



คู่มือการทดลองที่ 3

สมดุลของทอร์กบนไม้บรรทัด

Torque Equilibrium on a Ruler

ฟิสิกส์ ม.4-5 | สมดุลของทอร์กและเงื่อนไขความสมดุล

วัตถุประสงค์
สมดุลของทอร์กและ

ATM ระดับชั้น
มัธยมศึกษาปีที่ 4-5

เวลาที่ใช้
100 นาที (2 คาบ)

1. วัตถุประสงค์การเรียนรู้

1.1 จุดประสงค์ด้านความรู้ (Knowledge)

- อธิบายความหมายของทอร์ก (τ) และระบุตัวแปรที่เกี่ยวข้องในสมการ $\tau = F \times r$ ได้
- อธิบายเงื่อนไขสมดุลของทอร์กและเขียนสมการ $\sum \tau(\text{ตาม}) = \sum \tau(\text{ทวน})$ ได้
- คำนวณหาค่ามวลที่ไม่ทราบค่าโดยใช้หลักสมดุลของทอร์กได้

1.2 จุดประสงค์ด้านทักษะ (Skills)

- วัดตำแหน่งและคำนวณระยะแขนแรงจากจุดหมุนบนไม้บรรทัดจำลองได้
- บันทึกผลการทดลอง คำนวณ %Error และประเมินความน่าเชื่อถือของผลได้
- เปรียบเทียบผลทดลอง Mode A และ Mode B พร้อมระบุแหล่งที่มาของความคลาดเคลื่อนได้

1.3 จุดประสงค์ด้านเจตคติ (Attitude)

- แสดงความรับผิดชอบและความละเอียดรอบคอบในการอ่านค่าและบันทึกผลการทดลอง
- ตระหนักถึงความสำคัญของการตรวจสอบผลด้วยหลายวิธีเพื่อเพิ่มความน่าเชื่อถือ
- เชื่อมโยงหลักการสมดุลของทอร์กกับชีวิตจริง เช่น คันโยก ตาชั่ง และเครื่องจักรกล

2. ทฤษฎีพื้นฐาน

2.1 ทอร์ก (Torque)

ทอร์ก (τ) คือปริมาณที่บอกถึงประสิทธิภาพของแรงในการทำให้วัตถุหมุนรอบจุดหมุน (pivot) นิยามด้วยสมการ:

$$\tau = F \times r$$

เมื่อ τ = ทอร์ก (หน่วย N·m), F = ขนาดแรงที่กระทำตั้งฉากกับแขนแรง (N), r = ระยะแขนแรง (m)

2.2 เงื่อนไขสมดุลของทอร์ก

วัตถุจะอยู่ในสมดุลการหมุนเมื่อผลรวมของทอร์กทุกตัวรอบจุดหมุนมีค่าเป็นศูนย์:

$$\sum \tau(\text{ตามเข็มนาฬิกา}) = \sum \tau(\text{ทวนเข็มนาฬิกา})$$

บนไม้บรรทัดแนวนอน มวล M_1 ทางขวา มวล M_2 ทางซ้ายของจุดหมุน:

$$M_1 \times g \times r_1 = M_2 \times g \times r_2$$

เนื่องจาก g หักล้างกัน ทั้งสองข้าง จึงใช้เพียง $M_1 \times r_1 = M_2 \times r_2$ ก็ได้

2.3 การหาน้ำหนักมวลที่ไม่ทราบค่า (Mode B)

ใช้มวลอ้างอิงที่ทราบค่า (G_1) และปรับตำแหน่งจนระบบสมดุล จากนั้นคำนวณ:

$$G_2 = G_1 \times S_1 / S_2$$

เมื่อ G_1 = น้ำหนักอ้างอิงที่ทราบ (N), S_1 = ระยะห่างของ G_1 จากจุดหมุน (cm), S_2 = ระยะห่างของ G_2 จากจุดหมุน (cm)

2.4 ร้อยละความคลาดเคลื่อน (%Error)

$$\%Error = |G_1 - G_2| / G_1 \times 100\%$$

เมื่อ G_1 = ค่าจริง (ค่าที่ทราบ), G_2 = ค่าที่คำนวณได้จากการทดลอง

2.5 ตัวอย่างการคำนวณ

กำหนดให้: $X_0 = 50.0$ cm, $M_1 = 100$ g ที่ $X_1 = 70.0$ cm, $M_2 = 200$ g ที่ $X_2 = 40.0$ cm

$$r_1 = |70.0 - 50.0| = 20.0 \text{ cm} = 0.200 \text{ m}$$

$$r_2 = |40.0 - 50.0| = 10.0 \text{ cm} = 0.100 \text{ m}$$

$$\tau_1 = (0.100 \text{ kg})(9.8 \text{ m/s}^2)(0.200 \text{ m}) = 0.196 \text{ N}\cdot\text{m}$$

$$\tau_2 = (0.200 \text{ kg})(9.8 \text{ m/s}^2)(0.100 \text{ m}) = 0.196 \text{ N}\cdot\text{m} \quad \therefore \text{ระบบอยู่ในสมดุล} \checkmark$$

3. วัสดุและอุปกรณ์

3.1 อุปกรณ์จริงสำหรับอ้างอิง

- ไม้บรรทัด (เมตร) พร้อมขาตั้งตรงกลาง
- ตั้ยมวลมาตรฐาน 100 g, 200 g พร้อมตะขอแขวน
- ไม้บรรทัด 30 cm สำหรับวัดระยะแขนแรง
- กระดาษบันทึกผลและปากกา

3.2 โปรแกรมจำลอง (Simulation)

- เครื่องคอมพิวเตอร์ / แท็บเล็ต พร้อมเบราว์เซอร์ (Chrome / Safari / Firefox)
- ไฟล์ 3. torques_simulation.html (เปิดในเบราว์เซอร์โดยตรง)

4. ขั้นตอนการทดลอง

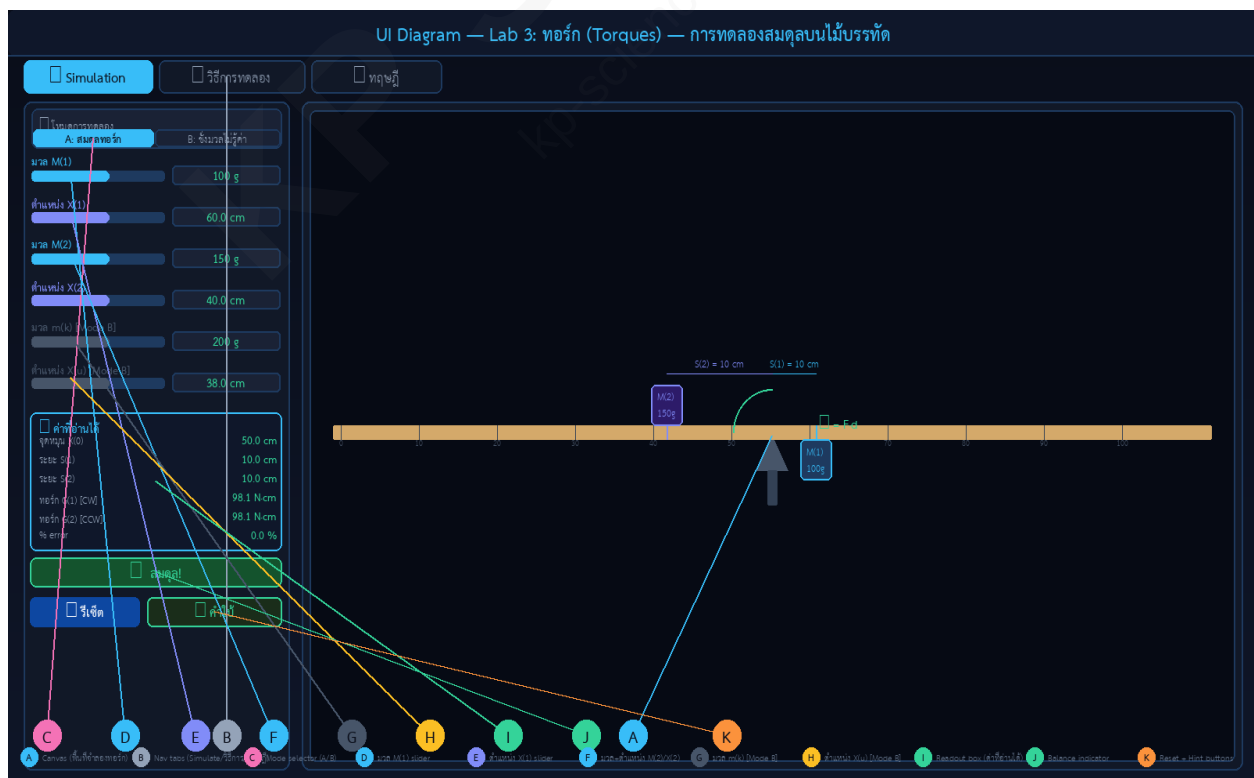
4.1 โหมด A — ตรวจสอบสมดุลของทอร์กด้วยมวลสองตัว

1. เปิดไฟล์ 3. torques_simulation.html ในเบราว์เซอร์ แล้วคลิกปุ่ม [Mode A]
2. สังเกตค่าเริ่มต้น: จุดหมุน $X_0 = 50.0$ cm, มวล $M_1 = 100$ g ที่ $X_1 = 70.0$ cm, $M_2 = 200$ g ที่ $X_2 = 40.0$ cm
3. บันทึกค่า X_0 , X_1 , X_2 , G_1 และ G_2 ที่แสดงในพาเนลด้านขวาลงในตารางใบบันทึกผล ข้อ 6.1
4. คำนวณระยะแขนแรง $S_1 = |X_1 - X_0|$ และ $S_2 = |X_2 - X_0|$ แล้วบันทึก
5. คำนวณทอร์ก $T_1 = G_1 \times S_1$ และ $T_2 = G_2 \times S_2$ บันทึกและเปรียบเทียบ
6. ลากแถบเลื่อนปรับค่า M_1 , M_2 หรือตำแหน่ง X_1 , X_2 ให้ได้สมดุลในชุดที่ 2 และ 3 บันทึกค่าแต่ละชุด
7. สังเกตตัวบ่งชี้สมดุล (ไม้บรรทัดเอียงซ้าย/กึ่งกลาง/เอียงขวา) ตรงกับค่า %Error หรือไม่

4.2 โหมด B — ชั่งมวลที่ไม่ทราบค่าด้วยมวลอ้างอิง

1. คลิกปุ่ม [Mode B] — โปรแกรมจะแสดงมวลอ้างอิง G_1 (ค่าทราบ) และมวลที่ไม่ทราบ G_2 (ซ่อนค่า)
2. ลากแถบเลื่อน X_0 (จุดหมุน) หรือ X_1 (ตำแหน่งมวลอ้างอิง) จนไม้บรรทัดอยู่ในแนวราบ (สมดุล)
3. อ่านค่า S_1 และ S_2 จากพาเนลขวา บันทึกลงในตาราง ข้อ 6.2
4. คำนวณ $G_2(\text{คำนวณ}) = G_1 \times S_1 / S_2$ แล้วบันทึก
5. กด [เฉลย] เพื่อดูค่าจริงของ G_2 แล้วคำนวณ $\%Error = |G_1 - G_2| / G_1 \times 100\%$
6. ทำซ้ำ 3 ชุดโดยเปลี่ยนค่ามวลอ้างอิง G_1 แต่ละครั้ง บันทึกและเปรียบเทียบผล

5. แผนผังส่วนประกอบของโปรแกรม



รูปที่ 1 : แผนผังอธิบายส่วนประกอบของโปรแกรม Simulation "สมดุลของทอร์กบนไม้บรรทัด"

คำอธิบายแต่ละส่วนและสิ่งที่ปรับได้

สัญลักษณ์	ชื่อส่วนประกอบ	คำอธิบาย
A	ปุ่ม Mode A / Mode B	เปลี่ยนโหมดการทดลอง: Mode A ใช้มวลสองตัวทราบค่า, Mode B ใช้มวลไม่ทราบค่า
B	ตัวเลือกมวล M_1 (g)	ปุ่มเลือกขนาดมวลตัวที่ 1 (50 / 100 / 150 / 200 g)
C	ตัวเลือกมวล M_2 (g)	ปุ่มเลือกขนาดมวลตัวที่ 2 (100 / 200 / 300 / 400 g)
D	แถบเลื่อน X_0 (จุดหมุน)	ปรับตำแหน่งจุดหมุนบนไม้บรรทัดในช่วง 20–80 cm
E	แถบเลื่อน X_1 (M_1)	ปรับตำแหน่งแขวนมวล M_1 ในช่วง 10–90 cm
F	แถบเลื่อน X_2 (M_2)	ปรับตำแหน่งแขวนมวล M_2 ในช่วง 10–90 cm
G	พาเนลผลลัพธ์	แสดงค่า X_0 , S_1 , S_2 (cm), G_1 , G_2 (N) และ %Error แบบ real-time
H	ตัวบ่งชี้สมดุล	ไม้บรรทัดจำลองเอียงซ้าย/แนวราบ/เอียงขวา ตามสภาพจริง
I	พื้นที่ Canvas	ภาพจำลองไม้บรรทัด จุดหมุน และมวลแขวน พร้อมตัวเลขกำกับ
J	ปุ่ม เฉลย (Mode B)	เผยค่าจริงของมวลที่ไม่ทราบค่าเพื่อเปรียบเทียบ
K	ปุ่ม รีเซ็ต	คืนค่าตัวแปรทุกตัวกลับค่าเริ่มต้น

6. ใบบันทึกผลการทดลอง

6.1 โหมด A — ตรวจสอบสมดุลของทอร์ก

ชื่อ-นามสกุล: _____ ชั้น/ห้อง: _____ เลขที่: _____ วันที่: _____

ชุด	X_0 (cm)	X_1 (cm)	X_2 (cm)	S_1 (cm)	S_2 (cm)	G_1 (N)	G_2 (N)	%Error
1								
2								
3								

สรุปผล Mode A: ทอร์กทวนเข็มนาฬิกาและทอร์กตามเข็มนาฬิกา _____ กัน เพราะ

6.2 โหมด B — ชั่งมวลที่ไม่ทราบค่า

ชุด	G_1 (N)	S_1 (cm)	S_2 (cm)	G_2 (คำนวณ) N	G_2 (จริง) N	%Error
1						
2						
3						

6.3 คำถามท้ายการทดลอง

- หากเลื่อนจุดหมุน X_0 ออกจากกึ่งกลาง ระบบจะยังสมดุลได้หรือไม่? อธิบายเงื่อนไขที่จำเป็น
.....
.....
.....
- ใน Mode B ถ้าอ่านค่า S_1 คลาดเคลื่อนไป 1 cm จะส่งผลต่อค่า G_2 ที่คำนวณได้อย่างไร? คำนวณแสดง
.....
.....
.....
- เปรียบเทียบ %Error ระหว่าง Mode A และ Mode B — วิธีใดให้ความแม่นยำสูงกว่า และเพราะเหตุใด?
.....
.....
.....
- หลักการสมดุลของทอร์คนำไปใช้ประโยชน์ในเครื่องมือหรืออุปกรณ์ใดบ้าง? ยกตัวอย่างอย่างน้อย 3 กรณี
.....
.....
.....
- ถ้ามวล $M_1 = M_2$ ระบบจะสมดุลได้ก็ต่อเมื่อ S_1 และ S_2 มีความสัมพันธ์กันอย่างไร? พิสูจน์จากสมการ
.....
.....
.....

7. ข้อควรระวัง

7.1 ความถูกต้องในการอ่านค่า

- อ่านค่าตำแหน่งบนแถบเลื่อนให้ครบทุกนัยหนึ่งตำแหน่ง (เช่น 50.0 cm) เพื่อลดความคลาดเคลื่อน
- บันทึกค่าที่แสดงในพาเนลผลลัพธ์ทันทีหลังปรับค่า ก่อนปรับครั้งถัดไป

7.2 ข้อจำกัดของโปรแกรมจำลอง

- โปรแกรมจำลองถือว่าไม้บรรทัดไม่มีมวล (massless ruler) ต่างจากการทดลองจริงที่ต้องชดเชยมวลไม้
- ค่า %Error คำนวณจาก $|G_1 - G_2| / G_1 \times 100\%$ ตรวจสอบให้ถูกต้องก่อนเปรียบเทียบกับค่าที่คำนวณเอง

7.3 การใช้งานบนอุปกรณ์ต่าง ๆ

- บนแท็บเล็ต (iPad/Android) ใช้นิ้วลากแถบเลื่อนช้า ๆ เพื่อให้ได้ค่าที่ต้องการแม่นยำ
- หน้าจอขนาดเล็กอาจแสดงผลต่อจาก Canvas — เลื่อนหน้าจอเพื่อดูค่าทั้งหมด

8. เกณฑ์การประเมิน

รายการประเมิน	ดีเยี่ยม (4)	ดี (3)	พอใช้ (2)	ปรับปรุง (1)
ความถูกต้องของการบันทึกผล	บันทึกครบทุกช่อง ทศนิยมถูกต้อง	บันทึกครบ มีทศนิยมผิด 1–2 ช่อง	บันทึกไม่ครบ 1–2 ช่อง	บันทึกไม่ครบ > 2 ช่อง
ความถูกต้องของการคำนวณ	คำนวณถูกต้องทุกข้อ มีหน่วย	คำนวณถูก แต่ขาดหน่วย 1–2 แห่ง	คำนวณผิด 1–2 ข้อ	คำนวณผิดมากกว่า 2 ข้อ
การตอบคำถาม	ตอบถูกต้อง อธิบายชัดเจน ครบ 5 ข้อ	ตอบถูก 4 ข้อ พร้อมเหตุผล	ตอบถูก 2–3 ข้อ	ตอบถูก 0–1 ข้อ
การเชื่อมโยงกับชีวิตจริง	ยกตัวอย่างได้ ≥ 3 กรณี อธิบายสัมพันธ์กับทฤษฎี	ยกตัวอย่างได้ 2 กรณี	ยกตัวอย่างได้ 1 กรณี	ไม่สามารถยกตัวอย่าง
คะแนนรวม (เต็ม 16 คะแนน)				_____ / 16

ลายมือชื่อผู้สอน: _____ วันที่ตรวจ: _____