2

การวัด

ในการศึกษาวิชาวิทยาศาสตร์กายภาพไม่ว่าจะเป็นเคมีและฟิสิกส์ จะต้องเกี่ยวข้องกับการวัด (measurement) ด้วยเสมอไป และต้องเป็นการวัดที่ถูกต้องโดยมีความละเอียดด้วย เพราะการทดลองจะต้องเกี่ยวข้องกับเรื่องของการวัด ถ้าการวัดไม่ละเอียดจะทำให้การทดลองนั้นผิดไปหมดโดยสิ้นเชิง

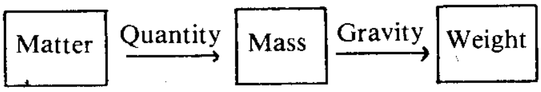
2-1 สสาร (Matter) มวล (Mass) และน้ำหนัก (Weight)

สสาร คือของสิ่งใดก็ได้ที่มีมวลและต้องมีที่อยู่ ได้แก่ โต๊ะ เก้าอี้ น้ำ ดิน และอื่น ๆ อีกมากมาย ฉะนั้นก็ต้องมาพิจารณาว่าอะไรคือมวล

มวล คือปริมาณของสสารในรูปร่างต่าง ๆ ดังนั้นมวลของวัตถุจะมีค่าคงที่และไม่มีการเปลี่ยนแปลง ไม่ว่าจะวัดที่ใดก็ตามอาทิเช่น วัดมวลที่กรุงเทพฯ นิวยอร์ค กัลกัตตา หรือแม้แต่วัดบนดวงจันทร์

น้ำหนัก คืออะไร น้ำหนักของวัตถุใดจะแปรเปลี่ยนไปตามสถานที่ที่วัตถุนั้นจะหาค่าน้ำหนัก ดังนั้นค่าของน้ำหนักวัตถุคือค่าของแรงโน้มถ่วง ซึ่งเกิดจากแรงดึงดูดระหว่างมวลของวัตถุและมวลของดวงดาวซึ่งวัตถุที่ต้องการทราบค่าน้ำหนักนั้นตั้งอยู่ จะเห็นได้ว่าน้ำหนักของวัตถุจะแปรเปลี่ยนไปได้ ส่วนค่าของมวลจะคงที่ ฉะนั้นการหาค่าน้ำหนักวัตถุในโลกก็ไม่ควรจะได้ค่าเพียงค่าเดียว ทั้งนี้เพราะโลกมีรูปร่างมิได้กลมแท้ เป็นเพียงรูปร่างคล้ายผลส้มโอ ฉะนั้นระยะทางที่วัตถุตั้งอยู่แต่ละแห่ง ๆ กับศูนย์กลางของโลกจะแตกต่างกัน ดังนั้นน้ำหนักของวัตถุที่ชั่งแต่ละแห่งบนโลกนี้จะไม่เท่ากัน เช่น วัตถุหนึ่งหนัก 10 ปอนด์ ชั่งที่ขั้วโลกเหนือ ส่วนที่อิเควเตอร์นั้นถ้าเอาวัตถุนี้ไปชั่ง จะหนัก 9 ปอนด์ 15 ออนซ์ นั่นหมายความว่า น้ำหนักจะแตกต่างกัน 1 ออนซ์ แต่ถ้าวัตถุนี้ชั่งบนดวงจันทร์อาจเท่ากับ 1 ปอนด์ 11 ออนซ์ หรือพูดได้ว่าการชั่งน้ำหนัก ณ ที่ต่าง ๆ กัน ค่าที่ได้ก็แตกต่างกันไปได้ แต่มวลของวัตถุนั้นจะไม่เปลี่ยนไป บนดวงจันทร์แรงโน้มถ่วงจะน้อยกว่าของโลก จะเห็นได้ว่าสสาร มวลและน้ำหนักมีความสัมพันธ์

รูป 2-1 ความสัมพันธ์ระหว่างสสาร มวลและน้ำหนัก

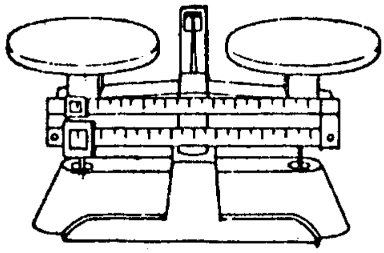


2·2 การวัดมวลและน้ำหนัก (Measuring mass and weight)

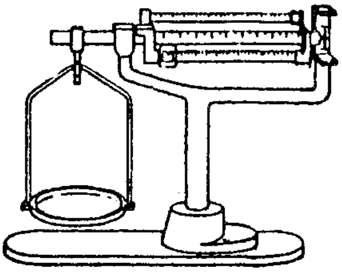
ถ้าต้องการทราบค่ามวลของวัตถุก็ใช้เครื่องมือที่เรียกว่า เครื่องชั่ง (balance) พิจารณาจากรูป 2-2 ซึ่งมีทั้งแบบ a, b, c ความจริงเครื่องชั่งมีหลายชนิด รูปข้างล่างนี้เป็นเพียงส่วนหนึ่งของเครื่องชั่งที่ใช้กันขณะนี้

รูป 2·2

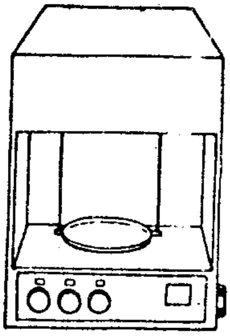
เครื่องชั่งใช้วัดมวล รูป a เรียกแบบ platform balance
รูป b เรียกแบบ triple-beam balance
รูป c เรียกแบบ single pan analytical balance



(a) Platform balance



(b) Triple beam balance



(c) A single pan analytical balance

สำหรับรูป a ถ้าต้องการชั่งวัตถุใดก็ให้วางไว้ที่จานซ้ายมือ ส่วนจานทางขวามือใส่ตุ้มน้ำหนักที่ทราบมวลไว้แล้ว พยายามเปลี่ยนตุ้มน้ำหนัก จนเข็มตรงกลางวางนิ่งอยู่ ณ ตรงกลางของสเกล แสดงว่าน้ำหนักของวัตถุกับน้ำหนักที่วางถ่วงไว้เท่ากัน อ่านค่าตุ้มน้ำหนักก็จะเป็นค่ามวลของวัตถุนั้น

รูป b วัตถุที่ต้องการชั่งวางไว้ที่จานซ้ายมือ แล้วเลื่อนสเกลไปจนได้ที่ แล้วอ่านค่ามวลของวัตถุจากสเกล

สำหรับรูป c เป็นเครื่องชั่งแบบจานเดียว และเป็นเครื่องชั่งไฟฟ้าซึ่งมีความเที่ยงตรงมาก ชั่งได้ละเอียดถึงทศนิยมห้าตำแหน่ง การใช้เครื่องแบบนี้เพื่อการวิเคราะห์หาปริมาณวิเคราะห์อย่างละเอียด โดยใส่วัตถุที่ต้องการวัดในจานเดี่ยว แล้วเลื่อนจานออกจากที่ตั้ง ขณะเดียวกันสเกลจะเลื่อนขึ้นเป็นค่าน้ำหนัก เมื่อสเกลหยุดนิ่ง อ่านค่าได้เลยซึ่งนับว่าสะดวกมาก

ปัจจุบันนี้มีเครื่องชั่งมากมายหลายแบบ และมีความละเอียดแม่นยำแล้วแต่ชนิด ๆ ไป

หน่วยในการวัดที่นับว่าเป็นมาตรฐานเรียกว่า ระบบเมตริค (metric system) ซึ่งใช้กันไปทั่วโลก หน่วย International System unit (SI units) ระบบอังกฤษ (The English System) และระบบ metric English Unit Equivalents

2·3 การวัดความยาวและปริมาตร (Measuring length and Volume)

การวัดสสารนั้นบางครั้งวัดความยาวด้วย ซึ่งมักจะใช้บรรทัดหรือสายวัด ซึ่งมีสเกลเป็นนิ้วหรือเซนติเมตร

ปริมาตร วัดได้หลายวิธี ถ้าสารนั้นเป็นของเหลววัดด้วยกระบอกตวงที่มีสเกลบอกปริมาตรไว้ พิจารณาจากรูป 2-3 (a) เรียก graduated cylinder พิจารณารูป 2-3 (b) เรียก Volumetric tlask รูป 2-3 (c) เรียก buret รูป (d) เรียก pipet ซึ่งจะชี้ปริมาตรของของนั้น

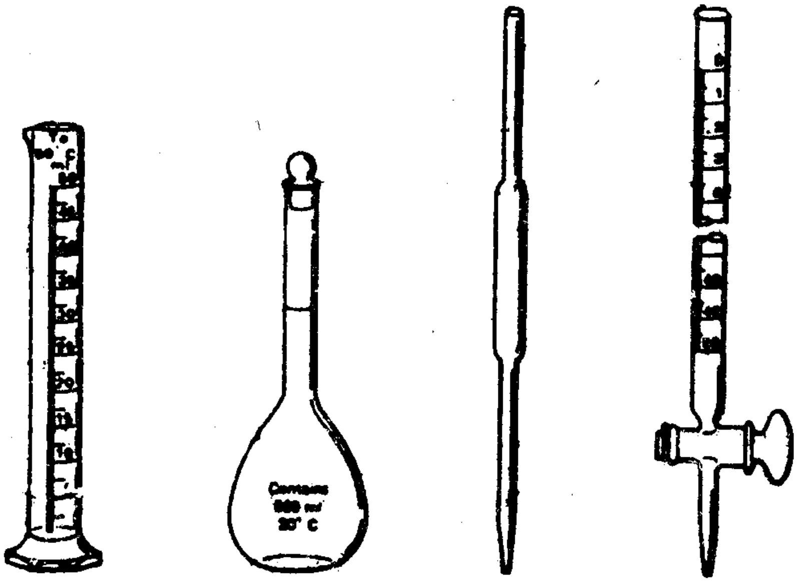
รูป 2-3 เครื่องมือที่ใช้วัดปริมาตร

(a) กระบอกตวง (graduated cylinder)

(b) ขวดมาตรฐาน (volumetric flask)

(c) บิวเรต (buret)

(d) ไปเปต (pipet)



(a) (b) (c) (d)

ถ้าต้องการหาปริมาตรของของแข็งที่มีรูปไม่แน่นอน (irregular) อาจใช้หาโดย วางของนั้นลงในกระบอกตวงที่ใส่น้ำซึ่งรู้ปริมาตรแน่นอนแล้ว ต่อไปหย่อนของแข็งนั้นลงในกระบอกตวง ระดับน้ำที่เพิ่มขึ้นคือปริมาตรของของนั้น

2-4 ระบบเมตริค (The Metric System)

ระบบเมตริคจัดว่าเป็นหน่วยพื้นฐานซึ่งวัดค่าของมวลเป็นกรัม (gram, g) วัดความยาวเป็นเมตร (m, meter) วัดปริมาตรเป็นลิตร (liter, l) วัดเวลาเป็นวินาที (second, s)

ตาราง 2-1

หน่วยเมตริคของมวล ปริมาตร และความยาว (Metric Units of Mass, Volume and length)

BASIC UNIT PER DERIVED UNIT	MASS	VOLUME	LENGTH
Kilo 1000 (10^3)	Kilogram (kg)	Kiloliter (kl)	Kilometer (km)
Basic unit 1 (10^0)	Gram (g)	Liter (l)	Meter (m)
Deci 0.1 (10^{-1})	Decigram (dg)	Deciliter (dl)	Decimeter (dm)
Centi 0.01 (10^{-2})	Centigram (cg)	centiliter (cl)	centimeter (cm)
Milli 0.001 (10^{-3})	Milligram (mg)	Milliliter (ml)	Millimeter (mm)
Micro 0.000001 (10^{-6})	Microgram (μg) or gamma (γ)	Microliter (μl)	Micrometer (μm) or micron (μ)

หน่วยอางสโตรม (angstrom A°) เป็นหน่วยของความยาวอันหนึ่งซึ่งใช้อธิบายขนาดของอะตอม

หน่วย nanometer (nm) ซึ่งขนาดคล้ายคลึงกับ Angstrom จึงมักใช้เทียบกัน กล่าวคือ 10 A° = 1 nm

สารละลายหนึ่งลูกบาศก์เซนติเมตร ซึ่งเท่ากับ 1 ml

ดังนั้น 1 ml = 1 cm^3 (cc)

2-5 ระบบ SI unit (The International System of Units)

ระบบ SI unit ขณะนี้ได้ยอมรับกันทั่วโลก ระบบนี้เช่นเดียวกันกับระบบเมตริค ยกเว้นแต่หน่วยที่วัดมวลเป็นกิโลกรัม (kg) และหน่วยของปริมาตรเป็นลูกบาศก์เมตร (m^3) ระบบนี้ได้รวมทั้งหน่วยของพลังงาน แรง ความดัน และอื่น ๆ ดูตาราง 2-2

ตาราง 2-2

Basic SI Unit

MEASUREMENT	UNIT (ABBREVIATION)
mass	kilogram (kg)
length	meter (m)
time	second (s)
temperature	kelvin (K)
amount	mole (mol)
electric current	ampere (A)
volume	m^3
density	kg/m^3 or $kg\ m^{-3}$
velocity	m/s or $m.s^{-1}$
force	newton (N)
	$N = kg \cdot m/s^2$
energy	joule (J)
	$J = kg \cdot m^2/s^2$

2-6 ระบบอังกฤษ (The English System)

ระบบอังกฤษวัดมวลเป็นออนซ์และปอนด์ วัดปริมาตรเป็นออนซ์ ไปท์ ควอตซ แกลลอน และคิวบิคฟุต วัดความยาวเป็นนิ้ว ฟุต หลา ไมล์ สำหรับเวลาวัดเป็นวินาที

2-7 การเปลี่ยนจากระบบเมตริคเป็นระบบอังกฤษ และระบบอังกฤษเป็นระบบเมตริค (Conversion From the Metric to the English and Vice Versa)

ได้มีการเทียบเคียงหน่วยวัดมวล ปริมาตร ความยาวและเวลาจากระบบเมตริคสู่ระบบอังกฤษ ดังตาราง 2-3

ตาราง 2-3 Metric - English unit equivalents

DIMENSION	ENGLISH	METRIC EQUIVALENT
Mass	1 pound (lb)	454 grams (g)
Volume	1.06 quarts (qt)	1 liter (1)
Length	1 inch (in.)	2.54 centimeters (cm)
	1 mile (mi)	1.6 kilometers (km)
Time	1 second (s)	1 second (s)

2-8 อุณหภูมิ (Temperature)

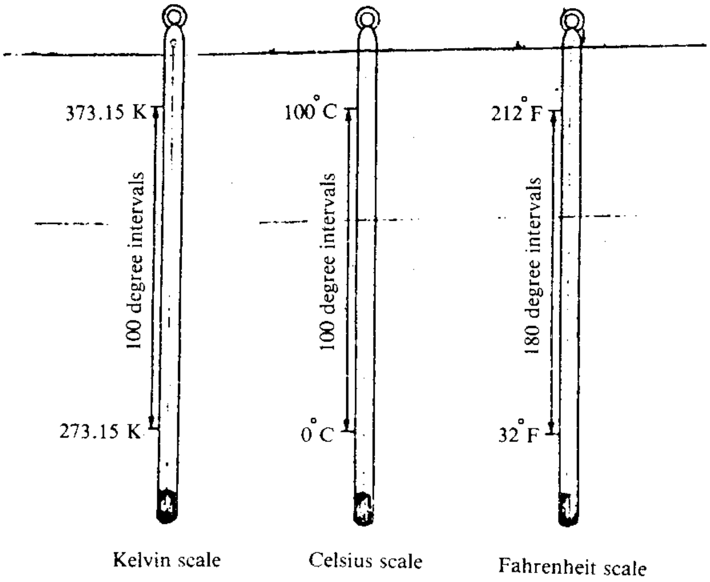
ได้มีสเกลในการวัดอุณหภูมิอยู่สามชนิดด้วยกันในหนังสือเล่มนี้ ได้แก่

1. สเกลฟาเรนไฮท์
2. สเกลเซลเซียส
3. สเกลเคลวิน

สเกลฟาเรนไฮท์ ได้ชื่อนี้มาจากนักฟิสิกส์ชาวเยอรมัน ชื่อ Garbriel Daniel Fahrenheit (1686-1735) สเกลนี้มีจุดเยือกแข็ง (freezing point) ของน้ำที่ 32° และจุดเดือดของน้ำที่ 212°

สเกลเซลเซียส (°C) ได้มาจากชื่อนักดาราศาสตร์ชาวสวีเดนแอนเดอร์เซลเซียส (Anders Celsius 1701-1744) มีจุดเยือกแข็ง 0° และจุดเดือด 100°

รูป 2-4 เปรียบเทียบสเกลเทอร์โมมิเตอร์ เคลวิน, เซลเซียส และฟาเรนไฮท์

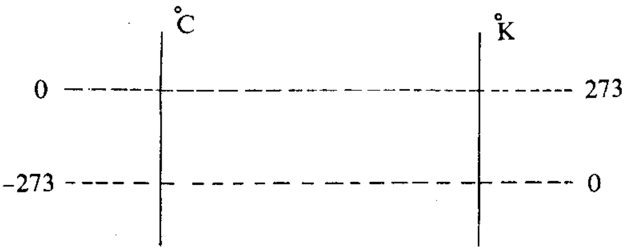


จากรูปจะเห็นว่าเทอร์โมมิเตอร์ทั้ง °C, °K และ °F มีความแตกต่างจากกันในลักษณะของจำนวนสเกลไม่เท่ากัน นั่นคือ

จำนวนสเกลของ °C	100 °C	=	180 °F	จำนวนสเกลของ °F
หรือ	5 °C	=	9 °F	
หรือเมื่อเทียบค่าอุณหภูมิ	°C	=	$\frac{5}{9}$ (°F – 32°)	

สำหรับสเกล เคลวิน (°K) มีพื้นฐานมาจากคุณสมบัติของสเกลนี้มีจุด 0 เทียบกับองศาเซลเซียสคือ –273 °C (หรือ 273.15 ซึ่งเป็นสเกลที่เที่ยงตรงมากที่สุด) ถ้าต้องการเปลี่ยนจาก °C เป็น °K จะต้องนำเอา 273° ไปบวก ดังนั้น °K = °C + 273 หรือ °C = °K – 273

รูป 2-5 เปรียบเทียบสเกลของ เซลเซียส และเคลวิน



°K = °C + 273 หรือ °C = °K – 273

2-9 พลังงานความร้อน (Heat Energy) และความร้อนจำเพาะ (Specific Heat)

พลังงานความร้อนวัดค่าเป็นคาลอรี่ (calories, cal) หรือกิโลคาลอรี่ (Kilocalories, kcal) หนึ่งคาลอรี่ คือจำนวนของความร้อนที่ทำให้น้ำ 1 กรัม อุณหภูมิของน้ำเพิ่มขึ้น 1 °C คำว่าคาลอรี่ใช้ในเรื่องของโภชนาหารด้วย แต่วัดหน่วยเป็นกิโลคาลอรี่แทน ได้แก่ Calories (Cal) และบางทีเรียกว่า คาลอรี่ใหญ่ (large calorie) ตัวอย่างเช่น น้ำตาลในเครื่องดื่ม 10. ออนซ์ เผาผลาญในร่างกายจะให้ความร้อน 110 kcal (Cal) หรือ 110,000 cal ของพลังงานความร้อน โดยปกติคนอายุ 21 ปี ต้องการพลังงานความร้อน 2,000-3,000 กิโลคาลอรี่ต่อวัน

ความร้อนจำเพาะ (Specific Heat) ของสารใด คือจำนวนความร้อนที่ต้องการทำให้สารหนักหนึ่งกรัมร้อนขึ้นหนึ่งองศาเซลเซียส เช่นน้ำมีความร้อนจำเพาะเท่ากับ 1.00 ตะกั่วมีความร้อนจำเพาะ 0.031 ความร้อนจำเพาะของเงินเท่ากับ 0.056

2-10 ความหนาแน่น (Density)

คุณสมบัติของสสารอีกข้อหนึ่งก็คือค่าของความหนาแน่น ความหนาแน่นของสสารใดก็คือ มวลของสารที่มีอยู่ในหนึ่งหน่วยปริมาตร นั่นคือ

$$\text{ความหนาแน่น} = \frac{\text{มวล}}{\text{ปริมาตร}}$$

เช่น ก้อนตะกั่วจะหนักกว่าไม้ที่มีขนาดเท่ากัน ทั้งนี้เพราะตะกั่วมีความหนาแน่นสูงกว่าไม้

ในระบบเมตริค สสารที่เป็นของแข็งหรือของเหลวจะคิดเป็นกรัมต่อมิลลิลิตร หรือกรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ในหน่วย SI ความหนาแน่นเป็นกิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร เช่น ความหนาแน่นของน้ำเท่ากับ 1.00 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร หรือเท่ากับ 62.4 ปอนด์/ลูกบาศก์ฟุต หรือเท่ากับ 8.35 ปอนด์/แกลลอน

นอกจากนี้ความหนาแน่นจะเกี่ยวข้องกับอุณหภูมิด้วย เช่น ปรอทที่ 20°C จะมีความหนาแน่นเท่ากับ 13.55 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร หรือบางทีเขียน $d_{20^\circ} = 13.55$ g/ml แต่ปรอทที่ 270°C จะมีความหนาแน่นเท่ากับ 12.95 g/ml จะเห็นได้ว่าความหนาแน่นของสารเกี่ยวข้องกับอุณหภูมิด้วย

2-11 ความถ่วงจำเพาะ (Specific Gravity)

ความถ่วงจำเพาะของสารใด คือ ความหนาแน่นของสารเปรียบเทียบกับความหนาแน่นของน้ำที่ 4°C

$$\text{ความถ่วงจำเพาะ} = \frac{\text{ความหนาแน่นของสาร}}{\text{ความหนาแน่นของน้ำที่ } 4^\circ C}$$

ค่าของความถ่วงจำเพาะไม่มีหน่วย และนิยมเขียนได้ดังนี้

ความถ่วงจำเพาะของอีเทอร์ = $0.708_{25^\circ/4^\circ}$ หมายความว่าที่ 25°C คืออุณหภูมิองศาที่วัดความหนาแน่นอีเธอร์ ส่วน 4° คืออุณหภูมิองศาที่วัดความหนาแน่นของน้ำ

ตาราง 2-4 ค่าความถ่วงจำเพาะของสารบางชนิด (Specific gravity of Some Substances)

สสาร	ความถ่วงจำเพาะ
น้ำ $4^\circ/4$	1.00
เบนซีน $20^\circ/4$	0.880
อีเทอร์ $25^\circ/4$	0.708
กรดน้ำส้ม $20^\circ/4$	1.05
โคโรฟอร์ม $20^\circ/4$	1.49
คาร์บอนเตตราคลอไรด์ $20^\circ/4$	1.60
กรดกำมะถัน (เข้มข้น) $18^\circ/4$	1.83
โบรมีน	3.12