



คู่มือการทดลองที่ 2

การบวกเวกเตอร์แรงและภาวะสมดุล

Vector Addition of Forces



วิชา

ฟิสิกส์ ม.4-5



เวลา

100 นาที (2 คาบ)



กลุ่ม / ห้อง



ชื่อ-นามสกุล



17 วันที่

1. จุดประสงค์การเรียนรู้

1.1 จุดประสงค์ด้านความรู้ (Knowledge)

- อธิบายหลักการบวกเวกเตอร์แรงด้วยวิธีกราฟิก (Triangle Method และ Parallelogram Method)
- คำนวณแรงลัพธ์ (R) จากองค์ประกอบ x และ y ของแรงสองแรงที่กระทำต่อจุดเดียวกัน
- อธิบายเงื่อนไขภาวะสมดุลสถิต (Static Equilibrium) ของวัตถุที่ถูกกระทำด้วย 3 แรง
- ใช้กฎ Law of Cosines คำนวณขนาดแรงลัพธ์ เมื่อทราบขนาดและมุมระหว่างแรงทั้งสอง
- วิเคราะห์และคำนวณ % Error ระหว่างค่าแรงลัพธ์เชิงทฤษฎีกับค่าที่วัดได้จริง

1.2 จุดประสงค์ด้านทักษะ (Skills)

- ปรับขนาด ทิศทาง และมุมของเวกเตอร์แรง F_1 , F_2 ได้อย่างแม่นยำผ่านสไลด์เดอร์และช่องกรอกตัวเลข
- อ่านค่าแรงลัพธ์ R, R_x , R_y , ทิศ θ , % Error จาก Readout Box แบบ real-time
- บันทึกข้อมูลการทดลองลงตาราง และเปรียบเทียบผลจากหลาย Trial
- ใช้พีเจอร์ "ตั้งทิศ F_3 ตรงข้าม R อัตโนมัติ" เพื่อทดสอบเงื่อนไขสมดุล

1.3 จุดประสงค์ด้านเจตคติ (Attitude)

- ตระหนักถึงความสำคัญของการบวกเวกเตอร์ในการวิเคราะห์แรงและการออกแบบโครงสร้าง
- มีความรอบคอบในการบันทึกและวิเคราะห์ข้อมูลเชิงตัวเลข
- เห็นคุณค่าของการใช้เทคโนโลยี Simulation ในการศึกษาวิทยาศาสตร์

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 เวกเตอร์แรงและการบวกเวกเตอร์

แรง (Force) เป็นปริมาณเวกเตอร์ มีทั้งขนาด (magnitude) และทิศทาง (direction) จึงไม่สามารถบวกแบบตัวเลขธรรมดาได้ ต้องใช้กฎการบวกเวกเตอร์ซึ่งมี 2 วิธีหลัก ได้แก่ วิธีกราฟิก และวิธีแยกองค์ประกอบ

2.2 วิธีกราฟิก (Graphic Method)

Triangle Method

วาดเวกเตอร์ F_1 ก่อน แล้วนำปลายของ F_1 เป็นจุดเริ่มต้นวาด F_2 ต่อ เส้นตรงจากต้น F_1 ถึงปลาย F_2 คือแรงลัพธ์ R

Parallelogram Method

วาด F_1 และ F_2 จากจุดกำเนิดเดียวกัน แล้วสร้าง parallelogram เส้นทแยงมุมจากจุดกำเนิดคือแรงลัพธ์ R

2.3 วิธีแยกองค์ประกอบ (Component Method)

แยก x, y	$F_{1x} = F_1 \cos\theta_1 \quad F_{1y} = F_1 \sin\theta_1 \quad F_{2x} = F_2 \cos\theta_2 \quad F_{2y} = F_2 \sin\theta_2$
รวม	$R_x = F_{1x} + F_{2x} \quad R_y = F_{1y} + F_{2y}$
ขนาด/ทิศ R	$ R = \sqrt{(R_x^2 + R_y^2)} \quad \theta_r = \arctan(R_y / R_x)$

2.4 Law of Cosines

สูตร	$ R ^2 = F_1 ^2 + F_2 ^2 + 2 F_1 F_2 \cos A \quad (A = \text{มุมระหว่าง } F_1 \text{ และ } F_2)$
------	---

2.5 ภาวะสมดุลสถิต (Static Equilibrium)

วัตถุอยู่ในสมดุลสถิตเมื่อแรงลัพธ์รวมเป็นศูนย์:

เงื่อนไขสมดุล	$\Sigma F = 0 \rightarrow \Sigma F_x = 0 \quad \text{และ} \quad \Sigma F_y = 0$ $F_1 + F_2 + F_3 = 0$ $\rightarrow$ $F_3 = -(F_1 + F_2)$
---------------	---

แรง F_3 ที่ทำให้ระบบสมดุลจะมีขนาดเท่ากับ R แต่มีทิศทางตรงกันข้าม

2.6 % Error

% Error	$\% \text{ Error} = R - F_3 / F_3 \times 100\%$ ตัวอย่าง: $R=1.47N, F_3=1.39N \rightarrow \% \text{ Error} = 5.8\%$
---------	---

ค่า % Error ต่ำกว่า 5% ถือว่าดี | 5-10% พอรับได้ | มากกว่า 10% ต้องตรวจสอบ

3. วัสดุและอุปกรณ์

3.1 อุปกรณ์ในการทดลองจริง

- Spring scale 3 อัน (ขนาดเดียวกัน, range 0-5 N หรือ 0-500 g)
- วงแหวนโลหะ (ring) สำหรับเป็นจุดรวมแรง
- เชือกยาว 3 เส้น ยาวประมาณ 30-50 cm
- กระดานทดลองแนวนอน หรือกระดาษกราฟแผ่นใหญ่ติดกับผนัง
- ดินสอหรือปากกาสำหรับจุดตำแหน่ง
- ไม้บรรทัดและมุมฉาก
- โพรแทรกเตอร์ (วัดมุม)

3.2 อุปกรณ์สำหรับใช้ Simulation

- คอมพิวเตอร์ แท็บเล็ต หรือสมาร์ทโฟน (รองรับ browser HTML5)
- เบราว์เซอร์สมัยใหม่ เช่น Chrome, Edge, Firefox เวอร์ชันล่าสุด
- ไฟล์ 2. vector_forces_sim.html (เปิดโดยตรงในเบราว์เซอร์ ไม่ต้องติดตั้ง)
- คู่มือการทดลองฉบับนี้

4. ขั้นตอนการทดลองด้วย Simulation

4.1 การเริ่มต้นใช้งาน

1. เปิดไฟล์ 2. vector_forces_sim.html ในเบราว์เซอร์
2. Simulation จะเปิดในโหมด "3 แรงสมดุล" โดยอัตโนมัติ
3. สังเกตหน้าจอหลัก: แผงควบคุมอยู่ด้านซ้าย พื้นที่วาดเวกเตอร์อยู่ด้านขวา

4.2 การทดลองที่ 1 — โหมด 3 แรงสมดุล (Equilibrium)

4. ที่ส่วน A (Mode buttons) ตรวจสอบว่าเลือก "3 แรงสมดุล" อยู่
5. ที่ส่วน B (Preset) คลิก dropdown เลือก "Trial 1: $F_1=1.40\text{N}$, $F_2=0.80\text{N}$, $A=101^\circ$ "
6. สังเกตแผงควบคุมส่วน C: $F_1 = 1.40\text{ N}$, $\theta_1 = 180^\circ$ ปรับค่าหากยังไม่ตรง
7. สังเกตแผงควบคุมส่วน D: $F_2 = 0.80\text{ N}$, $\theta_2 = 0^\circ$ ปรับค่าหากยังไม่ตรง
8. สังเกตส่วน E: มุม $A = 101^\circ$ ระหว่าง F_1 และ F_2
9. อ่านค่า $|R|$, ทิศ θ_R , R_x , R_y จาก Readout Box (ส่วน H) บันทึกผลการทดลอง
10. ที่ส่วน I: กรอก $|F_3|$ ที่วัดได้ กด "🎯" ตั้งทิศ F_3 ตรงข้าม R อัตโนมัติ
11. สังเกต % Error ที่ Readout Box — ควรน้อยกว่า 10%
12. กดปุ่ม "✅ บันทึกผลการทดลอง" ที่ส่วน K เพื่อเก็บข้อมูล Trial 1

4.3 การทดลองซ้ำ (Trial 2-4)

13. เลือก Preset "Trial 2" ที่ส่วน B แล้วทำซ้ำขั้นตอน 4.2 ข้อ 3-9
14. ทำ Trial 3 และ Trial 4 ครบทุก Preset
15. เมื่อทำครบ 4 Trial ตาราง K จะแสดงข้อมูลทุก Trial และคำนวณค่าโดยอัตโนมัติ

4.4 การทดลองด้วยโหมด Graphic Method

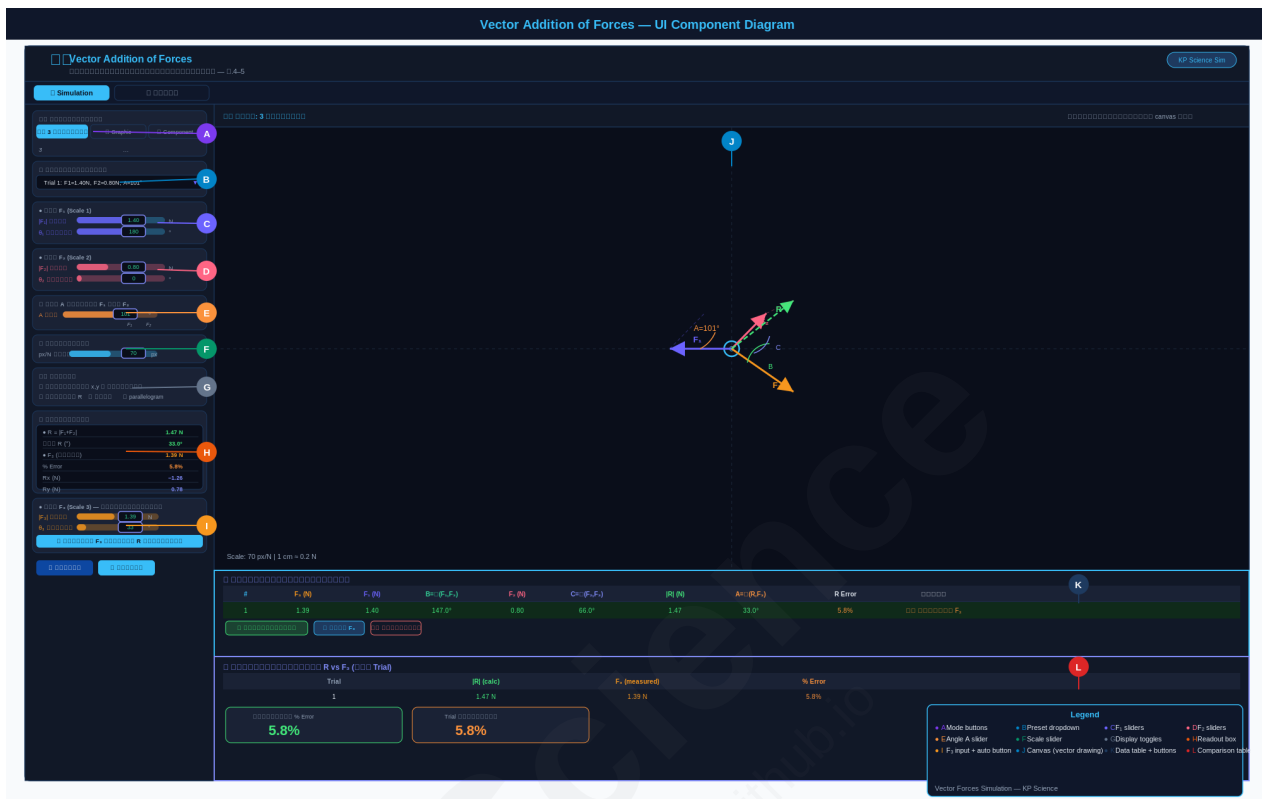
16. กดปุ่ม  "Graphic Method" ที่ส่วน A
17. เลือก Preset "Trial 1" หรือกรอกค่า F_1 , F_2 , มุม A ด้วยตนเอง
18. เปิด Checkbox "parallelogram" ที่ส่วน G เพื่อแสดง Parallelogram Method
19. สังเกต R บน Canvas ส่วน J ว่าตรงกับค่าที่คำนวณทางทฤษฎีหรือไม่

4.5 การทดลองด้วยโหมด Component Method

20. กดปุ่ม  "Component" ที่ส่วน A
21. เปิด Checkbox "องค์ประกอบ x,y" ที่ส่วน G
22. สังเกตเส้น R_x , R_y ที่แสดงบน Canvas และเปรียบเทียบกับค่าในช่อง Readout Box
23. ทดลองเปลี่ยน F_1 , F_2 , มุม θ_1 , θ_2 แล้วสังเกตการเปลี่ยนแปลงขององค์ประกอบ

5. แผนผังส่วนประกอบของ Simulation

ภาพด้านล่างแสดงส่วนประกอบทั้งหมดของโปรแกรม พร้อมหมายเลข A-L ที่ชี้แต่ละจุดและสิ่งที่สามารถปรับได้:



รูปที่ 1 : แผนผังอธิบายส่วนประกอบของ Simulation "การบวกเวกเตอร์แรงและภาวะสมดุล"

คำอธิบายแต่ละส่วนและสิ่งที่ปรับได้

จุด	ชื่อส่วนประกอบ	คำอธิบายและสิ่งที่ปรับได้
A	ปุ่มโหมด (Mode Buttons)	คลิกเพื่อสลับระหว่าง 3 โหมด: 3 แรงสมดุล Graphic Method Component Method
B	Preset Dropdown	เลือกชุดค่าตัวอย่าง Trial 1-4 ที่ใช้บ่อยในการทดลอง หรือเลือก "กำหนดเอง" เพื่อกรอกค่าเอง
C	สไลด์เดอร์ F_1 (Force 1 Controls)	ปรับขนาด $ F_1 $ (0-3.0 N) และทิศทาง θ_1 (0-360°) สีม่วง — เวกเตอร์ F_1
D	สไลด์เดอร์ F_2 (Force 2 Controls)	ปรับขนาด $ F_2 $ (0-3.0 N) และทิศทาง θ_2 (0-360°) สีชมพู — เวกเตอร์ F_2
E	สไลด์เดอร์มุม A	ปรับมุมระหว่าง F_1 และ F_2 (10-170°)

จุด	ชื่อส่วนประกอบ	คำอธิบายและสิ่งที่ปรับได้
	(Angle A)	มุม 180° ไม่ได้ — ระบบไม่สามารถสมดุลได้
F	สไลด์เดอร์สเกล (Drawing Scale)	ปรับสเกลการวาด (30–130 px/N) $1\text{ cm} \approx 0.2\text{ N}$ ในการทดลองจริง
G	Toggle แสดงผล (Display Options)	เปิด/ปิดการแสดงผลองค์ประกอบ x,y / ป้ายชื่อ / ผลลัพธ์ R / กริด / Parallelogram
H	กล่องผลคำนวณ (Readout Box)	แสดง $ R $, ทิศ θ_R , F_3 (ทดสอบ), % Error, R_x , R_y แบบ real-time อ่านค่าเหล่านี้ก่อนบันทึกผลตารางทุกครั้ง
I	ช่องกรอก F_3 (F3 Input)	กรอกขนาดและทิศทางของ F_3 ที่วัดได้จาก spring scale จริง กดปุ่ม "🎯 ตั้งทิศ F_3 ตรงข้าม R" เพื่อตั้งอัตโนมัติ
J	Canvas พื้นที่วาด (Vector Canvas)	แสดงเวกเตอร์ F_1 (ม่วง), F_2 (ชมพู), F_3 (ส้ม), R (เขียว) คลิกลากเวกเตอร์บน canvas ได้ พร้อมแสดงมุม A, B, C
K	ตารางบันทึกผล (Data Table)	แสดงผลทุก Trial: F_3 , F_1 , $B = \angle(F_1, F_3)$, F_2 , $C = \angle(F_2, F_3)$, $ R $, $A = \angle(R, F_3)$, R Error มีปุ่ม "✅ บันทึก", "🎯 สุ่ม F_3 ", "🗑️ ล้างตาราง"
L	ตารางเปรียบเทียบ (Comparison Box)	สรุปและเปรียบเทียบ R (ทฤษฎี) กับ F_3 (วัดได้) ทุก Trial แสดงสถิติค่าเฉลี่ย % Error และ Trial ที่แย่ที่สุด

💡 **เคล็ดลับ:** ลองกด "🎯 สุ่ม F_3 " แล้วดูว่า % Error เปลี่ยนอย่างไร จากนั้นค่อยๆ ปรับ $|F_3|$ และ θ_3 ให้ % Error น้อยกว่า 5% เพื่อฝึกทักษะการอ่านค่าจาก spring scale

6. ใบบันทึกผลการทดลองและคำถาม

6.1 ตารางบันทึกผลการทดลอง — โหมด 3 แรงสมดุล

บันทึกค่าจาก Readout Box (H) และ Data Table (K) ลงในตารางด้านล่าง:

Trial	$ F_1 $ (N)	θ_1 (°)	$ F_2 $ (N)	A (°)	$ R $ calc (N)	$ F_3 $ meas (N)	θ_r (°)	% Error
1	1.40	180	0.80	101		1.39		
2	1.20	210	1.20	120		1.20		
3	1.00	180	1.50	90		1.50		
4	0.60	200	0.60	60		0.60		
	ค่าเฉลี่ย % Error							

6.2 ตารางบันทึกผล — โหมด Component Method

บันทึกองค์ประกอบของแรงและแรงลัพธ์ (ใช้ค่าจาก Trial 1 เป็นหลัก):

Trial	F_{1x} (N)	F_{1y} (N)	F_{2x} (N)	F_{2y} (N)	R_x (N)	R_y (N)
1						
2						
3						
4						

6.3 คำถามท้ายการทดลอง

- เมื่อเพิ่มมุม A (มุมระหว่าง F_1 และ F_2) จาก 60° เป็น 120° แรงลัพธ์ R มีขนาดเปลี่ยนแปลงอย่างไร? เพราะเหตุใด?

2. ถ้าต้องการให้ระบบสมดุลโดยที่ $F_3 = F_1 + F_2$ พอดี ต้องตั้งทิศ F_3 ไปทิศทางใดเทียบกับ R?

3. ค่า % Error ที่ได้ในแต่ละ Trial มีแนวโน้มอย่างไร? สาเหตุหลักที่ทำให้เกิด % Error คืออะไร?

4. ทดลองใช้วิธีแยกองค์ประกอบ (Component Method) คำนวณ R_x และ R_y สำหรับ Trial 1 แล้วตรวจสอบกับค่าในโปรแกรม — ตรงกันหรือไม่? แสดงการคำนวณ

5. ถ้า $F_1 = F_2$ และมุม $A = 120^\circ$ จงพิสูจน์โดยใช้ Law of Cosines ว่า $|R| = |F_1|$ แล้วทดสอบกับ Simulation ว่าตรงกันหรือไม่

7. ข้อควรระวังและข้อแนะนำ

7.1 ข้อควรระวังด้านวิธีการใช้ Simulation

- ⚠ มุม A ห้ามตั้งเป็น 180° — โปรแกรมจะแสดงข้อความแจ้งเตือนสีชมพู เพราะระบบไม่สามารถสมดุลได้
- ⚠ ค่า F_3 ที่กรอกต้องเป็นบวก — spring scale วัดได้เฉพาะขนาด ทิศทางกำหนดโดย θ_3
- ⚠ กด  "บันทึกแถวนี้" ก่อนเปลี่ยน Preset ทุกครั้ง ไม่เช่นนั้นข้อมูลจะหายไป
- ⚠  "ล้างตาราง" จะลบข้อมูลทุก Trial ทันที ไม่มี Undo — คัดลอกข้อมูลลงกระดาษก่อนกด

7.2 ข้อควรระวังด้านการทดลองจริง

- ตรวจสอบ zero reading ของ spring scale ในแนวนอนเสมอ — spring scale มักถูกปรับสอบในแนวตั้ง จึงต้อง recalibrate ก่อนใช้
- ยกแขวนขึ้นแล้ววางลง 1–2 ครั้ง เพื่อลดแรงเสียดทานที่จุดยึด
- อ่านค่า spring scale โดยมองตรงกับตำแหน่งเข็ม เพื่อป้องกัน parallax error
- ใช้ดินสอจุดตำแหน่งเส้นเชือกอย่างน้อย 2 จุดต่อเส้น เพื่อวาดเส้นตรงได้แม่นยำ

7.3 ข้อแนะนำเพิ่มเติม

- เมื่อ % Error > 10% ให้ตรวจสอบการอ่านมุม A จากโปรแทรกเตอร์ก่อน เพราะมักเป็นแหล่งความคลาดเคลื่อนหลัก
- ทดลองเพิ่มสเกล (ส่วน F) ให้ใหญ่ขึ้น เพื่อให้เห็นเวกเตอร์และมุมชัดเจนกว่า
- หากต้องการตรวจสอบคำตอบข้อ 5 ใน Simulation ให้ใช้ Trial 2 ($F_1=F_2=1.20\text{N}$, $A=120^\circ$)

8. เกณฑ์การประเมินผล

8.1 Rubric การประเมินทักษะการทดลอง

หัวข้อ	ดีมาก (4)	ดี (3)	พอใช้ (2)	ปรับปรุง (1)	น้ำหนัก
1. การอ่านและบันทึกค่า	บันทึกครบ 4 Trial ค่าครบถ้วนทุกช่อง	บันทึกครบ 3 Trial ค่าเกือบครบ	บันทึก 2 Trial มีช่องว่าง	บันทึกไม่ครบ หรือค่าผิดชัด	× 3
2. % Error ของข้อมูล	ค่าเฉลี่ย % Error < 5%	5% ≤ % Error < 10%	10% ≤ % Error < 15%	% Error ≥ 15%	× 2
3. การใช้ Component Method	คำนวณ Rx, Ry ถูก ทุก Trial ครบ	คำนวณได้ 3 Trial ขั้นตอนถูก	คำนวณได้ 2 Trial มีข้อผิดพลาดบ้าง	คำนวณได้ 1 Trial หรือผิดหลายที่	× 2
4. การตอบคำถาม	ตอบครบ 5 ข้อ อธิบายชัดเจน	ตอบ 4 ข้อ อธิบายพอควร	ตอบ 3 ข้อ ขาดรายละเอียด	ตอบน้อยกว่า 3 ข้อ	× 2
5. ความตรงต่อเวลา	ส่งก่อนหรือตรงเวลา	ส่งช้า ≤ 1 วัน	ส่งช้า 2-3 วัน	ส่งช้า > 3 วัน	× 1

คะแนนเต็ม = $(4 \times 3 + 4 \times 2 + 4 \times 2 + 4 \times 2 + 4 \times 1) = 40$ คะแนน

เกรด A = 36-40 | B = 28-35 | C = 20-27 | D = 12-19 | F = < 12

8.2 เกณฑ์คะแนน % Error เพิ่มเติม

% Error	ระดับ	ความหมาย
< 5%	ดีเยี่ยม 	ผลการทดลองสอดคล้องกับทฤษฎีมาก
5-10%	ดี 	อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ทางวิทยาศาสตร์
10-15%	พอใช้ 	ควรตรวจสอบมุม A และการอ่าน scale
> 15%	ต้องแก้ไข 	มีความคลาดเคลื่อนสูง ต้องทำซ้ำ