



อุณหพลศาสตร์

(บทนำ กฎข้อที่หนึ่งของอุณหพลศาสตร์ กฎข้อที่สองของอุณหพลศาสตร์ ทฤษฎีของโบลต์ซมันน์
ตัวอย่างข้อสอบเกี่ยวกับอุณหพลศาสตร์ในการสอบแข่งขันฟิสิกส์โอลิมปิก)

$$\delta U = \delta Q - \delta W$$

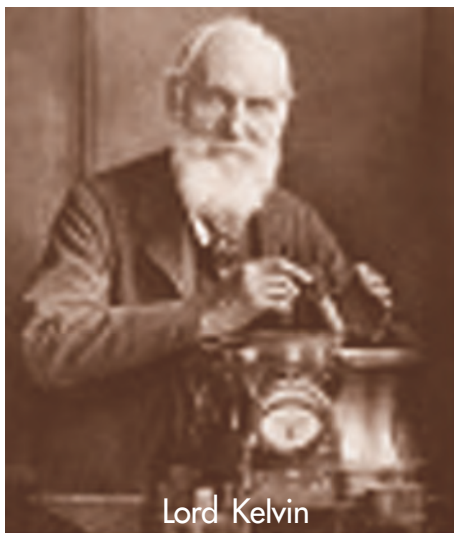
$$\delta S = \frac{\delta Q}{T}$$

$$\delta U = T \delta S - \delta W$$

โครงการตำราวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์มูลนิธิ สอวน.

อุณหพลศาสตร์

(บทนำ กฎข้อที่หนึ่งของอุณหพลศาสตร์ กฎข้อที่สองของอุณหพลศาสตร์ ทฤษฎีของโบลต์ซมันน์
ตัวอย่างข้อสอบเกี่ยวกับอุณหพลศาสตร์ในการสอบแข่งขันเข้าศึกษาต่อในระดับปริญญาตรี)



Lord Kelvin



Rudolf Clausius



Sadi Carnot



Ludwig Boltzmann

โครงการตำราวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์มูลนิธิ สอน.



**มูลนิธิส่งเสริมโอลิมปิกวิชาการและพัฒนามาตรฐานวิทยาศาสตร์ศึกษา
ในพระอุปถัมภ์สมเด็จพระเจ้าพี่นางเธอ เจ้าฟ้ากัลยาณิวัฒนา
กรมหลวงนราธิวาสราชนครินทร์ (สอวน.)**

ความเป็นมา

ประเทศไทยส่งนักเรียนเข้าแข่งขันคณิตศาสตร์โอลิมปิกระหว่างประเทศครั้งแรกในปี พ.ศ. 2532 ที่ประเทศเยอรมนี โดยความร่วมมือระหว่างสมาคมวิทยาศาสตร์แห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์ และสมาคมคณิตศาสตร์แห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์ สมเด็จพระเจ้าพี่นางเธอ เจ้าฟ้ากัลยาณิวัฒนา (พระยศในขณะนั้น) ได้พระราชทานเงินส่วนพระองค์จำนวนหนึ่งเพื่อเป็นค่าใช้จ่าย

การคัดเลือกนักเรียนเพื่อไปแข่งขันคณิตศาสตร์โอลิมปิกระหว่างประเทศ ครั้งที่ 30 สมาคมคณิตศาสตร์แห่งประเทศไทยฯ ได้จัดคณะกรรมการมหาวิทยาลัยจำนวนหนึ่งมาช่วยฝึกอบรมรวมเป็นเวลาประมาณสองเดือน เพื่อให้นักเรียนได้เรียนรู้เนื้อหาเพิ่มเติมครอบคลุมหลักสูตรที่จะใช้แข่งขัน ซึ่งอยู่ในระดับชั้นปีที่ 1-2 ของมหาวิทยาลัย จากผลสำเร็จในปีแรก ทำให้รัฐบาลเห็นความสำคัญจึงได้จัดสรรงบประมาณให้กับโครงการนี้ผ่านสถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สสวท.) ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2533 เป็นต้นมา สมทบกับเงินพระราชทานเป็นรายปีจากสมเด็จพระเจ้าพี่นางเธอ เจ้าฟ้ากัลยาณิวัฒนา กรมหลวงนราธิวาสราชนครินทร์ เพื่อสนับสนุนการส่งนักเรียนไทยไปแข่งขันโอลิมปิกวิชาการระหว่างประเทศ 5 สาขา จนถึงปัจจุบันรวม 14 ปี นักเรียนไทยได้ทำชื่อเสียงได้เหรียญทองรวม 17 เหรียญ เหรียญเงิน 53 เหรียญ เหรียญทองแดง 93 เหรียญ และเกียรติคุณประกาศ 35 ราย รวมทั้งสิ้น 198 รางวัล จากจำนวนนักเรียนที่ส่งไปแข่งขัน 276 คน (72%)

อย่างไรก็ตาม จากการที่ประเทศไทยดำเนินการจัดส่งนักเรียนเข้าร่วมการแข่งขันคณิตศาสตร์ วิทยาศาสตร์ โอลิมปิกระหว่างประเทศ ตั้งแต่ พ.ศ.2532 จนถึงปัจจุบัน ทำให้เห็นว่ามาตรฐานการศึกษาด้านคณิตศาสตร์และวิทยาศาสตร์ของไทยยังต่ำกว่ามาตรฐานสากล การเตรียมตัวของนักเรียนยังใช้เวลาน้อยเกินไป

เพื่อให้การส่งเสริมและสนับสนุน โครงการจัดส่งผู้แทนประเทศไทยไปแข่งขันโอลิมปิกวิชาการระหว่างประเทศมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้นสมเด็จพระเจ้า พี่นางเธอ เจ้าฟ้ากัลยาณิวัฒนา กรมหลวงนราธิวาสราชนครินทร์ จึงมีพระดำริให้จัดตั้งมูลนิธิ สอวน. และได้รับอนุมัติจากกระทรวงมหาดไทยเมื่อวันที่ 12 ตุลาคม 2542 โดยมีวัตถุประสงค์หลัก 2 ประการ

วัตถุประสงค์

1. ส่งเสริมให้นักเรียนในระดับมัธยมศึกษาตอนปลายทั่วประเทศที่มีความสามารถทางวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์ มีโอกาสได้รับการพัฒนาศักยภาพทางด้านคณิตศาสตร์ คอมพิวเตอร์ เคมี ฟิสิกส์ และชีววิทยา ตามความถนัดทั้งด้านทฤษฎีและทักษะด้านปฏิบัติ ให้สามารถคิดวิเคราะห์และแก้ปัญหาที่ซับซ้อนได้ โดยจัดให้มีศูนย์อบรมทั่วประเทศเป็นการเพิ่มเวลาฝึกอบรม เพื่อช่วยให้นักเรียนมีความพร้อมที่จะเข้ารับการคัดเลือกไปแข่งขันโอลิมปิกวิชาการระหว่างประเทศให้ได้ผลดียิ่งขึ้น ตามพระดำริของสมเด็จพระเจ้าพี่นางเธอเจ้าฟ้ากัลยาณิวัฒนา กรมหลวงนราธิวาสราชนครินทร์ องค์ประธานมูลนิธิ สอวน.
2. เพื่อนำประสบการณ์ที่ได้จากการแข่งขันโอลิมปิกวิชาการระหว่างประเทศมาพัฒนามาตรฐานคณิตศาสตร์และวิทยาศาสตร์ศึกษาของไทยให้สูงขึ้นเทียบเท่าระดับสากล

โครงการตำราวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์มูลนิธิ สอวน.

มูลนิธิส่งเสริมโอลิมปิกวิชาการและพัฒนามาตรฐานวิทยาศาสตร์ศึกษา ในพระอุปถัมภ์สมเด็จพระเจ้าพี่นางเธอ เจ้าฟ้ากัลยาณิวัฒนา กรมหลวงนราธิวาสราชนครินทร์ (สอวน.) ได้ร่วมมือกับคณาจารย์มหาวิทยาลัยของรัฐ 20 แห่ง และกระทรวงศึกษาธิการ ดำเนินการจัดตั้งศูนย์ สอวน. ในภูมิภาค 12 ศูนย์ และในกรุงเทพฯ 1 ศูนย์ (5 โรงเรียน) เพื่อพัฒนาศักยภาพทางปัญญาของนักเรียนที่มีความพร้อมในด้านวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์และคอมพิวเตอร์จากทั่วประเทศ เพื่อให้นักเรียนได้มีความรู้ความสามารถเทียบเท่ามาตรฐานสากล และพร้อมที่จะสอบคัดเลือกเป็นผู้แทนประเทศไทยไปร่วมการแข่งขันโอลิมปิกวิชาการระหว่างประเทศในสาขาวิชาต่างๆ ได้ และเพื่อขยายผลจากประสบการณ์ที่ได้เข้าแข่งขันโอลิมปิกวิชาการระหว่างประเทศมาพัฒนามาตรฐานวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์ของไทยให้สูงขึ้นเทียบเท่าสากล

ในการอบรมนักเรียนของศูนย์ สอวน. มูลนิธิ สอวน. ได้พิจารณาเห็นว่าตำราที่มีความสมบูรณ์ของเนื้อหาตามหลักสูตรของ สอวน. จะช่วยพัฒนาศักยภาพของนักเรียนในศูนย์ สอวน. ให้สูงขึ้นได้ นอกจากนั้นตำราเรียนในวิชาวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์ในระดับมัธยมศึกษาตอนปลายที่มีความสมบูรณ์ถูกต้องยังขาดแคลน นักเรียนและครูสามารถนำตำราที่พัฒนาขึ้นมาไปใช้เป็นหนังสืออ้างอิงประกอบการเรียนการสอนได้อีกด้วย มูลนิธิ สอวน. จึงได้มี “โครงการจัดทำตำราส่งเสริมพัฒนาศักยภาพของนักเรียนด้านวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์และคอมพิวเตอร์” ขึ้น เพื่อผลิตตำราคณิตศาสตร์ คอมพิวเตอร์ เคมี ชีววิทยาและฟิสิกส์ที่มีเนื้อหาหลักสูตรตามมาตรฐานสากล โดยมีวัตถุประสงค์

1. เพื่อเป็นที่ระลึกในมหามงคลสมัยที่สมเด็จพระเจ้าพี่นางเธอ เจ้าฟ้ากัลยาณิวัฒนา กรมหลวงนราธิวาสราชนครินทร์ ทรงเจริญพระชนมายุ 80 พรรษา ซึ่งพระองค์ทรงมีพระมหากรุณาธิคุณต่อโครงการจัดส่งผู้แทนประเทศไทยไปแข่งขันโอลิมปิกวิชาการระหว่างประเทศและทรงสนับสนุนการดำเนินงานเพื่อพัฒนามาตรฐานการศึกษาวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์ของไทยอย่างหาที่สุดมิได้

2. เพื่อผลิตหนังสือคณิตศาสตร์ คอมพิวเตอร์ เคมี ชีววิทยาและฟิสิกส์ระดับมัธยมศึกษาตอนปลายถึงระดับชั้นปีที่ 1 ของคณะวิทยาศาสตร์ในมหาวิทยาลัยให้มีคุณภาพเทียบเท่าสากล เรียบเรียงโดยคณาจารย์จากมหาวิทยาลัยของรัฐที่มีประสบการณ์สูงและที่มีส่วนร่วมในการฝึกอบรมนักเรียนในค่าย สอวน. ค่าย สสวท. และควบคุมนักเรียนไปแข่งขันโอลิมปิกวิชาการระหว่างประเทศ เนื้อหาในหนังสือเน้นกระบวนการคิดแบบวิทยาศาสตร์ เพื่อฝึกฝนให้นักเรียนสามารถคิดวิเคราะห์และแก้ปัญหาที่ซับซ้อนทั้งในเชิงทฤษฎีและประยุกต์ได้โดยจัดพิมพ์บนกระดาษอาร์ตอย่างดีและมีภาพสีประกอบคำบรรยาย

โครงการตำราวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์ของมูลนิธิ สอวน. มีเป้าหมายในการผลิตตำราคณิตศาสตร์ รวม 5 เล่ม คอมพิวเตอร์ 3 เล่ม เคมี 4 เล่ม ชีววิทยา 5 เล่ม และฟิสิกส์ 3 เล่ม โดยหนังสือชุดแรกจะนำขึ้นทูลเกล้าถวายในวันที่ 6 มิถุนายน 2547 ซึ่งเป็นวันประชุมสามัญประจำปี พ.ศ. 2547 ของคณะกรรมการบริหาร และสมเด็จพระเจ้าพี่นางเธอ เจ้าฟ้ากัลยาณิวัฒนา กรมหลวงนราธิวาสราชนครินทร์ เสด็จเป็นองค์ประธานที่ประชุม ส่วนที่เหลือคาดว่าจะจัดพิมพ์ให้แล้วเสร็จภายในปี พ.ศ. 2547 นี้ นอกจากนั้นคณะกรรมการโครงการผลิตตำราวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์มูลนิธิ สอวน. มีเป้าหมายจะผลิตตำราที่มีคุณภาพสูงนี้ในระดับมัธยมศึกษาตอนต้น โดยคณาจารย์จากมหาวิทยาลัย เพื่อวางรากฐานวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์พื้นฐานและเพื่อสร้างแรงบันดาลใจและความสนใจทางด้านวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์แก่เยาวชนอีกด้วย หากได้รับความอนุเคราะห์ช่วยเหลือด้านงบประมาณจากภาครัฐและเอกชน

คณะจัดทำหนังสือคณิตศาสตร์ วิทยาศาสตร์หวังว่าโครงการตำราคณิตศาสตร์ วิทยาศาสตร์ของมูลนิธิ สอวน. จะมีส่วนร่วมในการปฏิรูปการเรียนรู้และยกระดับมาตรฐานวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์ของไทยให้เทียบเท่ากับระดับสากลเพื่อสนองพระดำริของสมเด็จพระเจ้าพี่นางเธอ เจ้าฟ้ากัลยาณิวัฒนา กรมหลวงนราธิวาสราชนครินทร์

คณะกรรมการโครงการตำราวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์มูลนิธิ สอวน.

คณะกรรมการที่ปรึกษา

1. ศาสตราจารย์ นายแพทย์ จรัส สุวรรณเวลา	รองประธานมูลนิธิ สอวน.
2. รองศาสตราจารย์ ดร.กำจัด มงคลกุล	กรรมการมูลนิธิฯ
3. ดร. คุณหญิงกษมา วรวรรณ ณ อยุธยา	กรรมการมูลนิธิฯ
4. รองศาสตราจารย์ ดร. คุณหญิงสุมณฑา พรหมบุญ	กรรมการมูลนิธิฯ
5. นายเชาว์ อรรถมานะ (อดีต)	กรรมการมูลนิธิฯ
6. นายสมนึก พิมลเสถียร	กรรมการมูลนิธิฯ
7. นายสุนทร อรุณานนท์ชัย	กรรมการมูลนิธิฯ
8. รองศาสตราจารย์บุญรักษา สุนทรธรรม	กรรมการมูลนิธิฯ

คณะกรรมการดำเนินงานโครงการตำราฯ

1. ศาสตราจารย์ศักดิ์ ศิริพันธุ์ (ราชบัณฑิต) เลขานุการมูลนิธิ สอวน.	ประธาน
2. รองศาสตราจารย์เย็นใจ สมวิเชียร	รองประธาน
3. รองศาสตราจารย์ ดร. ณรงค์ ปั่นนัม	กรรมการ (วิชาคณิตศาสตร์)
4. รองศาสตราจารย์ยืน ภู่วรวรรณ	กรรมการ (วิชาคอมพิวเตอร์)
5. รองศาสตราจารย์ ดร. พินิติ รตะนานุกูล	กรรมการ (วิชาเคมี)
6. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วุทธิพันธุ์ ปรัชญพฤทธิ	กรรมการ (วิชาฟิสิกส์)
7. ศาสตราจารย์อักษร ศรีเปล่ง	กรรมการ (วิชาชีววิทยา ประเภทพืช)
8. รองศาสตราจารย์ ดร. อุษณีย์ ยศยิ่งยวด	กรรมการ (วิชาชีววิทยา ประเภทสัตว์)

คณะผู้เขียนวิชาฟิสิกส์

1. ผู้ช่วยศาสตราจารย์วุทธิพันธุ์ ปรัชญพฤทธิ	ประธานคณะอนุกรรมการ
2. รองศาสตราจารย์สุวรรณ คูสำราญ	อนุกรรมการ

คำนำ

หนังสืออุณหพลศาสตร์เล่มนี้ เขียนขึ้นเพื่อให้นักเรียนที่มีความสนใจจะสอบแข่งขันฟิสิกส์โอลิมปิกได้ศึกษาเพิ่มพูนความรู้จนถึงระดับที่พอจะสามารถแข่งขันได้ หรือเพื่อให้นักเรียนที่มีความถนัดทางวิชาฟิสิกส์ได้ศึกษาหาความรู้เพิ่มเติมเพื่อความสะดวกในการศึกษาในระดับมหาวิทยาลัย

เป็นความจริงที่ว่าหลักสูตรที่เขียนไว้เป็นมาตรฐานสำหรับการสอบแข่งขันฟิสิกส์โอลิมปิกมีระดับและเนื้อหามากกว่าสาระการเรียนรู้ของหลักสูตรฟิสิกส์สำหรับมัธยมปลายอยู่มาก ทั้งนี้เพราะทั้งสองหลักสูตรนี้มีจุดมุ่งหมายต่างกัน และจำนวนผู้ใช้ก็ต่างกันอยู่มาก ดังนั้นจึงขอแนะนำว่านักเรียนที่จะใช้หนังสือเล่มนี้ ควรจะศึกษาหนังสือฟิสิกส์ในระดับมัธยมปลายมาแล้วทั้งหมดเป็นอย่างดี มิฉะนั้นอาจมีความลำบากในการศึกษาได้

ในการเขียนหนังสือเล่มนี้ ได้เน้นให้ผู้่านศึกษาด้วยตนเอง แบบฝึกหัดทุกข้อจะมีเฉลยไว้ให้ แต่ขอแนะนำให้นักเรียนทำแบบฝึกหัดทุกข้อด้วยตนเองจนสุดความสามารถเสียก่อน ต่อเมื่อติดขัดจริง ๆ จึงค่อยดูเฉลย ทั้งนี้เพื่อฝึกพลังความคิดให้ดีขึ้น เมื่อพบปัญหาใหม่ในการแข่งขันจึงจะสามารถทำได้ หากว่ามีรายละเอียดเพิ่มเติมที่นักเรียนต้องการทราบ อาจหาอ่านได้จากหนังสือฟิสิกส์ระดับปีที่ 1 ของมหาวิทยาลัยทั่ว ๆ ไปได้ อนึ่ง หนังสือเล่มนี้เป็นตำราเชิงมโนทัศน์ (concept) ผู้ที่ต้องการศึกษาวิชานี้ในเชิงประยุกต์ อาจหาอ่านได้จากหนังสืออุณหพลศาสตร์ทั่วไป

หวังเป็นอย่างยิ่งว่า ผู้ที่ศึกษาหนังสืออุณหพลศาสตร์นี้โดยละเอียดและจริงจัง คงจะมีความสามารถในการแข่งขันฟิสิกส์โอลิมปิกระหว่างประเทศได้

การพิมพ์ครั้งนี้ได้แก้ไขสิ่งที่ผิดที่ได้รับความแจ้งจากนักเรียนในโครงการสอวน. โครงการโอลิมปิกวิชาการ รวมทั้งผู้อ่านอื่น ๆ และได้เปลี่ยนแปลงหน้าปกใหม่เป็นสมการที่เป็นศูนย์กลางของวิชา

ผู้เขียน รองศาสตราจารย์ ดร. อนันตสิน เตชะกำพุช
วท.บ.(เกียรตินิยม) จุฬาฯ, Ph.D. (M.I.T.)

บรรณาธิการ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วุทธิพันธุ์ ปรัชญพุทธิ
B.Sc.(Queensland), M.Sc., Ph.D. (Birmingham)

ISBN : 978-616-8242-08-7

สงวนลิขสิทธิ์

จัดพิมพ์โดย มูลนิธิ สอวน.

พิมพ์ครั้งที่ 3 พ.ศ. 2563 (2020)

พิมพ์แก้ไขและจัดทำหน้าปก : นายปณต นพทศพร นักศึกษาปริญญาเอก มหาวิทยาลัยมหิดล

ศิลปกรรม : นายปรีชา ฉัตรระเนตร

พิมพ์ที่ บริษัท ด้านสุทธาการพิมพ์ จำกัด

แยกสี / เพลท บริษัทอีเลฟเว่นคัลเลอร์ส จำกัด

ผู้จัดจำหน่าย ศูนย์หนังสือจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ถนนพญาไท เขตปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330

CALL CENTER โทร. 0-2255-4433 <http://www.chulabook.com>

ร้านค้า ติดต่อแผนกขายส่ง สาขาหัวหมาก โทร. 0-2374-1374-5 โทรสาร 0-2374-1377

	หน้า
บทที่ 1	1
บทนำ	1
1.1 ชนิดของแก๊ส	2
1.2 เลขอะตอม และมวลโมลาร์	2
1.3 แก๊สอุดมคติ	3
1.4 ทฤษฎีจลน์ของแก๊สอุดมคติ	5
1.5 สมการบาโรเมตริก	13
1.6 ความชื้นของอากาศ	14
1.7 การส่งถ่ายพลังงานความร้อน	19
แบบฝึกหัด	27
บทที่ 2	29
กฎข้อที่หนึ่งของอุณหพลศาสตร์	29
2.1 พลังงานภายในของแก๊ส	30
2.2 แก๊สแวนเดอร์วาลส์	33
2.3 กฎข้อที่หนึ่งของอุณหพลศาสตร์	35
2.4 กระบวนการ (process) ของระบบ	37
2.5 งานที่แก๊สกระทำต่อสิ่งแวดล้อม	39
2.6 กระบวนการของแก๊สแบบต่าง ๆ	48
แบบฝึกหัด	67
บทที่ 3	71
กฎข้อที่สองของอุณหพลศาสตร์	71
3.1 เครื่องยนต์คาร์โนต์	72
3.2 ตู้เย็นคาร์โนต์	78
3.3 กระบวนการที่ผันกลับได้ และกระบวนการที่ผันกลับไม่ได้	80
3.4 กฎข้อที่สองของอุณหพลศาสตร์	94
3.5 เอนโทรปี	97
3.6 พลังงานภายในและปริมาตรของแก๊ส	114
3.7 การเปลี่ยนเฟสของสาร	117
แบบฝึกหัด	127

บทที่ 4	ทฤษฎีของโบลต์ซมันน์	129
	4.1 ตัวประกอบของโบลต์ซมันน์	130
	4.2 การแจกแจงความเร็วของโมเลกุล	131
	แบบฝึกหัด	142
บทที่ 5	ตัวอย่างข้อสอบเกี่ยวกับอุณหพลศาสตร์ในการสอบแข่งขันฟิสิกส์โอลิมปิก	143
	เฉลยแบบฝึกหัด	177
	ภาคผนวก 1. Exact differential	209
	ภาคผนวก 2. Partial differentiation	211
	ดัชนี	215



Avogadro

บทที่ 1

บทนำ



Boltzmann

อุณหพลศาสตร์เป็นวิชาที่ศึกษาเกี่ยวกับความร้อน เกี่ยวกับสมบัติทางความร้อนของสารในสถานะต่าง ๆ การเปลี่ยนแปลงระหว่างพลังงานความร้อนและพลังงานกล วิชานี้เจริญขึ้นมากในกลางคริสต์ศตวรรษที่ 19 ในช่วงปฏิวัติอุตสาหกรรมยุคแรก ๆ ซึ่งมีการพัฒนาเครื่องจักรเพื่อทำงานแทนคน เช่นเครื่องจักรไอน้ำ เป็นต้น ต่อมาได้มีการศึกษา ลึกลงไปถึงระดับโมเลกุลและอะตอมของสาร โดยใช้ความรู้เชิงสถิติเข้าช่วยทำให้เกิดวิชาทฤษฎีจลน์ของแก๊สและกลศาสตร์เชิงสถิติ ซึ่งทำให้ทราบเรื่องราวของธรรมชาติเพิ่มขึ้นอย่างมากมาย

ในบทนี้ส่วนใหญ่จะกล่าวถึงความรู้พื้นฐานต่าง ๆ เกี่ยวกับอุณหพลศาสตร์และทฤษฎีจลน์ของแก๊สในเชิงการ ทบทวน ผู้สนใจในรายละเอียด บางส่วนอาจอ่านได้จากหนังสือฟิสิกส์ระดับมัธยมปลายทั่ว ๆ ไป

1.1 ชนิดของแก๊ส

แก๊สอาจแบ่งออกง่าย ๆ เป็น 3 ชนิดคือ

- ก. แก๊สอะตอมเดี่ยว (Monatomic gas) แก๊สชนิดนี้ 1 โมเลกุลจะประกอบด้วย 1 อะตอม เรียกแก๊สพวกนี้ว่าแก๊สเฉื่อย เช่นฮีเลียม (He) นีออน (Ne) อาร์กอน (Ar) ซีซีนอน (Xe) เป็นต้น
 - ข. แก๊สอะตอมคู่ (Diatomic gas) 1 โมเลกุลของแก๊สชนิดนี้จะประกอบด้วย 2 อะตอม เช่นแก๊สไฮโดรเจน (H_2) ไนโตรเจน (N_2) ออกซิเจน (O_2) คลอรีน (Cl_2) เป็นต้น
 - ค. แก๊สหลายอะตอม (Polyatomic gas) 1 โมเลกุล ของแก๊สชนิดนี้ประกอบด้วยอะตอมตั้งแต่สามอะตอมขึ้นไป เช่น แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) มีเทน (CH_4) ไอน้ำ (H_2O) เป็นต้น
- แก๊สทั้งสามชนิดนี้มีสมบัติทางความร้อนแตกต่างกัน ดังจะกล่าวต่อไป

1.2 เลขอาโวกาโดร (Avogadro's number) และมวลโมลาร์ (Molar mass)

พบว่าเป็นการสะดวกที่จะกำหนดเลขอาโวกาโดร (N_a) ซึ่งจำกัดความว่า เลขอาโวกาโดร คือ จำนวนอะตอมคาร์บอน 12 ที่มีมวลรวมกัน 12 กรัมพอดี ปัจจุบันพบว่า

$$N_a = 6.022 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1} \dots\dots\dots(1.1)$$

และจะเรียกกลุ่มของอนุภาคจำนวน N_a อนุภาคว่าเป็น 1 โมล (mole) ของอนุภาคนั้น เช่น

แก๊สออกซิเจน (O_2) จำนวน N_a โมเลกุล คือแก๊สออกซิเจน 1 โมล

แก๊สฮีเลียม (He) จำนวน N_a โมเลกุล (หรืออะตอม) คือแก๊สฮีเลียม 1 โมล

คาร์บอน (C) จำนวน N_a อะตอม คือคาร์บอน 1 โมล

เป็นต้น สัญลักษณ์แทนหน่วยโมลคือ **mol** มวลของสาร 1 โมล เรียก **มวลโมลาร์** (Molar mass) มวลโมลาร์ของคาร์บอน 12 คือ 12 กรัมพอดี ตามคำจำกัดความข้างต้น แต่มวลโมลาร์ของคาร์บอนเท่ากับ 12.01 ทั้งนี้เพราะคาร์บอนมีหลายไอโซโทป ตัวเลขนี้อาจเปลี่ยนแปลงได้ถ้าเปอร์เซ็นต์ของความอุดมของคาร์บอนไอโซโทปต่าง ๆ ในโลกเปลี่ยนแปลงไป มวลโมลาร์ของสารต่าง ๆ ซึ่งมีนัยสำคัญ 3-4 หลักแสดงเป็นตัวอย่างเป็นตาราง 1.1 สำหรับอากาศนั้นประกอบด้วยโมเลกุลหลายชนิดโดยมีมวลโมลาร์เฉลี่ยเท่ากับ 28.9 กรัมต่อโมล

ตาราง 1.1

ตัวอย่างมวลโมลาร์ (Molar mass, M) ของสารต่าง ๆ

สาร	M (g/mol)	สาร	M (g/mol)	สาร	M (g/mol)
H ₂	2.02	He	4.00	CO ₂	44.01
N ₂	28.02	Ne	20.18	CH ₄	16.05
O ₂	32.00	Hg	200.59	Al	26.98
Cl ₂	70.91	H ₂ O	18.02	C	12.01
F ₂	37.99	Ar	39.95		

สำหรับสารที่ประกอบด้วย N อะตอม จำนวน โมล (n) ของสารนั้นอาจหาได้จาก

$$n = \frac{N}{N_a} \dots\dots\dots(1.2a)$$

หรือ
$$n = \frac{m}{M} \dots\dots\dots(1.2b)$$

โดย m และ M เป็นมวลของสาร และมวลโมลาร์ของสารตามลำดับ ตัวอย่างเช่น แก๊สออกซิเจนจำนวน 3.011×10^{23} โมเลกุล ซึ่งมีมวล 16.00 กรัม ก็คือออกซิเจน $\frac{1}{2}$ โมล นั่นเอง

1.3 แก๊สอุดมคติ (Ideal gas)

จากการศึกษาพบว่าสำหรับแก๊สทั่วไป ความดัน (P) ปริมาตร (V) อุณหภูมิเคลวิน (T) และโมล (n) ของแก๊ส จะมีความสัมพันธ์โดยประมาณดังสมการ

$$PV = nRT \dots\dots\dots(1.3)$$

โดย R คือค่าคงที่ของแก๊ส

$$R = 8.3145 \text{ J/mol.K} \dots\dots\dots(1.4)$$

ถ้าอุณหภูมิไม่ต่ำนัก และความหนาแน่นของแก๊สไม่สูงนัก แก๊สทั้งหลายจะประพฤติตัวสอดคล้องกับสมการ (1.3) โดยมีความคลาดเคลื่อนในย่าน 1% และค่า R ในสมการ (1.4) ใช้ได้กับแก๊สทุกชนิด

ถ้าใช้สมการ (1.2a) ใน (1.3) จะได้ว่า

$$PV = \frac{N}{N_a} RT$$

ถ้าเขียน $k = \frac{R}{N_a} \dots\dots\dots(1.5)$

สมการ (1.3) จะกลายเป็น

$$PV = NkT \dots\dots\dots(1.6)$$

ค่า k มีชื่อเรียกว่า **ค่าคงที่ของโบลต์ซมันน์ (Boltzmann's constant)**

$$k = 1.3807 \times 10^{-23} \text{ J/K} \dots\dots\dots(1.7)$$

แก๊สที่ประพฤติตัวสอดคล้องกับสมการ (1.3) และ (1.6) พอดี เรียกว่า **แก๊สอุดมคติ (ideal gas)** ดังนั้นแก๊สทั่วไปจึงเป็นแก๊สอุดมคติโดยประมาณ สมการทั้งสองนี้เรียกว่า **สมการของแก๊สอุดมคติ (ideal gas equation)**

จากสมการ(1.6) พบว่าแก๊สปริมาตรเดียวกัน มีความดันและอุณหภูมิเดียวกัน จะมีจำนวนโมเลกุลเท่ากันเสมอ ที่อุณหภูมิต่ำ ๆ หรือที่ความดันสูงมาก ๆ อาจมีการกลั่นตัวของแก๊สไปเป็นของเหลว ในกรณีนี้จะไม่สามารถใช้สมการ (1.3) และ (1.6) กับแก๊สนั้นได้

ถ้าในปริมาตรหนึ่งมีแก๊สหลายชนิดผสมกันอยู่ อาจใช้สมการ (1.3) และสมการ (1.6) กับแก๊สผสมนั้นได้ โดยสมการจะกลายเป็น

$$PV = (n_1 + n_2 + n_3 + \dots)RT = \left(\sum_i n_i \right) RT \dots\dots\dots(1.8a)$$

หรือ $PV = (N_1 + N_2 + N_3 + \dots)kT = \left(\sum_i N_i \right) kT \dots\dots\dots(1.8b)$

โดย n_i และ N_i เป็นจำนวนโมลและจำนวนโมเลกุลของแก๊สชนิดต่าง ๆ ในแก๊สผสมนั้นตามลำดับ จากสมการ (1.8)

$$P = \frac{n_1 RT}{V} + \frac{n_2 RT}{V} + \dots = P_1 + P_2 + \dots \dots\dots(1.9a)$$

และ $P = \frac{N_1 kT}{V} + \frac{N_2 kT}{V} + \dots = P_1 + P_2 + \dots \dots\dots(1.9b)$

โดย $P_1, P_2, \dots$ ก็คือความดันย่อยของแก๊สชนิดต่าง ๆ ในแก๊สผสมนั่นเอง

1.4 ทฤษฎีจลน์ของแก๊สอุดมคติ

ได้มีผู้เสนอว่า แก๊สประกอบด้วยอนุภาคเล็กๆ จำนวนมากซึ่งเคลื่อนที่ไปมา เมื่อชนกับผนังภาชนะทำให้เกิดความดัน เพื่อจะพิสูจน์ข้อเสนอนี้ จำเป็นต้องตั้งสมมติฐานของแก๊สอุดมคติขึ้นดังนี้

ก) แก๊สประกอบด้วยอนุภาคเล็กๆ เหมือน ๆ กันจำนวนมาก เคลื่อนที่ไปมาด้วยความเร็วแบบสุ่ม

ข) กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันสามารถอธิบายการเคลื่อนที่ของอนุภาคเหล่านี้ได้ และเมื่ออนุภาคนั้นชนกับผนังภาชนะจะทำให้เกิดความดัน

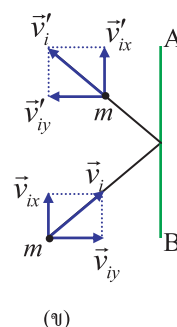
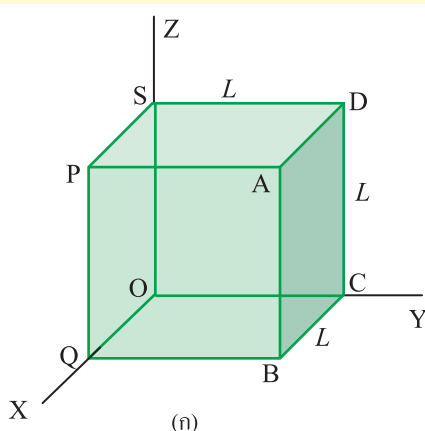
ถ้าสมมติฐานนี้เป็นจริง โดยการวิเคราะห์ควรจะสามารถพิสูจน์กฎของแก๊สอุดมคติเช่นสมการ (1.6) ได้ เพื่อให้การวิเคราะห์ง่ายเข้าจะถือว่าไม่มีการชนกันระหว่างอนุภาคทั้งหลายของแก๊ส อนุภาคมีลักษณะเป็นทรงกลมเล็กๆ การชนผนังของอนุภาคเป็นแบบยืดหยุ่น มีมุมตกกระทบเท่ากับมุมสะท้อน และจะไม่คำนึงถึงแรงดึงดูดของโลก และไม่มีอันตรกิริยาระหว่างอนุภาคด้วย

พิจารณากล่องบรรจุแก๊สซึ่งประกอบด้วย N อนุภาค ขนาด $L \times L \times L$ โดยขอบของกล่องอยู่ตามแนวแกน X, Y, Z ดังรูป 1.1(ก) การชนของโมเลกุลตัวที่ i บนผนัง $ABCD$ แสดงในรูป 1.1(ข) ตอนเข้าชนโมเลกุลมีความเร็ว

$$\vec{v}_i = v_{xi}\hat{x} + v_{yi}\hat{y} + v_{zi}\hat{z} \quad \dots\dots\dots(1.10)$$

หลังชนโมเลกุลมีความเร็ว

$$\vec{v}'_i = v'_{xi}\hat{x} + v'_{yi}\hat{y} + v'_{zi}\hat{z} \quad \dots\dots\dots(1.11)$$



รูป 1.1 (ก) กล่องขนาด $L \times L \times L$ บรรจุ N อนุภาค (ข) การชนของอนุภาคตัวที่ i ต่อผนัง

เนื่องจากภาพเป็นการมองในแนว $-\hat{x}$ จะไม่เห็น v_{xi} และ v'_{xi} เนื่องจากการชนเป็นแบบยืดหยุ่น และมวลของกล่องมากกว่ามวลของอนุภาคมามาก จะได้

$$|\vec{v}_i| = v_i = |\vec{v}'_i| = v'_i \quad \dots\dots\dots(1.12)$$

เนื่องจากกระนาบ ABCD ตั้งฉากกับแกน Y และการชนเป็นแบบยืดหยุ่น จะได้

$$v_{xi} = v'_{xi} \quad \dots\dots\dots(1.13a)$$

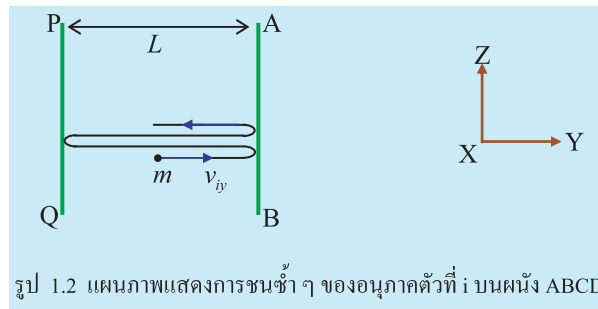
$$v_{zi} = v'_{zi} \quad \dots\dots\dots(1.13b)$$

และ $v_{yi} = -v'_{yi} \quad \dots\dots\dots(1.13c)$

ดังนั้นในการชนโมเมนตัมในแนวแกน Y ของอนุภาคตัวที่ i จะเปลี่ยนไป

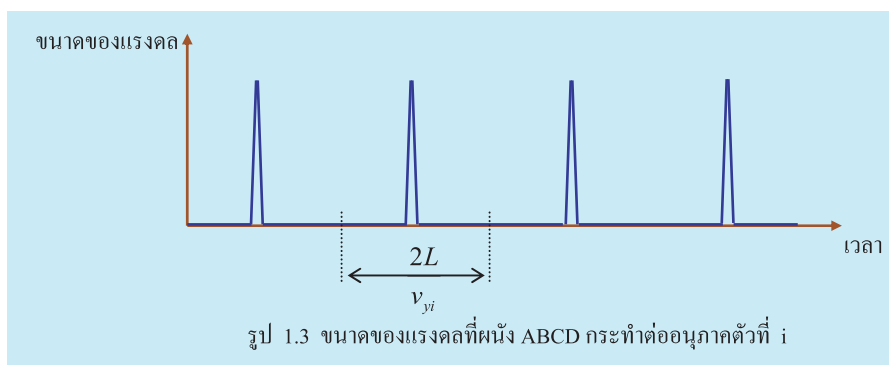
$$\begin{aligned} &= \text{โมเมนตัมหลังกระทบ} - \text{โมเมนตัมก่อนกระทบ} \\ &= (mv'_{yi}) - (mv_{yi}) \\ &= (-mv_{yi}) - (mv_{yi}) \\ &= -2mv_{yi} \end{aligned}$$

และจากหลักการการอนุรักษ์โมเมนตัม อนุภาคจะรับโมเมนตัมนี้จากผนัง ABCD



รูป 1.2 แผนภาพแสดงการชนซ้ำ ๆ ของอนุภาคตัวที่ i บนผนัง ABCD

หลังจากกระทบผนัง ABCD อนุภาคตัวที่ i จะสะท้อนกลับไปชนผนัง PQOS และจะสะท้อนกลับมาชนผนัง ABCD อีก เป็นเช่นนี้เรื่อยไป ในการพิจารณาการชนซ้ำ ๆ ของอนุภาคบนผนัง ABCD นี้ อาจทำได้ง่าย ๆ โดยมองเฉพาะการเคลื่อนที่ในแนว Y ของอนุภาค ตามแผนภาพในรูป 1.2 หลังจากชนผนัง ABCD แล้ว อนุภาคจะต้องเคลื่อนที่ในแนว Y ไปและกลับรวมเป็นระยะ $2L$ ก่อนที่จะชนผนัง ABCD อีกครั้ง ดังนั้นอนุภาคจะรับโมเมนตัมจากผนัง ทำให้เกิดแรงดลต่ออนุภาคทุกช่วงเวลา $\frac{2L}{v_{yi}}$ ดังแสดงในรูป 1.3



รูป 1.3 ขนาดของแรงดลที่ผนัง ABCD กระทำต่ออนุภาคตัวที่ i

โดยสรุป

ทุกช่วงเวลา $\frac{2L}{v_{yi}}$ อนุภาคตัวที่ i รับโมเมนตัมในแนว Y จากผนัง ABCD เท่ากับ $-2mv_{yi}$

อนุภาคตัวที่ i รับโมเมนตัมในแนว Y ต่อเวลาจากผนัง ABCD เท่ากับ

$$-\frac{2mv_{yi}}{(2L/v_{yi})} = -\frac{m}{L}v_{yi}^2$$

ทุกอนุภาคที่เคลื่อนที่ภายในกล่อง จะรับโมเมนตัมในแนว Y จากผนัง ABCD ในลักษณะเช่นนี้ ดังนั้นผลรวมของโมเมนตัมต่อเวลาที่อนุภาคทั้งหลายได้รับจากการชนมีค่าเป็น

$$-\left(\frac{m}{L}v_{y1}^2 + \frac{m}{L}v_{y2}^2 + \dots + \frac{m}{L}v_{yi}^2 + \dots + \frac{m}{L}v_{yN}^2\right) = -\left(\sum_{i=1}^N \frac{m}{L}v_{yi}^2\right)$$

แต่ตามกฎการเคลื่อนที่ของนิวตัน โมเมนตัมที่วัตถุใดได้รับต่อเวลา คือแรงที่กระทำต่อวัตถุ ดังนั้นแรงรวมในแนว Y ที่ผนัง ABCD กระทำต่ออนุภาคจะเท่ากับ $F' = -\left(\sum_{i=1}^N \frac{m}{L}v_{yi}^2\right)$ ซึ่งมีทิศไปทาง $-Y$ ดังนั้นแรงกระทำต่อผนังซึ่งเป็นแรงปฏิกิริยาของแรง F' จะมีทิศไปทางขวา และจะเท่ากับ

$$F = \sum_{i=1}^N \frac{m}{L}v_{yi}^2 \quad \dots\dots\dots(1.14)$$

ความจริงแล้วแรงคลเนื่องจากการชนของอนุภาคทั้งหลายจะกระทำต่อผนังเป็นช่วง ๆ ตามจังหวะการกระทบ แต่เนื่องจากอนุภาคมีจำนวนมาก แรงคลจึงกระทำถี่มากจนต่อกันเป็นแรงต่อเนื่องในระดับมหภาคดังในสมการ (1.14) เนื่องจาก

$$v_i^2 = v_{xi}^2 + v_{yi}^2 + v_{zi}^2$$

หาผลรวมสำหรับทุกอนุภาค

$$\sum_{i=1}^N v_i^2 = \sum_{i=1}^N v_{xi}^2 + \sum_{i=1}^N v_{yi}^2 + \sum_{i=1}^N v_{zi}^2 \quad \dots\dots\dots(1.15)$$

เนื่องจากอนุภาคทั้งหลายมีความเร็วแบบสุ่ม จากความสมมาตรจะได้

$$\sum_{i=1}^N v_{xi}^2 = \sum_{i=1}^N v_{yi}^2 = \sum_{i=1}^N v_{zi}^2 \quad \dots\dots\dots(1.16)$$

จากสมการ (1.15) และ (1.16) จะได้

$$\sum_{i=1}^N v_{yi}^2 = \frac{1}{3} \sum_{i=1}^N v_i^2$$

แทนค่าในสมการ (1.14) จะได้

$$F = \frac{m}{L} \sum_{i=1}^N v_{yi}^2 = \frac{m}{L} \cdot \frac{1}{3} \sum_{i=1}^N v_i^2$$

ดังนั้นความดันที่ผนัง ABCD เป็น

$$P = \frac{F}{L^2} = \frac{m}{3L^3} \sum_{i=1}^N v_i^2$$

หรือ

$$PV = \frac{1}{3} m \sum_{i=1}^N v_i^2 \quad \dots\dots\dots(1.17)$$

โดย L^3 คือปริมาตร V ของกล่อง

พิจารณาค่าพลังงานจลน์ของการเคลื่อนที่เฉลี่ยของอนุภาคทั้งหลาย

$$\begin{aligned} \langle KE_t \rangle &= \frac{1}{N} \left(\frac{1}{2} m v_1^2 + \frac{1}{2} m v_2^2 + \dots\dots\dots + \frac{1}{2} m v_N^2 \right) \\ &= \frac{1}{N} \cdot \frac{m}{2} \sum_{i=1}^N v_i^2 = \frac{m}{2} \left(\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N v_i^2 \right) = \frac{m}{2} \langle v^2 \rangle \end{aligned}$$

หรือ

$$\sum_{i=1}^N v_i^2 = \frac{2N}{m} \langle KE_t \rangle$$

แทนค่าลงในสมการ (1.17) จะได้

$$PV = \frac{m}{3} \cdot \frac{2N}{m} \langle KE_t \rangle = \frac{2}{3} N \langle KE_t \rangle \quad \dots\dots\dots(1.18)$$

จะเห็นว่าสมการข้างบนใกล้เคียงกับกฎของแก๊สอุดมคติในสมการ (1.6) เพื่อให้สอดคล้องกับสมการนี้จำเป็นต้องตั้งสมมติฐานที่ 3 ของแก๊สอุดมคติดังนี้

ก) พลังงานจลน์ของการเคลื่อนที่เฉลี่ยของอนุภาคของแก๊สอุดมคติแปรผันโดยตรงไปกับอุณหภูมิเคลวิน

$$\langle KE_t \rangle \propto T$$

เพื่อให้สอดคล้องกับสมการ (1.6) ค่าคงที่ของการแปรผันจะต้องเท่ากับ $\frac{3}{2}k$ ดังนั้น

$$\langle KE_t \rangle = \frac{3}{2} kT \quad \dots\dots\dots(1.19)$$

แทนค่าจากสมการ (1.19) ลงในสมการ (1.18) จะได้

$$PV = \frac{2}{3} N \cdot \frac{3}{2} kT$$

หรือ

$$PV = NkT$$

สอดคล้องกับสมการ (1.6) และค่า k ใน (1.19) ก็คือค่าคงที่ของโบลต์ซมันน์นั่นเอง

เนื่องจากในการวิเคราะห์โดยใช้สมมติฐานของแก๊สอุดมคติข้างต้นให้ผลสอดคล้องกับสมการของแก๊สอุดมคติ หรือสมการ (1.6) แสดงว่าสมมติฐานที่ตั้งขึ้นเป็นจริง แก๊สอุดมคติประกอบด้วยอนุภาคจำนวนมาก และความดันของแก๊สที่ผนังภาชนะเกิดจากการชนของอนุภาคเหล่านี้ต่อผนังจริง นอกจากนี้ยังได้ความสัมพันธ์ของพลังงานจลน์เฉลี่ยของการเคลื่อนที่ของอนุภาคกับอุณหภูมิเคลวินตามสมการ (1.19) อีกด้วย

จากสมการ (1.19) จะได้ว่า

$$\langle KE_t \rangle = \frac{1}{2} m \langle v^2 \rangle = \frac{3}{2} kT \quad \dots\dots\dots(1.20)$$

เพื่อความสะดวกอาจเขียน

$$v_{rms} = \sqrt{\langle v^2 \rangle} \quad \dots\dots\dots(1.21)$$

โดย v_{rms} คือรากที่สองของค่าเฉลี่ยของกำลังสองของอัตราเร็ว (root mean square speed) แทนข้างบนจะได้

$$\frac{1}{2} m v_{rms}^2 = \frac{3}{2} kT \quad \dots\dots\dots(1.22)$$

จากสมการนี้อาจหา v_{rms} ของโมเลกุลที่อุณหภูมิเคลวินต่าง ๆ ได้ โดยทั่วไปพบว่า

$$v_{rms} \neq \langle v \rangle \quad \dots\dots\dots(1.23a)$$

แต่จากการศึกษาต่อไปพบว่า

$$v_{rms} \simeq \langle v \rangle \quad \dots\dots\dots(1.23b)$$

ในการศึกษาเพิ่มเติม ถ้าคำนึงถึงอันตรกิริยาของอนุภาค ขนาดและรูปร่างของอนุภาค จะได้สมการของแก๊สที่แตกต่างไปจากสมการของแก๊สอุดมคติในสมการ (1.3) และ (1.6) ดังจะได้กล่าวต่อไป

ตัวอย่าง 1.1

จงหาความหนาแน่นของอากาศที่ความดัน 1 บรรยากาศ อุณหภูมิ 300 เคลวิน ถ้าสมมติว่าอากาศมีโมเลกุลแบบเดียวกันหมด มีมวลโมลาร์ 28.9 กรัมต่อโมล (1 บรรยากาศ = 1.013×10^5 Pa)

จงเปรียบเทียบระยะห่างเฉลี่ยระหว่างโมเลกุลของอากาศกับโมเลกุลของน้ำที่อุณหภูมิและความดันนี้

วิธีทำ

จากกฎของแก๊ส $PV = nRT$ จะได้ความหนาแน่นของโมล

$$\frac{n}{V} = \frac{P}{RT} = \frac{1.013 \times 10^5}{8.31 \times 300} = 40.63 \text{ mol/m}^3$$

ความหนาแน่นของอากาศ $\rho = \frac{m}{V} = 40.63 \times 28.9 = 1174.3 \text{ g/m}^3$

จำนวนโมเลกุลของอากาศต่อปริมาตรเป็น

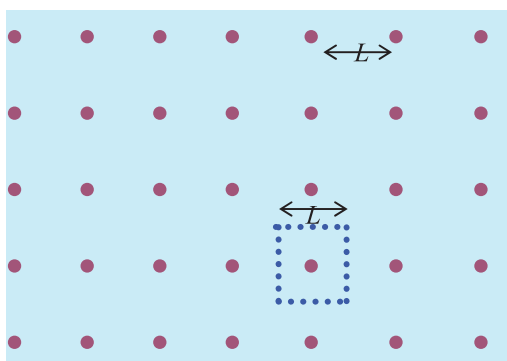
$$\frac{N}{V} = \frac{P}{kT} = \frac{1.013 \times 10^5}{1.38 \times 10^{-23} \times 300} = 2.447 \times 10^{25} \text{ โมเลกุล/m}^3$$

$$1 \text{ โมเลกุลของอากาศครอบครองปริมาตร} = \frac{1}{2.447 \times 10^{25}} = 4.089 \times 10^{-26} = (3.445 \times 10^{-9})^3 \text{ m}^3 \dots\dots\dots(1)$$

$$1 \text{ โมเลกุลของน้ำมีมวล} = \frac{18 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}}{6.02 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}} = 2.990 \times 10^{-23} \text{ g} = 2.990 \times 10^{-26} \text{ kg}$$

แต่น้ำมีความหนาแน่น = 1000 kg/m³

$$\text{ดังนั้น } 1 \text{ โมเลกุลของน้ำครอบครองปริมาตร} = \frac{2.990 \times 10^{-26}}{1000} = 2.990 \times 10^{-29} = (3.104 \times 10^{-10})^3 \text{ m}^3 \dots\dots\dots(2)$$



รูป 1.4 แสดงระยะห่างเฉลี่ยระหว่างโมเลกุล L

พิจารณารูป (1.4) จากสมการ (1) และ (2) พบว่า

$$\frac{\text{ระยะห่างเฉลี่ยของโมเลกุลของอากาศ}}{\text{ระยะห่างเฉลี่ยของโมเลกุลของน้ำ}} = \frac{3.445 \times 10^{-9}}{3.104 \times 10^{-10}} = 11.1$$

ตอบ

หมายเหตุ รูปที่เขียนเป็นรูป 2 มิติ แต่จะช่วยให้ผู้อ่านจินตนาการปัญหาใน 3 มิติได้ง่ายขึ้น

ตัวอย่าง 1.2

ลูกโป่งยางทรงกลมรัศมี 21.0 เซนติเมตร มวลของยางเท่ากับ 30.8 กรัม บรรจุแก๊สฮีเลียม ความดันของแก๊สและความดันอากาศรอบ ๆ ใกล้เคียงกันเท่ากับ 1.01×10^5 ปาสคัล มีเชือกมวลน้อยมากผูกไว้ติดกับพื้นเพื่อให้ลูกโป่งลอยขึ้น ถ้าขณะนั้นอุณหภูมิเท่ากับ 25 องศาเซลเซียส

- ก) เชือกมีความตึงเท่าไร
ข) ถ้าตัดเชือกให้ขาด ขณะเชือกขาดพอดีลูกโป่งมีความเร่งเท่าใด

วิธีทำ

ก) ปริมาตรของลูกโป่ง $V = \frac{4}{3}\pi(0.21)^3 = 3.879 \times 10^{-2} \text{ m}^3$

โมลของแก๊สฮีเลียมในลูกโป่ง และโมลของอากาศปริมาตรเท่ากับลูกโป่ง คือ

$$n = \frac{PV}{RT} = \frac{(1.01 \times 10^5)(3.879 \times 10^{-2})}{8.31 \times 298} = 1.582 \text{ mol}$$

มวลของแก๊สฮีเลียม

$$m_1 = 4.00 \times 1.582 = 6.329 \text{ g}$$

มวลของอากาศปริมาตรเท่าลูกโป่ง

$$m_2 = 28.9 \times 1.582 = 45.72 \text{ g}$$

ถ้า F_2 เป็นแรงพยุงของอากาศ F_1 และ W เป็นน้ำหนักของฮีเลียม และยางตามลำดับ จะได้ความตึงของเส้นเชือก T เป็น

$$T = F_2 - F_1 - W = m_2 g - m_1 g - W$$

$$= 9.8 \times (45.72 - 6.329) \times 10^{-3} - 9.8 \times 30.8 \times 10^{-3} = 0.08419 \text{ N}$$

ความตึงของเชือกเท่ากับ 0.0842 นิวตัน

ตอบ

