บันทึกคำบรรยายสรุปวิชาฟิสิกส์อุณหภาพ (PH 314) ครั้งที่ 2

เสียงจากผู้ประกาศนำ "การบันทึกแถบคำบรรยายสรุปกระบวนวิชาของมหาวิทยาลัยรามคำแหง มุ่งส่งเสริมการศึกษาด้วยตนเองและบริการความรู้มายังนักศึกษาและผู้สนใจทั่วไป เพื่อให้บรรลุวัตถุประสงค์พระราชบัญญัติจัดตั้งมหาวิทยาลัยรามคำแหงเป็นตลาดวิชา..... ผลิตโดยสำนักเทคโนโลยีการศึกษา มหาวิทยาลัยรามคำแหง ท่านผู้ฟังครับ ต่อไปนี้เป็นการบรรยายสรุปวิชาฟิสิกส์อุณหภาพหรือเทอร์มัลฟิสิกส์ (PH 314) ครั้งที่ 2 ในหัวข้อ

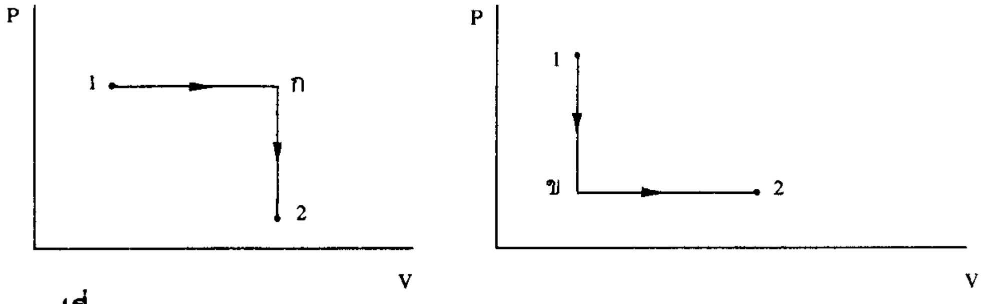
1. กฎข้อที่หนึ่งของอุณหพลศาสตร์ (ต่อ)
2. ความจุความร้อนของก๊าซอุดมคติ
3. พลังงานภายในของก๊าซอุดมคติ เป็นฟังก์ชันของอุณหภูมิเท่านั้น

โดย รศ.อัจฉรา พันธุ์อำไพ ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง

**********บันทึกแถบคำบรรยายสรุปนี้ประกอบการบรรยายด้วยการฉายแผ่นภาพโปร่งใสตลอดคำบรรยาย**********

กฎข้อที่หนึ่งของเทอร์โมไดนามิกส์ (ต่อ)

จากตอนท้ายของการบรรยายครั้งที่หนึ่ง ได้แนะนำให้นักศึกษาให้รู้จักความสัมพันธ์ที่เกิดขึ้นระหว่าง การเปลี่ยนแปลงพลังงานความร้อนเป็นพลังงานกล หรือพลังงานกลเป็นพลังงานความร้อน จะได้ว่าปริมาณพลังงานที่เปลี่ยนไปทั้งหมดรวมกันจะมีค่าคงที่ ซึ่งจะพิสูจน์ในตอนนี้ว่า ไม่ว่าระบบจะเปลี่ยนแปลงไปตามกระบวนการใด ปริมาณพลังงานทั้งหมดที่เปลี่ยนไปรวมกันจะมีค่าคงที่ (ดังแสดงไว้ในรูปที่ 7) ซึ่งนักศึกษาจะเห็นกระบวนการที่ต่างกันสองกระบวนการ แต่เริ่มต้นและจบลงที่จุดเริ่มต้นและจุดสุดท้ายเดียวกัน โดยเริ่มต้นจากสภาวะ 1 ไปยังสภาวะ 2 คู่เดียวกัน แต่มีการเปลี่ยนแปลงไปตามกระบวนการต่างกัน สำหรับในแบบ ก ระบบผ่านกระบวนการที่เริ่มจากสภาวะเริ่มต้น 1 ไปยังสภาวะ **ก** ตามกระบวนการไอโซแบริก และจาก **ก** ไปยังสภาวะ 2 เป็นกระบวนการไอโซเมตริก ปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทผ่านระบบจะหาได้จากความสัมพันธ์ $Q = mcdt$ ซึ่งนักศึกษาคุ้นเคยดีอยู่แล้ว แต่ในที่นี้จะใช้ค่า μ แทนจำนวนโมล หรือ n แทนจำนวนโมลได้ และในกระบวนวิชานี้จะใช้ อักษรตัวเล็กแทนค่าจำเพาะ โดยในที่นี้สำหรับค่าความร้อนจำเพาะจะใช้อักษร c (ตัวเล็ก)



รูปที่ 7

จากสภาวะ 1 ไปยังสภาวะ **ก** ความดันคงที่ ดังนั้นความร้อนจำเพาะใช้อักษร c_P โดยมีอักษร P กำกับ ซึ่งหมายถึงที่ความดันคงที่ ส่วนอุณหภูมิที่ต่างกันในที่นี้คือระหว่างอุณหภูมิ-$T_{\text{ก}}$ กับอุณหภูมิ T_1 ดังนั้น ปริมาณความร้อนที่เปลี่ยนไปตามกระบวนการนี้จะหาได้จาก $n\,c_P(T_{\text{ก}} - T_1)$ และจากสภาวะ **ก** ไปยังสภาวะ 2 จะหาความร้อนที่เปลี่ยนไปจาก $n\,c_v(T_2 - T_{\text{ก}})$ เนื่องจากตามกระบวนการไอโซเมตริก ระบบมีปริมาตรคงที่ดังนั้น ค่าความร้อนจำเพาะจึงใช้ค่าความร้อนจำเพาะของสารที่ปริมาตรคงที่ (c_v) และสำหรับอุณหภูมิที่เปลี่ยนไปจะหาได้จากการนำอุณหภูมิสุดท้ายตั้งลบด้วยอุณหภูมิเริ่มต้นทุกครั้ง ซึ่งในการหาค่าทุกค่าที่เปลี่ยนไปของระบบ จะต้องนำค่าสุดท้ายตั้งและลบด้วยค่าเริ่มต้นเสมอ ขอให้นักศึกษาระมัดระวังในเรื่องนี้ด้วย โดยเฉพาะในการทำแบบฝึกหัดและตอบปัญหา

สำหรับงานที่กระทำจากสภาวะ 1 ไปยังสภาวะ ก จะหาได้จากสูตร $W = pdV$ ซึ่งตามคำจำกัดความของความดัน คือ แรงที่กระทำต่อตารางพื้นที่ในทิศตั้งฉากกับพื้นที่นั้น ดังนั้นค่าของงานตามคำจำกัดความทางฟิสิกส์จึงเปลี่ยนจาก แรงคูณกับระยะที่เปลี่ยนไปในทิศของแรงกระทำนั้น เป็นความดันคูณกับปริมาตรที่เปลี่ยนไป ซึ่งในที่นี้ความดันคงที่ = p_1 จึงคูณกับปริมาตรที่เปลี่ยนไปจากปริมาตร V_1 ไปยัง V_2 แต่นักศึกษาจะต้องหาค่าที่เปลี่ยนไปโดยนำค่าสุดท้ายตั้ง ลบด้วยค่าเริ่มต้น นั่นคือ ปริมาตรที่เปลี่ยนไปจากสภาวะ 1 ไปยังสภาวะ ก คือ $(V_2 - V_1)$

เมื่อหาค่าความร้อนและงานตามการเปลี่ยนแปลงนี้แล้วจะได้

ในแบบ ก $$Q_{ก} - W_{ก} = n\,c_p(T_{ก} - T_1) + n\,c_v(T_2 - T_{ก}) - p_1(V_2 - V_1)$$

และเมื่อหาปริมาณความร้อนและงานตามการเปลี่ยนแปลงในแบบ **ข** จะได้

ในแบบ ข $$Q_{ข} - W_{ข} = n\,c_v(T_{ข} - T_1) + n\,c_p(T_2 - T_{ข}) - p_2(V_2 - V_1)$$

ในการเปรียบเทียบความร้อนและงานที่เปลี่ยนไปทั้งหมดของกระบวนการทั้งสองแบบจะได้ผลลัพธ์เท่ากันทั้งสองแบบ นั่นคือ พลังงานภายใน (U) ที่ระบบเปลี่ยนจากสภาวะ 1 ไปยังสภาวะ 2 นั้นมีค่าคงที่ทั้งสองกระบวนการจะได้ว่า $U_2 - U_1$ มีค่าคงที่

ในที่นี้ปรากฏว่าถึงแม้สภาวะ 1 จะเป็นสภาวะเดียวกันทั้งสองแบบและสภาวะ 2 ก็ตรงกันทั้งสองแบบ แต่ไม่อาจเปรียบเทียบ $(U_2 - U_1)_{\text{แบบ ก}}$ และ $(U_2 - U_1)_{\text{แบบ ข}}$ ให้เห็นได้ชัดเจนเนื่องจากจะเห็นว่าพจน์ต่าง ๆ ไม่เหมือนกันเลย ดังนั้นเพื่อให้เปรียบเทียบกันง่ายขึ้น จะกำหนดว่าอุณหภูมิที่จุด 1 และ 2 คืออุณหภูมิเดียวกัน นั่นคือ สภาวะ 1 และ 2 อยู่บนเส้นไอโซเทอร์มัล ซึ่งจะพบว่า $(U_2 - U_1)_{\text{แบบ ก}}$ และ $(U_2 - U_1)_{\text{แบบ ข}}$ มีค่าเป็นศูนย์ ทั้งนี้จะแสดงให้เห็นต่อไปว่าพลังงานภายในเป็นค่าที่ขึ้นกับอุณหภูมิ เมื่ออุณหภูมิคงที่จึงได้ว่าพลังงานภายในคงที่ด้วย

จากความสัมพันธ์ข้างต้น จะได้ว่า

$$(U_2 - U_1)_{\text{แบบ ก}} = n(c_p - c_v)(T_{ก} - T) - p_1(V_2 - V_1)$$

และ $$(U_2 - U_1)_{\text{แบบ ข}} = n(c_p - c_v)(T - T_{ข}) - p_2(V_2 - V_1)$$

ซึ่งสำหรับระบบก๊าซอุดมคติ $pv = nRT$ และ $c_p - c_v = R$ จึงเขียนเสียใหม่ได้ดังนี้

$$(U_2 - U_1)_{\text{แบบ ก}} = nRT(V_2/V_1 - 1) - p_1V_1(V_2/V_1 - 1) = 0$$

$$(U_2 - U_1)_{\text{แบบ ข}} = nRT(1 - V_1/V_2) - p_2V_2(1 - V_1/V_2) = 0$$

เมื่อศึกษากระบวนการแบบอื่น ๆ อีกที่เริ่มต้นจากสภาวะ 1 เหมือนกันไปสู่สภาวะ 2 เช่นเดียวกันทุกแบบ จะพบว่าพลังงานภายในของระบบนั้นเปลี่ยนแปลงไปเท่ากันทุกแบบ และจะสรุปได้ว่า การเปลี่ยนพลังงานความร้อนเป็นพลังงานกล หรือพลังงานกลเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อน หรือพลังงานรูปใดก็ตามที่ถ่ายเทเข้า-ออกจากระบบ จะพบว่าพลังงานสุทธิซึ่งเป็นผลรวมของพลังงานทั้งหมดที่เปลี่ยนแปลงไปมีค่าคงที่

ขอให้นักศึกษาสังเกตด้วยว่า ปริมาณความร้อนในแต่ละกระบวนการไม่เท่ากันและงานก็ไม่เท่ากันในแต่ละกระบวนการด้วย จึงกล่าวได้ว่า ทั้งความร้อนและงานเป็นปริมาณที่ขึ้นอยู่กับชนิดของกระบวนการ เมื่อมีปริมาณความร้อนและงานเปลี่ยนไปเพียงเล็กน้อยจึงไม่อาจเขียนอยู่ในรูปอนุพันธ์ที่แน่นอนได้

แต่สำหรับพลังงานภายในของระบบได้เห็นแล้วว่า ไม่ขึ้นกับชนิดของกระบวนการ แต่จะขึ้นอยู่กับสภาวะเริ่มต้นและสภาวะสุดท้ายเท่านั้น สามารถหาค่าในขณะใด ๆ หรือที่สภาวะใด ๆ ได้คือที่สภาวะ 1 เป็น U_1 และที่สภาวะ 2 เป็น U_2 จึงถือว่า U เป็นฟังก์ชันของสภาวะ (State function) ซึ่งสามารถเขียนปริมาณที่เปลี่ยนไปเล็กน้อยในรูปของอนุพันธ์ที่แน่นอนได้ คือ dU และจัดว่า U เป็นค่าหนึ่งทางเทอร์โมไดนามิกส์ ในขณะที่ปริมาณความร้อนที่เปลี่ยนไปเล็กน้อยควรจะเขียนให้ต่างออกไปเป็น $d'Q$ และปริมาณงานที่กระทำเล็กน้อยควรเขียนว่า $d'W$ เพื่อแสดงถึงสมบัติที่แตกต่างกันในเรื่องนี้ของปริมาณความร้อนและงาน กับพลังงานภายใน ซึ่งถ้าจะเขียนให้ถูกต้อง นักศึกษาควรเขียนความสัมพันธ์ตามสมบัตินี้ให้ชัดเจนด้วย และไม่ถือว่าความร้อนและงานเป็นค่าทางเทอร์โมไดนามิกส์

นั่นคือ ตามกฎข้อที่หนึ่งของเทอร์โมไดนามิกส์ สำหรับการเปลี่ยนแปลงที่ระบบเปลี่ยนจากสภาวะสมดุลหนึ่งไปสู่อีกสภาวะสมดุลหรือกึ่งสมดุลหนึ่ง โดยที่ระบบได้รับความร้อนและมีงานกระทำออกมาหรือในทางที่กลับกัน จึงเขียนเป็นความสัมพันธ์ได้ดังนี้

$$dU = d'Q - d'W$$

นักศึกษาควรจะสังเกตอีกเรื่องหนึ่งว่า ในการแสดงให้เห็นว่าความสัมพันธ์นี้ไม่ขึ้นอยู่กับชนิดของกระบวนการนั้น โดยที่ $U_2 - U_1$ ปรากฏผลลัพธ์เป็นศูนย์ สาเหตุที่เป็นเช่นนี้เนื่องมาจากได้กำหนดไว้ว่า $T_1 = T_2 = T$ จึงทำให้ได้ค่าออกมาเป็นศูนย์สำหรับพลังงานภายในที่เปลี่ยนไปทั้งหมด เพราะพลังงานภายในเป็นฟังก์ชันของอุณหภูมิเท่านั้น สำหรับระบบก๊าซอุดมคติ แต่โดยทั่ว ๆ ไปจะไม่เป็นศูนย์และอาจจะมีค่าใดค่าหนึ่งที่แน่นอน

และจากการที่พิจารณาได้ว่า Q และ W ไม่ใช่ฟังก์ชันของสภาวะ ดังนั้นไม่สมควรที่จะเขียน Q_1 หรือ Q_2 และ W_1 หรือ W_2 เพราะจะไม่มีความหมายใด ๆ และไม่สามารถหา

ค่า Q ที่สภาวะใด ๆ ได้เช่นเดียวกับ W เหมือนกัน แต่ที่หาได้จะเป็นปริมาณที่เปลี่ยนแปลงไป เมื่อระบบผ่านจากสภาวะหนึ่งไปสู่อีกสภาวะหนึ่งเท่านั้น โดยทั่วไปเราจะพูดถึงความร้อนหรืองาน ต่อเมื่อมีการถ่ายเทความร้อนหรือมีงานกระทำ เราไม่คำนึงถึงว่าในขณะใด ๆ ระบบมีความร้อนหรืองานอยู่เป็นปริมาณเท่าใด

เท่าที่ได้บรรยายมานี้ ขอย้ำทบทวนและขอให้นักศึกษาทบทวนเนื้อหาตามตำราที่ได้จัดพิมพ์ไว้ว่า กฎข้อที่หนึ่งของเทอร์โมไดนามิกส์นี้ได้มาอย่างไร และมีความหมายอย่างใดบ้าง ซึ่งถ้าทบทวนดูแล้วจะเห็นว่า กฎข้อที่หนึ่งสัมพันธ์กับพลังงานภายในซึ่งเป็นฟังก์ชันของสภาวะ ส่วนความร้อนและงานไม่เป็นฟังก์ชันของสภาวะ จึงกล่าวได้ว่ากฎข้อที่หนึ่งเป็นฟังก์ชันของค่าหนึ่งในทางเทอร์โมไดนามิกส์ นั่นคือพลังงานภายใน และเป็นกฎที่แสดงถึงหลักการคงตัวของพลังงาน นั่นเอง

อนึ่ง ยังมีกฎข้อที่ศูนย์ของเทอร์โมไดนามิกส์ด้วย ซึ่งนักศึกษาจะศึกษาโดยละเอียดจากตำราในบทที่ว่าด้วยกฎต่าง ๆ ของเทอร์โมไดนามิกส์ โดยกฎนี้จะกล่าวถึงระบบ 2 ระบบที่มีความสมดุลเชิงความร้อนจนกระทั่งระดับอุณหภูมิเท่ากับระบบที่สามว่าระบบทั้งสองจะมีอุณหภูมิเท่ากันด้วย

กฎข้อที่ศูนย์นี้นับว่าเป็นหลักในการวัดอุณหภูมิโดยเทอร์มอมิเตอร์ทั่ว ๆ ไป เช่น เมื่อต้องการทราบว่าระดับอุณหภูมิของน้ำในภาชนะ 2 ใบ เท่ากันหรือไม่ ก็ไม่จำเป็นที่จะต้องนำมาไว้ด้วยกัน เพื่อให้มีการถ่ายเทความร้อนจนน้ำทั้งสองส่วนสมดุลกัน แต่เราสามารถนำเทอร์มอมิเตอร์ซึ่งนับว่าเป็นระบบที่สามมาจุ่มลงในน้ำภายในภาชนะหนึ่ง จนปรอทของเทอร์มอ-มิเตอร์ขึ้นไปถึงระดับหนึ่ง แสดงว่าในขณะนี้อุณหภูมิของเทอร์มอมิเตอร์เท่ากับของน้ำในภาชนะนั้นแล้ว จึงนำเทอร์มอมิเตอร์นั้นไปจุ่มลงในน้ำภายในภาชนะอีกใบหนึ่ง ถ้าอ่านระดับปรอทของเทอร์มอมิเตอร์ในขณะนี้ได้เท่ากับครั้งแรก ก็ย่อมหมายความว่าอุณหภูมิของทั้งสองระบบ คือ น้ำในภาชนะ 2 ใบ นั้น เท่ากัน และสามารถพิสูจน์ให้เห็นจริงได้โดยการทดลองว่าอุณหภูมิของน้ำในภาชนะทั้งสองเท่ากัน ด้วยการนำภาชนะทั้งสองมาวางให้ชิดกัน หรือให้มีตัวนำความร้อนเชื่อมต่อระหว่างภาชนะ ถ้าอุณหภูมิของภาชนะทั้งสองเท่ากันจริง จะพบว่าค่าต่าง ๆ ในทางเทอร์โมไดนามิกส์ของระบบทั้งสองไม่เปลี่ยนแปลง

อย่างไรก็ตาม เทอร์มอมิเตอร์ที่นำมาใช้ทดลองข้างต้นนี้ ควรเรียกว่าเทอร์มอสโกป (thermoscope) มากกว่า เพราะแสดงให้ทราบแต่เพียงว่าระดับอุณหภูมิเท่ากันหรือไม่เท่ากันเท่านั้น แต่ไม่ได้นำมาใช้อ่านค่าของอุณหภูมิว่าเป็นเท่าใด และไม่จำเป็นที่จะต้องทราบสเกลบนเทอร์มอมิเตอร์ในกรณีนี้ด้วย

เมื่อนักศึกษาได้ฟังคำบรรยายนี้จบลงแล้ว ควรจะทำแบบฝึกหัดที่ให้ไว้ข้างท้ายบทต่าง ๆ ตั้งแต่ บทที่ 1 ถึงบทที่ 3 โดยนักศึกษาอาจจะเลือกทำเฉพาะบางข้อที่น่าสนใจก่อนในระยะเริ่มต้นนี้

ความจุความร้อนของก๊าซอุดมคติ

สำหรับการทำโจทย์แบบฝึกหัดที่นักศึกษาจะต้องนำค่าความจุความร้อนของระบบมาใช้ นักศึกษาจะต้องเลือกใช้ให้ถูกต้องว่าจะใช้ C_p หรือ C_v ในที่นี้จึงจะกล่าวถึงกรณีของความจุความร้อนของก๊าซอุดมคติ ซึ่งได้กล่าวไว้บ้างแล้วในการพิสูจน์กฎข้อที่หนึ่งด้วย โดยทั่ว ๆ ไปค่า C_p จะมากกว่า C_v และสำหรับก๊าซอุดมคติจะได้ว่า $c_p - c_v = R$ เมื่อ R คือ ค่าคงที่ของก๊าซทั่วไป (universal gas constant) ซึ่งสามารถพิสูจน์ได้ดังนี้

จากคำจำกัดความของความจุความร้อนของสารใด ๆ คือ $C = dQ/dT$ หรือ $c = dQ/(mdT)$ = ความร้อนจำเพาะ เมื่อ m = มวลของสาร จะแสดงว่าความจุความร้อนของสารที่ความดันคงที่ มีค่า**ไม่**เท่ากับความจุความร้อนของสารที่ปริมาตรคงที่ดังนี้ สำหรับก๊าซ-อุดมคติ $C_p - C_v = nR$ เมื่อ n คือจำนวนโมล หรือ $c_P - c_v = R$ เมื่อ c คือ molar heat capacity เป็นความร้อนจำเพาะต่อโมล

โดยอาศัยกฎข้อที่หนึ่งของเทอร์โมไดนามิกส์ สำหรับกรณีของระบบของไหล จะเขียนเป็นความสัมพันธ์ได้ว่า $d'Q = dU + PdV$ ซึ่งเมื่อพิจารณาที่ความดันคงที่ และที่ปริมาตรคงที่จะเป็นตามลำดับดังนี้

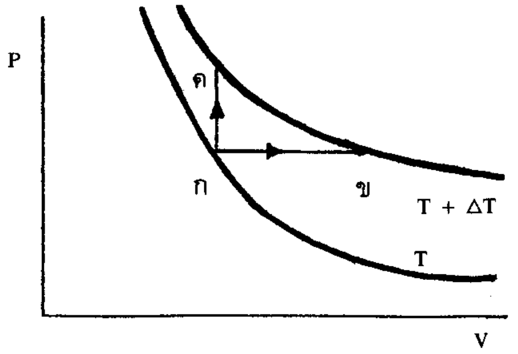
ที่ความดันคงที่ $$\left(\frac{dQ}{dT}\right)_P = \left(\frac{dU}{dT}\right)_P + \left(P\frac{dV}{dT}\right)_P = n\,c_P$$

ที่ปริมาตรคงที่ $$\left(\frac{dQ}{dT}\right)_V = \left(\frac{dU}{dT}\right)_V = n\,c_V$$

จะเห็นได้ว่ากรณีที่ปริมาตรคงที่ก็สามารถหาค่าความจุความร้อนจากพลังงานภายในซึ่งเปลี่ยนไปต่ออุณหภูมิที่เปลี่ยนไปได้ทันทีด้วย ซึ่งนักศึกษาควรจะได้จดจำไว้เพื่อใช้ในการทำโจทย์แบบฝึกหัด หรือในการหาความสัมพันธ์ต่าง ๆ ต่อไป

โดยที่พิจารณาระบบก๊าซอุดมคติ ซึ่งเป็นไปตามความสัมพันธ์ $PV = nRT$ เมื่อระบบมีการเปลี่ยนแปลงไปจากสภาวะสมดุลเล็กน้อยตามกระบวนการใด ๆ (infinitesimal quasi-static process) จะทำให้ค่าของระบบเปลี่ยนแปลงไปดังนี้ $PdV + VdP = nRdT$ ซึ่งนำไปแทนค่าในความสัมพันธ์ข้างต้น ที่ความดันคงที่ จะได้ว่า $-(dU/dT)_P + nR = n\,c_p$

เพื่อเปรียบเทียบค่า c_P กับ c_V ให้เห็นชัดเจนยิ่งขึ้น ขอให้พิจารณาในกระบวนการที่ความดันคงที่กระบวนการหนึ่ง และในกระบวนการที่ปริมาตรคงที่อีกกระบวนการหนึ่ง และจะอาศัยหลักการใดหลักการหนึ่งที่สามารถยึดถือได้และนำมาเปรียบเทียบกันได้ เช่น ในกรณีที่ระบบเดียวกันนั้น อาจเปลี่ยนแปลงตามกระบวนการแบบใดแบบหนึ่งในทั้งสองแบบโดยมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นเท่ากัน (ดังแสดงไว้ในรูปที่ 8) โดยระบบหนึ่งอาจจะเปลี่ยนแปลงจากสภาวะสมดุลเริ่มต้นที่จุดเดียวกัน **ก** บนเส้นไอโซเทอร์มัลที่อุณหภูมิคงที่ T ตามกระบวนการแบบใดแบบหนึ่งในสองแบบที่กล่าวแล้ว ไปยังสภาวะสมดุล **ข** หรือ **ค** บนเส้นไอโซเทอร์มัลที่อุณหภูมิ T + ΔT ซึ่งจะเป็นการเพิ่มอุณหภูมิเท่ากัน (ΔT) ทั้งแบบที่มีความดันคงที่ **(ก-ข)** และแบบที่ปริมาตรคงที่ **(ก-ค)**



รูปที่ 8

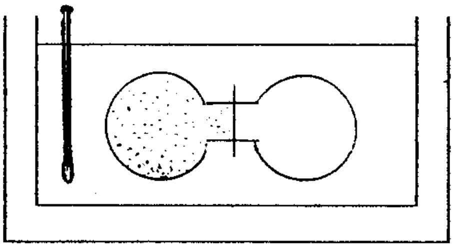
ดังนั้น ถ้าสามารถแสดงได้ว่าพลังงานภายใน (U) เป็นฟังก์ชันของอุณหภูมิเท่านั้น เมื่อทั้งสองกระบวนการข้างต้นมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นเท่ากัน จึงทำให้ระบบมีพลังงานภายในเพิ่มขึ้นเท่ากันด้วย นั่นคือ $(dU/dT)_P = (dU/dT)_V$ จึงได้ความสัมพันธ์จากการเปรียบเทียบสมการข้างต้นว่า $nc_P - nR = nc_V$ หรือ $c_P - c_V = R$ โดยที่ R เป็นค่าคงที่ของก๊าซทั่วไปที่ไม่ติดลบ ($= 8.31 \times 10^3$ จูล/กิโลโมล-เคลวิน) จึงเห็นได้ว่า c_P มีค่ามากกว่า c_V

ขอให้นักศึกษาลองหาคำอธิบายด้วยว่า เหตุใดค่าความจุความร้อนของสารที่ความดันคงที่จึงมีมากกว่าที่ปริมาตรคงที่

ในการหาความหมายของความแตกต่างระหว่าง c_P กับ c_V ว่าเพราะเหตุใด c_P จึงมากกว่า c_V นั้น นักศึกษาอาจจะสังเกตประการหนึ่งว่า จากความสัมพันธ์ตามกฎข้อที่หนึ่งสำหรับกรณีที่ความดันคงที่นั้น มีพจน์หนึ่งคือ $(pdV/dT)_P$ เพิ่มขึ้นจากกรณีที่ปริมาตรคงที่ ในขณะที่ได้พิจารณาแล้วว่า $(dU/dT)_V = (dU/dT)_P$ ดังนั้น ระบบจึงต้องการปริมาณความร้อนเพิ่มขึ้นเพื่อใช้ในการทำให้เกิดงานกระทำด้วยสำหรับในกระบวนการที่ระบบมีความดันคงที่ แต่ในกระบวนการที่ระบบมีปริมาตรคงที่จะไม่มีงานกระทำเกิดขึ้น จึงทำให้ความร้อนจำเพาะที่ความดันคงที่มีค่ามากกว่าที่ปริมาตรคงที่

พลังงานภายในของก๊าซอุดมคติเป็นฟังก์ชันของอุณหภูมิเท่านั้น

สำหรับการพิจารณาว่าพลังงานภายในของก๊าซอุดมคติ เป็นฟังก์ชันของอุณหภูมิเท่านั้น จะแสดงให้เห็นจริงได้โดยพิจารณากรณีของการฟุ้งกระจายโดยอิสระของก๊าซอุดมคติ ภายในภาชนะที่หุ้มด้วยฉนวนและมีผนังแข็งแรง นั่นคือ จะไม่มีการถ่ายเทความร้อนเข้า-ออกจากระบบกับสิ่งแวดล้อม และจะไม่มีงานกระทำด้วย เพราะถือว่าเป็นการฟุ้งกระจายของก๊าซอย่างอิสระ



รูปที่ ๑

ในการพิจารณานี้จะให้ก๊าซอุดมคติอยู่ในส่วนหนึ่งของภาชนะ และอีกส่วนหนึ่งเป็นสุญญากาศ โดยมีแผ่นกั้นระหว่างส่วนทั้งสอง (ดังแสดงไว้ในรูปที่ 9) เมื่อดึงแผ่นที่กั้นส่วนทั้งสองนี้ออกจะทำให้ก๊าซฟุ้งกระจายเต็มภาชนะ กรณีนี้จะไม่ถือว่ามีการทำงาน เพราะก๊าซนั้นไม่ได้ดันให้ผนังที่กั้นอยู่เคลื่อนที่ออกไปแต่อย่างใด เพียงแต่เป็นการเคลื่อนที่ของก๊าซอย่างอิสระในภายหลังที่แผ่นกั้นนั้นถูกดึงออกไปแล้ว

ตามกฎข้อที่หนึ่ง $dU = d'Q - d'W$ จะพบว่าเมื่อไม่มีทั้งความร้อนถ่ายเท และไม่มีงานกระทำเกิดขึ้น จะได้ว่า $dU = 0$ นั่นคือ พลังงานภายใน (U) มีค่าคงที่ ซึ่งจูลได้ทำการทดลองไว้ในปี ค.ศ. 1843 จึงเรียกว่า การทดลองของจูล และได้ผลว่า อุณหภูมิของระบบก๊าซอุดมคติที่ฟุ้งกระจายอย่างอิสระเช่นนี้ไม่เปลี่ยนแปลง

นั่นคืออาจสรุปได้ว่า ถ้า T = คงที่ หรือ $dT = 0$ และ $dU = 0$ ด้วย ดังนั้น U เป็นฟังก์ชันของอุณหภูมิ (T) เท่านั้น

นักศึกษาอาจพิจารณาจากความสัมพันธ์ตามหลักแคลคูลัส เพื่อแสดงว่าพลังงานภายในเป็นฟังก์ชันของอุณหภูมิเท่านั้นประกอบได้ ดังนี้

ถ้าพลังงานภายในเป็นฟังก์ชันของอุณหภูมิและปริมาตร จะเขียนได้ว่า $dU = (\partial U/\partial T)_V\, dT + (\partial U/\partial V)_T = 0$ แต่กรณีนี้ $dT = 0$ อยู่แล้ว โดยที่ $dV \neq 0$ ดังนั้น $(\partial U/\partial V)_T = 0$ ซึ่งแสดงว่า $U \neq fn(V)$

และถ้าพลังงานภายในเป็นฟังก์ชันของอุณหภูมิกับความดันจะได้

$dU = (\partial U/\partial T)_P\, dT + (\partial U/\partial P)_T\, dP = 0$ ดังนั้น $(\partial U/\partial P)_T = 0$ ซึ่งแสดงว่า $U \neq fn\,(P)$

ในเมื่อ $U \neq U\,(P,V)$ จึงได้ว่า $U = U\,(T)$ เท่านั้น

สำหรับการบรรยายครั้งต่อไปจะได้พูดถึง “งานแอเดียแบติก” โดยเฉพาะเพื่อให้เห็นว่างานชนิดนี้แตกต่างไปจากงานทั่วไปอย่างไร

เสียงจากผู้ประกาศ “ที่จบลงไปนั้นคือการบรรยายสรุปวิชาเทอร์มัลฟิสิกส์ หรือ PH 314 ครั้งที่ 2 โดย รศ.อัจฉรา พันธุ์อำไพ ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง

.....การบันทึกแถบคำบรรยายสรุปกระบวนวิชาของมหาวิทยาลัยรามคำแหง มุ่งส่งเสริมการศึกษาด้วยตนเองและบริการความรู้มายังนักศึกษาและผู้สนใจทั่วไป โปรดส่งคำถามและข้อข้องใจไปยังคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง กรุงเทพ 10240.....