

บทที่ 1

ปริมาณ และหน่วยการวัด

ระบบหน่วยการวัดมีความสำคัญอย่างมากในการบ่งบอกปริมาณของสิ่งต่างๆ ในเป็นมาตรฐาน ซึ่งสามารถนำไปใช้งาน และเป็นที่ยอมรับกันทั่วโลก ระบบหน่วยวัดหลักๆ มีอยู่ 3 ระบบ คือ ระบบอังกฤษ ระบบเมตริก และระบบหน่วยระหว่างประเทศ (SI Unit) ในปัจจุบันเกือบทุกประเทศได้มาใช้ระบบหน่วยระหว่างประเทศ ในเนื้อหาจึงขอกล่าวถึงระบบหน่วยระหว่างประเทศเพียงหน่วยเดียว ซึ่งประกอบด้วยหน่วยพื้นฐาน หน่วยเสริม และหน่วยอนุพันธ์ และเพื่อความสะดวกในการอ่านและเขียน จึงได้ใช้คำอุปสรรคนำหน้าหน่วยแทนการเขียนตัวเลขหลายๆ หลัก

1.1 หน่วยการวัด

การกล่าวถึงปริมาณทางไฟฟ้านั้นจำเป็นต้องระบุหน่วยวัดไว้ด้วย โดยที่ปริมาณจะบ่งบอกให้ทราบว่ามีค่าน้อยหรือมากเท่าไร และหน่วยจะบ่งบอกให้ทราบชนิดของปริมาณที่กล่าวถึง จะละเว้นสิ่งใดไม่ได้โดยเด็ดขาด มิฉะนั้นอาจส่งผลให้ไม่เข้าใจในปริมาณ อาจก่อให้เกิดความเข้าใจที่คลาดเคลื่อนหรือเป็นอันตรายได้ เนื่องจากไฟฟ้าเป็นสิ่งที่มองไม่เห็น จำต้องใช้เครื่องมือวัดต่างๆ เช่น โวลต์มิเตอร์ แอมป์มิเตอร์ โอห์มมิเตอร์ วัดเพื่อให้ทราบปริมาณที่ถูกต้อง และเมื่อมีการจดบันทึกค่าที่อ่านได้ก็จำเป็นต้องใส่หน่วยวัดให้ถูกต้องด้วย

ปริมาณต่างๆ ที่วัดได้จำเป็นต้องมีหน่วยที่เหมาะสมกำกับ และเพื่อให้หน่วยมีความเป็นสากลสามารถความเข้าใจตรงกันในทุกภาษาทั่วโลก ในการประชุมวิชาการทั่วไปเกี่ยวกับน้ำหนักและการวัด (General Conference on Weights and Measures) ในปี ค.ศ. 1960 จึงได้กำหนดหน่วยสำหรับปริมาณพื้นฐานทางฟิสิกส์ให้เป็นมาตรฐานเดียวกันทั่วโลกขึ้น โดยประเทศต่างๆ ได้ตกลงกันที่จะใช้ร่วมกันเป็นมาตรฐานสากล เรียกว่าระบบหน่วยระหว่างประเทศ (International system of unit หรือ SI unit) ระบบหน่วยระหว่างประเทศ ประกอบด้วยหน่วยพื้นฐาน (Base unit) เป็นหน่วยการวัดพื้นฐานของหน่วยวัดอื่น ๆ ทั้งหมด ซึ่งสามารถสอบกลับได้ (Traceability) หน่วยพื้นฐานมีทั้งสิ้น 7 หน่วย ดังแสดงในตารางที่ 1.1 นอกจากหน่วยพื้นฐานแล้วยังมีหน่วยเสริม (Supplementary unit) อีก 2 หน่วย ดังแสดงในตารางที่ 1.2 และหน่วยอนุพันธ์ (Derived units) เป็นหน่วยที่เกิดจากการพิสูจน์ทางพีชคณิตระหว่างหน่วยพื้นฐาน หรือระหว่างหน่วยอนุพันธ์ด้วยกันเอง หน่วยนี้มีจำนวนมาก มีชื่อและสัญลักษณ์ตั้งขึ้นเฉพาะ ชื่อและสัญลักษณ์ของหน่วยอนุพันธ์ ดังแสดงในตารางที่ 1.3

ตารางที่ 1.1 หน่วยพื้นฐานในระบบ SI (SI base unit)

ปริมาณ	หน่วยพื้นฐาน	สัญลักษณ์
ความยาว (Length)	เมตร (Meter)	m
มวล (Mass)	กิโลกรัม (Kilogram)	kg
เวลา (Time)	วินาที (Second)	s

ตารางที่ 1.2 หน่วยพื้นฐานในระบบ SI (SI base unit) (ต่อ)

ปริมาณ	หน่วยพื้นฐาน	สัญลักษณ์
กระแสไฟฟ้า (Electric current)	แอมแปร์ (Ampere)	A
อุณหภูมิ (Thermodynamic temperature)	เคลวิน (Kelvin)	K
ปริมาณสาร (Amount of substance)	โมล (Mole)	mol
ความเข้มของการส่องสว่าง (Luminous intensity)	แคนเดลา (Candela)	cd

ที่มา: สุกัลยา พลเดช (2555)

ตารางที่ 1.3 หน่วยเสริมในระบบ SI (SI supplementary unit)

ปริมาณ	หน่วยพื้นฐาน	สัญลักษณ์
มุมเชิงระนาบ (Plane angle)	เรเดียน (Radian)	rad
มุมเชิงของแข็ง (Solid angle)	สเตอเรเดียน (Steradian)	sr

ที่มา: National Institute of Standards and Technology (2000)

ตารางที่ 1.4 หน่วยอนุพัทธ์ในระบบ SI (SI derived unit)

ปริมาณ	หน่วยพื้นฐาน	สัญลักษณ์
พื้นที่ (Area)	ตารางเมตร (Square meter)	m ²
ปริมาตร (Volume)	ลูกบาศก์เมตร (Cubic meter)	m ³
ความเร็ว อัตราเร็ว (Speed, velocity)	เมตรต่อวินาที (Meter per second)	m/s
การเร่งความเร็ว (Acceleration)	เมตรต่อวินาทียกกำลังสอง (Meter per second squared)	m/s ²
ความหนาแน่นของมวล (Mass density)	กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (Kilogram per cubic meter)	kg/m ³
ปริมาตรที่เฉพาะเจาะจง (Specific volume)	ลูกบาศก์เมตรต่อกิโลกรัม (Cubic meter per kilogram)	m ³ /kg
ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า (Current density)	แอมแปร์ต่อตารางเมตร (Ampere per square meter)	A/m ²
ความเข้มของสนามแม่เหล็ก (Magnetic field strength)	แอมแปร์ต่อเมตร (Ampere per meter)	A/m
ความส่องสว่าง (Luminance)	แคนเดลาต่อตารางเมตร (Candela per square meter)	cd/m ²
ความถี่ (Frequency)	เฮิรตซ์ (Hertz)	Hz
แรง (Force)	นิวตัน (Newton)	N
ความดัน (Pressure)	ปาสคัล (Pascal)	Pa

ที่มา: National Institute of Standards and Technology (2000)

ตารางที่ 1.5 หน่วยอนุพันธ์ในระบบ SI (SI derived unit) (ต่อ)

ปริมาณ	หน่วยพื้นฐาน	สัญลักษณ์
พลังงาน งาน ปริมาณความร้อน (Energy, work, quantity of heat)	จูล (Joule)	J
กำลัง (Power)	วัตต์ (Watt)	W
ประจุไฟฟ้า (Electric charge)	คูลอมบ์ (Coulomb)	C
ความต่างศักย์ไฟฟ้า. แรงเคลื่อนไฟฟ้า (Electric potential difference, electromotive force)	โวลต์ (Volt)	V
ความเก็บประจุ (Capacitance)	ฟารัด (Farad)	F
ความต้านทานไฟฟ้า (Electric resistance)	โอห์ม (Ohm)	Ω
ความนำไฟฟ้า (Electric conductance)	ซีเมนส์ (Siemens)	S
ฟลักซ์แม่เหล็ก (Magnetic flux)	เวเบอร์ (Weber)	Wb
ความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็ก (Magnetic flux density)	เทสลา (Tesla)	T
ความเหนี่ยวนำ (Inductance)	เฮนรี่ (Henry)	H
อุณหภูมิเซลเซียส (Celsius temperature)	องศาเซลเซียส (Degree Celsius)	$^{\circ}\text{C}$
ฟลักซ์การส่องสว่าง (Luminous)	ลูเมน (Lumen)	lm
ความสว่าง (Illuminance)	ลักซ์ (Lux)	lx
ความหนืดไดนามิก (Dynamic viscosity)	ปาสคัล วินาที (Pascal second)	Pa•s
ช่วงชั่วขณะของแรง (Moment of force)	นิวตันเมตร (Newton meter)	N•m
แรงตึงผิว (Surface tension)	นิวตันต่อเมตร (Newton per meter)	N/m
ความเร็วเชิงมุม (Angular velocity)	เรเดียนต่อวินาที (Radian per second)	rad/s
การเร่งความเร็วเชิงมุม (Angular acceleration)	เรเดียนต่อวินาทียกกำลังสอง (Radian per second squared)	rad/s ²
รังสี (Irradiance)	วัตต์ต่อตารางเมตร (Watt per square meter)	W/m ²
ความจุความร้อน (Heat capacity)	จูลต่อเคลวิน (Joule per kelvin)	J/K
พลังงานที่เฉพาะเจาะจง (Specific energy)	จูลต่อกิโลกรัม (Joule per kilogram)	J/kg

ที่มา: National Institute of Standards and Technology (2000)

ตารางที่ 1.6 หน่วยอนุพัทธ์ในระบบ SI (SI derived unit) (ต่อ)

ปริมาณ	หน่วยพื้นฐาน	สัญลักษณ์
การนำความร้อน (Thermal conductivity)	วัตต์ต่อเมตรเคลวิน (Watt per meter kelvin)	$W/(m \cdot K)$
ความหนาแน่นของพลังงาน (Energy density)	จูลต่อลูกบาศก์เมตร (Joule per cubic meter)	J/m^3
ความแรงของสนามไฟฟ้า (Electric field strength)	โวลต์ต่อเมตร (Volt per meter)	V/m
ความหนาแน่นของฟลักซ์ไฟฟ้า (Electric flux density)	คูลอมบ์ต่อตารางเมตร (Coulomb per square meter)	C/m^2

ที่มา: National Institute of Standards and Technology (2000)

จากตารางที่ 1.1 – 1.6 แสดงให้เห็นว่าหน่วยต่างๆ ที่ใช้กันในงานด้านต่างๆ ระหว่างประเทศ นั้นมีอยู่มาก แต่หน่วยที่เกี่ยวข้องกับงานด้านไฟฟ้า และอิเล็กทรอนิกส์ ที่ใช้กันบ่อยๆ นั้นแสดงใน ตารางที่ 1.7

ตารางที่ 1.7 หน่วยระหว่างประเทศทางด้านไฟฟ้า และอิเล็กทรอนิกส์ (Electricals and electronics unit in SI unit)

ปริมาณ	สัญลักษณ์ ปริมาณ	หน่วย	สัญลักษณ์ หน่วย
ความจุไฟฟ้า	C	ฟารัด	F
ประจุไฟฟ้า	Q	คูลอมบ์	C
กระแสไฟฟ้า	I	แอมแปร์	A
ความต่างศักย์ไฟฟ้า, แรงเคลื่อนไฟฟ้า	V	โวลต์	V
ความต้านทานไฟฟ้า	R	โอห์ม	Ω
ความนำไฟฟ้า	G	ซีเมนต์	S
เวลา	T	วินาที	s
ความถี่	f	เฮิรตซ์	Hz
กำลังงาน	P	วัตต์	W
ความเหนี่ยวนำ	L	เฮนรี	H

1.2 การเขียนเลขทางวิศวกรรม

1.2.1 สัญลักษณ์

สัญลักษณ์ คือ ข้อกำหนดสำหรับการแสดงตัวเลข ให้อยู่ในรูปของผลคูณระหว่างตัวเลขกับเลขสิบ ยกกำลัง แบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ สัญลักษณ์วิทยาศาสตร์ และ สัญลักษณ์วิศวกรรมศาสตร์

1.2.1.1 สัญกรณ์วิทยาศาสตร์ คือการเขียนจำนวนที่มีค่าน้อย ๆ หรือมาก ๆ ให้อยู่ในรูป $A \times 10^n$ เมื่อ $1 \leq A < 10$ และ n แทนจำนวนเต็ม เช่น

2,000,000 สามารถเขียนให้อยู่ในรูปสัญกรณ์วิทยาศาสตร์ได้เป็น 2×10^6

150,000 สามารถเขียนให้อยู่ในรูปสัญกรณ์วิทยาศาสตร์ได้เป็น 1.5×10^5

0.000001 สามารถเขียนให้อยู่ในรูปสัญกรณ์วิทยาศาสตร์ได้เป็น 1×10^{-6}

0.000045 สามารถเขียนให้อยู่ในรูปสัญกรณ์วิทยาศาสตร์ได้เป็น 4.5×10^{-5}

1.2.1.2 สัญกรณ์วิศวกรรมศาสตร์ มีความคล้ายคลึงกับสัญกรณ์วิทยาศาสตร์เพียงแต่สัญกรณ์วิศวกรรมศาสตร์นั้นมีตัวเลขก่อนทศนิยมในจำนวนนับตั้งแต่ 1 ถึง 3 ตัว คู่กับเลขสิบยกกำลังที่มีตัวเลขยกกำลังที่เป็นทวีคูณของ 3 (วีรรัตน์ ปลั่งแสงมาศ, 2559) ซึ่งจะความสัมพันธ์กับค่าอุปสรรคที่ใช้ในงานด้านวิศวกรรมต่างๆ เช่น

75,000 สามารถเขียนให้อยู่ในรูปสัญกรณ์วิศวกรรมศาสตร์ได้เป็น 75×10^3

1,200,000 สามารถเขียนให้อยู่ในรูปสัญกรณ์วิศวกรรมศาสตร์ได้เป็น 1.2×10^6

0.075 สามารถเขียนให้อยู่ในรูปสัญกรณ์วิศวกรรมศาสตร์ได้เป็น 75×10^{-3}

0.000001 สามารถเขียนให้อยู่ในรูปสัญกรณ์วิศวกรรมศาสตร์ได้เป็น 1×10^{-6}

1.2.3 การเขียนจำนวนให้อยู่ในรูปสัญกรณ์วิทยาศาสตร์ เลขจำนวนที่มีค่ามากๆ หรือน้อยๆ สามารถที่จะเขียนให้อยู่ในรูปสัญกรณ์วิทยาศาสตร์ได้ดังนี้

การเขียนจำนวนที่มีค่ามาก ๆ ให้อยู่ในรูปสัญกรณ์วิทยาศาสตร์ โดยเลื่อนตำแหน่งจุดทศนิยมของเลขจำนวนไปทางด้านซ้ายมือจนเลขจำนวนมีค่าเป็นหลักหน่วย จำนวนตำแหน่งหลังจุดทศนิยมจะเป็นเลขยกกำลังของสิบ โดยจะมีเลขยกกำลังเป็นบวก เช่น

5,000,000 เขียนได้เป็น 5000000. จากนั้นให้เลื่อนตำแหน่งทศนิยมของเลขจำนวนไปทางด้านซ้ายมือจะได้เป็น 5.000000 โดยได้ตำแหน่งหลังจุดทศนิยม 6 ตำแหน่ง จะสามารถเขียนให้อยู่ในรูปสัญกรณ์วิทยาศาสตร์ดังนี้

$$5,000,000 = 5 \times 10^6$$

25,000 เขียนได้เป็น 25000. จากนั้นให้เลื่อนตำแหน่งทศนิยมของเลขจำนวนไปทางด้านซ้ายมือจะได้เป็น 2.5000 โดยได้ตำแหน่งหลังจุดทศนิยม 4 ตำแหน่ง จะสามารถเขียนให้อยู่ในรูปสัญกรณ์วิทยาศาสตร์ดังนี้

$$25,000 = 2.5 \times 10^4$$

ตัวอย่างที่ 1.1 จงเขียน 200,000,000 ให้อยู่ในรูปสัญกรณ์วิทยาศาสตร์

$$200,000,000 = 2 \times 10^8$$

ตัวอย่างที่ 1.2 จงเขียน 12,345,600,000 ให้อยู่ในรูปสัญกรณ์วิทยาศาสตร์

$$12,345,600,000 = 1.23456 \times 10^{10}$$

การเขียนจำนวนที่มีค่าน้อย ๆ ให้อยู่ในรูปสัญกรณ์วิทยาศาสตร์ โดยเลื่อนตำแหน่งจุดทศนิยมของเลขจำนวนไปทางด้านขวามือจนเลขจำนวนมีค่าเป็นหลักหน่วย จำนวนตำแหน่งหน้าจุดทศนิยมจะเป็นเลขยกกำลังของสิบ โดยจะมีเลขยกกำลังเป็นลบ เช่น

0.0000000001 จากนั้นให้เลื่อนตำแหน่งทศนิยมของเลขจำนวนไปทางด้านขวามือจะได้เป็น 0000000001. โดยได้ตำแหน่งหน้าจุดทศนิยม 10 ตำแหน่ง จะสามารถเขียนให้อยู่ในรูปสัญกรณ์วิทยาศาสตร์ดังนี้

$$0.0000000001 = 1 \times 10^{-10}$$

0.00000001234 จากนั้นให้เลื่อนตำแหน่งทศนิยมของเลขจำนวนไปทางด้านขวามือจะได้เป็น 00000001.234 โดยได้ตำแหน่งหน้าจุดทศนิยม 8 ตำแหน่ง จะสามารถเขียนให้อยู่ในรูปสัญกรณ์วิทยาศาสตร์ดังนี้

$$0.00000001234 = 1.234 \times 10^{-8}$$

ตัวอย่างที่ 1.3 จงเขียน 0.0000000155 ให้อยู่ในรูปสัญกรณ์วิทยาศาสตร์

$$0.0000000155 = 1.55 \times 10^{-8}$$

ตัวอย่างที่ 1.4 จงเขียน 0.000002205 ให้อยู่ในรูปสัญกรณ์วิทยาศาสตร์

$$0.000002205 = 2.205 \times 10^{-6}$$

1.2.2 เลขลียกกำลัง

การยกกำลัง คือการดำเนินการทางคณิตศาสตร์อย่างหนึ่ง เขียนให้อยู่ในรูป a^n ซึ่งประกอบด้วยจำนวนตัวเลขสองจำนวนคือ ฐาน a และ เลขยกกำลัง n การยกกำลังมีความหมายเหมือนการคูณซ้ำ ๆ กัน คือ a คูณกันเป็นจำนวน n ครั้ง สำหรับเลขลียกกำลังคือการยกกำลังด้วยฐาน 10 ถูกนำมาใช้ในสัญกรณ์วิทยาศาสตร์ และวิศวกรรมศาสตร์ เพื่อใช้อธิบายจำนวนขนาดใหญ่หรือเล็กมาก ตัวอย่างเช่น

ความเร็วแสงในสุญญากาศเท่ากับ 299,792,458 เมตรต่อวินาที สามารถเขียนได้เป็น 2.99792458×10^8 m/s

ระยะทางจากโลกถึงดาวอังคารประมาณ 225,000,000 กิโลเมตร สามารถเขียนได้เป็น 2.25×10^8 km

ความจุไฟฟ้าขนาด 0.000001 ฟารัด สามารถเขียนได้เป็น 1×10^{-6} F

กระแสไฟฟ้าขนาด 0.005 แอมป์ สามารถเขียนได้เป็น 5×10^{-3} A

ความต้านทานไฟฟ้าขนาด 10,000,000 โอห์ม สามารถเขียนได้เป็น 10×10^6 Ω

ตารางที่ 1.8 จำนวนเลขสิบยกกำลังบวก และลบ

สิบยกกำลังบวก	จำนวนเลข	สิบยกกำลังลบ	จำนวนเลข
10^6	1,000,000	10^{-6}	0.000001
10^5	100,000	10^{-5}	0.00001
10^4	10,000	10^{-4}	0.0001
10^3	1,000	10^{-3}	0.001
10^2	100	10^{-2}	0.01
10^1	10	10^{-1}	0.1
10^0	1		

1.3 คำอุปสรรค

คำอุปสรรคเป็นคำที่ใช้เป็นชื่อและสัญลักษณ์ของปริมาณในหน่วยเอสไอ ซึ่งอาจจะมีปริมาณที่มาก หรือน้อยกว่าหนึ่งหน่วย สัญลักษณ์ของคำอุปสรรคคำหนึ่งๆ สามารถนำไปผสมกับสัญลักษณ์ของหน่วยเอสไอได้โดยตรง เพื่อความสะดวกในการเขียนค่าปริมาณต่างๆ ให้เกิดความเข้าใจที่ตรงกันจึงได้กำหนดคำอุปสรรคที่เป็นมาตรฐาน (Standard prefixes) ขึ้น ดังแสดงในตารางที่ 1.9

ตารางที่ 1.9 คำอุปสรรค

คำอุปสรรค	ความหมาย	สัญลักษณ์
แอตโต (atto)	10^{-18}	a
เฟมโต (femto)	10^{-15}	f
พิโก (pico)	10^{-12}	p
นาโน (nano)	10^{-9}	n
ไมโคร (micro)	10^{-6}	μ
มิลลิ (milli)	10^{-3}	m
เซนติ (centi)	10^{-2}	c
เดซิ (deci)	10^{-1}	d
เดกะ (deka)	10^1	da
เฮกโต (hecto)	10^2	h
กิโล (kilo)	10^3	k
เมกะ (mega)	10^6	M
จิกะ (giga)	10^9	G
เทรา (tera)	10^{12}	T

ที่มา: ญัฐวุฒิ โสมเกษตรินทร์ (2553, p.1-4)

สำหรับในงานทางด้านไฟฟ้า และอิเล็กทรอนิกส์นั้นจะใช้คำอุปสรรคที่จำเป็นอย่างยิ่งแสดงในตารางที่ 1.10

ตารางที่ 1.10 คำอุปสรรคที่จำเป็นในงานด้านไฟฟ้า และอิเล็กทรอนิกส์

คำอุปสรรค	ค่าเลขสิบยกกำลัง	สัญลักษณ์
พิโก (pico)	10^{-12}	p
นาโน (nano)	10^{-9}	n
ไมโคร (micro)	10^{-6}	μ
มิลลิ (milli)	10^{-3}	m
กิโล (kilo)	10^3	k
เมกะ (mega)	10^6	M
จิกะ (giga)	10^9	G
เทรา (tera)	10^{12}	T

ตัวอย่างเช่น

ตัวเก็บประจุไฟฟ้า 10 พิโกฟารัด สามารถเขียนแทนได้เป็น 10 pF หมายถึง 10×10^{-12} F

กระแสไฟฟ้า 10 ไมโครแอมป์ สามารถเขียนแทนได้เป็น 10 μ A หมายถึง 10×10^{-6} A

แรงดันไฟฟ้า 20 มิลลิโวลต์ สามารถเขียนแทนได้เป็น 20 mV หมายถึง 20×10^{-3} V

ความต้านทานไฟฟ้า 5 กิโลโอห์ม สามารถเขียนแทนได้เป็น 5 k Ω หมายถึง 5×10^3 Ω

กำลังไฟฟ้า 1 เมกะวัตต์ สามารถเขียนแทนได้เป็น 1 MW หมายถึง 1×10^6 W

1.4 การเปลี่ยนหน่วย

ในบางครั้งมีความจำเป็นที่ต้องการเปลี่ยนปริมาณในหน่วยวัดใดๆ ให้มีคำอุปสรรคที่ต่างกัน เช่น เปลี่ยน mA เป็น μ A หรือ mV เป็น V เป็นต้น สามารถทำได้โดยการเลื่อนตำแหน่งของจุดทศนิยมเช่นเดียวกับการเขียนให้อยู่ในรูปของรูปสัญกรณ์วิทยาศาสตร์ เมื่อต้องการเปลี่ยนหน่วยวัดให้เล็กลง ให้เลื่อนตำแหน่งจุดทศนิยมไปทางด้านขวามือ และเปลี่ยนหน่วยวัดให้ใหญ่ขึ้น ให้เลื่อนตำแหน่งจุดทศนิยมไปทางด้านซ้ายมือ ดังนี้

การเปลี่ยนระหว่าง มิลลิ (m), ไมโคร(μ), นาโน(n), และ พิโก(p) เช่น

เปลี่ยน 0.15 mA เป็น ไมโครแอมป์ (μ A)

$$0.15 \text{ mA} = 0.15 \times 10^{-3} \text{ A} = 150 \times 10^{-6} \text{ A} = 150 \text{ } \mu\text{A}$$

เปลี่ยน 5 μ F เป็น นาโนฟารัด (nF)

$$5 \text{ } \mu\text{F} = 5 \times 10^{-6} \text{ F} = 5,000 \times 10^{-9} \text{ F} = 5,000 \text{ nF}$$

การเปลี่ยนระหว่าง กิโล (k), และ เมกะ(M) เช่น

เปลี่ยน 1,000 kV เป็น เมกะโวลต์ (MV)

$$1,000 \text{ kV} = 1,000 \times 10^3 \text{ V} = 1 \times 10^6 \text{ V} = 1 \text{ MV}$$

เปลี่ยน 470 k Ω เป็น เมกะโอห์ม (M Ω)

$$470 \text{ k}\Omega = 470 \times 10^3 \text{ k}\Omega = 0.47 \times 10^6 \Omega = 0.47 \text{ M}\Omega$$

จากการเปลี่ยนปริมาณในหน่วยวัดให้มีขนาดที่เล็กลงจะพบว่าตัวเลขแสดงปริมาณจะมีค่าเพิ่มขึ้น และในทางกลับกันเมื่อเปลี่ยนปริมาณในหน่วยวัดให้มีขนาดที่ใหญ่ขึ้นจะพบว่าตัวเลขแสดงปริมาณจะมีค่าลดลง

ตัวอย่างที่ 1.5 จงเปลี่ยนค่า 5,000 nA ให้เป็น μA

$$5,000 \text{ nA} = 5,000 \times 10^{-9} \text{ A} = 5 \times 10^{-6} \text{ A} = 5 \mu\text{A}$$

ตัวอย่างที่ 1.6 จงเปลี่ยนค่า 47,000 pF ให้เป็น μF

$$47,000 \text{ pF} = 47,000 \times 10^{-12} \text{ F} = 0.047 \times 10^{-6} \text{ F} = 0.047 \mu\text{F}$$

ตัวอย่างที่ 1.7 จงเปลี่ยนค่า 0.00022 μF ให้เป็น pF

$$0.00022 \mu\text{F} = 0.00022 \times 10^{-6} \text{ F} = 220 \times 10^{-12} \text{ F} = 220 \text{ pF}$$

ตัวอย่างที่ 1.8 จงเปลี่ยนค่า 15,000 k Ω ให้เป็น M Ω

$$15,000 \text{ k}\Omega = 15,000 \times 10^3 \Omega = 15 \times 10^6 \Omega = 15 \text{ M}\Omega$$

ในงานช่างอุตสาหกรรม และงานทั่วไป ยังคงมีการใช้หน่วยต่างๆ ในหลายระบบ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการแปลงหน่วยข้ามระบบกันได้เพื่อความสะดวกในการคำนวณค่าต่างๆ การแปลงหน่วยข้ามระบบโดยใช้ตัวคูณแปลงหน่วย ดังแสดงในตารางที่ 1.11 – 1.15

ตารางที่ 1.11 ตัวคูณแปลงหน่วยความยาว

ความยาว	เมตร (m)	นิ้ว (in)	ฟุต (ft)
1 เมตร	1	39.37	3.281
1 นิ้ว	2.540×10^{-2}	1	8.333×10^{-2}
1 ฟุต	0.3048	12	1

ตารางที่ 1.12 ตัวคูณแปลงหน่วยพื้นที่

พื้นที่	ตารางเมตร (m ²)	ตารางนิ้ว (in ²)	ตารางฟุต (ft ²)
1 ตารางเมตร	1	1550	10.76
1 ตารางนิ้ว	6.425×10^{-4}	1	6.944×10^{-3}

ตารางที่ 1.13 ตัวคูณแปลงหน่วยปริมาตร

ปริมาตร	ลูกบาศก์เมตร (m ³)	ลิตร (L)	ลูกบาศก์ฟุต (ft ³)
1 ลูกบาศก์เมตร	1	10^3	35.31
1 ลิตร	10^{-3}	1	
1 ลูกบาศก์ฟุต	2.832×10^{-2}	28.32	1

ตารางที่ 1.14 ตัวคูณแปลงหน่วยมวล

มวล	ปอนด์ (lb)	ตัน (Ton)
1 กิโลกรัม	2.205	1.102×10^{-3}

1 ตัน (Ton) = 1,000 กิโลกรัม (kg)

ตารางที่ 1.15 ตัวคูณแปลงหน่วยความดัน

ความดัน	Pa	lb·inch ⁻²
1 พาสคัล (1 N·m ⁻²)	1	1.450×10^{-4}
1 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว	6895	1

ตัวอย่างที่ 1.9 จงเปลี่ยนมวล 115 ปอนด์ ให้เป็นกิโลกรัม

วิธีทำ 2.205 ปอนด์ = 1 กิโลกรัม

$$\begin{aligned}
 115 \text{ ปอนด์} &= \frac{115 \times 1}{2.205} \text{ กิโลกรัม} \\
 &= 52.154 \text{ กิโลกรัม}
 \end{aligned}$$

ตัวอย่างที่ 1.10 น้ำมันขนาดบรรจุ 200 ลิตร มีกี่ลูกบาศก์เมตร

วิธีทำ 1,000 ลิตร = 1 ลูกบาศก์เมตร

$$\begin{aligned}
 200 \text{ ลิตร} &= \frac{200 \times 1}{1,000} \text{ ลูกบาศก์เมตร} \\
 &= 0.2 \text{ ลูกบาศก์เมตร}
 \end{aligned}$$

ตัวอย่างที่ 1.11 จงเปลี่ยนพื้นที่ 50 ตารางฟุต ให้เป็นตารางเมตร

$$\begin{aligned}\text{วิธีทำ} \quad 10.76 \text{ ตารางฟุต} &= 1 \text{ ตารางเมตร} \\ 50 \text{ ตารางฟุต} &= \frac{50 \times 1}{10.76} \text{ ตารางเมตร} \\ &= 4.647 \text{ ตารางเมตร}\end{aligned}$$

ตัวอย่างที่ 1.12 เชือกยาว 300 ฟุต มีกี่เมตร

$$\begin{aligned}\text{วิธีทำ} \quad 3.281 \text{ ฟุต} &= 1 \text{ เมตร} \\ 300 \text{ ฟุต} &= \frac{300 \times 1}{3.281} \text{ เมตร} \\ &= 91.436 \text{ เมตร}\end{aligned}$$

1.5 เลขที่ได้จากการวัด

เมื่อใดก็ตามที่มีการวัดปริมาณจะมีค่าความไม่แน่นอนของผลลัพธ์ด้วย ซึ่งอาจมาจากข้อจำกัดของเครื่องมือวัดที่ใช้ การอ่านค่าของผู้อ่าน การใช้เครื่องมือวัดที่ไม่ถูกต้อง เป็นต้น การบันทึกตัวเลขที่ได้จากการวัดหรือการคำนวณเป็นสิ่งที่มีความสำคัญ เพราะค่าที่ได้จากการวัดหรือการคำนวณจะสะท้อนให้เห็นถึงความแน่นอนและไม่แน่นอน (uncertainty) ดังนั้นการบันทึกค่าเลขที่ได้จากการวัดจึงเป็นตัวเลขที่จะต้องคำนึงถึงเลขนัยสำคัญด้วย เพราะเป็นการบอกค่าที่ได้จากการวัดนั้นมีความเที่ยงมากน้อยเท่าไร

1.5.1 ความคลาดเคลื่อน

ความคลาดเคลื่อน (Error) หมายถึง ปริมาณหรือตัวเลขที่แสดงความแตกต่างระหว่างค่าที่แท้จริงที่เราวัด (Expected Value) กับค่าที่อ่านได้จากเครื่องวัด (Measured Value) สาเหตุของความคลาดเคลื่อนนั้นเกิดขึ้นได้จากหลายปัจจัย เช่น การอ่านค่าไม่ถูกต้อง ขาดความรู้ความเข้าใจในการใช้เครื่องมือวัด สภาพแวดล้อมในการวัดจำเป็นต้องระวังการใช้เครื่องมือวัดตามที่เครื่องมือวัดระบุไว้ รวมทั้งความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากการชำรุดของตัวเครื่องวัดเอง ความคลาดเคลื่อนมีอยู่ 2 ประเภทคือ

1.5.1.1 ค่าความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ (Absoluted error) คือค่าปริมาณความแตกต่างระหว่างค่าที่แท้จริงกับค่าที่วัดได้จากเครื่องวัด โดยมีสมการคำนวณค่าความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ดังนี้

$$\text{ค่าความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์} = \text{ค่าที่วัดได้จากเครื่องวัด} - \text{ค่าที่แท้จริง}$$

ค่าความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์มีค่าเป็นบวก (+) แสดงว่าค่าที่วัดได้จากเครื่องวัดมีค่ามากกว่าค่าที่แท้จริง และหากค่าความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์มีค่าเป็นลบ (-) แสดงว่าค่าที่วัดได้จากเครื่องวัดมีค่าน้อยกว่าค่าที่แท้จริง

1.5.1.2 ค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ (Relative error) คือเปอร์เซ็นต์ของค่าความคลาดเคลื่อน (Percent errors) โดยมีสมการคำนวณค่าเปอร์เซ็นต์ของค่าความคลาดเคลื่อนดังนี้

$$\text{ค่าเปอร์เซ็นต์ของค่าความคลาดเคลื่อน} = \left| \frac{\text{ค่าที่วัดได้จากเครื่องวัด} - \text{ค่าที่แท้จริง}}{\text{ค่าที่แท้จริง}} \right| \times 100\%$$

1.5.2 ความแม่นยำ

ความแม่นยำ (Accuracy) หมายถึงค่าที่บ่งบอกถึงความสามารถของเครื่องวัดในการอ่านค่าหรือแสดงค่าที่วัดได้เข้าใกล้ค่าจริง โดยมีสมการคำนวณค่าเปอร์เซ็นต์ความแม่นยำดังนี้

$$\text{ค่าเปอร์เซ็นต์ความแม่นยำ} = 100 - \text{ค่าเปอร์เซ็นต์ของค่าความคลาดเคลื่อน}$$

ตัวอย่างเช่น ถ้าค่าแรงดันไฟฟ้าที่แท้จริงคือ 200 V เมื่อนำมิเตอร์วัดแรงดันไฟฟ้ามาวัดสามารถอ่านค่าได้ 204 205 203 203 และ 205 V แสดงว่าเครื่องมือวัดนี้มีค่าความแม่นยำเท่ากับ 98%

1.5.3 ความเที่ยงตรง

ความเที่ยงตรง (Precision) หมายถึงความสามารถของเครื่องมือวัดที่จะอ่านค่าๆเดียว ภายใต้สภาพการทำงานเดียวกัน ซ้ำกันหลายๆครั้งได้อย่างเที่ยงตรง (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2555) หรือความสามารถในการแสดงค่าซ้ำ (Repeatability) ของเครื่องมือวัดภายใต้เงื่อนไขการวัดที่เหมือนกันทุกๆ ครั้งที่ทำการวัด



ภาพที่ 1.1 ความเที่ยงตรง

ที่มา: <https://ienergyguru.com/2015/09/ความคลาดเคลื่อนการวัด> (2017)

1.5.4 เลขนัยสำคัญ

เลขนัยสำคัญคือตัวเลขที่ได้จากการวัดโดยใช้เครื่องมือวัดที่เป็นสเกล โดยเลขทุกตัวที่บันทึกจะมีความหมาย ส่วนความสำคัญของตัวเลขจะไม่เท่ากัน ดังนั้นเลขทุกตัวจึงมีนัยสำคัญตามความเหมาะสม เช่น วัดความยาวของเชือกเส้นหนึ่งได้ยาว 132.57 เซนติเมตร เลข 132.5 เป็นตัวเลขที่วัดได้จริง ส่วน 0.07 เป็นตัวเลขที่ประมาณขึ้นมา เราเรียกตัวเลข 132.57 ว่า เลขนัยสำคัญ และมีจำนวนเลขนัยสำคัญ 5 ตัว

หลักการพิจารณาจำนวนเลขนัยสำคัญ เลขทุกตัวถือเป็นเลขที่มีนัยสำคัญ ยกเว้นดังนี้

1. เลข 0 (ศูนย์) ที่อยู่ซ้ายมือสุดหน้าตัวเลข เช่น
 - 0.1 มีเลขนัยสำคัญ 1 ตัว
 - 0.01 มีเลขนัยสำคัญ 1 ตัว
 - 0.0152 มีเลขนัยสำคัญ 3 ตัว
2. เลข 0 (ศูนย์) ที่อยู่ระหว่างตัวเลขถือเป็นเลขนัยสำคัญ เช่น
 - 101 มีเลขนัยสำคัญ 3 ตัว
 - 1.002 มีเลขนัยสำคัญ 4 ตัว
3. เลข 0 (ศูนย์) ที่อยู่ท้ายแต่อยู่ในรูปเลขทศนิยม ถือว่าเป็นเลขนัยสำคัญ เช่น
 - 1.20 มีเลขนัยสำคัญ 3 ตัว
 - 2.400 มีเลขนัยสำคัญ 4 ตัว
4. เลข 0 (ศูนย์) ที่ต่อท้ายเลขจำนวนเต็ม ถ้าจะนับเป็นเลขนัยสำคัญต้องทำเครื่องหมายบอก เช่น
 - 120 มีเลขนัยสำคัญ 2 ตัว
 - 120 มีเลขนัยสำคัญ 3 ตัว
 - 200 มีเลขนัยสำคัญ 1 ตัว
 - 200 มีเลขนัยสำคัญ 2 ตัว
 - 200 มีเลขนัยสำคัญ 3 ตัว
5. เลข 10 ที่อยู่ในรูปยกกำลัง ไม่เป็นเลขนัยสำคัญ เช่น
 - 1.30×10^4 มีเลขนัยสำคัญ 3 ตัว
 - 2.501×10^6 มีเลขนัยสำคัญ 4 ตัว

ผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณส่วนใหญ่มักมีตัวเลขทศนิยมหลายตำแหน่ง ทำให้มีจำนวนเลขนัยสำคัญมากกว่าที่ควรเป็น จึงต้องตัดตัวเลขทศนิยมตำแหน่งที่เกินออกไป โดยใช้การปัดเศษ (Rounding off) ซึ่งเริ่มจากการหาตัวเลขตำแหน่งสุดท้ายของเลขนัยสำคัญที่ต้องการ แล้วปัดเศษตัวเลขทศนิยมตำแหน่งถัดไปทางขวา โดยมีหลักการปัดเลขดังต่อไปนี้

1. ถ้าตัวเลขที่ต้องการปัดเศษต่ำกว่า 5 ให้ปัดลง โดยตัดตัวเลขนั้นออกไป ส่วนเลขตัวสุดท้ายของตำแหน่งที่ต้องการยังคงเป็นตัวเลขเดิม
2. ถ้าตัวเลขที่ต้องการปัดเศษมีค่ามากกว่า 5 ให้ปัดขึ้น โดยตัดตัวเลขนั้นออกไป และเพิ่มค่าของตัวเลขสุดท้ายของตำแหน่งที่ต้องการอีก 1
3. ถ้าตัวเลขที่ต้องการปัดเศษมีค่าเท่ากับ 5 ให้พิจารณาตัวเลขสุดท้ายของตำแหน่งที่ต้องการ ถ้าเป็นเลขคี่ให้ปัดขึ้น แต่ถ้าเป็นเลขคู่ให้ปัดลง

ตัวอย่างที่ 1.13 จงทำให้จำนวน 56.673891 มีเลขนัยสำคัญ 4 ตำแหน่ง

เลขนัยสำคัญ 4 ตำแหน่ง 56.67

ดังนั้นตัวเลขที่ต้องการปัดเศษ คือตัวเลขตำแหน่งถัดจากเลข 7 คือ เลข 3 ซึ่งมีค่าน้อยกว่า 5 จึงปัดลง

∴ เลขนัยสำคัญ 4 ตำแหน่ง คือ 56.67

ตัวอย่างที่ 1.14 จงทำให้จำนวน 56.673891 มีเลขนัยสำคัญ 3 ตำแหน่ง

เลขนัยสำคัญ 3 ตำแหน่ง 56.6

ดังนั้นตัวเลขที่ต้องการปัดเศษ คือตัวเลขตำแหน่งถัดจากเลข 6 คือ เลข 7 ซึ่งมีค่ามากกว่า 5 จึงปัดขึ้น

∴ เลขนัยสำคัญ 3 ตำแหน่ง คือ 56.7

ตัวอย่างที่ 1.15 จงทำให้จำนวน 0.5789 มีเลขนัยสำคัญ 2 ตำแหน่ง

เลขนัยสำคัญ 2 ตำแหน่ง 0.57

ดังนั้นตัวเลขที่ต้องการปัดเศษ คือตัวเลขตำแหน่งถัดจากเลข 7 คือ เลข 8 ซึ่งมีค่ามากกว่า 5 จึงปัดขึ้น

∴ เลขนัยสำคัญ 2 ตำแหน่ง คือ 0.58

ตัวอย่างที่ 1.16 จงทำให้จำนวน 578.93536 มีเลขนัยสำคัญ 5 ตำแหน่ง

เลขนัยสำคัญ 5 ตำแหน่ง 578.93

ดังนั้นตัวเลขที่ต้องการปัดเศษ คือตัวเลขตำแหน่งถัดจากเลข 3 คือ เลข 5 ซึ่งมีค่าเท่ากับ 5 ตัวเลขสุดท้ายของตำแหน่งที่ต้องการเป็นเลขคี่จึงปัดขึ้น

∴ เลขนัยสำคัญ 5 ตำแหน่ง คือ 578.94

บทสรุป

- หน่วยในระบบ SI ประกอบด้วย 3 หน่วยคือ 1. หน่วยพื้นฐาน 2. หน่วยเสริม และ 3. หน่วยอนุพันธ์
- หน่วยพื้นฐานในระบบ SI มี 7 หน่วย และหน่วยเสริมอีก 2 หน่วย
- หน่วยอนุพันธ์ เป็นหน่วยที่เกิดจากการพิสูจน์ทางพีชคณิตระหว่างหน่วยพื้นฐาน หรือระหว่างหน่วยอนุพันธ์ด้วยกัน
- สัญลักษณ์แบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือสัญลักษณ์วิทยาศาสตร์ และสัญลักษณ์วิศวกรรมศาสตร์
- คำอุปสรรคเป็นคำที่ใช้เป็นชื่อและสัญลักษณ์แทนปริมาณในหน่วย SI
- ความคลาดเคลื่อน หมายถึงปริมาณหรือตัวเลขที่แสดงความแตกต่างระหว่างค่าที่แท้จริงกับค่าที่อ่านได้จากเครื่องวัด
- ความคลาดเคลื่อนมีอยู่ 2 ประเภทคือความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ และความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์

- ความแม่นยำ หมายถึงค่าที่บ่งบอกถึงความสามารถของเครื่องวัดในการอ่านค่าหรือแสดงค่าที่วัดได้เข้าใกล้ค่าจริง
- ความเที่ยงตรง หมายถึงความสามารถของเครื่องมือวัดที่จะอ่านค่าๆเดียวภายใต้สภาพการทำงานเดียวกัน ซ้ำกันหลายๆครั้งได้
- เลขนัยสำคัญคือตัวเลขที่ได้จากการวัดโดยใช้เครื่องมือวัดที่เป็นสเกล โดยเลขทุกตัวที่บันทึกจะมีความหมาย ส่วนความสำคัญของตัวเลขจะไม่เท่ากัน

แบบฝึกหัด

- จงเขียนหน่วยของหน่วยวัดต่างๆ ดังต่อไปนี้
 - แรงดันไฟฟ้า
 - กระแสไฟฟ้า
 - ความต้านทานไฟฟ้า
 - ประจุไฟฟ้า
 - ความจุไฟฟ้า
 - ความนำไฟฟ้า
 - กำลังไฟฟ้า
 - ความถี่
 - ความเหนี่ยวนำ
 - พลังงาน
- จงเขียนจำนวนตัวเลขต่อไปนี้ให้อยู่ในรูปสัญกรณ์วิทยาศาสตร์
 - 256000
 - 28760000
 - 135000000
 - 0.0000015
 - 0.00002
- จงเขียนจำนวนตัวเลขต่อไปนี้ให้อยู่ในรูปสัญกรณ์วิศวกรรมศาสตร์
 - 456000
 - 68750000
 - 13500
 - 0.0000014
 - 0.00003
- จงเขียนค่าอุปสรรค และสัญลักษณ์จากเลขสิบยกกำลังต่อไปนี้
 - 10^{-12}
 - 10^{-6}
 - 10^{-3}

- ง. 10^3
 จ. 10^6
5. จงเปลี่ยนหน่วยดังต่อไปนี้
- ก. $35,000\Omega$ เปลี่ยนเป็น $k\Omega$
 - ข. $4,500,000\Omega$ เปลี่ยนเป็น $M\Omega$
 - ค. $1M\Omega$ เปลี่ยนเป็น $k\Omega$
 - ง. $10k\Omega$ เปลี่ยนเป็น Ω
 - จ. $1V$ เปลี่ยนเป็น mV
 - ฉ. $1,000V$ เปลี่ยนเป็น kV
 - ช. $0.002V$ เปลี่ยนเป็น mV
 - ซ. $450mA$ เปลี่ยนเป็น A
 - ณ. $0.00000035A$ เปลี่ยนเป็น μA
 - ญ. $35,000\mu A$ เปลี่ยนเป็น mA
6. จงหาค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของค่าแรงดันไฟฟ้าแบตเตอรี่ $12V$ เมื่อใช้โวลต์มิเตอร์วัดค่าแรงดันไฟฟ้าได้ $13.2V$
7. จงหาค่าความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ของค่าแรงดันไฟฟ้าแบตเตอรี่ $1.5V$ เมื่อใช้โวลต์มิเตอร์วัดค่าแรงดันไฟฟ้าได้ $1.45V$
8. จงหาค่าเปอร์เซ็นต์ความแม่นยำของแอมป์มิเตอร์ เมื่อนำไปวัดกระแสไฟฟ้าที่แท้จริง $50mA$ จำนวน 5 ครั้งได้ค่ากระแสไฟฟ้า $50.2, 51.0, 49.5, 50.1$ และ $50.4mA$
9. จงบอกจำนวนเลขนัยสำคัญดังต่อไปนี้
- ก. 982
 - ข. 96500.00
 - ค. 0.00695
 - ง. 96003
 - จ. 6.00
 - ฉ. 0.0000061
 - ช. 5.16
 - ซ. 2.57006
 - ณ. 9000.00
 - ญ. 0.000000005943000
10. จงปัดตัวเลขนัยสำคัญ 3 ตำแหน่ง
- ก. 50,505
 - ข. 220.45
 - ค. 4646
 - ง. 10.99
 - จ. 1.005

เอกสารอ้างอิง

- กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน. (2555). ความคลาดเคลื่อนและความเที่ยงตรงในการวัด. คู่มือการวิเคราะห์การอนุรักษ์พลังงานสำหรับวิสาหกิจขนาดกลางและขนาดย่อม (pp. 2-9 – 2-10)
- ณัฐวุฒิ โสมะเกษตรินทร์. (2553). วงจรไฟฟ้า 1 (พิมพ์ครั้งที่ 1). กรุงเทพมหานคร: บริษัท ทริปเพิ้ล เอ็ดดูเคชั่น จำกัด.
- วิรัตน์ ปลั่งแสงมาศ. (2559). อิเล็กทรอนิกส์ขั้นพื้นฐาน. เอกสารประกอบการสอนการวัดและเครื่องมือวัดทางไฟฟ้า รหัสวิชา EIT1104. เข้าถึงได้จาก : http://www.teacher.ssru.ac.th/virat_pl/
- สุกัลยา พลเดช. (2555). การใช้หน่วยวัดระบบเอสไอ (SI Unit) อย่างถูกต้อง. วารสารกรมวิทยาศาสตร์บริการ ปีที่ 60 ฉบับที่ 189. เข้าถึงได้จาก : http://lib3.dss.go.th/fulltext/dss_j/2555_189_60_p44-46.pdf
- National Institute of Standards and Technology. (2000). International system of units. Available from: <http://physics.nist.gov/cuu/Units/units.html>

