คู่มือครู
รายวิชาเพิ่มเติม

เคมี ม.5

ตามผลการเรียนรู้
กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ **(ฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2560)**
ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551

ตัวอย่าง
หลักสูตรปรับปรุง '60

เพิ่ม

คำแนะนำการใช้ ช่วยสร้างความเข้าใจ เพื่อใช้คู่มือครูได้อย่างถูกต้องและเกิดประสิทธิภาพสูงสุด

คำอธิบายรายวิชา แสดงขอบข่ายเนื้อหาสาระของรายวิชา ซึ่งครอบคลุมมาตรฐานการเรียนรู้ และตัวชี้วัดตามที่หลักสูตรกำหนด

Pedagogy ช่วยสร้างความเข้าใจในกระบวนการออกแบบการจัดการเรียนการสอนแบบ Active Learning ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

Teacher Guide Overview ช่วยให้เห็นภาพรวมของการจัดการเรียนการสอนทั้งหมดของรายวิชา ก่อนที่จะลงมือสอนจริง

Chapter Overview ช่วยสร้างความเข้าใจ และเห็นภาพรวมในการออกแบบแผนการจัดการเรียนรู้แต่ละหน่วย

Chapter Concept Overview ช่วยให้เห็นภาพรวม Concept และเนื้อหาสำคัญของหน่วยการเรียนรู้

ข้อสอบเน้นการคิด/ข้อสอบแนว O-NET เพื่อเตรียมความพร้อมของผู้เรียนสู่การสอบในระดับต่าง ๆ

กิจกรรม 21st Century Skills กิจกรรมที่จะช่วยพัฒนาผู้เรียนให้มีทักษะที่จำเป็นสำหรับการเรียนรู้และการดำรงชีวิตในโลกแห่งศตวรรษที่ 21

คู่มือครู

เคมี ม.5 เล่ม 1

ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5

ตามผลการเรียนรู้

กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ **(ฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2560)**

ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551

ผู้เรียบเรียงหนังสือเรียน

นายพงศธร นันทธเนศ
นายพรพรหม ชัยฉัตรพรสุข
นายสุนทร ภูรีปรีชาเลิศ
ดร. ศิริศักดิ์ โลลุพิมาน

ผู้ตรวจหนังสือเรียน

รศ.ดร. นวลจิตต์ เชาวกีรติพงศ์
ผศ. สันติ ศรีประเสริฐ
ดร. บุญทวี เลิศปัญญาพรชัย

บรรณาธิการหนังสือเรียน

นางสาวจันจิรา รัตนนันทเดช

ผู้เรียบเรียงคู่มือครู

นางสาวธีราภัทร์ ธนโชคดี
นายอติคุณ โชติรัตนโชติ

บรรณาธิการคู่มือครู

นางสาวจันจิรา รัตนนันทเดช

อักษร www.aksorn.com

จัดพิมพ์และจำหน่ายทั่วประเทศโดย
บริษัท อักษรเจริญทัศน์ อจท. จำกัด
142 ถนนตะนาว เขตพระนคร กรุงเทพมหานคร 10200
โทร./แฟกซ์. 0 2622 2999 (อัตโนมัติ 20 คู่สาย)
พิมพ์ที่: **บริษัท ไทยร่มเกล้า จำกัด** โทร. 0 2903 9101-6

คำแนะนำการใช้

คู่มือครู รายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์ เคมี ม.5 เล่ม 1 จัดทำขึ้นสำหรับให้ครูผู้สอนใช้เป็นแนวทางวางแผนการจัดการเรียนการสอน เพื่อพัฒนาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและการประกันคุณภาพผู้เรียนตามนโยบายของสำนักงานคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐาน (สพฐ.)

เพิ่ม **คำแนะนำการใช้** ช่วยสร้างความเข้าใจ เพื่อใช้คู่มือครูได้อย่างถูกต้องและเกิดประสิทธิภาพสูงสุด

เพิ่ม **คำอธิบายรายวิชา** แสดงขอบข่ายเนื้อหาสาระของรายวิชา ซึ่งครอบคลุมผลการเรียนรู้ตามที่หลักสูตรกำหนด

เพิ่ม **Pedagogy** ช่วยสร้างความเข้าใจในกระบวนการออกแบบการจัดการเรียนการสอนแบบ Active Learning ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

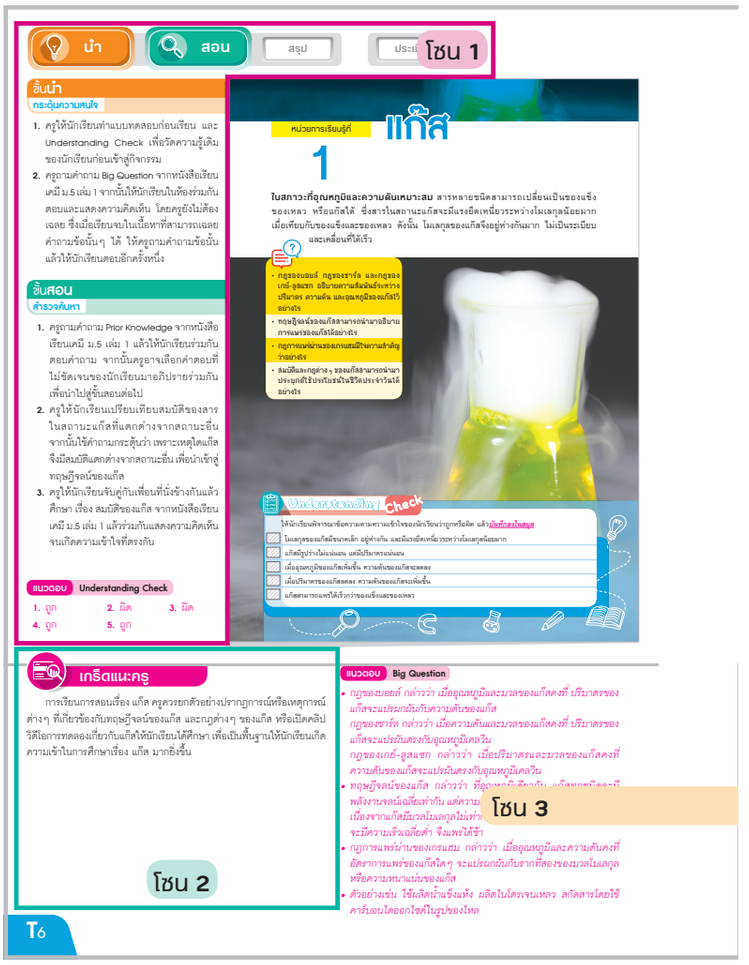
เพิ่ม **Teacher Guide Overview** ช่วยให้เห็นภาพรวมของการจัดการเรียนการสอนทั้งหมดของรายวิชาก่อนที่จะลงมือสอนจริง

เพิ่ม **Chapter Overview** ช่วยสร้างความเข้าใจและเห็นภาพรวมในการออกแบบแผนการจัดการเรียนรู้แต่ละหน่วย

เพิ่ม **Chapter Concept Overview** ช่วยให้เห็นภาพรวม Concept และเนื้อหาสำคัญของหน่วยการเรียนรู้

เพิ่ม **ข้อสอบเน้นการคิด/ข้อสอบแนว O-NET** เพื่อเตรียมความพร้อมของผู้เรียนสู่การสอบในระดับต่าง ๆ

เพิ่ม **กิจกรรม 21st Century Skills** กิจกรรมที่จะช่วยพัฒนาผู้เรียนให้มีทักษะที่จำเป็นสำหรับการเรียนรู้และการดำรงชีวิตในโลกแห่งศตวรรษที่ 21



โซน 1 ช่วยครูจัดการเรียนการสอน

แนวทางการจัดกิจกรรมการเรียนการสอนให้ครูผู้สอนโดยแนะนำขั้นตอนการสอน และการจัดกิจกรรมอย่างละเอียด เพื่อให้นักเรียนบรรลุผลสัมฤทธิ์ตามผลการเรียนรู้

นำ สอน สรุป ประเมิน

โซน 2 ช่วยครูเตรียมสอน

ประกอบด้วยองค์ประกอบต่าง ๆ ที่เป็นประโยชน์สำหรับครูเพื่อนำไปประยุกต์ใช้จัดกิจกรรมการเรียนรู้ในชั้นเรียน

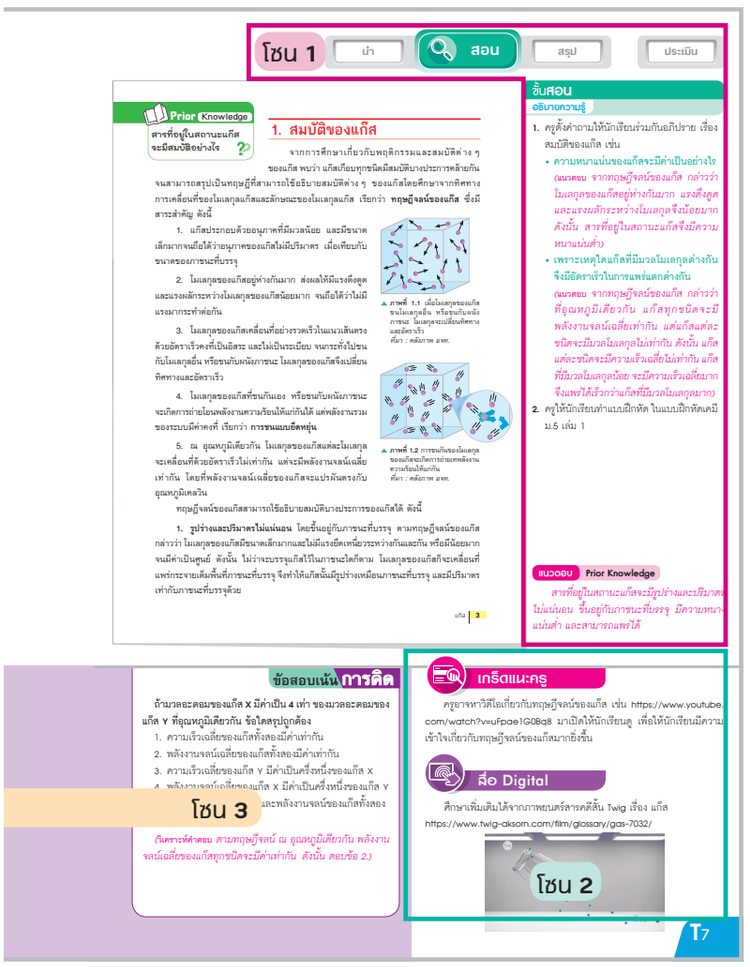
เกร็ดแนะครู

ความรู้เสริมสำหรับครู ข้อเสนอแนะ ข้อสังเกต แนวทางการจัดกิจกรรมและอื่น ๆ เพื่อประโยชน์ในการจัดการเรียนการสอน

นักเรียนควรรู้

ความรู้เพิ่มเติมจากเนื้อหา สำหรับอธิบายเสริมเพิ่มเติมให้กับนักเรียน

โดยใช้ ***หนังสือเรียนเคมี ม.5 เล่ม 1*** และ***แบบฝึกหัดเคมี ม.5 เล่ม 1*** ของบริษัท อักษรเจริญทัศน์ อจท. จำกัด เป็นสื่อหลัก (Core Materials) ประกอบการสอนและการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ เพื่อให้สอดคล้องกับผลการเรียนรู้กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2560) ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551 ซึ่งคู่มือครูเล่มนี้มีองค์ประกอบที่ง่ายต่อการใช้งาน ดังนี้



โซน 3 ช่วยครูเตรียมนักเรียน

ประกอบด้วยแนวทางสำหรับการจัดกิจกรรมและเสนอแนะแนวข้อสอบ เพื่ออำนวยความสะดวกให้แก่ครูผู้สอน

กิจกรรม 21st Century Skills

กิจกรรมที่ให้นักเรียนได้ประยุกต์ใช้ความรู้สร้างชิ้นงานหรือทำกิจกรรมรวบยอดเพื่อให้เกิดทักษะที่จำเป็นในศตวรรษที่ 21

ข้อสอบเน้นการคิด

ตัวอย่างข้อสอบที่มุ่งเน้นการคิด มีทั้งปรนัย-อัตนัย พร้อมเฉลยอย่างละเอียด

ข้อสอบเน้นการคิดแนว O-NET

ตัวอย่างข้อสอบที่มุ่งเน้นการคิดวิเคราะห์ และสอดคล้องกับแนวข้อสอบ O-NET มีทั้งปรนัย-อัตนัย พร้อมเฉลยอย่างละเอียด

กิจกรรมท้าทาย

เสนอแนะแนวทางการจัดกิจกรรม เพื่อต่อยอดสำหรับนักเรียนที่เรียนรู้ได้อย่างรวดเร็ว และต้องการท้าทายความสามารถในระดับที่สูงขึ้น

กิจกรรมสร้างเสริม

เสนอแนะแนวทางการจัดกิจกรรมซ่อมเสริมสำหรับนักเรียนที่ควรได้รับการพัฒนาการเรียนรู้

ห้องปฏิบัติการ *(วิทยาศาสตร์)*

คำอธิบายหรือข้อเสนอแนะสิ่งที่ควรระมัดระวัง หรือข้อควรปฏิบัติตามเนื้อหาในบทเรียน

สื่อ Digital

แนะนำแหล่งเรียนรู้และแหล่งค้นคว้าจากสื่อ Digital ต่าง ๆ

แนวทางการวัดและประเมินผล

เสนอแนะแนวทางการบรรลุผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียนตามมาตรฐานการเรียนรู้และตัวชี้วัดที่หลักสูตรกำหนด

คำอธิบายรายวิชา

เคมี เล่ม 1

ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5

กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์

เวลาเรียน 60 ชั่วโมง/ปี

ศึกษาและอธิบายความสัมพันธ์ของปริมาตร ความดัน และอุณหภูมิ คำนวณหาปริมาตร ความดัน หรืออุณหภูมิของแก๊สตามกฎของบอยล์ กฎของชาร์ล กฎของเกย์-ลูสแซก และกฎรวมแก๊ส คำนวณหาปริมาตร ความดัน อุณหภูมิ จำนวนโมล หรือมวลของแก๊สตามกฎของอาโวกาโดร และกฎแก๊สอุดมคติ คำนวณความดันย่อย หรือจำนวนโมลของแก๊สในแก๊สผสมโดยใช้กฎความดันย่อยของดอลตัน ศึกษาและทดลองการแพร่และอัตราการแพร่ของแก๊ส คำนวณเกี่ยวกับกฎการแพร่ผ่านของเกรแฮม ศึกษาเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับสมบัติของแก๊ส ศึกษาและทดลองเกี่ยวกับอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี คำนวณหาอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีของสารจากกราฟ ศึกษาและวิเคราะห์แนวคิดเกี่ยวกับการเกิดปฏิกิริยาเคมี โดยใช้ทฤษฎีจลน์และการชนกันของอนุภาค ศึกษา ทดลอง และอธิบายผลของความเข้มข้น พื้นที่ผิวของสารตั้งต้น อุณหภูมิ และตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี ยกตัวอย่างและอธิบายปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีในชีวิตประจำวันและอุตสาหกรรม ศึกษาการเกิดปฏิกิริยาไปข้างหน้า ปฏิกิริยาย้อนกลับ และปฏิกิริยาที่ผันกลับได้ ทดลองเกี่ยวกับปฏิกิริยาที่ผันกลับได้ ศึกษาและทดลองสมดุลเคมีในปฏิกิริยา วิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารต่าง ๆ ณ ภาวะสมดุล ค่าคงที่สมดุลกับสมการเคมี คำนวณหาค่าคงที่สมดุล และหาความเข้มข้นของสารในปฏิกิริยา ณ ภาวะสมดุล ทดลองเพื่อศึกษาผลของความเข้มข้น ความดัน และอุณหภูมิต่อภาวะสมดุลและค่าคงที่สมดุล ศึกษาหลักของเลอชาเตอลิเอ และการนำหลักเลอชาเตอลิเอไปใช้อธิบายสมดุลเคมีของกระบวนการที่เกิดขึ้นในสิ่งมีชีวิต ปรากฏการณ์ในธรรมชาติ และกระบวนการในอุตสาหกรรม

โดยใช้การเรียนรู้ด้วยกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ การสืบเสาะหาความรู้ การสำรวจตรวจสอบ สามารถนำความรู้และหลักการไปใช้ประโยชน์ เชื่อมโยง อธิบายปรากฏการณ์ หรือแก้ปัญหาในชีวิตประจำวัน สามารถจัดกระทำและวิเคราะห์ข้อมูล สื่อสารสิ่งที่เรียนรู้ มีความสามารถในการตัดสินใจแก้ปัญหา มีจิตวิทยาศาสตร์ เห็นคุณค่าของวิทยาศาสตร์ มีจริยธรรม คุณธรรม และค่านิยมที่เหมาะสม

ผลการเรียนรู้

1. อธิบายความสัมพันธ์และคำนวณปริมาตร ความดัน หรืออุณหภูมิของแก๊สที่ภาวะต่าง ๆ ตามกฎของบอยล์ กฎของชาร์ล กฎของเกย์-ลูสแซก
2. คำนวณปริมาตร ความดัน หรืออุณหภูมิของแก๊สที่ภาวะต่าง ๆ ตามกฎรวมแก๊ส
3. คำนวณปริมาตร ความดัน อุณหภูมิ จำนวนโมล หรือมวลของแก๊สจากความสัมพันธ์ตามกฎของอาโวกาโดร และกฎแก๊สอุดมคติ
4. คำนวณความดันย่อยหรือจำนวนโมลของแก๊สในแก๊สผสม โดยใช้กฎความดันย่อยของดอลตัน
5. อธิบายการแพร่ของแก๊สโดยใช้ทฤษฎีจลน์ของแก๊ส คำนวณและเปรียบเทียบอัตราการแพร่ของแก๊สโดยใช้กฎการแพร่ผ่านของเกรแฮม
6. สืบค้นข้อมูล นำเสนอตัวอย่าง และอธิบายการประยุกต์ใช้ความรู้เกี่ยวกับสมบัติและกฎต่าง ๆ ของแก๊สในการอธิบายปรากฏการณ์ หรือแก้ปัญหาในชีวิตประจำวันและในอุตสาหกรรม

7. ทดลองและเขียนกราฟการเพิ่มขึ้นหรือลดลงของสารที่ทำการวัดในปฏิกิริยา
8. คำนวณอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีและเขียนกราฟการลดลงหรือเพิ่มขึ้นของสารที่ไม่ได้วัดในปฏิกิริยา
9. เขียนแผนภาพและอธิบายทิศทางการชนกันของอนุภาคและพลังงานที่ส่งผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี
10. ทดลองและอธิบายผลของความเข้มข้น พื้นที่ผิวของสารตั้งต้น อุณหภูมิ และตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี
11. เปรียบเทียบอัตราการเกิดปฏิกิริยาเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้น พื้นที่ผิวของสารตั้งต้น อุณหภูมิ และตัวเร่งปฏิกิริยา
12. ยกตัวอย่างและอธิบายปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีในชีวิตประจำวัน หรืออุตสาหกรรม
13. ทดสอบและอธิบายความหมายของปฏิกิริยาผันกลับได้และภาวะสมดุล
14. อธิบายการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสาร อัตราการเกิดปฏิกิริยาไปข้างหน้า และอัตราการเกิดปฏิกิริยาย้อนกลับเมื่อเริ่มปฏิกิริยาจนกระทั่งระบบอยู่ในภาวะสมดุล
15. คำนวณค่าคงที่สมดุลของปฏิกิริยา
16. คำนวณความเข้มข้นของสารที่ภาวะสมดุล
17. คำนวณค่าคงที่สมดุลหรือความเข้มข้นของปฏิกิริยาหลายขั้นตอน
18. ระบุปัจจัยที่มีผลต่อภาวะสมดุลและค่าคงที่สมดุลของระบบ รวมทั้งคาดคะเนการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นเมื่อภาวะสมดุลของระบบถูกรบกวน โดยใช้หลักของเลอชาเตอลิเอ
19. ยกตัวอย่างและอธิบายสมดุลเคมีของกระบวนการที่เกิดขึ้นในสิ่งมีชีวิต ปรากฏการณ์ในธรรมชาติ และกระบวนการในอุตสาหกรรม

รวม 19 ผลการเรียนรู้

คู่มือครู รายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์ เคมี ม.5 เล่ม 1 รวมถึงสื่อการเรียนรู้รายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์ เคมี ชั้น ม.5 ผู้จัดทำได้ออกแบบการสอน (Instructional Design) อันเป็นวิธีการจัดการเรียนรู้และเทคนิคการสอนที่เปี่ยมด้วยประสิทธิภาพ และมีความหลากหลายให้กับผู้เรียน เพื่อให้ผู้เรียนสามารถบรรลุผลสัมฤทธิ์ตามผลการเรียนรู้ รวมถึงสมรรถนะและคุณลักษณะอันพึงประสงค์ของผู้เรียนที่หลักสูตรกำหนดไว้ โดยครูสามารถนำไปใช้จัดการเรียนรู้ในชั้นเรียนได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งในรายวิชานี้ ได้นำรูปแบบการสอนแบบสืบเสาะหาความรู้ (5Es Instructional Model) มาใช้ในการออกแบบการสอน ดังนี้

รูปแบบการสอนแบบสืบเสาะหาความรู้ (5Es Instructional Model)

ด้วยจุดประสงค์ของการจัดการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์ เพื่อช่วยให้ผู้เรียนได้พัฒนาวิธีคิด ทั้งความคิดเป็นเหตุเป็นผล คิดสร้างสรรค์ คิดวิเคราะห์ วิจารณ์ มีทักษะสำคัญในการค้นคว้าหาความรู้ และมีความสามารถในการแก้ปัญหาอย่างเป็นระบบ ผู้จัดทำจึงได้เลือกใช้รูปแบบการสอนแบบสืบเสาะหาความรู้ (5Es Instructional Model) ซึ่งเป็นขั้นตอนการเรียนรู้ที่มุ่งให้ผู้เรียนได้มีโอกาสสร้างองค์ความรู้ด้วยตนเองผ่านกระบวนการคิดและการลงมือทำ โดยใช้กระบวนการทางวิทยาศาสตร์เป็นเครื่องมือสำคัญเพื่อการพัฒนาทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ และทักษะการเรียนรู้แห่งศตวรรษที่ 21

วิธีสอน (Teaching Method)

ผู้จัดทำเลือกใช้วิธีสอนที่หลากหลาย เช่น การทดลอง การสาธิต การอภิปรายกลุ่มย่อย เพื่อส่งเสริมการเรียนรู้รูปแบบการสอนแบบสืบเสาะหาความรู้ (5Es Instructional Model) ให้เกิดประสิทธิภาพมากที่สุด ซึ่งจะเน้นใช้วิธีสอนโดยใช้การทดลองมากเป็นพิเศษ เนื่องจากเป็นวิธีสอนที่มุ่งพัฒนาให้ผู้เรียนเกิดองค์ความรู้จากประสบการณ์ตรงโดยการคิดและการลงมือทำด้วยตนเอง อันจะช่วยให้ผู้เรียนมีความรู้และเกิดทักษะทางวิทยาศาสตร์ที่คงทน

เทคนิคการสอน (Teaching Technique)

ผู้จัดทำเลือกใช้เทคนิคการสอนที่หลากหลายและเหมาะสมกับเรื่องที่เรียน เพื่อส่งเสริมวิธีสอนให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น เช่น การใช้คำถาม การเล่นเกม เพื่อนช่วยเพื่อน ซึ่งเทคนิคการสอนต่าง ๆ จะช่วยให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้อย่างมีความสุขในขณะที่เรียนและสามารถปฏิบัติกิจกรรมได้อย่างมีประสิทธิภาพ รวมทั้งได้พัฒนาทักษะในศตวรรษที่ 21 อีกด้วย

เคมี ม.5 เล่ม 1

หน่วยการเรียนรู้	ผลการเรียนรู้	ทักษะที่ได้	เวลาที่ใช้	การประเมิน	สื่อที่ใช้
1 แก๊ส	1. อธิบายความสัมพันธ์และคำนวณปริมาตร ความดัน หรืออุณหภูมิของแก๊สที่ภาวะต่าง ๆ ตามกฎของบอยล์ กฎของชาร์ล กฎของเกย์-ลูสแซก 2. คำนวณปริมาตร ความดัน หรืออุณหภูมิของแก๊สที่ภาวะต่าง ๆ ตามกฎรวมแก๊ส 3. คำนวณปริมาตร ความดัน อุณหภูมิ จำนวนโมล หรือมวลของแก๊ส จากความสัมพันธ์ตามกฎของอาโวกาโดร และกฎแก๊สอุดมคติ 4. คำนวณความดันย่อย หรือจำนวนโมลของแก๊สในแก๊สผสมโดยใช้กฎความดันย่อยของดอลตัน 5. อธิบายการแพร่ของแก๊สโดยใช้ทฤษฎีจลน์ของแก๊ส คำนวณและเปรียบเทียบอัตราการแพร่ของแก๊สโดยใช้กฎการแพร่ผ่านของเกรแฮม 6. สืบค้นข้อมูล นำเสนอตัวอย่าง และอธิบายการประยุกต์ใช้ความรู้เกี่ยวกับสมบัติและกฎต่าง ๆ ของแก๊สในการอธิบายปรากฏการณ์ หรือแก้ปัญหาในชีวิตประจำวันและในอุตสาหกรรม	- ทักษะการสังเกต - ทักษะการสำรวจค้นหา - ทักษะการวิเคราะห์ - ทักษะการทดลอง - ทักษะการลงความเห็นจากข้อมูล - ทักษะการตีความหมายและลงข้อสรุป	16 ชั่วโมง	- ตรวจแบบทดสอบก่อนเรียน - ตรวจแบบฝึกหัด - ตรวจใบงาน - ตรวจชิ้นงาน/ผลงาน - ประเมินการปฏิบัติการ - ตรวจรายงานการทดลอง - สังเกตพฤติกรรมการทำงานรายบุคคล - สังเกตพฤติกรรมการทำงานกลุ่ม - สังเกตพฤติกรรมการนำเสนอ - สังเกตคุณลักษณะอันพึงประสงค์ - ตรวจแบบทดสอบหลังเรียน	- หนังสือเรียน เคมี ม.5 เล่ม 1 - แบบฝึกหัด เคมี ม.5 เล่ม 1 - แบบทดสอบก่อนเรียน - แบบทดสอบหลังเรียน - ใบงาน
2 อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี	1. ทดลองและเขียนกราฟการเพิ่มขึ้นหรือลดลงของสารที่ทำการวัดในปฏิกิริยา 2. คำนวณอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี และเขียนกราฟการลดลงหรือเพิ่มขึ้นของสารที่ไม่ได้วัดในปฏิกิริยา 3. เขียนแผนภาพและอธิบายทิศทางการชนกันของอนุภาคและพลังงานที่ส่งผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี 4. ทดลองและอธิบายผลของความเข้มข้น พื้นที่ผิวของสารตั้งต้น อุณหภูมิ และตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี 5. เปรียบเทียบอัตราการเกิดปฏิกิริยาเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้น พื้นที่ผิวของสารตั้งต้น อุณหภูมิ และตัวเร่งปฏิกิริยา 6. ยกตัวอย่างและอธิบายปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีในชีวิตประจำวันหรืออุตสาหกรรม	- ทักษะการสังเกต - ทักษะการสำรวจค้นหา - ทักษะการวิเคราะห์ - ทักษะการทดลอง - ทักษะการลงความเห็นจากข้อมูล - ทักษะการตีความหมายและลงข้อสรุป	22 ชั่วโมง	- ตรวจแบบทดสอบก่อนเรียน - ตรวจแบบฝึกหัด - ตรวจใบงาน - ตรวจชิ้นงาน/ผลงาน - ประเมินการปฏิบัติการ - ตรวจรายงานการทดลอง - สังเกตพฤติกรรมการทำงานรายบุคคล - สังเกตพฤติกรรมการทำงานกลุ่ม - สังเกตพฤติกรรมการนำเสนอ - สังเกตคุณลักษณะอันพึงประสงค์ - ตรวจแบบทดสอบหลังเรียน	- หนังสือเรียน เคมี ม.5 เล่ม 1 - แบบฝึกหัด เคมี ม.5 เล่ม 1 - แบบทดสอบก่อนเรียน - แบบทดสอบหลังเรียน - ใบงาน

หน่วยการเรียนรู้	ผลการเรียนรู้	ทักษะที่ได้	เวลาที่ใช้	การประเมิน	สื่อที่ใช้
3 สมดุลเคมี	1. ทดสอบและอธิบายความหมายของปฏิกิริยาผันกลับได้และภาวะสมดุล 2. อธิบายการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสาร อัตราการเกิดปฏิกิริยาไปข้างหน้าและอัตราการเกิดปฏิกิริยาย้อนกลับ เมื่อเริ่มปฏิกิริยาจนกระทั่งระบบอยู่ในภาวะสมดุล 3. คำนวณค่าคงที่สมดุลของปฏิกิริยา 4. คำนวณความเข้มข้นของสารที่ภาวะสมดุล 5. คำนวณค่าคงที่สมดุลหรือความเข้มข้นของปฏิกิริยาหลายขั้นตอน 6. ระบุปัจจัยที่มีผลต่อภาวะสมดุลและค่าคงที่สมดุลของระบบ รวมทั้งคาดคะเนการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นเมื่อภาวะสมดุลของระบบถูกรบกวน โดยใช้หลักของเลอชาเตอลิเอ 7. ยกตัวอย่างและอธิบายสมดุลเคมีของกระบวนการที่เกิดขึ้นในสิ่งมีชีวิต ปรากฏการณ์ในธรรมชาติและกระบวนการในอุตสาหกรรม	- ทักษะการสังเกต - ทักษะการสำรวจค้นหา - ทักษะการวิเคราะห์ - ทักษะการทดลอง - ทักษะการลงความเห็นจากข้อมูล - ทักษะการตีความหมายและลงข้อสรุป	**24** *ชั่วโมง*	- ตรวจแบบทดสอบก่อนเรียน - ตรวจแบบฝึกหัด - ตรวจใบงาน - ตรวจชิ้นงาน/ผลงาน - ประเมินการปฏิบัติการ - ตรวจรายงานการทดลอง - สังเกตพฤติกรรมการทำงานรายบุคคล - สังเกตพฤติกรรมการทำงานกลุ่ม - สังเกตพฤติกรรมการนำเสนอ - สังเกตคุณลักษณะอันพึงประสงค์ - ตรวจแบบทดสอบหลังเรียน	- หนังสือเรียน เคมี ม.5 เล่ม 1 - แบบฝึกหัด เคมี ม.5 เล่ม 1 - แบบทดสอบก่อนเรียน - แบบทดสอบหลังเรียน - ใบงาน

สารบัญ

Chapter Title	Chapter Overview	Chapter Concept Overview	Teacher Script
หน่วยการเรียนรู้ที่ 1 แก๊ส	T2-T3	T4-T5	T6
• สมบัติของแก๊ส			T7 - T8
• ความสัมพันธ์ของปริมาตร ความดัน และอุณหภูมิของแก๊ส			T9 - T34
• การแพร่ของแก๊ส			T35 - T40
• เทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับสมบัติของแก๊ส			T41 - T44
ท้ายหน่วยการเรียนรู้ที่ 1			T45 - T49
หน่วยการเรียนรู้ที่ 2 อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี	T50-T51	T52-T53	T54
• ความหมายของอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี			T55 - T63
• แนวคิดเกี่ยวกับการเกิดปฏิกิริยาเคมี			T64 - T67
• พลังงานกับการดำเนินไปของปฏิกิริยาเคมี			T68 - T71
• ปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี			T72 - T91
ท้ายหน่วยการเรียนรู้ที่ 2			T92 - T99
หน่วยการเรียนรู้ที่ 3 สมดุลเคมี	T100-T101	T102-T103	T104
• การเปลี่ยนแปลงที่ผันกลับได้			T105 - T107
• การเปลี่ยนแปลงที่ภาวะสมดุล			T108 - T117
• ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารต่าง ๆ ณ ภาวะสมดุล			T118 - T130
• ปัจจัยที่มีผลต่อภาวะสมดุล			T131 - T143
• สมดุลเคมีในชีวิตประจำวัน			T144 - T151
ท้ายหน่วยการเรียนรู้ที่ 3			T152 - T158

บรรณานุกรม T159

Chapter Overview

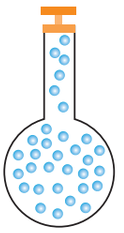
แผนการจัดการเรียนรู้	สื่อที่ใช้	จุดประสงค์	วิธีสอน	ประเมิน	ทักษะที่ได้	คุณลักษณะอันพึงประสงค์
แผนฯ ที่ 1 สมบัติของแก๊ส 1 *ชั่วโมง*	- หนังสือเรียนเคมี ม.5 เล่ม 1 - แบบฝึกหัดเคมี ม.5 เล่ม 1 - PowerPoint ประกอบการสอน - ใบงาน	1. อธิบายสมบัติบางประการของแก๊สได้ (K) 2. สรุปหลักการสำคัญของทฤษฎีจลน์ของแก๊สได้ (K) 3. ตีความหมายและลงข้อสรุปเกี่ยวกับทฤษฎีจลน์ของแก๊สและสมบัติของแก๊สได้ (P) 4. ตั้งใจเรียนรู้และแสวงหาความรู้ (A)	แบบสืบเสาะหาความรู้ (5Es Instructional Model)	- ตรวจแบบทดสอบก่อนเรียน - ตรวจแบบฝึกหัด - ตรวจใบงาน เรื่อง สมบัติของแก๊ส - ตรวจผังมโนทัศน์ เรื่อง สมบัติของแก๊ส - สังเกตพฤติกรรมการทำงานรายบุคคล - สังเกตพฤติกรรมการทำงานกลุ่ม - สังเกตความมีวินัย ใฝ่เรียนรู้ และมุ่งมั่นในการทำงาน	- ทักษะการสังเกต - ทักษะการสำรวจค้นหา - ทักษะการวิเคราะห์	- มีวินัย - ใฝ่เรียนรู้ - มุ่งมั่นในการทำงาน
แผนฯ ที่ 2 กฎของแก๊ส 9 *ชั่วโมง*	- หนังสือเรียนเคมี ม.5 เล่ม 1 - แบบฝึกหัดเคมี ม.5 เล่ม 1 - PowerPoint ประกอบการสอน - ใบงาน	1. อธิบายความสัมพันธ์ของปริมาตร ความดัน และอุณหภูมิของแก๊สโดยใช้ทฤษฎีจลน์ของแก๊สได้ (K) 2. อธิบายความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรกับความดันของแก๊ส เมื่อมวลและอุณหภูมิคงที่ได้ (K) 3. อธิบายความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรกับอุณหภูมิของแก๊ส เมื่อมวลและความดันคงที่ได้ (K) 4. อธิบายความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตร ความดัน และอุณหภูมิของแก๊ส เมื่อมวลคงที่ได้ (K) 5. อธิบายความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตร ความดัน อุณหภูมิ และจำนวนโมล หรือมวลของแก๊สได้ (K) 6. คำนวณหาปริมาตร ความดัน อุณหภูมิ จำนวนโมล หรือมวล โดยใช้ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเหล่านั้นตามกฎต่าง ๆ ของแก๊สได้ (P)	แบบสืบเสาะหาความรู้ (5Es Instructional Model)	- ตรวจแบบฝึกหัด - ตรวจใบงาน เรื่อง กฎของแก๊ส - ประเมินการปฏิบัติการ - สังเกตพฤติกรรมการทำงานรายบุคคล - สังเกตพฤติกรรมการทำงานกลุ่ม - สังเกตความมีวินัย ใฝ่เรียนรู้ และมุ่งมั่นในการทำงาน	- ทักษะการสังเกต - ทักษะการสำรวจค้นหา - ทักษะการวิเคราะห์ - ทักษะการตีความหมายและลงข้อสรุป - ทักษะการทดลอง - ทักษะการลงความเห็นจากข้อมูล	- มีวินัย - ใฝ่เรียนรู้ - มุ่งมั่นในการทำงาน

แผนการจัดการเรียนรู้	สื่อที่ใช้	จุดประสงค์	วิธีสอน	ประเมิน	ทักษะที่ได้	คุณลักษณะอันพึงประสงค์
		7. ทำการทดลองเพื่อศึกษาผลของอุณหภูมิและความดันที่มีต่อปริมาตรของแก๊สได้ (P) 8. ใช้เครื่องมือและอุปกรณ์ทางวิทยาศาสตร์ได้อย่างถูกต้อง (P) 9. ปฏิบัติตามขั้นตอนการทดลองได้อย่างถูกต้อง (P) 10. ตั้งใจเรียนรู้และแสวงหาความรู้ (A) 11. รับผิดชอบต่อหน้าที่ที่ได้รับมอบหมาย (A)				
แผนฯ ที่ 3 การแพร่ของแก๊ส 3 *ชั่วโมง*	- หนังสือเรียนเคมี ม.5 เล่ม 1 - แบบฝึกหัดเคมี ม.5 เล่ม 1 - PowerPoint ประกอบการสอน - ใบงาน	1. บอกความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการแพร่ของแก๊สกับมวลโมเลกุลของแก๊สได้ (K) 2. ทำการทดลองเพื่อศึกษาการแพร่ของแก๊สได้ (P) 3. ใช้เครื่องมือและอุปกรณ์ทางวิทยาศาสตร์ได้อย่างถูกต้อง (P) 4. ปฏิบัติตามขั้นตอนการทดลองได้อย่างถูกต้อง (P) 5. ตั้งใจเรียนรู้และแสวงหาความรู้ (A) 6. รับผิดชอบต่อหน้าที่ที่ได้รับมอบหมาย (A)	แบบสืบเสาะหาความรู้ (5Es Instructional Model)	- ตรวจแบบฝึกหัด - ตรวจใบงาน เรื่อง การแพร่ของแก๊ส - ตรวจผังสรุปความรู้ เรื่อง การแพร่ของแก๊ส - ประเมินการปฏิบัติการ - สังเกตพฤติกรรมการทำงานรายบุคคล - สังเกตพฤติกรรมการทำงานกลุ่ม - สังเกตความมีวินัย ใฝ่เรียนรู้ และมุ่งมั่นในการทำงาน	- ทักษะการสังเกต - ทักษะการสำรวจค้นหา - ทักษะการวิเคราะห์ - ทักษะการตีความหมายและลงข้อสรุป - ทักษะการทดลอง - ทักษะการลงความเห็นจากข้อมูล	- มีวินัย - ใฝ่เรียนรู้ - มุ่งมั่นในการทำงาน
แผนฯ ที่ 4 เทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับสมบัติของแก๊ส 3 *ชั่วโมง*	- หนังสือเรียนเคมี ม.5 เล่ม 1 - แบบฝึกหัดเคมี ม.5 เล่ม 1 - PowerPoint ประกอบการสอน	1. ยกตัวอย่างเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับสมบัติของแก๊สได้ (K) 2. อธิบายเกี่ยวกับเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับแก๊สโดยใช้สมบัติของแก๊สได้ (K) 3. สื่อสารสิ่งที่เรียนรู้ได้ (P) 4. ตั้งใจเรียนรู้และแสวงหาความรู้ (A)	แบบสืบเสาะหาความรู้ (5Es Instructional Model)	- ตรวจแบบทดสอบหลังเรียน - ตรวจแผ่นพับเผยแพร่ความรู้ เรื่อง เทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับสมบัติของแก๊ส - สังเกตพฤติกรรมการทำงานรายบุคคล - สังเกตพฤติกรรมการทำงานกลุ่ม - สังเกตความมีวินัย ใฝ่เรียนรู้ และมุ่งมั่นในการทำงาน	- ทักษะการสังเกต - ทักษะการสำรวจค้นหา - ทักษะการวิเคราะห์	- มีวินัย - ใฝ่เรียนรู้ - มุ่งมั่นในการทำงาน

Chapter Concept Overview

สมบัติของแก๊ส

- มีรูปร่างและปริมาตรไม่แน่นอน
- มีความหนาแน่นต่ำ
- แก๊สต่างชนิดกันแพร่ได้เร็วไม่เท่ากัน



แก๊สมีรูปร่างและปริมาตรไม่แน่นอน โดยจะขึ้นอยู่กับภาชนะที่บรรจุ

ความสัมพันธ์ของปริมาตร ความดัน และอุณหภูมิของแก๊ส

- **ปริมาตร** คือ ปริมาตรของภาชนะที่บรรจุแก๊สนั้น
- **ความดัน** คือ แรงที่กระทำต่อหน่วยพื้นที่ที่ตั้งฉากกับแรงนั้น
- **อุณหภูมิ** คือ มาตราส่วนที่ใช้บอกระดับความร้อน-เย็นของสาร

กฎของแก๊ส

กฎของบอยล์

เมื่ออุณหภูมิและมวลของแก๊สคงที่ ปริมาตรของแก๊สใด ๆ จะแปรผกผันกับความดันของแก๊สนั้น ๆ

$$P_1V_1 = P_2V_2 = P_3V_3 = \dots = P_nV_n$$

กฎของชาร์ล

เมื่อความดันและมวลของแก๊สคงที่ ปริมาตรของแก๊สจะแปรผันตรงกับอุณหภูมิเคลวิน

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2} = \frac{V_3}{T_3} = \dots = \frac{V_n}{T_n}$$

กฎของเกย์-ลูสแซก

เมื่อปริมาตรและมวลของแก๊สคงที่ ความดันของแก๊สจะแปรผันตรงกับอุณหภูมิเคลวิน

$$\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2} = \frac{P_3}{T_3} = \dots = \frac{P_n}{T_n}$$

กฎของอาโวกาโดร

ที่ความดันและอุณหภูมิคงที่ ปริมาตรของแก๊สจะแปรผันตรงกับจำนวนโมเลกุลหรือจำนวนโมลของแก๊สนั้น

$$\frac{V_1}{n_1} = \frac{V_2}{n_2} = \frac{V_3}{n_3} = \dots = \frac{V_n}{n_n}$$

กฎรวมแก๊ส

เป็นการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่าง ปริมาตร ความดัน และอุณหภูมิของแก๊ส

- เมื่อมวลมีค่าคงที่

$$\frac{P_1V_1}{T_1} = \frac{P_2V_2}{T_2} = \frac{P_3V_3}{T_3} = \dots = \frac{P_nV_n}{T_n}$$

- เมื่อมวลมีค่าไม่คงที่

$$\frac{P_1V_1}{n_1T_1} = \frac{P_2V_2}{n_2T_2} = \frac{P_3V_3}{n_3T_3} = \dots = \frac{P_nV_n}{n_nT_n}$$

กฎแก๊สสมบูรณ์

เป็นการรวบรวมกฎที่เกี่ยวกับแก๊สที่กล่าวมาทั้งหมด จะได้ความสัมพันธ์ ดังนี้

$$PV = nPT$$

กฎความดันย่อยของดอลตัน

ความดันของแก๊สผสมที่ไม่ทำปฏิกิริยาเคมีต่อกันจะเท่ากับผลบวกของความดันย่อยต่าง ๆ ที่เป็นองค์ประกอบของแก๊สผสมนั้น

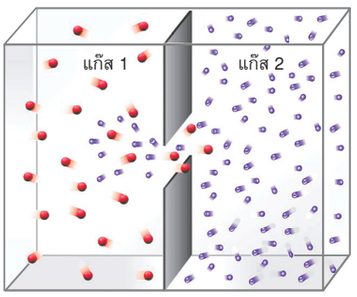
$$P_{รวม} = P_1 + P_2 + P_3 + \dots + P_n$$

T4

การแพร่ของแก๊ส

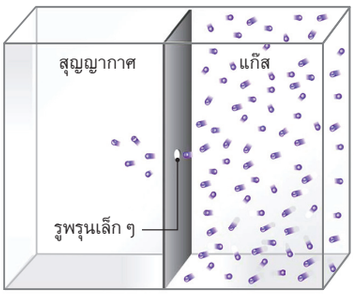
การแพร่

กระบวนการที่แก๊สเคลื่อนที่จากบริเวณที่มีความเข้มข้นของแก๊สสูงไปยังบริเวณที่มีความเข้มข้นของแก๊สต่ำ โดยโมเลกุลมีการชนกันตลอดเวลา



การแพร่ผ่าน

กระบวนการที่แก๊สภายใต้ความดันค่าหนึ่งเคลื่อนที่ออกจากภาชนะที่บรรจุแก๊สนั้นผ่านรูเล็ก ๆ ไปสู่อีกภาชนะหนึ่ง โดยโมเลกุลไม่ชนกัน



กฎการแพร่ผ่านของเกรแฮม

เมื่ออุณหภูมิและความดันคงที่ อัตราการแพร่ของแก๊สใด ๆ จะแปรผกผันกับรากที่สองของมวลโมเลกุล หรือความหนาแน่นของแก๊ส เมื่อเปรียบเทียบอัตราการแพร่ผ่านของแก๊สที่ 1 และ 2 ภายใต้อุณหภูมิและความดันเดียวกันจะได้ความสัมพันธ์ ดังนี้

$$\frac{R_1}{R_2} = \sqrt{\frac{M_2}{M_1}} = \sqrt{\frac{d_2}{d_1}}$$

เทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับสมบัติของแก๊ส

การทำน้ำแข็งแห้ง

แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ → (เพิ่มความดันและลดอุณหภูมิ) → คาร์บอนไดออกไซด์เหลว → (ทำให้แห้งและบริสุทธิ์) → คาร์บอนไดออกไซด์เหลวแห้งและบริสุทธิ์ → (เพิ่มความดันและลดอุณหภูมิ) → คาร์บอนไดออกไซด์เหลวแห้งและบริสุทธิ์ ที่ความดัน 18 atm อุณหภูมิ -25 °C → (อัดผ่านรูพรุน) → คาร์บอนไดออกไซด์แข็ง (น้ำแข็งแห้ง)

การทำไนโตรเจนเหลว

อากาศจากเครื่องอัดอากาศ → ($NaOH$ (aq)) → อากาศที่ไม่มีแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ → (กรองน้ำมันทำให้แห้งโดยใช้ Al_2O_3) → อากาศแห้ง → (ลดอุณหภูมิ (-183 °C) แยกออกซิเจนเหลว) → แก๊สไนโตรเจน → (ลดอุณหภูมิ (-196 °C)) → ไนโตรเจนเหลว

การสกัดสารโดยใช้คาร์บอนไดออกไซด์ที่อยู่ในรูปของไหล

เป็นเทคนิคการสกัดสารโดยการควบคุมอุณหภูมิและความดันให้เหมาะสม ซึ่งไม่ใช้ความร้อนในการสกัด เหมาะสำหรับนำมาใช้กับสารที่เสื่อมสลายด้วยความร้อน

T5

ขั้นนำ

กระตุ้นความสนใจ

1. ครูให้นักเรียนทำแบบทดสอบก่อนเรียน และ Understanding Check เพื่อวัดความรู้เดิมของนักเรียนก่อนเข้าสู่กิจกรรม
2. ครูถามคำถาม Big Question จากหนังสือเรียนเคมี ม.5 เล่ม 1 จากนั้นให้นักเรียนในห้องร่วมกันตอบและแสดงความคิดเห็น โดยครูยังไม่ต้องเฉลย ซึ่งเมื่อเรียนจบในเนื้อหาที่สามารถเฉลยคำถามข้อนั้นๆ ได้ ให้ครูถามคำถามข้อนั้นแล้วให้นักเรียนตอบอีกครั้งหนึ่ง

ขั้นสอน

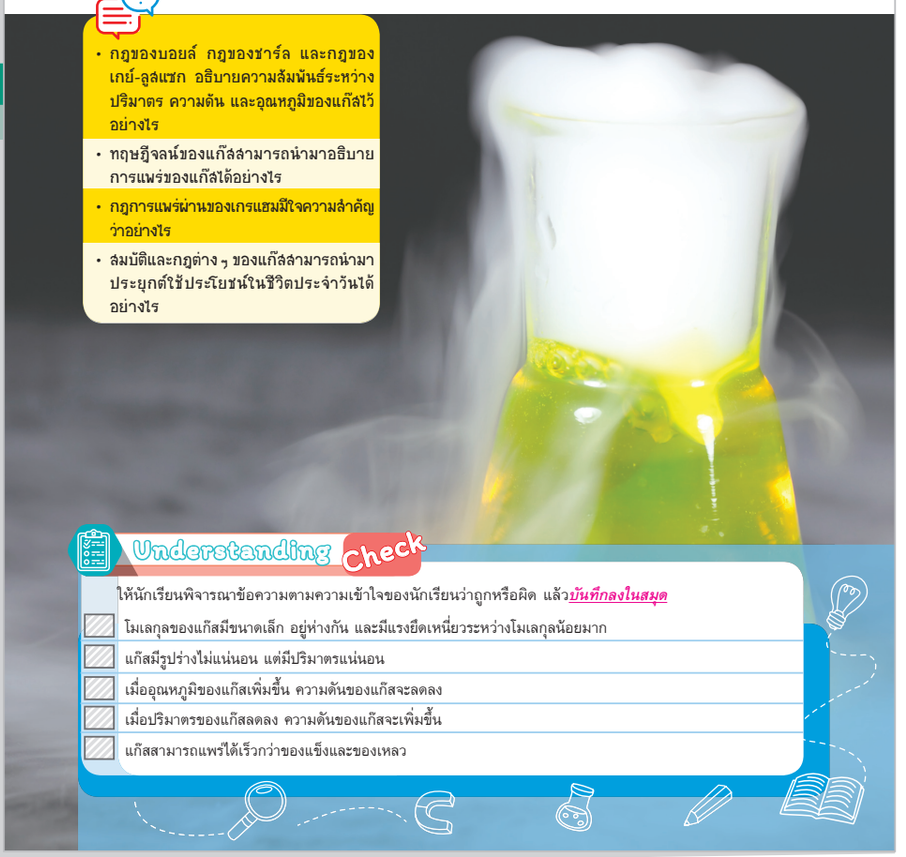
สำรวจค้นหา

1. ครูถามคำถาม Prior Knowledge จากหนังสือเรียนเคมี ม.5 เล่ม 1 แล้วให้นักเรียนร่วมกันตอบคำถาม จากนั้นครูอาจเลือกคำตอบที่ไม่ชัดเจนของนักเรียนมาอภิปรายร่วมกันเพื่อนำไปสู่ขั้นสอนต่อไป
2. ครูให้นักเรียนเปรียบเทียบสมบัติของสารในสถานะแก๊สที่แตกต่างจากสถานะอื่น จากนั้นใช้คำถามกระตุ้นว่า เพราะเหตุใดแก๊สจึงมีสมบัติแตกต่างจากสถานะอื่น เพื่อนำเข้าสู่ทฤษฎีจลน์ของแก๊ส
3. ครูให้นักเรียนจับคู่กับเพื่อนที่นั่งข้างกันแล้วศึกษา เรื่อง สมบัติของแก๊ส จากหนังสือเรียนเคมี ม.5 เล่ม 1 แล้วร่วมกันแสดงความคิดเห็นจนเกิดความเข้าใจที่ตรงกัน

หน่วยการเรียนรู้ที่ 1

แก๊ส

ในสภาวะที่อุณหภูมิและความดันเหมาะสม สารหลายชนิดสามารถเปลี่ยนเป็นของแข็ง ของเหลว หรือแก๊สได้ ซึ่งสารในสถานะแก๊สจะมีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลน้อยมากเมื่อเทียบกับของแข็งและของเหลว ดังนั้น โมเลกุลของแก๊สจึงอยู่ห่างกันมาก ไม่เป็นระเบียบ และเคลื่อนที่ได้เร็ว



- กฎของบอยล์ กฎของชาร์ล และกฎของเกย์-ลูสแซก อธิบายความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตร ความดัน และอุณหภูมิของแก๊สไว้อย่างไร
- ทฤษฎีจลน์ของแก๊สสามารถนำมาอธิบายการแพร่ของแก๊สได้อย่างไร
- กฎการแพร่ผ่านของเกรแฮมมีใจความสำคัญว่าอย่างไร
- สมบัติและกฎต่างๆ ของแก๊สสามารถนำมาประยุกต์ใช้ประโยชน์ในชีวิตประจำวันได้อย่างไร

Understanding Check

ให้นักเรียนพิจารณาข้อความตามความเข้าใจของนักเรียนว่าถูกหรือผิด แล้ว*บันทึกลงในสมุด*

- ☐ โมเลกุลของแก๊สมีขนาดเล็ก อยู่ห่างกัน และมีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลน้อยมาก
- ☐ แก๊สมีรูปร่างไม่แน่นอน แต่มีปริมาตรแน่นอน
- ☐ เมื่ออุณหภูมิของแก๊สเพิ่มขึ้น ความดันของแก๊สจะลดลง
- ☐ เมื่อปริมาตรของแก๊สลดลง ความดันของแก๊สจะเพิ่มขึ้น
- ☐ แก๊สสามารถแพร่ได้เร็วกว่าของแข็งและของเหลว

แนวตอบ Understanding Check

1. ถูก
2. ผิด
3. ผิด
4. ถูก
5. ถูก

เกร็ดแนะครู

การเรียนการสอนเรื่อง แก๊ส ครูควรยกตัวอย่างปรากฏการณ์หรือเหตุการณ์ต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับทฤษฎีจลน์ของแก๊ส และกฎต่างๆ ของแก๊ส หรือเปิดคลิปวิดีโอการทดลองเกี่ยวกับแก๊สให้นักเรียนได้ศึกษา เพื่อเป็นพื้นฐานให้นักเรียนเกิดความเข้าในการศึกษาเรื่อง แก๊ส มากยิ่งขึ้น

แนวตอบ Big Question

- *กฎของบอยล์ กล่าวว่า เมื่ออุณหภูมิและมวลของแก๊สคงที่ ปริมาตรของแก๊สจะแปรผกผันกับความดันของแก๊ส*
  กฎของชาร์ล กล่าวว่า เมื่อความดันและมวลของแก๊สคงที่ ปริมาตรของแก๊สจะแปรผันตรงกับอุณหภูมิเคลวิน
  กฎของเกย์-ลูสแซก กล่าวว่า เมื่อปริมาตรและมวลของแก๊สคงที่ ความดันของแก๊สจะแปรผันตรงกับอุณหภูมิเคลวิน
- *ทฤษฎีจลน์ของแก๊ส กล่าวว่า ที่อุณหภูมิเดียวกัน แก๊สทุกชนิดจะมีพลังงานจลน์เฉลี่ยเท่ากัน แต่ความเร็วเฉลี่ยของแก๊สแต่ละชนิดไม่เท่ากัน เนื่องจากแก๊สมีมวลโมเลกุลไม่เท่ากัน แก๊สชนิดใดที่มีมวลโมเลกุลมากจะมีความเร็วเฉลี่ยต่ำ จึงแพร่ได้ช้า*
- *กฎการแพร่ผ่านของเกรแฮม กล่าวว่า เมื่ออุณหภูมิและความดันคงที่ อัตราการแพร่ของแก๊สใดๆ จะแปรผกผันกับรากที่สองของมวลโมเลกุลหรือความหนาแน่นของแก๊ส*
- *ตัวอย่างเช่น ใช้ผลิตน้ำแข็งแห้ง ผลิตไนโตรเจนเหลว สกัดสารโดยใช้คาร์บอนไดออกไซด์ในรูปของไหล*

Prior Knowledge

สารที่อยู่ในสถานะแก๊สจะมีสมบัติอย่างไร

1. สมบัติของแก๊ส

จากการศึกษาเกี่ยวกับพฤติกรรมและสมบัติต่าง ๆ ของแก๊ส พบว่า แก๊สเกือบทุกชนิดมีสมบัติบางประการคล้ายกัน จนสามารถสรุปเป็นทฤษฎีที่สามารถใช้อธิบายสมบัติต่าง ๆ ของแก๊สโดยศึกษาจากทิศทางการเคลื่อนที่ของโมเลกุลแก๊สและลักษณะของโมเลกุลแก๊ส เรียกว่า **ทฤษฎีจลน์ของแก๊ส** ซึ่งมีสาระสำคัญ ดังนี้

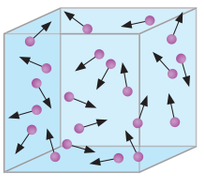
1. แก๊สประกอบด้วยอนุภาคที่มีมวลน้อย และมีขนาดเล็กมากจนถือได้ว่าอนุภาคของแก๊สไม่มีปริมาตร เมื่อเทียบกับขนาดของภาชนะที่บรรจุ

2. โมเลกุลของแก๊สอยู่ห่างกันมาก ส่งผลให้มีแรงดึงดูดและแรงผลักระหว่างโมเลกุลของแก๊สน้อยมาก จนถือได้ว่าไม่มีแรงมากระทำต่อกัน

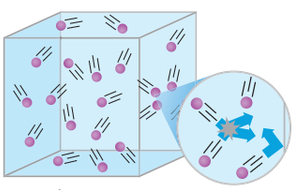
3. โมเลกุลของแก๊สเคลื่อนที่อย่างรวดเร็วในแนวเส้นตรงด้วยอัตราเร็วคงที่เป็นอิสระ และไม่เป็นระเบียบ จนกระทั่งไปชนกับโมเลกุลอื่น หรือชนกับผนังภาชนะ โมเลกุลของแก๊สจึงเปลี่ยนทิศทางและอัตราเร็ว

4. โมเลกุลของแก๊สที่ชนกันเอง หรือชนกับผนังภาชนะจะเกิดการถ่ายโอนพลังงานความร้อนให้แก่กันได้ แต่พลังงานรวมของระบบมีค่าคงที่ เรียกว่า **การชนแบบยืดหยุ่น**

5. ณ อุณหภูมิเดียวกัน โมเลกุลของแก๊สแต่ละโมเลกุลจะเคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็วไม่เท่ากัน แต่จะมีพลังงานจลน์เฉลี่ยเท่ากัน โดยที่พลังงานจลน์เฉลี่ยของแก๊สจะแปรผันตรงกับอุณหภูมิเคลวิน



▲ **ภาพที่ 1.1** เมื่อโมเลกุลของแก๊สชนโมเลกุลอื่น หรือชนกับผนังภาชนะ โมเลกุลจะเปลี่ยนทิศทางและอัตราเร็ว
ที่มา : คลังภาพ อจท.



▲ **ภาพที่ 1.2** การชนกันของโมเลกุลของแก๊สจะเกิดการถ่ายเทพลังงานความร้อนให้แก่กัน
ที่มา : คลังภาพ อจท.

ทฤษฎีจลน์ของแก๊สสามารถใช้อธิบายสมบัติบางประการของแก๊สได้ ดังนี้

1. รูปร่างและปริมาตรไม่แน่นอน โดยขึ้นอยู่กับภาชนะที่บรรจุ ตามทฤษฎีจลน์ของแก๊สกล่าวว่า โมเลกุลของแก๊สมีขนาดเล็กมากและไม่มีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างกันและกัน หรือมีน้อยมากจนมีค่าเป็นศูนย์ ดังนั้น ไม่ว่าจะบรรจุแก๊สไว้ในภาชนะใดก็ตาม โมเลกุลของแก๊สก็จะเคลื่อนที่แพร่กระจายเต็มพื้นที่ภาชนะที่บรรจุ จึงทำให้แก๊สนั้นมีรูปร่างเหมือนภาชนะที่บรรจุ และมีปริมาตรเท่ากับภาชนะที่บรรจุด้วย

สมบัติของแก๊ส
www.aksorn.com/interactive3D/RNB13

ขั้นสอน

อธิบายความรู้

1. ครูตั้งคำถามให้นักเรียนร่วมกันอภิปราย เรื่อง สมบัติของแก๊ส เช่น
   - ความหนาแน่นของแก๊สจะมีค่าเป็นอย่างไร
   (แนวตอบ จากทฤษฎีจลน์ของแก๊ส กล่าวว่า โมเลกุลของแก๊สอยู่ห่างกันมาก แรงดึงดูดและแรงผลักระหว่างโมเลกุลจึงน้อยมาก ดังนั้น สารที่อยู่ในสถานะแก๊สจึงมีความหนาแน่นต่ำ)
   - เพราะเหตุใดแก๊สที่มีมวลโมเลกุลต่างกันจึงมีอัตราเร็วในการแพร่แตกต่างกัน
   (แนวตอบ จากทฤษฎีจลน์ของแก๊ส กล่าวว่า ที่อุณหภูมิเดียวกัน แก๊สทุกชนิดจะมีพลังงานจลน์เฉลี่ยเท่ากัน แต่แก๊สแต่ละชนิดจะมีมวลโมเลกุลไม่เท่ากัน ดังนั้น แก๊สแต่ละชนิดจะมีความเร็วเฉลี่ยไม่เท่ากัน แก๊สที่มีมวลโมเลกุลน้อย จะมีความเร็วเฉลี่ยมากจึงแพร่ได้เร็วกว่าแก๊สที่มีมวลโมเลกุลมาก)
2. ครูให้นักเรียนทำแบบฝึกหัด ในแบบฝึกหัดเคมี ม.5 เล่ม 1

แนวตอบ Prior Knowledge

สารที่อยู่ในสถานะแก๊สจะมีรูปร่างและปริมาตรไม่แน่นอน ขึ้นอยู่กับภาชนะที่บรรจุ มีความหนาแน่นต่ำ และสามารถแพร่ได้

ข้อสอบเน้นการคิด

ถ้ามวลอะตอมของแก๊ส X มีค่าเป็น 4 เท่า ของมวลอะตอมของแก๊ส Y ที่อุณหภูมิเดียวกัน ข้อใดสรุปถูกต้อง

1. ความเร็วเฉลี่ยของแก๊สทั้งสองมีค่าเท่ากัน
2. พลังงานจลน์เฉลี่ยของแก๊สทั้งสองมีค่าเท่ากัน
3. ความเร็วเฉลี่ยของแก๊ส Y มีค่าเป็นครึ่งหนึ่งของแก๊ส X
4. พลังงานจลน์เฉลี่ยของแก๊ส X มีค่าเป็นครึ่งหนึ่งของแก๊ส Y
5. ผลรวมของพลังงานศักย์และพลังงานจลน์ของแก๊สทั้งสองมีค่าเท่ากัน

(วิเคราะห์คำตอบ ตามทฤษฎีจลน์ ณ อุณหภูมิเดียวกัน พลังงานจลน์เฉลี่ยของแก๊สทุกชนิดจะมีค่าเท่ากัน ดังนั้น ตอบข้อ 2.)

เกร็ดแนะครู

ครูอาจหาวิดีโอเกี่ยวกับทฤษฎีจลน์ของแก๊ส เช่น https://www.youtube.com/watch?v=uFpae1G0Bq8 มาเปิดให้นักเรียนดู เพื่อให้นักเรียนมีความเข้าใจเกี่ยวกับทฤษฎีจลน์ของแก๊สมากยิ่งขึ้น

สื่อ Digital

ศึกษาเพิ่มเติมได้จาก QR Code เรื่อง สมบัติของแก๊ส

สมบัติของแก๊ส
www.aksorn.com/interactive3D/RKB15

T7

ขั้นสรุป
ขยายความเข้าใจ

1. ครูเปิดโอกาสให้นักเรียนซักถามข้อสงสัยในเนื้อหา เรื่อง สมบัติของแก๊ส ว่ามีส่วนไหนที่ยังไม่เข้าใจ และให้ความรู้เพิ่มเติมในส่วนนั้น เพื่อจะใช้เป็นความรู้เบื้องต้นสำหรับการเรียนในเนื้อหาต่อ ๆ ไป
2. ครูให้นักเรียนทำใบงาน เรื่อง สมบัติของแก๊ส
3. ครูให้นักเรียนทำ Topic Question จากหนังสือเรียนเคมี ม.5 เล่ม 1
4. ครูให้นักเรียนเขียนผังมโนทัศน์ เรื่อง สมบัติของแก๊ส เพื่อเป็นการสรุปความเข้าใจ แล้วส่งเป็นการบ้านในคาบเรียนต่อไป

ขั้นประเมิน
ตรวจสอบผล

1. ครูตรวจสอบผลการทำแบบทดสอบก่อนเรียน
2. ครูประเมินผลโดยการสังเกตการตอบคำถามและการร่วมกันทำผลงาน
3. ครูตรวจสอบผลจากการทำใบงาน เรื่อง สมบัติของแก๊ส
4. ครูตรวจสอบผลจากการทำแบบฝึกหัด
5. ครูวัดและประเมินผลจากชิ้นงานที่นักเรียนได้สร้างขึ้นจากขั้นขยายความเข้าใจ

2. ความหนาแน่นต่ำ จากทฤษฎีจลน์ของแก๊สที่กล่าวว่า โมเลกุลของแก๊สอยู่ห่างกันมาก ทำให้แรงดึงดูดและแรงผลักระหว่างโมเลกุลน้อยมาก สารที่อยู่ในสถานะแก๊สจึงมีความหนาแน่นน้อยกว่าสารที่อยู่ในสถานะของเหลวและของแข็ง เช่น ที่ 100 องศาเซลเซียส ไอน้ำจะมีความหนาแน่น 0.0006 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร แต่น้ำมีความหนาแน่นถึง 0.9584 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร เป็นต้น

3. อัตราการแพร่ต่างกัน จากทฤษฎีจลน์ของแก๊สอธิบายว่า ที่อุณหภูมิเดียวกัน แก๊สทุกชนิดจะมีพลังงานจลน์เฉลี่ยเท่ากัน และเนื่องจากแก๊สแต่ละชนิดมีมวลโมเลกุลไม่เท่ากัน จึงทำให้ความเร็วเฉลี่ยของแก๊สไม่เท่ากัน ซึ่งแก๊สชนิดใดที่มีมวลโมเลกุลมาก จะมีความเร็วเฉลี่ยต่ำ แก๊สนั้นจึงแพร่ได้ช้า ส่วนแก๊สชนิดใดที่มีมวลโมเลกุลน้อย จะมีความเร็วเฉลี่ยสูง แก๊สนั้นจึงแพร่ได้เร็ว

แก๊สที่มีสมบัติเป็นไปตามทฤษฎีจลน์ของแก๊สทุกประการ เรียกว่า **แก๊สสมบูรณ์** (perfect gas) หรือ**แก๊สอุดมคติ** (ideal gas) โดยแก๊สสมบูรณ์จะประกอบด้วยโมเลกุลของแก๊สที่ไม่มีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุล และไม่มีขนาดโมเลกุล จึงไม่มีปริมาตร ซึ่งแก๊สสมบูรณ์นี้จะไม่พบในธรรมชาติ

ส่วนแก๊สที่มีอยู่ในธรรมชาติ ซึ่งจะไม่เป็นไปตามทฤษฎีจลน์ของแก๊ส เรียกว่า **แก๊สจริง** (real gas) จะประกอบด้วยโมเลกุลของแก๊สที่มีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุล และมีขนาดของโมเลกุลจึงมีปริมาตร แต่อย่างไรก็ตาม แก๊สจริงจะมีสมบัติใกล้เคียงกับแก๊สสมบูรณ์ได้เมื่ออุณหภูมิสูงและความดันต่ำ

ตารางที่ 1.1 : เปรียบเทียบลักษณะต่าง ๆ ของแก๊สจริงและแก๊สสมบูรณ์

ลักษณะ	แก๊สจริง	แก๊สสมบูรณ์
ขนาดของโมเลกุล	ขนาดเล็กเมื่อเทียบกับระยะห่างระหว่างโมเลกุล	ขนาดเล็กมาก จนถือว่าไม่มีปริมาตร
ปริมาตร	ปริมาตรภาชนะ – ปริมาตรแก๊ส	เท่ากับภาชนะที่บรรจุ
แรงระหว่างโมเลกุล	แรงแวนเดอร์วาลส์	ไม่มีแรงกระทำต่อกัน
ลักษณะการชนกัน	การชนแบบไม่ยืดหยุ่น	การชนแบบยืดหยุ่น
การควบแน่น	เกิดได้ เมื่อลดอุณหภูมิ	ไม่เกิด

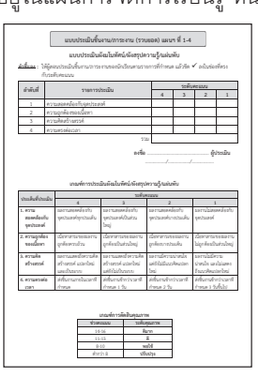
Topic Question

คำชี้แจง : ให้นักเรียนตอบคำถามต่อไปนี้

1. ทฤษฎีจลน์ของแก๊สมีสาระสำคัญอย่างไร
2. แก๊สที่มีมวลโมเลกุลน้อยจะแพร่ได้เร็วหรือช้ากว่าแก๊สที่มีมวลโมเลกุลมาก
3. แก๊สจริงและแก๊สอุดมคติแตกต่างกันอย่างไร
4. เพราะเหตุใดสารในสถานะแก๊สจึงมีรูปร่างและปริมาตรไม่แน่นอน

แนวทางการวัดและประเมินผล

ครูสามารถวัดและประเมินความเข้าใจในเนื้อหา เรื่อง สมบัติของแก๊ส ได้จากผังมโนทัศน์ เรื่อง สมบัติของแก๊ส ที่นักเรียนได้สร้างและนำเสนอในขั้นขยายความเข้าใจ โดยศึกษาเกณฑ์การวัดและประเมินผลจากแบบประเมินชิ้นงาน/ภาระงาน (รวบยอด) ที่อยู่ในแผนการจัดการเรียนรู้ หน่วยการเรียนรู้ที่ 1



แนวตอบ Topic Question

1. แก๊สประกอบด้วยอนุภาคที่มีมวลน้อยและมีขนาดเล็กมากจนถือว่าแก๊สไม่มีปริมาตร เมื่อเทียบกับภาชนะที่บรรจุ โมเลกุลของแก๊สอยู่ห่างกันมาก จนถือว่าไม่มีแรงกระทำต่อกัน โมเลกุลของแก๊สเคลื่อนที่อย่างรวดเร็วในแนวเส้นตรง ด้วยอัตราเร็วคงที่ จนชนกับโมเลกุลอื่นหรือชนกับผนังภาชนะ โมเลกุลแก๊สจึงเปลี่ยนทิศทางและอัตราเร็ว ณ อุณหภูมิเดียวกัน โมเลกุลของแก๊สจะมีพลังงานจลน์เฉลี่ยเท่ากัน
2. แก๊สที่มีมวลโมเลกุลน้อยจะแพร่ได้เร็วกว่าแก๊สที่มีมวลโมเลกุลมาก
3. แก๊สอุดมคติประกอบด้วยโมเลกุลของแก๊สที่ไม่มีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุล ไม่มีขนาดโมเลกุล จึงไม่มีปริมาตร ส่วนแก๊สจริงประกอบด้วยโมเลกุลของแก๊สที่มีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุล มีขนาดโมเลกุล จึงมีปริมาตร
4. จากทฤษฎีจลน์ของแก๊ส โมเลกุลของแก๊สมีขนาดเล็กมาก และไม่มีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างกันและกัน ดังนั้น เมื่อบรรจุแก๊สลงในภาชนะใดก็ตาม แก๊สจะแพร่กระจายเต็มพื้นที่ภาชนะนั้น ทำให้แก๊สมีรูปร่างเหมือนภาชนะ และมีปริมาตรเท่าภาชนะที่บรรจุ

Prior Knowledge

ปริมาตร ความดัน และอุณหภูมิหมายถึงอะไร ?

2. ความสัมพันธ์ของปริมาตร ความดัน และอุณหภูมิของแก๊ส

ตัวแปรที่ส่งผลต่อพฤติกรรมของแก๊ส ได้แก่ ปริมาตร (V) ความดัน (P) และอุณหภูมิ (T)

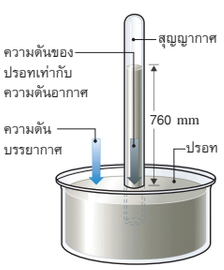
1. ปริมาตร (volume) เนื่องจากแก๊สบรรจุในภาชนะใดก็จะฟุ้งกระจายเต็มภาชนะนั้น ดังนั้น ปริมาตรของแก๊ส จึงหมายถึง ปริมาตรของภาชนะที่บรรจุแก๊สนั้น แทนด้วยสัญลักษณ์ V โดยหน่วยของปริมาตรที่นิยมใช้ คือ ลูกบาศก์เดซิเมตร (dm^3) หรือลิตร (L) หรือลูกบาศก์เซนติเมตร (cm^3) (1 dm^3 = 1,000 cm^3) นอกจากนี้ ยังพบว่า ปริมาตรของแก๊สมีค่าไม่คงที่ โดยจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ ความดัน และจำนวนโมลของแก๊ส ดังนั้น ในการระบุปริมาตรของแก๊สจึงต้องระบุอุณหภูมิและความดันควบคู่ด้วย

2. ความดัน (pressure) หมายถึง แรงที่กระทำต่อหน่วยพื้นที่ที่ตั้งฉากกับแรงนั้น ซึ่งความดันของแก๊สเกิดจากโมเลกุลของแก๊สชนกับผนังภาชนะ และความดันของแก๊สมีค่าเท่ากัน ไม่ว่าจะวัดที่ส่วนใดของภาชนะ แทนด้วยสัญลักษณ์ P โดยหน่วยที่ใช้วัดความดันของแก๊สที่นิยมใช้ มีดังนี้

1 บรรยากาศ (atm) = 76 เซนติเมตรปรอท (cmHg)
= 760 มิลลิเมตรปรอท (mmHg)
= 760 ① ทอร์ (torr)
= 1.013×10^5 ② ปาสคาล (Pa)
= 14.696 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว (Psi)
= 101.325 นิวตันต่อตารางเมตร (N/m^2)
= 1.01325 ③ บาร์ (bar)

เครื่องมือที่ใช้วัดความดันของแก๊สมีอยู่ 2 ชนิด ดังนี้

1) บารอมิเตอร์ (barometer) ประกอบด้วยหลอดแก้วยาวประมาณ 80–100 เซนติเมตร ปลายข้างหนึ่งของหลอดแก้วปิดสนิท ภายในหลอดแก้วบรรจุปรอทไว้เต็ม จากนั้นคว่ำหลอดแก้วลงในภาชนะที่มีปรอทบรรจุอยู่แล้ว ซึ่งเมื่อคว่ำหลอดแก้วลงไป ความสูงของปรอทในหลอดแก้วจะลดลง ทำให้เกิดช่องว่างที่เป็นสุญญากาศขึ้น และในที่สุดความสูงของปรอทที่อยู่ในหลอดแก้วจะคงที่ ที่จุดนี้เองเป็นตำแหน่งที่สมดุลกันระหว่างความดันบรรยากาศและแรงกดของปรอท ความสูงของปรอทที่เหลือในหลอดแก้วจะมีค่าเท่ากับความดันบรรยากาศนั่นเอง เช่น ที่ระดับน้ำทะเล ปรอทที่อยู่ในหลอดแก้วจะมีความสูง 760 มิลลิเมตร ดังนั้น ความดันบรรยากาศที่ระดับน้ำทะเลจึงมีค่าเท่ากับ 760 มิลลิเมตรปรอท



▲ **ภาพที่ 1.3** บารอมิเตอร์
ที่มา : คลังภาพ อจท.

ขั้นนำ

กระตุ้นความสนใจ

1. ครูถามคำถาม Prior Knowledge จากหนังสือเรียนเคมี ม.5 เล่ม 1 แล้วให้นักเรียนร่วมกันตอบคำถาม จากนั้นครูอาจเลือกคำตอบที่ไม่ขัดเจนของนักเรียนมาอภิปรายร่วมกันเพื่อนำไปสู่ขั้นสอนต่อไป
2. ครูถามคำถามว่า นักเรียนคิดว่าปริมาตร ความดัน และอุณหภูมิของแก๊สมีความสัมพันธ์กันหรือไม่ อย่างไร แล้วให้นักเรียนร่วมกันตอบคำถาม โดยครูยังไม่ต้องเฉลยคำตอบ

แนวตอบ Prior Knowledge

ปริมาตร หมายถึง ปริมาณของรูปทรงสามมิติซึ่งบรรจุอยู่ในภาชนะ ไม่ว่าจะอยู่ในสถานะใดก็ตาม

ความดัน หมายถึง แรงที่กระทำต่อพื้นที่หนึ่งหน่วยที่ตั้งฉากกับแรงนั้น

อุณหภูมิ หมายถึง ปริมาณที่ใช้บอกระดับความร้อน

ข้อสอบเน้นการคิด

ความดัน **228** เซนติเมตรปรอท จะมีค่าเท่าใดในหน่วยบรรยากาศ ทอร์ ปาสคาล ปอนด์ต่อตารางนิ้ว นิวตันต่อตารางเมตร และบาร์

(วิเคราะห์คำตอบ ความดัน 228 cmHg

$= \frac{228}{76} = 3$ *atm*

$= 3 \times 760 = 2{,}280$ *torr*

$= 3 \times 1.013 \times 10^5 = 3.039 \times 10^5$ *Pa*

$= 3 \times 14.696 = 44.088$ *Psi*

$= 3 \times 101.325 = 303.975$ N/m^2

$= 3 \times 1.01325 = 3.03975$ *bar)*

นักเรียนควรรู้

① **ทอร์** เป็นหน่วยวัดความดันในระบบเอสไอ ตั้งตามชื่อสกุลของเอวานเจลิสตา โตร์ริเชลลี (Evangelista Torricelli) นักฟิสิกส์และนักคณิตศาสตร์ ชาวอิตาลี ซึ่งเป็นผู้คิดค้นบารอมิเตอร์ (barometer) โดยหน่วยความดันนี้นิยมใช้กับค่าความดันสุญญากาศ (vacuum) สูง ๆ

② **ปาสคาล** เป็นหน่วยอนุพันธ์ในระบบเอสไอ ใช้วัดความดัน ความดันภายในความเค้น ค่ามอดูลัสของยัง และความทนแรงดึงสูงสุด ชื่อหน่วยตั้งตามชื่อของแบลซ ปาสคาล (Blaise Pascal) นักคณิตศาสตร์ชาวฝรั่งเศส

③ **บาร์** เป็นหน่วยวัดความดันที่ไม่ใช่หน่วยในระบบเอสไอ แต่สถาบันมาตรฐานและเทคโนโลยีแห่งชาติ (NIST) ยอมรับให้ใช้งานกับหน่วยเอสไออื่น ๆ ได้ โดยหน่วยบาร์ได้รับความนิยมอย่างกว้างขวางในการวัดความดัน เนื่องจากมีค่าเท่ากับความดันบรรยากาศ

ขั้นนำ

กระตุ้นความสนใจ

3. ครูเปิดสื่อการสอนเกี่ยวกับความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตร ความดัน และอุณหภูมิของแก๊สจากแหล่งข้อมูลสารสนเทศให้นักเรียนดู เช่น
   - https://www.youtube.com/watch?v=xg5NiOwf_Zw
   - https://www.youtube.com/watch?v=eR49g3ubTBg
   - https://www.youtube.com/watch?v=NplVuTrr59U
   - https://www.youtube.com/watch?v=N6DZRiSIK3s

   เพื่อกระตุ้นให้นักเรียนเกิดความสนใจในบทเรียน และได้รับความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตร ความดัน และอุณหภูมิของแก๊ส ก่อนเริ่มเรียนเนื้อหาในคาบเรียนต่อๆ ไป

ขั้นสอน

สำรวจค้นหา

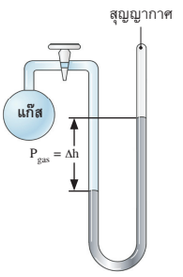
1. ครูให้นักเรียนศึกษาเกี่ยวกับความหมายของปริมาตร ความดัน และอุณหภูมิของแก๊ส และเครื่องมือที่ใช้วัดความดันและอุณหภูมิของแก๊สจากหนังสือเรียนเคมี ม.5 เล่ม 1 หรือจาก PowerPoint ประกอบการสอน
2. ครูสุ่มตัวแทนนักเรียน 2 คน ออกมาอธิบายสาระสำคัญของเรื่องที่ได้ศึกษาไปให้เพื่อนฟังหน้าชั้นเรียน จนเกิดความเข้าใจที่ตรงกัน

2) มานอมิเตอร์ (manometer) มีลักษณะเป็นหลอดแก้วรูปตัว U ภายในบรรจุปรอทเอาไว้ ปลายด้านหนึ่งต่อกับกระเปาะที่มีแก๊สที่ต้องการวัดความดัน ส่วนปลายอีกด้านอาจเปิดหรือปิดก็ได้ ดังนั้น มานอมิเตอร์จึงแบ่งออกเป็น 2 ชนิด ดังนี้

มานอมิเตอร์ปลายปิด

ที่ว่างระหว่างปลายปรอทกับปลายที่ปิดอยู่จะเป็นสุญญากาศ ดังนั้น

ความดันของแก๊ส (P_{gas}) = ความสูงของปรอท (Δh)



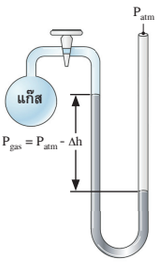
▲ **ภาพที่ 1.4** มานอมิเตอร์ปลายปิด
ที่มา : คลังภาพ อจท.

มานอมิเตอร์ปลายเปิด

ปลายข้างเปิดจะมีความดันบรรยากาศกดอยู่บนปรอท ค่าความดันของแก๊สจะขึ้นอยู่กับค่าความดันของบรรยากาศ (P_{atm}) และความดันของแก๊ส (P_{gas}) ที่บรรจุอยู่ ดังนี้

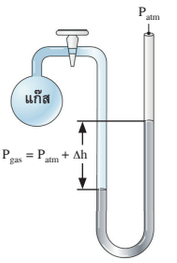
ถ้า P_{gas} ที่บรรจุมีค่าน้อยกว่า P_{atm} จะเห็นว่า ปรอทในหลอดรูปตัว U ทางด้านที่ติดปลายที่เปิดจะต่ำกว่าอีกด้าน ดังนั้น

$P_{gas} = P_{atm} - \Delta h$



ถ้า P_{gas} ที่บรรจุมีค่ามากกว่า P_{atm} จะเห็นว่า ปรอทในหลอดรูปตัว U ทางด้านที่ติดปลายที่เปิดจะสูงกว่าอีกด้าน ดังนั้น

$P_{gas} = P_{atm} + \Delta h$



▲ **ภาพที่ 1.5** มานอมิเตอร์ปลายเปิด
ที่มา : คลังภาพ อจท.

3) อุณหภูมิ (temperature) เป็นมาตราส่วนที่ใช้บอกระดับความร้อน–เย็นของสาร และเป็นตัวกำหนดสถานะของสาร แทนด้วยสัญลักษณ์ T เครื่องมือวัดอุณหภูมิที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย คือ เทอร์มอมิเตอร์ และมีมาตราส่วนที่ใช้หลายแบบ เช่น เคลวิน (K) องศาเซลเซียส (°C) องศาฟาเรนไฮต์ (°F) องศาโรเมอร์ (°R) เป็นต้น โดยมาตราส่วนที่นิยมใช้มากที่สุด คือ เคลวิน หรือเรียกว่า มาตราส่วนสัมบูรณ์ ซึ่งมาตราส่วนเคลวิน (K) องศาฟาเรนไฮต์ (°F) และองศาเซลเซียส (°C) มีความสัมพันธ์กัน ดังนี้

$^{\circ}C = \frac{5}{9}(^{\circ}F - 32)$ $^{\circ}F = \left(\frac{9}{5} \times ^{\circ}C\right) + 32$ $K = ^{\circ}C + 273.15$

ให้นักเรียนศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตร อุณหภูมิ และความดันของแก๊สจากการทดลองต่อไปนี้

เกร็ดแนะครู

ครูอาจอธิบายเพิ่มเติมว่า นอกจากบารอมิเตอร์และมานอมิเตอร์แล้ว ยังมีเครื่องมือวัดความดันอีกชนิดหนึ่ง คือ เกจวัดความดัน (pressure gauge) ซึ่งเป็นอุปกรณ์ในการวัดความดันที่เกิดขึ้นในระบบ โดยให้ความดันบรรยากาศเป็นความดันอ้างอิง ค่าที่เกิดจากเกจวัดความดันจึงไม่รวมค่าของความดันบรรยากาศเข้าไปด้วย แต่จะเป็นค่าที่มากขึ้นกว่าค่าความดันบรรยากาศ ซึ่งสามารถหาได้จากบารอมิเตอร์

เกจวัดความดัน

ข้อสอบเน้นการคิด

อุณหภูมิ 25 และ –15 องศาเซลเซียส จะมีค่ากี่องศาฟาเรนไฮต์และกี่เคลวิน

(วิเคราะห์คำตอบ $^{\circ}F = \left(\frac{9}{5} \times ^{\circ}C\right) + 32$ *และ* $K = ^{\circ}C + 273.15$

อุณหภูมิ 25 °C

$^{\circ}F = \left(\frac{9}{5} \times 25\right) + 32 = 77$ *องศาฟาเรนไฮต์*

$K = 25 + 273.15 = 298.15$ *เคลวิน*

อุณหภูมิ -15 °C

$^{\circ}F = \left(\frac{9}{5} \times -15\right) + 32 = 5$ *องศาฟาเรนไฮต์*

$K = (-15) + 273.15 = 258.15$ *เคลวิน)*

การทดลอง

ผลของความดันและอุณหภูมิต่อปริมาตรของแก๊ส

ทักษะกระบวนการวิทยาศาสตร์
- การสังเกต
- การทดลอง
- การลงความเห็นจากข้อมูล

จิตวิทยาศาสตร์
- ความสนใจใฝ่รู้
- ความรอบคอบ

จุดประสงค์

1. อธิบายผลของความดันที่มีต่อปริมาตรของแก๊สเมื่ออุณหภูมิและมวลของแก๊สคงที่ได้
2. อธิบายผลของอุณหภูมิที่มีต่อปริมาตรของแก๊สเมื่อความดันและมวลของแก๊สคงที่ได้

วัสดุอุปกรณ์และสารเคมี

1. บีกเกอร์ 2. กระบอกฉีดยา 3. เทอร์มอมิเตอร์ 4. น้ำกลั่น 5. น้ำแข็ง

วิธีการทดลอง

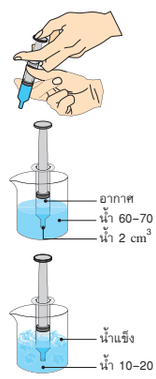
ตอนที่ 1 ผลของความดันต่อปริมาตรของแก๊ส

1. ดึงก้านกระบอกฉีดยาขึ้นมาอยู่ประมาณกึ่งกลางของกระบอก ใช้ปลายนิ้วอุดปลายกระบอกฉีดยาไว้ แล้วกดก้านกระบอกฉีดยาช้า ๆ จนกระทั่งกดไม่ลง จึงปล่อยมือที่กดออก สังเกตการเปลี่ยนแปลง
2. ดึงก้านกระบอกฉีดยาขึ้นมาอยู่ประมาณกึ่งกลางของกระบอก ใช้ปลายนิ้วอุดปลายกระบอกฉีดยา แล้วดึงก้านกระบอกฉีดยาขึ้นอย่างช้า ๆ จนเกือบสุด จึงปล่อยมือที่ดึงออก สังเกตการเปลี่ยนแปลง

▲ **ภาพที่ 1.6** การทดลองผลของความดันต่อปริมาตรของแก๊ส
ที่มา : คลังภาพ อจท.

ตอนที่ 2 ผลของอุณหภูมิต่อปริมาตรของแก๊ส

1. ดึงก้านกระบอกฉีดยาขึ้นมาอยู่ประมาณกึ่งกลางของกระบอก แล้วนำไปดูดน้ำให้มีปริมาตร 2 cm^3
2. จุ่มกระบอกฉีดยาจากข้อ 1. ลงในน้ำร้อนที่มีอุณหภูมิประมาณ 60-70 °C แล้วสังเกตการเปลี่ยนแปลง เมื่อการเปลี่ยนแปลงสิ้นสุดลงแล้ว จับกระบอกฉีดยาให้ตั้งตรงและเลื่อนกระบอกฉีดยาขึ้นหรือลงจนระดับน้ำภายในกระบอกฉีดยาเท่ากับระดับน้ำภายนอก จากนั้นอ่านปริมาตรของอากาศในกระบอกฉีดยา
3. ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 2. แต่เปลี่ยนเป็นจุ่มกระบอกฉีดยาลงในน้ำเย็นที่มีอุณหภูมิประมาณ 10-20 °C



▲ **ภาพที่ 1.7** การทดลองผลของอุณหภูมิต่อปริมาตรของแก๊ส
ที่มา : คลังภาพ อจท.

ขั้นสอน

สำรวจค้นหา

1. ครูให้นักเรียนแบ่งกลุ่ม กลุ่มละ 5 คน แล้วทำการทดลอง เรื่อง ผลของความดันและอุณหภูมิต่อปริมาตรของแก๊ส จากหนังสือเรียนเคมี ม.5 เล่ม 1
2. ครูใช้รูปแบบการเรียนรู้แบบร่วมมือ เทคนิค LT มาจัดกระบวนการเรียนรู้ โดยกำหนดให้สมาชิกแต่ละคนภายในกลุ่มมีบทบาทหน้าที่ของตนเอง ดังนี้
   - สมาชิกคนที่ 1 : ทำหน้าที่เตรียมอุปกรณ์ต่าง ๆ
   - สมาชิกคนที่ 2 : ทำหน้าที่อ่านวิธีการทดลอง ทำความเข้าใจ และอธิบายให้สมาชิกในกลุ่มฟัง
   - สมาชิกคนที่ 3 : ทำหน้าที่บันทึกผลการทดลอง
   - สมาชิกคนที่ 4 และ 5 : ทำหน้าที่นำเสนอผลการทดลอง
3. ครูให้สมาชิกทุกคนในกลุ่มช่วยกันลงมือทำการทดลอง
4. ครูให้นักเรียนแต่ละกลุ่มส่งตัวแทน (สมาชิกคนที่ 4 และ 5 ของกลุ่ม) มานำเสนอผลการทดลอง หลังจากนั้นให้นักเรียนทุกคนร่วมกันอภิปรายผลการทดลองจนมีความเข้าใจที่ตรงกัน

ข้อสอบเน้นการคิด

ถ้าลดปริมาตรของภาชนะที่บรรจุแก๊สลง โดยอุณหภูมิยังคงที่ ข้อสรุปใดถูกต้อง

1. โมเลกุลของแก๊สชนภาชนะแรงเท่าเดิม ด้วยความถี่เพิ่มขึ้น
2. โมเลกุลของแก๊สชนภาชนะเบากว่าเดิม ด้วยความถี่เพิ่มขึ้น
3. โมเลกุลของแก๊สชนภาชนะแรงขึ้นกว่าเดิม ด้วยความถี่ลดลง
4. โมเลกุลของแก๊สชนภาชนะแรงขึ้นกว่าเดิม ด้วยความถี่เท่าเดิม
5. โมเลกุลของแก๊สชนภาชนะแรงขึ้นกว่าเดิม ด้วยความถี่เพิ่มขึ้น

(วิเคราะห์คำตอบ ความเร็วเฉลี่ยของแก๊สจะแปรผันตรงกับอุณหภูมิ เมื่ออุณหภูมิคงที่ ความเร็วเฉลี่ยของแก๊สจึงเท่าเดิม นั่นคือ โมเลกุลของแก๊สจะชนภาชนะด้วยความแรงเท่าเดิม แต่จะชนด้วยความถี่มากขึ้น เนื่องจากปริมาตรของภาชนะที่บรรจุลดลง ดังนั้น ตอบข้อ 1.)

ห้องปฏิบัติการ

☑ เทคนิค ☐ ความปลอดภัย

ในการทดลองตอนที่ 2 อาจบรรจุน้ำมันพืชลงในกระบอกฉีดยาแทนน้ำ ซึ่งจะให้ผลการทดลองในลักษณะเดียวกัน แต่จะไม่มีผลของความดันไอของน้ำเข้ามาเกี่ยวข้องขณะจุ่มกระบอกฉีดยาในอ่างน้ำร้อน เนื่องจากน้ำมันพืชกลายเป็นไอได้ยากกว่าน้ำ นอกจากนี้ อาจใช้ไดร์เป่าผมเป่าบริเวณที่บรรจุน้ำมันพืชเพื่อเป็นการเพิ่มอุณหภูมิแทนการจุ่มกระบอกฉีดยาลงในอ่างน้ำร้อนก็ได้

ขั้นสอน

อธิบายความรู้

ครูและนักเรียนร่วมกันอภิปรายและหาข้อสรุปจากการทดลอง โดยใช้แนวคำถาม ดังนี้

- เมื่อปริมาตรของแก๊สในกระบอกฉีดยาลดลง เพราะเหตุใดความดันของแก๊สจึงเพิ่มขึ้น
  (แนวตอบ เนื่องจากเมื่อปริมาตรของแก๊สลดลง โมเลกุลของแก๊สจะอยู่ใกล้กันมากขึ้น ส่งผลให้โมเลกุลของแก๊สชนกันเอง และชนผนังภาชนะมากขึ้น ความดันของแก๊สจึงเพิ่มขึ้น)
- ถ้านำกระบอกฉีดยาไปจุ่มในน้ำเดือด ปริมาตรของน้ำในกระบอกฉีดยาจะมากหรือน้อยกว่าเมื่อนำกระบอกฉีดยาไปจุ่มในน้ำอุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เพราะเหตุใด
  (แนวตอบ ปริมาตรของน้ำในกระบอกฉีดยาจะน้อยกว่า เนื่องจากเมื่อนำกระบอกฉีดยาไปจุ่มในน้ำที่มีอุณหภูมิสูงกว่า จะทำให้โมเลกุลของแก๊สในกระบอกฉีดยามีความดันสูงกว่า จึงดันน้ำออกจากกระบอกฉีดยามากกว่า ปริมาตรของน้ำจึงน้อยกว่า)
- ปริมาตร ความดัน และอุณหภูมิของแก๊สมีความสัมพันธ์กันอย่าง
  (แนวตอบ เมื่ออุณหภูมิและมวลของแก๊สคงที่ ปริมาตรของแก๊สจะแปรผกผันกับความดัน
  เมื่อความดันและมวลของแก๊สคงที่ ปริมาตรของแก๊สจะแปรผันตรงกับอุณหภูมิ)

แนวตอบ คำถามท้ายการทดลอง

1. *ความดันกับปริมาตรจะแปรผกผันกัน โดยเมื่อความดันเพิ่มขึ้น ปริมาตรแก๊สจะลดลง และเมื่อความดันลดลง ปริมาตรแก๊สจะเพิ่มขึ้น*
2. *เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ปริมาตรแก๊สจะเพิ่มขึ้น และเมื่ออุณหภูมิลดลง ปริมาตรแก๊สจะลดลง*
3. *ความดันและอุณหภูมิ*

คำถามท้ายการทดลอง

1. จากการทดลองตอนที่ 1 ความดันกับปริมาตรมีความสัมพันธ์กันอย่างไร
2. จากการทดลองตอนที่ 2 อุณหภูมิมีผลต่อปริมาตรอย่างไร
3. จากการทดลองนี้ ปัจจัยใดบ้างที่มีผลต่อปริมาตรของแก๊ส

อภิปรายผลการทดลอง

การทดลองตอนที่ 1 เมื่อกดก้านกระบอกฉีดยาจะทำให้ปริมาตรแก๊สในกระบอกฉีดยาลดลง ซึ่งเมื่อปล่อยมือออก ก้านกระบอกฉีดยาจะเลื่อนกลับสู่ตำแหน่งเดิม และเมื่อดึงก้านกระบอกฉีดยาขึ้น ปริมาตรแก๊สในกระบอกฉีดยาจะเพิ่มขึ้น ซึ่งเมื่อปล่อยมือออก ก้านกระบอกฉีดยาจะเลื่อนกลับสู่ตำแหน่งเดิมเช่นกัน

การทดลองตอนที่ 2 เมื่อจุ่มกระบอกฉีดยาที่บรรจุน้ำ (60–70 °C) น้ำในกระบอกฉีดยาจะถูกดันออก แต่ถ้าจุ่มลงในน้ำเย็น (10–20 °C) น้ำจากภายนอกจะดันเข้าไปแทนที่อากาศในหลอดฉีดยา

ผลการทดลองในตอนที่ 1 สามารถใช้ทฤษฎีจลน์ของแก๊สอธิบายได้ว่า เมื่อปริมาตรแก๊สในกระบอกฉีดยาลดลง โมเลกุลของแก๊สจะอยู่ใกล้กันมากขึ้น เกิดการชนกันเอง และชนผนังภาชนะมากขึ้น ส่งผลให้ความดันของแก๊สในกระบอกฉีดยาเพิ่มขึ้น ในทางตรงกันข้าม เมื่อปริมาตรแก๊สในกระบอกฉีดยาเพิ่มขึ้น โมเลกุลของแก๊สจะอยู่ห่างกันมากขึ้น เกิดการชนกันเอง และชนผนังภาชนะน้อยลง ความดันของแก๊สในกระบอกฉีดยาจึงลดลง ซึ่งจากผลการทดลองในตอนที่ 1 จะกล่าวได้ว่า ปริมาตรของแก๊สจะแปรผกผันกับความดัน เมื่ออุณหภูมิและมวลของแก๊สคงที่

ผลการทดลองในตอนที่ 2 สามารถใช้ทฤษฎีจลน์ของแก๊สอธิบายได้ว่า เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น โมเลกุลของแก๊สจะมีพลังงานจลน์เฉลี่ยเพิ่มขึ้น จึงเคลื่อนที่ได้เร็วขึ้น โมเลกุลจึงชนกันเอง และชนผนังภาชนะมากขึ้น ส่งผลให้แก๊สในกระบอกฉีดยามีความดันเพิ่มขึ้น จึงดันน้ำออกจากกระบอกฉีดยา เพื่อทำให้ความดันภายในกระบอกฉีดยาและภายนอกมีค่าเท่ากัน และเมื่ออุณหภูมิลดลง โมเลกุลของแก๊สจะชนกันเอง และชนผนังภาชนะน้อยลง ความดันแก๊สในกระบอกฉีดยาจึงต่ำ อากาศภายนอกซึ่งมีความดันสูงกว่าจึงดันน้ำเข้าไปในกระบอกฉีดยา เพื่อให้ความดันภายในกระบอกฉีดยาและภายนอกมีค่าเท่ากัน ซึ่งจากผลการทดลองในตอนที่ 2 จะกล่าวได้ว่า ปริมาตรของแก๊สจะแปรผันตามอุณหภูมิ เมื่อความดันและมวลของแก๊สคงที่

นักวิทยาศาสตร์หลายท่านได้ทำการศึกษาและทดลองเกี่ยวกับความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตร อุณหภูมิ และความดันของแก๊ส แล้วสรุปความสัมพันธ์เหล่านั้นออกมาเป็นกฎต่าง ๆ ของแก๊ส ดังนี้

บันทึก การทดลอง

การทดลอง	การเปลี่ยนแปลงของแก๊สในกระบอกฉีดยา		
	อุณหภูมิ	ความดัน	ปริมาตร
ตอนที่ 1			
• ขณะกดก้านกระบอกฉีดยา	คงที่	เพิ่มขึ้น	ลดลง
• ขณะดึงก้านกระบอกฉีดยา	คงที่	ลดลง	เพิ่มขึ้น
ตอนที่ 2			
• เมื่อจุ่มกระบอกฉีดยาในน้ำร้อน	เพิ่มขึ้น	คงที่	เพิ่มขึ้น
• เมื่อจุ่มกระบอกฉีดยาในน้ำเย็น	ลดลง	คงที่	ลดลง

ข้อสอบเน้นการคิด

เมื่อนำกระบอกฉีดยาบรรจุแก๊สไปแช่ในน้ำร้อน โดยควบคุมให้ปริมาตรคงที่ โมเลกุลของแก๊สในกระบอกฉีดยาจะเปลี่ยนแปลงไปอย่างไร

1. เคลื่อนที่ช้าลง
2. มีขนาดเล็กลง
3. เคลื่อนที่เร็วขึ้น
4. มีขนาดใหญ่ขึ้น
5. มีความเข้มข้นมากขึ้น

วิเคราะห์คำตอบ การนำกระบอกฉีดยาบรรจุแก๊สไปแช่ในน้ำร้อน เป็นการเพิ่มพลังงานความร้อนให้กับโมเลกุลของแก๊สในกระบอกฉีดยา ทำให้โมเลกุลของแก๊สมีพลังงานจลน์เพิ่มขึ้น หรือเคลื่อนที่เร็วขึ้น ดังนั้น ตอบข้อ 3.)

2.1 กฎของบอยล์

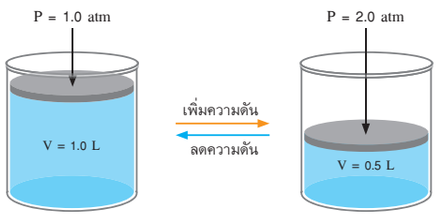
ในปี พ.ศ. 2205 รอเบิร์ต บอยล์ (Robert Boyle) นักเคมีชาวอังกฤษ ได้ศึกษาเกี่ยวกับสมบัติของแก๊ส โดยทำการทดลองเกี่ยวกับความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรและความดันของแก๊ส พบว่า เมื่ออุณหภูมิและมวลของแก๊สคงที่ ปริมาตรจะแปรผกผันกับความดัน กล่าวคือ ถ้าเพิ่มความดันของแก๊ส จะทำให้ปริมาตรของแก๊สลดลง แต่ถ้าลดความดันของแก๊ส จะทำให้ปริมาตรของแก๊สเพิ่มขึ้น ดังนั้น เขาจึงสรุปและนำเสนอเป็น**กฎของบอยล์** (Boyle's Law) ว่า *"ณ อุณหภูมิคงที่ ปริมาตรของแก๊สใด ๆ ที่มีมวลคงที่จะแปรผกผันกับความดันของแก๊สนั้น ๆ"* ซึ่งสามารถเขียนแสดงความสัมพันธ์ได้ ดังนี้

$$V \propto \frac{1}{P} \quad \text{ดังนั้น} \quad V = \frac{k}{P} \quad \text{หรือ} \quad PV = k$$

เมื่อ P คือ ความดันของแก๊ส V คือ ปริมาตรของแก๊ส และ k คือ ค่าคงที่

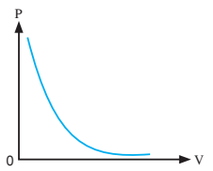
จากสมการ เมื่ออุณหภูมิและมวลของแก๊สมีค่าคงที่ ผลคูณของความดันกับปริมาตรของแก๊สจะมีค่าคงที่เสมอ ดังนั้น จะได้ว่า

$$P_1V_1 = P_2V_2 = P_3V_3 = \ldots = P_nV_n = k$$



▲ **ภาพที่ 1.8** ความสัมพันธ์ระหว่างความดันกับปริมาตรของแก๊ส เมื่อมวลของแก๊สและอุณหภูมิคงที่
ที่มา : คลังภาพ อจท.

จากกฎของบอยล์ ถ้านำข้อมูลที่ได้มาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดัน (แกน Y) และปริมาตร (แกน X) จะได้กราฟลักษณะเส้นโค้งไฮเพอร์โบลา ดังภาพที่ 1.9 กราฟที่ได้นี้เรียกว่า **ไอโซเทอร์ม** (isoterm) ซึ่งแปลว่า อุณหภูมิคงที่ และถ้ามีการเปลี่ยนอุณหภูมิ กราฟที่ได้จะเป็นเส้นโค้งที่มีลักษณะไฮเพอร์โบลาที่เปลี่ยนไป



▲ **ภาพที่ 1.9** กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง P กับ V
ที่มา : คลังภาพ อจท.

กฎของบอยล์

ขั้นสอน

สำรวจค้นหา

1. ครูและนักเรียนร่วมกันอภิปรายและทบทวนความรู้เกี่ยวกับผลของการเปลี่ยนแปลงความดันที่มีต่อปริมาตรของแก๊ส จากผลการทดลองเรื่อง ผลของความดันและอุณหภูมิต่อปริมาตรของแก๊ส
2. ครูเปิดสื่อการสอน เรื่อง https://www.youtube.com/watch?v=eR49g3ubTBg ให้นักเรียนดูอีกครั้งหนึ่ง แล้วถามทบทวนว่าความดันและปริมาตรของแก๊สมีความสัมพันธ์กันอย่างไร

ข้อสอบเน้นการคิด

แก๊ส D จำนวน 10 กรัม ที่ความดัน 760 มิลลิเมตรปรอท มีปริมาตร 500 ลูกบาศก์เซนติเมตร เมื่อความดันเปลี่ยนแปลงไปเป็น 550 มิลลิเมตรปรอท ปริมาตรของแก๊ส D จะเป็นกี่ลูกบาศก์เซนติเมตร เมื่ออุณหภูมิคงที่

1. 525 2. 590 3. 691
4. 836 5. 931

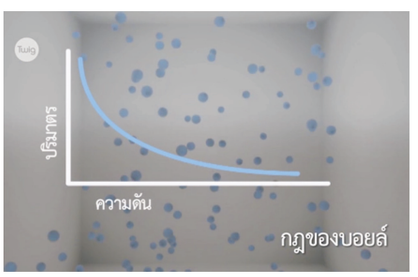
(วิเคราะห์คำตอบ $P_1 = 760$ mmHg $V_1 = 500$ cm^3
$P_2 = 550$ mmHg $V_2 = ?$

$$P_1V_1 = P_2V_2$$
$$760 \times 500 = 550 \times V_2$$
$$V_2 = \frac{760 \times 500}{550} = 691 \text{ cm}^3$$

ดังนั้น ตอบข้อ 3.)

สื่อ Digital

ศึกษาเพิ่มเติมได้จากภาพยนตร์สารคดีสั้น Twig เรื่อง กฎของบอยล์
https://www.twig-aksorn.com/film/glossary/boyles-law-6836/

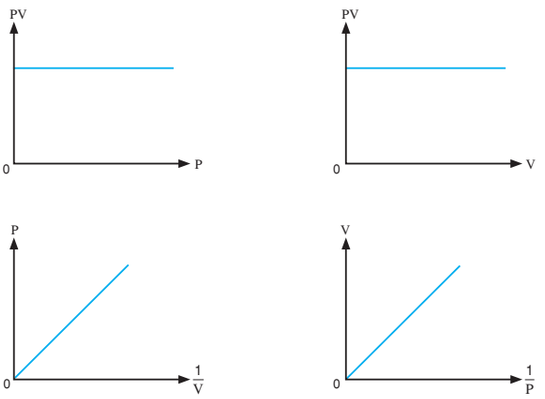


ขั้นสอน

สำรวจค้นหา

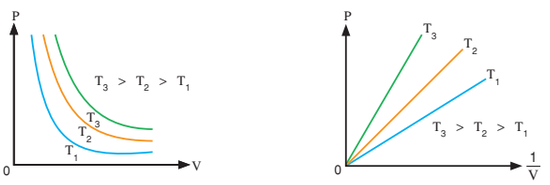
3. ครูให้นักเรียนจับคู่กับเพื่อน โดยคละความสามารถทางวิทยาศาสตร์ แล้วศึกษาเรื่องกฎของบอยล์ จากหนังสือเรียนเคมี ม.5 เล่ม 1 หรือจาก PowerPoint ประกอบการสอน จากนั้นให้นักเรียนร่วมกันอภิปรายความรู้ที่ได้จากการศึกษา จนมีความเข้าใจที่ตรงกัน
4. ครูให้นักเรียนแต่ละคู่ร่วมกันฝึกการคำนวณเกี่ยวกับกฎของบอยล์ จากตัวอย่างที่ 1.1-1.4 ในหนังสือเรียนเคมี ม.5 เล่ม 1 จากนั้นสุ่มนักเรียน 4 คู่ ออกมาแสดงวิธีการคำนวณตัวอย่างแต่ละข้อหน้าชั้นเรียนให้ถูกต้อง โดยครูคอยเสริมความรู้ในส่วนที่นักเรียนยังไม่เข้าใจ

นอกจากนี้ยังสามารถเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันและปริมาตรได้อีกหลายรูปแบบ เช่น เขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า PV (แกน Y) กับความดัน (P) หรือปริมาตร (V) (แกน X) จะได้กราฟเส้นตรง มีค่าความชันเท่ากับศูนย์ หรือเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดัน (P) (แกน Y) กับ $\frac{1}{V}$ (แกน X) หรือปริมาตร (V) (แกน y) กับ $\frac{1}{P}$ (แกน X) จะได้กราฟเส้นตรงผ่านจุดกำเนิด ดังภาพที่ 1.10



▲ **ภาพที่ 1.10** กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันและปริมาตรในรูปแบบต่าง ๆ
ที่มา : คลังภาพ อจท.

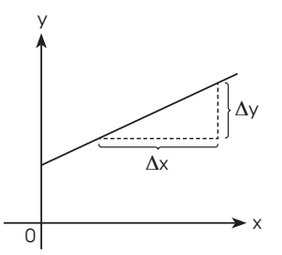
ข้อสังเกตหนึ่งจากกราฟที่สร้างจากกฎของบอยล์ นั่นคือ กราฟที่อยู่บนเส้นเดียวกันจะเป็นการทำการทดลองที่อุณหภูมิเดียวกัน แต่เมื่อมีการทำการทดลองที่อุณหภูมิต่างกันออกไปจะพบว่า ได้ผลคูณของค่าความดันและปริมาตรใหม่ โดยเมื่ออุณหภูมิของแก๊สเพิ่มขึ้น ทำให้ได้ความชันของกราฟ(1)มากขึ้น ดังภาพที่ 1.11



▲ **ภาพที่ 1.11** กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง P กับ V และ P กับ $\frac{1}{V}$ ณ อุณหภูมิต่าง ๆ
ที่มา : คลังภาพ อจท.

นักเรียนควรรู้

(1) **ความชันของกราฟ** เป็นค่าที่บอกถึงความลาดเอียง หรือความสูงชันของเส้นกราฟ โดยถ้าค่าความชันยิ่งมาก แสดงว่า ระดับความลาดเอียง หรือความสูงชันยิ่งมาก การหาความชันของกราฟสามารถหาได้ ดังรูป



$$\text{ความชัน} = \frac{\text{ระยะแกนดิ่ง}}{\text{ระยะแกนราบ}} = \frac{\Delta y}{\Delta x}$$

ข้อสอบเน้นการคิด

ทำการอัดแก๊สออกซิเจนจำนวน **4** ลิตร ที่ความดัน **600** มิลลิเมตรปรอท เข้าไปในถังเหล็กซึ่งมีปริมาตร **2** ลิตร จนหมด ความดันของแก๊สออกซิเจนในถังเหล็กจะเป็นกี่บรรยากาศ ถ้าอุณหภูมิคงที่ตลอดการอัดแก๊ส

1. 0.40
2. 1.58
3. 2.44
4. 3.12
5. 3.75

(วิเคราะห์คำตอบ $P_1 = 600$ mmHg, $V_1 = 4$ L, $P_2 = ?$, $V_2 = 2$ L

$$P_1V_1 = P_2V_2$$
$$600 \times 4 = P_2 \times 2$$
$$P_2 = \frac{600 \times 4}{2} = 1200 \text{ mmHg}$$
$$= \frac{1200}{760} = 1.58 \text{ atm}$$

ดังนั้น ตอบข้อ 2.)

ตัวอย่างที่ 1.1

แก๊ส X มีปริมาตร 400 ลูกบาศก์เซนติเมตร ภายใต้ความดัน 0.8 บรรยากาศ ถ้าความดันเพิ่มขึ้นเป็น 76 เซนติเมตรปรอท แก๊ส X จะมีปริมาตรเท่าใด ถ้าอุณหภูมิคงที่ตลอดการทดลอง

วิธีทำ $P_1 = 0.8$ atm $\quad V_1 = 400$ cm^3

$P_2 = 76$ cmHg $= 760$ mmHg $= 1$ atm $\quad V_2 = ?$

จากกฎของบอยล์

$$P_1V_1 = P_2V_2$$

$$0.8 \text{ atm} \times 400 \text{ cm}^3 = 1 \text{ atm} \times V_2$$

$$V_2 = \frac{0.8 \text{ atm} \times 400 \text{ cm}^3}{1 \text{ atm}}$$

$$= 320 \text{ cm}^3$$

ดังนั้น เมื่อความดันเพิ่มขึ้นเป็น 76 เซนติเมตรปรอท แก๊ส X จะมีปริมาตร 320 ลูกบาศก์เซนติเมตร

ตัวอย่างที่ 1.2

บอลลูนบรรจุด้วยแก๊สฮีเลียม บนพื้นดินที่ความดัน 735 ทอร์ ปริมาตรบอลลูนเท่ากับ 15 ลูกบาศก์เมตร เมื่อบอลลูนลอยสูงขึ้น 3,700 เมตร พบว่า ปริมาตรเปลี่ยนเป็น 21.3 ลูกบาศก์เมตร จงหาความดันของแก๊สฮีเลียมในบอลลูนที่ความสูง 3,700 เมตร

วิธีทำ $P_1 = 735$ torr $\quad V_1 = 15$ m^3

$P_2 = ?$ $\quad V_2 = 21.3$ m^3

จากกฎของบอยล์

$$P_1V_1 = P_2V_2$$

$$735 \text{ torr} \times 15 \text{ m}^3 = P_2 \times 21.3 \text{ m}^3$$

$$P_2 = \frac{735 \text{ torr} \times 15 \text{ m}^3}{21.3 \text{ m}^3}$$

$$= 517.61 \text{ torr}$$

ดังนั้น ที่ความสูง 3,700 เมตร แก๊สฮีเลียมในบอลลูนจะมีความดัน 517.61 ทอร์

ขั้นสอน

อธิบายความรู้

1. ครูอธิบายเพิ่มเติมว่า แก๊สอุดมคติจะมีพฤติกรรมเป็นไปตามกฎของบอยล์ ส่วนแก๊สจริง หรือแก๊สทั่ว ๆ ไปจะมีพฤติกรรมใกล้เคียงกับกฎของบอยล์ เมื่ออุณหภูมิและความดันไม่สูงมาก
2. ครูตั้งคำถามให้นักเรียนร่วมกันอภิปราย เรื่อง กฎของบอยล์ เช่น
   - ถ้าเปลี่ยนความดันเป็นหลาย ๆ ค่า ปริมาตรของแก๊สจะเปลี่ยนแปลงอย่างไร
     (แนวตอบ เมื่อความดันเปลี่ยนแปลง ปริมาตรของแก๊สก็จะเปลี่ยนแปลงไป โดยถ้าเพิ่มความดัน ปริมาตรของแก๊สจะลดลง แต่ถ้าลดความดัน ปริมาตรของแก๊สจะเพิ่มขึ้น)
   - จากกฎของบอยล์ จะสรุปความสัมพันธ์ของความดันและปริมาตรของแก๊สได้ว่าอย่างไร
     (แนวตอบ เมื่ออุณหภูมิและมวลของแก๊สคงที่ ปริมาตรของแก๊สจะแปรผกผันกับความดัน)
   - ให้นักเรียนยกตัวอย่างกฎของบอยล์ที่พบได้ในชีวิตประจำวัน
     (แนวตอบ ยกตัวอย่างเช่น การใช้หลอดฉีดยาจะอาศัยหลักตามกฎของบอยล์ คือ เมื่อก้านหลอดฉีดยาถูกดึงขึ้น ปริมาตรในหลอดฉีดยาจะมากขึ้น ส่งผลให้ความดันในหลอดฉีดยาลดลง ทำให้เกิดสุญญากาศในหลอดฉีดยา และดึงของเหลวจากภายนอกหลอดฉีดยาเข้ามาภายในหลอดฉีดยาได้)

ข้อสอบเน้นการคิด

แก๊สนีออนปริมาตร 10 ลูกบาศก์เดซิเมตร ที่ความดัน 5 บรรยากาศ ถ้าต้องการให้แก๊สนีออนมีปริมาตร 20 ลูกบาศก์เดซิเมตร จะต้องลดหรือเพิ่มความดันเท่าใด ถ้าอุณหภูมิคงที่ และแก๊สนีออนประพฤติตัวเหมือนแก๊สในอุดมคติ

1. ลดความดัน 2.5 บรรยากาศ
2. ลดความดัน 5.0 บรรยากาศ
3. เพิ่มความดัน 2.5 บรรยากาศ
4. เพิ่มความดัน 5.0 บรรยากาศ
5. เพิ่มความดัน 7.5 บรรยากาศ

(วิเคราะห์คำตอบ $P_1 = 5$ atm $\quad V_1 = 10$ dm^3

$P_2 = ?$ $\quad V_2 = 20$ dm^3

$$P_1V_1 = P_2V_2$$

$$5 \times 10 = P_2 \times 20$$

$$P_2 = \frac{5 \times 10}{20} = 2.5 \text{ atm}$$

จะต้องใช้ความดัน 2.5 บรรยากาศ หรือลดความดัน = 5 - 2.5 = 2.5 บรรยากาศ ดังนั้น ตอบข้อ 1.)

T15

ขั้นสอน

อธิบายความรู้

3. ครูยกตัวอย่างปรากฏการณ์หรือสถานการณ์ในชีวิตประจำวันเกี่ยวกับกฎของบอยล์ เช่น การพองตัวของถุงอาหารเมื่ออยู่บนภูเขา อาการหูอื้อเมื่อขึ้นที่สูง เป็นต้น จากนั้นให้นักเรียนร่วมกันอภิปรายเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงปริมาตรหรือความดันของแก๊สตามกฎของบอยล์ โดยครูคอยเสริมความรู้ จนเกิดความเข้าใจที่ตรงกัน

ตัวอย่างที่ 1.3

แก๊สออกซิเจนจำนวนหนึ่งบรรจุในถังปิดที่ปรับขนาดได้ จากการทดลอง พบว่า ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส วัดความดันได้ 480 มิลลิเมตรปรอท ในปริมาตร 500 ลูกบาศก์เซนติเมตร ถ้าขยายปริมาตรให้เพิ่มขึ้นอีก 200 ลูกบาศก์เซนติเมตร ความดันจะลดลงกี่มิลลิเมตรปรอท

วิธีทำ $P_1 = 480\ mmHg$ $V_1 = 500\ cm^3$

$P_2 = ?$ $V_2 = 500 + 200 = 700\ cm^3$

จากกฎของบอยล์

$$P_1V_1 = P_2V_2$$

$$480\ mmHg \times 500\ cm^3 = P_2 \times 700\ cm^3$$

$$P_2 = \frac{480\ mmHg \times 500\ cm^3}{700\ cm^3}$$

$$= 342.86\ mmHg$$

ดังนั้น ความดันจะลดลง 480 – 342.86 = 137.14 มิลลิเมตรปรอท

ตัวอย่างที่ 1.4

แก๊สคลอรีนจำนวนหนึ่งอยู่ในถังปิด ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส วัดความดันได้ 500 มิลลิเมตรปรอท ถ้านำแก๊สคลอรีนทั้งหมดไปใส่ในถังอีกใบหนึ่งซึ่งมีขนาด 2 ลิตร ปรากฏว่าความดันลดลงเหลือ 250 มิลลิเมตรปรอท ถังที่บรรจุแก๊สคลอรีนในตอนแรกมีปริมาตรกี่ลูกบาศก์เซนติเมตร

วิธีทำ $P_1 = 500\ mmHg$ $V_1 = ?$

$P_2 = 250\ mmHg$ $V_2 = 2\ L = 2{,}000\ cm^3$

จากกฎของบอยล์

$$P_1V_1 = P_2V_2$$

$$500\ mmHg \times V_1 = 250\ mmHg \times 2{,}000\ cm^3$$

$$V_1 = \frac{250\ mmHg \times 2{,}000\ cm^3}{500\ mmHg}$$

$$= 1{,}000\ cm^3$$

ดังนั้น ถังที่บรรจุแก๊สคลอรีนในตอนแรกมีปริมาตร 1,000 ลูกบาศก์เซนติเมตร

12

ข้อสอบเน้นการคิด

นาย ก ทำการทดลองเพื่อทำให้แก๊สแอมโมเนียปริมาตร 5 ลิตร ที่ความดัน 2 บรรยากาศ เปลี่ยนไปมีปริมาตร 8 ลิตร ส่วนนาย ข ทำการทดลองเพื่อทำให้แก๊สคลอรีนปริมาตร 3 ลิตร ที่ความดัน 1.5 บรรยากาศ เปลี่ยนไปมีปริมาตร 9 ลิตร การทดลองของใครจะต้องใช้ความดันมากกว่า และมากกว่าเท่าใด ถ้าทุกการทดลองทำที่อุณหภูมิคงที่

1. นาย ก ต้องใช้ความดันมากกว่านาย ข 0.50 บรรยากาศ
2. นาย ก ต้องใช้ความดันมากกว่านาย ข 0.75 บรรยากาศ
3. นาย ก ต้องใช้ความดันมากกว่านาย ข 1.25 บรรยากาศ
4. นาย ข ต้องใช้ความดันมากกว่านาย ก 0.75 บรรยากาศ
5. นาย ข ต้องใช้ความดันมากกว่านาย ก 1.25 บรรยากาศ

วิเคราะห์คำตอบ *การทดลองของนาย ก*

$P_1 = 2\ atm$ $V_1 = 5\ L$

$P_2 = ?$ $V_2 = 8\ L$

$$P_1V_1 = P_2V_2$$

$$2 \times 5 = P_2 \times 8$$

$$P_2 = \frac{2 \times 5}{8} = 1.25\ atm$$

การทดลองของนาย ข

$P_1 = 1.5\ atm$ $V_1 = 3\ L$

$P_2 = ?$ $V_2 = 9\ L$

$$P_1V_1 = P_2V_2$$

$$1.5 \times 3 = P_2 \times 9$$

$$P_2 = \frac{1.5 \times 3}{9} = 0.5\ atm$$

การทดลองของนาย ก ต้องใช้ความดันมากกว่านาย ข 0.75 บรรยากาศ ดังนั้น ตอบข้อ 2.)

T16

2.2 กฎของชาร์ล

ในปี พ.ศ. 2330 จาค อเล็กซองดร์ เซซา ชาร์ล (Jacques Alexandre César Charles) ได้ทำการศึกษาเรื่องความสัมพันธ์ของปริมาตรของแก๊ส เมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลงไป พบว่า ถ้าอุณหภูมิของแก๊สเพิ่มขึ้น ปริมาตรของแก๊สจะเพิ่มขึ้น และถ้าอุณหภูมิของแก๊สลดลง ปริมาตรของแก๊สจะลดลงด้วย ดังนั้น เขาจึงสรุปและนำเสนอเป็น**กฎของชาร์ล** (Charle's Law) ขึ้นว่า *"เมื่อความดันและมวลคงที่ ปริมาตรของแก๊สจะแปรผันตรงกับอุณหภูมิเคลวิน"*[1] และสามารถเขียนแสดงความสัมพันธ์ได้ ดังนี้

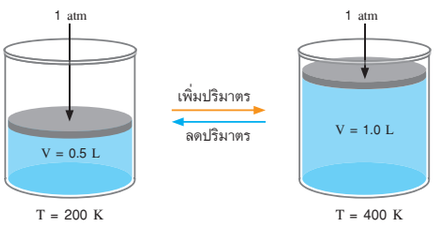
$$V \propto T \quad \text{ดังนั้น} \quad V = kT \quad \text{หรือ} \quad \frac{V}{T} = k$$

เมื่อ T คือ อุณหภูมิ (เคลวิน) V คือ ปริมาตรของแก๊ส และ k คือ ค่าคงที่

จากสมการ เมื่อความดันและมวลของแก๊สคงที่ อัตราส่วนระหว่างปริมาตรกับอุณหภูมิของแก๊สจะมีค่าคงที่เสมอ ดังนั้น จะได้ว่า

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2} = \frac{V_3}{T_3} = \ldots = \frac{V_n}{T_n} = k$$

หมายเหตุ : การใช้สูตรนี้ V_1 และ V_2 ควรใช้หน่วยปริมาตรที่เหมือนกัน และอุณหภูมิ T_1 และ T_2 ต้องเป็นเคลวิน (อุณหภูมิเคลวิน = อุณหภูมิเซลเซียส + 273)



▲ **ภาพที่ 1.12** ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรกับอุณหภูมิของแก๊ส เมื่อมวลของแก๊สและความดันคงที่
ที่มา : คลังภาพ อจท.

จากความสัมพันธ์ จะสามารถเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตร (แกน Y) และอุณหภูมิในหน่วยองศาเซลเซียส (แกน X) ได้ ดังภาพที่ 1.13 (ซ้าย) และเมื่อต่อปลายกราฟออกไปกราฟจะตัดแกน y ที่ประมาณ −273 องศาเซลเซียส หมายความว่า เมื่ออุณหภูมิลดลงถึง −273 องศาเซลเซียส แก๊สจะมีปริมาตรเป็น 0 แต่ในทางปฏิบัติ แก๊สจะไม่มีโอกาสมีปริมาตรเป็น 0 เพราะเมื่ออุณหภูมิลดลง แก๊สจะเปลี่ยนเป็นของเหลวและของแข็งก่อนที่อุณหภูมิจะลดลงถึง −273 องศาเซลเซียส และสามารถเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตร (แกน Y) และอุณหภูมิในหน่วยเคลวิน (แกน X) ได้ ดังภาพที่ 1.13 (ขวา)

กฎของชาร์ล

ขั้นสอน

สำรวจค้นหา

1. ครูและนักเรียนร่วมกันอภิปรายและทบทวนความรู้เกี่ยวกับผลของอุณหภูมิที่มีต่อปริมาตรของแก๊ส จากผลการทดลอง เรื่อง ผลของความดันและอุณหภูมิต่อปริมาตรของแก๊ส
2. ครูเปิดสื่อการสอน เรื่อง https://www.youtube.com/watch?v=NplVuTrr59U ให้นักเรียนดูอีกครั้งหนึ่ง แล้วถามทบทวนว่าอุณหภูมิและปริมาตรของแก๊สมีความสัมพันธ์กันอย่างไร

ข้อสอบเน้นการคิด

ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส แก๊สชนิดหนึ่งมีปริมาตร 525 ลูกบาศก์เซนติเมตร แก๊สชนิดนี้จะมีปริมาตรเท่าใด ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ถ้าความดันของแก๊สคงที่

1. 175.96 cm^3 2. 354.73 cm^3 3. 372.34 cm^3
4. 504.68 cm^3 5. 546.14 cm^3

วิเคราะห์คำตอบ

$V_1 = 525\ cm^3$ $\quad T_1 = 273 + 37 = 310\ K$

$V_2 = ?$ $\quad T_2 = 273 + 25 = 298\ K$

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$$

$$\frac{525}{310} = \frac{V_2}{298}$$

$$V_2 = \frac{525 \times 298}{310} = 504.68\ cm^3$$

ดังนั้น ตอบข้อ 4.)

นักเรียนควรรู้

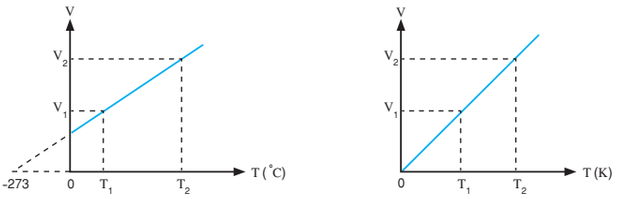
[1] **อุณหภูมิเคลวิน** เป็นหน่วยวัดอุณหภูมิหนึ่งที่ลอร์ด เคลวินได้พัฒนาขึ้นโดยการหาความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและความเร็วของอิเล็กตรอนที่เคลื่อนที่รอบนิวเคลียส โดยสังเกตว่าถ้าให้ความร้อนกับสารมากขึ้น อิเล็กตรอนจะมีพลังงานมากขึ้น ทำให้มีความเร็วในการเคลื่อนที่มากขึ้น แต่ถ้าลดความร้อนให้กับสาร อิเล็กตรอนก็จะมีพลังงานน้อยลง ทำให้มีความเร็วในการเคลื่อนที่ลดลง และถ้าสามารถลดอุณหภูมิลงจนถึงจุดที่อิเล็กตรอนหยุดการเคลื่อนที่ได้ ณ จุดนั้นจะไม่มีอุณหภูมิ หรือพลังงานในสารเลย และจะไม่มีการแผ่รังสีความร้อนออกมาจากสาร จึงเรียกอุณหภูมิ ณ จุดนี้ว่า ศูนย์สัมบูรณ์ (0 K)

T17

ขั้นสอน

สำรวจค้นหา

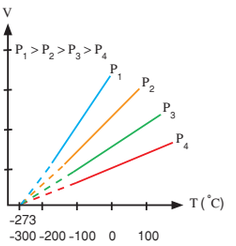
3. ครูให้นักเรียนจับคู่กับเพื่อน โดยคละความสามารถทางวิทยาศาสตร์ แล้วศึกษาเรื่อง กฎของชาร์ล จากหนังสือเรียนเคมี ม.5 เล่ม 1 หรือจาก PowerPoint ประกอบการสอน จากนั้นให้นักเรียนร่วมกันอภิปรายความรู้ที่ได้จากการศึกษา จนมีความเข้าใจที่ตรงกัน
4. ครูให้นักเรียนแต่ละคู่ร่วมกันฝึกการคำนวณเกี่ยวกับกฎของชาร์ล จากตัวอย่างที่ 1.5-1.9 ในหนังสือเรียนเคมี ม.5 เล่ม 1 จากนั้นสุ่มนักเรียน 5 คู่ ออกมาแสดงวิธีการคำนวณตัวอย่างแต่ละข้อหน้าชั้นเรียนให้ถูกต้อง โดยครูคอยเสริมความรู้ในส่วนที่นักเรียนยังไม่เข้าใจ



▲ **ภาพที่ 1.13** กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง V กับ T (°C) (ซ้าย) และ V กับ T (K) (ขวา)
ที่มา : คลังภาพ อจท.

ดังนั้น นักวิทยาศาสตร์จึงกำหนดให้อุณหภูมิ –273 องศาเซลเซียส มีค่าเท่ากับ 0 เคลวิน และเรียกอุณหภูมิ 0 เคลวิน นี้ว่า **อุณหภูมิศูนย์สมบูรณ์**

ข้อสังเกตหนึ่งจากกราฟที่สร้างจากกฎของชาร์ล นั่นคือ กราฟที่อยู่บนเส้นเดียวกัน จะเป็นการทำการทดลองที่ความดันเดียวกัน แต่เมื่อมีการทำการทดลองที่ต่างความดันออกไป จะพบว่าได้ผลหารของปริมาตรและอุณหภูมิใหม่ โดยเมื่อความดันเพิ่มขึ้น ความชันของกราฟจะมากขึ้นด้วย ซึ่งจะได้เส้นกราฟเส้นใหม่ ดังภาพที่ 1.14



▲ **ภาพที่ 1.14** กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง V กับ T (°C) ณ ความดันต่าง ๆ
ที่มา : คลังภาพ อจท.

ตัวอย่างที่ 1.5

แก๊สออกซิเจนปริมาตร 250 ลูกบาศก์เซนติเมตร มีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นจาก 30 องศาเซลเซียส เป็น 70 องศาเซลเซียส แก๊สออกซิเจนนี้จะมีปริมาตรเท่าใด ถ้าความดันของระบบคงที่

วิธีทำ $V_1 = 250\ cm^3$ $T_1 = 273 + 30 = 303\ K$

$V_2 = ?$ $T_2 = 273 + 70 = 343\ K$

จากกฎของชาร์ล

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$$

$$\frac{250\ cm^3}{303\ K} = \frac{V_2}{343\ K}$$

$$V_2 = \frac{250\ cm^3 \times 343\ K}{303\ K}$$

$$= 283\ cm^3$$

ดังนั้น แก๊สออกซิเจนจะมีปริมาตร 283 ลูกบาศก์เซนติเมตร

การประยุกต์ใช้กฎของชาร์ล
www.aksorn.com/interactive3D/RNB14

สื่อ Digital

ศึกษาเพิ่มเติมได้จาก QR Code เรื่อง การประยุกต์ใช้กฎของชาร์ล

การประยุกต์ใช้กฎของชาร์ล
www.aksorn.com/interactive3D/RKB16

ข้อสอบเน้นการคิด

แก๊สฮีเลียมที่มีปริมาตร **400** ลูกบาศก์เซนติเมตร ที่อุณหภูมิ **80** องศาเซลเซียส ถ้าแก๊สนี้ถูกทำให้อุณหภูมิลดลงเป็น **0** องศาเซลเซียส โดยที่ความดันคงที่ แก๊สนี้จะมีปริมาตรเท่าใด

1. $80.00\ cm^3$ 2. $240.92\ cm^3$ 3. $309.35\ cm^3$
4. $455.43\ cm^3$ 5. $517.22\ cm^3$

(วิเคราะห์คำตอบ

$V_1 = 400\ cm^3$ $T_1 = 273 + 80 = 353\ K$

$V_2 = ?$ $T_2 = 273 + 0 = 273\ K$

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$$

$$\frac{400}{353} = \frac{V_2}{273}$$

$$V_2 = \frac{400 \times 273}{353} = 309.35\ cm^3$$

ดังนั้น ตอบข้อ 3.)

ตัวอย่างที่ 1.6

แก๊สไนโตรเจน 3.5 ลิตร มีอุณหภูมิ −63 องศาเซลเซียส ทำให้ร้อนขึ้นจนมีอุณหภูมิ 225 องศาเซลเซียส ปริมาตรจะขยายออกไปเป็นเท่าใด เมื่อความดันคงที่ที่ 700 มิลลิเมตรปรอท

วิธีทำ $V_1 = 3.5\ L$ $T_1 = 273 - 63 = 210\ K$

$V_2 = ?$ $T_2 = 273 + 225 = 498\ K$

จากกฎของชาร์ล

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$$

$$\frac{3.5\ L}{210\ K} = \frac{V_2}{498\ K}$$

$$V_2 = \frac{3.5\ L \times 498\ K}{210\ K}$$

$$= 8.3\ L$$

ดังนั้น แก๊สไนโตรเจนจะมีปริมาตร 8.3 ลิตร

ตัวอย่างที่ 1.7

แก๊สไนโตรเจนที่อุณหภูมิ 273 เคลวิน มีปริมาตร 450 ลูกบาศก์เซนติเมตร จะต้องมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นจากเดิมเท่าใด จึงจะมีปริมาตรเพิ่มขึ้นเป็น 467 ลูกบาศก์เซนติเมตร โดยความดันไม่เปลี่ยนแปลง

วิธีทำ $V_1 = 450\ cm^3$ $T_1 = 273\ K$

$V_2 = 467\ cm^3$ $T_2 = ?$

จากกฎของชาร์ล

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$$

$$\frac{450\ cm^3}{273\ K} = \frac{467\ cm^3}{T_2}$$

$$T_2 = \frac{467\ cm^3 \times 273\ K}{450\ cm^3}$$

$$= 283.31\ K$$

อุณหภูมิเพิ่มขึ้น = 283.31 − 273 = 10.31 K

ดังนั้น แก๊สไนโตรเจนต้องมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นจากเดิมประมาณ 10 เคลวิน

ขั้นสอน

อธิบายความรู้

1. ครูตั้งคำถามให้นักเรียนร่วมกันอภิปราย เรื่อง กฎของชาร์ล เช่น
   - ถ้าเปลี่ยนอุณหภูมิเป็นหลาย ๆ ค่า ปริมาตรของแก๊สจะเปลี่ยนแปลงอย่างไร
     (แนวตอบ เมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลง ปริมาตรของแก๊สก็จะเปลี่ยนแปลงไป โดยถ้าอุณหภูมิสูงขึ้น ปริมาตรของแก๊สจะเพิ่มขึ้น แต่ถ้าอุณหภูมิต่ำลง ปริมาตรของแก๊สจะลดลง)
   - จากกฎของชาร์ล จะสรุปความสัมพันธ์ของอุณหภูมิและปริมาตรของแก๊สได้ว่าอย่างไร
     (แนวตอบ เมื่อความดันและมวลของแก๊สคงที่ ปริมาตรของแก๊สจะแปรผันตรงกับอุณหภูมิเคลวิล)
   - ให้นักเรียนยกตัวอย่างกฎของชาร์ลที่พบได้ในชีวิตประจำวัน
     (แนวตอบ ยกตัวอย่างเช่น การทำขนมปัง จะอาศัยหลักตามกฎของชาร์ล คือ ในการทำขนมปังจะใส่ยีสต์เข้าไปในแป้งที่ใช้ทำขนมปังด้วย ซึ่งยีสต์ที่ใส่ลงไปนั้นจะทำให้เกิดแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ขึ้น เมื่อนำแป้งขนมปังเข้าเตาอบ อุณหภูมิของเตาอบที่สูงขึ้น จะทำให้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นในแป้งขนมปังมีปริมาตรมากขึ้น และดันเนื้อขนมปังออก ส่งผลให้ขนมปังที่อบได้มีเนื้อนิ่มฟู)

ข้อสอบเน้นการคิด

กระบอกสูบอันหนึ่งบรรจุแก๊สออกซิเจนปริมาตร 750 ลูกบาศก์เซนติเมตร ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส จะต้องเพิ่มหรือลดอุณหภูมิอีกเท่าใด แก๊สออกซิเจนจึงจะมีปริมาตรเท่ากับ 1,250 ลูกบาศก์เซนติเมตร

1. ลดอุณหภูมิ 243.67 องศาเซลเซียส
2. ลดอุณหภูมิ 516.67 องศาเซลเซียส
3. เพิ่มอุณหภูมิ 206.67 องศาเซลเซียส
4. เพิ่มอุณหภูมิ 243.67 องศาเซลเซียส
5. เพิ่มอุณหภูมิ 516.67 องศาเซลเซียส

(วิเคราะห์คำตอบ

$V_1 = 750\ cm^3$ $T_1 = 273 + 37 = 310\ K$

$V_2 = 1,250\ cm^3$ $T_2 = ?$

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$$

$$\frac{750}{310} = \frac{1,250}{T_2}$$

$$T_2 = \frac{1,250 \times 310}{750} = 516.67\ K$$

จะต้องใช้อุณหภูมิ 516.67 เคลวิน
หรืออุณหภูมิ = 516.67 − 273 = 243.67 องศาเซลเซียส
ดังนั้น ต้องเพิ่มอุณหภูมิ = 243.67 − 37 = 206.67 องศาเซลเซียส
ดังนั้น ตอบข้อ 3.)

ขั้นสอน

อธิบายความรู้

2. ครูยกตัวอย่างปรากฏการณ์หรือสถานการณ์ในชีวิตประจำวันเกี่ยวกับกฎของชาร์ล เช่น การขยายตัวของยางรถยนต์เมื่อวิ่งไปบนถนน การขยายตัวของบอลลูน เป็นต้น จากนั้นให้นักเรียนร่วมกันอภิปรายเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงปริมาตรหรืออุณหภูมิของแก๊สตามกฎของชาร์ล โดยครูคอยเสริมความรู้ จนเกิดความเข้าใจที่ตรงกัน

ตัวอย่างที่ 1.8

แก๊สฮีเลียมจำนวนหนึ่งวัดปริมาตรได้ 300 ลูกบาศก์เซนติเมตร ที่อุณหภูมิ 27 องศาเซลเซียส ความดัน 750 มิลลิเมตรปรอท ถ้าต้องการให้เหลือปริมาตรเพียง 180 ลูกบาศก์เซนติเมตร ที่ 750 มิลลิเมตรปรอท จะต้องทำที่อุณหภูมิกี่องศาเซลเซียส

วิธีทำ $V_1 = 300\ cm^3$ $T_1 = 273 + 27 = 300\ K$

$V_2 = 180\ cm^3$ $T_2 = ?$

จากกฎของชาร์ล

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$$

$$\frac{300\ cm^3}{3\ K} = \frac{180\ cm^3}{T_2}$$

$$T_2 = \frac{180\ cm^3 \times 300\ K}{300\ cm^3}$$

$$= 180\ K$$

ดังนั้น จะต้องทำที่อุณหภูมิ 180 – 273 = –93 องศาเซลเซียส

ตัวอย่างที่ 1.9

แก๊สชนิดหนึ่งมีปริมาตร 250 ลูกบาศก์เซนติเมตร ที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นเป็น 313 องศาเซลเซียส ถ้าความดันคงที่ แก๊สนี้จะมีปริมาตรเท่าใด

วิธีทำ $V_1 = 250\ cm^3$ $T_1 = 273 + 300 = 573\ K$

$V_2 = ?$ $T_2 = 273 + 313 = 586\ K$

จากกฎของชาร์ล

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$$

$$\frac{250\ cm^3}{573\ K} = \frac{V_2}{586\ K}$$

$$V_2 = \frac{250\ cm^3 \times 586\ K}{573\ K}$$

$$= 255.67\ cm^3$$

ดังนั้น แก๊สนี้จะมีปริมาตร 255.67 ลูกบาศก์เซนติเมตร

16

ข้อสอบเน้นการคิด

นาย X ทำการทดลองโดยนำแก๊สออกซิเจนปริมาตร 200 ลูกบาศก์เซนติเมตร ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส มาให้ความร้อนจนมีอุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ส่วนนาย Y ทำการทดลองโดยนำแก๊สไนโตรเจนปริมาตร 180 ลูกบาศก์เซนติเมตร ที่อุณหภูมิ 27 องศาเซลเซียส มาให้ความร้อนจนมีอุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส การทดลองของใครจะได้แก๊สที่มีปริมาตรมากกว่า และมากกว่าเท่าใด ถ้าทุกการทดลองทำที่ความดันคงที่

1. นาย X ได้ปริมาตรแก๊สมากกว่านาย Y 38.54 ลูกบาศก์เซนติเมตร
2. นาย Y ได้ปริมาตรแก๊สมากกว่านาย X 38.54 ลูกบาศก์เซนติเมตร
3. นาย X ได้ปริมาตรแก๊สมากกว่านาย Y 211.8 ลูกบาศก์เซนติเมตร
4. นาย Y ได้ปริมาตรแก๊สมากกว่านาย X 211.8 ลูกบาศก์เซนติเมตร
5. นาย X ได้ปริมาตรแก๊สมากกว่านาย Y 250.34 ลูกบาศก์เซนติเมตร

วิเคราะห์คำตอบ การทดลองของนาย X

$V_1 = 200\ cm^3$ $T_1 = 273 + 25 = 298\ K$

$V_2 = ?$ $T_2 = 273 + 100 = 373\ K$

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$$

$$\frac{200}{298} = \frac{V_2}{373}$$

$$V_2 = \frac{200 \times 373}{298} = 250.34\ cm^3$$

การทดลองของนาย Y

$V_1 = 180\ cm^3$ $T_1 = 273 + 27 = 300\ K$

$V_2 = ?$ $T_2 = 273 + 80 = 353\ K$

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$$

$$\frac{180}{300} = \frac{V_2}{353}$$

$$V_2 = \frac{180 \times 353}{300} = 211.8\ cm^3$$

การทดลองของนาย X จะได้ปริมาตรแก๊สมากกว่านาย Y 38.54 ลูกบาศก์เซนติเมตร ดังนั้น ตอบข้อ 1.)

2.3 กฎของเกย์-ลูสแซก

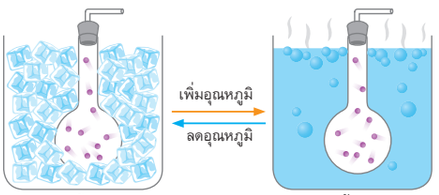
ในปี พ.ศ. 2345 โชแซฟ-ลุยส์ เกย์-ลูสแซก (Joseph-Lois Gay-Lussac) นักเคมีชาวฝรั่งเศส ได้ศึกษาทดลองวัดปริมาตรของแก๊สที่ทำปฏิกิริยาและที่ได้จากปฏิกิริยาจนสามารถสรุปและตั้งเป็น **กฎของเกย์-ลูสแซก** (Gay-Lussac's Law) ซึ่งมีใจความว่า *"ที่มวลและปริมาตรของแก๊สคงที่ ความดันจะแปรผันตรงกับอุณหภูมิเคลวิน"* และสามารถเขียนความสัมพันธ์ได้ ดังนี้

$$P \propto T \quad \text{ดังนั้น} \quad P = kT \quad \text{หรือ} \quad \frac{P}{T} = k$$

เมื่อ P คือ ความดันของแก๊ส T คือ อุณหภูมิ (เคลวิน) และ k คือ ค่าคงที่

จากสมการ เมื่อปริมาตรและมวลของแก๊สคงที่ อัตราส่วนระหว่างความดันกับอุณหภูมิของแก๊สจะมีค่าคงที่เสมอ ดังนั้น จะได้ว่า

$$\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2} = \frac{P_3}{T_3} = \ldots = \frac{P_n}{T_n} = k$$

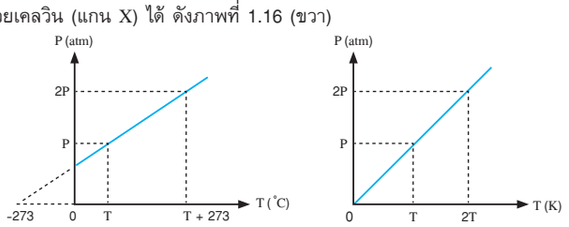


▲ **ภาพที่ 1.15** ความสัมพันธ์ระหว่างความดันกับอุณหภูมิของแก๊สเมื่อมวลของแก๊สและปริมาตรคงที่
ที่มา : คลังภาพ อจท.

H. O. T. S.
คำถามท้าทายการคิดขั้นสูง

บริเวณเหวลึก บริเวณที่ระดับน้ำทะเล และบริเวณยอดเขาสูง ถ้าอากาศมีมวลเท่ากัน ปริมาตรของอากาศในบริเวณใดจะมีค่าต่ำที่สุด

จากความสัมพันธ์ จะสามารถเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดัน (แกน Y) กับอุณหภูมิหน่วยองศาเซลเซียส (1) (แกน X) ได้ ดังภาพที่ 1.16 (ซ้าย) และความดัน (แกน Y) กับอุณหภูมิหน่วยเคลวิน (แกน X) ได้ ดังภาพที่ 1.16 (ขวา)



▲ **ภาพที่ 1.16** กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง P กับ T (°C) (ซ้าย) และ P กับ T (K) (ขวา)
ที่มา : คลังภาพ อจท.

กฎของเกย์-ลูสแซก

ขั้นสอน

สำรวจค้นหา

1. ครูเปิดสื่อการสอน เรื่อง https://www.youtube.com/watch?v=NplVuTrr59U ให้นักเรียนดูอีกครั้งหนึ่ง แล้วถามทบทวนว่าอุณหภูมิและความดันของแก๊สมีความสัมพันธ์กันอย่างไร
2. ครูให้นักเรียนจับคู่กับเพื่อน โดยคละความสามารถทางวิทยาศาสตร์ แล้วศึกษาเรื่อง กฎของเกย์-ลูสแซก จากหนังสือเรียนเคมี ม.5 เล่ม 1 หรือจาก PowerPoint ประกอบการสอน จากนั้นให้นักเรียนร่วมกันอภิปรายความรู้ที่ได้จากการศึกษา จนมีความเข้าใจที่ตรงกัน
3. ครูให้นักเรียนแต่ละคู่ร่วมกันฝึกการคำนวณเกี่ยวกับกฎของเกย์-ลูสแซก จากตัวอย่างที่ 1.10-1.13 ในหนังสือเรียนเคมี ม.5 เล่ม 1 จากนั้นสุ่มนักเรียน 4 คู่ ออกมาแสดงวิธีการคำนวณตัวอย่างแต่ละข้อหน้าชั้นเรียนให้ถูกต้อง โดยครูคอยเสริมความรู้ในส่วนที่ยังไม่เข้าใจ

แนวตอบ H.O.T.S.

ที่บริเวณระดับน้ำทะเลจะมีปริมาตรของอากาศต่ำที่สุด เนื่องจากมีความดันอากาศสูงกว่าบริเวณเหวลึก หรือบริเวณยอดเขาสูง

ข้อสอบเน้นการคิด

ถังใบหนึ่งมีปริมาตร 500 ลูกบาศก์เซนติเมตร บรรจุแก๊สไนโตรเจนที่สภาวะมาตรฐาน ถ้าถังใบนี้ได้รับความร้อนจนอุณหภูมิเพิ่มเป็น 100 องศาเซลเซียส แก๊สไนโตรเจนจะมีความดัน 1.37 บรรยากาศ ข้อมูลที่กล่าวมานี้สนับสนุนกฎของนักวิทยาศาสตร์ท่านใด

1. บอยล์
2. ชาร์ล
3. ดอลตัน
4. อาโวกาโดร
5. เกย์-ลูสแซก

(วิเคราะห์คำตอบ สภาวะมาตรฐาน คือ อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส ความดัน 1 บรรยากาศ เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ความดันจึงเพิ่มขึ้นด้วย ซึ่งสอดคล้องกับกฎของเกย์-ลูสแซก ดังนั้น ตอบข้อ 5.)

นักเรียนควรรู้

(1) **องศาเซลเซียส** เป็นหน่วยวัดอุณหภูมิหน่วยหนึ่งในระบบเอสไอ โดยตั้งชื่อเพื่อเป็นเกียรติแก่แอนเดอร์ เซลเซียส นักดาราศาสตร์ชาวสวีเดน ซึ่งเป็นคนแรกที่เสนอระบบที่ใกล้เคียงกับระบบนี้ โดยใช้ชื่อว่า เซนติเกรด ซึ่งมาจากภาษาละตินว่า centum ที่แปลว่า 100 และ gradus ที่แปลว่า ขั้น โดยกำหนดให้อุณหภูมิที่จุดเดือดของน้ำ คือ 100 องศา และจุดเยือกแข็งของน้ำ คือ 0 องศา ที่ระดับความดันบรรยากาศมาตรฐาน ซึ่งต่อมาได้เปลี่ยนเป็นองศาเซลเซียส โดยมีจุดประสงค์เพื่อระลึกถึงเซลเซียส และเป็นการตัดปัญหาความสับสนที่อาจเกิดขึ้นจากการใช้คำนำหน้า เซนติ กับระบบเอสไอ

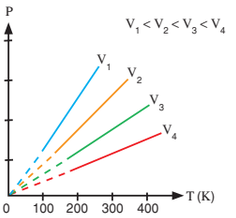
ปัจจุบันหน่วยองศาเซลเซียสถูกใช้อย่างแพร่หลายในชีวิตประจำวัน ยกเว้นประเทศสหรัฐอเมริกาและประเทศจาเมกาที่นิยมใช้หน่วยองศาฟาเรนไฮต์ แต่ก็ยังคงนำหน่วยองศาเซลเซียสและเคลวินมาใช้มากในด้านวิทยาศาสตร์

ขั้นสอน

อธิบายความรู้

1. ครูตั้งคำถามให้นักเรียนร่วมกันอภิปราย เรื่อง กฎของเกย์-ลูสแซก เช่น
   - ถ้าเปลี่ยนอุณหภูมิเป็นหลาย ๆ ค่า ความดันของแก๊สจะเปลี่ยนแปลงอย่างไร
     (แนวตอบ เมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลง ความดันของแก๊สก็จะเปลี่ยนแปลงไป โดยถ้าอุณหภูมิสูงขึ้น ความดันของแก๊สจะเพิ่มขึ้น แต่ถ้าอุณหภูมิต่ำลง ความดันของแก๊สจะลดลง)
   - จากกฎของเกย์-ลูสแซก จะสรุปความสัมพันธ์ของอุณหภูมิและความดันของแก๊สได้ว่าอย่างไร
     (แนวตอบ เมื่อปริมาตรและมวลของแก๊สคงที่ ความดันของแก๊สจะแปรผันตรงกับอุณหภูมิเคลวิน)
   - ให้นักเรียนยกตัวอย่างกฎของเกย์-ลูสแซกที่พบได้ในชีวิตประจำวัน
     (แนวตอบ ยกตัวอย่างเช่น การทำอาหารในหม้ออัดความดันจะอาศัยหลักตามกฎของเกย์-ลูสแซก คือ ในหม้ออัดความดันจะมีความดันที่สูงกว่าความดันปกติ ทำให้ไอน้ำในหม้ออัดความดันมีความดันที่สูงขึ้น อุณหภูมิในหม้ออัดความดันจึงสูงขึ้น ส่งผลให้อาหารที่ทำในหม้ออัดความดันสุกได้เร็วขึ้น)

ข้อสังเกตหนึ่งจากกราฟที่สร้างจากกฎของเกย์-ลูสแซก นั่นคือ กราฟที่อยู่บนเส้นเดียวกัน จะเป็นการทำการทดลองที่ปริมาตรเดียวกัน แต่เมื่อมีการทำการทดลองที่ต่างปริมาตรออกไป จะพบว่า ได้ผลหารของความดันและอุณหภูมิใหม่โดยเมื่อปริมาตรเพิ่มขึ้น ความชันของกราฟจะน้อยลง ซึ่งจะได้เส้นกราฟเส้นใหม่ ดังภาพที่ 1.17



▲ **ภาพที่ 1.17** กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง P กับ T (K) ณ ปริมาตรต่าง ๆ
ที่มา : คลังภาพ อจท.

ตัวอย่างที่ 1.10

แก๊ส X บรรจุในภาชนะปิดที่มีอุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส ความดัน 1.5 บรรยากาศ จงหาความดันของแก๊สนี้ เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นเป็น 376 เคลวิน โดยแก๊สมีปริมาตรเท่าเดิม

วิธีทำ $P_1 = 1.5$ atm $\quad T_1 = 273 + 37 = 310$ K $\quad P_2 = ?$ $\quad T_2 = 376$ K

จากกฎของเกย์-ลูสแซก $\quad \frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2}$

$$\frac{1.5 \text{ atm}}{310 \text{ K}} = \frac{P_2}{376 \text{ K}}$$

$$P_2 = \frac{1.5 \text{ atm} \times 376 \text{ K}}{310 \text{ K}}$$

$$= 1.82 \text{ atm}$$

ดังนั้น เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นเป็น 376 เคลวิน แก๊ส X จะมีความดัน 1.82 บรรยากาศ

ตัวอย่างที่ 1.11

บรรจุอากาศในถังที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ความดัน 380 มิลลิเมตรปรอท มีปริมาตร 10 ลูกบาศก์เซนติเมตร เมื่อความดันลดลง 100 มิลลิเมตรปรอท จะต้องลดอุณหภูมิลงกี่เคลวิน อากาศในถังจึงจะมีปริมาตรเท่าเดิม

วิธีทำ $P_1 = 380$ mmHg $\quad T_1 = 273 + 40 = 313$ K $\quad P_2 = 280$ mmHg $\quad T_2 = ?$

จากกฎของเกย์-ลูสแซก $\quad \frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2}$

$$\frac{380 \text{ mmHg}}{313 \text{ K}} = \frac{280 \text{ mmHg}}{T_2}$$

$$T_2 = \frac{280 \text{ mmHg} \times 313 \text{ K}}{380 \text{ mmHg}}$$

$$= 230.63 \text{ K}$$

อุณหภูมิลดลง $= 313 - 230.63 = 82.37$ K

ดังนั้น ต้องลดอุณหภูมิลงประมาณ 82.37 เคลวิน อากาศในถังจึงจะมีปริมาตรเท่าเดิม

ข้อสอบเน้นการคิด

ถังใบหนึ่งบรรจุอากาศที่มีความดัน 850 มิลลิเมตรปรอท ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เมื่อนำถังใบนี้ไปวางไว้กลางแดดจนมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นเป็น 50 องศาเซลเซียส ความดันของอากาศในถังนี้จะมีค่าเป็นเท่าใด

1. 113.24 มิลลิเมตรปรอท
2. 425.00 มิลลิเมตรปรอท
3. 748.21 มิลลิเมตรปรอท
4. 921.31 มิลลิเมตรปรอท
5. 1,700.00 มิลลิเมตรปรอท

(วิเคราะห์คำตอบ

$P_1 = 850$ mmHg $\quad T_1 = 273 + 25 = 298$ K

$P_2 = ?$ $\quad T_2 = 273 + 50 = 323$ K

$$\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2}$$

$$\frac{850}{298} = \frac{P_2}{323}$$

$$P_2 = \frac{850 \times 323}{298} = 921.31 \text{ mmHg}$$

ดังนั้น ตอบข้อ 4.)

ตัวอย่างที่ 1.12

เมื่อนำของเหลว A 10 กรัม มาทำให้เป็นไอทั้งหมดที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ความดัน 380 มิลลิเมตรปรอท ในถังพลาสติกซึ่งไม่มีการขยายตัวขนาด 20 ลูกบาศก์เดซิเมตร ถ้าต้องการให้ความดันลดลง 120 มิลลิเมตรปรอท จะต้องทำที่อุณหภูมิเท่าใด

วิธีทำ $P_1 = 380$ mmHg $\quad T_1 = 273 + 40 = 313$ K

$P_2 = 380 - 120 = 260$ mmHg $\quad T_2 = ?$

จากกฎของเกย์-ลูสแซก

$$\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2}$$

$$\frac{380 \text{ mmHg}}{313 \text{ K}} = \frac{260 \text{ mmHg}}{T_2}$$

$$T_2 = \frac{260 \text{ mmHg} \times 313 \text{ K}}{380 \text{ mmHg}}$$

$$= 214.16 \text{ K}$$

ดังนั้น จะต้องทำที่อุณหภูมิ 214.16 เคลวิน

ตัวอย่างที่ 1.13

แก๊สชนิดหนึ่งบรรจุในภาชนะที่มีปริมาตรคงที่ มีความดัน 750 ทอร์ ที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส เมื่ออุณหภูมิของแก๊สนี้เปลี่ยนแปลงไป ทำให้ความดันเพิ่มขึ้นเป็น 900 ทอร์ จงคำนวณหาอุณหภูมิใหม่ของแก๊สนี้

วิธีทำ $P_1 = 750$ torr $\quad T_1 = 273 + 450 = 723$ K

$P_2 = 900$ torr $\quad T_2 = ?$

จากกฎของเกย์-ลูสแซก

$$\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2}$$

$$\frac{750 \text{ torr}}{723 \text{ K}} = \frac{900 \text{ torr}}{T_2}$$

$$T_2 = \frac{900 \text{ torr} \times 723 \text{ K}}{750 \text{ torr}}$$

$$= 867.6 \text{ K}$$

ดังนั้น อุณหภูมิใหม่ของแก๊สนี้ คือ 867.6 เคลวิน

ขั้นสอน

อธิบายความรู้

2. ครูยกตัวอย่างปรากฏการณ์หรือสถานการณ์ในชีวิตประจำวันเกี่ยวกับกฎของเกย์-ลูสแซก เช่น การเผากระป๋องสเปรย์ซึ่งทำให้เกิดการระเบิด การเจาะรูพลาสติกก่อนอุ่นอาหารด้วยไมโครเวฟ เป็นต้น จากนั้นให้นักเรียนร่วมกันอภิปรายเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงความดันหรืออุณหภูมิของแก๊สตามกฎของเกย์-ลูสแซก โดยครูคอยเสริมความรู้ จนเกิดความเข้าใจที่ตรงกัน

ข้อสอบเน้นการคิด

แก๊สชนิดหนึ่งบรรจุอยู่ในภาชนะที่มีปริมาตร 5 ลิตร วัดความดันที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ได้ 750 ทอร์ ถ้าต้องการให้ความดันของแก๊สภายในถังลดลง 150 ทอร์ จะต้องเพิ่มหรือลดอุณหภูมิกี่องศาเซลเซียส

1. ลดอุณหภูมิ 30.6 องศาเซลเซียส
2. ลดอุณหภูมิ 60.6 องศาเซลเซียส
3. เพิ่มอุณหภูมิ 30.6 องศาเซลเซียส
4. เพิ่มอุณหภูมิ 60.6 องศาเซลเซียส
5. เพิ่มอุณหภูมิ 242.4 องศาเซลเซียส

(วิเคราะห์คำตอบ

$P_1 = 750$ torr $\quad T_1 = 273 + 30 = 303$ K

$P_2 = 750 - 150 = 600$ torr $\quad T_2 = ?$

$$\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2}$$

$$\frac{750}{303} = \frac{600}{T_2}$$

$$T_2 = \frac{600 \times 303}{750} = 242.4 \text{ K}$$

จะต้องใช้อุณหภูมิ 242.4 เคลวิน

หรืออุณหภูมิ = 242.4 - 273 = -30.6 องศาเซลเซียส

ดังนั้น จะต้องลดอุณหภูมิ = 30 - (-30.6) = 60.6 องศาเซลเซียส

ดังนั้น ตอบข้อ 2.)

ขั้นสอน

สำรวจค้นหา

1. ครูถามคำถามนักเรียนว่า นอกจากปริมาตรของแก๊สจะมีความสัมพันธ์กับความดันและอุณหภูมิของแก๊ส ปริมาตรของแก๊สยังมีความสัมพันธ์กับสิ่งใดอีกหรือไม่
   (แนวตอบ ปริมาตรของแก๊สยังมีความสัมพันธ์กับจำนวนโมล หรือมวลของแก๊สอีกด้วย)
2. ครูให้นักเรียนจับคู่กับเพื่อน โดยคละความสามารถทางวิทยาศาสตร์ แล้วศึกษาเรื่อง กฎของอาโวกาโดร จากหนังสือเรียนเคมี ม.5 เล่ม 1 หรือจาก PowerPoint ประกอบการสอน จากนั้นให้นักเรียนร่วมกันอภิปรายความรู้ที่ได้จากการศึกษา จนมีความเข้าใจที่ตรงกัน

อธิบายความรู้

1. ครูตั้งคำถามให้นักเรียนร่วมกันอภิปราย เรื่อง กฎของอาโวกาโดร เช่น
   - ณ สภาวะ **STP** แก๊สออกซิเจนจำนวน 1 โมล และแก๊สไนโตรเจนจำนวน 1 โมล จะมีปริมาตรแตกต่างกันหรือไม่ อย่างไร
     (แนวตอบ ไม่แตกต่างกัน ณ สภาวะ STP แก๊สใด ๆ จำนวน 1 โมล จะมีปริมาตรเท่ากับ 22.4 ลิตร)
2. ครูยกตัวอย่างปรากฏการณ์หรือสถานการณ์ในชีวิตประจำวัน เช่น การเป่าลูกโป่งทำให้ลูกโป่งมีขนาดใหญ่ขึ้น การหายใจมีผลต่อปริมาตรของช่องอก เป็นต้น จากนั้นให้นักเรียนร่วมกันอภิปรายเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงจำนวนโมลที่มีต่อปริมาตรของแก๊สตามกฎของอาโวกาโดร โดยครูคอยเสริมความรู้ จนเกิดความเข้าใจที่ตรงกัน

2.4 กฎของอาโวกาโดร

อาเมเดโอ อาโวกาโดร (Amedeo Avogadro) นักวิทยาศาสตร์ชาวอิตาลี ได้ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรกับจำนวนโมลของแก๊ส โดยเขาได้สรุปและเสนอ**กฎของอาโวกาโดร** (Avogadro's Law) ซึ่งมีใจความว่า *"ที่ความดันและอุณหภูมิของแก๊สคงที่ ปริมาตรของแก๊สจะแปรผันตรงกับจำนวนโมลกลุหรือจำนวนโมลของแก๊สนั้น"* และสามารถเขียนความสัมพันธ์ได้ ดังนี้

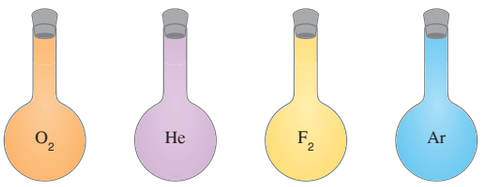
$$V \propto n \quad \text{ดังนั้น} \quad V = kn \quad \text{หรือ} \quad \frac{V}{n} = k$$

เมื่อ V คือ ปริมาตรของแก๊ส n คือ จำนวนโมลของแก๊ส และ k คือ ค่าคงที่

ดังนั้น จะได้ว่า

$$\frac{V_1}{n_1} = \frac{V_2}{n_2} = \frac{V_3}{n_3} = \ldots = \frac{V_n}{n_n} = k$$

ให้นักเรียนพิจารณาปริมาตรของแก๊สต่าง ๆ ณ สภาวะ STP ดังนี้



จำนวนโมล (mol)	1	1	1	1
มวล (g)	32	4	38	40
อุณหภูมิ (°C)	0	0	0	0
ความดัน (atm)	1	1	1	1
ปริมาตร (L)	22.4	22.4	22.4	22.4

▲ **ภาพที่ 1.18** ปริมาตรของแก๊สต่าง ๆ ณ สภาวะ STP
ที่มา : คลังภาพ อจท.

จะเห็นได้ว่า ที่สภาวะ STP แก๊สทุกชนิดจำนวน 1 โมล จะมีปริมาตรเท่ากับ 22.4 ลิตร

เมื่อความดันและอุณหภูมิของแก๊สแต่ละชนิดมีค่าเท่ากัน ปริมาตรของแก๊สจะเพิ่มขึ้นตามจำนวนโมลของแก๊ส ซึ่งสามารถเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตร (แกน Y) และจำนวนโมลของแก๊ส (แกน X) ได้ ดังภาพที่ 1.19 (ซ้าย) หรือเมื่อปริมาตรและอุณหภูมิของแก๊สแต่ละชนิดมีค่าเท่ากัน ความดันของแก๊สจะเพิ่มขึ้นตามจำนวนโมลของแก๊ส ซึ่งสามารถเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดัน (แกน Y) และจำนวนโมลของแก๊ส (แกน X) ได้ ดังภาพที่ 1.19 (ขวา)

นักเรียนควรรู้

1 กฎของอาโวกาโดร ในตอนแรกสมมติฐานที่อาโวกาโดรเสนอขึ้นมานั้นยังไม่ได้รับการยอมรับจากวงการวิทยาศาสตร์ในสมัยนั้นเป็นเวลาเกือบ 50 ปี ต่อมา สตานิซาโล คานนิซาโร (Stanisalo Cannizaro) ได้ทดลอง พิสูจน์ และนำเสนอในที่ประชุมวิทยาศาสตร์ เมื่อปี ค.ศ. 1860 สมมติฐานของอาโวกาโดรจึงได้รับการยอมรับในที่สุด และเพื่อเป็นเกียรติแก่อาโวกาโดร จึงเรียกตัวเลข 1 โมล ซึ่งมีค่าเท่ากับ 6.02×10^{23} ว่า เลขอาโวกาโดร (Avogadro number) จากสมมติฐานของอาโวกาโดรเมื่อได้ทำการทดลองซ้ำต่อมาหลายๆ ครั้ง จึงสามารถยืนยันความสัมพันธ์ที่เป็นไปตามสมมติฐานอาโวกาโดร และตั้งเป็นกฎของอาโวกาโดรขึ้นมา

ข้อสอบเน้นการคิด

แก๊สไนโตรเจน 112 กรัม มีปริมาตรเท่ากับ 89.6 ลิตร ที่อุณหภูมิ 273 เคลวิน และความดัน 760 มิลลิเมตรปรอท แก๊สไนโตรเจน 0.56 กรัม จะมีปริมาตรกี่ลิตร ที่อุณหภูมิและความดันเดียวกัน

1. 0.224
2. 0.448
3. 2.24
4. 4.48
5. 22.4

(วิเคราะห์คำตอบ N_2 *มีมวลโมเลกุล* $= 14 \times 2 = 28$

แก๊ส N_2 *112 กรัม* $= \frac{112}{28} = 4$ *โมล*

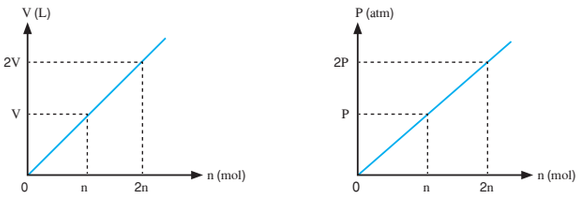
แก๊ส N_2 *0.56 กรัม* $= \frac{0.56}{28} = 0.02$ *โมล*

$$\frac{V_1}{n_1} = \frac{V_2}{n_2}$$

$$\frac{89.6}{4} = \frac{V_2}{0.02}$$

$$V_2 = \frac{89.6 \times 0.02}{4} = 0.448 \text{ L}$$

ดังนั้น ตอบข้อ 2.)



▲ **ภาพที่ 1.19** กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง V กับ n (ซ้าย) และ P กับ n (ขวา)
ที่มา : คลังภาพ อจท.

2.5 กฎรวมแก๊ส

เนื่องจากกฎของบอยล์และชาร์ลกล่าวเฉพาะความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรกับความดันและปริมาตรกับอุณหภูมิ แต่การเปลี่ยนแปลงในธรรมชาติอาจเกิดขึ้นพร้อม ๆ กัน ดังนั้น จึงมีการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตร ความดัน และอุณหภูมิของแก๊สในขณะที่มวลมีค่าคงที่ และตั้งขึ้นเป็น**กฎรวมแก๊ส** (combined gas law) ดังนี้

จากกฎของบอยล์ เมื่อมวลและอุณหภูมิคงที่ จะได้ว่า $V \propto \frac{1}{P}$

จากกฎของชาร์ล เมื่อมวลและความดันคงที่ จะได้ว่า $V \propto T$

ถ้ารวมกฎของบอยล์และกฎของชาร์ล จะได้ความสัมพันธ์ ดังนี้

$$V \propto \frac{T}{P} \quad \text{ดังนั้น} \quad V = \frac{kT}{P} \quad \text{หรือ} \quad \frac{PV}{T} = k$$

จึงกล่าวได้ว่า เมื่อมวลคงที่ จะได้ว่า

$$\frac{P_1V_1}{T_1} = \frac{P_2V_2}{T_2} = \frac{P_3V_3}{T_3} = \ldots = \frac{P_nV_n}{T_n} = k$$

ถ้านำกฎของอาโวกาโดรมารวมเข้ากับกฎรวมแก๊ส จะได้ความสัมพันธ์ ดังนี้

จากกฎของอาโวกาโดร $V \propto n$

ดังนั้น $$V \propto \frac{nT}{P} \quad \text{หรือ} \quad \frac{PV}{nT} = k$$

จึงกล่าวได้ว่า เมื่อมวลไม่คงที่ จะได้ว่า

$$\frac{P_1V_1}{n_1T_1} = \frac{P_2V_2}{n_2T_2} = \frac{P_3V_3}{n_3T_3} = \ldots = \frac{P_nV_n}{n_nT_n} = k$$

ขั้นสอน

สำรวจค้นหา

1. ครูถามคำถามนักเรียน ดังนี้
   - นักเรียนคิดว่า เมื่อมวลของแก๊สคงที่ ถ้าแก๊สมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้น 2 เท่า และความดันเพิ่มขึ้น 4 เท่า ปริมาตรของแก๊สจะเพิ่มขึ้นหรือลดลงอย่างไร

   (แนวตอบ ปริมาตรของแก๊สจะลดลง 2 เท่า)

   โดยครูให้นักเรียนในห้องร่วมกันอภิปรายและแสดงความคิดเห็นก่อน แล้วจึงเฉลยคำตอบที่ถูกต้องในภายหลัง
2. ครูเกริ่นนำว่า โดยปกติการเปลี่ยนแปลงของแก๊สในธรรมชาติอาจเกิดขึ้นพร้อม ๆ กัน ทั้งการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ความดัน และปริมาตร ดังนั้น นักวิทยาศาสตร์จึงได้ตั้งกฎขึ้นมาอีกหนึ่งกฎ เรียกว่า กฎรวมแก๊ส

ข้อสอบเน้นการคิด

แก๊สชนิดหนึ่งปริมาตร 6 ลูกบาศก์เดซิเมตร บรรจุอยู่ในภาชนะที่สภาวะ STP ปริมาตรของแก๊สนี้จะเป็นกี่ลูกบาศก์เดซิเมตร ที่ความดัน 1,900 มิลลิเมตรปรอท อุณหภูมิ 273 องศาเซลเซียส

1. 2.4 2. 4.8 3. 7.2
4. 9.6 5. 12.0

(วิเคราะห์คำตอบ สภาวะ STP คือ ความดัน 1 atm หรือ 760 mmHg และอุณหภูมิ 0 °C หรือ 273 K

P_1 = 760 mmHg V_1 = 6 dm^3 T_1 = 273 K

P_2 = 1,900 mmHg V_2 = ? T_2 = 273 + 273 = 546 K

$$\frac{P_1V_1}{T_1} = \frac{P_2V_2}{T_2}$$

$$\frac{760 \times 6}{273} = \frac{1{,}900 \times V_2}{546}$$

$$V_2 = \frac{760 \times 6 \times 546}{273 \times 1{,}900} = 4.8 \ dm^3$$

ดังนั้น ตอบข้อ 2.)

เกร็ดแนะครู

ก่อนเริ่มการเรียนการสอนในเรื่อง กฎรวมแก๊ส ซึ่งเป็นการรวมความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตร ความดัน และอุณหภูมิเข้าด้วยกัน ครูอาจนำนักเรียนทบทวนเรื่อง กฎของบอยล์ กฎของชาร์ล และกฎของเกย์-ลูสแซก อีกครั้งหนึ่ง เพื่อเป็นพื้นฐานในการเรียนเรื่อง กฎรวมแก๊ส ให้เกิดความเข้าใจได้ง่ายขึ้น

ขั้นสอน

สำรวจค้นหา

3. ครูให้นักเรียนจับคู่กับเพื่อน โดยคละความสามารถทางวิทยาศาสตร์ แล้วศึกษาเรื่องกฎรวมแก๊ส จากหนังสือเรียนเคมี ม.5 เล่ม 1 หรือจาก PowerPoint ประกอบการสอน จากนั้นให้นักเรียนร่วมกันอภิปรายความรู้ที่ได้จากการศึกษา จนมีความเข้าใจที่ตรงกัน
4. ครูให้นักเรียนแต่ละคู่ร่วมกันฝึกการคำนวณเกี่ยวกับกฎรวมแก๊ส จากตัวอย่างที่ 1.14-1.17 ในหนังสือเรียนเคมี ม.5 เล่ม 1 จากนั้นสุ่มนักเรียน 5 คู่ ออกมาแสดงวิธีการคำนวณตัวอย่างแต่ละข้อหน้าชั้นเรียนให้ถูกต้อง โดยครูคอยเสริมความรู้ในส่วนที่นักเรียนยังไม่เข้าใจ

ตัวอย่างที่ 1.14

แก๊สอาร์กอนมีปริมาตร 100 ลิตร ภายใต้ความดัน 970 ทอร์ และอุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส จะมีปริมาตรเท่าใดที่สภาวะมาตรฐาน

วิธีทำ สภาวะมาตรฐาน คือ สภาวะที่มีอุณหภูมิ 0 °C (273 K) ความดัน 1 atm (760 torr)

$P_1 = 970$ torr $\quad T_1 = 273 + 30 = 303$ K $\quad V_1 = 100$ L

$P_2 = 760$ torr $\quad T_2 = 273$ K $\quad V_2 = ?$

จากกฎรวมแก๊ส

$$\frac{P_1V_1}{T_1} = \frac{P_2V_2}{T_2}$$

$$\frac{970 \text{ torr} \times 100 \text{ L}}{303 \text{ K}} = \frac{760 \text{ torr} \times V_2}{273 \text{ K}}$$

$$V_2 = \frac{970 \text{ torr} \times 100 \text{ L} \times 273 \text{ K}}{303 \text{ K} \times 760 \text{ torr}}$$

$$= 115 \text{ L}$$

ดังนั้น ที่สภาวะมาตรฐาน แก๊สอาร์กอนจะมีปริมาตร 115 ลิตร

ตัวอย่างที่ 1.15

แก๊สชนิดหนึ่งมีปริมาตร 100 ลูกบาศก์เซนติเมตร ที่อุณหภูมิ 27 องศาเซลเซียส และความดัน 78 กิโลปาสคาล ถ้าความดันเพิ่มขึ้นอีก 22 กิโลปาสคาล ที่อุณหภูมิกี่องศาเซลเซียส แก๊สนี้จึงจะมีปริมาตรเท่ากับ 150 ลูกบาศก์เซนติเมตร

วิธีทำ $P_1 = 78$ kPa $\quad T_1 = 273 + 27 = 300$ K $\quad V_1 = 100$ cm^3

$P_2 = 100$ kPa $\quad T_2 = ?$ $\quad V_2 = 150$ cm^3

จากกฎรวมแก๊ส

$$\frac{P_1V_1}{T_1} = \frac{P_2V_2}{T_2}$$

$$\frac{78 \text{ kPa} \times 100 \text{ cm}^3}{300 \text{ K}} = \frac{100 \text{ kPa} \times 150 \text{ cm}^3}{T_2}$$

$$T_2 = \frac{100 \text{ kPa} \times 150 \text{ cm}^3 \times 300 \text{ K}}{78 \text{ kPa} \times 100 \text{ cm}^3}$$

$$= 576.92 \text{ K}$$

$$= 576.92 - 273 = 303.92 \text{ °C}$$

ดังนั้น แก๊สชนิดนี้จะมีปริมาตร 150 ลูกบาศก์เซนติเมตร ที่อุณหภูมิ 304 องศาเซลเซียส

ข้อสอบเน้นการคิด

ถ้าต้องการให้ปริมาตรของแก๊สสมบูรณ์ที่ **STP** เพิ่มขึ้นเป็น **4** เท่า โดยการลดความดันลง $\frac{1}{2}$ เท่า จะต้องทำที่อุณหภูมิกี่องศาเซลเซียส

1. 0 2. 25 3. 100 4. 273 5. 546

วิเคราะห์คำตอบ สภาวะ STP คือ ความดัน 1 บรรยากาศ และอุณหภูมิ 273 เคลวิน

ให้ V_1 มีค่าเท่ากับ V ดังนั้น $V_2 = 4V$

$P_2 = \frac{P_1}{2} = \frac{1}{2} = 0.5$ บรรยากาศ

$P_1 = 1$ atm $\quad V_1 = V \quad T_1 = 273$ K

$P_1 = 0.5$ atm $\quad V_2 = 4V \quad T_1 = ?$

$$\frac{P_1V_1}{T_1} = \frac{P_2V_2}{T_2}$$

$$\frac{1 \times V}{273} = \frac{0.5 \times 4V}{T_2}$$

$$T_2 = \frac{0.5 \times 4V \times 273}{1 \times V} = 546 \text{ K}$$

จะต้องทำที่อุณหภูมิ 546 เคลวิน หรือ 546 - 273 = 273 องศาเซลเซียส ดังนั้น ตอบข้อ 4.)

ตัวอย่างที่ 1.16

แก๊สไนโตรเจนจำนวนหนึ่งที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส บรรจุอยู่ในถังขนาด 2 ลิตร วัดความดันได้ 0.5 บรรยากาศ ถ้านำแก๊สไนโตรเจนทั้งหมดนี้ไปใส่ในถังอีกใบหนึ่งขนาด 3 ลิตร ที่อุณหภูมิ 27 องศาเซลเซียส จะอ่านค่าความดันได้เท่าใด

วิธีทำ $P_1 = 0.5$ atm $\quad T_1 = 273 + 0 = 273$ K $\quad V_1 = 2$ L

$P_2 = ?$ $\quad T_2 = 273 + 27 = 300$ K $\quad V_2 = 3$ L

จากกฎรวมแก๊ส

$$\frac{P_1V_1}{T_1} = \frac{P_2V_2}{T_2}$$

$$\frac{0.5 \text{ atm} \times 2 \text{ L}}{273 \text{ K}} = \frac{P_2 \times 3 \text{ L}}{300 \text{ K}}$$

$$P_2 = \frac{0.5 \text{ atm} \times 2 \text{ L} \times 300 \text{ K}}{273 \text{ K} \times 3 \text{ L}}$$

$$= 0.37 \text{ atm}$$

ดังนั้น จะอ่านค่าความดันได้ 0.37 บรรยากาศ

ตัวอย่างที่ 1.17

แก๊สชนิดหนึ่งมีปริมาตร 860 ลูกบาศก์เซนติเมตร ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส และความดัน 760 มิลลิเมตรปรอท ปริมาตรแก๊สนี้จะเป็นเท่าใด ที่อุณหภูมิ 24 องศาเซลเซียส และความดัน 650 มิลลิเมตรปรอท

วิธีทำ $P_1 = 760$ mmHg $\quad T_1 = 273 + 37 = 310$ K $\quad V_1 = 860$ cm^3

$P_2 = 650$ mmHg $\quad T_2 = 273 + 24 = 297$ K $\quad V_2 = ?$

จากกฎรวมแก๊ส

$$\frac{P_1V_1}{T_1} = \frac{P_2V_2}{T_2}$$

$$\frac{760 \text{ mmHg} \times 860 \text{ cm}^3}{310 \text{ K}} = \frac{650 \text{ mmHg} \times V_2}{297 \text{ K}}$$

$$V_2 = \frac{760 \text{ mmHg} \times 860 \text{ cm}^3 \times 297 \text{ K}}{650 \text{ mmHg} \times 310 \text{ K}}$$

$$= 963.37 \text{ cm}^3$$

ดังนั้น ปริมาตรของแก๊สนี้มีค่า 963.37 ลูกบาศก์เซนติเมตร

ขั้นสอน

อธิบายความรู้

ครูตั้งคำถามให้นักเรียนร่วมกันอภิปราย เรื่อง กฎรวมแก๊ส เช่น

- เมื่อนำแก๊สที่บรรจุอยู่ในภาชนะปิดขนาด 1 ลิตร ที่อุณหภูมิ 300 เคลวิน ไปบรรจุในภาชนะขนาด 2 ลิตร ที่อุณหภูมิ 200 เคลวิน ความดันใหม่ของแก๊สชนิดนี้จะเปลี่ยนแปลงไปอย่างไร

  (แนวตอบ ความดันใหม่จะลดลงเป็น 3 เท่าของความดันเดิม)

- แก๊สชนิดหนึ่งความดัน 3 บรรยากาศ ที่อุณหภูมิ 150 เคลวิน ถ้าความดันเพิ่มขึ้น 1 บรรยากาศ และอุณหภูมิสูงขึ้น 50 เคลวิน แก๊สชนิดนี้จะมีปริมาตรเป็นอย่างไรเมื่อเทียบกับปริมาตรเดิม

  (แนวตอบ แก๊สชนิดนี้จะมีปริมาตรเท่าเดิม ไม่เปลี่ยนแปลง)

- แก๊สออกซิเจนปริมาตร 4 ลิตร ความดัน 2 บรรยากาศ ถ้านำแก๊สออกซิเจนนี้ไปไว้ที่อุณหภูมิใหม่ ปรากฏว่า แก๊สออกซิเจนมีปริมาตรเพิ่มขึ้น 2 ลิตร และมีความดันเพิ่มขึ้น 2 บรรยากาศ อุณหภูมิใหม่จะมีค่าสูงกว่าหรือต่ำกว่าอุณหภูมิเดิม

  (แนวตอบ อุณหภูมิใหม่มีค่าสูงกว่าอุณหภูมิเดิม 3 เท่า)

ข้อสอบเน้นการคิด

ที่อุณหภูมิ 27 องศาเซลเซียส แก๊สคลอรีนมีปริมาตร 200 ลูกบาศก์เซนติเมตร และมีความดัน 1 บรรยากาศ นาย A นาย B และนาย C ทำการทดลองเพื่อให้แก๊สนี้เข้าไปอยู่ในขวดที่มีปริมาตร 100 ลูกบาศก์เซนติเมตร ดังนี้

นาย A เพิ่มความดันของแก๊สคลอรีนเป็น 2 บรรยากาศ

นาย B ลดอุณหภูมิของแก๊สคลอรีนลงเป็น −123 องศาเซลเซียส

นาย C เพิ่มความดันของแก๊สคลอรีนเป็น 2 บรรยากาศ พร้อมลดอุณหภูมิลงเป็น −123 องศาเซลเซียส

ใครทำการทดลองได้ถูกต้อง

1. A เท่านั้น 2. A และ B 3. B และ C 4. A และ C 5. A B และ C

(วิเคราะห์คำตอบ นาย A : $P_1V_1 = P_2V_2 \longrightarrow 1 \times 200 = P_2 \times 100 \longrightarrow P_2 = \frac{1 \times 200}{100} = 2$ atm (ผลการทดลองถูกต้อง)

นาย B : $\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2} \longrightarrow \frac{200}{300} = \frac{100}{T_2} \longrightarrow T_2 = \frac{100 \times 300}{200} = 150$ K $= 150 - 273 = -123^\circ$C (ผลการทดลองถูกต้อง)

นาย C : $\frac{P_1V_1}{T_1} = \frac{P_2V_2}{T_2} \longrightarrow \frac{1 \times 200}{300} = \frac{2 \times 100}{T_2} \longrightarrow T_2 = \frac{2 \times 100 \times 300}{200} = 300$ K $= 300 - 273 = 27^\circ$C (ผลการทดลองไม่ถูกต้อง)

ดังนั้น ตอบข้อ 2.)

T27

ขั้นสอน

สำรวจค้นหา

1. ครูเกริ่นนำว่า การศึกษาการเปลี่ยนแปลงสมบัติของแก๊สจะมีตัวแปรเข้ามาเกี่ยวข้อง 4 ตัวแปร คือ ปริมาตร ความดัน อุณหภูมิ และจำนวนโมล หรือมวลของแก๊ส ซึ่งตัวแปรเหล่านี้จะมีความสัมพันธ์กัน และเป็นไปตามกฎของบอยล์ กฎของชาร์ล และกฎของอาโวกาโดร ซึ่งเมื่อนำกฎทั้งสามมาพิจารณาร่วมกัน จะได้ความสัมพันธ์ใหม่ เรียกว่า กฎแก๊สอุดมคติ

2.6 กฎแก๊สอุดมคติ

จากผลการทดลองและข้อสรุปของนักวิทยาศาสตร์หลายท่าน จึงมีการรวบรวมกฎเกี่ยวกับแก๊สที่กล่าวมาแล้วทั้งหมด ซึ่งจะได้ความสัมพันธ์ ดังนี้

จากกฎของบอยล์ เมื่อมวลและอุณหภูมิคงที่ จะได้ว่า $V \alpha \frac{1}{P}$

จากกฎของชาร์ล เมื่อมวลและความดันคงที่ จะได้ว่า $V \alpha T$

จากกฎของอาโวกาโดร เมื่ออุณหภูมิและความดันคงที่ จะได้ว่า $V \alpha n$

ดังนั้น $V \alpha \frac{nT}{P}$ หรือ $\frac{PV}{nT} = k$

เมื่อจัดรูปใหม่จะได้ว่า $\frac{PV}{T} = nk$

k เป็นค่าคงที่ ซึ่งขึ้นอยู่กับจำนวนโมลของแก๊ส โดยถ้าแก๊สมีโมล 1 โมล จะใช้ค่า R แทน เรียกว่า **ค่าคงที่ของแก๊สต่อโมล** (mol gas constant)

ดังนั้น สำหรับแก๊สจำนวน n โมล จะได้ความสัมพันธ์ ดังนี้

$$PV = nRT$$

โดยที่ R = 0.0821 $L \cdot atm \cdot K^{-1} \cdot mol^{-1}$ ซึ่งสูตรนี้จะใช้ได้ก็ต่อเมื่อความดัน มีหน่วยเป็นบรรยากาศ (atm) ปริมาตร มีหน่วยเป็น ลิตร (L) และอุณหภูมิ มีหน่วยเป็น เคลวิน (K)

จากสูตร PV = nRT สามารถปรับสูตรใหม่ได้ ดังนี้

$$P = \frac{n}{V}RT$$

ซึ่ง $\frac{n}{V}$ มีค่าเท่ากับความเข้มข้น (C) จึงได้ว่า

$$P = CRT$$

จาก $n = \frac{g}{M}$ โดยที่ M คือ มวลโมเลกุล จะได้ว่า

$$P = \frac{g}{MV}RT$$

ดังนั้น $PM = \frac{g}{V}RT$

แต่ $\frac{g}{V}$ มีค่าเท่ากับความหนาแน่น (d) จึงได้ว่า

$$PM = dRT$$

24

เกร็ดแนะครู

ครูอาจอธิบายเพิ่มเติมว่า ค่าคงที่ของแก๊สสามารถหาได้จากการทดลอง การเตรียมแก๊สไนโตรเจน หรือการเตรียมแก๊สไฮโดรเจน ซึ่งเป็นแก๊สจริง แล้วเก็บแก๊สโดยการแทนที่น้ำ จากค่าปริมาตร อุณหภูมิ ความดัน และจำนวนโมลของแก๊สที่หาได้ จะสามารถนำมาคำนวณหาค่า R ได้ จากความสัมพันธ์ ดังนี้ PV = nRT

ข้อสอบเน้นการคิด

ความหนาแน่นของแก๊สออกซิเจนที่สภาวะมาตรฐานมีค่ากี่กรัม/ลูกบาศก์เดซิเมตร

1. 1.00
2. 1.12
3. 1.43
4. 1.57
5. 1.84

(วิเคราะห์คำตอบ สภาวะมาตรฐาน คือ ความดัน 1 atm และอุณหภูมิ 273 K

มวลโมเลกุลของแก๊ส O_2 = 16 × 2 = 32 R = 0.0821

จาก PM = dRT

จะได้ว่า $d = \frac{PM}{RT}$

$= \frac{1 \times 32}{0.0821 \times 273} = 1.43\ g/dm^3$

ดังนั้น ตอบข้อ 3.)

สมการแก๊สอุดมคติ

เพื่อใช้คำนวณหาค่าต่าง ๆ

ความดันของแก๊ส (P)

จาก $PV = nRT$ ดังนั้น

$$P = \frac{nRT}{V}$$

ปริมาตรของแก๊ส (V)

จาก $PV = nRT$ ดังนั้น

$$V = \frac{nRT}{P}$$

โมลของแก๊ส (n)

จาก $PV = nRT$ ดังนั้น

$$n = \frac{PV}{RT}$$

อุณหภูมิของแก๊ส (T)

จาก $PV = nRT$ ดังนั้น

$$T = \frac{PV}{nR}$$

มวลของแก๊ส (g)

จาก $PV = \frac{g}{M}RT$ ดังนั้น

$$g = \frac{PVM}{RT}$$

มวลโมเลกุลของแก๊ส (M)

จาก $PV = \frac{g}{M}RT$ ดังนั้น

$$M = \frac{gRT}{PV}$$

จำนวนโมเลกุลของแก๊ส (N)

จาก $PV = \frac{N}{6.02 \times 10^{23}}RT$ ดังนั้น

$$N = \frac{6.02 \times 10^{23} PV}{RT}$$

ความเข้มข้นของแก๊ส (C)

จาก $P = \frac{n}{V}RT$ หรือ $P = CRT$ ดังนั้น

$$C = \frac{P}{RT}$$

(C = ความเข้มข้น หน่วยเป็น โมลาร์)

ความหนาแน่น (1) ของแก๊ส (d)

จาก $PM = \frac{g}{V}RT$ หรือ $PM = dRT$ ดังนั้น

$$d = \frac{PM}{RT}$$

ขั้นสอน

สำรวจค้นหา

2. ครูให้นักเรียนจับคู่กับเพื่อน โดยคละความสามารถทางวิทยาศาสตร์ แล้วศึกษาเรื่อง กฎแก๊สอุดมคติ จากหนังสือเรียนเคมี ม.5 เล่ม 1 หรือจาก PowerPoint ประกอบการสอน จากนั้นให้นักเรียนร่วมกันอภิปรายความรู้ที่ได้จากการศึกษา จนมีความเข้าใจที่ตรงกัน
3. ครูให้นักเรียนแต่ละคู่ร่วมกันฝึกการคำนวณเกี่ยวกับกฎแก๊สอุดมคติ จากตัวอย่างที่ 1.18-1.22 ในหนังสือเรียนเคมี ม.5 เล่ม 1 จากนั้นสุ่มนักเรียน 5 คู่ ออกมาแสดงวิธีการคำนวณตัวอย่างแต่ละข้อหน้าชั้นเรียนให้ถูกต้อง โดยครูคอยเสริมความรู้ในส่วนที่นักเรียนยังไม่เข้าใจ

กิจกรรม สร้างเสริม

ให้นักเรียนแบ่งกลุ่ม กลุ่มละ 3 คน แล้วร่วมกันศึกษาและค้นคว้าเกี่ยวกับปรากฏการณ์หรือเหตุการณ์ต่าง ๆ ในชีวิตประจำวันที่สามารถอธิบายได้โดยใช้กฎต่าง ๆ ของแก๊ส แล้วสรุปเป็นใบความรู้ส่งครูผู้สอน

กิจกรรม ท้าทาย

ให้นักเรียนแบ่งกลุ่ม กลุ่มละ 5 คน แล้วร่วมกันออกแบบวิธีทดสอบเกี่ยวกับกฎต่าง ๆ ของแก๊สที่สามารถทำให้เกิดความรู้ความเข้าใจเรื่องกฎของแก๊สได้ง่ายขึ้น

นักเรียนควรรู้

(1) **ความหนาแน่น** ความหนาแน่นของอากาศจะแปรผกผันกับอุณหภูมิ โดยถ้าอุณหภูมิสูงขึ้น ความหนาแน่นของอากาศจะลดลง แต่เมื่ออุณหภูมิต่ำลง ความหนาแน่นของอากาศจะมากขึ้น ตัวอย่างดังตาราง

อุณหภูมิ (°C)	ความหนาแน่นของอากาศ (kg/m^3)
-10	1.341
-5	1.316
0	1.293
5	1.269
10	1.247
15	1.225
20	1.204
25	1.184
30	1.164

ขั้นสอน

อธิบายความรู้

1. ครูสรุปเกี่ยวกับการคำนวณสมบัติของแก๊สโดยใช้กฎต่างๆ ว่า ให้พิจารณาว่าโจทย์ถามหามวล หรือจำนวนโมลหรือไม่

   1) ใช่

   - ถ้ามวลของแก๊สคงที่ ให้คำนวณโดยใช้สูตร $PV = nRT$
   - ถ้ามวลของแก๊สเปลี่ยนแปลง ให้คำนวณโดยใช้สูตร $\frac{P_1V_1}{n_1T_1} = \frac{P_2V_2}{n_2T_2}$

   2) ไม่ใช่

   ให้คำนวณโดยใช้กฎรวมแก๊ส ดังนี้

   $$\frac{P_1V_1}{T_1} = \frac{P_2V_2}{T_2}$$

   - ถ้าอุณหภูมิคงที่ ให้คำนวณโดยใช้กฎของบอยล์ ดังนี้ $P_1V_1 = P_2V_2$
   - ถ้าความดันคงที่ ให้คำนวณโดยใช้กฎของชาร์ล ดังนี้ $\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$
   - ถ้าปริมาตรคงที่ ให้คำนวณโดยใช้กฎของเกย์-ลูสแซก ดังนี้ $\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2}$

ตัวอย่างที่ 1.18

จงหาความดันของแก๊สออกซิเจนปริมาณ 2.5 โมล ในภาชนะ 10 ลิตร ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส

วิธีทำ $P = ?$ $V = 10\ L$ $n = 2.5\ mol$

$T = 273 + 50 = 323\ K$ $R = 0.0821\ L{\cdot}atm{\cdot}mol^{-1}{\cdot}K^{-1}$

จาก $P = \frac{nRT}{V}$

$= \frac{2.5\ mol \times 0.0821\ L{\cdot}atm{\cdot}mol^{-1}{\cdot}K^{-1} \times 323\ K}{10\ L}$

$= 6.63\ atm$

ดังนั้น แก๊สออกซิเจนมีความดัน 6.63 บรรยากาศ

ตัวอย่างที่ 1.19

บอลลูนลูกหนึ่งบรรจุแก๊สฮีเลียม (He) 4 โมล บอลลูนลูกนี้จะมีปริมาตรเท่าใด ถ้าความดันของแก๊สฮีเลียมเป็น 748 มิลลิเมตรปรอท ณ อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส

วิธีทำ $P = \frac{748}{760} = 0.98\ atm$ $V = ?$ $n = 4\ mol$

$T = 273 + 20 = 293\ K$ $R = 0.0821\ L{\cdot}atm{\cdot}mol^{-1}{\cdot}K^{-1}$

จาก $V = \frac{nRT}{P}$

$= \frac{4\ mol \times 0.0821\ L{\cdot}atm{\cdot}mol^{-1}{\cdot}K^{-1} \times 293\ K}{0.98\ atm}$

$= 98.07\ L$

ดังนั้น บอลลูนลูกนี้มีปริมาตรประมาณ 98 ลิตร

ตัวอย่างที่ 1.20

แก๊สชนิดหนึ่งมีมวลโมเลกุล 32 มีความดัน 760 มิลลิเมตรปรอท จงหาความหนาแน่นของแก๊สชนิดนี้ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส

วิธีทำ $P = \frac{760}{760} = 1\ atm$ $M = 32\ g/mol$

$T = 273 + 37 = 310\ K$ $R = 0.0821\ L{\cdot}atm{\cdot}mol^{-1}{\cdot}K^{-1}$

จาก $d = \frac{PM}{RT}$

$= \frac{1\ atm \times 32\ g/mol}{0.0821\ L{\cdot}atm{\cdot}mol^{-1}{\cdot}K^{-1} \times 310\ K}$

$= 1.26\ g/L$

ดังนั้น แก๊สชนิดนี้มีความหนาแน่น 1.26 กรัมต่อลิตร

ข้อสอบเน้นการคิด

แก๊ส A 1 โมล หนัก 54 กรัม ที่ STP ถ้าแก๊ส A มีปริมาตร 400 ลูกบาศก์เซนติเมตร ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส และความดัน 2 บรรยากาศ แก๊ส A จะหนักกี่กรัม

1. 1.3 2. 1.5 3. 1.7 4. 2.1 5. 2.4

(วิเคราะห์คำตอบ แก๊ส A 1 โมล หนัก 54 กรัม แสดงว่า แก๊ส A มีมวลโมเลกุล = 54

$P = 2\ atm$ *$V = \frac{400}{1000} = 0.4\ dm^3$* *$T = 273 + 37 = 310\ K$*

$M = 54$ *$R = 0.0821\ L{\cdot}atm{\cdot}mol^{-1}{\cdot}K^{-1}$* *$g = ?$*

$PV = \frac{g}{M}RT$

$2 \times 0.4 = \frac{g}{54} \times 0.0821 \times 310$

$g = \frac{2 \times 0.4 \times 54}{0.0821 \times 310} = 1.7$

แก๊ส A จะหนัก 1.7 กรัม ดังนั้น ตอบข้อ 3.)

ตัวอย่างที่ 1.21

ของเหลว A จำนวน 18 กรัม ระเหยกลายเป็นไอในภาชนะขนาด 20 ลิตร ความดันของน้ำจะมีค่าเท่าใด เมื่อการระเหยเป็นไอสมบูรณ์ที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส (ของเหลวมีมวลโมเลกุล = 36 g/mol)

วิธีทำ $P = ?$ $V = 20\ L$

$g = 18\ g$ $M = 36\ g/mol$

$T = 273 + 200 = 473\ K$ $R = 0.0821\ L{\cdot}atm{\cdot}mol^{-1}{\cdot}K^{-1}$

จาก $PV = \frac{g}{M}RT$

$$P \times 20\ L = \frac{18\ g \times 0.0821\ L{\cdot}atm{\cdot}mol^{-1}{\cdot}K^{-1} \times 473\ K}{36\ g/mol}$$

$$P = \frac{18\ g \times 0.0821\ L{\cdot}atm{\cdot}mol^{-1}{\cdot}K^{-1} \times 473\ K}{20\ L \times 36\ g/mol}$$

$$= 0.97\ atm$$

ดังนั้น ความดันของน้ำมีค่าเท่ากับ 0.97 บรรยากาศ

ตัวอย่างที่ 1.22

แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส มีความหนาแน่น 0.75 กรัมต่อลิตร จะมีความดันกี่มิลลิเมตรปรอท

วิธีทำ $P = ?$ $M = 12 + 32 = 44\ g/mol$

$d = 0.75\ g/L$ $T = 273 + 30 = 303\ K$

$R = 0.0821\ L{\cdot}atm{\cdot}mol^{-1}{\cdot}K^{-1}$

จาก $P = \frac{dRT}{M}$

$$= \frac{0.75\ g/L \times 0.0821\ L{\cdot}atm{\cdot}mol^{-1}{\cdot}K^{-1} \times 303\ K}{44\ g/mol}$$

$$= 0.42\ atm$$

ความดัน CO_2 1 atm มีค่าเท่ากับความดัน CO_2 760 mmHg

ความดัน CO_2 0.42 atm มีค่าเท่ากับความดัน CO_2 $\frac{760 \times 0.42}{1} = 319.2$ mmHg

ดังนั้น แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์มีความดันเท่ากับ 319.2 มิลลิเมตรปรอท

ขั้นสอน

อธิบายความรู้

2. ครูอธิบายเพิ่มเติมเกี่ยวกับการประยุกต์ใช้กฎแก๊สอุดมคติในชีวิตประจำวัน เช่น
   - เมื่อเขย่าขวดแชมเปญสักพักหนึ่ง จากนั้นดันฝาจุกให้หลวมขึ้นเล็กน้อย จะทำให้ฝาจุกกระเด็นออกไปได้ เนื่องจากเมื่อเขย่าขวดแชมเปญจะทำให้แก๊สที่ละลายอยู่ในของเหลว กลายเป็นแก๊สอยู่เหนือของเหลวมากขึ้น ทำให้ความดันของแก๊สเหนือของเหลวมีค่ามากขึ้นด้วย ซึ่งหากเขย่าจนปริมาณแก๊สเหนือของเหลวมากพอ จะทำให้แก๊สเหนือของเหลวมีความดันมากพอที่จะดันจุกขวดให้กระเด็นออกมาได้
   - เมื่อลั่นไกปืน เข็มแทงชนวนของปืนจะกระทบเข้ากับด้านท้ายของลูกกระสุนปืน ซึ่งจะทำให้ดินปืนที่ถูกบรรจุอยู่ในลูกกระสุนปืนเกิดการเผาไหม้ ซึ่งทำให้เกิดแก๊สและความร้อนขึ้นเป็นจำนวนมาก ความดันที่กระทำต่อหัวกระสุนจึงมีค่าเพิ่มขึ้นมหาศาล จนดันให้หัวกระสุนแล่นออกจากกระบอกปืนได้
3. ครูให้นักเรียนทำใบงาน เรื่อง กฎของแก๊ส

ข้อสอบเน้นการคิด

กระบอกอันหนึ่งบรรจุแก๊สปริมาตร **200** ลูกบาศก์เซนติเมตร สูบเอาอากาศออกจนเหลือความดันเพียง **1.14×10^{-4}** มิลลิเมตรปรอท ที่อุณหภูมิ **27** องศาเซลเซียส จำนวนโมเลกุลของแก๊สที่เหลืออยู่ในกระบอกจะมีกี่โมเลกุลโดยประมาณ

1. 5.68×10^{14} 2. 6.72×10^{14} 3. 7.14×10^{14} 4. 8.35×10^{14} 5. 9.27×10^{14}

(วิเคราะห์คำตอบ $P = \frac{1.14 \times 10^{-4}}{760}\ atm$ $V = \frac{200}{1,000}\ L$ $T = 273 + 27 = 300\ K$

$R = 0.0821\ L{\cdot}atm{\cdot}mol^{-1}{\cdot}K^{-1}$ $n = ?$

$$n = \frac{PV}{RT}$$

$$= \frac{1.14 \times 10^{-4} \times 200}{760 \times 1,000 \times 0.0821 \times 300} = 1.54 \times 10^{-9}\ mol$$

แก๊ส 1 mol มี 6.02×10^{23} molecule

แก๊ส 1.54×10^{-9} mol มี $6.02 \times 10^{23} \times 1.54 \times 10^{-9}$ molecule

$= 9.27 \times 10^{14}$ molecule

ดังนั้น ตอบข้อ 5.)

ขั้นสอน

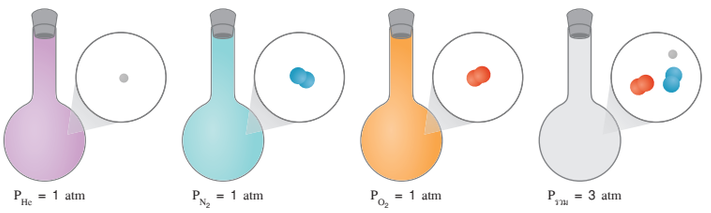
สำรวจค้นหา

1. ครูถามคำถามนักเรียน ดังนี้
   - นักเรียนคิดว่า ถ้าแก๊สหลาย ๆ ชนิดมาผสมกัน โดยแก๊สไม่ทำปฏิกิริยากัน ความดันของแก๊สผสมนี้จะมีค่าเป็นอย่างไร
   (แนวตอบ ความดันของแก๊สผสมจะเท่ากับผลรวมของความดันย่อย ๆ ของแก๊สที่เป็นองค์ประกอบ)

   โดยครูให้นักเรียนในห้องร่วมกันอภิปรายและแสดงความคิดเห็นก่อน แล้วจึงเฉลยคำตอบที่ถูกต้องในภายหลัง
2. ครูให้นักเรียนจับคู่กับเพื่อน โดยคละความสามารถทางวิทยาศาสตร์ แล้วศึกษาเรื่อง กฎความดันย่อยของดอลตัน จากหนังสือเรียนเคมี ม.5 เล่ม 1 หรือจาก PowerPoint ประกอบการสอน จากนั้นให้นักเรียนร่วมกันอภิปรายความรู้ที่ได้จากการศึกษา จนมีความเข้าใจที่ตรงกัน
3. ครูให้นักเรียนแต่ละคู่ร่วมกันฝึกการคำนวณเกี่ยวกับกฎความดันย่อยของดอลตัน จากตัวอย่างที่ 1.23-1.25 ในหนังสือเรียนเคมี ม.5 เล่ม 1 จากนั้นสุ่มนักเรียน 3 คู่ ออกมาแสดงวิธีการคำนวณตัวอย่างแต่ละข้อหน้าชั้นเรียน ให้ถูกต้อง โดยครูคอยเสริมความรู้ในส่วนที่นักเรียนยังไม่เข้าใจ

2.7 กฎความดันย่อยของดอลตัน

จอห์น ดอลตัน (John Dalton) สนใจศึกษาและทำการทดลองเกี่ยวกับความดันของแก๊สผสมต่าง ๆ แล้วสรุปและตั้งเป็น**กฎความดันย่อยของดอลตัน** (Dalton's law of partial pressure) ขึ้นมา โดยกล่าวว่า *"ความดันของแก๊สผสมที่ไม่ทำปฏิกิริยาเคมีต่อกันจะเท่ากับผลบวกของความดันย่อยต่าง ๆ ที่เป็นองค์ประกอบของแก๊สผสมนั้น"* เช่น เมื่อผสมแก๊ส He ความดัน 1 บรรยากาศ แก๊ส N_2 ความดัน 1 บรรยากาศ และแก๊ส O_2 ความดัน 1 บรรยากาศ เข้าด้วยกัน จะได้ความดันรวมเท่ากับ 3 บรรยากาศ



▲ **ภาพที่ 1.20** ความดันรวมของแก๊ส He N_2 และ O_2
ที่มา : คลังภาพ อจท.

ดังนั้น จะได้ว่า

$$P_{รวม} = P_1 + P_2 + \dots + P_n$$

เมื่อ P_1, P_2, ..., P_n คือ ความดันย่อยของแก๊สชนิดที่ 1, 2, ..., n หรือ

$$P_{รวม}V_{รวม} = P_1V_1 + P_2V_2 + \dots P_nV_n$$

จาก PV = nRT จะได้ว่า

$$P_{รวม}V_{รวม} = n_{รวม}RT$$

เมื่อ $n_{รวม} = n_1 + n_2 + \dots + n_n$ หรือ

$$P_i = X_i \times P_{รวม}$$

เมื่อ P_i คือ ความดันย่อยของแก๊สชนิดที่ i
X_i คือ เศษส่วนโดยมวล(1)ของแก๊สชนิดที่ i

นักเรียนควรรู้

(1) **เศษส่วนโดยมวล** เป็นการระบุอัตราส่วนจำนวนโมลของสารใดสารหนึ่งต่อจำนวนโมลรวมของสารทั้งหมดในสารละลาย โดยเศษส่วนโมลของสารแต่ละชนิดจะต้องมีค่าน้อยกว่า 1 เสมอ และผลบวกของเศษส่วนโมลของสารทั้งหมดรวมกันจะต้องเป็น 1 เสมอ

ข้อสอบเน้นการคิด

ถังขนาด **10** ลูกบาศก์เดซิเมตร บรรจุแก๊สไนโตรเจนที่มีความดัน **8** บรรยากาศ และถังอีกใบหนึ่งขนาด **20** ลูกบาศก์เดซิเมตร บรรจุแก๊สออกซิเจนที่มีความดัน **5** บรรยากาศ ถ้าแก๊สในถังทั้งสองแพร่เข้าสู่สมดุลที่อุณหภูมิคงที่ ความดันของแก๊สผสมจะมีค่ากี่บรรยากาศ

1. 5 2. 6 3. 7 4. 8 5. 9

(วิเคราะห์คำตอบ

จากสูตร $P_1V_1 + P_2V_2 = P_{รวม}V_{รวม}$

จะได้ว่า $P_{N_2}V_{N_2} + P_{O_2}V_{O_2} = P_{รวม}V_{รวม}$

$(8 \times 10) + (5 \times 20) = P_{รวม}(30)$

$P_{รวม} = \frac{180}{30} = 6$ *atm*

ดังนั้น ตอบข้อ 2.)

ตัวอย่างที่ 1.23

แก๊สไฮโดรเจน 2 โมล แก๊สออกซิเจน 4 โมล และแก๊สฮีเลียม 6 โมล ผสมกันอยู่ในถังปริมาตร 5 ลิตร ที่อุณหภูมิ 27 องศาเซลเซียส จงคำนวณหาความดันรวมและความดันย่อยของแก๊สแต่ละชนิด

วิธีทำ $T = 273 + 27 = 300\ K$

จาก $PV = nRT$

$$P = \frac{nRT}{V}$$

$$P_{H_2} = \frac{2\ mol \times 0.0821\ L\text{-}atm\text{-}mol^{-1}\text{-}K^{-1} \times 300\ K}{5\ L} = 9.85\ atm$$

$$P_{O_2} = \frac{4\ mol \times 0.0821\ L\text{-}atm\text{-}mol^{-1}\text{-}K^{-1} \times 300\ K}{5\ L} = 19.7\ atm$$

$$P_{He} = \frac{6\ mol \times 0.0821\ L\text{-}atm\text{-}mol^{-1}\text{-}K^{-1} \times 300\ K}{5\ L} = 29.55\ atm$$

$$P_{รวม} = P_{H_2} + P_{O_2} + P_{He} = 9.85 + 19.7 + 29.55 = 59.1\ atm$$

ดังนั้น ความดันของแก๊สไฮโดรเจนมีค่าเท่ากับ 9.85 บรรยากาศ ความดันของแก๊สออกซิเจนมีค่าเท่ากับ 19.7 บรรยากาศ ความดันของแก๊สฮีเลียมมีค่าเท่ากับ 29.55 บรรยากาศ และความดันรวมมีค่าเท่ากับ 59.1 บรรยากาศ

ตัวอย่างที่ 1.24

จงคำนวณความดันย่อยของแก๊สผสมในหน่วยทอร์ของแก๊สออกซิเจน 128 กรัม และแก๊สไนโตรเจน 56 กรัม ที่มีความดัน 750 ทอร์

วิธีทำ จำนวนโมลของแก๊สออกซิเจน $= \frac{128}{32} = 4\ mol$

จำนวนโมลของแก๊สไนโตรเจน $= \frac{56}{28} = 2\ mol$

จำนวนโมลรวม $= 4 + 2 = 6\ mol$

$$X_{O_2} = \frac{4}{6} = 0.667$$

$$P_{O_2} = X_{O_2}P_{รวม} = 0.667 \times 750 = 500.25\ torr$$

$$X_{N_2} = \frac{2}{6} = 0.333$$

$$P_{N_2} = X_{N_2}P_{รวม} = 0.333 \times 750 = 249.75\ torr$$

ดังนั้น แก๊สออกซิเจนมีความดันย่อยเท่ากับ 500.25 ทอร์ และแก๊สไนโตรเจนมีความดันย่อยเท่ากับ 249.75 ทอร์

ขั้นสอน

อธิบายความรู้

1. ครูตั้งคำถามให้นักเรียนร่วมกันอภิปราย เรื่อง กฎความดันย่อยของดอลตัน เช่น
   - ในภาชนะขนาด **2.3** ลิตร บรรจุแก๊ส H_2 จำนวน **0.174** กรัม และแก๊ส N_2 **1.365** กรัม บรรจุอยู่ที่ **0** องศาเซลเซียส จงคำนวณเศษส่วนโมล ความดันย่อยของแก๊สทั้งสองและความดันรวม เมื่อถือว่าแก๊สทั้งสองชนิดเป็นแก๊สสมบูรณ์

   (แนวตอบ มวลโมเลกุลของ H_2 และ N_2 เท่ากับ 2 และ 28 ตามลำดับ

   $T = 273 + 0 = 273\ K$

   จาก $PV = nRT$ จะได้ว่า $P = \frac{nRT}{V}$

   $$P_{H_2} = \frac{0.174 \times 0.0821 \times 273}{2 \times 2.3} = 0.85\ atm$$

   $$P_{H_2} = \frac{1.365 \times 0.0821 \times 273}{28 \times 2.3} = 0.48\ atm$$

   $$P_{รวม} = 0.85 + 0.48 = 1.33\ atm$$

   $$X_{H_2} = \frac{P_{H_2}}{P_{รวม}} = \frac{0.85}{1.33} = 0.64$$

   $$X_{N_2} = \frac{P_{N_2}}{P_{รวม}} = \frac{0.48}{1.33} = 0.36)$$
2. ครูถามคำถาม Big Question จากหนังสือเรียน เคมี ม.5 เล่ม 1 อีกครั้ง ดังนี้
   - กฎของบอยล์ กฎของชาร์ล และกฎของเกย์-ลูสแซก อธิบายความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตร ความดัน และอุณหภูมิของแก๊สไว้อย่างไร
3. ครูให้นักเรียนทำใบงาน เรื่อง กฎของแก๊ส

กิจกรรม 21st Century Skills

ให้นักเรียนแบ่งกลุ่ม กลุ่มละ 3 คน แล้วส่งตัวแทนออกมาจับสลากหัวข้อเรื่องที่จะได้ศึกษา ดังนี้

- กฎของบอยล์
- กฎของชาร์ล
- กฎของเกย์-ลูสแซก
- กฎของอาโวกาโดร
- กฎความดันย่อยของดอลตัน

แล้วให้กลุ่มที่จับสลากได้หัวข้อเดียวกันร่วมกันจัดบอร์ดเผยแพร่ความรู้ในหัวข้อที่จับสลากได้ในรูปแบบที่น่าสนใจ เวียนกันไปสัปดาห์ละ 1 หัวข้อ จนครบทุกหัวข้อ

เกร็ดแนะครู

ในการเรียนการสอน เรื่อง กฎของแก๊ส จะเห็นว่ามีกฎหลายกฎที่นักเรียนต้องเรียนและทำความเข้าใจ ดังนั้น ก่อนจบการเรียนการสอนในเรื่อง กฎของแก๊ส ครูอาจนำนักเรียนร่วมกันสรุปความหมายและสูตรในการคำนวณของแต่ละกฎอีกครั้งหนึ่ง พร้อมทั้งหาตัวอย่างโจทย์ที่หลากหลายมีให้นักเรียนฝึกทำเพิ่มเติม เพื่อให้นักเรียนเกิดความเข้าใจที่มากขึ้น

ขั้นสรุป

ขยายความเข้าใจ

1. ครูเปิดโอกาสให้นักเรียนซักถามข้อสงสัยในเนื้อหา เรื่อง กฎของแก๊ส ว่ามีส่วนไหนที่ยังไม่เข้าใจ และให้ความรู้เพิ่มเติมในส่วนนั้น เพื่อจะใช้เป็นความรู้เบื้องต้นสำหรับการเรียนเนื้อหาต่อๆ ไป
2. ครูให้นักเรียนทำแบบฝึกหัด ในแบบฝึกหัดเคมี ม.5 เล่ม 1
3. ครูให้นักเรียนทำ Topic Question จากหนังสือเรียนเคมี ม.5 เล่ม 1
4. ครูให้นักเรียนเขียนผังมโนทัศน์ เรื่อง กฎของแก๊ส เพื่อเป็นการสรุปความเข้าใจ แล้วส่งเป็นการบ้านในคาบเรียนต่อไป

ขั้นประเมิน

ตรวจสอบผล

1. ครูประเมินผลโดยการสังเกตการตอบคำถามและการร่วมกันทำผลงาน
2. ครูตรวจสอบผลจากการทำใบงาน เรื่อง กฎของแก๊ส
3. ครูตรวจสอบผลจากการทำแบบฝึกหัด
4. ครูวัดและประเมินผลจากรายงานการทดลอง เรื่อง ผลของความดันและอุณหภูมิต่อปริมาตรของแก๊ส
5. ครูวัดและประเมินผลจากชิ้นงานที่นักเรียนได้สร้างขึ้นจากขั้นขยายความเข้าใจ

ตัวอย่างที่ 1.25

แก๊สผสมประกอบด้วยแก๊สไฮโดรเจนร้อยละ 55 แก๊สออกซิเจนร้อยละ 20 และไอน้ำร้อยละ 25 โดยปริมาตร มีความดันรวมของแก๊สผสมเท่ากับ 2.5 บรรยากาศ จงคำนวณหาความดันย่อยของแก๊สแต่ละชนิดในแก๊สผสมนี้

วิธีทำ อัตราส่วนที่โจทย์กำหนด เป็นอัตราส่วนโดยปริมาตร ซึ่งที่สภาวะความดันและอุณหภูมิเดียวกัน ปริมาตรจะแปรผันตามจำนวนโมล

ดังนั้น อัตราส่วนโดยโมลของ $H_2 : O_2 : H_2O = 55 : 20 : 25$

เศษส่วนโมลของ $H_2 = X_{H_2} = \frac{55}{55 + 20 + 25} = 0.55$

เศษส่วนโมลของ $O_2 = X_{O_2} = \frac{20}{55 + 20 + 25} = 0.20$

เศษส่วนโมลของ $H_2O = X_{H_2O} = \frac{25}{55 + 20 + 25} = 0.25$

จาก $P_i = X_i \times P_{รวม}$

$P_{H_2} = X_{H_2} \times P_{รวม} = 0.55 \times 2.5 = 1.375$ atm

$P_{O_2} = X_{O_2} \times P_{รวม} = 0.20 \times 2.5 = 0.5$ atm

$P_{H_2O} = X_{H_2O} \times P_{รวม} = 0.25 \times 2.5 = 0.625$ atm

ดังนั้น แก๊สไฮโดรเจนมีความดันย่อยเท่ากับ 1.375 บรรยากาศ แก๊สออกซิเจนมีความดันย่อยเท่ากับ 0.5 บรรยากาศ และไอน้ำมีความดันย่อยเท่ากับ 0.625 บรรยากาศ

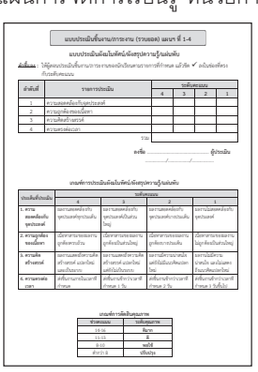
Topic Question

คำชี้แจง : ให้นักเรียนตอบคำถามต่อไปนี้

1. กฎของบอยล์ กฎของชาร์ล กฎของเกย์-ลูสแซก กฎของอาโวกาโดร และกฎความดันย่อยของดอลตัน มีใจความสำคัญว่าอย่างไร
2. สูตรในการคำนวณของกฎแก๊สอุดมคติ ความดัน ปริมาตร และอุณหภูมิต้องมีหน่วยเป็นอย่างไร
3. เมื่ออุณหภูมิคงที่ ถ้าปริมาตรของแก๊สเพิ่มขึ้น ความดันของแก๊สจะเป็นอย่างไร
4. เมื่อปริมาตรคงที่ ถ้าความดันของแก๊สลดลง อุณหภูมิของแก๊สจะเป็นอย่างไร
5. เมื่อความดันคงที่ ถ้าอุณหภูมิของแก๊สเพิ่มขึ้น ปริมาตรของแก๊สจะเป็นอย่างไร

แนวทางการวัดและประเมินผล

ครูสามารถวัดและประเมินความเข้าใจในเนื้อหา เรื่อง กฎของแก๊ส ได้จากผังมโนทัศน์ เรื่อง กฎของแก๊ส ที่นักเรียนได้สร้างและนำเสนอในขั้นขยายความเข้าใจ โดยศึกษาเกณฑ์การวัดและประเมินผลจากแบบประเมินชิ้นงาน/ภาระงาน (รวบยอด) ที่อยู่ในแผนการจัดการเรียนรู้ หน่วยการเรียนรู้ที่ 1



แนวตอบ Topic Question

1. กฎของบอยล์ “เมื่อมวลและอุณหภูมิของแก๊สคงที่ ปริมาตรของแก๊สจะแปรผกผันกับความดันของแก๊ส”
   กฎของชาร์ล “เมื่อความดันและมวลของแก๊สคงที่ ปริมาตรของแก๊สจะแปรผันตรงกับอุณหภูมิเคลวิน”
   กฎของเกย์-ลูสแซก “เมื่อปริมาตรและมวลของแก๊สคงที่ ความดันของแก๊สจะแปรผันตรงกับอุณหภูมิเคลวิน”
   กฎของอาโวกาโดร “เมื่ออุณหภูมิและความดันคงที่ ปริมาตรของแก๊สจะแปรผันตรงกับจำนวนโมเลกุลหรือจำนวนโมลของแก๊สนั้น”
   กฎความดันย่อยของดอลตัน “ความดันของแก๊สผสมที่ไม่ทำปฏิกิริยาเคมีต่อกันจะเท่ากับผลบวกของความดันย่อยต่าง ๆ ที่เป็นองค์ประกอบของแก๊สผสมนั้น”
2. ความดันต้องมีหน่วยเป็นบรรยากาศ ปริมาตรต้องมีหน่วยเป็นลิตร และอุณหภูมิต้องมีหน่วยเป็นเคลวิน
3. ความดันของแก๊สจะลดลง
4. อุณหภูมิของแก๊สจะลดลง
5. เมื่อความดันคงที่ ถ้าอุณหภูมิของแก๊สเพิ่มขึ้น ปริมาตรของแก๊สจะเพิ่มขึ้น

Summary
แก๊ส

สมบัติของแก๊ส
มีรูปร่างและปริมาตรไม่แน่นอน มีความหนาแน่นต่ำ และแก๊สต่างชนิดกันแพร่ได้เร็วไม่เท่ากัน

ความสัมพันธ์ของปริมาตร ความดัน และอุณหภูมิของแก๊ส
ปริมาตร คือ ปริมาตรของภาชนะที่บรรจุแก๊สนั้น
ความดัน คือ แรงที่กระทำต่อหน่วยพื้นที่ที่ตั้งฉากกับแรงนั้น
อุณหภูมิ เป็นมาตราส่วนที่ใช้บอกระดับความร้อน–เย็นของสาร

กฎของบอยล์

"ณ อุณหภูมิคงที่ ปริมาตรของแก๊สใด ๆ ที่มีมวลคงที่จะแปรผกผันกับความดันของแก๊สนั้น ๆ" เมื่ออุณหภูมิและมวลของแก๊สมีค่าคงที่ จะได้ว่า

$$P_1V_1 = P_2V_2 = P_3V_3 = \dots = P_nV_n = k$$

กฎของชาร์ล

"เมื่อความดันและมวลคงที่ ปริมาตรของแก๊สจะแปรผันตรงกับอุณหภูมิเคลวิน" เมื่อความดันและมวลของแก๊สมีค่าคงที่ จะได้ว่า

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2} = \frac{V_3}{T_3} = \dots = \frac{V_n}{T_n} = k$$

กฎของเกย์-ลูสแซก

"ที่มวลและปริมาตรของแก๊สคงที่ ความดันจะแปรผันตรงกับอุณหภูมิเคลวิน" เมื่อมวลและปริมาตรของแก๊สมีค่าคงที่ จะได้ว่า

$$\frac{P_1}{T_2} = \frac{P_2}{T_2} = \frac{P_3}{T_3} = \dots = \frac{P_n}{T_n} = k$$

กฎของอาโวกาโดร

"ที่ความดันและอุณหภูมิของแก๊สคงที่ ปริมาตรของแก๊สจะแปรผันตรงกับจำนวนโมเลกุลหรือจำนวนโมลของแก๊สนั้น" เมื่อความดันและอุณหภูมิของแก๊สคงที่ จะได้ว่า

$$\frac{V_1}{n_1} = \frac{V_2}{n_2} = \frac{V_3}{n_3} = \dots = \frac{V_n}{n_n} = k$$

กฎรวมแก๊ส

เป็นการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตร ความดัน และอุณหภูมิของแก๊ส

เมื่อมวลมีค่าคงที่ จะได้ว่า

$$\frac{P_1V_1}{T_1} = \frac{P_2V_2}{T_2} = \frac{P_3V_3}{T_3} = \dots = \frac{P_nV_n}{T_n} = k$$

เมื่อมวลมีค่าไม่คงที่ จะได้ว่า

$$\frac{P_1V_1}{n_1T_1} = \frac{P_2V_2}{n_2T_2} = \frac{P_3V_3}{n_3T_3} = \dots = \frac{P_nV_n}{n_nT_n} = k$$

กฎแก๊สสมบูรณ์

เป็นการรวบรวมกฎที่เกี่ยวกับแก๊สที่กล่าวมาแล้วทั้งหมด ซึ่งจะได้ความสัมพันธ์ ดังนี้

$$PV = nRT$$

กฎความดันย่อยของดอลตัน

"ความดันของแก๊สผสมที่ไม่ทำปฏิกิริยาเคมีต่อกัน จะเท่ากับผลบวกของความดันย่อยต่าง ๆ ที่เป็นองค์ประกอบของแก๊สผสมนั้น" สามารถเขียนแสดงความสัมพันธ์ได้ ดังนี้

$$P_{รวม} = P_1 + P_2 + \dots + P_n$$

ขั้นสรุป
ขยายความเข้าใจ

1. ครูให้นักเรียนอ่าน summary ประจำหน่วยการเรียนรู้ที่ 1 แก๊ส เพื่อเป็นการทบทวนความเข้าใจในเนื้อหาที่เรียนมา
2. ครูให้นักเรียนทำ Self Check จากหนังสือเรียนเคมี ม.5 เล่ม 1 เพื่อตรวจสอบตัวเอง
3. ครูให้นักเรียนทำ Unit Question 1 จากหนังสือเรียนเคมี ม.5 เล่ม 1
4. ครูให้นักเรียนทำแบบทดสอบหลังเรียน

ข้อสอบเน้นการคิด

ถ้าแยกสารละลายกรด H_2SO_4 เจือจางด้วยกระแสไฟฟ้า จะได้แก๊ส H_2 และ O_2 ดังสมการ

$$2H_2O \longrightarrow 2H_2 + O_2$$

จากการทดลองเก็บแก๊สทั้งสองไว้จนได้แก๊ส H_2 364 ลูกบาศก์เซนติเมตร ที่ STP แล้วจึงถ่ายแก๊สทั้งหมดใส่ขวดแก้วสุญญากาศที่มีขนาด 2 ลิตร ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส ความดันของแก๊สในขวดแก้ว ณ ขณะนั้นจะมีค่ากี่บรรยากาศ

1. 0.15 2. 0.21 3. 0.27 4. 0.31 5. 0.38

วิเคราะห์คำตอบ $2H_2O \longrightarrow 2H_2 + O_2$

จากสมการ เมื่อเกิดแก๊ส H_2 364 cm^3

จะเกิดแก๊ส $O_2 = \frac{364}{2} = 182\ cm^3$

รวมแก๊สที่เกิดขึ้นทั้งหมด $= 364 + 182 = 546\ cm^3$

$P_1 = 1\ atm \quad V_1 = 546\ cm^3 \quad T_1 = 273\ K$

$P_2 = ? \quad V_2 = 2{,}000\ cm^3 \quad T_2 = 273 + 37 = 310\ K$

$$\frac{P_1V_1}{T_1} = \frac{P_2V_2}{T_2}$$

$$\frac{1 \times 546}{273} = \frac{P_2 \times 2000}{310}$$

$$P_2 = \frac{1 \times 546 \times 310}{273 \times 2{,}000}$$

$$= 0.31\ atm$$

ดังนั้น ตอบข้อ 4.)

ขั้นสรุป

ตรวจสอบผล

1. ครูตรวจสอบผลจากการทำ Self Check
2. ครูตรวจสอบผลจากการทำ Unit Question 1
3. ครูตรวจสอบผลจากการทำแบบทดสอบหลังเรียน

การแพร่ของแก๊ส

การแพร่ คือ กระบวนการที่แก๊สเคลื่อนที่จากที่หนึ่งไปยังอีกที่หนึ่ง และโมเลกุลของแก๊สมีการชนกันตลอดเวลา โดยแก๊สจะเคลื่อนที่จากความเข้มข้นสูงไปยังความเข้มข้นต่ำ

การแพร่ผ่าน คือ กระบวนการที่แก๊สภายใต้ความดันค่าหนึ่งเคลื่อนที่ออกจากภาชนะที่บรรจุแก๊สนั้นผ่านรูเล็กมาก ๆ ไปสู่อีกภาชนะหนึ่ง โดยไม่เกิดการชนกัน

กฎการแพร่ผ่านของเกรแฮม กล่าวว่า "เมื่ออุณหภูมิและความดันคงที่ อัตราการแพร่ของแก๊สใด ๆ จะแปรผกผันกับรากที่สองของมวลโมเลกุล หรือความหนาแน่นของแก๊ส" เมื่อต้องการเปรียบเทียบอัตราการแพร่ผ่านหรือการแพร่ของแก๊สชนิดที่ 1 และ 2 ภายใต้อุณหภูมิและความดันเดียวกันจะได้ความสัมพันธ์ ดังนี้

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{\sqrt{M_2}}{\sqrt{M_1}} = \frac{\sqrt{d_2}}{\sqrt{d_1}}$$

เทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับสมบัติของแก๊ส

การทำน้ำแข็งแห้ง

- นำแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์มาลดอุณหภูมิและเพิ่มความดัน
- น้ำแข็งแห้งนิยมนำมาใช้ในอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องกับความเย็น หรืออุตสาหกรรมที่ต้องการอุณหภูมิต่ำ ๆ

แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ → (เพิ่มความดันและลดอุณหภูมิ) → คาร์บอนไดออกไซด์เหลว → (ทำให้แห้งและบริสุทธิ์) → คาร์บอนไดออกไซด์เหลวแห้งและบริสุทธิ์ → (เพิ่มความดันและลดอุณหภูมิ) → คาร์บอนไดออกไซด์เหลวแห้งและบริสุทธิ์ ที่ความดัน 18 atm อุณหภูมิ -25°C → (อัดผ่านรูพรุน) → คาร์บอนไดออกไซด์แข็ง (น้ำแข็งแห้ง)

การทำไนโตรเจนเหลว

- ดูดอากาศเข้าเครื่องอัดอากาศ และผ่านลงไปใน NaOH เพื่อกำจัดแก๊ส CO_2 จากนั้นผ่านอากาศเข้าเครื่องกรองเพื่อแยกน้ำมัน และทำให้แห้งด้วยสารดูดความชื้น แล้วลดอุณหภูมิอากาศแห้งจนแก๊สไนโตรเจนเปลี่ยนเป็นของเหลวแยกตัวออกมา
- ไนโตรเจนเหลวนิยมนำมาใช้ในอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องกับความเย็น และนำมาใช้ประโยชน์ในทางการแพทย์

อากาศจากเครื่องอัดอากาศ → ($NaOH$ (aq)) → อากาศที่ไม่มีแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ → (กรองน้ำมัน ทำให้แห้งโดยใช้ Al_2O_3) → อากาศแห้ง → (ลดอุณหภูมิ (-183°C) แยกออกซิเจนเหลว) → แก๊สไนโตรเจน → (ลดอุณหภูมิ (-196°C)) → ไนโตรเจนเหลว

การสกัดสารโดยใช้คาร์บอนไดออกไซด์ที่อยู่ในรูปของไหล

- เป็นเทคนิคการสกัดสารโดยการควบคุมอุณหภูมิและความดันให้เหมาะสม ซึ่งไม่ใช้ความร้อนในการสกัด จึงเหมาะสำหรับนำมาใช้กับสารที่เสื่อมสลายด้วยความร้อน

42

ข้อสอบเน้นการคิด

การทำน้ำแข็งแห้งจากแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ประกอบด้วยขั้นตอน ดังนี้

ก. เพิ่มความดันและลดอุณหภูมิ ข. ทำให้แห้งและบริสุทธิ์ ค. อัดผ่านรูพรุน

ข้อใดเรียงลำดับขั้นตอนการทำน้ำแข็งแห้งจากเริ่มต้นจนถึงขั้นสุดท้ายได้ถูกต้อง

1. ก. → ข. → ค.
2. ข. → ค. → ก.
3. ก. → ข. → ก. → ค
4. ก. → ข. → ค. → ก.
5. ข. → ก. → ข. → ค.

วิเคราะห์คำตอบ ขั้นตอนการทำน้ำแข็งแห้ง ดังนี้

แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ → (เพิ่มความดันและลดอุณหภูมิ) → คาร์บอนไดออกไซด์เหลว → (ทำให้แห้งและบริสุทธิ์) → คาร์บอนไดออกไซด์เหลวแห้งและบริสุทธิ์ → (เพิ่มความดันและลดอุณหภูมิ) → คาร์บอนไดออกไซด์เหลวแห้งและบริสุทธิ์ ที่ความดัน 18 atm อุณหภูมิ -25°C → (อัดผ่านรูพรุน) → คาร์บอนไดออกไซด์แข็ง (น้ำแข็งแห้ง)

ดังนั้น ตอบข้อ 3.)

T46

Self Check

ให้นักเรียนตรวจสอบความเข้าใจ โดยพิจารณาข้อความว่าถูกหรือผิด แล้วบันทึกลงในสมุด หากพิจารณาข้อความไม่ถูกต้อง ให้กลับไปทบทวนเนื้อหาตามหัวข้อที่กำหนดให้

	ถูก/ผิด	ทบทวนที่หัวข้อ
1. ณ อุณหภูมิเดียวกัน โมเลกุลของแก๊สแต่ละโมเลกุลจะมีพลังงานจลน์เฉลี่ยเท่ากัน		1.
2. แก๊สจริงจะมีสมบัติใกล้เคียงกับแก๊สอุดมคติเมื่ออุณหภูมิต่ำและความดันสูง		1.
3. บารอมิเตอร์และมานอมิเตอร์เป็นเครื่องมือที่ใช้วัดความดันของแก๊ส โดยบารอมิเตอร์จะมีอยู่ 2 แบบ คือ บารอมิเตอร์ปลายเปิด และบารอมิเตอร์ปลายปิด		2.
4. เมื่ออุณหภูมิและมวลของแก๊สคงที่ ถ้าความดันของแก๊สเพิ่มขึ้น 4 เท่า ปริมาตรของแก๊สจะลดลง 4 เท่า		2.1
5. เมื่อความดันและมวลของแก๊สคงที่ ถ้าอุณหภูมิของแก๊สลดลง 2 เท่า ปริมาตรของแก๊สจะลดลง 1 เท่า		2.2
6. เมื่อปริมาตรและมวลของแก๊สคงที่ ถ้าความดันของแก๊สเพิ่มขึ้น $\frac{1}{2}$ เท่า อุณหภูมิของแก๊สจะเพิ่มขึ้น $\frac{1}{2}$ เท่า		2.3
7. แก๊ส CO_2 มีมวลโมเลกุล 44 ส่วนแก๊ส NH_3 มีมวลโมเลกุล 17 ดังนั้น แก๊ส CO_2 1 โมล จะมีปริมาตรมากกว่าแก๊ส NH_3 1 โมล		2.4
8. ถ้าแก๊ส O_2 มีปริมาตรเพิ่มขึ้น 2 เท่า และมีความดันลดลง $\frac{1}{2}$ เท่า แสดงว่าอุณหภูมิของแก๊สเพิ่มขึ้น 2 เท่า		2.5
9. แก๊ส Cl_2 3 โมล ที่สภาวะ STP จะมีปริมาตรประมาณ 67 ลิตร		2.6
10. แก๊สผสมจำนวน 152 กรัม ประกอบด้วย N_2 56 กรัม ที่เหลือเป็นแก๊ส O_2 ที่ความดัน 760 มิลลิเมตรปรอท แก๊ส O_2 จะมีความดันย่อยเท่ากับ 456 มิลลิเมตรปรอท		2.7
11. การแพร่ คือ กระบวนการที่แก๊สเคลื่อนที่จากที่หนึ่งไปยังอีกที่หนึ่ง โดยผ่านรูเล็กมาก ๆ โดยโมเลกุลไม่ชนกัน		3.
12. แก๊ส CH_4 จะแพร่ได้เร็วกว่าแก๊ส N_2		3.
13. แก๊สที่มีมวลโมเลกุลมากกว่าแก๊ส CO_2 4 เท่า จะมีอัตราการแพร่ช้ากว่าแก๊ส CO_2 2 เท่า		3.
14. หลักการทำน้ำแข็งแห้ง คือ เพิ่มอุณหภูมิและลดความดันให้กับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์		4.
15. ไนโตรเจนเหลวถูกนำมาใช้ทำหมอกควันในการแสดงบนเวที		4.

บันทึกลงในสมุด

แนวตอบ Self Check

1. ถูก	2. ผิด	3. ผิด
4. ถูก	5. ผิด	6. ถูก
7. ผิด	8. ถูก	9. ถูก
10. ถูก	11. ผิด	12. ถูก
13. ถูก	14. ผิด	15. ผิด

เฉลย Unit Question

1. $V_1 = 40\ dm^3$ $V_2 = 25\ dm^3$

$P_1 = 2\ atm$ $P_2 = x\ atm$

$T_1 = 273 + 30 = 303\ K$

$T_2 = 273 + 30 = 303\ K$

จาก $\frac{P_1V_1}{T_1} = \frac{P_2V_2}{T_2}$

$\frac{(2)(40)}{(303)} = \frac{(x)(25)}{(303)}$

$x = \frac{(2)(40)(303)}{(303)(25)}$

$= 3.2\ atm$

ดังนั้น ความดันในถังใบใหม่จะมีค่าเท่ากับ 3.2 บรรยากาศ

2. $V_1 = 79.5\ cm^3$ $V_2 = X\ cm^3$

$P_1 = P_2$

$T_1 = 273 + 45 = 318\ K$

$T_2 = 273 + 0 = 273\ K$

จาก $\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$

$\frac{(79.5)}{(318)} = \frac{(x)}{(273)}$

$x = \frac{(79.5)(273)}{(318)}$

$= 68.25\ cm^3$

ดังนั้น แก๊สชนิดนี้จะมีปริมาตร 68.25 ลูกบาศก์-เซนติเมตร

3. $V_1 = 1.05\ m^3$ $V_2 = x\ m^3$

$P_1 = 755\ mmHg$ $P_2 = 625\ mmHg$

$T_1 = T_2 = 273 + 20 = 293\ K$

$T_2 = 273 + 0 = 273\ K$

จาก $\frac{P_1V_1}{T_1} = \frac{P_2V_2}{T_2}$

$\frac{(755)(1.05)}{(293)} = \frac{(625)(x)}{(293)}$

$x = \frac{(755)(1.05)(293)}{(293)(625)}$

$= 1.2684\ m^3$

ดังนั้น แก๊สชนิดนี้จะมีปริมาตร 1.2684 ลูกบาศก์เมตร

4. $V_1 = 10\ dm^3$ $V_2 = 10\ dm^3$

$P_1 = 50\ atm$ $P_2 = x\ atm$

$T_1 = 273 + 25 = 298\ K$

$T_2 = 273 + 38 = 311\ K$

จาก $\frac{P_1V_1}{T_1} = \frac{P_2V_2}{T_2}$

$\frac{(50)(10)}{(298)} = \frac{(x)(10)}{(311)}$

$x = \frac{(50)(10)(311)}{(298)(10)}$

$= 52.1812\ atm$

ดังนั้น ถังมีความดันไม่เกิน 70 บรรยากาศ ถังจึงไม่ระเบิด

5. $V_1 = 435\ cm^3$ $V_2 = 300\ cm^3$

$P_1 = 1$ atm $P_2 = X$ atm

$T_1 = 273 + 30 = 303$ K

$T_2 = 273 + 43 = 316$ K

จาก $\frac{P_1V_1}{T_1} = \frac{P_2V_2}{T_2}$

$\frac{(1)(435)}{(303)} = \frac{(x)(300)}{(316)}$

$x = \frac{(1)(435)(316)}{(300)(303)}$

$= 1.51222$ atm

ดังนั้น แก๊สชนิดนี้จะมีความดัน 1.51222 บรรยากาศ

6. จาก $n = \frac{PV}{RT}$

$n = \frac{(0.620)(0.452)}{(0.0821)(273 + 87)}$

$= 9.49 \times 10^{-3}$ โมล

ดังนั้น แก๊สสมบูรณ์นี้มีจำนวนโมลเท่ากับ 9.49×10^{-3} โมล

7. จาก $PV = \frac{g}{MW}RT$

ดังนั้น $MW = \frac{g}{PV}RT$

แทนค่า $MW = \frac{0.326}{\left(\frac{380}{760}\right)(0.5)}(0.0821)(273 + 100)$

$= 39.88$

ดังนั้น แก๊สสมบูรณ์นี้มีมวลโมเลกุลเท่ากับ 39.88

8. จาก $P_{รวม}V_{รวม} = P_1V_1 + P_2V_2$

$P_{รวม}(300) = (250)(200) + (300)(350)$

$P_{รวม} = 516.667$ torr

ดังนั้น ความดันรวมมีค่าเท่ากับ 516.667 ทอร์

Unit Question 1

คำชี้แจง : ให้นักเรียนตอบคำถามต่อไปนี้

1. แก๊สชนิดหนึ่งบรรจุอยู่ในถังขนาด 40 ลิตร ที่ความดัน 2 บรรยากาศ อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ถ้าถ่ายแก๊สนี้สู่ถังใบใหม่ซึ่งมีปริมาตร 25 ลิตร เมื่ออุณหภูมิคงที่ ความดันในถังใบใหม่จะเป็นเท่าใด
2. แก๊สชนิดหนึ่งมีปริมาตร 79.5 ลูกบาศก์เซนติเมตร ที่ 45 องศาเซลเซียส แก๊สชนิดนี้จะมีปริมาตรเท่าใด ที่ 0 องศาเซลเซียส เมื่อความดันคงที่
3. บอลลูนลูกหนึ่งบรรจุแก๊สไฮโดรเจนปริมาตร 1.05 ลูกบาศก์เมตร ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส และความดัน 755 มิลลิเมตรปรอท เมื่อปล่อยให้บอลลูนลอยขึ้นสู่อากาศในระดับสูง ปริมาตรของแก๊สไฮโดรเจนจะเป็นเท่าใด ถ้าความดันในบอลลูนลดลงเป็น 625 มิลลิเมตรปรอท และถือว่าอุณหภูมิไม่เปลี่ยนแปลง
4. ถ้าบรรจุแก๊สออกซิเจน 10 ลิตร ที่มีความดัน 50 บรรยากาศ และอุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ลงในถังที่ทนความดันได้ 70 บรรยากาศ แล้วทิ้งไว้ในโกดังเก็บของซึ่งมีอุณหภูมิ 38 องศาเซลเซียส ถังใบนี้จะระเบิดหรือไม่
5. ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ความดัน 1 บรรยากาศ แก๊สชนิดหนึ่งมีปริมาตร 435 ลูกบาศก์เซนติเมตร ถ้าปริมาตรของแก๊สลดลงเป็น 300 ลูกบาศก์เซนติเมตร และอุณหภูมิเปลี่ยนเป็น 43 องศาเซลเซียส ความดันจะมีค่าเท่าใด
6. จงคำนวณหาโมลของแก๊สสมบูรณ์แบบชนิดหนึ่ง ซึ่งมีปริมาตร 0.452 ลิตร ที่อุณหภูมิ 87 องศาเซลเซียส และความดัน 0.620 บรรยากาศ
7. จงคำนวณหามวลโมเลกุลของแก๊สสมบูรณ์แบบชนิดหนึ่ง น้ำหนัก 0.326 กรัม ซึ่งมีปริมาตร 500 ลูกบาศก์เซนติเมตร ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส และความดัน 380 ทอร์
8. เมื่อนำแก๊ส N_2 จำนวน 200 ลูกบาศก์เซนติเมตร ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ความดัน 250 ทอร์ มาผสมกับแก๊ส O_2 ที่มีปริมาตร 350 ลูกบาศก์เซนติเมตร อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส และความดัน 300 ทอร์ ในภาชนะที่มีปริมาตร 300 ลูกบาศก์เซนติเมตร จงหาความดันรวมของแก๊สผสม ถ้าแก๊สทั้งสองไม่ทำปฏิกิริยากัน
9. จงหาความหนาแน่นของแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ 740 มิลลิเมตรปรอท อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส

44

9. จาก $P = \frac{d}{MW}RT$

ดังนั้น $d = \frac{PMW}{RT}$

แทนค่า $d = \frac{\left(\frac{740}{760}\right)(64)}{(0.0821)(273 + 37)}$

$= 245.14\ g/dm^3$

ดังนั้น แก๊ส SO_2 มีความหนาแน่นเท่ากับ 2.4514 กรัม/ลูกบาศก์เดซิเมตร

10. จาก $n_{H_2} = \frac{g}{MW} = \frac{0.174}{2} = 0.087$

$n_{N_2} = \frac{g}{MW} = \frac{1.365}{28} = 0.04875$

$n_{รวม} = 0.087 + 0.04875 = 0.13575$

จะได้ว่า

เศษส่วนโดยมวลของ $H_2 = \frac{0.087}{0.13575} = 0.64$

เศษส่วนโดยมวลของ $N_2 = \frac{0.04875}{0.13575} = 0.36$

จาก $P_{รวม}V_{รวม} = n_{รวม}RT$

ดังนั้น $P_{รวม} = \frac{n_{รวม}}{V_{รวม}}RT$

$P_{รวม} = \frac{0.13575}{2.3}(0.0821)(273 + 0)$

$= 1.32$ atm