การทดลองที่ 7
เรื่อง โมเมนตัมและการเคลื่อนที่ของโปรเจคไทล์

จุดประสงค์การเรียนรู้

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

เครื่องใช้ในการทดลอง

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

ทฤษฎี

โดยนิยามของโปรเจคไทล์อาจกล่าวได้ว่า โปรเจคไทล์คือวัตถุซึ่งเคลื่อนที่ในอวกาศ หรือในบรรยากาศโดยไม่มีแรงขับเคลื่อนอีกต่อไป เช่น ลูกบอลที่ถูกขว้างออกไป ลูกปืนที่ยิงออกไป และการตกของลูกระเบิด เป็นต้น

โมเมนตัมของวัตถุ (p) นิยามว่า คือ ผลคูณของมวลของวัตถุ (m) กับความเร็ว (v) ของวัตถุ

$$p = mv \qquad (7.1)$$

ตามกฎอนุรักษ์ของโมเมนตัมแสดงว่า การเปลี่ยนแปลงโมเมนตัมของส่วนหนึ่งของระบบจะเท่ากัน แต่มีทิศทางตรงข้ามกันกับการเปลี่ยนแปลงโมเมนตัมของอีกส่วนหนึ่งของระบบ กฎดังกล่าวอาจพิสูจน์ได้จากกฎการเคลื่อนที่ของนิวตัน(Newton's Law of Motion) ข้อที่ 2 และ 3 ดังนี้

PH 113 (L) 103

ดังกล่าวอาจพิสูจน์ได้จากกฎการเคลื่อนทีของนิวตัน(Newton's Law of Motion) ข้อที่ 2 และ 3 ดังนี้

สมมติ มวล m_1 เคลื่อนที่ด้วยความเร็ว v_1 ไปชนกับวัตถุอีกอันหนึ่งซึ่งอยู่นิ่งมีมวล จากกฎข้อที่ 2 ของนิวตัน ดังนั้นวัตถุอันแรกจะถูกหน่วงด้วยแรง f_1 (โดยวัตถุอันที่สอง) และในขณะเดียวกันวัตถุอันแรกก็จะทำให้เกิดแรงต่อวัตถุอันหลังด้วยขนาดเดียวกัน แต่ทิศทางตรงข้ามเป็น $-f_1$ ตามกฎข้อที่ 3 ของนิวตัน ถ้าให้ a_1 และ a_2 เป็นความเร่งของวัตถุทั้งสองตามลำดับ จะได้

$$f_1 = -f_2 \quad \text{และ} \quad m_1a_1 = -m_2a_2 \tag{7.2}$$

แรงทั้งสองนี้กระทำต่อกันในช่วงเวลา Δt ดังนั้นจากนิยามของความเร่ง

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

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

$$m_1\Delta v_1 = -m\,\Delta v_2 \tag{7.3}$$

แต่ละข้างของ (7.3) คือ การเปลี่ยนแปลงโมเมนตัมนั่นเอง ดังนั้น (7.3) จึงมีความหมายว่า โมเมนตัมที่หายไปของวัตถุแรกจะมีค่าเท่ากับโมเมนตัมที่เพิ่มขึ้นในวัตถุอันที่สอง หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งได้ว่า "โมเมนตัมทั้งหมดของระบบจะมีค่าคงที่ในระหว่างการชนกัน"

กฎการอนุรักษ์ของโมเมนตัมใช้ได้กับการชนทุกแบบ สำหรับกรณีการชนกันแบบไม่ยืดหยุ่น (inelastic impact) ซึ่งจะกล่าวในตอนการทดลองต่อไป ก็ใช้หลักอนุรักษ์โมเมนตัมได้ว่า โมเมนตัมของลูกบอลโลหะก่อนการชน (ดูรูปที่ 7.3) จะเท่ากับ โมเมนตัมของลูกบอลโลหะกับลูกตุ้มซึ่งอยู่ติดกันไป ณ ทันทีทันใดภายหลังการชน (ในชุดทดลองเรื่องนี้ บอลลิสติกเพนดูลัม (ballistic pendulum) มีความเร็วต้น (ก่อนการชน) เป็นศูนย์ โมเมนตัมของลูกบอลโลหะ ก่อนการชนมีค่าเท่ากับมวล m คูณกับความเร็วต้นก่อนชน v ภายหลังการชนกันโปรเจคไทล์(ลูกบอลโลหะ) จะติดอยู่ภายในลูกตุ้มนี้จะมีความเร็ว V และมีโมเมนตัม $(M+m)V$ จากกฎการอนุรักษ์โมเมนตัม

โมเมนตัมทั้งหมดก่อนชน = โมเมนตัมหลังชน

$$mv = (M+m)V \tag{7.4}$$

$$v = \frac{M+m}{m}V \qquad (7.5)$$

เนื่องจากผลของการชนทำให้เพนดูลัมซึ่งมีตัวโปรเจคไทล์ติดอยู่เคลื่อนที่ในแนวเส้นโค้งโดยมีจุดที่ยึดเพนดูลัมเป็นจุดศูนย์กลาง ดังนั้นจุดศูนย์กลางความโน้มถ่วงจะเปลี่ยนไปอยู่ในระดับสูงกว่าเดิมเป็นระยะ h ถ้ารู้ระยะทางนี้ก็จะหา V ได้ สะหรับพลังงานจลน์ของระบบ ณ ทันทีทันใดหลังการชน จะต้องเท่ากับพลังงานศักย์ที่เพิ่มขึ้นของเพนดูลัมเมื่อจุดศูนย์กลางความโน้มถ่วงเปี่ยนไปอยู่ ณ ตำแหน่งสูงสุด

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

เมื่อ g คือ ค่าความเร่งแห่งความโน้มถ่วง ณ ที่ทำการทดลอง

จะได้ $$V = \sqrt{2gh} \qquad (7.7)$$

สมการ (7.7) ทำให้เราหา V ได้ และเมื่อชั่ง M, m แล้วแทนค่าต่างๆ ลงใน (7.5) ก็จะหา v ได้

เราอาจทดสอบค่าความเร็วต้น v ของตัวโปรเจคไทล์ที่หาได้จาก (7.5) ได้โดยวัดระยะตกตามแนวดิ่ง ระยะตามระดับที่โปรเจคไทล์เคลื่อนที่เมื่อยิงโปเจคไทล์ในแนวระดับด้วยความเร็ว v และปล่อยให้ตกอย่างอิสระ ในกรณีเช่นนี้ความเร็วในแนวระดับจะคงที่ (คัดความต้านทางของอากาศทิ้งไป) โดยที่ความเร็วในแนวดิ่งอันมีผลจากแรงโน้มถ่วงซึ่งทำให้แนวดิ่งมีความเร่งคงที่ไม่มีผลต่อความเร็วในระดับ และขณะเดียวกัน ความเร็วในแนวระดับก็ไม่มีผลต่อการเคลื่อนที่ในแนวดิ่งอย่างอิสระดดยไม่มีการเคลื่อนที่ในแนวระดับ แต่การเคลื่อนที่จริงของโปรเจคไทล์นั้นเป็นผลรวมของความเร็วในแนวระดับที่คงที่กับความเร็วในแนวดิ่งที่มีความเร่งสม่ำเสมออันเนื่องมาจากแรงโน้มถ่วง ดังนั้นในช่วงเวลา t ที่โปรเจคไทล์ตกถึงพื้นจะได้ระยะตามแนวระดับ

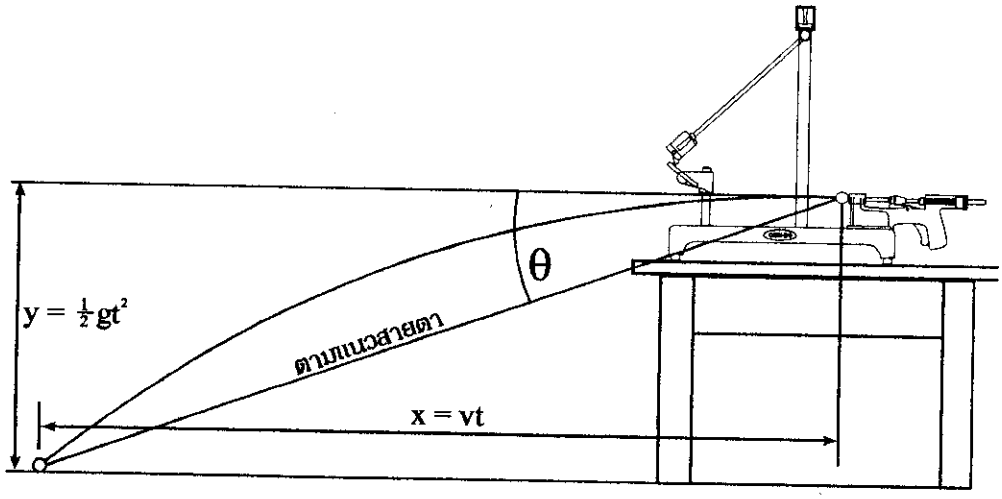
$$x = vt \qquad (7.8)$$

และได้ระยะตามแนวดิ่ง

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

โดยการกำจัด t ออกจาก 2 สมการนี้ และถือว่า x,y เราสามารถวัดได้ เราก็จะหาความเร็วต้นได้คือ

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



รูป 7.2 แสดงระยะตามแนวดิ่งและแนวระดับของโปรเจคไทล์

จากรูป 7.1 แนวสายตา (line of sight, LOS) ทำมุม θ กับแนวระดับเรียกมุมนี้ว่า มุมกด (angle of depression) โดยเรขาคณิตจะได้

$$\tan\theta = \frac{y}{x} = \frac{y}{v\sqrt{2y/g}} \qquad (7.11)$$

$$= \frac{1}{v}\sqrt{\frac{gy}{2}}$$

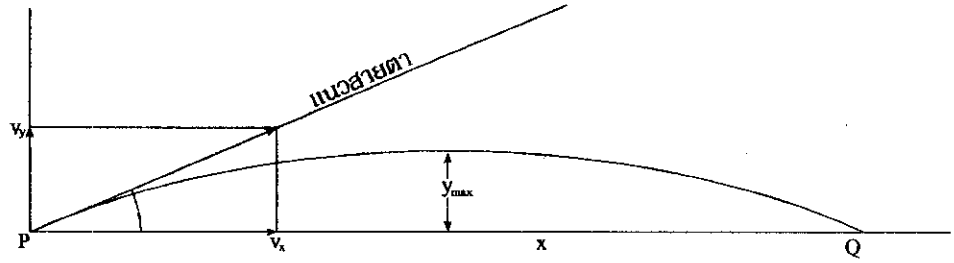
ในกรณีที่โปรเจคไทล์เคลื่อนที่โดยทำมุมยก (angle of elevation) ϕ กับแนวระดับ เช่น ยิงปืน หรือจัดชุดทดลองบนพื้นเอียงเพื่อยิงลูกบอลโลหะในแนวทำมุมยกกับเส้นระดับ หรือการตีลูกเบสบอล (baseball) ทันทีที่ตัวโปรเจคไทล์ถูกยิงออกไปที่จุด P จะมีแรงโน้มถ่วงกระทำ จึงถูกเร่งด้วยความโน้มถ่วงให้ตกลงสู่พื้นในแนวที่ต่ำกว่า LOS แนวการเคลื่อนที่ของโปรเจคไทล์จะเป็นรูปโค้งพาราโบลา (parabola) โดยไม่คิดถึงความต้านทานเนื่องจากอากาศและตกสู่พื้นที่จุด Q ซึ่งอยู่ในแนวระดับเดียวกับจุด P ได้ระยะตามแนวระดับเป็น x ระยะสูงสุดที่โปรเจคไทล์ขึ้นไปได้คือ y_{max} เวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่ขึ้นจะเท่ากับเวลาที่ตกลงมา ความเร็วในแนวระดับ v_x คงที่ และความเร็วในแนวดิ่ง v_y ที่จุด Q และ P มีค่าเท่ากัน (ตัดความต้านทานของอากาศทิ้งไป)

ดังนั้น จะได้ระยะตามแนวระดับคือ

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

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

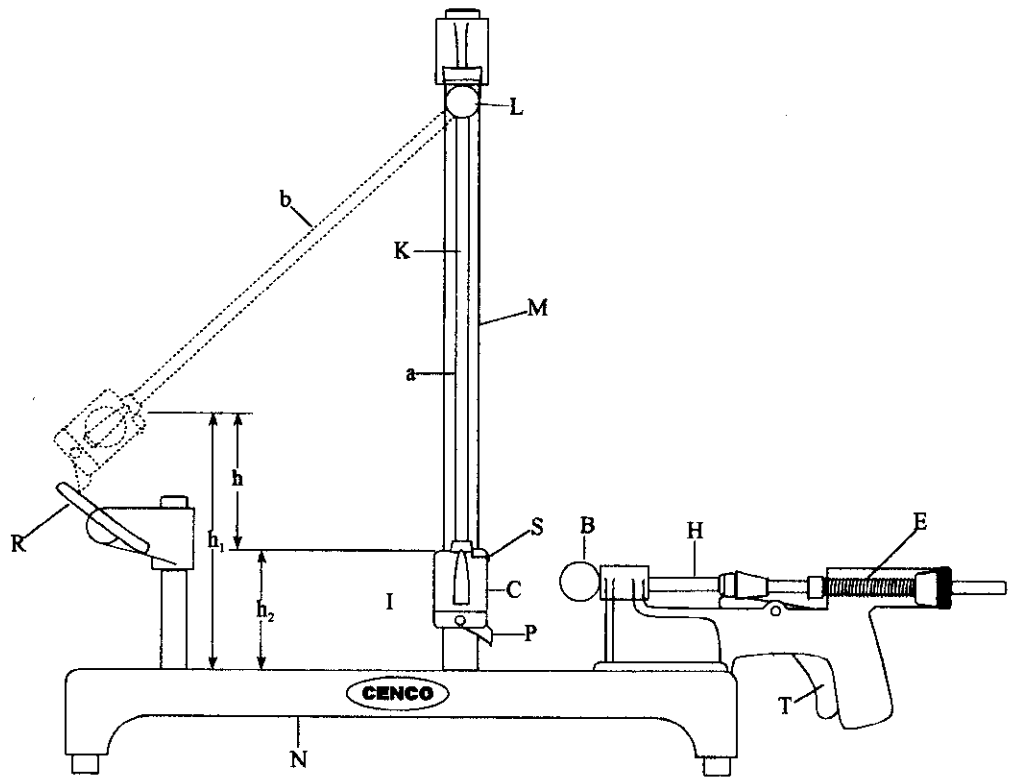
จะได้ $$y_{max} = \frac{v^2 \sin^2 \phi}{2g} \qquad (7.14)$$



รูปที่ 7.2 *โปรเจคไทล์เคลื่อนที่โดยทำมุม กับแนวระดับ*

ชุดทดลองเรื่องโมเมนตัมและการเคลื่อนที่ของโปรเจคไทล์ ประกอบด้วยบอลลิสติคเพนดูลัม และปืนสปริงสำหรับยิงลูกบอลโลหะ ตัวเพนดูลัมมีลูกตุ้มทรงกระบอก C ข้างในกลวงเพื่อรับลูกปืนจากปืนสปริง และแขวนไว้ด้วยท่อแข็งแรงแต่เบา K โดยที่ท่อ K นี้แขวนไว้กับหลัก M ซึ่งตั้งฉากอยู่กับฐาน N สามารถถอดตัวเพนดูลัมออกได้ถ้าคลายสกรู L นอกจากนี้ยังอาจหมุนปรับสกรูนี้เพื่อให้เพนดูลัมแกว่งได้อย่างอิสระโดยมีความเสียดทานน้อยมาก ตัวโปรเจคไทล์เป็นลูกบอลโลหะทองเหลือง B เมื่อยิงเข้าไปในลูกตุ้ม จะถูกยึดไว้ด้วยสปริง S ในลักษณะที่ตำแหน่งจุดศูนย์กลางความโน้มถ่วง (center of gavity) ของระบบลูกตุ้มจะชี้แสดงจุดศูนย์กลางความโน้มถ่วง

เมื่อยิงโปรเจคไทล์เข้าไปในลูกตุ้ม เพนดูลัมจะแกว่งขึ้นและลิ้นสปริง P จะไปขัดกับร่างรูปโค้ง R ที่ระยะสูงสุดที่เพนดูลัมจะเคลื่อนขึ้นไปได้ ราง R นี้มีผิวเป็นซี่ฟันและเป็นรูปโค้งของวงกลมที่มีจุดศูนย์กลางอยู่ในแนวแกนของเพนดูลัม



รูปที่ 7.3 *Spring – Gun Ballistic Pendulum*

วิธีทดลอง

ตอนที่ 1 คำนวณความเร็วต้นของโปรเจคไทล์ โดยบอลลิสติคเพนดูลัม

1. จัดเครื่องมือให้อยู่ริมโต๊ะ ยึดเครื่องมือให้แน่นและให้อยู่ในแนวระดับ

2. ยึดลูกตุ้มให้ติดกับราง R ก่อน แล้วจึงจัดปืนสปริงให้พร้อมที่จะยิงโดยเอาลูกปืนใส่ในปลายแท่ง H แล้วดันเข้าไปเพื่อให้สปริง E อัดเข้ามีแรงดันที่จะยิงลูกปืนให้พุ่งไปข้างหน้าเมื่อลันไกปืน T และมีความเร็วต้นของลูกปืนเท่าๆ กันทุกครั้ง

3. ปล่อยลูกตุ้มออกจากราง 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 $h = h_1 - h_2$ แล้วหาค่า h เฉลี่ย

4. หมุนเกลียว L ออกเพื่อชั่งหามวลของเพนดูลัม (M) และมวลของลูกปืน (m) แล้วเก็บเข้าที่เดิมให้เรียบร้อย (สำหรับข้อนี้ไม่ต้องทำ เนื่องจากได้ชั่งและติดค่าของ M, m ไว้ที่เครื่องมือแล้ว

5. จากข้อมูลที่ได้นำไปคำนวณหาความเร็วต้นของโปรเจคไทล์ โดยใช้สมการ (7.5) และ (7.7) (ใช้ h เฉลี่ย)

ตอนที่ 2 คำนวณความเร็วต้นของโปรเจคไทล์โดยวัดระยะตก และระยะในแนวระดับ

1. ยึดลูกตุ้มให้อยู่ที่ราง R ตลอดการทดลองนี้ (ดูรูป 7.1) เพื่อให้ลูกปืนที่ถูกยิงออกไปเคลื่อนที่ได้อย่างอิสระ

2. จัดกระดาษขาวธรรมดาวางบนกระดาษคาร์บอน และใต้กระดาษคาร์บอน แล้ววางกระดาษรองข้างใต้อีกหลายๆ แผ่น เพื่อกันลูกปืนกระทบถูกพื้นแรงๆ กระดาษชุดนี้จะบันทึกตำแหน่งของลูกปืนที่ตกถึงพื้น

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

4. คำนวณหาค่าความเร็วต้นของลูกปืนจากสมการ (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 1 ค่า วัดระยะตกในแนวระดับ และวัดระยะสูงสุดที่ลูกปืนจะขึ้นไปได้ (y_{max}) โดยคาดคะเนด้วยสายตา แล้วหาค่า เฉลี่ย

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

เมื่อทดลองเสร็จแล้วเวลาเก็บชุดทดลองต้องดูว่าไม่ได้ขึ้นไกปืนค้างไว้ แล้วให้เก็บลูกปืนไว้ในลูกตุ้ม จากนั้นจึงส่งคืนห้องทดลอง

สรุปประเด็นสำคัญ

แนวการเคลื่อนที่อย่างอิสระของวัตถุในอากาศเป็นรูปโค้งแบบพาราโบลา เนื่องจากแรงโน้มถ่วงในแนวดิ่งให้ตกสู่พื้น ส่วนการชนกันระหว่างวัตถุเป็นไปตามกฎการอนุรักษ์โมเมนตัม

กิจกรรมการเรียน

1. จัดชุดทดลองตามที่กำหนดในวิธีการทดลอง
2. บันทึกผลการทดลองในตารางให้ถูกต้องและชัดเจน
3. สรุปผลการทดลองพร้อมกับตอบคำถามท้ายบทให้ครบถ้วน

แบบทดสอบการทดลองที่ 7

1. การทดลองเรื่องการเคลื่อนที่ของโปรเจคไทล์จะต้องใช้อุปกรณ์อะไรบ้าง
   1. ลูกบอลสำหรับขว้างไป
   2. ลูกปืนและปืนสปริง
   3. ลูกระเบิดสำหรับขว้างไป
   4. ถูกทุกข้อ
2. การเคลื่อนที่ของโปรเจคไทล์ทำให้ปริมาณใดทางฟิสิกส์มีค่าคงที่
   1. แรงขับเคลื่อน
   2. ความเร็วในแนวระดับ
   3. ความเร็วในแนวดิ่ง
   4. ถูกทุกข้อ
3. ขณะที่วัตถุเคลื่อนที่อย่างอิสระอยู่ในอากาศมีแรงกระทำใดที่เกี่ยวข้อง
   1. แรงเสียดทาน
   2. แรงโน้มถ่วง
   3. ข้อ 1 และข้อ 2 ถูก
   4. ไม่มีแรงกระทำใดๆ
4. การหาความเร็วต้น (v) ของวัตถุก่อนชน อาศัยหลักการใดทางฟิสิกส์
   1. กฎอนุรักษ์โมเมนตัม
   2. การคงตัวของพลังงาน
   3. กฎการเคลื่อนที่ของนิวตัน
   3. กฎความโน้มถ่วง
5. ค่าความเร็วต้น (v) ของโปรเจคไทล์เกี่ยวข้องกับการวัดระยะต่างๆ ในกรณีใด
   1. ลูกปืนชนกับลูกตุ้ม
   2. ลูกปืนตกอย่างอิสระ
   3. ลูกปืนทำมุมยก , ϕ
   4. ข้อ 2 และ 3 ถูก
6. ความสัมพันธ์ที่ใช้หาความเร็วต้น (v) ในข้อ 4 คืออะไร
   1. $(M = m)/m$
   2. $(M = m)/Vm$
   3. $(2gh)^{1/2}$
   4. $1/2(M+m)V^2$
7. ระยะต่างๆ ที่ต้องวัดในข้อ 5 คืออะไร
   1. ระยะตกถึงพื้น
   2. ระยะไกลสุดในแนวระดับ
   3. ระยะสูงสุดในแนวดิ่ง
   4. ถูกทุกข้อ
8. ความสัมพันธ์ที่ใช้หาความเร็วต้น (v) ในข้อ 5 คืออะไร
   1. $x(g/2y)^{1/2}$
   2. $(xg/\sin 2\phi)^{1/2}$
   3. $(2gy/\sin^2\phi)^{1/2}$
   4. ถูกทุกข้อ
9. ในการตกอย่างอิสระจะหามุมกดได้จากความสัมพันธ์ใด
   1. $\tan^{-1} 1/(v(gy/2)^{1/2}$
   2. $\sin^{-1}(xg/v^2)$

3. $\sin^{-1}(2gy)$ 4. ถูกทุกข้อ

10. การยิงลูกปืนให้ทำมุมยก 20°,30°,40° และ 45° กรณีใดจะให้ระยะสูงสุดในแนวดิ่งและไกลสุดในแนวระดับ

1. 45° 2. 40° 3. 30° 4. 20°

แนวตอบ

1. 2	2. 2	3. 3	4. 1	5. 4
6. 2	7. 4	8. 4	9. 1	10. 1

บันทึกผลการทดลอง

เรื่อง โมเมนตัมและการเคลื่อนที่ของโปรเจคไทล์

ผู้รายงาน ชื่อ..... เลขรหัส.....

ผู้ร่วมรายงาน 1. ชื่อ..... เลขรหัส.....

2 ชื่อ..... เลขรหัส.....

3 ชื่อ..... เลขรหัส.....

4 ชื่อ..... เลขรหัส.....

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

อาจารย์ผู้ควบคุมปฏิบัติการ_____

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(ϕ)	ระยะแนวระดับ x (ซ.ม.)	y_{max} (ทดลอง) (ซ.ม.)	สำหรับคำนวณหาค่า y_{max} (ทฤษฎี) เฉลี่ย (ซ.ม.)
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 = ... %

ตัวอย่างการคำนวณหาค่า เวลา (t) และ ความเร็วต้นของโปรเจคไทล์ (v)

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

สรุปและวิจารณ์

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

ตอบคำถามท้ายการทดลอง

1. บอกเหตุผลที่ทำให้ค่า v ที่ได้จากการทดลองตอนที่ 1 และ 2 แตกต่างกันไปบ้าง

.....

.....

.....

.....

2. จากกฎเกณฑ์ทางฟิสิกส์ข้อใดที่แสดงว่าความเร็วของวัตถุในแนวระดับมีค่าคงที่

.....

.....

.....

.....

3. โดยข้อมูลที่ได้จากการวัดและคำนวณ จงหา

3.1 พลังงานจลน์ของระบบ ณ ทันทีทันใดก่อนชน

.....

.....

.....

.....

3.2 พลังงานจลน์ของระบบ ณ ทันทีทันใดหลังชน

.....

.....

.....

.....

3.3 เพราะเหตุใดค่าของ 3.1 และ 3.2 จึงต่างกัน

.....

.....

.....

.....

3.3 หาเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของ 3.1 และ 3.2

.....

.....

.....

.....

3.4 จงพิสูจน์ว่าอัตราส่วนของพลังงานจลน์ที่หายไปดังกล่าวข้างต้น สามารถหาได้จากอัตราส่วนระหว่างมวลของเพนดูลัม ต่อผลรวมของมวลลูกปืนกับเพนดูลัม (โดยการแทนค่าและคิดเป็นร้อยละ นำไปเปรียบเทียบกับผลที่ได้ในข้อ 3.4)

.....

.....

.....

.....

4. จงหาเวลาในการเคลื่อนที่ของโปรเจคไทล์ โดยใช้สมการ (7.9)

.....

.....

.....

.....

5. จงพิสูจน์ว่า ถ้ามุมยกเป็น 45 องศา จะได้ระยะตกตามแนวระดับมีค่ามากที่สุด

.....

.....

.....

.....

PH 113 (L) 117