กิจกรรมสถานการณ์ปัญหา และการทดลองทางฟิสิกส์
เรื่อง ภารกิจฉุกเฉิน – รหัสลับแรงโน้มถ่วง เรากลับถึงโลกหรือยัง

หน่วยการเรียนรู้: การเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย (SHM)
หัวข้อ: ภารกิจฉุกเฉิน – รหัสลับแรงโน้มถ่วง เรากลับถึงโลกหรือยัง (Simple Pendulum)
ระดับชั้น: มัธยมศึกษาปีที่ 5 | **เวลา:** 2 คาบ (100 นาที)

1. มาตรฐานการเรียนรู้และตัวชี้วัด

- **สาระการเรียนรู้:** เข้าใจการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย รวมทั้งคำนวณปริมาณต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง
- **ตัวชี้วัด:** ทดลองและอธิบายการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่ายของลูกตุ้มอย่างง่ายรวมทั้งคำนวณปริมาณต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง

2. จุดประสงค์การเรียนรู้

1. **ด้านความรู้ (K):** นักเรียนสามารถอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างความยาวเชือก (ℓ) และคาบการแกว่ง (T) ตามเงื่อนไขของมุมน้อย ๆ ได้
2. **ด้านทักษะ (P):** นักเรียนสามารถทำการทดลองเพื่อหาค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วง (g) และใช้เครื่องคำนวณวิทยาศาสตร์ในการวิเคราะห์ข้อมูลถดถอย (Regression Analysis) ได้
3. **ด้านเจตคติ (A):** นักเรียนตระหนักถึงความคลาดเคลื่อนในการวัดและมีความซื่อสัตย์ต่อข้อมูลที่ได้จากการทดลองจริง

3. สาระสำคัญ (Concept)

ลูกตุ้มอย่างง่ายจะแกว่งแบบฮาร์มอนิกอย่างง่ายเมื่อมุมที่แกว่งมีค่าน้อยมาก $(\theta \leq 10^\circ)$ โดยคาบการแกว่งสัมพันธ์กับความยาวเชือกตามสมการ $T = 2\pi\sqrt{\frac{\ell}{g}}$ ซึ่งสามารถนำมาวิเคราะห์ด้วยกราฟเส้นตรงระหว่าง T^2 กับ ℓ โดยมีความชัน (Slope) สัมพันธ์กับค่า g

4. กระบวนการจัดการเรียนรู้ (5E Model)

ขั้นที่ 1: สร้างความสนใจ (Engagement) - 15 นาที

- **สถานการณ์ปัญหา:** ครูเล่าเรื่องราว "ยานอวกาศตกในป่าทึบ ระบบนำทางเสียหาย" ลูกเรือต้องพิสูจน์ว่า "นี่คือโลก หรือดาวดวงอื่น" โดยใช้เพียงอุปกรณ์พื้นฐานคือเชือกและลูกตุ้ม
- **บทพูดแนะนำ:** *"นักเรียนครับ จินตนาการว่าตอนนี้พวกเราคือเจ้าหน้าที่วิทยาศาสตร์บนยานอวกาศที่เพิ่งตกลงในพื้นที่ที่ไม่รู้จัก ระบบนำทางพังหมดเลย คำถามเดียวที่ตัดสินชีวิตเราได้คือ 'เรากลับถึงโลกหรือยัง' พิกัดบนโลกเรามีค่า g ประมาณ 9.81 m/s^2 วันนี้เราจะสร้างเครื่องมือวัดที่เรียบง่ายที่สุดแต่ทรงพลังที่สุด นั่นคือลูกตุ้มอย่างง่าย เพื่อถอดรหัสแรงโน้มถ่วงของดาวดวงนี้กันครับ"*

- **จุดเน้น:** กระตุ้นให้นักเรียนรู้สึกว่าการทดลองนี้ไม่ใช่แค่การเก็บข้อมูล แต่คือการ "หาพิกัดเพื่อเอาชีวิตรอด"

บทนำกิจกรรม

ยานอวกาศของคุณเดินทางกลับจากภารกิจสำรวจห้วงอวกาศลึก แต่เกิดพายุแม่เหล็กทำให้ระบบนำทางเสียหาย ยานต้องร่อนลงจอดฉุกเฉินในพื้นที่ป่าทึบ คำถามแรกของลูกเรือคือ "เรากลับมาถึงโลกแล้ว หรือตกไปอยู่บนดาวเคราะห์ดวงอื่น"

เพื่อหาคำตอบ ระบบคอมพิวเตอร์ต้องการข้อมูล ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วง (g) หากคำนวณได้ค่าใกล้เคียง 9.81 m/s² แปลว่าพวกเราอยู่บนโลก ในฐานะเจ้าหน้าที่วิทยาศาสตร์ คุณต้องสร้าง "ลูกตุ้มอย่างง่าย" เพื่อหาค่า g จากสมการ

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{\ell}{g}}$$

เมื่อยกกำลังสองทั้งสองข้าง จะได้สมการ:

$$T^2 = \frac{4\pi^2\ell}{g}$$

จัดรูปใหม่เพื่อหาค่า g จะได้:

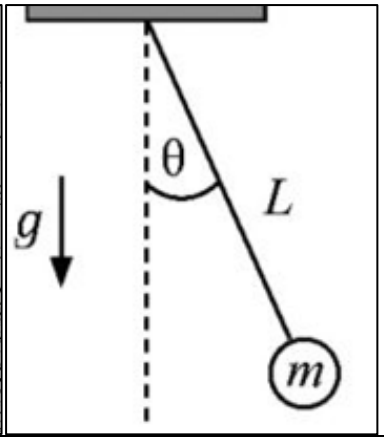
$$g = \frac{4\pi^2\ell}{T^2}$$

เมื่อ T คือ คาบเวลาที่ลูกตุ้มใช้ในการแกว่งไปและกลับจนครบ 1 รอบพอดี มีหน่วยเป็น วินาที (s)

ℓ คือ ความยาวของเชือกหรือสายลูกตุ้ม โดยวัดจากจุดที่แขวนไปจนถึงจุดศูนย์กลางมวลของวัตถุ (ลูกตุ้ม) มีหน่วยเป็น เมตร (m)

g คือ ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วง มีหน่วยเป็น เมตรต่อวินาทีกำลังสอง (m/s^2)

ภารกิจของคุณคือ รวบรวมข้อมูล วิเคราะห์ความคลาดเคลื่อน และพิสูจน์ความสัมพันธ์ด้วยสมการถดถอย (Regression) เพื่อยืนยันพิกัดดาวดวงนี้



ขั้นที่ 2: สำรวจและค้นหา (Exploration) - 40 นาที

- นักเรียนแบ่งกลุ่มปฏิบัติการทดลอง "รหัสลับแรงโน้มถ่วง" วัดคาบการแกว่ง (T) จากความยาวเชือก (ℓ) 5 ค่า
- **บทพูดแนะนำ:** *"ก่อนเริ่มภารกิจ ฟังทางนี้ครับ ฟิสิกส์จะแม่นยำได้ต้องคุมตัวแปรให้ดี หนึ่ง... เวลาวัดความยาวเชือก ต้องวัดจากจุดหมุนไปถึง 'กึ่งกลาง' ของลูกตุ้มเหล็กนะครับ ไม่ใช่แค่ขอบ สอง... ตอนปล่อย อย่าผลัก และมุมที่ดึงออกมาต้องไม่เกิน 10 องศา หรือประมาณความกว้างของนิ้วโป้งเราเมื่อยื่นแขนสุด เพื่อให้การแกว่งเป็นแบบ SHM ที่สมบูรณ์ครับ"*
- **จุดเน้นการจัดการ:** เดินสำรวจแต่ละกลุ่มเพื่อให้แน่ใจว่านักเรียน "ปล่อยมุมแคบ" และ "นับรอบการแกว่งถูกต้อง" (แกว่งไป-กลับนับเป็น 1 รอบ)

ขั้นที่ 3: อธิบายและลงข้อสรุป (Explanation) - 15 นาที

- นักเรียนป้อนข้อมูลลง Spreadsheet ใน fx-991CW และคำนวณค่า g เฉลี่ย
- **บทพูดแนะนำ:** *"ตอนนี้เรามีข้อมูลดิบแล้ว มาเปลี่ยนเครื่องคำนวณให้เป็นคอมพิวเตอร์ประจำยานกันเข้าเมนู Spreadsheet ป้อนค่า ℓ และ T ลงไป จากสมการ $T = 2\pi\sqrt{\frac{\ell}{g}}$ ถ้าเราอยากกำจัดรากที่สองเราต้องยกกำลังสองครับ จะได้ T^2 สัมพันธ์กับ ℓ ลองสั่งให้เครื่องคำนวณหาค่า g จากสูตร $g = \frac{4\pi^2\ell}{T^2}$ ดูซิว่าแต่ละกลุ่มได้ใกล้เคียงกับค่า g โลกแค่ไหน"*
- **จุดเน้น:** เชื่อมโยงสูตรทางคณิตศาสตร์เข้ากับการทำงานของเครื่องมือดิจิทัลให้นักเรียนเห็นภาพ

ขั้นที่ 4: ขยายความรู้ (Elaboration) - 20 นาที

- ใช้เมนู Statistics วิเคราะห์ Regression และดูสมการ $y = ax^b$
- **บทพูดแนะนำ:** *"ภารกิจพิเศษ ค่า g เฉลี่ยอาจจะยังไม่พอ เราจะใช้พลังของสถิติพิสูจน์วิถีแรงโน้มถ่วงเข้าเมนู Statistics พล็อตความสัมพันธ์ดูครับ ทฤษฎีบอกว่า T แปรผันตาม ℓ ยกกำลัง 0.5 (รากที่สอง) ลองดูค่า b ในเครื่องซิว่าได้ใกล้เคียง 0.5 ไหม"*
- **จุดเน้น:** ฝึกให้นักเรียนวิเคราะห์ความสมเหตุสมผลของข้อมูล (Data Validation) ผ่านค่าทางสถิติ

ขั้นที่ 5: ประเมินผล (Evaluation) - 10 นาที

- อภิปรายปัจจัยความคลาดเคลื่อนและสรุปบทสรุป
- **บทพูดแนะนำ:** *"เจ้าหน้าที่ทุกกลุ่ม รายงานผลครับ ดาวดวงนี้คือโลกใช่หรือไม่ กลุ่มไหนได้ค่า g ไม่เท่ากับ 9.81 ลองวิเคราะห์สิว่าเกิดจากอะไร เช่น แรงต้านอากาศ หรือเราจับเวลาพลาด วิศวกรที่ดีต้องยอมรับความคลาดเคลื่อนและหาเหตุผลให้ได้ครับ"*
- **จุดเน้น:** เน้นการคิดวิเคราะห์ (Critical Thinking) มากกว่าการหาคำตอบที่ถูกต้องเพียงอย่างเดียว

ใบกิจกรรม: ภารกิจฉุกเฉิน – รหัสลับแรงโน้มถ่วง เรากลับถึงโลกหรือยัง

ชื่อสมาชิกในกลุ่มที่: .....

1. ..... เลขที่: .....

2. ..... เลขที่: .....

3. ..... เลขที่: .....

วันที่ทำการทดลอง: .....

ภารกิจ (Mission Brief)

ยานอวกาศของคุณตกลงบนดาวเคราะห์ปริศนา ระบบนำทางเสียหาย คุณต้องใช้ "ลูกตุ้มอย่างง่าย" เพื่อหาค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วง (g) หากค่าที่ได้ใกล้เคียง 9.81 m/s^2 แสดงว่าพวกเราอยู่บน "โลก"

วัสดุและอุปกรณ์

1. ขาตั้งและไม้หนีบ
2. ลูกตุ้มโลหะ
3. เชือกยาวประมาณ 1.5 เมตร
4. ไม้บรรทัดและสายวัด
5. นาฬิกาจับเวลา
6. เครื่องคำนวณวิทยาศาสตร์ CASIO CLASSWIZ รุ่น fx-991CW
7. สมาร์ทโฟนสำหรับสแกน QR Code เพื่อดู ClassPad.net

ส่วนที่ 1: การเตรียมอุปกรณ์ (The Setup)

เพื่อให้การทดลองแม่นยำที่สุด "เจ้าหน้าที่วิทยาศาสตร์" ต้องตรวจสอบเงื่อนไขดังนี้

(ทำเครื่องหมาย ✓ เมื่อพร้อม):

[ ] **วัดความยาวเชือก (ℓ):** วัดจากจุดหมุนไปถึง **จุดศูนย์กลางมวล** ของลูกตุ้มเหล็ก

[ ] **คุมมุมการแกว่ง (θ):** ดึงลูกตุ้มออกมาเพียงเล็กน้อย (ไม่เกิน 10 องศา)

[ ] **การปล่อย:** ปล่อยนิ่ง ๆ โดยไม่ใส่แรงผลัก

ส่วนที่ 2: ขั้นตอนการปฏิบัติภารกิจ (Procedures)

เฟสที่ 1: การติดตั้งอุปกรณ์ (Deployment)

1. ผูกเชือกเข้ากับลูกตุ้มโลหะ แล้วนำไปแขวนกับขาตั้งให้แน่นหนา (ระวังอย่าให้เชือกแกว่งไปมาที่จุดแขวน)
2. ปรับความยาวเชือกเริ่มต้นที่ 0.20 เมตร (ย้ำ: วัดจากจุดหมุนถึงกึ่งกลางลูกตุ้ม)

เฟสที่ 2: การเก็บข้อมูลเพื่อเอาชีวิตรอด (Data Acquisition)

3. ดึงลูกตุ้มให้ทำมุมแคบ ๆ กับแนวดิ่ง (ไม่เกิน 10 องศา) แล้วปล่อยลูกตุ้มโดยไม่ออกแรงผลัก
4. ใช้นาฬิกาจับเวลาเมื่อลูกตุ้มแกว่งครบ 10 รอบ (เพื่อความแม่นยำ)
5. ทำซ้ำ 2 ครั้งในแต่ละความยาวเชือกเพื่อหาค่าเฉลี่ย
6. เปลี่ยนความยาวเชือก (ℓ) เป็น 0.40, 0.60, 0.80 และ 1.00 เมตร ตามลำดับ แล้วบันทึกผล

เฟสที่ 3: การประมวลผลสัญญาณ (Data Processing)

7. ป้อนข้อมูล ℓ และ T เข้าสู่เครื่องคำนวณในเมนู Spreadsheet
8. คำนวณค่า T^2 และค่า g รวมถึงเปอร์เซ็นต์ความแตกต่าง $\%D$ เทียบกับค่า g โลก (9.81 m/s^2) ของแต่ละความยาวเชือก

เฟสที่ 4: (ภารกิจพิเศษ 1) พิสูจน์ความสัมพันธ์ทางสถิติ

9. วิเคราะห์ข้อมูลด้วยสมการถดถอยแบบเชิงเส้น $(y = bx + a)$ เพื่อหาค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกจากความชัน
10. วิเคราะห์ข้อมูลด้วยสมการถดถอยแบบยกกำลัง (Power Regression: $y = ax^b$) เพื่อพิสูจน์ว่าคาบแปรผันตรงกับรากที่สองของความยาวเชือกหรือไม่

(หมายเหตุ: ดูวิธีการใช้งานเครื่องคิดเลขอย่างละเอียดในหน้าคู่มือท้ายใบงาน)

ส่วนที่ 3: การเก็บข้อมูล (Data Collection)

ความยาวเชือก ℓ (m)	**เวลา 10 รอบ (s)**			**คาบเฉลี่ย T (s)**	**T^2 (s²)**	**ค่า g (m/s^2)**	**$\%D$**
	ครั้งที่ 1	**ครั้งที่ 2**	**ค่าเฉลี่ย**				
0.20							
0.40							
0.60							
0.80							
1.00							

หมายเหตุ: *$\%D$ หมายถึง เปอร์เซ็นต์ความแตกต่าง (Percentage Difference) ระหว่างค่า g ที่ทดลองได้กับค่ามาตรฐาน (9.81 m/s^2)*

ส่วนที่ 4: การการประมวลผล

ตอนที่ 1: หาค่าเฉลี่ยของค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงและความคลาดเคลื่อน

ค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงเฉลี่ย ($g_{\text{เฉลี่ย}}$) = ... m/s^2

ความคลาดเคลื่อนของค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วง (Δg) = ... m/s^2

ตอนที่ 2: หาค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงจากสมการถดถอย

1. วิเคราะห์ด้วยกราฟเส้นตรง (Linear Regression):

- ความชัน (Slope) จากเครื่องคำนวณคือ: $b =$ **.....**
- คำนวณค่า g จากความชัน $\left(g = \frac{4\pi^2}{b}\right)$: $g =$ **.....** m/s^2

2. วิเคราะห์เชิงเลขชี้กำลัง (Power Regression):

- ค่าเลขชี้กำลัง b จากสมการ $y = ax^b$ คือ: **.....** (ทฤษฎีคือ 0.5)
- จากความสัมพันธ์ $a = \frac{2\pi}{\sqrt{g}}$ จงหาค่า g จากค่า a

  .....

  .....

  .....

  .....

ส่วนที่ 5: บทสรุปภารกิจ (Mission Report)

จากค่า g และ $\%D$ ที่ได้ คุณยืนยันว่าพิกัดนี้คือ "โลก" หรือไม่

สรุป: พวกเราตกลงบน .....

เหตุผลสนับสนุน:

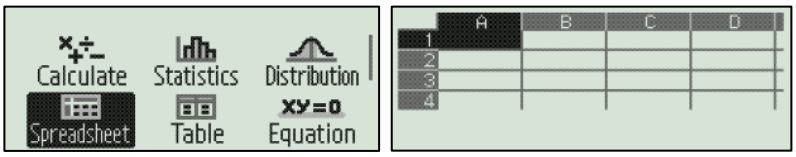
1. .....
2. .....

"ความผิดพลาดในการทดลอง ไม่ใช่ความล้มเหลว แต่คือโอกาสในการเรียนรู้ปัจจัยที่ซ่อนอยู่"

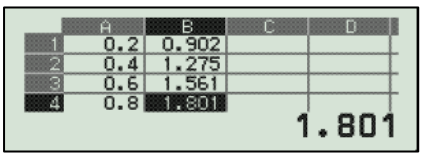
วิธีการใช้เครื่องคำนวณวิทยาศาสตร์ CLASSWIZ รุ่น fx-991CW ในการวิเคราะห์วิเคราะห์ข้อมูล

สามารถใช้เครื่องคำนวณวิทยาศาสตร์ CLASSWIZ รุ่น fx-991CW ในการวิเคราะห์วิเคราะห์ข้อมูลและความคลาดเคลื่อนด้วย Spreadsheet คำนวณเพื่อหาค่า T^2, ค่า g แต่ละรอบ และเปอร์เซ็นต์ความแตกต่าง ($\%D$)

- เข้าสู่เมนู Spreadsheet: กดปุ่ม HOME เลื่อนเคอร์เซอร์ไปที่เมนู Spreadsheet แล้วกดปุ่ม OK

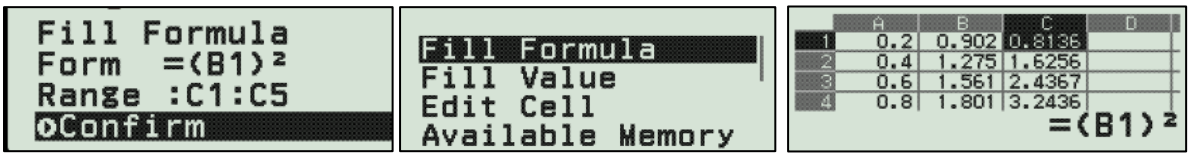


- คอลัมน์ A (ความยาว ℓ): พิมพ์ 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1.0 ในเซลล์ A1 ถึง A5 (กดปุ่ม EXE เพื่อเลื่อนเซลล์)
- คอลัมน์ B (คาบ T): พิมพ์คาบการแกว่งที่คุณคำนวณได้ ลงในเซลล์ B1 ถึง B5



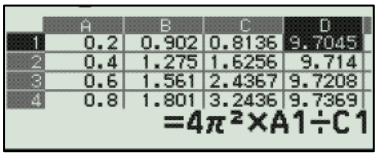
คำนวณหาค่า T^2 (คอลัมน์ C):

- เลื่อนเคอร์เซอร์ไปที่เซลล์ C1 กดปุ่ม TOOLS แล้วเลือกตัวเลือก Fill Formula แล้วกดปุ่ม OK
- ในช่อง Form พิมพ์สูตร: (B1)² แล้วกดปุ่ม OK
- ในช่อง Range พิมพ์ C1:C5 แล้วกดปุ่ม OK แล้วกด Confirm



คำนวณหาค่า g (คอลัมน์ D):

- เลื่อนไปที่เซลล์ D1 กดปุ่ม TOOLS แล้วเลือกตัวเลือก Fill Formula แล้วกดปุ่ม OK
- ในช่อง Form พิมพ์สูตร $g = \frac{4\pi^2\ell}{T^2}$ หน้าจอจะแสดง $4 \times \pi^2 \times A1 \div C1$ แล้วกดปุ่ม OK
- ในช่อง Range พิมพ์ D1:D5 แล้วกดปุ่ม OK แล้วกด Confirm



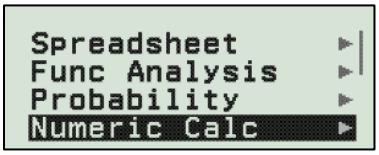
คำนวณเปอร์เซ็นต์ความแตกต่าง ($\%\boldsymbol{D}$) (คอลัมน์ E)

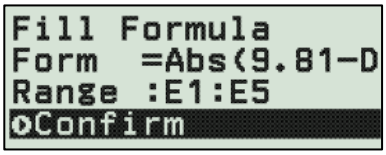
- เลื่อนไปที่เซลล์ E1 กดปุ่ม TOOLS แล้วเลือกตัวเลือก Fill Formula แล้วกด OK

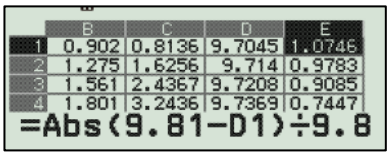
- ในช่อง Form พิมพ์สูตร $\frac{|9.81-D1|}{9.81} \times 100$

  หมายเหตุ: วิธีพิมพ์ค่าสัมบูรณ์ทำได้โดยการกดปุ่ม CATALOG แล้วเลือกตัวเลือก Numeric Calc จากนั้นเลือก Absolute Value แล้วกด OK (หน้าจอจะขึ้น Abs แทนสัญลักษณ์ค่าสัมบูรณ์)

- ในช่อง Range พิมพ์ E1:E5 แล้วกดปุ่ม OK แล้วกด Confirm



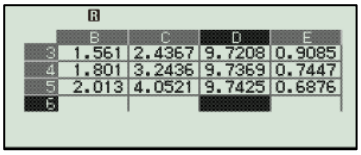


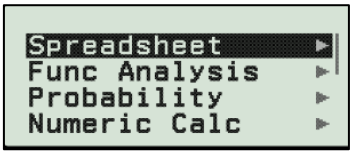


หาค่า g เฉลี่ย ($g_{\text{เฉลี่ย}}$):

- เลื่อนไปที่เซลล์ว่าง D6

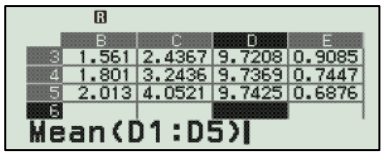
- กดปุ่ม CATALOG แล้วเลือกตัวเลือก Spreadsheet จากนั้นเลือก Mean

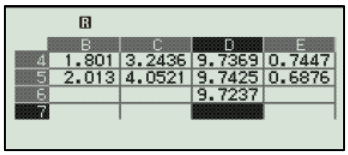




- พิมพ์ช่วงเซลล์เป็น D1:D5 ลงในวงเล็บแล้วกด EXE บันทึกค่าที่ปรากฏลงในใบงาน

  (สัญลักษณ์ : ทำได้โดยกดปุ่ม CATALOG แล้วเลือกตัวเลือก Spreadsheet)



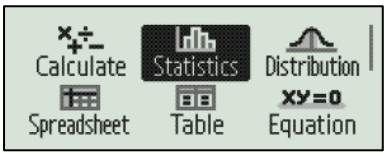


ภารกิจพิเศษ 1: พิสูจน์ความสัมพันธ์ของทฤษฎีด้วยสถิติ

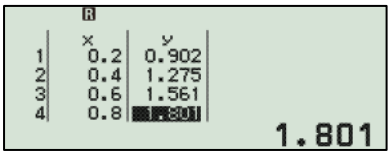
ในภารกิจนี้ เราจะใช้เครื่องคำนวณวิเคราะห์ว่าข้อมูล คาบการแกว่ง (T) และความยาวเชือก (ℓ) สอดคล้องกับโมเดลสมการทางสถิติแบบยกกำลัง $y = ax^b$ หรือไม่

(โดยทฤษฎี $T = \left(\frac{2\pi}{\sqrt{g}}\right) l^{0.5}$ ดังนั้นค่าชี้กำลัง b ควรใกล้เคียงกับ 0.5)

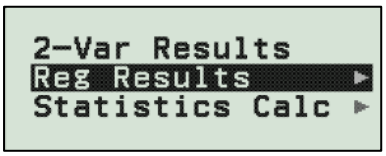
- เข้าเมนูสถิติ: กดปุ่ม HOME เลื่อนไปที่เมนู Statistics แล้วเลือกตัวเลือก 2-variable แล้วกดปุ่ม OK



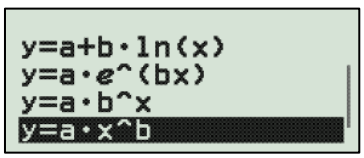
- คอลัมน์ x: ป้อนค่าความยาวเชือก (ℓ) คือ 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1.0
- คอลัมน์ y: เลื่อนขวาไปป้อนค่าคาบการแกว่ง (T) ที่จับเวลาได้จริงทั้ง 5 ค่า

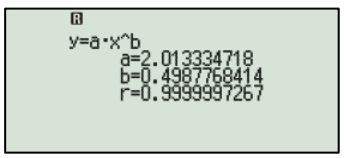


- กดปุ่ม EXE เลือกตัวเลือก Reg Results แล้วกดปุ่ม OK

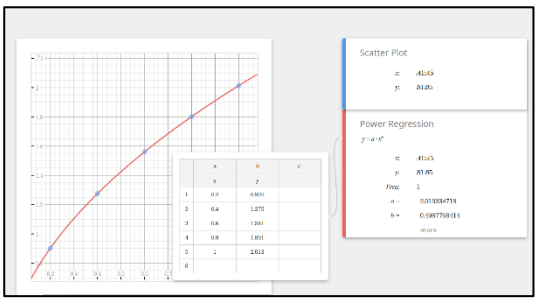


- เลื่อนลงมาเลือกรูปแบบสมการ $y = ax^b$ (Power Regression) แล้วกดปุ่ม OK





- จดบันทึกค่าสัมประสิทธิ์ a และ b ลงในใบงาน
- กดปุ่มย้อนกลับเพื่อไปยังหน้าจอที่ป้อนค่าข้อมูล จากนั้นกดปุ่ม SHIFT แล้วกดปุ่ม x เพื่อเรียก QR Code แล้วใช้สมาร์ทโฟนสแกนเพื่อเปิดดู Scatter Plot บน ClassPad.net นักเรียนจะเห็นจุดข้อมูลเรียงตัวเป็นเส้นโค้งและมีเส้นกราฟลากผ่านตามโมเดลคณิตศาสตร์



เฉลย

ใบกิจกรรม: ภารกิจฉุกเฉิน – รหัสลับแรงโน้มถ่วง เรากลับถึงโลกหรือยัง

ภารกิจ (Mission Brief)

ยานอวกาศของคุณตกลงบนดาวเคราะห์ปริศนา ระบบนำทางเสียหาย คุณต้องใช้ "ลูกตุ้มอย่างง่าย" เพื่อหาค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วง (g) หากค่าที่ได้ใกล้เคียง 9.81 m/s^2 แสดงว่าพวกเราอยู่บน "โลก"

วัสดุและอุปกรณ์

1. ขาตั้งและไม้หนีบ
2. ลูกตุ้มโลหะ
3. เชือกยาวประมาณ 1.5 เมตร
4. ไม้บรรทัดและสายวัด
5. นาฬิกาจับเวลา
6. เครื่องคำนวณวิทยาศาสตร์ CASIO CLASSWIZ รุ่น fx-991CW
7. สมาร์ทโฟนสำหรับสแกน QR Code เพื่อดู ClassPad.net

ส่วนที่ 1: การเตรียมอุปกรณ์ (The Setup)

เพื่อให้การทดลองแม่นยำที่สุด "เจ้าหน้าที่วิทยาศาสตร์" ต้องตรวจสอบเงื่อนไขดังนี้

(ทำเครื่องหมาย ✓ เมื่อพร้อม):

[✓] **วัดความยาวเชือก (ℓ):** วัดจากจุดหมุนไปถึง **จุดศูนย์กลางมวล** ของลูกตุ้มเหล็ก

[✓] **คุมมุมการแกว่ง (θ):** ดึงลูกตุ้มออกมาเพียงเล็กน้อย (ไม่เกิน 10 องศา)

[✓] **การปล่อย:** ปล่อยนิ่ง ๆ โดยไม่ใส่แรงผลัก

ส่วนที่ 2: ขั้นตอนการปฏิบัติภารกิจ (Procedures)

เฟสที่ 1: การติดตั้งอุปกรณ์ (Deployment)

1. ผูกเชือกเข้ากับลูกตุ้มโลหะ แล้วนำไปแขวนกับขาตั้งให้แน่นหนา (ระวังอย่าให้เชือกแกว่งไปมาที่จุดแขวน)
2. ปรับความยาวเชือกเริ่มต้นที่ 0.20 เมตร (ย้ำ: วัดจากจุดหมุนถึงกึ่งกลางลูกตุ้ม)

เฟสที่ 2: การเก็บข้อมูลเพื่อเอาชีวิตรอด (Data Acquisition)

3. ดึงลูกตุ้มให้ทำมุมแคบ ๆ กับแนวดิ่ง (ไม่เกิน 10 องศา) แล้วปล่อยลูกตุ้มโดยไม่ออกแรงผลัก
4. ใช้นาฬิกาจับเวลาเมื่อลูกตุ้มแกว่งครบ 10 รอบ (เพื่อความแม่นยำ)
5. ทำซ้ำ 2 ครั้งในแต่ละความยาวเชือกเพื่อหาค่าเฉลี่ย
6. เปลี่ยนความยาวเชือก (ℓ) เป็น 0.40, 0.60, 0.80 และ 1.00 เมตร ตามลำดับ แล้วบันทึกผล

เฟสที่ 3: การประมวลผลสัญญาณ (Data Processing)

7. ป้อนข้อมูล ℓ และ T เข้าสู่เครื่องคำนวณในเมนู Spreadsheet
8. คำนวณค่า T^2 และค่า g รวมถึงเปอร์เซ็นต์ความแตกต่าง $\%D$ เทียบกับค่า g โลก (9.81 m/s^2) ของแต่ละความยาวเชือก

เฟสที่ 4: (ภารกิจพิเศษ 1) พิสูจน์ความสัมพันธ์ทางสถิติ

9. วิเคราะห์ข้อมูลด้วยสมการถดถอยแบบเชิงเส้น $(y = bx + a)$ เพื่อหาค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกจากความชัน
10. วิเคราะห์ข้อมูลด้วยสมการถดถอยแบบยกกำลัง (Power Regression: $y = ax^b$) เพื่อพิสูจน์ว่าคาบแปรผันตรงกับรากที่สองของความยาวเชือกหรือไม่

(หมายเหตุ: ดูวิธีการใช้งานเครื่องคิดเลขอย่างละเอียดในหน้าคู่มือท้ายใบงาน)

ส่วนที่ 3: การเก็บข้อมูล (Data Collection)

ความยาวเชือก ℓ (m)	เวลา 10 รอบ (s)			คาบเฉลี่ย T (s)	T^2 (s²)	ค่า g (m/s^2)	$\%D$
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ค่าเฉลี่ย				
0.20	8.96	9.08	9.02	0.902	0.814	9.70	1.12%
0.40	12.72	12.78	12.75	1.275	1.626	9.71	1.02%
0.60	15.58	15.64	15.61	1.561	2.437	9.72	0.92%
0.80	17.98	18.04	18.01	1.801	3.244	9.74	0.71%
1.00	20.09	20.17	20.13	2.013	4.052	9.74	0.71%

หมายเหตุ: *$\%D$ หมายถึง เปอร์เซ็นต์ความแตกต่าง (Percentage Difference) ระหว่างค่า g ที่ทดลองได้กับค่ามาตรฐาน* (9.81 m/s^2)

ตัวอย่างการคำนวณ $\%D$ (ที่ความยาวเชือก $\ell = 0.20$ m):

$$\%\mathrm{D} = \frac{\left|\mathrm{g}_{\text{มาตรฐาน}} - \mathrm{g}_{\text{ทดลอง}}\right|}{\mathrm{g}_{\text{มาตรฐาน}}} \times 100$$

$$\%\mathrm{D} = \frac{|9.81 - 9.70|}{9.81} \times 100$$

$$\%\mathrm{D} = \frac{0.11}{9.81} \times 100 \approx 1.12\%$$

ส่วนที่ 4: การการประมวลผล

ตอนที่ 1: หาค่าเฉลี่ยของค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงและความคลาดเคลื่อน

ค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงเฉลี่ย $(g_{\text{เฉลี่ย}})$ = 9.72 m/s^2

ความคลาดเคลื่อนของค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วง (Δg) = 0.02 m/s^2

วิธีการคำนวณโดยละเอียด:

หาค่าเฉลี่ย $g_{\text{เฉลี่ย}}$: นำค่า g จากทั้ง 5 การทดลองในตารางมาหาค่าเฉลี่ย

$$g_{\text{เฉลี่ย}} = \frac{9.70 + 9.71 + 9.72 + 9.74 + 9.74}{5} = \frac{48.61}{5} \approx 9.72 \text{ m/s}^2$$

หาค่าความคลาดเคลื่อน Δg: ใช้ความคลาดเคลื่อนจากค่าพิสัย (Range)

$$\Delta g = \frac{9.74 - 9.70}{2} = \frac{0.04}{2} = 0.02 \text{ m/s}^2$$

ตอนที่ 2: หาค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงจากสมการถดถอย

1. วิเคราะห์ด้วยกราฟเส้นตรง (Linear Regression):

- ความชัน (Slope) จากเครื่องคำนวณคือ: $b = 4.052$
- คำนวณค่า g จากความชัน $\left(g = \frac{4\pi^2}{b}\right)$: g = 9.74 m/s^2

2. วิเคราะห์เชิงเลขชี้กำลัง (Power Regression):

- ค่าเลขชี้กำลัง b จากสมการ $y = ax^b$ คือ: 0.5 (ทฤษฎีคือ 0.5)
- จากความสัมพันธ์ $a = \frac{2\pi}{\sqrt{g}}$ จงหาค่า g จากค่า a

  ถ้า $a = 2.013$ จะได้ $g = \frac{4\pi^2}{2.013^2} \approx 9.74 \text{ m/s}^2$

ส่วนที่ 5: บทสรุปภารกิจ (Mission Report)

จากค่า g และ $\%D$ ที่ได้ คุณยืนยันว่าพิกัดนี้คือ "โลก" หรือไม่

สรุป: พวกเราตกลงบน **"ดาวโลก"** อย่างแน่นอน

เหตุผลสนับสนุน:

1. **ความแม่นยำของข้อมูล:** ค่า g เฉลี่ยที่คำนวณได้ (9.72 - 9.74 m/s^2) มีความใกล้เคียงกับค่ามาตรฐานของโลก (9.81 m/s^2) โดยมีความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยเพียงประมาณ 0.9% เท่านั้น
2. **ความสอดคล้องกับทฤษฎี:** ค่าเลขชี้กำลัง b ที่ได้จากการวิเคราะห์ถดถอยมีค่า 0.500 พอดี ซึ่งพิสูจน์ได้ว่าความสัมพันธ์ของคาบและความยาวเชือกเป็นไปตามกฎฟิสิกส์บนโลก ($T^2 \propto \ell$)
3. **การวิเคราะห์ปัจจัยภายนอก:** ความคลาดเคลื่อนเล็กน้อยที่เกิดขึ้นสามารถอธิบายได้ด้วยแรงต้านของอากาศและแรงเสียดทานที่จุดหมุน