

บทเรียนสำเร็จรูป

เล่มที่ 6

การเคลื่อนที่แบบวงกลม

วิชาฟิสิกส์เพิ่มเติม 1

ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4



จัดทำโดย

นายศรัณย์ สาเขตรการณ

โรงเรียนตลิ่งชันวิทยาคม

สำนักงานเขตพื้นที่การศึกษามัธยม เขต 42

คำนำ

บทเรียนสำเร็จรูปนี้ ผู้เขียนได้จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการเรียนการสอนวิชาฟิสิกส์เพิ่มเติม 1
ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 โดยจัดทำทั้งหมด 7 เล่ม เล่มนี้เป็นเล่มที่ 6 เรื่อง การเคลื่อนที่แบบวงกลม

ผู้เขียนได้นำเนื้อหา มาศึกษา และจัดแบ่งเนื้อหาเรียงลำดับจากง่ายไปยากเพื่อมุ่งใจใน
การศึกษาด้วยตนเอง แนวทางการจัดทำรูปเล่มของบทเรียนสำเร็จรูปนี้ ผู้เขียนได้เขียนขึ้นตามแนวของ
การแนะนำการจัดทำรูปเล่มที่สมบูรณ์ของบทเรียนสำเร็จรูปของสำนักงานคณะกรรมการข้าราชการครู
(ก.ค.) และจากประสบการณ์การสอนฟิสิกส์มานานกว่าสิบปี

ผู้เขียนหวังว่า ครู นักเรียน และผู้สนใจ คงจะได้รับประโยชน์จากการใช้บทเรียนสำเร็จรูปชุดนี้
มากพอสมควร

นายศรัณย์ สาเชตรการณ์

คำชี้แจง

บทเรียนสำเร็จรูป เรื่อง การเคลื่อนที่แบบวงกลม นี้ เป็นเล่มที่ 6 เนื้อหาจะมีประโยชน์ในการนำไปใช้ในชีวิตประจำวันเพื่อให้ได้ผลดีนักเรียนจึงควรตั้งใจศึกษามุ่งมั่นและปฏิบัติตามข้อตกลงต่อไปนี้

1. ศึกษาไปตามลำดับของบทเรียน
2. เมื่อพบคำถาม/กิจกรรม ให้ตอบคำถามโดยใช้ความรู้ที่ศึกษามา และทำกิจกรรม(ถ้ามี)

อย่างเคร่งครัด

3. ไม่ข้ามกรอบความรู้ในการศึกษา
4. ไม่ดูเฉลยก่อนทำคำถาม/กิจกรรมและต้องตรวจสอบคำตอบทันทีที่เสร็จสิ้นกิจกรรม
5. ไม่ขีดเขียนข้อความใดๆลงในบทเรียน หากจำเป็นให้ใช้ดินสอ เมื่อจบบทเรียนแล้ว

ต้องลบออกให้สะอาด

6. นำบทเรียนส่งคืนครูประจำวิชาในสภาพที่เรียบร้อย

สาระสำคัญ

การเคลื่อนที่แบบวงกลมเป็นการเคลื่อนที่ของวัตถุที่มีทิศของความเร็วเปลี่ยนแปลงตลอดเวลาและเป็นการเคลื่อนที่แบบซ้ำรอยเดิมเป็นรอบ โดยมีความเร็วอยู่ในแนวเส้นสัมผัสตั้งฉากกับรัศมีการเคลื่อนที่ มีแรงและความเร่งเข้าสู่ศูนย์กลาง

ผลการเรียนรู้ที่คาดหวัง

สำรวจตรวจสอบ ทดลองเกี่ยวกับการเคลื่อนที่แบบวงกลม อธิบายและนำไปใช้ประโยชน์ได้

จุดประสงค์การเรียนรู้

1. อธิบายการเคลื่อนที่แบบวงกลมได้
2. ยกตัวอย่างการเคลื่อนที่แบบวงกลมได้
3. ทำกิจกรรมการเคลื่อนที่แบบวงกลมได้
4. คำนวณหาปริมาณต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนที่แบบวงกลมได้



กรอบนำ

หลังจากที่เราได้ศึกษาการเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์มาแล้ว ทำให้ทราบว่าวัตถุจะมีการเคลื่อนที่เป็นแนวโค้ง ถ้าเราลองผูกวัตถุด้วยเชือกให้แน่นแล้วแกว่ง ให้วัตถุเคลื่อนที่ไปรอบ ๆ มือที่จับเส้นเชือก เราจะเห็นได้ว่าวัตถุเคลื่อนที่เป็นแนวโค้งเช่นกัน แต่เป็นแนวโค้งวงกลม การที่วัตถุเคลื่อนที่แบบนี้ได้ เกิดจากสาเหตุใด เราจะได้ศึกษาต่อไป



รูป 6.1 ตัวอย่างการเคลื่อนที่แนววงกลม
ที่มา :ภาพโดย นายศรัณย์ สาเขตรการณั



ลองตอบคำถาม
ดูก่อนนะครับ

ได้ค่ะคุณครู



คำถามกรอบนำ

1. ให้นักเรียนยกตัวอย่างการเคลื่อนที่ในแนววงกลมที่พบเห็นในชีวิตประจำวันมา 2 ตัวอย่าง

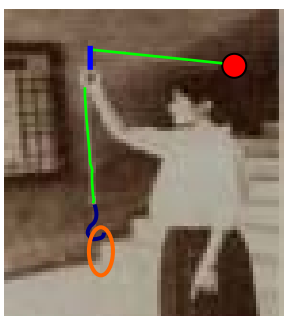
เฉลยคำถามกรอบนำ

1. คำตอบอาจแตกต่างกันไป เช่น การวิ่งรอบสนามรูปวงกลม
การเคลื่อนที่ของรถบนทางโค้ง การผูกวัตถุด้วยเชือกแล้วแกว่งรอบตัว

ลองทำดู

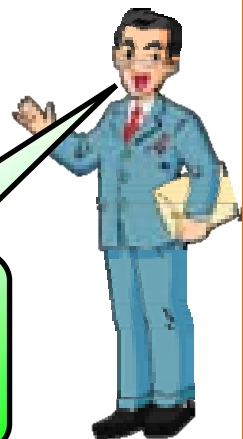
กรอบที่ 1

ให้ใช้ชุดทดลองการเคลื่อนที่ในแนววงกลม มาทดลองโดยแกว่งวัตถุให้เคลื่อนที่ในแนววงกลมระยะใดก็ได้ด้วยรัศมีพอประมาณ สังเกตแรงดึงในเส้นเชือกว่าเปลี่ยนไปหรือไม่ จากนั้นแกว่งด้วยอัตราเร็วต่างกัน สังเกตแรงที่ใช้ดึงเส้นเชือก



ทดลอง
เสร็จแล้วค่ะ

ทำกิจกรรมแล้วหวังว่า
จะตอบคำถามด้านล่าง
ถูกต้องนะคะ



รูป 6.2 การใช้ชุดทดลองการเคลื่อนที่ในแนววงกลม

ที่มา : ดัดแปลงจากสสวท. 2536:26

คำถามกรอบที่ 1

1. เมื่อแกว่งวัตถุด้วยอัตราเร็วต่างกัน ขนาดแรงที่ดึงเส้นเชือกเป็นอย่างไร
2. เมื่อวัตถุมีอัตราเร็วต่างกัน วัตถุอยู่ในระนาบเดียวกันหรือไม่อย่างไร
3. ถ้าเรารักษาอัตราเร็วของวัตถุให้คงตัว ระนาบของวัตถุจะเปลี่ยนแปลงหรือไม่อย่างไร

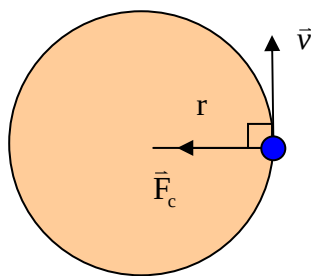
เฉลยคำถามกรอบที่ 1

1. ขนาดของแรงดึงจะเปลี่ยนไปตามอัตราเร็ว
2. ระนาบวัตถุจะต่างกันไปตามอัตราเร็วที่เปลี่ยนไป
3. ไม่เปลี่ยนแปลงวัตถุจะเคลื่อนที่อยู่ในระนาบเดิมตลอดเวลา

แรงสู่ศูนย์กลาง

กรอบที่ 2

จากกิจกรรมจะพบว่า เราสามารถแกว่งให้วัตถุอยู่ในระนาบใดก็ได้ แต่เพื่อสะดวกในการศึกษา เราจะพิจารณาเฉพาะในแนวระดับเท่านั้น ซึ่งจะเห็นได้ว่า อัตราเร็วมีผลต่อขนาดของแรงที่ดึงเส้นเชือก ทิศของแรงดึงจะพุ่งเข้าหามือ ซึ่งเป็นจุดศูนย์กลางของการเคลื่อนที่ เราเรียกแรงนี้ว่า แรงสู่ศูนย์กลาง ($\vec{F}_c$) คือเป็นแรงที่ทำให้วัตถุสามารถเคลื่อนที่เป็นวงกลมอยู่ได้



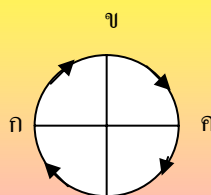
ลองทำคำถามดู
นะครับ



รูป 6.3 แสดงแรงสู่ศูนย์กลางของการเคลื่อนที่ของวงกลม

คำถามกรอบที่ 2

- จากรูป เมื่อวัตถุเคลื่อนที่จากตำแหน่ง ก มา ข มาถึงตำแหน่ง ค ปรากฏว่าเชือกขาด วัตถุจะเคลื่อนที่ต่อไปตามเส้นทางใด



- ก. → ข. ↓ ค. ↑ ง. ←
- ถ้าวัตถุในข้อ 1 เคลื่อนที่จากตำแหน่ง ก ไป ข เชือกขาดพอดี วัตถุจะไปตามทิศใด (ใช้ตัวเลือกข้อ 1)



เฉลยคำถามกรอบที่ 2

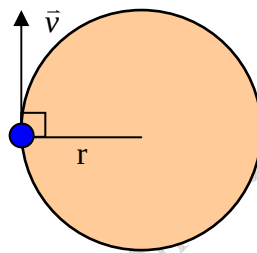
1. ข้อ ข
2. ข้อ ก

ง่ายมาก
เลยค่ะ

คาบ

กรอบที่ 3

การเคลื่อนที่ในแนววงกลมจะมีการเคลื่อนที่แบบ ซ้ำรอยเดิมเป็นรอบ ดังรูป



รูป 6.4 วัตถุเคลื่อนที่ในแนววงกลม

เข้าใจแล้วตอบ
คำถามก่อนครับ

ช่วงเวลาที่วัตถุเคลื่อนที่ครบ 1 รอบ เราเรียกว่า คาบ

ใช้สัญลักษณ์ T แทนคาบ หน่วยคือ วินาที

ดังนั้น เราสามารถหาคาบ ได้จาก

$$\text{คาบ} = \frac{\text{เวลาที่วัตถุเคลื่อนที่:}}{\text{จำนวนรอบ}}$$



คำถามกรอบที่ 3

1. วัตถุหนึ่งแกว่งเป็นแนววงกลม ด้วยอัตรา 20 วินาที
ต่อ 10 รอบ วัตถุนี้มีคาบการเคลื่อนที่เป็นเท่าใด

เฉลยคำถามกรอบที่ 3

เวลาที่วัตถุเคลื่อนที่:

จำนวนรอบ

20 วินาที

1. คาบ



ความถี่



รู้จักกับความหมายของคาบไปแล้ว คราวนี้ต้องมาดูในมุมกลับ กันบ้าง ถ้าวัตถุ 2 ชนิด ใช้เวลาเคลื่อนที่เป็นวงกลมเท่ากัน แต่ชนิดแรกได้จำนวนรอบมากกว่า ชนิดที่สอง นั่นคือ ชนิดแรกเคลื่อนที่ได้เร็วกว่า การบอกปริมาณ โดยใช้รอบต่อเวลานี้ เราเรียกว่า ความถี่ (f)

ดังนั้น

$$\text{ความถี่} = \frac{\text{จำนวนรอบ}}{\text{เวลาทั้งหมด}}$$

ลองพิสูจน์ตัวเอง
หน่อยนะครับ



มีหน่วยเป็นรอบต่อวินาที หรือ เฮิรตซ์

คำถามกรอบที่ 4

- วัตถุหนึ่งเคลื่อนที่ด้วยอัตรา 10 รอบ ในเวลา 5 วินาที วัตถุนี้มีความถี่เท่าใด

เฉลยคำถามกรอบที่ 4

$$\begin{aligned} 1. \text{ ความถี่} &= \frac{\text{จำนวนรอบ}}{\text{เวลาทั้งหมด}} \\ &= \frac{10 \text{ รอบ}}{5 \text{ วินาที}} \\ &= 2 \text{ รอบต่อวินาที} \\ \text{วัตถุมีความถี่ 2 รอบต่อวินาที} \end{aligned}$$

ไม่ยาก
เลยค่ะ



คาบและความถี่



จากคำถามที่ผ่านมาเราจะ
สรุปว่าคาบและความถี่
สัมพันธ์กันอย่างไรครับ

เป็นส่วนกลับกัน
ใช่ไหมคะ

กรอบที่ 5



คาบและความถี่เป็นส่วนกลับกัน ดังนั้น ความสัมพันธ์
ระหว่างปริมาณสองตัวนี้จะเป็นดังสมการข้างล่างนี้

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

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

คำถามกรอบที่ 5

- วัตถุหนึ่งเคลื่อนที่เป็นวงกลมโดยมีคาบเท่ากับ
5 วินาที วัตถุนี้จะมีความถี่เท่าใด

เฉลยคำถามรอบที่ 5

1. จาก $f = \frac{1}{T}$

แทนค่า $f = \frac{1}{5}$

$= 0.2$ รอบ/วินาที

วัตถุมีความถี่ 0.2 รอบ/วินาที

ไม่ยากเลย

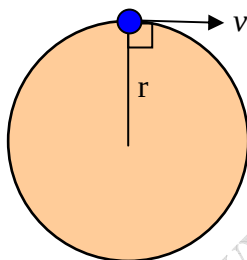
ใช่ไหมครับ



อัตราเร็วเชิงเส้น

พิจารณาวัตถุที่เคลื่อนที่ในแนววงกลมในแนวระดับ

ด้วยอัตราเร็วคงตัว v โดยมีรัศมีการเคลื่อนที่ r ดังรูป



รูป 6.5 แสดงวัตถุเคลื่อนที่
ด้วยอัตราเร็วคงตัว v รัศมี r

ระยะทางที่วัตถุเคลื่อนที่ได้ 1 รอบ คือ เส้นรอบวง $2\pi r$

เวลาที่เคลื่อนที่ครบ 1 รอบ คือ คาบ T

จากเรื่อง การเคลื่อนที่แนวตรงที่เราศึกษามา $v = \frac{s}{t}$

แทนค่า $v = \frac{2\pi r}{T}$

เราเรียก v นี้ว่า อัตราเร็วเชิงเส้น มีหน่วยเป็นเมตรต่อวินาที



กรอบที่ 6

คำถามกรอบที่ 6

- วัตถุหนึ่งเคลื่อนที่เป็นวงกลมด้วยรัศมี 7 เมตร โดยมีคาบการเคลื่อนที่ 4 วินาที จงหาอัตราเร็วเชิงเส้นของวัตถุนี้

เฉลยคำถามกรอบที่ 6

1. จาก $v = \frac{2\pi r}{T}$

$$\text{แทนค่า } v = \frac{2 \times \frac{22}{7} \times 7 \text{ m}}{4 \text{ s}}$$

$$= 11 \text{ เมตรต่อวินาที}$$

อัตราเร็วเชิงเส้นของวัตถุ 11 เมตรต่อวินาที

พอทำได้ค่ะ



อัตราเร็วเชิงเส้น

กรอบที่ 7

ลองทำคำถามดู
นะคะ

จากสูตร $v = \frac{2\pi r}{T}$ ----- (1)

จากความรู้เดิมเราได้ว่า $T = \frac{1}{f}$ ----- (2)

นำ (2) แทนใน (1) จะได้ $v = 2\pi r f$

เป็นสูตรการหาอัตราเร็วเชิงเส้นอีกสูตรหนึ่ง กรณีที่เราทราบค่าความถี่



คำถามกรอบที่ 7

1. วัตถุหนึ่งเคลื่อนที่เป็นวงกลมด้วยรัศมี 14 เมตร โดยมีความถี่ 5 รอบต่อวินาที จงหาอัตราเร็วเชิงเส้นของวัตถุนี้

ถูกต้องอีกแล้ว
เก่งมากครับ

เฉลยคำถามกรอบที่ 7

1. จาก $v = 2\pi rf$

แทนค่า $v = 2 \times \frac{22}{7} \times 14 \times 5$

$$v = 440 \text{ เมตรต่อวินาที}$$

อัตราเร็วเชิงเส้นของวัตถุ 440 เมตรต่อวินาที



ความเร่งสู่ศูนย์กลาง



กรอบที่ 8

การเคลื่อนที่แบบวงกลมนี้วัตถุจะมีขนาดของความเร็วคงที่ แต่ทิศทางไม่คงที่ ดังนั้นจึงมีความเร่งเกิดขึ้น ในทิศเดียวกับแรงสู่ศูนย์กลาง เราจึงเรียกว่าความเร่งสู่ศูนย์กลาง (a_c) ซึ่งหาได้จากสูตร

$$a_c = \frac{v^2}{r}$$

มีหน่วยเป็น เมตรต่อวินาที²

สูตรไม่ยาก
เลยค่ะ



คำถามกรอบที่ 8

1. วัตถุหนึ่งเคลื่อนที่เป็นวงกลม รัศมี 7 เมตร ด้วยอัตรา 5 รอบต่อวินาที จงหาความเร่งสู่ศูนย์กลางของวัตถุนี้

เฉลยคำถามกรอบที่ 8

$$v^2 = (2\pi rf)^2$$

$$(2 \times \frac{22}{7} \times 7 \times 5)^2$$

ดีใจจังค่ะ ทำ
ถูกอีกแล้ว



แรงสู่ศูนย์กลาง



ครูคะแล้วมีสูตรหา
แรงสู่ศูนย์กลางไหมคะ

มีสิครับ ศึกษาจาก
ด้านล่างนี้เลย



จากความรู้เดิม กฎการเคลื่อนที่ของนิวตัน ข้อที่สอง

$$F = ma$$

ดังนั้น $F_c = ma_c$

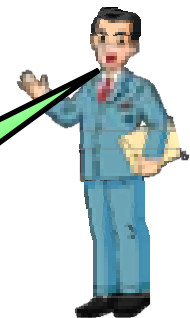
แทนค่า $F_c = \frac{mv^2}{r}$

หน่วยเป็นนิวตัน



ง่ายจังเลยนะคะ

ถ้าอย่างนั้นลอง
ทำแบบฝึกหัด



คำถามกรอบที่ 9

1. วัตถุมวล 1 กิโลกรัม เคลื่อนที่เป็นวงกลมรัศมี 1 เมตร โดยมีความถี่ 7 รอบต่อวินาที
แรงสู่ศูนย์กลางที่กระทำต่อวัตถุนี้มีค่าเท่าใด

เฉลยคำถามกรอบที่ 9

1. จาก $F_c = \frac{mv^2}{r}$

$$= \frac{m(2\pi rf)^2}{r}$$

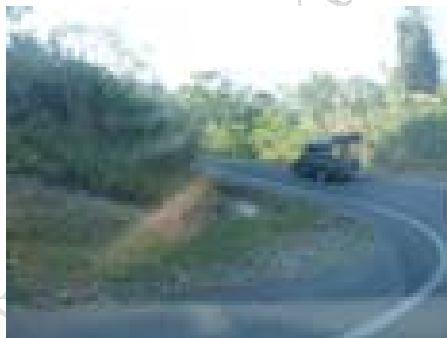
เก่งมาก
เลยครับ



การเคลื่อนที่บนถนนโค้ง

เราได้ศึกษาปริมาณต่าง ๆ ของการเคลื่อนที่แบบวงกลมมาพอสมควรแล้ว
คราวนี้เราลองมาดู การเคลื่อนที่บนถนนโค้งกันบ้าง

กรอบที่ 10



รูป 6.6 รถเคลื่อนที่บนถนนโค้ง

ที่มา: ภาพโดยนายศรัณย์ สาเขตรการณ์

ในกรณีรถที่เลี้ยวโค้ง แรงเสียดทานที่พื้นกระทำกับด้านข้างยางรถจะเป็นแรงสู่ศูนย์กลาง
ซึ่งมีค่าจำกัดเท่ากับ $f = \mu mg$ ดังนั้น เมื่อขับรถบนทางโค้ง เราต้องลดความเร็วลงเพื่อความปลอดภัย
ส่วนแรงสู่ศูนย์กลางนอกจากจะเท่ากับ f แล้ว เรายังหาได้จากสูตร $F_c = \frac{mv^2}{r}$ ดังที่เราได้เรียนมา

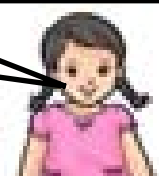
คำถามกรอบที่ 10

1. รถยนต์มวล 1000 กิโลกรัม เลี้ยวโค้งบนถนนรัศมี 400 เมตร ด้วยอัตราเร็ว 72 กิโลเมตรต่อชั่วโมง แรงสู่ศูนย์กลางที่กระทำต่อรถยนต์จะมีค่าเท่าใด

เฉลยคำถามกรอบที่ 10

1. จาก $F_c = \frac{mv^2}{r}$

ง่ายจังเลยคะ



$$= \frac{1,000\text{kg} \times (72 \times \frac{1000}{3600} \text{ m/s})^2}{400}$$

Tip: แปลง km/h เป็น m/s โดยนำ $\frac{5}{18}$ มาคูณ

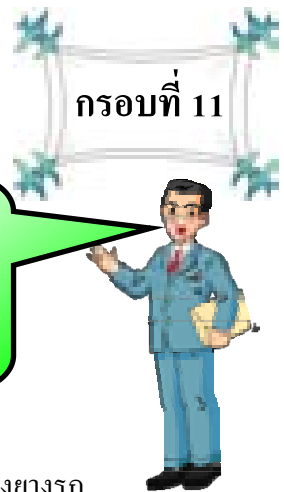
การยกขอบของถนนโค้ง



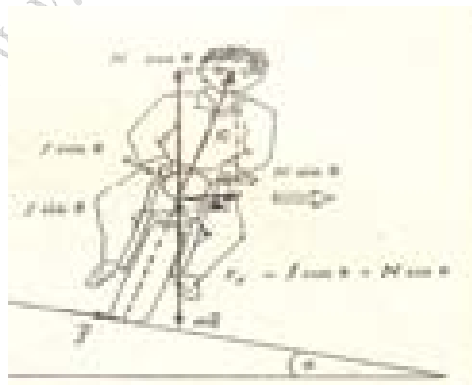
ครูคะ ทำไมถนน
ตรงทางโค้งขอบนอก
จึงสูงกว่าขอบในคะ

เธอนี้ช่างสังเกตจริงๆ
อยากรู้ตามมา
ครูจะเล่าให้ฟัง

กรอบที่ 11



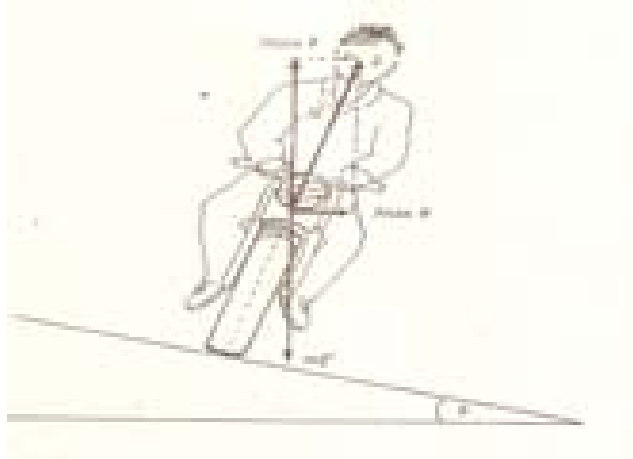
จากที่เราทราบมา แรงเสียดทานที่เกิดขึ้นระหว่างพื้นกับด้านข้างของยางรถ ทำหน้าที่เป็นแรงสู่ศูนย์กลาง ซึ่งมีค่าจำกัด ดังนั้นหากรถแล่นด้วยอัตราเร็วที่มากขึ้นก็จะไม่ปลอดภัย จึงต้องมีการยกถนนขึ้นเพื่อให้มีแรงอื่นมาช่วยเป็นแรงสู่ศูนย์กลางดังรูป



รูป 6.7 แสดงแรงต่างๆที่เกิดขึ้นขณะรถเลี้ยวโค้ง

ที่มา: ดัดแปลงจาก สสวท.2536:42

จากรูปเราจะพบว่า แรงที่ทำหน้าที่เป็นแรงสู่ศูนย์กลาง คือแรง $f \cos \theta$ และ $N \sin \theta$ ซึ่งทำให้รถสามารถแล่นเข้าโค้งได้ด้วยอัตราเร็วขึ้นกว่าเดิม แต่ในทางปฏิบัติเพื่อความปลอดภัย วิศวกรจะคิดว่าแรง $N \sin \theta$ เท่านั้นที่ทำหน้าที่เป็นแรงสู่ศูนย์กลาง เราสามารถเขียนรูป 6.7 ใหม่ได้ดังรูป 6.8



รูป 6.8 แสดงแรงที่ทำหน้าที่เป็นแรงสู่ศูนย์กลาง
ที่มา:ดัดแปลงจาก สสวท.2536:42

จากรูปเราจะได้ว่า

ในแนวระดับ $N \sin \theta = F_c$

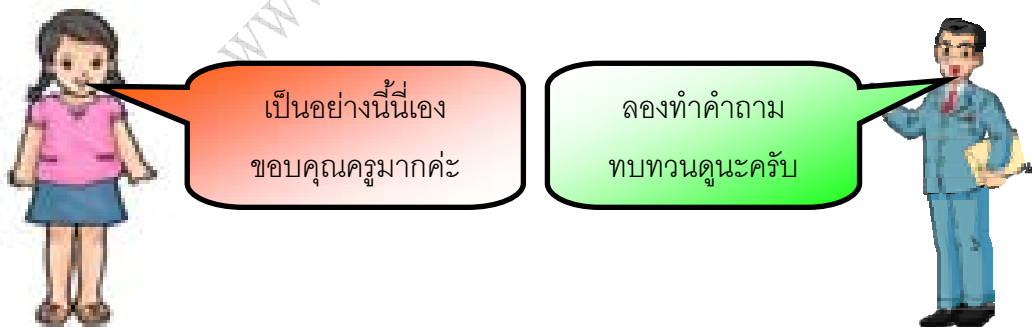
$$\text{หรือ } N \sin \theta = \frac{mv^2}{r} \text{ ----- (1)}$$

ในแนวดิ่ง $N \cos \theta = mg \text{ ----- (2)}$

$$\text{(1) / (2) } \frac{N \sin \theta}{N \cos \theta} = \frac{mv^2}{mrg}$$

$$\tan \theta = \frac{v^2}{rg}$$

นี่เป็นค่า $\tan$ ของ มุมที่จะต้องยกขอบถนนเอียง โดยคำนึงถึงรัศมีความโค้ง
และอัตราเร็วของรถสูงสุดขณะเลี้ยวโค้ง



คำถามกรอบที่ 11

1. รถยนต์คันหนึ่งแล่นบนถนนโค้งรัศมี 100 เมตร ถ้าขอบถนนยกเอียงทำมุม 45° กับแนวระดับ รถคันนี้จะแล่นได้ด้วยอัตราเร็วสูงสุดเท่าใด (กำหนดค่า $g = 10$ เมตรต่อวินาที²)

เฉลยคำถามกรอบที่ 11

1. จาก $\tan \theta = \frac{v^2}{rg}$

$$v = \sqrt{\tan \theta \times rg}$$

$$v = \sqrt{1 \times 100m \times 10m/s^2}$$

$$= 10\sqrt{10} \text{ m/s}$$

รถคันนี้จะเล่นได้ด้วยอัตราเร็วสูงสุด $10\sqrt{10}$ เมตร/วินาที

พอทำได้ค่ะ



มุมเอียงกับแนวดิ่ง



ครูคะ แล้วกรณีที่นักแข่ง
รถมอเตอร์ไซด์เขาเอียง
ตัวเข้าโค้งล่ะคะหลักการ
เดียวกันหรือเปล่า

ใช่ครับ เป็นการเพิ่ม
แรงสู่ศูนย์กลางเช่นกัน

กรอบที่ 12



พิจารณารูปข้างล่างนี้



รูป 6.9 แสดงแรงสู่ศูนย์กลางที่กระทำต่อรถและคนขณะเลี้ยวโค้ง

ที่มา: ดัดแปลงจาก สสวท.2536:46

จากรูป จะได้ $R \sin \theta = F_c$

$$\text{หรือ } R \sin \theta = \frac{mv^2}{r} \quad \text{---(1)}$$

$$\text{และ } R \cos \theta = mg \quad \text{---(2)}$$

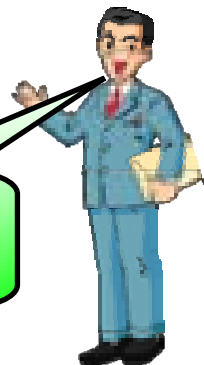
$$\text{(1) / (2) } \frac{R \sin \theta}{R \cos \theta} = \frac{mv^2}{rmg}$$

$$\tan \theta = \frac{v^2}{rg}$$

เป็นสูตรเดียวกันกับกรอบที่แล้ว แต่ต่างกันที่ กรณีแรกเป็นมุมที่ถนนยกเอียงกับแนวระดับ แต่กรณีนี้คือ มุมที่คนขี่รถมอเตอร์ไซด์หรือจักรยานต้องเอียงท่ามุมกับแนวตั้ง



ง่ายดีนะคะ ท่องสูตรเดียว
ใช้ได้ 2 สถานการณ์เลย



ใช่แล้วครับ แต่อย่าจำ
สับสนกันล่ะ

คำถามกรอบที่ 12

1. เมื่อผู้ขับขี่รถจักรยานยนต์เลี้ยวโค้งบนทางโค้งราบแห่งหนึ่งด้วยอัตราเร็วมาก กับอัตราเร็วน้อย กรณีไหนต้องเอียงรถท่ามุมกับแนวตั้งมากกว่ากัน

เฉลยคำถามกรอบที่ 12

1. จากรูปการเอียงข้างทำมุมกับแนวดิ่ง $\tan \theta = \frac{v^2}{rg}$

พบว่า $\tan \theta$ แปรตาม v^2

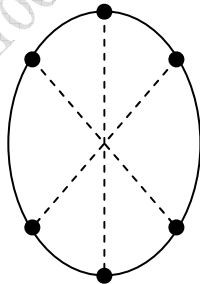
จากตารางค่า $\tan \theta$ จะมากขึ้นตามมุมที่มากขึ้น

ดังนั้นถ้าวิ่งด้วยอัตราเร็วมากจึงต้องเอียงทำมุมกับแนวดิ่งมากขึ้น

การเคลื่อนที่ของวัตถุในแนววงกลมในระนาบตั้ง

ลองทำดู

ให้นักเรียนใช้เชือกผูกนอตให้แน่น จากนั้นแกว่งให้เป็นวงกลมในแนวดิ่ง สังเกตเปรียบเทียบ แรงดึงที่จุดบนสุด เทียบกับที่จุดต่ำสุด บันทึกผล

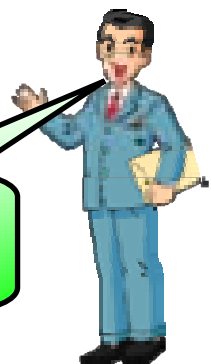


รูป 6.10 แสดงภาพจำลองการแกว่งวัตถุในแนวดิ่ง



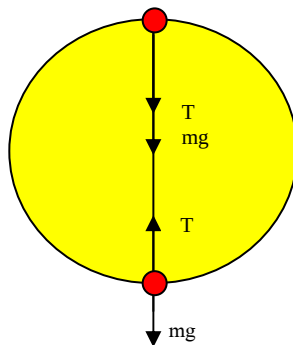
ที่จุดบนสุดแรงดึงจะน้อยกว่าที่จุดล่างทำไมเป็นอย่างนั้นคะ

ใจเย็น ๆ เดี่ยวครูจะอธิบายให้ฟัง



กรอบที่ 13

พิจารณารูปข้างล่างนี้



รูป 6.11 แสดงแรงกระทำต่อวัตถุที่จุดบนและจุดล่างของการเคลื่อนที่แบบวงกลมในระนาบตั้ง
จากรูป ที่จุดบนจะได้ว่า

$$T + mg = F_c$$

$$T = F_c - mg \quad \text{--- (1)}$$

ที่จุดล่างจะได้ว่า

$$T - mg = F_c$$

$$T = F_c + mg \quad \text{--- (2)}$$



คราวนี้เข้าใจหรือยังว่า
ทำไมข้างล่างแรงดึง
มากกว่าข้างบน

เข้าใจแล้วค่ะเห็น
สมการแล้วหายงงเลย



คำถามกรอบที่ 13

- ถ้ามีรางโลหะเป็นรูปวงกลมวางตั้งในแนวตั้ง มีวัตถุชิ้นหนึ่งเคลื่อนที่เป็นวงกลมภายในรางนี้ นักเรียนคิดว่าควรจะต้องออกแบบให้รางเหล็กที่จุดบนหรือจุดล่างมีความแข็งแรงกว่ากัน

เฉลยคำถามกรอบที่ 13

1. ที่จุดล่างต้องมีความแข็งแรงกว่าจุดบน

ถูกต้องแล้วครับ



กรอบที่ 14

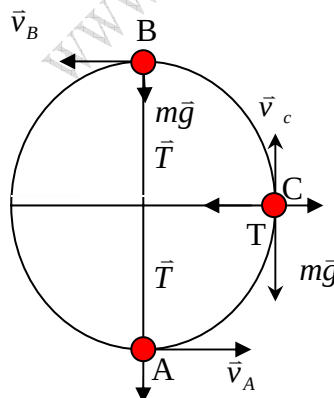
ความเร็วของวัตถุที่แกว่งเป็นวงกลมในแนวดิ่ง



แล้วความเร็วของวัตถุ
ที่แกว่งในแนวดิ่งคงที่
เหมือนการแกว่ง
ในแนวระดับหรือเปล่าคะ

เดี๋ยวครูว่าเรามา
ศึกษาพร้อมกันดีกว่า

พิจารณารูป



รูป 6.12 แสดงวัตถุเคลื่อนที่ในแนววงกลมระนาบดิ่ง

กำหนดให้ A เป็นระดับอ้างอิง

$$\text{พลังงานกลที่ A} = \frac{1}{2}mv_A^2$$

$$\text{พลังงานกลที่ B} = mgr + \frac{1}{2}mv_B^2$$

$$\text{พลังงานกลที่ C} = mgr + \frac{1}{2}mv_C^2$$

จากกฎการอนุรักษ์พลังงาน พลังงานกลทุกตำแหน่งจะมีค่าเท่ากันเสมอ

$$\text{จะได้ } \frac{1}{2}mv_A^2 = mgr + \frac{1}{2}mv_B^2 = mgr + \frac{1}{2}mv_C^2$$

ดังนั้น $v_A > v_C > v_B$ ตามลำดับ

นั่นคือ ขนาดของความเร็วของวัตถุที่เคลื่อนที่ในแนววงกลม

ในระนาบดิ่งที่ตำแหน่งต่าง ๆ มีค่าไม่เท่ากัน

คำถามกรอบที่ 14

1. วัตถุมวล 1 กิโลกรัม ผูกด้วยเชือกยาว 1 เมตร แกว่งเป็นวงกลมในแนวตั้ง แรงตึงในขณะวัตถุอยู่ต่ำสุดมีอัตราเร็ว 10 เมตรต่อวินาที จงหาอัตราเร็ว ณ จุดสูงสุด

เดี๋ยวลูกว่าเรา
เฉลยพร้อมกันดีกว่า



เฉลยคำถามกรอบที่ 14

1. ใช้กฎการอนุรักษ์พลังงาน

จะได้ พลังงานกลที่ A = พลังงานกลที่ B

$$\frac{1}{2}mv_A^2 = mg2r + \frac{1}{2}mv_B^2$$

$$\frac{1}{2}v_A^2 = \frac{1}{2}v_B^2 + 2gr$$

$$\frac{1}{2}(10)^2 = \frac{1}{2}v_B^2 + 2(10)(1)$$

$$\frac{1}{2}v_B^2 = 50 - 20$$

$$v_B = \sqrt{60}$$

อัตราเร็ว ณ จุดสูงสุดคือ $\sqrt{60}$ เมตรต่อวินาที

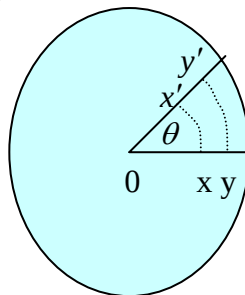
ศึกษาต่อไป
เลยครับ



อัตราเร็วเชิงมุม

กรอบที่15

จากที่เราได้ศึกษามา เป็นการศึกษาอัตราเร็วของวัตถุตามเส้นรอบวง ซึ่งเราเรียกว่าอัตราเร็วเชิงเส้น แต่ยังมีการบอกอัตราเร็วอีกอย่างหนึ่งที่นิยมเช่นกัน เราจะได้ศึกษาต่อไปนี้



รูป 6.13 แสดงการเปรียบเทียบจุด 2 จุดที่มีอัตราเร็วเชิงเส้นต่างกัน

จากรูปจะเห็นว่า จุด x อยู่ใกล้ศูนย์กลางมากกว่าจุด y เมื่อเวลาผ่านไป t วินาที

จุด x และจุด y ไปอยู่ที่ x' และ y' ตามลำดับ ในเวลาเท่ากัน แสดงว่า y มีอัตราเร็วเชิงเส้นมากกว่า x แต่มุมที่ ox และ oy กวาดไปได้ θ เท่ากัน ดังนั้น มุมที่รัศมีกวาดไปได้ใน 1 หน่วยเวลาจึงเท่ากันด้วย เราเรียกว่า อัตราเร็วเชิงมุม ใช้สัญลักษณ์ ω (อ่านว่าโอเมกา)

โดยที่ ω มีค่าเท่ากับ $\frac{2\pi}{T}$ มีหน่วยเป็น เรเดียนต่อวินาที

เทียบกับสมการ $v = \frac{2\pi r}{T}$ ที่เราเรียนมา

จะได้ว่า $v = \omega r$



เป็นการนำความรู้
เรื่องอัตราเร็วเชิงมุม
มาสัมพันธ์กับ
อัตราเร็วเชิงเส้น

ใช่แล้วครับ
ลองแปลง
สูตรอื่นดูอีก



จาก

$$a_c = \frac{v^2}{r} \text{ ก็จะกลายเป็น}$$

$$a_c = \omega^2 r$$

และ

$$F_c = \frac{mv^2}{r} \text{ ก็จะกลายเป็น}$$

$$F_c = m\omega^2 r$$



ดีจังเลยคะ
แปลงไปแปลงมา
ได้ด้วย

ถ้าอย่างนั้น มาพิสูจน์
ตัวเองด้วยการทำ
แบบฝึกหัดหน่อยนะครับ



คำถามกรอบที่ 15

- วัตถุหนึ่งเคลื่อนที่แบบวงกลมด้วยรัศมี 3 เมตร ถ้าวัตถุนี้มีอัตราเร็วเชิงมุม 5 เรเดียนต่อวินาที วัตถุนี้จะมีแรงสู่ศูนย์กลางเท่าไร

เฉลยคำถามกรอบที่ 15

$$\begin{aligned} 1. \ a_c &= \omega^2 r \\ &= (5 \text{ rad/s})^2 (3 \text{ m}) \\ &= 75 \text{ m/s}^2 \end{aligned}$$

วัตถุจะมีแรงสู่ศูนย์กลาง 75 เมตร/วินาที²

ทำถูกอีกแล้วค่ะ



การเคลื่อนที่ของดาวเทียม

กรอบที่ 16

อัตราเร็วเชิงมุมเราสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้มาก เช่น ดาวเทียมสื่อสารที่โคจรรอบโลก เราต้องให้ดาวเทียมโคจรไปพร้อมโลก พร้อม ๆ กับที่โลกหมุนรอบตัวเอง ดาวเทียมต้องอยู่หนึ่งตำแหน่งเดิมบนโลกตลอดเวลา นั่นคือ ทั้งโลกและดาวเทียมต้องมีอัตราเร็วเชิงมุมเท่ากันนั่นเอง



การศึกษากการเคลื่อนที่
นี้มีประโยชน์จริง ๆ นะคะ

ใช่แล้วครับ
ไหนลองตอบ
คำถามดูซิ



คำถามกรอบที่ 16

1. เพราะเหตุใดดาวเทียมสื่อสารจึงมีคาบของการโคจรรอบโลกเท่ากับคาบการหมุนรอบตัวเองของโลก

เฉลยคำถามกรอบที่ 16

1. ทำให้สะดวกในการสื่อสาร เพราะสถานียากพื้นดิน
และดาวเทียมสามารถติดต่อกันได้ตลอดเวลา

การเคลื่อนที่ในแนววงกลม มีลักษณะเฉพาะคือทิศทางของความเร็วเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา โดยมีแรงกระทำพุ่งเข้าสู่ศูนย์กลางการเคลื่อนที่ วัตถุจะเคลื่อนที่กลับมาซ้ำรอยเดิมเป็นรอบ ๆ การเคลื่อนที่ในแนววงกลมในแนวระดับกับแนวตั้ง ต่างกันที่ อัตราเร็วเชิงเส้นแบบแรกจะคงที่ตลอดการเคลื่อนที่ เรานำความรู้เรื่องนี้ไปใช้ในชีวิตประจำวัน เช่น การยกขอบถนนให้เอียงตรงทางโค้งเพื่อเพิ่มแรงสู่ศูนย์กลาง ให้รถแล่นได้อย่างปลอดภัยและการขี่รถจักรยานยนต์เลี้ยวโค้งบนทางราบ เราต้องเอียงรถทำมุมกับแนวตั้ง เพื่อเพิ่มแรงเข้าสู่ศูนย์กลาง ให้เราสามารถเข้าโค้งได้อย่างปลอดภัย

นอกจากนี้มนุษย์ยังได้ใช้ประโยชน์จากความรู้เรื่อง อัตราเร็วเชิงมุม อัตราเร็วเชิงเส้น ไปใช้ในการกำหนด ตำแหน่งของดาวเทียมที่ขึ้นไปโคจรรอบโลกให้อยู่ในระดับความสูงที่เหมาะสมและมีคาบการเคลื่อนที่ ที่พอดีกับการติดต่อสื่อสารกับภาคพื้นดินได้ตลอดเวลา ซึ่งประโยชน์ที่มนุษย์ได้รับมากมายนี้ ได้มาจากความรู้จากการศึกษาเรื่อง การเคลื่อนที่แบบวงกลมนั่นเอง



กรอบสรุป



นี่ไม่ถึงเลยคะ
ว่าจะมีประโยชน์
มากมายขนาดนี้



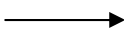
ลองทำแบบทดสอบ
ท้ายบทดูครับ
เพื่อตรวจสอบตนเอง

แบบทดสอบก่อนเรียน
เรื่อง การเคลื่อนที่แบบวงกลม

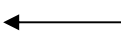
1. (1) การเคลื่อนที่แบบวงกลม ความเร็วของวัตถุมีทิศทางใด

- ก. ทิศของความเร็วคงเดิม
- ข. ทิศของความเร็วขนานกับเส้นรอบวง
- ค. ทิศของความเร็วเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา
- ง. ทิศของความเร็วมีทิศเดียวกับรัศมีวงกลม

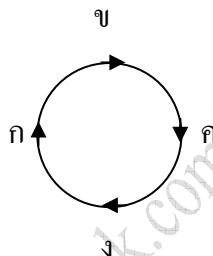
2. (1) จากรูปการแกว่งวัตถุเป็นวงกลม เมื่อวัตถุเคลื่อนที่มาถึงตำแหน่ง ข ปรากฏว่าเชือกขาด วัตถุจะเคลื่อนที่ต่อไปตามเส้นทางใด

ก. 

ข. 

ค. 

ง. 



3. (1) ข้อใดเป็นลักษณะการเคลื่อนที่แบบวงกลม

- ก. มีความเร็วในทิศเดียวกับรัศมีวงกลม
- ข. มีความเร็วคงที่ตลอดการเคลื่อนที่
- ค. มีการเคลื่อนที่ซ้ำรอยเดิมเป็นรอบ
- ง. มีการเคลื่อนที่ซ้ำเดิมกลับไปกลับมา

4. (2) ข้อใดเป็นตัวอย่างของการเคลื่อนที่แบบวงกลม

- ก. การแกว่งของลูกตุ้มนาฬิกา
- ข. นักกีฬาวิ่งแข่งขัน 400 เมตร
- ค. เด็กเล่นเรือไวคิง
- ง. รถไถลออกนอกโค้ง

5. (2) ข้อใดไม่จัดเป็นการเคลื่อนที่แบบวงกลม

- ก. รถแข่งแล่นเข้าโค้ง
- ข. ผูกมะนาวด้วยเชือกแล้วแกว่งเป็นวงกลมในแนวระดับ
- ค. ผูกมะนาวด้วยเชือกแล้วแกว่งเป็นวงกลมในแนวตั้ง
- ง. โลกหมุนรอบตัวเอง

6. (3) ในการทดลองแกว่งวัตถุ 2 ครั้งด้วยอัตราเร็วต่างกัน โดยครั้งแรกมีอัตราเร็วมากกว่าครั้งที่ 2 ข้อใดถูกต้อง
- ก. แรงดึงในเส้นเชือกทั้ง 2 ครั้งไม่ต่างกัน
 - ข. แรงดึงในเส้นเชือกครั้งแรกมากกว่าครั้งที่ 2
 - ค. แรงดึงในเส้นเชือกครั้งแรกน้อยกว่าครั้งที่ 2
 - ง. แรงดึงในเส้นเชือกไม่มีความสัมพันธ์กับอัตราเร็ว
7. (4) วัตถุหนึ่งแกว่งเป็นวงกลมในแนวระดับด้วยอัตรา 20 วินาทีต่อ 5 รอบ วัตถุนี้มีความถี่เท่าใด
- ก. 0.25 Hz
 - ข. 0.50 Hz
 - ค. 2.00 Hz
 - ง. 4.00 Hz
8. (4) วัตถุหนึ่งเคลื่อนที่ด้วยอัตรา 10 รอบในเวลา 5 วินาที วัตถุนี้มีคาบการเคลื่อนที่เป็นเท่าใด
- ก. 0.5 s
 - ข. 1.0 s
 - ค. 1.5 s
 - ง. 2.0 s
9. (4) วัตถุหนึ่งเคลื่อนที่เป็นวงกลมด้วยรัศมี 7 เมตร โดยมีคาบการเคลื่อนที่เป็น 2 วินาทีต่อรอบ วัตถุนี้จะมีอัตราเร็วเชิงเส้นเป็นเท่าไร
- ก. 11 m/s
 - ข. 22 m/s
 - ค. 33 m/s
 - ง. 44 m/s
10. (4) วัตถุหนึ่งเคลื่อนที่เป็นวงกลมรัศมี 7 เมตรด้วยอัตรา 0.5 รอบต่อวินาที จงหาความเร่งสู่ศูนย์กลางของวัตถุนี้
- ก. 59.14 m/s^2
 - ข. 69.14 m/s^2
 - ค. 79.14 m/s^2
 - ง. 89.14 m/s^2

11. (4) ในการขับรถยนต์เข้าโค้งรัศมี 100 เมตร กับ 500 เมตร ด้วยอัตราเร็วเท่ากัน ข้อใดถูกต้อง
- ก. ใช้แรงเข้าสู่ศูนย์กลางไม่ต่างกัน
 - ข. เข้าโค้งรัศมี 100 เมตรใช้แรงสู่ศูนย์กลางมากกว่า
 - ค. เข้าโค้งรัศมี 500 เมตรใช้แรงสู่ศูนย์กลางมากกว่า
 - ง. สรุปไม่ได้
12. (4) จากสูตร $\tan \theta = \frac{v^2}{rg}$ ข้อใดถูกต้อง
- ก. เป็นค่า $\tan$ ของมุมที่ผู้ขับรถเอียงท่ามกับแนวระดับ
 - ข. เป็นค่า $\tan$ ของมุมที่ผู้ขับรถเอียงท่ามกับแนวตั้ง
 - ค. เป็นค่า $\tan$ ของมุมที่ทำถนนยกเอียงขึ้น
 - ง. ข. และ ค. ถูกต้อง
13. (4) วัตถุหนึ่งเคลื่อนที่เป็นวงกลมโดยมีอัตราเร็วเชิงมุม 2 เรเดียนต่อวินาที ถ้ามีรัศมีการเคลื่อนที่เป็น 4 เมตร จะมีอัตราเร็วเชิงเส้นเป็นเท่าใด
- ก. 0.5 m/s
 - ข. 2 m/s
 - ค. 4 m/s
 - ง. 8 m/s
14. (4) วัตถุหนึ่งเคลื่อนที่แบบวงกลมด้วยรัศมี 4 เมตร ถ้าวัตถุนี้มีอัตราเร็วเชิงมุม 4 เรเดียนต่อวินาที จะมีความเร่งสู่ศูนย์กลางเป็นเท่าไร
- ก. 4 m/s^2
 - ข. 16 m/s^2
 - ค. 64 m/s^2
 - ง. 256 m/s^2
15. (4) วัตถุหนึ่งมีมวล 2 กิโลกรัม เคลื่อนที่แบบวงกลมด้วยรัศมี 3 เมตร โดยมีอัตราเร็วเชิงมุม 4 เรเดียนต่อวินาที จะมีแรงสู่ศูนย์กลางเท่าใด
- ก. 24 N
 - ข. 48 N
 - ค. 96 N
 - ง. 108 N

แบบทดสอบหลังเรียน
เรื่อง การเคลื่อนที่แบบวงกลม

1. (1) การเคลื่อนที่แบบวงกลม ความเร็วของวัตถุมีทิศทางใด

- ก. ทิศความเร็วทิศเดียวกับรัศมีวงกลม
- ข. ทิศความเร็วเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา
- ค. ทิศความเร็วขนานกับเส้นรอบวง
- ง. ทิศความเร็วคงเดิม

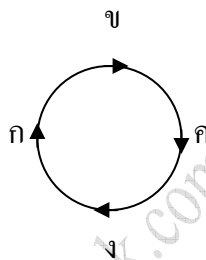
2. (1) จากรูป เมื่อวัตถุเคลื่อนที่มาถึงตำแหน่ง ข ปรากฏว่าเชือกขาด วัตถุจะเคลื่อนที่ต่อไปตามเส้นทางใด

ก. 

ข. 

ค. 

ง. 



3. (1) ข้อใดเป็นลักษณะการเคลื่อนที่แบบวงกลม

- ก. การเคลื่อนที่ซ้ำเดิมกลับไปกลับมา
- ข. มีการเคลื่อนที่ซ้ำรอบเดิมเป็นรอบ
- ค. มีความเร็วคงที่ตลอดการเคลื่อนที่
- ง. มีมีความเร็วในทิศเดียวกับรัศมีวงกลม

4. (2) ข้อใดเป็นตัวอย่างของการเคลื่อนที่แบบวงกลม

- ก. รถไถลออกนอกโค้ง
- ข. เด็กเล่นเรือไวคิง
- ค. นักกีฬาวิ่งแข่งขัน 400 เมตร
- ง. การแกว่งของลูกตุ้มนาฬิกา

5. (2) ข้อใดไม่จัดเป็นการเคลื่อนที่แบบวงกลม

- ก. โลกหมุนรอบตัวเอง
- ข. ผูกมะนาวด้วยเชือกแล้วแกว่งเป็นวงกลมในแนวดิ่ง
- ค. ผูกมะนาวด้วยเชือกแล้วแกว่งเป็นวงกลมในแนวระดับ
- ง. รถแข่งแล่นเข้าโค้ง

6. (3) ในการทดลองแกว่งวัตถุ 2 ครั้งด้วยอัตราเร็วต่างกัน โดยครั้งแรกมีอัตราเร็วมากกว่าครั้งที่ 2 ข้อใดถูกต้อง
- ก. แรงดึงในเส้นเชือกไม่มีความสัมพันธ์กับอัตราเร็ว
 - ข. แรงดึงในเส้นเชือกครั้งแรกน้อยกว่าครั้งที่ 2
 - ค. แรงดึงในเส้นเชือกครั้งแรกมากกว่าครั้งที่ 2
 - ง. แรงดึงในเส้นเชือกทั้ง 2 ครั้งไม่ต่างกัน
7. (4) วัตถุหนึ่งแกว่งเป็นวงกลมในแนวระดับด้วยอัตรา 20 วินาทีต่อ 5 รอบ วัตถุนี้มีความถี่เท่าใด
- ก. 4.00 Hz
 - ข. 2.00 Hz
 - ค. 0.50 Hz
 - ง. 0.25 Hz
8. (4) วัตถุหนึ่งเคลื่อนที่ด้วยอัตรา 10 รอบในเวลา 5 วินาที วัตถุนี้มีคาบการเคลื่อนที่เป็นเท่าใด
- ก. 2.0 s
 - ข. 1.5 s
 - ค. 1.0 s
 - ง. 0.5 s
9. (4) วัตถุหนึ่งเคลื่อนที่เป็นวงกลมด้วยรัศมี 7 เมตร โดยมีคาบการเคลื่อนที่เป็น 2 วินาทีต่อรอบ วัตถุนี้จะมีอัตราเร็วเชิงเส้นเป็นเท่าไร
- ก. 44 m/s
 - ข. 33 m/s
 - ค. 22 m/s
 - ง. 11 m/s
10. (4) วัตถุหนึ่งเคลื่อนที่เป็นวงกลมรัศมี 7 เมตรด้วยอัตรา 0.5 รอบต่อวินาที จงหาความเร่งสู่ศูนย์กลางของวัตถุนี้
- ก. 89.14 m/s^2
 - ข. 79.14 m/s^2
 - ค. 69.14 m/s^2
 - ง. 59.14 m/s^2

11.(4) ในการขับรถยนต์เข้าโค้งรัศมี 100 เมตร กับ 500 เมตร ด้วยอัตราเร็วเท่ากัน ข้อใดถูกต้อง

- ก. เข้าโค้งรัศมี 100 เมตรใช้แรงสู่ศูนย์กลางมากกว่า
- ข. เข้าโค้งรัศมี 500 เมตรใช้แรงสู่ศูนย์กลางมากกว่า
- ค. ใช้แรงเข้าสู่ศูนย์กลางไม่ต่างกัน
- ง. สรุปไม่ได้

12.(4) จากสูตร $\tan \theta = \frac{v^2}{rg}$ ข้อใดถูกต้อง

- ก. เป็นค่า $\tan$ ของมุมที่ทำถนนยกเอียงขึ้น
- ข. เป็นค่า $\tan$ ของมุมที่ผู้ขับรถเอียงทำมุมกับแนวระดับ
- ค. เป็นค่า $\tan$ ของมุมที่ผู้ขับรถเอียงทำมุมกับแนวตั้ง
- ง. ก. และ ค. ถูกต้อง

13.(4) วัตถุหนึ่งเคลื่อนที่เป็นวงกลมโดยมีอัตราเร็วเชิงมุม 2 เรเดียนต่อวินาที ถ้ามีรัศมีการเคลื่อนที่เป็น 4 เมตร จะมีอัตราเร็วเชิงเส้นเป็นเท่าใด

- ก. 8 m/s
- ข. 4 m/s
- ค. 2 m/s
- ง. 0.5 m/s

14.(4) วัตถุหนึ่งเคลื่อนที่แบบวงกลมด้วยรัศมี 4 เมตร ถ้าวัตถุนี้มีอัตราเร็วเชิงมุม 4 เรเดียนต่อวินาที จะมีความเร่งสู่ศูนย์กลางเป็นเท่าไร

- ก. 256 m/s^2
- ข. 64 m/s^2
- ค. 16 m/s^2
- ง. 4 m/s^2

15.(4) วัตถุหนึ่งมีมวล 2 กิโลกรัม เคลื่อนที่แบบวงกลมด้วยรัศมี 3 เมตร โดยมีอัตราเร็วเชิงมุม 4 เรเดียนต่อวินาที จะมีแรงสู่ศูนย์กลางเท่าใด

- ก. 108 N
- ข. 96 N
- ค. 48 N
- ง. 24 N