



หนังสือเรียนรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

# ฟิสิกส์

ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ ๔ เล่ม ๑

ตามผลการเรียนรู้

กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. ๒๕๖๐)

ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช ๒๕๕๑

## ผู้เรียบเรียง

ดร.ปวิณทร จันทร์เลิศ ปร.ด. (condensed matter physics), วท.ม. (วิทยาศาสตร์และ  
วิศวกรรมวัสดุ), วท.บ. (ฟิสิกส์)

## ผู้ตรวจ

ดร.กนต์ธีร์ กิจเกียรติพงษ์ ปร.ด. (ฟิสิกส์), วท.ม. (ฟิสิกส์), วท.บ. (ฟิสิกส์)  
ดร.เพราพิมพ์ ลิ้มสกุล ปร.ด. (ชีววิศวกรรม), วท.ม. (ฟิสิกส์), วท.บ. (ฟิสิกส์)  
นายกฤษฎี มีเครือ วท.ม. (ฟิสิกส์), วท.บ. (ฟิสิกส์)

## บรรณาธิการ

ดร.มนต์อมร ปรีชาวัฒน์ ปร.ด. (ฟิสิกส์), ประกาศนียบัตรบัณฑิตชั้นสูง (การสอนวิทยาศาสตร์),  
วท.บ. (ฟิสิกส์)

ปีที่พิมพ์ ๒๕๖๓

พิมพ์ครั้งที่ ๑

จำนวน ๕,๐๐๐ เล่ม

ISBN : 978-616-07-2050-7

จัดพิมพ์โดย บริษัท สำนักพิมพ์เอมพันธ์ จำกัด

❖ **ฝ่ายการตลาด, ฝ่ายการเงินและบัญชี, ฝ่ายผลิตและจัดส่ง :**

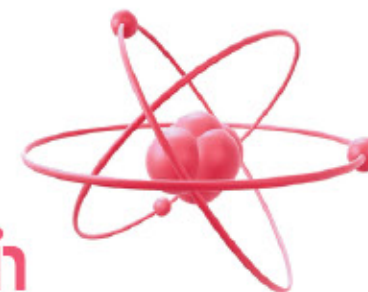
๖๕/๑๐๕ หมู่ ๑ ซ.พระแม่กัณฐกย์ ต.บ้านใหม่ อ.ปากเกร็ด จ.นนทบุรี ๑๑๑๒๐  
โทร. ๐ ๒๕๕๕ ๕๕๕๕, ๐ ๒๕๕๕ ๕๕๕๕, ๐ ๒๕๕๖ ๕๕๕๐-๒ โทรสาร ๐ ๒๕๕๖ ๕๕๕๗

❖ **ฝ่ายวิชาการ :**

๘๗/๑๒๒ ถ.เทศบาลสงเคราะห์ แขวงลาดยาว เขตจตุจักร กรุงเทพฯ ๑๐๓๐๐  
โทร. ๐ ๒๕๕๕ ๕๕๕๕-๒๐, ๐ ๒๕๕๕ ๕๕๕๕-๒๑ โทรสาร ๐ ๒๕๕๐ ๒๕๕๓

สงวนลิขสิทธิ์ตามพระราชบัญญัติ ลิขสิทธิ์เป็นของบริษัท สำนักพิมพ์เอมพันธ์ จำกัด

## คำนำ



หนังสือเรียนรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี **ฟิสิกส์** ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ ๔ เล่ม ๑ ได้เรียบเรียงขึ้นตามผลการเรียนรู้กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. ๒๕๖๐) ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช ๒๕๕๑

เนื้อหาในหนังสือเล่มนี้แบ่งออกเป็น ๔ หน่วยการเรียนรู้ ประกอบด้วย **นิวเคลียส กัมมาและวิวัฒนาการของสิ่งมีชีวิต ประชากร และมนุษย์กับความยั่งยืนของสิ่งแวดล้อม** นอกจากนี้ในหนังสือยังมี QR Code (Quick Response Code)  ที่เข้าผ่านระบบ **LINE** หรือแอปพลิเคชันสำหรับอ่าน QR Code เพื่อให้นักเรียนได้เข้าถึงข้อมูลและสื่อการเรียนรู้อื่นๆ อีกด้วย

หวังเป็นอย่างยิ่งว่า หนังสือเรียนรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี **ฟิสิกส์** ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ ๔ เล่ม ๑ เล่มนี้ จะอำนวยความสะดวกต่อผู้สอนที่จะนำไปประยุกต์ใช้ในการจัดการเรียนรู้ เพื่อให้นักเรียนได้พัฒนาเต็มตามศักยภาพและบรรลุตามเป้าหมายของหลักสูตรต่อไป



ฝ่ายวิชาการ บริษัท สำนักพิมพ์เอมพันธ์ จำกัด



## คำอธิบายรายวิชาเพิ่มเติม

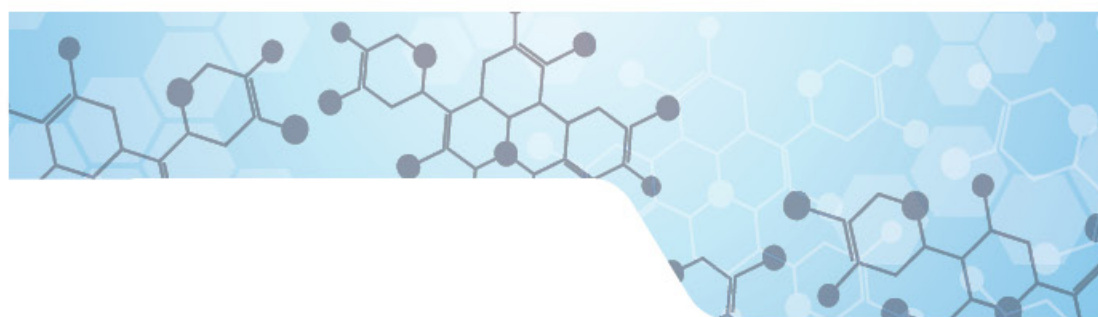
ฟิสิกส์  
ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 เล่ม 1

กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี  
เวลา 60 ชั่วโมง จำนวน 1.5 หน่วยกิต

ศึกษาเกี่ยวกับการ ประวัติความเป็นมาของวิชาฟิสิกส์ ปริมาณและการเปลี่ยนหน่วยทางฟิสิกส์ การวัดและการทดลองทางฟิสิกส์ ตำแหน่ง ระยะทางและการกระจัด อัตราเร็วและความเร็ว ความเร่ง กราฟของการเคลื่อนที่ในแนวเส้นตรง สมการการเคลื่อนที่ในแนวเส้นตรง การเคลื่อนที่เป็นเส้นตรงในแนวระดับ การเคลื่อนที่เป็นเส้นตรงในแนวโค้ง มวล แรงและสมบัติของแรง กฎการเคลื่อนที่ของนิวตัน น้ำหนัก การประยุกต์ใช้กฎการเคลื่อนที่ของนิวตัน แรงเสียดทาน กฎแรงดึงดูดระหว่างมวลของนิวตัน การเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์ การเคลื่อนที่แบบเป็นวงกลมด้วยอัตราเร็วคงตัว

## ผลการเรียนรู้

- 1 สืบค้น และอธิบายการค้นหาคำรู้ทางฟิสิกส์ ประวัติความเป็นมา รวมทั้งพัฒนาการของหลักการ และแนวคิดทางฟิสิกส์ที่มีผลต่อการแสวงหาความรู้ใหม่และการพัฒนาเทคโนโลยี
- 2 วัด และรายงานผลการวัดปริมาณทางฟิสิกส์ได้ถูกต้องเหมาะสม โดยนำความคลาดเคลื่อนในการวัดมาพิจารณาในการนำเสนอผล รวมทั้ง แสดงผลการทดลองในรูปของกราฟ วิเคราะห์ และแปลความหมายจากกราฟเส้นตรง
- 3 ทดลอง และอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่ง การกระจัด ความเร็ว และความเร่งของการเคลื่อนที่ของวัตถุในแนวตรงที่มีความเร่งคงตัวจากกราฟและสมการ รวมทั้งทดลองหาค่าความเร่งโน้มถ่วงของโลก และคำนวณปริมาณต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง
- 4 ทดลองและอธิบายการหาแรงลัพธ์ของแรงสองแรงที่ทำมุมต่อกัน
- 5 เขียนแผนการของแรงที่กระทำต่อวัตถุอิสระทดลองและอธิบายกฎการเคลื่อนที่ของนิวตันและการใช้กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันกับสภาพการเคลื่อนที่ของวัตถุ รวมทั้งคำนวณต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง



6 อธิบายกฎความโน้มถ่วงสากลและผลของสนามโน้มถ่วงที่ทำให้วัตถุมีน้ำหนัก รวมทั้งคำนวณปริมาณต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง

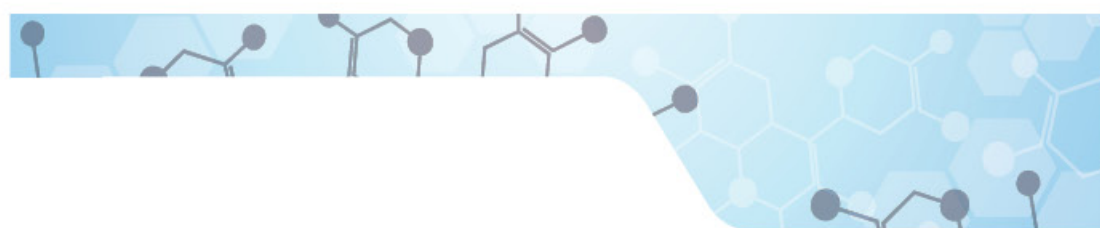
7 วิเคราะห์ อธิบาย และคำนวณแรงเสียดทานระหว่างผิวสัมผัสของวัตถุคู่หนึ่งๆ ในกรณีที่วัตถุหยุดนิ่งและวัตถุเคลื่อนที่ รวมทั้งทดลองหาสัมประสิทธิ์ความเสียดทานระหว่างผิวสัมผัสของวัตถุคู่หนึ่งๆ และนำความรู้เรื่องแรงเสียดทานไปใช้ในชีวิตประจำวัน

8 อธิบาย วิเคราะห์ และคำนวณปริมาณต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนที่แบบโปรเจกไทล์และการทดลองการเคลื่อนที่แบบโปรเจกไทล์

9 ทดลองและอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างแรงสู่ศูนย์กลาง รัศมีของการเคลื่อนที่ อัตราเร็วเชิงเส้น อัตราเร็วเชิงมุมและมวลของวัตถุ ในการเคลื่อนที่แบบวงกลมในระนาบระดับ รวมทั้งคำนวณปริมาณต่างๆ ที่เกี่ยวข้องและประยุกต์ใช้ความรู้การเคลื่อนที่แบบวงกลมในการอธิบายการโคจรของดาวเทียม



| สารบัญ                                                                                |                                                          |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|----|
| หน่วยการเรียนรู้ที่ 1                                                                 | ความรู้พื้นฐานและพัฒนากายฟิสิกส์                         | 1  |
|  | ประวัติความเป็นมาของวิชาฟิสิกส์                          | 3  |
|                                                                                       | ปริมาณและการเปลี่ยนหน่วยทางฟิสิกส์                       | 10 |
|                                                                                       | การวัดและการทดลองทางฟิสิกส์                              | 19 |
|                                                                                       | กิจกรรมส่งเสริมการเรียนรู้                               | 31 |
| หน่วยการเรียนรู้ที่ 2                                                                 | การเคลื่อนที่ในแนวเส้นตรง                                | 33 |
|  | ตำแหน่ง (Position)                                       | 35 |
|                                                                                       | ระยะทาง (Distance) และการกระจัด (Displacement)           | 35 |
|                                                                                       | อัตราเร็ว (Speed) และความเร็วกว้าง (Velocity)            | 39 |
|                                                                                       | ความเร่ง (Acceleration)                                  | 44 |
|                                                                                       | กราฟของการเคลื่อนที่ในแนวเส้นตรง                         | 50 |
|                                                                                       | สมการการเคลื่อนที่ในแนวเส้นตรง (Linear motion Equations) | 62 |
|                                                                                       | การเคลื่อนที่เป็นเส้นตรงในแนวระดับ                       | 64 |
|                                                                                       | การเคลื่อนที่เป็นเส้นตรงในแนวโค้ง                        | 66 |
|                                                                                       | กิจกรรมส่งเสริมการเรียนรู้                               | 72 |



### หน่วยการเรียนรู้ที่ 3

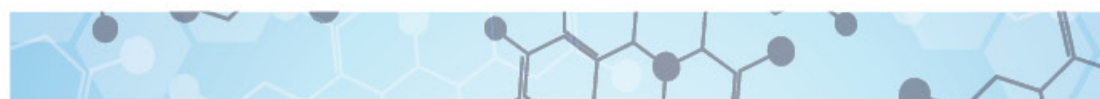


|                                        |            |
|----------------------------------------|------------|
| <b>แรงและการเคลื่อนที่</b>             | <b>74</b>  |
| มวล                                    | 76         |
| แรงและสมบัติของแรง                     | 76         |
| กฎการเคลื่อนที่ของนิวตัน               | 87         |
| น้ำหนัก                                | 96         |
| การประยุกต์ใช้กฎการเคลื่อนที่ของนิวตัน | 97         |
| แรงเสียดทาน                            | 104        |
| กฎแรงดึงดูดระหว่างมวลของนิวตัน         | 109        |
| <b>กิจกรรมส่งเสริมการเรียนรู้</b>      | <b>113</b> |

### หน่วยการเรียนรู้ที่ 4



|                                             |            |
|---------------------------------------------|------------|
| <b>การเคลื่อนที่ในแบบต่างๆ</b>              | <b>115</b> |
| การเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์                  | 117        |
| การเคลื่อนที่แบบเป็นวงกลมด้วยอัตราเร็วคงตัว | 126        |
| <b>กิจกรรมส่งเสริมการเรียนรู้</b>           | <b>142</b> |
| <b>บรรณานุกรม</b>                           | <b>144</b> |



### หน่วยการเรียนรู้ที่ 1



## ความรู้พื้นฐานและ พัฒนาการของวิชาฟิสิกส์



#### แนวคิด

ฟิสิกส์เป็นวิทยาศาสตร์แขนงหนึ่งที่ศึกษาเกี่ยวกับแรงพื้นฐานในธรรมชาติ ตลอดจนความสัมพันธ์ระหว่างสสารกับพลังงานที่เกิดขึ้นในเอกภพ ความรู้ทางฟิสิกส์ได้มาจากการสังเกต การทดลอง และเก็บรวบรวมข้อมูลมาวิเคราะห์ หรือจากการสร้างแบบจำลองทางความคิดเพื่อสรุปเป็นทฤษฎี หลักการหรือกฎ โดยมีกระบวนการวัดปริมาณซึ่งประกอบด้วยสัญลักษณ์ ตัวเลขและหน่วยสากลเรียกว่า ระบบเอสไอ ตลอดจนข้อตกลงในการคำนวณ เช่น การเขียนสัญกรณ์วิทยาศาสตร์, เลขนัยสำคัญ, การวิเคราะห์และการแปลความหมายจากกราฟ เป็นพื้นฐานสำคัญในการศึกษาวิชาฟิสิกส์



#### สาระการเรียนรู้

1. การค้นหาความรู้ทางฟิสิกส์ ประวัติความเป็นมา รวมทั้ง พัฒนาการของหลักการ และแนวคิดทางฟิสิกส์ที่มีผลต่อการแสวงหาความรู้ใหม่และการพัฒนาเทคโนโลยี
2. การวัดปริมาณทางฟิสิกส์โดยนำความคลาดเคลื่อนในการวัดมาพิจารณาในการนำเสนอผล รวมทั้ง การแสดงผลการทดลองในรูปของกราฟ การวิเคราะห์และแปลความหมายจากกราฟเส้นตรง



## ผลการเรียนรู้

1. สืบค้น และอธิบายการค้นหาคำรู้ทางฟิสิกส์ ประวัติความเป็นมา รวมทั้งพัฒนาการของหลักการ และแนวคิดทางฟิสิกส์ที่มีผลต่อการแสวงหาความรู้ใหม่และการพัฒนาเทคโนโลยี
2. วัด และรายงานผลการวัดปริมาณทางฟิสิกส์ได้ถูกต้องเหมาะสม โดยนำความคลาดเคลื่อนในการวัดมาพิจารณาในการนำเสนอผล รวมทั้ง แสดงผลการทดลองในรูปของกราฟ วิเคราะห์และแปลความหมายจากกราฟเส้นตรง



“ ในยุคอดีต มนุษย์เชื่อว่าปรากฏการณ์ต่างๆ ในธรรมชาติ เช่น พายุร้าย ไฟผ่า ฝนตก ความแห้งแล้ง ฯลฯ เป็นผลมาจากอำนาจลึกลับเหนือธรรมชาติที่ซึ่งสติปัญญาของมนุษย์ไม่สามารถเข้าใจหรืออธิบายได้ ในยุคกรีกโบราณนักปรัชญานามว่า “**เธเลสแห่งมิลีเตส**” (Thales of Miletus) ที่มีชีวิตอยู่ในช่วง 600-700 ปีก่อนคริสตกาล ได้ปฏิเสธว่าปรากฏการณ์ใดๆ ที่พบเจอในธรรมชาติไม่ได้เกิดจากอำนาจลึกลับ หรืออำนาจของเทพเจ้า แต่เกิดจากสิ่งที่สามารถอธิบายได้ด้วยหลักของเหตุและผล

”

## 1. ประวัติความเป็นมาของวิชาฟิสิกส์

ในยุคอดีต มนุษย์เชื่อว่าปรากฏการณ์ต่างๆ ในธรรมชาติ เช่น พายุร้าย ไฟผ่า ฝนตก ความแห้งแล้ง ฯลฯ เป็นผลมาจากอำนาจลึกลับเหนือธรรมชาติที่ซึ่งสติปัญญาของมนุษย์ไม่สามารถเข้าใจหรืออธิบายได้ ในยุคกรีกโบราณนักปรัชญานามว่า “**เธเลสแห่งมิลีเตส**” (Thales of Miletus) ที่มีชีวิตอยู่ในช่วง 600-700 ปีก่อนคริสตกาล ได้ปฏิเสธว่าปรากฏการณ์ใดๆ ที่พบเจอในธรรมชาติไม่ได้เกิดจากอำนาจลึกลับ หรืออำนาจของเทพเจ้า แต่เกิดจากสิ่งที่สามารถอธิบายได้ด้วยหลักของเหตุและผล

พัฒนาการของฟิสิกส์หลังจากยุคกรีกโบราณ ก็มีการพัฒนาต่อเนื่องมาเรื่อยๆ นักฟิสิกส์ในยุคแรกๆ จะศึกษาปรากฏการณ์ธรรมชาติจากการสังเกตและนำสิ่งที่สังเกตมาวิเคราะห์ และสรุปผลของการสังเกต โดยใช้หลักของเหตุและผลทำให้เกิดการพัฒนาเครื่องมือที่ใช้ในการสังเกต เช่น กลิเลโอศึกษาวงโคจรของดวงดาวต่างๆ ทำให้เขาต้องพัฒนากล้องโทรทรรศน์ชนิดหักเหแสง ซึ่งทำให้เขาค้นพบเทหวัตถุบนท้องฟ้าที่ไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า เช่น ดวงจันทร์บริวารของดาวพฤหัสบดี เป็นต้น ในยุคถัดมา การศึกษาปรากฏการณ์ต่างๆ ในธรรมชาติจะเน้นไปที่การทำทดลอง **ฟิสิกส์** (ภาษาอังกฤษ Physics ที่มาจากภาษากรีกโบราณ physis แปลว่าธรรมชาติ) ฟิสิกส์ คือ สาขาวิชาที่เป็นพื้นฐานของวิทยาศาสตร์ทุกแขนง เป้าหมายหลักของวิชานี้จะเน้นไปที่การศึกษาพฤติกรรมของสสารและพลังงาน จะเน้นไปที่การศึกษาปรากฏการณ์ต่างๆ ของธรรมชาติ ในเชิงกายภาพตั้งแต่ใหญ่สุด คือ ระดับจักรวาล และลงไปเล็กที่สุด คือ ในระดับอนุภาคมูลฐาน

ในยุคปัจจุบัน ฟิสิกส์สามารถแบ่งออกได้เป็นสองประเภทใหญ่ๆ ได้แก่ ฟิสิกส์ยุคเก่า (classical physics) และฟิสิกส์ยุคใหม่ (modern physics)

### 1.1 ฟิสิกส์ยุคเก่า (Classical Physics)

จะเป็นกฎ หลักการ และทฤษฎีทางวิชาฟิสิกส์ที่ถูกค้นพบ และได้จัดระเบียบในช่วงก่อนศตวรรษที่ 20 กลิเลโอ คือ บุคคลแรกๆ ที่ศึกษาฟิสิกส์โดยใช้วิธีการทำการทดลอง แต่การค้นพบในยุคนี้ยังไม่ได้มีการถูกนำมาจัดระเบียบ หรือนำคณิตศาสตร์เข้ามาอธิบายการศึกษาฟิสิกส์ เริ่มจะเป็นรูปร่างจริงๆ ในยุคของเซอร์ ไอแซค นิวตัน (Sir Isaac Newton) ที่มีการค้นพบวิชาแคลคูลัส และเริ่มมีการนำคณิตศาสตร์เข้ามาใช้อธิบายปรากฏการณ์ทางฟิสิกส์ เกิดเป็น กฎ หลักการและทฤษฎีมากมาย ฟิสิกส์



เซอร์ ไอแซค นิวตัน

ยุคเก่าสามารถแบ่งได้เป็นประเภทย่อยๆ หลายประเภท ได้แก่ กลศาสตร์ของนิวตัน ทฤษฎีแม่เหล็กไฟฟ้า อุณหพลศาสตร์ ทัศนศาสตร์ เป็นต้น ปรากฏการณ์ส่วนใหญ่กว่า 99% ในชีวิตประจำวันสามารถอธิบายได้ด้วยหลักการของฟิสิกส์ยุคเก่า ฟิสิกส์ยุคเก่าสามารถจำแนกได้เป็น 3 ประเภทใหญ่ๆ ได้แก่

### 1 กลศาสตร์แบบดั้งเดิม (Classical Mechanics)

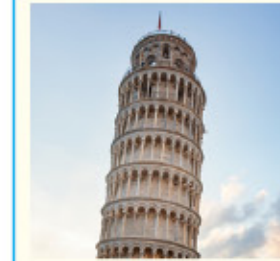
กลศาสตร์แบบดั้งเดิมคือสาขาวิชาในฟิสิกส์ยุคเก่าที่เป็นรากฐานของทุกแขนงในวิชาฟิสิกส์ โดยจะเน้นไปที่การอธิบายการเคลื่อนที่ของวัตถุที่อยู่ในระดับมหภาค (macroscopic) เช่น วัตถุที่มองเห็นด้วยตาเปล่า เครื่องจักรกล ดึก อาคารบ้านเรือน โลก ดวงดาว เป็นต้น ในกลศาสตร์แบบดั้งเดิม หากเราทราบสถานะภาพของวัตถุในขณะปัจจุบัน เราจะทำนายสิ่งที่จะเกิดขึ้นในอนาคต (determinism) หรืออธิบายถึงสิ่งที่เกิดขึ้นในอดีต (reversibility) ยกตัวอย่างเช่น เราสามารถทำนายได้ว่าเครื่องบินที่ออกจากสนามบินสุวรรณภูมิจะถึงสนามบินนาริตะ ประเทศญี่ปุ่นได้ภายในกี่ชั่วโมง หรือเราสามารถอธิบายได้ว่ารถคันที่ผ่านหน้าเราด้วยความเร็ว 70 กิโลเมตรต่อชั่วโมง เมื่อครึ่งชั่วโมงที่แล้ว รถคันนี้อยู่ที่ไหน เป็นต้น

พัฒนาการของกลศาสตร์แบบดั้งเดิมจะเริ่มต้นจากยุคของเซอร์ไอแซค นิวตันที่กล่าวถึงการเคลื่อนที่ของวัตถุที่อยู่ภายในอิทธิพลของปริมาณที่เรียกว่า “แรง (Force)” ต่อมาวิชากลศาสตร์ของนิวตันได้ถูกพัฒนาให้มีความซับซ้อนยิ่งขึ้น เพื่อใช้อธิบายระบบที่ซับซ้อนเกินกว่าที่จะอธิบายได้ด้วยหลักของนิวตัน จนพัฒนาไปสู่กลศาสตร์แบบลากรังจ์ (Lagrangian mechanics) และกลศาสตร์แบบฮามิลตัน (Hamiltonian mechanics) ซึ่งพัฒนาการของวิชากลศาสตร์นี้จะนำไปสู่ฟิสิกส์ยุคใหม่ซึ่งจะได้อธิบายต่อไป

กลศาสตร์แบบดั้งเดิมมีความแม่นยำมาก (ขนาดที่สามารถสร้างยานที่นำมนุษย์ไปเหยียบดวงจันทร์ได้โดยปลอดภัย) โดยมีเงื่อนไขที่มวลของวัตถุจะต้องไม่มากจนเกินไป (เช่น มวลที่เข้าใกล้มวลของหลุมดำ) หรือมีความเร็วที่มากขนาดเข้าใกล้ความเร็วแสง กลศาสตร์ในระดับมัธยมปลายแทบทั้งหมด จัดว่าเป็นกลศาสตร์แบบดั้งเดิม



### ความรู้เพิ่มเติม



#### หอเอนเมืองปิซา (Leaning Tower of Pisa)

หอเอนเมืองปิซา (Leaning Tower of Pisa) หอคอยที่สร้างด้วยหินอ่อนมีรูปทรงที่แปลก.. มีความสูงประมาณ 54 เมตร หรือ มีจำนวน 8 ชั้น ภายในแต่ละชั้นจะมีเสาหินสลักลวดลายที่วิจิตรงดงาม หอเอนเมืองปิซาสร้าง พ.ศ. 1717 (ค.ศ. 1174) ใช้ระยะเวลาในการ.. และหยุดการก่อสร้าง เนื่องจากเกิดการเกิด... ทำให้หอเอนเมืองปิซา สร้างเสร็จเมื่อปี พ.ศ. ... (ค.ศ. 1350) ใช้เวลายาวนาน 176 ปี

### 2 แม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetism)

แม่เหล็กไฟฟ้าเป็นอีกสาขาหนึ่งของฟิสิกส์ยุคเก่า โดยจะเน้นไปที่การศึกษาหลักการของแรงแม่เหล็กไฟฟ้า อันตรกิริยาระหว่างประจุ สนามไฟฟ้า สนามแม่เหล็ก คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า เป็นต้น

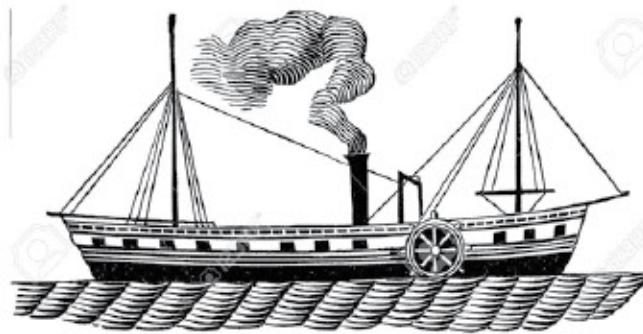
ในช่วงคริสต์ศตวรรษที่ 17 วิลเลียม กิลเบิร์ต (William Gilbert) ได้ค้นพบว่าทั้งวัตถุที่เป็นแม่เหล็กหรือประจุไฟฟ้า มีแรงดูดและแรงผลักระหว่างตัววัตถุ ต่อมาฮาน คริสเตียน ออยสเตด (Hans Christian Orsted) ได้ยืนยันด้วยการทดลองและอธิบายได้ถึงความสัมพันธ์ระหว่างไฟฟ้าและแม่เหล็ก ซึ่งต่อมา อังเดมารี แอมแปร์ (Andre-Marie Ampere) ได้อธิบายปรากฏเกี่ยวกับแม่เหล็กไฟฟ้าด้วยการทำการอธิบายทฤษฎีแม่เหล็กไฟฟ้าโดยใช้สมการทางคณิตศาสตร์ จนท้ายที่สุดทฤษฎีแม่เหล็กไฟฟ้าที่สมบูรณ์ได้ถูกรวบรวมโดย เจมส์ ซี แมกซ์เวลล์ (James C. Maxwell) ในนาม “สมการของแมกซ์เวลล์” ที่เป็นพื้นฐานของการศึกษาและการประยุกต์ใช้ทฤษฎีแม่เหล็กไฟฟ้าอื่นๆ ถัดไป



เจมส์ ซี แมกซ์เวลล์

### 3 อุณหพลศาสตร์ (Thermodynamics)

อุณหพลศาสตร์ คือ สาขาหนึ่งของฟิสิกส์ที่จะเน้นไปที่การศึกษาและทำความเข้าใจหลักการของความร้อน อุณหภูมิและปริมาณอื่นที่เกี่ยวข้อง ซึ่งจะถูกควบคุมอยู่ในหลักการที่เรียกว่ากฎแห่งอุณหพลศาสตร์ซึ่งจะมีอยู่ทั้งหมด 4 ข้อ อุณหพลศาสตร์แรกเริ่มเดิมที ได้ถูกคิดค้นเพื่อพัฒนาศักยภาพของเครื่องจักรไอน้ำ ซึ่งนักวิทยาศาสตร์รุ่นแรกๆ ที่สนใจศึกษาอุณหพลศาสตร์ คือ นิโคลาส คาร์โนต์ (Nicolas Carnot) ต่อมาลอร์ด เคลวิน (Lord Kelvin) คือ คนแรกๆ ที่ทำการจัดรูปแบบการศึกษาอุณหพลศาสตร์ให้อยู่ในรูปของสมการทางคณิตศาสตร์ที่ง่ายต่อการนำไปศึกษาต่อยอดและพัฒนา หากไม่มีความรู้ทางอุณหพลศาสตร์ ประเทศในแถบยุโรปคงไม่สามารถประดิษฐ์เครื่องจักรไอน้ำที่เป็นต้นแบบของเรือกลไฟที่ทำให้ชาวยุโรปเดินทางไปล่าอาณานิคมถึงโพ้นทะเล และมีอิทธิพลเหนืออาณานิคมอื่นได้สำเร็จ



เรือกลไฟสมัยแรกยุคปลายศตวรรษที่ 19

### 1.2 ฟิสิกส์ยุคใหม่ (Modern Physics)

จัดเป็นหลักการและทฤษฎีทางฟิสิกส์ที่ถูกค้นพบในช่วงต้นศตวรรษที่ 20 ซึ่งเกิดจากการที่ฟิสิกส์ยุคเก่าไม่สามารถอธิบายการค้นพบ หรือการทดลองใหม่ๆ เช่น ปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริก (Photoelectric effect) ที่พลังงานแสงสามารถแปรรูปกลายเป็นพลังงานไฟฟ้า เช่นสามารถพบเห็นได้ในอุปกรณ์โซลาร์เซลล์ เป็นต้น การศึกษาฟิสิกส์ยุคใหม่จะไม่สามารถใช้กรอบความคิดตามแบบของฟิสิกส์ยุคเก่าได้ เช่น ปรากฏการณ์ต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับสิ่งที่เล็กกว่าระดับอะตอม หรือไม่ก็ใหญ่ระดับกาแล็กซีไปแล้ว ฟิสิกส์ยุคใหม่สามารถแบ่งย่อยออกได้หลายประเภทดังนี้

### 1 ทฤษฎีสัมพัทธภาพ (Theory of Relativity)

ทฤษฎีสัมพัทธภาพต่อยอดมาจากกลศาสตร์แบบนิวตันที่มีจุดอ่อนตรงที่ไม่สามารถอธิบายวัตถุที่มีความเร็วเข้าใกล้แสงและวัตถุที่มีมวลมหาศาลได้อย่างถูกต้อง ซึ่งทฤษฎีสัมพัทธภาพนี้ได้ถูกกล่าวถึงเป็นครั้งแรกโดยนักฟิสิกส์ชาวเยอรมันเชื้อสายยิว อัลเบิร์ต ไอน์สไตน์ (Albert Einstein) โดยทฤษฎีสัมพัทธภาพจะแบ่งออกได้เป็นทฤษฎีย่อยสองทฤษฎีได้แก่ ทฤษฎีสัมพัทธภาพพิเศษ (Special relativity) ที่จะเน้นไปที่การศึกษาวัตถุที่มีความเร็วเข้าใกล้แสง ในขณะที่ทฤษฎีสัมพัทธภาพทั่วไป (General relativity) จะเน้นไปที่การศึกษาวัตถุที่มีมวลมหาศาลมากๆ เช่น ดวงดาว หลุมดำ กาแล็กซีหรือแม้แต่จักรวาล ทฤษฎีสัมพัทธภาพทั้งสองมีประโยชน์อย่างมากในการนำมาประยุกต์ใช้งานเพื่อการศึกษาความเป็นไปของจักรวาล หรือที่เรียกว่า จักรวาลวิทยา

### ความรู้เพิ่มเติม



**จักรวาลวิทยา (Cosmology)** เป็นการศึกษาเอกภพโดยรวม ซึ่งนับว่าเป็นการศึกษาถึงสิ่งที่ยิ่งใหญ่ และเป็นพื้นฐานที่สุดในเวลาเดียวกัน จักรวาลวิทยามุ่งเน้นที่จะศึกษาถึงองค์ประกอบ และความสัมพันธ์ของสรรพสิ่งทั้งหลายในเอกภพ พร้อมกับพยายามที่จะอธิบายความเป็นมาของเอกภพในอนาคต

### 2 กลศาสตร์ควอนตัม (Quantum Mechanics)

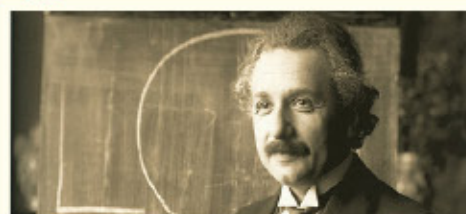
กลศาสตร์แบบดั้งเดิมจะใช้ในการอธิบายปรากฏการณ์ต่างๆ ในระดับมหภาคได้ในระดับที่แม่นยำมากๆ ในขณะที่ไม่สามารถอธิบายระบบของวัตถุที่มีขนาดเล็กมากๆ เช่น อะตอม หรืออิเล็กตรอน เป็นต้น สิ่งที่ทำให้กลศาสตร์ควอนตัมจะแตกต่างกับกลศาสตร์แบบดั้งเดิมตรงที่กลศาสตร์แบบดั้งเดิมจะมองว่าปริมาณใดๆ ในทางฟิสิกส์ เช่น พลังงาน โมเมนตัม และอื่นๆ มีความต่อเนื่องเหมือนกับการเดินขึ้นบันไดเรื่อยๆ เราสามารถก้าวเดินด้วยก้าวยาว ก้าวสั้น ครั้งก้าวก็ได้ ไม่จำกัด ในขณะที่กลศาสตร์ควอนตัมจะมองปริมาณใดๆ ว่ามีความไม่ต่อเนื่อง ทำให้สามารถแบ่งปริมาณออกได้เป็นระดับขั้น เช่นเดียวกับการเดินขึ้นบันได เราไม่สามารถ

ก้าวลงบันไดครึ่งขั้นได้ เรามีทางเลือกเดียว คือ ก้าวเหยียบไปที่ขั้นที่ 1 2 3 แบบเต็มขั้นเท่านั้น (ควอนตัม (quantum) มาจากคำว่า quantization ที่แปลว่าการแบ่งออกเป็นขั้นๆ) นอกจากนี้สิ่งที่จำแนกกลศาสตร์ควอนตัมออกจากกลศาสตร์ดั้งเดิม ได้แก่ คุณสมบัติทวิภาคี (Duality) ที่มองว่าวัตถุใดๆ สามารถเป็นได้ทั้งคลื่นและอนุภาค ในตัวเดียว รวมไปถึง หลักการความไม่แน่นอน (Uncertainty principle) ที่บอกว่าเป็นไปไม่ได้ที่เราจะวัด โมเมนตัม (ความเร็ว) และตำแหน่งของวัตถุได้อย่างแม่นยำไปพร้อมๆ กันได้

นักฟิสิกส์ที่มีอิทธิพลต่อการพัฒนาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับกลศาสตร์ควอนตัม ได้แก่ แมกซ์ พลังค์ (Max Planck), อัลเบิร์ต ไอน์สไตน์ (Albert Einstein), เออร์วิน ชโรดิงเจอร์ (Erwin Schrödinger), เวิร์นเนอร์ ไฮเซนเบิร์ก (Werner Heisenberg) เป็นต้น กลศาสตร์ควอนตัมมีอิทธิพลอย่างมากต่อการศึกษาวิชาเคมี เพราะกลศาสตร์ควอนตัม คือ หลักคิดที่ดีที่สุดในที่อธิบายปรากฏการณ์ทางธรรมชาติในระดับของอะตอมและโมเลกุล



### ความรู้เพิ่มเติม



อัลเบิร์ต ไอน์สไตน์ คือ บุคคลที่มีอิทธิพลต่อการศึกษากลศาสตร์ควอนตัมจากการอธิบายปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริกที่มองแสงซึ่งปกติจะเป็นคลื่นว่าเป็นก้อนพลังงานที่เรียกว่า “โฟตอน” การค้นพบนี้เป็นที่ยืนยันถึงความถูกต้องของกรอบความคิดแบบควอนตัม อย่างไรก็ตาม ไอน์สไตน์มองกลศาสตร์ควอนตัมในแง่ลบ เพราะกลศาสตร์ควอนตัมตั้งอยู่

บนหลักการของความไม่แน่นอน ทำให้การบอกปริมาณใดๆ ในเชิงควอนตัม จะอธิบายในรูปของความน่าจะเป็น ซึ่งขัดกับแนวคิดของไอน์สไตน์ที่เชื่อในหลักของความแม่นยำที่สามารถทำนายอนาคต หรืออธิบายอดีตของวัตถุได้อย่างแม่นยำของกลศาสตร์แบบดั้งเดิม ซึ่งหลักการคิดนี้เป็นฐานของทฤษฎีสัมพัทธภาพของเขา เขาเคยกล่าวเอาไว้ว่า **พระเจ้าไม่ทรงเล่นลูกเต๋าพรอก (God plays no dice)** คล้ายกับต้องการเสียดสีที่กลศาสตร์ควอนตัมมองทุกอย่างเป็นเรื่องของความน่าจะเป็น เหมือนกับที่เราไม่สามารถบอกได้ว่า ลูกเต๋าค่าจะออกแต้มไหน บอกได้แค่เพียงความน่าจะเป็นเท่านั้น

### 1.3 ความสำคัญของวิชาฟิสิกส์ต่อสาขาวิชาอื่น

**1 เคมี** ในอดีตการศึกษาวิชาเคมีจะเน้นไปที่การเรียนรู้ที่เกิดจากการสังเกต เช่น การนำสาร A มาผสมสาร B จะได้สาร C เป็นต้น การนำความรู้ทางฟิสิกส์ที่เกี่ยวข้องมาประยุกต์ใช้ เช่น กลศาสตร์ควอนตัม อุณหพลศาสตร์ เป็นต้น ทำให้สามารถต่อยอดความรู้ทางเคมีเดิมให้มีความลึกซึ้งมากยิ่งขึ้น เช่น ความร้อนที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาเคมี หรือการศึกษาสมดุลเคมี สามารถอธิบายในเชิงปริมาณได้โดยการประยุกต์ใช้กฎของเทอร์โมไดนามิก หรือแม้กระทั่งหลักการไฟฟ้าเคมีที่จะต้องมีความรู้เกี่ยวกับทฤษฎีแม่เหล็กไฟฟ้า เป็นต้น



**2 ชีววิทยา** ฟิสิกส์มีอิทธิพลอย่างมากต่อการศึกษาวิชาชีววิทยา เพราะความรู้ทางชีววิทยาในบางแขนงจะต้องใช้ความรู้ทางฟิสิกส์ในการเข้าไปศึกษาทำความเข้าใจ เช่น การสังเคราะห์ด้วยแสงที่ต้องใช้กลศาสตร์ควอนตัม เป็นต้น รวมไปถึงเครื่องมือต่างๆ เช่น กล้องจุลทรรศน์เชิงแสงที่ประยุกต์ใช้หลักการหักเหของแสงผ่านเลนส์ หรือแม้กระทั่งกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนที่มีกำลังขยายสูงมาก ซึ่งใช้หลักการความเป็นทั้งคลื่น และอนุภาค (duality) ของอิเล็กตรอน ซึ่งเป็นการต่อยอด หลักการของกลศาสตร์ควอนตัม



**3 วิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี** ความก้าวหน้าทางวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีจะเป็นไปไม่ได้เลยหากไม่มีพื้นฐานความรู้ทางฟิสิกส์ที่เพียงพอ เราคงไม่มีเครื่องจักรไอน้ำใช้หากไม่มีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับอุณหพลศาสตร์ คงไม่สามารถสร้างตึกที่สูง 100 ชั้นได้ ถ้าไม่มีความรู้กลศาสตร์แบบดั้งเดิมที่มีความแม่นยำในระดับสูง คงไม่มีโทรทัศน์ LCD หากไม่มีความรู้กลศาสตร์ควอนตัมที่เพียงพอ จะเห็นได้ว่าหลักการทางฟิสิกส์ส่งผลต่อการพัฒนา และการแสดงหาความรู้ใหม่ในการต่อยอดเทคโนโลยีต่างๆ ในขณะเดียวกันวิศวกรรมและเทคโนโลยีที่เจริญขึ้นก็ส่งผลต่อการศึกษาค้นคว้าความรู้ฟิสิกส์เช่นกัน คงไม่สามารถศึกษาพฤติกรรมของอนุภาคได้อย่างมีประสิทธิภาพมากนักหากไม่มีความรู้ทางวิศวกรรมที่เพียงพอในการสร้างเครื่องเร่งอนุภาคที่ดี



### ชวนคิด

ความรู้ทางฟิสิกส์ ส่งผลต่อการพัฒนาเศรษฐกิจของโลกตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบันอย่างไร



### แบบฝึกหัด 1.1

- จงอธิบายความแตกต่างระหว่างกลศาสตร์ดั้งเดิมและกลศาสตร์ควอนตัม
- ปรากฏการณ์โลกร้อน สามารถอธิบายด้วยหลักการทางฟิสิกส์ในสาขาใด และได้อธิบายไว้อย่างไร
- จงอธิบายความสำคัญของวิชาฟิสิกส์ ต่อการศึกษารณวิทยา
- หากต้องการศึกษาปรากฏการณ์ที่เกี่ยวข้องกับดาวพัลซาร์ ทฤษฎีใดมีความเหมาะสมมากที่สุด

## 2 ปริมาณและการเปลี่ยนหน่วยทางฟิสิกส์

ความรู้พื้นฐานและพัฒนนาการของวิชาฟิสิกส์ 11

### 2.1 ปริมาณในวิชาฟิสิกส์

ปริมาณในวิชาฟิสิกส์อาจแบ่งเป็นกลุ่มย่อยได้ดังนี้

- **ใช้ลักษณะของปริมาณเป็นเกณฑ์** จะแบ่งได้เป็น

1. **ปริมาณสเกลาร์** คือ ปริมาณที่รู้แต่ขนาดอย่างเดียวก็สามารถเข้าใจความหมายได้สมบูรณ์ เช่น มวล พลังงาน เป็นต้น

2. **ปริมาณเวกเตอร์** คือ ปริมาณที่ต้องรู้ทั้งขนาดและทิศทางจึงจะสามารถเข้าใจความหมายได้สมบูรณ์ เช่น การกระจัด แรง สนามไฟฟ้า สนามแม่เหล็ก เป็นต้น

- **ใช้ที่มาของปริมาณเป็นเกณฑ์** จะแบ่งได้เป็น

1. **ปริมาณมูลฐาน** คือ ปริมาณขั้นต้นทางฟิสิกส์ที่เป็นพื้นฐานของทุกปริมาณ จะมี 7 ชนิดที่มีมิติ (dimension) ที่เป็นอิสระซึ่งกันและกัน ได้แก่ ความยาว มวล เวลา กระแสไฟฟ้า อุณหภูมิ สัมบูรณ์ ความเข้มของการส่องสว่าง และปริมาณของสสาร

2. **ปริมาณอนุพัทธ์** คือ ปริมาณที่เกิดขึ้นจากการนำปริมาณมูลฐานทั้ง 7 ชนิดมาประกอบเข้าด้วยกันเช่น อัตราเร็วที่เกิดจากการนำระยะทางมาหารกับเวลา ตามสมการ  $v = \frac{s}{t}$  เป็นต้น เราจะสามารถกล่าวได้ว่าอัตราเร็ว คือ ปริมาณอนุพัทธ์เพราะเกิดจากผลหารระหว่างปริมาณมูลฐานสองตัว ปริมาณอนุพัทธ์ทุกตัวเมื่อนำมาแยกย่อยจะพบว่าจะมีปริมาณมูลฐานเป็นองค์ประกอบเสมอ

### 2.2 หน่วยทางฟิสิกส์

หน่วยของการวัดถูกนิยามว่าขนาดของปริมาณหนึ่งๆ ที่ถูกตั้งให้เป็นค่ามาตรฐาน เพื่อที่จะนำไปเปรียบเทียบกับปริมาณชนิดเดียวกันที่มีขนาดต่างๆ ในรูปของจำนวนเท่าของหน่วยนั้นๆ ยกตัวอย่าง เช่น หน่วย “ฟุต (foot)” คือ หน่วยของความยาวที่ถูกนิยามตามความยาว โดยเฉลี่ยของเท้ามนุษย์ในประเทศอังกฤษเมื่อหลายร้อยปีก่อน หากใช้ความยาวของเท้าเป็นมาตรฐานของการวัดความยาวใดๆ ที่มีมากกว่าหรือน้อยกว่าเท้าของมนุษย์ จะบอกเป็นจำนวนเท่าของของความยาวเท่านั้น ยกตัวอย่างเช่น ความยาว 3 ฟุต หมายถึง การมีความยาวเป็นสามเท่าของความยาวของเท้า ดังนั้น

ในยุคอดีต แต่ละประเทศหรือแม้กระทั่งแต่ละเมือง มีหน่วยการวัดที่แตกต่างกัน เช่น ประเทศไทยมีหน่วยวัดระยะทางเป็นหน่วย “โยชน์” ในขณะที่ประเทศอังกฤษจะวัดพื้นที่เป็น “ไมล์” ส่วนประเทศจีนจะวัดเป็นหน่วย “ลี้” ถึงแม้ว่าเราสามารถแปลงหน่วยหนึ่งไปเป็นอีกหน่วยหนึ่งได้ แต่ก็ก่อให้เกิดความไม่สะดวกในการใช้งาน

วิทยาศาสตร์ไม่ใช่ศาสตร์ที่เป็นของประเทศใดประเทศหนึ่ง แต่เป็นของคนทั้งโลก ดังนั้นหน่วยที่ใช้ในวิทยาศาสตร์จึงไม่ใช่หน่วยของประเทศใดประเทศหนึ่งเช่นกัน แต่เป็นหน่วยสากลที่ได้รับการยอมรับจากประเทศต่างๆ ทั่วโลก เพื่อให้การใช้หน่วยที่เป็นมาตรฐานเดียวกันในวงการวิทยาศาสตร์ทั่วทั้งโลก องค์การระหว่างประเทศว่าด้วยมาตรฐาน (International Organization for Standardization, ISO) จึงได้กำหนดมาตรฐานขึ้นมา เรียกว่า **ระบบหน่วยนานาชาติ (The International System of Units, SI)** หรือที่เรียกสั้นๆ ว่า **ระบบเอสไอ** เพื่อให้เป็นมาตรฐานในการวัดในวงการวิทยาศาสตร์ทั่วทุกประเทศ

### 2.3 ระบบหน่วยเอสไอ (SI units)

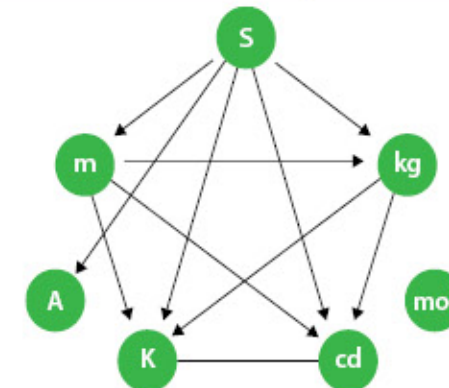
ระบบหน่วย SI หรือ International System of units ประกอบด้วยหน่วยฐาน (base units) และหน่วยอนุพัทธ์ (derived units) ซึ่งจะสามารถอธิบายได้ดังนี้

### 2.4 หน่วยฐาน (Base units)

หน่วยฐาน คือ หน่วยที่เป็นพื้นฐานโดยอิงตามปริมาณมูลฐานทั้ง 7 ที่ได้กล่าวไปแล้วในหัวข้อก่อนหน้า หน่วยฐานจะมีทั้งหมด 7 หน่วย โดยจะจำแนกได้ตามตาราง 1.1

ตาราง 1.1 หน่วยฐานในระบบหน่วยเอสไอ

| Base quantity                                | Name                | Symbol |
|----------------------------------------------|---------------------|--------|
| ความยาว (length)                             | เมตร (meter)        | m      |
| มวล (mass)                                   | กิโลกรัม (kilogram) | kg     |
| เวลา (time)                                  | วินาที (second)     | s      |
| กระแสไฟฟ้า (electric current)                | แอมแปร์ (ampere)    | A      |
| อุณหภูมิ (temperature)                       | เคลวิน (kelvin)     | K      |
| ปริมาณของสสาร (amount of substance)          | โมล (mole)          | mol    |
| ความเข้มของการส่องสว่าง (luminous intensity) | แคนเดลา (candela)   | cd     |



การขึ้นต่อของนิยาม  
ในหน่วยฐาน SI ทั้งเจ็ด

หน่วย SI ทั้ง 7 นั้นจะมีมิติที่เป็นอิสระซึ่งกันและกัน ซึ่งการวิเคราะห์มิติของปริมาณจำเป็น ต้องใช้ในการคำนวณพื้นฐานที่ใช้ในงานด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

ชื่อและสัญลักษณ์ของหน่วย SI ส่วนใหญ่แล้วนั้นจะเขียนด้วยตัวอักษรตัวเล็ก ตัวอย่างเช่น หน่วยเมตร จะมีสัญลักษณ์คือ m ยกเว้นสัญลักษณ์ที่ตั้งมาจากชื่อของบุคคลที่จะขึ้นต้นด้วยตัวอักษร ตัวใหญ่ เช่น หน่วยเคลวิน จะมีสัญลักษณ์คือตัว K เพราะว่า kelvin เป็นชื่อของนักวิทยาศาสตร์ที่ชื่อ ว่า ลอร์ด เคลวิน (Lord Kelvin) และหน่วยแอมแปร์จะเขียนด้วยตัวอักษรตัวเองเช่นกัน เพราะตั้งชื่อ มาจากนักวิทยาศาสตร์ชื่อ อังเดร มารี แอมแปร์

### หน่วยอนุพัทธ์ (Derived Units)

หน่วยอนุพัทธ์ คือ หน่วยของปริมาณอนุพัทธ์ที่เกิดจากผลลัพธ์ของการนำปริมาณมูลฐาน ตั้งแต่สองชนิดขึ้นไปมาคำนวณ ยกตัวอย่างเช่น ความเร็ว (v) เกิดจากการกระจัดที่มีหน่วยเป็นเมตร (m) หารด้วยเวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่มีหน่วยเป็นวินาที (s) ดังสมการ

$$v = \frac{s}{t}$$

ดังนั้น หน่วยของความเร็ว คือ **“เมตรต่อวินาที (m/s)”**

ความเร่ง (a) เกิดจากการนำความเร็ว (v) ที่มีหน่วยเป็นเมตรต่อวินาที (m/s) หารด้วย เวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่มีหน่วยเป็นวินาที (s) ดังสมการ

$$a = \frac{v}{t}$$

ดังนั้น หน่วยของความเร่ง คือ **“เมตรต่อวินาทีกำลังสอง (m/s<sup>2</sup>)”**

เมื่อนำมวลที่มีหน่วยเป็นกิโลกรัม (kg) มาคูณกับความเร่งที่มีหน่วยเป็นเมตรต่อวินาทีกำลังสอง (m/s<sup>2</sup>) จะได้ปริมาณใหม่ที่เรียกว่า **“แรง”** ซึ่งหน่วยของแรงจะเกิดจากผลคูณของหน่วยของมวลและหน่วย ของความเร่งดังสมการ

$$F = ma$$

ดังนั้นหน่วยของแรง คือ **“กิโลกรัมเมตรต่อวินาทีกำลังสอง (kg m/s<sup>2</sup>)”** ซึ่งสามารถเรียก ด้วยชื่อพิเศษว่า **“นิวตัน (N)”** หน่วยอนุพัทธ์ที่มีชื่อ และสัญลักษณ์พิเศษตามที่บัญญัติไว้ในระบบ หน่วย SI จะมี 22 ชนิด ได้แก่

ตาราง 1.2 หน่วยอนุพัทธ์ตามระบบหน่วย SI ที่มีชื่อและสัญลักษณ์พิเศษ

| ปริมาณอนุพัทธ์                                                        | หน่วยอนุพัทธ์                 |           |                                                                   |
|-----------------------------------------------------------------------|-------------------------------|-----------|-------------------------------------------------------------------|
|                                                                       | ชื่อหน่วย                     | สัญลักษณ์ | สัญลักษณ์ในรูปหน่วยฐาน                                            |
| มุมระนาบ (plane angle)                                                | เรเดียน (radian)              | rad       | m·m <sup>-1</sup> = 1 (ไม่มีมิติ)                                 |
| มุมตัน* (solid angle)                                                 | สเตอเรเดียน (steradian)       | sr        | m <sup>2</sup> ·m <sup>-2</sup> = 1 (ไม่มีมิติ)                   |
| ความถี่ (frequency)                                                   | เฮิร์ต (hertz)                | Hz        | s <sup>-1</sup>                                                   |
| แรง (force)                                                           | นิวตัน (newton)               | N         | kg·m·s <sup>-2</sup>                                              |
| ความดัน, ความเค้น (pressure, stress)                                  | พาสคัล (pascal)               | Pa        | kg·m <sup>-1</sup> ·s <sup>-2</sup>                               |
| พลังงาน, งาน, ความร้อน (energy, work, quantity of heat)               | จูล (joule)                   | J         | kg·m <sup>2</sup> ·s <sup>-2</sup>                                |
| กำลัง, พลังของการแผ่รังสี (power, radiant ux)                         | วัตต์ (watt)                  | W         | kg·m <sup>2</sup> ·s <sup>-3</sup>                                |
| ประจุไฟฟ้า (electric charge)                                          | คูลอมบ์ (coulomb)             | C         | A·s                                                               |
| ศักย์ไฟฟ้า, แรงเคลื่อนไฟฟ้า (electric potential, electromotive force) | โวลต์ (volt)                  | V         | kg·m <sup>2</sup> ·A <sup>-1</sup> ·s <sup>-3</sup>               |
| ความจุไฟฟ้า (capacitance)                                             | ฟารัด (farad)                 | F         | A <sup>2</sup> ·s <sup>4</sup> ·kg <sup>-1</sup> ·m <sup>-2</sup> |
| ความต้านทานไฟฟ้า (electric resistance)                                | โอห์ม (ohm)                   |           | kg·m <sup>2</sup> ·A <sup>-2</sup> ·s <sup>-3</sup>               |
| ความนำไฟฟ้า (electric conductance)                                    | ซีเมนส์ (siemens)             | S         | kg <sup>-1</sup> ·m <sup>-2</sup> ·A <sup>2</sup> ·s <sup>3</sup> |
| ฟลักซ์แม่เหล็ก (magnetic ux)                                          | เวเบอร์ (weber)               | Wb        | kg·m <sup>2</sup> ·s <sup>-2</sup> ·A <sup>-1</sup>               |
| ความหนาแน่นของฟลักซ์แม่เหล็ก (magnetic ux density)                    | เทสลา (tesla)                 | T         | kg·s <sup>-2</sup> ·A <sup>-1</sup>                               |
| ความเหนี่ยวนำแม่เหล็ก (inductance)                                    | เฮนรี (henry)                 | H         | m <sup>2</sup> ·kg·s <sup>-2</sup> ·A <sup>-2</sup>               |
| อุณหภูมิเซลเซียส (Celsius temperature)                                | องศาเซลเซียส (degree Celsius) | °C        | K                                                                 |
| ฟลักซ์ของการส่องสว่าง (luminous ux)                                   | ลูเมน (lumen)                 | lm        | cd                                                                |
| ความส่องสว่าง (illuminance)                                           | ลักซ์ (lux)                   | lx        | cd·m <sup>-2</sup>                                                |
| กัมมันตภาพ (รังสี) (activity (of a radionuclide))                     | เบกเคอเรล (becquerel)         | Bq        | s <sup>-1</sup>                                                   |
| ปริมาณรังสีดูดกลืน* (absorbed dose)                                   | เกรย์ (gray)                  | Gy        | m <sup>2</sup> ·s <sup>-2</sup>                                   |
| ปริมาณรังสีสมมูล* (dose equivalent)                                   | ซีเวิร์ท (sievert)            | Sv        | m <sup>2</sup> ·s <sup>-2</sup>                                   |
| อัตราเร็วของปฏิกิริยา* (catalytic activity)                           | คาทาล (katal)                 | kat       | s <sup>-1</sup> ·mol                                              |

\* หน่วยอนุพัทธ์เหล่านี้ จะไม่ปรากฏในบทเรียนฟิสิกส์ระดับมัธยมปลาย

## 2.4 การเขียนปริมาณในรูปของเลขยกกำลัง

เมื่อปริมาณมูลฐานหรือปริมาณอนุพัทธ์ใด ๆ มีค่ามากหรือน้อยเกินไปทำให้ไม่สะดวกในการอ่านค่า การนำมาเขียนในรูปของเลขกำลัง (เรียกอีกอย่างหนึ่งว่าตัวพหุคูณ) จึงเป็นทางเลือกที่เหมาะสมให้อ่านค่าปริมาณต่าง ๆ ได้สะดวก และรวดเร็ว ยกตัวอย่างเช่น 0.000005 m จะสามารถเขียนได้เป็น  $5 \times 10^{-6}$  m

### ตัวอย่าง 1.1 “การเขียนจำนวนในรูปของเลขยกกำลัง”

1. จงเขียน 380,000,000 ในรูปของเลขยกกำลัง

$$\begin{aligned} 380,000,000 &= 38 \times 10^7 \\ &= 3.8 \times 10^8 \end{aligned}$$

2. จงเขียน 0.000065 ในรูปของเลขยกกำลัง

$$\begin{aligned} 0.000065 &= \frac{65}{1,000,000} \\ &= \frac{65}{10^6} \\ &= 65 \times 10^{-6} \\ &= 6.5 \times 10^{-5} \end{aligned}$$

อย่างไรก็ตาม การเขียนปริมาณทางวิทยาศาสตร์ด้วยเลขยกกำลังก็ยังไม่สะดวกต่อการใช้งานจริง จึงมีการนำสิ่งที่เรียกว่า “**คำนำหน้าหน่วย (prefix)**” มาเพื่อแก้ปัญหานี้ ยกตัวอย่างเช่น ระยะทางจากสงขลาไปหาดใหญ่คือ 26000 เมตร ถ้าดูจากตัวเลข ระยะ 26000 เมตร ดูแล้วมีค่าเยอะมาก ต่อมาเมื่อนำมาเขียนในรูปเลขยกกำลัง จะได้  $2.6 \times 10^4$  เมตร ซึ่งก็ดูแล้วการเขียนในรูปปกติ (ที่ไม่ใช่เลขยกกำลัง) ยังเห็นภาพได้ชัดเจนกว่า แต่หากพิจารณาคำนำหน้าหน่วย (prefix) มาใช้ ซึ่งคำนำหน้าหน่วยที่เหมาะสมในที่นี้คือ kilo- (กิโล-) จากตารางเลขยกกำลังของกิโล คือ  $10^3$  ดังนั้น 26000 เมตร จะมีค่าเท่ากับ  $26 \times 10^3$  เมตร ซึ่งหากใช้คำนำหน้าหน่วยกิโล จะได้เป็น 26 กิโลเมตร จะเห็นได้อย่างหนึ่งว่าในกรณีของระยะทางจากหาดใหญ่ไปสงขลา หน่วยกิโลเมตรจะมีความเหมาะสมมากกว่าหน่วยเมตรเพราะตัวเลขไม่มากเกินไป ไม่น้อยเกินไป สะดวกต่อการอ่าน และการทำความเข้าใจหลักการเลือกคำนำหน้าหน่วยไม่มีหลักตายตัว ทั้งนี้ ขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อม และความนิยมในแต่นั้นๆ ยกตัวอย่างเช่น ระยะห่างระหว่างเมืองมักจะใช้หน่วยกิโลเมตร ในขณะที่ระยะห่างระหว่างอะตอมจะใช้หน่วยเป็นนาโนเมตร เป็นต้น

ตาราง 1.3 คำนำหน้าหน่วย (prefix) ที่สำคัญ

| ตัวพหุคูณ  | คำนำหน้าหน่วย | คำอ่าน | คำย่อ |
|------------|---------------|--------|-------|
| $10^{12}$  | tera-         | เทระ-  | T     |
| $10^9$     | giga-         | จิกะ-  | G     |
| $10^6$     | mega-         | เมกะ-  | M     |
| $10^3$     | kilo-         | กิโล-  | k     |
| $10^2$     | hecto-        | เฮกโต- | h     |
| $10^1$     | deca-         | เดคา-  | da    |
| $10^{-1}$  | deci-         | เดซี-  | d     |
| $10^{-2}$  | centi-        | เซนติ- | c     |
| $10^{-3}$  | milli-        | มิลลิ- | m     |
| $10^{-6}$  | micro-        | ไมโคร- | $\mu$ |
| $10^{-9}$  | nano-         | นาโน-  | n     |
| $10^{-12}$ | pico-         | พิโก-  | p     |



### เรื่องน่ารู้

หน่วยพิเศษที่นิยมใช้ในการวัดระยะทางของสิ่งที่มีระดับอะตอมหรือโมเลกุล คือ หน่วย “**อังสตรอม (Angstrom)**” สัญลักษณ์แทนหน่วยอังสตรอม คือ (Å) โดยที่ 1 Å จะมีค่าเท่ากับ  $10^{-10}$  เมตร ซึ่งอังสตรอมเป็นหน่วยที่เล็กกว่าระดับนาโนเมตรแต่ยังใหญ่กว่าพิโคเมตร

## 2.5 การเปลี่ยนหน่วยทางฟิสิกส์

นักฟิสิกส์ศึกษาปรากฏการณ์ต่างๆ ตั้งแต่ระดับที่เล็กกว่านิวเคลียสของอะตอม ไปจนถึงระดับที่ใหญ่กว่ากาแล็กซี ดังนั้น หน่วยของการวัดที่ใช้จึงสามารถมีได้หลายระดับ

การเปลี่ยนหน่วยจึงมีความสำคัญ เพราะการจะเปรียบเทียบปริมาณใดๆ หน่วยของปริมาณนั้นๆ จะต้องมีความเท่ากันก่อน เมื่อต้องการเปรียบเทียบมวล 10 กิโลกรัมจะมีค่าเท่ากับมวล 10 กรัมหรือไม่ ถึงแม้ค่าของปริมาณดังกล่าวจะเป็นเลข 10 เหมือนกัน แต่ก็ไม่สามารถนำมาเปรียบเทียบว่าเท่ากันได้ เพราะหน่วยของปริมาณทั้งสองแตกต่างกัน ดังนั้น เมื่อทำให้หน่วยของมวลทั้งสองเท่ากัน จะได้ดังนี้

$$10 \text{ kg} = 10 \times 10^3 \text{ g} = 10,000 \text{ g}$$

เมื่อเปรียบเทียบกันแล้วจะเห็นได้ชัดเลยว่ามวล 10,000 กรัม (หรือ 10 กิโลกรัม) จะมีค่าไม่เท่ากับมวล 10 กรัมอย่างแน่นอน ดังนั้น พี่จะสักเอาไว้ว่าหากต้องการจะเปรียบเทียบปริมาณใดๆ หน่วยของปริมาณนั้นๆ จะต้องเป็นหน่วยเดียวกันก่อนเสมอ สำหรับการเปลี่ยนหน่วยจะแบ่งออกได้เป็น 3 กรณีใหญ่ๆ คือ

1. การเปลี่ยนหน่วยที่มีค่านำหน้าหน่วยให้เป็นหน่วยฐาน
2. การเปลี่ยนฐานให้เป็นหน่วยที่มีค่านำหน้าหน่วย
3. การเปลี่ยนหน่วยที่มีค่านำหน้าหน่วย (1) ให้เป็นหน่วยที่มีค่านำหน้าหน่วย (2)

### ตัวอย่าง 1.2 “การเปลี่ยนหน่วยที่มีค่านำหน้าหน่วยให้เป็นหน่วยฐาน”

จงหาว่ากระแสไฟฟ้า  $9 \times 10^5$  นาโนแอมแปร์ จะมีค่าเท่ากับกี่แอมแปร์

วิธีทำ

ในการเปลี่ยนหน่วยสิ่งที่ต้องพิจารณา คือ ตัวพหุคูณของค่านำหน้าหน่วยในหน่วยนั้นๆ ในกรณีของตัวอย่างนี้ค่านำหน้าหน่วย “นาโน” จะมีตัวพหุคูณ คือ  $10^{-9}$  โดยโจทย์กำหนดให้เปลี่ยนจากนาโนแอมแปร์ (nA) เป็นแอมแปร์ (A) หลักการคิด คือ

“การเปลี่ยนหน่วยจากหน่วยที่มีค่านำหน้าหน่วยมาเป็นหน่วยฐาน จะต้องนำตัวพหุคูณของค่านำหน้าหน่วยนั้นๆ มาคูณ”

ดังนั้น จะได้ว่า

$$9 \times 10^5 \text{ nA} = (9 \times 10^5) \times 10^{-9} \text{ A} = 9 \times 10^{-4} \text{ A}$$

คำตอบของข้อนี้จะได้ว่า

“กระแสไฟฟ้า  $9 \times 10^5$  นาโนแอมแปร์ จะมีค่าเท่ากับ  $9 \times 10^{-4}$  แอมแปร์”

### ตัวอย่าง 1.3 “การเปลี่ยนฐานให้เป็นหน่วยที่มีค่านำหน้าหน่วย”

จงหาว่าความต้านทานไฟฟ้า  $5 \times 10^5$  โอห์มจะมีค่าเท่ากับกี่กิโลโอห์ม

วิธีทำ

ในกรณีของตัวอย่างนี้ค่านำหน้าหน่วย “กิโล” จะมีตัวพหุคูณ คือ  $10^3$  โดยโจทย์กำหนดให้เปลี่ยนจากโอห์ม (Ω) เป็นกิโลโอห์ม (kΩ) หลักการคิดคือ

“การเปลี่ยนหน่วยจากหน่วยฐานมาเป็นหน่วยที่มีค่านำหน้าหน่วย จะต้องนำตัวพหุคูณของค่านำหน้าหน่วยนั้นๆ มาหาร”

ดังนั้น จะได้ว่า

$$\begin{aligned} 5 \times 10^5 \Omega &= \frac{(5 \times 10^5)}{10^3} \text{ k}\Omega = 5 \times 10^5 \times 10^{-3} \text{ k}\Omega \\ &= 5 \times 10^2 \text{ k}\Omega \\ &= 500 \text{ k}\Omega \end{aligned}$$

คำตอบของข้อนี้จะได้ว่า

“ความต้านทานไฟฟ้า  $5 \times 10^5$  โอห์มจะมีค่าเท่ากับ 500 กิโลโอห์ม”

### ตัวอย่าง 1.4 “การเปลี่ยนหน่วยที่มีค่านำหน้าหน่วย (1) ให้เป็นหน่วยที่มีค่านำหน้าหน่วย (2)”

มวล 400 นาโนกรัม จะมีค่าเท่ากับกี่มิลลิกรัม

วิธีทำ

- (1) จะต้องเปลี่ยนจากหน่วยที่มีค่านำหน้าหน่วย (1) ให้เป็นหน่วยฐานก่อน นั่นคือ เปลี่ยนจากนาโนกรัม (ng) ให้กลายเป็นกรัม (g) ก่อน โดยใช้หลักการตามตัวอย่างที่ 1 (ตัวพหุคูณของนาโนคือ  $10^{-9}$ )

$$\begin{aligned} 400 \text{ ng} &= (400) \times 10^{-9} \text{ g} = 400 \times 10^{-9} \text{ g} \\ &= 4 \times 10^{-7} \text{ g} \\ &= 500 \text{ k}\Omega \end{aligned}$$

- (2) ต่อมาเมื่อได้หน่วยฐานมาแล้ว ก็เปลี่ยนค่าจากหน่วยฐานให้กลายเป็นหน่วยที่มีค่านำหน้าหน่วย (2) โดยใช้หลักการตามตัวอย่างที่ 2 (ตัวพหุคูณของมิลลิคือ  $10^{-3}$ )

$$\begin{aligned} 4 \times 10^{-7} \text{ g} &= \frac{(4 \times 10^{-7})}{10^{-3}} \text{ mg} = 400 \times 10^{-7} \text{ g} \times 10^3 \text{ mg} \\ &= 4 \times 10^{-4} \text{ mg} \end{aligned}$$

ดังนั้นคำตอบของข้อนี้จะได้ว่า

“มวล 400 นาโนกรัม จะมีค่าเท่ากับ  $4 \times 10^{-4}$  มิลลิกรัม”

สำหรับกรณีของการเปลี่ยนหน่วยปริมาณที่มากกว่า 1 มิติ เช่น พื้นที่ ( $\text{m}^2$ ) หรือปริมาตร ( $\text{m}^3$ ) สามารถใช้หลักการเดียวกับที่อธิบายในตัวอย่าง 1 - 3 ได้เลย เพียงแต่สิ่งที่ต้องพิจารณาเพิ่ม คือ ตัวพหุคูณ (เลขยกกำลังของหน่วยนั้นๆ) ที่นำมาใช้ในการเปลี่ยนหน่วย จะต้องนำมายกกำลังด้วยได้แก่ จะต้องนำตัวพหุคูณมายกกำลังสองสำหรับพื้นที่ และนำมายกกำลังสามสำหรับปริมาตร

### ตัวอย่าง 1.5 “การเปลี่ยนหน่วยพื้นที่”

พื้นที่ 10 ตารางเมตร จะมีค่าเท่ากับกี่ตารางเซนติเมตร  
จากเมตรเป็นเซนติเมตร คือ การเปลี่ยนจากหน่วยฐานมาเป็นหน่วยที่มีค่านำหน้าหน่วย จะต้องนำตัวพหุคูณของหน่วยนั้นมาทำการ “หาร” แต่เนื่องจากเป็นหน่วยของพื้นที่เลขพหุคูณของเซนติเมตร จึงต้องถูกนำมายกกำลังสองก่อน

$$\begin{aligned} 10 \text{ m}^2 &= \frac{10}{(10^{-2})^2} \text{ cm}^2 = \frac{10}{10^{-4}} \text{ cm}^2 \\ &= 10 \times 10^4 \text{ cm}^2 \\ &= 10^5 \text{ cm}^2 \\ &= 100,000 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

**คำตอบ** พื้นที่ 10 ตารางเมตร จะมีค่าเท่ากับ 100,000 ตารางเซนติเมตร

### ตัวอย่าง 1.6 “การเปลี่ยนหน่วยปริมาตร”

ปริมาตร 15 ลูกบาศก์มิลลิเมตร จะมีค่าเท่ากับกี่ลูกบาศก์เมตร  
จากมิลลิเมตรเป็นเมตร คือ การเปลี่ยนจากหน่วยที่มีค่านำหน้าหน่วยมาเป็นหน่วยฐาน จะต้องนำตัวพหุคูณของหน่วยนั้นมาทำการ “คูณ” แต่เนื่องจากเป็นหน่วยของพื้นที่เลขพหุคูณของมิลลิจึงต้องถูกนำมายกกำลังสามก่อน

$$\begin{aligned} 15 \text{ mm}^3 &= 15 \times (10^{-3})^3 \text{ m}^3 \\ &= 15 \times 10^{-9} \text{ m}^3 \\ &= 1.5 \times 10^{-8} \text{ m}^3 \\ &= 0.000015 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

**คำตอบ** ปริมาตร 15 ลูกบาศก์มิลลิเมตรจะมีค่าเท่ากับ 0.000015 ตารางเมตร



#### แบบฝึกหัด 1.2

1.  $9.5 \times 10^5 \text{ nA}$  มีค่าเท่ากับกี่ A
2.  $3.5 \times 10^4 \Omega$  มีค่าเท่ากับกี่ k $\Omega$
3. มวล 500 นาโนกรัม มีค่าเท่ากับกี่ไมโครกรัม
4. แสงสีเหลืองมีความยาวคลื่น 0.000006 m จะมีค่าเท่ากับกี่นาโนเมตร
5. ถังน้ำสี่เหลี่ยมก้นตั้งมีพื้นที่ 1.5 ตารางเมตร สูง 1.2 เมตร จะบรรจุน้ำได้มากที่สุด กี่ลิตร

## 3 การวัดและการทดลองทางฟิสิกส์

### 3.1 ความไม่แน่นอนในการวัด

การวัด คือ กระบวนการที่เราใช้เครื่องมือในการหาว่าปริมาณทางฟิสิกส์ที่สนใจนั้นมีค่าเท่ากับเท่าไร เครื่องมือวัดต่างชนิดกัน เมื่อนำมาทำการวัดก็จะให้ความละเอียดที่ไม่เท่ากัน ยกตัวอย่างเช่น หากเราต้องการวัดความยาว อุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดความยาวก็มีตั้งแต่ ไม้มรววัด เวอร์เนียคาลิเปอร์ ไม้มิเตอร์ หลักรักโล แน่นอนว่าเครื่องมือแต่ละชนิดจะเหมาะกับการวัดต่างประเภท หากต้องการวัดความหนาของแผ่นเหล็ก เวอร์เนียคาลิเปอร์ย่อมมีความเหมาะสม แต่ในกรณีของการวัดระยะทางระหว่างอำเภอต่างๆ หลักรักโลย่อมมีความเหมาะสมกว่าไม้มรววัด หรือเวอร์เนียคาลิเปอร์ เป็นต้น ดังนั้น ในการวัดแต่ละครั้งการเลือกเครื่องมือที่ใช้วัดจึงมีความสำคัญ เพราะความแม่นยำในการวัดจะขึ้นอยู่กับความเหมาะสมของอุปกรณ์ที่นำมาวัด นอกจากนี้ความสามารถ และประสิทธิภาพของผู้วัดก็มีความสำคัญเช่นกัน เมื่อนำทั้งนี้มาทำการวัดโดยใช้ไม้มรววัดที่มีความละเอียดของสเกลที่แตกต่างกัน



การวัดความยาวของแท่งไม้ โดยใช้มรววัดที่มีสเกลละเอียดสุดที่ 1 เซนติเมตร

จากรูป ไม้มรววัดจะมีสเกลที่ละเอียดสุด คือ 1 เซนติเมตร เนื่องจากสเกลแต่ละขีดค่อนข้างห่างกันมาก ดังนั้น จะสามารถวัดโดยการแบ่งสเกลได้อีกเป็น 10 ส่วน ทำให้สามารถกล่าวได้ว่าไม้มรววัดนี้สามารถวัดได้ละเอียดสุด 0.1 เซนติเมตร เมื่ออ่านค่าความยาวของแท่งไม้สามารถบอกได้ว่า แท่งไม้มีความยาวอยู่ประมาณ 6 ส่วน 10 ของช่องสเกล ทำให้สามารถอ่านค่าความยาวของแท่งไม้ได้เป็น  $3.6 \pm 0.1$  เซนติเมตร (ตัวเลข  $\pm 0.1$  จะบ่งบอกถึงความละเอียดของเครื่องมือที่โอกาสจะอ่านค่าผิดพลาดจะอยู่ในช่วง  $+0.1$  และ  $-0.1$  จากค่าที่อ่านได้ ทศนิยมของค่าที่อ่าน จะต้องเท่ากับทศนิยมของค่าความผิดพลาด)



การวัดความยาวของแท่งไม้ โดยใช้บรรทัดที่มีสเกลละเอียดสุดที่ 0.1 เซนติเมตร

ถัดมา นำแท่งไม้อันเดิมมาวัดกับไม้บรรทัดที่มีสเกลที่ละเอียดยิ่งขึ้น โดยไม้บรรทัดนี้มีขีดที่ละเอียดที่สุด คือ 0.1 เซนติเมตร แต่เนื่องจากสเกลนี้มีขนาดเล็ก การจะประมาณโดยแบ่งสเกลออกเป็น 10 ส่วนจึงทำได้ยาก สิ่งที่จะทำได้ คือ การประมาณครึ่ง ดังนั้นสเกล 0.1 เซนติเมตรของไม้บรรทัดอันใหม่นี้จะสามารถประมาณได้เพิ่มเติมได้ละเอียดถึง 0.05 เซนติเมตร ปลายของแท่งไม้ตรงกับขีด 3.6 เซนติเมตรพอดี ดังนั้นจะสามารถอ่านค่าความยาวของแท่งไม้ได้เป็น  $3.60 \pm 0.05$  เซนติเมตร (ตัวเลข  $\pm 0.05$  จะบ่งบอกถึงความละเอียดของเครื่องวัดที่ว่า โดยบอกว่าความผิดพลาดในอ่านค่าจะอยู่ในช่วง  $+0.05$  และ  $-0.05$  จากค่าที่อ่านได้ ตำแหน่งทศนิยมของค่าที่อ่านจะต้องเท่ากับทศนิยมของค่าความผิดพลาด ดังนั้นการเขียนที่ถูกต้อง จะต้องเขียน 3.60 เซนติเมตร)

เมื่อทำการเปรียบเทียบไม้บรรทัดเล่มแรกที่มีค่าความผิดพลาด  $\pm 0.1$  เซนติเมตร กับไม้บรรทัดเล่มที่สองที่มีค่าความผิดพลาด  $\pm 0.05$  เซนติเมตร จะมีความละเอียดที่มากกว่าไม้บรรทัดเล่มที่หนึ่ง เพราะมีค่าความผิดพลาดที่น้อยกว่า

### 3.2 เลขนัยสำคัญ (Significant number)

เลขนัยสำคัญ (Significant number) คือ เลขที่ได้จากการอ่านค่าจากเครื่องวัด โดยจำนวนของเลขนัยสำคัญจะขึ้นอยู่กับความละเอียดของเครื่องมือที่ใช้ในการวัด

#### • หลักในการนับจำนวนตัวของเลขนัยสำคัญ

- ❶ เลขที่ไม่ใช่เลข 0 ทุกตัวถือเป็นเลขนัยสำคัญ
- ❷ เลข 0 ที่อยู่หน้าจำนวนทั้งหมด (ที่ไม่ใช่ศูนย์) จะไม่ถือเป็นเลขนัยสำคัญ เช่น 0.000523 จะมีเลขนัยสำคัญ 3 ตัวคือ 5, 2 และ 3 เท่านั้น
- ❸ เลข 0 ที่อยู่ระหว่างจำนวน จะนับเป็นเลขนัยสำคัญ เช่น 3.05 มีเลขนัยสำคัญ 3 ตัวคือ 3, 0 และ 5
- ❹ สำหรับรูปทศนิยม 0 ที่อยู่ข้างหลัง จะนับเป็นเลขนัยสำคัญ เช่น 4.00 จะมีเลขนัยสำคัญ 3 ตัวคือ 4, 0, และ 0

❺ สำหรับรูปที่ไม่ใช่ทศนิยม เลข 0 ที่อยู่หลังจำนวนจะไม่ถูกนับว่าเป็นเลขนัยสำคัญ เช่น 2400 มีเลขนัยสำคัญ 2 ตัว คือ เลข 2 กับ 4 เท่านั้น

❻ ถ้าเขียนจำนวนในรูปพหุคูณของเลขยกกำลัง ( $R \times 10^n$ ) จำนวนเลขนัยสำคัญจะนับเฉพาะของ R เท่านั้น เช่น  $4.50 \times 10^{56}$  มีเลขนัยสำคัญ 3 ตัวเท่านั้นคือ 4, 5 และ 0

❼ ค่าคงที่ใดๆ เช่น  $\pi$  หรือ  $e$  จะไม่นับเป็นเลขนัยสำคัญ รวมถึงตัวเลขใดๆ ที่เป็นส่วนประกอบของสูตร เช่น  $2\pi R$  ในที่นี้จะไม่นับถึงเลขนัยสำคัญของ 2

### ตัวอย่าง 1.7 “การหาจำนวนเลขนัยสำคัญ”

จงหาว่าตัวเลขเหล่านี้ (109, 0.0040,  $4.00 \times 10^{-3}$ ) มีเลขนัยสำคัญกี่ตัว

#### วิธีทำ

- 109 จะมีเลขนัยสำคัญ 3 ตัว นั่นก็คือ 1, 0 และ 9
- 0.0040 จะมีเลขนัยสำคัญ 2 ตัว นั่นก็คือ 4 และ 0 ด้านหลัง (เลขศูนย์สามตัวด้านหน้าจะไม่นับเป็นเลขนัยสำคัญ)
- $4.00 \times 10^{-3}$  จะมีเลขนัยสำคัญ 3 ตัวคือ 4, 0 และ 0 ( $10^{-3}$  จะไม่นับเป็นเลขนัยสำคัญ)

### 3.3 การบันทึกผลการคำนวณ

ในการศึกษาค้นคว้าทางวิทยาศาสตร์ ข้อมูลจากการวัดบางส่วนจะถูกนำมาผ่านกระบวนการคำนวณเพื่อนำไปใช้ประโยชน์ในด้านอื่น แน่นอนว่าเครื่องมือการวัดที่แตกต่างกัน จะให้ผลการวัดที่มีเลขนัยสำคัญที่แตกต่างกัน ดังนั้นการบันทึกผลการคำนวณจะต้องพิจารณาถึงเลขนัยสำคัญของปริมาณต่างๆ ที่ได้จากการวัดให้มีความเหมาะสม การคำนวณค่าที่ได้จากการวัดโดยพิจารณาตามหลักเลขนัยสำคัญจะแบ่งออกได้เป็นสองประเภท คือ การบวก-ลบ และการคูณ-หาร

#### ❶ การบวกและลบเลขนัยสำคัญ

สำหรับการบวก หรือลบให้ดำเนินการตามปกติเหมือนการบวก และลบตัวเลขทั่วไป แต่ผลลัพธ์ที่ได้ต้องมีตำแหน่งทศนิยมเท่ากับตำแหน่งทศนิยมของตัวบวกที่มีจำนวนเลขทศนิมน้อยที่สุด

ยกตัวอย่างเช่น การคำนวณ  $2.26 + 1.275$  ซึ่งจะได้ผลลัพธ์คือ 3.535 แต่หากพิจารณาถึงหลักการบันทึกผลจากการบวกตามหลักของเลขนัยสำคัญ หากบันทึกด้วยเลข 3.535 จะถือว่าเป็นการบันทึกที่ละเอียดเกินไป ตำแหน่งทศนิยมที่น้อยที่สุดจะเป็นของ 2.26 ที่มีทศนิยม 2 ตำแหน่ง ดังนั้นผลลัพธ์ของการคำนวณก็ต้องเป็น 2 ตำแหน่งด้วย ในกรณีนี้ ค่าจากการคำนวณที่บันทึกคือ 3.54

## 2 การคูณและหารเลขนัยสำคัญ

สำหรับการคูณ หรือการหารให้ดำเนินการตามปกติเหมือนตัวเลขทั่วไป แต่ผลลัพธ์ที่ได้จะต้องมีจำนวนตัวเลขนัยสำคัญเท่ากับจำนวนตัวเลขนัยสำคัญที่น้อยที่สุดของจำนวนที่นำมาคูณหรือหาร

ยกตัวอย่างเช่น การคำนวณ  $4.20 \times 5.286$  ซึ่งจะได้ผลลัพธ์ คือ 22.2012 แต่หากพิจารณาถึงหลักการบันทึกผลจากการคูณ และหารเลขนัยสำคัญ หากบันทึกด้วยเลข 22.2012 จะถือว่าเป็นการบันทึกที่ละเอียดเกินไป เลขนัยสำคัญที่น้อยที่สุดจะเป็นของ 4.20 ที่มีเลขนัยสำคัญ 3 ตัว ดังนั้นผลลัพธ์ของการคำนวณก็ต้องมีเลขนัยสำคัญ 3 ตัวด้วย ในกรณีนี้ ค่าจากการคำนวณที่ควรบันทึก คือ 22.2

### ตัวอย่าง 1.8 “การบวกเลขนัยสำคัญ”

จงหาผลลัพธ์ของค่าต่อไปนี้ ตามหลักเลขนัยสำคัญ  $\frac{(1.50 \times 10^5) \times 4.0}{(0.75 - 0.500)}$

วิธีทำ

คำนวณตัวเลขที่บวกในวงเล็บด้านล่างก่อน เนื่องจากเป็นการบวก เพื่อจะพิจารณาตำแหน่งทศนิยมที่น้อยที่สุด

จะได้ผลลัพธ์เป็น

$$(0.75 - 0.500) = 0.25$$

ดังนั้น จะได้ว่า

$$\frac{(1.50 \times 10^5) \times 4.0}{(0.75 - 0.500)} = \frac{(1.50 \times 10^5) \times 4.0}{0.25}$$

ต่อมา

เนื่องจาก  $10^5$  ไม่นำมานับเป็นเลขนัยสำคัญ ดังนั้นผลคูณด้านบนจะพิจารณาเฉพาะเลขนัยสำคัญของ 1.50 (นัยสำคัญ 3 ตัว) และ 4.0 (นัยสำคัญ 2 ตัว) ดังนั้นจะได้ผลคูณที่จะต้องอิงตามตัวที่มีเลขนัยสำคัญน้อยที่สุด ดังนั้น

$$1.5 \times 10^5 \times 4.0 = 6.0 \times 10^5$$

จะได้ว่า

$$\frac{6.0 \times 10^5}{(0.75 - 0.500)} = 24 \times 10^5$$

หรือ

$$2.4 \times 10^6$$

เพราะฉะนั้น

$$\frac{(1.50 \times 10^5) \times 4.0}{(0.75 - 0.500)} \text{ จะได้ผลลัพธ์ตามหลักเลขนัยสำคัญเป็น } 2.4 \times 10^6$$

## 3.4 การวิเคราะห์ผลการทดลอง

ผลการทดลองในงานด้านวิทยาศาสตร์นั้น ยากที่จะนำมาใช้ได้ทันทีโดยไม่ผ่านการดำเนินการเชิงสถิติก่อน เพราะสิ่งที่พิสูจน์ว่าผลการทดลองนั้นค่าใด ๆ มีความเป็นวิทยาศาสตร์อย่างแท้จริง ไม่ว่าจะทำการกี่ครั้ง ผลลัพธ์ที่ได้จะต้องมีค่าใกล้เคียงกัน ทั้งนี้ผลการทดลองหรือการวัดใด ๆ ไม่สามารถเท่ากันโดยสมบูรณ์ได้ในทุกครั้ง เนื่องจากความไม่แม่นยำของการวัดที่เกิดจากความผิดพลาดของเครื่องมือ สิ่งแวดล้อมหรือตัวผู้วัด ซึ่งเป็นปัจจัยที่ไม่สามารถหลีกเลี่ยงได้

ในการทดลอง การวัดซ้ำหรือทดลองซ้ำ ๆ จะช่วยลดความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากการทดลอง ในการเขียนผลการวัด หรือผลการทดลองที่ทำซ้ำ ๆ หลายครั้ง จะต้องใช้ค่าที่เป็นค่ากลางของการวัด ค่ากลางจะเป็นตัวแทนของผลการวัดทั้งหมด ซึ่งค่ากลางตามหลักสถิติที่นิยมนำมาใช้ในการทดลองทางวิทยาศาสตร์ คือ “ค่าเฉลี่ย ( $\bar{x}$ )” ซึ่งสามารถหาได้จาก

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

ในกรณีที่ค่าเฉลี่ยจะเป็นค่ากลาง ในการที่จะบ่งบอกว่าข้อมูลที่ได้มีความใกล้เคียงกันมากน้อยเพียงใด จะต้องดูปริมาณทางสถิติที่เรียกว่า “ค่าความคลาดเคลื่อน ( $\Delta \bar{x}$ )” วิธีการหาค่าความคลาดเคลื่อนมีหลายวิธี ทั้งขึ้นอยู่กับลักษณะเฉพาะของข้อมูลนั้นๆ

ในกรณีค่าที่วัดไม่ได้มีผลที่แตกต่างกันมาก การหาค่าความคลาดเคลื่อนสามารถหาได้จาก

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

ซึ่ง  $x_{\max}$  และ  $x_{\min}$  คือ ค่าที่มากที่สุดและน้อยที่สุดที่ได้จากการวัดตามลำดับ และโดยทั่วไปการเขียนค่าความผิดพลาดจะมีเลขนัยสำคัญเพียง 1 ตัวเท่านั้น เช่น ค่า  $\Delta \bar{x}$  ที่คำนวณได้ คือ 0.036 ค่าที่ต้องบันทึก คือ 0.04

เมื่อพิจารณาค่าเฉลี่ยและค่าความผิดพลาด การเขียนรายงานผลการทดลองจะเขียนอยู่ในรูป

$$\bar{x} \pm \Delta \bar{x}$$

### ตัวอย่าง 1.9 “การเขียนรายงานผลการวัด”

จงหาค่าเฉลี่ย หาค่าความคลาดเคลื่อนและเขียนรายงานการวัดมวลของวัตถุชิ้นหนึ่ง (ในหน่วยกรัม) ซึ่งทำการวัด 5 ครั้งและได้ผลการวัดดังนี้ 2.52, 2.58, 2.49, 2.55, 2.48

วิธีทำ

1) หาค่าเฉลี่ย

$$\bar{x} = \frac{2.52 + 2.58 + 2.59 + 2.55 + 2.48}{1,000,000}$$

$$= 2.54 \text{ กรัม}$$

2) หาค่าความผิดพลาด ( $x_{\max} = 2.58$ ,  $x_{\min} = 2.48$ )

$$\Delta \bar{x} = \frac{2.58 - 2.48}{2}$$

$$= 0.05 \text{ กรัม}$$

3) เขียนรายงานการวัด

$$2.54 \pm 0.05 \text{ กรัม}$$

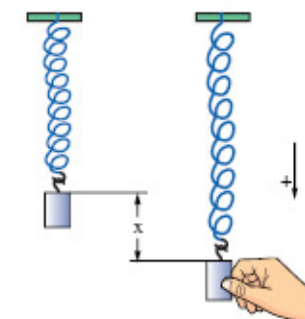
### 1.3.5 การวิเคราะห์ผลการทดลอง

หนึ่งในวิธีการวิเคราะห์ผลข้อมูลที่พื้นฐานที่สุด คือ การเขียนกราฟ ประโยชน์ของกราฟ คือ จะทำให้เห็นความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลต่างๆ โดยเฉพาะความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต้นและตัวแปรตาม โดยทั่วไปมักจะเขียนกราฟให้ตัวแปรต้นเป็นแกนแนอน (แกน x) และตัวแปรตามเป็นแกนตั้ง (แกน y)

กราฟที่สามารถวิเคราะห์ได้ง่ายที่สุด คือ “กราฟเส้นตรง” โดยกราฟเส้นตรงเป็นกราฟที่เรียบง่ายที่สุด เพราะอาศัยแค่เพียงจุดข้อมูลแค่เพียง 2 จุดก็สามารถเขียนกราฟเส้นตรงได้แล้ว

### เรื่องน่ารู้

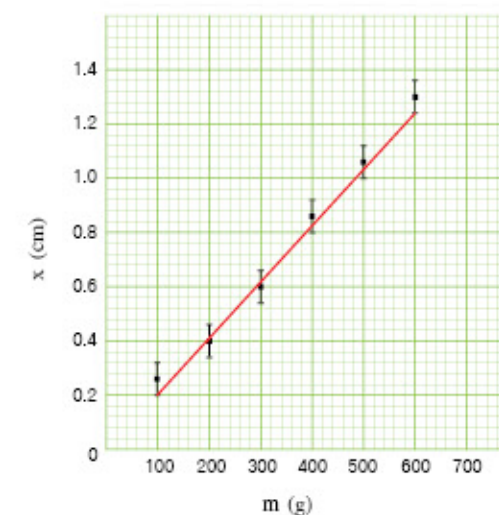
กราฟที่ใช้ในการศึกษาค้นคว้าทางวิทยาศาสตร์มีหลายประเภท อาทิเช่น กราฟเส้นตรง พาราโบลา ลอการิทึม ตรีโกณมิติ เอกซ์โพเนนเชียล และอื่นๆ



การทดลองวัดระยะยืดของสปริงเมื่อมีการแขวนมวลในแนวตั้ง

| มวล (กรัม) | ระยะยืดของสปริง (เซนติเมตร) |
|------------|-----------------------------|
| 100        | 0.25±0.05                   |
| 200        | 0.40±0.05                   |
| 300        | 0.60±0.05                   |
| 400        | 0.95±0.05                   |
| 500        | 1.05±0.05                   |
| 600        | 1.20±0.05                   |

เมื่อนำผลการทดลองมาเขียนกราฟ จะพิจารณาให้มวลซึ่งเป็นตัวแปรต้นให้เป็นแกนแนอน (แกน x) และระยะยืดของสปริงซึ่งเป็นตัวแปรตามให้เป็นแกนตั้ง (แกน y)



กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมวลที่แขวน (แกนแนอน) และระยะยืดของสปริงในแนวตั้ง (แกนตั้ง)

หากมีค่าความคลาดเคลื่อน ก็ควรแสดงลงไปในการพล็อตด้วยในฐานะของ “แท่งความคลาดเคลื่อน (error bar)” จากกราฟในรูปแท่งความคลาดเคลื่อนจะมีเฉพาะแกนตั้งเท่านั้น หากมีค่าความคลาดเคลื่อนของตัวแปรต้นก็สามารถใส่เข้าไปได้

จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างมวล และระยะยืดในรูปจะเห็นได้ว่าตัวแปรต้นและตัวแปรตามดังกล่าวจะมีความสัมพันธ์แบบเส้นตรง ดังนั้นจึงสามารถเขียนความสัมพันธ์ในรูปแบบของสมการเส้นตรงได้เป็น

$$y = mx + c$$

เมื่อ

|   |     |                        |
|---|-----|------------------------|
| y | คือ | ตัวแปรตาม              |
| x | คือ | ตัวแปรต้น              |
| m | คือ | ความชัน                |
| c | คือ | จุดที่เส้นกราฟตัดแกน y |

ในกรณีนี้เส้นตรงที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต้น (แกน x) และตัวแปรตาม (แกน y) จะสามารถหาได้โดยการลากเส้นตรงให้ผ่านตรงกลางของชุดข้อมูลที่กระจายอยู่ให้มากที่สุด (สมมติของจุดบนกราฟและล่างกราฟควรเท่าๆ กัน) โดยการลากเส้นตรงไม่ควรให้เลยขอบเขตของแท่งความคลาดเคลื่อน ในกรณีของความชัน สามารถหาได้โดยการกำหนดจุดสองจุดบนเส้นตรง จุดแรก คือ  $(x_1, y_1)$  และจุดที่สอง คือ  $(x_2, y_2)$  วิธีการเลือกจุดสองจุดบนเส้นตรง จะต้องพิจารณาตามหลักการต่อไปนี้

- 1) จุดสองจุดที่ตั้งอยู่บนเส้นตรง สามารถอ่านค่าได้ง่ายและแม่นยำ ไม่ควรเลือกจุดที่เป็นผลการทดลอง แม้ว่าจุดนั้นจะอยู่บนเส้นตรงก็ตาม
- 2) จุดสองจุดควรมีระยะห่างที่มากพอสมควร เพราะระยะที่ห่างกันนั้นจะช่วยลดค่าความผิดพลาดจากการอ่านกราฟ

กำหนดให้  $\Delta x = x_2 - x_1$  และ  $\Delta y = y_2 - y_1$  จะได้ว่า

$$\begin{aligned} \text{ความชันของกราฟเส้นตรง} &= \frac{\Delta y}{\Delta x} \\ &= \frac{(y_2 - y_1)}{(x_2 - x_1)} \\ &= \frac{1.0 - 0.6}{470 - 280} \\ &= 0.0021 \text{ cm/g} \end{aligned}$$

ในการหาค่าความผิดพลาดของความชัน จะสามารถทำได้โดยการลากเส้นตรงเพิ่มอีกสองเส้นให้ผ่านชุดข้อมูล เส้นหนึ่งลากให้มีความชันมากกว่าเส้นตรงที่ดีที่สุด และอีกเส้นหนึ่งลากให้มีความชันน้อยกว่าเส้นที่ดีที่สุดเล็กน้อย (ดังแสดงด้วยเส้นประในกราฟ) ความชันของเส้นตรงเพิ่มเติมทั้งสองจะสามารถนำมาหาความผิดพลาดของความชันของเส้นตรงหลักได้ ดังนี้

$$\begin{aligned} \text{ค่าความคลาดเคลื่อนของความชัน} &= \frac{1}{2} (\text{ความชันของกราฟชันมาก} - \text{ความชันของกราฟชันน้อย}) \\ &= \frac{0.0022 - 0.0019}{2} \text{ cm/g} \\ &= 0.0002 \text{ cm/g} \end{aligned}$$

ดังนั้น ความชันของกราฟเส้นตรงที่พล็อตจากการทดลอง คือ  $0.0021 \pm 0.0002 \text{ cm/g}$

ในกรณีของจุดตัดแกนตั้ง จุดตัดแกนของเส้นตรงที่ดีที่สุดจะสามารถอ่านค่าได้ 0.03 เซนติเมตร ในขณะที่จุดตัดแกนตั้งของเส้นตรงความชันมากความชันน้อยที่เขียนแทนด้วยเส้นประ จะได้ว่าจุดแกนทั้งสองจะอยู่ที่ 0.06 และ 0.00 ตามลำดับ ดังนั้นค่าความคลาดเคลื่อนของจุดตัดแกนตั้ง จะได้ว่า

$$\begin{aligned} \text{ค่าความคลาดเคลื่อนของจุดตัดแกนตั้ง} &= \frac{1}{2} (\text{จุดตัดสูง} - \text{จุดตัดต่ำ}) \\ &= \frac{0.06 - 0.00}{2} \text{ cm/g} \\ &= 0.03 \text{ cm} \end{aligned}$$

จะได้ว่าจุดตัดแกนตั้งของเส้นตรงที่ดีที่สุดของกราฟนี้ คือ  $0.03 \pm 0.03 \text{ cm}$

เมื่อนำความชันและจุดตัดแกนตั้งของกราฟเส้นตรงที่ดีที่สุดมาเขียนเป็นความสัมพันธ์ระหว่างมวล และระยะยืดของสปริงในแนวตั้งจะได้ว่า

$$x = (0.0021 \pm 0.0002 \text{ cm/g}) m + (0.03 \pm 0.03 \text{ cm})$$

โดยที่

|   |     |                                   |
|---|-----|-----------------------------------|
| x | คือ | ระยะยืดของสปริง เป็นตัวแปรตาม     |
| m | คือ | มวลที่นำมาถ่วงสปริง เป็นตัวแปรต้น |

อย่างไรก็ตาม ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณต่างๆ ในทางฟิสิกส์ อาจจะได้ไม่เป็นไปตามลักษณะของเส้นตรงเสมอไป ยกตัวอย่างเช่นความสัมพันธ์ระหว่างความสูงที่วัตถุตกลงมาอย่างอิสระ (h - ตัวแปรต้น) และเวลาที่ใช้ในการตก (t - ตัวแปรตาม) เมื่อนำมาเขียนเป็นกราฟ จะได้กราฟที่มีลักษณะดังนี้