

การทดลองที่ 5 ลูกตุ้มนาฬิกาบอลลาสติก

วัตถุประสงค์

ศึกษาอัตราเร็วของลูกปืน ณ ปากกระบอกปืนของเครื่องยิงโปรเจกไทล์ โดยการยิงลูกปืนเข้าไปในลูกตุ้มนาฬิกา และพิจารณาถึงมุมที่เกิดจากการแกว่งของลูกตุ้มนาฬิกา

ทฤษฎี

ลูกตุ้มนาฬิกาบอลลาสติก (Ballistic Pendulum) เป็นอุปกรณ์แบบดั้งเดิมสำหรับวัดอัตราเร็วโปรเจกไทล์ของลูกกระสุนปืนนอกจากนี้ยังถูกใช้เป็นเครื่องมือเพื่อแสดงหลักการพื้นฐานของวิชาฟิสิกส์ได้เป็นอย่างดี เมื่อลูกปืนถูกยิงเข้าไปในลูกตุ้มนาฬิกา จะทำให้ลูกตุ้มนาฬิกาแกว่ง เป็นผลให้เราสามารถวัดค่าปริมาณขนาดหนึ่งได้ เช่นเราสามารถคำนวณหาค่าพลังจลน์จากความเร็วของลูกตุ้มนาฬิกา ซึ่งแกว่งขึ้นไปตำแหน่งสูงสุด พลังงานศักย์ดังกล่าวจะมีค่าเท่ากับพลังงานจลน์ของลูกตุ้มนาฬิกา ณ ตำแหน่งต่ำสุดของการแกว่งทันทีที่ลูกปืนชน เนื่องจากเราไม่สามารถคำนวณหาค่าพลังงานจลน์ของลูกตุ้มนาฬิกาหลังชนด้วยพลังงานจลน์ของลูกปืนก่อนแกว่ง เพราะการชนระหว่างลูกปืนกับลูกตุ้มนาฬิกาเป็นการชนกันแบบไม่ยืดหยุ่นสมบูรณ์สรุปว่าการชนกันแบบไม่ยืดหยุ่นนั้นพลังงานจลน์ไม่เป็นแบบอนุรักษ์แต่ค่าโมเมนตัมเป็นแบบอนุรักษ์ ดังนั้นจากการที่เราทราบค่าโมเมนตัมของลูกปืนก่อนการชนเท่ากับโมเมนตัมของลูกตุ้มนาฬิกาที่ลูกปืนรวมกันหลังจากที่ลูกปืนชน ถ้าเราทราบค่าโมเมนตัมของลูกปืนและมวลของปืน เราก็สามารถหาค่าอัตราเร็วของลูกปืนได้

ในการคิดคำนวณหาค่าอัตราเร็วของลูกปืนมีด้วยกันสองวิธี วิธีที่หนึ่ง เป็นการหาค่าโดยระเบียบวิธีแบบประมาณ (approximate method) โดยสมมุติว่าลูกตุ้มนาฬิกาที่ลูกปืนรวมกันเสมือนเป็นมวลจุด (point mass) อยู่ที่ตำแหน่งศูนย์กลางมวลของลูกตุ้มนาฬิกาที่ลูกปืนรวมกันข้อดีของวิธีนี้ก็คือเราไม่ต้องคิดค่าความถี่ของการหมุนเข้ามาคำนวณ ทำให้การคำนวณง่ายและเร็วกว่าวิธีที่สอง แต่ทว่าความถูกต้องแม่นยำจะไม่สูงนัก

วิธีที่สองเป็นการหาค่าโดยระเบียบวิธีแบบถูกต้องแม่นยำ (exact method) โดยเอาค่าความถี่จากการหมุนของลูกตุ้มนาฬิกา มาคิดคำนวณด้วย สมการการคิดคำนวณก็ยุ่งยากขึ้นมาเล็กน้อย และต้องบันทึกข้อมูลเพิ่มเติมขึ้นมาเพื่อหาค่าโมเมนต์ความถี่ของลูกตุ้มนาฬิกา ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้ดีกว่าวิธีการแรก

การหาค่าอัตราเร็วของลูกปืน ณ ปากกระบอกปืนโดยระเบียบวิธีแบบประมาณ

เริ่มต้นด้วยการหาค่าพลังงานศักย์ของลูกตุ้มนาฬิกาที่ลูกปืนรวมกันที่จุดสูงสุดของการแกว่ง เขียนเป็นสมการได้เป็น

$$\Delta E_p = Mg\Delta h_{cm} \dots\dots\dots(1)$$

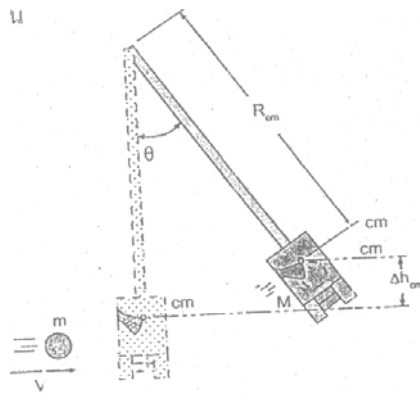
โดยที่

M คือ มวลของลูกตุ้มนาฬิกา m กับลูกปืน m รวมกัน

g คือ อัตราเร็วจากความโน้มถ่วง

$Mg\Delta h_{cm}$ คือ การเปลี่ยนแปลงของความสูง (cm คือ ศูนย์ถ่วงของมวล) เราหาค่า

ความสูง Δh ได้ดังนี้



รูปที่ 1 การหาค่า Δh

จากรูปที่ 1 ด้วยวิธีตรีโกณมิติ ได้ว่า

$$\begin{aligned} \Delta h &= R - R \cos \theta \\ &= R(1 - \cos \theta) \end{aligned}$$

แทนค่า $\Delta h = R(1 - \cos \theta)$ ลงในสมการที่ (1) ได้

$$\Delta E_p = Mgh_{cm}(1 - \cos \theta) \quad \dots\dots\dots(2)$$

โดยที่ R_{cm} คือ ระยะขจัดจากจุดหมุนถึงจุดศูนย์กลางมวลของลูกตุ้มนาฬิกา รวมถึงลูกปืน [ในที่นี้พลังงานศักย์มีค่าเท่ากับพลังงานจลน์ของลูกตุ้มนาฬิกาทันทีหลังจากถูกชนด้วยลูกปืน] เขียนได้เป็น

$$(E_k)_{\text{หลังชน}} = \frac{1}{2} Mv_p^2 \quad \dots\dots\dots(3)$$

โดยที่ v_p คือ อัตราเร็วของลูกตุ้มนาฬิกาและลูกปืนรวมกันหลังถูกชน จากค่าโมเมนตัมของลูกตุ้มนาฬิกาหลังถูกชนด้วยลูกปืนเท่ากับ

$$p_p = Mv_p$$

แทนค่า $p_p = Mv_p$ ในสมการที่ (3) สามารถเขียนใหม่ได้ว่า

$$(E_k)_{\text{หลังชน}} = \frac{p_p^2}{2M}$$

หาค่าโมเมนตัมของลูกตุ้มลูกตุ้มนาฬิกาถูกปีนรวมกัน

$$p_p = \sqrt{2M(E_k)} \text{ หลังชน}$$

และค่าโมเมนตัมของลูกปีนมวล m ก่อนชน มีค่าเท่ากับ

$$p_b = mv_b \quad (b \text{ คือ ball})$$

v_b คือ อัตราเร็วของลูกปีนก่อนชนกับลูกตุ้มนาฬิกา

จากกฎอนุรักษ์โมเมนตัม ได้ว่าโมเมนตัมก่อนชนเท่ากับโมเมนตัมหลังชน

$$\begin{aligned} mv_b &= Mv_b \\ &= \sqrt{2M(E_k)} \text{ หลังชน} \end{aligned}$$

แทนค่า (E_k) ด้วยพลังงานศักย์เพราะพลังงานจลน์หลังชนเท่ากับพลังงานศักย์หลังชน

$$mv_b = \sqrt{2M^2 g R_{cm} (1 - \cos\theta)}$$

ดังนั้นเราหาค่าอัตราเร็วของลูกปีนได้ ดังนี้

$$v_b = \frac{M}{m} \sqrt{2g R_{cm} (1 - \cos\theta)}$$

การหาค่าอัตราเร็วของลูกปีน ณ ปากกระบอกปืนโดยระเบียบวิธีแบบถูกต้องแม่นยำ

เราสามารถหาค่าพลังงานศักย์ได้เหมือนกับวิธีที่แล้ว คือ

$$\Delta E_p = MgR_m (1 - \cos\theta)$$

สำหรับค่าพลังงานจลน์ของลูกตุ้มนาฬิกาที่ลูกปีนรวมกันสามารถเขียนให้อยู่ในรูปของพลังงานจลน์เชิงมุม (เพราะลูกตุ้มแกว่งเป็นรูปเส้นโค้งของวงกลม) แทนแบบเชิงเส้น เป็น

$$(E_k) \text{ หลังชน} = \frac{1}{2} I\omega^2$$

และเขียนโมเมนตัมเชิงมุมได้

$$L_p = I\omega$$

เพราะฉะนั้นเราสามารถเขียนพลังงานจลน์ใหม่เป็น

$$(E_k)_{\text{หลังชน}} = \frac{L_p^2}{2I}$$

โดยที่ I คือ โมเมนต์ความเฉื่อยของลูกตุ้มนาฬิกาที่ลูกปืนรวมกัน
 ω คือ อัตราเร็วเชิงมุมหลังชนที่ลูกชน

จัดรูปสมการใหม่ แบบเดียวกับวิธีที่หนึ่ง จะได้โมเมนตัมเชิงมุมหลังชนคือ

$$L_p = \sqrt{2I(E_k)}_{\text{หลังชน}}$$

ซึ่งจะมีค่าเท่ากับโมเมนตัมเชิงมุมของลูกปืนก่อนชน

$$L_b = mR_b^2\omega = mR_b v$$

โดยที่ R_b คือระยะจัดวัดจากจุดหมุนของลูกตุ้มนาฬิกาถึงลูกปืนรัศมี R_b นี้ต่างจาก R_{cm} คือมีค่าไม่เท่ากัน จากโมเมนตัมเชิงมุมก่อนชนเท่ากับโมเมนตัมเชิงมุมหลังชน

$$mR_b = \sqrt{2IMg R_{cm}(1 - \cos\theta)}$$

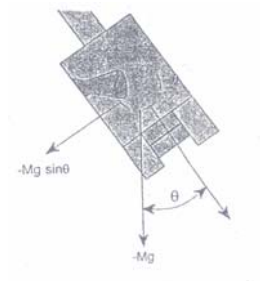
สามารถหาค่าอัตราเร็ว v_b ได้

$$v_b = \frac{1}{2mR_b} \sqrt{2IMg R_{cm}(1 - \cos\theta)}$$

หาค่า I โมเมนต์ความเฉื่อยของลูกตุ้มนาฬิกาพร้อมกับลูกปืน เริ่มต้นพิจารณาจากการหมุนและกฎข้อที่สองของนิวตันสำหรับการหมุน

$$\tau = Ia$$

โดยที่ τ คือ ทอร์ก
 I คือ โมเมนต์ความเฉื่อย
 α คือ ความเร่งเชิงมุม



รูปที่ 2

จากที่ทราบค่าแรงที่กระทำจุดศูนย์กลางถ่วงของมวลของลูกตุ้มนาฬิกาที่ลูกปัดรวมกันมีค่าเท่ากับ Mg ถ้าแตกแรงในแนวเส้นสัมผัสวงกลมโดยตรงกลางลูกตุ้มนาฬิกาที่แกว่ง จากรูปที่ 2 ได้ว่า

$$F = Mg \sin\theta$$

จากทอร์กของลูกตุ้มนาฬิกา มีค่าเท่ากับ

$$\begin{aligned} I\alpha &= R_{cm} F \\ &= -R_{cm} Mg \sin\theta \end{aligned}$$

ถ้ามุมที่ลูกตุ้มนาฬิกาแกว่งมีค่าน้อย ๆ ที่ $\sin\theta \approx \theta$ รัศมีมุม θ เป็น radian เขียนสมการใหม่ ได้เป็น

เพราะฉะนั้น

$$\begin{aligned} I\alpha &\approx R_{cm} Mg \theta \\ \alpha &\approx \frac{MgR_{cm} \theta}{I} \end{aligned} \dots\dots\dots(4)$$

สมการเชิงมุมข้างต้นจะเหมือนกันกับสมการ การเคลื่อนที่แบบ linear simple harmonic

$$\alpha = \frac{-k}{m} x = -\omega^2 x \dots\dots\dots(5)$$

เปรียบเทียบสมการ (4) ซึ่งอยู่ในรูปเชิงมุม ดังสมการ (5) ซึ่งอยู่ในรูปเชิงเส้น เราจะพบว่าลูกตุ้มนาฬิกาแกว่งแบบ simple harmonic motion และความถี่เชิงมุมยกกำลังสอง (ω^2) จะเท่ากับ

$$\omega^2 = \frac{MgR_{cm}}{I}$$

หาค่า I ได้ผลลัพธ์ดังนี้

$$I = \frac{MgR_{cm}}{\omega^2} = \frac{MgR_{cm} T^2}{4\pi^2} \dots\dots\dots(6)$$

โดยที่ T คือค่าการแกว่งของตุ้มนาฬิกา

หมายเหตุ

เราสมมุติโดยการประมาณว่ามุม θ น้อยๆ เพื่อหาค่า I แต่ทว่า ค่าความเฉื่อย I ไม่ได้ขึ้นอยู่กับค่า θ ซึ่งนั้น (หน่วยเป็น radian) หมายความว่า เราจะต้องวัดค่าคาบ T โดยใช้มุมแกว่งน้อยๆ แต่หลังจากที่เราคำนวณหาค่า I จากค่าคาบดังกล่าวและเราสามารถหาค่า I โดยไม่ต้องสนใจค่าแอมพลิจูดในการทำการทดลองส่วนอื่นๆ

อุปกรณ์

- | | | | |
|---|------------------|---|---------------|
| - | เครื่องยิงลูกปืน | - | ลูกตุ้มนาฬิกา |
| - | เชือกบ่วง | - | นาฬิกาจับเวลา |
| - | ลูกปืนเหล็ก | - | ดัลบีเมตร |
| - | ตราซั่ง | | |

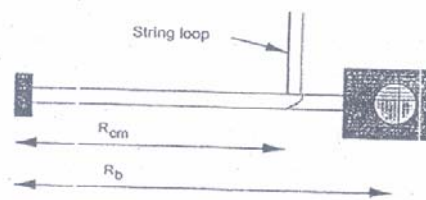
ตอนที่ 1 การหาค่าอัตราเร็วโปรเจกไทล์ โดยระเบียบวิธีแบบประมาณ

การจัดเตรียมอุปกรณ์

1. ยึดเครื่องยิงลูกปืนเข้ากับแท่นของลูกตุ้มนาฬิกาบอลลาสติค โดยให้ปากกระบอกปืนอยู่ในระดับตรงกับตัวดักลูกกระสุนปืน
2. ใช้ปากกาขีดจับแท่นกับ โต๊ะให้แน่น ระวังอย่าให้ปากกาไปขวางเส้นทางการแกว่งของลูกตุ้มนาฬิกา

ลำดับขั้นตอนการทดลอง

1. ดันลูกตุ้มนาฬิกาให้พ้นทางปืนขึ้นไปประมาณ 90 องศา อย่าให้ขวางกระบอกปืนบรรจุลูกปืน เหล็กเข้าไปทางปากกระบอกปืน ใช้แท่งกระทิงลูกปืน (ramrod) ให้ลูกปืนเคลื่อนไปที่ตำแหน่งพิสัยใกล้ (short range) จากนั้นปล่อยลูกตุ้มนาฬิกาเป็นอิสระ จดมุมให้ก้านวัดขนาดของมุมอยู่ที่ศูนย์กลาง
2. ดึงไกปืนยิงลูกปืนให้ชนติดเข้าไปในกับดักลูกปืนของลูกตุ้มนาฬิกา บันทึกค่ามุม θ short ที่ลูกตุ้มนาฬิกาแกว่งไปสุดในตารางบันทึกผล ทำซ้ำอีก 3 ครั้ง จากนั้นเปลี่ยนค่าความแรงของสปริงเป็นพิสัยกลาง (Medium) และพิสัยไกล (long) แล้วบันทึกค่า θ medium และ θ long ตามลำดับ [วิธีเอาลูกปืนออกมาจากกับดักลูกปืนของตุ้มนาฬิกา ใช้นิ้วมือกดปลายกระดิ่งตรงปากช่องของกับดักลูกปืนของลูกตุ้มนาฬิกาให้กระดิ่งขึ้นแล้วเทลูกปืนไหลย้อนกลับออกมาทางช่องปาก]
3. คายสกรูยึดจุดหมุนของลูกตุ้มนาฬิกา นำลูกตุ้มนาฬิกา กับ ลูกปืน รวมกัน ไปชั่งบนตีกาน้ำหนักในช่อง M
4. นำลูกปืนเหล็กไปชั่งหาค่าน้ำหนัก บันทึกค่าน้ำหนักในช่อง m
5. นำเชือกมาผูกปมเป็นรูปร่างวงกลม นำบ่วงไปยึดกับมือจับบนเสาของเขาค้างจากนั้นนำลูกตุ้มนาฬิกาซึ่งมีลูกปืนติดอยู่ในกับดักลูกปืน สอดก้านหรือแกนของลูกตุ้มนาฬิกาเข้าไปในบ่วงรูปที่ 2 ประกอบ 1 รับระยะแกนของลูกตุ้มนาฬิกาจนกระทั่งลูกตุ้มนาฬิกาแขวนอยู่ได้ในแนวระดับอย่างสมดุล ใช้อุปกรณ์วัดขนาดความยาว เริ่มจากจุดหมุนไปถึงตำแหน่งจุดสมดุล บันทึกให้เป็นค่า R_{cm} คือระยะจากจุดหมุนถึงจุดศูนย์กลางถ่วงมวลของลูกตุ้มนาฬิกา กับ ลูกปืน รวมกัน



รูปที่ 3 การหาจุดศูนย์กลางถ่วงมวลของลูกตุ้มนาฬิกา

หมายเหตุ แขนงบ่งให้สูงเหนือระดับพื้นโต๊ะเพียงเล็กน้อย ระวังอย่า! แขนงบ่งสูงเกินไป เพราะถ้า ลูกตุ้มนาฬิกาเร่งลงจะทำให้เกิดความเสียหายขึ้นได้ ข้อสังเกต จุดสมดุลจะอยู่ก่อนมาทางด้านลูกตุ้ม ไข่มือ ประคองหัวท้ายของลูกตุ้มให้อยู่ในแนวระดับแล้วค่อย ๆ ปลอมืออย่างช้า ถ้าลูกตุ้มเอียงมากให้รีบประคอง ลูกตุ้มเอาไว้อย่าให้ตก ปรับตำแหน่งใหม่แล้วลองซ้ำเดิม จนได้จุดสมดุล

6. คำนวณหาค่าเฉลี่ย θ และคำนวณหาค่าอัตราเร็วของลูกปืนปากกระบอกปืนของเครื่องยิง

$$\text{โปรเจกไทล์ จากสมการ } v_b = \frac{M}{m} \sqrt{2gR_{cm}(1 - \cos\theta)}$$

ตอนที่ 2 การหาค่าอัตราเร็วโปรเจกไทล์โดยระเบียบวิธีแบบลูกตุ้มแกว่ง

ลำดับขั้นตอนการทดลอง

1. ถอดเครื่องยิงลูกปืนออก เพื่อที่ว่าลูกตุ้มนาฬิกาพลาสมาสามารถแกว่งได้อย่างอิสระโดยไม่มีอะไรมาขวาง ผลักก้านชี้ตำแหน่งมุมไปขวาสุด
2. บรรจุลูกปืนเหล็กเข้าไปในช่องกับดักลูกปืน วัดค่าความยาว R_b จากจุดหมุนถึงกึ่งกลางลูกปืนที่บรรจุอยู่ในกับดักลูกปืน บันทึกค่า R_b
3. ดันลูกตุ้มนาฬิกาเป็นมุม 5 องศาหรือน้อยกว่านี้แล้วปล่อยให้ลูกตุ้มแกว่ง จับเวลาของคาบการแกว่งครบ 10 รอบ บันทึกค่าคาบเวลาครบ 10 รอบ ลงในตาราง ทำการทดลองซ้ำอีก 3 ครั้ง แล้วหาค่าเวลาเฉลี่ยครบ 10 รอบ จากนั้นนำค่าคาบเวลา 10 รอบ หาค่าด้วย 10 จะได้ค่าคาบการแกว่งหนึ่งรอบ T บันทึก
4. คำนวณหาค่าโมเมนต์ความเฉื่อยของลูกตุ้มนาฬิกา I โดยใช้สมการ $I = \frac{MgR_{cm}T^2}{4\pi^2}$ บันทึกค่า I
5. คำนวณหาค่าอัตราเร็วโปรเจกไทล์ของลูกปืนที่ปากกระบอกปืนโดยสมการ

$$v_b = \frac{1}{mR_b} \sqrt{2IMgR_{cm}(1 - \cos\theta)}$$

บันทึกค่า $[v_b]_{\text{short}}$ $[v_b]_{\text{Medtume}}$ และ $[v_b]_{\text{long}}$

[มวล m ของลูกปืน, มวล M ของลูกตุ้มนาฬิกา กับลูกปืน, ระยะ R_{cm} และมุม θ ทั้งสามค่า ได้มาจากการทดลองตอนที่แล้ว]

ใบบันทึกผลการทดลอง

การทดลองที่ 5

ลูกตุ้มนาฬิกาบอลลาสติก

ชื่อผู้ทดลอง

1.รหัส.....กลุ่ม.....

2.รหัส.....กลุ่ม.....

3.รหัส.....กลุ่ม.....

4.รหัส.....กลุ่ม.....

ทดลองวันที่...../...../.....เวลา.....น.

ตารางบันทึกผลการทดลอง

ตอนที่ 1 การหาอัตราเร็วโปรเจกไทล์ โดยระเบียบวิธีแบบประมาณ

M =.....ก.ก.

M =.....ก.ก.

R_{cm} =.....เมตร

ตารางที่ 1 มุมแกว่งไกลสุด θ ของลูกตุ้มนาฬิกาจากการชนของลูกปืนที่พิสัยขนาดต่าง ๆ

θ ครั้งที่	θ short (องศา)	θ Midium (องศา)	θ long (องศา)
1			
2			
3			
4			

$[V_b]$ short =.....เมตร/วินาที

$[V_b]$ Medium =.....เมตร/วินาที

$[V_b]$ long =.....เมตร/วินาที

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	ตารางธาตุไทย1) 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	

