

บันทึกคำบรรยายสรุปวิชาฟิสิกส์อุณหภาพ (PH 314) ครั้งที่ 5

เสียงจากผู้ประกาศนำ

“การบันทึกแถบคำบรรยายสรุปกระบวนการวิชาของมหาวิทยาลัยรามคำแหง มุ่งส่งเสริมการศึกษาด้วยตนเองและบริการความรู้มายังนักศึกษาและผู้สนใจทั่วไป เพื่อให้บรรลุวัตถุประสงค์พระราชบัญญัติจัดตั้งมหาวิทยาลัยรามคำแหง เป็นตลาดวิชา.....ผลิตโดยสำนักเทคโนโลยีการศึกษามหาวิทยาลัยรามคำแหง ท่านผู้ฟังครับ ต่อไปนี้เป็นการบรรยายสรุปวิชาฟิสิกส์อุณหภาพหรือเทอร์มัลฟิสิกส์ (PH 314) ครั้งที่ 5 ในหัวข้อ

1. เอนโทรปี
2. เอนโทรปีเป็นฟังก์ชันของสภาวะ
3. เอนโทรปีของระบบอิสระที่ผ่านกระบวนการธรรมชาติจะเพิ่มขึ้นเสมอ

โดย รศ.อัจฉรา พันธุ์อำไพ ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัยรามคำแหง

*****บันทึกแถบคำบรรยายสรุปนี้ประกอบการบรรยาย
ด้วยการฉายแผ่นภาพโปร่งใสตลอดคำบรรยาย*****

เอนโทรปี

ในตอนท้ายของการบรรยายครั้งที่ 4 ได้พิจารณาวัฏจักรปิดในการหาสมการเคลลาซิอุสแต่ไม่ได้ระบุว่าวัฏจักรปิดนั้นเป็นชนิดผันกลับได้หรือผันกลับไม่ได้ ในตอนนี้จะศึกษากรณีของวัฏจักรปิดชนิดผันกลับได้โดยเฉพาะ จึงขอให้นักศึกษา (ดูรูปที่ 26) พิจารณาวัฏจักร II เป็นวัฏจักรทวนของวัฏจักร I และกำหนดความร้อนถ่ายเทสุทธิสำหรับ I คือ $d'Q_1$ และความร้อนถ่ายเทสุทธิสำหรับวัฏจักร II คือ $d'Q_2$



รูปที่ 26

โดยที่วัฏจักร II เป็นวัฏจักรทวนของวัฏจักร I ดังนั้น $d'Q_1 = -d'Q_2$ แต่จากสมการเคลลาซิอุส จะได้ว่า

สำหรับวัฏจักร I : $\oint (d'Q_1/T) \leq 0$ และ

สำหรับวัฏจักร II : $\oint (d'Q_2/T) \leq 0$ หรือ $-\oint (d'Q_1/T) \leq 0$

เมื่ออุณหภูมิ T เป็นบวกเสมอในสเกลองศาสัมบูรณ์ (เคลวิน) จะเห็นว่าค่าเดียวกันเป็นทั้งบวกและค่าลบ และยังน้อยกว่าหรือเท่ากับศูนย์ในขณะเดียวกัน ซึ่งเป็นไปไม่ได้ แต่จะเป็นไปได้ถ้าต่างก็เท่ากับศูนย์

ดังนั้น ในกรณีของวัฏจักรปิดชนิดผันกลับได้ นี้ จะใช้เครื่องหมาย “=” จึงได้ $\oint_{\text{rev}} (d'Q/T) = 0$

ส่วนวัฏจักรอื่นที่ไม่ใช่วัฏจักรปิดชนิดผันกลับได้ หรือก็คือถ้าเป็นวัฏจักรชนิดผันกลับไม่ได้ จึงจะใช้เครื่องหมาย “<” จึงได้ $\oint_{\text{irr}} (d'Q/T) < 0$

ฉะนั้น ในสมการเคลลาซิอุสซึ่งมีทั้งเครื่องหมาย “=” และ “<” แต่นักศึกษาได้เห็นแล้วว่า เครื่องหมาย “=” จะใช้กับกรณีของวัฏจักรปิดชนิดผันกลับได้เท่านั้น และเครื่องหมาย “<” จะใช้กับวัฏจักรปิดชนิดผันกลับไม่ได้

สำหรับกรณีของวัฏจักรปิดชนิดผันกลับได้ ซึ่งหาค่าของ $d'Q/T$ ตลอดวัฏจักรแล้วมีผลลัพธ์เป็นศูนย์ แสดงว่าอัตราส่วน $d'Q/T$ นี้เป็นสมบัติของระบบ โดยไม่ขึ้นกับชนิดของกระบวนการ แต่ขึ้นกับสถานะเท่านั้น ปริมาณนี้คือเอนโทรปีที่เปลี่ยนไปของระบบดังนี้ $dS = d'Q/T$

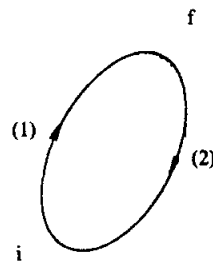
ขอให้นักศึกษาสังเกตว่าในขณะที่ $d'Q$ ไม่ใช่อนุพันธ์ที่แน่นอน เพราะ Q เป็นปริมาณที่ขึ้นกับชนิดของกระบวนการ แต่ $d'Q/T = dS$ จะเป็นอนุพันธ์ที่แน่นอน และจะได้ว่าเอนโทรปี

(S) เป็นฟังก์ชันของสภาวะ ซึ่งจะพิสูจน์ให้เห็นจริงได้ต่อไปนี้ และจะแสดงวิธีหาค่าเอนโทรปีในลำดับต่อไปด้วย

เอนโทรปีเป็นฟังก์ชันของสภาวะ

ลักษณะเฉพาะที่สำคัญของเอนโทรปีก็คือ เอนโทรปีเป็นปริมาณที่ไม่ขึ้นกับชนิดของกระบวนการ แต่ขึ้นกับสภาวะเริ่มต้นและสภาวะสุดท้ายเท่านั้น ซึ่งสามารถแสดงให้เห็นจริงได้ดังนี้ โดยขอให้พิจารณา (ดูรูปที่ 27) ระบบซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงตามวัฏจักร

พิจารณาวัฏจักรปิดชนิดผันกลับได้ที่เริ่มต้นจากสภาวะ i ไปตามเส้นทาง (1) ไปยังจุด f และกลับสู่สภาวะเริ่มต้น i ตามเส้นทาง (2) โดยกระบวนการชนิดผันกลับได้ ซึ่งตามคำจำกัดความของกระบวนการที่ผันกลับได้นั้น ระบบจะอยู่ในสภาวะสมดุลตลอดเวลา ทำให้ทราบค่าต่าง ๆ ของระบบ ในระหว่างที่กระบวนการดำเนินไป จึงสามารถนำมาเขียนลงในกราฟ แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าต่าง ๆ ตามเส้นทางการเปลี่ยนแปลงของกระบวนการนั้นได้



รูปที่ 27

ดังนั้น ในกรณีนี้เมื่อเริ่มต้นจากสภาวะ i ไปยังสภาวะ f ตามเส้นทาง (1) และกลับจากสภาวะ f ไปยังสภาวะ i ตามเส้นทาง (2) จะได้

$$\oint dQ/T = \int_i^f (1) \frac{dQ}{T} + \int_f^i (2) \frac{dQ}{T}$$

เป็นศูนย์ หรือเขียนเสียใหม่ได้ว่า

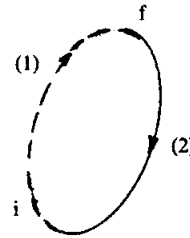
$$\int_i^f (1) \frac{dQ}{T} - \int_i^f (2) \frac{dQ}{T} = 0$$

แสดงว่า เอนโทรปีที่เปลี่ยนไปตามเส้นทาง (1) จะเท่ากับเอนโทรปีที่เปลี่ยนไปตามเส้นทาง (2) เพราะอินทิกรัลทั้งสองคือเอนโทรปีที่เปลี่ยนไปของระบบในแต่ละเส้นทาง จึงได้ว่า $ds_1 = ds_2$

จึงสรุปได้ว่า ในเมื่อเอนโทรปีที่เปลี่ยนไปของระบบจากจุดเริ่มต้น “ i ” ไปยังจุดสุดท้าย “ f ” ตามเส้นทาง (1) และ (2) เท่ากัน ดังนั้นเอนโทรปีจึงไม่ขึ้นกับชนิดของกระบวนการ แต่ขึ้นกับสภาวะเริ่มต้นและสภาวะสุดท้ายเท่านั้น เรียกได้ว่าเอนโทรปีเป็นฟังก์ชันของสภาวะ และโดยที่หลักการเอนโทรปีนับว่าเป็นกฎข้อที่สองของเทอร์โมไดนามิกส์ จึงกล่าวได้ว่า กฎข้อที่สองเป็นฟังก์ชันของเอนโทรปี ในขณะที่ได้ศึกษาแล้วว่า กฎข้อที่หนึ่งเป็นฟังก์ชันของพลังงานภายใน

เอนโทรปีของระบบอิสระที่ผ่านกระบวนการธรรมชาติจะเพิ่มขึ้นเสมอ

ปรากฏว่าค่าเอนโทรปีของระบบอิสระที่ผ่านกระบวนการธรรมชาติ ซึ่งเกิดขึ้นเองและไม่สามารถผันกลับได้จะเพิ่มขึ้นเสมอ ในที่นี้จะพิจารณาระบบอิสระ ซึ่งไม่มีทั้งงานกระทำและความร้อนถ่ายเทระหว่างระบบกับสิ่งแวดล้อมหรือระบบอื่นใด โดยมีการเปลี่ยนแปลงตามวัฏจักรปิด (รูปที่ 25 และ 28) ซึ่งระบบเปลี่ยนแปลงจากสถานะเริ่มต้น i อย่างรวดเร็ว ทำให้ระบบไม่อยู่ในสถานะสมดุล ตลอดเวลาที่กระบวนการดำเนินไปจนถึงสถานะ f จึงไม่สามารถทราบค่าต่าง ๆ ที่แน่นอนของระบบ ในขณะที่กระบวนการดำเนินไปได้ และไม่อาจเขียนเส้นทางที่แน่นอนสำหรับกระบวนการจาก i ไป f ซึ่งได้แสดงไว้ด้วยเส้นประ เพื่อให้เห็นว่ามี การเปลี่ยนแปลงจากสถานะ i ไป f เท่านั้น ตามเส้นทาง (1) แต่จากสถานะ f กลับไปสู่สถานะเดิม i โดยกระบวนการดำเนินไปตามเส้นทาง (2) ซึ่งระบบอยู่ในสถานะสมดุลหรือกึ่งสมดุล ตลอดเวลา ทำให้ทราบค่าต่าง ๆ ของระบบได้อย่างแน่นอน จึงสามารถเขียนเส้นทาง (2) ที่แน่นอนได้อย่างชัดเจนด้วยเส้นทึบ



รูปที่ 28

วัฏจักรดังกล่าวนี้ (รูปที่ 25) จึงเป็นวัฏจักรที่ผันกลับไม่ได้ เพราะว่าถึงแม้จะทราบเส้นทางที่แน่นอนสำหรับเส้นทาง (2) แต่ไม่ทราบเส้นทางของ (1) จึงไม่อาจมีวัฏจักรทวนที่จะให้กระบวนการเริ่มต้นจาก f ไป i ตามเส้นทาง (1) เพื่อที่กลับไปยัง f อีกครั้งหนึ่งตามเส้นทาง (2) ได้

สำหรับอสมการเคลาสซุสในกรณีที่เป็นวัฏจักรปิดชนิดผันกลับไม่ได้ ซึ่งพิจารณาแล้วว่า $\oint (dQ/T) < 0$ ดังนั้น

$$(1) \int_{i, \text{irr}}^f (dQ/T) + (2) \int_{f, \text{rev}}^i (dQ/T) < 0$$

โดยที่ระบบเป็นระบบอิสระไม่มีความร้อนถ่ายเท ($d'Q = 0$) และในกรณีนี้ระบบผ่านกระบวนการที่ผันกลับไม่ได้ ดังนั้น เฉพาะพจน์แรกของอสมการข้างต้นจึงได้ว่า

$$(1) \int_{i, \text{irr}}^f (dQ/T) = 0$$

และเหลือพจน์ที่สองของอสมการข้างต้นไว้ว่า

$$(1) \int_{f, \text{rev}}^i (dQ/T) < 0$$

หรือเขียนได้ว่า $s_i - s_f < 0$ โดยที่ s คือค่าเอนโทรปีและ s_i คือเอนโทรปีของระบบที่สภาวะ i และ s_f คือ เอนโทรปีของระบบที่สภาวะ f โดยที่ได้แสดงแล้วว่าเอนโทรปีเป็นค่าที่ขึ้นกับสภาวะ จึงสามารถหาค่าที่สภาวะต่าง ๆ ได้

เมื่อได้ผลลัพธ์ว่า $s_i - s_f < 0$ แสดงว่าผลลัพธ์มีค่าติดลบ หรือตัวตั้ง s_i มีค่าน้อยกว่า ตัวลบ s_f นั่นคือ $s_f > s_i$ แสดงว่า เอนโทรปีในตอนสุดท้ายมากกว่าเอนโทรปีในตอนเริ่มต้น หรือกล่าวได้ว่าเอนโทรปีของระบบอิสระที่ผ่านกระบวนการซึ่งเกิดขึ้นเองโดยธรรมชาติ ซึ่งเป็นกระบวนการที่ผันกลับไม่ได้จะเพิ่มขึ้นเสมอ ดังจะได้แสดงวิธีหาค่าของเอนโทรปีที่เปลี่ยนไปของระบบในตัวอย่างต่อไปนี้

ตัวอย่าง 2-4 การหาเอนโทรปีที่เพิ่มขึ้น (อุณหภูมิลเปลี่ยนแปลง)

น้ำบริสุทธิ์ 1 กิโลกรัม ทำให้อุ่นขึ้นโดยการผ่านกระแสไฟฟ้าเข้าไปในขดลวดทำความร้อน ซึ่งจุ่มอยู่ในน้ำนั้น จากเดิม 20°C . เป็น 80°C . จะหาค่าเอนโทรปีที่เปลี่ยนไปของน้ำ

วิธีทำ

การหาค่าเอนโทรปีที่เปลี่ยนไปจะหาจากความสัมพันธ์

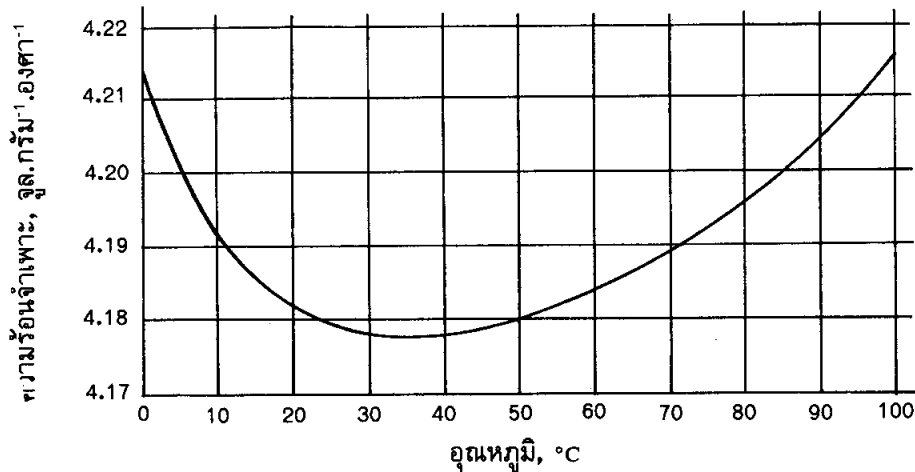
$$ds = \int (dQ/T) \text{ ซึ่งจะหาค่า } s_f - s_i$$

โดยนักศึกษาจะต้องไม่ลืมว่าการหาค่าที่เปลี่ยนไปใด ๆ จะต้องนำค่าสุดท้ายตั้งลบด้วยค่าเริ่มต้นเสมอ ซึ่งตรงกับการหาค่าโดยวิธีอินทิเกรชันอยู่แล้ว ด้วยการแทนค่าขีดจำกัดบนเสียก่อน แล้วจึงนำค่าขีดจำกัดล่างแทนลงไป หักลบกัน

ขอให้นักศึกษาสังเกตด้วยว่า ความสัมพันธ์ $ds = dQ/T$ นั้น เป็นอัตราส่วนระหว่าง dQ กับ T ไม่ใช่ dQ กับ dT เพราะว่า dQ/dT คือค่าความจุความร้อน (C)

ในกรณีนี้ระบบมีอุณหภูมิตั้งแต่ 20°C . เป็น 80°C . จึงต้องหาความสัมพันธ์ระหว่าง Q กับ T ให้ได้เสียก่อน ซึ่งนักศึกษาทราบความสัมพันธ์ $dQ = mc dT$ เป็นอย่างดีอยู่แล้ว โดยที่ m คือมวลสาร c คือความจุความร้อนจำเพาะ และ dT คืออุณหภูมิตั้งแต่ที่เปลี่ยนไป

ถึงแม้ความร้อนจำเพาะของน้ำจะมีค่าไม่คงที่ (ดังแสดงไว้ในรูปที่ 29) ภายใต้ความดันบรรยากาศปกติ (1 บรรยากาศ) แต่ถ้าไม่ต้องการความละเอียดถูกต้องมากนักก็อาจใช้ค่าความร้อนจำเพาะของน้ำประมาณ 1.0 กิโลแคลอรี/ก.ก.-องศา ได้



รูปที่ 29 ค่าความร้อนจำเพาะของน้ำที่อุณหภูมิต่าง ๆ

เมื่อแทนค่าลงในความสัมพันธ์ข้างต้นดังนี้

$$S_f - S_i = m c_p \int_{(273+20)K}^{(273+80)K} (dT/T)$$

$$= (1 \text{ kg.} \times \frac{1 \text{ kcal}}{\text{kg-deg}}) \ln \frac{353}{293}$$

จะได้ว่า $S_f - S_i = +0.186 \text{ kcal/deg.}$

โดยที่ผลลัพธ์เป็นบวก จึงแสดงว่าในกรณีนี้เอนโทรปีของระบบเพิ่มขึ้น ซึ่งระบบนี้ได้ผ่านกระบวนการทางธรรมชาติ โดยมีความร้อนถ่ายเทจากแหล่งความร้อนที่มีอุณหภูมิสูงไปยังที่อุณหภูมิต่ำกว่านั่นเอง

อนึ่ง ในตัวอย่างอื่น ๆ นักศึกษาจะพบอุณหภูมิของระบบคงที่ โดยเฉพาะในขณะที่สารเปลี่ยนสถานะ จะหาเอนโทรปีที่เปลี่ยนไปได้จาก $ds = L/T$ เมื่อ L คือความร้อนของการเปลี่ยนสถานะ และ T คืออุณหภูมิสัมบูรณ์ขณะที่สารเปลี่ยนสถานะ (คงที่)

ตัวอย่าง 2-5 การหาเอนโทรปีที่เพิ่มขึ้น (อุณหภูมิตั้งที่)

จงหาเอนโทรปีจำเพาะที่เพิ่มขึ้นของน้ำ จากสถานะของเหลวกลายเป็นไอ กำหนดความร้อนของการกลายเป็นไอสำหรับน้ำที่ 100°ซ. เป็น 22.6×10^5 จูล/ก.ก.

วิธีทำ

ในกรณีนี้สารเปลี่ยนสถานะที่อุณหภูมิตั้งที่ จะหาเอนโทรปีที่เปลี่ยนได้จาก $ds = L/T$ หรือหา เอนโทรปีจำเพาะที่เปลี่ยนได้จาก $ds = l/T$ เมื่อ L คือความร้อนของการเปลี่ยนสถานะของสาร และ l คือความร้อนจำเพาะของการเปลี่ยนสถานะของสาร

โดยการแทนค่า จะได้ว่า

$$\begin{aligned} \text{เอนโทรปีจำเพาะที่เปลี่ยนไป, } S_{\text{ไอน้ำ}} - S_{\text{น้ำ}} &= \frac{22.6 \times 10^5 \text{ จูล/ก.ก.}}{373 \text{ เคลวิน}} \\ &= 6060 \text{ จูล/ก.ก.-องศา} \end{aligned}$$

จะเห็นว่า ผลลัพธ์เป็นบวกจึงแสดงว่าเอนโทรปีของระบบเพิ่มขึ้น

ถ้าพิจารณาต่อไปถึงสิ่งแวดล้อมหรือแหล่งความร้อน ซึ่งให้ความร้อนแก่ระบบที่อุณหภูมิเดียวกันนี้ ดังนั้น เอนโทรปีของแหล่งความร้อนจะเปลี่ยนไป ด้วยปริมาณเท่ากัน แต่เครื่องหมายตรงข้าม เมื่อหาเอนโทรปีที่เปลี่ยนไปทั้งหมด ซึ่งหมายถึงระบบและแหล่งความร้อนรวมกัน ซึ่งนักศึกษาจะพบในคำราและโจทย์ต่าง ๆ ถึงค่า ๆ หนึ่งคือ “เอกภพ หรือ จักรวาล (universe)” โดยหมายถึงทั้งระบบและแหล่งความร้อนเป็นอันหนึ่งอันเดียวกัน จึงได้ว่า เอนโทรปีของเอกภพหรือจักรวาลเป็นศูนย์ และอาจกล่าวได้ว่า เอนโทรปีของเอกภพหรือจักรวาลไม่เปลี่ยนแปลงในกรณีนี้

แต่ในตัวอย่างที่แล้วคือตัวอย่างที่ 2-4 จะเห็นได้ชัดเจนว่า ถ้าคำนึงถึงเอนโทรปีที่เปลี่ยนไปของแหล่งความร้อนที่ให้น้ำร้อนขึ้นด้วย โดยแหล่งความร้อนซึ่งมีอุณหภูมิคงที่ = 80°ซ. จะมีความร้อนคายออกจากแหล่งความร้อนนี้เท่ากับความร้อนที่น้ำนั้นรับไปคือ

$$\begin{aligned} dQ &= mc_p dT = (1 \text{ kg.} \times 1 \text{ kcal/kg-deg})(353 - 293)\text{K} \\ &= 60 \text{ kcal} \end{aligned}$$

$$\text{แหล่งความร้อนมีเอนโทรปีลดลง} = -\frac{dQ}{T} = -\frac{60 \text{ kcal}}{353 \text{ K}} = -0.17 \frac{\text{kcal}}{\text{K}}$$

ดังนั้น เอนโทรปีที่เปลี่ยนไปทั้งหมดของเอกภพจะเพิ่มขึ้นในกรณีนี้ เพราะถ้ารวมระบบเข้ากับแหล่งความร้อนและถือว่าเป็นระบบเดียวกัน เรียกว่า เอกภพ จะได้เอนโทรปีที่เปลี่ยนไปของเอกภพ คือ + 0.186-0.17 = 0.016 กิโลแคลอรี/องศา

ในที่นี้จะขอสรุปว่า โดยหลักการเอนโทรปีสำหรับกระบวนการที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติซึ่งผันกลับไม่ได้นั้น เอนโทรปีของระบบอิสระจะเพิ่มขึ้นเสมอ ซึ่งนับเป็นกฎข้อที่สองของเทอร์โมไดนามิกส์ นั่นคือ กฎข้อที่สองชี้ให้เห็นว่า เอนโทรปีเป็นปริมาณที่ไม่สามารถอนุรักษ์ได้ (Entropy is not conserved.) ซึ่งตรงข้ามกับกฎข้อที่หนึ่งที่อาจกล่าวได้ว่าเป็นกฎอนุรักษ์พลังงาน

ดังนั้น กฎข้อที่สองตามหลักของเอนโทรปีจึงตรงข้ามกับกฎข้อที่หนึ่ง ในแง่ที่ว่า เอนโทรปีไม่สามารถอนุรักษ์ได้ แต่กฎข้อที่หนึ่งว่าด้วยพลังงานจะต้องเป็นไปตามกฎอนุรักษ์พลังงาน

ข้อสังเกต

ในตอนท้ายนี้จะให้ข้อสังเกตว่า เมื่อเปรียบเทียบลักษณะเฉพาะของเอนโทรปีกับพลังงาน จะได้ว่า “เอนโทรปีไม่สามารถทำลายได้ แต่สามารถสร้างขึ้นได้” ซึ่งจะเห็นว่าตามหลักการเอนโทรปีแล้ว เอนโทรปีของระบบอิสระจะลดลงไม่ได้ นั่นคือ อาจเพิ่มขึ้นหรือไม่เปลี่ยนแปลงได้ แต่พลังงานไม่สามารถสร้างขึ้นหรือทำลายได้ ซึ่งพลังงานจะเปลี่ยนจากรูปหนึ่งไปอีกรูปหนึ่ง เช่น จากพลังงานความร้อนเป็นพลังงานกล หรือพลังงานกลเป็นพลังงานความร้อน โดยพลังงานไม่ได้เกิดขึ้นมาเองหรือสูญหายไปไหน

อีกประการหนึ่ง ขอย้ำว่ากฎข้อที่หนึ่งและกฎข้อที่สองของเทอร์โมไดนามิกส์ต่างเป็นฟังก์ชันของค่าหนึ่งในทางเทอร์โมไดนามิกส์ โดยกฎข้อที่หนึ่งเป็นฟังก์ชันของพลังงานภายใน และกฎข้อที่สองเป็นฟังก์ชันของเอนโทรปี

และในขณะที่กฎข้อที่หนึ่งแสดงถึงหลักการคงตัวของพลังงานว่า พลังงานไม่สามารถเกิดขึ้นเองหรือสูญหายไปไหน แต่เปลี่ยนรูปได้นั้น กฎข้อที่สองจะช่วยให้ทราบถึงการเปลี่ยนรูปพลังงาน ในกระบวนการต่าง ๆ ได้ดีขึ้นว่า กระบวนการใดจะเกิดขึ้นได้บ้างและกระบวนการใดจะเกิดขึ้นไม่ได้บ้าง โดยกระบวนการที่เกิดขึ้นได้จะต้อง ไม่ขัดกับหลักเอนโทรปีดังกล่าวแล้ว

ก่อนจะจบคำบรรยายนี้ขอแนะนำสำหรับสิ่งที่สำคัญ ซึ่งนักศึกษาควรจะได้ทบทวน และทดสอบความเข้าใจในตอนท้ายนี้ และขอให้นักศึกษาฝึกฝนการหาค่าต่าง ๆ ตามโจทย์แบบฝึกหัดข้างท้ายบทในตำราเรียนด้วยตนเองแบบโปรแกรม ด้วย

แบบทดสอบความเข้าใจ 3

1. เหตุใดกฎข้อที่สองจึงกล่าวได้หลายแบบ
2. เครื่องยนต์คาร์โนต์มีลักษณะเฉพาะที่สำคัญอย่างไร
3. เหตุใดจึงกล่าวว่าศูนย์องศาสัมบูรณ์ไม่มีในโลก
4. ถ้าสามารถเทียบ $Q_C/Q_H = T_C/T_H$ ได้ เมื่อ Q_C เป็นศูนย์ไม่ได้ (ตามกฎข้อที่สอง) แสดงว่า T_C เป็นศูนย์ไม่ได้เช่นเดียวกัน ได้หรือไม่
5. การเปรียบเทียบเครื่องยนต์ความร้อนหรือตู้เย็นหรือเครื่องสูบน้ำร้อน จะต้องพิจารณาอย่างไร
6. อสมการเคลาซิอุสใช้ได้ถูกต้องกับกระบวนการใด

7. เอนโทรปีของระบบที่ผ่านกระบวนการผันกลับได้กับผันกลับไม่ได้ในระหว่างสภาวะคู่เดียวกัน จะเปลี่ยนไปต่างกันหรือไม่
8. กฎข้อที่หนึ่งและสองบ่งชี้ให้ทราบถึงหลักการที่สำคัญใด ทางเทอร์โมไดนามิกส์โดยเฉพาะ

คำตอบแบบทดสอบ 3

1. เพราะแต่ละแบบมีความหมายเดียวกัน ซึ่งสามารถพิสูจน์ได้ดังที่บรรยายมาแล้ว
2. เครื่องยนต์คาร์โนต์ทำงานเป็นวัฏจักรที่ผันกลับได้ จึงทำให้มีประสิทธิภาพสูงกว่าชนิดที่ผันกลับไม่ได้ และสามารถใช้สารทำงานชนิดใดก็ได้จะให้ประสิทธิภาพเท่ากันที่อุณหภูมิคู่เดียวกัน
3. จากการหาประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ความร้อนคาร์โนต์โดย $\eta = 1 - (T_c/T_h)$ นั้น T_c จะเป็นศูนย์ไม่ได้ เพราะประสิทธิภาพจะเป็นร้อยเปอร์เซ็นต์ไม่ได้
4. ตามข้อ 3. อาจพิจารณาได้อีกนัยหนึ่งว่า จะต้องมีส่วนของสสารที่สูญเสีย ซึ่งไม่สามารถบรรลุได้
5. สำหรับเครื่องยนต์ความร้อน : ประสิทธิภาพ, $\eta = 1 - (Q_c/Q_h)$
 สำหรับตู้เย็น : ส.ป.ส.ของสมรรถนะ, $K = Q_c/(Q_h - Q_c)$
 สำหรับเครื่องสูบลมความร้อน : ส.ป.ส.ของสมรรถนะ, $K' = Q_h/(Q_h - Q_c)$
6. สำหรับวัฏจักรปิดที่ผันกลับไม่ได้ : $\oint (dQ/T) < 0$
 สำหรับวัฏจักรปิดที่ผันกลับได้ : $\oint (dQ/T) = 0$
7. โดยที่เอนโทรปีเป็นฟังก์ชันของสภาวะ ไม่ขึ้นกับชนิดของกระบวนการจึงอาจใช้สูตร $dS = dQ/T$ ได้เสมอ แต่อาจแสดงว่าสำหรับกระบวนการที่ผันกลับไม่ได้ จะมีค่าเอนโทรปีเปลี่ยนแปลงไปมากกว่า
8. กฎข้อที่หนึ่งเป็นฟังก์ชันของพลังงานภายใน แต่กฎข้อที่สองเป็นฟังก์ชันของเอนโทรปี กฎข้อที่หนึ่งแสดงถึงหลักการคงตัวของพลังงาน แต่กฎข้อที่สองแสดงถึงหลักการเปลี่ยนรูปพลังงานที่เป็นไปได้และไม่ได้ และทิศทางของการถ่ายเทพลังงาน

เสียงจากผู้ประกาศ “ที่จบลงไปนั้นคือการบรรยายสรุปวิชาเทอร์มัลฟิสิกส์หรือ PH 314 ครั้งที่ 5 โดย รศ.อังฉรา พันธุ์อำไพ ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง”

.....การบันทึกแถบคำบรรยายสรุปกระบวนวิชาของมหาวิทยาลัยรามคำแหง มุ่งส่งเสริม การศึกษาด้วยตนเองและบริการความรู้มายังนักศึกษาและผู้สนใจทั่วไป โปรดส่งคำถาม และข้อข้องใจไปยังคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง กรุงเทพฯ 10240.....

