

บทที่ 1

สสารและสถานะของสสาร

การศึกษาส่วนประกอบและโครงสร้างของสสารเป็นวัตถุประสงค์สำคัญอย่างหนึ่งของวิชาฟิสิกส์ การศึกษาอย่างแท้จริงและโดยละเอียดจะกระทำได้ต่อเมื่อได้ศึกษาหลักการที่สำคัญของฟิสิกส์อย่างลึกซึ้ง ซึ่งเป็นเป้าหมายของเราในการศึกษาฟิสิกส์ แต่ในขณะนี้สิ่งที่เราทำได้คือรวบรวมความเข้าใจเบื้องต้นเกี่ยวกับส่วนประกอบของสสาร โครงสร้างของสสารอย่างคร่าว ๆ รวมทั้งอธิบายบทบาทของอันตรกิริยาในการรวมตัวของส่วนประกอบของสสารและอธิบายปรากฏการณ์ธรรมชาติต่าง ๆ ในบทนี้เราจะศึกษาเรื่องสสาร

1. สสาร สสารมีลักษณะที่บอกได้ชัดเจน 3 ประการ คือ

1.1 สสารต้องการที่อยู่ เรารู้ว่าสสารต้องการที่อยู่เพราะว่า เราสามารถ ตวง วัด ปริมาณได้ อย่างเช่น ข้าวสารหนึ่งถัง น้ำหนึ่งขวด ก๊าซหุงต้มหนึ่งถัง เป็นต้น ข้าวสาร น้ำ และ ก๊าซหุงต้มเป็นสสาร แต่ถ้าจะพูดว่า แสงอาทิตย์หนึ่งแกลลอน ความร้อนหนึ่งกระปุก หรือเสียงหนึ่งระลอก ก็จะไม่มีความหมาย ทั้งนี้เพราะความร้อน แสง และเสียง เป็นพลังงาน ไม่ใช่สสาร การทดลองว่าสสารต้องการที่อยู่นั้น ถ้าเป็นของแข็งหรือของเหลว อาจทำได้ไม่ยากอย่างเช่น ถ้าเรามีน้ำเต็มแก้ว เมื่อหย่อนน้ำแข็งลงไปจะเห็นว่ามีน้ำล้นออกมา แสดงว่าน้ำแข็งต้องการที่อยู่ หรือถ้าเรามีน้ำเต็มแก้วอยู่แล้ว เทน้ำใส่แก้วนั้นเข้าไปอีก จะมีน้ำล้นออกมา จะเป็นน้ำเก่าจาก แก้วที่เต็มอยู่แล้วหรือน้ำที่รินเข้าไปใหม่ก็ตาม การที่มีน้ำล้นออกมาแสดงว่าของเหลวคือน้ำต้องการ ที่อยู่ การเป่าลูกโป่งหรือสูบลมยางรถยนต์ก็แสดงว่าอากาศหรือก๊าซต้องการที่อยู่

1.2 สสารมีมวล เมื่อพูดถึงมวลเรามักจะนึกไปถึงน้ำหนัก ความจริงคำว่ามวล และน้ำหนักมีความหมายต่างกัน มวลเป็นสมบัติของวัตถุ เป็นปริมาณเนื้อของสสาร แต่น้ำหนัก คือแรงโน้มถ่วงที่กระทำต่อมวลเพื่อให้เห็นความแตกต่าง ถ้าเรานำวัตถุก้อนหนึ่งไปที่ผิวของดวงจันทร์ มันจะหนักประมาณ $1/6$ เท่าของน้ำหนักบนผิวโลก เพราะแรงโน้มถ่วงบนผิวของดวงจันทร์น้อยกว่าบนผิวโลก วัตถุก้อนนี้ไม่ว่าจะอยู่ที่ผิวโลกหรือที่ผิวของดวงจันทร์จะมีมวลเท่าเดิม อย่างไรก็ตามในชีวิตประจำวันของเราอยู่บนผิวโลก เราอาจพูดได้ว่าสสารมีมวลจึงมีน้ำหนัก ถ้ามีมวลมากก็หนักมาก เพราะว่าถ้าสสารใดมีมวลมากก็มีความสามารถต้านทานการเคลื่อนที่ได้มาก และในทางตรงกันข้าม ถ้ามันเคลื่อนที่อยู่แล้วก็จะหยุดได้ยาก เราชั่งก้อนหินได้ ชั่งน้ำได้ ลองชั่งยางใน

รถยนต์ตอนก่อนสูบยางและหลังสูบยางจนเต็ม ซึ่งจะมีน้ำหนักเพิ่มขึ้น แสดงว่าเราซึ่งอากาศได้
ดังนั้น ก้อนหิน น้ำ และอากาศ เป็นสสาร

ส่วนความร้อนที่ทำให้เตารีดร้อนไม่เคยทำให้เตารีดหนักขึ้น หรือแสงไฟที่ส่องบนหน้า
หนังสือไม่ว่าจะเจ็ดจ้ำจกเพียงใด หนังสือก็ไม่หนักขึ้น หรือเสียงตะโกนลงไปในโถงก็ไม่ทำให้โถง
มีน้ำหนักเพิ่มขึ้นแต่อย่างใด ทั้งนี้เป็นเพราะทั้งความร้อน แสง และเสียง เป็นพลังงาน ไม่ใช่สสาร
ไม่มีมวล

1.3 สสารประกอบขึ้นด้วยอะตอม ความคิดที่ว่าสสารประกอบด้วยอะตอมนั้น
ปรัชญาเมธีชาวกรีก ชื่อ เดโมคริตัส (Democritus) ได้พูดไว้ว่า สสารชนิดหนึ่ง สมมติว่าเป็นเหล็ก
ถ้านำมาตัดให้เป็นชิ้นเล็ก ๆ ลงเรื่อย ๆ ในที่สุดก็จะได้ชิ้นที่เล็กที่สุดที่ไม่สามารถจะแบ่งต่อไปได้อีก
เรียกส่วนที่เล็กที่สุดว่า "อะตอม" ในภาษากรีกแปลว่า แบ่งต่อไปอีกไม่ได้แล้ว ในวิชาเคมี
นักวิทยาศาสตร์ได้ค้นคว้าและบันทึกไว้ว่ามีธาตุกว่า 100 ธาตุ ที่จะทราบได้ว่าเป็นธาตุอะไร
ก็เพราะอะตอมของธาตุนั้นเหมือนกันจะเหมือนกันและแตกต่างจากอะตอมของธาตุอื่น ๆ
อะตอมจึงเป็นส่วนที่เล็กที่สุดของธาตุที่ยังแสดงสมบัติของธาตุนั้นอยู่ เมื่ออะตอมของธาตุตั้งแต่
สองชนิดขึ้นไปมารวมกัน เกิดเป็นโมเลกุลของสสารชนิดใหม่ขึ้น เราเรียกว่า สารประกอบ
(compound) อย่างเช่น น้ำ แก๊สออกซิเจน คาร์บอนไดออกไซด์ เป็นต้น น้ำประกอบด้วยธาตุ
ไฮโดรเจนและออกซิเจน ส่วนที่เล็กที่สุดของสารประกอบที่ยังแสดงสมบัติของสารประกอบนั้น
เรียกว่า 'โมเลกุล' โมเลกุลของน้ำยังมีสมบัติเป็นน้ำ แต่ถ้าแยกโมเลกุลของน้ำแล้วจะได้ไฮโดรเจน
2 อะตอม และออกซิเจน 1 อะตอม

ตามลักษณะของสสารที่กล่าวทั้ง 3 ข้อนั้น เราจะไม่พบลักษณะเช่นนี้ในสิ่งที่
เรียกว่าพลังงานเลย แม้ว่าบางครั้งแรกอาจพูดถึงพลังงานแสงสว่างประกอบด้วยส่วนย่อย ๆ ที่
เรียกว่า โฟตอน (photon) พลังงานของโฟตอนเรียกว่า ควอนตา (quanta) แต่โฟตอนก็ไม่มีมวล

เมื่อเปรียบเทียบการศึกษาของนักวิทยาศาสตร์ 2 สาขา จะเห็นว่านักเคมีสนใจว่า
สสารจะเปลี่ยนแปลงไปอย่างไรเป็นเบื้องต้น แม้ว่าเขาจะต้องเกี่ยวข้องกับพลังงานอย่างหลีกเลี่ยง
ไม่ได้ ส่วนนักฟิสิกส์จะสนใจว่าพลังงานเป็นอย่างไร เช่น พลังงานแม่เหล็กไฟฟ้า หรือพลังงาน
นิวเคลียร์ เป็นเบื้องต้น แต่แล้วเขาก็ต้องเกี่ยวข้องกับสสารด้วย เพราะพลังงานและสสารต่างก็มี
ความสัมพันธ์กันชนิดแยกไม่ออก

2. สถานะของสสาร สสารโดยทั่วไปแบ่งออกเป็น 3 สถานะ ก๊าซ ของเหลว ของแข็ง

ก๊าซ คือ สสารที่โมเลกุลของมันอยู่ห่างกัน มีช่องว่างสำหรับที่โมเลกุลของก๊าซจะ
เคลื่อนที่ไปมาได้อย่างรวดเร็วและไม่หยุดยั้ง โมเลกุลของก๊าซในบรรยากาศของโลกเราจะเคลื่อนที่
ด้วยความเร็วประมาณ 1,600 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ก๊าซมีปริมาตรไม่แน่นอนขึ้นอยู่กับภาชนะที่บรรจุ

ตามปกติก๊าซจะขยายตัวเพื่อให้เต็มภาชนะที่บรรจุมันเสมอ บรรยากาศของโลกเราไม่มีกำแพงกัน เหตุที่โมเลกุลของก๊าซไม่หนีไปก็เนื่องจากแรงดึงดูดของโลกดึงดูดมันไว้ เปรียบเทียบกับดวงจันทร์ ครั้งหนึ่งอาจมีชั้นของบรรยากาศอยู่ก็ได้ แต่เพราะแรงโน้มถ่วงของดวงจันทร์มีน้อยกว่าทั้งโมเลกุลของก๊าซเคลื่อนที่เร็ว จึงทำให้ก๊าซหนีไปสู่อวกาศหมด

บรรยากาศของโลกเรามีส่วนผสมของก๊าซหลายชนิด โกลด์ ๗ พื้นโลกอากาศจะประกอบด้วยไนโตรเจน 78 เปอร์เซ็นต์ ออกซิเจน 21 เปอร์เซ็นต์ อาร์กอนอีกเกือบหนึ่งเปอร์เซ็นต์ นอกนั้นจะเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ นีออน และก๊าซอื่น ๆ ไอน้ำในอากาศก็เป็นส่วนผสมอยู่ด้วย ซึ่งอาจจะมีค่าตั้งแต่ศูนย์ ถึง สี่เปอร์เซ็นต์ เปอร์เซ็นต์ของส่วนผสมนี้ก็แตกต่างกันไปตามสถานที่ อย่างเช่น ในสถานที่ที่มีมลภาวะ มีหมอก มีควัน บรรยากาศในบริเวณนั้นอาจจะมีคาร์บอนมอนอกไซด์ ไนโตรเจนออกไซด์ ไฮโดรคาร์บอน ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ และพวกที่เรียกว่า แอโรโซล (aerosols)

ดังได้กล่าวแล้วว่าโมเลกุลของก๊าซเคลื่อนที่อย่างรวดเร็วเมื่อนำก๊าซไปบรรจุภาชนะ จะทำให้เกิดความดันที่ภาชนะนั้น อันเป็นผลโดยตรงเนื่องมาจากโมเลกุลวิ่งอย่างรวดเร็วไปชนภาชนะ ถ้าก๊าซมีอุณหภูมิสูงขึ้น โมเลกุลของก๊าซก็ยิ่งวิ่งเร็วขึ้น มันก็ยิ่งชนกันบ่อยขึ้นและชนกันแรงขึ้น ความดันในภาชนะที่บรรจุก๊าซก็จะมากขึ้น ความดันนี้จะลดลงเมื่ออุณหภูมิก๊าซต่ำลง เนื่องจากช่องว่างระหว่างโมเลกุลของก๊าซมาก เราจึงสามารถอัดก๊าซได้ การอัดก๊าซนี้ก็คือ การใช้ความดันจากภายนอกภาชนะอัดลงไป ทำให้ปริมาตรของก๊าซลดลง การเคลื่อนที่ของโมเลกุลของก๊าซจะเป็นไปอย่างไม่เป็นระเบียบ (random) มีช้าบ้าง เร็วบ้าง เราเรียกการเคลื่อนที่แบบนี้ว่าการเคลื่อนที่แบบบราวเนียน (Brownian movement) เพื่อเป็นเกียรติแก่ โรเบิร์ต บราวน์ (Robert Brown) ดังนั้นการศึกษาพฤติกรรมของการเคลื่อนที่ของโมเลกุลของก๊าซ จึงทำได้โดยการหาความเร็วเฉลี่ยของโมเลกุล ทฤษฎีที่ใช้พยากรณ์ลักษณะปรากฏการณ์ของก๊าซคือ ทฤษฎีที่ชื่อว่า ทฤษฎีไคเนติกของก๊าซ (Kinetic theory of gas)

ความจริงอีกประการหนึ่งสำหรับก๊าซทั่ว ๆ ไป ไม่ว่าจะมีส่วนประกอบทางเคมีอย่างไรก็ตาม คือ "ก๊าซใด ๆ ที่มีปริมาตรเท่ากัน ที่ความดัน และอุณหภูมิเท่ากัน จะมีจำนวนโมเลกุลเท่ากัน" กฎเกณฑ์ดังกล่าวนี้บางทีเรียกว่า กฎของอาโวกาโดร (Avogadro's hypothesis) เพื่อเป็นเกียรติแก่นักวิทยาศาสตร์ชื่อ Amedeo Avogadro อย่างไรก็ตาม การวัดจำนวนโมเลกุลในสมัยของอาโวกาโดรยังทำไม่ได้ละเอียดนัก จนถึงคริสต์ศตวรรษที่ 20 จึงมีการวัดได้ละเอียดดีขึ้น และพบว่าสำหรับก๊าซอุดมคติ (ideal gas) จะมีโมเลกุลประมาณ 2.7×10^{23} โมเลกุลในหนึ่งลิตรที่ เอส ที พี (STP) คำว่า 'เอส ที พี' หมายความว่า ที่อุณหภูมิและความดันมาตรฐาน คือ อุณหภูมิศูนย์องศาเซลเซียส และ ความดันหนึ่งบรรยากาศ

เนื่องจากที่ เอส ที พี ก๊าซซึ่งมีมวล (หน่วยเป็นกรัม) เป็นตัวเลขเท่ากับน้ำหนัก

โมเลกุล (molecular weight) ของมัน จะมีปริมาตรเท่ากับ 22.4 ลิตร ปริมาณนี้เรียกว่า 1 โมล (mole) ดังนั้นถ้าเราจะหาจำนวนโมเลกุลในหนึ่งโมล จึงหาได้จาก

$$2.7 \times 10^{22} \times 22.4 = 6.02 \times 10^{23} \text{ โมเลกุลต่อโมล}$$

6.02×10^{23} โมเลกุลต่อโมล เรียกว่า เลขของอาโวกาโดร (Avogadro's number)

ของเหลว คือสสารที่โมเลกุลของมันอยู่ใกล้ชิดติดกัน แต่ยังมีช่องว่างพอที่จะเคลื่อนที่ได้ ของเหลวจึงมีปริมาตรคงที่ แต่มีรูปร่างไม่แน่นอนขึ้นอยู่กับภาชนะที่บรรจุของเหลวนั้น เมื่อเราทำให้ก๊าซเย็นลงเรื่อย ๆ โมเลกุลของก๊าซก็ยิ่งเข้าใกล้กันทุกที่จนกระทั่งถึงจุดหนึ่งที่ใกล้กันพอที่จะเกิดแรงดึงดูดระหว่างกันขึ้นได้ แรงแบบนี้ต่างจากแรงที่ยึดเหนี่ยวอะตอมให้รวมกันเข้าเป็นโมเลกุล แต่ก็ยังเป็นแรงเนื่องจากประจุไฟฟ้าในอะตอมหรือโมเลกุลนั่นเอง แรงประเภทนี้ชื่อเรียกว่า แรงระหว่างโมเลกุล (molecular force) หรือแรงแบบแวนเดอวาล (Van de Waas forces) เพราะแวนเดอวาล เป็นผู้ค้นพบแรงประเภทนี้เป็นคนแรก

ดังนั้นเราอาจกล่าวได้ว่า สถานะของเหลวนั้น อาจได้มาจากสถานะที่เป็นก๊าซเมื่ออุณหภูมิเย็นลงจนกระทั่งแรงแบบแวนเดอวาล สามารถที่จะทำให้โมเลกุลของมันที่เคยเคลื่อนที่อย่างอิสระเมื่อตอนเป็นก๊าซกลับต้องมีแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลมากขึ้น กลายเป็นของเหลวและเมื่อมีโมเลกุลเป็นจำนวนมาก เราจะสามารถมองเห็นจับต้องได้ อย่างไรก็ตาม โมเลกุลของของเหลวยังคงเคลื่อนย้ายสลับที่กันได้ ตัวอย่างเช่น ไขมัน ถ้าอุณหภูมิของมันเย็นลงจนระยะห่างระหว่างโมเลกุลลดลงประมาณ 10 เท่าแล้ว จะทำให้แรงโมเลกุลหรือแรงแวนเดอวาลดึงดูดระหว่างโมเลกุลของไขมันกลายเป็นน้ำได้ น้ำหนึ่งลูกบาศก์เซนติเมตรที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เมื่อกลายเป็นไขมันที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส จะมีปริมาตรประมาณ 1,670 ลูกบาศก์เซนติเมตร ดังนั้นระยะทางระหว่างโมเลกุลของไขมันประมาณ 12 เท่าของระยะทางระหว่างโมเลกุลของน้ำ

เนื่องจากโมเลกุลของของเหลวยังมีการเคลื่อนที่อยู่ โมเลกุลที่กล่าวถึงนี้รวมถึงโมเลกุลที่อยู่ชิดผิวของของเหลวด้วย ดังนั้นจึงมีโอกาสที่บางโมเลกุลที่ผิวซึ่งวิ่งเร็วเลยขอบเขตของของเหลวไปเป็นโมเลกุลของไอน้ำแทรกในโมเลกุลของอากาศ ถ้าเกิดมีโมเลกุลวิ่งเลยขอบเขตของของเหลวมาก ๆ เข้า จำนวนของของเหลวในภาชนะน้อยลง เราเรียกปรากฏการณ์ที่โมเลกุลของของเหลวเดิมกลายเป็นไอน้ำไปแทรกอยู่ในโมเลกุลของอากาศนี้ว่าการระเหย

การระเหยของของเหลวที่เราคุ้นเคยมากที่สุดคือ การระเหยของน้ำกลายเป็นไอน้ำ การระเหยของน้ำจะได้ดีหรือไม่ขึ้นขึ้นอยู่กับแฟกเตอร์หลายอย่าง เช่น ในขณะที่น้ำมีโมเลกุลของไอน้ำแทรกอยู่ในอากาศมากแล้ว จึงไม่สามารถที่จะรับโมเลกุลที่จะระเหยจากผิวน้ำเข้าไปได้อีก หรือที่อุณหภูมิต่ำ ๆ ความเร็วของโมเลกุลอาจจะไม่มากพอที่จะหลุดออกไปจากผิวของน้ำ แต่ถ้า

เพิ่มอุณหภูมิให้แก่ น้ำ ก็จะมีการระเหยได้มากขึ้น ที่จุดเดือดน้ำจะกลายเป็นไอน้ำได้อย่างรวดเร็ว ที่ความสูงต่ำต่างกันการระเหยของไอน้ำก็ต่างกัน ดังที่เราทราบว่า บนภูเขาสูงน้ำเดือดที่อุณหภูมิต่ำกว่าที่ราบ อย่างเช่น น้ำเดือดที่ 100 องศาเซลเซียส ที่ระดับน้ำทะเล แต่เดือดที่ 98.3 องศาเซลเซียส บนภูเขาสูง 500 ฟุต ทั้งนี้เพราะในที่สูงมีโมเลกุลของอากาศน้อยกว่าที่ราบ

ของแข็ง คือสสารที่โมเลกุลจับเกาะกันแน่นอย่างเป็นระเบียบและมีโครงสร้างที่แน่นอน จึงทำให้ของแข็งคงรูปร่างอยู่ได้ แรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลจะมีขนาดใกล้เคียงกับแรงระหว่างอะตอมที่รวมกันเป็นโมเลกุล ระยะห่างระหว่างอะตอมหรือโมเลกุลของของแข็งโดยเฉลี่ย มีขนาดประมาณเท่ากับขนาดของโมเลกุล

ถ้าทำให้ของของเหลวเย็นลง โมเลกุลของของเหลวจะยิ่งชิดกันมากขึ้น โมเลกุลจะจัดเรียงตัวกันใหม่ การเรียงตัวโมเลกุลใหม่อาจจะมีแบบที่แน่นอนหรือไม่แน่นอนก็ได้ แรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลจะมีค่ามากขึ้นโมเลกุลไม่สามารถเคลื่อนย้ายได้อย่างอิสระต่อไปเราเรียกสถานะนี้ว่าของแข็ง

ถ้าการเรียงตัวของโมเลกุลของของแข็งมีแบบแผนที่แน่นอน เราเรียกโครงสร้างนั้นว่าผลึก (crystal) ซึ่งของแข็งชนิดนี้เมื่อทำให้อุณหภูมิสูงขึ้นจนถึงขีดหนึ่งที่เราเรียกว่าจุดหลอมเหลว (melting point) ของแข็งนี้จะกลายเป็นของเหลวหรือในขบวนการกลับกันของเหลวเมื่ออุณหภูมิลดลงจนถึงขีดเดียวกันนี้ก็จะแข็งตัวใหม่ แต่เราจะเรียกขีดนี้ว่า จุดเยือกแข็ง (freezing point) ในของแข็งชนิดนี้ผลึกของมันจะละลายเป็นของเหลวหรือแข็งตัวเป็นของแข็งที่อุณหภูมิและความดันคงที่ค่าหนึ่งไม่เปลี่ยนแปลง

มีสสารบางชนิด เช่น แก้ว ยางไม้บางชนิด กำมะถัน เรียกว่า อมอฟัส (amorphous) สสารพวกนี้ไม่มีโครงสร้างเป็นผลึกเหมือนของแข็งส่วนใหญ่ และสสารพวกนี้ไม่มีจุดหลอมเหลวที่แน่นอน เมื่อให้ความร้อนมันก็จะอ่อนตัวลงเรื่อย ๆ ของแข็งที่เรียกว่า อมอฟัสนี้ บางคนจึงเรียกว่าของเหลวที่มีความหนืดสูงมาก

นอกจากสถานะของสสารทั้งสามสถานะที่เราคุ้นเคย คือ ก๊าซ ของเหลว ของแข็ง แล้ว ในปัจจุบันนี้นักวิทยาศาสตร์ได้จัดสารอีกประเภทหนึ่งเป็นสถานะที่สี่ เรียกว่า พลาสมา (plasma) พลาสมาประกอบด้วยอนุภาคหรืออะตอมที่มีประจุไฟฟ้าอยู่รวมกันในลักษณะของก๊าซ เมื่อก๊าซถูกทำให้มีอุณหภูมิสูงขึ้นมาก ๆ จะแตกตัวเป็นไอออน และเปลี่ยนสถานะเป็นพลาสมา สสารส่วนใหญ่ในจักรวาล โดยเฉพาะอย่างยิ่งในดาวฤกษ์ เช่น ดวงอาทิตย์ มีสถานะเป็นพลาสมา การศึกษาและวิจัยเกี่ยวกับพลาสมาได้รับความสนใจมากในปัจจุบัน เพราะเชื่อกันว่าพลาสมาจะเป็นกุญแจสำคัญไขไปสู่การควบคุมพลังงานอะตอมจากปฏิกิริยานิวเคลียร์ เรียกว่า ฟิวชัน (fusion) ซึ่งจะให้พลังงานมหาศาล

ตามที่กล่าวมานี้ จะเห็นว่าสสารสามารถเปลี่ยนสถานะได้ แต่มวลของสสารไม่ว่าจะอยู่ในสถานะใดจะมีค่าคงที่หรือเท่าเดิม กฎนี้เรียกว่า กฎคงตัวของมวลหรือกฎอนุรักษ์มวล (conservation of mass)

แบบฝึกหัด

- 1.1 สสารมีลักษณะที่บ่งบอกได้ชัดเจนอย่างไร และพลังงานเป็นสสารหรือไม่ เพราะอะไร
- 1.2 อะไรคือส่วนที่เล็กที่สุดของสสาร เพราะเหตุใด
- 1.3 สถานะของสสารมีกี่สถานะ อะไรบ้าง และในปัจจุบันนักวิทยาศาสตร์มีความคิดเห็นเกี่ยวกับสถานะของสสารอย่างไร
- 1.4 โรเบิร์ต บราวน์ มีความสัมพันธ์กับทฤษฎีโคเนติกของก๊ากอย่างไร
- 1.5 กฎของอาโวกาโดร (Avogadro's hypothesis) มีใจความอย่างไร มีประโยชน์อย่างไร
- 1.6 ใครคือผู้ค้นพบ "แรงระหว่างโมเลกุล" เป็นคนแรกและแรงนี้มีประโยชน์อย่างไร
- 1.7 พลาสมาคืออะไร พบมากในธรรมชาติที่ไหน