

ทบทวนพลังงานภายในและความร้อนจำเพาะ

ความร้อนจำเพาะของก๊าซชนิดต่างๆคำนวณได้จาก

$$C_V = \frac{1}{M} \frac{\partial U}{\partial T}$$

ก๊าซ	พลังงานภายใน	ความร้อนจำเพาะ
Monatomic gas (He, Ne, Ar, ...)	$U = \frac{3}{2} NkT$	$\frac{3k}{2m}$
Diatomic molecules (N ₂ , O ₂ , CO, ...)	$U = \frac{5}{2} NkT$	$\frac{5k}{2m}$
non-linear molecules (H ₂ O, NH ₃ , ...)	$U = 3NkT$	$\frac{3k}{m}$

ไม่คำนึงถึงการสั่นของโมเลกุล

เรานิยามความร้อนจำเพาะในกรณีที่มีความดันคงที่เป็น

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

ค่าแกมมา

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

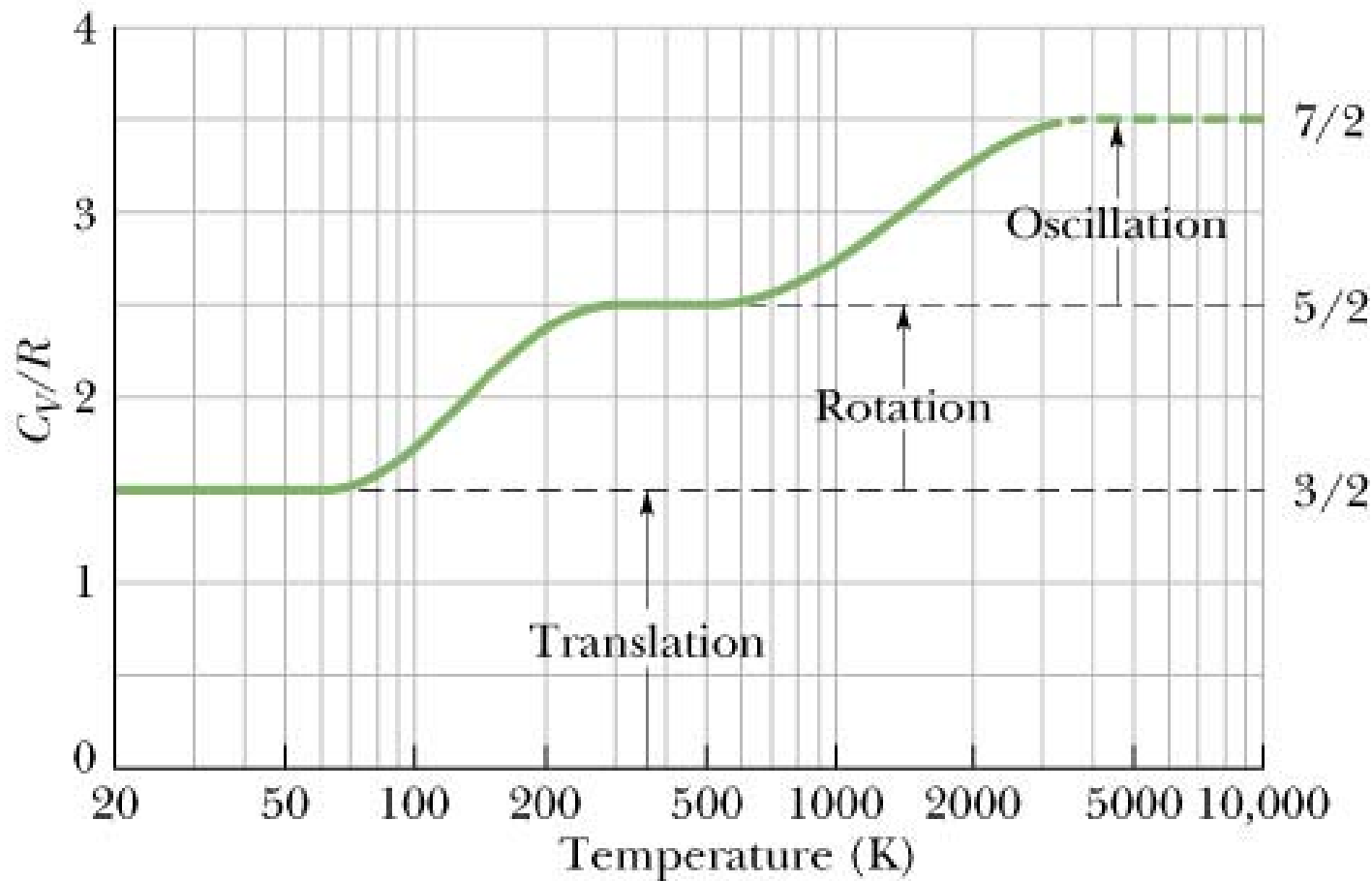
ในกรณีของก๊าซโมเลกุลเดี่ยว $C_V = \frac{3k}{2m}$ จะได้ว่า

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

ในกรณีของก๊าซโมเลกุลคู่ $C_V = \frac{5k}{2m}$ จะได้ว่า (ไม่รวมการสั่น)

$$\gamma = \frac{5/2 + 1}{5/2} = \frac{7}{5}$$

ในระบบที่มีอุณหภูมิต่ำ พลังงานภายในของก๊าซจะขึ้นอยู่กับ การเคลื่อนที่ตำแหน่ง เสียเป็นส่วนใหญ่ ในกรณีที่อุณหภูมิมีก่าสูงมาก ๆ ข้อมูลจากการทดลองบอกว่า เราจะต้องคำนึงถึงการหมุน และการสั่นของโมเลกุลด้วย



กราฟแสดงค่าความร้อนจำเพาะของก๊าซไฮโดรเจนที่อุณหภูมิต่างๆ

กฎข้อที่ ๒ ของอุณหพลศาสตร์



ในโลกนี้มีสามสิ่งที่ไม่หวนคืน ... หนึ่งคือสายน้ำที่ไหลไปแล้ว

... สองคือลูกกระสุนปืนที่ลั่นออกจากปากกระบอกแล้ว

... และสามคือโอกาสงามๆ ที่ผ่านไปแล้ว

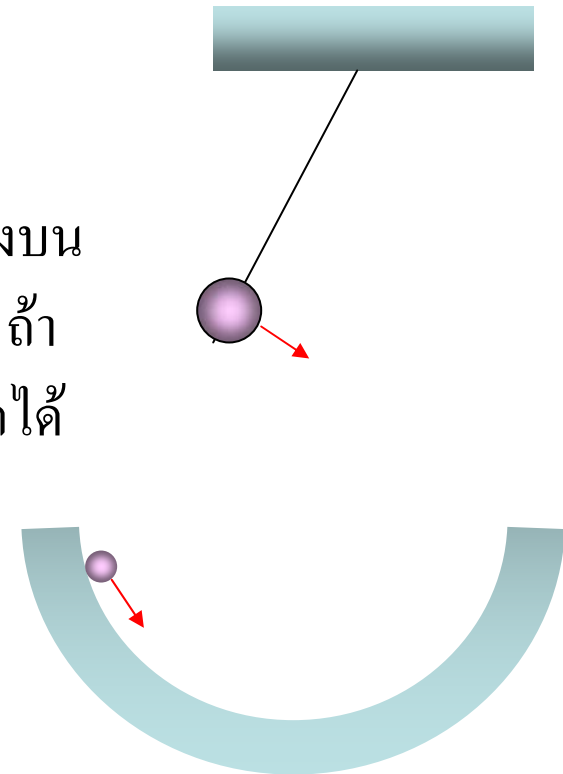
จงอย่าปล่อยให้โอกาสดีๆ ที่ผ่านเข้ามาในชีวิตให้หลุดลอยไป

The direction of time

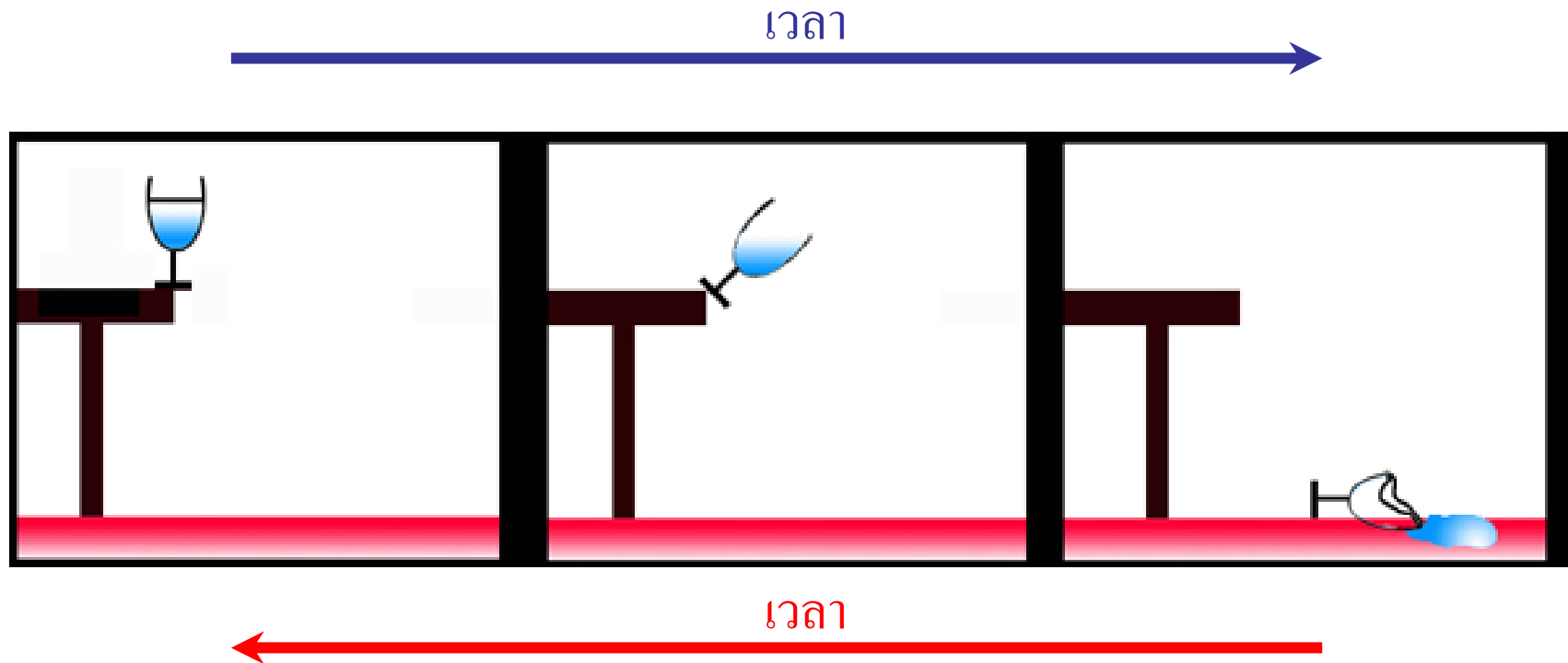
ในวิชากลศาสตร์ กระบวนการต่างๆที่เราศึกษาส่วนใหญ่จะเป็นกระบวนการที่สามารถย้อนกลับได้ (reversible process) ตัวอย่างเช่น ถ้าเราฉายภาพยนตร์ที่แสดงการแกว่งของตุ้มนาฬิกา เราจะไม่สามารถบอกได้ว่าภาพยนตร์ฉายไปข้างหน้าหรือว่าฉายเทปย้อนกลับ

แต่ในชีวิตประจำวัน เราพบหลายๆปรากฏการณ์ที่ไม่สามารถย้อนกลับได้ เช่น ลูกปืนที่ยิงออกจากปากกระบอก ลูกหินกลิ้งบนพื้นฝืด ลูกตุ้มนาฬิกาที่แกว่งช้าลงเพราะแรงต้านของอากาศ ถ้าเราฉายภาพยนตร์แสดงปรากฏการณ์เหล่านี้ เราจะสามารถบอกได้ทันทีว่า ภาพยนตร์ฉายไปข้างหน้า หรือเล่นเทปกลับหลัง

ในธรรมชาติเวลามีทิศทาง ทำไมจึงเป็นเช่นนั้น?



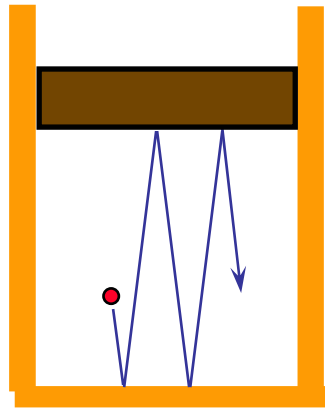
Time reversal



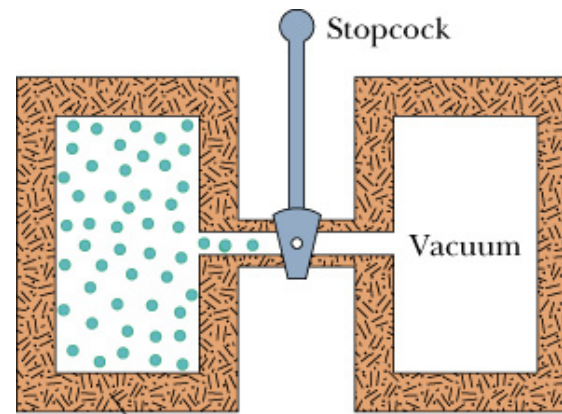
กลศาสตร์ของนิวตันไม่สนใจทิศทางของเวลา อย่างไรก็ตามในชีวิตประจำวันปรากฏการณ์
อย่างในรูปทิศทางของเวลาจากซ้ายไปขวาสามารถเห็นได้ทั่วไป ในขณะที่ทิศทางของเวลา
จากขวาไปซ้ายไม่สามารถพบได้ในชีวิตประจำวัน

Reversible and Irreversible Process

ในทฤษฎีจลน์ของก๊าซ ถ้าเราพิจารณา (ภาพยนตร์) การชนผนังของแต่ละโมเลกุล เราไม่สามารถบอกทิศทางของเวลาได้ (ไม่รู้ว่ภาพยนตร์เดินไปข้างหน้าหรือเล่นเทปกลับ)



Microscopic



Macroscopic

แต่ถ้าเราพิจารณาโมเลกุลก๊าซในระดับ Macroscopic เช่น การฟุ้งของก๊าซ เราพบว่าก๊าซจะฟุ้งจากบริเวณที่ก๊าซมีความหนาแน่นมากไปยังความหนาแน่นน้อย ปรากฏการณ์ย้อนกลับไม่สามารถเกิดขึ้นได้

ระบบสูญเสียคุณสมบัติการย้อนกลับได้ได้อย่างไร เวลาทิศทางได้อย่างไร

Irreversible process and Entropy

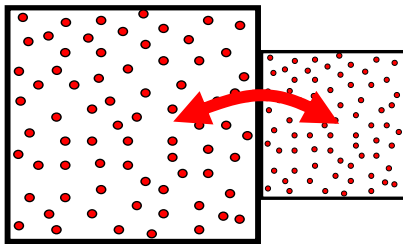
พลังงานจะถ่ายเทไปในทิศทางใด?

Hot object

Cold object

หลักการอนุรักษ์พลังงาน (กฎข้อที่หนึ่งของเทอร์โมไดนามิก) ไม่ได้ตอบปัญหาทิศทางของการถ่ายเทของพลังงาน การเปลี่ยนแปลงของพลังงานในระบบปิด ก็ไม่สามารถบอกได้ว่า กระบวนการที่สนใจจะสามารถย้อนกลับ (reversible) ได้หรือไม่

ในสถานการณ์นี้ และอีกในหลายๆกระบวนการ เช่น ทิศทางการถ่ายเทของพลังงาน การฟุ้งของก๊าซ จะถูกควบคุมด้วยกฎข้อที่สองของอุณหพลศาสตร์



Concept ใหม่ Entropy

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

เอ็นโทรปี กับ the arrow of time

เอ็นโทรปีต่างกับพลังงานคือมันไม่เข้าไปตามกฎอนุรักษ์ ในระบบปิดหนึ่งๆ พลังงานรวมของระบบจะมีค่าคงที่ แต่เอ็นโทรปีรวมของระบบปิดจะมีค่าเพิ่มขึ้นเสมอ เนื่องจากคุณสมบัตินี้ บางครั้งเราจะเรียกการเปลี่ยนแปลงของเอ็นโทรปีว่าเป็น arrow of time กำหนดทิศทางกาลไหลของเวลา เนื่องจากมันกำหนดทิศทางกาลไหลของเวลา

มีอยู่สองวิธีหลักๆที่จะนิยามการเปลี่ยนแปลงของเอ็นโทรปี

- 1 นิยามโดยอาศัยอุณหภูมิตั้ง และ พลังงานที่ไหลเข้าออกจากระบบ
 - 2 นิยามโดยการพิจารณาการจัดเรียงตัวของโมเลกุลในระบบก๊าซ (วิธีทางกลศาสตร์สถิติ)
- ในระดับปีที่ 1 นี้ส่วนใหญ่เราจะพิจารณาการเปลี่ยนแปลงของเอ็นโทรปีโดยวิธีแรก ถ้ามีเวลาจะอธิบายวิธีที่สองอย่างคร่าวๆ

นิสิตจะสังเกตว่า เราพิจารณาการเปลี่ยนแปลงของเอ็นโทรปี แต่เรายังไม่ได้นิยามอย่างชัดเจนว่า เอ็นโทรปีคืออะไร -> โปรดคอยจรอ!

กระบวนการผันกลับไม่ได้ (อีกครั้ง)

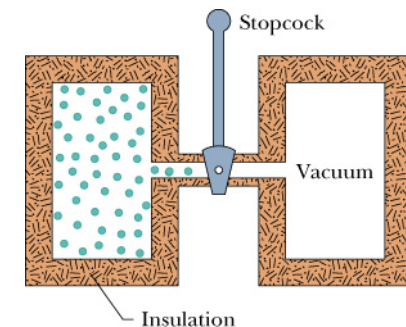
ก่อนที่จะไปพิจารณาเอ็นโทรปี เรากลับมาพิจารณากระบวนการทางอุณหพลศาสตร์ที่ผันกลับไม่ได้กันอีกครั้ง ในที่นี้เราพิจารณาตัวอย่างที่สำคัญ 2 กรณี

1) การถ่ายเทความร้อนจากระบบที่มีอุณหภูมิต่างกัน ความร้อนไหลจากระบบอุณหภูมิสูงไปอุณหภูมิต่ำเสมอ ไม่มีไหลย้อนกลับ

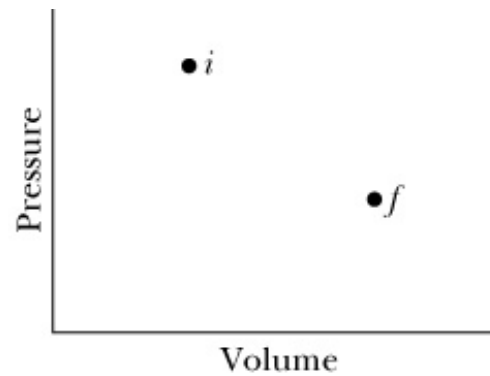
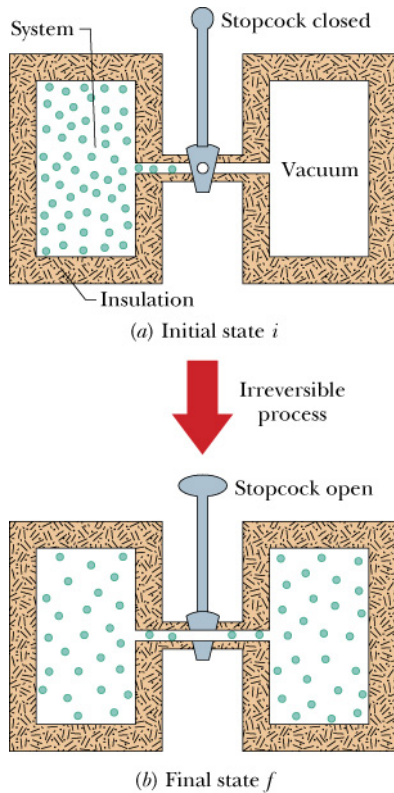
Hot object

Cold object

2) การเปลี่ยนแปลงที่เป็นไปแบบไม่มีสมดุล (ไม่เป็นแบบ quasi-static) ซึ่งทำให้เราไม่สามารถนิยาม P และ V ได้ชัดเจน เช่น กระบวนการ Free expansion เมื่อก๊าซแพร่ไปด้านขวา แล้วไม่สามารถเกิดกระบวนการย้อนกลับได้



บางกรณี P และ V ในบางกรณีไม่สามารถนิยามได้อย่างชัดเจน เช่น พิจารณากระบวนการ free expansion ซึ่งเป็นกระบวนการที่ผันกลับไม่ได้ (irreversible process) กราฟ P - V ของการเปลี่ยนแปลงนี้ เขียนได้ดังรูปข้างล่าง ซึ่งแสดงได้เฉพาะสถานะตั้งต้น (i) และสถานะสุดท้าย (f) เมื่อระบบเข้าสู่ภาวะสมดุล (equilibrium)



สถานะที่อยู่ระหว่างกลางไม่สามารถทำนายได้ เพราะสถานะเหล่านั้นไม่ได้อยู่ในสมดุล P V และ T มีการเปลี่ยนแปลงแบบรวดเร็ว และไม่สามารถนิยามค่าได้แน่นอน (การเปลี่ยนแปลงไม่เป็นแบบ Quasi-static)

คำถาม

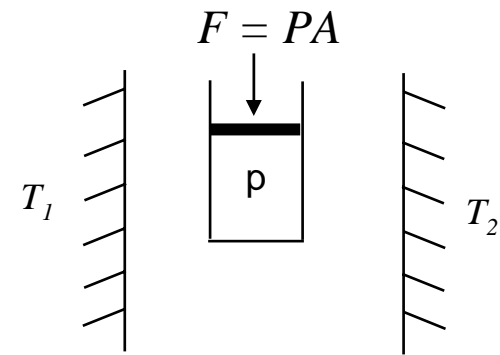
พิจารณากระบอกลูกสูบ ซึ่งสามารถที่จะเป็นระบบ
อิสระ หรือเชื่อมต่อกับแหล่งความร้อน อุณหภูมิ
 T_1 หรือ T_2 ตามลำดับ กระบวนการต่อไปนี้เป็น
กระบวนการที่ผันกลับได้หรือไม่ เพราะอะไร?

1) Isochoric (ปริมาตรคงที่)

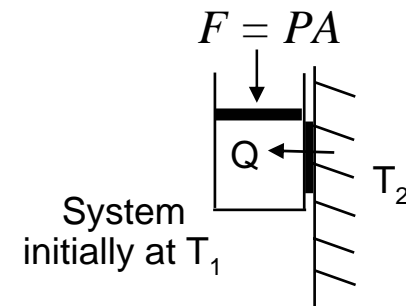
- ก) ผันกลับได้ ข) ผันกลับไม่ได้

2) Isobar (ความดันคงที่)

- ก) ผันกลับได้ ข) ผันกลับไม่ได้



ระบบอิสระ



ระบบสัมผัสกับแหล่งความร้อนภายนอก

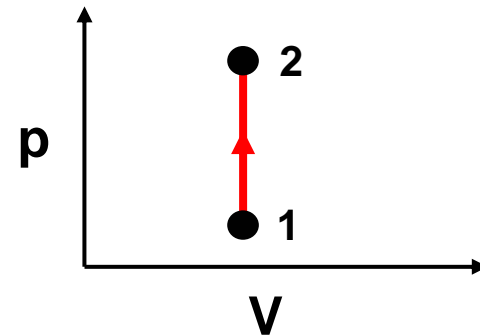
คำอธิบาย

1) Isochoric (ปริมาตรคงที่)

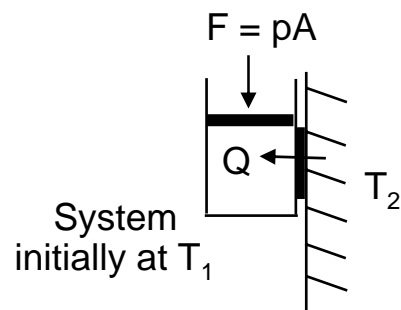
ก) ผันกลับได้ ข) ผันกลับไม่ได้

2) Isobar (ความดันคงที่)

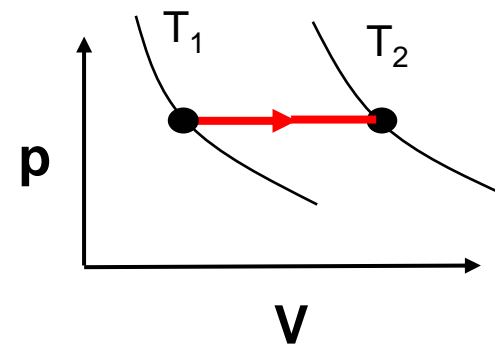
ก) ผันกลับได้ ข) ผันกลับไม่ได้



ระบบมีการสัมผัสกับสิ่งแวดล้อม ความร้อนถ่ายเท
จากที่ๆอุณหภูมิสูง ไปที่ๆมีอุณหภูมิต่ำกว่า



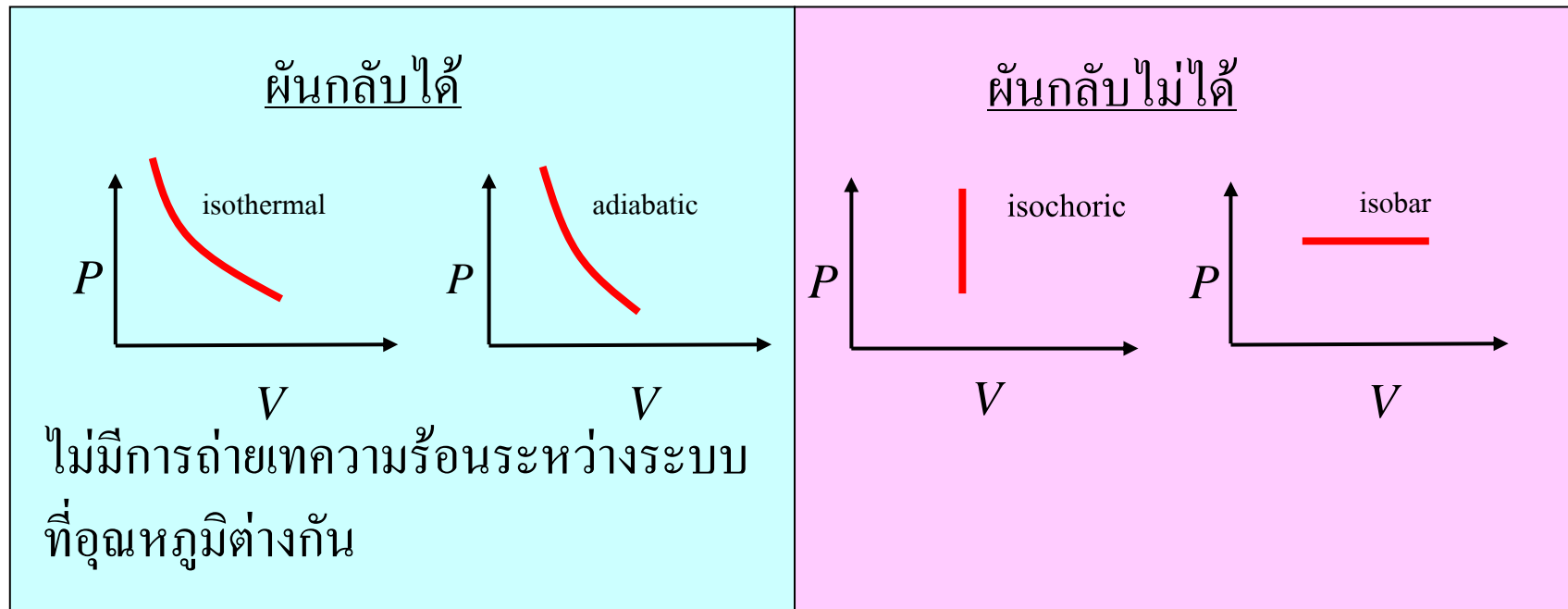
แม้ว่าจะเป็นการเปลี่ยนแปลง
ช้าๆ แต่ไม่สามารถย้อนกลับได้



สรุปกระบวนการผันกลับไม่ได้ของระบบก๊าซอุดมคติ

ในระบบของก๊าซ กระบวนการที่ไม่สามารถย้อนกลับได้ (irreversible process) จะเกิดขึ้นเมื่อ

1. กระบวนการเปลี่ยนแปลงเป็นแบบรวดเร็วจนความดันและปริมาตรไม่สามารถนิยามได้อย่างรัดกุม (ไม่เป็น quasi-static)
2. มีการถ่ายเทความร้อนระหว่างระบบที่มีอุณหภูมิไม่เท่ากัน



การเปลี่ยนแปลงของเอนโทรปี

ความดัน P และปริมาตร V เป็นสมบัติของสถานะหนึ่งๆ (state properties) ซึ่งจะขึ้นอยู่กับสถานะเท่านั้น ไม่ขึ้นกับกระบวนการ (ที่สถานะเดียวกัน ความดันและปริมาตรย่อมเท่ากัน ไม่ว่าจะ เป็นกระบวนการใด) เราจะสมมุติว่าสถานะของก๊าซมี state property อีกชนิดหนึ่งที่เรียกว่า เอนโทรปี และเรานิยามการเปลี่ยนแปลงของเอนโทรปี, S , จากการที่ระบบเปลี่ยนจากสถานะ i ไปเป็นสถานะ f คือ

$$\Delta S = S_f - S_i = \int_i^f \frac{dQ}{T}$$

เมื่อ Q คือความร้อนที่ไหลเข้าหรือออกจากระบบ และ T คืออุณหภูมิเคลวิน

การเปลี่ยนแปลงของเอนโทรปีในกระบวนการอุณหภูมิกงที่

สำหรับกระบวนการอุณหภูมิกงที่ซึ่งเป็นกระบวนการที่ผันกลับได้ การเปลี่ยนแปลงของเอนโทรปีสามารถคำนวณได้จาก

$$\Delta S = S_f - S_i = \int_i^f \frac{dQ}{T} = \frac{1}{T} \int_i^f dQ = \frac{Q}{T}$$

ในกรณีที่กระบวนการที่สนใจมีการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ ΔT ถ้า ΔT มีค่าน้อยๆเมื่อเทียบกับอุณหภูมิ T เราอาจประมาณได้ว่า

$$\Delta S = S_f - S_i = \frac{Q}{T_{\text{avg}}}$$

โดยที่ T_{avg} คืออุณหภูมิเฉลี่ยของระบบในกระบวนการนั้น

ตัวอย่าง

น้ำแข็งมวล 1 กิโลกรัม มีอุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส ละลายเป็นน้ำที่อุณหภูมิเดียวกัน จะมีเอนโทรปีเปลี่ยนไปเท่าไร (ตัวอย่าง 10.3 ในหนังสือฟิสิกส์ ๑)

วิธีทำ

การเปลี่ยนสถานะมีอุณหภูมิกงที่ $\Delta S = \int_i^f \frac{dQ}{T} = \frac{Q}{T}$

ความร้อนแฝงของการเปลี่ยนสถานะ $L = 80$ กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม

$$\begin{aligned}\Delta S &= \frac{Q}{T} = \frac{ML}{T} = \frac{1 \times 80}{273} = 293 \text{ แคลอรีต่อเคลวิน} \\ &= 1.23 \text{ กิโลจูลต่อเคลวิน}\end{aligned}$$

ตอบ

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	ตารางธาตุไทย1) 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	

