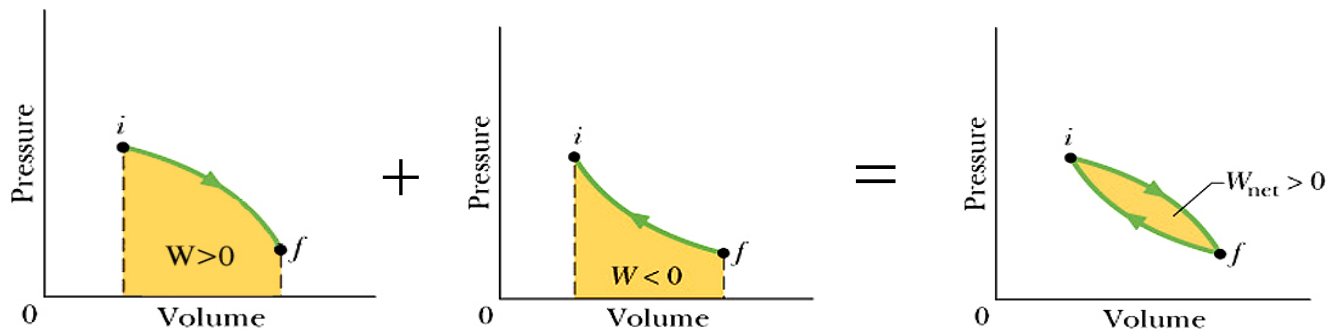


สรุปคร่าวที่แล้ว

คร่าวที่แล้วเราศึกษางานที่เกิดจากการเปลี่ยนปริมาตรของระบบ

$$W = \int_{V_i}^{V_f} P dV$$



ปริมาตรเพิ่ม

$$W > 0$$

ระบบทำงานให้สิ่งแวดล้อม

ปริมาตรลด

$$W < 0$$

งานภายนอกเข้าสู่ระบบ

The First Law of Thermodynamics

แม้ว่างานที่ก๊าซกระทำ W และพลังงานความร้อน Q ที่ไหลเข้าออกระหว่างระบบกับสิ่งแวดล้อม จะแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับเส้นทางบนกราฟ $P-V$ แต่จากการทดลอง ปริมาณ $Q-W$ จะมีค่าคงที่เสมอในทุกๆกราฟ และจะขึ้นอยู่กับตำแหน่งเริ่มต้นและตำแหน่งสุดท้าย ไม่ขึ้นกับเส้นทาง ปริมาณ $Q-W$ แสดงการเปลี่ยนแปลงของคุณสมบัติภายในของระบบ ซึ่งเราเรียกคุณสมบัตินี้ว่า พลังงานภายในของระบบ U โดย

$$\Delta U = U_f - U_i = Q - W$$

หรือสำหรับการเปลี่ยนแปลงน้อยๆจะได้ว่า

$$dU = dQ - dW$$

พลังงานภายใน U ของระบบ มีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้นด้วยเมื่อความร้อนไหลเข้าสู่ระบบ $dQ > 0$ และมีแนวโน้มจะลดลงเมื่อระบบทำงานให้กับสิ่งแวดล้อม $dW > 0$

กฎการอนุรักษ์พลังงานและกฎข้อที่ ๑ ของเทอร์โมไดนามิก

ในช่วงก่อน Midterm เราเรียนกฎการอนุรักษ์พลังงาน ซึ่งกล่าวว่าพลังงานภายในระบบที่แยกตัวอิสระ (Isolate system) จะมีค่าคงที่ ไม่มีการถ่ายเทพลังงานเข้าหรือออกจากระบบ กฎข้อที่ ๑ ของอุณหพลศาสตร์เป็นการปรับปรุงกฎการอนุรักษ์พลังงานในกรณีที่ระบบไม่ได้แยกตัวเป็นอิสระ แต่มีการถ่ายเทพลังงานระหว่างระบบกับสิ่งแวดล้อม

ก่อนสอบมิดเทอมเราพิจารณางานที่แรงภายนอกกระทำต่อระบบ หรือ work done on the system แต่ในที่นี้ W เป็นงานที่ระบบทำ หรือ Work done by the system งานที่แรงภายนอกกระทำต่อระบบ W_{on} จะมีค่าเป็นลบของที่ระบบกระทำเสมอ ในหนังสือฟิสิกส์หนึ่งจะนิยามกฎข้อที่ ๑ ในเทอมของงานที่แรงภายนอกกระทำต่อระบบ

$$\Delta U = Q + W_{on} \quad , \quad W_{on} = -W$$

พลังงานภายในมีแนวโน้มจะเพิ่มขึ้นเมื่อมีงานเนื่องจากแรงภายนอกที่เป็นบวกกระทำกับระบบ

ความร้อน (Heat)

ในอดีตจนกระทั่งถึงกลางคริสต์ศตวรรษที่ 18 นักวิทยาศาสตร์ยังคงเชื่อว่าความร้อน เป็น สสารชนิดหนึ่ง que เรียกว่า “**caloric fluid**” ปัจจุบันยังมีหลายคนเข้าใจความหมายของ ความร้อนคลาดเคลื่อน

ความร้อน หมายถึง พลังงานที่ถ่ายเทระหว่างระบบกับสิ่งแวดล้อม ไม่ใช่พลังงานที่ สะสมอยู่ในตัววัตถุ

$$Q > 0$$

ความร้อนไหลเข้าระบบ

$$Q < 0$$

ความร้อนไหลออกจากระบบ

ตัวอย่าง

พลังงานภายในระบบเพิ่มขึ้น 25 กิโลจูล ในระหว่างที่มีการให้งานแก่ระบบ 99 กิโลจูล ในการนี้มีการถ่ายเทความร้อนเป็นปริมาณเท่าไร และความร้อนนี้ไหลเข้าหรือไหลออกจากระบบ

วิธีทำ

มีการให้งานแก่ระบบ $W_{on} = 99 \text{ KJ} \rightarrow W = -99 \text{ KJ}$

จากกฎข้อที่ ๑ $\Delta U = Q - W$

$$25 = Q + 99$$

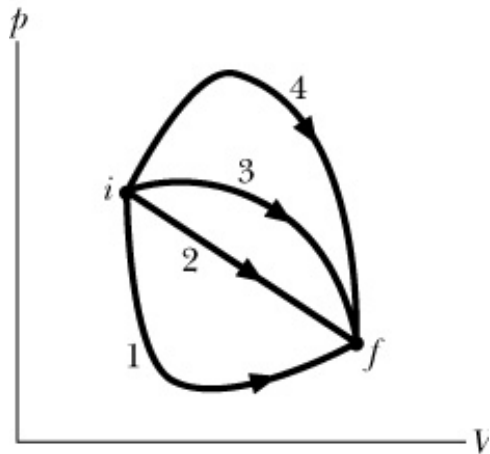
จะได้ว่า $Q = 25 - 99$
 $= -74 \text{ KJ}$

ความร้อนไหลออกจากระบบเท่ากับ 74 กิโลจูล

ตอบ

ทดสอบความเข้าใจ

รูปข้างล่างแสดงเส้นทางสี่เส้นทางบนกราฟ $P-V$ ซึ่งก๊าซเปลี่ยนสถานะจากสถานะ i ไปยังสถานะ f จงเรียงลำดับเส้นทางต่อไปนี้โดยพิจารณา



ก) การเปลี่ยนแปลงพลังงานภายในของก๊าซ ΔU จากมากไปน้อย

ΔU ไม่ขึ้นกับเส้นทาง ขึ้นกับตำแหน่งตั้งต้นและสุดท้าย

ข) งานที่ก๊าซกระทำ W จากมากไปน้อย

4, 3, 2 และ 1

ค) ปริมาณพลังงานความร้อน Q ที่ถ่ายเทระหว่างระบบกับสิ่งแวดล้อมจากมากไปน้อย

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



4, 3, 2 และ 1

กรณีพิเศษต่างๆ ในกฎข้อที่ ๑ ของเทอร์โมไดนามิก

ในที่นี้เราอาจพิจารณากระบวนการทางอุณหพลศาสตร์ที่ต่างกัน 4 กระบวนการที่แต่ละกระบวนการมีเงื่อนไขต่อระบบต่างกัน 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

Adiabatic process

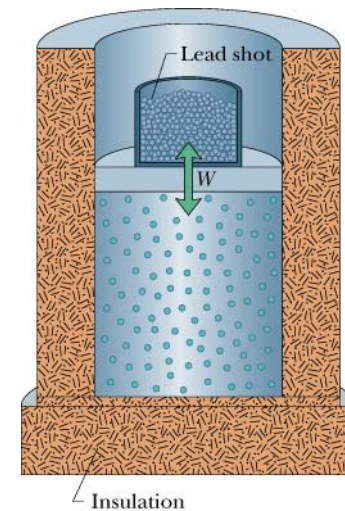
กระบวนการเปลี่ยนแปลงแบบ Adiabatic เป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นอย่างรวดเร็วเสียจนไม่มีความร้อนถ่ายเทระหว่างระบบกับสิ่งแวดล้อม หรือ เป็นกระบวนการที่เกิดในระบบที่มีฉนวนกันความร้อน ซึ่งเมื่อไม่มีการถ่ายเทความร้อนจะได้ว่า

$$Q = 0$$

จากกฎข้อที่หนึ่งของอุณหพลศาสตร์จะได้ว่า

$$\Delta U = -W$$

รูปข้างขวาเป็นตัวอย่างของระบบที่เปลี่ยนแปลงแบบ adiabatic สิ่งแวดล้อมภายนอกสามารถติดต่อกับระบบได้โดยงาน เช่น ถ้าเราเอาตุ่มน้ำหนักออก ระบบก็จะขยายปริมาตรและทำงาน ซึ่งเป็นผลให้พลังงานภายในลดลง แต่ถ้าเราทำงานให้ระบบโดยเพิ่มตุ่มน้ำหนัก พลังงานภายในของระบบก็จะมีค่ามากขึ้น



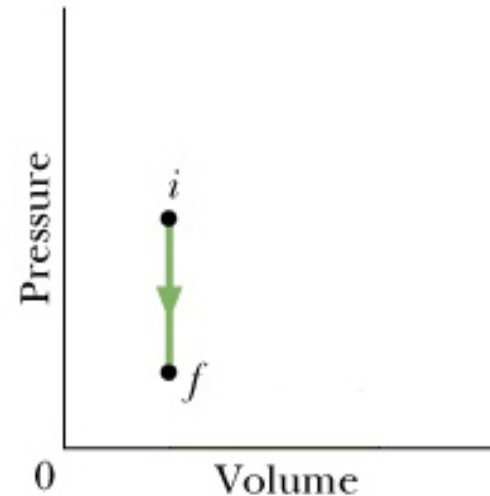
Constant-volume process (Isochoric process)

ถ้าปริมาตรของระบบถูกบังคับให้มีค่าคงที่ไม่สามารถขยายตัวหรือหดตัวได้ งานของระบบจะมีค่าเป็นศูนย์

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

จากกฎข้อที่หนึ่งของอุณหพลศาสตร์จะได้ว่า

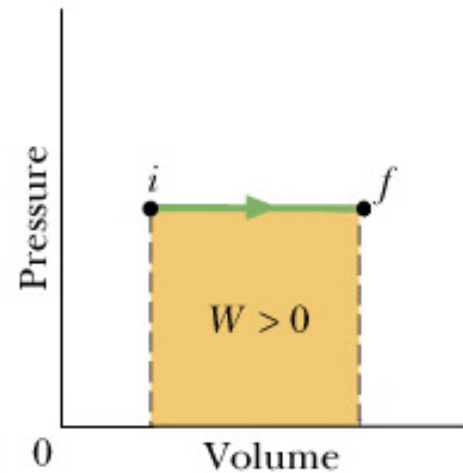
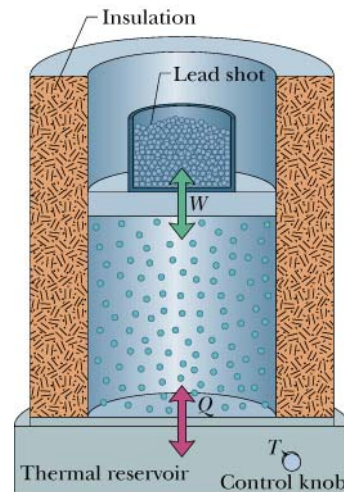
$$\Delta U = Q$$



พลังงานความร้อนที่ถ่ายเทเข้าสู่ระบบ จะเป็นผลทำให้พลังงานภายในของก๊าซมีค่าเพิ่มมากขึ้น ในทางกลับกันถ้าความร้อนถ่ายเทออกจากระบบ พลังงานภายในของก๊าซก็จะมีค่าลดลง

Constant-pressure process (Isobaric process)

ตัวอย่างเช่นกระบวนการที่ลูกสูบสามารถเคลื่อนที่ได้อย่างอิสระ โดยที่ P มีค่าคงที่



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

Cyclical process

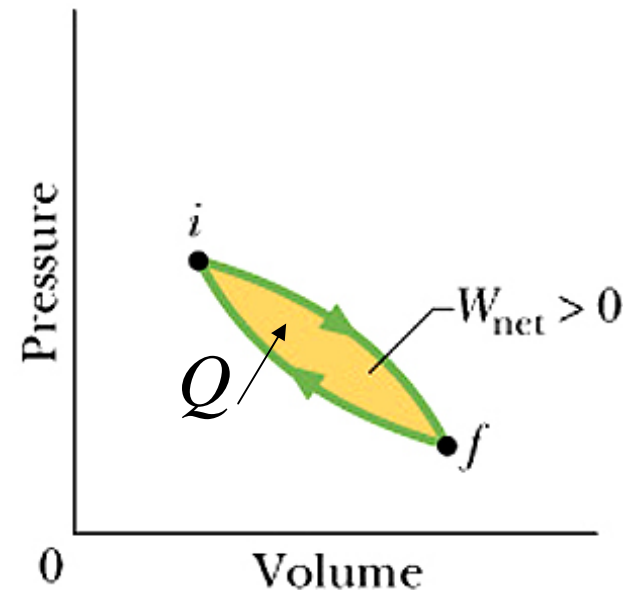
กระบวนการที่เป็นวัฏจักรซึ่งระบบกลับคืนสู่สถานะตั้งต้น ดังรูป กระบวนการนี้จะไม่เปลี่ยนแปลงพลังงานภายในของระบบ

$$\Delta U = 0$$

จากกฎข้อที่หนึ่งของอุณหพลศาสตร์จะได้ว่า

$$Q = W$$

งานที่ทำโดยระบบ (ให้กับสิ่งแวดล้อม)
จะมีค่าเท่ากับความร้อนที่ถ่ายเทเข้าสู่ระบบ
เราจะพิจารณาวัฏจักรต่างในคราวต่อไป



ทดสอบความเข้าใจ

จากกราฟการเปลี่ยนแปลงแบบวัฏจักรดังรูป
จงหาว่าปริมาณต่อไปนี้มีค่าเป็น บวก ลบ หรือ ศูนย์

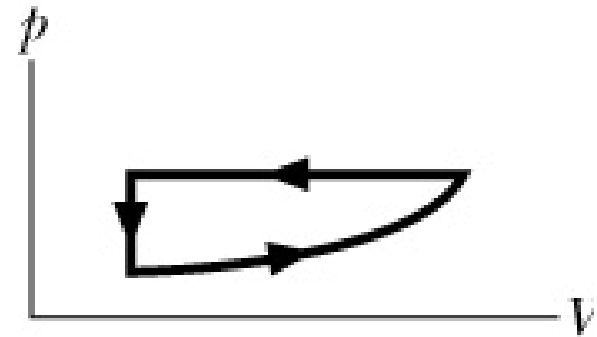
ก) พลังงานภายในที่เปลี่ยนแปลง

$$\Delta U = 0$$

ข) ความร้อนที่ถ่ายเทระหว่างระบบกับสิ่งแวดล้อม

$$\text{วนทวนเข็มนาฬิกา} \quad W < 0, \quad Q = W \rightarrow Q < 0$$

ความร้อนไหลออกจากระบบ

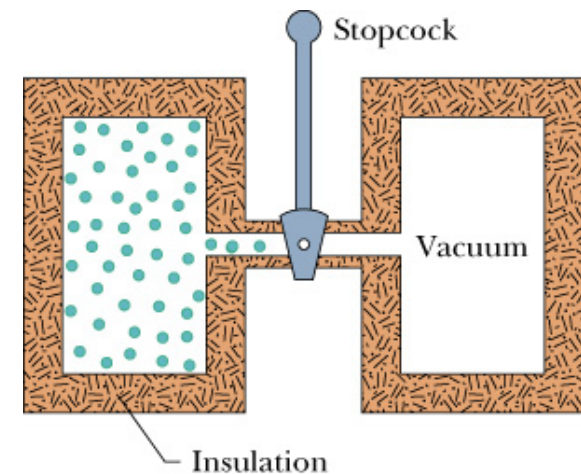


Free expansion

พิจารณากรณีพิเศษของกระบวนการ adiabatic ซึ่งไม่มีการถ่ายเทความร้อนระหว่างระบบกับสิ่งแวดล้อม และไม่มีการทำงานที่กระทำโดยระบบ ซึ่งในกรณีนี้ $Q = W = 0$
จากกฎข้อที่หนึ่งของอุณหพลศาสตร์จะได้ว่า

$$\Delta U = 0$$

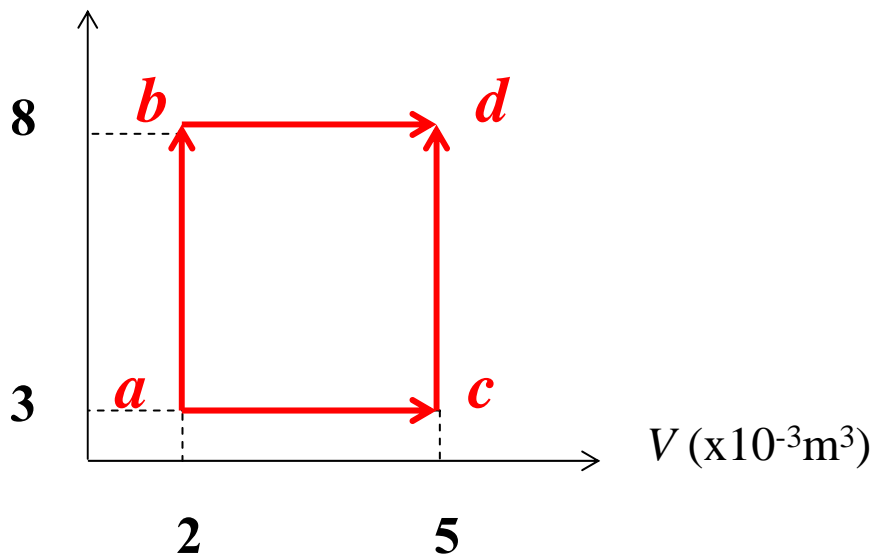
ตัวอย่างของระบบที่มีการเปลี่ยนแปลงด้วยกระบวนการนี้อาจพิจารณาก๊าซที่อยู่ในสมดุลความร้อนกับด้านขวามือในสถานะตั้งต้น โมเลกุลของก๊าซอยู่ในถังด้านซ้ายมือ ทางด้านขวามือเป็นถังเปล่า และทั้งสองถังหุ้มด้วยฉนวนกันความร้อน เมื่อเปิดช่องให้ก๊าซสามารถวิ่งไปถังด้านขวามือได้ ปริมาตรของระบบจะเพิ่มขึ้น แต่ความดันในถังขวามือน้อย (สุญญากาศ) จึงไม่มีแรงต้านทำให้งานที่ทำโดยก๊าซมีค่าเป็นศูนย์ การเปลี่ยนแปลงนี้ส่วนใหญ่เกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว และความดันของระบบจะมีค่าไม่สม่ำเสมอ ทำให้ไม่สามารถเขียนกราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของระบบได้ เขียนได้แต่จุดแสดงสถานะเริ่มต้นและสถานะสุดท้าย



ตัวอย่าง

จากแผนภาพ PV-Diagram ถ้าในช่วง ab ระบบได้รับความร้อน 150 J และในช่วง bd ระบบได้รับความร้อน 600J จงหา

P ($\times 10^4$ Pa)



ก) พลังงานภายในที่เปลี่ยนไปในช่วง ab

วิธีทำ เนื่องจากในช่วง ab ปริมาตรมีค่าคงที่ $W_{a \rightarrow b} = 0$

จาก

$$\Delta U = Q - W$$

ดังนั้น

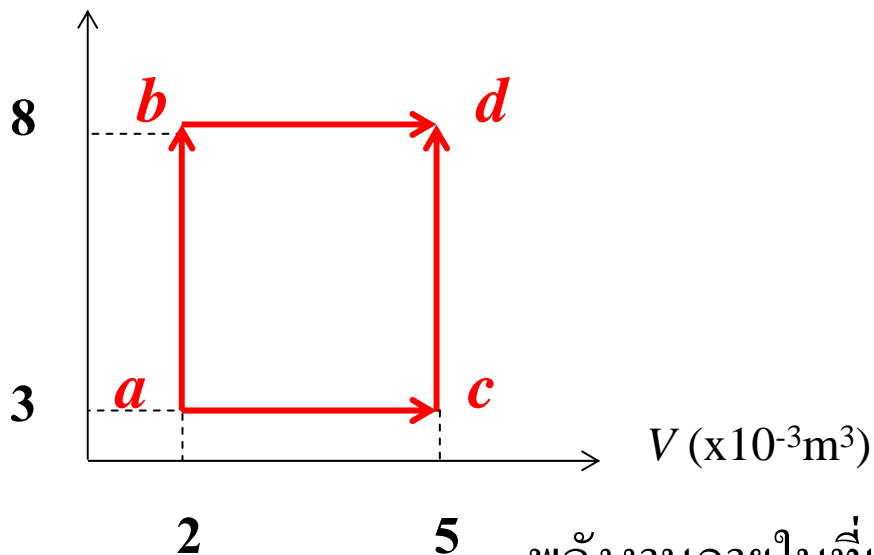
$$\Delta U = Q = 150 \text{ J} \quad \text{ตอบ}$$

ตัวอย่าง

จากแผนภาพ PV-Diagram ถ้าในช่วง ab ระบบได้รับความร้อน 150 J และในช่วง bd ระบบได้รับความร้อน 600J จงหา

ข) พลังงานภายในที่เปลี่ยนไปในช่วง abd

P ($\times 10^4 \text{Pa}$)



วิธีทำ

งานที่ทำได้ในช่วง $b \rightarrow d$ คือ

$$W_{b \rightarrow d} = P\Delta V = (8 \times 10^4)(5 \times 10^{-3} - 2 \times 10^{-3}) \\ = 240 \text{ J}$$

พลังงานภายในที่เปลี่ยนแปลงในช่วงนี้คือ

$$\Delta U_{b \rightarrow d} = Q - W = 600 - 240 \\ = 360 \text{ J}$$

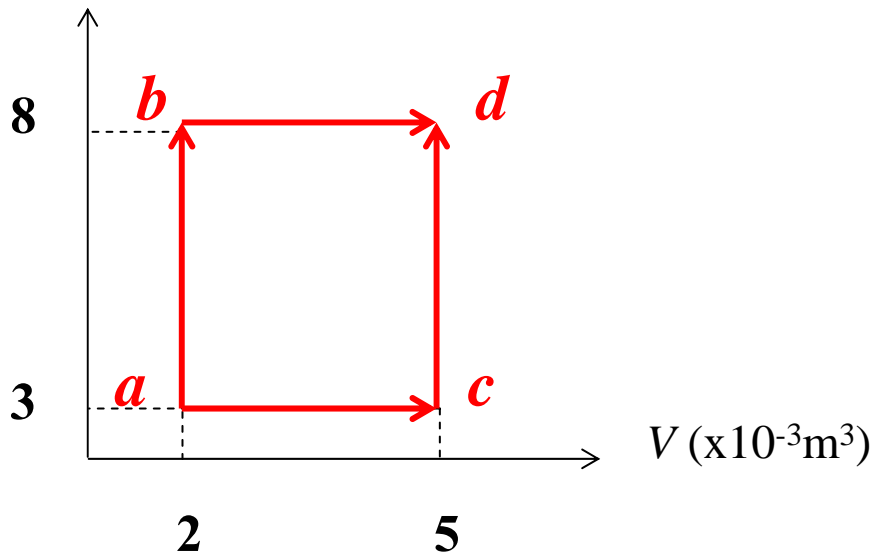
พลังงานภายในที่เปลี่ยนแปลงในช่วง $a \rightarrow b \rightarrow d$ หาได้จาก

$$\Delta U_{a \rightarrow b \rightarrow d} = \Delta U_{a \rightarrow b} + \Delta U_{b \rightarrow d} = 150 + 360 = 510 \text{ J}$$

ตัวอย่าง

จากแผนภาพ PV-Diagram ถ้าในช่วง ab ระบบได้รับความร้อน 150 J และในช่วง bd ระบบได้รับความร้อน 600J จงหา

P ($\times 10^4 \text{Pa}$)



ค) ความร้อนทั้งหมดที่ให้แก่ระบบในช่วง acd

วิธีทำ

งานที่ระบบทำทั้งหมดในช่วง $a \rightarrow c \rightarrow d$

$$\begin{aligned} W_{a \rightarrow c \rightarrow d} &= W_{a \rightarrow c} + W_{c \rightarrow d} = W_{a \rightarrow c} \\ &= (3 \times 10^4)(5 \times 10^{-3} - 2 \times 10^{-3}) \\ &= 90 \text{ J} \end{aligned}$$

เนื่องจากพลังงานภายในไม่ขึ้นกับเส้นทาง

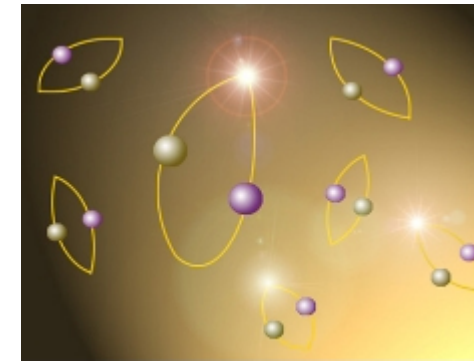
$$\Delta U_{a \rightarrow c \rightarrow d} = \Delta U_{a \rightarrow b \rightarrow d} = 510 \text{ J}$$

$$\Delta U = Q - W \rightarrow Q = W + \Delta U = 510 + 90 = 600 \text{ J}$$

คิดกันสนุกๆกับ Quantum Vacuum

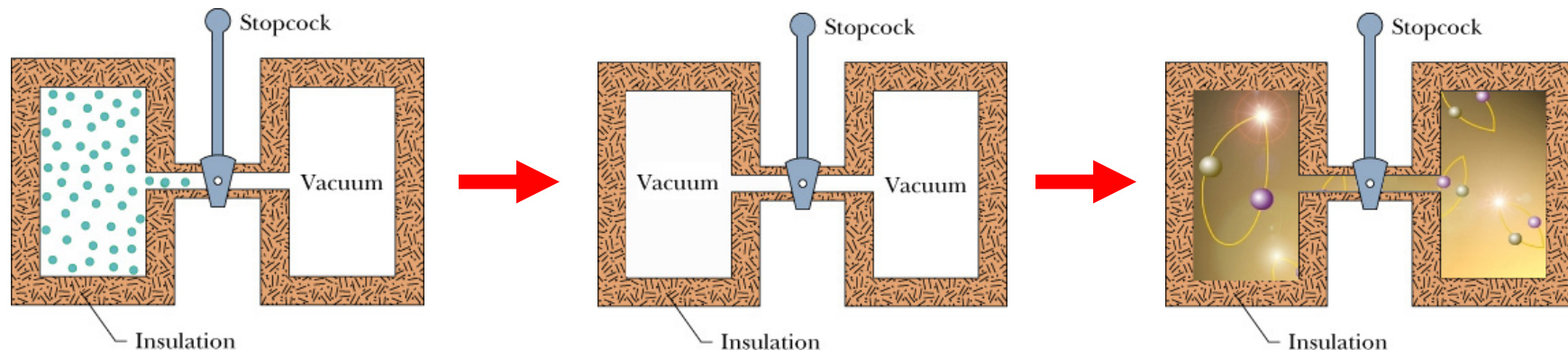
ในควอนตัมฟิสิกส์ สุญญากาศ หรือ Vacuum ไม่ใช่สถานะที่ไม่มีอะไรอยู่เลย แต่เป็นสถานะที่มีพลังงานต่ำสุด โดย ความหนาแน่นของพลังงานสุญญากาศมีค่าคงที่

$$\rho = \frac{E}{Vc^2} \approx 10^{-30} \text{ g / cm}^3$$



Pair production ใน Quantum Vacuum

เราอาจจะพิจารณากระบวนการขยายปริมาตรของระบบ โดยพิจารณาว่าการขยายตัวของสุญญากาศควอนตัม



Vacuum Energy มีความดันมีค่าลบ

เนื่องจากสุญญากาศมีความหนาแน่นพลังงานคงที่ เท่ากับ ρ ดังนั้นพลังงานภายในของระบบสุญญากาศจะเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาตรเพิ่มขึ้น ทันทีที่เปิดวาล์วให้ก๊าซของ Vacuum ขยายตัว พลังงานของระบบจะเพิ่มขึ้น

$$\Delta U \propto \rho \Delta V > 0$$

จากกฎข้อที่ ๑ ของอุณหพลศาสตร์จะได้ว่า

$$\Delta U = \Delta Q - W = -W \quad , \Delta Q = 0$$

นั่นคือ

$$\Delta U = -\int P dV > 0$$

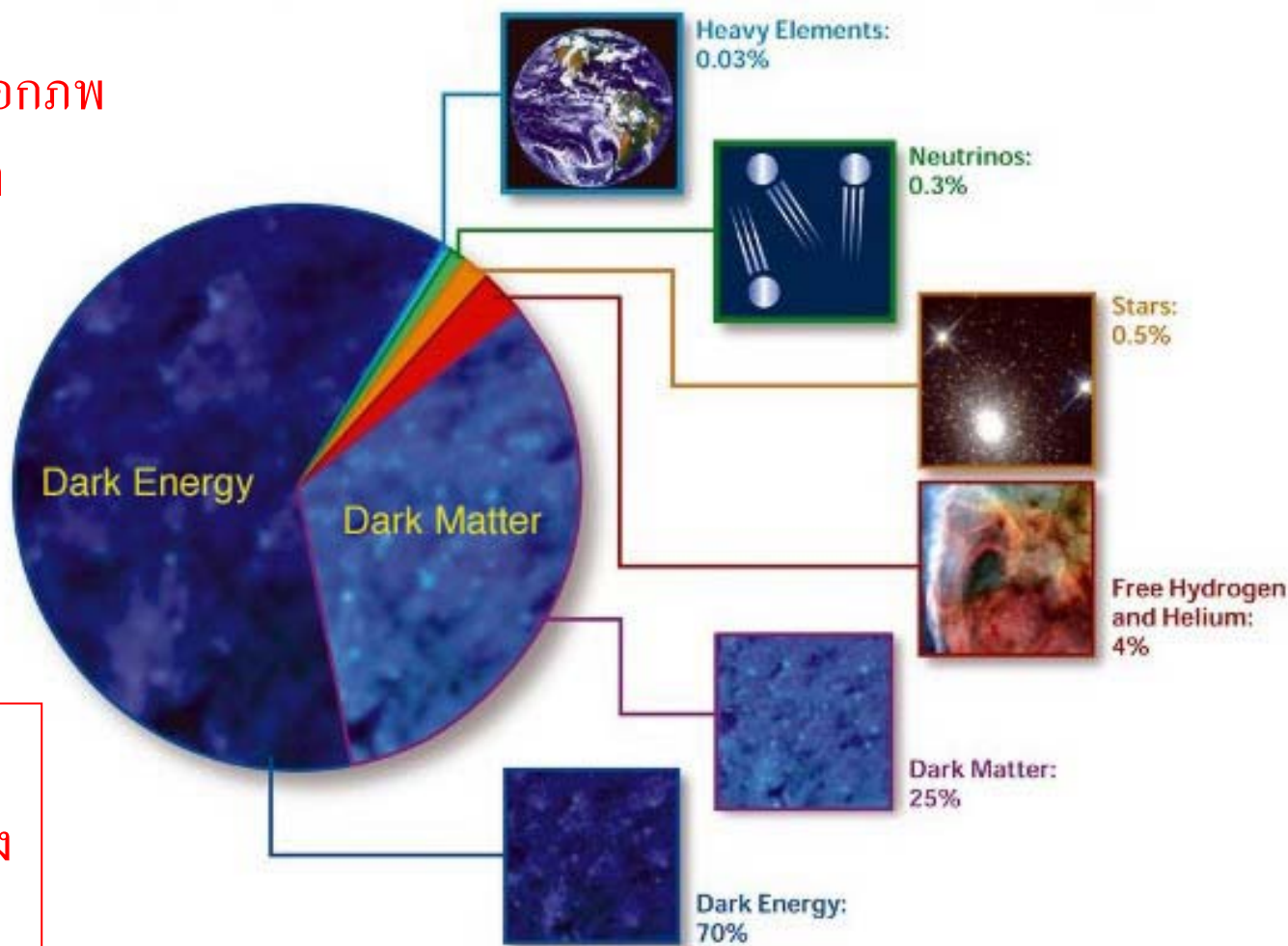
เนื่องจาก dV มีค่ามากกว่าศูนย์เพราะระบบขยายปริมาตร ดังนั้นสมการข้างบนจึงบอกว่า Vacuum state มีความดันเป็นค่า “ลบ”

ปัจจุบันนักฟิสิกส์เรียก Vacuum Energy ว่า Dark Energy มีส่วนทำให้เอกภพขยายตัว

พลังงานมืด Dark Energy มีอยู่ถึง 70 เปอร์เซ็นต์ของเอกภพ

Dark Energy ทำให้เอกภพ
ขยายตัวด้วยความเร่ง
ค้นพบเมื่อปี 1998

นักฟิสิกส์ยังไม่ทราบ
แน่ชัดถึงธรรมชาติของ
Dark Energy



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(คติปริศนา
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	

