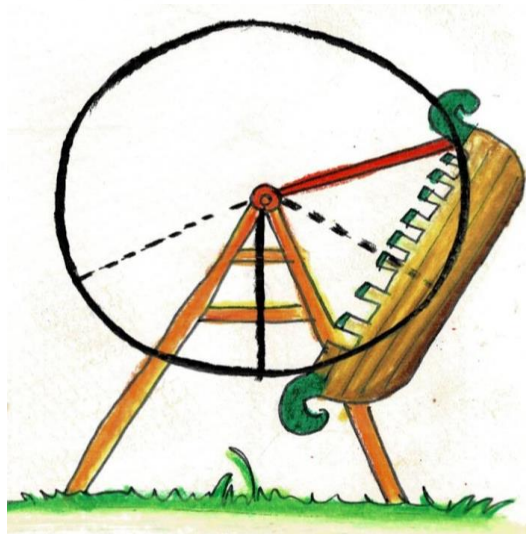


แบบฝึกทักษะ

หน่วยการเรียนรู้ที่ 1 เรื่อง การเคลื่อนที่
ชุดที่ 4 การเคลื่อนที่แบบวงกลม
รายวิชาฟิสิกส์พื้นฐาน (ว31105)
ระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4



นางสาวประศรี ใจสว่าง

ตำแหน่ง ครู วิทยฐานะ ครูชำนาญการ

กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์

โรงเรียนศรีตรังวิทยาคม อำเภอชุมพวง จังหวัดศรีสะเกษ

สำนักงานเขตพื้นที่การศึกษามัธยมศึกษา เขต 28

ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน

พุทธศักราช 2551



คำนำ

แบบฝึกทักษะ เรื่อง การเคลื่อนที่ รายวิชาฟิสิกส์พื้นฐาน รหัสวิชา ว31105 สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 หน่วยการเรียนรู้ที่ 1 ชุดที่ 4 การเคลื่อนที่แบบวงกลม เป็นแบบฝึกทักษะที่จัดทำขึ้นเพื่อส่งเสริมความสามารถในการเรียนรู้ของนักเรียน ตามสาระและมาตรฐานการเรียนรู้ของกลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ โดยมีการสร้างและพัฒนาตามกรอบและแนวทางของหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551 ซึ่งมีการปรับปรุงในการมุ่งเน้นรายวิชาพื้นฐานในกลุ่มที่เน้นวิทยาศาสตร์และกลุ่มที่ไม่เน้นวิทยาศาสตร์ ต่อการพัฒนาคุณภาพผู้เรียนในสาระที่ 4 แรงและการเคลื่อนที่ จะช่วยเสริมสร้างความรู้ ทักษะ/กระบวนการและยังปลูกฝังคุณลักษณะอันพึงประสงค์ที่ดีให้กับนักเรียน ซึ่งนักเรียนสามารถศึกษาเนื้อหาและประเมินผลการเรียนได้ด้วยตนเอง ตามขั้นตอนที่กำหนดไว้ได้เรียนรู้ตามความสามารถของแต่ละบุคคล

แบบฝึกทักษะ เรื่อง การเคลื่อนที่ รายวิชาฟิสิกส์พื้นฐาน รหัสวิชา ว31105 สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ประกอบด้วยแบบฝึกทักษะและคู่มือการใช้แบบฝึกทักษะ 5 เล่ม ดังนี้

ชุดที่ 1 การเคลื่อนที่แนวตรง

ชุดที่ 2 การเคลื่อนที่ด้วยความเร่งคงตัว

ชุดที่ 3 การเคลื่อนที่แบบโปรเจกไทล์

ชุดที่ 4 การเคลื่อนที่แบบวงกลม

ชุดที่ 5 การเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย

แบบฝึกทักษะชุดที่ 4 เรื่อง การเคลื่อนที่แบบวงกลม เล่มนี้ คงจะเป็นประโยชน์ต่อผู้นำไปใช้ในการจัดการเรียนการสอนวิชาฟิสิกส์พื้นฐาน รหัสวิชา ว31105 สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 สำหรับกลุ่มนักเรียนที่เน้นวิทยาศาสตร์และกลุ่มที่ไม่เน้นวิทยาศาสตร์

ผู้จัดทำหวังเป็นอย่างยิ่งว่าผู้เรียนจะมีความรู้ ความเข้าใจในการคำนวณ สามารถแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์ได้อย่างถูกต้อง พัฒนาทักษะกระบวนการคิดอย่างมีเหตุผล เชื่อมโยงความรู้ได้ ซึ่งเป็นพื้นฐานการคำนวณ ผู้เรียนสามารถศึกษาค้นคว้าด้วยตนเอง และนำกลับไปทบทวนฝึกฝนด้วยตนเองที่บ้านโดยไม่จำกัดเวลา เป็นสื่อการเรียนรู้ที่มีประสิทธิภาพ สามารถอำนวยความสะดวกต่อการจัดการเรียนการสอนให้บรรลุวัตถุประสงค์ของหลักสูตรและส่งผลต่อการพัฒนาผู้เรียน ได้อย่างมีประสิทธิภาพได้



ประศรี ใจสว่าง

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
คำนำ.....	ก
สารบัญ.....	๒
คำชี้แจงเกี่ยวกับแบบฝึกทักษะ.....	1
คำแนะนำสำหรับนักเรียน.....	3
บทบาทของนักเรียน.....	4
แผนผังลำดับการใช้แบบฝึกทักษะ.....	5
ตัวชี้วัด.....	6
สาระสำคัญ/สาระการเรียนรู้.....	7
แบบทดสอบก่อนเรียน.....	8
กระดาษคำตอบแบบทดสอบก่อนเรียน.....	10
ใบความรู้.....	11
ขั้นตอนการแก้โจทย์ปัญหา.....	30
กิจกรรมการทดลอง.....	31
แบบฝึกทักษะ.....	33
แบบทดสอบหลังเรียน.....	36
กระดาษคำตอบแบบทดสอบหลังเรียน.....	38
บรรณานุกรม.....	39
ภาคผนวก.....	40
เฉลยแบบฝึกทักษะ.....	41
ตารางบันทึกคะแนนแบบฝึกทักษะ.....	48
เกณฑ์การให้คะแนนแบบฝึกทักษะ.....	49
แบบบันทึกผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน.....	50



คำชี้แจง

แบบฝึกทักษะการแก้โจทย์ปัญหาวิชาฟิสิกส์พื้นฐาน เรื่อง การเคลื่อนที่ สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 จัดทำขึ้นเพื่อใช้ประกอบกิจกรรมการเรียนการสอนวิชาฟิสิกส์พื้นฐาน ว31105 จำนวนทั้งหมด 5 ชุด สำหรับชุดนี้เป็นแบบฝึกทักษะชุดที่ 4 เรื่อง การเคลื่อนที่แบบวงกลม โดยมีคำชี้แจงสำหรับครูดังนี้

1. ใช้แบบฝึกทักษะชุดที่ 4 เรื่อง การเคลื่อนที่แบบวงกลม จัดกิจกรรมการเรียนการสอนประกอบกับแผนการจัดการเรียนรู้ที่ 4

2. ครูต้องชี้แจงขั้นตอนการเรียนรู้โดยใช้แบบฝึกทักษะ ตั้งแต่ต้นจนจบให้นักเรียน เข้าใจก่อนดำเนินการกิจกรรมต่าง ๆ

3. ขณะปฏิบัติกิจกรรม ครูคอยกระตุ้นให้นักเรียนเรียนรู้อย่างตั้งใจ และเปิดโอกาส ให้นักเรียนซักถามข้อสงสัยในเนื้อหาที่ไม่เข้าใจ และครูอธิบายเพิ่มเติมอย่างใกล้ชิด

4. หากผู้เรียนบางคนเรียนไม่ทัน หรือขาดเรียน อาจมอบหมายงานหรือเอกสารให้ศึกษาเพิ่มเติมนอกเวลาได้

5. การตรวจนับคะแนนแบบทดสอบหลังเรียน ใช้เกณฑ์ร้อยละ 75 ถ้านักเรียนทำคะแนนได้น้อยกว่าร้อยละ 75 ควรให้คำแนะนำหรือจัดสอนซ่อมเสริม

แบบฝึกทักษะ เรื่อง การเคลื่อนที่ รายวิชาฟิสิกส์พื้นฐาน รหัสวิชา ว31105 สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 สำหรับนักเรียนกลุ่มที่เน้นวิทยาศาสตร์และกลุ่มที่ไม่เน้นวิทยาศาสตร์ ประกอบด้วยแบบฝึกทักษะย่อย จำนวน 5 ชุด และจำนวนชั่วโมงที่ใช้ในแต่ละชุด ดังนี้

ชุดที่ 1 การเคลื่อนที่แนวตรง	จำนวน 4 ชั่วโมง
ชุดที่ 2 การเคลื่อนที่ด้วยความเร่งคงตัว	จำนวน 4 ชั่วโมง
ชุดที่ 3 การเคลื่อนที่แบบโปรเจกไทล์	จำนวน 4 ชั่วโมง
ชุดที่ 4 การเคลื่อนที่แบบวงกลม	จำนวน 4 ชั่วโมง
ชุดที่ 5 การเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย	จำนวน 4 ชั่วโมง

แบบฝึกทักษะที่ 1 การเคลื่อนที่แนวตรง มีเอกสารและสื่อประกอบการเรียนการสอน ดังนี้



ชุดที่ 4 เรื่อง การเคลื่อนที่แบบวงกลม

1. เอกสารและสื่อประกอบการสอนสำหรับครู ดังนี้
 - แผนการจัดการเรียนรู้ จำนวน 4 ชั่วโมง
 - แบบฝึกทักษะ ชุดที่ 4 เรื่อง การเคลื่อนที่แบบวงกลม จำนวน 1 ชุด
2. เอกสารและสื่อประกอบการเรียนสำหรับนักเรียน ดังนี้
 - คำแนะนำการใช้แบบฝึกทักษะ
 - สารสำคัญ/สาระการเรียนรู้และตัวชี้วัด
 - แบบทดสอบก่อนเรียน/กระดาษคำตอบ
 - ใบความรู้
 - กิจกรรมการทดลอง
 - แบบฝึกทักษะ
 - แบบทดสอบหลังเรียน

พวกเราพร้อมที่จะศึกษาเอกสารแล้วค่ะ



คำแนะนำสำหรับนักเรียน

แบบฝึกทักษะ เรื่อง การเคลื่อนที่แบบวงกลม รายวิชาฟิสิกส์พื้นฐาน รหัสวิชา ว31105
สำหรับ นักเรียน ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ฉบับนี้ นักเรียนจะต้องศึกษาคำชี้แจงให้เข้าใจก่อนลงมือปฏิบัติ ดังนี้

1. ศึกษาคำชี้แจง บทบาทนักเรียน ขั้นตอนการเรียนรู้ สารการเรียนรู้และตัวชี้วัดให้เข้าใจ
2. ทำแบบทดสอบก่อนเรียน โดยตอบลงในกระดาษคำตอบ
3. ตรวจสอบคำตอบ
4. ศึกษาแบบฝึกทักษะและทำกิจกรรมตามขั้นตอน
5. ศึกษาใบความรู้ให้เข้าใจ
6. ทำแบบฝึกทักษะ เพื่อทดสอบความรู้ ความเข้าใจ
7. ศึกษาจากใบความรู้ แบบฝึกทักษะ เมื่อไม่เข้าใจให้ถามครูผู้สอนได้
8. ทำแบบทดสอบหลังเรียน
9. นักเรียนสามารถแสดงความคิดเห็นเกี่ยวกับแบบฝึกทักษะ เพื่อเป็นแนวทางในการปรับปรุงในเรื่องถัดไป



เข้าใจแล้วครับ

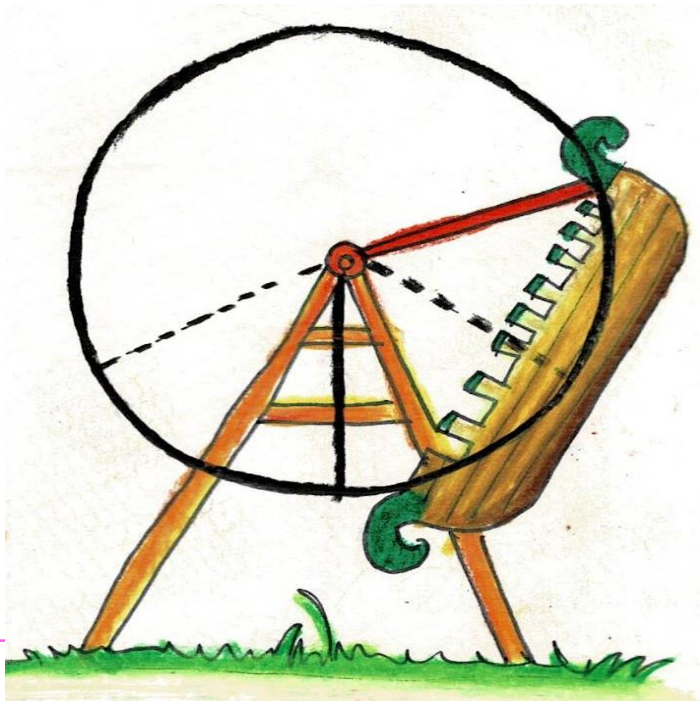
บทบาทของนักเรียน

1. นำเอกสารประกอบการเรียนการสอนที่ครูแจกให้มาใช้ในการเรียนทุกครั้ง
2. ปฏิบัติตามลำดับขั้นตอนที่ครูผู้สอนกำหนดไว้
3. ให้ความร่วมมือในการทำกิจกรรมต่างๆด้วยความสนใจและเอาใจใส่
4. เข้าเรียนสม่ำเสมอ ไม่หลบเรียน ไม่ขาดเรียน เมื่อมีเหตุสุดวิสัยต้องขาดเรียนให้ซ่อมเสริมด้วยการศึกษาเอกสารประกอบการเรียน และแหล่งเรียนรู้อื่นๆ
5. เมื่อพบปัญหาใดๆ เช่น ไม่เข้าใจในบทเรียน เรียนไม่ทันเพื่อนหรือทดสอบย่อยไม่ผ่านเกณฑ์ร้อยละ 75 ให้ไปศึกษาจากเอกสารประกอบการเรียนหรือขอคำปรึกษาและคำแนะนำจากครูผู้สอน



เข้าใจแล้วค่ะ

4



5

การเคลื่อนที่แบบวงกลม โดย ครูประศรี ใจสว่าง

ขั้นตอนการเรียนรู้ ชุดที่ 4
เรื่อง การเคลื่อนที่แบบวงกลม

1. ศึกษาคำแนะนำ

2. ทำแบบฝึกทักษะ

3. ศึกษาแบบฝึกทักษะโดยปฏิบัติกิจกรรม ดังนี้
3.1 กิจกรรมการทดลอง
3.2 ศึกษาใบความรู้
3.3 ทำแบบฝึกทักษะ

4. ทำแบบทดสอบหลังเรียน

5. ผ่านเกณฑ์ (75%)

6. ไม่ผ่านเกณฑ์ (75%)

7. ศึกษาแบบฝึกทักษะชุดต่อไป

6

การเคลื่อนที่แบบวงกลม โดย ครูประศรี ใจสว่าง

ตัวชี้วัด

- ว2.2 เข้าใจธรรมชาติของแรงในชีวิตประจำวัน ผลของแรงที่กระทำต่อวัตถุ ลักษณะการเคลื่อนที่แบบต่างๆของวัตถุ รวมทั้งนำความรู้ไปใช้ประโยชน์
- ม.4-5/5 สังเกตและอธิบายผลของความเร่งที่มีผลต่อการเคลื่อนที่แบบต่างๆของวัตถุ ได้แก่ การเคลื่อนที่แนวตรง การเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์ การเคลื่อนที่แบบวงกลมและการเคลื่อนที่แบบซิมเปิลฮาร์โมนิกอย่างง่าย

จุดประสงค์การเรียนรู้

ด้านความรู้ (K)

1. นักเรียนสามารถสังเกตและอธิบายการเคลื่อนที่แบบวงกลม
2. นักเรียนสามารถทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณต่างๆ ของการเคลื่อนที่แบบวงกลม
3. นักเรียนสามารถนำความรู้เกี่ยวกับการเคลื่อนที่แบบวงกลมไปใช้ประโยชน์ในชีวิตประจำวันได้

ด้านทักษะกระบวนการ (P)

1. ความสามารถในการสื่อสาร
 - ทักษะการเขียนรายงาน
 - ทักษะการพูด present
2. ความสามารถในการคิด
 - ทักษะการคิดวิเคราะห์
 - ทักษะการคิดสังเคราะห์
3. ความสามารถในการแก้ปัญหา
 - กระบวนการทางวิทยาศาสตร์
4. ความสามารถในการใช้ทักษะชีวิต
 - กระบวนการทำงานกลุ่ม
4. ความสามารถในการใช้เทคโนโลยี
 - ทักษะการใช้อุปกรณ์

ด้านคุณลักษณะอันพึงประสงค์ (A)

1. มีความตรงต่อเวลา
2. มีระเบียบวินัย ปฏิบัติงานได้ถูกต้อง เรียบร้อย
3. มีความรับผิดชอบ ปฏิบัติงานสำเร็จ ทันเวลา
4. มีความตั้งใจ และกระตือรือร้นในการเรียนและการทำกิจกรรม
5. ให้ความร่วมมือในการทำงานกลุ่ม



สาระสำคัญ

การเคลื่อนที่แบบวงกลม เป็นการเคลื่อนที่ที่มีทิศการเคลื่อนที่เปลี่ยนแปลงตลอดเวลา แสดงว่าความเร็วของวัตถุมีการเปลี่ยนแปลง นั่นคือ วัตถุถูกแรงมากระทำทำให้เปลี่ยนทิศทางการเคลื่อนที่ แรงดังกล่าวมีทิศพุ่งเข้าสู่ศูนย์กลาง ซึ่งเรียกว่า แรงสู่ศูนย์กลาง

สาระการเรียนรู้

การเคลื่อนที่แบบวงกลม



แบบทดสอบก่อนเรียน
เรื่อง การเคลื่อนที่แบบวงกลม
ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์

สืบค้นข้อมูล ทดลอง อธิบาย และคำนวณเกี่ยวกับการเคลื่อนที่แบบวงกลม

คำสั่ง จงเลือกกากบาท (X) ตัวเลือก ก, ข, ค และ ง ที่เห็นว่าถูกต้องที่สุด

1.จงพิจารณาข้อความต่อไปนี้

- 1) วัตถุที่เคลื่อนที่แบบวงกลม แสดงว่าวัตถุนั้นจะต้องมีการเคลื่อนแบบความเร็วไม่คงที่เสมอ
- 2) วัตถุที่เคลื่อนที่แบบวงกลม แสดงว่าวัตถุนั้นจะต้องมีแรงสู่ศูนย์กลางเสมอ
- 3) วัตถุที่เคลื่อนที่แบบวงกลม แสดงว่าวัตถุนั้นจะต้องมีความเร่งสู่ศูนย์กลางเสมอ

ข้อที่ถูกต้องคือ

- ก. ข้อ 1 และ 2 ข. ข้อ 1 และ 3 ค. ข้อ 2 และ 3 ง. ข้อ 1 , 2 และ 3

2.จงพิจารณาข้อความต่อไปนี้

- 1) ความเร็วเชิงมุม มีค่าเท่ากับ การเปลี่ยนมุมในหนึ่งหน่วยเวลา
- 2) การเคลื่อนที่แบบวงกลม ด้วยอัตราเร็วคงที่เป็นการเคลื่อนที่แบบความเร็วไม่คงที่
- 3) การเคลื่อนที่แบบวงกลม ด้วยอัตราเร็วคงที่เป็นการเคลื่อนที่แบบไม่มีความเร่ง

ข้อที่ถูกต้องคือ

- ก. ข้อ 1 และ 2 ข. ข้อ 1 และ 3 ค. ข้อ 2 และ 3 ง. ข้อ 1 , 2 และ 3

3.การเคลื่อนที่แบบวงกลมครบ 4 รอบ จะกวาดมุมรอบจุดศูนย์กลางไปได้กี่เรเดียน

- ก. 2π ข. 4π ค. 8π ง. 16π

4.จงพิจารณาข้อความต่อไปนี้ เกี่ยวกับการเคลื่อนที่แบบวงกลม

- 1) แรงสู่ศูนย์กลาง มีทิศตั้งฉากกับความเร็วตลอดการเคลื่อนที่
- 2) คาบของการเคลื่อนที่แปรผกผันกับความถี่
- 3) เมื่อวัตถุเคลื่อนที่แบบวงกลมด้วยอัตราเร็วคงที่ แสดงว่าแรงลัพธ์ที่กระทำต่อวัตถุเป็นศูนย์

ข้อที่ถูกต้องคือ

- ก. ข้อ 1 และ 2 ข. ข้อ 1 และ 3 ค. ข้อ 2 และ 3 ง. ข้อ 1 , 2 และ 3

5. แรงสู่ศูนย์กลางของรถยนต์ที่กำลังเลี้ยวโค้งบนถนนราบ ได้มาจากแรงใด

- ก. แรงโน้มถ่วงของโลก ข. แรงปฏิกิริยาของพื้นถนน
ค. แรงเสียดทานระหว่างล้อกับพื้นถนน ง. ถูกทุกข้อ

6. จงพิจารณาข้อความต่อไปนี้

1) การยกขอบถนนด้านนอกให้เอียงทำมุมกับแนวระดับมากหรือน้อย จะต้องคำนึงถึงอัตราเร็วของรถขณะเลี้ยวโค้ง และรัศมีของความโค้ง

2) ถ้าดาวเทียมโคจรรอบโลกเป็นวงกลม ดาวเทียมมีความเร็วในการเคลื่อนที่

3) ถ้าต้องการหาอัตราเร็วของดาวเทียมที่โคจรเป็นวงกลมรอบโลก จะต้องทราบมวลของดาวเทียม และรัศมีวงโคจรของดาวเทียม

ข้อที่ถูกต้องคือ

- ก. ข้อ 1 และ 2 ข. ข้อ 1 และ 3 ค. ข้อ 2 และ 3 ง. ข้อ 1, 2 และ 3

7. อนุภาคหนึ่งเคลื่อนที่เป็นวงกลมรัศมี 7 เมตร ด้วยอัตราเร็วคงที่ โดยมีคาบของการเคลื่อนที่ 16 วินาที เมื่อเวลาผ่านไป 8 วินาที อนุภาคนี้อเคลื่อนที่ได้ระยะทางกี่เมตร

- ก. 14 ข. 22 ค. 31 ง. 56

8. ลูกตุ้มมวล 1 กิโลกรัม ผูกด้วยเชือกยาว 80 เซนติเมตร เหยียงให้เคลื่อนที่เป็นวงกลมตามแนวระดับ ด้วยอัตราเร็วคงตัว เมื่อเร่งให้ลูกตุ้มมีอัตราเร็วสูงสุด จงหาว่าเชือกจะทำมุมเท่าใดกับแนวดิ่ง ถ้าเชือกทนแรงตึงได้สูงสุด 20 นิวตัน

- ก. 60° ข. 53° ค. 37° ง. 30°

9. วัตถุมวล 1 กิโลกรัม ผูกด้วยเชือกยาว 0.5 เมตร เหยียงให้วัตถุนี้อเคลื่อนที่เป็นวงกลมอยู่ในแนวระดับด้วยอัตราเร็วคงตัว เมื่อเชือกนี้ทนแรงตึงได้สูงสุด 18 นิวตัน วัตถุนี้จะมีอัตราเร็วสูงสุดกี่เมตรต่อวินาที

- ก. 2 ข. 3 ค. 5 ง. 6

10. ผูกมวล 2 กิโลกรัมกับเชือก เหยียงให้เคลื่อนที่เป็นวงกลมในระนาบดิ่ง มีรัศมีความโค้ง 1 เมตร ขณะเชือกอยู่ในแนวระดับ วัตถุนี้ออัตราเร็ว $\sqrt{5}$ เมตรต่อวินาที จงหาความเร่งของวัตถุขณะนั้นจะมีค่ากี่เมตรต่อ(วินาที)² ($g = 10 \text{ m/s}^2$)

- ก. $6\sqrt{5}$ ข. $5\sqrt{5}$ ค. $3\sqrt{5}$ ง. $2\sqrt{5}$

กระดาษคำตอบ
แบบทดสอบก่อนเรียน
เรื่อง การเคลื่อนที่แบบวงกลม
ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์

ชื่อ.....ชั้น.....เลขที่.....

คำชี้แจง ให้นักเรียนเลือกคำตอบในแบบทดสอบแล้วทำเครื่องหมาย X ลงในข้อที่ถูกต้องที่สุดเพียงข้อเดียว

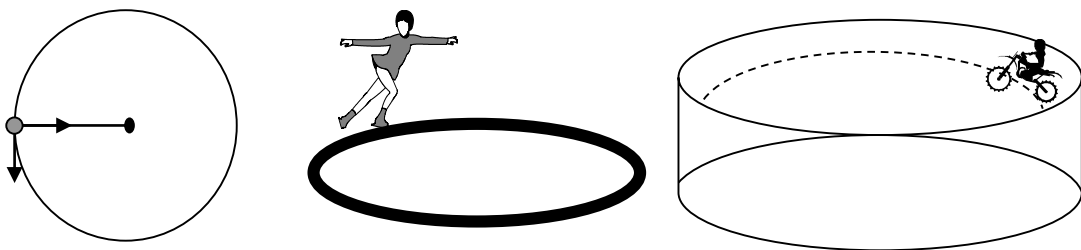
การทดสอบก่อนเรียน					
ข้อ	ก	ข	ค	ง	จ
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					

คะแนน	เต็ม	ได้
ก่อนเรียน	10	



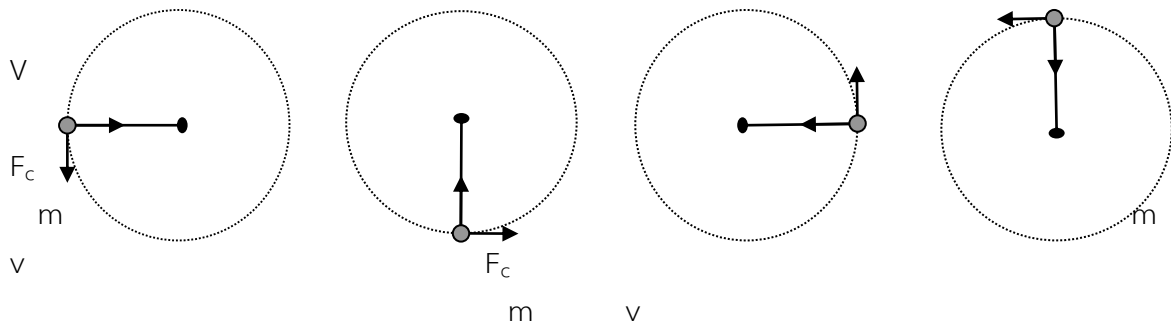
ใบความรู้ที่ 4.1
เรื่อง การเคลื่อนที่แบบวงกลม
ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์

การเคลื่อนที่เป็นแนวโค้งแบบวงกลม ถ้าเรานำเชือกผูกติดกับวัตถุแล้วแกว่ง เราจะเห็นว่าวัตถุนั้นเคลื่อนที่โค้งเป็นแนววงกลม หรือเห็นการแสดงผลมอเตอร์ไซด์ไต่ถัง รถไฟเหาะ หรือเล่นสเกตในลานสเกตที่โค้งเป็นวงกลม การเคลื่อนที่เช่นนี้ เป็นการเคลื่อนที่เป็นแบบวงกลม



รูป 1 การเคลื่อนที่แบบวงกลม

เมื่อวัตถุมวล m เคลื่อนที่เป็นวงกลม จะมีแรงกระทำต่อวัตถุ ซึ่งมีทิศเข้าหาศูนย์กลาง จะมีแรงกระทำต่อวัตถุ ซึ่งมีทิศเข้าหาศูนย์กลางของการเคลื่อนที่นั้นเสมอ เรียกว่า แรงสู่ศูนย์กลาง (centripetal force , F_c) ดังรูป 2.



รูป 2 แรงกระทำต่อวัตถุมีทิศเข้าหาศูนย์กลางการเคลื่อนที่
เมื่อมองจากตำแหน่งตั้งฉากกับระนาบการเคลื่อนที่

ในการเคลื่อนที่แบบวงกลม จะต้องมีแรงพอเหมาะกระทำกับวัตถุ จึงจะทำให้วัตถุเคลื่อนที่ในแนวโค้งของวงกลมได้ด้วยรัศมีค่าหนึ่ง และความเร็วค่าหนึ่งเท่านั้น ดังเช่น

- การขับรถยนต์ รถจักรยานยนต์ บนถนนที่โค้ง
- การเคลื่อนที่ของดาวเทียมที่โคจรรอบโลก
- การโคจรของโลกและดาวเคราะห์อื่นรอบดวงอาทิตย์

ดังนั้นการเคลื่อนที่ ต้องระวางการใช้อัตราเร็วให้เป็นไปตามที่กำหนดไว้จึงจะปลอดภัย ในการออกแบบก่อสร้างถนน จะต้องสร้างให้ถนนเอียงเข้าหาศูนย์กลางของความโค้ง เพื่อช่วยเพิ่มแรงสู่ศูนย์กลางที่กระทำกับรถ ทำให้มีความปลอดภัยในการขับขึ้นมากขึ้น

เซอร์ไอแซค นิวตัน ได้เสนอกฎแรงดึงดูดระหว่างมวล (Law of gravity) ซึ่งมีใจความว่า วัตถุทุกชนิดในเอกภพจะส่งแรงดึงดูดซึ่งกันและกัน โดยขนาดของแรงดึงดูดระหว่างมวลจะแปรผันตรงกับผลคูณระหว่างมวลของวัตถุทั้งสอง ดังนั้นจึงมีแรงดึงดูดระหว่างดวงอาทิตย์กับโลก นั่นคือขณะที่โลกโคจรรอบดวงอาทิตย์จะมีแรงโน้มถ่วงที่ดวงอาทิตย์ดึงดูดโลกซึ่งมีทิศสู่ศูนย์กลาง

การเคลื่อนที่แบบวงกลมของวัตถุทั้งหมดนี้ มีลักษณะเฉพาะคือเป็นการเคลื่อนที่ที่วัตถุจะเคลื่อนที่กลับมาซ้ำทางเดิมเสมอ ช่วงเวลาที่วัตถุใช้ในการเคลื่อนที่ครบ 1 รอบ เรียกว่า คาบ(period) ซึ่งมีหน่วยเป็นวินาที และจำนวนรอบที่วัตถุเคลื่อนที่ได้ใน 1 หน่วยเวลา เรียกว่า ความถี่ (frequency) ซึ่งมีหน่วยเป็น รอบต่อวินาที หรือ เฮิร์ตซ์ (hertz)

ความสัมพันธ์ของความถี่กับคาบเป็นดังนี้

$$f = \frac{1}{T} \quad \text{หรือ} \quad T = \frac{1}{f}$$

เมื่อ f คือ ความถี่ มีหน่วยเป็น รอบต่อวินาที
 T คือ คาบ มีหน่วยเป็น วินาที

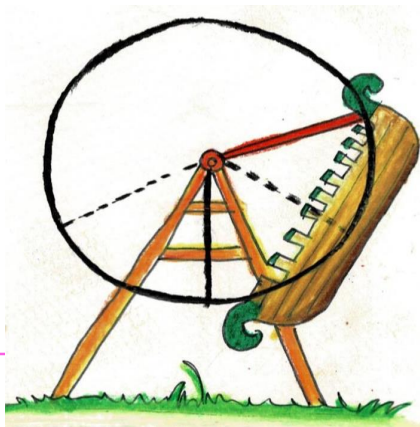
ตัวอย่าง รถมอเตอร์ไซด์ไต่ถังเคลื่อนที่รอบถัง 24 รอบ ในเวลา 4 นาที คาบและความถี่ของการเคลื่อนที่เป็นเท่าไร

วิธีทำ

จำนวนรอบที่รถมอเตอร์ไซด์ไต่ถังเคลื่อนที่รอบถังได้ขณะนั้น	24	รอบ
ใช้เวลา	4 นาที	คิดเป็น 240 วินาที

คาบของการเคลื่อนที่ (T) = $\frac{\text{เวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่}}{\text{จำนวนรอบที่เคลื่อนที่}}$ = $\frac{240}{24}$ = 10 วินาที/รอบ

ความถี่ของการเคลื่อนที่ (f) = $\frac{\text{จำนวนรอบที่เคลื่อนที่}}{\text{เวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่}}$ = $\frac{24}{240}$ = 0.1 รอบ/วินาที



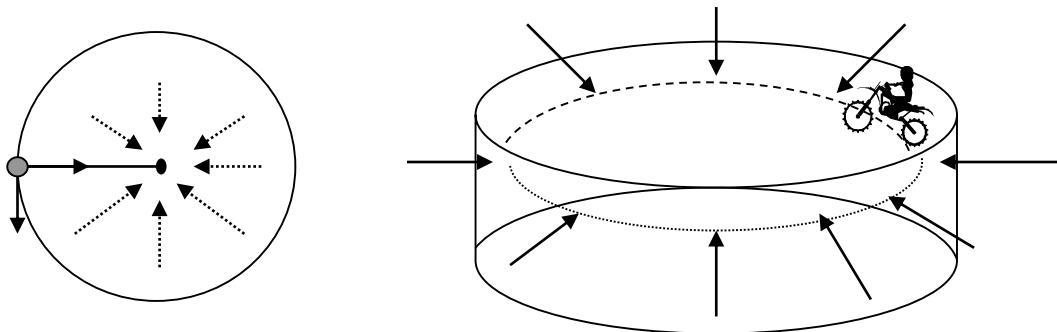
ใบความรู้ที่ 4.2
เรื่อง การเคลื่อนที่แบบวงกลม
ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์

การเคลื่อนที่แบบวงกลม

วัตถุเคลื่อนที่เป็นเส้นตรง แสดงว่ามีแรงกระทำในทิศแนวเดียวกับการเคลื่อนที่ไม่ว่าจะมีทิศทางเดียวกัน หรือตรงกันข้ามผลจะทำให้การเคลื่อนที่นั้นเคลื่อนที่เร็วขึ้นหรือช้าลง โดยแนวการเคลื่อนที่จะอยู่ในแนวเดิม (เส้นตรง)

วัตถุจะเคลื่อนที่เป็นแนวโค้งแบบโพรงโค้งโทล์ เมื่อมีแรงกระทำต่อวัตถุนั้นในแนวทำมุมใดๆกับการเคลื่อนที่ตลอดเวลา

แต่ถ้าวัตถุมีแรงกระทำต่อวัตถุนั้นในทิศทำมุม 90 องศาทิศทางการเคลื่อนที่นั้น ผลจะทำให้วัตถุนั้นเคลื่อนที่เป็นแนวโค้งแบบวงกลม วัตถุที่ถูกผูกด้วยเชือกแกว่งให้เคลื่อนที่เป็นวงกลม เราจะต้องออกแรงดึงเชือกไว้ตลอดเวลา แรงนี้จะมีทิศเข้าสู่ศูนย์กลางคือตำแหน่งที่เราจับเชือกไว้ หรือ การขับรถจักรยานยนต์ได้ไถ่ถึงเป็นวงกลม จะมีแรงจากผนังกระทำต่อรถจักรยานยนต์ตลอดเวลาในทิศตั้งฉากกับการเคลื่อนที่ และแรงจากผนังที่กระทำต่อรถจักรยานยนต์จะมีทิศเข้าสู่ศูนย์กลาง จึงเรียกรวมกันว่าแรงสู่ศูนย์กลาง ($\vec{F}_c$) ดังรูป 1.

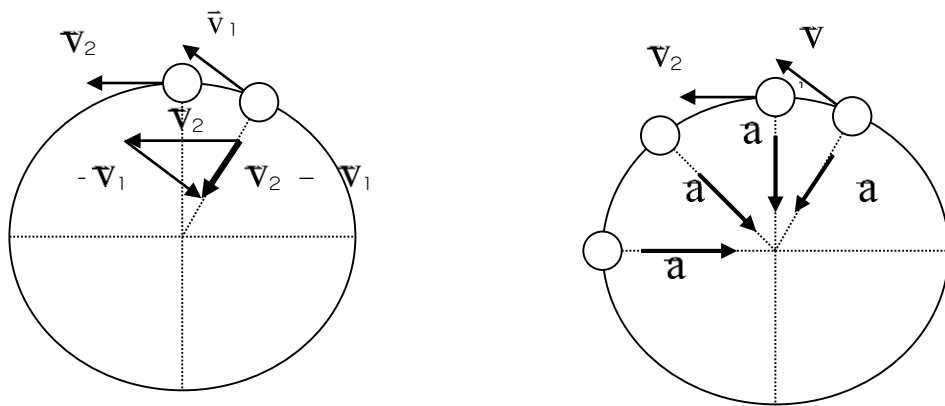


รูป 1. วัตถุที่ถูกแกว่งเป็นวงกลม และ รถจักรยานยนต์ไถ่ถึง

จากกฎการเคลื่อนที่ข้อที่ 2 ของนิวตัน วัตถุจะเปลี่ยนไปจากสภาพเดิม เมื่อมีแรงที่ไม่เท่ากับศูนย์มากระทำ แสดงว่าแรงลัพธ์ที่มากระทำต่อวัตถุที่เคลื่อนที่เป็นแนวโค้งแบบวงกลม จะต้องเป็นแรงสู่ศูนย์กลาง ดังนั้นสมการของแรงสู่ศูนย์กลางจะได้ดังนี้

$$\begin{array}{lcl} \text{จาก} & \Sigma \vec{F} & = m \vec{a} \\ \text{จะได้} & \vec{F}_c & = m \vec{a} \end{array}$$

ความเร่งที่เกิดขึ้นกับวัตถุจะมีขนาดและทิศทางเท่าไรและอย่างไร



รูป 2. แสดงทิศของความเร่งของวัตถุ ที่เคลื่อนที่แบบวงกลม

จากรูป 2. เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความเร็ว ($\mathbf{V}_2 - \mathbf{V}_1$) ในช่วงเวลา t จะเกิดความเร่งของวัตถุขึ้น โดยความเร่งจะมีทิศเข้าสู่ศูนย์กลางตลอดการเคลื่อนที่ จึงเรียกความเร่งนี้ว่า ความเร่งสู่ศูนย์กลาง ($\mathbf{a}_c$)

จะได้ $\mathbf{F}_c = m \mathbf{a}_c$ ขนาดของความเร่ง $\mathbf{a}_c$ จะหาได้ดังนี้

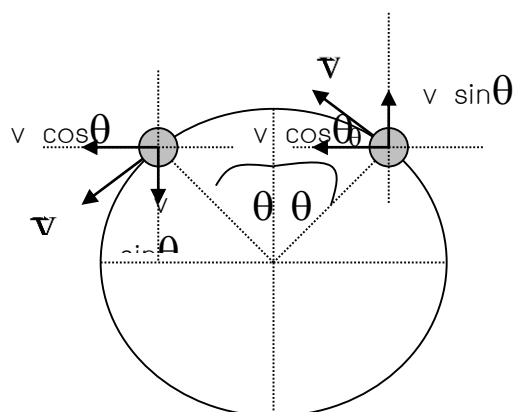
จากรูป 2. วัตถุมวล m กำลังเคลื่อนที่เป็นแนวโค้งแบบวงกลม ด้วยความเร็ว $\mathbf{v}$ ณ ตำแหน่ง A และตำแหน่ง B มีขนาดความเร็ว v เท่ากัน ใช้เวลา t รัศมีความโค้งของการเคลื่อนที่เป็น R

ระยะทางที่เคลื่อนที่ได้คือ $S = 2\theta R$

$$\text{จาก } v = \frac{S}{t} = \frac{2\theta R}{t}$$

$$t = \frac{2\theta R}{v}$$

$$\text{จาก } a = \frac{\Delta v}{t}$$



รูป 3 แสดงองค์ประกอบของความเร็ว

จากรูป 3. ในแนวแกน x จะไม่เกิดความเร่ง เนื่องจาก ขนาดและทิศทางของความเร็วไม่เปลี่ยนแปลงแต่ในแนวแกน y จะเกิดความเร่งเนื่องจากทิศทางของความเร็วเปลี่ยนไป จะได้

$$a = \frac{(v \sin \theta - (-v \sin \theta))}{\frac{2\theta R}{v}} = \frac{(2v \sin \theta)(v)}{2\theta R}$$

$$a = \frac{v^2 \sin \theta}{R \theta} \quad , \text{ เมื่อ } \theta \text{ เป็นมุมเล็กมากๆ จะได้ } \sin \theta = \theta$$

จะได้ $a = \frac{v^2}{R} \dots\dots\dots *****$

เมื่อ θ เป็นมุมเล็กมากๆ จะได้ ความเร่ง a ที่เกิดขึ้นจะอยู่ในแนวแกน y และมีทิศเข้าสู่ศูนย์กลาง ดังนั้นความเร่งนี้จึงเป็นความเร่งเข้าสู่ศูนย์กลาง $\vec{a}_c$

จะได้ $\vec{a}_c = \frac{v^2}{R} \dots\dots\dots *****$

จะได้ $\vec{F}_c = m \vec{a}_c$

$$\vec{F}_c = \frac{mv^2}{R} \dots\dots\dots *****$$



เราจะตั้งใจศึกษาด้วยตนเอง



ใบความรู้ที่ 4.3
เรื่อง การเคลื่อนที่แบบวงกลม
ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์

ปริมาณที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนที่เป็นวงกลม

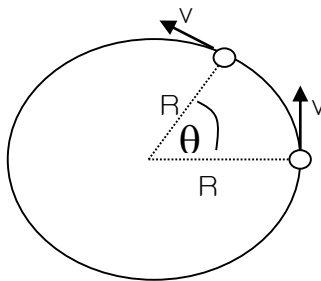
เมื่อวัตถุมีการเคลื่อนที่ สิ่งหนึ่งที่เกิดขึ้นคือ อัตราเร็ว (v) หรือ ความเร็ว ($\mathbf{V}$) ของวัตถุนั้น และการเคลื่อนที่ในแนวเชิงเส้น หรือ เรียกว่าอัตราเร็วเชิงเส้นหรือความเร็วเชิงเส้น เมื่อวัตถุได้มีการเคลื่อนที่รอบตำแหน่งใดๆ เช่นการเคลื่อนที่แบบวงกลม การแกว่งของลูกตุ้ม หรือการสั่นของสปริง การเคลื่อนที่นั้นจะทำให้ระยะทางของวัตถุเปลี่ยนไปแล้ว มุมที่เทียบกับตำแหน่งนั้นก็จะเปลี่ยนไปด้วย การเคลื่อนที่ในลักษณะที่ทำให้มุมเปลี่ยนไปนี้เรียกว่า เกิดอัตราเร็วเชิงมุมหรือความเร็วเชิงมุม ดังนั้นการเคลื่อนที่แบบวงกลมจะมีอัตราเร็วเชิงมุมและความเร็วเชิงมุมมาเกี่ยวข้อง ปริมาณนี้ในทางฟิสิกส์แทนด้วยสัญลักษณ์คือ ω (อ่านว่า โอเมก้า) เราสามารถหาขนาดของอัตราเร็วเชิงมุมได้ดังนี้

$$\omega = \frac{\theta}{t}$$

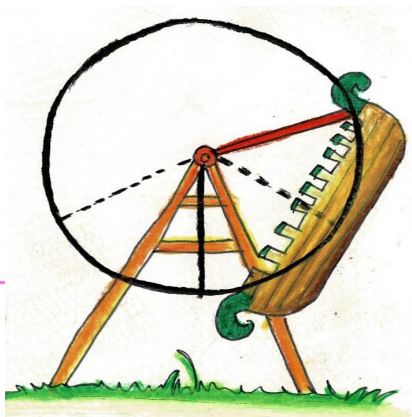
เมื่อ ω คือ อัตราเร็วเชิงมุม มีหน่วยเป็น เรเดียนต่อวินาที (rad/s)

θ คือ มุมที่เคลื่อนที่กวาดไปได้ มีหน่วยเป็น เรเดียน (rad)

t คือ เวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่ มีหน่วยเป็น วินาที (s)



รูป 4. การเคลื่อนที่ในแบบวงกลม



ความถี่ (f) ใช้กับการกระทำที่ซ้ำ หรือ ครอบรอบ ในหนึ่งหน่วยเวลา

ความถี่ คือ จำนวนครั้ง หรือ จำนวนรอบ ในหนึ่งหน่วยเวลา มีหน่วยเป็น ครั้ง (หรือรอบ) ต่อวินาที , (เฮิรตซ์)

$$f = \frac{n}{t} \quad \text{มีหน่วยเป็น ครั้ง (หรือรอบ) ต่อวินาที เรียกหน่วยนี้ว่า เฮิรตซ์ , (Hz)}$$

คาบ (T) ใช้กับ เวลา ในการกระทำสิ่งนั้นๆ หนึ่งครั้งหรือ หนึ่งรอบ

คาบ คือ เวลาที่ใช้ ในหนึ่งครั้งหรือหนึ่งรอบ

$$\text{คาบ} = \frac{\text{เวลาที่ใช้}}{\text{จำนวนครั้ง(หรือจำนวนรอบ)}} \quad \text{มีหน่วยเป็น วินาที ต่อครั้ง (หรือรอบ) , วินาที (s)}$$

$$T = \frac{t}{n} \quad \text{มีหน่วยเป็น วินาทีต่อครั้ง (หรือรอบ) เรียกหน่วยนี้ว่า วินาที (s)}$$

ความสัมพันธ์ระหว่างความถี่และคาบ

$$\text{จะได้} \quad f = \frac{1}{T} \quad \text{หรือ} \quad T = \frac{1}{f}$$

ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราเร็วเชิงเส้น (v) และอัตราเร็วเชิงมุม (ω)

การเคลื่อนที่เป็นวงกลม ระยะทางที่เคลื่อนที่ได้จะหาได้จาก

$$S = \theta R \quad \dots\dots\dots (1)$$

เมื่อ S คือ ระยะทางตามแนวเส้นรอบวงที่เคลื่อนที่ได้ มีหน่วยเป็น เมตร (m)

θ คือ มุมที่วัตถุเคลื่อนที่กวาดไปได้รอบจุดศูนย์กลาง มีหน่วยเป็น องศา หรือ เรเดียน

R คือ รัศมีของการเคลื่อนที่รอบจุดศูนย์กลาง มีหน่วยเป็น เมตร (m)

$$\text{และจากสมการ} \quad \omega = \frac{\theta}{t} \quad \dots\dots\dots (2)$$

แทนค่า θ จากสมการ (1) ในสมการ (2)

$$\text{จะได้} \quad \omega = \frac{S}{tR} \quad , \quad \text{เมื่อ} \quad (v = \frac{S}{t})$$

$$\text{จะได้} \quad \omega = \frac{v}{R}$$

$$\text{หรือ} \quad v = \omega R \quad \dots\dots\dots *****$$

ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราเร็วเชิงเส้น (v) อัตราเร็วเชิงมุม (ω) คาบ (T) และ ความถี่ (f)

จาก $\omega = \frac{\theta}{t}$

เมื่อมีการเคลื่อนที่ครบรอบ จะได้ $\theta = 2\pi$ และ $t = T$ เมื่อนำไปแทนค่าจะได้

$\omega = \frac{2\pi}{T}$ *****

หรือ $\omega = 2\pi f$ *****

และจาก $v = \omega R$

จะได้ $v = \frac{2\pi}{T} R$ *****

หรือ $v = 2\pi f R$ *****

ตัวอย่าง โลกหมุนรอบตัวเองครบ 1 รอบ ใช้เวลา 24 ชั่วโมง และรัศมีของโลกเท่ากับ 6.37×10^6 เมตร จงคำนวณหา

ก. อัตราเร็วเชิงมุมของวัตถุบนผิวโลก

ข. อัตราเร็วเชิงเส้น และขนาดของความเร่งสู่ศูนย์กลางของวัตถุที่อยู่บนเส้นศูนย์สูตรของโลก

วิธีทำ

ก. หาอัตราเร็วเชิงมุมของวัตถุบนผิวโลก

จาก $\omega = \frac{2\pi}{T}$, เมื่อ $T = 24 \times 3600 = 86400$ s

$\omega = \frac{2 \times 3.142 \text{ rad}}{86400 \text{ s}} = 7.27 \times 10^{-5} \text{ rad/s}$

ตอบ อัตราเร็วเชิงมุมของวัตถุบนผิวโลกเท่ากับ 7.27×10^{-5} เรเดียนต่อวินาที

ข. หาอัตราเร็วเชิงเส้นของวัตถุที่อยู่บนเส้นศูนย์สูตรของโลก

จาก $v = \omega R$

$v = (7.27 \times 10^{-5} \text{ rad/s}) (6.37 \times 10^6 \text{ m})$

$v = 4.63 \times 10^2 \text{ m/s}$

ตอบ อัตราเร็วเชิงเส้นของวัตถุที่อยู่บนเส้นศูนย์สูตรของโลกเท่ากับ 463 เมตรต่อวินาที

หาขนาดของความเร่งสู่ศูนย์กลางของวัตถุที่อยู่บนเส้นศูนย์สูตรของโลก

จาก $a_c = \frac{v^2}{R}$ และ $v = \omega R$

จะได้ $a_c = \omega^2 R$

$a_c = (7.27 \times 10^{-5} \text{ rad/s})^2 (6.37 \times 10^6 \text{ m})$

$a_c = 3.37 \times 10^{-2} \text{ m/s}^2$

ตอบ ขนาดของความเร่งสู่ศูนย์กลางของวัตถุที่อยู่บนเส้นศูนย์สูตรของโลก

เท่ากับ 3.37×10^{-2} เมตรต่อ(วินาที)²

ใบความรู้ที่ 4.4
เรื่อง การเคลื่อนที่แบบวงกลม
ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์

การเคลื่อนที่บนถนนโค้ง

ขณะที่รถยนต์กำลังเลี้ยวโค้ง ได้โดยที่รถยนต์ไม่ไถลออกนอกถนน เนื่องจากมีแรงเสียดทานระหว่างพื้นถนนกับยางรถ และแรงนี้จะมีทิศเข้าสู่ศูนย์กลางความโค้งของถนน แรงสู่ศูนย์กลางนี้จะมีค่าจำกัด ขึ้นอยู่กับ รัศมีความโค้งของถนน อัตราเร็วที่รถวิ่ง เมื่อฝนตกถนนลื่น แรงเสียดทาน(แรงสู่ศูนย์กลาง)จะลดลง ดังนั้นอัตราเร็วของรถยนต์จึงควรลดลงด้วย เพื่อป้องกันการเกิดอุบัติเหตุ

ตัวอย่าง รถยนต์มวล 1,000 กิโลกรัม แล่นด้วยอัตราเร็ว 60 กิโลเมตรต่อชั่วโมง เลี้ยวโค้งบนถนนที่มีผิวอยู่ในแนวระดับและมีทางโค้ง 2 โค้ง ซึ่งมีรัศมีความโค้ง 100 เมตร และ 500 เมตร ตามลำดับ

- 1.แรงสู่ศูนย์กลางที่กระทำต่อรถยนต์ในแต่ละกรณีมีค่าเท่าใด
- 2.ถ้าแรงเสียดทานที่พื้นถนนกระทำกับยางรถในทิศเข้าสู่ศูนย์กลางมีค่าสูงสุดเท่ากับ 1,000 นิวตัน จะมีผลอย่างไรต่อการเลี้ยวโค้งของรถยนต์ทั้งสองกรณี

วิธีทำ 1.แรงสู่ศูนย์กลางที่กระทำต่อรถยนต์ในแต่ละกรณีมีค่าเท่าใด
กรณีที่ถนนระดับมีรัศมีความโค้ง 100 เมตร

$$\begin{aligned}\text{จาก } \vec{F}_c &= \frac{mv^2}{R} \\ F_c &= \frac{(1,000 \text{ kg}) \left(\frac{60 \times 10^3}{3600} \text{ m/s} \right)^2}{100 \text{ m}} \\ F_c &= 2,778 \text{ N}\end{aligned}$$

ตอบ แรงสู่ศูนย์กลางที่กระทำต่อรถยนต์กรณีที่ดินระดับมีรัศมีความโค้ง 100 เมตร เท่ากับ 2,778 นิวตัน

กรณีที่ถนนระดับมีรัศมีความโค้ง 500 เมตร

$$\begin{aligned}\text{จาก } \vec{F}_c &= \frac{mv^2}{R} \\ F_c &= \frac{(1,000 \text{ kg}) \left(\frac{60 \times 10^3}{3600} \text{ m/s} \right)^2}{500 \text{ m}} \\ F_c &= 555.6 \text{ N}\end{aligned}$$

ตอบ แรงสู่ศูนย์กลางที่กระทำต่อรถยนต์กรณีที่ดินระดับมีรัศมีความโค้ง 500 เมตร เท่ากับ 555.6 นิวตัน

2. เนื่องจากแรงสู่ศูนย์กลางที่กระทำต่อรถยนต์มีค่าสูงสุด 1,000 นิวตัน รถยนต์จะต้องเลี้ยวโค้งด้วยแรงสู่ศูนย์กลางที่น้อยกว่าหรือเท่ากับแรงสู่ศูนย์กลางสูงสุดจึงจะเลี้ยวโค้งได้อย่างปลอดภัย

ตอบ กรณีที่รัศมีของทางโค้ง 100 เมตร ต้องใช้แรงสู่ศูนย์กลางถึง 2,778 นิวตัน ดังนั้นรถยนต์จึงไม่สามารถเลี้ยวโค้งได้ เป็นเหตุให้รถไถลออกนอกถนน แต่กรณีที่รัศมีของทางโค้ง 500 เมตรจะใช้แรงสู่ศูนย์กลางเพียง 555.6 นิวตัน ดังนั้นรถยนต์จึงสามารถเลี้ยวโค้งได้อย่างปลอดภัย

การเลี้ยวโค้งบนถนนระดับของรถจักรยานยนต์หรือรถจักรยาน

ขณะที่เล่นบนถนนระดับ จะมีแรงกระทำต่อรถกับคนมากมายรวมทั้งแรงเสียดทานที่กระทำที่ล้อให้รถเคลื่อนที่ไปข้างหน้าได้ ยังมี mg คือ น้ำหนักของรถและคน , N คือ แรงที่พื้นกระทำต่อรถและคน ในขณะที่เล่นในแนวตรง และ f คือ แรงเสียดทานที่พื้นถนนกระทำกับด้านข้างของล้อรถในทิศเข้าหาจุดศูนย์กลาง , R คือ แรงลัพธ์ของแรง f และ N เมื่อเล่นในแนวโค้งหรือเอียงพิจารณาจากรูปต่อไปนี้

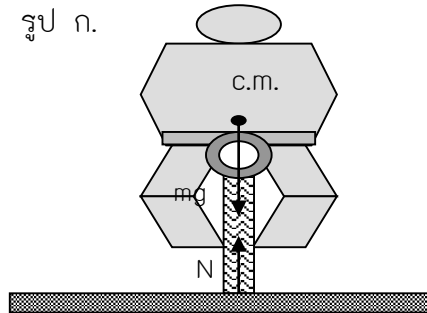
จากรูป 5 ก. พิจารณาขณะที่เล่นในแนวตรงบนถนนระดับ จะมีแรงกระทำต่อรถจักรยานยนต์หรือรถจักรยาน คือ น้ำหนัก mg ของรถและคน , แรง N ที่พื้นกระทำต่อรถและคน โดยแนวของแรงทั้งสอง จะผ่านจุดศูนย์กลางมวลรวมของรถและคนอยู่ในแนวตั้ง ทำให้รถไม่มีโมเมนต์ของแรงเกิดขึ้นที่รถ จึงทำให้รถไม่ล้ม

จากรูป 5 ข. พิจารณาขณะที่เล่นในแนวโค้งและเอียงรถบนถนนระดับ จะมีแรงกระทำต่อรถจักรยานยนต์หรือรถจักรยาน คือ น้ำหนัก mg ของรถและคน , แรง N ที่พื้นกระทำต่อรถและคน และ แรงเสียดทาน f ที่พื้นถนนกระทำกับด้านข้างของล้อรถในทิศเข้าหาจุดศูนย์กลาง เป็นผลให้เกิดแรงลัพธ์ R ของแรง f และ N เมื่อเล่นในแนวโค้ง รถจึงจำเป็นต้องเอียง เพื่อให้แรงลัพธ์ R ผ่านจุดศูนย์กลางมวลรวมของรถและคน ทำให้รถไม่มีโมเมนต์ของแรงเกิดขึ้นที่รถ จึงทำให้รถไม่ล้ม

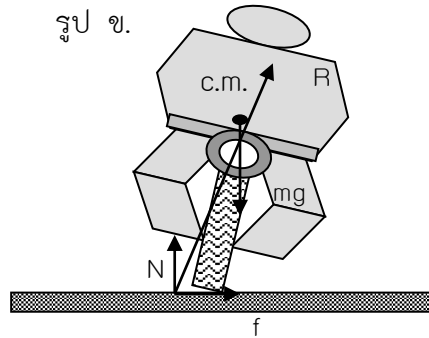
จากรูป 5 ค. พิจารณาขณะที่เล่นในแนวโค้งและไม่เอียงรถ บนถนนระดับ จะมีแรงกระทำต่อรถจักรยานยนต์หรือรถจักรยาน คือ น้ำหนัก mg ของรถและคน , แรง N ที่พื้นกระทำต่อรถและคน และ แรงเสียดทาน f ที่พื้นถนนกระทำกับด้านข้างของล้อรถในทิศเข้าหาจุดศูนย์กลาง เป็นผลให้เกิดแรงลัพธ์ R ของแรง f และ N เมื่อเล่นในแนวโค้ง เมื่อไม่เอียงรถ แรงลัพธ์ R ก็จะไม่ผ่านจุดศูนย์กลางมวลรวมของรถและคน ทำให้รถมีโมเมนต์ของแรงเกิดขึ้นที่รถ จึงทำให้รถล้ม



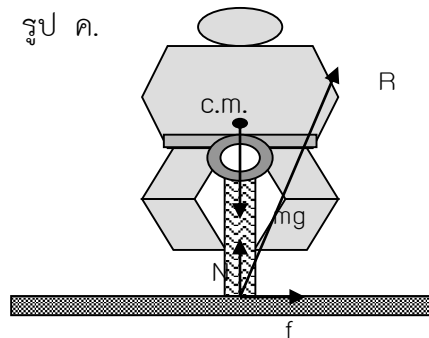
รูป ก.



รูป ข.



รูป ค.

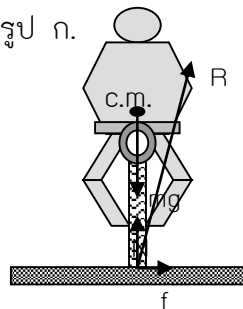


รูป 5. แสดงแรงกระทำต่อรถจักรยานยนต์

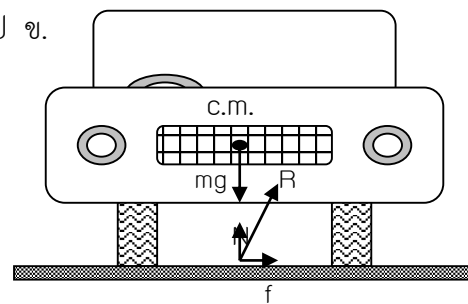
การยกขอบถนนโค้ง

เพื่อให้การเลี้ยวโค้งปลอดภัยขึ้น ด้วยความเร็วที่แตกต่างจากถนนโค้งในแนวระดับ โดยมีหลักให้แรงลัพธ์ R ผ่านจุดศูนย์กลางมวลรวมของรถและคน ทำให้รถไม่มีโมเมนต์ของแรงเกิดขึ้นที่รถ พิจารณาจากรูปต่อไปนี้

รูป ก.



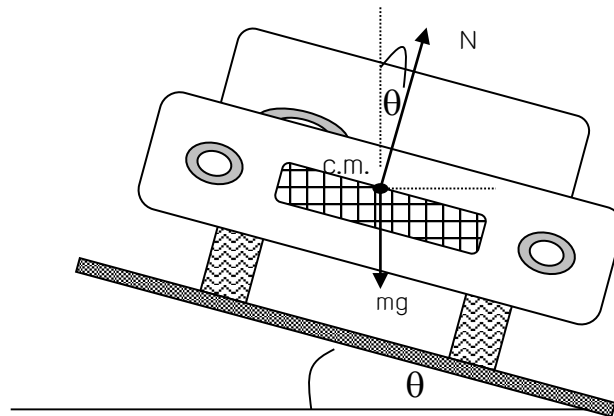
รูป ข.



รูป 6. แรงกระทำต่อรถขณะที่กำลังแล่นเลี้ยวโค้งบนถนนพื้นระดับ

จากรูป 6 ก. และ รูป 6 ข. เมื่อเล่นบนถนนโค้งแล้วไม่มีการเอียงรถ แรงลัพธ์ จะไม่ผ่านจุดศูนย์กลางมวลรวมของรถและคน ทำให้รถมีโมเมนต์ของแรงเกิดขึ้นที่รถ จึงทำให้รถล้มหรือพลิกคว่ำได้

ดังนั้นวิศวกรจึงออกแบบถนนโดยการยกขอบถนนโค้ง เพื่อให้รถเล่นด้วยความปลอดภัยด้วยความเร็วที่เป็นไปได้ โดยไม่อาศัยแรงเสียดทาน $\vec{f}$ ยกเว้นรถเล่นด้วยอัตราเร็วที่ไม่พอตีสรถจึงจะอาศัยแรงเสียดทาน $\vec{f}$ ช่วย



รูป 7. แรงกระทำต่อรถขณะที่กำลังเล่น
เลี้ยวโค้งบนถนนเอียงทำมุมพื้นระดับ

จากรูป 7. เมื่อยกขอบถนน เมื่อเล่นด้วยอัตราเร็วที่เป็นไปได้ จะไม่มีแรงเสียดทาน $\vec{f}$ ที่ด้านข้างของล้อรถ จะมีแรงกระทำที่รถคือ น้ำหนัก $m\vec{g}$ ของรถและคน และ แรง $\vec{N}$ ที่พื้นกระทำต่อรถและคน โดย องค์ประกอบของแรง $\vec{N}$ ที่ขนานกับพื้นระดับ (ไม่ใช่พื้นถนน) จะทำให้เกิดแรงสู่ศูนย์กลาง คือ $\vec{F}_c$ ดังนั้นเราสามารถหาความสัมพันธ์ระหว่าง ความเอียงของถนน (การยกขอบถนน) สัมพันธ์กับอัตราเร็วที่เป็นไปได้ดังนี้

จาก	$\vec{F}_c$	=	$\frac{mv^2}{R}$
ดังนั้น	$N \sin \theta$	=	$\frac{mv^2}{R}$
และ	$N \cos \theta$	=	mg
จะได้	$\frac{N \sin \theta}{N \cos \theta}$	=	$\frac{mv^2}{Rmg}$
	$\tan \theta$	=	$\frac{v^2}{Rg}$

สมการ $\tan\theta = \frac{v^2}{Rg}$ แสดงให้เห็นว่าในการสร้างถนนทางโค้งเอียงทำมุมกับแนวระดับนั้นต้องคำนึงถึงอัตราเร็วของรถขณะเลี้ยวและรัศมีของทางโค้งเพื่อให้การขับรถปลอดภัย

ตัวอย่าง รถยนต์คันหนึ่งแล่นด้วยอัตราเร็ว 60 กิโลเมตรต่อชั่วโมง บนถนนโค้งที่มีรัศมีความโค้ง 150 เมตร ถ้าไม่คิดแรงเสียดทาน พื้นถนนควรเอียงทำมุมเท่าไร กับแนวระดับรถจึงจะเลี้ยวได้อย่างปลอดภัย

วิธีทำ การหามุมที่พื้นถนนทำกับแนวระดับ หาได้จากสมการ

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

แทนค่า $\tan\theta = \frac{(16.67 \text{ m/s})^2}{(150 \text{ m})(9.8 \text{ m/s}^2)} = 0.189$

$$\theta = 10.5^\circ$$

คำตอบ พื้นถนนจะต้องเอียงทำมุม 10.5 องศา กับแนวระดับรถจึงจะเลี้ยวได้อย่างปลอดภัย

ตัวอย่าง รถยนต์มวล 1,550 กิโลกรัม แล่นเลี้ยวบนถนนระดับ ซึ่งมีรัศมีความโค้ง 50 เมตร ด้วยอัตราเร็ว 36 กิโลเมตรต่อชั่วโมง จงหาแรงเสียดทานระหว่างพื้นถนนกับยางรถที่มีค่าน้อยที่สุดที่ทำให้รถยนต์สามารถเลี้ยวได้อย่างปลอดภัย

วิธีทำ แรงเสียดทานระหว่างพื้นถนนกับยางรถที่มีค่าน้อยที่สุดที่ทำให้รถยนต์สามารถเลี้ยวได้ คือแรงสู่ศูนย์กลาง

$$\vec{F}_c = \frac{mv^2}{R}$$

$$F_c = \frac{(1,550 \text{ kg})(10 \text{ m/s})^2}{50 \text{ m}}$$

$$F_c = 3,100 \text{ N}$$

คำตอบ แรงเสียดทานระหว่างพื้นถนนกับยางที่มีค่าน้อยที่สุดที่ทำให้รถยนต์สามารถเลี้ยวได้อย่างปลอดภัย เท่ากับ 3,100 นิวตัน

ตัวอย่าง ถ้าแกว่งเชือกยาว L ซึ่งมีวัตถุมวล m ผูกที่ปลายให้เคลื่อนที่แบบเพนดูลัมกรวย โดยให้แนวเส้นเชือกทำมุม θ กับแนวดิ่ง รัศมีของการเคลื่อนที่แบบวงกลมเท่ากับ r และวัตถุเคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็วคงตัว v จงหามุม θ ที่เส้นเชือกทำกับแนวดิ่ง

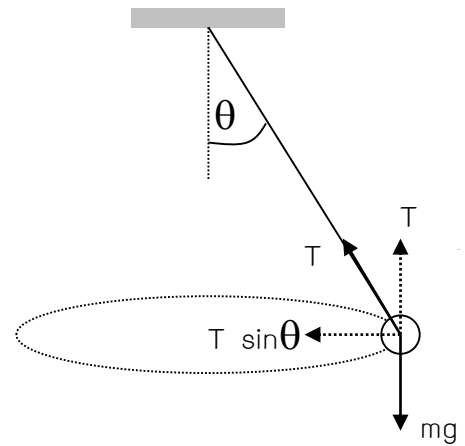
วิธีทำ ให้ T เป็นแรงตึงในเส้นเชือก แรงองค์ประกอบของ T ในแนวระดับเท่ากับ $T \sin\theta$ ซึ่งเป็นแรงสู่ศูนย์กลาง

$$\begin{aligned} \text{จาก} \quad \bar{F}_c &= \frac{mv^2}{R} \\ \text{แทนค่า} \quad T \sin \theta &= \frac{mv^2}{R} \end{aligned}$$

แรงองค์ประกอบของ T ในแนวดิ่งคือ $T \cos \theta$ ซึ่งมีขนาดเท่ากับน้ำหนัก mg แต่กระทำวัตถุในแนวตรงข้ามกัน ในสมดุล

$$\begin{aligned} T \cos \theta &= mg \\ \text{จะได้} \quad \frac{T \sin \theta}{T \cos \theta} &= \left(\frac{mv^2}{R} \right) \left(\frac{1}{mg} \right) \\ \tan \theta &= \frac{v^2}{Rg} \end{aligned}$$

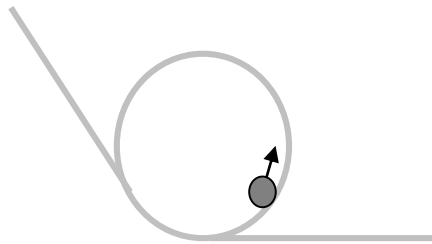
คำตอบ มุมที่เส้นเชือกทำกับแนวดิ่งเท่ากับ $\tan^{-1} \left(\frac{v^2}{Rg} \right)$



ใบความรู้ที่ 4.5
เรื่อง การเคลื่อนที่แบบวงกลม
ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์

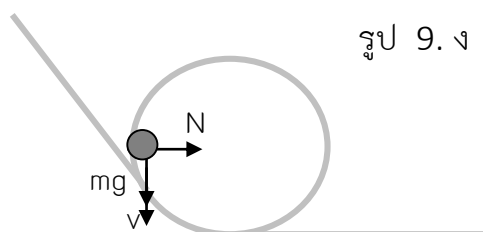
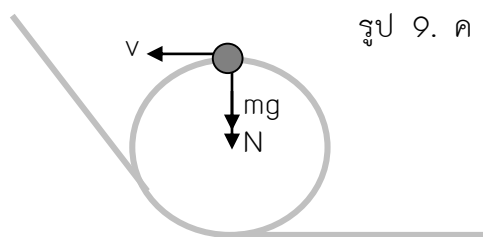
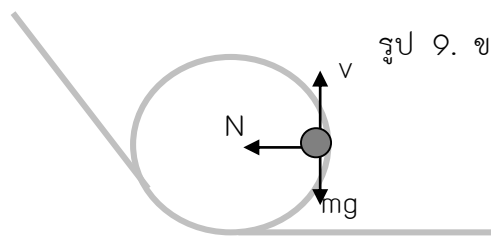
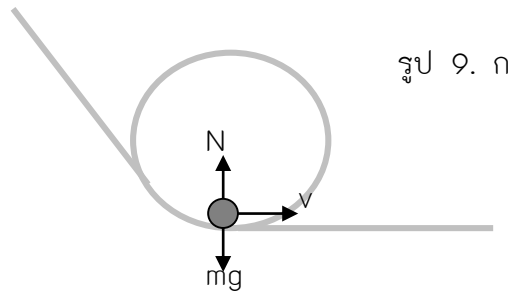
การเคลื่อนที่แบบวงกลมในระนาบตั้ง

การเคลื่อนที่แบบวงกลมในระนาบตั้ง ได้แก่ การเคลื่อนที่ของลูกกลมโลหะไปตามรางรูปวงกลมในระนาบตั้ง ทุกๆหนแห่งที่ลูกกลมโลหะเคลื่อนที่ผ่านจะมีแรงสู่ศูนย์กลางกระทำต่อลูกกลมโลหะเพื่อเปลี่ยนทิศของความเร็ว แรงสู่ศูนย์กลางมีค่าเป็นอย่างไร เมื่อลูกกลมโลหะอยู่ ณ ตำแหน่งต่างๆ ในรางรูปวงกลม ดังรูป 8. ตัวนั้นจะต้องระลึกว่าเพราะลูกกลมถูกแรงโน้มถ่วงกระทำอยู่ตลอดเวลาด้วย ผลของแรงโน้มถ่วงที่กระทำนี้ จะทำให้อัตราเร็วของการเคลื่อนที่ไม่สามารถจะรักษาให้คงตัวได้ แต่จะต้องเป็นไปตามหลักการอนุรักษ์พลังงาน ซึ่งจะได้เรียนในบทต่อไป



รูป 8. การเคลื่อนที่เป็นวงกลมใน

การคิดหาค่าแรงที่ต้องการที่จะกระทำให้อัตราเร็วคง อาจทำได้ตามหลักเกณฑ์ปกติ เช่น กรณีลูกกลมโลหะอยู่ ณ ตำแหน่งล่างสุดของรางวงกลม แรงที่รางกระทำกับวัตถุจะเป็นเท่าใด ขณะที่วัตถุมีอัตราเร็ว v แล้วรางมีรัศมีความโค้งเป็น R



รูป 9. แรงต่อการเคลื่อนที่เป็นวงกลมในระนาบตั้งที่จุดต่างๆ

ถ้าให้ F_c เป็นแรงสู่ศูนย์กลาง จากรูป 9. ก จะได้

$$\text{จาก } F_c = \frac{mv^2}{R}$$

$$\text{จะได้ } F_c = N - mg$$

แสดงว่า แรงที่รางดันลูกกลมโลหะในทิศตั้งฉากกับราง คือ N

$$\text{จะได้ } N = \frac{mv^2}{R} + mg \quad \text{*****}$$

ถ้าให้ F_c เป็นแรงสู่ศูนย์กลาง จากรูป 9. ข จะได้

$$\text{จาก } F_c = \frac{mv^2}{R}$$

$$\text{จะได้ } F_c = N$$

แสดงว่า แรงที่รางดันลูกกลมโลหะในทิศตั้งฉากกับราง คือ N

$$\text{จะได้ } N = \frac{mv^2}{R} \quad \text{*****}$$

ถ้าให้ F_c เป็นแรงสู่ศูนย์กลาง จากรูป 9. ค จะได้

$$\text{จาก } F_c = \frac{mv^2}{R}$$

$$\text{จะได้ } F_c = N + mg$$

แสดงว่า แรงที่รางดันลูกกลมโลหะในทิศตั้งฉากกับราง คือ N

$$\text{จะได้ } N = \frac{mv^2}{R} - mg \quad \text{*****}$$

ถ้าให้ F_c เป็นแรงสู่ศูนย์กลาง จากรูป 9. ง จะได้

$$\text{จาก } F_c = \frac{mv^2}{R}$$

$$\text{จะได้ } F_c = N$$

แสดงว่า แรงที่รางดันลูกกลมโลหะในทิศตั้งฉากกับราง คือ N

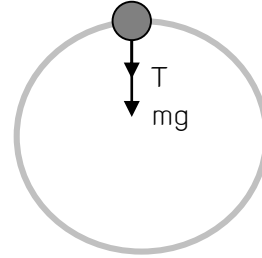
$$\text{จะได้ } N = \frac{mv^2}{R} \quad \text{*****}$$



ตัวอย่าง ผูกวัตถุมวล 1 กิโลกรัม ด้วยเส้นเชือกยาว 1 เมตร แกว่งวัตถุให้เคลื่อนที่ในแนววงกลมในระนาบตั้ง ขณะวัตถุเคลื่อนที่มาถึงตำแหน่งต่ำสุด วัตถุเคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็ว 10 เมตรต่อวินาที จงหาอัตราเร็ว ณ ตำแหน่งสูงสุด เมื่อแรงตึงในเส้นเชือกเท่ากับ 6 นิวตัน

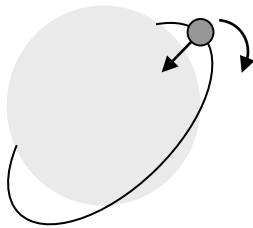
วิธีทำ อัตราเร็ว ณ ตำแหน่งสูงสุดหาได้ดังนี้

$$\begin{aligned} \text{จาก } F_c &= \frac{mv^2}{R} \\ \text{จะได้ } F_c &= T + mg \\ \text{จะได้ } T + mg &= \frac{mv^2}{R} \\ v^2 &= R(T + mg / m) = (1 \text{ kg})(6 \text{ N} + (1 \text{ kg})(10 \text{ m/s}^2)) / (1 \text{ kg}) \\ v^2 &= 16 \text{ (m/s)}^2 \\ v &= 4 \text{ m/s} \end{aligned}$$



คำตอบ อัตราเร็ว ณ ตำแหน่งสูงสุดเท่ากับ 4 เมตรต่อวินาที

การเคลื่อนที่ของดาวเทียม



รูป 10. การเคลื่อนที่ของ

ดาวเทียมที่โคจรรอบโลกมีเป็นจำนวนมาก ดาวเทียมแต่ละดวงจะทำหน้าที่ต่าง ๆ กัน เช่น ดาวเทียมอุตุนิยม ดาวเทียมสำรวจทรัพยากร ดาวเทียมสื่อสารและดาวเทียมจารกรรมทางทหาร เป็นต้น ดาวเทียมแต่ละดวงมีรัศมีวงโคจรต่างกันแต่ต่างก็เคลื่อนที่รอบโลกในแนววงกลม โดยมีแรงที่โลกดึงดูดดาวเทียมเป็นแรงสู่ศูนย์กลางกระทำต่อดาวเทียม ดาวเทียมแต่ละดวงจะเคลื่อนที่รอบโลกด้วยอัตราเร็วอย่างไร

จากรูป 10. ดาวเทียมมวล m โคจรรอบโลกด้วยอัตราเร็ว v ณ ตำแหน่งวงโคจรซึ่งห่างศูนย์กลางของโลกเป็นระยะ R ให้ M เป็นมวลของโลก F_c เป็นแรงสู่ศูนย์กลางซึ่งเป็นแรงดึงดูดที่โลกกระทำกับดาวเทียม และหาค่าของแรงนี้ได้จากกฎแรงดึงดูดระหว่างมวลของนิวตัน

$$\begin{aligned} \text{จาก } F &= \frac{GMm}{R^2} \\ \text{และ } F_c &= \frac{mv^2}{R} \\ \text{ดังนั้น } \frac{mv^2}{R} &= \frac{GMm}{R^2} \\ v^2 &= \frac{GM}{R} \end{aligned}$$

จาก $v^2 = \frac{GM}{R}$ จะเห็นว่า ดาวเทียมที่มีรัศมีวงโคจรต่างกันจะเคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็วเชิงเส้นต่างกันด้วย

การส่งดาวเทียมขึ้นไปสู่วงโคจรต่างๆ รอบโลกนั้น ได้มีการกำหนดรัศมีวงโคจรไว้ก่อน แล้วคำนวณหาแรงสู่ศูนย์กลางที่กระทำกับดาวเทียมและอัตราเร็วเชิงเส้นในวงโคจรนั้นๆ เมื่อยิงดาวเทียมขึ้นไปจนมีความสูงหรือรัศมีของการโคจรตามต้องการแล้ว จึงปรับทิศทางและอัตราเร็วของดาวเทียมเพื่อให้เข้าสู่วงโคจรรอบโลกตามที่กำหนดไว้

เมื่อส่งดาวเทียมสื่อสารจากพื้นโลก จะเห็นดาวเทียมสื่อสารอยู่ ณ ตำแหน่งเดิมตลอดเวลา ที่เป็นเช่นนี้ เพราะดาวเทียมสื่อสารมีคาบของการโคจรรอบโลกเท่ากับคาบการหมุนของโลกรอบตัวเอง หรืออัตราเร็วเชิงมุมของดาวเทียมสื่อสารเท่ากับอัตราเร็วเชิงมุมในการหมุนรอบตัวเองของโลก และการที่ดาวเทียมสื่อสารอยู่ที่ตำแหน่งเดิมโดยไม่เปลี่ยนแปลง ทำให้สถานีภาคพื้นดินและดาวเทียมสามารถติดต่อกันได้ตลอดเวลา

ตัวอย่าง โลกหมุนรอบตัวเองเท่ากับ 24 ชั่วโมง รัศมีวงโคจรรอบโลกของดาวเทียมสื่อสารจะต้องเป็นเท่าใดและมีอัตราเร็วเชิงมุมเท่าใด กำหนดให้ $G = 6.67 \times 10^{-11}$ นิวตัน (เมตร)² ต่อ (กิโลกรัม)² มวลของโลก = 5.95×10^{24} กิโลกรัม

วิธีทำ เนื่องจากคาบของดาวเทียมสื่อสารเท่ากับคาบของการหมุนรอบตัวเองของโลก

จาก $\omega = \frac{2\pi}{T}$, เมื่อ $T = 24 \times 60 \times 60 \text{ s} = 86,400 \text{ s}$

จะได้ $\omega = \frac{(2)(\frac{22}{7})}{86,400 \text{ s}} = 7.27 \times 10^{-5} \text{ rad / s} \dots\dots\dots \text{ตอบ}$

จาก $v^2 = \frac{GM}{R}$, และ $v = \omega R$

จะได้ $R^3 = \frac{GM}{\omega^2} = \frac{(6.67 \times 10^{-11} \text{ N.m}^2 / \text{kg}^2)(5.95 \times 10^{24} \text{ kg})}{(7.27 \times 10^{-5} \text{ rad/s})^2}$

$R^3 = 74848.19 \times 10^{18} \text{ m}^3$

$R = 42.14 \times 10^6 \text{ m} \dots\dots\dots \text{ตอบ}$

คำตอบ รัศมีวงโคจรรอบโลกของดาวเทียมเท่ากับ 42.14 เมตร

อัตราเร็วเชิงมุมของดาวเทียมสื่อสารเท่ากับ 7.26×10^{-5} เรเดียนต่อวินาที

ขั้นตอนการแก้โจทย์ปัญหา



ขั้นที่ 1 ทำความเข้าใจปัญหา

1. อ่านโจทย์ เขียนรูป ง่าย ๆ ประกอบ (ถ้ามี)
2. พิจารณาว่าโจทย์กำหนด ให้อะไรมา เขียนออกมาในรูปของสัญลักษณ์ของค่านั้น
3. วิเคราะห์ว่าโจทย์ต้องการ หาอะไร (คำตอบ) เขียนออกมาในรูปสัญลักษณ์ของค่านั้น



ขั้นที่ 2 วางแผนแก้ปัญหา

4. เลือกสมการ ที่สัมพันธ์กับสิ่งที่โจทย์ให้มา หรือกำหนดเขียนออกมาในรูปสัญลักษณ์ของค่านั้น



ขั้นที่ 3 ดำเนินการแก้ปัญหา

5. แก้สมการ เพื่อให้ได้คำตอบของปัญหา โดยใช้ขั้นตอนทางคณิตศาสตร์



ขั้นที่ 4 ตรวจสอบคำตอบ

6. ตรวจสอบความถูกต้องในขั้นตอนต่าง ๆ แล้ว

กิจกรรมการทดลองที่ 4
เรื่อง การเคลื่อนที่แบบวงกลม
ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์

วัสดุอุปกรณ์

1. แป้นไม้พร้อมรางโลหะ
2. ที่กั้นปิดทับด้วยกระดาษขาว และมีกระดาษคาร์บอนปิดทับกระดาษขาว
3. โลหะกลม
4. กระดาษกราฟ

วิธีทำกิจกรรม

1. เหยี่ยงจูกยงในชุดการเคลื่อนที่แบบวงกลม ให้เคลื่อนที่เหนือศีรษะ สังเกตเส้นทางการเคลื่อนที่ของจูกยง อัตราเร็วในการเคลื่อนที่ ความยาวของเชือก และแรงดึงเชือก
2. ลองเหยี่ยงจูกยงด้วยเงื่อนไขที่ต่างไปจากเดิม เช่น เหยี่ยงด้วยอัตราเร็วเพิ่มขึ้น แต่ความยาวของเชือกเท่าเดิม หรือเหยี่ยงด้วยอัตราเร็วคงตัว แต่เปลี่ยนความยาวของเชือก หรือคิดเปลี่ยนเงื่อนไขอื่น ๆ ตามความสนใจ
3. สังเกตและอธิบายเส้นทางการเคลื่อนที่ของจูกยงในแต่ละกรณี
4. นำข้อมูลมาอภิปรายในประเด็นต่อไปนี้
 - 4.1 จูกยงจะคงสภาพการเคลื่อนที่แบบวงกลมอยู่ได้ภายใต้เงื่อนไขอะไรบ้าง
 - 4.2 มีแรงดึงที่เชือกกระทำต่อจูกยงหรือไม่
 - 4.3 วิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราเร็วในการเคลื่อนที่ รัศมีการเคลื่อนที่ของจูกยงและแรงดึงเชือก
5. สรุปผลการศึกษาและนำผลการศึกษาอภิปรายหน้าชั้นเรียน

รายงานการทำกิจกรรมที่ 4
เรื่อง การเคลื่อนที่แบบวงกลม
ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์

สมาชิกในกลุ่ม

- | | |
|---------|---------|
| 1. | 4. |
| 2. | 5. |
| 3. | 6. |

จุดประสงค์การทดลอง

.....

.....

สมมติฐานการทดลอง

.....

ตัวแปรต้น.....

ตัวแปรตาม.....

อุปกรณ์.....

.....

ขั้นตอนการทำกิจกรรม

.....

.....

ผลจากการทำกิจกรรม

.....

.....

สรุปผลและอภิปราย

.....

.....

แบบฝึกทักษะที่ 4.1
เรื่อง การเคลื่อนที่แบบวงกลม
ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์

คำชี้แจง ให้นักเรียนตอบคำถามลงไปช่องว่างให้สมบูรณ์ถูกต้อง

1.การขับรถบนถนนโค้งในสภาพถนนเปียกชื้น ควรขับอย่างไรให้ปลอดภัยมากที่สุด

.....

.....

.....

2.ในการขับรถเข้าโค้ง จะมีแรงสู่ศูนย์กลางเกิดขึ้น แรงนี้มาจากไหน

.....

.....

.....

3.สภาพของยางและถนน มีความสำคัญอย่างไรกับความปลอดภัยในการขับรถยนต์และรถจักรยานยนต์

.....

.....

.....

4.ดาวเทียมที่วงโคจรใกล้หรือไกลจากโลก จะมีอัตราเร็วในการโคจรแตกต่างกัน อย่างไร

.....

.....

.....

5.มอเตอร์ไซค์ไต่ถังคันหนึ่ง เคลื่อนที่รอบถัง 4 รอบ ในเวลา 1 นาที คาบและ ความถี่ของการเคลื่อนที่เป็นเท่าใด

.....

.....

.....

แบบฝึกทักษะที่ 4.2
เรื่อง การเคลื่อนที่แบบวงกลม
ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์

ชื่อ.....ชั้น.....เลขที่.....

คำชี้แจง ให้นักเรียนแสดงวิธีทำให้สมบูรณ์ถูกต้อง

1. เด็กชายคนหนึ่งนำก้อนหินมาผูกติดกับปลายเชือกแล้วแกว่งเป็นวงกลมในแนวระดับเหนือศีรษะด้วยรัศมีวงกลม 80 เซนติเมตร หากก้อนหินแกว่งด้วยอัตราเร็วคงตัว 10 เมตร/วินาที ความเร่งสู่ศูนย์กลางของก้อนหินมีค่าเท่าไร

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

2. วัตถุมวล 10 กิโลกรัม ถูกผูกติดกับเชือกที่สามารถรับแรงดึงได้ 1500 นิวตัน ถ้าวัตถุถูกแกว่งให้เคลื่อนที่เป็นวงกลมในแนวระดับรัศมี 90 เซนติเมตร จงหาอัตราเร็วสูงสุดของวัตถุ

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

3. วัตถุมวล 10 กรัม ผูกปลายข้างหนึ่งของเชือกเบายาว 2 เมตร ถ้าจับปลายข้างหนึ่งของเชือกแล้วแกว่งให้วัตถุเคลื่อนที่เป็นวงกลมในแนวราบ โดยให้ระนาบของวงกลมทำมุม 30 องศา กับเส้นเชือก จงหาอัตราเร็วของการเคลื่อนที่ในหน่วยเมตร/วินาที

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

4. ในการแกว่งชุดการเคลื่อนที่แบบวงกลม ด้วยอัตราเร็วคงที่ ปรากฏว่าขณะเชือกทำมุม 20 องศา กับแนวระดับ ถ้าขนาดน้ำหนักของขอกีฬาและน้ำหนักที่ใช้มีค่า 1.2 นิวตัน แรงสู่ศูนย์กลางมีค่าเท่าไร กำหนดให้ $\sin 20^\circ = 0.34$, $\cos 20^\circ = 0.94$

.....

.....

.....

.....

.....

.....

5. ปล่อยมวล 5 กิโลกรัม ให้เคลื่อนที่ตามรางเหล็กที่ปลายเป็นวงกลม เป็นวงกลมรัศมี 2 เมตร จะทำให้มวลกลิ้งเคลื่อนที่เป็นวงกลมได้พอดี ตอนปล่อยมวลสูงจากพื้นดินเท่าใดในหน่วยเมตร

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

แบบทดสอบหลังเรียน
เรื่อง การเคลื่อนที่แบบวงกลม
ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์

สืบค้นข้อมูล ทดลอง อธิบาย และคำนวณเกี่ยวกับการเคลื่อนที่แบบวงกลม

คำสั่ง จงเลือกกากบาท (X) ตัวเลือก ก, ข, ค และ ง ที่เห็นว่าถูกต้องที่สุด

1.จงพิจารณาข้อความต่อไปนี้

- 1) วัตถุที่เคลื่อนที่แบบวงกลม แสดงว่าวัตถุนั้นจะต้องมีการเคลื่อนแบบความเร็วไม่คงที่เสมอ
- 2) วัตถุที่เคลื่อนที่แบบวงกลม แสดงว่าวัตถุนั้นจะต้องมีแรงสู่ศูนย์กลางเสมอ
- 3) วัตถุที่เคลื่อนที่แบบวงกลม แสดงว่าวัตถุนั้นจะต้องมีความเร่งสู่ศูนย์กลางเสมอ

ข้อที่ถูกต้องคือ

- ก. ข้อ 1 และ 2 ข. ข้อ 1 และ 3 ค. ข้อ 2 และ 3 ง. ข้อ 1 , 2 และ 3

2.จงพิจารณาข้อความต่อไปนี้

- 1) ความเร็วเชิงมุม มีค่าเท่ากับ การเปลี่ยนมุมในหนึ่งหน่วยเวลา
- 2) การเคลื่อนที่แบบวงกลม ด้วยอัตราเร็วคงที่เป็นการเคลื่อนที่แบบความเร็วไม่คงที่
- 3) การเคลื่อนที่แบบวงกลม ด้วยอัตราเร็วคงที่เป็นการเคลื่อนที่แบบไม่มีความเร่ง

ข้อที่ถูกต้องคือ

- ก. ข้อ 1 และ 2 ข. ข้อ 1 และ 3 ค. ข้อ 2 และ 3 ง. ข้อ 1 , 2 และ 3

3.การเคลื่อนที่แบบวงกลมครบ 4 รอบ จะกวาดมุมรอบจุดศูนย์กลางไปได้กี่เรเดียน

- ก. 2π ข. 4π ค. 8π ง. 16π

4.จงพิจารณาข้อความต่อไปนี้ เกี่ยวกับการเคลื่อนที่แบบวงกลม

- 1) แรงสู่ศูนย์กลาง มีทิศตั้งฉากกับความเร็วตลอดการเคลื่อนที่
- 2) คาบของการเคลื่อนที่แปรผกผันกับความถี่
- 3) เมื่อวัตถุเคลื่อนที่แบบวงกลมด้วยอัตราเร็วคงที่ แสดงว่าแรงลัพธ์ที่กระทำต่อวัตถุเป็นศูนย์

ข้อที่ถูกต้องคือ

- ก. ข้อ 1 และ 2 ข. ข้อ 1 และ 3 ค. ข้อ 2 และ 3 ง. ข้อ 1 , 2 และ 3

5. แรงสู่ศูนย์กลางของรถยนต์ที่กำลังเลี้ยวโค้งบนถนนราบ ได้มาจากแรงใด

- ก. แรงโน้มถ่วงของโลก ข. แรงปฏิกิริยาของพื้นถนน
 ค. แรงเสียดทานระหว่างล้อกับพื้นถนน ง. ถูกทุกข้อ

6. จงพิจารณาข้อความต่อไปนี้

1) การยกขอบถนนด้านนอกให้เอียงทำมุมกับแนวระดับมากหรือน้อย จะต้องคำนึงถึงอัตราเร็วของรถขณะเลี้ยวโค้ง และรัศมีของความโค้ง

2) ถ้าดาวเทียมโคจรรอบโลกเป็นวงกลม ดาวเทียมมีความเร็วในการเคลื่อนที่

3) ถ้าต้องการหาอัตราเร็วของดาวเทียมที่โคจรเป็นวงกลมรอบโลก จะต้องทราบมวลของดาวเทียม และรัศมีวงโคจรของดาวเทียม

ข้อที่ถูกตั้งคือ

- ก. ข้อ 1 และ 2 ข. ข้อ 1 และ 3 ค. ข้อ 2 และ 3 ง. ข้อ 1, 2 และ 3

7. อนุภาคหนึ่งเคลื่อนที่เป็นวงกลมรัศมี 7 เมตร ด้วยอัตราเร็วคงที่ โดยมีคาบของการเคลื่อนที่ 16 วินาที เมื่อเวลาผ่านไป 8 วินาที อนุภาคนี้อเคลื่อนที่ได้ระยะทางกี่เมตร

- ก. 14 ข. 22 ค. 31 ง. 56

8. ลูกตุ้มมวล 1 กิโลกรัม ผูกด้วยเชือกยาว 80 เซนติเมตร เหยียงให้เคลื่อนที่เป็นวงกลมตามแนวระดับ ด้วยอัตราเร็วคงตัว เมื่อเร่งให้ลูกตุ้มมีอัตราเร็วสูงสุด จงหาว่าเชือกจะทำมุมเท่าใดกับแนวดิ่ง ถ้าเชือกทนแรงตึงได้สูงสุด 20 นิวตัน

- ก. 60° ข. 53° ค. 37° ง. 30°

9. วัตถุมวล 1 กิโลกรัม ผูกด้วยเชือกยาว 0.5 เมตร เหยียงให้วัตถุนี้อเคลื่อนที่เป็นวงกลมอยู่ในแนวระดับด้วยอัตราเร็วคงตัว เมื่อเชือกนี้ทนแรงตึงได้สูงสุด 18 นิวตัน วัตถุนี้อจะมีอัตราเร็วสูงสุดกี่เมตรต่อวินาที

- ก. 2 ข. 3 ค. 5 ง. 6

10. ผูกมวล 2 กิโลกรัมกับเชือก เหยียงให้เคลื่อนที่เป็นวงกลมในระนาบดิ่ง มีรัศมีความโค้ง 1 เมตร ขณะเชือกอยู่ในแนวระดับ วัตถุนี้อมีอัตราเร็ว $\sqrt{5}$ เมตรต่อวินาที จงหาความเร่งของวัตถุขณะนั้นจะมีค่ากี่เมตรต่อ(วินาที)² ($g = 10 \text{ m/s}^2$)

- ก. $6\sqrt{5}$ ข. $5\sqrt{5}$ ค. $3\sqrt{5}$ ง. $2\sqrt{5}$

กระดาษคำตอบ
แบบทดสอบหลังเรียน
เรื่อง การเคลื่อนที่แบบวงกลม
ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์

ชื่อ.....ชั้น.....เลขที่.....

คำชี้แจง ให้นักเรียนเลือกคำตอบในแบบทดสอบแล้วทำเครื่องหมาย X ลงในข้อที่ถูกต้องที่สุดเพียงข้อเดียว

การทดสอบหลังเรียน					
ข้อ	ก	ข	ค	ง	จ
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					

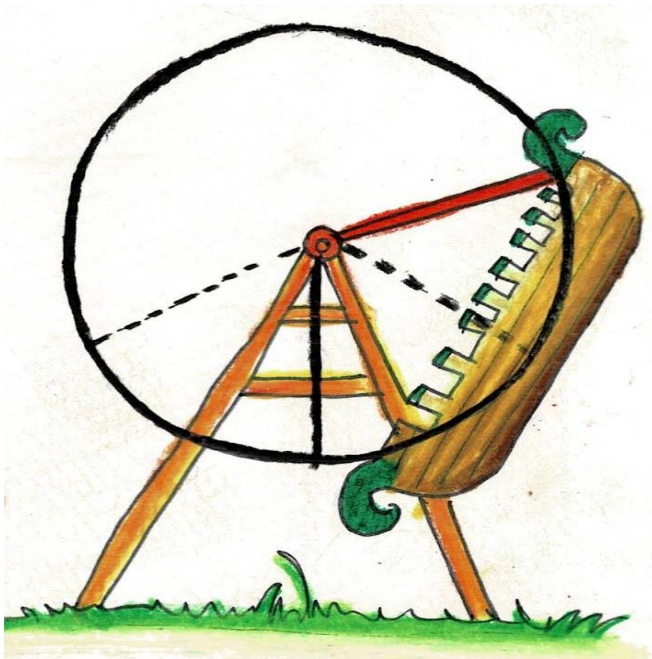
คะแนน	เต็ม	ได้
หลังเรียน	10	

บรรณานุกรม

- สำนักวิชาการและมาตรฐานการศึกษา. ตัวชี้วัดและสาระการเรียนรู้แกนกลางกลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์
ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551. กรุงเทพฯ :
- ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย, 2551.
- กฤตนิย จันทรวงศ์. (ม.ป.ป.). NEW PHYSICS TESTS FOR ENTRANCE, M.4-5-6 Book 3. กรุงเทพฯ :
SCIENCE CENTER.
- พิศิษฐ์ รัตนวรารักษ์. (ม.ป.ป.). เทคนิคคิดโจทย์ ฟิสิกส์ พิชิต Ent'ม.4-5-6. กรุงเทพฯ : ภูมิบัณฑิต.
- สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. (2546). หนังสือเรียนรู้พื้นฐานและเพิ่มเติมฟิสิกส์ เล่ม 1
ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 กรุงเทพฯ : ครูสภาลาดพร้าว.
- ธีรศานต์ ประจักษ์วิทยาภรณ์. (2537). MINI PHYSICS FOR ENTRANCE ว024 ม.6 เล่ม1.
- ธรรมสถิต ทองเจือธรรม. (ม.ป.ป.). คู่มือ-เตรียมสอบฟิสิกส์ฉบับรวม ม.4-5-6. กรุงเทพฯ :
ภูมิบัณฑิต.
- ALAN VAN HEUVELEN. (1982). PHYSICS A General Introduction. CANADA : LITTLE, BROWN &
Company
- อภิชาติ บัวนภียาพันธ์. (ม.ป.ป.). คู่มือ-เตรียมสอบ ฟิสิกส์ ม.6 เล่ม 5 ว024. กรุงเทพฯ : ภูมิบัณฑิต.
- สยามณัฐ พันธ์สรณ์. (2549). เตรียมสอบ A-NET ฟิสิกส์. กรุงเทพฯ: แม็ค.



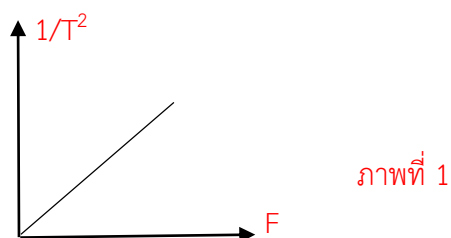
ภาคผนวก



เฉลยรายงานการทำกิจกรรมที่ 4
เรื่อง การเคลื่อนที่แบบวงกลม
ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์

อภิปรายผลท่ายกิจกรรม

จากการทำกิจกรรมสามารถเขียนกราฟความม้วนพันธ์ระหว่างขนาดของแรงดึงเชือก และส่วนกลับของคาบยกกำลังสองและกราฟความสัมพันธ์ระหว่างรัศมีการเคลื่อนที่และคาบยกกำลังสองได้ดังภาพ

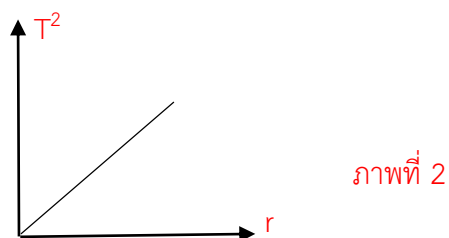


จากภาพที่ 1 พบว่าเมื่อรัศมีคงตัว ส่วนกลับของคาบยกกำลังสองจะแปรผันตามขนาดของแรงที่ใช้ดึงจูกยาง

ตารางบันทึกกิจกรรม

จำนวนน็อต	ช่วงเวลากการเคลื่อนที่ 30 รอบ (s)	คาบ T (s)	คาบยกกำลัง สอง T ² (s ²)	ส่วนกลับของ คาบยกกำลังสอง 1/T ² (s ²)
1	17	0.70	0.49	2.0
2	16	0.60	0.36	2.8
3	15	0.50	0.25	4.0
4	13	0.43	0.18	5.6
5	12	0.40	0.16	6.3
6	11	0.37	0.14	7.1

* พิจารณาตามผลการปฏิบัติกิจกรรมจริง ข้อมูลที่ได้อาจมีความคลาดเคลื่อน ขึ้นอยู่กับดุลพินิจของครูผู้สอน



จากภาพที่ 2 พบว่า เมื่อขนาดของแรงที่ใช้ดึงลูกยางคงตัว คาบยกกำลังสองจะแปรผันตรงกับรัศมีการเคลื่อนที่

ตารางบันทึกกิจกรรม

รัศมี r (m)	ช่วงเวลาการเคลื่อนที่ 30 รอบ (s)	คาบ T (s)	คาบยกกำลังสอง T^2 (s^2)
0.40	9	0.25	0.06
0.50	11	0.37	0.14
0.60	13	0.43	0.18
0.70	15	0.50	0.25
0.80	17	0.57	0.32

* พิจารณาตามผลการปฏิบัติกิจกรรมจริง ข้อมูลที่ได้อาจมีความคลาดเคลื่อน ขึ้นอยู่กับดุลพินิจของครูผู้สอน

เฉลยแบบฝึกทักษะที่ 4.1
เรื่อง การเคลื่อนที่แบบวงกลม
ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์

1. การขับรถยนต์ในโค้งในสภาพถนนเปียกเกินไป ควรขับอย่างไรให้ปลอดภัยมากที่สุด

ตอบ

การขับรถยนต์ในสภาพที่ถนนเปียกเกินไป ควรขับด้วยความเร็วต่ำกว่าความเร็วที่กำหนดในสภาพถนนแห้ง เนื่องจากความเร็วสู่ศูนย์กลางที่เกิดจากยางรถกับถนนจะมีค่าน้อยลง ถ้าขับด้วยความเร็วสูงก็จะทำให้เกิดอันตราย

2. ในการขับรถยนต์เข้าโค้ง จะมีแรงสู่ศูนย์กลางเกิดขึ้น แรงนี้มาจากไหน

ตอบ

แรงเสียดทานที่กระทำด้านข้างของล้อรถยนต์ ในทิศเข้าสู่ศูนย์กลางความโค้งของถนน จะเป็นแรงสู่ศูนย์กลาง

3. สภาพของยางและถนน มีความสำคัญอย่างไรกับความปลอดภัยในการขับรถยนต์และรถจักรยานยนต์

ตอบ

มีความสำคัญมาก ถ้ายางรถยนต์ไม่มีดอกยาง จะทำให้ไม่เกาะถนน แรงเสียดทานน้อย ซึ่งจะส่งผลต่อขนาดของแรงสู่ศูนย์กลางและการบังคับควบคุมรถในขณะที่ขับขึ้นด้วย

4. ดาวเทียมที่วงโคจรใกล้หรือไกลจากโลก จะมีอัตราเร็วในการโคจรแตกต่างกัน อย่างไร

ตอบ

โดยปกติดาวเทียมจะโคจรรอบโลกด้วยอัตราเร็วเท่ากับการหมุนรอบตัวเองของโลก เพื่อรับส่งสัญญาณให้กับพื้นที่ที่กำหนด เหนือบริเวณหนึ่งของโลกเสมอ ดังนั้น ดาวเทียมที่อยู่ไกลจากโลกมากจึงต้องเคลื่อนที่เร็วกว่าดาวเทียมที่อยู่ใกล้ เพราะระยะทางโคจรครบ 1 รอบ ของดาวเทียมที่อยู่ไกลจะมากกว่าระยะทางโคจร 1 รอบของดาวเทียมที่อยู่ใกล้ นั่นเอง

5. มอเตอร์ไซค์ใต้ถังคันหนึ่ง เคลื่อนที่รอบถัง 4 รอบ ในเวลา 1 นาที คาบและ ความถี่ของการเคลื่อนที่เป็นเท่าใด

ตอบ

คาบการเคลื่อนที่ มีค่าตามสมการ $T = \frac{60}{4} = 15 \text{ s}$ และความถี่เท่ากับ $f = \frac{4}{60} = \frac{1}{15} \text{ s}^{-1}$

เฉลยแบบฝึกทักษะที่ 4.2
เรื่อง การเคลื่อนที่แบบวงกลม
ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์

1. เด็กชายคนหนึ่งนำก้อนหินมาผูกติดกับปลายเชือกแล้วแกว่งเป็นวงกลมในแนวระดับเหนือศีรษะ ด้วยรัศมีวงกลม 80 เซนติเมตร หากก้อนหินแกว่งด้วยอัตราเร็วคงตัว 10 เมตร/วินาที ความเร่งสู่ศูนย์กลางของก้อนหินมีค่าเท่าไร

วิธีทำ คำนวณหาความเร่งสู่ศูนย์กลาง จากสมการ

$$\begin{aligned} a^c &= v^2 \div r \\ &= 10^2 \div 80 \times 10^{-2} \\ a^c &= 125 \text{ m/s}^2 \end{aligned}$$

ดังนั้น ความเร่งสู่ศูนย์กลางของก้อนหินเท่ากับ 125 เมตรต่อวินาที²

2. วัตถุมวล 10 กิโลกรัม ถูกผูกติดกับเชือกที่สามารถรับแรงดึงได้ 1500 นิวตัน ถ้าวางวัตถุถูกแกว่ง ให้เคลื่อนที่เป็นวงกลมในแนวระดับรัศมี 90 เซนติเมตร จงหาอัตราเร็วสูงสุดของวัตถุ

วิธีทำ แรงดึงในเส้นเชือกมีทิศเข้าสู่ศูนย์กลาง และจะบังคับให้วัตถุเคลื่อนที่เป็นวงกลม อัตราเร็วสูงสุด หาได้จากสมการ

$$\begin{aligned} F_c &= mv^2 \div r \\ 1500 &= 10v^2 \div 0.90 \\ v^2 &= (1500)(0.90) \div 10 \\ v &= 12 \text{ m/s} \end{aligned}$$

ดังนั้น อัตราเร็วสูงสุดของวัตถุเท่ากับ 12 เมตรต่อวินาที

3. วัตถุมวล 10 กรัม ผูกปลายข้างหนึ่งของเชือกเบายาว 2 เมตร ถ้าจับปลายข้างหนึ่งของเชือกแล้วแกว่งให้วัตถุเคลื่อนที่เป็นวงกลมในแนวราบ โดยให้ระนาบของวงกลมทำมุม 30 องศา กับเส้นเชือก จงหาอัตราเร็วของการเคลื่อนที่ในหน่วยเมตร/วินาที

$$\begin{aligned}
 \text{วิธีทำ} \quad \frac{R}{2} &= \sin 60^\circ \\
 &= \frac{\sqrt{3}}{2} \\
 \tan \theta &= \frac{v^2}{Rg} \\
 \sqrt{3} &= \frac{v^2}{\sqrt{3}} \times 10 \\
 v &= \sqrt{30} = 5.5 \text{ เมตร/วินาที}
 \end{aligned}$$

4. ในการแกว่งชุดการเคลื่อนที่แบบวงกลม ด้วยอัตราเร็วคงที่ ปรากฏว่าเชือกทำมุม 20 องศา กับแนวระดับ ถ้าขนาดน้ำหนักของขอกีฬาและนอตที่ใช้มีค่า 1.2 นิวตัน แรงสู่ศูนย์กลางมีค่าเท่าไร กำหนดให้ $\sin 20^\circ = 0.34$, $\cos 20^\circ = 0.94$

$$\begin{aligned}
 \text{วิธีทำ} \quad F_c &= T \cos 20^\circ \\
 &= 1.2 \times \cos 20^\circ \\
 &= 1.2 (0.94) \text{ นิวตัน} \\
 &= 1.1 \text{ นิวตัน}
 \end{aligned}$$

5. ปล่อยมวล 5 กิโลกรัม ให้เคลื่อนที่ตามรางเหล็กที่ปลายเป็นวงกลม เป็นวงกลมรัศมี 2 เมตร จะทำให้มวลกลิ้งนี้เคลื่อนที่เป็นวงกลมได้พอดี ตอนปล่อยมวลสูงจากพื้นดินเท่าใดในหน่วยเมตร

$$\begin{aligned}
 \text{วิธีทำ} \quad h &= 2.5 R \\
 h &= 2.5 (2) \\
 h &= 5 \text{ เมตร}
 \end{aligned}$$

เฉลยแบบทดสอบก่อนเรียน
เรื่อง การเคลื่อนที่แบบวงกลม
ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์

แบบทดสอบก่อนเรียน					
ข้อ	ก	ข	ค	ง	จ
1				X	
2	X				
3			X		
4	X				
5			X		
6				X	
7		X			
8	X				
9		X			
10		X			

เฉลยแบบทดสอบหลังเรียน
เรื่อง การเคลื่อนที่แบบวงกลม
ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์

แบบทดสอบหลังเรียน					
ข้อ	ก	ข	ค	ง	จ
1				X	
2	X				
3			X		
4	X				
5			X		
6				X	
7		X			
8	X				
9		X			
10		X			

ตารางบันทึกคะแนนแบบฝึกทักษะ ชุดที่ 4 เรื่อง การเคลื่อนที่แบบวงกลม

คำชี้แจง ให้นักเรียนนำคะแนนที่ได้จากการทำแบบฝึกทักษะมารอกลงในตาราง

แบบฝึกทักษะที่	รายการ	คะแนนเต็ม	คะแนนที่ได้
1	ขั้นที่ 1 ทำความเข้าใจปัญหา	15	
	ขั้นที่ 2 วางแผนแก้ปัญหา	10	
	ขั้นที่ 3 ดำเนินการแก้ปัญหา	15	
	ขั้นที่ 4 ตรวจสอบคำตอบ	10	
รวม		50	
2	ขั้นที่ 1 ทำความเข้าใจปัญหา	15	
	ขั้นที่ 2 วางแผนแก้ปัญหา	10	
	ขั้นที่ 3 ดำเนินการแก้ปัญหา	15	
	ขั้นที่ 4 ตรวจสอบคำตอบ	10	
รวม		50	
คะแนนรวมทั้งหมด		100	



**เกณฑ์การให้คะแนนแบบฝึกทักษะ
ชุดที่ 4 เรื่อง การเคลื่อนที่แบบวงกลม**

คำชี้แจง เมื่อนักเรียนทำแบบฝึกทักษะเสร็จแล้ว ให้นักเรียนประเมินคะแนนให้กับตนเองแล้ว
กรอกคะแนนในแต่ละรายการลงในตารางการให้คะแนน

ขั้นตอนการแก้โจทย์ปัญหา	เกณฑ์การพิจารณา	คะแนน
ขั้นที่ 1 ทำความเข้าใจปัญหา (15 คะแนน)	เปลี่ยนปริมาณเป็นสัญลักษณ์ได้ถูกต้องชัดเจนทุกข้อ	10
	เปลี่ยนปริมาณเป็นสัญลักษณ์ได้ถูกต้องไม่ครบถ้วน	5
	ไม่ตอบ หรือเปลี่ยนปริมาณเป็นสัญลักษณ์ไม่ถูกต้องเลย	0
ขั้นที่ 2 วางแผนแก้ปัญหา (10 คะแนน)	กำหนดสูตรที่เลือกใช้ได้ถูกต้อง	10
	กำหนดสูตรที่เลือกใช้ไม่ถูกต้องเลย	0
ขั้นที่ 3 ดำเนินการแก้ปัญหา (15 คะแนน)	แทนค่าในสูตรและคิดคำนวณเป็นไปตามลำดับขั้นได้ถูกต้อง	10
	แทนค่าในสูตรได้ถูกต้องแต่คิดคำนวณไม่เป็นไปตามลำดับขั้นที่ถูกต้อง	5
	ไม่ตอบ หรือแทนค่าในสูตรผิดและคิดคำนวณไม่เป็นไปตามลำดับขั้นที่ถูกต้องเลย	0
ขั้นที่ 4 ตรวจสอบคำตอบ (10 คะแนน)	คำตอบและหน่วยถูกต้องชัดเจน	7
	คำตอบถูกต้องแต่หน่วยไม่ถูกต้อง	3
	ไม่ตอบ หรือคำตอบและหน่วยไม่ถูกต้องเลย	0

แบบบันทึกผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน
แบบฝึกทักษะ ชุดที่ 4 เรื่อง การเคลื่อนที่แบบวงกลม

คำชี้แจง ให้นักเรียนนำคะแนนที่ได้จากการทำแบบทดสอบก่อนเรียน- หลังเรียน
และแบบฝึกทักษะมากรอกลงในตาราง

1.แบบทดสอบ

แบบทดสอบ	คะแนนเต็ม	คะแนนที่ได้
ก่อนเรียน	10	
หลังเรียน	10	
ผลการพัฒนา		

หมายเหตุ ผลการพัฒนา = (คะแนนหลังเรียน - คะแนนก่อนเรียน) $\times$ 100 คะแนนเต็ม

2. แบบฝึกทักษะการแก้โจทย์ปัญหา

แบบฝึกทักษะ	คะแนนเต็ม	คะแนนที่ได้
1	10	
2	10	
รวม	20	
ค่าเฉลี่ย		
ร้อยละ		

