

บทที่ 2

ซึ่ง ดวง วัด และระบบหน่วยมาตรฐาน

มนุษย์สมัยก่อนที่อาศัยอยู่ต่างสถานที่ มีความแตกต่างทางด้านภาษาและวัฒนธรรมได้ประดิษฐ์หน่วยสำหรับการซึ่ง ดวง วัด ขึ้นในหมู่มนุษย์ของตนเอง เราเองเคยมีหน่วยมาตราไทย คืบ ศอก วา เส้น หรือเฟื้อง สลึง บาท ตำลึง ซึ่ง แม้ว่าทุกวันนี้จะมีที่ใช้บ่อยลงไปบ้าง แต่เราก็พอจะพบเห็นมาตราเหล่านี้ได้ในวรรณคดีไทย หรือประวัติศาสตร์ไทย กวาร์ที่เคยมีมาตรา ซึ่ง ดวง วัด ของตัวเองก็เป็นการแสดงถึงว่าเราเป็นชาติที่มีความเจริญทางศิลปวัฒนธรรมมาก่อนชาติยุโรป เช่น อังกฤษ ฝรั่งเศส เขาก็มีหน่วยวัดของเขาเอง อย่างเช่น ความหมายหนึ่งนิ้วคือ ความยาวของเมล็ดข้าวบาร์เลย์สามเมล็ดเรียงกันตามแนวยาว ความยาวหนึ่งหลาอังกฤษคือความยาวที่วัดจากปลายจมูกพระเจ้าเฮนรี่ที่ 1 ไปจนถึงปลายหัวแม่มือของพระองค์ อย่างนี้เป็นต้น

แต่ก่อนเมื่อกลุ่มคนต่างกลุ่มต่างอยู่ปัญหาที่ยังไม่เกิดขึ้น แต่พอนักวิทยาศาสตร์ก้าวหน้าการคมนาคม การสื่อสาร มนุษย์ต้องซื้อขายแลกเปลี่ยนสินค้ากัน นักวิทยาศาสตร์ต้องจดบันทึกข้อมูลและเหตุการณ์ต่าง ๆ ให้ละเอียดขึ้น การวัดจึงเป็นส่วนสำคัญในวิชาฟิสิกส์ที่จะชี้บอกถึงความสำเร็จ หรือล้มเหลวของงาน เช่น การวางสายโทรเลขข้ามมหาสมุทรแอตแลนติกความผิดพลาดของงานมักจะเกิดจากการวัดไม่ดีพอ วิลเลียม ทอมสัน (William Thomson 1824-1907) เป็นวิศวกรที่ปรึกษาของบริษัทที่ทำการวางสายโทรเลข ได้พยายามแก้ปัญหาโดยอาศัยการวัดอย่างละเอียดด้วยเครื่องมือที่ประดิษฐ์ด้วยตนเอง บางครั้งเจ้าหน้าที่ของบริษัทก็ไม่เชื่อ ฟองานล้มเหลวขึ้นมาและลองทำตามคำแนะนำของเขา งานวางสายโทรเลขข้ามมหาสมุทรก็ประสบความสำเร็จในปี ค.ศ. 1858

นักวิทยาศาสตร์ส่วนใหญ่ไม่ค่อยสนใจจะหาวิธีการวัดอย่างถูกต้องแน่นอน แต่ต่างก็ยอมรับว่าการวัดมีอิทธิพลต่องานทางวิทยาศาสตร์มากมาย มีอยู่หลายครั้งที่นักวิทยาศาสตร์ตั้งทฤษฎีขึ้นมาอย่างหนึ่ง แต่พอไปทำการวัดอย่างละเอียดอีกทีก็กลับได้ผลไม่ตรงกับทฤษฎีนั้น เลยต้องล้มทฤษฎีหรือพัฒนาให้เหมาะสมยิ่งขึ้น ถ้านักวิทยาศาสตร์สนใจเฉพาะปรากฏการณ์ทางธรรมชาติเพียงอย่างเดียว เราก็อาจจะไม่มีความก้าวหน้ามาถึงระดับนี้ได้

1. มาตรฐานของปริมาณ

ในทางฟิสิกส์ ปริมาณ เป็นสิ่งที่ใช้แสดงกฎเกณฑ์ต่าง ๆ โดยที่ความหมายในทางฟิสิกส์อาจจะแตกต่างไปจากความหมายที่เราให้อยู่ในชีวิตประจำวัน ปริมาณเหล่านี้ได้แก่ แรง เวลา ความหนาแน่น อุณหภูมิ ประจุ เป็นต้น ปริมาณพื้นฐานในทางฟิสิกส์จะต้องบอกให้ชัดเจนและแน่นอนลงไป โดยใช้วิธีการ "การกำหนดตามวิธีปฏิบัติ" ซึ่งจะกำหนดวิธีวัดปริมาณ

นั้น ๆ ทำการทดลองนำผลไปคำนวณทางวิทยาศาสตร์ จากนั้นค่อยให้นิยามของปริมาณที่
ต้องการ

ปริมาณทางฟิสิกส์แบ่งออกได้เป็นสองพวก คือ ปริมาณหลักมูล (fundamental quantities) และปริมาณอนุพันธ์ (derived quantities) ปริมาณหลักมูลเป็นปริมาณขั้นต้นที่จำเป็นต่อการอธิบายปรากฏการณ์ทางฟิสิกส์ เช่น ความยาว เวลา และมวล ส่วนปริมาณอนุพันธ์เป็นปริมาณที่เกิดจากปริมาณหลักมูลมาประกอบกันเข้า เช่น แรง ความเร็ว ความเร่ง พลังงาน ในการกำหนดปริมาณเราจะแบ่งออกเป็นสองขั้นตอน คือ ตอนแรกต้องกำหนดมาตรฐานที่วัดและเมื่อจะวัดปริมาณตัวอื่น ก็ใช้วิธีเปรียบเทียบกับมาตรฐานที่เรากำหนดขึ้นมานั้น

มาตรฐานอุดมคติ (ideal standard) เป็นมาตรฐานซึ่งสมบูรณ์แบบที่สุดโดยมีคุณสมบัติสองประการ ประการแรก ให้เข้าใจง่าย และประการที่สอง ต้องมีความแน่นอนไม่เปลี่ยนแปลง แต่ก็แปลกที่คุณสมบัติสองประการนี้มักจะขัดแย้งกันอยู่เสมอ เช่น สมมติว่าเราจะวัดความยาวของระยะทาง ถ้าเราจะวัดโดยอาศัยหน่วยนิ้ว คืบ ศอก วา ซึ่งเปรียบเทียบจากอวัยวะของคน เราจะเข้าใจได้ง่ายตรงตามคุณสมบัติข้อแรก แต่คุณสมบัติข้อสองใช้ไม่ได้เพราะคนเรามีช่วงแขนหรือนิ้วไม่เท่ากัน แต่ถ้าเราเปรียบเทียบความยาวของระยะทางหนึ่งกับความยาวของคลื่นแสงเราจะวัดได้แม่นยำมาก ตรงตามคุณสมบัติข้อที่สอง แต่คนเราธรรมดา ๆ ไม่รู้เรื่องซึ่งขัดกับคุณสมบัติข้อแรก

ในการวัดปริมาณจะมีอยู่สองวิธีคือ วิธีตรง กับ วิธีอ้อม เช่น เรากำหนดความยาวของแท่งโลหะอันหนึ่งให้เป็น 1 เมตร เมื่อต้องการวัดความยาวของเส้นตรงหนึ่งเราก็เอาแท่งโลหะนั้นทับไปเรื่อย ๆ ดูว่าเป็นกี่เท่า สมมติได้ 2.5 เท่า ก็แสดงว่าเส้นตรงนั้นยาว 2.5 เมตร การวัดแบบนี้เราเรียกว่า การวัดด้วยวิธีตรง แต่สมมติว่าเราต้องการยิงจรวดจากแหลมเคนเนดีไปยังดวงจันทร์ ก็ต้องทราบระยะทางระหว่างฐานยิงกับดวงจันทร์เพื่อจะได้คำนวณปริมาณเชื้อเพลิงในการขับเคลื่อน ถ้าเราจะวัดด้วยวิธีตรงก็แยกเอาแท่งเมตรมาตรฐานที่เรากำหนดขึ้นนี้วัดไปเรื่อย ๆ ซึ่งไม่สามารถจะทำได้ แต่ถ้าเราทดลองหาว่าคลื่นเรดาร์มีความเร็วเท่าใด (โดยเทียบกับเมตรมาตรฐาน) จากนั้นก็ส่งสัญญาณเรดาร์ให้ไปกระทบดวงจันทร์แล้วสะท้อนกลับมายังฐานส่งอีก วัดเวลาที่ใช้ เอาความเร็วคูณครึ่งหนึ่งของเวลาก็จะได้ระยะทางระหว่างฐานยิงจรวดกับดวงจันทร์แบบนี้เรียกว่าวัดโดยวิธีอ้อม

ในวิชาดาราศาสตร์ เมื่อต้องการหาระยะทางระหว่างดวงดาวต่าง ๆ กับโลกเราก็ต้องใช้วิธีอ้อมอยู่นั่นเอง ดวงไหนอยู่ใกล้หน่อยก็ใช้หลักการสามเหลี่ยม (triangulation) ในวิชาสำรวจซึ่งพอจะวัดได้ แต่ดวงไหนที่อยู่ไกลเราต้องสังเกตตำแหน่งในช่วง 6 เดือน จากนั้นค่อยหาระยะโดยเทียบกับเส้นผ่านศูนย์กลางของวงโคจรของโลก ซึ่งโลกหมุนไปในช่วง 6 เดือนพอดี ส่วนระยะห่างของเนบิวลา ซึ่งห่างจากโลกเป็นล้าน ๆ ปีแสง (ปีแสง คือ ระยะทางที่แสงเดินทางไป

ได้ในเวลา 1 ปี ซึ่งประมาณ 10^{16} เมตร) มีวิธีการยุ่งยากมาก ที่กล่าวมาข้างต้นเราพูดถึงระยะทางยาว ๆ ถ้าเราต้องการวัดระยะทางที่สั้นมาก ๆ เช่น ระยะห่างระหว่างอะตอม โมเลกุล เราก็ต้องใช้วิธีอ้อมเช่นกัน เช่น เราทดลองให้อุณหภูมิของกันแล้ววัดรัศมีของโปรตอนได้ 1.2×10^{-15} เมตร

2. แกนอ้างอิง

แกนอ้างอิง คือ แกนที่ใช้เปรียบเทียบเมื่อจะวัดปริมาณทางฟิสิกส์ ซึ่งปริมาณที่วัดได้จะขึ้นอยู่กับแกนอ้างอิงของผู้ที่ทำการวัด เช่น เราต้องการวัดความเร็วผู้สังเกตในตำแหน่งต่าง ๆ กัน จะวัดได้ความเร็วไม่เท่ากัน (ผู้สังเกตจะนึกว่าตัวเองอยู่นิ่ง) เช่น คนอยู่ข้างทางวัดได้อย่างหนึ่ง คนที่นั่งบนรถยนต์กำลังวิ่งจะวัดได้อีกอย่างหนึ่ง แต่คนบนรถไฟขบวนนั้นจะเห็นว่ารถไฟไม่ได้วิ่ง ถ้าเรามีความรู้เกี่ยวกับทฤษฎีสัมพัทธภาพ (Theory of relativity) ก็จะทำให้เข้าใจตัวอย่างข้างต้นได้ดียิ่งขึ้น ปริมาณอื่น ๆ เช่น การขจัด เวลา สนามแม่เหล็ก สนามไฟฟ้า ล้วนแล้วแต่อาศัยการวัดโดยใช้แกนอ้างอิงทั้งสิ้น

นักฟิสิกส์สมัยแรก ๆ เชื่อว่า ถ้าผู้สังเกตไปอยู่ที่แกนอ้างอิงอันหนึ่งที่เรียกว่า แกนสัมบูรณ์ ก็จะสามารถวัดปริมาณต่าง ๆ ได้ถูกต้องสมบูรณ์จริง ๆ แต่จากการทดลองเป็นสิบ ๆ ปี ก็ยังหาแกนสัมบูรณ์ไม่ได้ ทรรศนะอันนี้ก็เลยต้องล้มเลิกไป

แกนอ้างอิงที่เคลื่อนที่ด้วยความเร็วสม่ำเสมอ ไม่มีความเร่ง ไม่มีการหมุน เมื่อเปรียบเทียบระหว่างกันเองและกับดาวฤกษ์ เราเรียกว่า แกนเฉื่อย (inertial reference frame) ในการทดลองพบว่า เมื่อเราวัดปรากฏการณ์ทางฟิสิกส์บนแกนเฉื่อยเหล่านี้ อาจจะได้ตัวเลขค่าปริมาณไม่เท่ากัน แต่ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณที่วัด หรือกฎเกณฑ์ทางฟิสิกส์จะเหมือนกันหมด ดังนั้นเราจะต้องพิจารณาอย่างรอบคอบเสมอว่า กำลังใช้แกนอะไรอยู่

สมมติว่าผู้สังเกตอยู่ในแกนเฉื่อยต่าง ๆ กัน แต่วัดโมเมนตัมของการชนของอะตอมชุดเดียว ค่าโมเมนตัมที่แต่ละคนวัดได้จะไม่เท่ากัน แต่ถ้าดูผลรวมของโมเมนตัมที่แต่ละคนวัดได้ปรากฏว่าเท่ากัน แสดงว่าเป็นไปตามกฎการคงตัวของโมเมนตัม

3. หน่วยของความยาวมาตรฐาน

ประดิษฐ์ขึ้นเพื่อใช้ในการวัดขนาด และเพื่อให้ทราบรูปร่างของสสาร มาตรฐานความยาวสากลอันแรกเรียกว่า "มาตรฐานเมตร" ทำด้วยโลหะผสมแพลตินัมเออร์เดียม ในอัตราส่วนผสมแพลตินัมเออร์เดียม 90 เปอร์เซ็นต์ เออร์เดียม 10 เปอร์เซ็นต์ หน่วยความยาว 1 เมตร ที่กำหนดขึ้นครั้งแรกนี้ คือ กำหนดให้ระยะทางจากขั้วโลกวัดคาบแนวเส้นแวงที่ผ่านนครปารีสไปยังเส้นศูนย์สูตร เป็นความยาว 10,000,000 เมตร ในภายหลังมีการวัดอย่างละเอียดปรากฏว่ามาตรฐานเมตรนี้คลาดเคลื่อนไปเพียง 0.023 เปอร์เซ็นต์ มาตรฐานเมตรนี้เก็บไว้ที่สถาบันสากลของน้ำหนักและการวัด (International Bureau of Weights and Measures) ณ กรุงปารีส ฝรั่งเศส

ในขณะที่การวัดความยาวเป็นเมตร ได้รับความนิยมนำขึ้นก็ได้มีการจำลองไม้เมตรมาตรฐานเพื่อใช้ตรวจสอบเป็นจำนวนมาก และเก็บไว้ ณ สถานที่ต่าง ๆ กัน เมื่อเทคโนโลยีและวิทยาศาสตร์สมัยใหม่เจริญขึ้นมา ความต้องการที่จะวัดอย่างละเอียดก็มีความจำเป็นมากขึ้น ในปี ค.ศ. 1960 นักฟิสิกส์จึงคิดหาวิธีหาสิ่งที่จะเป็นความยาวมาตรฐานขึ้นใหม่ ซึ่งกำหนดว่า 1 เมตรมาตรฐาน คือ ความยาวเท่ากับ 1,650,763.73 เท่าของความยาวคลื่นของแสงสีแดงส้มที่ปล่อยออกมาจากไอโซโทปของคริปทอน -86 ข้อดีในการใช้คลื่นแสงจากคริปทอนเป็นความยาวมาตรฐาน คือ คริปทอนเป็นธาตุที่เตรียมขึ้นในห้องทดลองที่ทันสมัยเมื่อไรก็ได้ และเตรียมได้ผลเหมือนกันในทุกแห่งของโลก เมื่อเป็นอย่างนี้เราไม่ต้องกลัวว่าไม้เมตรมาตรฐานจะถูกขโมยหรืออันตรายด้านอื่นที่อาจเกิดขึ้น ความสัมพันธ์ของหน่วยมาตรฐานนี้กับหน่วยความยาวมาตรฐานในระบบอังกฤษ เช่น

$$1 \text{ หลา} = 0.9144 \text{ เมตร}$$

$$1 \text{ นิ้ว} = 0.0254 \text{ เมตร}$$

4. หน่วยของมวลมาตรฐาน

มวลมาตรฐานประดิษฐ์ขึ้นหามวลหรือปริมาณเนื้อของสสาร การวัดมวลนั้นอาจจะวัดทางตรงไม่ได้ง่าย ๆ เหมือนการวัดความยาว แต่เนื่องจากแรงดึงดูดหรือแรงโน้มถ่วงจากโลกทำให้มวลมีน้ำหนัก ฉะนั้นการหามวลจึงหาได้ง่าย ๆ โดยการชั่งเปรียบเทียบกับมวลมาตรฐานอันใดอันหนึ่ง มาตรฐานของมวลอันแรกเก็บรักษาไว้ที่เดียวกับหน่วยความยาวมาตรฐาน คือ กรุงปารีส ประเทศฝรั่งเศส ซึ่งเป็นโลหะผสมพลาทินัมเออร์เดียม รูปทรงกระบอกเส้นผ่าศูนย์กลาง 3.9 เซนติเมตร และมีความยาว 3.9 เซนติเมตรเช่นเดียวกัน ทรงกระบอกนี้มีมวล 1 กิโลกรัม มวลมาตรฐานจำลองอันหนึ่งเก็บไว้ที่สถาบันมาตรฐานในกรุงวอชิงตัน สหรัฐอเมริกา ความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยของมวลมาตรฐานกับระบบอังกฤษ คือ

$$1 \text{ ปอนด์} = 0.453599237 \text{ กิโลกรัม}$$

5. หน่วยเวลามาตรฐาน

เวลามาตรฐาน ประดิษฐ์ขึ้นเพื่อใช้วัดเวลามาตรฐาน คือ วินาที ในครั้งแรก เวลามาตรฐานกำหนดจากการหมุนรอบตัวเองของโลก เวลาที่นับจากตอนดวงอาทิตย์ขึ้นสูงสุดบนท้องฟ้าอยู่ตรงศีรษะของเราในวันนี้ (ดวงอาทิตย์อยู่บนระนาบเมอริเดียน คือ ระนาบจากแกนที่โลกหมุนรอบตัวเอง ผ่านตำแหน่งของผู้สังเกตบนผิวโลก) จนถึงเวลาดวงอาทิตย์อยู่ตรงศีรษะเราอีกครั้งหนึ่งในวันรุ่งขึ้น เรียกว่าหนึ่งวันสุริยคติ (solar day) ด้วยเหตุผลบางอย่างช่วงเวลาหนึ่งวันสุริยคติมีค่าไม่เท่ากันทุกวันตลอดปี ดังนั้นจึงใช้วิธีเฉลี่ยตลอดปี เรียกว่า วันสุริยคติเฉลี่ย (mean solar day) ช่วงเวลานี้แบ่งออกเป็น 24 ชั่วโมง หนึ่งชั่วโมงแบ่งออกเป็น 60 นาที และ 1 นาทีแบ่งออกเป็น 60 วินาที ดังนั้น 1 วัน จึงมี $24 \times 60 \times 60$ เท่ากับ 86,400 วินาที

เป็นเวลานานที่กำหนดเวลา 1 วินาที กับกับ 1 ใน 86,400 ของหนึ่งวันสุริยคติเฉลี่ย ใน ปีค.ศ. 1960 ได้มีการประชุมกำหนดหน่วยมาตรฐานขึ้นใหม่โดยกำหนดว่า 1 วินาที เท่ากับ $1/31,556,925.9747$ ของปีสุริยคติ ปีค.ศ. 1900

เมื่อการค้นคว้าวิจัยก้าวหน้าขึ้น ความแน่นอนในการวัดหน่วยเวลาให้ละเอียดก็มีความจำเป็นมากขึ้น ในปีค.ศ. 1967 นักวิทยาศาสตร์ได้ตกลงใช้เวลาจากนาฬิกาปรมาณูซึ่งบางทีเรียกว่านาฬิกาซีเซียม (atomic clock or cesium clock) เป็นมาตรฐาน นาฬิกานี้ได้จากการเทียบเวลามาตรฐานกับคาบของการแผ่รังสีระหว่างชั้นของพลังงานสองชั้นในอะตอมของซีเซียม -133 นาฬิกามาตรฐานนี้อยู่ห้องทดลองฟิสิกส์แห่งชาติ ประเทศอังกฤษ เริ่มทดลองใช้นาฬิกาตั้งแต่ ค.ศ. 1955 และยังคงเดินเครื่องติดต่อกันมาไม่เคยหยุดเลย นาฬิกาแบบเดียวกันนี้มีที่สถาบันมาตรฐานในสหรัฐอเมริกาเช่นกัน

การวัดแต่ละอย่าง ผลของการวัดย่อมมีความไม่แน่นอนอยู่บ้างเสมอไม่มากก็น้อย ความไม่แน่นอนขึ้นอยู่กับสาเหตุหลายประการ เช่น ความละเอียดและความถูกต้องของเครื่องมือที่ใช้วัด ความสามารถในการใช้เครื่องมือของผู้วัด วิธีการวัด และอาจขึ้นกับธรรมชาติของปริมาณที่จะวัด เช่น การวัดปริมาณรังสีของสารกัมมันตรังสีย่อมมีค่ามากบ้าง น้อยบ้าง เป็นไปตามสถิติของธรรมชาติ การตีความหมายจากตัวเลขซึ่งเป็นผลของการทดลองมักจะต้องพิจารณาถึงขอบเขตที่เป็นไปได้ เนื่องจากความไม่แน่นอนนี้เสมอ

6. ระบบหน่วยวัด

ปริมาณต่าง ๆ ที่วัดจะต้องมีหน่วยที่เหมาะสมกำกับ ปัจจุบันมีหน่วยซึ่งประเทศต่าง ๆ ได้ตกลงที่จะใช้ร่วมกันเป็นมาตรฐานสากล เรียกว่า ระบบหน่วยระหว่างชาติ (International System of Units) หรือเรียกย่อ ๆ ว่า ระบบเอสไอ (SI) ประกอบด้วย

หน่วยที่เป็นรากฐาน (base units) ของระบบนี้มี 7 ปริมาณ ดังแสดงไว้ในตารางที่ 2.1

ตาราง 2.1 หน่วยรากฐานของระบบเอสไอ

ปริมาณ	ชื่อหน่วยรากฐาน	สัญลักษณ์
ความยาว	เมตร (metre)	m
มวล	กิโลกรัม (kilogram)	kg
เวลา	วินาที (second)	s
กระแสไฟฟ้า	แอมแปร์ (ampere)	A
อุณหภูมิ	เคลวิน (kelvin)	K
ความเข้มแห่งการส่องสว่าง	แคนเดลา (candela)	cd
ปริมาณสาร	โมล (mole)	mol

หน่วยอนุพันธ์ (derivative units) เป็นหน่วยที่ผสมจากหน่วยรากฐานทั้ง 7 ปริมาณ เช่น แรงมีหน่วยเป็นนิวตัน ซึ่งก็คือ กิโลกรัม.เมตร/วินาที² เป็นต้น

หน่วยเสริม (supplementary units) เป็นหน่วยเกี่ยวกับเรื่องมุม แบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ มุมเชิงระนาบ มีชื่อหน่วยเรเดียน และมุมตัน (solid angle) มีหน่วยเป็นสเตอเรเดียน (steradian)

เนื่องจากบางครั้งมีความต้องการที่จะให้หน่วยให้ใหญ่ขึ้นหรือเล็กลงตามความเหมาะสมของปริมาณ เอสไอ ได้กำหนดให้ใช้ตัวพหุคูณ ซึ่งมีชื่อและสัญลักษณ์ดังต่อไปนี้กับหน่วยเอสไอได้ ดังตารางที่ 2.2

ตาราง 2.2 ตัวพหุคูณที่ใช้กับหน่วยเอสไอ

ตัวพหุคูณ	อุปสรรค		สัญลักษณ์
	ชื่อ		
10^{12}	เทอรา	(tera)	T
10^9	จิกะ	(giga)	G
10^6	เมกะ	(mega)	M
10^3	กิโล	(Kilo)	K
10^2	เฮกโต	(hecto)	h
10	เดคา	(deca)	da
10^{-1}	เดซี	(deca)	T
10^{-2}	เซนติ	(centi)	c
10^{-3}	มิลลิ	(milli)	m
10^{-6}	ไมโคร	(micro)	μ
10^{-9}	นาโน	(nano)	n
10^{-12}	พิโค	(pico)	p
10^{-15}	เฟมโต	(femto)	f
10^{-18}	อัตโต	(atto)	a

แบบฝึกหัด

- 2.1 ในปัจจุบัน หนึ่งเมตรมาตรฐาน คืออะไร และคริปทอน (Krypton-86) มีข้อดีในการนำมาใช้ประโยชน์เกี่ยวกับความยาวมาตรฐานอย่างไร
- 2.2 ในครั้งแรกที่กำหนดเวลามาตรฐาน 1 วินาทีนั้นเขากำหนดอย่างไร และในปี ค.ศ. 1960 ได้มีการเปลี่ยนแปลงอย่างไร
- 2.3 นาฬิกา ปริมาณ หรือนาฬิกาซีเซียม (Atomic clock or Cesium clock) คืออะไร มีประโยชน์อย่างไร
- 2.4 มวลมาตรฐาน และเมตรมาตรฐานอันแรกสร้างจากอะไร ปัจจุบันเก็บรักษาไว้ที่ไหน และมวลมาตรฐานใช้ประโยชน์ได้อย่างไร
- 2.5 ระบบหน่วยที่เคยใช้กันมามีอะไรบ้าง และมีรายละเอียดอย่างไร
- 2.6 ปัจจุบันเราใช้ระบบหน่วยมาตรฐานเดียวกัน ซึ่งเรียกว่า "ระบบหน่วยระหว่างชาติ" หรือ "หน่วยเอสไอ" ถ้ามว่าหน่วยเอสไอ คืออะไร มีกี่อย่างอะไรบ้าง
- 2.7 คำว่าอุปสรรค (Prefixes) คืออะไร ใช้ประโยชน์อย่างไร พร้อมทั้งยกตัวอย่าง