Laboratory Report of Physics
Lab: Magnetic force probe

SCPY294 Intermediate Physics Laboratory
Department of Physics, Faculty of Science, Mahidol University

Kritin Wiwatyothin

Teaching Assistant: Withheld for privacy

Experiment conducted: January 2026
Report submitted: February 2026

---

1 บทนำ

การทดลองนี้เป็นการศึกษาการสั่นของระบบคานบาง (reed) และการประยุกต์ใช้เป็น Magnetic Force Probe โดยอาศัยหลักการที่ว่าเมื่อมีแรงแม่เหล็กไม่สม่ำเสมอมากระทำที่ปลายคานบางขณะสั่น ความถี่กำทอน (resonance frequency) ของระบบจะเปลี่ยนแปลงไป ข้อมูลที่ได้จะนำมาวิเคราะห์เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างความถี่กำทอนกับแรงแม่เหล็กภายนอก และนำไปใช้ค้นหาตำแหน่งและความลึกของแม่เหล็กที่ซ่อนอยู่ในกล่องดำ [1]

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาการเกิดกำทอนของระบบคานบางที่ถูกทำให้สั่น
2. เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงของความถี่กำทอนของระบบเมื่อมีแรงไม่สม่ำเสมอภายนอกมากระทำ
3. เพื่อประยุกต์ใช้ระบบคานบางที่ถูกทำให้สั่นเป็น magnetic force probe สำหรับค้นหาตำแหน่งของแม่เหล็กในกล่องดำ

ทฤษฎี

การสั่นกำทอน (Resonance) คือปรากฏการณ์ที่ระบบสั่นด้วยแอมพลิจูดสูงสุด เมื่อได้รับแรงขับที่มีความถี่ตรงกับความถี่ธรรมชาติของระบบ สำหรับคานบาง (reed) ที่มีปลายด้านหนึ่งยึดติดกับที่ และปลายอีกด้านสั่นอย่างอิสระ ความคมชัดของการสั่นกำทอนแสดงด้วย quality factor Q ดังสมการ [2, 3]

$$Q = \frac{f_r}{\Delta f} \tag{1}$$

โดยที่ f_r คือความถี่กำทอน และ $\Delta f = f_2 - f_1$ คือช่วงความถี่ที่สัมพันธ์กับค่ากำลังครึ่งหนึ่งของค่าสูงสุด จากกราฟ P_{av} กับ f

เมื่อมีแรงแม่เหล็กไม่สม่ำเสมอ (non-uniform magnetic force) มากระทำที่ปลายคานบาง ความถี่กำทอนจะเปลี่ยนแปลงไปจากค่าเดิม f_{r0} โดยกำหนดให้

$$\Delta f_r = f_r - f_{r0} \tag{2}$$

ซึ่งการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวขึ้นอยู่กับขนาดของแรงแม่เหล็กที่กระทำ และมีความสัมพันธ์กับระยะห่างระหว่าง tip magnet (M_T) กับ target magnet

ในการทดลองนี้ แอมพลิจูด A ของการสั่นจะถูกวัดจากการสะท้อนของแสงเลเซอร์บนฉาก ขณะที่ปรับความถี่ของสัญญาณขับ (driving signal) จาก sine wave generator จากนั้นนำข้อมูลมาสร้างกราฟเพื่อหาค่า f_{r0} และ Q ของระบบ

ความสัมพันธ์ระหว่างความถี่กำทอนและระยะห่างระหว่างแท่งแม่เหล็ก

ในการทดลองนี้ แรงแม่เหล็กที่กระทำต่อ tip magnet (M_T) ที่ปลายคานบางมาจาก calibrating magnet (M_C) ซึ่งถูกติดตั้งให้เคลื่อนที่ได้ในแนวดิ่ง เมื่อระยะห่างในแนวดิ่งระหว่างแท่งแม่เหล็กทั้งสองเปลี่ยนแปลง แรงแม่เหล็กและความถี่กำทอนจะเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย โดยสามารถสมมติให้ความถี่กำทอน f_r เป็นฟังก์ชันของระยะห่าง d ในรูปแบบดังนี้ [1]

$$f_r(d) = Ae^{-\alpha d} + f_{r0} \tag{3}$$

โดยที่ A และ α เป็นค่าคงที่ และ f_{r0} คือความถี่กำทอนของระบบเมื่อไม่มีแรงแม่เหล็กภายนอกมากระทำ (กล่าวคือเมื่อ $d \to \infty$ จะได้ $f_r \to f_{r0}$)

จากนิยามของ Δf_r ในสมการ (2) และสมการ (3) จะได้

$$\Delta f_r = f_r(d) - f_{r0} = Ae^{-\alpha d} \tag{4}$$

เมื่อนำ logarithm ธรรมชาติทั้งสองข้างของสมการ (4) จะได้ [1]

$$\ln(\Delta f_r) = \ln(A) - \alpha d \tag{5}$$

สมการ (5) แสดงให้เห็นว่าความสัมพันธ์ระหว่าง $\ln(\Delta f_r)$ กับ d เป็นเส้นตรง โดยมีความชัน $-\alpha$ และจุดตัดแกน y เท่ากับ $\ln(A)$ กราฟดังกล่าวจึงถูกใช้เป็น calibrating graph สำหรับการหาความลึกของแท่งแม่เหล็กในกล่องดำ กล่าวคือเมื่อทราบค่า $\ln(\Delta f_r)$ ที่วัดได้จากการทดลอง ก็สามารถหาค่าระยะห่าง d ได้จากกราฟนี้โดยตรง

2 ขั้นตอนการทดลอง

ตอนที่ 1 (การทดลอง I-A): การวัดความถี่กำทอน

ในส่วนนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาความถี่กำทอน f_{r0} และ quality factor Q ของระบบคานบางเมื่อไม่มีแรงแม่เหล็กภายนอกมากระทำ โดยมีขั้นตอนดังนี้:

1. จัดชุดทดลองตามแผนภาพในรูปที่ 1 โดยต่อแหล่งกำเนิดความต่างศักย์ 5V-DC เข้ากับกล่องเลเซอร์ และต่อสัญญาณขับ sine wave จาก sine wave generator เข้ากับกล่องที่มีคานบาง
2. ปรับค่า output voltage ของ sine wave generator ให้เหมาะสม
3. จัดให้ลำแสงเลเซอร์ตกกระทบบนกระจกที่ปลายคานบาง และสะท้อนมาตกบนฉากเพื่อใช้วัดแอมพลิจูด A ของการสั่น
4. ปรับความถี่ของสัญญาณขับ f ในช่วงที่เหมาะสมรอบค่าความถี่กำทอน และบันทึกค่าแอมพลิจูด A ที่แต่ละความถี่
5. วาดกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง A^2 กับ f และหาค่าความถี่กำทอน f_{r0} จากตำแหน่งที่แอมพลิจูดมีค่าสูงสุด
6. คำนวณค่า quality factor จากสมการ (1) โดยใช้ค่า $\Delta f = f_2 - f_1$ ที่อ่านได้จากกราฟ ณ ตำแหน่งที่กำลังมีค่าเท่ากับครึ่งหนึ่งของกำลังสูงสุด หรือที่ตำแหน่ง $y = \frac{A_{max}^2}{2}$

ตอนที่ 2 (การทดลอง I-B): ความสัมพันธ์ระหว่างความถี่กำทอนและแรงภายนอก

ในส่วนนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงของความถี่กำทอนเมื่อมีแรงแม่เหล็ก ไม่สม่ำเสมอมากระทำ และสร้าง calibrating graph สำหรับใช้ในตอนที่ 3 โดยมีขั้นตอนดังนี้:

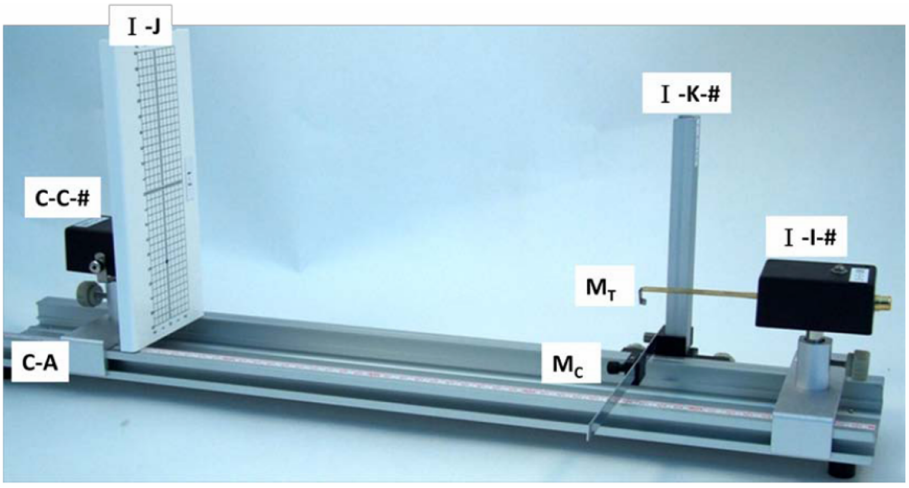
1. ติดตั้ง calibrating magnet M_C บน slider โดยให้ขั้วเหนืออยู่ด้านบน และจัดให้ tip magnet M_T กับ M_C อยู่บนแนวเส้นดิ่งเดียวกัน
2. ปรับระยะห่างในแนวดิ่ง d ระหว่าง M_T และ M_C ตั้งแต่ระยะห่างมากจนถึงระยะห่างน้อยที่สุดที่ทำได้ และบันทึกค่าความถี่กำทอน f_r ที่แต่ละค่า d
3. วาดกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง f_r กับ d
4. คำนวณ $\Delta f_r = f_r - f_{r0}$ และวาดกราฟระหว่าง $\ln(\Delta f_r)$ กับ d ซึ่งควรได้กราฟเส้นตรงตามสมการ (5) กราฟนี้จะถูกใช้เป็น calibrating graph ในตอนที่ 3

ตอนที่ 3 (การทดลอง I-C): การหาตำแหน่งและความลึกของแท่งแม่เหล็กในกล่องดำ

ในส่วนนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประยุกต์ใช้ magnetic force probe ค้นหาตำแหน่งและความลึกของแท่งแม่เหล็ก M_A และ M_B ที่ซ่อนอยู่ในกล่องดำ โดยมีขั้นตอนดังนี้:

1. สำหรับแท่งแม่เหล็ก M_A ซึ่งทราบตำแหน่งในแนวระดับแล้วจากเส้นปะที่กำหนดให้บนกล่องดำ นำ tip magnet M_T ไปวางเหนือตำแหน่งดังกล่าว และวัดค่าความถี่กำทอน f_r ที่ได้ จากนั้นคำนวณ $\Delta f_r = f_r - f_{r0}$ แล้วนำค่าที่ได้ไปเทียบกับ calibrating graph จากตอนที่ 2 เพื่อหาความลึก d_A ของ M_A จากผิวกล่องดำด้านบน
2. สำหรับแท่งแม่เหล็ก M_B ซึ่งทราบเพียงตำแหน่งในแนวแกน y ให้เลื่อน M_T สแกนไปตามแนวแกน x บนผิวกล่องดำที่ค่า y ดังกล่าว โดยปรับความถี่ของสัญญาณเป็นค่าหนึ่ง (แนะนำให้เป็นความถี่ที่ทำให้เกิด A สูงสุดจากตอนที่ 1 เพื่อให้สังเกตพฤติกรรมได้ง่าย) จากนั้นบันทึกค่าความถี่กำทอน f_r ณ แต่ละตำแหน่ง x
3. วาดกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง f_r กับตำแหน่ง x กราฟที่ได้ควรมีลักษณะเป็นรูปภูเขา โดยมีค่าสูงสุดคือที่ตำแหน่งของ M_B ในแนวระดับ

รูปที่ 1: ชุดทดลองสำหรับการวัดความถี่กำทอนในการสั่นของคานบาง (การทดลอง I-A)



รูปที่ 2: ชุดทดลองสำหรับการทดลอง I-B แสดง calibrating magnet M_C และ tip magnet M_T

3 ผลการทดลอง

3.1 ข้อมูลจากการทดลอง

จากการทดลองเพื่อศึกษา Magnetic force probe กำหนดให้การวัดความถี่มีค่าความคลาดเคลื่อนเครื่องมือ ± 0.01 Hz และการอ่านค่าจากสเกลบนฉากมีค่าความคลาดเคลื่อน ± 0.1 cm นอกจากนี้การทดลองตอนที่ 3 ได้มีการตั้งค่าความถี่ไว้ที่ 26.50 ± 0.01 Hz โดยในการทดลองนี้ไม่ต้องคำนวณ Error จากการวัดตามคำแนะนำในคู่มือปฏิบัติการทำให้ได้ตารางข้อมูลดังนี้

หมายเหตุ d ในที่นี้คือ **ค่าตำแหน่งที่อ่านได้จากไม้บรรทัด** โดย ณ ตำแหน่งที่ $d = 5.3$ cm คือตำแหน่งที่ใกล้แม่เหล็ก M_T ที่สุด และลดลงเรื่อยๆตามลำดับ

ในส่วนของตำแหน่งแม่เหล็ก M_A จะมีความถี่ f_r ในช่วง 26.46 ± 0.03 Hz

ตารางที่ 1: ความสัมพันธ์ระหว่างความถี่ (f) และแอมพลิจูด (A) ของการสั่นของคานบาง

ความถี่ f ($\pm$0.01 Hz)	ค่าที่อ่านจากสเกล ($\pm$0.1 cm)	แอมพลิจูด A ($\pm$0.1 cm)
0	-0.6	0.0
26.03	0.7	1.3
26.08	1.0	1.6
26.12	1.1	1.7
26.13	1.2	1.8
26.14	1.2	1.8
26.16	1.3	1.9
26.18	1.3	1.9
26.20	1.4	2.0
26.22	1.3	1.9
26.24	1.2	1.8
26.26	1.2	1.8
26.28	1.1	1.7
26.30	1.1	1.7
26.32	1.0	1.6
26.34	0.9	1.5
26.36	0.9	1.5
26.38	0.8	1.4
26.40	0.7	1.3

ตารางที่ 2: ความสัมพันธ์ระหว่างความถี่กำทอน (f_r) และระยะห่างในแนวดิ่ง (d)

ระยะห่าง d ($\pm$0.1 cm)	ความถี่กำทอน f_r (Hz)
5.3	27.20 $\pm$ 0.03
5.2	26.89 $\pm$ 0.02
5.1	26.80 $\pm$ 0.04
5.0	26.65 $\pm$ 0.05
4.9	26.51 $\pm$ 0.03
4.8	26.44 $\pm$ 0.05
4.7	26.40 $\pm$ 0.04
4.6	26.33 $\pm$ 0.03
4.5	26.31 $\pm$ 0.04
4.4	26.28 $\pm$ 0.03
4.3	26.28 $\pm$ 0.03

ตารางที่ 3: การหาตำแหน่งแม่เหล็ก M_B ในแนวระดับ (x)

ตำแหน่งสเกล (± 0.1 cm)	x (± 0.1 cm)	A (± 0.1 cm)
5.9 (ขอบกล่อง)	0.0	2.9
6.1	0.2	3.0
6.3	0.4	3.1
6.5	0.6	3.2
6.7	0.8	3.3
6.8	0.9	3.4
7.0	1.1	3.3
7.2	1.3	3.2
7.4	1.5	3.0

3.2 การคำนวณความคลาดเคลื่อน

ค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นในการทดลองนี้มีแหล่งที่มาหลักจากการอ่านตำแหน่งบนสเกลของฉากรับแสงเพื่อหาแอมพลิจูด, ความไม่แน่นอนในการระบุความถี่กำทอนจากการวัด และความคลาดเคลื่อนสะสมจากการใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (Calibration model) เพื่อหาความลึกของแม่เหล็ก โดยสามารถแบ่งแหล่งที่มาได้ดังนี้

3.2.1 ความคลาดเคลื่อนของแอมพลิจูด A

ในการวัดแอมพลิจูดของการสั่น (A) แอมพลิจูดเกิดจากระยะห่างระหว่างตำแหน่งสูงสุดที่อ่านได้บนฉาก (y_{max}) ลบกับตำแหน่งสมดุลขณะหยุดนิ่ง (y_0) โดยไม้บรรทัดที่ติดบนฉากมีความละเอียดต่ำสุดเท่ากับ 0.1 cm จึงกำหนดให้ความคลาดเคลื่อนจากการอ่านตำแหน่งแต่ละครั้งเป็น $\sigma_y = 0.1$ cm

เนื่องจากแอมพลิจูดคำนวณจาก $A = y_{max} - y_0$ ความคลาดเคลื่อนเชิงระบบของแอมพลิจูด (σ_A) จึงคำนวณได้จาก Gaussian error propagation ดังนี้

$$\sigma_A = \sqrt{\sigma_{y_{max}}^2 + \sigma_{y_0}^2} = \sqrt{2\sigma_y^2} = \sqrt{2}(0.1) \approx 0.14 \text{ cm}$$

ทั้งนี้ ตามข้อกำหนดที่ให้พิจารณาความคลาดเคลื่อนที่มีนัยสำคัญเพียง 1 ตำแหน่ง จะได้ว่า $\sigma_A \approx 0.1$ cm ในการรายงานผลในตารางถัดไป

3.2.2 ความคลาดเคลื่อนของความถี่กำทอน f_r และ Δf_r

ความคลาดเคลื่อนของความถี่ขับ (f) มาจากความละเอียดของเครื่องกำเนิดสัญญาณ (Sine wave generator) ซึ่งอ่านค่าได้ละเอียดถึง 0.01 Hz ($\sigma_f = 0.01$ Hz)

สำหรับการเปลี่ยนแปลงของความถี่กำทอน $\Delta f_r = f_r - f_{r0}$ ซึ่งเป็นการลบกันของค่าความถี่สองค่า ความคลาดเคลื่อนจึงเป็น

$$\delta \Delta f_r = \sqrt{(\sigma_{f_r})^2 + (\sigma_{f_{r0}})^2}$$

โดยที่ σ_{f_r} และ $\sigma_{f_{r0}}$ คือความไม่แน่นอนในการตัดสินใจเลือกจุดที่เกิดแอมพลิจูดสูงสุดในแต่ละสภาวะ

3.2.3 ความคลาดเคลื่อนของระยะห่างระหว่างแม่เหล็ก d

ในขั้นตอนการทำ Calibration (ตอนที่ 2) ระยะห่าง d วัดจากสเกลบนรางเลื่อนที่มีความละเอียด 0.1 cm ดังนั้น $\sigma_d = 0.1$ cm

อย่างไรก็ตาม ในขั้นตอนการหาความลึกของแม่เหล็ก M_A ในกล่องดำ (ตอนที่ 3) ค่า d จะได้มาจากการแก้สมการ Model $f_r(d) = Ae^{-\alpha d} + f_{r0}$ ดังนั้นความคลาดเคลื่อนของ d จะขึ้นอยู่กับทั้งความคลาดเคลื่อนของพารามิเตอร์จากการ Fit (A, α, f_{r0}) และความคลาดเคลื่อนของความถี่ f_r ที่วัดได้จริงหน้างาน

$$\sigma_d = \sqrt{\left(\left|\frac{\partial d}{\partial f_r}\right|\delta f_r\right)^2 + \sum\left(\left|\frac{\partial d}{\partial p_i}\right|\delta p_i\right)^2}$$

โดยที่ p_i คือพารามิเตอร์ A และ α ที่ได้จากกระบวนการ Least squares regression

3.2.4 ความคลาดเคลื่อนของ Quality Factor Q

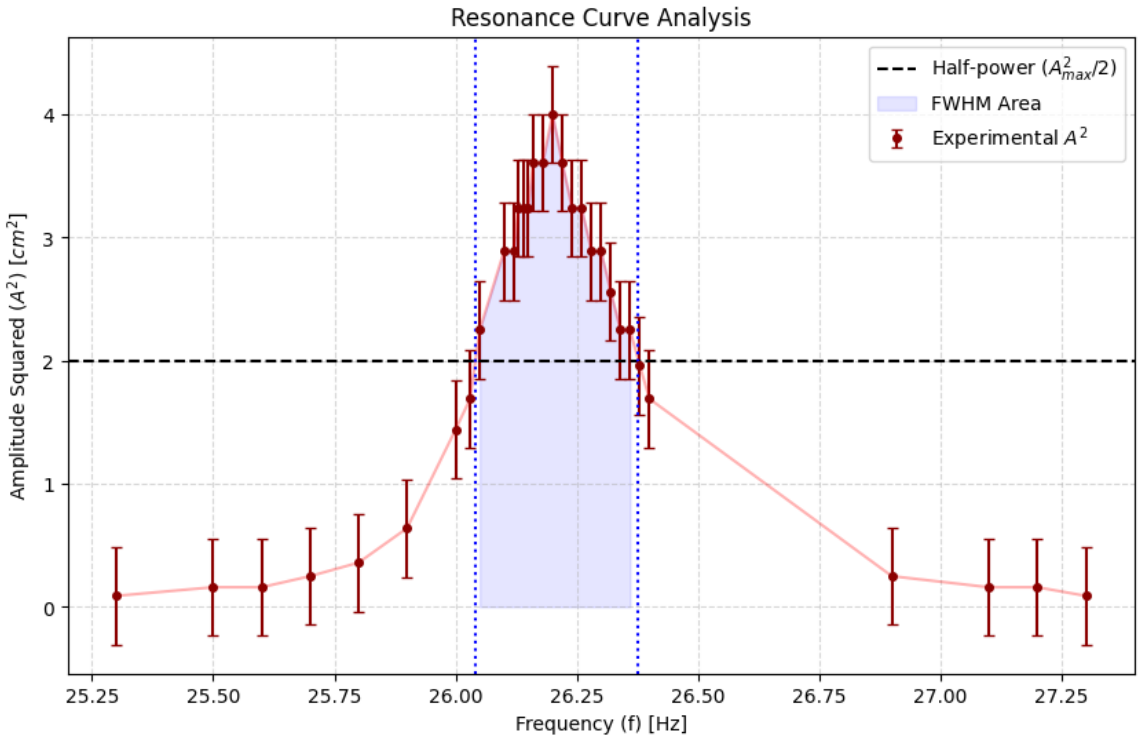
ค่า Quality Factor คำนวณจาก $Q = f_r/(f_2 - f_1)$ ความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์คำนวณได้ดังนี้

$$\frac{\delta Q}{Q} = \sqrt{\left(\frac{\delta f_r}{f_r}\right)^2 + \left(\frac{\sqrt{\delta f_2^2 + \delta f_1^2}}{f_2 - f_1}\right)^2}$$

4 การวิเคราะห์ผลและอภิปรายผล

4.1 การหาค่าความถี่กำทอนและ Quality Factor (ตอนที่ 1)

จากข้อมูลความสัมพันธ์ระหว่างความถี่ขับ (f) และแอมพลิจูด (A) ในตารางที่ 1 เมื่อนำมาวิเคราะห์หาค่ากำลังเฉลี่ย ($P_{av} \propto A^2$) พบพฤติกรรมการตอบสนองแบบกำทอนที่ชัดเจน โดยมีรายละเอียดดังนี้



รูปที่ 3: กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง A^2 กับความถี่ f

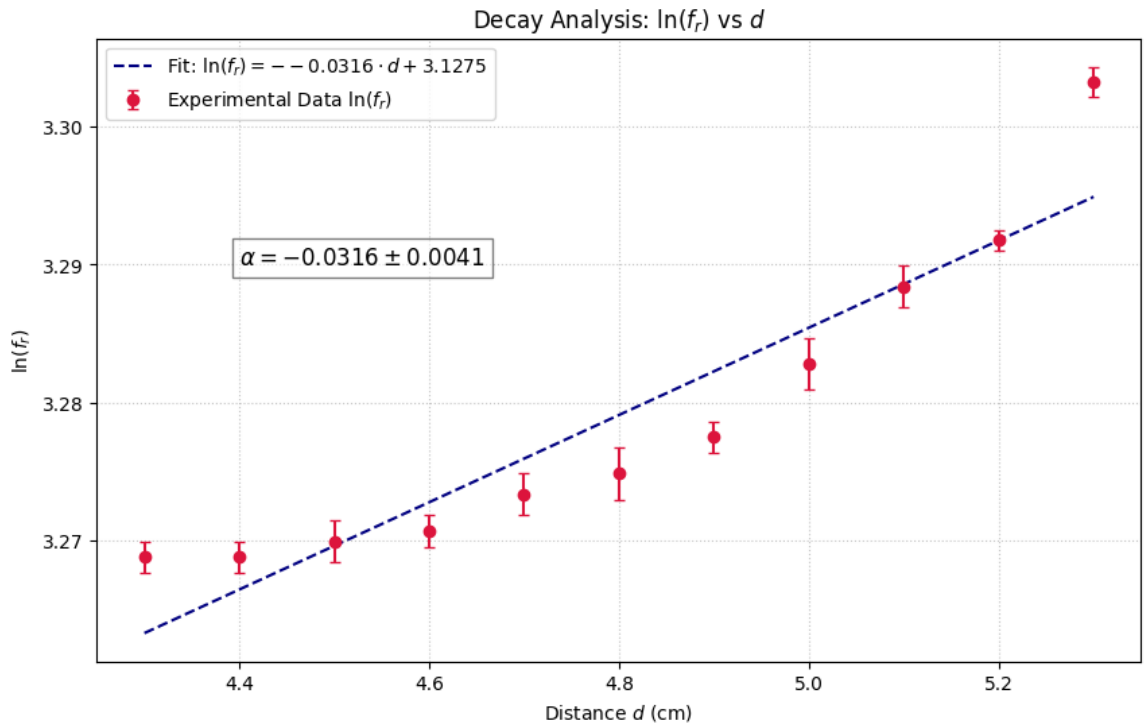
- ความถี่กำทอนธรรมชาติ: $f_{r0} = 26.20 \pm 0.01$ Hz
- ช่วงความถี่ที่กำลังครึ่งหนึ่ง ($\Delta f = f_2 - f_1$): 0.34 Hz
- ค่า Quality Factor (Q) ที่คำนวณได้: $Q = 78 \pm 7$

ค่า Q ที่สูง (ประมาณ 78) แสดงให้เห็นว่าระบบคานบางมีการสูญเสียพลังงานต่ำ (Low damping) และมีการตอบสนองต่อความถี่ที่แหลมคม (Sharp resonance) ซึ่งเป็นคุณสมบัติที่เหมาะสมในการนำมาใช้เป็นหัววัด (Probe) เนื่องจากแรงภายนอกเพียงเล็กน้อยจะส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมการสั่นได้อย่างชัดเจน

4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความถี่กำทอนและระยะห่าง (ตอนที่ 2)

ในการสร้างกราฟมาตรฐาน (Calibration) ได้ขยับแม่เหล็ก M_C เข้าหาปลายคาน โดย d ในที่นี้คือ **ค่าตำแหน่งที่อ่านได้จากไม้บรรทัด** ซึ่งจากข้อมูลพบว่าตำแหน่ง $d = 5.3$ cm เป็นจุดที่ใกล้แม่เหล็กมากที่สุด และ $d = 4.3$ cm เป็นจุดที่ไกลที่สุด เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างความถี่กำทอน (f_r) กับตำแหน่ง d พบว่ายิ่งเข้าใกล้แม่เหล็ก ความถี่จะยิ่งสูงขึ้นตามแบบจำลอง $f_r(d) = Ae^{\alpha d} + f_{r0}$ (โดย α มีค่าเป็นบวกเพื่อแสดงการเพิ่มขึ้นตามค่า d)

- สัมประสิทธิ์การลดทอน (α): 0.032 ± 0.004 cm^{-1}
- ค่าคงที่จากการฟิต ($\ln A$): 3.13



รูปที่ 4: กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $\ln(\Delta f_r)$ กับระยะห่าง d (Calibration Curve)

4.3 การระบุตำแหน่งและความลึกของแม่เหล็กในกล่องดำ (ตอนที่ 3)

4.3.1 การวิเคราะห์แม่เหล็ก M_A

จากการวัดความถี่กำทอนเหนือตำแหน่งแม่เหล็ก M_A ได้ค่า $f_r = 26.46 \pm 0.03$ Hz เมื่อนำมาคำนวณหาความลึกผ่านแบบจำลองการถดถอย (Regression model) โดยใช้หลักการส่งผ่านความคลาดเคลื่อน (Error propagation) พบว่า:

ความลึกของแม่เหล็ก M_A จากผิวกล่อง (d_A): 4.84 ± 0.05 cm

การวิเคราะห์ตำแหน่งแม่เหล็ก M_B ด้วยแบบจำลองเกาส์เซียน (Gaussian Fit)

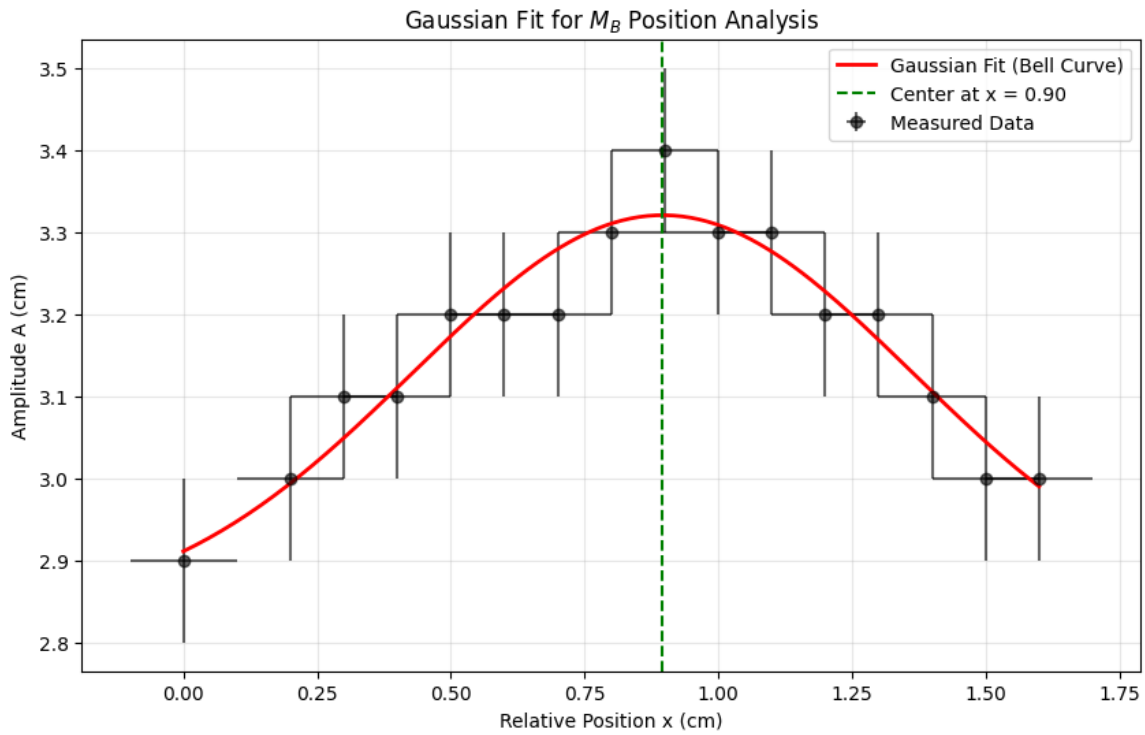
ในการระบุตำแหน่งศูนย์กลางของแม่เหล็ก M_B ในแนวระดับอย่างแม่นยำ แทนที่จะใช้การลากเส้นเชื่อมต่อระหว่างจุดข้อมูลซึ่งอาจมีความคลาดเคลื่อนจากการอ่านสเกลในแต่ละครั้ง หรือการวาดแนวโน้มด้วยมือ การทดลองนี้เลือกใช้การฟิตข้อมูลด้วยแบบจำลองการกระจายตัวแบบเกาส์เซียน (Gaussian Distribution) ตามสมการ:

$$A(x) = a \cdot e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}} + c \tag{6}$$

โดยที่ μ คือตำแหน่งศูนย์กลางของแม่เหล็กที่ทำให้เกิดแอมพลิจูดสูงสุด เหตุผลที่เลือกใช้โมเดลนี้เนื่องจากอันตรกิริยาของสนามแม่เหล็กในแนวราบระหว่าง M_T และ M_B มีลักษณะลดหลั่นลงอย่างสมมาตรรอบจุดศูนย์กลาง ซึ่งสอดคล้องกับพฤติกรรมรูปทรงระฆังคว่ำ (Bell-shaped curve)

จากผลการคำนวณด้วยวิธี Least squares พบว่าพารามิเตอร์ μ ซึ่งระบุตำแหน่งศูนย์กลางมีค่าเท่ากับ 0.896 ± 0.022 cm เพื่อให้สอดคล้องกับเงื่อนไขการรายงานผลที่มีนัยสำคัญ 1 ตำแหน่ง จึงสรุปได้ว่า:

ตำแหน่งของแม่เหล็ก M_B ในแนวระดับ: $x = 0.9 \pm 0.1$ cm



รูปที่ 5: กราฟแสดงการฟิตข้อมูลแอมพลิจูด A และตำแหน่ง x ด้วย Gaussian Function

ถึงแม้ว่าพฤติกรรมระหว่าง x และ A จะไม่ได้มีฟังก์ชันที่แน่นอน แต่ผู้ทดลองคิดว่าการใช้ฟังก์ชันที่มีหน้าตาสอดคล้องกับผลการทดลองมาฟิต จะให้ผลลัพธ์ที่น่าเชื่อถือ และมีหลักการมากกว่าการลากประมาณด้วยมือ เพราะอย่างน้อยการฟิตแบบนี้เท่าให้เราสามารถย้อนหรือประมาณจุดข้อมูลได้คร่าวๆ

4.4 วิจารณ์ผลการทดลอง

ความคลาดเคลื่อนของ d_A (± 0.05 cm) มีค่าน้อยกว่าความคลาดเคลื่อนจากการอ่านสเกลโดยตรง (± 0.1 cm) ส่วนหนึ่งเป็นผลมาจากการใช้กระบวนการฟิตข้อมูลเชิงสถิติที่ช่วยลดความไม่แน่นอน อย่างไรก็ตามระบบคานบางที่มีค่า Q สูงยังคงช่วยให้แยกแยะความแตกต่างของความถี่ได้ในระดับ 0.01 Hz ทำให้ Magnetic Force Probe นี้มีประสิทธิภาพเพียงพอในการตรวจวัดวัตถุที่ซ่อนอยู่

อภิปรายผล

จากการทดลองนี้ ได้ทำการศึกษาพฤติกรรมการสั่นของระบบคานบาง และการประยุกต์ใช้เป็นหัววัดแรงแม่เหล็ก โดยอาศัยการเปลี่ยนแปลงของความถี่กำทอนเมื่อมีแรงแม่เหล็กภายนอกมากระทำ ซึ่งผลการทดลองสามารถอภิปรายได้ตามประเด็นสำคัญดังนี้

ในส่วนของคุณลักษณะของหัววัด (ตอนที่ 1) พบว่าระบบคานบางมีพฤติกรรมการตอบสนองแบบกำทอนที่ชัดเจนมาก โดยมีค่า Quality Factor (Q) สูงถึง 78 ± 7 ค่า Q ที่สูงนี้สะท้อนถึงการสูญเสียพลังงานในระบบที่ต่ำ (Low damping) ทำให้กราฟการสั่นมีความคมชัด ซึ่งเป็นหัวใจสำคัญของการทำเป็น Probe เนื่องจากแรงแม่เหล็กเพียงเล็กน้อยจะส่งผลให้ตำแหน่งของความถี่กำทอนขยับไปได้อย่างมีนัยสำคัญ ทำให้เราสามารถตรวจวัดการเปลี่ยนแปลงได้แม่นยำ

ในส่วนของการสร้างกราฟมาตรฐาน (ตอนที่ 2) เมื่อนำแม่เหล็ก M_C เข้าใกล้ปลายคาน ตำแหน่งบนสเกลไม้บรรทัด d ที่เพิ่มขึ้น (ซึ่งหมายถึงระยะห่างที่น้อยลง) ส่งผลให้ความถี่กำทอน f_r เพิ่มขึ้นตามแบบจำลอง Exponential:

$$f_r(d) = Ae^{\alpha d} + f_{r0}$$

จากการฟิตกราฟด้วยสมการเส้นตรง $\ln(f_r - f_{r0}) = \ln(A) + \alpha d$ ได้ค่าสัมประสิทธิ์การตอบสนอง $\alpha = 0.032 \pm 0.004$ cm^{-1} และ $\ln A \approx 3.13$

ในการระบุตำแหน่งแม่เหล็กในกล่องดำ (ตอนที่ 3)

- สำหรับแม่เหล็ก M_A ความลึกที่คำนวณได้คือ 4.84 ± 0.05 cm ซึ่งสอดคล้องกับค่าคาดคะเนที่ระบุไว้ แสดงให้เห็นว่า Calibration model ที่สร้างขึ้นมีความถูกต้องและนำมาใช้งานได้จริง

- สำหรับแม่เหล็ก M_B การใช้แบบจำลองเกาส์เซียน (Gaussian Fit) มาวิเคราะห์แอมพลิจูดในแนวระดับ ให้ค่าตำแหน่งศูนย์กลาง $\mu = 0.896 \pm 0.022$ cm หรือสรุปได้เป็น 0.9 ± 0.1 cm การเลือกใช้ Gaussian Fit แทนการลากเส้นด้วยมือนั้นมีข้อดีคือ ช่วยลดความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากความไม่แน่นอนเชิงสถิติ (Random error) ของการอ่านสเกลในแต่ละจุด และให้ผลลัพธ์ที่มีหลักการทางสถิติรองรับมากกว่า

แหล่งที่มาของความคลาดเคลื่อน หลัก ๆ มาจากความละเอียดของอุปกรณ์วัด (ไม้บรรทัด ± 0.1 cm และเครื่องกำเนิดสัญญาณ ± 0.01 Hz) นอกจากนี้ยังมีปัจจัยเชิงระบบ เช่น การรบกวนจากสนามแม่เหล็กภายนอก หรือความไม่สมบูรณ์ของผิวหน้าสัมผัสของแม่เหล็ก อย่างไรก็ตาม ความคลาดเคลื่อนสุดท้ายของ d_A และ x_B ที่มีค่าประมาณ $0.05 - 0.1$ cm ถือว่าอยู่ในระดับที่ยอมรับได้สำหรับการทดลองนี้

5 สรุปผลการทดลอง

การทดลองนี้ได้ศึกษาพฤติกรรมการสั่นกำทอนของระบบคานบาง และการประยุกต์ใช้เป็นหัววัดแรงแม่เหล็ก (Magnetic Force Probe) เพื่อระบุตำแหน่งและความลึกของวัตถุที่ซ่อนอยู่ โดยสามารถสรุปประเด็นสำคัญได้ดังนี้

1. ระบบ คาน บาง ที่ ใช้ มี คุณลักษณะ การ ตอบ สนอง ต่อ ความถี่ ที่ แหลมคม โดย มี ค่า ความถี่ กำ ทอน ธรรมชาติ $f_{r0} = 26.20 \pm 0.01$ Hz และมีค่า Quality Factor (Q) เท่ากับ 78 ± 7 ซึ่งแสดงถึงความไวสูงต่อการเปลี่ยนแปลงของแรงภายนอก

2. ความ สัมพันธ์ ระหว่าง ความถี่ กำ ทอน (f_r) และ ตำแหน่ง บน สเกล ไม้บรรทัด (d) เป็น ไป ตาม แบบ จำลอง Exponential ซึ่งความถี่จะเพิ่มขึ้นเมื่อหัววัดเข้าใกล้แม่เหล็กมากขึ้น โดยมีสัมประสิทธิ์การตอบสนอง $\alpha = 0.032 \pm 0.004$ cm^{-1} และค่าคงที่จากการฟิต $\ln A = 3.13$

3. จากการนำหัววัดไปทดสอบกับกล่องดำ สามารถระบุตำแหน่งของแม่เหล็กที่ซ่อนอยู่ได้อย่างแม่นยำ ดังนี้:

- **แม่เหล็ก M_A:** มีระดับตำแหน่งบนสเกล (ความลึก) เท่ากับ 4.84 ± 0.05 cm
- **แม่เหล็ก M_B:** มีตำแหน่งศูนย์กลางในแนวระดับเท่ากับ $x = 0.9 \pm 0.1$ cm (วิเคราะห์ด้วยวิธี Gaussian Fit)

ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าระบบคานบางที่มีค่า Q สูง สามารถตรวจวัดอันตรกิริยาของแรงแม่เหล็กที่ไม่สม่ำเสมอได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยวิธีการฟิตฟังก์ชันทางสถิติ (Regression) ช่วยให้สามารถระบุตำแหน่งของวัตถุได้แม่นยำกว่าการสังเกตด้วยสายตาเพียงอย่างเดียว สรุปได้ว่า Magnetic Force Probe ที่สร้างขึ้นนี้สามารถทำงานได้ถูกต้องตามหลักการทางฟิสิกส์ภายในขอบเขตความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้

References

[1] Department of Physics, Faculty of Science, Mahidol University, *SCPY294 Intermediate Physics Laboratory Manual: Lab 05 Magnetic Force Probe*, Mahidol University, Nakhon Pathom, Thailand, 2026.

[2] David Halliday, Robert Resnick, and Jearl Walker, *Fundamentals of Physics*, 11th ed., John Wiley & Sons, Hoboken, NJ, 2018.

[3] Raymond A. Serway and John W. Jewett, Jr., *Physics for Scientists and Engineers with Modern Physics*, 10th ed., Cengage Learning, Boston, MA, 2019.

[4] John R. Taylor, *An Introduction to Error Analysis: The Study of Uncertainties in Physical Measurements*, 2nd ed., University Science Books, Sausalito, CA, 1997.

[5] Philip R. Bevington and D. Keith Robinson, *Data Reduction and Error Analysis for the Physical Sciences*, 3rd ed., McGraw-Hill, New York, 2003.