บทที่ 2
ความสัมพันธ์ของค่าต่าง ๆ

จุดประสงค์การเรียนรู้

1. แสดงความสัมพันธ์ของค่าต่าง ๆ ทางอุณหพลศาสตร์หรือเทอร์โมไดนามิกส์ในรูปสมการแสดงสภาวะสำหรับระบบใด ๆ ได้
2. ชี้แจงความแตกต่างของก๊าซจริงกับก๊าซอุดมคติ โดยอาศัยความสัมพันธ์ของค่าต่าง ๆ ได้
3. อธิบายลักษณะความสัมพันธ์ของค่าความดัน ปริมาตร และอุณหภูมิสำหรับสารทั้งหลายในสถานะต่าง ๆ ได้
4. ระบุความสัมพันธ์ของค่าสภาพอัดได้และสภาพขยายได้ของระบบกับค่าต่าง ๆ ได้
5. แสดงความสัมพันธ์ของค่าต่าง ๆ ในรูปแบบพาร์เชียลดิริเวทีฟได้
6. อธิบายคุณสมบัติของค่าที่จัดเป็นค่าอุณหพลศาสตร์หรือเทอร์โมไดนามิกส์ได้
7. ยกตัวอย่างระบบทางอุณหพลศาสตร์หรือเทอร์โมไดนามิกส์อย่างน้อย 3 ระบบที่มีความสัมพันธ์ของค่าต่าง ๆ ในรูปแบบที่แตกต่างกันได้

เค้าโครงเรื่อง

1. สมการแสดงสภาวะของก๊าซอุดมคติ
   - 1.1 ผิว P-v-T สำหรับก๊าซอุดมคติ
   - 1.2 กระบวนการไอโซเทอร์มัลของก๊าซอุดมคติ
   - 1.3 กระบวนการไอโซเมตริกของก๊าซอุดมคติ
   - 1.4 กระบวนการไอโซแบริกของก๊าซอุดมคติ
2. **สมการแสดงสภาวะของก๊าซจริง**
   - 2.1 สมการแวนเดอร์วาลส์
   - 2.2 ผิว P-v-T สำหรับก๊าซจริง

3. **ผิว** P-v-T สำหรับสารทั่วไป

3.1 ผิว P-v-T สำหรับสารที่มีปริมาตรลดลงจากสถานะเหลวเป็นสถานะของแข็ง

3.2 ผิว P-v-T สำหรับสารที่มีปริมาตรเพิ่มขึ้นจากสถานะเหลวเป็นสถานะของแข็ง

4. **ความสัมพันธ์ในรูปพาร์เชียลดิริเวทิฟ**

4.1 ความสัมพันธ์ของค่าสภาพอัดได้และสภาพขยายได้ของระบบกับค่าต่าง ๆ

4.2 การหาค่าวิกฤติของก๊าซแวนเดอวาลส์

4.3 ความสัมพันธ์ทั่วไปในรูปพาร์เชียลดิริเวทิฟ

4.4 ค่าทางอุณหพลศาสตร์

(หน้า 62-70)

สมการแสดงสภาวะของก๊าซอุดมคติ

คำอธิบายศัพท์/สำนวน

1. สมการแสดงสภาวะ คือ ความสัมพันธ์ของค่าต่าง ๆ ของระบบทางอุณหพลศาสตร์ ซึ่งมีรูปแบบที่แน่นอน

2. สมการแสดงสภาวะของก๊าซอุดมคติ คือ ความสัมพันธ์ของความดัน P ปริมาตร v และอุณหภูมิ T จะต้องมีค่า $Pv/T = R$ เสมอ โดยที่ R คือ ค่าคงที่สำหรับก๊าซทั่วไป

3. ผิว P-v-T คือ ลักษณะกราฟซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดัน P ปริมาตร v และอุณหภูมิ T โดยแต่ละค่าจะอยู่บนแกนที่ตั้งฉากซึ่งกันและกัน เช่น ผิว P-v-T สำหรับก๊าซอุดมคติซึ่งมีลักษณะตามสมการแสดงสภาวะของก๊าซอุดมคติ ประกอบด้วยสมการของเส้นไฮเพอร์โบลา (กระบวนการไอโซเทอร์มัลของก๊าซอุดมคติ) สมการเส้นตรง (กระบวนการไอโซเมตริกของก๊าซอุดมคติและกระบวนการไอโซแบริกของก๊าซอุดมคติ)

สรุปประเด็นสำคัญ

ความสัมพันธ์ของค่าต่าง ๆ ทางอุณหพลศาสตร์ ซึ่งมีรูปแบบที่แน่นอน เรียกว่า สมการแสดงสภาวะโดยอาจแสดงได้ด้วยกราฟที่มีแกนต่าง ๆ ตามค่าในความสัมพันธ์นั้น

กิจกรรมการเรียนที่ 1

1. ทบทวนเนื้อหาหัวข้อที่ 1 จากตำราเรียนด้วยตนเองแบบโปรแกรมสำหรับกระบวนวิชานี้ (รหัสการพิมพ์ 29241) หน้า 62-70

2. เขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความดัน (แกนดิ่ง) กับปริมาตร (แกนระนาบ) และระหว่างความดันหรือปริมาตร (แกนดิ่ง) กับอุณหภูมิ (แกนระนาบ) ตามสมการแสดงสภาวะของก๊าซอุดมคติ

(หน้า 71-73)

สมการแสดงสภาวะของก๊าซจริง

คำอธิบายศัพท์/สำนวน

สมการแสดงสภาวะของก๊าซจริง คือ ความสัมพันธ์ระหว่างความดัน ปริมาตรและอุณหภูมิที่ถูกต้องสำหรับก๊าซจริง ซึ่งอาจได้มาจากการทดลองหรือจากสมมติฐานที่เกี่ยวกับคุณสมบัติของโมเลกุล นอกจากนี้สมการแสดงสภาวะของก๊าซอุดมคติยังใช้ได้ถูกต้องกับ

ก๊าซจริง เมื่อความดันต่ำเข้าใกล้ศูนย์และยังใช้ได้ถูกต้องพอควรกับไอดงสูง เช่น อากาศที่อุณหภูมิห้องด้วย

สรุปประเด็นสำคัญ

สมการแสดงสภาวะของก๊าซจริงที่ควรจะรู้จักคือ สมการแวนเดอร์วาลส์ ซึ่งกำหนดค่าคงที่ a และ b สำหรับก๊าซแต่ละชนิดโดยเฉพาะ ตามความสัมพันธ์ดังนี้ $(P + \frac{a}{v^2})(v-b) = RT$ เมื่อก๊าซมีปริมาตรมาก (ความดันต่ำ) อาจละพจน์ a/v^2 และ b เสียได้ ดังนั้น สมการนี้จึงกลายเป็นสมการแสดงสภาวะของก๊าซอุดมคติ นับว่าสมการแวนเดอร์วาลส์ใช้ได้ถูกต้องกับก๊าซทุกชนิด

กิจกรรมการเรียนที่ 1

1. หนังสือเรียนเล่มที่ 2 ชาตวิทยาเรื่องสัมประสิทธิ์ของแบบโปรแกรมสำหรับกระบวนวิชานี้ (รหัสวิชาฟิสิกส์ 2004) หน้า 71-73

2. เปรียบเทียบลักษณะของผิว P-v-T สำหรับก๊าซจริงกับตัวอย่างสำหรับก๊าซอุดมคติ

(หน้า 73-74)

ผิว P-v-T สำหรับสารทั่วไป

คำอธิบายศัพท์/สำนวน

1. จุดวิกฤติ คือ จุดเปลี่ยนหรือจุดย้อนกลับของเส้นไอโซเทอร์มัลวิกฤติ ซึ่งสารอยู่ในสถานะของเหลวและไออย่างสมดุลซึ่งกันและกัน

2. เส้นร่วมสามหรือเส้นทริเปิ้ล คือ เส้นแสดงความสัมพันธ์ของความดัน ปริมาตร และอุณหภูมิของสารซึ่งอยู่ในสถานะของแข็ง ของเหลว และก๊าซอย่างสมดุลซึ่งกันและกัน

สรุปประเด็นสำคัญ

ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความดัน ปริมาตร และอุณหภูมิ สำหรับสารทั้งหลายโดยทั่วไปเมื่อแสดงด้วยกราฟจะมีลักษณะที่เรียกว่า ผิว P-v-T เป็น 2 แบบ ตามคุณสมบัติของสารทั้งหลายในโลกซึ่งจำแนกได้ 2 ประเภท เมื่อทำให้เย็นลงถึงจุดเยือกแข็งบางชนิดจะมีปริมาตรเพิ่มขึ้น ในขณะที่ส่วนใหญ่จะมีปริมาตรลดลง ดังนั้น ผิวดังกล่าวของสารทั้งสองชนิดจึงต่างกันโดยเฉพาะที่เส้นสมดุลของสารในสถานะของแข็งและของเหลว

กิจกรรมการเรียนที่ 3

1. ทบทวนเนื้อหาหัวข้อที่ 3 จากตำราเรียนด้วยตนเองแบบโปรแกรมสำหรับกระบวนวิชานี้ (รหัสการพิมพ์ 29241) หน้า 73-74

2. แสดงความแตกต่างของลักษณะผิว P-v-T สำหรับสารที่มีปริมาตรลดลงเมื่อเปลี่ยนสถานะจากสถานะเหลวเป็นสถานะของแข็งกับผิวดังกล่าวสำหรับสารที่มีปริมาตรเพิ่มขึ้นในการเปลี่ยนสถานะทำนองเดียวกัน

(หน้า 75-94)

ความสัมพันธ์ในรูปพาร์เชียลดิริเวทิฟ

คำอธิบายศัพท์/สำนวน

1. สภาพขยายได้ (expansivity) ของระบบใด ๆ หมายถึง ค่าจำกัดของอัตราการเพิ่มปริมาตรต่อหนึ่งหน่วยของการเปลี่ยนแปลง**อุณหภูมิที่ความดันคงที่** โดยในกรณีของก๊าซอุดมคติจะเป็นส่วนกลับของ**อุณหภูมิ** ดังนี้ สภาพขยายได้ $\beta \equiv \frac{1}{V}\left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_P = \frac{1}{V}\left(\frac{nR}{P}\right) = \frac{1}{T}$ เคลวิน$^{-1}$

2. สภาพอัดได้ (compressibility) ของระบบใด ๆ หมายถึง ค่าจำกัดของอัตราการเพิ่มปริมาตรต่อหนึ่งหน่วยของการเปลี่ยนแปลง**ความดันที่อุณหภูมิคงที่** โดยในกรณีของก๊าซอุดมคติจะเป็นส่วนกลับของ**ความดัน** ดังนี้ สภาพอัดได้ $k \equiv -\frac{1}{V}\left(\frac{\partial V}{\partial P}\right)_T = -\frac{1}{V}\left(-\frac{nRT}{P^2}\right) = \frac{1}{P}$

นิวตัน$^{-1}$.เมตร

สรุปประเด็นสำคัญ

1. โดยความสัมพันธ์ของค่าสภาพอัดได้และสภาพขยายได้กับค่าต่าง ๆ ทางอุณหพลศาสตร์ สำหรับสารทั้งหลายในสถานะ**ของแข็ง** หรือ**ของเหลว** โดยทั่วไป เมื่อทราบค่าสภาพอัดได้และสภาพขยายได้ของสาร จะช่วยให้หาค่าอื่น ๆ ของสารจากความสัมพันธ์ ดังนี้ $V = V_0[1-\beta(T-T_0)-\chi(P-P_0)]$ ซึ่งนับว่าเป็นสมการแสดงสภาวะสำหรับสารในสถานะทั้งสอง โดยประมาณการค่าของปริมาตรเนื่องจากปริมาตรในสถานะดังกล่าวเปลี่ยนแปลงน้อยมาก ขณะที่อุณหภูมิและความดันเปลี่ยนไป

2. สำหรับก๊าซแวนเดอร์วาลส์จะมีค่า Pv/RT ที่จุดวิกฤติ คือ $P_c v_c/RT_c = 0.375$ ซึ่งควรจะมีค่าตรงกันสำหรับก๊าซทุกชนิด แต่เมื่อเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการทดลองจะต่างกันไป

3. ความสัมพันธ์ทั่วไปของค่าต่าง ๆ ในรูปพาร์เชียลดิริเวทิฟที่สอดคล้องกับสมการ $f(x,y,z) = 0$ คือ $(\frac{\partial x}{\partial y})_z (\frac{\partial y}{\partial z})_x (\frac{\partial z}{\partial x})_y = -1$ โดยค่าที่จัดเป็นค่าทางอุณหพลศาสตร์จะเป็นค่าที่**ไม่**ขึ้นกับชนิดของกระบวนการที่ระบบเปลี่ยนจากสภาวะสมดุลหนึ่งไปสู่อีกสภาวะสมดุลหนึ่ง จึงอยู่ในรูปของอนุพันธ์ที่**แน่นอน** และการหาอินทิกรัลของอนุพันธ์ระหว่างสภาวะใด ๆ **จะไม่**ขึ้นกับเส้นทางระหว่างสภาวะ นอกจากนี้จะได้อินทิกรัลตลอดเส้นทาง**ปิด**ใด ๆ มีค่าเป็น**ศูนย์**

กิจกรรมการเรียนที่ 4

1. ทบทวนเนื้อหาหัวข้อที่ 4 จากตำราเรียนด้วยตนเองแบบโปรแกรมสำหรับกระบวนวิชานี้ (รหัสการพิมพ์ 29241) หน้า 75-94

2. เปรียบเทียบกราฟแสดงค่าสภาพยอมได้ของทองแดงและปรอทในตำรา (รหัสการพิมพ์ 29241) หน้า 79 ว่าต่างกันอย่างไร

3. แสดงความสัมพันธ์ทั่วไปของค่าความดัน อุณหภูมิ และปริมาตรในรูปพาร์เชียลดิริเวทิฟ

การประเมินผลท้ายบทที่ 2

1. **จงระบุว่าข้อความต่อไปนี้ถูกหรือผิด เพราะเหตุใด**

(ดูคำถามใน **ทดสอบ 2** กรอบที่ 2-67 และ 2-68 ในหน้า 96-98 ในตำรารหัสการพิมพ์ 29241)

2. จงทำ**แบบฝึกหัด 2** ในกรอบที่ 2-69 ถึง 2-83 ในหน้า 98-109 ในตำรารหัสการพิมพ์ 29241