3

สสาร

สสารที่มีอยู่ในโลกนี้ อาจอยู่ได้ในสถานะใดสถานะหนึ่งในสามสถานะ คือ ก๊าซ ของเหลวและของแข็ง ทั้งนี้ขึ้นกับอุณหภูมิ ความดัน และคุณลักษณะพิเศษของสารนั้น เช่น ณ สภาวะปกติน้ำอาจจะอยู่ในรูปน้ำแข็ง ถ้าให้ความร้อนน้ำแข็งต่อไปจะกลายเป็นน้ำเหลว เมื่อให้ความร้อนต่อไปอีกจะกลายเป็นไอ ส่วนเกลือแกงจะอยู่ในสถานะเดียวคือของแข็ง ณ สภาวะปกติ

ตาราง 3-1 ตัวอย่างของสารที่อุณหภูมิห้องและความดันบรรยากาศ

SOLID	LIQUID	GAS
Baking soda	Water	Air
Aluminum	Vinegar	Oxygen
Gold	Mercury	Nitrogen
Iron	Alcohol	Carbon dioxide
Wood	Ether	Carbon monoxide
Cement	Gasoline	Helium
Paper	Oil	Natural gas
Salt	Brake fluid	Hydrogen
Sand	Carbon disulfide	Ammonia
Coal	Benzene	Chlorine

3-1 การจำแนกสาร (Classification of Matter)

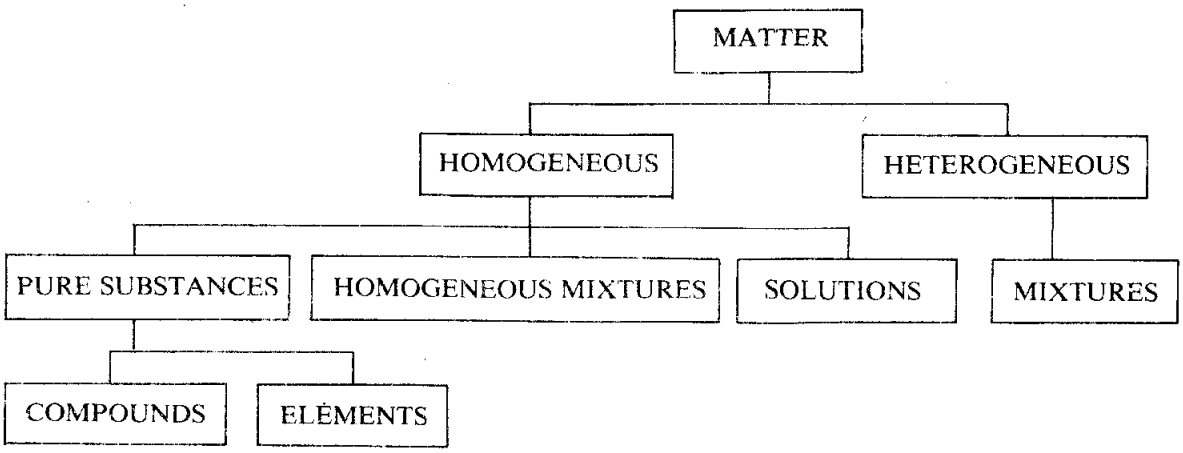
สสารแบ่งออกได้เป็นสองประเภทใหญ่ คือ สารเอกพันธ์ (Homogeneous matter) และสารวิวิธพันธ์ (Heterogeneous matter)

สารเอกพันธ์ คือสสารที่มีส่วนประกอบคงที่ตายตัว และมีคุณสมบัติแน่นอน

สารวิวิธพันธ์ คือสสารที่ส่วนประกอบและคุณสมบัติไม่แน่นอน

สารเอกพันธ์ แบ่งออกได้เป็นสามประเภท คือ สารบริสุทธิ์ (pure substances) สารผสมเอกพันธ์ (homogeneous mixtures) และสารละลาย (solutions)

รูป 3–1 การจำแนกสสาร (Classification of matter)



สารบริสุทธิ์ (pure substances) คือสารที่มีองค์ประกอบและคุณสมบัติตายตัวคงที่และแน่นอน ณ สภาพที่กำหนดให้แต่ละสภาพไป สารบริสุทธิ์นี้รวมทั้งธาตุ (elements) และสารประกอบ (compound) อยู่ด้วย เป็นที่ทราบกันดีอยู่แล้วว่า สสารทั้งหลายประกอบขึ้นจากอนุภาคเล็ก ๆ ซึ่งเรียกกันว่า อะตอม (atoms) อะตอมต่าง ๆ ประมาณกันว่ามีเส้นผ่าศูนย์กลางระหว่าง 1 A° - 5A° (0.1 - 0.5 nm) ถ้าเราวางอะตอมที่มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 2.00 A° ให้ชิดติดกันอาจจะยาวประมาณหนึ่งนิ้ว (2.54 ซม.) ซึ่งจะมีอะตอมประมาณ 1.27×10^{8} อะตอม ตัวอย่างของสารบริสุทธิ์ ได้แก่ น้ำ เกลือแกง น้ำตาล ทอง เหล็ก และอื่น ๆ อีกมาก

สารผสมเอกพันธ์ (Homogeneous mixture) เป็นสารซึ่งประกอบด้วยสารบริสุทธิ์ตั้งแต่สองชนิดขึ้นไป ซึ่งมีอัตราส่วนผสมต่าง ๆ กันและจะแปรเปลี่ยนไปได้โดยไม่จำกัด เช่น อากาศประกอบด้วยก๊าซออกซิเจน ไนโตรเจน ก๊าซเฉื่อยและไอน้ำ

สารละลาย (Solution) เป็นสารผสมเอกพันธ์ที่เป็นเนื้อเดียวกัน ประกอบด้วยสารบริสุทธิ์ตั้งแต่สองชนิดขึ้นไปมารวมกันโดยวิธีทางเคมี และมีองค์ประกอบที่มีสัดส่วนคงที่ สารประกอบนี้ทำให้สลายได้โดยวิธีทางเคมี เช่นน้ำถ้าต้องการแยกจะต้องใช้กระแสไฟฟ้าแยกน้ำจึงจะออกเป็นสองอะตอมของไฮโดรเจนและหนึ่งอะตอมออกซิเจน ดังนั้นสูตรของน้ำคือ H_2O วิธีการที่แยกน้ำโดยใช้กระแสไฟฟ้าเรียก อิเลคโตรลิซิส (electrolysis)

สารประกอบเกลือแกงถ้าต้องการแยกให้ได้โซเดียมและคลอรีน ต้องใช้กระแสไฟตรง

ธาตุ (elements) เป็นสารบริสุทธิ์ที่ประกอบไปด้วยอะตอมชนิดเดียวกัน ไม่สามารถแยกสลายให้เป็นสารย่อยได้โดยวิธีเคมี ตัวอย่าง ได้แก่ ทองคำ เหล็ก และอาลูมิเนียม ปัจจุบันนี้ได้พบธาตุถึง 106 ธาตุ ใน 106 ธาตุนี้พบว่ามีเพียง 90 ธาตุที่มีอยู่ในธรรมชาติ นอกนั้นเป็นธาตุซึ่งสังเคราะห์ขึ้น (แต่มีอยู่บ้างเป็นจำนวนน้อยมากซึ่งอาจมีอยู่ในธรรมชาติด้วย) จากตาราง 3-1 ได้จัดชื่อธาตุ สัญลักษณ์ และลำดับความมีมากในโลก พบกันว่าธาตุ 10 ธาตุ ซึ่งมีมากในโลกจะพบอยู่บริเวณเปลือกโลก (หมายถึงเหนือ 10 ไมล์นับรวมมหาสมุทรและบรรยากาศ) ทุก ๆ ธาตุมีสัญลักษณ์ (symbol) ซึ่งเป็นตัวย่อของชื่อ สัญลักษณ์นี้ประกอบไปด้วยอักษรตัวแรกซึ่งเป็นตัวใหญ่ และตัวถัดมาก็เป็นตัวเล็ก เช่น ธาตุคาร์บอน เขียนเป็น C ธาตุโคบอลท์ เขียนเป็น Co ธาตุคลอรีน เขียนเป็น Cl ดังนี้เป็นต้น สัญลักษณ์ บางธาตุได้มาจากภาษาลาติน เช่น ทองแดง เขียนเป็น Cu มาจากภาษาลาตินว่า cuprum โซเดียม เขียนเป็น Na มาจากภาษาลาตินว่า natrium

ตาราง 3-1 ชื่อของธาตุ สัญลักษณ์และลำดับที่มีมากน้อยสำหรับ 10 ธาตุแรกที่เปลือกโลก

ELEMENT	SYSBOL	RANKING (% MASS)
Aluminum	Al	3(7.5)
Antimony	Sb	
Argon	Ar	
Arsenic	As	
Barium	Ba	
Bismuth	Bi	
Boron	B	
Bromine	Br	
Cadmium	Cd	
Calcium	Ca	5(3.4)
Carbon	C	
Chlorine	Cl	
Chromium	Cr	
Cobalt	Co	
Copper	Cu	
Fluorine	F	

ELEMENT	SYSBOL	RANKING (% MASS)
Gold	Au	
Helium	He	
Hydrogen	H	9(0.9)
Iodine	I	
Iron	Fe	4(4.7)
Krypton	Kr	
Lead	Pb	
Lithium	Li	
Magnesium	Mg	8(1.9)
Manganese	Mn	
Mercury	Hg	
Neon	Ne	
Nickel	Ni	
Nitrogen	N	
Oxygen	O	1(49.5)
Phosphorus	P	
Platinum	Pt	
Potassium	K	
Radium	Ra	
Selenium	Se	
Silicon	Si	2(25.7)
Silver	Ag	
Sodium	Na	6(2.6)
Strontium	Sr	
Sulfur	S	
Tin	Sn	
Titanium	Ti	10(0.6)
Uranium	U	

ELEMENT	SYMBOL	RANKING (% MASS)
Xenon	Xe	
Zine	Zn	

ตาราง 3-2 ชื่อธาตุที่ได้สัญลักษณ์มาจากภาษาลาติน

NAME OF ELEMENT	LATIN NAME (SYMBOL)
Antimony	Stibium (Sb)
Copper	Cuprum (Cu)
Gold	Aurum (Au)
Iron	Ferrum (Fe)
Lead	Plumbum (Pb)
Mercury	Hydragyrum (Hg)
Potassium	Kalium (K)
Silver	Argentum (Ag)
Sodium	Natrium (Na)
Tin	Stannum (Sn)

3-2 คุณสมบัติของสารบริสุทธิ์ (Properties of Pure Substances)

ในแต่ละสารจะมีคุณสมบัติประจำ เพื่อสามารถจะชี้ได้ว่าเป็นสารใด คุณสมบัติของสารมีสองประเภทคือ คุณสมบัติทางฟิสิกส์และคุณสมบัติทางเคมี

คุณสมบัติทางฟิสิกส์ (physical properties) เป็นคุณสมบัติซึ่งสามารถสังเกตเห็นได้โดยไม่จำเป็นต้องมีการเปลี่ยนแปลงส่วนประกอบของสารนั้น และดูได้จากสี กลิ่น รส การละลาย (solubility) ความหนาแน่น ความร้อนจำเพาะ จุดหลอมเหลวและจุดเดือด เหล่านี้เป็นต้น

คุณสมบัติทางเคมี (chemical properties) เป็นคุณสมบัติที่สามารถสังเกตเมื่อสารนั้นเกิดการเปลี่ยนแปลงทางองค์ประกอบ เช่น กรณีเหล็กเป็นสนิม ถ่านหินหรือน้ำมันถูกเผาไหม้ในอากาศ การแยกน้ำด้วยกระแสไฟฟ้า คลอรีนทำปฏิกิริยากับโซเดียม เหล่านี้เป็นต้น

3-3 การเปลี่ยนแปลงของสารบริสุทธิ์ Changes of Pure Substances)

สารบริสุทธิ์จะมีการเปลี่ยนแปลงเป็นสองแบบคือ

การเปลี่ยนแปลงทางฟิสิกส์ (physical change)

การเปลี่ยนแปลงทางเคมี (chemical change)

การเปลี่ยนแปลงทางฟิสิกส์ (physical change) เป็นการเปลี่ยนแปลงที่สามารถสังเกตดูสิ่งที่เกิดขึ้นได้โดยสิ่งนั้นมิได้เกิดการเปลี่ยนแปลงขององค์ประกอบ เช่นน้ำแข็งถูกความร้อนจะกลายเป็นน้ำเหลวและผลสุดท้ายจะกลายเป็นไอน้ำ จะเห็นได้ว่ามิได้มีการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบของสารดังนี้

น้ำแข็ง $\rightleftharpoons$ น้ำเหลว $\rightleftharpoons$ ไอน้ำ

จะสังเกตได้ว่าน้ำเพียงแต่รูปแบบเท่านั้นที่เปลี่ยนไป เมื่อเป็นดังนี้ จึงคิดว่าเป็นการเปลี่ยนแปลงทางฟิสิกส์ ถ้าจะเปรียบเทียบกับเรื่องของคนก็คือ เมื่อหญิงสาว แต่งตัวตามปกติ แล้วต่อมาผู้นี้สวมแว่นตา ทาเปลือกตา ทาลิฟสติค นี่ก็นับเป็นการเปลี่ยนแปลงไป แต่องค์ประกอบอื่นมิได้ผิด หรือเมื่อนำเกลือละลายน้ำ เกลือก็เกิดการเปลี่ยนแปลง แต่องค์ประกอบของเกลือไม่เปลี่ยน ยังคงเป็นเกลือแกง คือโซเดียมคลอไรด์ แต่ทว่าละลายในน้ำเท่านั้น ตัวอย่างการเปลี่ยนแปลงทางฟิสิกส์ ได้แก่ น้ำเดือด จุดเยือกแข็ง จุดหลอมเหลว การเลื่อยไม้ การกัดกินอาหาร

การเปลี่ยนแปลงทางเคมี (Chemical Change) เป็นการเปลี่ยนแปลงที่สังเกตเห็น เมื่อเกิดการเปลี่ยนองค์ประกอบของสารเกิดขึ้น และได้สารใหม่ขึ้นมา ตัวอย่างเช่น การแยกน้ำด้วยกระแสไฟฟ้า ผลสุดท้ายได้ไฮโดรเจนและออกซิเจน หรือให้โลหะโซเดียม (ซึ่งเป็นโลหะที่ว่องไว เมื่อถูกกับน้ำจะให้ปฏิกิริยาที่รุนแรง) ทำให้ปฏิกิริยากับก๊าซคลอรีน (มีสีเขียวอ่อน เป็นพิษมาก) จะได้สารประกอบโซเดียมคลอไรด์ ซึ่งเป็นเกลือแกง ดังสมการ

$$2\,Na + CL_2 \longrightarrow 2\,NaCl$$

ตัวอย่างการเปลี่ยนแปลงทางเคมี เช่น การเผาไหม้ การย่อยอาหาร ปฏิกิริยาระหว่างไฮโดรเจนและออกซิเจน การเป็นสนิมของเหล็ก และอื่น ๆ อีกมาก

3-4 ความสัมพันธ์ระหว่างพลังงาน - มวล (Energy - Mass Relations)

เมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงทั้งหลายในธรรมชาติไม่ว่าจะเป็นการเปลี่ยนแปลงทางฟิสิกส์หรือทางเคมี จะต้องเกิดการเปลี่ยนแปลงทางพลังงานด้วยเสมอไป พลังงานนี้อาจจะอยู่ในรูปพลังงานจลน์ หรือพลังงานศักย์ก็ได้

พลังงานศักย์ (Potential Energy)

เป็นพลังงานซึ่งมีอยู่ในสารโดยจะเกี่ยวข้องกับตำแหน่งที่อยู่ของสารนั้น เช่น ก้อนหินที่วางอยู่บนหน้าผาจะมีพลังงานอยู่แล้วในตัว แต่ถ้าหินก้อนนี้ตกลงมา พลังงานศักย์ที่มีอยู่จะค่อย ๆ ลดลงตามระยะทางที่หินตก และในขณะเดียวกันพลังงานจลน์จะค่อย ๆ เพิ่มขึ้น

พลังงานจลน์ (Kinetic Energy)

เป็นพลังงานซึ่งมีอยู่ในสารเพื่อให้เกิดการเคลื่อนที่ จำนวนของพลังงานจลน์จะมากหรือน้อยขึ้นกับมวลและความเร็วของวัตถุนั้น ๆ เช่น ขณะที่น้ำไหลผ่านแม่น้ำเพื่อลงสู่ทะเล ขณะนั้นมีพลังงานจลน์อยู่

คศ. 1840 เจม จูล (Jame Joule) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงพลังงานความร้อนไปสู่พลังงานกล (mechanical energy) และพลังงานจลน์ (kinetic energy) ได้พบว่าถึงแม้พลังงานจะสามารถเปลี่ยนจากรูปหนึ่งไปสู่อีกรูปหนึ่งก็ได้ เช่นกลายเป็นพลังงานเคมี พลังงานแสง พลังงานไฟฟ้า จากความจริงนี้จึงก่อให้เกิด กฎทรงพลังงาน (Law of Conservation of Energy) ซึ่งกล่าวว่าพลังงานไม่สามารถสร้างหรือทำลายได้ ตัวอย่างเช่น พืชดูดแสงจากดวงอาทิตย์มารวมกับคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำจะเกิดการเปลี่ยนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ (โดยมีคลอโรฟิลล์และแสงแดดเป็นตัวช่วยให้เกิดปฏิกิริยา) ให้เป็นคาร์โบไฮเดรท หรืออีกกรณีคือ พลังงานที่ได้จากหม้อแบตเตอรี่ ในขั้นต้นหม้อแบตเตอรี่จะเกิดพลังงานเคมี (chemical energy) และต่อมาจะถูกเปลี่ยนเป็นพลังงานไฟฟ้า (electrical energy) ซึ่งก่อให้เกิดจุดระเบิด (spark) ขึ้นที่หัวเทียน นำไปสู่กระบอกสูบซึ่งมีน้ำมันรถและเครื่องยนต์ติด และในที่สุดรถก็เคลื่อนที่ได้ นับว่าเป็นตัวอย่างอธิบายถึงการที่พลังงานหนึ่งแปรเปลี่ยนไปเป็นอีกพลังงานหนึ่งได้

กฎทรงมวล (Law of Conservation of Mass)

กฎนี้นับว่าคล้ายกับกฎทรงพลังงาน (Law of Conservation of Energy) กฎทรงมวลนี้ได้กล่าวว่ามวลของสารไม่สามารถสร้างหรือทำลายได้และมวลของสารก่อนปฏิกิริยาและหลังปฏิกิริยาจะไม่เปลี่ยนไปพิจารณาจากสมการ

ไฮโดรเจน + ออกซิเจน ⟶ น้ำ

4.0320 g + 31.9988 g 36.0308 g

จะเห็นได้ว่าผลบวกของมวลของไฮโดรเจนและออกซิเจนรวมกันจะได้น้ำ 36.0308 กรัม ซึ่งเป็นไปตามกฎทรงมวลของสสาร

คศ. 1905 นักฟิสิกส์ อเมริกัน-เยอรมัน อัลเบิต ไอนสไตน์ (Albert Einstein) (1879-1955) ได้อธิบายว่า มวลและพลังงานแปรเปลี่ยนกันได้ และสามารถอธิบายได้ด้วยสมการ $E = mc^2$

เมื่อ E = พลังงานคิดหน่วยเป็นเออร์ก (erg)

m = ค่ามวลคิดเป็นกรัม

c = ความเร็วของแสงเท่ากับ 3.00×10^{10} ซม./วินาที

จากสมการ $E = mc^2$ นี้ สมมติว่ามีสารหนักหนึ่งกรัมทำให้สารนี้สลายให้หมดทั้งหนึ่งกรัม ก็จะกลายเป็นพลังงานและควรคิดดูว่าจะเป็นพลังงานเท่าใด ปรากฏจากการคำนวณพบว่าได้พลังงานเท่ากับ 9×10^{20} ergs ซึ่งจำนวนนี้จะทำให้น้ำ 220,000 ตัน ร้อนขึ้นจาก 0°C เป็น 100°C

จากความจริงของเรื่องกฎทรงมวลและกฎทรงพลังงาน เมื่อนำเอาความจริงของกฎทั้งสองมารวมกัน สรุปได้ว่า มวลและพลังงานทั้งหลายไม่สามารถสร้างหรือทำลายได้แต่อาจจะแปรเปลี่ยนระหว่างกันได้ นั่นคือมวลสารเปลี่ยนเป็นพลังงาน และพลังงานกลายเป็นสสารได้

3-5 ความสัมพันธ์ของอะตอมมิคแมสและอะตอมมิคแมสยูนิต (Relative Atomic Masses Atomic Mass Units)

อะตอมคืออนุภาคที่เล็กมากอันหนึ่ง โดยที่ไม่สามารถจะใช้เครื่องชั่งที่วิเศษสุดสักปานใดวัดมวล ฉะนั้นสเกลในการวัดมวลจึงต้องเป็นการเปรียบเทียบกับมวลของอะตอม ในตอนแรกใช้มวลไฮโดรเจนเป็นสิ่งที่เทียบเคียง โดยคิดว่ามวลของไฮโดรเจนมีค่าประมาณ 1 ดังนั้นมวลของออกซิเจนซึ่งเทียบจากไฮโดรเจนมีค่าเกือบเท่ากับ 16 และธาตุอื่น ๆ ก็เทียบกันเรื่อยไป ต่อมาใช้ออกซิเจนเป็นมาตรฐานเทียบเคียง ในที่สุดขณะนี้ใช้คาร์บอนซึ่งมีค่าเท่ากับ 12 เป็นมาตรฐานแทน โดยมีหน่วยเรียก หน่วยอะตอมมิคแมส [atomic mass unit (amu)] ฉะนั้นอะตอมของไฮโดรเจนมีค่าเกือบ 1 amu ออกซิเจนมีค่าประมาณ 16 amu คาร์บอนในรูปของคาร์บอน-12 มีค่า 12 amu

3-6 อนุภาคโปรตอน (Proton) อิเลคตรอน (Electron) และนิวตรอน (Neutron)

อะตอมประกอบด้วยอนุภาคเล็ก ๆ 3 ชนิดคือ

อิเลคตรอน (e^-) เป็นอนุภาคซึ่งมีประจุ -1 และมวลน้อยมาก (ประมาณ 0.00055 amu) จึงไม่นำมาคิดเรื่องของมวล จะเห็นได้ว่าในวันที่หนาวมากขณะที่หวีผมจะมีอิเลคตรอนจากผมสู่หวีซึ่งอาจจะดูดอะไร ๆ ที่เป็นชิ้นเล็ก ๆ ได้

โปรตอน (p) เป็นอนุภาคชนิดหนึ่งในอะตอมมีประจุ +1 และมีมวลสูงกว่า 1 amu คือประมาณ 1.0073

นิวตรอน (n) ไม่มีประจุไฟฟ้า จัดว่าเป็นอนุภาคที่เป็นกลาง มีมวลสูงกว่า 1 amu คือประมาณ 1.0087 เนื่องจากมวลของโปรตอนและนิวตรอนใกล้กันมากจึงคิดให้เท่ากัน

ตาราง 3-2 คุณสมบัติของอนุภาค (Properties of Particles)

Particle (Abbrevation)	Approximate Mass (AMU)	Relative charge
Electron (e^-)	Negligible	-1
Proton (p)	1	+ 1
Neutron (n)	1	0

ได้มีการเขียนสัญลักษณ์ทั่วไปของธาตุ พร้อมทั้งกำหนดค่าอะตอมมิคนัมเบอร์ และอะตอมมิคแมสด้วย ดังนี้ $^{A}_{Z}E$

เมื่อ E คือสัญลักษณ์ของธาตุ

A คืออะตอมมิคแมส (หน่วย amu)

Z คืออะตอมมิคนัมเบอร์

เช่น $^{14}_{6}C$ หมายความว่าเป็นธาตุคาร์บอนมีค่า อะตอมมิคนัมเบอร์เท่ากับ 6 ค่าอะตอมมิคแมสเท่ากับ 14 ดังนั้นจำนวนนิวตรอนของธาตุคาร์บอนมีค่าเท่ากับ 14-6 = 8 เป็นต้น

3-7 ไอโซโทป (Isotope) และน้ำหนักโมเลกุล (Molecular Weight)

จากการศึกษาเรื่องของอะตอมมิคแมสของธาตุต่าง ๆ จะพบว่าค่านั้นมิใช่ตัวเลขที่เป็นจำนวนเต็มทีเดียว (เช่น คาร์บอนจะมีค่าเท่ากับ 12.01115 amu คลอรีนเท่ากับ 35.453 amu) ทั้งนี้โดยเหตุผลที่ว่ามวลของโปรตรอนและนิวตรอนมีค่าใกล้เคียงกับหนึ่ง ส่วนมวลของอิเลคตรอนนั้นน้อยมากจึงไม่นำมาคิด โดยเหตุนี้ค่าอะตอมมิคแมสของธาตุต่าง ๆ มักใกล้กับจำนวนเต็มมาก แต่ก็มีหลายธาตุที่ค่าอะตอมมิคแมสไม่ใกล้กับจำนวนเต็ม ได้มีธาตุชนิดเดียวกันมีค่าอะตอมมิคนัมเบอร์เท่ากันแต่มีค่าอะตอมมิคแมสได้หลายค่า จึงพากันเรียกธาตุประเภทนี้ว่า มีได้หลายไอโซโทป และถ้าไอโซโทปใดแสดงอำนาจกัมมันตภาพรังสีเรียกว่า เรดิโอไอโซโทป (radio-isotope)

ฉะนั้นกล่าวได้ว่าไอโซโทปของอะตอมของธาตุใดจะมีจำนวนโปรตอนและอิเลคตรอนเท่ากัน แต่จำนวนนิวตรอนแตกต่างกันในระหว่างไอโซโทปของธาตุเดียวกัน สำหรับไอโซโทปของธาตุเดียวกันจะมีคุณสมบัติทางเคมีเหมือนกัน แต่จะแตกต่างกันเล็กน้อยสำหรับคุณสมบัติทางฟิสิกส์ เช่น คลอรีน มีสองไอโซโทป คือ คลอรีน -35 (^{35}Cl) และคลอรีน -37 (^{37}Cl) ไฮโดรเจนมีสามไอโซโทป คือ ^{1}H, ^{2}H และ ^{3}H

ตาราง 3-3 แสดงถึงปริมาณของอิเลคตรอน โปรตอนและนิวตรอนในโอโซโทปของธาตุ

ไอโซโทป	อิเลคตรอน	โปรตอน	นิวตรอน
$^{35}_{17}$Cl	17	17	18
$^{37}_{17}$Cl	17	17	20
$^{1}_{1}$H (hydrogen)	1	1	0
$^{2}_{1}$H (deuterium)	1	1	1
$^{3}_{1}$H (tritium)	1	1	2

ในการที่จะหาปริมาณสารจะต้องคิดถึง เรื่องน้ำหนักอะตอม (atomic weight) เนื่องจากได้มีอะตอมที่แตกต่างกันหลายชนิดและมีความแตกต่างกันในจำนวนอนุภาคต่าง ๆ ที่มีอยู่ในอะตอมด้วย ทั้งนี้เนื่องจากมวลแตกต่างกัน ในตอนแรก การหาค่าของน้ำหนักอะตอมได้นำไปเปรียบเทียบกับไฮโดรเจนซึ่งถือว่ามีค่าเท่ากับหนึ่ง ปัจจุบันนี้ค่าน้ำหนักอะตอมได้นำไปเปรียบเทียบกับคาร์บอน ทั้งนี้เพราะเป็นการยากมากที่จะหาค่าของน้ำหนักอะตอมที่แท้จริง สำหรับคาร์บอนที่ใช้เป็นมาตรฐานนั้น คือ คาร์บอน - 12 ซึ่งมีค่าน้ำหนักอะตอมเท่ากับ 12 amu ค่าของน้ำหนักอะตอมปัจจุบันนี้เป็นค่าเฉลี่ยโดยนึกถึงปริมาณที่มีอยู่ในไอโซโทปของธาตุนั้นที่มีในโลกนี้ตามธรรมชาติ ตัวอย่างเช่น

ธาตุคลอรีนมีสองไอโซโทปคือ คลอรีน - 35 มีในธรรมชาติ 75.53 เปอร์เซนต์ และมีมวลหนึ่งอะตอมเท่ากับ 34.969 amu และมีคลอรีน - 37 อยู่ 24.47 เปอร์เซนต์ มีมวลหนึ่งอะตอมเท่ากับ 36.966 amu

ดังนั้นค่าของน้ำหนักอะตอมเฉลี่ยของคลอรีนควรเป็น

น้ำหนักอะตอม = (75.53%) (34.969 amu) + (24.47%) (36.966 amu)

= 26.41 amu + 9.05 amu

= 35.46 amu

ในการที่จะหาค่าน้ำหนักอะตอมให้ถูกต้องเท่าที่ทำได้ขณะนี้เขาใช้เครื่องมือที่เรียกว่า แมสสเปค-โตรมิเตอร์ (mass spectrometer)

ส่วนค่าของน้ำหนักโมเลกุล (molecular weight) ของสารใด ก็คือผลบวกของน้ำหนักอะตอมซึ่งมีอยู่ในโมเลกุลของสารนั้น ๆ เช่น กรดกำมะถัน (H_2SO_4) จะมีค่าน้ำหนักโมเลกุลเท่ากับ 98.0 amu ซึ่งมีวิธีคิดดังนี้

น้ำหนักโมเลกุล = 2(น้ำหนักอะตอมของ H) + น้ำหนักอะตอม S + 4 (น้ำหนักอะตอมของ O)

= 2 (1.0 amu) + 32.0 amu + 4 (16.0 amu)

= 98.0 amu

ในบางครั้งอาจใช้คำว่า น้ำหนักสูตร (formular weight) แทนได้โดยหมายถึงผลบวกของน้ำหนักของอะตอมต่าง ๆ ในสูตรของสารนั้น ๆ คำว่า น้ำหนักสูตร ค่อนข้างจะเป็นคำที่ใช้ได้ทั่ว ๆ ไปมากกว่า เพราะอาจจะใช้กับอิออนและสารประกอบที่มีอยู่ในโมเลกุล ส่วนน้ำหนักโมเลกุลใช้แง่ของสารประกอบต่าง ๆ เท่านั้น ดังตัวอย่างเช่น น้ำหนักสูตรของอะตอมไฮโดรเจนมีค่าเท่ากับ 1 แต่น้ำหนักสูตรของโมเลกุลไฮโดรเจนมีค่าเท่ากับ 2 น้ำหนักสูตรของเกลือแกงมีค่าเท่ากับ 58.5 ดังนี้เป็นต้น