เอกสารประกอบการสอน

รายวิชา เคมีเชิงฟิสิกส์ 1

สุภาวรัตน์ ทัพสุริย์

คณะวิทยาศาสตร์

มหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์

2565

คำนำ

เอกสารประกอบสอน รายวิชาเคมีเชิงฟิสิกส์ 1 รหัสวิชา 4023401 เป็นรายวิชาที่จัดขึ้นให้นักศึกษาสาขาวิชาเคมี ของคณะวิทยาศาสตร์ได้เรียน สำหรับเอกสารประกอบการสอนเล่มนี้ ผู้เขียนได้รวบรวมเนื้อหาโดยมุ่งเน้นความรู้ต่าง ๆ ทางด้านเคมี ได้แก่ สมบัติทั่วไปของแก๊ส ทฤษฎีจลน์โมเลกุลของแก๊ส อุณหเคมี อุณหพลศาสตร์เคมี สภาพเกิดเองและสมดุล สมบัติของสารละลาย วัฏภาคและสมดุลวัฏภาค เพื่อให้นักศึกษาได้ใช้ประกอบการเรียนในรายวิชาเคมีเชิงฟิสิกส์ 1 ใช้ศึกษาเป็นความรู้ทางเคมีขั้นสูง

ผู้เขียนขอขอบพระคุณผู้แต่งและผู้เรียบเรียงผลงานทางวิชาการทุกท่านที่ผู้เขียนได้นำมาเรียบเรียงเป็นเอกสารประกอบการสอนเล่มนี้ ขอขอบพระคุณครูอาจารย์ที่ช่วยประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้จนทำให้สามารถเรียบเรียงเอกสารประกอบการสอนเล่มนี้จนสำเร็จ ขอขอบพระคุณผู้ทรงคุณวุฒิที่ช่วยตรวจทานและให้คำแนะนำ ขอขอบคุณคณาจารย์สาขาวิชาเคมีที่ได้ให้คำแนะนำและมอบโอกาสที่ดีให้แก่ผู้เขียน และขอขอบคุณทุกกำลังใจจากครอบครัว สุดท้ายนี้ผู้เขียนหวังเป็นอย่างยิ่งว่า เอกสารประกอบการสอนเล่มนี้ จะเป็นประโยชน์ต่อนักศึกษา รวมถึงผู้ที่สนใจศึกษาทางด้านเคมีต่อไป

สุภาวรัตน์ ทัพสุริย์

สิงหาคม 2565

สารบัญ

หน้า

คำนำ.....

สารบัญ.....

สารบัญภาพประกอบ.....

สารบัญตาราง.....

แผนบริหารการสอนประจำวิชา.....

แผนบริหารการสอนประจำบทที่ 1.....

บทที่ 1 สมดุลเคมี.....

บทนำ.....

การวัดปริมาตร อุณหภูมิ และความดัน.....

กฎความดันย่อยของดาลตัน.....

พฤติกรรมของแก๊สจริง.....

ความสัมพันธ์ระหว่างความดันปริมาตรและอุณหภูมิของแก๊ส.....

การหาค่าคงที่แวนเดอร์วาลส์.....

สรุปท้ายบทที่ 1.....

คำถามท้ายบทที่ 1.....

เอกสารอ้างอิงบทที่ 1.....

แผนบริหารการสอนประจำบทที่ 2.....

บทที่ 2 ทฤษฎีจลน์โมเลกุลของแก๊ส.....

สมการมูลฐานของทฤษฎีจลน์โมเลกุล.....

พลังงานจลน์และอุณหภูมิ.....

พลังงานจลน์และความเร็วโมเลกุล.....

การกระจายของความเร็วโมเลกุล.....

ชนิดของความเร็วเฉลี่ย.....

การชนกันระหว่างโมเลกุลและระยะอิสระเฉลี่ย.....

การชนผนังของโมเลกุล.....

สรุปท้ายบทที่ 2.....

คำถามท้ายบทที่ 2.....

เอกสารอ้างอิงบทที่ 2.....

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

แผนบริหารการสอนประจำบทที่ 3.....

บทที่ 3 อุณหเคมี.....

อุณหเคมี.....

กฎผลรวมความร้อนคงที่ของเฮส.....

เอนทัลปีมาตรฐานของการเกิดสาร.....

ความจุความร้อน.....

วิธีวัดการเปลี่ยนแปลงของความร้อน.....

ความร้อนของสารละลายและการเจือจาง.....

การเปลี่ยนแปลงเอนทัลปีกับอุณหภูมิ.....

สรุปท้ายบทที่ 3.....

คำถามท้ายบทที่ 3.....

เอกสารอ้างอิงบทที่ 3.....

แผนบริหารการสอนประจำบทที่ 4.....

บทที่ 4 อุณหพลศาสตร์.....

พลังงานและการเปลี่ยนแปลงพลังงานในปฏิกิริยาเคมี.....

กฎข้อที่ 1 ของเทอร์โมไดนามิกส์.....

เอนทัลปี.....

เอนทัลปีของการเกิดปฏิกิริยา.....

แคลอริมิเตอร์.....

กฎของเฮสส์.....

เอนทัลปีมาตรฐานของการเกิด.....

กระบวนการที่เกิดขึ้นเองได้และเอนโทรปี.....

กฎข้อที่ 2 ของเทอร์โมไดนามิกส์.....

พลังงานเสรีกิบส์.....

สรุปท้ายบทที่ 4.....

คำถามท้ายบทที่ 4.....

เอกสารอ้างอิงบทที่ 4.....

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

แผนบริหารการสอนประจำบทที่ 5.....

บทที่ 5 สภาพเกิดเองและสมดุล.....

พลังงานอิสระเฮล์มโฮลตซ์.....

พลังงานอิสระกิบบส์.....

การเปลี่ยนแปลงพลังงานอิสระมาตรฐาน.....

พลังงานอิสระและค่าคงที่สมดุล.....

การแปรของอุณหภูมิและสมดุล.....

การแปรของพลังงานอิสระกับอุณหภูมิ.....

การแปรของพลังงานอิสระกับอุณหภูมิ.....

สรุปท้ายบทที่ 5.....

คำถามท้ายบทที่ 5.....

แผนบริหารการสอนประจำบทที่ 6.....

บทที่ 6 วัฏภาคและสมดุลวัฏภาค.......

สมดุลระหว่างวัฏภาค.....

กฎวัฏภาค.....

แผนภาพวัฏภาคสำหรับส่วนประกอบเดี่ยว.....

แผนภาพวัฏภาคสำหรับระบบที่มีสองส่วนประกอบ.....

แผนภาพวัฏภาคสำหรับระบบที่มีสามส่วนประกอบ.....

สรุปท้ายบทที่ 6.....

คำถามท้ายบทที่ 6.....

เอกสารอ้างอิงบทที่ 6.....

แผนบริหารการสอนประจำบทที่ 7.....

บทที่ 7 สมบัติของสารละลาย.....

ความเข้มข้นของสารละลาย.....

ศักย์เคมี.....

ฟูกาสิตีและแอคติวิตี.....

กฎของราอูลท์และกฎของเฮนรี่.....

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

อุณหพลศาสตร์ของสารละลายอุดมคติ.....
สมบัติคอลลิเกตีฟ.....
สรุปท้ายบทที่ 7.....
คำถามท้ายบทที่ 7.....
เอกสารอ้างอิงบทที่ 7.....
ภาคผนวก..........

แผนบริหารการสอนประจำบทที่ 1

เนื้อหาประจำบท

- กฎของแก๊ส ได้แก่ กฎของบอยล์ กฎของชาร์ล และกฎของแก๊สอุดมคติ
- ทฤษฎีจลน์โมเลกุลของแก๊ส
- พฤติกรรมของแก๊สจริง และพฤติกรรมของแก๊สอุดมคติ

วัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม

- สามารถอธิบายเปรียบเทียบกฎของแก๊สแบบต่างๆ ได้
- สามารถอธิบายทฤษฎีจลน์โมเลกุลของแก๊สได้
- สามารถอธิบายพฤติกรรมของแก๊สจริง และพฤติกรรมของแก๊สอุดมคติได้

วิธีสอนและกิจกรรมการเรียน การสอนประจำบท

1. ผู้สอนบรรยายหัวข้อต่อไปนี้พร้อมทั้งเปิดโอกาสให้นักศึกษาซักถาม
   - กฎของแก๊ส
   - ทฤษฎีจลน์โมเลกุลของแก๊ส
   - พฤติกรรมของแก๊สจริงและแก๊สอุดมคติ

2. ให้นักศึกษาทำกิจกรรมต่อไปนี้
   - ทำแบบฝึกหัดใบงานที่กำหนดให้
   - ร่วมอภิปรายทฤษฎีจลน์โมเลกุลของแก๊ส และพฤติกรรมของแก๊สจริงและแก๊สอุดมคติ

สื่อการเรียนการสอน

- เอกสารประกอบการสอนและตำราต่างๆ
- สไลด์ Powerpoint
- วิดีโอลักษณะการเคลื่อนที่ของแก๊ส
- ค้นคว้าเพิ่มเติมจากแหล่งความรู้ต่างๆ เช่น ห้องสมุด สื่ออินเทอร์เน็ต

การวัดผลและการประเมินผล

- สังเกตความสนใจของนักศึกษาขณะสอน ความตั้งใจ การฟัง การจดบันทึก และการซักถาม
- แบบทดสอบ
- แบบฝึกหัด
- การสอบย่อย
- การมีส่วนร่วมในกิจกรรมการเรียนการสอน
- การวิเคราะห์เนื้อหาเป็นกลุ่ม นำเสนอและสรุปร่วมกันในคาบเรียน

บทที่ 1
สมบัติทั่วไปของแก๊ส

1.1 บทนำ

แก๊ส เป็นสถานะหนึ่งใน 3 สถานะของสสาร ซึ่งมีบทบาทสำคัญในการพัฒนาทางวิทยาศาสตร์ โดยเฉพาะในทางเคมี การศึกษาค้นคว้าเพื่อทำความเข้าใจเกี่ยวกับสถานะแก๊สได้เริ่มตั้งแต่ยุคต้นของประวัติการศึกษาทางวิทยาศาสตร์ สมบัติของแก๊สไม่ได้ศึกษากันเป็นรูปแบบ จนกระทั่งใน ค.ศ. 1660 บอยล์ (Robert Boyle ค.ศ. 1627-1691) เป็นผู้ริเริ่มศึกษาเกี่ยวกับความดันของแก๊ส ความคิดในตอนแรกของบอยล์ ถือว่าอากาศเป็นอนุภาคเล็กที่มีมวลและมีการยืดหดได้หรือมีสปริง ซึ่งต่อมาได้กลายเป็นกฎหนึ่งเกี่ยวกับแก๊ส เรียกว่า กฎของบอยล์

เมื่อแนวคิดเกี่ยวกับอะตอมและโมเลกุลมีความถูกต้องยิ่งขึ้น การศึกษาเกี่ยวกับแก๊ส จึงมีบทบาทสำคัญในการพัฒนาทางเคมี ในระหว่าง ค.ศ. 1805-1815 เกลูแซก (Joseph Louis Gay-Lussac ค.ศ. 1778-1850) ได้ศึกษาการรวมตัวโดยปริมาตรของแก๊สชนิดหนึ่ง แล้วได้แก๊สอีกชนิดหนึ่ง ผลการศึกษาของเกลูสแซกได้ยืนยันว่าถูกต้องโดยอาโวกาโดร (Avogadro's hypothesis) ต่อมาประมาณปี ค.ศ. 1858 คันนีดซาโร (Stanislav Cannizzaro ค.ศ. 1826-1910) ได้ใช้สมมติฐานของอาโวกราโดรในการคำนวณน้ำหนักอะตอมของธาตุ ตัวอย่างผลงานการศึกษาในยุคแรกๆ ที่สำคัญคือการใช้วิธีอนุมาน ศึกษาพฤติกรรมของแก๊ส จนได้ทฤษฎีที่เรียกว่า ทฤษฎีจลน์โมเลกุลของแก๊ส (kinetic molecular theory of gases) รูปแบบเริ่มแรกของทฤษฎีนี้ ได้อธิบายพฤติกรรมของแก๊สในเทอมของพลังงานจลน์จากการเคลื่อนที่ของทรงกลมเล็กๆ ที่ไม่มีโครงสร้างภายใน ต่อมาเมื่อมีการศึกษาเกี่ยวกับโครงสร้างภายในของโมเลกุลเพิ่มขึ้น และศึกษาเกี่ยวกับการเคลื่อนที่แบบไม่มีทิศทางแน่นอนของอนุภาคในอากาศ ซึ่งเรียกว่า การเคลื่อนที่แบบบราวน์ (Brownian motion) ทำให้ได้ข้อมูลสนับสนุนทฤษฎีจลน์โมเลกุลของแก๊สให้เหมาะสมยิ่งขึ้น ซึ่งทฤษฎีนี้จะศึกษาในบทนี้

การศึกษาพฤติกรรมของแก๊สเพื่อนำไปสู่ทฤษฎีจลน์โมเลกุลของแก๊สนั้น สมบัติที่สำคัญที่ต้องกำหนดในรูปของตัวแปรที่แน่นอน คือ อุณหภูมิ ปริมาตร ความดัน และปริมาณของแก๊ส (กำหนดในเทอมของจำนวนโมล) จากการศึกษาและสังเกตพฤติกรรมของแก๊สพบว่า แก๊สทั้งหมดจะมีสมบัติทั่วไปที่แน่นอน สมบัติบางประการของแก๊สที่แตกต่างจากของแข็ง และของเหลว สรุปได้ ดังนี้

1) แก๊สมีลักษณะโปร่งใสที่สามารถมองทะลุผ่านได้ แม้จะมีสีก็ตาม เช่น แก๊สคลอรีน มีสีเขียวแกมเหลือง เป็นต้น
2) แก๊สมีความหนาแน่นน้อยกว่าของแข็ง และของเหลว

3) อนุภาคของแก๊สอยู่ห่างกันมากกว่าอนุภาคของของแข็งและของเหลว จึงทำให้แก๊สแพร่กระจายได้เร็วกว่าของแข็งและของเหลว

4) รูปร่างและปริมาตรของแก๊สไม่แน่นอน หรือไม่มีพื้นที่ที่เป็นขอบเขต แก๊สจึงมีรูปร่างและปริมาตรตามภาชนะที่บรรจุ

5) เมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนไป ปริมาตรของแก๊สจะเปลี่ยนแปลงได้มากกกว่ากรณีของแข็ง และของเหลว

เพื่อความสะดวกเกี่ยวกับแก๊ส นักวิทยาศาสตร์ได้แบ่งแก๊สออกเป็น 2 ชนิด คือ

1) แก๊สอุดมคติ หรือแก๊สสมมติ (Ideal gas) หมายถึง แก๊สที่ไม่มีขนาดโมเลกุลและไม่มีแรงกระทำระหว่างโมเลกุล แก๊สดังกล่าวจะมีพฤติกรรมเป็นไปตามกฎต่างๆ ของแก๊สอุดมคติ เช่น กฎของบอยล์ กฎของชาร์ล เป็นต้น ในธรรมชาติไม่มีแก๊สอุดมคติ แต่กำหนดขึ้นเพื่อพฤติกรรมของแก๊ส

2) แก๊สจริง (Real gas หรือ non- ideal gas) เป็นแก๊สที่มีจริงตามธรรมชาติ ซึ่งมีแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุล และโมเลกุลของแก๊สจะมีขนาด แก๊สจริงจะมีพฤติกรรมไม่เป็นไปตามกฎของแก๊สอุดมคติ แต่มีบางสภาวะโดยเฉพาะที่ความดันต่ำมากๆ หรือที่อุณหภูมิสูงมากๆ แก๊สจริงจะมีพฤติกรรมใกล้เคียงกับแก๊สอุดมคติ

สมบัติต่างๆ ของแก๊ส ที่กำหนดในรูปของตัวแปรที่กล่าวแล้ว คือ อุณหภูมิ ปริมาตร ความดัน และจำนวนโมล จะได้กล่าวถึงก่อนในบทนี้

1.2 การวัดปริมาตร อุณหภูมิ และความดัน

สมบัติทางกายภาพของแก๊ส เกือบไม่ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบทางเคมีของแก๊สนั้น แต่ขึ้นอยู่กับตัวแปรต่างๆ คือ ปริมาตร (V) อุณหภูมิ (θ) ความดัน (P) และจำนวนโมล (n) ของแก๊สนั้น ซึ่งเขียนเป็นความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ ได้ดังนี้

$$V = V(P, \theta, n)$$

เรียกความสัมพันธ์นี้ว่า สมการแห่งสภาวะ (Equation of state)

อ่านว่า ปริมาตรเป็นฟังก์ชันของความดัน อุณหภูมิ และจำนวนโมลของสาร หมายความว่าปริมาตรของแก๊สเป็นค่าที่เปลี่ยนแปลงได้ และขึ้นอยู่กับความดัน อุณหภูมิ และจำนวนโมล

ปริมาตร (Volume) : เนื่องจากโมเลกุลของแก๊ส มีการเคลื่อนที่ฟุ้งกระจายเต็มภาชนะที่บรรจุ ดังนั้นปริมาตรของแก๊สจึงหมายถึงปริมาตรของภาชนะที่ใช้บรรจุแก๊สนั้น หน่วยของปริมาตรเป็น ดังนี้

หน่วยที่ใช้ทั่วไป คือ ลิตร (L) มิลลิลิตร (mL) ลูกบาศก์เซนติเมตร (cm^3) และลูกบาศก์เมตร (m^3)

หน่วย SI (International system of unit) ใช้หน่วยปริมาตร เป็น ลูกบาศก์เดซิเมตร (dm^3) แทน ลิตร และใช้ลูกบาศก์เซนติเมตร (cm^3) แทน มิลลิลิตร (mL)

อุณหภูมิ (temperature) : ตามความหมายกว้างๆ อุณหภูมิเป็นมาตราส่วนที่ใช้วัดระดับความร้อน แต่มิได้บอกให้ทราบว่ามีปริมาณความร้อนเท่าใด สารที่มีอุณหภูมิเท่ากัน อาจมีปริมาณความร้อนเท่ากันหรือต่างกันก็ได้ เปรียบเสมือนแก้วขนาดไม่เท่ากัน 2 ใบ เมื่อเติมน้ำจนระดับน้ำเท่ากัน ปริมาณของน้ำจะไม่เท่ากัน นิยามอุณหภูมิมีหลายแบบ เช่น นิยามในทฤษฎีจลน์โมเลกุลของแก๊ส และนิยามในทางอุณหพลศาสตร์ เป็นต้น ซึ่งจะได้กล่าวถึงเมื่อศึกษาถึงเรื่องนั้นๆ

เครื่องมือที่ใช้วัดอุณหภูมิ คือ เทอร์มอมิเตอร์ เทอร์มอคัปเปิล (Thermocouple) และมาตรอุณหภูมิสูง (Pyrometer)

มาตราส่วนที่ใช้บอกระดับอุณหภูมิมีหลายแบบ เช่น เซลเซียส (°C) ฟาเรนไฮต์ (°F) และเคลวิน (K) เป็นต้น ในการศึกษาเกี่ยวกับแก๊ส และในทางอุณหพลศาสตร์ นิยมใช้มาตรส่วนบอกระดับอุณหภูมิเป็น เคลวิน (K) หรือ เรียกว่า มาตราส่วนอุณหภูมิสัมบูรณ์ (Absolute temperature scale) ซึ่งมีความสัมพันธ์กับมาตราส่วนเซลเซียส ดังนี้

$$K = 273.5 + \theta\ ^{\circ}C$$

ความดัน (Pressure) : หมายถึง แรงที่กระทำต่อหน่วยพื้นที่ ในกรณีที่แก๊สบรรจุในภาชนะ ความดันของแก๊สเกิดจากการเคลื่อนที่ของโมเลกุลของแก๊สไปชนผนังภาชนะนั้น หน่วยของความดัน เป็นดังนี้ หน่วยที่ใช้ทั่วไป ใช้หน่วยของความดัน เป็น มิลลิเมตรของปรอท หรือ ทอร์