

กิจกรรมการทดลองทางฟิสิกส์

เรื่อง ฟิสิกส์นิวตัน – ค้นหาจุดเกิดเหตุบนภูเขา

จุดประสงค์

1. ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความสูงของจุดปล่อยลูกบอล (h) และระยะกระจัดในแนวระดับ (d)
2. อธิบายการเปลี่ยนรูปของพลังงานศักย์โน้มถ่วงเป็นพลังงานจลน์ตามกฎการอนุรักษ์พลังงานกล
3. ใช้ผลการทดลองในการคาดคะเนจุดที่วัตถุตกจากความสูง

วัสดุและอุปกรณ์

1. รางโค้ง (แทนทางภูเขา)
2. ลูกเหล็กขนาดต่าง ๆ
3. เครื่องชั่งดิจิทัล
4. ไม้บรรทัดและสายวัด
5. กระดาษหรือเทปขาวสำหรับทำเครื่องหมายจุดตก
6. เครื่องคิดเลข CASIO fx-991CW

บทนำกิจกรรม

เกิดเหตุอุบัติเหตุรถยนต์ตกจากภูเขาสูง รถพุ่งออกจากทางโค้งและตกกระแทกพื้นเบื้องล่างในแนวระดับห่างจากตีนผา ทีมฟิสิกส์นิวตันได้รับมอบหมายให้วิเคราะห์ว่า “รถคันนี้ตกมาจากตำแหน่งใดบนภูเขา” โดยอาศัยหลักการทางฟิสิกส์ของการเคลื่อนที่แบบโปรเจกไทล์ร่วมกับกฎการอนุรักษ์พลังงานกล

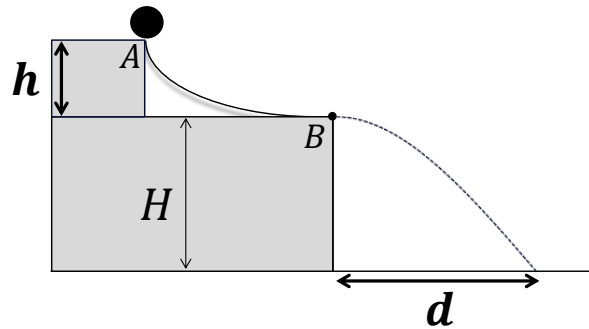
หลักการสำคัญคือ เมื่อรถอยู่บนภูเขาที่ระดับความสูง h รถจะมีพลังงานศักย์โน้มถ่วง (gravitational potential energy) ซึ่งจะถูกแปลงเป็นพลังงานจลน์ (kinetic energy) เมื่อรถเคลื่อนลงมาตามทางโค้ง เมื่อถึงปลายโค้ง รถจะพุ่งออกในแนวระดับและตกลงสู่พื้นเบื้องล่างในระยะทางแนวราบ d

เพื่อจำลองเหตุการณ์ดังกล่าว ทีมฟิสิกส์นิวตันได้ออกแบบการทดลองจำลองโดยใช้ รางโค้งแทนทางภูเขา และ ลูกบอลแทนรถยนต์ โดยจะปล่อยลูกบอลจากความสูงต่าง ๆ แล้ววัดระยะกระจัดในแนวระดับ เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความสูงของจุดปล่อย h และระยะตก d จากนั้นนำผลการทดลองมาวิเคราะห์และคาดคะเนจุดที่รถน่าจะตกจากภูเขาในสถานการณ์จริง

วิธีทำกิจกรรม

1. การเลือกและชั่งมวลลูกเหล็ก
 - เลือกลูกเหล็ก 1 ลูกจากชุดอุปกรณ์ (ใช้ลูกเดิมตลอดการทดลอง)
 - ชั่งมวลด้วยเครื่องชั่งดิจิทัล และบันทึกค่ามวล m พร้อมค่าความคลาดเคลื่อนจากสเกล

2. การเตรียมอุปกรณ์



- จัดรางโค้งให้ปลายรางอยู่ในแนวราบและสูงจากพื้นคงที่ $H = 1.00$ เมตร
 - วัดความสูงของจุดปล่อยลูกเหล็ก h ในแนวตั้งจากระดับปลายราง โดยใช้ไม้บรรทัดหรือสายเมตร
- ### 3. การปล่อยลูกเหล็กและการวัดระยะ
- ปล่อยลูกเหล็กจากจุดที่กำหนดความสูง h โดยไม่ออกแรงผลัก
 - วัดระยะทางแนวระดับที่ลูกเหล็กตกถึงพื้น (d) ด้วยสายเมตร
 - ทำซ้ำ 4 ครั้ง แล้วหาค่าเฉลี่ย $\bar{d}$ และค่าความคลาดเคลื่อน Δd
- ### 4. การเปลี่ยนระดับความสูงของจุดปล่อย
- ทำการทดลองที่ความสูง h เป็น 0.10, 0.20, 0.30, 0.40 และ 0.50 เมตร
 - ทำซ้ำขั้นตอนการปล่อย (ขั้นตอนที่ 3) วัดระยะ d และหาค่าเฉลี่ยในแต่ละระดับ (ขั้นตอนที่ 4)
 - บันทึกค่าผลการทดลองทั้งหมดลงในตาราง
- ### 5. การวิเคราะห์ข้อมูล
- เขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความสูงของจุดปล่อย h (แกน X) และระยะกระจัดแนวระดับ $\bar{d}$ (แกน Y) แบบต่าง ๆ โดยใช้เครื่องคำนวณวิทยาศาสตร์ CLASSWIZ รุ่น fx-991CW

แบบบันทึกกิจกรรม
เรื่อง ฟิสิกส์นิวเคลียร์ – ค้นหาจุดเกิดเหตุบนภูเขา

มวลลูกเหล็กที่ใช้ เท่ากับ กรัม

ตารางบันทึกผลการทดลอง

h (cm)	ระยะกระจัด d (cm)						$(\bar{d})^2$ (cm ²)
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ค่าเฉลี่ย $\bar{d}$	Δd	
0.10							
0.20							
0.30							
0.40							
0.50							

สามารถใช้เครื่องคำนวณวิทยาศาสตร์ fx-991CW ในการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างความสูง (h) กับระยะกระจัดในแนวระดับ (d)

- จากเมนูหลัก เลื่อนเคอร์เซอร์ไปที่เมนู Statistics แล้วกดปุ่ม **OK** จากนั้นเลื่อนเคอร์เซอร์ไปที่เมนู 2-variable แล้วกดปุ่ม **OK**



- ป้อนค่าความสูง (h) ในตารางแสดงค่า x แล้วกด **OK** หรือ **EXE** ที่ละค่าจนครบทั้ง 5 ค่า
- กดเลื่อนขวา ป้อนค่าระยะกระจัดในแนวระดับ (d) ในตารางแสดงค่า y แล้วกด **OK** หรือ **EXE** ที่ละค่าจนครบทั้ง 5 ค่า

	x	y
2	0.2	0.89
3	0.3	1.1
4	0.4	1.26
5	0.5	1.41

0.5

- จากนั้นกด **EXE** เลือก Reg Results > $y = ax^b$ แล้วกด **OK**
- หากต้องการให้แสดง QR Code ให้กดปุ่ม **↑** **(X)** จากนั้นนำสมาร์ทโฟนสแกน QR Code แล้วกด ยืนยันเข้าไปในเว็บของคาสิโอ
- บนหน้าจอโทรศัพท์มือถือจะปรากฏแผนภาพการกระจายและข้อมูล

การวิเคราะห์ข้อมูล

1. เขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะกระจัดแนวระดับ d (แกน Y) และความสูงของจุดปล่อย h (แกน X)
2. เขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะกระจัดแนวระดับยกกำลังสอง d^2 (แกน Y) และความสูงของจุดปล่อย h (แกน X)
3. เปรียบเทียบรูปร่างของกราฟทั้งสอง หากกราฟใดมีลักษณะเป็นเส้นตรงมากกว่า กราฟนั้นมีแนวโน้มแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะกระจัดแนวระดับและความสูงของจุดปล่อยได้เหมาะสมกว่ากราฟอีกแบบหนึ่ง
4. เขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง d และ h โดยใช้การวิเคราะห์เชิงสถิติแบบ Power Regression ในรูปสมการ $y = ax^b$ และหาค่าสัมประสิทธิ์ a และ b จากข้อมูลการทดลอง
5. ใช้หลักการอนุรักษ์พลังงานกลและการเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์ เพื่อหาสมการทางทฤษฎีแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง h และ d ในรูป $d = a_{theory} h^{b_{theory}} \sqrt{H}$
จากนั้นเปรียบเทียบค่าของ a_{theory} และ b_{theory} กับค่า a และ b ที่ได้จากกราฟในข้อ 4 และอภิปรายความสอดคล้องของผลการทดลองกับแบบจำลองทางทฤษฎี

ภารกิจฟิสิกส์นิติเวช: คำนวณย้อนกลับหาจุดเกิดเหตุ

ทีมสืบสวนพบว่ารถตกจากหน้าผาสูง $H = 1.0$ เมตร และตกในแนวระดับห่างจากตีนผา $d_{จริง} = 1.4$ เมตร
จากผลการทดลอง จึงคำนวณย้อนกลับหาว่ารถคันนี้น่าจะพุ่งออกจากภูเขาที่ความสูงประมาณเท่าใด

[เฉลย] แบบบันทึกกิจกรรม
เรื่อง ฟิสิกส์นิวเคลียร์ – ค้นหาจุดเกิดเหตุบนภูเขา

มวลลูกเหล็กที่ใช้ เท่ากับ 10.0 กรัม

ตารางบันทึกผลการทดลอง

h (cm)	ระยะกระจัด d (cm)						$(\bar{d})^2$ (cm ²)
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ค่าเฉลี่ย $\bar{d}$	Δd	
0.10	0.62	0.64	0.63	0.61	0.63	± 0.01	0.40
0.20	0.88	0.87	0.90	0.86	0.88	± 0.02	0.77
0.30	1.06	1.10	1.09	1.07	1.08	± 0.02	1.17
0.40	1.25	1.27	1.26	1.29	1.27	± 0.02	1.61
0.50	1.40	1.43	1.41	1.42	1.42	± 0.02	2.02

สามารถใช้เครื่องคำนวณวิทยาศาสตร์ fx-991CW ในการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างความสูง (h) กับระยะกระจัดในแนวระดับ (d)

- จากเมนูหลัก เลื่อนเคอร์เซอร์ไปที่เมนู Statistics แล้วกดปุ่ม **OK** จากนั้นเลื่อนเคอร์เซอร์ไปที่เมนู 2-variable แล้วกดปุ่ม **OK**



- ป้อนค่าความสูง (h) ในตารางแสดงค่า x แล้วกด **OK** หรือ **EXE** ทีละค่าจนครบทั้ง 5 ค่า
- กดเลื่อนขวา ป้อนค่าระยะกระจัดในแนวระดับ (d) ในตารางแสดงค่า y แล้วกด **OK** หรือ **EXE** ทีละค่าจนครบทั้ง 5 ค่า

	x	y
2	0.2	0.89
3	0.3	1.1
4	0.4	1.26
5	0.5	1.41

- จากนั้นกด **EXE** เลือก Reg Results > $y = ax^b$ แล้วกด **OK**
- หากต้องการให้แสดง QR Code ให้กดปุ่ม **↑** **(X)** จากนั้นนำสมาร์ทโฟนสแกน QR Code แล้วกด ยืนยันเข้าไปในเว็บของคาสิโอ
- บนหน้าจอโทรศัพท์มือถือจะปรากฏแผนภาพการกระจายและข้อมูล

การวิเคราะห์ข้อมูล

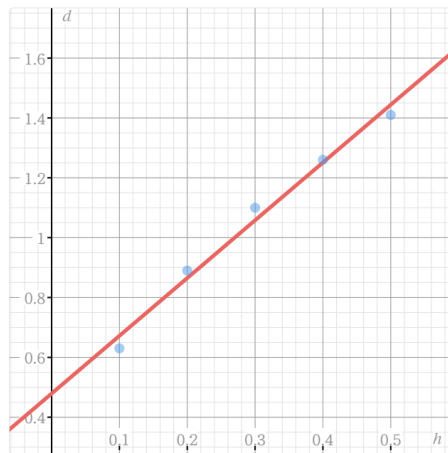
1. เขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะกระจัดแนวระดับ d (แกน Y) และความสูงของจุดปล่อย h (แกน X)

สามารถใช้เครื่องคำนวณวิทยาศาสตร์ fx-991CW ในการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างความสูง (h) กับระยะกระจัดในแนวระดับ (d) ที่ระดับความสูงต่าง ๆ

- จากเมนูหลัก เลื่อนเคอร์เซอร์ไปที่เมนู Statistics แล้วกดปุ่ม **OK** จากนั้นเลื่อนเคอร์เซอร์ไปที่เมนู 2-variable แล้วกดปุ่ม **OK**

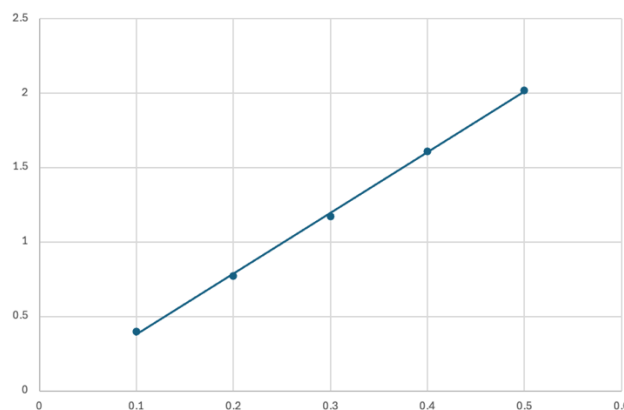


- ป้อนค่าความสูง (h) ในตารางแสดงค่า x แล้วกดปุ่ม **OK** หรือ **EXE** ทีละค่าจนครบทั้ง 5 ค่า
- สามารถสร้างกราฟที่มีจุดข้อมูลแต่ละจุดและเส้นการถดถอย (regression line) ได้โดยอัตโนมัติ



2. เขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะกระจัดแนวระดับยกกำลังสอง d^2 (แกน Y) และความสูงของจุดปล่อย h (แกน X)

ทำตามขั้นตอนในข้อ 1 ลักษณะกราฟที่ได้จะเป็นดังรูป

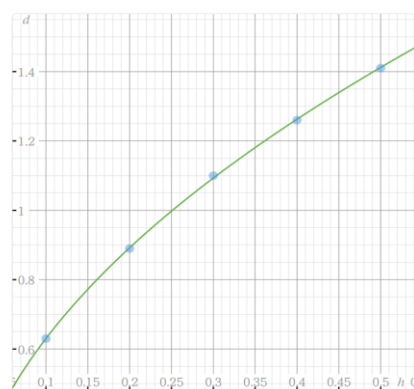
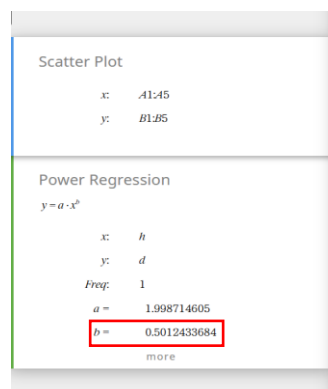
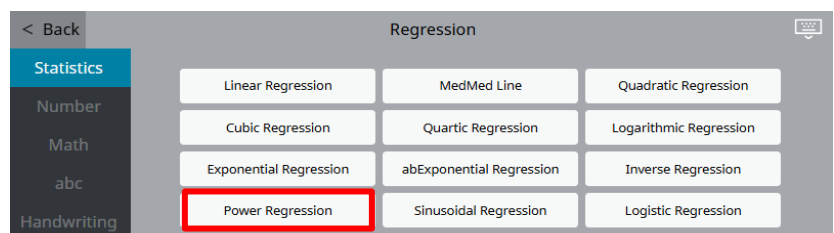


- เปรียบเทียบรูปร่างของกราฟทั้งสอง หากกราฟใดมีลักษณะเป็นเส้นตรงมากกว่า กราฟนั้นมีแนวโน้มแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะกระจัดแนวระดับและความสูงของจุดปล่อยได้เหมาะสมกว่ากราฟอีกแบบหนึ่ง

จากข้อมูลการทดลอง พบว่ากราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะกระจัดในแนวระดับ d กับความสูงของจุดปล่อย h มีลักษณะโค้ง ส่วนกราฟระหว่าง d^2 กับ h มีลักษณะเป็นเส้นตรงมากกว่า ซึ่งบ่งชี้ว่าระยะกระจัดในแนวระดับยกกำลังสองมีแนวโน้มแปรผันตรงกับความสูงของจุดปล่อย กล่าวคือ $d^2 \propto h$ หรือ $d \propto \sqrt{h}$

- เขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง d และ h โดยใช้การวิเคราะห์เชิงสถิติแบบ Power Regression ในรูปสมการ $y = ax^b$ และหาค่าสัมประสิทธิ์ a และ b จากข้อมูลการทดลอง
 - เลือกข้อมูลใน columns A และ B จากนั้นเลือก [Power Regression]

	A	B	C
	h	d	
1	0.1	0.63	
2	0.2	0.89	
3	0.3	1.1	
4	0.4	1.26	
5	0.5	1.41	
6			



- จากผลการวิเคราะห์ พบว่า ค่าระยะกระจัดในแนวระดับ (d) แปรผันตรงกับรากที่สองของความสูง (h)
- ใช้หลักการอนุรักษ์พลังงานกลและการเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์ เพื่อหาสมการทางทฤษฎีแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง h และ d ในรูป $d = a_{\text{theory}} h^{b_{\text{theory}}} \sqrt{H}$ จากนั้นเปรียบเทียบค่าของ a_{theory} และ b_{theory} กับค่า a และ b ที่ได้จากกราฟในข้อ 4 และอภิปรายความสอดคล้องของผลการทดลองกับแบบจำลองทางทฤษฎี

เพื่ออธิบายความสัมพันธ์ระหว่างความสูงของจุดปล่อย h และระยะกระจัดในแนวระดับ d เริ่มจากพิจารณาการเคลื่อนที่ของลูกเหล็กที่กลิ้งลงมาจากทางโค้งและพุ่งออกในแนวระดับที่จุด B อัตราเร็วของลูกเหล็ก ณ ขณะที่หลุดออกจากจุด B สามารถหาได้จากหลักการอนุรักษ์พลังงานกล โดยเมื่อพลังงานศักย์โน้มถ่วงที่ระดับความสูง h ถูกเปลี่ยนเป็นพลังงานจลน์ของการเคลื่อนที่

จะได้ว่า

$$mgh = \frac{1}{2}mv^2$$

ซึ่งจะได้อัตราเร็วเท่ากับ $v = \sqrt{2gh}$

จากนั้นพิจารณาการเคลื่อนที่ของลูกเหล็กหลังจากหลุดออกจากราง ซึ่งเป็นการเคลื่อนที่แบบโปรเจกไทล์ในแนวระดับ โดยใช้สมการการตกอย่างอิสระในแนวดิ่ง

$$H = \frac{1}{2}gt^2$$

$$\text{ดังนั้น } t = \sqrt{\frac{2H}{g}}$$

เมื่อแทนค่าอัตราเร็ว v และเวลา t ลงในสมการระยะทางแนวระดับ $d = vt$ จะได้ว่า

$$d = \sqrt{2gh} \sqrt{\frac{2H}{g}}$$
$$d = 2\sqrt{hH}$$

จากสมการนี้พบว่า ระยะกระจัดในแนวระดับ d ไม่ขึ้นอยู่กับมวลของลูกเหล็ก แต่แปรผันตรงกับรากที่สองของความสูงของจุดปล่อย h หรือกล่าวได้ว่า

$$d \propto \sqrt{h} \text{ หรือ } d^2 \propto h$$

ผลการทดลองที่ได้จากกราฟระหว่าง d^2 และ h ปรากฏเป็นเส้นตรง แสดงให้เห็นว่าข้อมูลสอดคล้องกับแบบจำลองทางทฤษฎีอย่างมีนัยสำคัญ โดยค่าพารามิเตอร์ a และ b จากการวิเคราะห์เชิงสถิติแบบ Power Regression มีแนวโน้มใกล้เคียงกับค่าทางทฤษฎี $a_{\text{theory}} = 2$ และ $b_{\text{theory}} = 0.5$ ซึ่งยืนยันได้ว่าผลการทดลองสอดคล้องกับหลักการอนุรักษ์พลังงานกลและการเคลื่อนที่แบบโปรเจกไทล์

ภารกิจฟิสิกส์นิติเวช: คำนวณย้อนกลับหาจุดเกิดเหตุ

ทีมสืบสวนพบว่ารถตกจากหน้าผาสูง $H = 1.0$ เมตร และตกในแนวระดับห่างจากตีนผา $d_{\text{จริง}} = 1.4$ เมตร จากผลการทดลอง จึงคำนวณย้อนกลับหาว่ารถคันนี้น่าจะพุ่งออกจากภูเขาที่ความสูงประมาณเท่าใด