

บทที่

1

ธรรมชาติและพัฒนาการทางฟิลิกส์

[goo.gl/Hm4GQk](https://goo.gl/Hm4GQk)

ความรู้ทางวิทยาศาสตร์เป็นผลผลิตจากสติปัญญาของมนุษย์ที่ทำให้ได้รู้เกี่ยวกับกลไกการทำงานของธรรมชาติว่า ปรากฏการณ์ต่าง ๆ ในธรรมชาติ เช่น พระอาทิตย์ทรงกลด เกิดขึ้นได้อย่างไร การได้มาซึ่งความรู้ทางวิทยาศาสตร์มีหลากหลายทางด้วยกัน เช่น การสังเกต การรวบรวมข้อมูล การทดลอง และการคิดหาเหตุผล เป็นต้น ฟิลิกส์เป็นวิทยาศาสตร์แขนงหนึ่ง ซึ่งศึกษาเกี่ยวกับอะไร มีวิธีการที่ได้มาซึ่งความรู้และมีการพัฒนาความรู้อย่างไร รวมทั้งมีผลต่อการแสวงหาความรู้ใหม่ทางวิทยาศาสตร์และพัฒนาเทคโนโลยีอย่างไร จะศึกษาได้ในบทนี้



### คำถามสำคัญ

- การค้นหาความรู้ทางฟิสิกส์มีพัฒนาการอย่างไร และมีผลต่อการแสวงหาความรู้ใหม่ทางวิทยาศาสตร์และพัฒนาทางเทคโนโลยีอย่างไร
- การวัดและการทดลองมีความสำคัญต่อการศึกษาด้านฟิสิกส์อย่างไร



### จุดประสงค์การเรียนรู้

#### 1.1 ธรรมชาติทางฟิสิกส์

1. อธิบายและยกตัวอย่างการค้นหาความรู้ทางฟิสิกส์
2. อธิบายและยกตัวอย่างประวัติความเป็นมารวมทั้งพัฒนาการของหลักการและแนวคิดทางฟิสิกส์
3. อธิบายและยกตัวอย่างความรู้ทางฟิสิกส์ที่มีผลต่อการแสวงหาความรู้ใหม่ทางวิทยาศาสตร์และพัฒนาเทคโนโลยี

#### 1.2 การวัดและการบันทึกผลการวัดปริมาณทางฟิสิกส์

4. ระบุหน่วยฐานและตัวอย่างหน่วยอนุพัทธ์ของระบบเอสไอ
5. ยกตัวอย่างปริมาณทางฟิสิกส์และหน่วยในระบบเอสไอของปริมาณนั้น ๆ ได้
6. ใช้คำนำหน้าหน่วยเปลี่ยนหน่วยให้ใหญ่ขึ้นหรือเล็กลง
7. อธิบายสัญกรณ์วิทยาศาสตร์และเขียนจำนวนหรือปริมาณในรูปสัญกรณ์วิทยาศาสตร์
8. อธิบายความสำคัญของการเลือกใช้เครื่องมือวัดให้เหมาะสมกับสิ่งที่ต้องการวัด
9. บอกได้ว่าธรรมชาติของการวัดมีความคลาดเคลื่อนเสมอ ขึ้นกับเครื่องมือวัด วิธีการวัด และประสบการณ์ของผู้วัด รวมทั้งสภาพแวดล้อม
10. อธิบายความหมายและบอกเลขนัยสำคัญของจำนวนหรือปริมาณจากการวัดได้
11. บันทึกผลการวัดปริมาณได้อย่างเหมาะสมประกอบด้วยค่าที่อ่านได้จากเครื่องวัดและค่าประมาณ
12. บันทึกปริมาณและจำนวนในรูปแบบสัญกรณ์วิทยาศาสตร์ที่มีเลขนัยสำคัญตามที่กำหนดได้
13. บันทึกผลการคำนวณจากการบวก ลบ คูณและหาร จำนวนหรือปริมาณที่มีเลขนัยสำคัญต่างกัน

#### 1.3 การทดลองทางฟิสิกส์

14. บอกความสำคัญของการทดลองและรายงานผลการทดลอง
15. บันทึกผลการวัดโดยใช้ค่าทางสถิติ ได้แก่ ค่าเฉลี่ยและความคลาดเคลื่อนของค่าเฉลี่ย
16. อธิบายความสำคัญของการขีดเส้น และสามารถจัดสมการที่ไม่อยู่ในรูปเชิงเส้นให้อยู่ในรูปสมการเชิงเส้น พร้อมทั้งเขียนกราฟและหาค่าของปริมาณจากกราฟเส้นตรงได้

## 📖 | ความรู้ก่อนเรียน

วิทยาศาสตร์แขนงต่าง ๆ ปริมาณและหน่วยการวัด การบันทึกผลการวัด

ปรากฏการณ์ต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ เช่น กลางวันกลางคืน ฟ้าแลบ ฟ้าร้อง ฟ้าผ่า ลมสุริยะ ปรากฏการณ์จันทรุปราคา พระอาทิตย์ทรงกลด การเปลี่ยนตำแหน่งของดวงดาวบนท้องฟ้า เป็นต้น เป็นสิ่งที่มนุษย์ให้ความสนใจและพยายามอธิบายการเกิดปรากฏการณ์ธรรมชาติดังกล่าวมาตั้งแต่สมัยโบราณ โดยในอดีต มนุษย์เชื่อว่าปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นในธรรมชาติเหล่านี้ เกิดขึ้นจากการกระทำของเทพเจ้า หรือภูติผีปีศาจ ดังตัวอย่างจากนิยายปรัมปราของแต่ละชาติ ความพยายามที่จะเข้าใจสิ่งต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นในธรรมชาติทำให้มนุษย์พัฒนาระบบความคิดอย่างมีเหตุผลและสร้างเครื่องมือวัดและอุปกรณ์ต่าง ๆ เพื่อให้ได้ข้อมูลเกี่ยวกับสิ่งที่ต้องการศึกษามาวิเคราะห์หรือสร้างแบบจำลองทางความคิดเพื่อสรุปเป็นแนวคิด ทฤษฎี หลักการ หรือกฎในการอธิบายปรากฏการณ์ธรรมชาติ



## 💡 | ขวนคิด

ในสมัยโบราณ คนไทยมีการสร้างเรื่องราวเกี่ยวกับกระทำของเทพเจ้า หรือภูติผีปีศาจ เพื่ออธิบายปรากฏการณ์ธรรมชาติต่าง ๆ เช่น ฟ้าร้อง ฟ้าผ่า แผ่นดินไหว และจันทรุปราคา อย่างไร

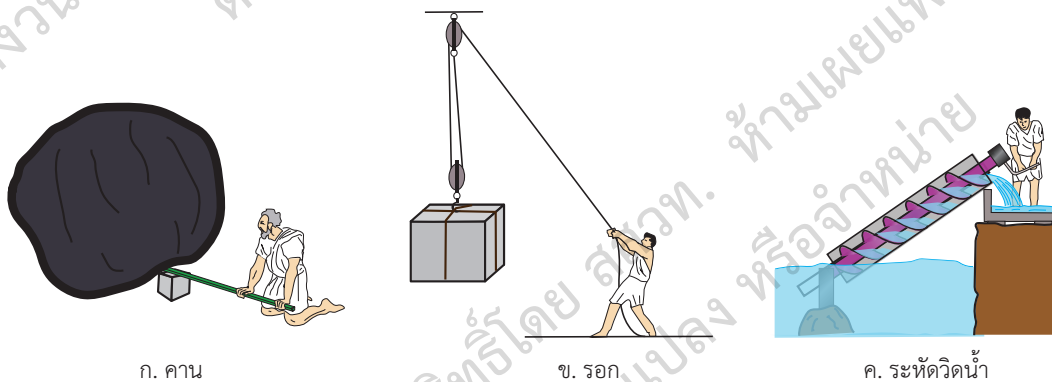
ฟิสิกส์เป็นวิทยาศาสตร์แขนงหนึ่งที่ศึกษาค้นคว้าเพื่ออธิบายปรากฏการณ์ในธรรมชาติ เช่น เหตุใดวัตถุจึงตกสู่พื้นโลก สสารเปลี่ยนสถานะได้อย่างไร รุ้งเกิดขึ้นได้อย่างไร เหตุใดดวงอาทิตย์จึงมีสีแดงเมื่อจะลับขอบฟ้า เป็นต้น แนวคิด ทฤษฎี หลักการหรือกฎทางฟิสิกส์ มีการพัฒนาสะสมกันมานานหลายศตวรรษ จำแนกได้เป็นสาขาต่าง ๆ เช่น กลศาสตร์ คลื่น เสียง แสง ไฟฟ้าและแม่เหล็ก ความร้อน ฟิสิกส์อะตอม ฟิสิกส์นิวเคลียร์ และฟิสิกส์อนุภาค ความรู้ทางฟิสิกส์นำไปสู่ความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับสสาร พลังงาน อันตรกิริยาระหว่างสสารกับพลังงาน และแรงพื้นฐานในธรรมชาติ ซึ่งจะได้ศึกษาในบทต่อ ๆ ไป ส่วนการศึกษา

ในบทนี้ จะเป็นการศึกษาเกี่ยวกับธรรมชาติทางฟิสิกส์ การค้นคว้าหาความรู้ทางฟิสิกส์ ประวัติความเป็นมา และพัฒนาการของหลักการและแนวคิดทางฟิสิกส์ที่มีผลต่อการแสวงหาความรู้ใหม่และพัฒนาการทางเทคโนโลยี นอกจากนี้จะได้ศึกษาเกี่ยวกับการวัดและการบันทึกผลการวัดปริมาณทางฟิสิกส์ รวมทั้งการทดลองทางฟิสิกส์

### 1.1 ธรรมชาติของฟิสิกส์

ความต้องการในการแสวงหาความรู้เพื่อความเข้าใจธรรมชาติด้วยเหตุผลมากกว่าความเชื่อปรากฏการณ์ธรรมชาติเกิดจากการกระทำของเทพเจ้าหรือภูติผีปีศาจ นำไปสู่การศึกษาเกี่ยวกับปรากฏการณ์ธรรมชาติด้วยเหตุและผล โดยในยุคกรีกโบราณ เรียกการศึกษาหาความรู้ทางด้านนี้ว่า **ปรัชญาธรรมชาติ** (natural philosophy) ซึ่งต่อมาเรียกว่า **วิทยาศาสตร์** (science) โดยแขนงหนึ่งของวิชานี้ คือ **ฟิสิกส์** (physics) ที่มาจากคำในภาษากรีกซึ่งมีความหมายว่า ธรรมชาติ

ฟิสิกส์ในยุคแรก ๆ นั้น ให้ความสำคัญเกี่ยวกับการศึกษาปรากฏการณ์ต่าง ๆ ในธรรมชาติที่สัมพันธ์กับการดำรงชีวิต เช่น การเปลี่ยนแปลงของฤดูเพื่อใช้เตรียมการเพาะปลูก การเคลื่อนที่ของดวงดาวเพื่อใช้บอกทิศสำหรับการเดินทางเพื่อสำรวจสถานที่ใหม่ ๆ หรือขยายอาณานิคม การผ่อนแรงเพื่อใช้ในการขนย้ายสิ่งของและการก่อสร้าง เป็นต้น



รูป 1.1 เครื่องผ่อนแรงแบบต่าง ๆ

ในการหาคำอธิบายเกี่ยวกับปรากฏการณ์ในธรรมชาติ นักฟิสิกส์จึงให้ความสำคัญเกี่ยวกับการทำการทดลองเพื่อเก็บรวบรวมข้อมูล วิเคราะห์และสรุปผลจนได้มาซึ่งคำอธิบายที่มีเหตุผลและมีหลักฐานเชิงประจักษ์ เป็นผลให้มีการสร้างและพัฒนาเครื่องมือวัดที่ใช้สำหรับการสังเกต และเก็บรวบรวมข้อมูล เช่น กล้องโทรทรรศน์เพื่อใช้ในการสังเกตดวงดาวของกาลิเลโอ (Galileo) บารอมิเตอร์เพื่อใช้วัดความดันบรรยากาศของทอร์ริเชลลี (Torricelli) แคลอริมิเตอร์เพื่อวัดพลังงานความร้อนโดยลาวัชเชอร์ (Lavoisier) และลาปลาซ (Laplace)

การศึกษาทางฟิสิกส์ทำให้เกิดการสร้างสิ่งประดิษฐ์ที่เป็นนวัตกรรมใหม่ ๆ เพื่อให้การดำรงชีวิตดีขึ้นนำไปสู่การเปลี่ยนแปลงทางเศรษฐกิจและสังคมที่สำคัญในอดีต เช่น ความรู้เกี่ยวกับความร้อนนำไปสู่การพัฒนาเครื่องจักรไอน้ำทำให้เกิดการปฏิวัติอุตสาหกรรมที่เปลี่ยนระบบการผลิตสินค้าจากแรงงานมนุษย์เป็นเครื่องจักรกลที่สามารถผลิตสินค้าได้ปริมาณมากในเวลาที้น้อยลง นอกจากนี้ การศึกษาปรากฏการณ์ธรรมชาติทางฟิสิกส์ทำให้เกิดการค้นพบแนวคิดและสิ่งใหม่ ๆ เช่น คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า กัมมันตภาพรังสี ปฏิกริยานิวเคลียร์ และอนุภาคมูลฐาน นำมาซึ่งการสร้างและพัฒนาเทคโนโลยีในการดำรงชีวิตปัจจุบัน

ในหัวข้อต่อไปนี้จะเป็นการศึกษาเกี่ยวกับการค้นคว้าหาความรู้ทางฟิสิกส์ การพัฒนาของหลักการและแนวคิดทางฟิสิกส์ และผลของพัฒนารากทางฟิสิกส์ที่มีต่อการแสวงหาความรู้ใหม่และการพัฒนาเทคโนโลยี

### 1.1.1. การค้นคว้าหาความรู้ทางฟิสิกส์

การค้นคว้าหาความรู้ทางฟิสิกส์ อาจกล่าวได้ว่า มี 2 แนวทาง ได้แก่

**แนวทางที่ 1** การสังเกต การทดลอง และเก็บรวบรวมข้อมูลมาวิเคราะห์เพื่อสรุปเป็นแนวคิดหลักการ หรือกฎ เช่น การสังเกตและบันทึกข้อมูลของบราห์ (Brahe) เกี่ยวกับตำแหน่งต่าง ๆ ของดาวเคราะห์ ทำให้เคปเลอร์ (Kepler) นำข้อมูลนั้นมาสรุปได้เป็นกฎการเคลื่อนที่ของดาวเคราะห์ เรียกว่า กฎของเคปเลอร์ ซึ่งสามารถอธิบายการเคลื่อนที่ของดาวเคราะห์ที่โคจรรอบดวงอาทิตย์ได้อย่างถูกต้อง การทดลองของคูลอมบ์ (Coulomb) เกี่ยวกับแรงระหว่างประจุไฟฟ้าโดยนำข้อมูลจากการทดลองมาวิเคราะห์สรุปได้เป็นกฎที่เรียกว่า กฎของคูลอมบ์ ที่สามารถนำไปใช้คำนวณหาขนาดของแรงระหว่างประจุไฟฟ้าได้

**แนวทางที่ 2** การสร้างแบบจำลองทางความคิดเพื่อสรุปเป็นทฤษฎีที่ใช้อธิบายปรากฏการณ์ธรรมชาติ รวมทั้งทำนายสิ่งที่จะเกิดขึ้น เช่น แมกซ์เวลล์ (Maxwell) ได้นำความรู้เกี่ยวกับไฟฟ้าและแม่เหล็กมาสรุปเป็นสมการของแมกซ์เวลล์นำไปสร้างแบบจำลองทางความคิด เสนอเป็นทฤษฎีที่เรียกว่า ทฤษฎีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าของแมกซ์เวลล์ ซึ่งนำไปใช้อธิบายว่า แสงเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า และทำนายว่า คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ามีสมบัติอย่างไร ทั้งนี้ ทฤษฎี คำอธิบาย และคำทำนายดังกล่าวถูกสร้างขึ้นโดยยังไม่มี การทดลองใด ๆ มาสนับสนุน จนกระทั่งในเวลาต่อมาเฮิร์ตซ์ (Hertz) ได้สร้างอุปกรณ์ส่งและรับ คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเป็นการยืนยันความเป็นไปได้ของทฤษฎีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าของแมกซ์เวลล์ รวมทั้งได้ ทำการทดลองแสดงให้เห็นว่า คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ามีอัตราเร็วเท่ากับอัตราเร็วแสง และแสงเป็น คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าตามแนวคิดของแมกซ์เวลล์

จากคำกล่าวข้างต้น จึงกล่าวได้ว่า การค้นคว้าหาความรู้ทางฟิสิกส์ได้มาจากการสังเกต การทดลอง และเก็บรวบรวมข้อมูลมาวิเคราะห์หรือจากการสร้างแบบจำลองทางความคิด เพื่อสรุปเป็น ทฤษฎี หลักการหรือกฎ ความรู้เหล่านี้สามารถนำไปใช้อธิบายปรากฏการณ์ธรรมชาติหรือทำนายสิ่งที่จะ เกิดขึ้นในอนาคต ซึ่งกระบวนการค้นคว้าหาความรู้ทางฟิสิกส์ดังกล่าว ไม่ได้เกิดขึ้นจากการสังเกตและ บันทึกข้อมูลของนักฟิสิกส์เพียงคนเดียว แต่เป็นการสรุปข้อมูลสะสมไว้เป็นจำนวนมากตั้งแต่ในอดีต ถึงปัจจุบัน พัฒนาการของหลักการและแนวคิดทางฟิสิกส์เป็นมาอย่างไร ศึกษาได้จากหัวข้อถัดไป



### 1.1.2. พัฒนาการของหลักการและแนวคิดทางฟิสิกส์

พัฒนาการของหลักการและแนวคิดทางฟิสิกส์มีพื้นฐานจากการสะสมข้อมูลที่ได้จากการสังเกต การทดลองตั้งแต่ในอดีตถึงปัจจุบัน ซึ่งในบางครั้งได้นำข้อมูลเหล่านั้นมาพิจารณาเพิ่มเติมจากการพัฒนา เครื่องมือวัดที่มีความละเอียดมากยิ่งขึ้น หรือนำมาตีความหมายใหม่ จากมุมมองที่เปลี่ยนไปเนื่องจาก มีการพัฒนาทฤษฎี หลักการ หรือกฎขึ้นมาใหม่ ทำให้ได้คำอธิบายที่เป็นความรู้ใหม่

ในบางครั้ง นักฟิสิกส์จำเป็นที่จะต้องเผชิญกับแรงกดดันจากสังคมในการนำเสนอแนวคิดใหม่ที่ขัดแย้งกับความเชื่อเดิมของคนส่วนใหญ่ในสังคม ดังเช่นในกรณีการพัฒนาแนวคิดที่ได้แย้งกับความเชื่อ เดิมที่คนส่วนใหญ่ในยุคนั้นเชื่อว่า โลกเป็นศูนย์กลางของเอกภพที่มีดวงอาทิตย์ ดวงจันทร์และดาวเคราะห์ อื่น ๆ โคจรรอบโลก ทำให้กาลิเลโอ หนึ่งในนักวิทยาศาสตร์ที่พยายามพิสูจน์ว่า โลกโคจรรอบดวงอาทิตย์ ถูกคัดค้านและต่อต้านจากกลุ่มคนที่ไม่เห็นด้วย และห้ามเผยแพร่เอกสารทั้งหมดที่เขาเขียนขึ้นก่อนหน้านั้น จนเมื่อเวลาผ่านไป มีนักฟิสิกส์หลาย ๆ คน ได้ค้นพบและเผยแพร่ข้อมูลที่สนับสนุนแนวคิดดังกล่าวเพิ่มมากขึ้น จนทำให้ในปัจจุบัน คนในสังคมส่วนใหญ่ยอมรับว่า แนวคิดเรื่องโลกเป็นศูนย์กลางของเอกภพนั้นเป็น ความเชื่อที่ไม่ถูกต้อง

#### รู้หรือไม่

ตั้งแต่สมัยโบราณ คนส่วนใหญ่มีความเชื่อตามแนวคิดของปโตเลมี (Ptolemy) ว่าโลกเป็นศูนย์กลาง ของเอกภพโดยมีดาวอื่น ๆ โคจรรอบโลก เรียกว่า **ระบบโลกเป็นศูนย์กลาง (geocentric system)** จนกระทั่งในปี ค.ศ. 1543 หรือ พ.ศ. 2086 โคเปอร์นิคัส (Copernicus) ได้เสนอแนวคิดใหม่ จากการสังเกตและการใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ว่าดวงอาทิตย์เป็นศูนย์กลางที่มีโลกและ ดาวเคราะห์อื่น ๆ โคจรโดยรอบ เรียกว่า **ระบบดวงอาทิตย์เป็นศูนย์กลาง (heliocentric system)** ซึ่งต่อมาได้พิสูจน์โดยการสร้างกฎเพื่ออธิบายการเคลื่อนที่ของดาวเคราะห์ของเคปเลอร์และการสังเกต ผ่านกล้องโทรทรรศน์ของกาลิเลโอ

นอกจากกาลิเลโอจะการใช้การสังเกตและการทดลองในการหาความรู้ใหม่แล้ว เขายังได้นำ คณิตศาสตร์มาใช้ในการหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณที่เกี่ยวข้องด้วย เช่น การสร้างสมการทาง คณิตศาสตร์แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนที่แนวตรงและการเคลื่อนที่ แบบโพรเจกไทล์

จากแนวคิดเกี่ยวกับการเคลื่อนที่และแรง การใช้คณิตศาสตร์ของกาลิเลโอดังกล่าว ได้กลายมา เป็นพื้นฐานที่สำคัญให้นิวตัน (Newton) นำไปใช้ในการพัฒนาความรู้ทางฟิสิกส์สาขา กลศาสตร์ เสนอเป็น กฎการเคลื่อนที่ของนิวตัน นอกจากนี้ นิวตันได้เสนอแนวคิดเกี่ยวกับแรงโน้มถ่วง เพื่ออธิบายเหตุผล

เกี่ยวกับการโคจรของโลกและดาวเคราะห์อื่น ๆ รอบดวงอาทิตย์ที่เป็นไปตามกฎของเคปเลอร์ ปัจจุบันถือว่าแรงโน้มถ่วง (gravitational force) เป็นหนึ่งในแรงพื้นฐานในธรรมชาติ

จากที่กล่าวข้างต้น เป็นตัวอย่างพัฒนาการของหลักการและแนวคิดทางฟิสิกส์สาขากลศาสตร์สำหรับสาขาอื่น ๆ ก็มีพัฒนาการเช่นกัน และการได้มาซึ่งความรู้ส่วนใหญ่สอดคล้องกับแนวทางที่ได้กล่าวในหัวข้อ 1.1.1 เช่นกัน ทั้งจากการสังเกต การทดลอง และเก็บรวบรวมข้อมูลมาวิเคราะห์เพื่อสรุปเป็นแนวคิด หลักการ หรือกฎ และจากแบบจำลองทางความคิดเพื่อสรุปเป็นทฤษฎีที่ใช้อธิบายปรากฏการณ์ธรรมชาติ รวมทั้งทำนายสิ่งที่จะเกิดขึ้น ในที่นี้จะกล่าวเป็นตัวอย่างพัฒนาการอีก 2 สาขา ดังต่อไปนี้

**ด้านความร้อน** หลังจากมีผู้ประดิษฐ์เทอร์โมมิเตอร์วัดอุณหภูมิแล้ว จึงมีการนำมาใช้หาความรู้ใหม่เกี่ยวกับด้านความร้อน รวมทั้งความพยายามที่จะพัฒนาเครื่องจักรความร้อนให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น ทำให้มีการศึกษาค้นคว้าเกี่ยวกับความร้อนและพฤติกรรมของแก๊สที่ได้รับ

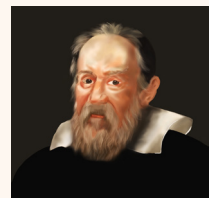
พลังงานความร้อนเพิ่มมากขึ้น เกิดการสร้างแนวคิดเกี่ยวกับความร้อนแฝงและความจุความร้อนเพื่อคำนวณหาปริมาณความร้อน รวมทั้งการทดลองเกี่ยวกับแก๊สในภาชนะปิด ซึ่งจากการค้นพบของนักฟิสิกส์ต่าง ๆ เช่น บอยล์ (Boyle) ชาร์ล (Charles) และเกย์-ลุสแซก (Gay-Lussac) ทำให้ได้กฎของแก๊สอุดมคติที่อธิบายความสัมพันธ์ระหว่างความดัน ปริมาตร อุณหภูมิ และจำนวนโมเลกุลของแก๊สอุดมคติได้ ส่วนความเชื่อในอดีตที่ว่า ความร้อนเป็นของไหล ได้มีการเปลี่ยนแปลงหลังจากการทดลองของทอมป์สัน (Benjamin Thompson) และสรุปได้ว่า ความร้อนเป็นพลังงาน พัฒนาไปสู่แนวคิดอุณหภูมิตามสมมติฐานที่เสนอโดยเคลวิน (Kelvin) และกฎอุณหพลศาสตร์ เป็นพื้นฐานนำไปอธิบายหลักการและแนวคิดต่าง ๆ ทางความร้อน เช่น ทฤษฎีจลน์ของแก๊ส พลังงานจลน์เฉลี่ยของโมเลกุลของแก๊ส

**ด้านไฟฟ้าและแม่เหล็ก** ในอดีตนั้น การศึกษาเรื่องไฟฟ้าและแม่เหล็กถือเป็นเรื่องที่ไม่เกี่ยวข้องกัน จนกระทั่ง โวลตา (Volta) สามารถประดิษฐ์แบตเตอรี่ใช้เป็นแหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสได้สำเร็จ ทำให้เออร์สเตด (Oersted) นำไปใช้ในการทดลองและค้นพบโดยบังเอิญว่า เข็มทิศเกิดการเบนไปจากเดิมขณะ



### ความรู้เพิ่มเติม

กาลิเลโอ กาลิเลอี  
(Galileo Galilei  
ค.ศ. 1564 - 1642  
หรือ พ.ศ. 2107  
- 2185) ชาวอิตาลี



รูป กาลิเลโอ กาลิเลอี

ผู้เสนอแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ที่ได้จากการสังเกต การทดลอง และการพิสูจน์ด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ส่งผลต่อการพัฒนาความรู้แขนงต่าง ๆ ทั้งทางด้านฟิสิกส์และดาราศาสตร์ เช่น การค้นพบว่าวัตถุที่ตกแบบเสรีจากระดับความสูงเดียวกันจะตกถึงพื้นพร้อมกันโดยไม่ขึ้นกับมวลของวัตถุ หรือการประดิษฐ์กล้องโทรทรรศน์เพื่อส่องดูวัตถุบนท้องฟ้า พบดวงจันทร์ของดาวพฤหัสบดีจำนวน 4 ดวง นำมาสู่แนวคิดที่ว่าโลกไม่ใช่ศูนย์กลางของจักรวาล แต่โลกและดาวเคราะห์อื่น ๆ ต่างโคจรรอบดวงอาทิตย์

อยู่ใกล้เส้นลวดที่มีกระแสไฟฟ้า เป็นการพบวิธีใช้กระแสไฟฟ้าทำให้เกิดสนามแม่เหล็ก ชักนำให้ฟาราเดย์ (Faraday) เกิดความคิดหาวิธีทดลองการใช้สนามแม่เหล็กทำให้เกิดกระแสไฟฟ้า สร้างความรู้ใหม่เกี่ยวกับการเกิดอีเอ็มเอฟเหนี่ยวนำจากการทำให้ฟลักซ์แม่เหล็กเปลี่ยนแปลงผ่านขดลวด ซึ่งต่อมาความรู้นี้ได้รับการยอมรับให้เป็นกฎ เรียกว่า กฎการเหนี่ยวนำของฟาราเดย์ นอกจากนี้ ยังได้มีการทดลองอีกมากมายที่ยืนยันความสัมพันธ์ระหว่างไฟฟ้าและแม่เหล็ก เกิดความรู้เกี่ยวกับไฟฟ้าและแม่เหล็กเพิ่มมากขึ้นเป็นพื้นฐานให้แมกซ์เวลล์ได้นำมาใช้ในการสร้างสมการของแมกซ์เวลล์ที่อธิบายการเกิดสนามแม่เหล็กและสนามไฟฟ้ารวมทั้งความสัมพันธ์ระหว่างสนามแม่เหล็กและสนามไฟฟ้า ซึ่งใช้ในการแสดงในเชิงทฤษฎีว่าแสงเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ถือว่าเป็นการรวมกันของความรู้เกี่ยวกับไฟฟ้า แม่เหล็ก และแสง นำไปสู่แนวคิดเกี่ยวกับแรงพื้นฐานในธรรมชาติอีกหนึ่งแรง คือ **แรงแม่เหล็กไฟฟ้า (electromagnetic force)**

ปัจจุบัน นักฟิสิกส์ได้พัฒนาความรู้โดยต่อยอดจากความรู้เดิมไปไกลมากจนยากที่จะจินตนาการได้ เช่น การคิดค้นสมการเพื่ออธิบายการเคลื่อนที่ของวัตถุที่มีความเร็วมาก ๆ ใกล้เคียงความเร็วแสง ซึ่งจะทำให้วัตถุนั้นมีขนาดที่แตกต่างจากในขณะอยู่นิ่งหรือเคลื่อนที่ด้วยความเร็วค่อย ๆ การสร้างเครื่องเร่งอนุภาคพลังงานสูงเพื่อศึกษาผลที่เกิดจากการชนกันของอนุภาคและหาคำตอบว่า ภายในอนุภาคมีส่วนประกอบของอะไบบ้าง เป็นที่มาของการค้นพบว่าภายในโปรตอนและนิวตรอนประกอบด้วยอนุภาคมูลฐานคือ ควาร์ก และยังมี การค้นพบอนุภาคมูลฐานอื่น ๆ อีก เช่น มิวออน นิวตริโน และฮิกส์โบซอน รวมทั้งค้นพบคลื่นความโน้มถ่วง นอกจากนี้ ยังมี การพัฒนาทฤษฎีเกี่ยวกับอันตรกิริยาระหว่างอนุภาคจนพบว่า มีแรงพื้นฐานในธรรมชาติที่ใช้อธิบายการรวมหรือการสลายของอนุภาคในนิวเคลียสอีก 2 แรง ได้แก่ **แรงเข้ม (strong force)** และ **แรงอ่อน (weak force)**

การค้นพบและการพัฒนาความรู้ใหม่ ๆ ดังที่ได้กล่าวมาข้างต้นมีผลต่อการแสวงหาความรู้ใหม่ ๆ เพื่อตอบคำถามที่ในอดีตและปัจจุบันยังไม่สามารถให้คำตอบได้ การพัฒนาการทางฟิสิกส์มีผลต่อการแสวงหาความรู้ใหม่และการพัฒนาทางเทคโนโลยีอย่างไร จะได้กล่าวในหัวข้อต่อไป

### 1.1.3. ผลของพัฒนาการทางฟิสิกส์ที่มีต่อการแสวงหาความรู้ใหม่และการพัฒนาเทคโนโลยี

พัฒนาการทางฟิสิกส์ นอกจากมีผลต่อการแสวงหาความรู้ใหม่ทางฟิสิกส์ ยังมีผลต่อการแสวงหาความรู้ใหม่ทางวิทยาศาสตร์สาขาอื่น ๆ และการพัฒนาเทคโนโลยี ดังตัวอย่างต่อไปนี้

**เคมี** ส่วนหนึ่งของความรู้เคมีเกี่ยวกับโครงสร้างอะตอม พันธะเคมี อาศัยพื้นฐานจากฟิสิกส์อะตอมและฟิสิกส์นิวเคลียร์ นอกจากนี้เทคนิคและเครื่องมือต่าง ๆ ที่พัฒนาความรู้ทางฟิสิกส์ยังนำมาใช้ศึกษาทางเคมีด้วย เช่น การใช้รังสีเอกซ์หาเลขอะตอมของธาตุ การใช้แมสสเปกโตรกราฟหาไอโซโทปของธาตุ การใช้สเปกโตรมิเตอร์วิเคราะห์ธาตุ รวมทั้งใช้ความรู้ทางฟิสิกส์สร้างเครื่องวัดความนำไฟฟ้าของสารละลาย เครื่องวัดความเป็นกรด-เบส เป็นต้น

**ชีววิทยา** ส่วนหนึ่งของความรู้ชีววิทยา อาศัยความรู้ฟิสิกส์ในการศึกษา เช่น ปรากฏการณ์การเคลื่อนย้ายประจุในระดับเซลล์ การถ่ายโอนพลังงาน การลำเลียงน้ำในต้นไม้ การสังเคราะห์ด้วยแสงในส่วนของเครื่องมือมีการใช้ความรู้ทางฟิสิกส์สร้างเครื่องมือต่าง ๆ เพื่อใช้ศึกษาในทางชีววิทยา เช่น



กล้องจุลทรรศน์ ทั้งกรณีกล้องจุลทรรศน์แสง และกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน เครื่องควบคุมแสงสว่าง เครื่องควบคุมอุณหภูมิ เป็นต้น

**เทคโนโลยีด้านพลังงาน** เริ่มจากใช้ความรู้ฟิสิกส์สาขากลศาสตร์และความร้อน ปรับปรุงประสิทธิภาพของเครื่องจักรไอน้ำ พัฒนาการสู่การประดิษฐ์เครื่องจักรสันดาปภายใน พัฒนาต่อมาเป็นเครื่องยนต์แก๊สโซลีน เครื่องยนต์ดีเซล เครื่องจักรกังหันไอน้ำ พื้นฐานการใช้ความรู้ฟิสิกส์สาขาไฟฟ้าและแม่เหล็ก นำไปสู่การประดิษฐ์เครื่องกำเนิดไฟฟ้า รวมทั้งสิ่งต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการผลิตหรือการใช้พลังงานไฟฟ้าในลักษณะต่าง ๆ ตามมามากมาย การใช้ความรู้ฟิสิกส์เป็นพื้นฐานในการสร้างอุปกรณ์สำหรับเปลี่ยนพลังงานต่าง ๆ อย่างที่ปรากฏในปัจจุบัน เช่น กังหันน้ำและกังหันลมที่มีประสิทธิภาพสูงขึ้น เซลล์เชื้อเพลิง เซลล์สุริยะ และเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์ เป็นต้น

**เทคโนโลยีด้านสื่อสารโทรคมนาคม** มีการพัฒนาเพิ่มขึ้นเป็นลำดับโดยเริ่มจากการใช้ความรู้ฟิสิกส์สาขาไฟฟ้าแม่เหล็กประดิษฐ์อุปกรณ์สื่อสารระบบโทรเลข ใช้รับส่งข่าวสารในรูปของสัญญาณไฟฟ้าผ่านเส้นลวด ต่อมาพัฒนาเป็นโทรศัพท์ซึ่งมีพื้นฐานมาจากความรู้ฟิสิกส์เกี่ยวกับการเกิดเสียงและการเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้าทำให้เกิดการส่งสัญญาณเสียงไปตามสายโทรศัพท์ หลังจากมีการสร้างอุปกรณ์ส่งและรับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าได้สำเร็จ จึงได้มีการประดิษฐ์และพัฒนาเครื่องมือสื่อสารในรูปคลื่นวิทยุ ทำให้เกิดการค้นพบความรู้ใหม่ทางฟิสิกส์เพิ่มขึ้นจนแยกได้เป็นอีกสาขาหนึ่งได้แก่ อิเล็กทรอนิกส์ ความรู้จากฟิสิกส์สาขานี้ ได้ใช้เป็นพื้นฐานในการประดิษฐ์ชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์หลายชนิด เช่น หลอดสุญญากาศ สารกึ่งตัวนำ ทรานซิสเตอร์ ไอซี ไมโครโปรเซสเซอร์ ซึ่งนำไปใช้ในการสร้างอุปกรณ์สื่อสารที่สามารถส่งสัญญาณเสียงและภาพไปพร้อมกับสัญญาณคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า เช่น โทรศัพท์ไร้สาย โทรทัศน์ นอกจากนี้ความรู้ทางอิเล็กทรอนิกส์ยังนำไปใช้ในการสร้างและพัฒนาเครื่องวัดและเครื่องควบคุมต่าง ๆ รวมทั้งคอมพิวเตอร์และหุ่นยนต์

จากตัวอย่างดังที่ได้กล่าวมาจะเห็นได้ว่า พัฒนาการของหลักการและแนวคิดทางฟิสิกส์มีผลต่อการแสวงหาความรู้ใหม่และการพัฒนาเทคโนโลยี และจากการศึกษาในหัวข้อ 1.1.2 เราได้ทราบแล้วว่า พัฒนาการของหลักการและแนวคิดฟิสิกส์เกี่ยวข้องกับการทดลอง รวมทั้งกระบวนการวัดด้วยเครื่องมือหรือเครื่องวัดต่าง ๆ ซึ่งในปัจจุบันมีความก้าวหน้าถึงระดับนาฬิกาคอมพิวเตอร์มาใช้ประกอบกับเครื่องวัดและเครื่องควบคุมต่าง ๆ ในการค้นคว้าหาความรู้ทางฟิสิกส์ นั่นคือ ฟิสิกส์ยังมีการพัฒนาต่อไปควบคู่กับความก้าวหน้าทางเทคโนโลยี



### ชวนคิด

ในปัจจุบัน นักฟิสิกส์เชื่อว่า แรงพื้นฐานในธรรมชาติ เป็นแรงที่ใช้ในการอธิบายปรากฏการณ์ต่าง ๆ ทางธรรมชาติได้ มีทั้งหมดกี่แรง ประกอบด้วยแรงอะไรบ้าง



### คำถามตรวจสอบความเข้าใจ 1.1

1. มนุษย์พัฒนาความรู้ของตนเองด้วยวิธีการใดเพื่อให้สามารถอธิบายปรากฏการณ์ธรรมชาติได้
2. เราสามารถนำความรู้ทางฟิสิกส์ไปประยุกต์ใช้ในชีวิตประจำวันอย่างไรบ้าง
3. ความรู้ทางฟิสิกส์ก่อให้เกิดการพัฒนาทางเทคโนโลยีด้านใดบ้าง

### 1.2 การวัดและการบันทึกผลการวัดปริมาณทางฟิสิกส์

ปริมาณทางฟิสิกส์เป็นปริมาณที่สามารถวัดได้ด้วยเครื่องมือโดยตรงหรือโดยอ้อม เป็นปริมาณที่มีความหมายเฉพาะเจาะจงอย่างใดอย่างหนึ่ง เช่น ปริมาตร มวล น้ำหนัก แรง ความเร็ว ความดัน กระแสไฟฟ้า ความต่างศักย์ อุณหภูมิ เป็นต้น ปริมาณเหล่านี้นอกจากจะมีการระบุตัวเลขเพื่อบอกปริมาณแล้วยังจำเป็นที่จะต้องบอกหน่วยกำกับจึงจะมีความหมายชัดเจน เช่น ปริมาตร นอกจากจะระบุในหน่วยลูกบาศก์เซนติเมตร ลูกบาศก์เมตร หรือลูกบาศก์ฟุต ยังสามารถใช้หน่วย ลิตร ถัง หรือแกลลอน อีกด้วย เพื่อให้การใช้หน่วยเป็นมาตรฐานเดียวกันทั่วโลกโดยเฉพาะในวงการวิทยาศาสตร์ องค์การระหว่างประเทศว่าด้วยการมาตรฐาน (ISO หรือ International Organization for Standardization) จึงได้กำหนดระบบหน่วยมาตรฐานที่เรียกว่า ระบบหน่วยระหว่างชาติ (The International System of Units) หรือระบบเอสไอ (SI) ให้ทุกประเทศใช้เป็นมาตรฐาน



#### ความรู้เพิ่มเติม

SI เป็นตัวย่อของ Le Système international d'unités ซึ่งเป็นภาษาฝรั่งเศส



### 1.2.1 ระบบหน่วยระหว่างชาติ

ระบบเอสไอประกอบด้วยหน่วยฐาน (base units) และหน่วยอนุพัทธ์ (derived units) ดังรายละเอียดต่อไปนี้

#### หน่วยฐาน

หน่วยฐานเป็นหน่วยหลักของระบบเอสไอ มีทั้งหมด 7 หน่วย ดังตาราง 1.1

ตาราง 1.1 ชื่อและสัญลักษณ์ของหน่วยฐาน

ปริมาณฐาน (base quantities)	ชื่อหน่วย (units)	สัญลักษณ์ (symbol)
length ความยาว	meter เมตร	m
mass มวล	kilogram กิโลกรัม	kg
time เวลา	second วินาที	s
electric current กระแสไฟฟ้า	ampere แอมแปร์	A
thermodynamic temperature อุณหภูมิอุณหพลวัต	kelvin เคลวิน	K
amount of substance ปริมาณของสาร	mole โมล	mol
luminous intensity ความเข้มของการส่องสว่าง	candela แคนเดลา	cd

### หน่วยอนุพัทธ์

หน่วยอนุพัทธ์เป็นหน่วยที่ประกอบด้วยหน่วยฐานได้จากหน่วยของปริมาณที่นำมาคำนวณทางฟิสิกส์ เช่น แรงคือผลคูณของมวล (kg) กับความเร่ง ( $m/s^2$ ) หน่วยจึงมีหน่วยเป็นกิโลกรัม เมตรต่อวินาที<sup>2</sup> หรือ  $kg\ m/s^2$  ให้ชื่อว่า นิวตัน (newton, N) ซึ่งเป็นชื่อที่ให้เกียรติกับเซอร์ ไอแซก นิวตัน สังเกตว่าเมื่อนำชื่อนักวิทยาศาสตร์มาเป็นหน่วย การเขียนชื่อหน่วยในภาษาอังกฤษใช้ด้วยตัวพิมพ์เล็กทั้งหมด แต่สัญลักษณ์ย่อของหน่วยใช้ตัวพิมพ์ใหญ่ คือ N สำหรับหน่วยของพลังงานให้ใช้หน่วยชื่อ จูล (joule, J) ซึ่งเป็นชื่อนักวิทยาศาสตร์เช่นกัน หน่วยจูลเทียบเท่ากับ นิวตัน เมตร (N m) ซึ่งประกอบด้วยหน่วยฐาน คือ กิโลกรัม เมตร<sup>2</sup> ต่อวินาที<sup>2</sup> หรือ  $kg\ m^2 /s^2$

นอกจากนี้ ระบบเอสไอยังได้กำหนดคำนำหน้าหน่วย (prefix) เพื่อให้หน่วยที่ใช้เล็กลงหรือใหญ่ขึ้น มีผลให้เขียนปริมาณที่มีค่ามาก ๆ หรือค่าน้อย ๆ ได้กะทัดรัด เกิดความสะดวกและรวดเร็ว คำนำหน้าหน่วยที่ถูกใช้บ่อยแสดงดังตาราง 1.2

ตาราง 1.2 คำนำหน้าหน่วย

คำนำหน้าหน่วย	ชื่อภาษาไทย	สัญลักษณ์ย่อ	ตัวคูณที่เทียบเท่า
pico-	พิโก	p	$10^{-12}$
nano-	นาโน	n	$10^{-9}$
micro-	ไมโคร	$\mu$	$10^{-6}$
milli-	มิลลิ	m	$10^{-3}$
centi-	เซนติ	c	$10^{-2}$
deci-	เดซิ	d	$10^{-1}$
kilo-	กิโล	k	$10^3$
mega-	เมกะ	M	$10^6$
giga-	จิกะ	G	$10^9$
tera-	เทระ	T	$10^{12}$

ตัวอย่างการใช้คำนำหน้าหน่วยกับหน่วย เช่น ความยาวคลื่นของแสง เท่ากับ  $0.000000620$  เมตร หรือ  $620 \times 10^{-9}$  เมตร เขียนใหม่ได้สั้น ๆ เป็น  $620$  นาโนเมตร (nanometer, nm) ระยะทางที่รถยนต์เคลื่อนที่บนถนน เท่ากับ  $94000$  เมตร หรือ  $94 \times 10^3$  เมตร เขียนใหม่เป็น  $94$  กิโลเมตร (kilometer, km) เป็นต้น

รายละเอียดเพิ่มเติมสำหรับหน่วยในระบบเอสไอและหน่วยอื่นปรากฏอยู่ในภาคผนวก ข

**ตัวอย่าง 1.1** จงแปลงหน่วยของปริมาณต่อไปนี้

- ก. รัศมีของนิวเคลียสของทองคำมีค่าประมาณ  $7.0 \times 10^{-15}$  เมตร (m) ให้เป็นนาโนเมตร (nm)  
 ข. กำลังการผลิตของโรงไฟฟ้าขนาด  $5.4 \times 10^8$  วัตต์ (W) ให้เป็นเมกะวัตต์ (MW)  
 ค. พื้นที่ผิวทรงกลมขนาด  $1.75 \times 10^2$  ตารางมิลลิเมตร ( $\text{mm}^2$ ) ให้เป็นตารางเมตร ( $\text{m}^2$ )  
 ง. มวลของวัตถุขนาด 74000 มิลลิกรัม (mg) ให้เป็นกิโลกรัม (kg)

**ก. แนวคิด** แปลงหน่วยรัศมีของนิวเคลียสของทองคำจาก เมตร เป็น นาโนเมตร

$$\text{จาก } 1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m} \text{ ดังนั้น } 1 \text{ m} = 10^9 \text{ nm}$$

**วิธีทำ**                      รัศมีของนิวเคลียสของทองคำ =  $7.0 \times 10^{-15} \text{ m}$   
 $= 7.0 \times 10^{-15} \times 10^9 \text{ nm}$   
 $= 7.0 \times 10^{(-15+9)} \text{ nm}$   
 $= 7.0 \times 10^{-6} \text{ nm}$

**ตอบ**                      รัศมีของนิวเคลียสทองคำเท่ากับ  $7.0 \times 10^{-6}$  นาโนเมตร

**ข. แนวคิด** แปลงกำลังการผลิตของโรงไฟฟ้าจาก วัตต์ เป็น เมกะวัตต์

$$\text{จาก } 1 \text{ MW} = 10^6 \text{ W} \text{ ดังนั้น } 1 \text{ W} = 10^{-6} \text{ MW}$$

**วิธีทำ**                      กำลังการผลิตของโรงไฟฟ้า =  $5.4 \times 10^8 \text{ W}$   
 $= 5.4 \times 10^8 \times 10^{-6} \text{ MW}$   
 $= 5.4 \times 10^{(8-6)} \text{ MW}$   
 $= 5.4 \times 10^2 \text{ MW}$

**ตอบ**                      กำลังการผลิตของโรงไฟฟ้าเท่ากับ  $5.4 \times 10^2$  เมกะวัตต์ หรือ 540 เมกะวัตต์

**ค. แนวคิด** แปลงพื้นที่ผิวทรงกลมจาก ตารางมิลลิเมตร เป็น ตารางเมตร

$$\text{จาก } 1 \text{ mm} = 10^{-3} \text{ m} \text{ ดังนั้น } 1 \text{ mm}^2 = 10^{-6} \text{ m}^2$$

**วิธีทำ**                      พื้นที่ผิวทรงกลม =  $1.75 \times 10^2 \text{ mm}^2$   
 $= 1.75 \times 10^2 \times 10^{-6} \text{ m}^2$   
 $= 1.75 \times 10^{(2-6)} \text{ m}^2$   
 $= 1.75 \times 10^{-4} \text{ m}^2$

**ตอบ**                      พื้นที่ผิวทรงกลมเท่ากับ  $1.75 \times 10^{-4}$  ตารางเมตร



ง. **แนวคิด** แปลงมวลของวัตถุจาก มิลลิกรัม เป็น กิโลกรัม

มีคำนำหน้าหน่วยทั้งสองกรณี จึงต้องแปลงจากมิลลิกรัมให้เป็นกรัมก่อน

หลังจากนั้นจึงแปลงจากกรัมให้เป็นกิโลกรัม

จาก  $1 \text{ mg} = 10^{-3} \text{ g}$  และ  $1 \text{ kg} = 10^3 \text{ g}$

ดังนั้น  $1 \text{ g} = 10^{-3} \text{ kg}$

**วิธีทำ**

$$\begin{aligned} \text{มวลของวัตถุ} &= 74000 \text{ mg} \\ &= 7.4 \times 10^4 \text{ mg} \\ &= 7.4 \times 10^4 \times 10^{-3} \text{ g} \\ &= 7.4 \times 10^4 \times 10^{-3} \times 10^{-3} \text{ kg} \\ &= 7.4 \times 10^{(4-3-3)} \text{ kg} \\ &= 7.4 \times 10^{-2} \text{ kg} \end{aligned}$$

**ตอบ** มวลของวัตถุเท่ากับ  $7.4 \times 10^{-2}$  กิโลกรัม

### 1.2.2 สัญกรณ์วิทยาศาสตร์

ในบางครั้ง ปริมาณทางฟิสิกส์อาจมีค่ามากหรือน้อยกว่าหนึ่งมาก ๆ ปริมาณที่มีตัวเลขหลายตัว จะเกิดความยุ่งยากในการนำไปใช้งาน จึงนิยมเขียนตัวเลขในรูปการคูณของเลขยกกำลังที่มีฐานเป็นสิบและเลขชี้กำลังเป็นจำนวนเต็ม มีรูปทั่วไปคือ  $A \times 10^n$  เมื่อ  $1 \leq A < 10$  และ  $n$  เป็นจำนวนเต็ม การเขียนปริมาณแบบนี้เรียกว่า **สัญกรณ์วิทยาศาสตร์ (scientific notation)** เช่น อัตราเร็วแสงมีค่าประมาณ 300000000 เมตรต่อวินาที เขียนได้เป็น  $3.00 \times 10^8$  เมตรต่อวินาที รัศมีอะตอมของไฮโดรเจน เท่ากับ 0.00000000053 เมตร เขียนได้เป็น  $5.3 \times 10^{-11}$  เมตร

**ตัวอย่าง 1.2** เขียนปริมาณต่อไปนี้ 14000 เมตร และ 0.0047 กิโลกรัม ในรูปสัญกรณ์วิทยาศาสตร์

**แนวคิด** สัญกรณ์วิทยาศาสตร์เป็นการเขียนจำนวนให้อยู่ในรูปของจำนวนเต็มหนึ่งตำแหน่งตามด้วยเลขทศนิยม แล้วคูณด้วยเลขสิบยกกำลังบวกหรือลบ

**วิธีทำ**

เนื่องจาก  $14000 \text{ m} = 1.4 \times 10000 \text{ m}$   
 ดังนั้น  $14000 \text{ m} = 1.4 \times 10^4 \text{ m}$   
 และ  $0.0047 \text{ kg} = 4.7 \times 0.001 \text{ kg}$   
 ดังนั้น  $0.0047 \text{ kg} = 4.7 \times 10^{-3} \text{ kg}$

**ตอบ** 14000 เมตร เท่ากับ  $1.4 \times 10^4$  เมตร และ 0.0047 กิโลกรัม เท่ากับ  $4.7 \times 10^{-3}$  กิโลกรัม

### 1.2.3 ความไม่แน่นอนในการวัด

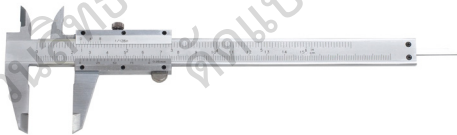
การวัดปริมาณต่าง ๆ ด้วยเครื่องมือวัดย่อมมีความแม่นยำอยู่ในช่วงจำกัด เพราะไม่มีเครื่องมือวัดใดที่สามารถวัดได้ละเอียดทุกช่วง เช่น หากเราใช้ไม้บรรทัดเพื่อวัดความยาวของดินสอ ก็นับว่ามีความเหมาะสมโดยมีความละเอียดหรือความแม่นยำในระดับมิลลิเมตร แต่หากจะใช้ไม้บรรทัดเพื่อวัดขนาดของเส้นผม ก็นับว่าไม่เหมาะสมอย่างยิ่ง เนื่องจากเส้นผมมีขนาดเล็กกว่าความละเอียดสุดที่อ่านได้จากไม้บรรทัด ในกรณีนี้การใช้ไมโครมิเตอร์ซึ่งสามารถวัดได้ละเอียดถึงระดับ 0.01 มิลลิเมตร จะเหมาะสมกว่า นอกจากนี้ หากเราต้องการวัดความยาวของดินสอให้มีความละเอียดที่เล็กกว่ามิลลิเมตร ก็อาจใช้เวอร์เนียสแคลิเปอร์ซึ่งสามารถวัดได้ละเอียดถึงระดับ 0.1 มิลลิเมตร แทนไม้บรรทัด



ก. ตลับเมตร



ข. ไม้บรรทัดและไม้เมตร



ค. เวอร์เนียสแคลิเปอร์



ง. ไมโครมิเตอร์

รูป 1.2 เครื่องมือวัดความยาวแบบต่าง ๆ

ดังนั้น ในการวัดแต่ละครั้งควรเลือกใช้เครื่องมือวัดให้เหมาะสมกับสิ่งที่ต้องการวัดเพื่อให้ค่าที่ได้จากการวัดมีความคลาดเคลื่อนจากค่าจริงน้อยที่สุด โดยจะขึ้นอยู่กับเครื่องมือวัดและวิธีการที่ใช้วัด รวมทั้งขึ้นอยู่กับความสามารถและประสบการณ์ของผู้วัดด้วย

ในการวัดจะต้องมีการบันทึกผลของการวัด ซึ่งจะต้องบันทึกผลตามความละเอียดของเครื่องมือวัดพร้อมแสดงความไม่แน่นอนในการวัด จะได้ศึกษาในหัวข้อ 1.2.4 และ 1.3.1

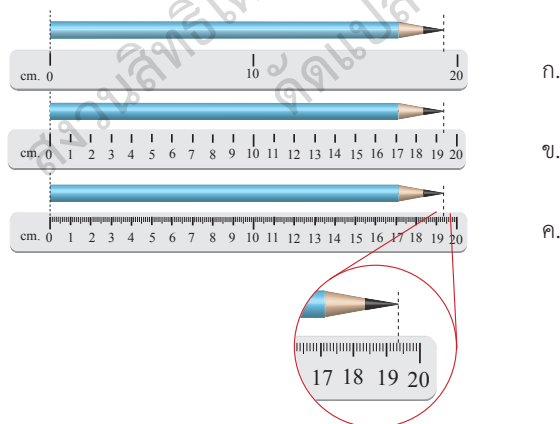
### 1.2.4 เลขนัยสำคัญ

**เลขนัยสำคัญ (significant figures)** คือตัวเลขที่ได้จากการวัด จำนวนเลขนัยสำคัญขึ้นอยู่กับความละเอียดของเครื่องมือวัดที่ใช้ เลขนัยสำคัญมีความสำคัญต่อปริมาณที่จะต้องนำมาคำนวณ เช่น วัดมวลแห่งโลหะแท่งหนึ่งได้ 0.012 กิโลกรัม ถือว่ามีเลขนัยสำคัญ 2 ตัว ซึ่งเท่ากับ 12 กรัม แต่ถ้าเขียน 0.0120 กิโลกรัม จะมีเลขนัยสำคัญถึง 3 ตัว เหมือนกับ 12.0 กรัม การเขียน 12 กรัม และ 12.0 กรัม จึงมีความหมายต่างกัน การเขียน 12.0 กรัม มักหมายถึงค่ามวลที่วัดได้ผิดพลาดได้ไม่เกิน 0.05 กรัม แต่การเขียน 12 กรัม อาจจะทำให้เกิดความผิดพลาดจากการวัดได้ถึง 0.5 กรัม

### หลักการนับจำนวนเลขนัยสำคัญ

- ตัวเลข 1-9 ให้นับทุกตัว เช่น 2156 มีจำนวนเลขนัยสำคัญ 4 ตัว 32.8672 มีจำนวนเลขนัยสำคัญ 6 ตัว
- เลข 0 มีวิธีการนับดังนี้
  - เลข 0 ที่อยู่หน้าตัวเลขอื่นไม่นับ เช่น 0.0003 มีจำนวนเลขนัยสำคัญ 1 ตัว 0.0047 มีจำนวนเลขนัยสำคัญ 2 ตัว
  - เลข 0 ที่อยู่ระหว่างตัวเลขอื่นให้นับทุกตัว เช่น 1003 มีจำนวนเลขนัยสำคัญ 4 ตัว 0.40807 มีจำนวนเลขนัยสำคัญ 5 ตัว
  - เลข 0 ที่อยู่หลังตัวเลขอื่นและที่เป็นเลขทศนิยมให้นับทุกตัว เช่น 0.000300 มีจำนวนเลขนัยสำคัญ 3 ตัว 14000.0 มีจำนวนเลขนัยสำคัญ 6 ตัว
  - เลข 0 ที่อยู่หลังตัวเลขอื่นที่เป็นจำนวนเต็ม อาจจะนับหรือไม่นับขึ้นกับความละเอียดของเครื่องวัด ดังนั้นจึงควรเขียนแบบสัญกรณ์วิทยาศาสตร์ เช่น ตัวเลข 14000 ถ้าต้องการเลขนัยสำคัญ 3 ตัว ให้เขียนเป็น  $1.40 \times 10^4$  แต่ถ้าต้องการเลขนัยสำคัญ 2 ตัว ให้เขียนเป็น  $1.4 \times 10^4$
- ค่าคงตัวทั้งหลาย เช่น  $\pi$  และเลข 2 ใน  $2\pi R$  ไม่นับเป็นเลขนัยสำคัญ

ในการบันทึกข้อมูลจากการวัดด้วยจำนวนเลขนัยสำคัญที่เหมาะสมจะพิจารณาจากความละเอียดของสเกลเครื่องมือวัดโดยจะต้องแสดงค่าที่ได้จากการประมาณตามสเกลละเอียดสุดเพิ่มอีกหนึ่งตำแหน่งโดยการแบ่งสเกลละเอียดสุดออกเป็น 10 ส่วน แต่ในกรณีที่ไม่สามารถประมาณด้วยสายตาได้เนื่องจากสเกลละเอียดสุดมีขนาดเล็กให้ประมาณเป็นครึ่งหนึ่งหรือ 5 ใน 10 ส่วนของสเกลละเอียดสุด เช่น การบันทึกข้อมูลจากการวัดความยาวของดินสอโดยใช้ไม้บรรทัดที่มีความละเอียดแตกต่างกัน ดังรูป



รูป 1.3 การวัดความยาวของดินสอ

จากรูป ในกรณี 1.3 ก. ไม้บรรทัดมีการแบ่งช่องสเกลที่ความละเอียด 10 เซนติเมตร ค่าที่อ่านได้จากสเกลของเครื่องมือ คือ 10 เซนติเมตร และส่วนที่เกินประมาณค่าได้ 9 ใน 10 ส่วนของสเกลละเอียดสุด จึงได้ค่าจากการประมาณ 9 เซนติเมตร ดังนั้น จะอ่านค่าความยาวของดินสอได้ประมาณ 19 เซนติเมตร

ในกรณี 1.3 ข. ไม้บรรทัดมีการแบ่งช่องสเกลที่ความละเอียด 1 เซนติเมตร ค่าที่ได้จากการวัดตามสเกลของเครื่องมือ คือ 19 เซนติเมตร และส่วนที่เกินประมาณค่าได้ 4 ใน 10 ส่วนของสเกลละเอียดสุด จึงได้ค่าจากการประมาณ 0.4 เซนติเมตร ดังนั้น จะอ่านค่าความยาวของดินสอได้ประมาณ 19.4 เซนติเมตร

ในกรณี 1.3 ค. ไม้บรรทัดมีการแบ่งช่องสเกลที่ความละเอียด 0.1 เซนติเมตร ค่าที่ได้จากการวัดตามสเกลของเครื่องมือ คือ 19.3 เซนติเมตร เนื่องจากสเกลละเอียดสุดมีขนาดเล็กยากต่อการประมาณค่าด้วยสายตา จึงใช้การประมาณค่าเป็นครึ่งหนึ่งหรือ 5 ใน 10 ส่วนของสเกลละเอียดสุด จึงได้ค่าจากการประมาณ 0.05 เซนติเมตร ดังนั้น จะอ่านค่าความยาวของดินสอได้ประมาณ 19.35 เซนติเมตร

ถ้าปลายดินสออยู่ตรงขีดสเกล 20 เซนติเมตรพอดี ความยาวของดินสอที่วัดได้จากไม้บรรทัดตามความละเอียดของเครื่องมือวัดดังรูป 1.3 ก. ข. และ ค. จะได้เป็น 20 เซนติเมตร 20.0 เซนติเมตร และ 20.00 เซนติเมตร ตามลำดับ



### ชวนคิด

ความละเอียดของเครื่องมือวัดมีความสัมพันธ์กับจำนวนเลขนัยสำคัญหรือไม่ อย่างไร

### 1.2.5 การบันทึกผลการคำนวณ

ในการศึกษาค้นคว้าทางวิทยาศาสตร์ เราไม่เพียงแต่ใช้ข้อมูลที่วัดได้โดยตรงเท่านั้น เรายังมีการนำข้อมูลที่ได้อ่านมาคำนวณเพื่อใช้ประโยชน์อื่นต่อไปอีก การนำเอาจำนวนที่มีตัวเลขนัยสำคัญต่างกันได้จากเครื่องมือวัดที่มีความละเอียดต่างกันมาบวก ลบ คูณ และหารกันจะทำให้ได้ผลลัพธ์ที่ได้มีตัวเลขนัยสำคัญและความละเอียดมากขึ้นไป ดังนั้นการบันทึกผลการคำนวณจำเป็นที่จะต้องพิจารณาจากตัวเลขนัยสำคัญและความละเอียดให้เหมาะสม

ในกรณีการนำเอาจำนวนมาบวกหรือลบกันจะพิจารณาจากตำแหน่งทศนิยมของจำนวนดังกล่าว โดยบันทึกผลให้มีตำแหน่งทศนิยมเท่ากับจำนวนที่มีตำแหน่งทศนิยมน้อยที่สุดเป็นหลัก เช่น ในการชั่งมวลของภาชนะใบหนึ่งด้วยเครื่องชั่งเครื่องหนึ่งอ่านค่าได้ 75.25 กรัม เมื่อใส่ทรายลงไปจำนวนหนึ่งแล้วนำไปชั่งด้วยเครื่องชั่งที่มีความละเอียดน้อยกว่าอ่านค่าได้ 250.4 กรัม เมื่อนำมาลบกัน จะได้ปริมาณทรายที่เติมลงไปเท่ากับ  $250.4 \text{ กรัม} - 75.25 \text{ กรัม} = 175.15 \text{ กรัม}$  ถ้าบันทึกว่าทรายมีมวล 175.15 กรัม จะเป็นการบันทึกที่ละเอียดเกินไป เนื่องจากในกรณีนี้ จำนวนที่นำมาลบกันมีตำแหน่งทศนิยมน้อยที่สุดเพียงตำแหน่งเดียว ผลลัพธ์ที่เหมาะสมควรมีทศนิยมตำแหน่งเดียวด้วย ดังนั้น ในกรณีนี้จึงบันทึกมวลของทรายที่เติมลงไปเป็น 175.2 กรัม

ในกรณีการนำเอาจำนวนมาคูณหรือหารกันจะพิจารณาจากจำนวนเลขนัยสำคัญของจำนวนดังกล่าว โดยบันทึกผลให้มีจำนวนเลขนัยสำคัญเท่ากับจำนวนที่มีจำนวนเลขนัยสำคัญที่น้อยที่สุดเป็นหลัก เช่น ทองเหลืองแท่งหนึ่งมวล 26.5 กรัม มีปริมาตร 3.0 ลูกบาศก์เซนติเมตร ซึ่งหาความหนาแน่นของทองเหลืองได้จากมวลหารด้วยปริมาตร นั่นคือ  $26.5 \text{ กรัม} \div 3.0 \text{ ลูกบาศก์เซนติเมตร} = 8.833 \text{ กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร}$  จะเห็นได้ว่าการคูณหรือหาร อาจจะทำให้ได้ผลลัพธ์ที่มีจำนวนเลขนัยสำคัญมากขึ้น ในกรณีเช่นนี้ เราจะใช้การพิจารณาจำนวนเลขนัยสำคัญที่น้อยที่สุดเป็นหลัก โดย 26.5 มีตัวเลขเลขนัยสำคัญ 3 ตัว และ 3.0 มีตัวเลขนัยสำคัญ 2 ตัว ดังนั้น ผลลัพธ์ที่เหมาะสมจึงควรมีจำนวนเลขนัยสำคัญเพียง 2 ตัว นั่นคือ บันทึกความหนาแน่นของทองเหลืองเป็น 8.8 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร

ในบางครั้งการนำจำนวนมาคูณหรือหารกัน ถ้าได้ผลลัพธ์ที่มีจำนวนเลขนัยสำคัญที่มากเกินไป การบันทึกผลลัพธ์ด้วยจำนวนเลขนัยสำคัญที่เหมาะสมอาจบันทึกในรูปสัญกรณ์ทางวิทยาศาสตร์แทนได้ ดังตัวอย่าง

**ตัวอย่าง 1.5** แผ่นโลหะรูปวงกลม วัดเส้นผ่านศูนย์กลางได้ 50.0 เซนติเมตร จงหาพื้นที่ของแผ่นโลหะ

**แนวคิด** หาพื้นที่ของแผ่นโลหะได้จากพื้นที่วงกลมซึ่งมีค่าเท่ากับ  $\pi R^2$  โดยผลลัพธ์ที่ได้

จะต้องพิจารณาจำนวนเลขนัยสำคัญที่น้อยที่สุดเป็นหลักซึ่งในที่นี้ คือ จำนวนเลขนัยสำคัญของ  $R$

**วิธีทำ** จาก  $\text{พื้นที่วงกลม} = \pi R^2$

เมื่อ  $\pi = 3.1416$  และ รัศมี ( $R$ ) =  $\frac{\text{เส้นผ่านศูนย์กลาง}}{2}$

แทนค่า  $\text{พื้นที่ของแผ่นโลหะรูปวงกลม} = (3.1416) \left( \frac{50.0 \text{ cm}}{2} \right)^2$   
 $= 1963.5 \text{ cm}^2$

ในที่นี้  $\pi$  และ 2 เป็นค่าคงตัว ไม่นับเป็นเลขนัยสำคัญ ส่วนเส้นผ่านศูนย์กลางมีจำนวนเลขนัยสำคัญ 3 ตัว จำนวนเลขนัยสำคัญที่ได้จากการคูณให้พิจารณาจากตัวเลขที่มีจำนวนเลขนัยสำคัญน้อยที่สุด ดังนั้น ควรบันทึกพื้นที่ของแผ่นโลหะรูปวงกลมมีจำนวนเลขนัยสำคัญ 3 ตัว แต่เนื่องจากปริมาณที่คำนวณได้เท่ากับ 1963.5 ตารางเซนติเมตร เพื่อแสดงจำนวนเลขนัยสำคัญ 3 ตัว จึงบันทึกในรูปสัญกรณ์ทางวิทยาศาสตร์ ได้เป็น  $1.96 \times 10^3$  ตารางเซนติเมตร

**ตอบ** พื้นที่ของแผ่นโลหะรูปวงกลมเท่ากับ  $1.96 \times 10^3$  ตารางเซนติเมตร





### ชวนคิด

จำนวนเลขนัยสำคัญของปริมาณหนึ่งเปลี่ยนหรือไม่ เมื่อ

- ก. คูณปริมาณนั้นด้วยค่าคงตัว
- ข. เปลี่ยนหน่วยของปริมาณนั้น
- ค. ถอดรากที่สองของปริมาณนั้น



### คำถามตรวจสอบความเข้าใจ 1.2

1. จงระบุหน่วยของปริมาณต่อไปนี้ในระบบเอสไอ
  - ก. ความสูง      ข. พื้นที่      ค. ปริมาตร      ง. ความหนาแน่น      จ. พลังงาน
2. จงเขียนเวลา 18000 วินาที ให้อยู่ในรูปสัญกรณ์วิทยาศาสตร์
3. ถ้านักเรียนต้องการวัดความหนาของแผ่นอะลูมิเนียมฟอยล์ จะใช้เครื่องมืออะไรในการวัดจึงจะได้ค่าที่ละเอียดดีพอ
4. จงบอกว่าเครื่องมือวัดต่าง ๆ ที่ให้ผลการวัดดังนี้ มีช่องสเกลที่ความละเอียดเท่าใด
  - ก. 15.000 m      ข. 0.250 g      ค. 3.45 N      ง. 27.5°C
5. จำนวนต่อไปนี้ มีเลขนัยสำคัญกี่ตัว ได้แก่ตัวเลขอะไรบ้าง
  - ก. 1.879      ข. 2.1      ค. 0.00512      ง. 186000      จ. 0.100439
6. ถ้าวัดเส้นผ่านศูนย์กลางและส่วนสูงของวัตถุทรงกระบอกได้ผลเป็นจำนวนเลขนัยสำคัญ 4 ตัว และ 3 ตัว ตามลำดับ การรายงานผลการคำนวณหาปริมาตรของวัตถุทรงกระบอก จะมีจำนวนเลขนัยสำคัญกี่ตัว



### แบบฝึกหัด 1.2

- จงเปลี่ยนหน่วยของปริมาณต่อไปนี้
  - 0.567 เมตร ให้มีหน่วยเป็นกิโลเมตรและมิลลิเมตร
  - ลูกบาศก์เซนติเมตร ให้มีหน่วยเป็นลูกบาศก์เมตร
- จงเขียนปริมาณต่อไปนี้ โดยใช้คำนำหน้าหน่วย
  - มวล 46000 กรัม ให้มีหน่วย กิโลกรัม
  - กระแสไฟฟ้า 0.155 แอมแปร์ ให้มีหน่วย มิลลิแอมแปร์
  - เวลา 0.000014 วินาที ให้มีหน่วย ไมโครวินาที
  - ความยาว 0.000000025 เมตร ให้มีหน่วย นาโนเมตร
- เด็กคนหนึ่งวิ่งด้วยอัตราเร็ว 2.0 เมตรต่อวินาที คิดเป็นอัตราเร็วเท่าใด ในหน่วยกิโลเมตรต่อชั่วโมง
- จงเขียนปริมาณต่อไปนี้ในรูปสัญกรณ์วิทยาศาสตร์
  - ความยาวคลื่นเลเซอร์เท่ากับ 0.0000006328 เมตร
  - อุณหภูมิใจกลางดาวฤกษ์ดาวหนึ่งมีค่าที่สี่ล้านเคลวิน
- สถาบันวิจัยประชากรและสังคม มหาวิทยาลัยมหิดล พบว่าอายุคาดเฉลี่ยของคนไทยในปี 2560 เป็น 75.4 ปี ถ้าแสดงปริมาณนี้ในหน่วยเมกะวินาที และจิกะวินาที จะเขียนได้อย่างไร (กำหนดให้ 1 ปี เท่ากับ 365.25 วัน)

### 1.3 การทดลองทางฟิสิกส์

การทดลองทางฟิสิกส์ที่จะได้ทำในบทเรียนต่าง ๆ ต่อไป แม้จะไม่ใช่อะไรใหม่ แต่การได้ลงมือปฏิบัติ จะเป็นการฝึกฝนวิธีการทำการทดลองตามแนวทางซึ่งเป็นที่ยอมรับในวงการฟิสิกส์ การทำการทดลองถือเป็นส่วนสำคัญในการฝึกทักษะและคิดหาเหตุผลเชิงวิทยาศาสตร์

เป็นการยากที่จะวางกฎเกณฑ์แน่ชัดสำหรับการทดลองทุก ๆ เรื่อง เนื่องจากในการทดลองแต่ละเรื่อง อาจมีลักษณะเฉพาะที่แตกต่างกัน อย่างไรก็ตาม ในการทำการทดลองมักจะทำเพื่อตอบคำถาม หรือหาความรู้บางอย่าง ซึ่งก็คือจุดประสงค์ของการทดลอง การให้ได้มาซึ่งคำตอบ จึงต้องคิดวิธีการทดลองที่เหมาะสมและสอดคล้องกับอุปกรณ์ที่มี ทำการทดลองเพื่อให้ได้ข้อมูลต่าง ๆ จากนั้นวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อสรุปเป็นคำตอบ ซึ่งเป็นขั้นตอนที่จำเป็นสำหรับการทดลอง

คำตอบที่เราได้จะทำให้ผู้อื่นเชื่อถือหรือไม่ เราต้องสามารถแสดงทุกขั้นตอนของการทดลองได้เหมาะสม และสอดคล้องกับเรื่องเรื่องที่ศึกษา ดังนั้น จึงมีการเขียนรายงานการทดลอง โดยยึดหลักการที่ว่าต้องเขียนรายงานการทดลองให้ผู้อ่านเข้าใจได้ง่าย กะทัดรัด ครบถ้วน และข้อมูลมีความชัดเจน โดยทั่วไปนิยมใช้รูปหรือแผนภาพประกอบและมีการเสนอข้อมูลเป็นตารางเพื่อให้ดูง่าย นอกจากนี้ ควรแสดงการวิเคราะห์และ

การสรุปผลการทดลอง จากนั้นตามด้วยข้อวิจารณ์หรือความคิดเห็นของตนเองเพิ่มเติมไว้ ดังตัวอย่างการบันทึกผลการทดลองในภาคผนวก จ ท้ายเล่ม ซึ่งสิ่งต่าง ๆ ดังกล่าวข้างต้นเป็นสิ่งที่ทุกคนควรฝึกทำในทุกการทดลอง

### 1.3.1 การรายงานความคลาดเคลื่อน

การวัดปริมาณต่าง ๆ จะมีความคลาดเคลื่อนเสมอขึ้นอยู่กับเครื่องมือ วิธีการวัดประสิทธิภาพของผู้วัด รวมทั้งสภาพแวดล้อม ในการทดลองหนึ่ง ๆ เรามักจะมีการวัดซ้ำหรือทดลองซ้ำหลายครั้ง เพื่อลดความคลาดเคลื่อนจากการทดลอง ซึ่งค่าความคลาดเคลื่อนสามารถแสดงในรายงานผลทั้งในรูปแบบตัวเลขและกราฟ ในที่นี้จะพิจารณาเฉพาะความคลาดเคลื่อนในเชิงสถิติเท่านั้นและเขียนรายงานผลการทดลองในรูป ค่าเฉลี่ย  $\pm$  ค่าเคลื่อนของค่าเฉลี่ย หรือ  $\bar{x} \pm \Delta\bar{x}$  โดยค่าเฉลี่ย  $\bar{x}$  หาได้จาก

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_N}{N}$$

ส่วนค่าคลาดเคลื่อนของค่าเฉลี่ย  $\Delta\bar{x}$  มีหลายวิธี เช่น อาจหาได้จาก

$$\Delta\bar{x} = \frac{x_{\max} - x_{\min}}{2}$$

เมื่อ  $x_{\max}$  และ  $x_{\min}$  คือ ค่ามากที่สุดและค่าน้อยที่สุดที่วัดได้ ตามลำดับ

ทั้งนี้ การคำนวณดังกล่าวใช้ได้ในกรณีที่ค่าที่วัดได้ไม่แตกต่างกันมากนัก สำหรับในกรณีค่าที่วัดได้บางค่าแตกต่างจากส่วนใหญ่มาก ๆ จะไม่นำมาใช้ในการหาค่าเฉลี่ย อย่างไรก็ตาม ค่าดังกล่าวยังคงมีการบันทึกไว้ในรายงานเพื่อประกอบการพิจารณาหาสาเหตุที่ทำให้ได้ค่าที่แตกต่างออกไป ซึ่งในบางครั้งอาจนำไปสู่การค้นพบใหม่ ๆ ทางฟิสิกส์

**ตัวอย่าง 1.6** จงเขียนรายงานผลการวัดความยาวของวัตถุชิ้นหนึ่ง (ในหน่วยมิลลิเมตร) ซึ่งทำการวัด 6 ครั้ง และได้ผลดังนี้ 23.1 22.8 22.7 33.2 23.0 22.6

**แนวคิด** การรายงานผลการวัดความยาวของวัตถุจะต้องหาค่าเฉลี่ยของความยาวของวัตถุและค่าคลาดเคลื่อนของค่าเฉลี่ย โดยพิจารณาเฉพาะข้อมูลที่แตกต่างจากส่วนใหญ่มาก ๆ จึงไม่นำค่าความยาว 33.2 มาใช้ในการหาค่าเฉลี่ย

**วิธีทำ**

$$\begin{aligned} \text{ค่าเฉลี่ย } \bar{x} &= \frac{23.1 + 22.8 + 22.7 + 23.0 + 22.6}{5} \\ &= \frac{114.2}{5} \\ &= 22.84 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{ค่าคลาดเคลื่อนของค่าเฉลี่ย } \Delta \bar{x} &= \frac{x_{\max} - x_{\min}}{2} \\ &= \frac{23.1 - 22.6}{2} \\ &= 0.25\end{aligned}$$

ในระดับขั้นนี้ เราจะบันทึกค่าคลาดเคลื่อนของค่าเฉลี่ยด้วยจำนวนเลขนัยสำคัญ 1 ตัว เท่านั้น (ในกรณีนี้คือ 0.3) และบันทึกค่าเฉลี่ยที่คำนวณได้ให้มีจำนวนทศนิยมเท่ากับจำนวนทศนิยมของค่าคลาดเคลื่อนของค่าเฉลี่ย ดังนั้น เราจะรายงานผลการวัดความยาวของวัตถุนี้ เป็น  $22.8 \pm 0.3$  มิลลิเมตร

**ตอบ** ความยาวของวัตถุนี้เท่ากับ  $22.8 \pm 0.3$  มิลลิเมตร



### ความรู้เพิ่มเติม

ในการบันทึกค่าคลาดเคลื่อนของค่าเฉลี่ยด้วยตัวเลขนัยสำคัญ 1 ตัว หากพบว่าค่าคลาดเคลื่อนของค่าเฉลี่ยมีความละเอียดน้อยกว่าความละเอียดของค่าเฉลี่ย เช่น ถ้าชุดข้อมูลมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 22.84 มิลลิเมตร และมีค่าคลาดเคลื่อนของค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1 มิลลิเมตร การรายงานผลการวัดจึงจำเป็นต้องบันทึกค่าเฉลี่ยเป็น 23 มิลลิเมตร นั่นคือ จะรายงานผลเป็น  $23 \pm 1$  มิลลิเมตร



### ชวนคิด

จากการวัดมวลของก้อนหินซ้ำหลายครั้ง ทำให้ได้ค่าเฉลี่ยของมวลได้เป็น  $(75.5 \pm 0.1)$  กรัม ความคลาดเคลื่อนของค่าเฉลี่ยคิดเป็นร้อยละเท่าใด

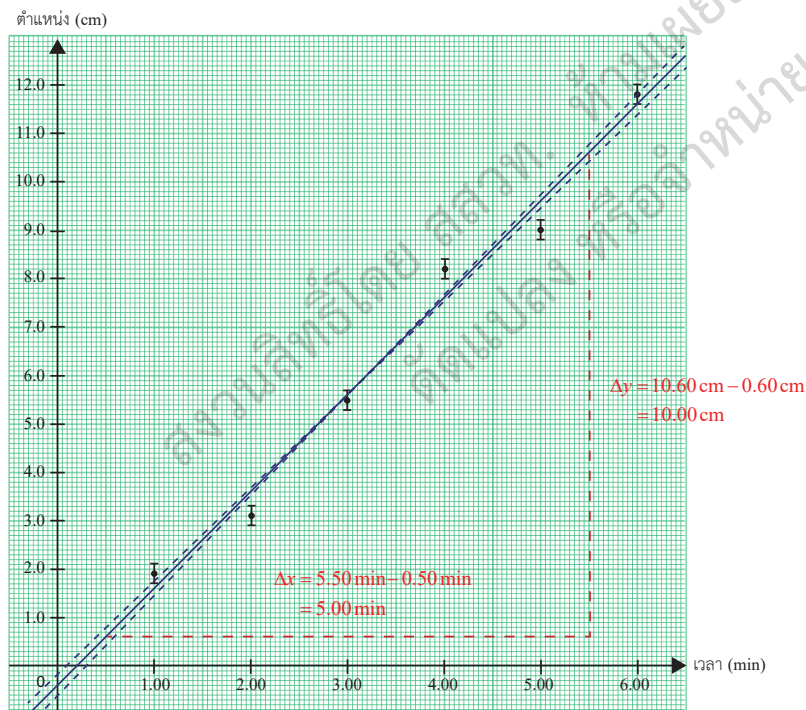
### 1.3.2 การวิเคราะห์ผลการทดลอง

เพื่อให้มองเห็นความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต่าง ๆ ที่ได้จากการทดลองให้นำผลการทดลองมาเขียนกราฟ โดยทั่วไปนิยมใช้ตัวแปรต้นเป็นแกนนอนและตัวแปรตามเป็นแกนตั้ง เช่น ผลการทดลองวัดตำแหน่งของทากตัวหนึ่งที่เคลื่อนที่ในแนวตรง ดังตาราง

ตาราง 1.3 ผลการทดลองวัดตำแหน่งของทากตัวหนึ่งที่เคลื่อนที่ในแนวตรง

เวลา (นาทิจ)	ตำแหน่ง (เซนติเมตร)
1.00	$1.9 \pm 0.2$
2.00	$3.1 \pm 0.2$
3.00	$5.5 \pm 0.2$
4.00	$8.2 \pm 0.2$
5.00	$9.0 \pm 0.2$
6.00	$11.8 \pm 0.2$

เมื่อนำผลการทดลองข้างต้นมาเขียนกราฟโดยให้เวลาเป็นแกนนอน และตำแหน่งเป็นแกนตั้ง จะได้ดังรูป 1.4



รูป 1.4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งกับเวลาของทากตัวหนึ่ง



การลงจุดข้อมูลในกราฟควรแสดงค่าคลาดเคลื่อนด้วย**แท่งความคลาดเคลื่อน (error bar)** เสมอ ในกรณีที่สามารถระบุค่าคลาดเคลื่อนได้ ซึ่งโดยทั่วไป ค่าคลาดเคลื่อนของแต่ละจุดข้อมูลอาจไม่เท่ากันก็ได้ นอกจากนี้ หากมีค่าคลาดเคลื่อนของตัวแปรต้น ก็สามารถแสดงด้วยแท่งความคลาดเคลื่อนในแนวนอนได้เช่นกัน

จากการพิจารณาจุดข้อมูลในกราฟพบว่า ความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งกับเวลามีแนวโน้มเป็นความสัมพันธ์เชิงเส้น สามารถเขียนความสัมพันธ์ในรูปของสมการคณิตศาสตร์ได้เป็น  $y=mx+c$  เมื่อ  $m$  คือ **ความชัน (slope)** ซึ่งหาได้จากผลต่างของจุดสองจุดในแกนตั้ง  $\Delta y$  หารด้วยผลต่างของจุดสองจุดในแกนนอน  $\Delta x$  และ  $c$  คือจุดที่เส้นกราฟตัดแกน  $y$  ในกรณีเช่นนี้ สามารถหาเส้นตรงที่แสดงความสัมพันธ์ดังกล่าวได้โดยการลากเส้นตรงให้ผ่านชุดข้อมูล (ที่รวมค่าคลาดเคลื่อนแล้ว) ให้มากที่สุด ซึ่งในตัวอย่างข้างต้นคือเส้นที่บสีน้ำเงิน นอกจากนี้ ยังสามารถหาค่าความชันของกราฟเส้นตรงได้ดังนี้

$$\text{ความชันของกราฟเส้นตรง} = \frac{\Delta y}{\Delta x} = \frac{10.00 \text{ cm}}{5.00 \text{ min}} = 2.00 \text{ cm/min}$$

#### ข้อสังเกตเกี่ยวกับการหาค่าความชันของกราฟเส้นตรง

1. เลือก 2 จุดที่อยู่บนเส้นตรงที่สามารถอ่านค่าจากกราฟได้ง่ายและแม่นยำ ไม่ควรเลือกจุดข้อมูลจากตารางผลการทดลอง เนื่องจากจุดข้อมูลที่เลือกมานั้นอาจไม่ได้อยู่บนเส้นตรงที่ลากขึ้นมา
2. ควรเลือก 2 จุดบนเส้นตรงที่ให้สามเหลี่ยมที่มีด้าน  $\Delta x$  และด้าน  $\Delta y$  ที่ใหญ่พอสมควรเพื่อลดความคลาดเคลื่อนของการอ่านค่าจากกราฟ

หากต้องการหาค่าความคลาดเคลื่อนของความชันที่คำนวณได้จากกราฟและค่าคลาดเคลื่อนของจุดตัดแกนตั้ง สามารถทำได้โดยการลากเส้นตรงเพิ่มอีก 2 เส้น ให้ผ่านชุดข้อมูลเช่นกัน แต่ลากเส้นหนึ่งให้มีความชันน้อยกว่าความชันของเส้นตรงที่ดีที่สุด (สอดคล้องกับข้อมูลมากที่สุด) และอีกเส้นหนึ่งให้มีความชันมากกว่าความชันของเส้นตรงที่ดีที่สุด ดังแสดงด้วยเส้นประสีน้ำเงินในกราฟ หาค่าความชันของเส้นตรงทั้งสอง ค่าความคลาดเคลื่อนของความชันหาได้จากครึ่งหนึ่งของผลต่างของความชันของเส้นตรงทั้งสองนี้ จากกราฟข้างต้นจะได้ว่า

$$\begin{aligned} \text{ค่าคลาดเคลื่อนของความชัน} &= \frac{1}{2} (\text{ความชันมาก} - \text{ความชันน้อย}) \\ &= \frac{(2.07 - 1.93) \text{ cm/min}}{2} \\ &= 0.07 \text{ cm/min} \end{aligned}$$

ดังนั้น ความชันของกราฟเส้นตรงที่ดีที่สุดคือ  $2.00 \pm 0.07 \text{ cm/min}$

ส่วนความคลาดเคลื่อนของจุดตัดแกนตั้งนั้นสามารถหาได้จากครึ่งหนึ่งของผลต่างของจุดตัดของเส้นตรงทั้งสอง จะได้ว่า

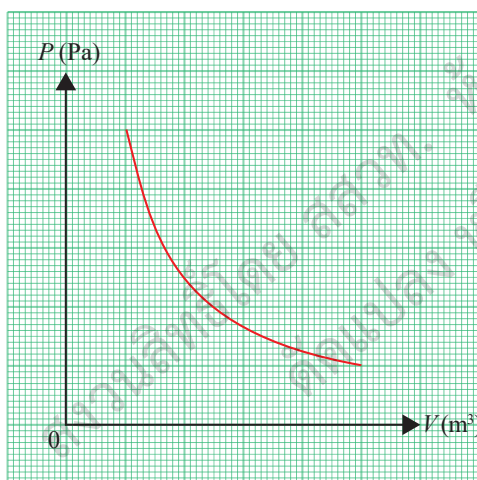
$$\begin{aligned} \text{ค่าคลาดเคลื่อนของจุดตัดแกนตั้ง} &= \frac{1}{2} (\text{จุดตัดสูง} - \text{จุดตัดต่ำ}) \\ &= \frac{[(-0.20) - (-0.60)] \text{ cm}}{2} \\ &= 0.20 \text{ cm} \end{aligned}$$

ดังนั้น จุดตัดแกนตั้งของกราฟเส้นตรงที่ดีที่สุดของเราคือ  $-(0.40 \pm 0.20)$  เซนติเมตร จากผลการทดลองวัดตำแหน่งของทากตัวหนึ่ง ณ เวลาต่าง ๆ สามารถแสดงความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งกับเวลาได้ด้วยสมการเส้นตรง

$$x = (2.00 \pm 0.07 \text{ cm/min})t - (0.40 \pm 0.20 \text{ cm})$$

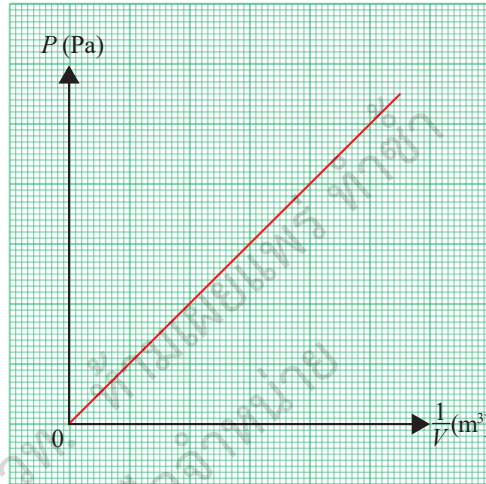
เมื่อ  $x$  แทนตำแหน่งของทากในหน่วยเซนติเมตร และ  $t$  แทนเวลาในหน่วยนาที

ความสัมพันธ์ระหว่างสองปริมาณอาจจะอยู่ในรูปอื่น ๆ เช่น ความสัมพันธ์ของความดันแก๊สกับปริมาตรแก๊สในภาชนะปิด ถ้าเขียนกราฟระหว่างความดันแก๊สกับปริมาตรของแก๊ส จะไม่สามารถบอกความสัมพันธ์ได้ เนื่องจากได้กราฟเป็นเส้นโค้ง ดังรูป 1.5



รูป 1.5 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความดันแก๊สกับปริมาตรแก๊ส

แต่ถ้าเขียนกราฟระหว่างความดันกับส่วนกลับของปริมาตรแก๊ส จะได้เป็นกราฟเส้นตรง ดังรูป 1.6



รูป 1.6 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความดันกับส่วนกลับของปริมาตรแก๊ส

จากรูป 1.6 แสดงว่า  $P$  แปรผันตาม  $\frac{1}{V}$  นั่นก็คือ  $P = \frac{k}{V}$  โดยที่  $k$  คือ ความชัน ซึ่งอาจเขียนความสัมพันธ์ได้เป็น  $PV = \text{ค่าคงตัว}$

ความสัมพันธ์ระหว่างสองปริมาณอาจอยู่ในรูป  $y = \frac{k}{x}$ ,  $y = \frac{k}{x^2}$ ,  $y = \log x$ ,  $y = \frac{1}{\log x}$ ,  $y = \sin x$ ,  $y = \tan x$ ,  $y = kx^2$  เป็นต้น หากเราต้องการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสองปริมาณให้อยู่ในรูปของกราฟเส้นตรง เราจะต้องเลือกเขียนกราฟระหว่างปริมาณที่เหมาะสม เช่น ถ้าต้องการเขียนกราฟ  $y = \frac{k}{x^2}$  ให้อยู่ในรูปกราฟเส้นตรง เราจะต้องเขียนกราฟระหว่าง  $y$  กับ  $\frac{1}{x^2}$  แทนที่จะเขียนกราฟระหว่าง  $y$  กับ  $x$  เป็นต้น

นอกจากนั้น ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณบางคู่ไม่สามารถสรุปเป็นความสัมพันธ์ของกราฟเส้นตรงในกรณีนี้ เราไม่อาจใช้สมการทางคณิตศาสตร์ของกราฟเส้นตรงมาวิเคราะห์ความสัมพันธ์ได้

ดังนั้น ก่อนที่จะสรุปความสัมพันธ์ของตัวแปรต่าง ๆ จากกราฟ ต้องพิจารณาถึงเนื้อเรื่องที่เกี่ยวข้องด้วย เพราะความสัมพันธ์ของตัวแปรต่าง ๆ จากกราฟไม่จำเป็นต้องเป็นกราฟเส้นตรงอย่างเดียวเท่านั้น



### คำถามตรวจสอบความเข้าใจ 1.3

1. เพราะเหตุใด การวัดปริมาณหนึ่ง ๆ ต้องวัดซ้ำหลายครั้ง และการรายงานผลการวัดจะอยู่ในรูปแบบใด
2. ถ้าการทดลองหนึ่งได้ข้อมูลสองชุดคือ  $(4.65 \pm 0.01)$  มิลลิกรัม และ  $(4.65 \pm 0.02)$  มิลลิกรัม ตามลำดับ ผลการทดลองใดมีความความน่าเชื่อถือกว่า เพราะเหตุใด

- ในการทดลองเพื่อหาความยาวโฟกัสของเลนส์นูน ได้รายงานผลการวัดดังนี้  
ความยาวโฟกัสของเลนส์นูน เท่ากับ  $15.0\text{cm} \pm 1\text{mm}$   
การรายงานผลการวัดดังกล่าวเหมาะสมหรือไม่ ถ้าไม่จะต้องรายงานผลอย่างไร
- สมการเส้นตรงมีความสำคัญอย่างไรต่อการศึกษาทางฟิสิกส์อย่างไร
- การทดลองและการรายงานผลการทดลองทางฟิสิกส์มีความสำคัญอย่างไร



## แบบฝึกหัด 1.3

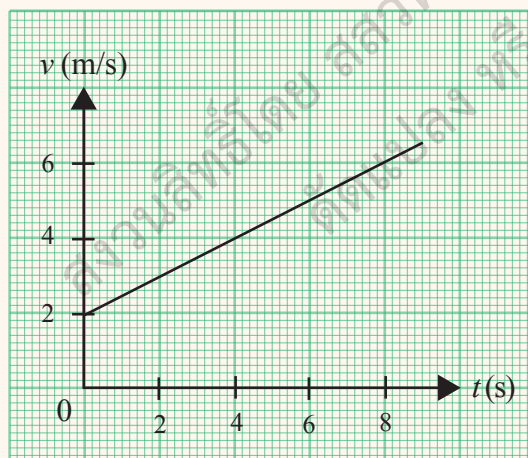
- ในการวัดเวลาของการตกแบบเสรีของวัตถุจากที่สูง 20 เมตร จำนวน 6 ครั้ง ได้ผลการวัดดังนี้

ครั้งที่	1	2	3	4	5	6
เวลา (s)	2.2	2.1	1.9	2.1	1.8	2.0

ก. จงหาค่าเฉลี่ยและความคลาดเคลื่อนของค่าเฉลี่ยของข้อมูลชุดนี้

ข. จงแสดงผลการบันทึกผลการทดลองหาเวลาของการตกแบบเสรีของวัตถุ

- สมการ  $T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$  แสดงความสัมพันธ์ระหว่างคาบ  $T$  และความยาวเชือก  $l$  โดย  $g$  และ  $\pi$  เป็นค่าคงตัว จงแสดงว่าสมการนี้เป็นสมการเชิงเส้น จากนั้นหาความชันและจุดตัดแกนตั้ง
- กราฟระหว่างความเร็วกับเวลาของการเคลื่อนที่ของวัตถุ เป็นดังรูป



รูป ประกอบแบบฝึกหัด 1.3 ข้อ 3

ความเร่งของวัตถุ ซึ่งหาได้จากความชันของกราฟมีค่าเท่าใด



## สรุปเนื้อหาภายในบทเรียน

### 1.1 ธรรมชาติทางฟิสิกส์

- ฟิสิกส์เป็นวิทยาศาสตร์แขนงหนึ่งที่ศึกษาเพื่ออธิบายปรากฏการณ์ในธรรมชาติ
- การค้นคว้าหาความรู้ทางฟิสิกส์ทำได้โดยการสังเกต การทดลอง และเก็บรวบรวมข้อมูล มาวิเคราะห์ หรือการสร้างแบบจำลองทางความคิด เพื่อสรุปเป็นทฤษฎี หลักการหรือกฎ
- ความรู้ทางฟิสิกส์สามารถนำไปใช้อธิบายปรากฏการณ์ธรรมชาติหรือทำนายสิ่งที่จะเกิดขึ้น ในอนาคต
- พัฒนาการของหลักการและแนวคิดทางฟิสิกส์เป็นพื้นฐานในการแสวงหาความรู้ใหม่เพิ่มเติม
- ความรู้ทางฟิสิกส์เป็นพื้นฐานในการพัฒนาเทคโนโลยีทำให้คุณภาพชีวิตของมนุษย์ดีขึ้น ในทางกลับกันเทคโนโลยีที่ทันสมัยก็มีบทบาทสำคัญที่ทำให้มีการค้นพบความรู้ใหม่ ๆ ทางวิทยาศาสตร์ด้วย

### 1.2 การวัดและการบันทึกผลการวัดปริมาณทางฟิสิกส์

- ปริมาณทางฟิสิกส์เป็นปริมาณที่ได้จากการวัดประกอบด้วยค่าที่เป็นตัวเลขและหน่วย
- ระบบหน่วยระหว่างชาติ หรือระบบเอสไอเป็นระบบหน่วยมาตรฐานของปริมาณต่าง ๆ ระบบเอสไอประกอบด้วยหน่วยฐานและหน่วยอนุพัทธ์ หน่วยฐาน มี 7 หน่วย ได้แก่ เมตร (m) กิโลกรัม (kg) วินาที (s) แอมแปร์ (A) เคลวิน (K) โมล (mol) และแคนเดลา (cd) หน่วยอนุพัทธ์เป็นหน่วยที่เกิดจากหน่วยฐานหลายหน่วย
- สัญลักษณ์วิทยาศาสตร์เป็นการเขียนปริมาณที่มีค่ามากหรือน้อยให้อยู่ในรูปจำนวนเต็มหนึ่ง ตำแหน่งตามด้วยเลขทศนิยม แล้วคูณด้วยเลขยกกำลังที่มีฐานเป็นสิบ และเลขชี้กำลังเป็นจำนวนเต็ม มีรูปทั่วไป  $A \times 10^n$  เมื่อ  $1 \leq A < 10$  และ  $n$  เป็นจำนวนเต็ม
- ความไม่แน่นอนในการวัด ค่าที่ได้จากการวัดมีโอกาสเกิดความคลาดเคลื่อนโดยขึ้นกับเครื่องมือ และวิธีการวัดที่เหมาะสม รวมทั้งขึ้นกับความสามารถและประสบการณ์ของผู้วัด
- เลขนัยสำคัญเป็นตัวเลขที่ได้จากการวัด จำนวนเลขนัยสำคัญขึ้นกับความละเอียดของเครื่องวัด
- การบันทึกผลการวัดจะต้องบันทึกเฉพาะตัวเลขที่ให้ความหมายหรือที่เชื่อถือได้เท่านั้น ตัวเลขที่เชื่อถือได้นี้ เรียกว่า เลขนัยสำคัญ ซึ่งประกอบด้วยตัวเลขที่อ่านได้โดยตรงจากเครื่องวัด และตัวเลขจากการประมาณค่า
- การบันทึกผลการคำนวณจะต้องบันทึกผลโดยคำนึงถึงเลขนัยสำคัญของข้อมูลที่นำมาใช้ในการคำนวณ โดยในการบวกและลบ จะพิจารณาจากความละเอียดของเครื่องวัดหรือทศนิยมที่น้อยที่สุด ส่วนการคูณและหาร จะพิจารณาจากจำนวนเลขนัยสำคัญที่น้อยที่สุด



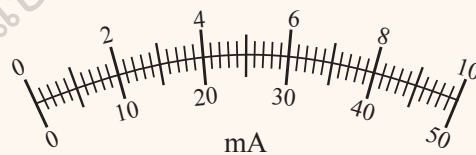
### 1.3 การทดลองทางฟิสิกส์

- การทดลองในวิชาฟิสิกส์เป็นส่วนสำคัญในการฝึกทักษะและคิดหาเหตุผลอย่างวิทยาศาสตร์ การทำการทดลองมักจะทำเพื่อตอบคำถามหรือเพื่อหาความจริงบางอย่าง มีขั้นตอนการทดลองและการเขียนรายงานการทดลอง
- การรายงานความคลาดเคลื่อนเขียนอยู่ในรูป ค่าเฉลี่ย  $\pm$  ค่าคลาดเคลื่อนของค่าเฉลี่ย หรือ  $\bar{x} \pm \Delta\bar{x}$
- การวิเคราะห์ผลการทดลอง เป็นการดำเนินการเพื่อให้เห็นความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต่าง ๆ ที่ได้จากการทดลอง โดยการนำผลการทดลองมาเขียนกราฟ แล้ววิเคราะห์สรุปผลการทดลองจากกราฟ

## แบบฝึกหัดท้ายบทที่ 1

## ??? | คำถาม

- จงยกตัวอย่างความรู้ในวิชาวิทยาศาสตร์ ระดับมัธยมศึกษาตอนต้น ที่ถือว่าเป็นความรู้ทางฟิสิกส์
- มนุษย์พัฒนาความรู้ของตนเองอย่างไรเพื่อให้สามารถอธิบายปรากฏการณ์ธรรมชาติได้
- จงยกตัวอย่างสิ่งประดิษฐ์ทางฟิสิกส์ โดยจำแนกตามการใช้งานในแต่ละหัวข้อต่อไปนี้  
ก. การสื่อสาร    ข. พลังงาน    ค. การคมนาคมขนส่ง    ง. การแพทย์
- ความเร็วและพลังงานเป็นปริมาณฐานหรือปริมาณอนุพัทธ์ เพราะเหตุใด
- ปัจจัยใดบ้างที่ส่งผลต่อความถูกต้องในการวัด
- รูปแสดงสเกลของแอมมิเตอร์ สเกลบนอ่านค่าได้สูงสุด 10 มิลลิแอมแปร์ สเกลล่างอ่านค่าได้สูงสุด 50 มิลลิแอมแปร์



รูป ประกอบคำถามข้อ 6

ถ้าการคำนวณกระแสไฟฟ้าในวงจรหนึ่ง พบว่ามีค่าประมาณ 5 มิลลิแอมแปร์ ในการวัดกระแสไฟฟ้าจริงในวงจรนั้น ควรเลือกใช้สเกลใด เพราะเหตุใด

- จำนวนต่อไปนี้ มีจำนวนเลขนัยสำคัญกี่ตัว ประกอบด้วยตัวเลขอะไรบ้าง  
ก. 0    ข. 0.0    ค. 0.00    ง. 0.057    จ. 0.507    ฉ. 0.570
- จงแปลงจำนวนต่อไปนี้ให้มีเลขนัยสำคัญ 3 ตัว  
ก. 17.93    ข. 645.40    ค. 4.8603  
ง. 0.20007    จ. 8.465    ฉ. 2.011
- สมการ  $v_t = v_0 + \alpha t$  แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราเร็วของเสียง  $v_t$  ในอากาศ และอุณหภูมิ  $t$  (ในหน่วยองศาเซลเซียส)  $v_0$  และ  $\alpha$  เป็นค่าคงตัว สมการนี้เป็นสมการเชิงเส้นหรือไม่ เพราะเหตุใด

## Ⓕ | ปัญหา

- จงเปลี่ยนหน่วยของปริมาณต่อไปนี้ ให้อยู่ในหน่วยมิลลิเมตร  
 ก. 1.5 เมตร      ข. 25.2 เซนติเมตร      ค. 10 ไมโครเมตร      ง. 0.5 เดซิเมตร
- จงระบุจำนวนเลขนัยสำคัญของปริมาณต่อไปนี้ แล้วเขียนให้อยู่ในรูปสัญกรณ์วิทยาศาสตร์ที่มีจำนวนเลขนัยสำคัญ 3 และ 2 ตัว  
 ก.  $10.23 \mu\text{s}$       ข.  $384400 \text{ km}$       ค.  $3300 \Omega$       ง.  $0.0120 \text{ V}$
- จงหาผลลัพธ์ของการบวกและการลบต่อไปนี้ ในรูปสัญกรณ์วิทยาศาสตร์  
 ก.  $(3.0 \times 10^4 \text{ m}) + (1.2 \times 10^4 \text{ m})$       ข.  $(7.0 \times 10^4 \text{ m}) + (4.2 \times 10^4 \text{ m})$   
 ค.  $(3.0 \times 10^{-6} \text{ kg}) - (2.8 \times 10^{-6} \text{ kg})$       ง.  $(5.7 \times 10^{-6} \text{ s}) - (3.0 \times 10^{-5} \text{ s})$
- จงหาผลลัพธ์ของการคูณและการหารต่อไปนี้ ในรูปสัญกรณ์วิทยาศาสตร์  
 ก.  $(3.0 \times 10^8 \text{ ms}^{-1})(5.0 \times 10^2 \text{ s})$       ข.  $(5.0 \times 10^2 \text{ m})(1.2 \times 10^3 \text{ m}) (8.2 \times 10^{-1} \text{ m})$   
 ค.  $\frac{3.0 \times 10^6 \text{ kg}}{6.0 \times 10^3 \text{ m}^3}$       ง.  $\frac{7.0 \times 10^5 \text{ ms}^{-1}}{3.5 \times 10^3 \text{ s}}$
- จงหาผลลัพธ์ต่อไปนี้  
 ก.  $10.5 \text{ s} + 1.27 \text{ s} + 0.006 \text{ s}$       ข.  $12.54 \text{ s} - 4.207 \text{ s} - 1.2 \text{ s}$   
 ค.  $(52.50 \text{ kg})(1.25 \text{ m/s})$       ง.  $(5.80 \text{ V}) \div (0.10 \text{ A})$
- โลกมีรัศมีประมาณ  $6.37 \times 10^6$  เมตร จงหา  
 ก. เส้นรอบวงของโลกในหน่วยกิโลเมตร  
 ข. พื้นที่ผิวของโลกในหน่วยตารางกิโลเมตร
- วัตถุทรงกระบอกตันทำมาจากทองแดงมีความสูง 20 มิลลิเมตร วัดเส้นผ่านศูนย์กลางได้ 115 มิลลิเมตร วัตถุนี้มีมวลกี่กรัม (ความหนาแน่นของทองแดงเท่ากับ 8.93 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร)
- ถังรูปทรงกระบอกใบหนึ่งมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 140 เซนติเมตร สูง 400 เซนติเมตร ถังใบนี้มีปริมาตรกี่ลูกบาศก์เมตร
- อากาศมีความหนาแน่น  $1.2 \times 10^{-3}$  กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ความหนาแน่นของอากาศมีค่าเท่าใดในหน่วยกิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

10. ในการทดลองวัดคาบการแกว่งของลูกตุ้มอย่างง่าย ได้ผลดังตาราง

ครั้งที่	1	2	3	4	5
คาบ (s)	2.5	2.4	2.7	2.6	2.4

ก. จงหาค่าเฉลี่ยและความคลาดเคลื่อนของค่าเฉลี่ย

ข. จงแสดงการบันทึกผลการทดลองวัดคาบการแกว่งของลูกตุ้มอย่างง่าย

11. จากกราฟเป็นข้อมูลการทดลองเรื่องการหาลัมประสิทธิภาพความเสียดทานโดยแกนนอนเป็นน้ำหนักถูทราย แกนตั้งเป็นแรง  $F$  ที่ดึงทำให้แผ่นไม้เคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงตัว ลัมประสิทธิภาพความเสียดทานจลน์ของการทดลองนี้ซึ่งหาได้จากความชันของกราฟมีค่าเท่าใด



รูป ประกอบคำถามข้อ 11

12. สมการ  $E_k = hf - W$  แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณต่าง ๆ โดย  $f$  เป็นตัวแปรต้น  $E_k$  เป็นตัวแปรตาม  $h$  และ  $W$  เป็นค่าคงตัว

ก. สมการนี้เป็นสมการเชิงเส้นหรือไม่

ข. จงหาความชันของกราฟและจุดตัดแกนตั้ง



## ปัญหาท้าทาย

13. ในการทดลองลูกตุ้มอย่างง่าย ที่ความยาวเชือกค่าหนึ่ง ๆ ผู้ทดลองวัดเวลาการแกว่งของลูกตุ้ม 3 ครั้ง ๆ ละ 10 รอบ โดยใช้นาฬิกาจับเวลา ได้ผลดังตาราง

ความยาวเชือก $l$ (m)	เวลา 10 รอบ (s)		
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
0.20	8.91	9.09	9.03
0.40	13.07	12.95	13.10
0.60	15.46	15.58	15.40
0.80	17.92	17.78	17.70
1.00	19.52	19.34	19.58

ถ้าคาบ ( $T$ ) คือ ช่วงเวลาที่วัตถุใช้ในการเคลื่อนที่ครบ 1 รอบ จงเขียน

ก. กราฟระหว่างคาบการแกว่ง ( $T$ ) และความยาว ( $l$ )

ข. กราฟระหว่างคาบการแกว่งยกกำลังสอง ( $T^2$ ) และความยาว ( $l$ )

14. ในการทดลองวัดความดัน  $p$  ของน้ำทะเล ที่ความลึก  $h$  ต่าง ๆ ได้ผลดังตาราง

ความลึก $h$ (m)	5.0	10.0	15.0	20.0	25.0	30.0	35.0
ความดัน $p$ ( $\times 10^5$ Pa)	1.4	1.9	2.5	2.9	3.5	3.9	4.6

ก. จงเขียนกราฟระหว่างความดัน  $p$  ของน้ำทะเล และความลึก  $h$

ข. จงอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างความดัน  $p$  ของน้ำทะเล และความลึก  $h$

ค. ถ้า  $p = p_{\text{air}} + \rho gh$

เมื่อ  $p$  เป็นความดันในของเหลวที่มีความหนาแน่น  $\rho$  ที่ความลึก  $h$

$p_{\text{air}}$  เป็นความดันบรรยากาศ

$g$  เป็นความเร่งโน้มถ่วงมีค่า  $9.8 \text{ m/s}^2$

จงหา  $p_{\text{air}}$  และ  $\rho$

15. ในการทดลองหาคาบการแกว่ง  $T$  ของลูกตุ้มอย่างง่ายที่มีความยาวเชือก  $l$  ต่าง ๆ กัน ได้ผลดังตาราง

$l(\text{m})$	0.80	1.00	1.20	1.40	1.60	1.80
$T(\text{s})$	$1.79 \pm 0.05$	$2.00 \pm 0.05$	$2.20 \pm 0.05$	$2.40 \pm 0.05$	$2.55 \pm 0.05$	$2.70 \pm 0.05$

จงเขียน

- ก. กราฟระหว่างคาบและความยาวเชือก  
 ข. กราฟระหว่างคาบและรากที่สองของความยาวเชือก
16. สมการความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณต่าง ๆ ตัวแปรต้น ตัวแปรตาม และค่าคงตัว แสดงได้ดังตาราง

สมการที่	รูปสมการ	ตัวแปรตาม	ตัวแปรต้น	ค่าคงตัว
1	$v = \frac{d}{t}$	$d$	$t$	$v$
2	$v = u + at$	$v$	$t$	$u, a$
3	$T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}}$	$T$	$m$	$2\pi, k$
4	$V = \frac{kQ}{r}$	$V$	$r$	$k, Q$

- ก. สมการใด เมื่อเขียนกราฟระหว่างตัวแปรตามและตัวแปรต้นแล้วได้กราฟเส้นตรง จากนั้นหาความชันและจุดตัดแกนตั้ง
- ข. จากข้อ ก. สมการที่เหลือ จะต้องจัดรูปตัวแปรตามและตัวแปรต้นอย่างไร จึงจะนำมาเขียนได้เป็นกราฟเส้นตรง จากนั้นหาความชันและจุดตัดแกนตั้ง