

แผนบริหารการสอน ประจำบทที่ 1

เรื่อง การวัดและระบบหน่วย

เนื้อหา

บทที่ 1 การวัดและระบบหน่วย

1. ฟิสิกส์และพัฒนาการเกี่ยวกับฟิสิกส์
2. ปริมาณทางฟิสิกส์
 - 2.1 หน่วยฐาน (Base Units)
 - 2.2 หน่วยอนุพัทธ์ (Derived Units)
 - 2.3 หน่วยเสริม
 - 2.4 เลขนัยสำคัญ
3. คำอุปสรรค
4. การเปลี่ยนหน่วย
5. การเลือกใช้เครื่องมือและการอ่านผลจากเครื่องมือวัด
 - 5.1 การเลือกใช้เครื่องมือ
 - 5.2 การอ่านผลจากเครื่องมือวัด
6. ความคลาดเคลื่อนของการวัด
7. เลขนัยสำคัญ
 - 7.1 หลักในการหาเลขนัยสำคัญ
 - 7.2 หลักในการปัดเศษ
 - 7.3 การบวกและลบเลขนัยสำคัญ
 - 7.4 การคูณและการหาร
 - 7.5 ความผิดพลาดหรือความไม่แน่นอนของผลลัพธ์
8. ความไม่แน่นอนในการวัด
 - 8.1 การบันทึกค่าความคลาดเคลื่อน
 - 8.2 ความคลาดเคลื่อนจากการคำนวณ
 - 8.3 การหาความคลาดเคลื่อน

สรุปท้ายบท

แบบฝึกหัดท้ายบท

เอกสารอ้างอิง

วัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม

หลังจากศึกษาจบบทที่ 1 แล้วผู้เรียนสามารถ

1. สามารถนำความรู้เรื่อง การวัดและระบบหน่วยบูรณาการในชีวิตประจำวันได้
2. สามารถอธิบายความหมาย การวัดและระบบหน่วย พร้อมทั้งยกตัวอย่างได้
4. สามารถวิเคราะห์และแก้โจทย์ปัญหาโดยอาศัยกฎหรือทฤษฎีทางฟิสิกส์

วิธีการสอนและกิจกรรมการเรียนการสอน

1. บรรยายและยกตัวอย่าง กรณีศึกษาในประเด็นที่เกี่ยวข้อง
2. ศึกษาค้นคว้าด้วยตนเอง จากแบบฝึกทักษะ ใบกิจกรรม และตัวอย่างแบบทดสอบ
3. ศึกษาจากเอกสารประกอบการสอน ด้วยตนเองจากสื่อการสอน และแหล่งการเรียนรู้

โดยใช้เทคโนโลยีทางการศึกษาที่เหมาะสม

4. ศึกษาค้นคว้าข้อมูลจากห้องสมุด และศูนย์หนังสือ โดยรู้จักวิเคราะห์ข้อมูลที่ศึกษาให้มี

ความถูกต้อง

5. รวบรวมข้อมูล นำเสนอรายงานเป็นรายบุคคล และเป็นกลุ่มในกรณี ศึกษา หน้าชั้นเรียน
6. แก้โจทย์ปัญหา โดยศึกษาเนื้อหา ความสัมพันธ์ สามารถเลือกใช้สูตร และทฤษฎีที่

เกี่ยวข้องอย่างถูกต้อง

สื่อการสอน

1. เอกสารประกอบการสอน วิชาฟิสิกส์ 1
2. สื่อประกอบการสอน Power Point เรื่อง การวัดและระบบหน่วย
3. เอกสารและแหล่งการเรียนรู้ออนไลน์

การวัดผล ประเมินผล

1. ประเมินการมีส่วนร่วมกิจกรรมการเรียนการสอนในชั้นเรียน
2. ประเมินผลตามแบบทดสอบประจำบท
3. ผลการทำแบบฝึกหัด
4. จากผลการสอบเก็บคะแนนระหว่างภาค

บทที่ 1

การวัด และระบบหน่วย

วิชาฟิสิกส์เป็นวิทยาศาสตร์แขนงหนึ่งที่ศึกษาเกี่ยวกับปรากฏการณ์ธรรมชาติของสิ่งแวดล้อมรอบ ๆ ตัว การศึกษาเพื่อหาทฤษฎีและกฎเกณฑ์ต่าง ๆ จึงต้องมีพื้นฐานมาจากการสังเกตจาก ปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นโดยตรง หรือสร้างปรากฏการณ์ขึ้นในห้องทดลอง ซึ่งจะต้องใช้ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ โดยศึกษาจากการสังเกต รวบรวมข้อมูลต่างๆ เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างสิ่งต่างๆ จนสรุปเป็นทฤษฎีและกฎ นอกจากนี้ความรู้ทางฟิสิกส์ยังได้มาจากจินตนาการโดยการสร้างแบบจำลอง (model) ทางความคิด โดยใช้หลักการของฟิสิกส์ซึ่งนำไปสู่การสรุปเป็นทฤษฎีและมีการทดลองเพื่อตรวจสอบทฤษฎี โดยคำนึงถึง สิ่งสำคัญดังนี้ เครื่องมือวัด หมายถึง ปริมาณมาตรฐาน (Standard) ซึ่งเป็นตัวแทนของหน่วยวัด โดยที่การวัดเป็นปฏิบัติการทางเทคนิคที่ต้องปฏิบัติตามวิธีการวัดที่กำหนดขึ้นก่อนไว้แล้ว เพื่อการเปรียบเทียบกันระหว่างปริมาณทางกายภาพใด ๆ ที่ถูกวัดและปริมาณมาตรฐาน โดยผลวัดจะบอกทั้งขนาดและมิติ และวิธีการ วิธีการในการวัดต้องเหมาะสมกับเครื่องมือชิ้นๆ เพื่อได้ข้อมูลเชื่อถือได้ของความรู้ฟิสิกส์ขึ้นอยู่กับขีดจำกัดของการสังเกต และประสิทธิภาพของเครื่องมือ สำหรับงานเก็บข้อมูลทางวิทยาศาสตร์มาตรฐานของเครื่องมือและวิธีการของการวัดเป็นสิ่งสำคัญมากของข้อมูลที่ได้มา

ฟิสิกส์และพัฒนาการเกี่ยวกับฟิสิกส์

ความหมายของฟิสิกส์เดิม หมายถึง “การศึกษาปรากฏการณ์ทางธรรมชาติ” ในศตวรรษที่ 19 ความรู้ทางฟิสิกส์ได้ถูกแบ่งออกเป็นกลุ่มใหญ่ๆ 3 กลุ่ม คือ

1. กลศาสตร์แบบดั้งเดิม (Classical mechanics) การศึกษาเกี่ยวกับการเคลื่อนที่ของอนุภาคและวัตถุที่มีความเร็วต่างๆ ซึ่งมีความเร็วน้อยกว่าแสงมากๆ โดยอาศัยกฎการเคลื่อนที่ของ นิวตัน เป็นหลัก
2. อุณหพลศาสตร์ (Thermodynamics) ศึกษาเกี่ยวกับอุณหภูมิจึงการถ่ายเทความร้อน และทฤษฎีจลของก๊าซ
3. แม่เหล็กและไฟฟ้า (Magnetic and electricity) ศึกษาเกี่ยวกับปรากฏการณ์ทางไฟฟ้า แม่เหล็กและการแผ่รังสี

ซึ่งเรียกวิชาดังกล่าวว่า “ฟิสิกส์ดั้งเดิม (Classical physics)” และในศตวรรษที่ 20 มีปรากฏการณ์และปัญหาทางฟิสิกส์บางประการที่ไม่สามารถใช้ทฤษฎีในฟิสิกส์ดั้งเดิมอธิบายได้

อย่างถูกต้อง เช่น การแผ่รังสีของวัตถุดำ (Black body radiation) ปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริกซ์ (Photoelectric effect) และปรากฏการณ์คอมป์ตัน (Compton's scattering) เป็นต้น จึงทำให้เกิดวิชา “ฟิสิกส์ยุคใหม่ (Modern physics)” โดยมีทฤษฎีที่สำคัญได้แก่ ทฤษฎีควอนตัม (Quantum theory) และ ทฤษฎีสัมพัทธภาพ (Relativity theory) ในปัจจุบันแนวความคิดของวิชาฟิสิกส์ดั้งเดิมและยุคใหม่จะถูกเรียกรวมเป็นวิชาเดียวกันว่า “ วิชาฟิสิกส์ ”

วิชาวิทยาศาสตร์ เป็นสาขาวิชาซึ่งเน้นศึกษาเกี่ยวกับสิ่งต่างๆ ปรากฏการณ์ต่างๆ ในธรรมชาติ วิชาวิทยาศาสตร์ อาจแบ่งได้เป็น 2 สาขาหลัก ได้แก่ วิทยาศาสตร์ชีวภาพ เป็นการศึกษาเฉพาะส่วนที่เกี่ยวกับสิ่งมีชีวิต และ วิทยาศาสตร์กายภาพ เป็นการศึกษาเกี่ยวกับสิ่งไม่มีชีวิต แบ่งออกเป็นอีกหลายแขนง เช่น ฟิสิกส์ เคมี ชีววิทยา ดาราศาสตร์ เป็นต้น วิชาฟิสิกส์ เป็นศาสตร์ที่เกี่ยวกับการอธิบาย ปรากฏการณ์ ธรรมชาติ ซึ่งแบ่งได้เป็น วิทยาศาสตร์ชีวภาพ (Biological Science) ซึ่งเป็นการศึกษาเกี่ยวกับสิ่งที่มีชีวิต และ วิทยาศาสตร์กายภาพ (Physical Science) เป็นการศึกษาเกี่ยวกับสิ่งที่ไม่มีชีวิต ซึ่งมีการแยกสาขาอีกมากมาย เช่น สาขาเคมี สาขาฟิสิกส์ สาขาดาราศาสตร์สาขาอณูนิยมนิวทริโน และสาขาธรณีวิทยา เป็นต้น โดยอาศัยวิธีการทางวิทยาศาสตร์ (Scientific Method) หมายถึงวิธีในการจัดระเบียบการคิด การทำงาน ของนักวิทยาศาสตร์เพื่อค้นหาความจริงของธรรมชาติ และเทคโนโลยี (Technology) เป็น ศิลปะวิธีการ ขบวนการ และการผสมผสาน สิ่งต่างๆ เพื่อการพัฒนาวิทยาศาสตร์ และเพื่อความเป็นอยู่ที่ดี สะดวกสบายยิ่งขึ้นของมนุษย์

โดยสรุป วิชาฟิสิกส์ เป็นวิชาที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาองค์ประกอบของสสาร อันตรกิริยา (Interaction) ระหว่างอนุภาคกับอนุภาคหรืออนุภาคกับสนาม โดยนักฟิสิกส์เชื่อว่าความเข้าใจเกี่ยวกับอันตรกิริยาต่างๆ จะทำให้ใจความเป็นจริงของธรรมชาติ และสามารถอธิบายปรากฏการณ์ต่างๆในธรรมชาติได้ถูกต้องมากยิ่งขึ้น

ปริมาณทางฟิสิกส์

ฟิสิกส์เป็นศาสตร์ที่อยู่บนพื้นฐานการวัด และการแปลความหมายข้อมูลที่ได้จากการวัด โดยอาศัยหลักการและกฎเกณฑ์ดังนั้น ปริมาณต่างๆ เช่น ความเร็ว ความเร่ง แรง โมเมนตัมและปริมาณอื่นๆ ซึ่งปริมาณเหล่านี้ล้วนเกิดจาก ปริมาณมวลฐาน 7 ปริมาณ เพื่อให้การวัดได้เที่ยงตรง หน่วยของการวัดที่ไม่เปลี่ยนแปลง และสามารถนำไปใช้กับผู้สังเกตที่อยู่สถานที่อื่นๆ ได้ทั่วไปข้อมูลที่ได้จากการศึกษาฟิสิกส์แบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ

- 1) ข้อมูลเชิงคุณภาพ (qualitative data) เป็นข้อมูลที่ได้จากการบรรยายสภาพของสิ่งที่สังเกตได้ตามขอบเขตของการรับรู้ เช่น ลักษณะรูปทรง ลักษณะพื้นผิว สี กลิ่น รส เป็นต้น
- 2) ข้อมูลเชิงปริมาณ (quantitative data) เป็นปริมาณที่สามารถวัดได้ด้วยเครื่องมือโดยตรงหรือทางอ้อม เป็นปริมาณที่มีความหมายเฉพาะเจาะจงอย่างใดอย่างหนึ่ง เช่น ปริมาตร มวล น้ำหนัก ความเร็ว อุณหภูมิ เวลา เป็นต้น ปริมาณเหล่านี้จะต้องมีหน่วยกำกับชัดเจน เช่น ปริมาตรมีหน่วยเป็น ลูกบาศก์เมตร ลูกบาศก์ฟุต ถึง ลิตร เป็นต้น

การบันทึกข้อมูลเชิงปริมาณ ประกอบด้วย 3 ส่วน คือ ปริมาณการวัดตัวเลขแสดงผลการวัด และหน่วย เมื่อระบบเมตริกได้ถูกกำหนดขึ้นในปี พ.ศ. 2334 โดยสมาคมวิทยาศาสตร์ของปารีส ประเทศฝรั่งเศส หน่วยเมตร ถูกให้นิยามว่า คือระยะทางหนึ่งส่วนสิบล้าน ($1/10^7$) ของระยะทางจากเส้นศูนย์สูตรไปยังขั้วโลกเหนือ และวินาทีคือ เวลาที่ถูกคัมมนาฬิกาอย่างง่ายที่ยาวหนึ่งเมตรแกว่งจากด้านหนึ่งไปยังอีกด้านหนึ่ง (ครึ่งรอบ) คำนิยามเหล่านี้ไม่สะดวกต่อการนำไปใช้ให้เที่ยงตรงและกระชับ จึงถูกยกเลิกไปในปี พ.ศ. 2422 ซึ่งระบบหน่วยวัดที่สำคัญมี 3 ระบบ (บดินทร์ ชาติสุขบท , 2546) ได้แก่

1. ระบบอังกฤษ หน่วยที่ใช้วัด มวล ความยาว และเวลา เป็น สลัก (slug) ฟุต และวินาทีตามลำดับ
2. ระบบหน่วยสากลระหว่างชาติ (SI) หรือบางที่เรียกว่า ระบบ MKS หน่วยที่ใช้วัด มวล ความยาวและเวลา เป็น กิโลกรัม เมตร และวินาทีตามลำดับ
3. ระบบเมตริก (CGS) หน่วยที่ใช้วัด มวล ความยาวและเวลา เป็น กรัม เซนติเมตร และวินาทีตามลำดับ

สนธิสัญญาข้อตกลงระหว่างประเทศได้ทำด้วยมาตรการวัดปริมาณทางกายภาพ ได้มีการเริ่มต้นและลงนามเกิดขึ้นในปีค.ศ. 1875 โดยสนธิสัญญาดังกล่าวถือได้ว่าเป็นพื้นฐานสำคัญที่เกี่ยวข้องกับการค้าขายระหว่างประเทศโดยตรง เนื่องจากการค้าขายแลกเปลี่ยนสินค้าระหว่างประเทศจะสามารถดำเนินการไปได้อย่างราบรื่น หากประเทศต่างๆทั่วโลกมีการยอมรับและใช้ระบบหน่วยวัดเดียวกันเป็นมาตรฐานสากล มากกว่านั้นสนธิสัญญาเมตริกยังได้นำไปสู่การก่อตั้งห้องปฏิบัติการระหว่างชาติขึ้น โดยการร่วมมือกันของคณะกรรมการระหว่างชาติหลายคณะ และทำให้เกิดการพัฒนาเปลี่ยนแปลงกลไกที่เป็นผลให้เกิดความเชื่อมั่นในความเท่าเทียมกันของมาตรฐานการวัดทางกายภาพระหว่างประเทศอีกด้วย

สนธิสัญญาเมตริก ได้มีการจัดตั้งองค์กรสำหรับควบคุมการดำเนินงานต่างๆขึ้น ได้แก่ องค์กร **International Committee for Weights and Measures (CIPM)** และองค์กร **General Conference on Weights and Measures (CGPM)** รวมทั้งได้มีการร่วมงานกับคณะกรรมการที่ปรึกษา ที่มีหน้าที่ในการให้คำปรึกษาแก่องค์กร **CIPM** ทางด้านวิชาการในมหาวิทยาลัยสาขาต่างๆ โดยห้องปฏิบัติการระหว่างชาติของสนธิสัญญาเมตริกที่มีชื่อว่า **International Bureau of Weights and Measures (BIPM)** ได้จัดตั้งอยู่ที่เมือง **Sevres** ประเทศฝรั่งเศสในปัจจุบัน

2.1 หน่วยฐาน (Base Units)

หน่วยพื้นฐาน จึงได้ถูกจัดขึ้นโดยองค์การระหว่างชาติ การประชุมใหญ่ว่าด้วยน้ำหนักและการวัดสากล ระบบหน่วยที่กำหนดโดยองค์กรนี้ อยู่บนรากฐานระบบเมตริก และตั้งแต่ปี พ.ศ. 2503 ก็เป็นที่ยอมรับอย่างเป็นทางการในนามระบบหน่วยระหว่างชาติ (The International System) เรียกย่อ ๆ ว่า หน่วย SI (ซึ่งคำย่อนี้มาจากภาษาฝรั่งเศสที่ตรงกับคำว่า Systeme Internation) หน่วยมูลฐานของระบบนี้มี 7 ปริมาณเท่านั้น ดังตารางที่ 1.1

ตาราง 1.1 หน่วยมูลฐานของหน่วย SI

ที่	ปริมาณกายภาพ	ชื่อหน่วย	สัญลักษณ์
1	มวล	กิโลกรัม (kilogram)	kg
2	ความยาว	เมตร (meter)	m
3	เวลา	วินาที (second)	s
4	กระแสไฟฟ้า	แอมแปร์ (ampere)	A
5	อุณหภูมิทางอุณหพลศาสตร์	เคลวิน (Kelvin)	K
6	ความเข้มของการส่องสว่าง	แคนเดลลา (candela)	cd
7	ปริมาณของสาร	โมล (mole)	mol

ที่มา : (ศิริชน วรศักดิ์โยธิน , 2546)

2.2 คำมาตรฐานของปริมาณฐาน

1 เมตร คือ ความยาวที่แสงเดินทางในสุญญากาศ ในช่วงเวลา $1/299792458$ ของวินาที

1 กิโลกรัม คือ มวลต้นแบบระหว่างชาติทำด้วยโลหะผสมระหว่าง iridium และ platinum ซึ่งเก็บรักษาไว้ที่ the international bureau of weight and measure เมือง Sevres ประเทศฝรั่งเศส มีลักษณะเป็นรูปทรงกระบอก ระยะเส้นผ่านศูนย์กลาง 39 มิลลิเมตรและระยะความสูง 39 มิลลิเมตร ถูกทำขึ้นจากส่วนผสมของโลหะ iridium และ platinum โดยมีค่าเท่ากับ 10% และ 90% ตามลำดับ

1 วินาที คือ ช่วงเวลา 9192631770 เท่าของคาบการแผ่รังสีที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงระดับชั้นพลังงานไฮเปอร์ไฟน์จากสถานะพื้น (ground state) ไปยังระดับพลังงานชั้นที่สองของอะตอมธาตุซีเซียม-133 (caesium-133)

1 แอมแปร์ คือ เป็นกระแสไฟฟ้าคงที่ที่สามารถทำให้เกิดแรงขึ้นได้ระหว่างเส้นลวดตัวนำสองเส้น ที่มีลักษณะเป็นเส้นตรง มีพื้นที่หน้าตัดขนาดเล็กมากจนไม่ต้องคำนึงถึง และมีระยะความยาวเป็นอนันต์ โดยหากให้กระแสไฟฟ้าขนาด 1 แอมแปร์ ไหลผ่านเส้นลวดตัวนำทั้งสองเส้นที่วางขนานกัน และมีระยะห่าง 1 เมตรในสุญญากาศ จะทำให้เกิดแรงขนาด 2×10^{-7} N/m

1 เคลวิน คือ อุณหภูมิ $1/273.16$ ของอุณหภูมิอุณหพลศาสตร์ของจุดร่วมสามสถานะของน้ำ (Triple point of water)

1 โมล คือ ปริมาณของสารในระบบ ซึ่งประกอบด้วยของค์ประกอบมูลฐานที่กำหนดอาจเป็นอะตอม โมเลกุล อีออน ฯลฯ ที่เทียบเท่ากับจำนวนอะตอมคาร์บอน (C-12) มวล 12 กรัม

1 แคนเดลา คือ ความเข้มของการส่องสว่าง ในทิศที่กำหนดของแหล่งกำเนิดที่แผ่รังสีของแสงความถี่เดียว ที่มีความถี่ 540×10^{12} Hz โดยที่แหล่งกำเนิดแสงจะต้องแผ่รังสีในทิศทางที่กำหนดและมีความถี่เดียว มีสีเดียว รวมทั้งมีค่าความเข้มการแผ่รังสีไปยังทิศทางนั้นๆเท่ากับ 1 ต่อ 683 วัตต์ต่อสเตอเรเดียน (watt/steradian)

2.3 หน่วยอนุพัทธ์ (Derived Units)

หน่วยอนุพัทธ์ เป็นหน่วยซึ่งมีหน่วยฐานหลายหน่วยมาเกี่ยวข้องกัน เช่น หน่วยของความเร็วจึงเป็น เมตร/วินาที ซึ่งมีเมตร และวินาทีเป็นหน่วยฐาน หน่วยนี้มีอยู่หลายหน่วย และบางหน่วยก็ใช้ชื่อสัญลักษณ์เป็นพิเศษ ดังตัวอย่างในตาราง

ตาราง 1.2 หน่วยอนุพันธ์

ที่	ปริมาณ	ชื่อหน่วย	สัญลักษณ์
1	พื้นที่	ตารางเมตร	m^2
2	ปริมาตร	ลูกบาศก์เมตร	m^3
3	อัตราเร็ว ความเร็ว	เมตรต่อวินาที	m/s
4	ความเร่ง	เมตรต่อวินาทียกกำลังสอง	m/s^2
5	ความหนาแน่น	กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร	kg/m^3
6	ปริมาตรจำเพาะ	ลูกบาศก์เมตรต่อกิโลกรัม	m^3/kg
7	แรง	นิวตัน (Newton)	N หรือ $kg.m/s^2$
8	ความดัน ความเค้น	ปาสคาล (Pascal)	Pa หรือ N/m^2
9	กำลัง	วัตต์ (Watt)	W หรือ J/s
10	เอนโทรปี	จูลต่อเคลวิน	J/K
11	ความจุความร้อน จำเพาะ	จูลต่อกิโลกรัม เคลวิน	$J/kg K$
12	งาน พลังงาน ปริมาณ ความร้อน	จูล (Joule)	J หรือ $N.m$

ที่มา : (ชนกกาญจน์ ภัทรากาญจน์ และบรรเลง ศรีนิล, 2524, หน้า 9-10)

2.4 หน่วยเสริม

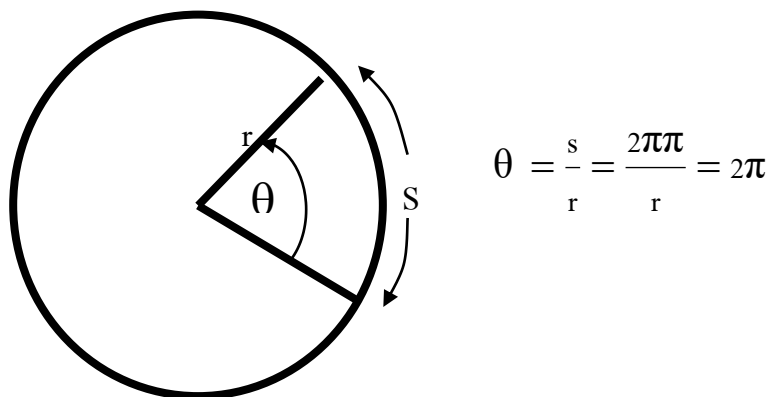
หน่วยเสริมของระบบหน่วย SI มีอยู่ 2 หน่วย คือ

ตาราง 1.3 หน่วยเสริม

ที่	ปริมาณ	ชื่อหน่วย	สัญลักษณ์
1	มุมระนาบ	เรเดียน (radian)	rad
2	มุมตัน	สเตอเรเดียน (steradian)	sr

ที่มา : (ชนกกาญจน์ ภัทรากาญจน์ และบรรเลง ศรีนิล, 2524, หน้า 11)

1.3.1 เรเดียน (Radian : rad) เป็นหน่วยวัดมุมบนระนาบ (plane angle)



ภาพประกอบ 1.1 เรเดียน

ที่มา : อุกฤษฏ์ นาจำปา, (2560)

โดย θ มีหน่วยเป็นเรเดียน (rad) $2\pi \text{ rad} = 360^\circ$

กำหนดให้

r แทน รัศมีของวงกลม

θ แทน มุมบนระนาบที่จุดศูนย์กลางของวงกลม

S แทน ความยาวส่วนโค้งของวงกลมที่รองรับมุมบนระนาบ θ

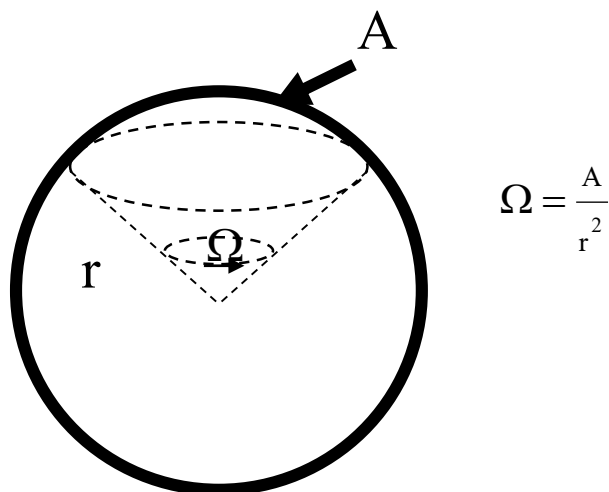
มุม 1 เรเดียน คือมุม θ ที่รองรับความยาวส่วนโค้ง s ที่มีความยาวเท่ากับรัศมีของวงกลม
มุมรอบจุดศูนย์กลางวงกลม 1 รอบ คือ 2π หรือ 6.28 เรเดียน ซึ่งก็คือ 360°

กลมหนึ่งวงมีค่าเท่ากับ 2π เรเดียนหรือเท่ากับ 360° การเปลี่ยนหน่วย เรเดียน เป็นองศา
ทั้งสองค่าต่างก็เท่ากับการวนรอบวงกลม "หนึ่งรอบ" เนื่องจาก 1π เรเดียน เท่ากับ 180° จึงนำ
 $180/\pi$ มาใช้ในการแปลงเรเดียนเป็นองศา ถ้าต้องการแปลงเรเดียนเป็นองศา ต้องนำ $180/\pi$ มาคูณ
กับขนาดของมุมในหน่วยเรเดียน เช่น

$$1/3\pi \text{ เรเดียน} = \pi/3 \times 180/\pi = 180\pi/3\pi \div 3\pi/3\pi = 60^\circ$$

$$1/2\pi \text{ เรเดียน} = \pi/2 \times 180/\pi = 180\pi/2\pi \div 2\pi/2\pi = 90^\circ$$

1.3.2 สเตอเรเดียน (steradian : sr) เป็นหน่วยวัดมุมตัน (solid angle)



ภาพประกอบ 1.2 สเตอเรเดียน

ที่มา : อุกฤษณ์ นาจำปา, (2560)

โดย Ω มีหน่วยเป็นสเตอเรเดียน (sr)

กำหนดให้

r แทน รัศมีของทรงกลม

Ω แทน มุมตันมีรูปร่างเป็นกรวยกลมที่จุดศูนย์กลางของทรงกลม

A แทน พื้นที่ผิวของทรงกลมที่รองรับมุมตัน Ω

มุม 1 sr คือมุมที่รองรับพื้นที่ผิวของทรงกลม A ที่มีขนาดเท่ากับขนาดของรัศมีของทรงกลมกำลังสอง มุมตันรอบจุดศูนย์กลางของทรงกลมทั้งหมดก็คือ 4π หรือ 12.56

สเตอเรเดียน ($\Omega = A/r^2 = 4\pi r^2/r^2 = 4\pi$ สเตอเรเดียน หรือประมาณ 12.56 sr)

หน่วยของปริมาณอื่น ๆ ทั้งหมด นอกเหนือจากหน่วยดังกล่าว จะเป็นหน่วยที่ผสมจากหน่วยรากฐานเหล่านี้และตั้งชื่อหน่วยเสียใหม่ เพื่อเป็นเกียรติแก่นักวิทยาศาสตร์หรือผู้เกี่ยวข้องในเรื่องนั้น ๆ เช่น แรงมีหน่วยเป็น นิวตัน ($1 \text{ N} = 1 \text{ kg.m/s}^2$) งาน มีหน่วยเป็น จูล ($1 \text{ J} = 1 \text{ N.m}$)

คำอุปสรรค

คำอุปสรรคเป็นคำที่ใส่ไว้ข้างหน้าของหน่วยวัดปริมาณนั้น ๆ โดยจะใช้ในกรณีที่ค่าที่ได้จากการวัดมีค่ามากหรือน้อยจนเกินไป ทั้งนี้เพื่อความเหมาะสมแก่การนำไปใช้งาน โดยจะเปลี่ยนเป็นตัวเลขคูณด้วยสิบยกกำลังบวกหรือกำลังลบแทน เช่น กำลัง 5,000 วัตต์ หรือ 5×10^3 วัตต์ สามารถเขียนได้เป็น 5 กิโลวัตต์ ซึ่งคำว่า กิโล ก็คือ คำอุปสรรค นั่นเอง

ตาราง 1.4 คำอุปสรรค

ที่	ตัวคูณ	ชื่อคำอุปสรรค	สัญลักษณ์
1	10^{-18}	อัตโต (atto)	a
2	10^{-15}	เฟมโต (femto)	f
3	10^{-12}	พิโค (pico)	p
4	10^{-9}	นาโน (nano)	n
5	10^{-6}	ไมโคร (micro)	μ
6	10^{-3}	มิลลิ (milli)	m
7	10^{-2}	เซนติ (centi)	c
8	10^{-1}	เดซิ (deci)	d
9	10	เดคา (deka)	da
10	10^2	เฮกโต (hecto)	h
11	10^3	กิโล (kilo)	k
12	10^6	เมกะ (mega)	M
13	10^9	จิกะ (giga)	G
14	10^{12}	เทอรา (tetra)	T
15	10^{15}	เพตะ (peta)	P
16	10^{18}	เอกซะ (exa)	E

ที่มา : (ชนกาญจน์ ภัทรากาญจน์ และบรรเลง ศรีนิล, 2524, หน้า 13)

การใช้คำนำหน้าหน่วย ควรใช้เพียงครั้งเดียว ไม่นิยมเขียนคำนำหน้าหน่วยซ้อนกัน เช่น ไม่ควรเขียน มิลลิไมโครเมตร ควรเขียนเป็นนาโนเมตร เช่น กระแสไฟฟ้า 0.000005 A (หรือ 5×10^{-6}) เขียนเป็น 5mA มากกว่าที่จะเขียนเป็น 0.005 mA หรือ 5,000 nA การนำสัญลักษณ์ของคำนำหน้าหน่วยไปกำกับหน้าสัญลักษณ์ของหน่วย จะถือว่าได้สัญลักษณ์ใหม่เป็นสัญลักษณ์เดี่ยว เมื่อนำไปยกกำลังสอง ไม่ต้องใส่วงเล็บ เช่น mm^3

การเปลี่ยนหน่วย

ในการคำนวณหรือการแก้ปัญหของการทำโจทย์บางครั้งจำเป็นต้องมีการเปลี่ยนแปลงหน่วยต่าง ๆ สามารถทำได้โดยการคำนวณแบบพีชคณิตธรรมดา ตัวอย่างเช่น สมมติว่าเราต้องการเปลี่ยนความยาว 10.0 นิ้ว ให้เป็นเซนติเมตร โดยเรารู้ว่า 1 นิ้ว เท่ากับ 2.54 เซนติเมตร จะได้ว่า $10 \text{ นิ้ว} = (10 \text{ นิ้ว}) \times (2.54 \text{ เซนติเมตร/นิ้ว}) = 25.4 \text{ เซนติเมตร}$ ทั้งนี้ก็เพราะต้องให้เป็นหน่วยเดียวกันก่อนมิฉะนั้นแล้วจะไม่สามารถคำนวณต่อไปได้ ดังตัวอย่างต่อไปนี้

ตัวอย่าง 1.1

จงเปลี่ยน 50 mm ให้มีหน่วยเป็น m

หลักการคำนวณ

$$\begin{aligned} \text{จาก } 1,000 \text{ mm} &= 1 \text{ m} \\ 50 \text{ mm} &= \frac{1 \text{ m}}{1,000 \text{ mm}} \times 50 \text{ mm} \\ \therefore 50 \text{ mm} &= 0.05 \text{ m} \qquad \qquad \qquad \text{ตอบ} \end{aligned}$$

ตัวอย่าง 1.2

จงเปลี่ยน 10 t ให้มีหน่วยเป็น kg

วิธีทำ

$$\begin{aligned} \text{จาก } 1 \text{ t} &= 1,000 \text{ kg} \\ 10 \text{ t} &= \frac{10 \text{ t} \times 1,000 \text{ kg}}{1 \text{ t}} \\ \therefore 10 \text{ t} &= 10,000 \text{ kg} \qquad \qquad \qquad \text{ตอบ} \end{aligned}$$

ตัวอย่าง 1.3

จงเปลี่ยน 25 km/hr ให้มีหน่วยเป็น m/s

หลักการคำนวณ

$$25 \text{ km/hr} = 25 \frac{\text{km}}{\text{hr}} \times \frac{1 \text{ hr}}{3,600 \text{ s}} \times \frac{1,000 \text{ m}}{1 \text{ km}}$$

$$\therefore 25 \text{ km/hr} = 6.94 \text{ m/s} \quad \text{ตอบ}$$

การเลือกใช้เครื่องมือและการอ่านผลจากเครื่องมือวัด

การวัดขนาดจะมีอยู่ 2 วิธี ได้แก่ การวัดโดยตรงและการวัดโดยอ้อม การวัดโดยตรงจะใช้เครื่องมือวัด เช่น เวอร์เนียคาลิเปอร์ ไมโครมิเตอร์ และเครื่องวัดพิคัก ในการวัดขนาดของชิ้นงานโดยตรง การวัดเหล่านี้เรียกอีกอย่างว่าการวัดแบบสัมผัสบูรณ์ ซึ่งสามารถทำการวัดได้อย่างหลากหลายโดยใช้สเกลของเครื่องมือวัด แต่ก็มีโอกาสที่การวัดจะผิดพลาดจากการอ่านค่าสเกลผิดได้เช่นกัน การวัดโดยอ้อมจะวัดขนาดด้วยเครื่องมือวัด เช่น ไดอัลเกจ โดยดูจากความแตกต่างระหว่างชิ้นงานและอุปกรณ์อ้างอิง เช่น เกจบล็อกและเกจวงแหวน ซึ่งเรียกอีกอย่างว่าการวัดเปรียบเทียบ โดยอาศัยหลักการที่ต้องเปรียบเทียบวัตถุกับขนาดมาตรฐาน ยังได้กำหนดรูปร่างและขนาดของอุปกรณ์อ้างอิงไว้มากเท่าไร การวัดก็จะยิ่งทำได้ง่ายขึ้นเท่านั้น อย่างไรก็ตาม วิธีนี้ก็มีข้อเสียอยู่ เนื่องจากขอบเขตของการวัดมีจำกัด

5.1 การเลือกใช้เครื่องมือ

การเลือกใช้เครื่องมือต้องได้มาตรฐานและต้องเหมาะสมกับปริมาณที่จะวัด และวิธีการวัด ต้องเป็นวิธีที่สะดวกปลอดภัยและได้ค่าที่ละเอียดถูกต้อง เช่น จะวัดส่วนสูงก็ต้องใช้ไม้เมตร จะแม่นยำกว่าการวัดด้วยไม้บรรทัด เพราะถ้าวัดด้วยไม้บรรทัดจะต้องวัดต่อกันหลายครั้งจะทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนขึ้นได้มาก การวัดซ้ำกันหลายครั้งแล้วนำมาหาค่าเฉลี่ย สามารถลดความคลาดเคลื่อนจากการวัด ถ้าเราทำการวัดหลายครั้งแล้วมาเฉลี่ยกัน ค่าที่ได้จะน่าเชื่อถือมากขึ้น

เครื่องมือที่วัดต้องไม่ส่งผลไปเปลี่ยนแปลงวัตถุที่วัด เช่น ถ้าเราวัดอุณหภูมิน้ำแก้วหนึ่ง ความร้อนที่เสียไปให้ปรอทที่เราใช้วัดไม่มีผลต่อการวัด แต่ถ้าเราวัดสิ่งที่มีปริมาณน้อยๆ เช่น หยดน้ำ ความร้อนที่เสียให้ปรอทถือว่ามิขนาดมากเมื่อเทียบกับความร้อนทั้งหมดของหยดน้ำ จึงไม่สามารถเอาปรอทไปวัดโดยตรงได้ต้องอาศัยวิธีอื่นที่ดีกว่า

เครื่องมือวัดความยาวหรือวัด ขนาดประกอบไปด้วยเครื่องมือที่สลัก ขีดมาตราบนแท่ง บน สาย หรือบนแผ่นผิววัสดุต่างๆ และเครื่องมือที่สามารถเคลื่อนที่หรือปรับระยะการวัดได้ตามรูปทรง ของสิ่งที่จะวัด ส่วนใหญ่เป็นไม้บรรทัด นิยมสร้างจากพลาสติกเฉยทำให้ชำรุดแตกหัก ได้ง่ายไม่ นิยมใช้ในงานอุตสาหกรรม ดังนั้น ในงานอุตสาหกรรมจึงนิยมใช้บรรทัดเหล็ก ปกติบรรทัด เหล็กสร้างจากแผ่นเหล็กเหน็บที่ออบผิว หรือเหล็กไร้สนิม มีความหนาไม่เกิน 1 มิลลิเมตร และไม่ บางกว่า 0.3 มิลลิเมตร ความกว้างและความยาวของบรรทัดเหล็กนั้น มีหลายขนาด เพื่อให้ เหมาะสมกับ การใช้งานและบรรทัด เหล็กที่ดีจะต้องอ่านสเกลได้ง่ายและไม่บิดงอง่าย ที่นิยมและมี โอกาสใช้งานได้บ่อยครั้งที่สุดคือบรรทัด เหล็กขนาด 30 เซนติเมตร การใช้งานเบื้องต้นนำไม้ บรรทัดเหล็กแนบกับวัตถุที่ต้องการจะวัด ความยาว โดยให้ขีดสเกลเลขศูนย์ของบรรทัด ตรงกับ ขอบของวัตถุ หรือจุดเริ่มที่ต้องการจะวัด และอ่านค่าตัวเลขที่ได้ตรงบริเวณตำแหน่งที่ต้องการวัด ความยาว โดยทั่วไปอ่านค่าได้ 3 หน่วย คือ แบบมิลลิเมตร เซนติเมตร และนิ้ว โดยไม้บรรทัด หรือบรรทัดเหล็กมีหลากหลายขนาดให้ใช้งาน ตามความเหมาะสม

ไม้ที (T – Square) และชุดสามเหลี่ยม (Set Square) นิยมใช้ร่วมกับ โต๊ะเขียนแบบ สำหรับงานเขียนแบบต่าง ๆ ไม้ที มีรูปร่างมีลักษณะเหมือนตัว ที(T) สามารถทำจากวัสดุได้หลาย ประเภท ทั้งทำมาจากพลาสติก ไม้ หรือโลหะ ส่วนมากนิยมใช้สำหรับเป็นบรรทัดไว้สำหรับขีด เขียนเส้นงานเขียนแบบ ไม้ไม่นิยมใช้วัดความยาว การใช้สำหรับวัดความยาวใช้ เหมือนไม้บรรทัด โดยทั่วไปมีหน่วยการวัด 2 หน่วยคือแบบ มิลลิเมตรและเซนติเมตร ชุดสามเหลี่ยมใช้เพื่อการสร้าง มุมของภาพเขียนแบบให้มีมุมแตกต่างกัน ตามมุมของสามเหลี่ยม เช่น มุม 30 องศา 45 องศา 60 องศา เป็นต้น

สายวัด (TapeLine) เป็นเครื่องมือวัด ความยาวชนิดหนึ่งเป็นแถบเล็กยาว ทำด้วยผ้า ที่ออบ น้ำยาเคมีกันยืด มีหน่วยวัด ระยะ ใช้วัดสิ่งต่างๆ เช่น สายวัดตัว ของช่างเย็บเสื้อผ้า สายวัดของช่าง ไม้ มีข้อดีตรงที่สามารถบิดโค้ง งามไปตามรูปทรงที่ต้องการจะวัดระยะได้อย่างอิสระการใช้งานเบื้องต้น นำขอบของสายวัด (สเกลศูนย์) แนบกับจุดเริ่มต้น หรือขอบของวัตถุ ที่ต้องการจะวัด แล้ว ใช้มือ ค่อย ๆ ริดสายวัด ให้เรียบไปกับ วัตถุที่จะวัด ซึ่งสามารถรีดให้ได้ส่วนโค้งเว้า หรือวัด แบบม้วน เป็นวงกลม เช่นการวัดขนาดรอบเอว ขนาดรอบอก เป็นต้น แล้วอ่านค่าตรงจุดสุดท้ายที่ต้องการวัด ค่า มีหน่วยการวัด สามแบบ คือ มิลลิเมตร เซนติเมตร และ นิ้ว

5.2 การอ่านผลจากเครื่องมือวัด

การอ่านผลจากเครื่องมือวัดเนื่องจากเครื่องมือวัดทางด้านวิทยาศาสตร์ แสดงผลการวัดแบบขีดสเกล และแบบตัวเลข ดังนั้น การอ่านผลจากเครื่องมือวัดที่แสดงผลการวัดแบบต่างๆ จะมีข้อพิจารณาดังนี้

1. เครื่องมือวัดแบบแสดงผลด้วยขีดสเกล ค่าที่อ่านได้จากเครื่องมือนี้ เช่น ความยาวของไม้ที่วัด ด้วยไม้บรรทัด น้ำหนักของผลไม้ที่ชั่งด้วยตาชั่ง เป็นต้น จะประกอบด้วย ค่าอ่านที่ได้โดยตรง + ค่าที่ต้องประมาณด้วยสายตา
2. เครื่องมือวัดแบบแสดงผลด้วยตัวเลข ค่าที่อ่านได้จากเครื่องมือชนิดนี้ เช่น ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าที่วัดด้วยเครื่องมัลติมิเตอร์ เป็นต้น จะประกอบด้วย ค่าความคลาดเคลื่อนไว้ให้ในคู่มือการใช้

เลขนัยสำคัญ

เลขนัยสำคัญ คือ เลขที่มีความหมายต่อการวัด ในการทดลองทางวิทยาศาสตร์โดยเฉพาะใน สาขาฟิสิกส์การวัดปริมาณต่าง ๆ ต้องอาศัยเครื่องมือในการวัดออกมาเป็นตัวเลข ซึ่งจะละเอียดมาก หรือน้อย ขึ้นอยู่กับความละเอียดของเครื่องมือวัดนั้น ๆ

วิธีการวัดและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวัด จะทำให้ความละเอียดที่สามารถวัดได้ อยู่ในขอบเขตจำกัด เช่น ถ้าใช้ไม้บรรทัดที่แบ่งสเกลละเอียดถึงมิลลิเมตรวัดความยาวของเส้นตรง สมมติว่าวัดได้ 3.53 เซนติเมตร แสดงว่าเลขตัวสุดท้าย (คือเลข 3) เป็นเลขตัวที่ผู้วัดคาดคะเนเอาเอง ไม่สามารถอ่านได้ โดยตรงจากไม้บรรทัด ซึ่งผู้วัดคาดว่าถ้าจะผิดไปจากเลข 3 ก็ไม่น่าจะขาดหรือเกิน 1 หรือผิดพลาด ไม่ เกิน 0.01 เซนติเมตร ดังนั้นการบันทึกผลการวัดจึงต้องบันทึกเป็น 3.53 ± 0.01 เซนติเมตร คือ อยู่ระหว่าง 3.52 กับ 3.54 เซนติเมตร แต่ถ้าใช้ไม้เมตรที่มีแต่ขีดเซนติเมตร ไม่ละเอียดถึงมิลลิเมตรมาวัด แทนการบันทึกผลการวัดเป็น 3.53 ± 0.01 เซนติเมตร จะละเอียดจนเกินความเป็นจริง เพราะตัวเลข 5 เกิดจากการคาดคะเนด้วยสายตา จึงควรบันทึกเป็น 3.5 ± 0.1 เซนติเมตร ผลจากการวัดด้วยอุปกรณ์ดังกล่าวคือ 3.53 และ 3.5 เรียกว่ามีเลขนัยสำคัญ 3 ตัว และ 2 ตัว ตามลำดับ

6.1 หลักในการหาเลขนัยสำคัญ

1.1 จำนวนเต็มที่ไม่ลงท้ายด้วยเลขศูนย์ (เลขนัยสำคัญที่ไม่ใช่ 0 เป็นเลขนัยสำคัญ) เช่น

2	มีเลขนัยสำคัญ	1 ตำแหน่ง
123	มีเลขนัยสำคัญ	3 ตำแหน่ง
1205	มีเลขนัยสำคัญ	4 ตำแหน่ง

1.2 กรณีที่อยู่ในรูปเลขยกกำลัง $A \times 10^n$ $1 \leq |A| \leq 10$ (เลข 0 ที่อยู่หลังตัวเลขนัยสำคัญเป็นเลขนัยสำคัญ) เช่น

2.0×10^3	มีเลขนัยสำคัญ	2 ตำแหน่ง
2.00×10^{-5}	มีเลขนัยสำคัญ	3 ตำแหน่ง

1.3 กรณีที่มีจำนวนเต็มและทศนิยมกรณีที่มีจำนวนเต็มและทศนิยม (เลข 0 ที่อยู่ปลายสุดทางด้านซ้ายมือ ไม่ใช่เลขนัยสำคัญ) เช่น

1.2	มีเลขนัยสำคัญ	2 ตำแหน่ง
1.02	มีเลขนัยสำคัญ	3 ตำแหน่ง
1.0020	มีเลขนัยสำคัญ	5 ตำแหน่ง

1.4 กรณีที่เป็นทศนิยมกรณีที่เป็นทศนิยมกรณีที่เป็นทศนิยม (เลข 0 ที่อยู่ทางปลายด้านขวามือ แต่อยู่หลังจุดทศนิยมเป็นเลขนัยสำคัญ) เช่น

0.2	มีเลขนัยสำคัญ	1 ตำแหน่ง
0.20	มีเลขนัยสำคัญ	2 ตำแหน่ง
0.02	มีเลขนัยสำคัญ	1 ตำแหน่ง
0.002	มีเลขนัยสำคัญ	1 ตำแหน่ง

1.5 จำนวนเต็มทีลงท้ายด้วยเลขศูนย์ (เลข 0 ที่อยู่ทางปลายขวามือของเลขจำนวนเต็มที่ไม่ใช่ทศนิยม จะบ่งบอกเลขนัยสำคัญไม่ชัดเจน) เช่น

20	มีเลขนัยสำคัญ	1 ถึง 2 ตำแหน่ง
200	มีเลขนัยสำคัญ	1 ถึง 3 ตำแหน่ง
220	มีเลขนัยสำคัญ	2 ถึง 3 ตำแหน่ง
3020	มีเลขนัยสำคัญ	3 ถึง 4 ตำแหน่ง

6.2 หลักในการปัดเศษ

การบันทึกตัวเลขที่ได้จากการวัดหรือการคานวณเป็นสิ่งที่มีความสำคัญ เพราะค่าที่ได้จากการวัดหรือการคานวณสะท้อนให้เห็นถึงความแน่นอนและไม่แน่นอน (uncertainty) ดังนั้นการบันทึกค่าที่วัดได้เป็นตัวเลขจะต้องคำนึงถึงเลขนัยสำคัญด้วย เพราะเป็นการบอกค่าที่วัดได้นั้นมีความเที่ยงมากน้อยขนาดไหน เช่น ในการชั่งสารเคมีในห้องปฏิบัติการ โดยใช้เครื่องชั่งไฟฟ้าที่มีความถูกต้องถึง ± 0.0001 กรัมค่าที่บันทึกได้เขียนได้เป็น 2.4523 กรัม แต่จะบันทึกเป็น 2.45230 กรัมไม่ได้ เพราะเครื่องชั่งมีขีดจำกัดวัดได้ ± 0.0001 กรัมเท่านั้น ไม่ใช่ ± 0.00001 กรัม

1. ถ้าเลขตัวสุดท้ายทางขวามือเป็น 0, 1, 2, 3 หรือ 4 ให้ตัดทิ้งได้เช่น ถ้าต้องการเลขนัยสำคัญ 3 ตัว ของจำนวนต่อไปนี้ 6.123 เป็น 6.12, 40.32 เป็น 40.3, 5.0000 เป็น 5.00
2. ถ้าเลขตัวสุดท้ายทางขวามือเป็นเลข 5 ขึ้นไป ถึงเลข 9 ให้เพิ่มค่าตัวเลขตัวสุดท้ายที่เอาไว้อีก 1 (หรือปัดเศษขึ้น) เช่น ถ้าต้องการเลขนัยสำคัญ 2 ตัว ของเลข 8.18 เป็น 8.2, 6.29 เป็น 6.3, 1.687 เป็น 1.7
3. ถ้าต้องการปัดออกมากกว่าหนึ่งตัว ตัวที่ปัดออกถ้ามีค่าเท่ากับหรือมากกว่า 50, 500, 5,000 เป็นต้น ก็เพิ่มค่าตัวเลขตัวสุดท้ายที่เอาไว้อีก 1 เช่น ถ้าต้องการเลขนัยสำคัญ 3 ตัว ของเลข 3.6847 เป็น 3.68, 1.6859 เป็น 1.69, 9.3826 เป็น 9.38

6.3 การบวกและลบเลขนัยสำคัญ

หลักเกณฑ์ในการหาผลลัพธ์ของการบวกและลบของเลขนัยสำคัญ คือ ผลลัพธ์ที่ได้มีตัวเลขหลังจุดทศนิยมเท่ากับจำนวนตัวเลขหลังจุดทศนิยมน้อยที่สุดของเลขนัยสำคัญที่นำมาบวกหรือลบกันเช่น

$$\begin{aligned} 3.623 + 589.2 &= 592.8 \quad \text{ไม่ใช่} \quad 592.823 \\ 83.62 - 58.9 &= 24.7 \quad \text{ไม่ใช่} \quad 24.72 \end{aligned}$$

6.4 การคูณและการหาร

หลักเกณฑ์ในการหาผลลัพธ์ของการคูณและการหารของเลขนัยสำคัญ คือ ผลลัพธ์ที่ได้มีจำนวนตัวเลขนัยสำคัญเท่ากับจำนวนตัวเลขนัยสำคัญน้อยที่สุดของเลขนัยสำคัญที่นำมาคูณหรือหารกัน

เมื่อผลลัพธ์ได้เลข 0 เป็นเลขนัยสำคัญ ก่อนที่จะปัดเลขอื่นทบขึ้นไปอีก 1 แทนที่เลข 0 ไม่ต้องปัดเลขนั้นขึ้นมา ให้คงคำตอบไว้เกินจำนวนตัวเลขนัยสำคัญที่น้อยที่สุด ในกลุ่มที่นำมาคูณ หรือหาร เช่น

$$\begin{array}{rclclcl} 2.45 \times 3.2 & = & 7.8 & \text{ไม่ใช่} & 7.64 \\ (8.45)^2 & = & 71.4 & \text{ไม่ใช่} & 71.4025 \\ 0.92 \times 1.14 & = & 1.0488 & \text{ไม่ใช่} & 1.05 \end{array}$$

6.5 ความผิดพลาดหรือความไม่แน่นอนของผลลัพธ์

1. ความไม่แน่นอนของผลบวกหรือผลลบ เท่ากับ ผลบวกของความไม่แน่นอนของเลขที่ นำมาบวกหรือลบกันนั้น เช่น

$$\begin{array}{rclclcl} (2.4 \pm 0.1) + (4.35 \pm 0.01) & = & 6.75 \pm 0.11 & = & 6.8 \pm 0.1 \\ (4.35 \pm 0.01) - (2.4 \times 0.1) & = & 1.95 \pm 0.11 & = & 2.0 \pm 0.1 \end{array}$$

2. เมื่อคูณหรือหารกัน ให้คิดความไม่แน่นอนเป็นเปอร์เซ็นต์ เปอร์เซนต์ความไม่แน่นอน ของผลคูณหรือผลหาร เท่ากับ ผลบวกเปอร์เซนต์ความไม่แน่นอนของแต่ละปริมาณ

ในบางครั้ง ปริมาณทางฟิสิกส์อาจมีค่ามากหรือน้อยกว่าหนึ่งมาก ๆ ปริมาณที่มีตัวเลขหลายตัวจะเกิดความยุ่งยากในการนำไปใช้งาน จึงนิยมเขียนตัวเลขในรูปการคูณของเลขยกกำลังที่มีฐานเป็นสิบและเลขชี้กำลังเป็นจำนวนเต็ม มีรูปทั่วไปคือ $A \times 10^n$ เมื่อ $1 \leq A < 10$ และ n เป็นจำนวนเต็ม การเขียนปริมาณแบบนี้เรียกว่า สัญกรณ์วิทยาศาสตร์ (scientific notation) เช่น อัตราเร็วแสงมีค่าประมาณ 300,000,000 เมตรต่อวินาที เขียนได้เป็น 3.00×10^8 เมตรต่อวินาที รัศมีอะตอมของไฮโดรเจน เท่ากับ 0.000000000053 เมตรเขียนได้เป็น 5.3×10^{-11} เมตร

ความคลาดเคลื่อนของการวัด

ค่าที่ผิดพลาดจำนวนหนึ่งซึ่งจะเกิดขึ้นอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ระหว่างค่าที่วัดได้กับค่าจริง สิ่งสำคัญคือการระบุช่วงข้อผิดพลาดที่ยอมรับได้ ในด้านของการวัดแล้ว ช่วงของข้อผิดพลาดสูงสุดและต่ำสุดในการวัดขนาดที่สามารถยอมรับได้จะเรียกว่า “เกณฑ์ความคลาดเคลื่อน” ช่วงของข้อผิดพลาดที่ยอมรับได้ตามกฎหมายที่กำหนด เช่น มาตรฐานอุตสาหกรรม อาจเรียกว่าเกณฑ์ความคลาดเคลื่อนได้เช่นกัน

มาตรฐานกำหนดสิ่งทดสอบกำหนดไว้ว่า “60 (+0.045 -0.000)” “60” จะแสดงถึงขนาดที่อ้างอิง และ “+0.045 -0.000” ระบุเกณฑ์ความคลาดเคลื่อนของขีดจำกัดบนและขีดจำกัดล่าง ในกรณีนี้ขีดจำกัดบนคือ 60.045 และขีดจำกัดล่างคือ 60.000 เหตุผลหนึ่งที่ทำให้มีการกำหนดเกณฑ์ความคลาดเคลื่อนสำหรับการประยุกต์ใช้งานในทางปฏิบัติขึ้นมาก็คือ เพื่อหาความสมดุลของขนาดชิ้นงาน ความแม่นยำที่เพิ่มขึ้นก็จะนำไปสู่ต้นทุนการดำเนินการที่เพิ่มขึ้นด้วย สิ่งสำคัญก็คือต้องมั่นใจว่ามีการกำหนดมาตรฐานและคุณภาพตามที่ต้องการ และกำหนดเกณฑ์ความคลาดเคลื่อนไปตามนั้น การที่ผู้วัดนำเอาปริมาณทางฟิสิกส์ที่กำลังพิจารณาไปเปรียบเทียบกับปริมาณมาตรฐานด้วยเครื่องมือวัดชนิดใดชนิดหนึ่ง ซึ่งผลการวัดจะเป็นจำนวนเท่าของปริมาณมาตรฐานนั้น ผลการวัด ประกอบด้วยตัวเลขจำนวนเท่าและหน่วยจะบอกว่าผู้วัดได้เปรียบเทียบกับปริมาณมาตรฐานใด เช่น วัดความยาวได้ 2.23 เมตร หมายความว่า ความยาวที่วัดได้เป็น 2.23 เท่าของความยาว 1 เมตรมาตรฐาน ความแตกต่างระหว่างผลการวัดกับค่าจริงของปริมาณนั้น เป็นความคลาดเคลื่อน (errors) ของการวัด ซึ่งผลการวัดใดมีค่าใกล้เคียงกับค่าที่เป็นจริงมาก เรียกว่า ผลการวัดนั้นมีความแม่นยำ (accuracy) สูง

ในการวัดปริมาณหนึ่ง ๆ อาจจะมีการวัดหลาย ๆ ครั้งนั้น ให้ผลที่ใกล้เคียงกันมาก เรียกว่า ผลการวัดนั้นมีความเที่ยงตรง (precision) สูง เครื่องมือวัดที่ดีมีคุณภาพสูงจะให้ ผลการวัดที่มีความเที่ยงตรง เช่น เวอร์เนียสคาลิปเปอร์กับไม้บรรทัด โดยที่เวอร์เนียสคาลิปเปอร์จะ วัดได้ละเอียดกว่า และมีค่าละเอียดที่สุด (least count) ที่อ่านได้ถึง ทศนิยมตำแหน่งที่ 2 ของเซนติเมตร (0.01 เซนติเมตร) ในขณะที่ไม้บรรทัด มีค่าละเอียดที่สุด เพียงทศนิยมตำแหน่งแรกของเซนติเมตร (0.1 เซนติเมตร) เท่านั้น ดังนั้นผลการวัดด้วยเวอร์เนียสหลาย ๆ ครั้ง จึงมีความแตกต่างกันไม่มากนัก นั่นคือ มีความเที่ยงตรงมากกว่าผลการวัดด้วยไม้บรรทัด

เวอร์เนียร์คาลิปเปอร์ที่ชำรุดก็ จะให้ผลการวัดที่ไม่มีความแม่นยำและไม่มีความเที่ยงตรง ได้ เพราะผลการวัดจะผิดไปจากความจริง มาก และอาจจะไม่แน่นอนด้วย สำหรับในทางปฏิบัติ เครื่องมือที่มีคุณภาพดีซึ่งให้ผลการวัดที่มีความ แม่นยำมากและความเที่ยงตรงสูง มักจะมีราคาแพง มีการใช้งานที่ยุ่งยากและมีข้อจำกัดมาก การ ทดลองบางอย่างไม่จำเป็นต้องใช้ผลการวัดที่เชื่อถือได้ เพียงพอ ดังนั้น การเลือกใช้เครื่องมือวัดที่ดีเยี่ยมจึงไม่ใช่ความจำเป็นเสมอไป นอกจากนี้ความคลาดเคลื่อนของผลการ วัด ยังขึ้นอยู่กับความสามารถของผู้วัดเอง และลักษณะธรรมชาติของปริมาณที่ วัดนั้นด้วยการรบกวน จากสิ่งแวดล้อมระหว่างทำการวัด ก็มีผลต่อความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นด้วย

ปริมาตรของวัตถุจะเปลี่ยนแปลงไปเนื่องจากความผันผวนของอุณหภูมิ ซึ่งจะทำให้ความยาวของวัตถุเปลี่ยนแปลงได้ นอกจากหลักการนี้จะใช้กับชิ้นงานที่จะวัด ได้แล้ว ยังสามารถใช้กับ เครื่องมือวัดได้อีกด้วย ความเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิและความยาวของวัตถุสามารถแสดงได้เป็น “สัมประสิทธิ์การขยายตัวจากความร้อน” สัมประสิทธิ์การขยายตัวจากความร้อนจะแตกต่างกัน ไป ตามชนิดของวัสดุ ISO กำหนดอุณหภูมิอ้างอิงของความยาวที่ใช้วัดไว้ที่ 20°C

การวัดปริมาณต่างๆ ด้วยเครื่องมือ ซึ่งเป็นข้อมูลที่ได้จากการทดลอง ย่อมวัด ได้แม่นยำโดย มีขีดจำกัดในระดับหนึ่ง โดยทั่วไปจะมีความผิดพลาด (Error) อยู่เสมอ โอกาสที่จะวัดได้ คลาดเคลื่อนจากความเป็นจริงของปริมาณที่วัด ได้จะมากหรือน้อยขึ้นกับเครื่องมือ วิธีการวัด สถานการณ์ที่ทำการวัด ความสามารถและประสบการณ์ของผู้ที่ทำการวัด และปัจจัยอื่นๆ ซึ่งสรุป สาเหตุของความคลาดเคลื่อนได้จาก 3 แหล่งคือ

1. Groos error เป็นความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากความผิดพลาดของผู้บันทึกข้อมูล สามารถแก้ไข โดยการระมัดระวังและทำการทดลองหลายๆ ครั้ง
2. Systemtic error เป็นความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากการวัดและใช้เครื่องมือแบบผิดวิธี หรือไม่ก็ใช้เครื่องมือในสภาพแวดล้อมที่ต่างไปจากที่กำหนดให้ใช้ เป็นต้น แก้ไขโดยการ caribrate เครื่องมือ หรือเลือกวิธีที่เหมาะสม
3. Random error เป็นความคลาดเคลื่อนที่นอกเหนือจากข้อที่ 1 และ 2 เช่นการอ่านสเกล จากมิเตอร์ผิดพลาดเนื่องจากพาราแลกซ์ การจับเวลาในขณะที่เริ่มต้น หรือหยุดเวลา เป็นต้น แก้ไข โดยทดลองหรือวัดหลายๆครั้ง แล้วหาค่าเฉลี่ย

ซึ่งเมื่อทำการวัดปริมาณ A โดยตรงย่อมมีปริมาณ $\pm \Delta A$ ซึ่งเป็นโอกาสผิดพลาดของ ปริมาณ A ที่เป็นไปได้ ดังนั้นค่าที่วัดได้จะอยู่ในระหว่าง $A \pm \Delta A$

7.1 การบันทึกค่าความคลาดเคลื่อน

ในการบันทึกค่าที่ได้จากการทดลองต้องระบุค่าความคลาดเคลื่อนด้วยทุกครั้ง เช่นการวัดค่าของปริมาณ X ซึ่งจะวัดได้เป็น $\bar{X} \pm \Delta X$ เป็นต้น ซึ่งแสดงว่าค่า X ที่วัดได้มีความคลาดเคลื่อนโดยที่มีพิสัยของค่าอยู่ระหว่าง $\bar{X} - \Delta X$ ถึง $\bar{X} + \Delta X$ โดยที่ค่า ΔX เป็นค่าความคลาดเคลื่อนของ X เช่น

เมื่อเครื่องมือ แบ่งช่องระหว่างสเกล เท่ากับ 1 ช่อง จะบันทึกค่าที่อ่านได้จากเครื่องมือ = $\bar{X} \pm \Delta X = 1.4 \pm 0.1$

เมื่อเครื่องมือ แบ่งช่องระหว่างสเกล เท่ากับ 10 ช่อง บันทึกค่าที่อ่านได้จากเครื่องมือ = $\bar{X} \pm \Delta X = 1.44 \pm 0.01$

เครื่องมือวัดแบบดิจิตอล จะแสดงความละเอียดของการวัด ไว้ที่เครื่องมือ หรืออุปกรณ์ เช่นค่าที่วัดได้ 3.26 ความละเอียดของเครื่องมือวัด มีค่า ± 0.01

บันทึกค่าที่อ่านได้จากหน้าปัด = $\bar{X} \pm \Delta X = 3.26 \pm 0.01$

1. การบวก – ลบ ค่าความไม่แน่นอน ของการวัด (ค่าความคลาดเคลื่อน)

ความไม่แน่นอนของผลลัพธ์ เท่ากับผลบวกของความไม่แน่นอนทั้งสอง

$$(A \pm \Delta A) + (B \pm \Delta B) = (A + B) \pm (\Delta A + \Delta B)$$

$$(A \pm \Delta A) - (B \pm \Delta B) = (A - B) \pm (\Delta A + \Delta B)$$

กรณีที่ เป็น เปอร์เซนต์ความคลาดเคลื่อน ก็ให้ทำเป็นค่าความคลาดเคลื่อนก่อน

ดังสมการ

$$(A \pm \Delta A\%) + (B \pm \Delta B\%) = (A + B) \pm \left(\frac{A \cdot \Delta A}{100} + \frac{B \cdot \Delta B}{100} \right)$$

$$(A \pm \Delta A\%) - (B \pm \Delta B\%) = (A - B) \pm \left(\frac{A \cdot \Delta A}{100} + \frac{B \cdot \Delta B}{100} \right)$$

2. การคูณ – หาค่าความไม่แน่นอนของการวัด

$$(A \pm \Delta A)(B \pm \Delta B) = AB \pm (\Delta A\% + \Delta B\%)$$

กรณีหารก็เอาผลต่างเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนบวกกันสเช่นกัน

$$(A \pm \Delta A)(B \pm \Delta B) = AB \pm \left(\frac{\Delta A}{A} \times 100 + \frac{\Delta B}{B} \times 100 \right) \%$$

กรณีหารก็ดำเนินการเช่นเดียวกับคูณ

7.2 ความคลาดเคลื่อนจากการคำนวณ

ปริมาณบางอย่างไม่สามารถวัดได้จากการทดลองโดยตรง อาจจะสามารถวัดได้จากปริมาณอื่นๆ ที่ได้จากการวัด เช่น การคำนวณหาพื้นที่วงกลมจากการวัดรัศมี เป็นต้น ซึ่งการหาความคลาดเคลื่อนของปริมาณเหล่านี้สามารถสรุปได้ดังต่อไปนี้

เช่น กำหนดให้ F เป็นปริมาณที่หาได้จากการคำนวณจากปริมาณ x และ y ซึ่งได้จากการวัดโดยตรง ดังนั้นเราอาจเขียนได้ว่า $F(x, y)$ โดยที่ค่าความคลาดเคลื่อนของปริมาณ F หาได้ 2 วิธีคือ

$$\text{“Probable Error”} \quad \Delta F = \sqrt{\left(\frac{\partial F}{\partial x}\right)^2 (\Delta x)^2 + \left(\frac{\partial F}{\partial y}\right)^2 (\Delta y)^2}$$

$$(\Delta F)^2 = \left(\frac{\partial F}{\partial x}\right)^2 (\Delta x)^2 + \left(\frac{\partial F}{\partial y}\right)^2 (\Delta y)^2$$

$$\text{“Possible Error”} \quad \Delta F = \left| \frac{\partial F}{\partial x} \right| (\Delta x) + \left| \frac{\partial F}{\partial y} \right| (\Delta y)$$

7.3 การหาความคลาดเคลื่อน

การหาความคลาดเคลื่อนโดยใช้ Probable Error

1. $F = x \pm y$

$$(\Delta F)^2 = \left(\frac{\partial F}{\partial x}\right)^2 (\Delta x)^2 + \left(\frac{\partial F}{\partial y}\right)^2 (\Delta y)^2$$

$$(\Delta F)^2 = (\Delta x)^2 + (\Delta y)^2 \rightarrow \Delta F = \sqrt{(\Delta x)^2 + (\Delta y)^2}$$

2. $F = x \cdot y$

$$(\Delta F)^2 = \left(\frac{\partial F}{\partial x}\right)^2 (\Delta x)^2 + \left(\frac{\partial F}{\partial y}\right)^2 (\Delta y)^2$$

$$(\Delta F)^2 = y^2 (\Delta x)^2 + x^2 (\Delta y)^2$$

เอา $(F)^2 = (xy)^2$ หาทั้งสองด้าน

$$\frac{(\Delta F)^2}{F^2} = \left(\frac{\Delta x}{x}\right)^2 + \left(\frac{\Delta y}{y}\right)^2 \rightarrow \Delta F = F \sqrt{\left(\frac{\Delta x}{x}\right)^2 + \left(\frac{\Delta y}{y}\right)^2}$$

3. $F = \frac{x}{y}$

$$(\Delta F)^2 = \left(\frac{\partial F}{\partial x}\right)^2 (\Delta x)^2 + \left(\frac{\partial F}{\partial y}\right)^2 (\Delta y)^2$$

$$(\Delta F)^2 = \left(\frac{1}{y}\right)^2 (\Delta x)^2 + \left(-\frac{x}{y^2}\right)^2 (\Delta y)^2$$

เอา $F^2 = \left(\frac{x}{y}\right)^2$ หาตลอด

$$\frac{(\Delta F)^2}{F^2} = \left(\frac{\Delta x}{x}\right)^2 + \left(\frac{\Delta y}{y}\right)^2 \rightarrow \Delta F = F \sqrt{\left(\frac{\Delta x}{x}\right)^2 + \left(\frac{\Delta y}{y}\right)^2}$$

4. $F = \sin x$

$$(\Delta F)^2 = \left(\frac{dF}{dx}\right)^2 (\Delta x)^2 = (\cos x)^2 (\Delta x)^2$$

$$\Delta F = \cos x (\Delta x)$$

5. $F = x^2$

$$(\Delta F)^2 = \left(\frac{dF}{dx} \right)^2 (\Delta x)^2 = (2x)^2 (\Delta x)^2$$

$$\Delta F = 2x(\Delta x)$$

การหาความคลาดเคลื่อนโดยใช้ Possible Error

1. $F = x \pm y$

$$\Delta F = \left| \frac{\partial F}{\partial x} \right| (\Delta x) + \left| \frac{\partial F}{\partial y} \right| (\Delta y)$$

$$\Delta F = \Delta x + \Delta y$$

2. $F = x \cdot y$

$$\Delta F = \left| \frac{\partial F}{\partial x} \right| (\Delta x) + \left| \frac{\partial F}{\partial y} \right| (\Delta y)$$

$$\Delta F = y(\Delta x) + x(\Delta y)$$

เอา $F = x \cdot y$ หารทั้งสองด้าน

$$\frac{\Delta F}{F} = \frac{\Delta x}{x} + \frac{\Delta y}{y}$$

3. $F = \frac{x}{y}$

$$\Delta F = \left| \frac{\partial F}{\partial x} \right| (\Delta x) + \left| \frac{\partial F}{\partial y} \right| (\Delta y)$$

$$\Delta F = \left(\frac{1}{y} \right) (\Delta x) + \left(\frac{1}{y^2} \right) (\Delta y)$$

เอา $F = \frac{x}{y}$ หารตลอด

$$\frac{\Delta F}{F} = \frac{\Delta x}{x} + \frac{\Delta y}{y}$$

$$4. F = \sin x$$

$$\Delta F = \left| \frac{dF}{dx} \right| (\Delta x)$$

$$\Delta F = \cos x (\Delta x)$$

$$5. F = x^2$$

$$\Delta F = \left| \frac{dF}{dx} \right| (\Delta x)$$

$$\Delta F = 2x(\Delta x)$$

สรุปท้ายบท

1. การวัดมีความสำคัญในการศึกษาสาขาวิชาฟิสิกส์ซึ่งล้วนประกอบด้วยปริมาณมูลฐานที่สำคัญ 7 ปริมาณและหน่วยพื้นฐานที่ยอมรับในปัจจุบันคือระบบหน่วยนานาชาติ หรือเรียกย่อ ๆ ว่าหน่วย SI
2. การแปลงหน่วยจากระบบทั้ง 3 ระบบคือระบบอังกฤษระบบหน่วยสากลระหว่างชาติ และระบบเมตริกมีความจำเป็นที่ผู้เรียนจะต้องศึกษาการเปลี่ยนจากระบบหนึ่งไปยังอีก ระบบหนึ่ง
3. ความถูกต้องและความคลาดเคลื่อนของการวัดมีผลต่อการแปลความหมายเพื่อนำไป ใช้ประโยชน์ขึ้นอยู่กับเครื่องมือวัดความสามารถของผู้วัดลักษณะธรรมชาติของ ปริมาณที่วัดนั้นด้วยการรบกวนจากสิ่งแวดล้อมระหว่างที่ทำการวัด
4. เลขนัยสำคัญเป็นเลขที่มีความหมายต่อการวัดที่ได้จากการทดลองโดยผู้เรียนต้องศึกษา หลักการหาเลขนัยสำคัญหลักการปิดเศษการบวกลบคูณและหารเลขนัยสำคัญกลับกัน
5. ความผิดพลาดหรือความไม่แน่นอนของผลลัพธ์ที่ได้จาก

5.1 ผลการบวกหรือผลลบจะเท่ากับผลบวกของความไม่แน่นอนของเลขที่นำมาบวกหรือ ลบกัน

5.2 ผลการคูณหรือหารกันให้คิดความไม่แน่นอนเป็นเปอร์เซ็นต์ (เปอร์เซ็นต์ ความไม่แน่นอนของการคูณหรือหารจะเท่ากับผลบวกเปอร์เซ็นต์ความไม่แน่นอนของแต่ละ ปริมาณ)

แบบฝึกหัดบทที่ 1

1. จงบอกจำนวนเลขนัยสำคัญในข้อต่อไปนี้อย่างถูกต้อง

123.5 เมตร	มีเลขนัยสำคัญ	ตำแหน่ง
2.7×10^{-5} kg	มีเลขนัยสำคัญ	ตำแหน่ง
4.1×10^{-6} V	มีเลขนัยสำคัญ	ตำแหน่ง
4.0 A	มีเลขนัยสำคัญ	ตำแหน่ง
5.70×10^3 kHz	มีเลขนัยสำคัญ	ตำแหน่ง
0.25 mm	มีเลขนัยสำคัญ	ตำแหน่ง
0.00013 เมตร	มีเลขนัยสำคัญ	ตำแหน่ง
1.002 nm	มีเลขนัยสำคัญ	ตำแหน่ง
1.3×10^{-4} เมตร	มีเลขนัยสำคัญ	ตำแหน่ง
0.105×10^{-7} km	มีเลขนัยสำคัญ	ตำแหน่ง

2. จงหาผลลัพธ์ $23.50 + 355.020 + 42.2 - 50.055$

3. จงหาผลลัพธ์ $6.5 \times 10^{-3} + 3.50 \times 10^{-4} - (8.755 \times 10^{-4} \times 2.8)$

4. ชายคนหนึ่งวัดเส้นผ่านศูนย์กลางของวงกลมวงหนึ่งได้ 5.27 เซนติเมตร ควรจะบันทึกรัศมีวงกลมเป็น กี่เซนติเมตร

5. พื้นที่ของพื้นโต๊ะ วัดและคำนวณได้เท่ากับ 2.2 ตารางเมตร จงแปลงให้อยู่ในรูปของหน่วยวัดระบบอังกฤษ คือ ตารางฟุต

6. อัตราเร็วแสงในสุญญากาศโดยประมาณ คือ 3.00×10^8 เมตร/วินาที จงแปลงหน่วยเป็น ไมล์ ต่อ ชั่วโมง

7. ทรงกลมตันรัศมี 3.50 ± 0.02 เซนติเมตร จงหาปริมาตรและความคลาดเคลื่อนในการคำนวณปริมาตรนี้

8. ในการคำนวณหาความหนาแน่นของทรงกลมโลหะ โดยทำการวัดมวลได้ความคลาดเคลื่อน 1% และวัดเส้นผ่าศูนย์กลางได้ความคลาดเคลื่อน 3% ดังนั้น การคำนวณหาความหนาแน่นของทรงกลมโลหะจะมี เปอร์เซ็นต์ของความคลาดเคลื่อนมากที่สุดเท่าใด
9. ในการทดลองวัดเส้นผ่าศูนย์กลางท่อโลหะ วัดเส้นผ่าศูนย์กลางภายนอกได้ $d_1 = (64 \pm 2)$ ม.ม. และ เส้นผ่าศูนย์กลางภายในได้ $d_2 = (47 \pm 1)$ ม.ม. จงหา เปอร์เซ็นต์ของความคลาดเคลื่อนสูงสุดของ $(d_1 - d_2)$ มีค่าเท่าใด
10. จากสูตร คาบของลูกตุ้มนาฬิกา คือ $T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}$ ในการคำนวณหาค่า g จากสูตรนี้ จากการวัด T ได้ค่าความคลาดเคลื่อนเป็น x และการวัดความยาว l ได้ค่าความคลาดเคลื่อนเป็น y ดังนั้น ในการคำนวณหาค่า g จะมีความคลาดเคลื่อนในการวัดมากที่สุดมีค่าเท่าใด

เอกสารอ้างอิง

- จรัส บุญยธรรมมา. (2543). **ฟิสิกส์ระดับมหาวิทยาลัย ภาคกลศาสตร์**. กรุงเทพฯ : สุวีริยาสาส์น.
มหาวิทยาลัย , ทบวง. (2543). ฟิสิกส์เล่ม 1 . กรุงเทพฯ ฯ : ชวนพิมพ์ .
- จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. (2538). **ฟิสิกส์ 1**. (พิมพ์ครั้งที่4). กรุงเทพฯ ฯ : ศูนย์ หนังสือจุฬาลงกรณ์
มหาวิทยาลัย.
- ชนกาญจน์ ภัทรากาญจน์ และบรรเลง สรนิล, (2524). **เทอร์โมไดนามิกส์ประยุกต์ เล่ม 2 หน่วย
SI**. กรุงเทพฯ ฯ : โรงพิมพ์สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
- บดินทรชาติสุขบท. (2546). **ฟิสิกส์ 1**. กรุงเทพฯ ฯ : สยามสปอร์ตซินดิเคท, บัณฑิตวิทยาลัยสถาบัน
เทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.
- ปรเมษฐ์ ปัญญาเหล็ก. (2542). **ฟิสิกส์1**. (พิมพ์ครั้งที่4). กรุงเทพฯ ฯ ศูนย์หนังสือมหาวิทยาลัย
ศรีปทุม.
- รววิทย์ จันทร์สุวรรณ. (2563). **เคมีวิเคราะห์: หลักการและเทคนิคการคำนวณเชิงปริมาณ**.
สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- สมพงษ์ ใจดี. (2548). **ฟิสิกส์ มหาวิทยาลัย 1** (พิมพ์ครั้งที่ 6). กรุงเทพฯ ฯ : สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์
มหาวิทยาลัย.
- สมาคมวิทยาศาสตร์แห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์. (2543). **ฟิสิกส์ เล่ม 1** (พิมพ์ครั้งที่ 2 ฉบับ
ปรับปรุงแก้ไข). กรุงเทพฯ ฯ
- ศรีชน วรศักดิ์โยธิน(2546). **ฟิสิกส์1**. สำนักพิมพ์ สกายบุ๊กส์, คณะวิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัยขอนแก่น
- อนุสรณ์ ทนหมื่น ไวย. (2557). **ความยาวมาตรฐานและการสอบกลับได้** [เอกสารประกอบการ
บรรยาย]. ปทุมธานี: สถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ.
- อำพัน เมธนาวิน. (2544) **การวัดละเอียด**. (หน้า 18 – 20). กรุงเทพฯ ฯ : ซีเอ็ด ยูเคชั่น