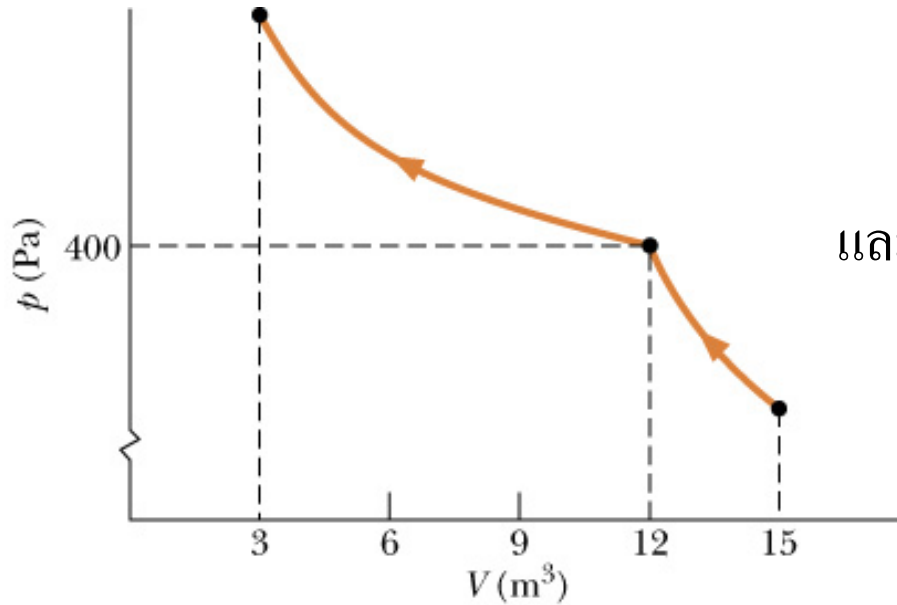
$$Q_{\text{total}} = Q_{\text{isothermal}}$$

และในกระบวนการ isothermal เราทราบว่า $\Delta T = 0 \rightarrow \Delta U = 0$

จากกฎข้อที่ 1 ของอุณหพลศาสตร์

$$\Delta U = Q - W \rightarrow Q_{\text{isothermal}} = W$$

งานในกระบวนการ isothermal หาได้จาก



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

และจาก

$$NkT = n(N_A k)T = nRT$$

จะได้ว่า

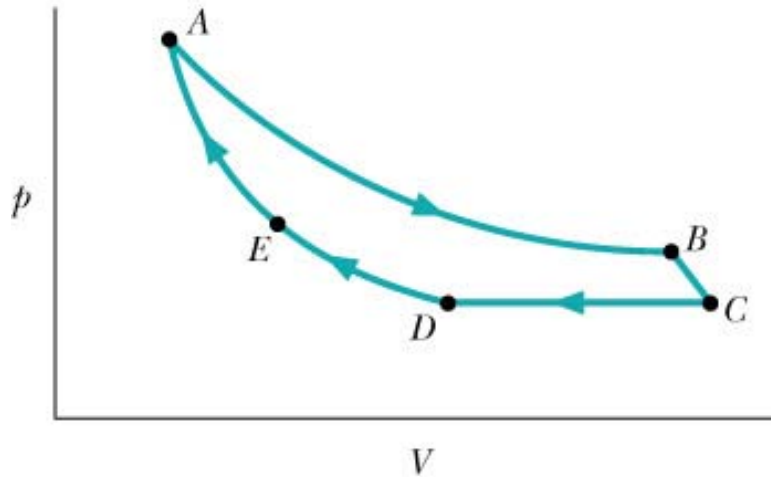
$$W = nRT \ln\left(\frac{V_f}{V_i}\right)$$

$$\begin{aligned} \text{แทนค่า } W &= (2) \times (8.314) \times (300) \times \ln\left(\frac{3}{12}\right) \\ &= -6912 \text{ J} = Q_{\text{isothermal}} \end{aligned}$$

เราจะสรุปได้ว่า ความร้อนไหลออกจากระบบ 6912 J

ตอบ

ตัวอย่าง



จากรูปเป็นวัฏจักรเทอร์โมไดนามิกที่ประกอบด้วยกระบวนการย่อย 5 ส่วนดังนี้ **AB** เป็นกระบวนการ isothermal ที่อุณหภูมิ 300 K ส่วน **BC** เป็นกระบวนการ adiabatic ที่มีงาน 5.0 J, **CD** เป็นกระบวนการความดันคงที่ ที่ความดัน 5 atm, **DE** เป็นกระบวนการ isothermal และ **EA** เป็นกระบวนการ adiabatic ซึ่งทำให้พลังงานภายในเปลี่ยนไป 8.0 J จงหาพลังงานภายในที่เปลี่ยนไปในช่วง **CD**

วิธีทำ เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงแบบวัฏจักร $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow D \rightarrow E \rightarrow A$ เราจะได้ว่า

$$\Delta U_{A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow D \rightarrow E \rightarrow A} = \Delta U_{\text{total}} = 0$$

นั่นคือ
$$\Delta U_{\text{total}} = \Delta U_{A \rightarrow B} + \Delta U_{B \rightarrow C} + \Delta U_{C \rightarrow D} + \Delta U_{D \rightarrow E} + \Delta U_{E \rightarrow A}$$

ในกระบวนการ isothermal พลังงานภายในไม่มีการเปลี่ยนแปลง นั่นคือ

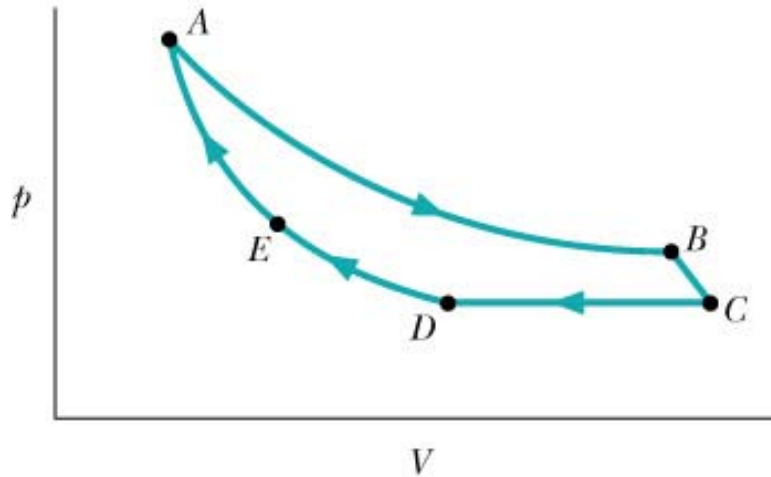
$$\Delta U_{A \rightarrow B} = \Delta U_{D \rightarrow E} = 0$$

และโจทย์กำหนดว่า

$$\Delta U_{E \rightarrow A} = 8.0 \text{ J}$$

เราจะได้ว่า

$$\Delta U_{B \rightarrow C} + \Delta U_{C \rightarrow D} + 8.0 \text{ J} = 0$$



ในช่วง $B \rightarrow C$ เป็นการเปลี่ยนแปลงแบบ adiabatic นั่นคือ

$$Q_{B \rightarrow C} = 0 \Rightarrow \Delta U_{B \rightarrow C} = -W_{B \rightarrow C} = -5.0 \text{ J}$$

เราจะได้ว่า

$$-0.5 \text{ J} + \Delta U_{C \rightarrow D} + 8.0 \text{ J} = 0$$

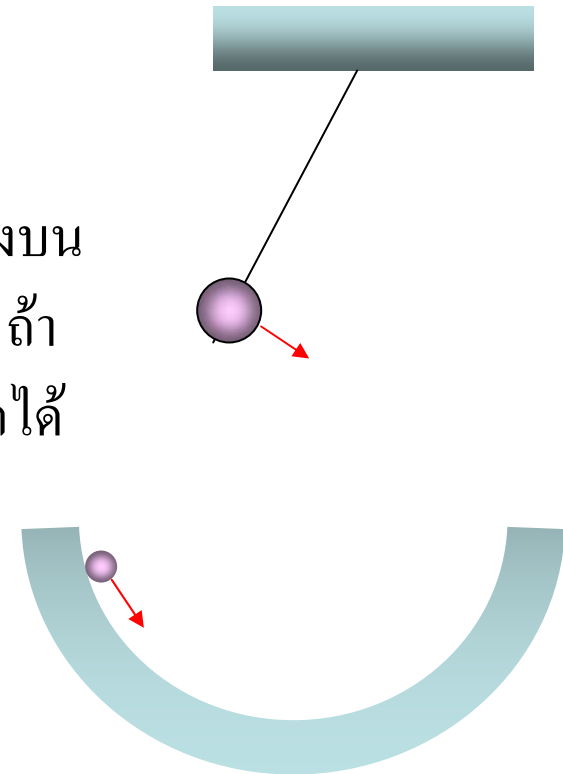
นั่นคือ
$$\Delta U_{C \rightarrow D} = -8.0 \text{ J} - 5.0 \text{ J} = -3.0 \text{ J}$$
 ตอบ

The direction of time

ในวิชากลศาสตร์ กระบวนการต่างๆที่เราศึกษาส่วนใหญ่จะเป็นกระบวนการที่สามารถย้อนกลับได้ (reversible process) ตัวอย่างเช่น ถ้าเราฉายภาพยนตร์ที่แสดงการแกว่งของตุ้มนาฬิกา เราจะไม่สามารถบอกได้ว่าภาพยนตร์ฉายไปข้างหน้าหรือว่าฉายเทปย้อนกลับ

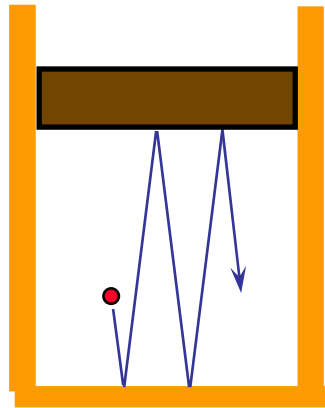
แต่ในชีวิตประจำวัน เราพบหลายๆปรากฏการณ์ที่ไม่สามารถย้อนกลับได้ เช่น ลูกปืนที่ยิงออกจากปากกระบอก ลูกหินกลิ้งบนพื้นฝืด ลูกตุ้มนาฬิกาที่แกว่งช้าลงเพราะแรงต้านของอากาศ ถ้าเราฉายภาพยนตร์แสดงปรากฏการณ์เหล่านี้ เราจะสามารถบอกได้ทันทีว่า ภาพยนตร์ฉายไปข้างหน้า หรือเล่นเทปกลับหลัง

ในธรรมชาติเวลามีทิศทาง ทำไมจึงเป็นเช่นนั้น?

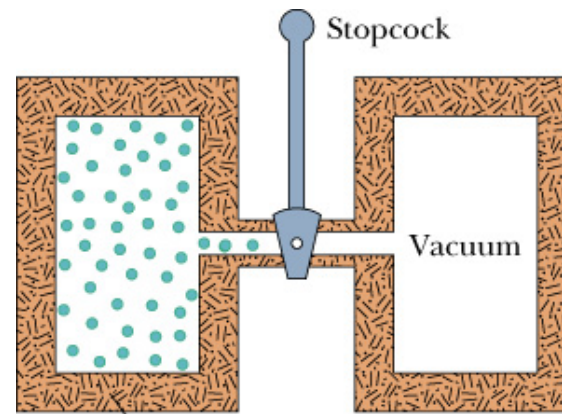


Reversible and Irreversible Process

ในทฤษฎีจลน์ของก๊าซ ถ้าเราพิจารณา (ภาพยนตร์) การชนผนังของแต่ละโมเลกุล เราไม่สามารถบอกทิศทางของเวลาได้ (ไม่รู้ว่ภาพยนตร์เดินไปข้างหน้าหรือเล่นเทปกลับ)



Microscopic



Macroscopic

แต่ถ้าเราพิจารณาโมเลกุลก๊าซในระดับ Macroscopic เช่น การฟุ้งของก๊าซ เราพบว่าก๊าซจะฟุ้งจากบริเวณที่ก๊าซมีความหนาแน่นมากไปยังความหนาแน่นน้อย ปรากฏการณ์ย้อนกลับไม่สามารถเกิดขึ้นได้

ระบบสูญเสียคุณสมบัติการย้อนกลับได้ได้อย่างไร เวลา มีทิศทางได้อย่างไร

Irreversible process and Entropy

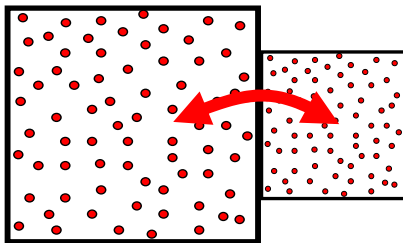
พลังงานจะถ่ายเทไปในทิศทางใด?

Hot object

Cold object

หลักการอนุรักษ์พลังงาน (กฎข้อที่หนึ่งของเทอร์โมไดนามิก) ไม่ได้ตอบปัญหาทิศทางของการถ่ายเทของพลังงาน

ในสถานการณ์นี้ และอีกในหลายๆกระบวนการ เช่น ทิศทางการถ่ายเทของพลังงาน การฟุ้งของก๊าซ จะถูกควบคุมด้วยกฎข้อที่สองของอุณหพลศาสตร์



Concept ใหม่ Entropy

Total Entropy of an isolated system
is a maximum in equilibrium.

หนังสืออิเล็กทรอนิกส์	
ฟิสิกส์ 1(ภาคกลศาสตร์(ฟิสิกส์ 1 (ความร้อน)
ฟิสิกส์ 2	กลศาสตร์เวกเตอร์
โลหะวิทยาฟิสิกส์	เอกสารคำสอนฟิสิกส์ 1
ฟิสิกส์ 2 (บรรยาย(แก้ปัญหาฟิสิกส์ด้วยภาษา C
ฟิสิกส์พิศวง	สอนฟิสิกส์ผ่านทางอินเทอร์เน็ต
ทดสอบออนไลน์	วิดีโอการเรียนการสอน
หน้าแรกในอดีต	แผ่นใสการเรียนการสอน
เอกสารการสอน PDF	กิจกรรมการทดลองทางวิทยาศาสตร์
แบบฝึกหัดออนไลน์	สุดยอดสิ่งประดิษฐ์
การทดลองเสมือน	
บทความพิเศษ	ตารางธาตุ(ไทย1) 2 (Eng)
พจนานุกรมฟิสิกส์	ลับสมองกับปัญหาฟิสิกส์
ธรรมชาติมหัศจรรย์	สูตรพื้นฐานฟิสิกส์
การทดลองมหัศจรรย์	ดาราศาสตร์ราชมงคล
แบบฝึกหัดกลาง	
แบบฝึกหัดโลหะวิทยา	แบบทดสอบ
ความรู้รอบตัวทั่วไป	อะไรเอ่ย ?
ทดสอบ)เกมเศรษฐี(คดีปริศนา
ข้อสอบเอนทรานซ์	เฉลยกลศาสตร์เวกเตอร์
คำศัพท์ประจำสัปดาห์	
ความรู้รอบตัว	
การประดิษฐ์ของโลก	ผู้ได้รับโนเบลสาขาฟิสิกส์
นักวิทยาศาสตร์เทศ	นักวิทยาศาสตร์ไทย
ดาราศาสตร์พิศวง	การทำงานของอุปกรณ์ทางฟิสิกส์
การทำงานของอุปกรณ์ต่าง ๆ	

 การเรียนรู้การสอนฟิสิกส์ 1  ผ่านทางอินเทอร์เน็ต	
1. การวัด	2. เวกเตอร์
3. การเคลื่อนที่แบบหนึ่งมิติ	4. การเคลื่อนที่บนระนาบ
5. กฎการเคลื่อนที่ของนิวตัน	6. การประยุกต์กฎการเคลื่อนที่ของนิวตัน
7. งานและพลังงาน	8. การดลและโมเมนตัม
9. การหมุน	10. สมดุลของวัตถุแข็งเกร็ง
11. การเคลื่อนที่แบบคาบ	12. ความยืดหยุ่น
13. กลศาสตร์ของไหล	14. ปริมาณความร้อน และ กลไกการถ่ายโอนความร้อน
15. กฎข้อที่หนึ่งและสองของเทอร์โมไดนามิก	16. คุณสมบัติเชิงโมเลกุลของสสาร
17. คลื่น	18. การสั่น และคลื่นเสียง
 การเรียนรู้การสอนฟิสิกส์ 2  ผ่านทางอินเทอร์เน็ต	
1. ไฟฟ้าสถิต	2. สนามไฟฟ้า
3. ความกว้างของสายฟ้า	4. ตัวเก็บประจุและการต่อตัวต้านทาน
5. ศักย์ไฟฟ้า	6. กระแสไฟฟ้า
7. สนามแม่เหล็ก	8. การเหนี่ยวนำ
9. ไฟฟ้ากระแสสลับ	10. ทรานซิสเตอร์
11. สนามแม่เหล็กไฟฟ้าและเสาอากาศ	12. แสงและการมองเห็น
13. ทฤษฎีสัมพัทธภาพ	14. กลศาสตร์ควอนตัม
15. โครงสร้างของอะตอม	16. นิวเคลียร์
 การเรียนรู้การสอนฟิสิกส์ทั่วไป  ผ่านทางอินเทอร์เน็ต	
1. จลศาสตร์ (kinematic)	2. จลพลศาสตร์ (kinetics)
3. งานและโมเมนตัม	4. ซิมเปิลฮาร์โมนิก คลื่น และเสียง
5. ของไหลกับความร้อน	6. ไฟฟ้าสถิตกับกระแสไฟฟ้า
7. แม่เหล็กไฟฟ้า	8. คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ากับแสง
9. ทฤษฎีสัมพัทธภาพ อะตอม และนิวเคลียร์	

