

สลิงกีและการสั่นเพนดูลัมแบบควบคู่ (Slinky & Coupled Pendulum) [20 คะแนน]

Solution & Marking Scheme

ตอนที่ 1 [7.5 คะแนน]

1.a บันทึกผลการทดลอง [2.2 คะแนน]

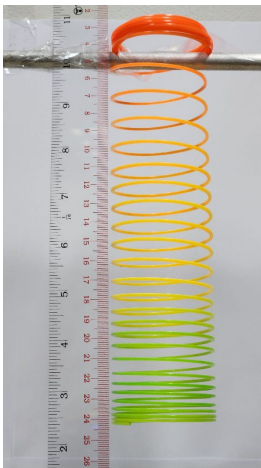
มวลของสปริงอันยาวทั้งอัน = 18.1 กรัม

จำนวนขดของสปริงทั้งอัน = 29 ขด

คำนวณมวลของสปริงจำนวน 1 ขด $m_1 = 0.624$ กรัม

วัดความยาวของสปริงจำนวน 1 ขด $L_{T,10} = 16.0 \pm 0.5$ mm จึงได้ $L_{T,1} = 1.60 \pm 0.05$ mm

การวัด y_n



- นำสปริงวางบนคานให้มีส่วนที่ห้อยลงมาประมาณ 25 ขด
- ใช้เทปใสยึดและปรับให้สปริงห้อยตรงในแนวตั้ง
- แขนงไม้บรรทัดในแนวตั้งใกล้สปริง
- อ่านค่าตำแหน่งแต่ละขดจากไม้บรรทัด
- นำตำแหน่งล่างสุดไปลบออกจากตำแหน่งของขด n ต่างๆ เพื่อหาค่า y_n
- นักเรียนบางคนอาจพยายามเลื่อนไม้บรรทัดให้ขีด 0 cm ตรงกับปลายล่างของสปริง แล้วอ่านค่า y_n โดยตรงก็ได้

หมายเหตุ: กรณีนำไปฝึกฝนที่ศูนย์ สอวท. หลังการทดลองต้องถอดสปริงพลาสติกมาวางในแนวตั้ง เพื่อป้องกันสปริงเสื่อมจนเสียสมดุล

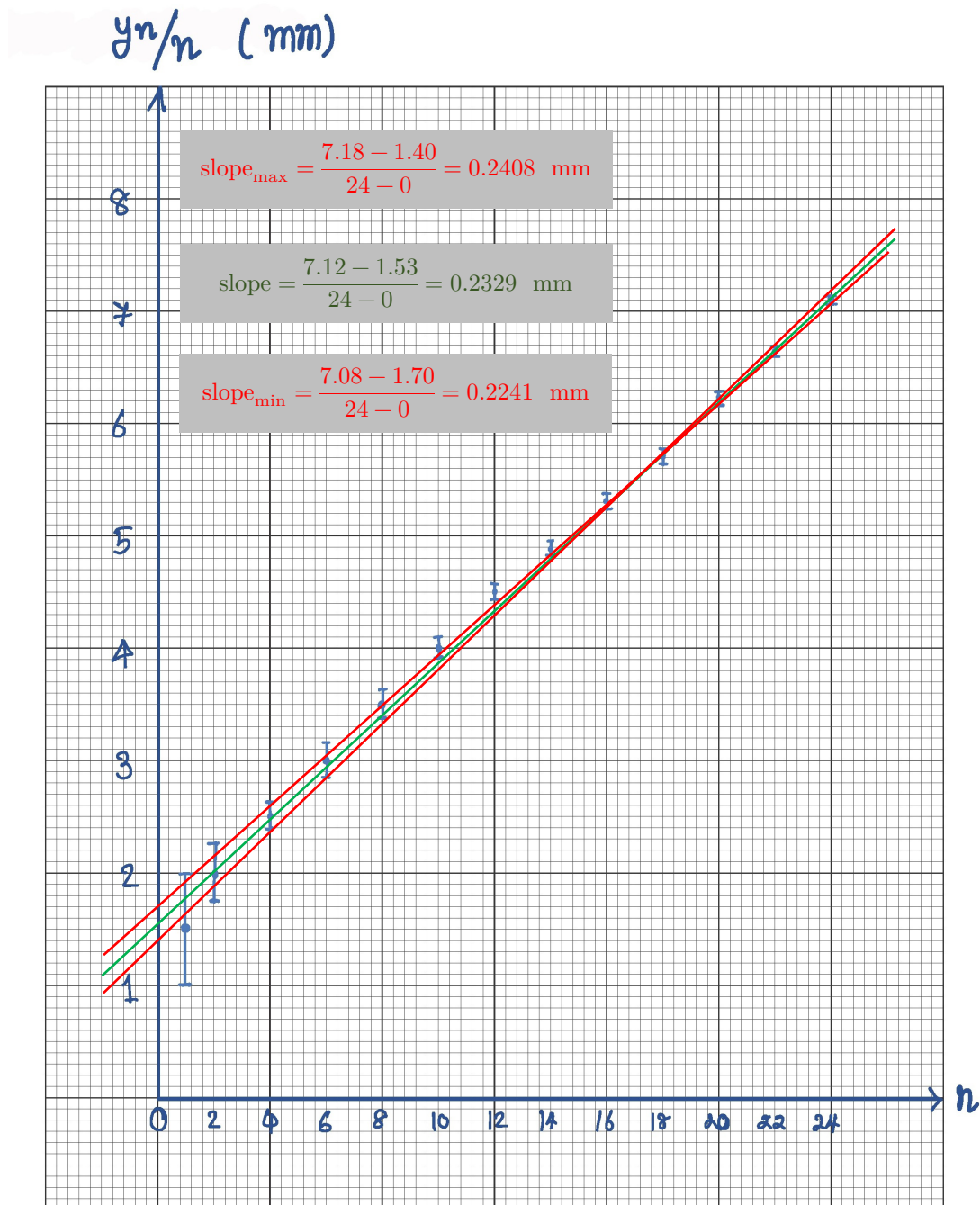
Solution & Marking Scheme

การแข่งขันฟิสิกส์โอลิมปิกระดับชาติ ครั้งที่ 22
โรงเรียนเตรียมทหาร สถาบันวิชาการป้องกันประเทศ
วันที่ 7 พฤษภาคม พ.ศ. 2566

n	ตำแหน่งบนสเกล (cm)	y_n (mm)	$\frac{y_n}{n}$ (mm)	หมายเหตุ
0	21.80 ± 0.05	0.00		
1	21.65 ± 0.05	1.5 ± 0.5	1.5 ± 0.5	ขดใกล้กัน สามารถใช้ไม้บรรทัดวัดระยะ y_n โดยตรงได้ด้วย ไม่ได้นำตำแหน่งมา ลบกันอย่างเดียว ค่า error จึงเป็น 0.5 mm (ไม่ใช่ 1.0 mm)
2	21.40 ± 0.05	4.0 ± 0.5	2.0 ± 0.25	
4	20.80 ± 0.05	10.0 ± 0.5	2.50 ± 0.13	
6	20.00 ± 0.05	18.0 ± 1.0	3.00 ± 0.17	
8	19.00 ± 0.05	28.0 ± 1.0	3.50 ± 0.12	
10	17.80 ± 0.05	40.0 ± 1.0	4.00 ± 0.10	
12	16.40 ± 0.05	54.0 ± 1.0	4.50 ± 0.08	
14	14.95 ± 0.05	68.5 ± 1.0	4.89 ± 0.07	
16	13.30 ± 0.05	85.0 ± 1.0	5.31 ± 0.06	
18	11.50 ± 0.05	103.0 ± 1.0	5.72 ± 0.06	
20	9.35 ± 0.05	124.5 ± 1.0	6.23 ± 0.05	
22	7.15 ± 0.05	146.5 ± 1.0	6.66 ± 0.05	
24	4.70 ± 0.05	171.0 ± 1.0	7.13 ± 0.04	

1.b การคำนวณและการวาดกราฟ

[3.0 คะแนน]





Solution & Marking Scheme

การแข่งขันฟิสิกส์โอลิมปิกระดับชาติ ครั้งที่ 22

โรงเรียนเตรียมทหาร สถาบันวิชาการป้องกันประเทศ

วันที่ 7 พฤษภาคม พ.ศ. 2566

1.c การคำนวณค่า k_1 จากกราฟเส้นตรง

[1.4 คะแนน]

ทฤษฎี

$$\text{จากสมการ } y_n/n = L_{0,1} + \frac{m_1 g}{2k_1} n$$

ความชันเท่ากับ $\frac{m_1 g}{2k_1}$ และ $m_1 = 0.62414$ กรัม

จากการลากเส้นแนวโน้มบนกราฟ ได้

$$\text{ความชัน } \frac{m_1 g}{2k_1} = 0.2329 \times 10^{-3} \text{ m คำนวณได้ } k_1 = 13.10 \text{ N/m}$$

ความชันอีกสองค่าจากการลากกราฟความคลาดเคลื่อน

$$\text{ความชัน } \frac{m_1 g}{2k_1} = 0.2408 \times 10^{-3} \text{ m คำนวณได้ } k_1 = 12.67 \text{ N/m}$$

$$\text{ความชัน } \frac{m_1 g}{2k_1} = 0.2241 \times 10^{-3} \text{ m คำนวณได้ } k_1 = 13.61 \text{ N/m}$$

$$\text{ดังนั้น } k_1 = (13.1 \pm 0.5) \text{ N/m}$$



Solution & Marking Scheme

การแข่งขันฟิสิกส์โอลิมปิกระดับชาติ ครั้งที่ 22
โรงเรียนเตรียมทหาร สถาบันวิชาการป้องกันประเทศ
วันที่ 7 พฤษภาคม พ.ศ. 2566

1.d การคำนวณค่า $L_{0,1}$

[0.9 คะแนน]

ทฤษฎี

$$\text{จากสมการ } y_n/n = L_{0,1} + \frac{m_1 g}{2k_1} n$$

จุดตัดแกนคือ $L_{0,1}$

จากการลากเส้นแนวโน้มบนกราฟ ได้

$$\text{จุดตัดแกน } L_{0,1} = 1.55 \text{ mm}$$

ความชันอีกสองค่าจากการลากกราฟความคลาดเคลื่อน

$$\text{จุดตัดแกน } L_{0,1} = 1.40 \text{ mm}$$

$$\text{จุดตัดแกน } L_{0,1} = 1.70 \text{ mm}$$

$$\text{ดังนั้น } L_{0,1} = 1.55 \pm 0.15 \text{ mm}$$

$$\text{อัตราส่วน } \frac{L_{0,1}}{L_{T,1}} = 0.97 \pm 0.12$$

ตอนที่ 2

[7.3 คะแนน]

2.a. บันทึกผลการทดลอง

[2.2 คะแนน]

หมายเหตุ: นักเรียนวัดซ้ำเพียง 2 ซ้ำ

การทดลองเพนดูลัมควบคู่แบบเฟสตรงข้าม

(จับเวลา 10 รอบต่อ 1 ซ้ำ)

ℓ (cm)	$10T$ (s)	$10T$ (s)	$10T$ (s)	$\bar{T}$ (s)	ω^2 (s ⁻²)	$1/\ell$ (1/m)
49.1	10.00	9.95	10.09	1.001	39.37	2.037
45.5	9.78	9.75	9.75	0.976	41.44	2.198
38.3	9.31	9.34	9.25	0.930	45.65	2.611
31.0	8.72	8.62	8.65	0.866	52.60	3.226
23.9	7.91	8.00	7.94	0.795	62.46	4.184

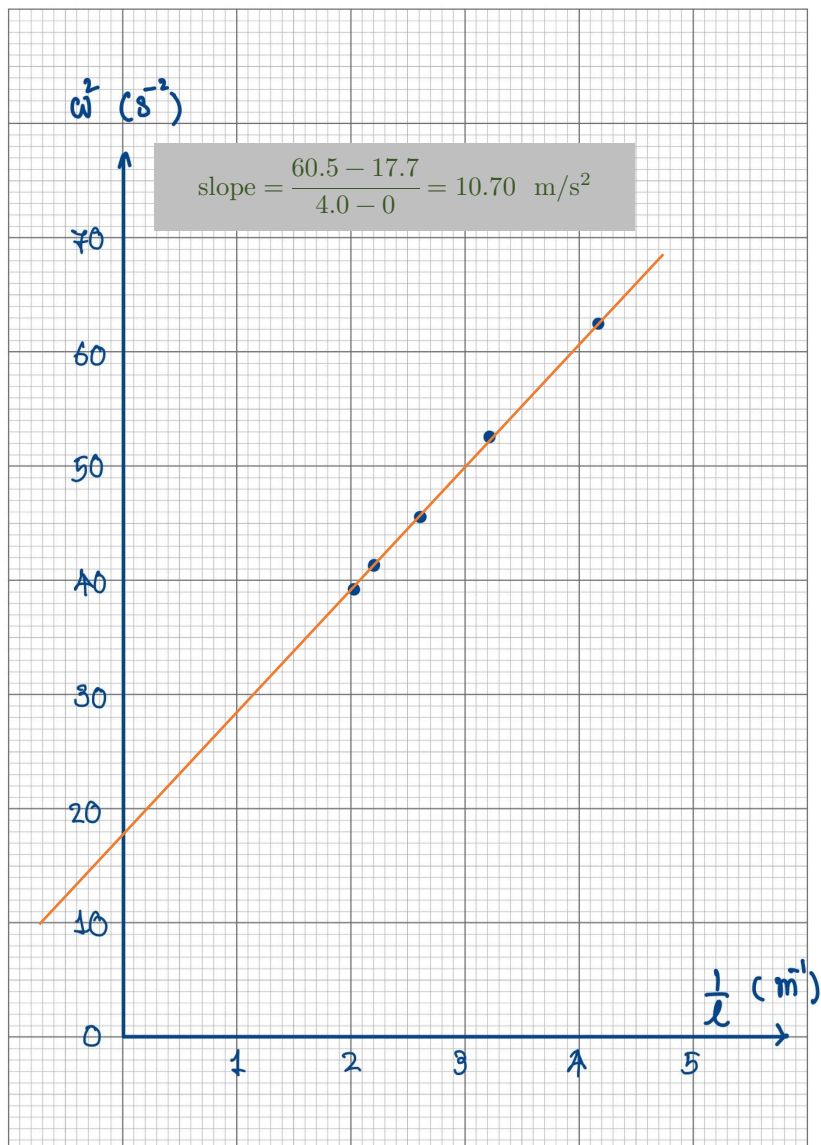
การทดลองเพนดูลัมควบคู่แบบผสม (ถ่ายเทพลังงาน)

(จับเวลา 5 รอบต่อ 1 ซ้ำ)

ℓ (cm)	$5T$ (s)	$5T$ (s)	$5T$ (s)	$\bar{T}$ (s)	$\omega = \frac{2\pi}{\bar{T}}$ (s ⁻¹)	g/ℓ (s ⁻²)	$2k/M$ (s ⁻²)
49.1	17.88	18.19	17.75	3.588	1.751	21.79	19.42
45.5	18.72	18.69	18.59	3.733	1.683	23.52	19.15
38.3	19.20	18.85	18.78	3.789	1.658	27.94	20.28
31.0	20.18	20.81	20.55	4.103	1.531	34.52	20.34
23.9	23.72	23.03	23.30	4.670	1.345	44.77	19.81

2.b การ plot จุดจากการทดลอง

[2.4 คะแนน]





Solution & Marking Scheme

การแข่งขันฟิสิกส์โอลิมปิกระดับชาติ ครั้งที่ 22

โรงเรียนเตรียมทหาร สถาบันวิชาการป้องกันประเทศ

วันที่ 7 พฤษภาคม พ.ศ. 2566

2.c การคำนวณค่า g และ $\frac{2k}{m}$ จากกราฟเส้นตรง

[1.3 คะแนน]

$$\text{จากสมการ } \left(\frac{2\pi}{T}\right)^2 = \frac{g}{\ell} + \frac{2k}{M}$$

ความชันของกราฟ $\left(\frac{2\pi}{T}\right)^2$ vs. $\frac{1}{\ell}$ จึงเท่ากับ g

จากการลากเส้นแนวโน้มบนกราฟ ได้ ความชัน $g = 10.7 \text{ m/s}^2$

จุดตัดแกนของกราฟ $\left(\frac{2\pi}{T}\right)^2$ vs. $\frac{1}{\ell}$ จึงเท่ากับ $\frac{2k}{M}$

จากการลากเส้นแนวโน้มบนกราฟ ได้ จุดตัดแกน $\frac{2k}{M} = 17.7 \text{ s}^{-2}$

2.d การคำนวณค่า $\frac{2k}{M}$ จากการแกว่งแบบผสม

[1.4 คะแนน]

$$\text{จากสมการ } \frac{2\pi}{T_b} = \sqrt{\frac{g}{\ell} + \frac{2k}{M}} - \sqrt{\frac{g}{\ell}}$$

คำนวณ $\frac{2\pi}{T_b}$ และคำนวณ $\frac{g}{\ell}$ แล้วนำไปคำนวณหาค่า $\frac{2k}{M}$

ได้ค่า $\frac{2k}{M} = 19.4, 19.2, 20.3, 20.3, 19.8 \text{ s}^{-2}$

คำนวณค่าเฉลี่ยของ $\frac{2k}{m}$ ได้ 19.8 s^{-2}

หมายเหตุ:

- มวลของลูกตุ้มเท่ากับ 113 กรัม ซึ่งหากคำนวณแล้วจะได้ $\frac{2k}{M} = 2 \times \frac{1.31}{0.113} = 23.1 \text{ s}^{-2}$ (ไม่รวมมวลของไม้และมวลยังผลของสปริง)
- หากทดลองเพิ่มเติมที่โรงเรียน และต้องการให้คาบของการถ่ายเทพลังงานนานขึ้น (จากที่หยุดนิ่งมาหยุดนิ่งอีกครั้ง นานขึ้น) ให้ลองเปลี่ยนมวลลูกตุ้มให้มากขึ้น หรือใช้สปริงอื่นที่อ่อนลง เพื่อให้ $\frac{2k}{M}$ มีค่าน้อยเทียบกับ $\frac{g}{\ell}$ ซึ่งจะส่งผลให้ส่วนต่าง $\omega_2 - \omega_1$ มีค่าน้อยลง ทำให้ T_b มีค่ามากขึ้น

ตอนที่ 3 [5.2 คะแนน]

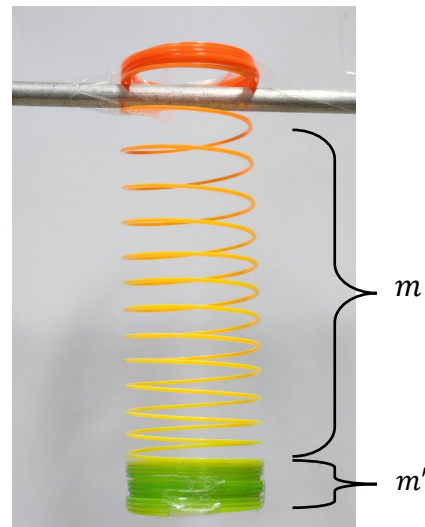
3.a ออกแบบการทดลอง

[0.6 คะแนน]

การทดลองนี้จะต้องใช้ค่า m และ m' ที่แม่นยำ ไม่สามารถยกตัวเลขมวลขึ้นมาลอยๆ โดยไม่มีหลักการได้

แบบที่ 1

- แขนงสปริงเส้นยาวจากคานให้ห้อยมากกว่า 20 ขด
- ใช้เทปใสมัดขดที่ปลายด้านล่างเข้าด้วยกันเพื่อเป็น m'
โดยที่ $m' = (\text{จำนวนขดที่มัด}) \times m_1$
- ส่วนที่ยังยึดติดได้จะเป็น $m = (\text{จำนวนขดที่สั้น}) \times m_1$
- หาค่าคงตัวสปริงจาก $k = k_1 / (\text{จำนวนขดที่สั้น})$
- ดึงปลายด้านล่างลงเล็กน้อย
ปล่อย แล้วจับเวลาคาบการสั่น 10 รอบ 2 ซ้ำ
- ใช้ค่า k_1 และ m_1 จากตอนที่ 1



แบบที่ 2

- เช่นเดียวกับแบบที่ 1 เพียงแต่ใช้สปริงเส้นสั้น 12 ขดมาติดเทปใสมัดเป็นมวลแขวน (หรือตัดเป็นขดๆ แล้วเอามาห้อย)
- แล้วปรับจำนวนขดที่สั้นได้ของสปริงเส้นยาวเพื่อให้อัตราส่วน $\frac{m'}{m}$ ที่ต้องการ
- ต้องปรับจำนวนของขดที่สั้นด้วย เพื่อให้ได้ทุกค่าของ $\frac{m'}{m}$

แบบที่ 3

- พยายามหามวลของไม้ลูกชิ้น หรือมวลของอุปกรณ์การทดลองชิ้นอื่นๆ โดยไปแขวนกับสปริงตอนที่ 1 เพื่อหาระยะยืด แล้วคำนวณมวลจากระยะยืด
- ปรับจำนวนขดของสปริงส่วนที่ยึดหัด เพื่อเปลี่ยนค่า $\frac{m'}{m}$

แบบที่ 4

- แทนค่า k ใน $\frac{2k}{M}$ จากตอนที่ 2 เพื่อหามวล M ของลูกตุ้ม แต่จะได้ $\frac{m'}{m} = \frac{M}{m}$ ที่โตมาก และต้องใช้สปริงน้อยขด สปริงยืดมากจนอาจเกิน elastic limit อาจมีการปรับจำนวนขดเพื่อบันทึก m หลายค่า แต่อัตราส่วน $\frac{m'}{m}$ ไม่ใกล้เคียงกับที่โจทย์กำหนด อนุโลมให้คะแนนเพียง 1 ค่าเท่านั้นสำหรับการใช้มวลลูกตุ้มในการสั่น

3.b บันทึกผลการทดลองและการคำนวณ

[3.5 คะแนน]

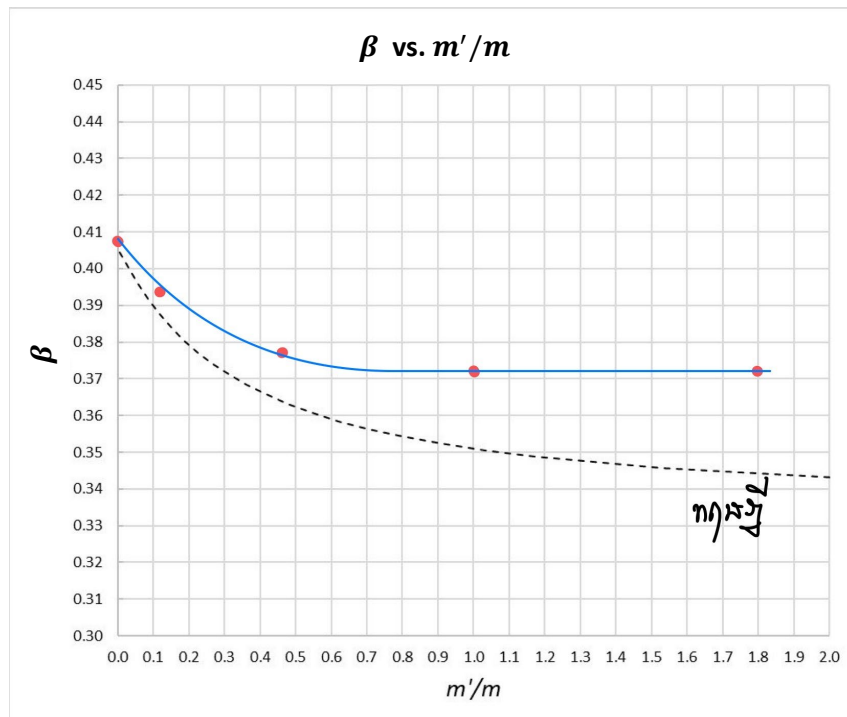
ข้อมูลจากตอนที่ 1: $m_1 = 0.62414$ g และ $k_1 = 13.1$ N/m

#	ขดห้อย n'	ขดสั้น n	m' (กรัม)	m (กรัม)	k (N/m)	$10T$ (s)	$10T$ (s)	$\bar{T}$ (s)	$\frac{m'}{m}$	β
1	0	28	0	17.48	0.4679	7.71	7.80	0.7755	0	0.408
2	3	25	1.872	15.60	0.5240	7.75	7.79	0.7770	0.120	0.394
3	9	19	5.617	11.86	0.6895	7.57	7.63	0.7600	0.473	0.377
4	14	14	8.738	8.738	0.9357	7.08	7.14	0.7110	1.00	0.371
5	18	10	11.23	6.241	1.310	6.36	6.42	0.6390	1.80	0.371

3.c การวาดกราฟ

[1.1 คะแนน]

เส้นประคือเส้นที่คำนวณทางทฤษฎี



หมายเหตุ:

- หากค่า k_1 ที่ได้จากตอนที่ 1 มีความคลาดเคลื่อนไปจากค่าแท้จริงมาก ทำให้ค่า β คลาดเคลื่อนไปมากด้วย แต่ยังคงมีแนวโน้มลดลงตามค่า m'/m
- ในทางทฤษฎี การยืดหดของเส้นสปริงเป็นการเคลื่อนที่แบบคลื่น
 - เมื่อไม่มีมวลห้อย $m' \rightarrow 0$ ค่าแฟกเตอร์ $\beta \rightarrow 4/\pi^2$
 - เมื่อมวลที่ห้อย m' โดดมากเมื่อเทียบกับมวลสปริง m ค่าแฟกเตอร์ $\beta \rightarrow 1/3$ เป็นกรณีที่มีความยาวคลื่นโตมากเทียบกับความยาวสปริง ทำให้สามารถประมาณว่าสปริงยืดแบบ linear ได้