MAC 4.0

หนังสือเรียนรายวิชาเพิ่มเติม

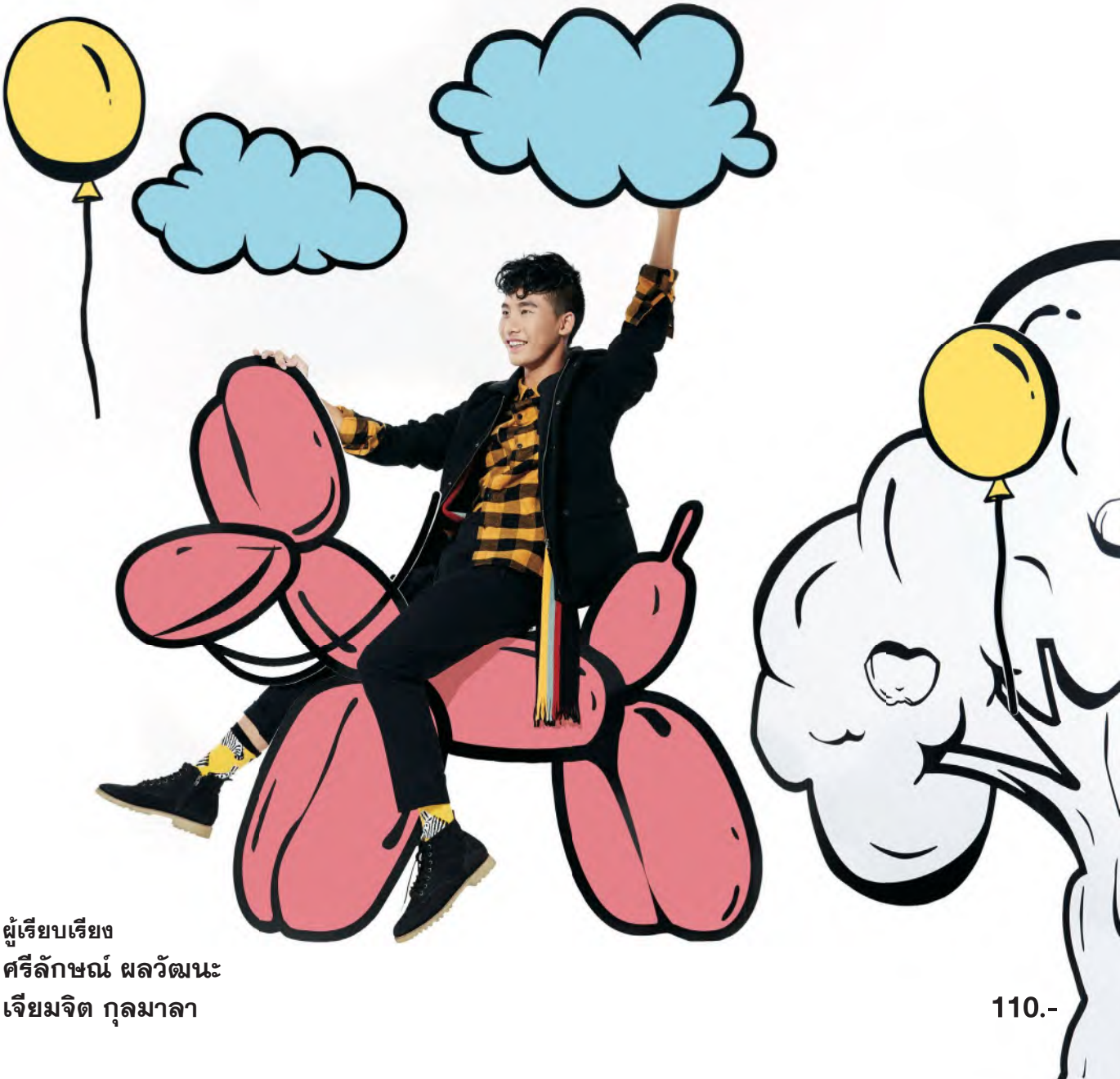
วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

เคมี ม.5

ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5

เล่ม 1

ตามผลการเรียนรู้ กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2560)
ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551



ผู้เรียบเรียง
ศรีลักษณ์ ผลวัฒนะ
เจียมจิต กุลมาลา

110.-

คำอธิบายรายวิชาเพิ่มเติม

เคมี **กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี**

ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 เล่ม 1 **เวลา 60 ชั่วโมง จำนวน 1.5 หน่วยกิต**

ศึกษาเกี่ยวกับความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตร ความดัน และอุณหภูมิของแก๊ส การวัดอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี การเกิดปฏิกิริยาเคมี ปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี ปฏิกิริยาผันกลับได้กับภาวะสมดุล ค่าคงที่สมดุล ปัจจัยที่มีผลต่อภาวะสมดุลและค่าคงที่สมดุล และสมดุลเคมีในสิ่งมีชีวิตและสิ่งแวดล้อม

โดยจัดการเรียนการสอนให้นักเรียนได้ศึกษา ค้นคว้า นำความรู้ที่ได้ไปประยุกต์ใช้ในชีวิตประจำวันควบคู่ไปกับคุณธรรมและจริยธรรม และมีคุณลักษณะอันพึงประสงค์ ได้แก่ การใช้กระบวนการทางวิทยาศาสตร์ และจิตวิทยาศาสตร์ในการสืบเสาะหาความรู้และการแก้ปัญหา มีความรอบคอบ มีความรับผิดชอบ พร้อมทั้งตระหนักว่าวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และสิ่งแวดล้อมมีความเกี่ยวข้องสัมพันธ์กัน

ผลการเรียนรู้

1. อธิบายความสัมพันธ์และคำนวณปริมาตร ความดัน หรืออุณหภูมิของแก๊สที่ภาวะต่างๆ ตามกฎของบอยล์ กฎของชาร์ล กฎของเกย์-ลูสแซก
2. คำนวณปริมาตร ความดัน หรืออุณหภูมิของแก๊สที่ภาวะต่างๆ ตามกฎรวมแก๊ส
3. คำนวณปริมาตร ความดัน อุณหภูมิ จำนวนโมล หรือมวลของแก๊ส จากความสัมพันธ์ตามกฎของอาโวกาโดร และกฎแก๊สอุดมคติ
4. คำนวณความดันย่อยหรือจำนวนโมลของแก๊สในแก๊สผสม โดยใช้กฎความดันย่อยของดอลตัน
5. อธิบายการแพร่ของแก๊สโดยใช้ทฤษฎีจลน์ของแก๊ส คำนวณและเปรียบเทียบอัตราการแพร่ของแก๊ส โดยใช้กฎการแพร่ผ่านของเกรแฮม
6. สืบค้นข้อมูล นำเสนอตัวอย่าง และอธิบายการประยุกต์ใช้ความรู้เกี่ยวกับสมบัติและกฎต่างๆ ของแก๊สในการอธิบายปรากฏการณ์ หรือแก้ปัญหาในชีวิตประจำวันและในอุตสาหกรรม
7. ทดลอง และเขียนกราฟการเพิ่มขึ้นหรือลดลงของสารที่ทำการวัดในปฏิกิริยา
8. คำนวณอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี และเขียนกราฟการลดลงหรือเพิ่มขึ้นของสารที่ไม่ได้วัดในปฏิกิริยา
9. เขียนแผนภาพ และอธิบายทิศทางการชนกันของอนุภาคและพลังงานที่ส่งผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี
10. ทดลอง และอธิบายผลของความเข้มข้น พื้นที่ผิวของสารตั้งต้น อุณหภูมิ และตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี
11. เปรียบเทียบอัตราการเกิดปฏิกิริยาเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้น พื้นที่ผิวของสารตั้งต้น อุณหภูมิ และตัวเร่งปฏิกิริยา
12. ยกตัวอย่าง และอธิบายปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีในชีวิตประจำวันหรืออุตสาหกรรม
13. ทดสอบ และอธิบายความหมายของปฏิกิริยาผันกลับได้และภาวะสมดุล
14. อธิบายการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสาร อัตราการเกิดปฏิกิริยาไปข้างหน้า และอัตราการเกิดปฏิกิริยาย้อนกลับเมื่อเริ่มปฏิกิริยาจนกระทั่งอยู่ในภาวะสมดุล
15. คำนวณค่าคงที่สมดุลของปฏิกิริยา
16. คำนวณความเข้มข้นของสารที่ภาวะสมดุล
17. คำนวณค่าคงที่สมดุลหรือความเข้มข้นของปฏิกิริยาหลายขั้นตอน
18. ระบุปัจจัยที่มีผลต่อภาวะสมดุลและค่าคงที่สมดุลของระบบ รวมทั้งคาดคะเนการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นเมื่อภาวะสมดุลของระบบถูกรบกวน โดยใช้หลักของเลอชาเตอลิเอ
19. ยกตัวอย่าง และอธิบายสมดุลเคมีของกระบวนการที่เกิดขึ้นในสิ่งมีชีวิต ปรากฏการณ์ในธรรมชาติและกระบวนการในอุตสาหกรรม

รวมทั้งหมด 19 ผลการเรียนรู้

หนังสือเรียนรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

เคมี

ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 เล่ม 1

ตามผลการเรียนรู้
กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
(ฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2560)
ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551

ผู้เรียบเรียง ศรีลักษณ์ ผลวัฒนะ
เจียมจิต กุลมาลา

ผู้ตรวจ รศ. ดร.คณิตา ตังคณานุรักษ์
ดร.ธีระชาติ ลิ้ประเสริฐ
ดร.ลัดดา ผลวัฒนะ

บรรณาธิการ รศ. ดร.นิพนธ์ ตังคณานุรักษ์

หนังสือเรียนรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

เคมี

ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 เล่ม 1

ตามผลการเรียนรู้
กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
(ฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2560)
ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551

ผู้เรียบเรียง ศรีลักษณ์ ผลวัฒนะ
เจียมจิต กุลมาลา

ผู้ตรวจ รศ. ดร.คณิตา ตังคณานุรักษ์
ดร.ธีระชาติ สี้ประเสริฐ
ดร.ลัดดา ผลวัฒนะ

บรรณาธิการ รศ. ดร.นิพนธ์ ตังคณานุรักษ์

ข้อมูลทางบรรณานุกรมของสำนักหอสมุดแห่งชาติ
ศรีลักษณ์ ผลวัฒนะ.
หนังสือเรียนรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี เคมี ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 เล่ม 1.--กรุงเทพฯ : แม็คเอ็ดดูเคชั่น, 2562.
276 หน้า.
1. เคมี--การศึกษาและการสอน (มัธยมศึกษา).
I. เจียมจิต กุลมาลา, ผู้แต่งร่วม. II. ชื่อเรื่อง.

540.7
ISBN 978-616-345-148-4

พิมพ์ครั้งที่ 1
จำนวน 17,000 เล่ม
สงวนลิขสิทธิ์ : มกราคม 2563

สงวนลิขสิทธิ์ตามกฎหมาย ห้ามลอกเลียน ไม่ว่าจะเป็นส่วนหนึ่งส่วนใด ของหนังสือเล่มนี้ นอกจากจะได้รับอนุญาตเป็นลายลักษณ์อักษร

จัดทำโดย

IMACEDUCATION

ส่งธนาณัติสั่งจ่าย **ไปรษณีย์ลาดพร้าว**
ในนาม **บริษัท แม็คเอ็ดดูเคชั่น จำกัด**
9/99 อาคารแม็ค ซอยลาดพร้าว 38 ถนนลาดพร้าว
แขวงจันทรเกษม เขตจตุจักร กรุงเทพฯ 10900
โทร. 0-2512-0661, 0-2938-2022-7 แฟกซ์ 0-2938-2028
www.MACeducation.com

พิมพ์ที่ : บริษัท เพิ่มทรัพย์ การพิมพ์ จำกัด

คำชี้แจง

ตามที่กระทรวงศึกษาธิการโดยสำนักงานคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐานได้ดำเนินการทบทวนหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551 โดยในระยะแรกให้ปรับปรุงมาตรฐานการเรียนรู้และตัวชี้วัด กลุ่มสาระการเรียนรู้คณิตศาสตร์ วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี และสาระภูมิศาสตร์ในกลุ่มสาระการเรียนรู้สังคมศึกษา ศาสนา และวัฒนธรรม สำหรับใช้ในปีการศึกษา 2561 ในชั้นประถมศึกษาปีที่ 1 และ 4 และชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 และ 4 ปีการศึกษา 2562 ให้ใช้ในชั้นประถมศึกษาปีที่ 1, 2, 4 และ 5 และชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1, 2, 4 และ 5 และตั้งแต่ปีการศึกษา 2563 เป็นต้นไปให้ใช้ในทุกชั้นเรียน ซึ่งการปรับหลักสูตรครั้งนี้มีเป้าหมายสำคัญเพื่อให้โรงเรียนสามารถจัดกระบวนการเรียนรู้ที่จะช่วยให้ผู้เรียนมีความคิดริเริ่มสร้างสรรค์ สามารถวิเคราะห์ปัญหาหรือสถานการณ์ได้อย่างรอบคอบ สามารถใช้เทคโนโลยีที่เหมาะสมในการบูรณาการกับความรู้ทางด้านวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์เพื่อแก้ปัญหาหรือพัฒนาด้านกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมที่นำไปสู่การคิดค้นสิ่งประดิษฐ์หรือสร้างสรรค์นวัตกรรม นอกจากนี้ยังให้เกิดการรู้เรื่องภูมิศาสตร์ (Geo-literacy) ทั้งด้านความสามารถทางภูมิศาสตร์ กระบวนการทางภูมิศาสตร์ และทักษะทางภูมิศาสตร์ เพื่อให้มีความรู้ความเข้าใจได้อย่างถูกต้องและนำความรู้ไปประยุกต์ใช้ในการดำเนินชีวิต

ด้วยตระหนักถึงความสำคัญของการปรับเปลี่ยนหลักสูตรข้างต้น บริษัท แม็คเอ็ดดูเคชั่น จำกัด จึงได้มอบหมายให้ผู้เชี่ยวชาญด้านหลักสูตร ด้านการพัฒนาสื่อการเรียนรู้ และด้านการวัดและประเมินผล ได้ปรับปรุงพัฒนาหนังสือเรียนให้สอดคล้องมาตรฐานการเรียนรู้ ตัวชี้วัด ของหลักสูตรในกลุ่มสาระการเรียนรู้ที่มีการเปลี่ยนแปลง และให้สอดคล้องกับการพัฒนาทรัพยากรมนุษย์ที่กำหนดไว้ในแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ ฉบับที่ 12 แผนการศึกษาแห่งชาติ พ.ศ. 2560-2579 และยุทธศาสตร์ชาติ 20 ปี

โดยหนังสือเรียนแต่ละหน่วยการเรียนรู้จะให้ผู้ใช้หนังสือเรียนได้ทราบเป้าหมายการเรียนรู้ในตอนต้นหน่วยการเรียนรู้ จากสาระการเรียนรู้และตัวชี้วัดชั้นปี และทุกหัวข้อหลักจะนำเสนอแนวคิดสำคัญเพื่อให้ทราบถึงสิ่งที่เป็นความรู้ ความคิดที่เป็นแก่นสำคัญที่ต้องเรียนรู้ให้ลึกซึ้ง และการเรียนรู้ที่ดีผู้เรียนควรได้ตรวจสอบความรู้ความเข้าใจเป็นระยะ ๆ ก่อนเรียนเรื่องใหม่ ดังนั้น ในหนังสือเรียนจะมีการสอดแทรกกิจกรรมตรวจสอบการเรียนรู้ที่สัมพันธ์กับเรื่องที่ได้เรียนผ่านมา เพื่อให้ผู้เรียนได้ตรวจสอบ

ตนเอง หรือบางหัวข้ออาจเป็นการฝึกทักษะให้ชำนาญก่อน สิ่งที่เพิ่มเติมในหนังสือเรียนเล่มนี้ คือ กิจกรรมเพื่อส่งเสริมความคิดสร้างสรรค์ เพื่อให้ผู้เรียนเกิดทักษะการคิดสร้างสรรค์ การคิดวิเคราะห์ การแก้ปัญหา นำไปสู่การสร้างผลิตภัณฑ์หรือนวัตกรรม ซึ่งผู้สอนสามารถนำไปประยุกต์หรือดัดแปลงให้เหมาะสมกับบริบทของโรงเรียนและผู้เรียน การศึกษาค้นคว้าเพิ่มเติมโดยใช้เทคโนโลยีการสื่อสารและสารสนเทศ (ICT) เป็นสิ่งจำเป็นที่ต้องค้นคว้าเพิ่มเติม ดังนั้นในหนังสือเรียนเล่มนี้จึงได้มีการเสริมเนื้อหาเพิ่มเติมที่ได้ผ่านการคัดกรองมาแล้วว่าเหมาะสมกับการเรียนรู้ แทรกไว้ในเนื้อหาบางหน่วย โดยใช้สัญลักษณ์ MAC Link ผู้เรียนสามารถใช้สมาร์ตโฟนสแกน QR Code หรือเปิดเว็บไซต์ MAC education.com เพื่อเข้าเมนู การศึกษาพื้นฐาน >>> MAC Link และเลือกเปิดดูส่วนเสริมของบทเรียนในหนังสือแต่ละเล่มได้ ท้ายหน่วยการเรียนรู้ทุกหน่วยจะมีการสรุปบทเรียนสำหรับให้ผู้เรียนได้ใช้เป็นข้อมูลสำคัญในการตรวจสอบองค์ความรู้ที่ควรได้รับการพัฒนาหลังจากเสร็จสิ้นการเรียน หรือเป็นสาระสำคัญที่ควรจดจำและทำความเข้าใจให้ถ่องแท้ ซึ่งนับว่าเป็นส่วนสำคัญอีกส่วนหนึ่งในการปรับปรุงหนังสือเรียนครั้งนี้ที่ได้พัฒนาให้ชัดเจนยิ่งขึ้น

บริษัท แม็คเอ็ดดูเคชั่น จำกัด หวังเป็นอย่างยิ่งว่า หนังสือเรียนเล่มนี้จะมีคุณค่า มีประโยชน์ และช่วยส่งเสริมการปฏิรูปการศึกษา เพื่อเป็นรากฐานสำคัญที่จะช่วยทำให้ประเทศไทยก้าวสู่ประเทศที่มีการพัฒนาอย่างยั่งยืนด้วยการมีพลเมืองที่มีคุณภาพ มีความคิดสร้างสรรค์ ตามเจตนารมณ์ของการปรับปรุงหลักสูตรครั้งนี้ และนโยบายประเทศไทย 4.0

บริษัท แม็คเอ็ดดูเคชั่น จำกัด

คำนำ

หนังสือเรียนรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี เคมี ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 เล่ม 1 ได้พัฒนาและปรับทั้งเนื้อหา กิจกรรมการทดลอง ภาพประกอบ กิจกรรมตรวจสอบการเรียนรู้ กิจกรรมเพื่อส่งเสริมความคิดสร้างสรรค์ และคำถามท้ายหน่วยการเรียนรู้ให้ตรงตามผลการเรียนรู้ กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2560) ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551

ผู้เรียบเรียงได้ศึกษาผลการเรียนรู้ กระบวนการจัดการเรียนรู้ และแนวทางในการวัดและประเมินผล นำมาจัดทำโครงสร้างสำหรับหลักสูตรชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 โดยเลือกเนื้อหา กระบวนการเรียนการสอน การทำกิจกรรม ทักษะการคิด การวัดผลและประเมินผล ผ่านการนำเสนอด้วยการเรียนรู้แบบลงมือปฏิบัติ (Active Learning) ที่เหมาะสมกับผู้เรียนในระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 เพื่อพัฒนาผู้เรียนให้เกิดการเรียนรู้ เข้าใจหลักการทางวิทยาศาสตร์ ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ วิธีการสำรวจตรวจสอบข้อมูล การคิดแก้ปัญหา ตลอดจนการเสริมสร้างจิตวิทยาศาสตร์ นอกจากนี้ยังมุ่งเน้นให้ผู้เรียนได้ฝึกฝนและพัฒนาให้เกิดทักษะแห่งศตวรรษที่ 21 ที่สำคัญ ด้วยกิจกรรมเพื่อส่งเสริมความคิดสร้างสรรค์ที่ช่วยให้ผู้เรียนมีทักษะในการแสวงหาความรู้ด้วยตนเอง การคิดสร้างสรรค์ การคิดวิเคราะห์ การแก้ปัญหา การทำงานร่วมกัน นำไปสู่การพัฒนาผลิตภัณฑ์หรือนวัตกรรมที่ก่อให้เกิดประโยชน์ต่อการศึกษาและนำไปใช้ในชีวิตประจำวัน ซึ่งเป็นคำตอบของการศึกษาวิชาวิทยาศาสตร์

หนังสือเรียนเล่มนี้ประกอบด้วย 8 หน่วยการเรียนรู้ แต่ละหน่วยการเรียนรู้ได้สรุปสาระการเรียนรู้ ระบุผลการเรียนรู้ มีภาพและคำถามเข้าสู่บทเรียน แนวคิดสำคัญของแต่ละเรื่อง กิจกรรมตรวจสอบการเรียนรู้ กิจกรรมเพื่อส่งเสริมความคิดสร้างสรรค์ เนื้อหา และคำถามท้ายหน่วยการเรียนรู้เพื่อเป็นการวัดและประเมินผลการเรียนรู้ของผู้เรียน

หวังเป็นอย่างยิ่งว่าหนังสือเล่มนี้จะก่อให้เกิดประโยชน์ต่อการเรียนการสอนตามแนวปฏิรูปการศึกษา และมีคุณภาพตรงตามผลการเรียนรู้ หากมีข้อบกพร่องประการใด ผู้เรียบเรียงขอน้อมรับคำแนะนำด้วยความขอบคุณยิ่ง

ศรีลักษณ์ ผลวัฒนะ
เจียมจิต กุลมาลา

สารบัญ

ตอนที่ 1 แก๊สและสมบัติของแก๊ส 1–59

หน่วยการเรียนรู้ที่ 1 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตร ความดัน อุณหภูมิ และจำนวนโมลของแก๊ส 2

1. ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับสมบัติของแก๊ส 5
2. ทฤษฎีจลน์ของแก๊ส 6
3. ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรกับความดันของแก๊สตามกฎของบอยล์ 11
4. ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรกับอุณหภูมิของแก๊สตามกฎของชาร์ล 18
5. ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตร อุณหภูมิ และความดันของแก๊สตามกฎรวมแก๊ส 25
6. ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรกับจำนวนโมเลกุลของแก๊สตามกฎของอาโวกาโดร และกฎของเกย์–ลูสแซก 28
7. กฎแก๊สอุดมคติ 30
8. กฎความดันย่อยของดอลตัน 34
9. การแพร่ของแก๊สและกฎการแพร่ผ่านของเกรแฮม 42
10. การประยุกต์ใช้ความรู้เกี่ยวกับสมบัติและกฎต่าง ๆ ของแก๊สในการอธิบายปรากฏการณ์หรือแก้ปัญหาในชีวิตประจำวันและในอุตสาหกรรม 51

คำถามท้ายหน่วยการเรียนรู้ 57

ตอนที่ 2 อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี 60–146

หน่วยการเรียนรู้ที่ 2 การวัดอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี 61

1. การเปลี่ยนแปลงปริมาณของสารตั้งต้นและผลิตภัณฑ์เมื่อเกิดปฏิกิริยาเคมี 64
2. ความหมายของอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีและการเลือกใช้สารในปฏิกิริยาเพื่อใช้วัดอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี 66

คำถามท้ายหน่วยการเรียนรู้ 83

หน่วยการเรียนรู้ที่ 3 การเกิดปฏิกิริยาเคมี 85

1. การดำเนินไปของปฏิกิริยาเคมี 87
2. ปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดปฏิกิริยาเคมี 92

คำถามท้ายหน่วยการเรียนรู้ 102

หน่วยการเรียนรู้ที่ 4 ปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี 105
1. ความเข้มข้นของสารตั้งต้นกับอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี 108
2. พื้นที่ผิวของสารตั้งต้นกับอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี 113
3. อุณหภูมิกับอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี 117
4. ตัวเร่งปฏิกิริยาและตัวยับยั้งปฏิกิริยากับอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี 122
5. ธรรมชาติของสารตั้งต้นกับอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี 132
6. อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีกับชีวิตประจำวันและอุตสาหกรรม 133
คำถามท้ายหน่วยการเรียนรู้ 142

ตอนที่ 3 สมดุลเคมี 147–265

หน่วยการเรียนรู้ที่ 5 ปฏิกิริยาผันกลับได้กับภาวะสมดุล 148
1. ปฏิกิริยาผันกลับไม่ได้กับปฏิกิริยาผันกลับได้ 151
2. ภาวะสมดุล 157
คำถามท้ายหน่วยการเรียนรู้ 174

หน่วยการเรียนรู้ที่ 6 ค่าคงที่สมดุล 175
1. ค่าคงที่สมดุลของปฏิกิริยาขั้นตอนเดียว 177
2. การคำนวณเกี่ยวกับค่าคงที่สมดุลของปฏิกิริยาขั้นตอนเดียว 188
3. ค่าคงที่สมดุลของปฏิกิริยาหลายขั้นตอนและการคำนวณ 199
คำถามท้ายหน่วยการเรียนรู้ 205

หน่วยการเรียนรู้ที่ 7 ปัจจัยที่มีผลต่อภาวะสมดุลและค่าคงที่สมดุล 208
1. หลักของเลอชาเตอลิเอ 211
2. การรบกวนภาวะสมดุลของระบบและการปรับตัวของระบบเข้าสู่ภาวะสมดุลใหม่ 213
3. ค่าคงที่สมดุลกับอุณหภูมิ 236
4. ค่าคงที่สมดุลกับความเข้มข้นหรือความดัน 240
คำถามท้ายหน่วยการเรียนรู้ 246

หน่วยการเรียนรู้ที่ 8 สมดุลเคมีในสิ่งมีชีวิตและสิ่งแวดล้อม 249

1. สมดุลเคมีในสิ่งมีชีวิต 251
2. สมดุลเคมีในสิ่งแวดล้อม 256
3. การใช้หลักของเลอชาเตอลิเอในอุตสาหกรรม 259

คำถามท้ายหน่วยการเรียนรู้ 264

บรรณานุกรม 266

อภิธานศัพท์ 267

ตอนที่ 1
แก๊สและสมบัติของแก๊ส

สารรอบตัวที่มีสถานะเป็นแก๊สมีจำนวนมากหลายชนิด และเกี่ยวข้องกับการดำรงชีวิตของสิ่งมีชีวิตและสิ่งแวดล้อม สมบัติเกี่ยวกับการเคลื่อนที่ของโมเลกุลของแก๊ส ปริมาตรของแก๊สที่เกี่ยวข้องกับความดัน อุณหภูมิ จำนวนโมล หรือมวลของแก๊ส สมบัติของแก๊สเกี่ยวกับรูปร่าง ปริมาตร และความดันที่แก๊สมีต่อวัตถุ ถ้าศึกษาให้เข้าใจจะสามารถนำความรู้มาใช้ประโยชน์ได้

หน่วยการเรียนรู้ที่ 1
ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตร ความดัน อุณหภูมิ และจำนวนโมลของแก๊ส

หน่วยการเรียนรู้ที่

1

ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตร ความดัน อุณหภูมิ และจำนวนโมล ของแก๊ส

สาระการเรียนรู้

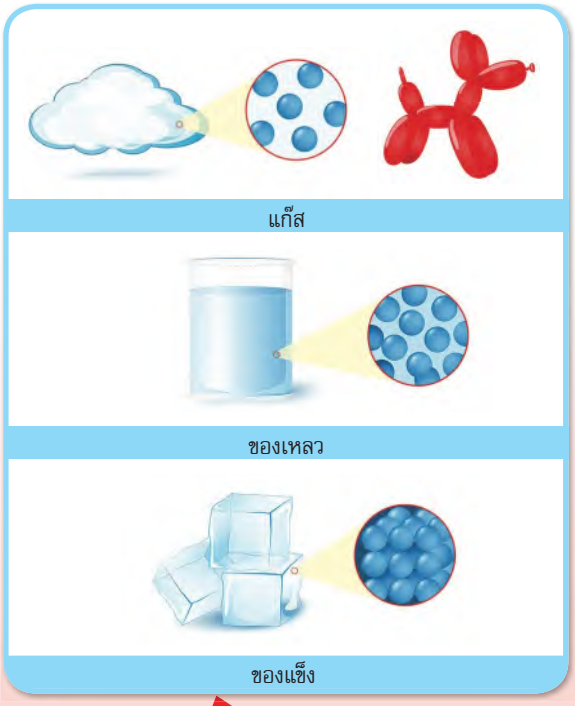
1. ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับสมบัติของแก๊ส
2. ทฤษฎีจลน์ของแก๊ส
3. ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรกับความดันของแก๊สตามกฎของบอยล์
4. ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรกับอุณหภูมิของแก๊สตามกฎของชาร์ล
5. ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตร อุณหภูมิ และความดันของแก๊สตามกฎรวมแก๊ส
6. ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรกับจำนวนโมเลกุลของแก๊สตามกฎของอาโวกาโดรและกฎของเกย์-ลูสแซก
7. กฎแก๊สอุดมคติ
8. กฎความดันย่อยของดอลตัน
9. การแพร่ของแก๊สและกฎการแพร่ผ่านของเกรแฮม
10. การประยุกต์ใช้ความรู้เกี่ยวกับสมบัติและกฎต่าง ๆ ของแก๊สในการอธิบายปรากฏการณ์หรือแก้ปัญหาในชีวิตประจำวันและในอุตสาหกรรม

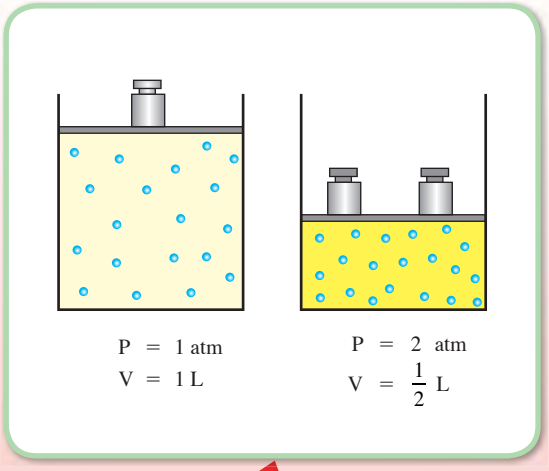
ผลการเรียนรู้

1. อธิบายความสัมพันธ์และคำนวณปริมาตร ความดัน หรืออุณหภูมิของแก๊สที่ภาวะต่าง ๆ ตามกฎของบอยล์ กฎของชาร์ล กฎของเกย์-ลูสแซก
2. คำนวณปริมาตร ความดัน หรืออุณหภูมิของแก๊สที่ภาวะต่าง ๆ ตามกฎรวมแก๊ส
3. คำนวณปริมาตร ความดัน อุณหภูมิ จำนวนโมล หรือมวลของแก๊สจากความสัมพันธ์ตามกฎของอาโวกาโดรและกฎแก๊สอุดมคติ
4. คำนวณความดันย่อยหรือจำนวนโมลของแก๊สในแก๊สผสมโดยใช้กฎความดันย่อยของดอลตัน
5. อธิบายการแพร่ของแก๊สโดยใช้ทฤษฎีจลน์ของแก๊ส คำนวณและเปรียบเทียบอัตราการแพร่ของแก๊สโดยใช้กฎการแพร่ผ่านของเกรแฮม
6. สืบค้นข้อมูล นำเสนอตัวอย่างและอธิบายการประยุกต์ใช้ความรู้เกี่ยวกับสมบัติและกฎต่าง ๆ ของแก๊สในการอธิบายปรากฏการณ์ หรือแก้ปัญหาในชีวิตประจำวันและในอุตสาหกรรม

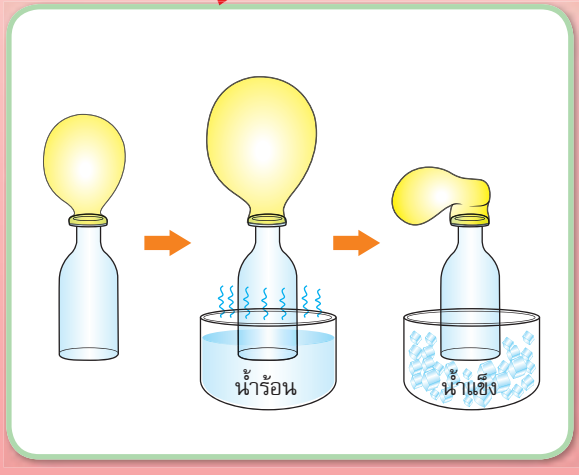
ปิติใกล้ถึงเวลาพักกลางวันแล้วสินะ
กลิ่นอาหารลอยมาหอมเชียว
ชูใจเธอรู้ไหมทำไม
เราจึงได้กลิ่นของอาหาร
ไปช่วยปิติกับชูใจหาคำตอบกัน

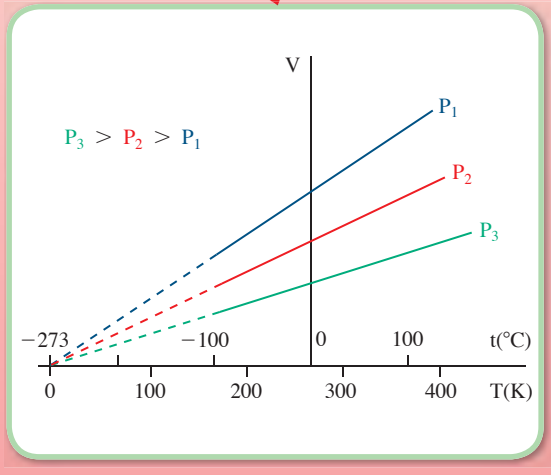
สารที่มีสถานะเป็นแก๊สจะมีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างอนุภาคน้อยมาก เคลื่อนที่ได้ทุกทิศทาง ทำให้การจัดเรียงอนุภาคไม่เป็นระเบียบ รูปร่างและปริมาตรไม่คงที่ มีช่องว่างระหว่างอนุภาคมาก ซึ่งปริมาตรของแก๊สขึ้นอยู่กับความดันและอุณหภูมิของสิ่งแวดล้อม สามารถคำนวณหาปริมาตรของแก๊สได้โดยใช้กฎของบอยล์ กฎของชาร์ล และกฎรวมแก๊ส ถ้าทราบข้อมูลที่เกี่ยวข้อง





ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตร ความดัน อุณหภูมิ และจำนวนโมลของแก๊ส





1. ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับสมบัติของแก๊ส

แนวคิดสำคัญ

แก๊สเป็นอนุภาคที่มีขนาดเล็ก ฟุ้งกระจายไปทุกทิศทาง เนื่องจากมีพลังงานจลน์มากจึงทำให้อนุภาคไม่เป็นระเบียบ มีช่องว่างระหว่างอนุภาคมาก มีแรงดัน ปริมาตร และรูปร่างไม่คงที่

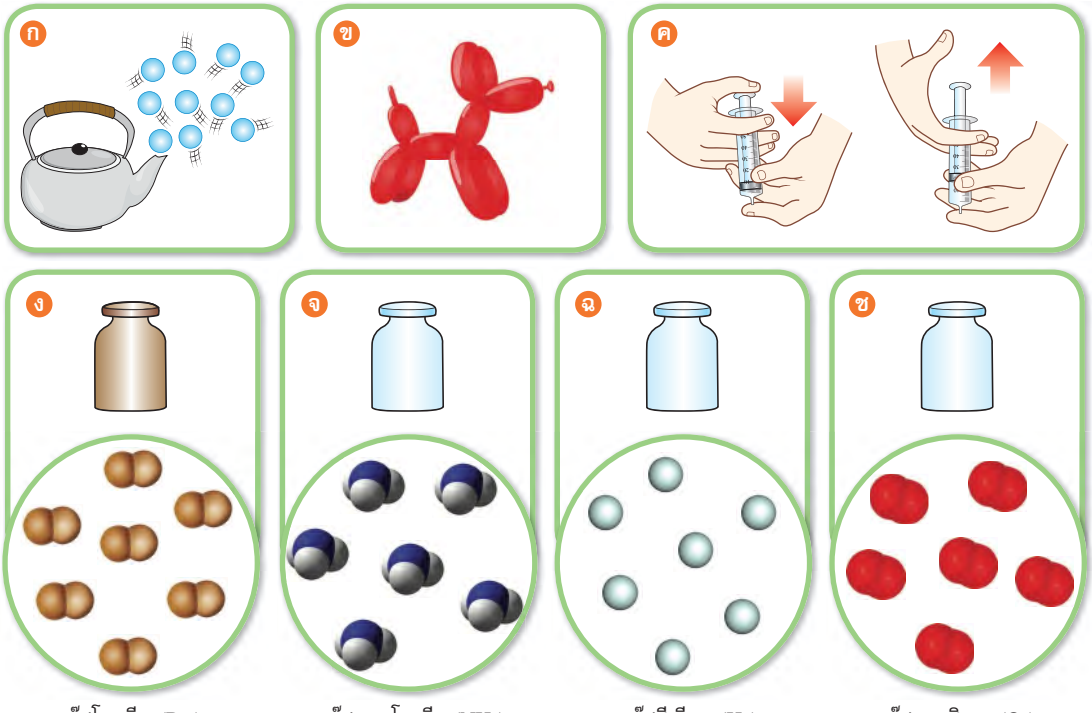
แก๊สมีสมบัติทั่วไปเป็นอย่างไร ศึกษาได้จากการทำกิจกรรมที่ 1.1

กิจกรรมเพื่อการเรียนรู้

กิจกรรมที่ 1.1 *สมบัติของแก๊ส*

วิธีปฏิบัติ

ให้นักเรียนจับคู่เป็นเพื่อนคู่คิด ศึกษารูป ก–ช คิดวิเคราะห์ ตอบคำถามท้ายกิจกรรม สืบค้นข้อมูลเพิ่มเติม แล้วสรุปองค์ความรู้



คำถามท้ายกิจกรรม

1. อนุภาคของแก๊สมีลักษณะอย่างไร เพราะเหตุใด
2. อนุภาคของแก๊สอยู่เป็นโมเลกุลหรืออะตอม
3. อนุภาคของแก๊สเคลื่อนที่อย่างไร และมีผลอย่างไรต่อปริมาตรและรูปร่างของแก๊ส
4. แก๊สทุกชนิดมีสีหรือไม่ อย่างไร
5. แก๊สมีแรงดันหรือไม่ และทราบได้อย่างไร
6. สรุปองค์ความรู้ที่ได้จากการทำกิจกรรม

จากการทำกิจกรรรมที่ 1.1 และสืบค้นความรู้เพิ่มเติม สรุปสมบัติของแก๊สได้ดังนี้

1. การจัดเรียงอนุภาคของแก๊สไม่เป็นระเบียบ ฟุ้งกระจายทุกทิศทาง เนื่องจากมีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างอนุภาคน้อยมาก

2. อนุภาคของแก๊สมีทั้งที่อยู่เป็นโมเลกุล เช่น แก๊สแอมโมเนีย (NH_3) ซึ่ง 1 โมเลกุล มี 4 อะตอม แก๊สคลอรีน (Cl_2) และแก๊สออกซิเจน (O_2) ซึ่ง 1 โมเลกุล มี 2 อะตอม หรืออยู่เป็นอะตอมเดี่ยว ได้แก่ แก๊สมีสกุลหรือแก๊สเฉื่อย เช่น แก๊สฮีเลียม (He) แก๊สนีออน (Ne) แก๊สอาร์กอน (Ar) แก๊สคริปทอน (Kr) และแก๊สซีนอน (Xe)

3. อนุภาคของแก๊สมีพลังงานจลน์ เคลื่อนที่ได้ทุกทิศทาง แรงยึดเหนี่ยวระหว่างอนุภาคน้อยมาก จึงมีผลทำให้รูปร่างและปริมาตรไม่คงที่

4. แก๊สบางชนิดมีสี เช่น แก๊สคลอรีนมีสีเขียวอ่อน แก๊สโบรมีนมีสีน้ำตาลส้ม แก๊สไนโตรเจนไดออกไซด์มีสีน้ำตาล ไอของไอโอดีนมีสีม่วงแดง และบางชนิดไม่มีสี เช่น แก๊สออกซิเจน แก๊สมีเทน แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ แก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์

5. แก๊สมีแรงดันซึ่งสามารถทดสอบได้ เช่น การเป่าลูกโป่ง การสูบยางรถจักรยานหรือรถยนต์

2. ทฤษฎีจลน์ของแก๊ส

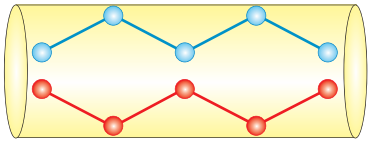
แนวคิดสำคัญ

ทฤษฎีจลน์ของแก๊สใช้อธิบายสมบัติของแก๊สสมบูรณ์หรือแก๊สอุดมคติซึ่งกล่าวว่า แก๊สมีขนาดอนุภาคเล็กมาก ไม่มีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุล เคลื่อนที่ตลอดเวลา เมื่อชนกันเองหรือชนกับผนังภาชนะจะเปลี่ยนทิศทาง โมเลกุลของแก๊สมีพลังงานจลน์และที่อุณหภูมิเดียวกันแก๊สทุกชนิดจะมีพลังงานจลน์เท่ากัน ค่าของพลังงานจลน์จะแปรผันตรงกับอุณหภูมิเคลวิน

ทฤษฎีจลน์ของแก๊ส (kinetic theory of gas) เป็นทฤษฎีที่นักวิทยาศาสตร์ใช้อธิบายลักษณะและสมบัติของแก๊สโดยทั่วๆ ไป ทฤษฎีจลน์ของแก๊สซึ่งสอดคล้องกับสมบัติและการเคลื่อนที่ของโมเลกุลของแก๊ส มีสาระสำคัญดังนี้

ทฤษฎีจลน์ของแก๊ส

1. แก๊สประกอบด้วยอนุภาคจำนวนมาก ที่มีขนาดเล็กจนถือได้ว่าอนุภาคแก๊ส ไม่มีปริมาตรเมื่อเทียบกับ ขนาดภาชนะที่บรรจุ
2. โมเลกุลของแก๊สอยู่ห่างกันมาก ทำให้แรงดึงดูดและแรงผลักระหว่าง โมเลกุลน้อยมากจนถือได้ว่า ไม่มีแรงกระทำต่อกัน
3. โมเลกุลของแก๊สเคลื่อนที่อย่างรวดเร็ว ในแนวเส้นตรง เป็นอิสระ อัตราเร็วคงที่ และไม่เป็นระเบียบ จนกระทั่งชนกับโมเลกุลอื่น หรือชนกับผนังของภาชนะ จึงจะเปลี่ยน ทิศทางและอัตราเร็ว
4. โมเลกุลของแก๊สที่ชนกันเอง หรือ ชนกับผนังภาชนะ จะเกิดการถ่ายเทพลังงาน ให้แก่กันได้ แต่พลังงานรวม ของระบบมีค่าคงที่
5. ณ อุณหภูมิเดียวกัน โมเลกุลของแก๊ส แต่ละโมเลกุลเคลื่อนที่ด้วยความเร็วไม่เท่ากัน แต่จะมีพลังงานจลน์เฉลี่ยเท่ากัน โดยที่ พลังงานจลน์เฉลี่ยของแก๊สจะแปรผันตรง กับอุณหภูมิเคลวิน



ค่าพลังงานจลน์ (kinetic energy : E_k) ของแก๊สหาได้จากสูตร

$$E_k = \frac{1}{2}Mv^2$$

เมื่อ M แทน มวลโมเลกุล มีหน่วยเป็น กิโลกรัม (kg)
v แทน อัตราเร็ว มีหน่วยเป็น เมตรต่อวินาที (m/s)

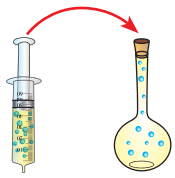
$$v = \frac{S}{t}$$

เมื่อ v แทน อัตราเร็ว มีหน่วยเป็น เซนติเมตรต่อวินาที (cm/s)
S แทน ระยะทาง มีหน่วยเป็น เซนติเมตร (cm)
t แทน เวลา มีหน่วยเป็น วินาที (s)

การใช้ทฤษฎีจลน์ของแก๊สอธิบายสมบัติของแก๊ส

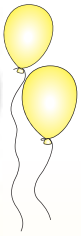
ทฤษฎีจลน์ของแก๊สกับสมบัติของแก๊ส

ปริมาตรและรูปร่างของแก๊สไม่แน่นอน เปลี่ยนแปลงตามภาชนะที่บรรจุ เนื่องจากโมเลกุลของแก๊สมีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลน้อยมาก และเคลื่อนที่ได้อย่างอิสระทุกทิศทาง



แก๊สมีแรงดันเนื่องจากโมเลกุลของแก๊สที่มีพลังงานจลน์เคลื่อนที่ชนผนังภาชนะ และมีการถ่ายเทพลังงานทำให้เกิดแรงดัน

$$\text{ความดัน} = \frac{\text{แรงดัน}}{\text{พื้นที่}}$$

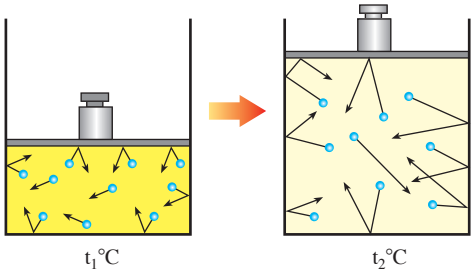


แก๊สมีความหนาแน่นน้อย เพราะโมเลกุลอยู่ห่างกัน มีมวลน้อย แต่มีปริมาตรมาก

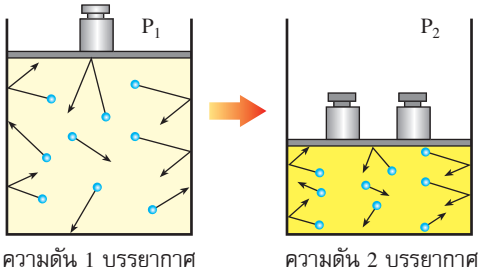
แก๊สถูกบีบอัดให้มีปริมาตรลดลงได้มาก เพราะมีช่องว่างระหว่างโมเลกุลมาก

แก๊สแพร่ได้เร็วเพราะมีพลังงานจลน์ เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น พลังงานจลน์เฉลี่ยจะเพิ่มขึ้น แก๊สจะแพร่ได้เร็วขึ้น

แก๊สเปลี่ยนแปลงปริมาตร เมื่ออุณหภูมิและความดันเปลี่ยนแปลง



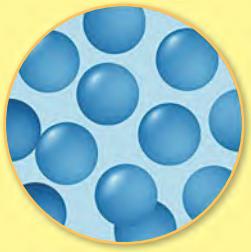
เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นจาก t_1 เป็น t_2 โมเลกุลของแก๊สมีพลังงานจลน์เฉลี่ยเพิ่มขึ้น จึงเคลื่อนที่ห่างจากกันมากขึ้น ปริมาตรจึงเพิ่มขึ้น



มีช่องว่างระหว่างโมเลกุลมาก

เมื่อความดันเพิ่มขึ้น โมเลกุลของแก๊สจะเคลื่อนที่เข้าใกล้กันมากขึ้น โดยมีปริมาตรลดลง

ความรู้เพิ่มเติมเกี่ยวกับแก๊ส ของเหลว และของแข็ง

สมบัติ	แก๊ส	ของเหลว 	ของแข็ง
ปริมาตรและรูปร่าง	เปลี่ยนแปลงตามภาชนะที่บรรจุ	ปริมาตรคงที่ รูปร่างเปลี่ยนแปลงตามภาชนะที่บรรจุ	คงที่
ความหนาแน่น $\left(D = \frac{m}{V}\right)$	น้อยที่สุด	มากกว่าแก๊ส	มากที่สุด
สภาพการบีบอัด	บีบอัดได้มาก	บีบอัดไม่ได้	บีบอัดไม่ได้
การเคลื่อนที่ของโมเลกุล	โมเลกุลเคลื่อนที่เป็นอิสระมาก	โมเลกุลเคลื่อนที่ผ่านกันได้	โมเลกุลเคลื่อนที่ไม่ได้ สั่นไหวได้เล็กน้อย
พลังงานจลน์	มากที่สุด	มากกว่าของแข็ง	น้อยที่สุด
แรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุล	น้อยที่สุด	มากกว่าแก๊ส	มากที่สุด

กิจกรรมตรวจสอบการเรียนรู้ที่ 1.1

จงตอบคำถามต่อไปนี้

1. แก๊สในธรรมชาติอยู่เป็นโมเลกุลหรืออะตอม พร้อมทั้งยกตัวอย่าง
2. เหตุใดโมเลกุลของแก๊สจึงฟุ้งกระจายได้อย่างรวดเร็ว
3. ระยะห่างระหว่างโมเลกุลของแก๊สเท่ากันหรือไม่ เพราะเหตุใด
4. จากรูป ระบุสถานะของสารที่เกิดจากการเป่าลมหายใจออกทางปาก

5. แก๊สที่อยู่บริเวณรอบ ๆ กองไฟที่เริ่มลุกไหม้กับกองไฟที่กำลังลุกไหม้รุนแรง เคลื่อนที่ได้เร็วเท่ากันหรือไม่ เพราะเหตุใด
6. แก๊สอุดมคติกับแก๊สจริงในธรรมชาติมีสมบัติต่างกันอย่างไร
7. เหตุใดแก๊สจึงมีแรงดัน
8. ทิศทางการเคลื่อนที่ของแก๊สแน่นอนหรือไม่ อย่างไร
9. ที่อุณหภูมิเดียวกัน พลังงานจลน์ของแก๊สไฮโดรเจน (H_2) เท่ากับพลังงานจลน์ของแก๊สออกซิเจน (O_2) หรือไม่ อย่างไร
10. ที่อุณหภูมิเดียวกัน แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) กับแก๊สไนโตรเจน (N_2) มีอัตราเร็วในการเคลื่อนที่เท่ากันหรือไม่ เพราะเหตุใด

3. ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรกับความดันของแก๊สตามกฎของบอยล์

แนวคิดสำคัญ

แก๊สที่มีมวลและอุณหภูมิคงที่ ปริมาตรของแก๊สจะแปรผกผันกับความดัน กล่าวคือ ถ้าเพิ่มความดันให้แก่แก๊ส ปริมาตรของแก๊สจะลดลง แต่ถ้าลดความดัน ปริมาตรของแก๊สจะเพิ่มขึ้น

นักเรียนจะได้ศึกษาสมบัติของแก๊สในธรรมชาติ ซึ่งมีแก๊สหลายชนิดอยู่ด้วยกัน โดยศึกษาว่าแก๊สจำนวนหนึ่งเมื่อมวลและอุณหภูมิคงที่ ถ้าเพิ่มความดันให้แก่แก๊ส ปริมาตรของแก๊สจะเปลี่ยนแปลงหรือไม่ อย่างไร ศึกษาได้จากการทำกิจกรรมที่ 1.2

กิจกรรมการทดลอง

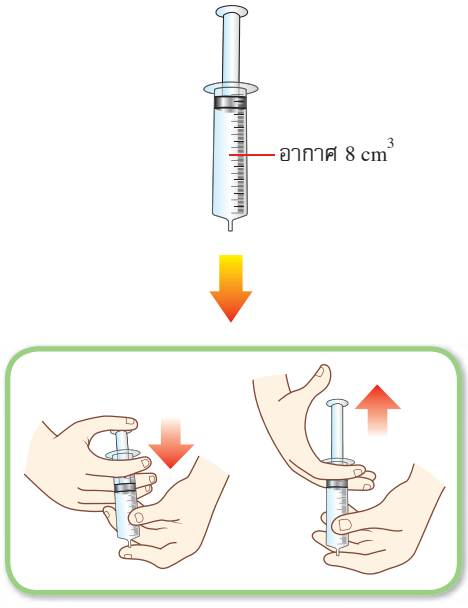
กิจกรรมที่ 1.2 *ปริมาตรกับความดันของแก๊ส*

อุปกรณ์

กระบอกฉีดยาขนาด 10 ลูกบาศก์เซนติเมตร 1 อัน

วิธีปฏิบัติ

1. นำกระบอกฉีดยาขนาด 10 ลูกบาศก์เซนติเมตร 1 อัน กดก้านกระบอกฉีดยาให้อยู่ที่ปริมาตร 8 ลูกบาศก์เซนติเมตร
2. ใช้นิ้วชี้มือข้างซ้ายปิดที่ปลายรูกระบอกฉีดยา และใช้นิ้วโป้งมือข้างขวากดก้านกระบอกฉีดยาให้อยู่ที่ปริมาตร 6 ลูกบาศก์เซนติเมตร แล้วปล่อยก้านกระบอกฉีดยา สังเกตการเปลี่ยนแปลง บันทึกผล
3. ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 2 แต่กดก้านกระบอกฉีดยาให้อยู่ที่ปริมาตร 3 ลูกบาศก์เซนติเมตร สังเกตการเปลี่ยนแปลง บันทึกผล
4. วิเคราะห์ผลการทดลอง สืบค้นข้อมูลเพิ่มเติม แล้วสรุปองค์ความรู้



ตัวอย่างตารางบันทึกผลการทดลอง

การทดลอง	การเปลี่ยนแปลง			
	มวล	อุณหภูมิ	ความดัน	ปริมาตร
ครั้งที่ 1 กดก้านกระบอกฉีดยาจากปริมาตร 8 cm^3 ให้อยู่ที่ 6 cm^3 แล้วปล่อย	ให้นักเรียนบันทึกผลลงในสมุดประจำตัวนักเรียน			
ครั้งที่ 2 กดก้านกระบอกฉีดยาจากปริมาตร 8 cm^3 ให้อยู่ที่ 3 cm^3 แล้วปล่อย				

คำถามท้ายกิจกรรม

1. การกดก้านกระบอกฉีดยาต้องใช้ความดันหรือไม่ อย่างไร
2. แก๊สในกระบอกฉีดยามีมวลและอุณหภูมิคงที่หรือไม่ อย่างไร
3. การกดก้านกระบอกฉีดยามีผลต่อปริมาตรของแก๊สอย่างไร
4. เมื่อไม่กดก้านกระบอกฉีดยามีผลต่อความดันที่กระทำต่อแก๊สอย่างไร
5. การเพิ่มความดันให้แก่แก๊สในปริมาณที่น้อยและมากจะมีผลอย่างไร และทราบได้อย่างไร
6. การทดลองนี้มีตัวแปรต้น ตัวแปรตาม และตัวแปรควบคุมอะไรบ้าง
7. สรุปองค์ความรู้ที่ได้จากการทำกิจกรรม

จากการทำกิจกรรมที่ 1.2 และสืบค้นข้อมูลเพิ่มเติม สรุปเกี่ยวกับความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรกับความดันของแก๊สได้ดังนี้

1. เมื่อมวลและอุณหภูมิของแก๊สคงที่ การเพิ่มความดันโดยการกดก้านกระบอกฉีดยา ปริมาตรของแก๊สจะลดลง และการลดความดันโดยการปล่อยก้านกระบอกฉีดยา ปริมาตรของแก๊สจะเพิ่มขึ้น และมีปริมาตรเท่าเดิม ณ ความดันเดิม

2. การทดลองนี้สรุปได้ว่า เมื่อมวลและอุณหภูมิของแก๊สคงที่ ปริมาตรของแก๊สจะแปรผกผันกับความดันของแก๊สซึ่งเป็นไปตามกฎของบอยล์

กฎของบอยล์

รอเบิร์ต บอยล์

เมื่อมวลและอุณหภูมิของแก๊สคงที่

$$V \propto \frac{1}{P}$$

$$PV = k \text{ โดย } k \text{ เป็นค่าคงที่}$$

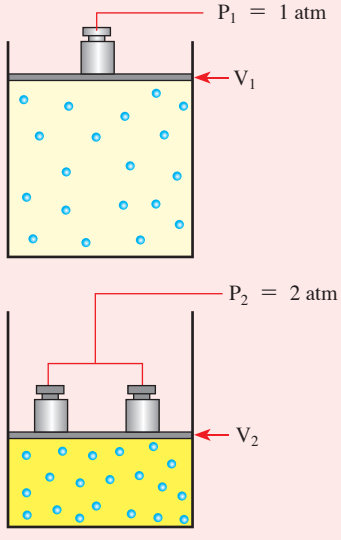
เมื่อ V แทนปริมาตรของแก๊ส

P แทนความดันของแก๊ส

รอเบิร์ต บอยล์ (Robert Boyle) นักวิทยาศาสตร์ชาวอังกฤษได้ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรกับความดันของแก๊ส ใน ค.ศ. 1662 พบว่าเมื่อทำการทดลองที่มวลและอุณหภูมิคงที่ ทุกครั้งที่เปลี่ยนแปลงความดัน ปริมาตรของแก๊สจะเปลี่ยนไป ดังตัวอย่างผลการทดลองในตารางที่ 1.1

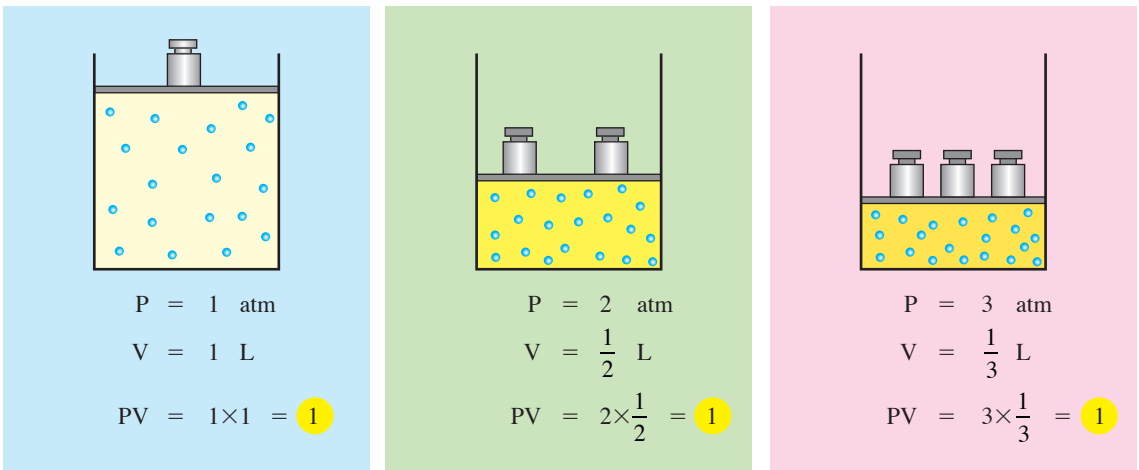
ตารางที่ 1.1 ผลการทดลองศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความดัน (P) กับปริมาตร (V) ของแก๊ส เมื่อมวลและอุณหภูมิคงที่

การทดลองครั้งที่	P (atm)	V (cm^3)	PV (atm·cm^3)
1	0.5	800	400
2	1.0	400	400
3	1.5	267	400.5
4	2.0	200	400
5	2.5	160	400
6	3.0	133	399
7	3.5	114	399
8	4.0	100	400



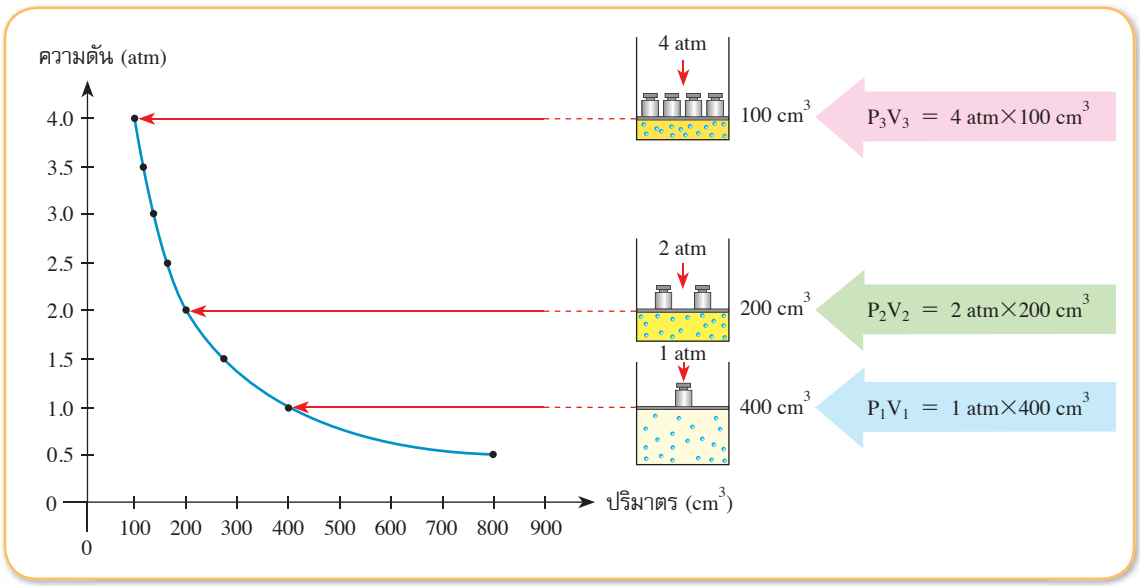
จากการวิเคราะห์ข้อมูลในตารางที่ 1.1 สรุปได้ดังนี้

1. ถ้าเพิ่มความดันเป็น 2 เท่าของความดันเดิม ปริมาตรของแก๊สจะเท่ากับ $\frac{1}{2}$ เท่าของปริมาตรเดิม
2. ถ้าเพิ่มความดันเป็น 3 เท่าของความดันเดิม ปริมาตรของแก๊สจะเท่ากับ $\frac{1}{3}$ เท่าของปริมาตรเดิม
3. ผลคูณระหว่างความดันกับปริมาตรเป็นค่าคงที่
4. เมื่อความดันเพิ่มขึ้น ปริมาตรของแก๊สจะลดลง และพบว่าผลคูณของความดันกับปริมาตรของแก๊ส (PV) ในการทดลองแต่ละครั้งมีค่าค่อนข้างคงที่ ดังรูปที่ 1.1



รูปที่ 1.1 *ความสัมพันธ์ระหว่างความดันกับปริมาตรของแก๊สเมื่ออุณหภูมิคงที่*

เมื่อนำข้อมูลในตารางที่ 1.1 ไปเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันกับปริมาตรของแก๊ส ได้ดังกราฟที่ 1.1



กราฟที่ 1.1 *ความสัมพันธ์ระหว่างความดันกับปริมาตรของแก๊สเมื่ออุณหภูมิคงที่*

จากกราฟที่ 1.1 เมื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างความดันที่กระทำต่อแก๊สกับปริมาตรจะพบว่า เมื่ออุณหภูมิและมวลคงที่ที่ความดันต่ำ ปริมาตรของแก๊สจะมาก ถ้าความดันของแก๊สเพิ่มขึ้น ปริมาตรของแก๊สจะลดลง ดังนี้

1. ผลคูณระหว่างปริมาตรกับความดันจะมีค่าคงที่เสมอ เช่น ที่ความดัน 1 2 และ 4 บรรยากาศ ผลคูณระหว่างปริมาตรกับความดันของแก๊สเป็นดังนี้

ที่ความดัน 1 บรรยากาศ $P \times V = 1\ atm \times 400\ cm^3 = 400\ atm \cdot cm^3$

ที่ความดัน 2 บรรยากาศ $P \times V = 2\ atm \times 200\ cm^3 = 400\ atm \cdot cm^3$

ที่ความดัน 4 บรรยากาศ $P \times V = 4\ atm \times 100\ cm^3 = 400\ atm \cdot cm^3$

2. ข้อมูลจากกราฟสอดคล้องกับ**กฎของบอยล์ (Boyle's law)** ที่กล่าวว่า

> *"เมื่ออุณหภูมิและมวลของแก๊สคงที่ ปริมาตรของแก๊สจะแปรผกผันกับความดัน"*

เขียนแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรกับความดันของแก๊สได้ดังนี้

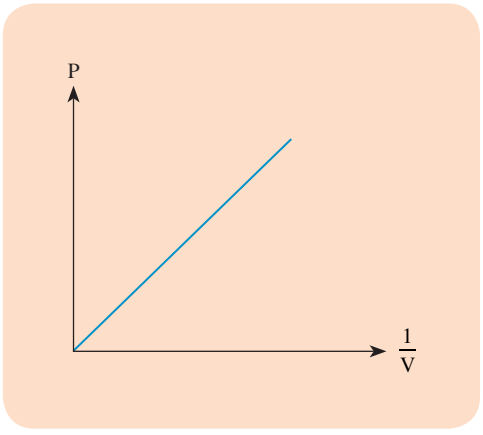
$$V \propto \frac{1}{P}$$

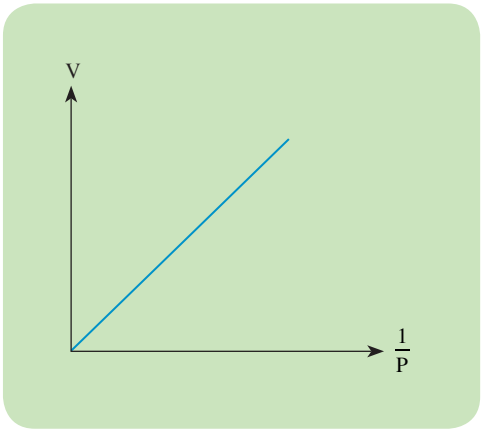
$$PV = k$$ โดย k เป็นค่าคงที่

$$P_1V_1 = P_2V_2 = P_3V_3 = P_4V_4 = \ldots = P_nV_n = k$$

เมื่อ V แทน ปริมาตรของแก๊ส
P แทน ความดันของแก๊ส

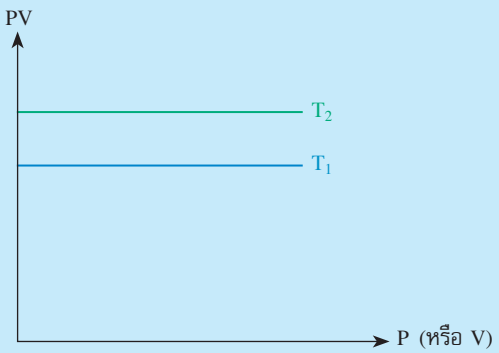
เมื่อเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง P ในแกนตั้งกับ $\frac{1}{V}$ ในแกนนอน หรือกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง V ในแกนตั้งกับ $\frac{1}{P}$ ในแกนนอน จะได้กราฟเส้นตรงที่มีจุดตัดที่จุด 0 และมีค่าความชันเป็นค่าคงที่ (k)





กราฟที่ได้จากกฎของบอยล์มี 3 ลักษณะ ดังนี้

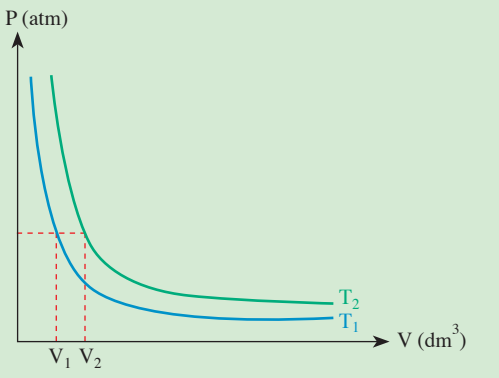
1



จากกราฟที่ 1.2 ถ้า $T_2 > T_1$ แสดงว่า ที่อุณหภูมิคงที่ ที่ T_1 และ T_2 ผลคูณระหว่างปริมาตรกับความดันของแก๊สมีค่าคงที่เสมอทุกความดันหรือปริมาตร และค่า k หรือ PV ที่ $T_2 > T_1$

กราฟที่ 1.2 *กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง PV กับ P (หรือ V) เมื่ออุณหภูมิคงที่และ* $T_2 > T_1$

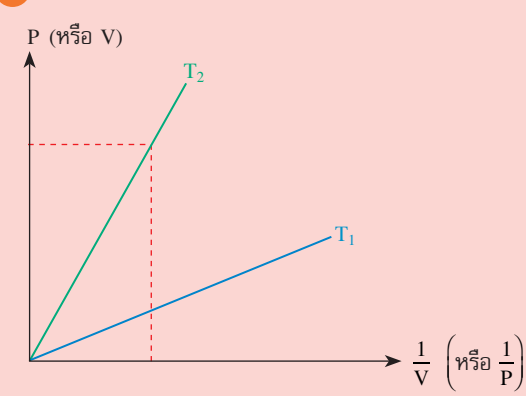
2



จากกราฟที่ 1.3 ที่อุณหภูมิ T_1 และ T_2 เมื่อความดันต่ำ แก๊สจะมีปริมาตรมาก เมื่อความดันสูงขึ้น แก๊สจะมีปริมาตรลดลง และที่ความดันเดียวกันที่อุณหภูมิ T_2 แก๊สจะมีปริมาตรมากกว่าที่อุณหภูมิ T_1

กราฟที่ 1.3 *กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง P กับ V เมื่อ* $T_2 > T_1$

3

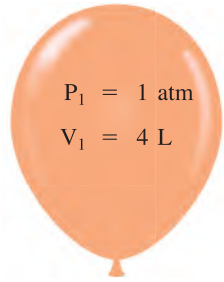


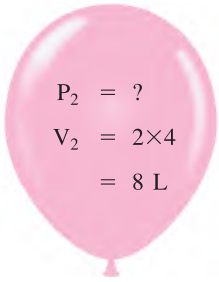
จากกราฟที่ 1.4 ถ้า $T_2 > T_1$ ค่า k หรือ PV ที่ $T_2 > T_1$ ดังนั้น ค่า $k \propto T$

กราฟที่ 1.4 *กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง P (หรือ V) กับ* $\frac{1}{V}$ $\left(\text{หรือ } \frac{1}{P}\right)$

ตัวอย่างที่ 1 แก๊สฮีเลียมบรรจุในลูกโป่งปริมาตร 4 ลิตร ที่ความดัน 1 บรรยากาศ อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ถ้าต้องการให้ลูกโป่งขยายปริมาตรเป็น 2 เท่า จะต้องอยู่ในภาวะที่มีความดันเท่าไร

วิธีทำ โจทย์กำหนด





จากสูตร $P_1V_1 = P_2V_2$

แทนค่า $1 \text{ atm} \times 4 \text{ L} = P_2 \text{ (atm)} \times 8 \text{ L}$

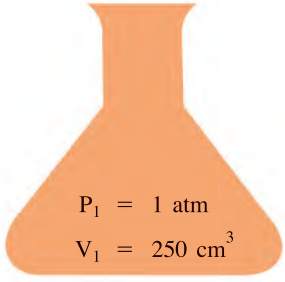
$$P_2 = \frac{1 \text{ atm} \times 4 \cancel{\text{L}}}{8 \cancel{\text{L}}}$$

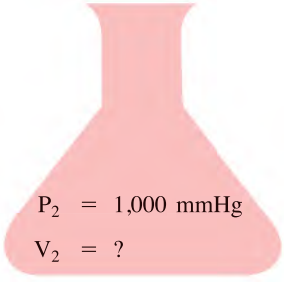
$$= 0.5 \text{ atm}$$

ดังนั้น แก๊สฮีเลียมจะต้องอยู่ในภาวะที่มีความดัน 0.5 บรรยากาศ **ตอบ**

ตัวอย่างที่ 2 แก๊สไนโตรเจนจำนวนหนึ่งมีปริมาตร 250 ลูกบาศก์เซนติเมตร ความดัน 1 บรรยากาศ จะมีปริมาตรเท่าไร เมื่อเปลี่ยนความดันเป็น 1,000 มิลลิเมตรปรอท โดยอุณหภูมิคงที่

วิธีทำ โจทย์กำหนด





ความดันในหน่วย atm $= 1000 \cancel{\text{mmHg}} \times \left(\frac{1 \text{ atm}}{760 \cancel{\text{mmHg}}} \right)$

$$= 1.32 \text{ atm}$$

จากสูตร $P_1V_1 = P_2V_2$

แทนค่า $1 \text{ atm} \times 250 \text{ cm}^3 = 1.32 \text{ atm} \times V_2 \text{ (cm}^3\text{)}$

$$V_2 = \frac{1 \cancel{\text{ atm}} \times 250 \text{ cm}^3}{1.32 \cancel{\text{ atm}}}$$

$$= 189.4 \text{ cm}^3$$

ดังนั้น แก๊สไนโตรเจนจะมีปริมาตร 189.4 ลูกบาศก์เซนติเมตร **ตอบ**

4. ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรกับอุณหภูมิของแก๊สตามกฎของชาร์ล

แนวคิดสำคัญ

แก๊สที่มีมวลและความดันคงที่ ปริมาตรของแก๊สจะแปรผันตรงกับอุณหภูมิ กล่าวคือถ้าเพิ่มอุณหภูมิ ปริมาตรของแก๊สจะเพิ่มขึ้น เมื่อลดอุณหภูมิปริมาตรของแก๊สจะลดลง ซึ่งเป็นไปตามกฎของชาร์ล

การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรกับอุณหภูมิของแก๊ส เมื่อกำหนดให้มวลและความดันของแก๊สคงที่เป็นอย่างไร ศึกษาได้จากการทำกิจกรรมที่ 1.3

กิจกรรมการทดลอง

กิจกรรมที่ 1.3 *ปริมาตรกับอุณหภูมิของแก๊ส*

อุปกรณ์และสารเคมี

อุปกรณ์

1. กระบอกฉีดยาขนาด 10 ลูกบาศก์เซนติเมตร 1 อัน
2. บีกเกอร์ขนาด 250 ลูกบาศก์เซนติเมตร 2 ใบ
3. เตาให้ความร้อน 1 อัน
4. เทอร์มอมิเตอร์ 1 อัน

สารเคมี

1. น้ำ 400 ลูกบาศก์เซนติเมตร
2. น้ำแข็ง

วิธีปฏิบัติ

1. นำกระบอกฉีดยาขนาด 10 ลูกบาศก์เซนติเมตร 1 อัน กดก้านกระบอกฉีดยาให้อยู่ที่ปริมาตร 5 ลูกบาศก์เซนติเมตร แล้วนำไปดูดน้ำที่อุณหภูมิห้องให้มีปริมาตร 1 ลูกบาศก์เซนติเมตร
2. นำกระบอกฉีดยาในข้อ 1 จุ่มลงในบีกเกอร์ขนาด 250 ลูกบาศก์เซนติเมตร ที่มีน้ำอุณหภูมิ 70–80 องศาเซลเซียส จำนวน 200 ลูกบาศก์เซนติเมตร โดยให้อากาศภายในกระบอกฉีดยาจุ่มอยู่ในน้ำร้อนทั้งหมดเป็นเวลา 2 นาที สังเกตการเปลี่ยนแปลง บันทึกผล