

บทที่ 5

การชนและโมเมนตัม

ตามกฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 2 พบว่าเมื่อผลรวมของแรงหรือแรงลัพธ์ที่กระทำต่อวัตถุไม่เป็นศูนย์จะทำให้วัตถุมีความเร่งหรือเปลี่ยนแปลงสภาพการเคลื่อนที่ ความสัมพันธ์ระหว่างแรงลัพธ์ที่กระทำวัตถุกับการเปลี่ยนแปลงการเคลื่อนที่ของวัตถุ อาจคิดในแง่ของการเปลี่ยนแปลงปริมาณที่เรียกว่า โมเมนตัม

5.1 โมเมนตัม

โมเมนตัมเป็นปริมาณการเคลื่อนที่ของวัตถุ ซึ่งปริมาณนี้จะบอกถึงความพยายามที่วัตถุจะเคลื่อนที่ไปข้างหน้า

ปริมาณโมเมนตัมที่กำหนดขึ้นนี้ มีขนาดมากน้อยเพียงใด ขึ้นอยู่กับมวลและความเร็วของวัตถุในขณะนั้น ตามความสัมพันธ์ว่า

$$\begin{aligned} \text{โมเมนตัม} &= \text{มวล} \times \text{ความเร็ว} \\ \vec{P} &= m\vec{v} \end{aligned}$$

(5.1) โมเมนตัมเป็นปริมาณเวกเตอร์ มีทิศทางตามทิศของความเร็ว \vec{v} มีหน่วยเป็นกิโลกรัม-เมตร/วินาที (kg.m/s)

5.2 แรงและการเปลี่ยนโมเมนตัม

มาพิจารณาวัตถุมวล m กำลังเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว \vec{u} มีแรงคงที่ \vec{F} มากระทำต่อวัตถุในช่วงเวลา Δt เป็นผลให้วัตถุมีความเร็วเป็น \vec{v} เมื่อใช้กฎการเคลื่อนที่ข้อที่ 2 ของนิวตัน

$$\begin{aligned} \vec{F} &= \frac{m(\vec{v} - \vec{u})}{\Delta t} \\ \text{เมื่อ} \quad \vec{a} &= \frac{\vec{v} - \vec{u}}{\Delta t} \\ \vec{F} &= \frac{m\vec{v} - m\vec{u}}{\Delta t} \\ &= \frac{\Delta \vec{P}}{\Delta t} \end{aligned} \tag{5.2}$$

* * แรงลัพธ์ที่กระทำต่อวัตถุ = อัตราการเปลี่ยนโมเมนตัมของวัตถุนั้น

ดังที่ได้กล่าวมาแล้วว่าโมเมนตัมเป็นปริมาณเวกเตอร์ ดังนั้นเมื่อโมเมนตัมมีการเปลี่ยนแปลงไป การคำนวณหาโมเมนตัมลัพธ์ก็ใช้หลักการของเวกเตอร์ ถ้าให้แรง \vec{F} กระทำต่อวัตถุที่มีโมเมนตัม $m\vec{u}$ ทำให้โมเมนตัมเปลี่ยนไปเป็น $m\vec{v}$ พิจารณาได้เป็น 3 กรณี

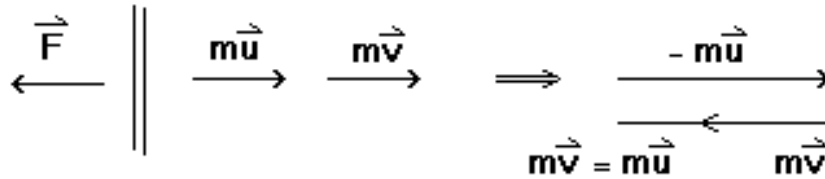
ก. เมื่อทิศทางของแรง \vec{F} อยู่ในทิศเดียวกับ \vec{u} และ \vec{v}

(ทำให้ $v > u$)

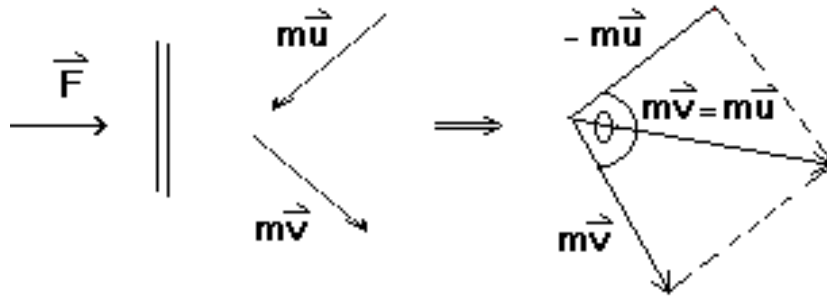
$$\vec{F} \rightarrow \parallel \quad \begin{array}{c} \vec{m\vec{u}} \rightarrow \\ \vec{m\vec{v}} \rightarrow \end{array} \quad \Rightarrow \quad \begin{array}{c} \vec{m\vec{v}} \rightarrow \\ \leftarrow \vec{m\vec{u}} \end{array}$$

$m\vec{v} = m\vec{u} + m\vec{u}$

ข. เมื่อทิศทางของแรง \vec{F} อยู่ในทิศสวนทางหรือตรงข้ามกับ \vec{u} และ \vec{v} (ทำให้ $v > u$)



ค. เมื่อทิศทางของแรง \vec{F} ไม่อยู่ในทิศเดียวกับ \vec{u} และ \vec{v}



5.3 การดลและแรงดล

จากสมการ

$$\vec{F} = \frac{m(\vec{v} - \vec{u})}{\Delta t}$$

ดังนั้น $\vec{F}\Delta t = m\vec{v} - m\vec{u}$ (5.3)

แรงดล \times เวลา = การเปลี่ยนโมเมนตัมของวัตถุนั้น

ค่าของแรงดลคูณกับเวลา เราเรียกปริมาณนี้ว่า การดล มีหน่วยเป็นนิวตัน.วินาที หรือ กิโลกรัม.เมตร/วินาที ซึ่งก็เป็นปริมาณที่บอกถึงการเปลี่ยนโมเมนตัมของวัตถุ

การดลที่อาจพบเห็นในชีวิตประจำวันได้แก่ ลูกกระสุนปืนวิ่งกระทบเป้า รถยนต์ชนกัน การตอกตะปู ด้วยค้อน การตีลูกเทนนิสหรือลูกขนไก่ ลูกกระทบกันของลูกบิลเลียด การดลที่ยกตัวอย่างนี้ เป็นการดลที่ใช้เวลาสั้น ๆ แรงซึ่งกระทำในช่วงเวลาสั้น ๆ นี้เราเรียกว่า แรงดล มีหน่วยเป็นนิวตัน

ตัวอย่าง 5.1 ลูกบอลมวล 0.4 กิโลกรัม เคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 35 เมตร/วินาที ในแนวระดับเข้าหากำแพง เมื่อกระทบแล้วลูกบอลสะท้อนออกมาในแนวระดับด้วยความเร็ว 25 เมตร/วินาที จงหาการดลที่แรงกระทำต่อลูกบอล

วิธีทำ กำหนดให้ความเร็วของลูกบอลที่เข้าหากำแพงมีเครื่องหมาย + ดังนั้นความเร็วของลูกบอลที่ออกจากกำแพงจะมีเครื่องหมาย - หากการดลที่กำแพงกระทำต่อลูกบอลจากสมการ

$$\vec{F}\Delta t = m\vec{v} - m\vec{u}$$

ก่อนลูกบอลกระทบกำแพง

$$\begin{aligned}\text{โมเมนตัมของลูกบอล} &= (0.4 \text{ kg})(35 \text{ m/s}) \\ &= 14 \text{ kg m/s}\end{aligned}$$

หลังลูกบอลสะท้อนออกจากกำแพง

$$\begin{aligned}\text{โมเมนตัมของลูกบอล} &= (0.4 \text{ kg})(-25 \text{ m/s}) \\ &= -10 \text{ kg m/s} \\ &= (-10 \text{ kg m/s}) - (14 \text{ kg m/s})\end{aligned}$$

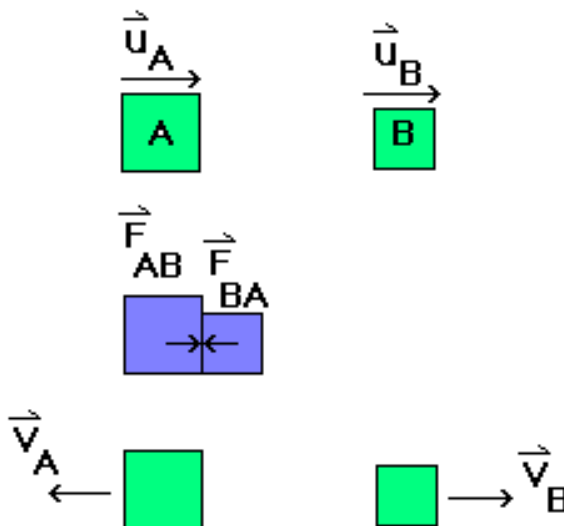
$$\vec{F}\Delta t = -24 \text{ kg m/s}$$

คำตอบ การดลที่แรงกระทำต่อลูกบอลมีขนาด 24 กิโลกรัม.เมตรต่อวินาที มีทิศพุ่งออกจากกำแพง

5.4 การถ่ายทอดโมเมนตัมและพลังงานจลน์ในการชนของวัตถุ

เพื่อที่จะดูว่าเมื่อวัตถุชนกันแล้ว โมเมนตัมจะมีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นหรือสูญหายไปไหนหรือไม่ ลองมาพิจารณาระบบต่อไปนี้

ให้วัตถุ A และมี B มีมวล m_A, m_B ความเร็ว \vec{u}_A, \vec{u}_B ตามลำดับดังรูป



หลังวัตถุทั้งสองวิ่งเข้าชนกัน ให้มีความเร็วเป็น \vec{v}_A, \vec{v}_B ขณะที่วัตถุ A,B ชนกัน จะเกิดแรงกระทำต่อกัน

$$\vec{F}_{AB} = -\vec{F}_{BA}$$

(แรงกระทำ = แรงปฏิกิริยามีทิศตรงข้าม)

แรงที่ A กระทำต่อ B = แรงที่ B กระทำต่อ A

$$\therefore \frac{m_B \vec{v}_B - m_B \vec{u}_B}{\Delta t} = \frac{-m_A \vec{v}_A - m_A \vec{u}_A}{\Delta t}$$

$$m_A \vec{u}_A + m_B \vec{u}_B = m_A \vec{v}_A + m_B \vec{v}_B \quad (5.4)$$

สรุปได้ว่า เมื่อมีการชนกันของวัตถุ โมเมนตัมรวมก่อนชน = โมเมนตัมรวมหลังชน เราเรียกหลักการทรงโมเมนตัม หลักการนี้มีประโยชน์มากโดยเฉพาะในกรณีที่ไม่ทราบเกี่ยวกับแรงที่กระทำต่อกัน

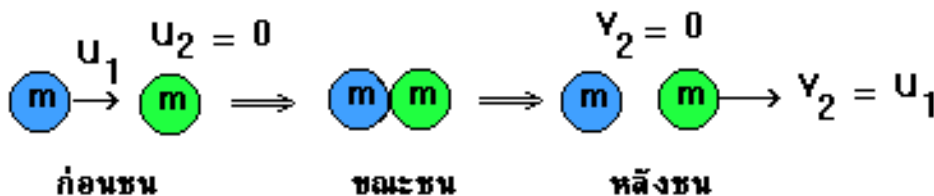
5.5 แบบของการชนกัน และพลังงานจลน์ในการชน

5.5.1 การชนแบบยืดหยุ่น

เมื่อชนแล้ววัตถุจะแยกออกจากกัน โมเมนตัมก่อนชน = หลังชน, พลังงานจลน์ของวัตถุก่อนและหลังชนมีค่าเท่ากัน

นอกจากนี้สำหรับการชนกันใน 1 มิติ มีลักษณะที่น่าสังเกตคือ

ก. ถ้ามวลทั้งสองเท่ากัน โดยมวลก้อนแรกเคลื่อนที่ ส่วนมวลก้อนที่สองหยุดนิ่ง ภายหลังจากชน จะได้ว่า มวลก้อนแรกหยุดนิ่ง มวลก้อนที่สองจะกระเด็นไปด้วยความเร็วเท่ากับความเร็วเท่ากับความเร็ววัตถุก้อนแรก ดังรูป

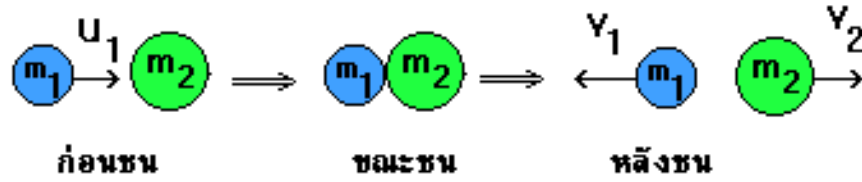


ข. ถ้ามวลไม่เท่ากัน แยกพิจารณาดังนี้

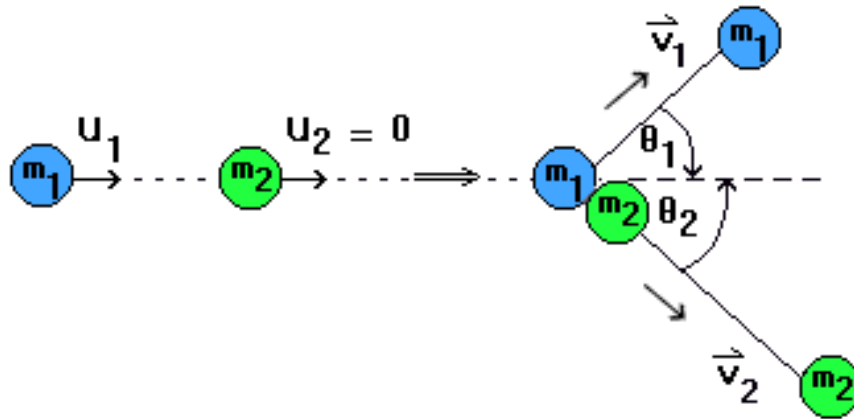
มวลก้อนใหญ่วิ่งไปชนมวลก้อนเล็ก ภายหลังจากชน มวลก้อนใหญ่และมวลก้อนเล็กจะเคลื่อนที่ไปในทิศเดียวกัน แต่มวลก้อนใหญ่ มีความเร็วลดลง ดังรูป



มวลก้อนเล็กวิ่งไปชนมวลก้อนใหญ่ ภายหลังจากชน มวลก้อนเล็กจะกระเด็นกลับ ส่วนมวลก้อนใหญ่จะเคลื่อนที่ไปในทิศเดียวกับมวลก้อนแรกก่อนชน ดังรูป



สำหรับการชนกันนอกระนาบ 2 มิติ ภายหลังจากชนกันมวลทั้งสองจะแยกออกจากกันไปคนละทิศทาง ถ้ามวลทั้งสองก้อนเท่ากัน ($m_1 = m_2 = m$) จะได้ว่ามุมที่แยกกันหลังการชนจะรวมกันเป็นมุมฉาก



การทรงโมเมนตัมจะต้องคิดเป็นแกน ๆ ไป

แกน x $m_1 u_1 + 0 = m_1 v_1 \cos \theta + m_2 v_2 \cos \theta$ (1)

แกน y $m_1 v_1 \sin \theta_1 = m_2 v_2 \sin \theta_2$ (2)

จากกฎการอนุรักษ์พลังงาน

$$\frac{1}{2} m_1 u_1^2 = \frac{1}{2} m_1 v_1^2 + \frac{1}{2} m_2 v_2^2$$
 (3)

ในกรณี $m_1 = m_2 = m$

จาก (1) $u_1 = v_1 + v_2$

$$u_1^2 = v_1^2 + v_2^2 + 2v_1 v_2 \cos(\theta_1 + \theta_2)$$
 (4)

จาก (3) $u_1^2 = v_1^2 + v_2^2$ (5)

(4) - (5)

$$0 = 2v_1 v_2 \cos(\theta_1 + \theta_2)$$

$$2v_1 v_2 \neq 0 ; \cos(\theta_1 + \theta_2) = 0$$

$$\theta_1 + \theta_2 = 90^\circ$$

สรุปได้ว่า ถ้ามวล $m_1 = m_2 = m$ ภายหลังจากชนกันจะแยกจากกันเป็นมุมฉาก

5.5.2 การชนแบบไม่ยืดหยุ่น (inelastic collision)

เมื่อชนแล้ววัตถุจะติดกันไปโมเมนตัมก่อนชน = หลังชน ส่วนพลังงานจลน์ไม่เท่ากัน เช่น รถยนต์ชนกัน

$$m_1u_1 + m_2u_2 = (m_1 + m_2)v$$

$$\frac{1}{2}m_1u_1^2 + \frac{1}{2}m_2u_2^2 > \frac{1}{2}(m_1 + m_2)v^2$$

ในกรณีชนแบบยืดหยุ่น มาพิจารณาลักษณะเพิ่มเติม โดยกำหนดให้วัตถุ 2 ก้อนมีมวล, ความเร็วต้น และความเร็วปลาย เป็น m_1, u_1, v_1 และ m_2, u_2, v_2 ตามลำดับเมื่อวัตถุทั้ง 2 ชนกัน เกิดการทรงโมเมนตัม และ พลังงานจลน์

โมเมนตัมก่อนชน = โมเมนตัมหลังชน

$$m_1u_1 + m_2u_2 = m_1v_1 + m_2v_2 \quad (5.5)$$

พลังงานจลน์ก่อนชน = พลังงานจลน์หลังชน

$$\frac{1}{2}m_1u_1^2 + \frac{1}{2}m_2u_2^2 = \frac{1}{2}m_1v_1^2 + \frac{1}{2}m_2v_2^2 \quad (5.6)$$

ตัวอย่าง 5.2 นักเล่นสเกต 2 คน มีมวล 50 และ 60 กิโลกรัม ตามลำดับ กำลังเล่นสเกต บนลานน้ำแข็ง ถ้าคนแรกกำลังเคลื่อนที่ไปทางทิศตะวันออกด้วยความเร็ว 5 เมตร/วินาที แล้วพุ่งเข้าชนคนที่สองซึ่งอยู่นิ่งปรากฏว่าภายหลังการชนคนที่สองเคลื่อนที่ไปทางทิศตะวันออกด้วยความเร็ว 3 เมตร/วินาที คนแรกจะเคลื่อนที่ด้วยความเร็วเท่าใด เมื่อไม่คิดแรงเสียดทานและเป็นการชนในแนวตรง

วิธีทำ กำหนดให้ความเร็วมีทิศไปทางตะวันออกมีเครื่องหมาย +

ดังนั้นความเร็วที่มีทิศไปทางตะวันตกมีเครื่องหมาย -

หลังการชนนักเล่นสเกตคนแรกเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว v จากกฎการทรงโมเมนตัม

ผลรวมของโมเมนตัมก่อนชน = ผลรวมของโมเมนตัมหลังชน

ก่อนการชน

$$\begin{aligned} \text{โมเมนตัมของนักเล่นสเกตคนแรก} &= (50 \text{ kg})(5 \text{ m/s}) \\ &= 250 \text{ kg m/s} \end{aligned}$$

$$\text{โมเมนตัมของนักเล่นสเกตคนที่สอง} = 0 \text{ kg m/s}$$

หลังการชน

$$\begin{aligned} \text{โมเมนตัมของนักเล่นสเกตคนแรก} &= (50 \text{ kg}) v \\ &= 50v \text{ kg m/s} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{โมเมนตัมของนักเล่นสเกตคนที่สอง} &= (60 \text{ kg})(3 \text{ m/s}) \\ &= 180 \text{ kg m/s} \end{aligned}$$

ดังนั้น

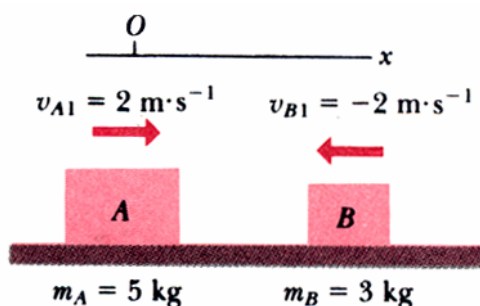
$$(250 \text{ kg m/s}) + 0 = (50v \text{ kg m/s}) + (180 \text{ kg m/s})$$

$$v = 1.4 \text{ m/s}$$

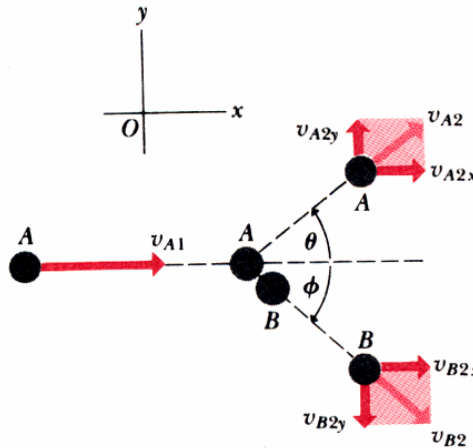
หลังการชนนักเล่นสเกตคนแรกจะเคลื่อนที่ไปทางทิศตะวันออก

แบบฝึกหัดบทที่ 5

1. จงหาโมเมนตัมของรถบรรทุกที่มีมวล 1500 กิโลกรัม กำลังเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 36 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ไปทางทิศตะวันออก
2. ลูกกลมลูกหนึ่งมวล 2 กิโลกรัม เคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็ว 1 เมตรต่อวินาที แล้วกระดอนกลับด้วยอัตราเร็วเท่าเดิม ถ้าแรงเฉลี่ยที่กระทำต่อผนังในช่วงเวลานั้นมีค่า 4 นิวตัน เวลาตั้งกล่าวมีค่าเท่าใด
3. ลูกฟุตบอลมวล 0.5 กิโลกรัม เคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 20 เมตรต่อวินาที ถ้าผู้รักษาประตูใช้มือรับลูกบอลให้หยุดนิ่ง ภายในเวลา 0.04 วินาที แรงเฉลี่ยที่มือกระทำต่อลูกบอลมีขนาดเท่าใด
4. นักกีฬาเตะลูกบอลมวล 200 กรัม อัดกำแพงแล้วสะท้อนออกมาด้วยอัตราเร็ว 5 เมตรต่อวินาที ซึ่งเท่ากับอัตราเดิม ถ้าแรงที่กำแพงกระทำต่อลูกบอลเป็น 40 นิวตัน ลูกบอลกระทบกำแพงอยู่นานเท่าใด
5. ก้อนมวล 2 กิโลกรัม เคลื่อนที่ไปบนแกน x ด้วยความเร็วเริ่มต้น 3 เมตรต่อวินาที มีแรง 6 นิวตัน (ทิศ $-x$) กระทำกับก้อนเป็นเวลา 3 วินาที จงหาความเร็วสุดท้าย
6. ลูกบอลมวล 0.40 กิโลกรัม ถูกขว้างไปทางซ้ายด้วยความเร็วในแนวระดับ 30 เมตรต่อวินาที กระทบกับกำแพงสะท้อนกลับมาทางขวาด้วยความเร็ว 20 วินาที จงหาแรงดลที่กำแพงกระทำกับลูกบอล ถ้าลูกบอลสัมผัสกับกำแพงเป็นเวลา 0.010 วินาที
7. จากข้อ 6 ให้ลูกบอลมีความเร็วเริ่มต้นไปทางซ้าย 30 เมตรต่อวินาที หลังกระทบกับกำแพง ความเร็วเปลี่ยนไปทางขวามุม 45° กับระดับเท่ากับ 30 เมตรต่อวินาที จงหาแรงดลและแรงเฉลี่ย ถ้าลูกบอลสัมผัสกับกำแพงเป็นเวลา 0.010 วินาที
8. มวล A และมวล B เคลื่อนที่เข้าชนกันบนพื้นระดับที่ไม่มีแรงเสียดทาน แรงลัพธ์สุทธิทั้งแนวตั้งและแนวระดับมีค่าเท่ากับศูนย์ ดังนั้น โมเมนตัมรวมของระบบคงที่ กำหนดให้หลังจากมวลทั้งสองชนกันแล้ว มวล B เคลื่อนที่ด้วยความเร็ว + 2 เมตรต่อวินาที มวล A มีความเร็วเป็นเท่าไรหลังชน



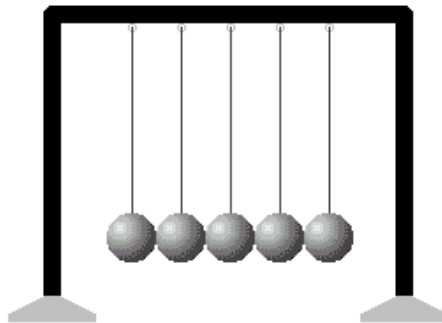
9. ลูกเหล็ก 2 ลูกเคลื่อนที่เข้าชนกันบนพื้นระดับที่ไม่มีแรงเสียดทาน กำหนดให้ลูกเหล็ก A มีมวล 5 กิโลกรัม เคลื่อนที่ด้วยความเร็วต้น $v_{A1} = 2$ เมตรต่อวินาที บนแกน x ชนกับลูกเหล็ก B มวล 3 กิโลกรัม หยุดนิ่งอยู่กับที่ หลังจากการชน ความเร็วสุดท้าย $v_{A2} = 1$ เมตรต่อวินาที ทำมุม $\theta = 30^\circ$ กับแกน x ความเร็วสุดท้ายของ B จะเป็นเท่าไร



10. นายเคนและนางสาวคิมกำลังสเก็ตไปด้วยกันบนลานสเก็ตที่อัตราเร็ว 3 เมตรต่อวินาที นายเคนถามนางสาวคิม อยู่ไหนแหละว่าเธอหนักเท่าไร นางสาวคิมรำคาญมากก็เลยผลักตัวจากนายเคน ทำให้เธอมีอัตราเร็วเป็น 4 เมตรต่อวินาที และเขามีอัตราเร็วลดลงเป็น 2.25 เมตรต่อวินาที ในทิศเดียวกัน แรงเสียดทานมีขนาดน้อยมากถ้านายเคนหนัก 700 นิวตัน นางสาวคิมหนักเท่าใด

11. ให้นักศึกษาทำการทดลองเสมือนจริงที่

<http://www.rmutphysics.com/charud/virtualexperiment/virtual1/newton-cradle/newton-cradle.htm>



เติมคำตอบลงในช่องว่าง

ดึงลูกที่ 1 ขึ้นและปล่อย ลูกที่ _____ เคลื่อนที่ขึ้น

ดึงลูกที่ 1 และ 2 ขึ้นและปล่อย ลูกที่ _____ เคลื่อนที่ขึ้น

ดึงลูกที่ 1 2 และ 3 ขึ้นและปล่อย ลูกที่ _____ เคลื่อนที่ขึ้น

ดึงลูกที่ 1 2 3 และ 4 ขึ้นและปล่อย ลูกที่ _____ เคลื่อนที่ขึ้น

หนังสืออิเล็กทรอนิกส์	
ฟิสิกส์ 1(ภาคกลศาสตร์(ฟิสิกส์ 1 (ความร้อน)
ฟิสิกส์ 2	กลศาสตร์เวกเตอร์
โลหะวิทยาฟิสิกส์	เอกสารคำสอนฟิสิกส์ 1
ฟิสิกส์ 2 (บรรยาย(แก้ปัญหาฟิสิกส์ด้วยภาษา C
ฟิสิกส์พิศวง	สอนฟิสิกส์ผ่านทางอินเทอร์เน็ต
ทดสอบออนไลน์	วิดีโอการเรียนการสอน
หน้าแรกในอดีต	แผ่นใสการเรียนการสอน
เอกสารการสอน PDF	กิจกรรมการทดลองทางวิทยาศาสตร์
แบบฝึกหัดออนไลน์	สุดยอดสิ่งประดิษฐ์
การทดลองเสมือน	
บทความพิเศษ	ตารางธาตุ(ไทย1) 2 (Eng)
พจนานุกรมฟิสิกส์	ลับสมองกับปัญหาฟิสิกส์
ธรรมชาติมหัศจรรย์	สูตรพื้นฐานฟิสิกส์
การทดลองมหัศจรรย์	ดาราศาสตร์ราชมงคล
แบบฝึกหัดกลาง	
แบบฝึกหัดโลหะวิทยา	แบบทดสอบ
ความรู้รอบตัวทั่วไป	อะไรเอ่ย ?
ทดสอบ)เกมเศรษฐี(คติปริศนา
ข้อสอบเอนทรานซ์	เฉลยกลศาสตร์เวกเตอร์
คำศัพท์ประจำสัปดาห์	
ความรู้รอบตัว	
การประดิษฐ์ของโลก	ผู้ได้รับโนเบลสาขาฟิสิกส์
นักวิทยาศาสตร์เทศ	นักวิทยาศาสตร์ไทย
ดาราศาสตร์พิศวง	การทำงานของอุปกรณ์ทางฟิสิกส์
การทำงานของอุปกรณ์ต่าง ๆ	

 การเรียนรู้การสอนฟิสิกส์ 1 ผ่านทางอินเทอร์เน็ต 	
1. การวัด	2. เวกเตอร์
3. การเคลื่อนที่แบบหนึ่งมิติ	4. การเคลื่อนที่บนระนาบ
5. กฎการเคลื่อนที่ของนิวตัน	6. การประยุกต์กฎการเคลื่อนที่ของนิวตัน
7. งานและพลังงาน	8. การดลและโมเมนตัม
9. การหมุน	10. สมดุลของวัตถุแข็งเกร็ง
11. การเคลื่อนที่แบบคาบ	12. ความยืดหยุ่น
13. กลศาสตร์ของไหล	14. ปริมาณความร้อน และ กลไกการถ่ายโอนความร้อน
15. กฎข้อที่หนึ่งและสองของเทอร์โมไดนามิก	16. คุณสมบัติเชิงโมเลกุลของสสาร
17. คลื่น	18. การสั่น และคลื่นเสียง
 การเรียนรู้การสอนฟิสิกส์ 2 ผ่านทางอินเทอร์เน็ต 	
1. ไฟฟ้าสถิต	2. สนามไฟฟ้า
3. ความกว้างของสายฟ้า	4. ตัวเก็บประจุและการต่อตัวต้านทาน
5. ศักย์ไฟฟ้า	6. กระแสไฟฟ้า
7. สนามแม่เหล็ก	8. การเหนี่ยวนำ
9. ไฟฟ้ากระแสสลับ	10. ทรานซิสเตอร์
11. สนามแม่เหล็กไฟฟ้าและเสาอากาศ	12. แสงและการมองเห็น
13. ทฤษฎีสัมพัทธภาพ	14. กลศาสตร์ควอนตัม
15. โครงสร้างของอะตอม	16. นิวเคลียร์
 การเรียนรู้การสอนฟิสิกส์ทั่วไป ผ่านทางอินเทอร์เน็ต 	
1. จลศาสตร์ (kinematic)	2. จลพลศาสตร์ (kinetics)
3. งานและโมเมนตัม	4. ซิมเปิลฮาร์โมนิก คลื่น และเสียง
5. ของไหลกับความร้อน	6. ไฟฟ้าสถิตกับกระแสไฟฟ้า
7. แม่เหล็กไฟฟ้า	8. คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ากับแสง
9. ทฤษฎีสัมพัทธภาพ อะตอม และนิวเคลียร์	

