



ฟิสิกส์

เล่ม 3 ม.5

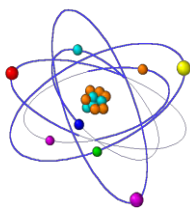
แนะนำ
ตัวคูณสิบคูณร้อย
๑๐๐ พ.ร. ๑๐๐๐ ๑๐๐๐๐
ในแอปพลิเคชัน และ TikTok
ใช้รหัส QR โค้ด ๑๐๐๐๐



SHOPEE **Lazada**

ราคา
199
บาท

เรียบเรียงโดย : ผู้ช่วยศาสตราจารย์สุชาติ สุภาพ
คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี



ฟิสิกส์^๖

เล่ม ๑ ชั้น ม.๕

ผศ.สุชาติ สุภาพ

พิมพ์และจัดจำหน่ายโดย

สุชาติ สุภาพ

133/471 หมู่ 2 (ติดกับ สนง. ที่ดินบางบัวทอง) ต.พิมลราช อ.บางบัวทอง
จ.นนทบุรี 11110

E-mail suchart1111@hotmail.com

พิมพ์ที่ หจก. SPG 1999 ม.เพชรอนันต์ เขตคันนายาว กรุงเทพฯ ๑ 10230

คำนำ

หนังสือเรียน ฟิสิกส์ เล่ม 3 ม. 5 เล่มนี้ จัดทำขึ้นตามกรอบสาระการเรียนรู้ เพื่อส่งเสริมความรู้ ความเข้าใจ และทักษะการคิดวิเคราะห์เชิงฟิสิกส์ในระดับที่สูงขึ้น โดยเนื้อหาในเล่มครอบคลุมเรื่องสำคัญของวิชาฟิสิกส์ระดับ ม. 5 ในเล่มนี้ประกอบด้วย 4 บทสำคัญ ได้แก่

- บทที่ 8 การเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย ที่อธิบายพฤติกรรมของวัตถุที่สั่นอย่างเป็นจังหวะ เช่น ระบบมวล-สปริง และลูกตุ้ม ซึ่งเป็นพื้นฐานของการศึกษาค้นคว้า
- บทที่ 9 คลื่นกล ที่พาผู้เรียนทำความเข้าใจเรื่องการส่งผ่านพลังงานของคลื่น การสะท้อนหักเห แทรกสอด และเลี้ยวเบน
- บทที่ 10 แสงเชิงรังสี ที่ใช้แนวคิดว่าด้วยแสงเป็นคลื่นรังสีในการอธิบายการเกิดภาพ การสะท้อน และการหักเห ผ่านกระจกและเลนส์
- บทที่ 11 แสงเชิงคลื่น ซึ่งลงลึกถึงพฤติกรรมของแสงในฐานะคลื่น เช่น การแทรกสอดเลี้ยวเบน และโพลาไรซ์

หนังสือเล่มนี้ออกแบบให้เหมาะสมกับระดับความเข้าใจของนักเรียน โดยมีการสอดแทรกกิจกรรม แนวคิดเสริม และแบบฝึกหัดที่หลากหลาย เพื่อพัฒนาทักษะด้านการคิด การสังเกต และการประยุกต์ใช้หลักการทางฟิสิกส์กับสถานการณ์ในชีวิตจริง

ถ้าท่านสนใจหนังสือในรูปแบบ E-BOOK ก็มีจำหน่ายที่เว็บไซต์ ร้านนายอินทร์ , MEB , อุกปิ , ซีเอ็ด , htexts , ศูนย์หนังสือจุฬาฯ และ DDebook

สำหรับท่านที่สนใจหนังสือของกระผมแต่หาซื้อตามร้านหนังสือทั่วไปไม่ได้ สามารถซื้อออนไลน์ที่แอปต่าง ๆ โดยสแกน QR โค้ดข้างล่างนี้
(ที่ช้อปปีมีหนังสือมากที่สุด)



สุชาติ สุภาพ

มือถือ 083-920-3825

สารบัญ

	หน้า
บทที่ 8 การเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย	5
8.1 การเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย	6
8.2 มวลผูกติดกับสปริง	16
8.3 พลังงานของการสั่น	25
8.4 ลูกตุ้มนาฬิกา	34
8.5 เปรียบเทียบการเคลื่อนที่แบบ SHM กับการเคลื่อนที่แบบวงกลมอย่างสม่ำเสมอ	41
บทที่ 9 คลื่นกล	43
9.1 ชนิดของคลื่น	44
9.2 การถ่ายโอนพลังงานของคลื่นกล	57
9.3 คลื่นผิวหน้า	61
9.4 หลักของฮอยเกนส์	62
9.5 การซ้อนทับกันของคลื่น	63
9.6 สมบัติของคลื่น	70
9.6.1 การสะท้อน	70
9.6.2 การหักเห	77
9.6.3 การแทรกสอด	78
9.6.4 การเลี้ยวเบน	81
9.7 คลื่นนิ่ง	84
9.8 ความถี่ธรรมชาติ	94
9.9 การสั่นพ้องหรือการกำทอน	95
บทที่ 10 แสงเชิงรังสี	102
10.1 การเคลื่อนที่และอัตราเร็วของแสง	102
10.2 การสะท้อนของแสง	108
10.2.1 ภาพที่เกิดจากกระจกเงาราบ	111

สารบัญ

	หน้า
10.2.2 ภาพที่เกิดจากกระจกเงาทรงกลม	113
10.3 การหักเหของแสง	118
10.3.1 การสะท้อนกลับหมดของแสง	123
10.3.2 ความลึกจริง ความลึกปรากฏ	125
10.4 เลนส์	132
10.5 ปรากฏการณ์ที่เกี่ยวกับแสง	136
10.5.1 การกระจายแสง	136
10.5.2 รุ้งกินน้ำ	136
10.5.3 การทรงกลม	138
10.5.4 มิราจ	140
10.6 ทัศนอุปกรณ์	140
10.6.1 กล้องถ่ายภาพ	141
10.6.2 กล้องจุลทรรศน์	143
10.6.3 กล้องโทรทรรศน์	146
10.7 ตาและการมองเห็นสี	149
10.8 สี	150
บทที่ 11 แสงเชิงคลื่น	155
11.1 การแทรกสอดของแสง	156
11.2 การเลี้ยวเบนของแสง	168
11.3 เกรตติง	176
11.4 การกระเจิงของแสง	183
11.5 การโพลาไรซ์ของแสง	184
11.6 การทำแสงไม่โพลาไรซ์ให้เป็นแสงโพลาไรซ์	186
11.7 บทประยุกต์เกี่ยวกับแสงโพลาไรซ์	192

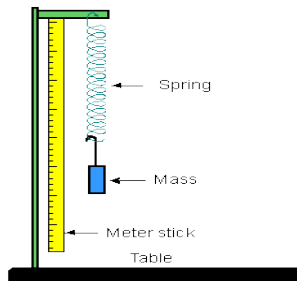
บทที่ 8

การเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย

ในชีวิตประจำวันของเรา เราอาจเคยเห็นวัตถุที่เคลื่อนที่กลับไปกลับมาอย่างสม่ำเสมอ เช่น ลูกตุ้มนาฬิกาที่แกว่งไปมา สปริงที่ขึงหด หรือเปดเด็กที่แกว่งเบา ๆ ลักษณะการเคลื่อนที่เช่นนี้ เรียกว่า "การเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย" ซึ่งเป็นรูปแบบของการเคลื่อนที่ที่มีจุดเด่นคือ การเปลี่ยนแปลงตำแหน่งซ้ำไปมาในรูปแบบคาบ การเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่ายเป็นหัวข้อที่สำคัญในฟิสิกส์ เนื่องจากเป็นพื้นฐานของการอธิบายพฤติกรรมของระบบที่มีแรงคืนสู่สมดุล เช่น แรงสปริง หรือแรงตึงในเชือก ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการออกแบบเครื่องจักร เครื่องดนตรี ระบบกันสะเทือน ไปจนถึงการวิเคราะห์คลื่นและเสียง ในการศึกษาหัวข้อนี้ นักเรียนจะได้เรียนรู้ว่า อะไรคือแรงที่ทำให้วัตถุเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย มีสมการใดบ้างที่ใช้อธิบายการเคลื่อนที่ลักษณะนี้ และปัจจัยใดที่มีผลต่อความถี่ คาบ และแอมพลิจูดของการเคลื่อนที่ ทั้งยังเป็นพื้นฐานที่สำคัญในการเรียนรู้เรื่องคลื่นในบทถัดไปด้วย

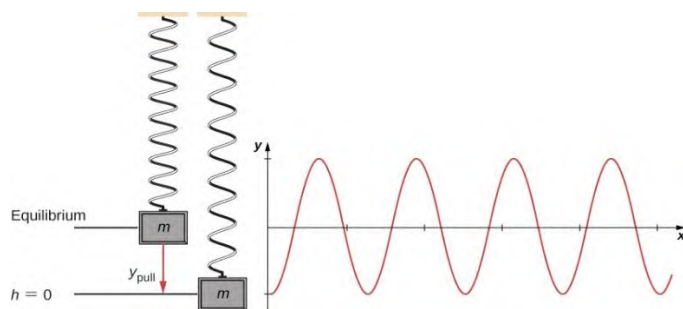
ในบทก่อนหน้านี้ได้กล่าวถึงการเคลื่อนที่มาเกือบทุกแบบแล้ว ในบทนี้จะได้กล่าวถึงการเคลื่อนที่แบบสุดท้ายคือการเคลื่อนที่แบบสั่นหรือการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิก การเคลื่อนที่แบบนี้ได้แก่ การสั่นของสายกีตาร์เมื่อถูกดีด การสั่นของหนังกลองเมื่อถูกดีด การสั่นของลูกตุ้มที่ติดอยู่ที่ปลายสปริงเมื่อถูกดีดแล้วปล่อย การแกว่งของลูกตุ้มนาฬิกา การสั่นของสิ่งดังกล่าวจะมีแอมพลิจูดลดลงเรื่อย ๆ จนหยุดสั่น แต่เพื่อให้ง่ายในการศึกษาจะกำหนดให้การสั่นเหล่านี้มีแอมพลิจูดและความถี่คงตัว การสั่นหรือการแกว่งที่มีแอมพลิจูดและความถี่คงตัวเรียกว่า “ การเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย ”

การศึกษาเกี่ยวกับการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกนี้มีประโยชน์มากเพราะว่ามีหลายสิ่งหลายอย่างในธรรมชาติที่มีการสั่นแบบนี้ สิ่งที่เหมาะสมที่จะนำมาใช้ในการศึกษาเกี่ยวกับการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่ายได้แก่การแกว่งของลูกตุ้มนาฬิกา และการสั่นของมวลที่ติดอยู่ที่ปลายสปริง สำหรับในที่นี้จะเลือกใช้การสั่นของมวลที่ติดอยู่ที่ปลายสปริงดังรูป



รูป 8.1 เมื่อดึงวัตถุลงมาแล้วปล่อย วัตถุจะสั่นกลับไปกลับมา

เราสามารถศึกษาลักษณะของการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่ายได้โดยการติดดินสอไว้ที่ด้านข้างของลูกตุ้มแล้วให้กระดาษเคลื่อนที่ในขณะที่ลูกตุ้มกำลังสั่นขึ้น - ลง ดินสอจะลากเป็นเส้น ดังรูป

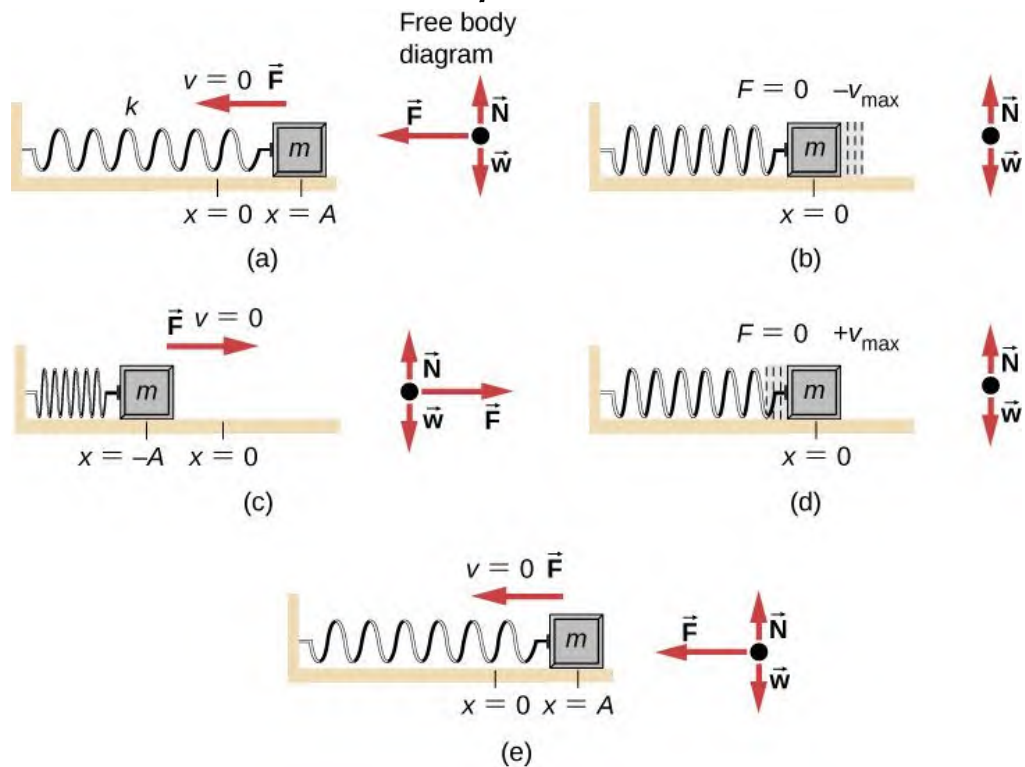


รูป 8.2 ความสัมพันธ์ระหว่างการกระจัด (x) กับเวลา (t) เป็นกราฟรูป sine

เส้นที่แกว่งขึ้นจะมีลักษณะเหมือนกับคลื่นไซน์

8.1 การเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย

การสั่นของมวลที่ติดอยู่กับปลายสปริง เป็นการสั่นกลับไปกลับมา เราสามารถหาสมการการเคลื่อนที่นี้ได้จาก การวิเคราะห์การเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย ของมวลที่ผูกติดกับปลายสปริงเป็น ดังนี้



รูป 8.3 a) ดึงวัตถุไปทางขวามือแล้วปล่อย แรงดึงกลับของสปริงจะทำให้วัตถุเคลื่อนที่เข้าหาตำแหน่งสมดุล

b) ที่ตำแหน่งสมดุลแรงลัพธ์มีค่าเท่ากับศูนย์ แต่วัตถุยังเคลื่อนที่ต่อไปเนื่องจากความเฉื่อย

c) ที่ $x = -A$ แรงเฉื่อยเท่ากับแรงดึงกลับของสปริง วัตถุจะหยุดเนื่องจากแรงลัพธ์เท่ากับศูนย์

d) ที่ $x = 0$ แรงดึงกลับของสปริงมีค่าเท่ากับศูนย์ แต่วัตถุยังเคลื่อนที่ต่อไปเนื่องจากความเฉื่อย

e) ที่ $x = A$ วัตถุหยุดชั่วขณะเนื่องจากแรงลัพธ์เท่ากับศูนย์ แล้วจะเริ่มรอบต่อไป

พิจารณารูป 8.3

จากกฎของนิวตัน

$$\begin{aligned} F &= ma \\ -kx &= ma \\ a &= -\frac{k}{m}x \\ \frac{d^2x}{dt^2} &= -\frac{k}{m}x \end{aligned}$$

จะได้

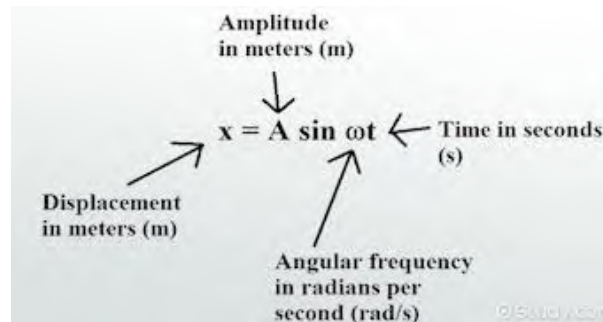
$$\frac{d^2x}{dt^2} = -\omega^2 x$$

(8.1)

สมการ (8.1) เป็นสมการทั่วไปของการเคลื่อนที่ฮาร์มอนิกอย่างง่าย
ผลเฉลยของสมการ(8.1) คือ

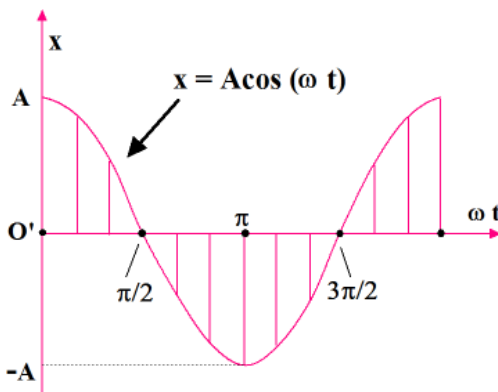
$$x = A \cos(\omega t + \phi) \quad (8.2)$$

เมื่อ A คือแอมพลิจูดของการสั่น ω คืออัตราเร็วเชิงมุมในการสั่นของมวล ϕ มุมเฟสเริ่มต้น

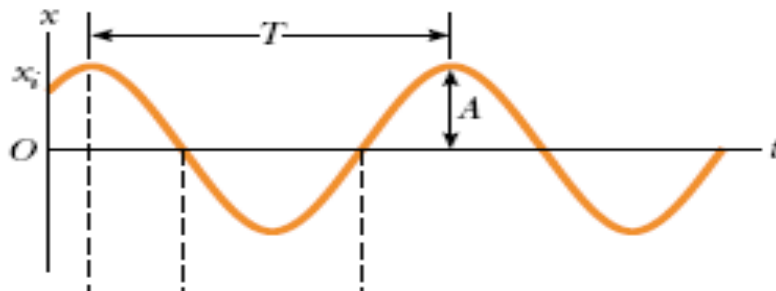


รูป 8.4 ความหมายของค่าต่างๆ

สมการ (8.2) มีความหมายว่าการกระจัดของการเคลื่อนที่มีขนาดเปลี่ยนแปลงและกลับทิศไปมาในลักษณะเดียวกับกราฟของ cosine ดังรูป



รูป 8.5 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างการกระจัดกับเวลาตามสมการ $x = A \cos \omega t$



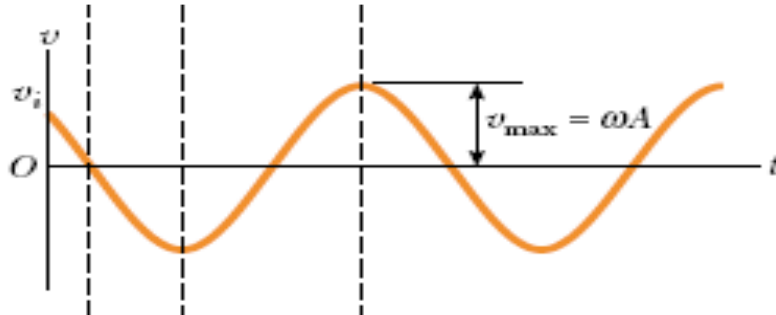
รูป 8.6 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างการกระจัดกับเวลาตามสมการ $x = A \cos(\omega t + \phi)$
และอัตราเร็ว(v) ของการเคลื่อนที่ที่ได้จากสมการ

$$v = \frac{dx}{dt}$$

จะได้

$$v = -\omega A \sin(\omega t + \phi) \quad (8.3)$$

สมการ (8.3) มีความหมายว่าความเร็วมีขนาดเปลี่ยนแปลงและกลับทิศไปมาในลักษณะเดียวกับกราฟของ sine

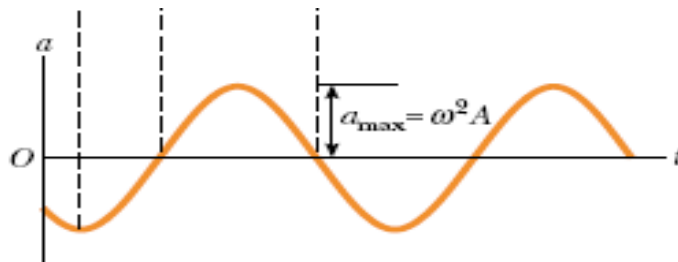


รูป 8.7 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วกับเวลาตามสมการ $v = -\omega A \sin(\omega t + \phi)$ และอัตราเร่ง (a) ของการเคลื่อนที่หาได้จากสมการ

$$a = \frac{dv}{dt}$$

$$a = -\omega^2 A \cos(\omega t + \phi) \quad (8.4)$$

สมการ (8.4) มีความหมายว่าความเร่งมีขนาดเปลี่ยนแปลงและกลับทิศไปมาในลักษณะเดียวกับกราฟของ cosine ดังรูป 8.8



รูป 8.8 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร่งกับเวลา

จาก $x = A \cos(\omega t + \phi)$ นั้นสมการ (8.4) จึงเขียนใหม่ได้ว่า

$$a = -\omega^2 x \quad (8.5)$$

สมการ (8.5) มีความหมายว่าความเร่งมีค่าเป็นปฏิภาคโดยตรงกับการกระจัด

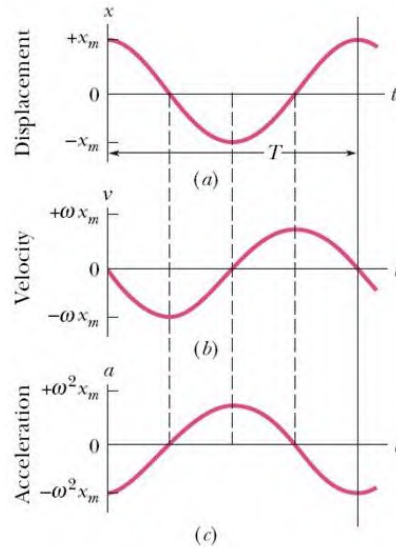
เนื่องจากค่าสูงสุดของ sine และ cosine คือ 1 ดังนั้นค่าสูงสุดของการกระจัด ความเร็ว และความเร่ง จะมีค่าดังนี้ คือ

การกระจัดสูงสุด $x_{\max} = A$ (8.6)

ความเร็วสูงสุด $v_{\max} = \omega A$ (8.7)

ความเร่งสูงสุด $a_{\max} = -\omega^2 A$ (8.8)

ถ้าเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ของการกระจัด ความเร็ว และความเร่ง กับเวลา โดยเปรียบเทียบที่เวลาเดียวกันจะได้กราฟดังรูป 8.8



รูป 8.9 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณต่างๆของการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิก คือ
(a) การกระจัดกับเวลา (b) ความเร็วกับเวลา (c) ความเร่งกับเวลา

ข้อสังเกต การกระจัด (x) กับความเร็ว (v) มีมุมเฟสต่างกัน 90°
การกระจัด (x) กับความเร่ง (a) มีมุมเฟสต่างกัน 180°

สรุป ถ้ามุมเริ่มต้น $\langle \phi \rangle$ เท่ากับศูนย์ สมการการกระจัด ความเร็ว ความเร่ง กับเวลาจะเป็นดังนี้

$$\left\{ \begin{array}{l} x = A \cos(\omega t) \\ v = -A\omega \sin(\omega t) \\ a = -A\omega^2 \cos(\omega t) \end{array} \right.$$

และกระจัด ความเร็ว ความเร่ง สูงสุดจะเป็นดังนี้

$$\left\{ \begin{array}{l} |x_{\max}| = A \\ |v_{\max}| = A\omega \\ |a_{\max}| = A\omega^2 \end{array} \right.$$

ต่อไปจะเป็นการวิเคราะห์การเคลื่อนที่ เพื่อหาว่าแอมพลิจูดของการเคลื่อนที่มีค่าขึ้นอยู่กับอะไรบ้าง ดังนี้

จากสมการ (8.2) และสมการ (8.3) ถ้า $t = 0$ จะได้

$$x_i = A \cos \phi \quad (8.9)$$

$$v_i = -\omega_i A \sin \phi \quad (8.10)$$

$$\frac{v_i}{\omega_i} = -A \sin \phi$$

$$\frac{(12.10)}{(12.9)} \text{ จะได้ว่า } \tan \phi = -\frac{v_i}{\omega x_i} \quad (8.11)$$

$$(8.9)^2 + (8.10)^2 \quad x_i^2 + \left[\frac{v_i}{\omega_i} \right]^2 = A^2 \cos^2 \phi + A^2 \sin^2 \phi$$

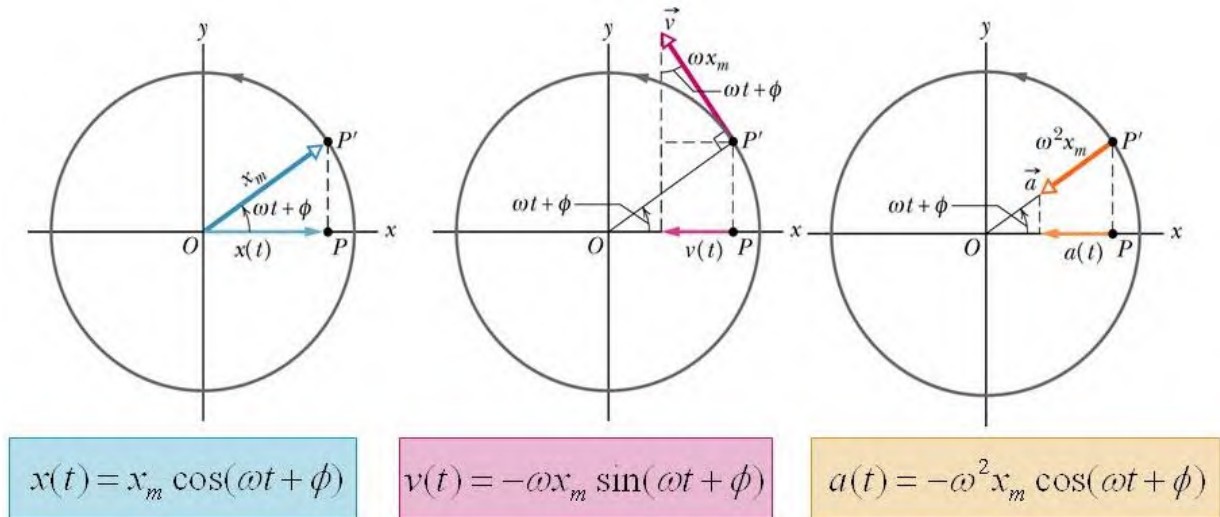
$$x_i^2 + \left[\frac{v_i}{\omega_i} \right]^2 = A^2 (\cos^2 \phi + \sin^2 \phi)$$

เมื่อ $(\cos^2 \phi + \sin^2 \phi) = 1$

$$x_i^2 + \left[\frac{v_i}{\omega_i} \right]^2 = A^2 \quad (8.12)$$

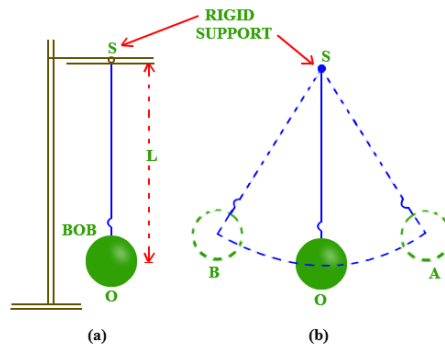
ดังนั้น	$A = \sqrt{x_i^2 + \left(\frac{v_i}{\omega_i} \right)^2}$	(8.13)
---------	--	--------

สมการ (8.13) มีความหมายว่าแอมพลิจูดของการเคลื่อนที่ที่มีค่าขึ้นอยู่กับการกระจัดเริ่มต้น ความเร็วเริ่มต้น และอัตราเร็วเชิงมุมเริ่มต้น



รูป 8.10 ความสัมพันธ์ระหว่างการเคลื่อนที่แบบวงกลมกับสมการการเคลื่อนที่แบบ SHM

ตัวอย่าง ลูกตุ้มนาฬิกาถูกดึงออกมาจากตำแหน่งสมดุล แล้วปล่อยให้แกว่งดังรูป ปรากฏว่าลูกตุ้มนาฬิกาแกว่งกลับไปกลับมา โดยมีสมการการเคลื่อนที่ดังนี้ คือ $x = 4 \cos\left(\pi t + \frac{\pi}{4}\right)$



จงหา $\langle a \rangle$ แอมพลิจูด (A) ความถี่ (f) คาบ (T) ความเร็ว (v) ความเร่ง (a)

$\langle b \rangle$ การกระจัด (x) ความเร็ว (v) ความเร่ง (a) ที่เวลา $t = 1 \text{ s}$

$\langle c \rangle$ ความเร็วสูงสุด ($v_{\max}$) และความเร่งสูงสุด ($a_{\max}$)

วิธีทำ จากสมการทั่วไปของการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย คือ

$$x = A \cos(\omega t + \phi) \quad (1)$$

เมื่อเปรียบเทียบกับสมการที่โจทย์กำหนดให้กับสมการที่โจทย์กำหนดมาให้ คือ

$$x = 4 \cos\left(\pi t + \frac{\pi}{4}\right)$$

จะได้ว่าแอมพลิจูด

$$A = 4$$

ตอบ

อัตราเร็วเชิงมุม

$$\omega = \pi$$

ดังนั้น

$$2\pi f = \pi$$

ความถี่

$$f = \frac{1}{2} = 0.5 \text{ Hz}$$

ตอบ

คาบ

$$T = \frac{1}{f} = \frac{1}{0.5} \text{ s} = 2 \text{ s}$$

ตอบ

จาก

$$v = \frac{dx}{dt}$$

$$v = \frac{d\left\{4 \cos\left(\pi t + \frac{\pi}{4}\right)\right\}}{dt}$$

$$v = -4 \sin\left(\pi t + \frac{\pi}{4}\right) \frac{d}{dt}(\pi t)$$

ความเร็ว

$$v = -4\pi \sin\left(\pi t + \frac{\pi}{4}\right)$$

ตอบ

จาก

$$a = \frac{dv}{dt}$$

$$a = \frac{d\left\{-4 \sin\left(\pi t + \frac{\pi}{4}\right)\right\}}{dt}$$

ความเร่ง $a = -4\pi^2 \cos\left(\pi t + \frac{\pi}{4}\right)$ ตอบ

(๔) หากการกระจัดที่เวลา $t = 1s$ ได้จาก $x_t = 4 \cos\left(\pi t + \frac{\pi}{4}\right)$

$$x_1 = 4 \cos\left(\pi(1) + \frac{\pi}{4}\right) = 4 \cos\left(\frac{5\pi}{4}\right)$$

$$x_1 = 4(-0.707) = -2.83m$$
 ตอบ

หาความเร็วที่เวลา $t = 1s$ ได้จาก $v_t = -4\pi \sin\left(\pi t + \frac{\pi}{4}\right)$

ความเร็วที่เวลา $t = 1s$ $v_1 = -4\pi(-0.707) = 8.89m/s$ ตอบ

จาก $a_t = -4\pi^2 \cos\left(\pi t + \frac{\pi}{4}\right)$

$$a_1 = -4\pi^2 \cos\left(\pi(1) + \frac{\pi}{4}\right) = -4\pi^2 \cos\left(\frac{5\pi}{4}\right)$$

ความเร่งที่เวลา $t = 1s$ $a_1 = -4\pi^2(-0.707) = 27.9m/s^2$ ตอบ

(๕) จาก $v = -4\pi \sin\left(\frac{5\pi}{4}\right)$

จะได้ $v_{\max} = -4\pi m/s = 12.6m/s$

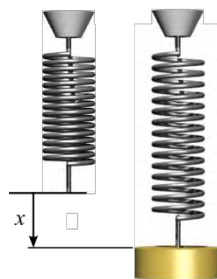
ความเร็วสูงสุด $v_{\max} = 12.6m/s$ ตอบ

จาก $a = -4\pi^2 \cos\left(\frac{5\pi}{4}\right)$

จะได้ $a_{\max} = -4\pi^2 = 39.5 m/s^2$

ความเร่งสูงสุด $a_{\max} = 39.5 m/s^2$ ตอบ

ตัวอย่าง เมื่อดึงมวลที่ติดอยู่ที่ปลายสปริงลงมาเล็กน้อยแล้วปล่อยในแนวนอน สมการของการกระจัดคือ $y = 3 \cos 0.5t$ มีกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการกระจัดกับเวลาดังรูป จงหา การกระจัด ความเร็ว และความเร่งของมวลที่เวลา (๕) $t = 0$ และ (๔) $t = 3s$



วิธีทำ สมการการกระจัดคือ $y = 3 \cos 0.5t$ (1)

เราสามารถหาความเร็วในการสั่นของมวลได้จากสมการ

$$v = \frac{dy}{dt}$$

ความเร็วในการสั่นของมวล $v = -0.15 \sin(0.5)t$ (๑)

$$a = \frac{dv}{dt}$$

ความเร่งในการสั่นของมวล $a = -0.075 \cos(0.5)t$ (๒)

สมการการเคลื่อนที่คือ

$$\begin{cases} y = 3 \cos 0.5t \\ v = -0.15 \sin(0.5)t \\ a = -0.075 \cos(0.5)t \end{cases}$$

การกระจัด ความเร็ว และความเร่งของมวลที่ $t = 0$

$$\begin{cases} y = 3 \cos 0 = 3m \\ v = -0.15 \sin 0 = 0 \\ a = -0.075 \cos 0 = -0.075 m/s^2 \end{cases} \quad \text{ตอบ}$$

การกระจัด ความเร็ว และความเร่งของมวลที่ $t = 3s$

$$\begin{cases} y = 3 \cos 0.5(3s) = 3 \cos 1.5 = 0.21m \\ v = -0.15 \sin(0.5)(3s) = -0.15 \sin 1.5 = -0.15m/s \\ a = -0.075 \cos(0.5)(3s) = -0.075 \cos 1.5 = 5.3 \times 10^{-3} m/s^2 \end{cases} \quad \text{ตอบ}$$

ตัวอย่าง มวลที่ติดอยู่กับสปริงมีสั่นแบบฮาร์โมนิกอย่างง่าย มีความเร่งสูงสุดของอนุภาคเท่ากับ 12 ๑ เมตร/วินาที และอัตราเร็วสูงสุดเท่ากับ ๑ เมตร/วินาที ถ้าให้สมการการกระจัดของการสั่นเป็น $x = A \cos(\omega t + \theta_0)$ จงหา (๑) ความถี่ในการสั่นของมวล (๒) แอมพลิจูดของการสั่น

วิธีทำ (๑) จาก

$$x = A \cos(\omega t + \theta_0)$$

$$\frac{dx}{dt} = -A\omega \sin(\omega t + \theta_0)$$

และ $\frac{d^2x}{dt^2} = -A\omega^2 \cos(\omega t + \theta_0)$

ซึ่ง $\left(\frac{dx}{dt}\right)_{\max} = A\omega$ (1)

และ $\left(\frac{d^2x}{dt^2}\right)_{\max} = A\omega^2$ (๒)

ดังนั้น $\frac{(2)}{(1)} \quad \omega = \frac{\left(\frac{d^2x}{dt^2}\right)_{\max}}{\left(\frac{dx}{dt}\right)_{\max}}$

และ $2\pi f = 5 \text{ rad/s}$

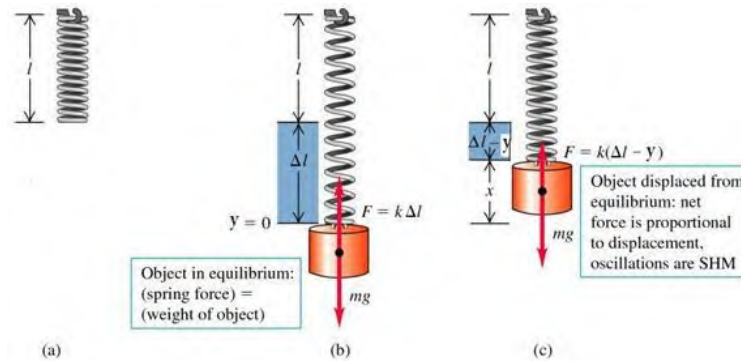
(๔) ความถี่ในการสั่นของมวล = 0.95 Hz ตอบ

จาก $\left(\frac{dx}{dt}\right)_{\text{max}} = A\omega$

จะได้ $A = \frac{\left(\frac{dx}{dt}\right)_{\text{max}}}{\omega}$

(๕) แอมพลิจูด = 0.4 m ตอบ

ตัวอย่าง การแกว่งแบบฮาร์มอนิกอย่างง่ายเป็นไปตามสมการ $y = 1.6 \sin(1.3t - 0.75)$



จงหา (๔) การกระจัด (๕) ความเร็ว (๖) ความเร่งที่ $t = 0$ และ $t = 0.6 \text{ s}$

(๗) จงคำนวณหาคำตอบในข้อ (๔) - (๖) เมื่อ $t = 0.6$ วินาที

วิธีทำ จาก $y = 1.6 \sin(1.3t - 0.75)$

$$v = \frac{dy}{dt}$$

$$v = \frac{d\{1.6 \sin(1.3t - 0.75)\}}{dt}$$

และความเร่ง

$$v = 2.08 \cos(1.3t - 0.75)$$

$$a = \frac{dv}{dt}$$

$$a = \frac{d\{1.6(1.3) \cos(1.3t - 0.75)\}}{dt}$$

$$a = -(1.3)^2 y$$

สมการการกระจัด ความเร็ว และความเร่ง เป็นไปตามสมการข้างล่างนี้ คือ

$$\begin{cases} y_t = 1.6\sin(1.3t - 0.75) \\ v_t = 2.08\cos(1.3t - 0.75) \\ a_t = -(1.3)^2 y \end{cases}$$

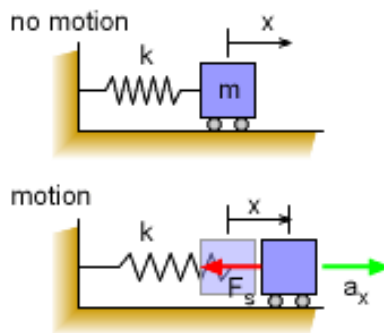
ดังนั้นการกระจัด ความเร็ว และความเร่ง เมื่อ $t=0$ คือ

$$\begin{cases} y_{t=0} = 1.6\sin(-0.75) = 1.6\sin(-43^\circ) = -1.09m \\ v_{t=0} = 2.08\cos(-0.75) = 2.08\cos(-43^\circ) = 1.52m/s \\ a_{t=0} = -(1.3)^2 y = -(1.3)^2(-1.09m) = 1.84m/s^2 \end{cases} \quad \text{ตอบ}$$

ดังนั้นการกระจัด ความเร็ว และความเร่ง เมื่อ $t=6s$ คือ

$$\begin{cases} y_{t=0.6} = 1.6\sin\{1.3(0.6s) - 0.75\} = 1.6\sin(0.03) = 0.048m \\ v_{t=0.6} = 2.08\cos\{1.3(0.6s) - 0.75\} = 2.08\cos(0.03) = 2.08m/s \\ a_{t=0.6} = -(1.3)^2 y = -(1.3)^2(0.048m) = -0.081m/s^2 \end{cases} \quad \text{ตอบ}$$

ตัวอย่าง ถ้าสมการการกระจัดของมวลที่ขึ้นเป็นไปตามสมการ $x = 0.2\sin(3)t$ จงหา ก) ความเร็ว ข) ความเร่งของมวลเมื่อวัตถุอยู่ห่างจากตำแหน่งสมดุล 5 cm. และเมื่อวัตถุอยู่ที่ตำแหน่งสมดุล



วิธีทำ จาก

$$x = 0.2\sin(3)t$$

พิจารณาที่ $x = 5cm$ จะได้ $0.05m = 0.2\sin(3)t$

$$\sin(3)t = 0.25$$

$$(3)t = \sin^{-1} 0.25$$

$$(3)t = 14.47^\circ$$

ดังนั้นที่ $x = 5cm$ มุมของการขึ้น $= 14.47^\circ$

หาอัตราเร็วของการขึ้นได้จาก

$$v = \frac{dx}{dt}$$

$$v = 0.6\cos(3)t$$

หาอัตราเร่งของการขึ้นได้จาก

$$a = \frac{dv}{dt}$$

$$a = -1.8\sin(3)t$$

$$\text{ดังนั้นสมการการเคลื่อนที่ของมวลคือ} \begin{cases} x = 0.2 \sin(3)t \\ v = 0.6 \cos(3)t \\ a = -1.8 \sin(3)t \end{cases}$$

เมื่อ $3t = 14.47^\circ$ ดังนั้นจะได้

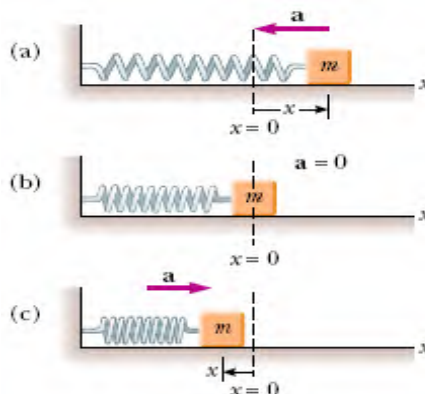
$$\left. \begin{aligned} x &= 0.2 \sin(3)t = 0.2 \sin(14.47^\circ) = 0.05m \\ v &= 0.6 \cos(3)t = 0.6 \cos(14.47^\circ) = 0.58m/s \\ a &= -1.8 \sin(3)t = -1.8 \sin(14.47^\circ) = -0.45m/s^2 \end{aligned} \right\} \quad \text{ตอบ}$$

และที่ $x = 0$ มุมของการเคลื่อนที่ = 0° ดังนั้นจะได้

$$\left. \begin{aligned} x &= 0.2 \sin(3)t = 0.2 \sin(0^\circ) = 0 \\ v &= 0.6 \cos(3)t = 0.6 \cos(0^\circ) = 0.6m/s \\ a &= -1.8 \sin(3)t = -1.8 \sin(0^\circ) = 0 \end{aligned} \right\} \quad \text{ตอบ}$$

8.2 มวลผูกติดกับสปริง (the block-spring system revisited)

เคยลองเล่นกับสปริงหรือยางยืดไหม? ถ้าเราดึงสปริงแล้วปล่อย มันจะหดกลับเข้าที่เดิม ถ้าเราผูกวัตถุชิ้นหนึ่งเข้ากับสปริง เช่น กล้องหรือวัตถุใด ๆ แล้วดึงออกจากจุดสมดุลแล้วปล่อย วัตถุจะเคลื่อนที่กลับไปกลับมาอย่างสม่ำเสมอ นั่นแหละคือสิ่งที่เรียกว่า “ระบบมวล-สปริง” ในการเรียนเรื่องนี้ เราจะได้ว่า แรงที่เกิดขึ้นในสปริงคือแรงที่พยายามดึงวัตถุกลับสู่ตำแหน่งเดิม เรียกว่า “แรงคืนกลับ” และมันทำงานตามกฎของฮุค ซึ่งบอกว่าแรงนี้แปรผันตรงกับระยะที่สปริงยืดหรือหดจากจุดสมดุล เราจะได้ฝึกใช้สมการทางฟิสิกส์ในการคำนวณค่าต่าง ๆ เช่น คาบ ความถี่ และพลังงานของการสั่น นอกจากนี้ ยังได้เข้าใจว่าระบบแบบนี้มีความสำคัญต่อการอธิบายการสั่นและคลื่นในธรรมชาติ รวมถึงการทำงานของอุปกรณ์ต่าง ๆ เช่น เครื่องดนตรี นาฬิกา หรือแม้แต่รถยนต์ เวื่อนนี้อาจฟังดูเหมือนยากในตอนแรก แต่ถ้าเราเข้าใจหลักการพื้นฐาน และฝึกคิดตามทีละขั้น จะพบว่าระบบมวล-สปริงเป็นเรื่องสนุกและเข้าใจง่ายกว่าที่คิด!



รูป 8.11 (a) ขณะที่วัตถุอยู่ทางขวามือ ความเร่งจะมีทิศไปทางขวามือ

(b) ที่ตำแหน่งสมดุล ($x = 0$) ความเร่ง ($a = 0$) แต่ความเร็ว (v) สูงสุด

(c) เมื่อวัตถุอยู่ทางด้านซ้ายมือของตำแหน่งสมดุลความเร่งจะมีทิศไปทางขวามือ

จากหัวข้อ 8.1 ได้สมการของการเคลื่อนที่มา 3 สมการ คือ

$$x = A \cos(\omega t + \phi)$$

$$v = -\omega A \sin(\omega t + \phi)$$

และ

$$a = -\omega^2 A \cos(\omega t + \phi)$$

ต่อไปจะเป็นการหาคาบ (T) และความถี่ (f) ของการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย พิจารณาที่มวล m ในรูป 8.11

จากกฎของนิวตัน

$$F = ma$$

$$-kx = ma$$

ดังนั้น

$$a = -\frac{k}{m}x \quad (8.14)$$

เมื่อเปรียบเทียบกับสมการ (8.14) กับสมการ (8.5)

จะได้ว่า

$$\omega^2 = \frac{k}{m}$$

หรือ

$$\omega = \sqrt{\frac{k}{m}} \quad (8.15)$$

สมการ (8.15) เป็นสมการที่ใช้ในการคำนวณหาความถี่และคาบของการสั่น แบบซิมเปิลฮาร์มอนิกของมวลที่ผูกติดปลายสปริง

$$2\pi f = \sqrt{\frac{k}{m}}$$

$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m}} \quad (8.16)$$

เมื่อ

$$T = \frac{1}{f}$$

จะได้

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}} \quad (8.17)$$

สมการ (8.16) และ (8.17) มีความหมายว่าความถี่และคาบของการสั่นมีค่าขึ้นอยู่กับมวลและค่าคงตัวของสปริง

Time period of oscillation in seconds (s) → $T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}}$

Mass of object in kilograms (kg) → m

Spring constant of spring (N/m) → k

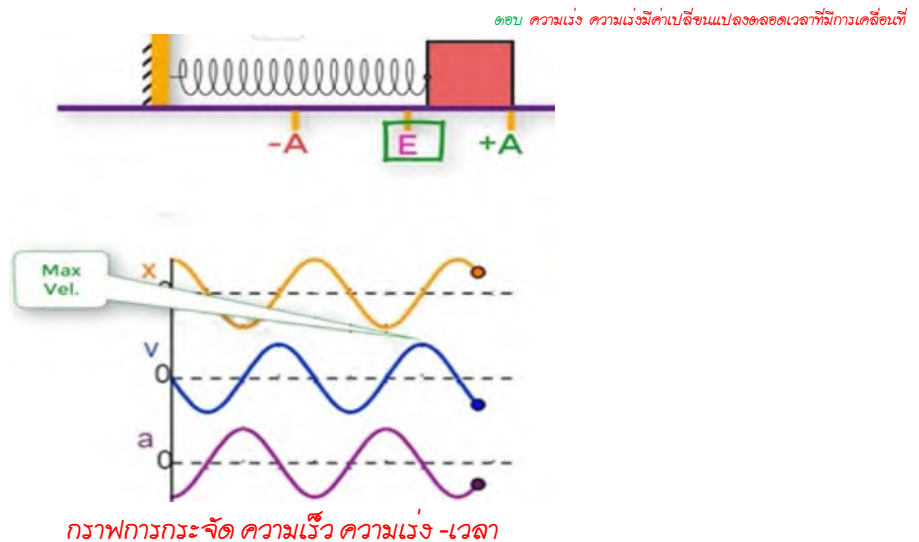
รูป 8.12 ความหมายของค่าต่าง ๆ

คำถามระหว่างบทเรียน

1) การเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย หมายถึงการเคลื่อนที่อย่างไร

ตอบ การเคลื่อนที่กลับไปกลับมาซ้ำรอยเดิม โดยมีความถี่คงและความเร็วคงตัว

2) การเคลื่อนที่แบบซิมเปิลฮาร์มอนิกมีปริมาณใดที่ไม่คงตัว



3) คาบการแกว่งของลูกตุ้มติดปลายสปริงมีค่าขึ้นอยู่กับมวลหรือไม่

ตอบ มีค่าขึ้นอยู่กับมวล ถ้ามวลมากคาบก็จะมาก

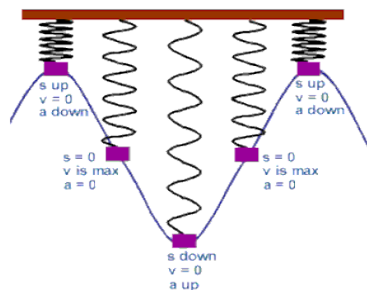
4) จงเขียนสมการอัตราเร็วเชิงมุมของมวลติดปลายสปริง

ตอบ

$$\omega = \sqrt{\frac{k}{m}}$$

5) การเคลื่อนที่แบบฮาร์โมนิกอย่างง่าย วัตถุจะมีความเร็วเป็นศูนย์เมื่อใด

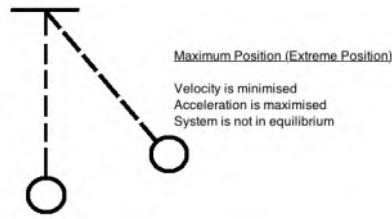
ตอบ เมื่อแอมพลิจูดสูงสุด



เมื่อแอมพลิจูดสูงสุดความเร็วเป็นศูนย์

6) การเคลื่อนที่แบบฮาร์โมนิกอย่างง่ายวัตถุมีความเร่งสูงสุดเมื่อใด

ตอบ เมื่อวัตถุมีการกระจัดมากที่สุด



ที่การกระจัดสูงสุดวัตถุมีความเร็วสูงสุด

๗) การเคลื่อนที่แบบฮาร์โมนิกอย่างง่าย ความเร่งมากเมื่อการกระจัดเป็นอย่างไร

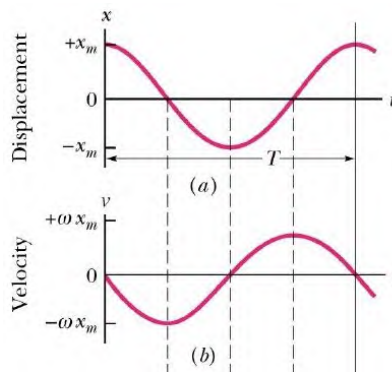
ตอบ จาก $a = -\omega^2 x$ เมื่อการกระจัดสูงสุด

๘) การเคลื่อนที่แบบฮาร์โมนิกอย่างง่าย ความเร่งกับการกระจัดมีทิศทางเป็นอย่างไรกัน

ตอบ มีทิศตรงข้ามกัน (ดูจากสมการข้างบน)

๙) การเคลื่อนที่แบบฮาร์โมนิกอย่างง่าย ความเร็วและการกระจัดมีค่าคงตัวหรือไม่

ตอบ ความเร็วและการกระจัดมีค่าไม่คงตัว และมีเฟสต่างกัน ๙๐ องศา



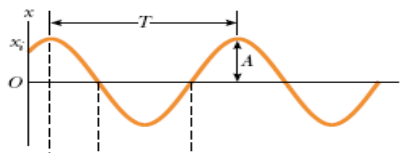
ความเร็วและการกระจัดของการเคลื่อนที่แบบฮาร์โมนิกอย่างง่าย

๑๐) การเคลื่อนที่แบบฮาร์โมนิกอย่างง่าย ความเร็วสูงสุดและการกระจัดสูงสุดมีขนาดค่าคงตัวหรือไม่

ตอบ ขนาดของความเร็วสูงสุดและการกระจัดสูงสุดมีขนาดค่าคงตัว

๑๑) กราฟความสัมพันธ์ระหว่างการกระจัดกับเวลาของการเคลื่อนที่แบบซิมเปิลฮาร์โมนิกส์ เป็นกราฟรูปใด

ตอบ เป็นกราฟรูปไซน์ ดังรูป



๑๒) ที่ตำแหน่งสมดุลของการเคลื่อนที่แบบซิมเปิลฮาร์โมนิกส์ อัตราเร็วมีค่าเป็นอย่างไร

ตอบ มากที่สุด