

การทดลองที่ 7 เรื่องโมเมนตัมและการเคลื่อนที่ของโปรเจกไทล์

จุดประสงค์การเรียนรู้

แสดงกฎการอนุรักษ์โมเมนตัม (conservation of momentum) และการเคลื่อนที่แบบโปรเจกไทล์ (projectile motion) ได้

เครื่องใช้ในการทดลอง

1. ชุดทดลองเรื่องโมเมนตัมและการเคลื่อนที่ของโปรเจกไทล์ (spring-gun ballistic pendulum)
2. ไม้บรรทัด
3. กระดาษขาวและกระดาษคาร์บอน
4. พื้นเอียง
5. เครื่องชั่ง

ทฤษฎี

โดยนิยามของโปรเจกไทล์อาจกล่าวได้ว่า โปรเจกไทล์คือวัตถุซึ่งเคลื่อนที่ในอากาศหรือในบรรยากาศโดยไม่มีแรงขับเคลื่อนอีกต่อไป เช่นลูกบอลที่ถูกขว้างออกไป ลูกปืนที่ยิงออกไป และการตกของลูกกระเบิด เป็นต้น

ส่วนโมเมนตัมของวัตถุ (p) นิยามไว้ว่า คือผลคูณของมวลวัตถุ (m) กับความเร็ว (v) ของวัตถุ

$$p = mv \quad \dots\dots(7.1)$$

ตามกฎการอนุรักษ์ของโมเมนตัม แสดงให้เห็นว่า การเปลี่ยนแปลงโมเมนตัมของส่วนหนึ่งของระบบจะเท่ากัน แต่มีทิศทางตรงข้ามกันกับการเปลี่ยนแปลงโมเมนตัมของอีกส่วนหนึ่งของระบบ กฎดังกล่าวอาจพิสูจน์ได้จากกฎการเคลื่อนที่ของนิวตัน (Newton's Law of motion) ข้อที่ 2 และ 3 ดังนี้



ภาพสไลด์แสดงการใช้เครื่องมือทดลองในการทดลองที่ 7

สมมุติ มวล m_1 เคลื่อนที่ด้วยความเร็ว v_1 ไปชนกับวัตถุอีกอันหนึ่งซึ่งอยู่นิ่งมีมวล m_2 จากกฎข้อที่ 2 ของนิวตัน ดังนั้นวัตถุอันแรกจะถูกหน่วงด้วยแรง f_1 (โดยวัตถุอันที่สอง) และในขณะเดียวกันวัตถุแรกก็จะทำให้เกิดแรงต่อวัตถุอันหลังด้วยขนาดเดียวกัน แต่ทิศทางตรงข้าม เป็น $-f_2$ ตามกฎข้อที่ 3 ของนิวตัน ถ้าให้ a_1 และ a_2 เป็นความเร่งของวัตถุทั้งสองตามลำดับ จะได้

$$f_1 = -f_2 \text{ และ } m_1 a_1 = -m_2 a_2 \quad \dots\dots\dots(7.2)$$

แรงทั้งสองนี้กระทำต่อกันในช่วงเวลา Δt ดังนั้นจากนิยามของความเร่ง

$$a_1 = \frac{\Delta v_1}{\Delta t} \text{ และ } a_2 = \frac{\Delta v_2}{\Delta t}$$

เมื่อ $\Delta v_1, \Delta v_2$ เป็นการเปลี่ยนแปลงความเร็วของวัตถุทั้งสอง ตามลำดับ แทนค่าความเร่งของวัตถุทั้งสองนี้ใน (7.2)

$$m_1 \Delta v_1 = -m_2 \Delta v_2 \quad \dots\dots\dots(7.3)$$

แต่ละข้างของ (7.3) คือการเปลี่ยนแปลงโมเมนตัมนั่นเอง ดังนั้น (7.3) จึงมีความหมายว่า โมเมนตัมที่หายไปของวัตถุแรกจะมีค่าเท่ากับโมเมนตัมที่เพิ่มขึ้นในวัตถุอันที่สอง หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งได้ว่า “โมเมนตัมทั้งหมดของระบบจะมีค่าคงที่ในระหว่างการชนกัน”

กฎการอนุรักษ์ของโมเมนตัมใช้ได้กับการชนทุกแบบ สำหรับกรณีการชนกันแบบไม่ยืดหยุ่น (inelastic impact) ซึ่งจะกล่าวในตอนการทดลองต่อไปก็ใช้หลักการนี้ของโมเมนตัมได้ว่า โมเมนตัมของลูกบอลโลหะก่อนการชน (ดูรูปที่ 7.3) จะเท่ากับ โมเมนตัมของลูกบอลโลหะกับลูกตุ้มซึ่งติดกันไป ณ ทันทีทันใดภายหลังการชน ในชุดทดลองเรื่องนี้ บอลลิสติก เพนดูลัม (ballistic pendulum) มีความเร็วต้น (ก่อนการชน) เป็นศูนย์ โมเมนตัมของลูกบอลโลหะ ก่อนชนมีค่าเท่ากับมวล m คูณกับความเร็วต้นก่อนชน v ภายหลังการชนตัวโปรเจกไทล์ (ลูกบอลโลหะ) จะติดอยู่ภายในลูกตุ้มของบอลลิสติกเพนดูลัม (มวล M) ดังนั้น ณ ทันทีทันใดภายหลังการชนระบบลูกบอลลูกตุ้มนี้将有ความเร็ว v และมีโมเมนตัม $(M + m) v$ จากกฎการอนุรักษ์โมเมนตัม

$$\begin{aligned} \text{โมเมนตัมทั้งหมดก่อนชน} &= \text{โมเมนตัมทั้งหมดหลังชน} \\ m v &= (M + m) v \quad \dots\dots\dots(7.4) \end{aligned}$$

$$v = \frac{M + m}{m} v \quad \dots\dots\dots(7.5)$$

เนื่องจากผลของการชนทำให้เพนดูลัมซึ่งมีตัวโปรเจกไทล์ติดอยู่เคลื่อนที่ในแนวเส้นโค้งโดยมีจุดที่ยึดเพนดูลัมเป็นจุดศูนย์กลาง ดังนั้นจุดศูนย์กลางความโน้มถ่วงจะเปลี่ยนไปอยู่ในระดับสูงกว่าเดิมเป็นระยะ h ถ้ารู้ระยะทางนี้ก็จะหา v ได้ สำหรับพลังงานจลน์ของระบบ ณ ทันทีทันใดหลังการชน จะต้องเท่ากับพลังงานศักย์ที่เพิ่มขึ้นของเพนดูลัมเมื่อจุดศูนย์กลางความโน้มถ่วงเปลี่ยนไปอยู่ ณ ตำแหน่งสูงสุด

$$\text{ดังนั้น} \quad \frac{1}{2}(M+m)V^2 = (M+m)gh \quad \dots\dots(7.6)$$

เมื่อ g คือค่าความเร่งแห่งความโน้มถ่วง ณ ที่ทำการทดลอง

$$\text{จะได้} \quad v = \sqrt{2gh} \quad \dots\dots(7.7)$$

สมการ (7.7) ทำให้เราหา v ได้ และเมื่อชั่ง M, m แล้วแทนค่าต่าง ๆ ลงใน (7.5) ก็จะหา v ได้

เราอาจทดสอบค่าความเร็วต้น v ของตัวโปรเจกไทล์ที่หาได้จาก (7.5) ได้โดยวัดระยะตกตามแนวตั้ง ระยะตามระดับที่โปรเจกไทล์เคลื่อนที่เมื่อยิงโปรเจกไทล์ในแนวระดับด้วยความเร็ว v และปล่อยให้ตกอย่างอิสระ ในกรณีเช่นนี้ความเร็วในแนวระดับจะคงที่ (ตัดความต้านทานของอากาศทิ้งไป) โดยที่ความเร็วในแนวตั้งอันมีผลจากแรงโน้มถ่วงซึ่งทำให้แนวตั้งมีความเร่งคงที่ไม่มีผลต่อความเร็วในแนวระดับ และขณะเดียวกัน ความเร็วในแนวระดับก็ไม่มีผลต่อการเคลื่อนที่ในแนวตั้ง จึงเหมือนกับวัตถุที่ตกในแนวตั้งอย่างอิสระโดยไม่มีการเคลื่อนที่ในแนวระดับ แต่การเคลื่อนที่จริงของโปรเจกไทล์นั้นเป็นผลรวมของความเร็วในแนวระดับที่คงที่กับความเร็วในแนวตั้งที่มีความเร่งสม่ำเสมออันเนื่องมาจากแรงโน้มถ่วง ดังนั้นในช่วงเวลา t ที่โปรเจกไทล์ตกถึงพื้นจะได้ระยะตามแนวระดับ

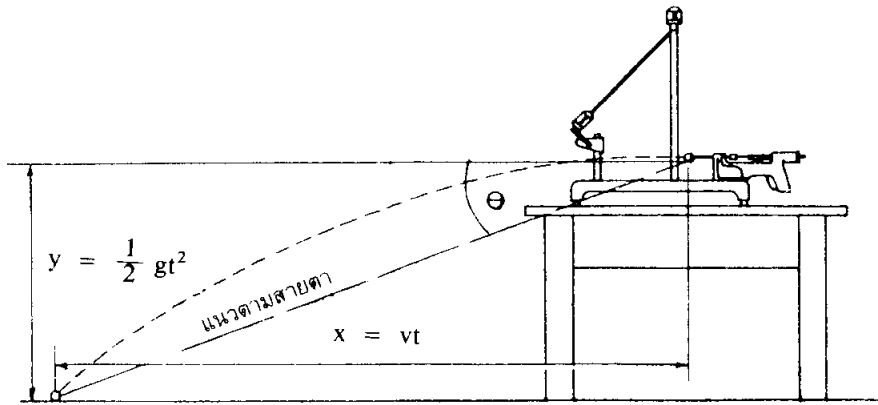
$$x = vt \quad \dots\dots(7.8)$$

และได้ระยะตามแนวตั้ง

$$y = \frac{1}{2}gt^2 \quad \dots\dots(7.9)$$

โดยการกำจัด t ออกจาก 2 สมการนี้ และถือว่า x, y เราสามารถวัดได้ เราก็จะหาความเร็วต้นได้คือ

$$v = x \sqrt{\frac{g}{2y}} \quad \dots\dots(7.10)$$



รูปที่ 7.1 แสดงระยะตามแนวตั้งและแนวระดับของโปรเจกไทล์

จากรูปที่ 7.1 แนวตามสายตา (line of sight; LOS) ทำมุม θ กับแนวระดับเรียกมุม θ นี้ว่า มุมกด (angle of depression) โดยเรขาคณิตจะได้

$$\begin{aligned} \tan \theta &= \frac{y}{x} = \frac{y}{v\sqrt{2y/g}} \quad \dots\dots(7.11) \\ &= \frac{1}{v} \sqrt{\frac{gy}{2}} \end{aligned}$$

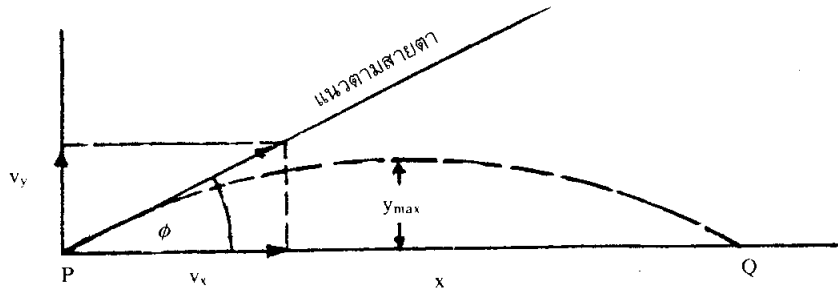
ในกรณีที่โปรเจกไทล์เคลื่อนที่โดยทำมุมยก (angle of elevation) ϕ กับแนวระดับ เช่นยิงปืนหรือจัดชุดทดลองบนพื้นเอียงเพื่อยิงลูกบอลโลหะในแนวทำมุมยกกับเส้นระดับ หรือกรณีการตีลูกเบสบอล (baseball) ทันทีที่ตัวโปรเจกไทล์ถูกยิงออกไปที่จุด P จะมีแรงโน้มถ่วงกระทำ จึงถูกเร่งด้วยความโน้มถ่วงให้ตกลงสู่พื้นในแนวที่ต่ำกว่า LOS แนวการเคลื่อนที่ของโปรเจกไทล์จะเป็นรูปโค้งพาราโบลา (parabola) โดยไม่คิดถึงความต้านทานเนื่องจากอากาศ และตกสู่พื้นที่จุด Q ซึ่งอยู่ในแนวระดับเดียวกับจุด P ได้ระยะตามแนวระดับเป็น x ระยะสูงสุดที่โปรเจกไทล์ขึ้นไปได้คือ y_{max} เวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่ขึ้นจะเท่ากับเวลาที่ตกลงมา ความเร็วในแนวระดับ v_x คงที่ และความเร็วในแนวตั้ง v_y ที่จุด Q และ P มีค่าเท่ากัน (ตัดความต้านทานของอากาศทิ้งไป)

ดังนั้น จะได้ระยะตามแนวระดับคือ

$$x = \frac{v^2 \sin 2\phi}{g} \quad \dots\dots(7.12)$$

เมื่อ
$$v = \sqrt{\frac{gx}{\sin 2\phi}} \quad \dots\dots(7.13)$$

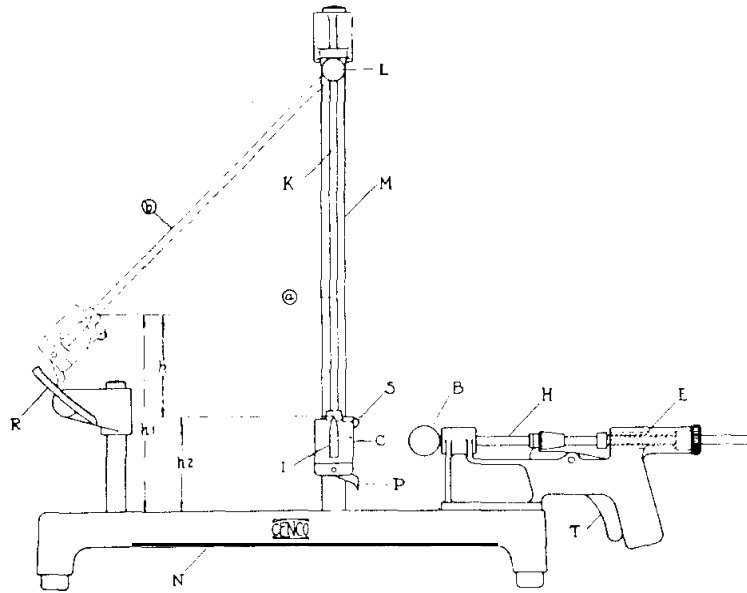
และจะได้
$$y_{\max} = \frac{v^2 \sin^2 \phi}{2g} \quad \dots\dots(7.14)$$



รูปที่ 7.2 โพรเจกไทล์เคลื่อนที่โดยทำมุม ϕ กับแนวระดับ

ชุดทดลองเรื่องโมเมนตัมและการเคลื่อนที่ของโปรเจกไทล์ ประกอบด้วยบอลลิสติก เพนดูลัม และปืนสปริงสำหรับยิงลูกบอลโลหะ ตัวเพนดูลัมมีลูกตุ้มทรงกระบอก C ข้างในกลอง เพื่อรับลูกปืนจากปืนสปริง และแขวนไว้ด้วยท่อแข็งแรงแต่เบา K โดยที่ท่อ K นี้แขวนไว้กับหลักเหล็ก M ซึ่งตั้งฉากอยู่กับฐาน N สามารถถอดตัวเพนดูลัมออกได้ถ้าคลายสกรู L นอกจากนี้ยังอาจหมุนปรับสกรูนี้เพื่อให้เพนดูลัมแกว่งได้อย่างอิสระโดยมีความเสียดทานน้อยมาก ตัวโปรเจกไทล์เป็นลูกบอลโลหะทองเหลือง B เมื่อยิงเข้าไปในลูกตุ้ม จะถูกยึดไว้ด้วยสปริง S ในลักษณะที่ตำแหน่งจุดศูนย์กลางความโน้มถ่วง (center of gravity) ของระบบลูกบอลลูกตุ้มอยู่ในแนวแกนของท่อ K ปลายของตัวชี้ I ซึ่งติดอยู่ที่ลูกตุ้มจะชี้แสดงจุดศูนย์กลางความโน้มถ่วง

เมื่อยิงโปรเจกไทล์เข้าไปในลูกตุ้ม เพนดูลัมจะแกว่งขึ้นและคืนสปริง P จะไปขัดกับรางรูปโค้ง R ที่ระยะสูงสุดที่เพนดูลัมจะเคลื่อนขึ้นไปได้ ราง R นี้มีผิวเป็นซี่ฟันและเป็นรูปโค้งของวงกลมที่มีจุดศูนย์กลางอยู่ในแนวแกนของเพนดูลัม



รูปที่ 7.3 Spring-Gun Ballistic Pendulum

วิธีทดลอง

ตอนที่ 1 คำนวณความเร็วต้นของโปรเจกไทล์ โดยบอลลิสติกเพนดูลัม

1. จัดเครื่องมือให้อยู่มั่นคง ยึดเครื่องมือให้แน่นและให้อยู่ในแนวระดับ
2. ยึดลูกตุ้มให้ติดกับราง R ก่อน แล้วจึงจัดปืนสปริงให้พร้อมที่จะยิงโดยเอาลูกปืนใส่ในปลายแท่ง H แล้วดันเข้าไปเพื่อให้สปริง E อัดเข้ามีแรงดันที่จะยิงลูกปืนให้พุ่งไปข้างหน้าเมื่อลั่นไกปืน T และมีความเร็วต้นของลูกปืนเท่า ๆ กันทุกครั้ง
3. ปลดลูกตุ้มออกจากราง เพื่อให้เพนดูลัมแขวนห้อยอย่างอิสระ เมื่อเพนดูลัมอยู่นิ่งดีแล้ว จึงลั่นไกปืน ลูกปืนจะวิ่งเข้าไปในลูกตุ้มด้วยความเร็วค่าหนึ่งซึ่งทำให้เพนดูลัมแกว่งเปลี่ยนตำแหน่งจาก (a) ไปยัง (b) (ดูรูปที่ 7.3) และเกาะอยู่บนราง R เมื่อจะเอาลูกปืนออกให้ใช้นิ้วดันสปริง S เข้าไป ลูกปืนจะหลุดออกมา ทำการทดลอง 5 ครั้ง วัดค่า h_1 , h_2 แล้วหาค่า h โดย $h = h_1 - h_2$ แล้วหา h เฉลี่ย
4. หามุมเกลียว L ออกเพื่อชั่งหามวลของเพนดูลัม (M) และมวลของลูกปืน (m) แล้วเก็บเข้าที่เดิมให้เรียบร้อย (สำหรับข้อนี้ไม่ต้องทำ เนื่องจากได้ชั่งและติดค่าของ M, m ไว้ที่เครื่องมือแล้ว)

5. จากข้อมูลที่ได้นำไปคำนวณหาความเร็วต้นของโปรเจกไทล์ โดยใช้สมการ (7.5) และ (7.7) (ใช้ h ค่าเฉลี่ย)

ตอนที่ 2 คำนวณหาความเร็วต้นของโปรเจกไทล์โดยวัดระยะตก และระยะในแนวระดับ

1. ยึดลูกตุ้มให้อยู่ที่ราง R ตลอดการทดลองนี้ (ดูรูปที่ 7.1) เพื่อให้ลูกปืนที่ถูกยิงออกไปเคลื่อนที่ได้อย่างอิสระ

2. จัดกระดาษขาวธรรมดาวางบนกระดาษคาร์บอน และใต้กระดาษคาร์บอน แล้ววางกระดาษรองข้างใต้อีกหลาย ๆ แผ่น เพื่อกันลูกปืนกระทบถูกพื้นแรง ๆ กระดาษชุดนี้จะบันทึกตำแหน่งของลูกปืนที่ตกถึงพื้น

3. ยิงลูกปืน แล้ววัดระยะ x, y (ตามรูปที่ 7.1) ทำการทดลอง 5 ครั้ง (ระวังอย่าให้ลูกปืนหาย)

4. คำนวณหาความเร็วต้นของลูกปืนจากสมการ (7.10) และมุม θ จากสมการ (7.11)

ตอนที่ 3 เปรียบเทียบ y_{\max} (ทดลอง) กับ y_{\max} (ทฤษฎี)

1. ยึดชุดทดลองให้แน่นกับพื้นเอียง จัดปืนยิงให้อยู่ในลักษณะที่ระนาบในแนวระดับของพื้นผิวที่ลูกปืนตก เป็นระนาบเดียวกับตอนที่ลูกปืนถูกยิงออกไป (ดูรูปที่ 7.2)

2. จัดพื้นเอียงให้ทำมุม $\phi = 20^\circ, 30^\circ, 40^\circ$ กับแนวระดับ ทดลองยิงลูกปืน 3 ครั้งต่อมุม ϕ - ค่า วัดระยะตกในแนวระดับ และวัดระยะสูงสุดที่ลูกปืนจะขึ้นไปได้ (y_{\max}) โดยคาดคะเนด้วยสายตา แล้วหาค่า y_{\max} เฉลี่ย

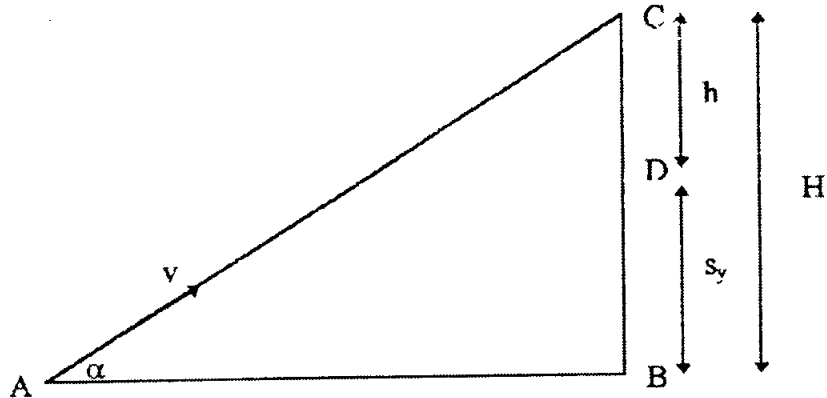
3. คำนวณค่า y_{\max} (ทฤษฎี) เปรียบเทียบกับค่า y_{\max} (ทดลอง) เฉลี่ยตามข้อ 2 โดยใช้ค่า x เฉลี่ย

เมื่อทดลองเสร็จแล้วเวลาเก็บชุดทดลองต้องดูว่าไม่ได้ขึ้นไก่อป็นค้างไว้ แล้วให้เก็บลูกปืนไว้ในลูกตุ้ม จากนั้นจึงส่งคืนห้องทดลอง

ตอนที่ 4 การเคลื่อนที่แบบโปรเจกไทล์และการตกอย่างอิสระ

ทฤษฎี

ในการเคลื่อนที่แบบโปรเจกไทล์และการตกอย่างอิสระ พบว่าเมื่อยิงวัตถุให้เคลื่อนที่แบบโปรเจกไทล์ไปยังเป้าที่ตกลงมาอย่างอิสระในแนวตั้งพร้อมๆ กับวัตถุหลุดจากเครื่องยิง เวลาที่วัตถุเคลื่อนที่แบบโปรเจกไทล์จะเท่ากับเวลาที่เป้าตกลงมาอย่างอิสระในแนวตั้ง



จากรูป ยิงวัตถุด้วยความเร็ว v ทำมุมกับแนวราบ α ที่ตำแหน่ง A ในขณะที่เป้าตกลงมาจากตำแหน่ง B วัตถุจะกระทบกับเป้าที่ D โดยที่ความเร็วต้นของโปรเจกไทล์ v แยกเป็น 2 แนวคือแนวราบ $v_x = v \cos \theta$ และแนวตั้ง $v_y = v \sin \theta$

AB เป็นระยะแนวราบของโปรเจกไทล์ $S_x = v_x t$ ในขณะที่ BD เป็นระยะแนวตั้งของโปรเจกไทล์ หาได้จากสมการ $S_y = v_y t - \frac{1}{2} g t^2$ ลูกปืนจะกระทบถูกเป้าเมื่อเป้าตกลงมาเป็นระยะ $h = \frac{1}{2} g t^2$ ดังนั้นระยะทั้งหมดตามแนวตั้งคือ $H = S_y + h$ หรือ $S_y = H - h = H - \frac{1}{2} g t^2$ ซึ่งจะหาเวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่ได้จาก

$$t = \sqrt{\frac{2(H - S_y)}{g}}$$

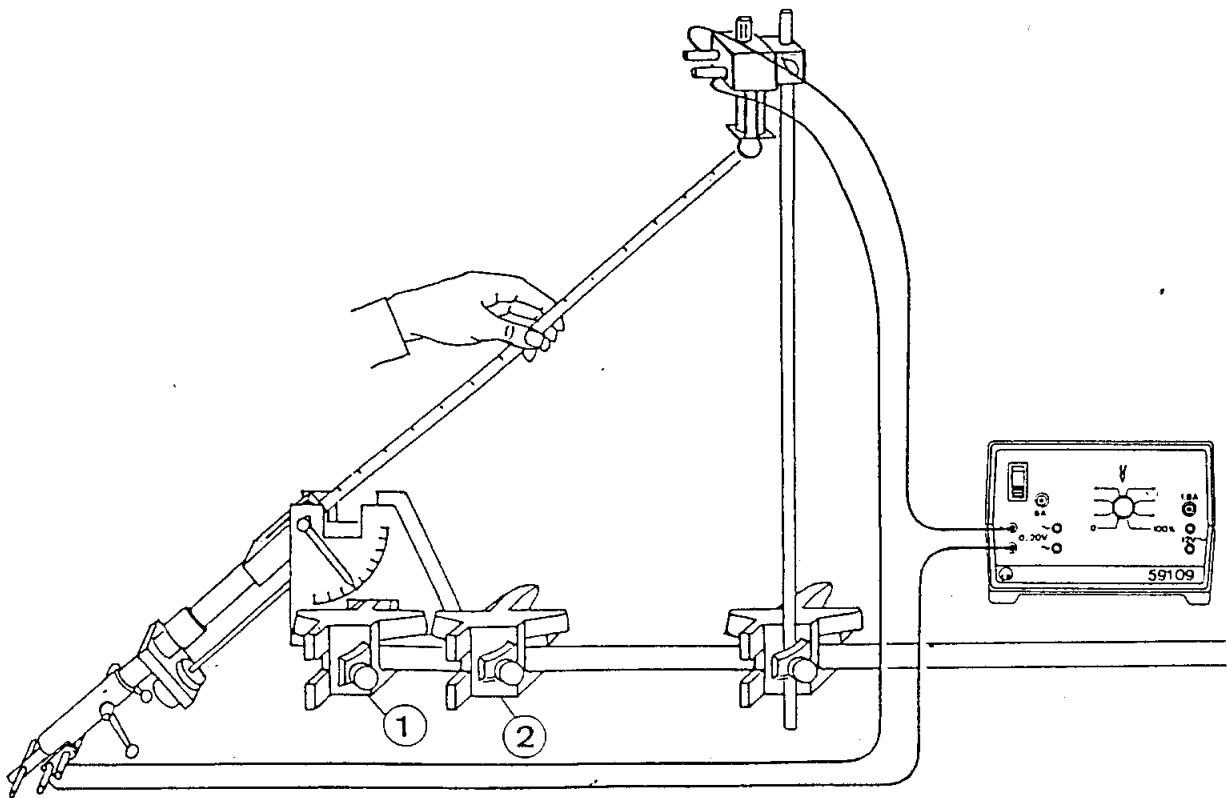
วิธีการทดลอง

1. จัดเครื่องมือให้ระยะในแนวราบของเป้าห่างจากเครื่องยิงโปรเจกไทล์เป็นระยะ 30 cm. ตั้งรูปในหน้าถัดไป
2. ขึ้นไกเครื่องยิงโปรเจกไทล์ซึ่งจะทำให้วงจรแม่เหล็กไฟฟ้าทำงานและจะดึงตุลกลูกปืนลูกใหญ่ที่เป็นเป้าเอาไว้ (แม่เหล็กจะหมดอำนาจทันทีที่ลูกปืนหลุดออกจากเครื่องยิง)
3. เล็งเครื่องยิงไปยังเป้าแล้วทำการวัดมุมเอียงของโปรเจกไทล์ (α) แล้วใส่ลูกปืนลูกเล็กลงในช่องใส่ลูกของเครื่องยิงโปรเจกไทล์

4. ลั่นไกเครื่องยิงซึ่งจะยิงลูกปืนไปชนเป้าที่ตกลงมาอย่างอิสระ ตำแหน่งที่ชนจะปรากฏบนกระดาษคาร์บอนที่ติดไว้ด้านหลัง
5. ทำการวัดระยะโปรเจกไทล์แนวตั้ง (y) ความสูงทั้งหมด (H) แล้วคำนวณหาค่าเวลา (t) และความเร็วต้น (V) ของการเคลื่อนที่แบบโปรเจกไทล์
6. ทำการทดลองอีก 2 ครั้งโดยเปลี่ยนระยะในแนวราบเป็น 40 cm. และ 50 cm. ตามลำดับ

สรุปประเด็นสำคัญ

แนวการเคลื่อนที่อย่างอิสระของวัตถุในอากาศเป็นรูปโค้งแบบพาราโบลา เนื่องจากแรงโน้มถ่วงในแนวตั้งให้ตกสู่พื้น ส่วนการชนกันระหว่างวัตถุเป็นไปตามกฎการอนุรักษ์โมเมนตัม



รูป 7.4 อุปกรณ์ที่ใช้ในตอนี่ 4

กิจกรรม

1. จัดชุดทดลองตามที่กำหนดในวิธีทดลองแต่ละตอน
2. บันทึกผลการทดลองลงในตารางให้ถูกต้องและชัดเจน
3. สรุปผลการทดลองพร้อมกับตอบคำถามท้ายบทให้ครบถ้วน

แบบทดสอบการทดลองที่ 7

- การทดลองเรื่องการเคลื่อนที่ของโปรเจกไทล์จะต้องใช้อุปกรณ์อะไร
 - ลูกบอลสำหรับขว้างไป
 - ลูกปืนและปืนสปริง
 - ลูกระเบิดสำหรับขว้างไป
 - ถูกทุกข้อ
- การเคลื่อนที่ของโปรเจกไทล์ทำให้ปริมาณใดทางฟิสิกส์มีค่าคงที่
 - แรงขับเคลื่อน
 - ความเร็วในแนวระดับ
 - ความเร็วในแนวตั้ง
 - ถูกทุกข้อ
- ขณะที่วัตถุเคลื่อนที่อย่างอิสระอยู่ในอากาศมีแรงกระทำใดที่เกี่ยวข้อง
 - แรงเสียดทาน
 - แรงโน้มถ่วง
 - ข้อ 1 และ 2 ถูก
 - ไม่มีแรงกระทำใด ๆ
- การหาความเร็วต้น (v) ของวัตถุก่อนชน อาศัยหลักการใดในทางฟิสิกส์
 - กฎอนุรักษ์โมเมนตัม
 - การคงตัวของพลังงาน
 - กฎการเคลื่อนที่ของนิวตัน
 - กฎความโน้มถ่วง
- ค่าความเร็วต้น (v) ของโปรเจกไทล์เกี่ยวข้องกับการวัดระยะต่าง ๆ ในกรณีใด
 - ลูกปืนชนกับลูกตุ้ม
 - ลูกปืนตกอย่างอิสระ
 - ลูกปืนทำมุมยก, ϕ
 - ข้อ 2 และ 3 ถูก
- ความสัมพันธ์ที่ใช้หาความเร็วต้น (v) ในข้อ 4 คืออะไร
 - $(M+m)/m$
 - $(M+m)V/m$
 - $(2gh)^{1/2}$
 - $1/2(M+m)V^2$
- ระยะต่าง ๆ ที่ต้องวัดในข้อ 5 คืออะไร
 - ระยะตกถึงพื้นในแนวตั้ง
 - ระยะไกลสุดในแนวระดับ
 - ระยะสูงสุดในแนวตั้ง
 - ถูกทุกข้อ
- ความสัมพันธ์ที่ใช้หาความเร็วต้น (v) ในข้อ 5 คืออะไร
 - $x(g/2y)^{1/2}$
 - $(xg/\sin 2\phi)^{1/2}$
 - $(2gy/\sin^2\phi)^{1/2}$
 - ถูกทุกข้อ
- ในการตกอย่างอิสระจะหามุมกตได้จากความสัมพันธ์ใด
 - $\tan^{-1} 1/v(gy/2)^{1/2}$
 - $\sin^{-1}(xg/v^2)$
 - $\sin^{-1}(2gy)$
 - ถูกทุกข้อ
- การยิงลูกปืนให้ทำมุมยก 20° , 30° , 40° และ 45° กรณีใดจะทำให้ได้ระยะสูงสุดในแนวตั้งและไกลสุดในแนวระดับ
 - 45°
 - 40°
 - 30°
 - 20°

แนวตอบ

- 2
- 2
- 3
- 1
- 4
- 2
- 4
- a. 4
- 1
- 1

บันทึกผลการทดลอง

เรื่อง โมเมนต์และ การเคลื่อนที่ของโปรเจกไทล์

ผู้รายงาน ชื่อ..... เลขรหัส.....

ผู้ร่วมงาน 1. ชื่อ..... เลขรหัส.....

2.

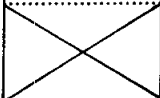

3.

4.

ทำการทดลองวันที่.....เดือน.....พ.ศ.....Section.....กลุ่ม.....

มวลของระบบลูกตุ้ม = กรัม, มวลของลูกปืน = กรัม

ตอนที่ 1

ครั้งที่	h ₁ (ซ.ม.)	h ₂ (ซ.ม.)	h = h ₁ - h ₂ (ซ.ม.)	สำหรับคำนวณหาค่า V และ v (ซ.ม./วินาที)
1				
2				
3				
4				
5				
เฉลี่ย				

ตอนที่ 2

ครั้งที่	ระยะแนวระดับ x (ซ.ม.)	ระยะตก y (ซ.ม.)	สำหรับคำนวณหาค่า v และ θ (ซ.ม./วินาที)
1			
2			
3			
4			
5			
เฉลี่ย			

ตอนที่ 3

มุมยก (θ)	ระยะแนวระดับ x (ซม.)	y_{max} (ทดลอง) (ซม.)	สำหรับคำนวณหาค่า y_{mzx} (ทฤษฎี) เฉลี่ย (ซม.)
20°	1. 2. 3. เฉลี่ย.....	1. 2. 3. เฉลี่ย.....	เคลื่อนคลาด = %
30°	1. 2. 3. เฉลี่ย.....	1. 2. 3. เฉลี่ย.....	เคลื่อนคลาด = %
40°	1. 2. 3. เฉลี่ย.....	1. 2. 3. เฉลี่ย.....	เคลื่อนคลาด = %
45°	1. 2. 3. เฉลี่ย.....	1. 2. 3. เฉลี่ย.....	เคลื่อนคลาด = %

ตอนที่ 4

H = cm.

X(cm.)	y(cm.)	α	t(s)	v
30				
40				
50				

ตัวอย่างการคำนวณหาค่า เวลา (t) และ ความเร็วต้นของโปรเจคไทล์ (v)

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

สรุปผลการทดลอง

ตอบคำถาม

1. บอกเหตุผลที่ทำให้ค่า v ที่ได้จากการทดลองตอนที่ 1 และ 2 แตกต่างกันไปบ้าง

.....

.....

.....

2. จากกฎเกณฑ์ทางฟิสิกส์ข้อใดที่แสดงว่าความเร็วของวัตถุในแนวระดับมีค่าคงที่

3. โดยข้อมูลที่ได้จากการวัดและคำนวณจงหา

3.1 พลังงานจลน์ของระบบ ณ ทันที่ทันใดก่อนชน

3.2 พลังงานจลน์ของระบบ ณ ทันที่ทันใดหลังชน

3.3 อะไรที่ทำให้ค่าของ 3.1 และ 3.2 ต่างกัน

3.4 หาเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของ 3.1 และ 3.2

3.5 จงพิสูจน์ว่าอัตราส่วนของพลังงานที่หายไปดังกล่าวข้างต้น สามารถหาได้จากอัตราส่วนระหว่างมวลของเพนดูลัม ต่อผลรวมของมวลของลูกปิ่นกับเพนดูลัม (โดยการแทนค่าและคิดเป็นร้อยละ นำไปเปรียบเทียบกับผลลัพธ์ที่ได้ในข้อ 3.4)

4. จงหาเวลาในการเคลื่อนที่ของโปรเจกไทล์ โดยใช้สมการ (7.9)

5. จงพิสูจน์ว่า ถ้ามุมยกเป็น 45° จะได้ระยะตกตามแนวระดับมีค่ามากที่สุด