ชุดกิจกรรมการเรียนรู้วิชาฟิสิกส์
เรื่อง การเคลื่อนที่แบบต่างๆ

ชุดที่ 2 การเคลื่อนที่แบบวงกลม

เลิศศักดิ์ ประกอบชัยชนะ
ตำแหน่ง ครู วิทยฐานะ ครูชำนาญการ

โรงเรียนสตูลวิทยา อำเภอเมือง จังหวัดสตูล
สำนักงานเขตพื้นที่การศึกษามัธยมศึกษาเขต 16
สำนักงานคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐาน

คำนำ

ชุดกิจกรรมการเรียนรู้ วิชา ฟิสิกส์ 1 ว30201 เรื่อง การเคลื่อนที่แบบต่างๆ สำหรับ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ชุดนี้ได้จัดทำขึ้น ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551 ระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย ของกลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ และสอดคล้องกับมาตรฐานการเรียนรู้ สาระที่ 4 แรงและการเคลื่อนที่ และสาระที่ 8 ธรรมชาติของวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ซึ่งประกอบด้วยเนื้อหาความรู้พื้นฐานซึ่งจำเป็นต่อการนำไปใช้ในการดำรงชีวิตและการศึกษาต่อในระดับสูงมีกิจกรรมการเรียนรู้ที่เน้นผู้เรียนเป็นสำคัญ และยังส่งเสริมการพัฒนาศักยภาพของนักเรียนเป็นรายบุคคลได้ โดยนักเรียนสามารถศึกษาเนื้อหาและประเมินผลการเรียนได้ด้วยตนเอง ตามขั้นตอนที่ได้กำหนดไว้ ดังนั้นนักเรียนที่ได้ศึกษาเรียนรู้แล้ว จะเกิดทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์เสริมสร้างความรู้ และยังปลูกฝังคุณลักษณะที่พึงประสงค์ที่ดีให้กับนักเรียน

ผู้จัดทำหวังเป็นอย่างยิ่งว่า ชุดกิจกรรมการเรียนรู้วิชาฟิสิกส์ชุดนี้จะเป็นประโยชน์ต่อการจัดการเรียนการสอนได้เป็นอย่างดี และขอขอบคุณโรงเรียนสตูลวิทยา คณะผู้บริหาร ครูและผู้เชี่ยวชาญทุกท่านที่ช่วยตรวจสอบคุณภาพของชุดกิจกรรมนี้

นายเลิศศักดิ์ ประกอบชัยชนะ
ตำแหน่ง ครู วิทยฐานะ ครูชำนาญการ
โรงเรียนสตูลวิทยา จังหวัดสตูล

คำชี้แจง

ชุดกิจกรรมการเรียนรู้ วิชา ฟิสิกส์ 1 ว30201 เรื่อง การเคลื่อนที่แบบต่างๆ สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ได้จัดทำขึ้นโดยกำหนดเนื้อหาและผลการเรียนรู้ ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551 ของกลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ ระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย โดยมีความมุ่งหวังให้นักเรียนได้ศึกษาค้นคว้า ทำความเข้าใจ ฝึกปฏิบัติกิจกรรม สำหรับเพิ่มพูนความรู้และทักษะวิชาการตลอดจนส่งเสริม ให้นักเรียนมีความสามารถในการอ่าน คิด วิเคราะห์ เขียนสื่อความ และมีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับการเคลื่อนที่แบบต่างๆ

การจัดทำชุดกิจรรมการเรียนรู้ วิชา ฟิสิกส์ 1 ว30201 เรื่อง การเคลื่อนที่แบบต่างๆ สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ได้มีการจัดทำ ปรับปรุงและพัฒนาขึ้นทั้งหมด 3 ชุด ดังนี้

ชุดที่ 1 การเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์

ชุดที่ 2 การเคลื่อนที่แบบวงกลม

ชุดที่ 3 การเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย

ผู้จัดทำหวังเป็นอย่างยิ่งว่า ชุดกิจกรรมการเรียนรู้ วิชา ฟิสิกส์ 1 ว30201 เรื่อง การเคลื่อนที่แบบต่างๆ สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ชุดนี้ จะมีประโยชน์ต่อการจัดการเรียนการสอนของครูและนักเรียน เป็นสื่อการเรียนรู้ที่ครูผู้สอนสามารถนำไปใช้เพื่อพัฒนาทักษะกระบวนการเรียนรู้ต่างๆ ของนักเรียนให้มีประสิทธิภาพและส่งผลให้นักเรียนมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนสูงขึ้นต่อไป

นายเลิศศักดิ์ ประกอบชัยชนะ
ตำแหน่ง ครู วิทยฐานะ ครูชำนาญการ
โรงเรียนสตูลวิทยา จังหวัดสตูล

สารบัญ

หน้า

คำนำ ..... ก
คำชี้แจง ..... ข
สารบัญ ..... ค
คำแนะนำในการใช้ 1
ขั้นตอนในการใช้ชุดกิจกรรมการเรียนรู้สำหรับนักเรียน..... 2
สาระ มาตรฐานการเรียนรู้และผลการเรียนรู้ 3
แบบทดสอบก่อนเรียน 5
ชุดกิจกรรม การทดลองที่ 2 เรื่อง การเคลื่อนที่แบบวงกลม..... 9
ใบความรู้ที่ 2 เรื่องการเคลื่อนที่แบบวงกลม 13
ใบงาน 2.1 เรื่อง การเคลื่อนที่แบบวงกลม 26
ใบงาน 2.2 เรื่อง การเคลื่อนที่แบบวงกลม 27
ใบงาน 2.3 เรื่อง การเคลื่อนที่แบบวงกลม..... 29
ใบงาน 2.4 เรื่อง การเคลื่อนที่แบบวงกลม 30
แนวคำตอบชุดกิจกรรมการเรียนรู้ วิชา ฟิสิกส์ 1 เรื่อง การเคลื่อนที่แบบต่างๆ
ชุดที่ 2 เรื่องการเคลื่อนที่แบบวงกลม..... 35
แบบทดสอบหลังเรียน 47
เฉลยแบบทดสอบก่อนเรียนและหลังเรียน 51
เกณฑ์การประเมินผลการทดสอบ 52
อ้างอิง 53

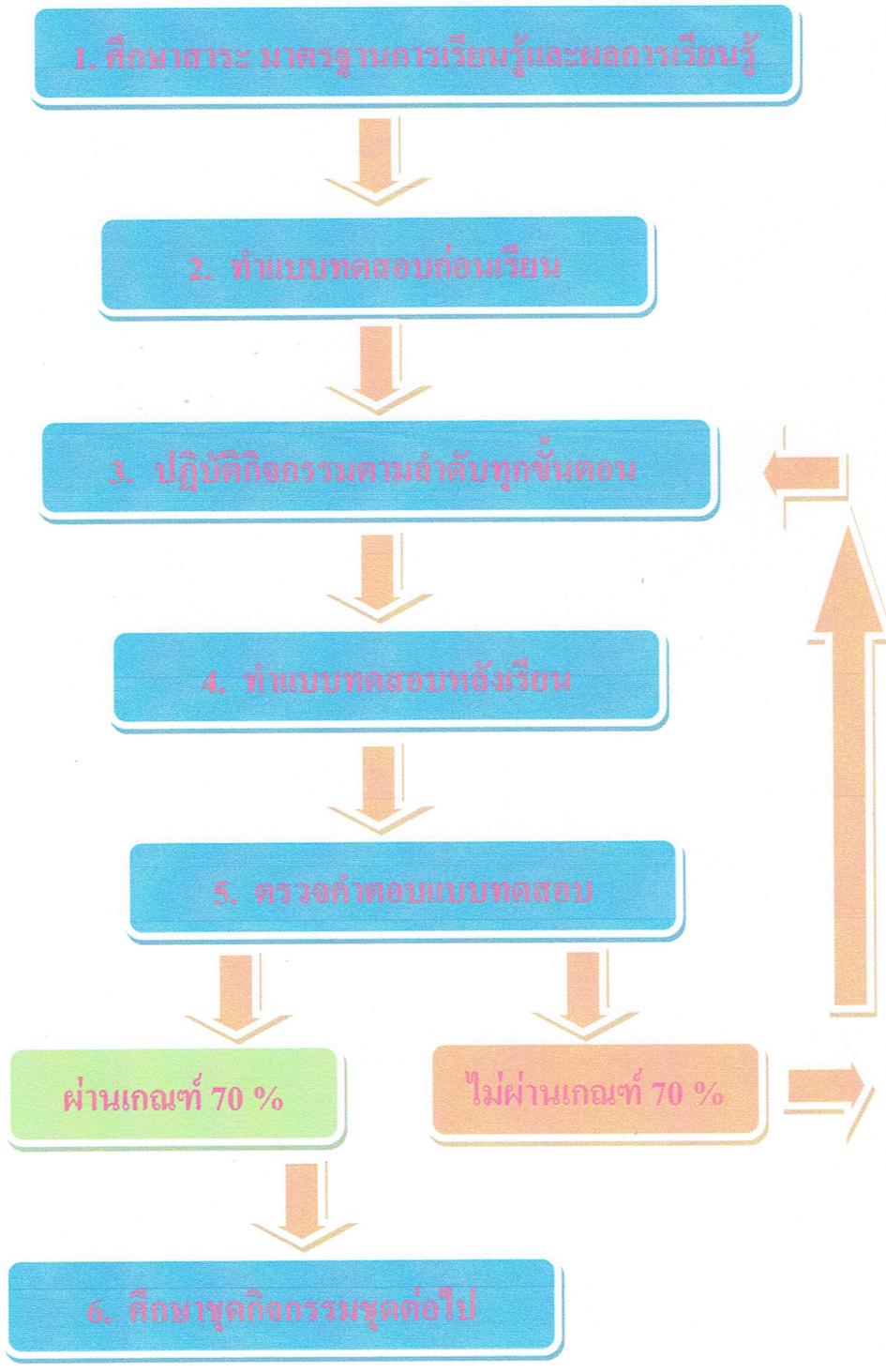
ชุดกิจกรรมการเรียนรู้ วิชา ฟิสิกส์ 1 ว30201 เรื่องการเคลื่อนที่แบบต่างๆสำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 จัดทำขึ้นเพื่อเป็นสื่อประกอบการเรียนรู้ ให้นักเรียนได้เข้าใจบทเรียนมากขึ้น เน้นทักษะการทดลองการวิเคราะห์และการแก้ปัญหาโจทย์โดยใช้ผังกราฟิก

ขั้นตอนการใช้ชุดกิจกรรมการเรียนรู้

1. ศึกษาคำแนะนำในการใช้ชุดกิจกรรมการเรียนรู้
2. ศึกษาสาระและมาตรฐานการเรียนรู้ผลการเรียนรู้
3. ทำแบบทดสอบก่อนเรียนเพื่อตรวจสอบความรู้พื้นฐานของตนเอง
4. ทำชุดกิจกรรม การทดลองที่ 2 เรื่อง การเคลื่อนที่แบบวงกลม
5. ศึกษาใบความรู้ที่ 2 เรื่อง การเคลื่อนที่แบบวงกลม
6. ทำใบงานที่ 2.1 เรื่อง การเคลื่อนที่แบบวงกลม
7. ทำใบงานที่ 2.2 เรื่อง การเคลื่อนที่แบบวงกลม
8. ทำใบงานที่ 2.3 เรื่อง การเคลื่อนที่แบบวงกลม
9. ทำใบงานที่ 2.4 เรื่อง การเคลื่อนที่แบบวงกลม
10. ตรวจสอบความถูกต้องจากแนวคำตอบท้ายเล่ม
11. ทำแบบทดสอบหลังเรียน
12. นักเรียนที่ไม่ผ่านเกณฑ์การประเมินร้อยละ 70 ให้นักเรียนเรียนซ่อมเสริมและศึกษาเนื้อหาอีกครั้ง จึงกลับมาทำข้อสอบหลังเรียนชุดเดิม เมื่อผ่านเกณฑ์การประเมินจึงศึกษาชุดกิจกรรมการเรียนรู้ชุดที่ 3 ต่อไป
13. ในการทำชุดกิจกรรมการเรียนรู้ทุกชุด นักเรียนจะต้องทำด้วยความมุ่งมั่นและมีความซื่อสัตย์ต่อตนเอง โดยไม่ดูแนวคำตอบก่อน ซึ่งจะทำให้ชุดกิจกรรมการเรียนรู้เกิดประโยชน์ต่อนักเรียน

ขั้นตอนในการใช้ชุดกิจกรรมการเรียนรู้สำหรับนักเรียน

ให้นักเรียนปฏิบัติตามลำดับขั้นตอนต่อไปนี้



สาระ มาตรฐานการเรียนรู้และผลการเรียนรู้

สาระที่ 4 แรงและการเคลื่อนที่

มาตรฐาน ว 4.2 เข้าใจลักษณะการเคลื่อนที่แบบต่างๆ ของวัตถุในธรรมชาติมีกระบวนการ สืบเสาะหาความรู้และจิตวิทยาศาสตร์ สื่อสารสิ่งที่เรียนรู้และนำความรู้ไปใช้ประโยชน์

สาระที่ 8 ธรรมชาติของวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

มาตรฐาน ว 8.1 ใช้กระบวนการทางวิทยาศาสตร์และจิตวิทยาศาสตร์ในการสืบเสาะหาความรู้ การแก้ปัญหา รู้ว่าปรากฏการณ์ทางธรรมชาติที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่มีรูปแบบที่แน่นอน สามารถอธิบายและตรวจสอบได้ ภายใต้ข้อมูลและเครื่องมือที่มีอยู่ในช่วงเวลานั้นๆ เข้าใจว่า วิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี สังคม และสิ่งแวดล้อมมีความเกี่ยวข้องสัมพันธ์กัน

สาระสำคัญ

การเคลื่อนที่ของวัตถุจะมีลักษณะเป็นแนวตรง หรือแนวโค้ง ขึ้นอยู่กับทิศของแรงที่มากระทำกับทิศของการเคลื่อนที่ โดยทิศของแรงอยู่ในแนวเดียวกับทิศการเคลื่อนที่ วัตถุจะเคลื่อนที่เป็นแนวตรง ทิศของแรงทำมุมใดๆกับทิศการเคลื่อนที่ตลอดเวลา วัตถุจะเคลื่อนที่เป็นแนวโค้ง ส่วนการเคลื่อนที่แบบวงกลมนั้นแรงจะทำมุมตั้งฉากกับทิศการเคลื่อนที่ตลอดเวลาการเคลื่อนที่ และแรงที่กระทำจะมีทิศเข้าสู่ศูนย์กลางเรียกแรงนี้ว่าแรงสู่ศูนย์กลาง

ผลการเรียนรู้

สืบค้นข้อมูล ทดลอง อธิบายและคำนวณเกี่ยวกับการเคลื่อนที่แบบวงกลม

ผลการเรียนรู้ย่อย

1. อธิบายได้ว่า การเคลื่อนที่ในแนววงกลมจะต้องมีแรงกระทำต่อวัตถุในทิศเข้าสู่ศูนย์กลางและวัตถุมีความเร่งสู่ศูนย์กลางพร้อมทั้งอธิบายความหมายของคาบและความถี่

2. แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงสู่ศูนย์กลาง รัศมีวงกลม อัตราเร็วและมวลของวัตถุซึ่งเคลื่อนที่ในแนววงกลม

3. ทดลองการเคลื่อนที่ในแนววงกลมเพื่อแสดงความสัมพันธ์ระหว่างคาบและแรงสู่ศูนย์กลาง

4. อธิบายการเคลื่อนที่บนทางโค้งของรถยนต์ รถจักรยานยนต์และรถจักรยานบนถนนราบและถนนเอียง พร้อมทั้งคำนวณหาปริมาณที่เกี่ยวข้อง

5. อธิบายได้ว่าการเคลื่อนที่แบบวงกลมในระนาบดิ่งอัตราเร็วของวัตถุไม่คงตัวแต่การเคลื่อนที่ของวัตถุเป็นไปตามกฎการอนุรักษ์พลังงาน

6. อธิบายความหมายของอัตราเร็วเชิงมุมและแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงสู่ศูนย์กลางและอัตราเร็วเชิงมุม

7. ประยุกต์ใช้ความรู้เกี่ยวกับการเคลื่อนที่ในแนววงกลมไปอธิบายการเคลื่อนที่ของดาวเทียมในวงโคจรรอบโลกและคำนวณหาปริมาณต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องได้ จากสถานการณ์ที่กำหนดให้

แบบทดสอบก่อนเรียน

คำชี้แจง ข้อสอบทั้งหมดมี 15 ข้อ

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

ผลการเรียนรู้ สืบค้นข้อมูล ทดลอง อธิบาย และคำนวณเกี่ยวกับการเคลื่อนที่แบบวงกลม

1. แกว่งวัตถุหนึ่งซึ่งผูกด้วยเชือกให้เคลื่อนที่เป็นวงกลม ข้อใดเป็นความสัมพันธ์ที่ถูกต้อง
   - ก. ความเร็วมีทิศเดียวกับความเร่ง
   - ข. ความเร็วมีทิศตรงข้ามกับความเร่ง
   - ค. แรงที่กระทำต่อวัตถุมีทิศเดียวกับความเร็ว
   - ง. แรงที่กระทำต่อวัตถุมีทิศเดียวกับความเร่ง
2. แรงเป็นปัจจัยที่มีผลต่อการเคลื่อนที่ของวัตถุ ในกรณีการเคลื่อนที่แบบวงกลม แรงจะกระทำต่อวัตถุในลักษณะใด
   - ก. แรงมีทิศตั้งฉากกับทิศของความเร็วตลอดเวลา
   - ข. แรงมีทิศขนานกับทิศของความเร็วตลอดเวลา
   - ค. แรงมีทิศทำมุมกับทิศของความเร็วโดยมุมจะเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา
   - ง. ถูกทุกข้อที่กล่าวมา
3. จงพิจารณาข้อความต่อไปนี้
   1) วัตถุที่เคลื่อนที่แบบวงกลม แสดงว่าวัตถุนั้นจะต้องมีการเคลื่อนแบบความเร็วไม่คงที่เสมอ
   2) วัตถุที่เคลื่อนที่แบบวงกลม แสดงว่าวัตถุนั้นจะต้องมีแรงสู่ศูนย์กลางเสมอ
   3) วัตถุที่เคลื่อนที่แบบวงกลม แสดงว่าวัตถุนั้นจะต้องมีความเร่งสู่ศูนย์กลางเสมอ

   ข้อที่ถูกต้องคือ
   - ก. ข้อ 1 , 2
   - ข. ข้อ 1 , 3
   - ค. ข้อ 2 , 3
   - ง. ข้อ 1 , 2 , 3
4. จงพิจารณาข้อความต่อไปนี้
   1) ความเร็วเชิงมุม มีค่าเท่ากับการเปลี่ยนมุมในหนึ่งหน่วยเวลา
   2) การเคลื่อนที่แบบวงกลม ด้วยอัตราเร็วคงที่เป็นการเคลื่อนที่แบบความเร็วไม่คงที่
   3) การเคลื่อนที่แบบวงกลม ด้วยอัตราเร็วคงที่เป็นการเคลื่อนที่แบบไม่มีความเร่ง

ข้อที่ถูกต้องคือ

ก. ข้อ 1 , 2

ข. ข้อ 1 , 3

ค. ข้อ 2 , 3

ง. ข้อ 1 , 2 , 3

5. การเคลื่อนที่แบบวงกลมครบ 4 รอบ จะกวาดมุมรอบจุดศูนย์กลางไปได้กี่เรเดียน

ก. 2π เรเดียน

ข. 4π เรเดียน

ค. 8π เรเดียน

ง. 16π เรเดียน

6. จงพิจารณาข้อความต่อไปนี้ เกี่ยวกับการเคลื่อนที่แบบวงกลม

1) แรงสู่ศูนย์กลาง มีทิศตั้งฉากกับความเร็วตลอดการเคลื่อนที่

2) คาบของการเคลื่อนที่แปรผกผันกับความถี่

3) เมื่อวัตถุเคลื่อนที่แบบวงกลมด้วยอัตราเร็วคงที่ แสดงว่าแรงลัพธ์ที่กระทำต่อวัตถุเป็นศูนย์

ข้อที่ถูกต้องคือ

ก. ข้อ 1 , 2

ข. ข้อ 1 , 3

ค. ข้อ 2 , 3

ง. ข้อ 1 , 2 , 3

7. แรงสู่ศูนย์กลางของรถยนต์ที่กำลังเลี้ยวโค้งบนถนนราบ มาจากแรงใด

ก. แรงโน้มถ่วงของโลก

ข. แรงปฏิกิริยาของพื้นถนน

ค. แรงเสียดทานระหว่างล้อกับพื้นถนน

ง. ถูกทุกข้อ

8. จงพิจารณาข้อความต่อไปนี้

1) การยกขอบถนนด้านนอกให้เอียงทำมุมกับแนวระดับมากหรือน้อย จะต้องคำนึงถึงอัตราเร็วของรถขณะเลี้ยวโค้ง และรัศมีของความโค้ง

2) ถ้าดาวเทียมโคจรรอบโลกเป็นวงกลม ดาวเทียมมีความเร่งในการเคลื่อนที่

3) ถ้าต้องการหาอัตราเร็วของดาวเทียมที่โคจรเป็นวงกลมรอบโลก จะต้องทราบมวลของดาวเทียมและรัศมีวงโคจรของดาวเทียม

ข้อที่ถูกต้องคือ

ก. ข้อ 1 , 2

ข. ข้อ 1 , 3

ค. ข้อ 2 , 3

ง. ข้อ 1 , 2 , 3

9. อนุภาคหนึ่งเคลื่อนที่เป็นวงกลมรัศมี 7 เมตร ด้วยอัตราเร็วคงที่ โดยมีคาบของการเคลื่อนที่ 16 วินาที เมื่อเวลาผ่านไป 8 วินาที อนุภาคนี้เคลื่อนที่ได้ระยะทางกี่เมตร

ก. 14 เมตร

ข. 22 เมตร

ค. 31 เมตร

ง. 56 เมตร

10. วัตถุที่เคลื่อนที่เป็นวงกลม ความเร่งสู่ศูนย์กลางจะมีค่ามากที่สุดเมื่อใด

ก. ความเร็วต่ำ – รัศมีความโค้งมาก

ข. ความเร็วต่ำ – รัศมีความโค้งน้อย

ค. ความเร็วสูง – รัศมีความโค้งมาก

ง. ความเร็วสูง – รัศมีความโค้งน้อย

11. วัตถุมวล 1 กิโลกรัม ผูกด้วยเชือกยาว 0.5 เมตร เหวี่ยงให้วัตถุนี้เคลื่อนที่เป็นวงกลมอยู่ในแนวระดับด้วยอัตราเร็วคงตัว เมื่อเชือกนี้ทนแรงตึงได้สูงสุด 18 นิวตัน วัตถุนี้จะมีอัตราเร็วสูงสุดกี่เมตรต่อวินาที

ก. 2 เมตรต่อวินาที

ข. 3 เมตรต่อวินาที

ค. 5 เมตรต่อวินาที

ง. 6 เมตรต่อวินาที

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

ก. $6\sqrt{5}$ เมตรต่อ(วินาที)^2

ข. $5\sqrt{5}$ เมตรต่อ(วินาที)^2

ค. $3\sqrt{5}$ เมตรต่อ(วินาที)^2

ง. $2\sqrt{5}$ เมตรต่อ(วินาที)^2

13. ผูกมวล 2 กิโลกรัม กับเชือก เหวี่ยงให้เคลื่อนที่เป็นวงกลมในระนาบดิ่ง ด้วยอัตราเร็วคงที่ ผลต่างของแรงดึงเชือกที่จุดสูงสุดและจุดต่ำสุดเป็นเท่าใด

ก. 10 นิวตัน

ข. 20 นิวตัน

ค. 30 นิวตัน

ง. 40 นิวตัน

14. ในการขับรถจักรยานไปตามถนนโค้งราบสองแห่งที่มีพื้นผิวลักษณะเหมือนกัน แต่ทางโค้งที่สองมีรัศมีความโค้งเป็นครึ่งหนึ่งของรัศมีความโค้งแรก ถ้าต้องการขับขี่โดยเอียงรถจากแนวดิ่งเท่ากันทั้งสองโค้ง ดังนั้นการขี่ผ่านโค้งที่สองจะต้องใช้อัตราเร็วเป็นกี่เท่าของการขี่รถผ่านโค้งแรก

ก. $\frac{\sqrt{2}}{2}$

ข. $\sqrt{2}$

ค. 2

ง. 4

15. จงพิจารณาข้อความต่อไปนี้

1) อัตราเร็วเชิงมุมมีค่าคงที่

2) ดาวเทียมมีความเร่งในการเคลื่อนที่

3) คาบการเคลื่อนที่ของดาวเทียมมีค่าคงที่

ข้อที่ถูกต้องคือ

ก. ข้อ 1 , 2

ข. ข้อ 1 , 3

ค. ข้อ 2 , 3

ง. ข้อ 1 , 2 , 3

จุดประสงค์

1. เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างคาบและแรงสู่ศูนย์กลางของการเคลื่อนที่ของวัตถุในแนววงกลมในระนาบระดับเมื่อรัศมีคงตัว
2. เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างคาบและรัศมีของการเคลื่อนที่ของวัตถุในแนววงกลมในระนาบระดับ เมื่อแรงสู่ศูนย์กลางคงตัว

คำชี้แจง ให้นักเรียนศึกษาวิธีการทดลองพร้อมทำการทดลอง สังเกต จัดกระทำและสื่อความหมายข้อมูลและลงสรุป พร้อมเขียนรายงานเรื่องการเคลื่อนที่แบบวงกลม ตามรายละเอียดดังนี้ โดยใช้เวลาในการดำเนินการ 40 นาที

อุปกรณ์การทดลอง

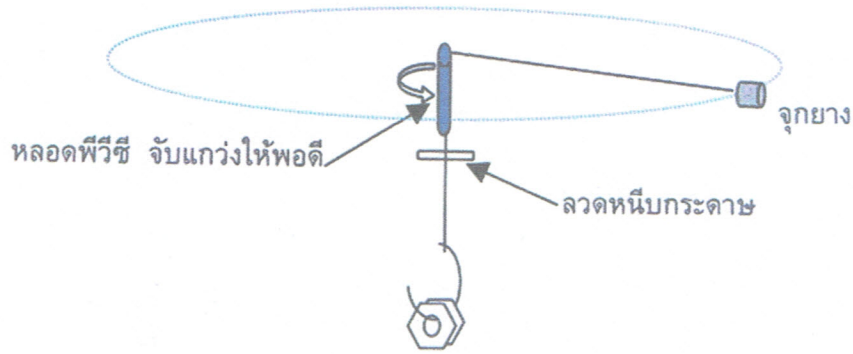
1. ชุดทดลองการเคลื่อนที่แบบวงกลม
2. นอต
3. นาฬิกาจับเวลา
4. ลวดเสียบกระดาษ

วิธีการทดลอง

ตอนที่ 1

1. ใช้ชุดทดลองการเคลื่อนที่แบบวงกลม ให้วัดระยะจากจุดกึ่งกลางของจุกยางตามแนวเส้นเชือกออกไปถึงปลายบนท่อพีวีซี ยาว 60 เซนติเมตร และใช้ลวดเสียบกระดาษเสียบที่เส้นเชือกห่างจากปลายของท่อพีวีซี ประมาณ 1 เซนติเมตร
2. ใช้นอตแขวนที่ขอเกี่ยวโลหะ 2 ตัว ดังรูปที่ 1 โดยใช้นอตหนักประมาณเท่าๆ กัน และน้ำหนักของนอต 1 ตัวแทนแรงขนาด 1 F
3. จับท่อพีวีซีแกว่งให้จุกยางเคลื่อนที่ในแนววงกลมในระนาบระดับ โดยให้ลวดที่เสียบที่เส้นเชือกอยู่ห่างจากปลายล่างของท่อพีวีซี 1 เซนติเมตร คงตัวตลอดเวลา
4. จับเวลาการเคลื่อนที่ของจุกยางครบ 30 รอบ แล้วนำมาคำนวณหาคาบ T ของการเคลื่อนที่ของจุกยาง

5. ทำการทดลองซ้ำโดยเพิ่มจำนวนนอต เป็น 3 , 4 , 5 และ 6 ตัว ซึ่งจะทำให้ขนาดของแรงดึงในเส้นเชือกเป็น 3F , 4F , 5F และ 6F ตามลำดับ
6. บันทึกขนาดแรงดึงในเส้นเชือก F คาบ T และส่วนกลับของคาบกำลังสอง $\frac{1}{T^2}$ ลงในตาราง บันทึกผล
7. เขียนกราฟระหว่างขนาดของแรงดึงในเส้นเชือก F กับส่วนกลับของคาบกำลังสอง $\frac{1}{T^2}$



รูปที่ 1 อุปกรณ์ชุดการทดลองการเคลื่อนที่แบบวงกลม

ตอนที่ 2

1. ใช้นอต 4 ตัวใส่ที่ขอเกี่ยวโลหะ แกว่งให้จุกยางเคลื่อนที่ในแนววงกลมระนาบระดับโดยใช้ความยาวเชือกเป็น 50 , 60 , 70 และ 80 เซนติเมตร ตามลำดับ
2. หารัศมีของการเคลื่อนที่ของจุกยางในแนววงกลม ปฏิบัติเช่นเดียวกับตอนที่ 1 แต่ละครั้งจับเวลาการเคลื่อนที่ของจุกยาง 30 รอบ
3. คำนวณหาเวลาของการเคลื่อนที่ครบ 1 รอบ (T) และ (T^2) ของแต่ละครั้ง บันทึกผลลงในตาราง
4. เขียนกราฟระหว่างรัศมี r กับคาบยกกำลังสอง (T^2)

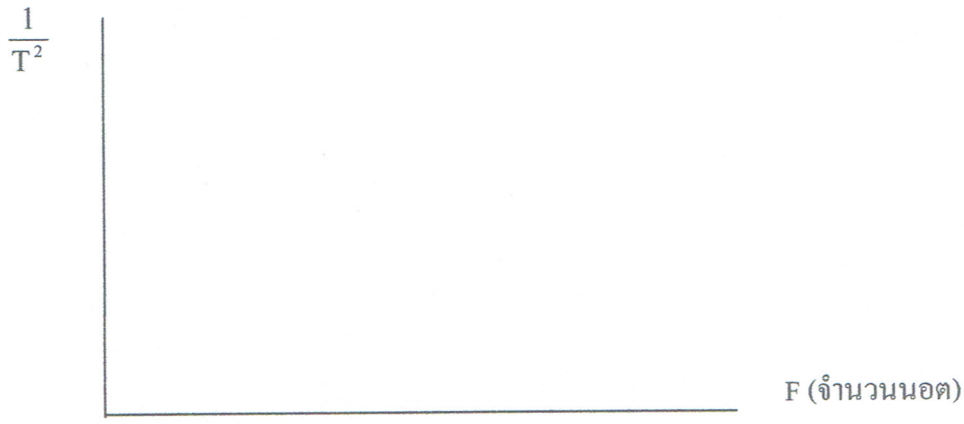
ผลการทดลอง

ตอนที่ 1

ตารางบันทึกผลการทดลอง

จำนวนนอต (ตัว)	ช่วงเวลาในการเคลื่อนที่ 30 รอบ (s)	T (s)	T^2 (s^2)	$\frac{1}{T^2}$ (s^{-2})

กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดึงกับส่วนกลับของคาบกำลังสอง



คำถามหลังการทดลอง

1. เมื่อขนาดของแรงดึงในเส้นเชือกเพิ่มขึ้น ช่วงเวลาในการเคลื่อนที่ครบรอบของจุกยางเป็นอย่างไร

   .....

   .....

   .....

2. กราฟระหว่างขนาดของแรงดึงในเส้นเชือก F กับส่วนกลับของคาบกำลังสอง $\frac{1}{T^2}$ มีลักษณะเป็นอย่างไร และสรุปความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณทั้งสองได้อย่างไร

   .....

   .....

   .....

ตอนที่ 2

(ตารางบันทึกผลการทดลอง)

รัศมี r (m)	ช่วงเวลาในการเคลื่อนที่ 30 รอบ (s)	T (s)	T^2 (s^2)

กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดึงกับส่วนกลับของคาบกำลังสอง

คำถามหลังการทดลอง

1. เมื่อรัศมีของการเคลื่อนที่เพิ่มขึ้น ช่วงเวลาในการเคลื่อนที่ครบรอบของจุกยางเป็นอย่างไร

   .....

   .....

   .....

2. กราฟระหว่างรัศมีของการเคลื่อนที่ (r) คาบยกกำลังสอง (T^2) มีลักษณะเป็นอย่างไร และสรุปความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณทั้งสองได้อย่างไร

   .....

   .....

   .....

สรุปผลการทดลอง

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

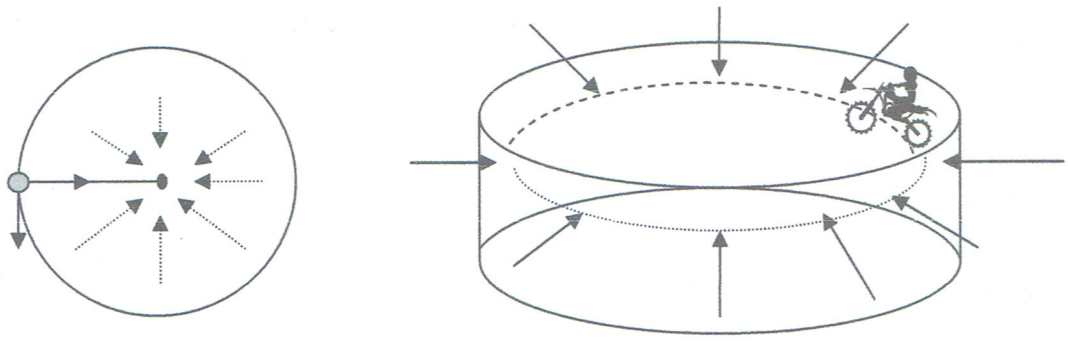
.....

การเคลื่อนที่แบบวงกลม

วัตถุเคลื่อนที่เป็นเส้นตรง แสดงว่ามีแรงกระทำในทิศแนวเดียวกับการเคลื่อนที่ไม่ว่าจะมีทิศทางเดียวกันหรือตรงกันข้ามผลจะทำให้การเคลื่อนที่นั้นเคลื่อนที่เร็วขึ้นหรือช้าลง โดยแนวการเคลื่อนที่จะอยู่ในแนวเดิม (เส้นตรง)

วัตถุจะเคลื่อนที่เป็นแนวโค้งแบบโพรเจกไทล์ เมื่อมีแรงกระทำต่อวัตถุนั้นในแนวทำมุมใดๆ กับการเคลื่อนที่ตลอดเวลา

แต่ถ้าวัตถุใดมีแรงกระทำต่อวัตถุนั้นในทิศทำมุม 90 องศากับทิศการเคลื่อนที่นั้น ผลจะทำให้วัตถุนั้นเคลื่อนที่เป็นแนวโค้งแบบวงกลม วัตถุที่ถูกผูกด้วยเชือกแกว่งให้เคลื่อนที่เป็นวงกลม เราจะต้องออกแรงดึงเชือกไว้ตลอดเวลา แรงนี้จะมีทิศเข้าสู่ศูนย์กลางคือตำแหน่งที่เราจับเชือกไว้ หรือ การขับรถจักรยานยนต์ไต่ถังเป็นวงกลม จะมีแรงจากผนังกระทำต่อรถจักรยานยนต์ตลอดเวลาในทิศตั้งฉากกับการเคลื่อนที่ และแรงจากผนังที่กระทำต่อรถจักรยานยนต์จะมีทิศเข้าสู่ศูนย์กลาง จึงเรียกแรงนี้ว่าแรงสู่ศูนย์กลาง ($\vec{F}_c$) ดังรูปที่ 1.



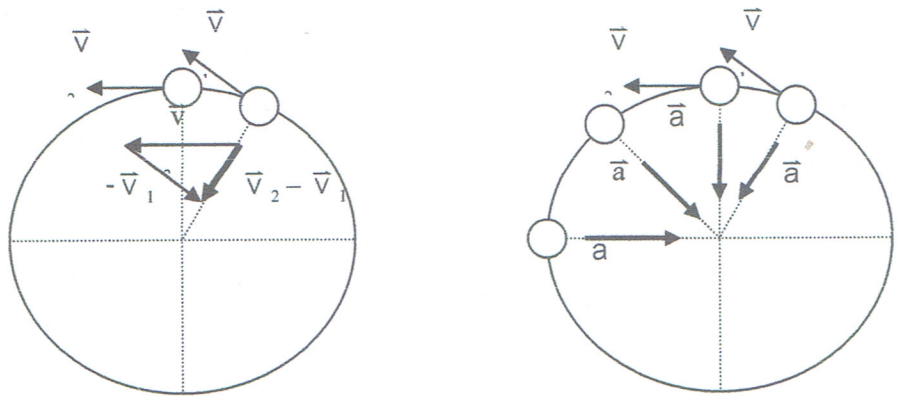
รูปที่ 1. วัตถุที่ถูกแกว่งเป็นวงกลม และรถจักรยานยนต์ไต่ถัง

จากกฎการเคลื่อนที่ข้อที่ 2 ของนิวตัน วัตถุจะเปลี่ยนไปจากสภาพเดิม เมื่อมีแรงที่ไม่เท่ากับศูนย์มากระทำ แสดงว่าแรงลัพธ์ที่มากระทำต่อวัตถุที่เคลื่อนที่เป็นแนวโค้งแบบวงกลม จะต้องเป็นแรงสู่ศูนย์กลาง ดังนั้นสมการของแรงสู่ศูนย์กลางจะได้ดังนี้

จาก $\quad \Sigma\vec{F} = m\bar{a}$

จะได้ $\quad \vec{F}_c = m\bar{a}$

ความเร่งที่เกิดขึ้นกับวัตถุจะมีขนาดและทิศทางเท่าไร และอย่างไร



รูปที่ 2. แสดงทิศของความเร่งของวัตถุที่เคลื่อนที่แบบวงกลม

จากรูปที่ 2. เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความเร็ว ($\vec{v}_2 - \vec{v}_1$)ในช่วงเวลา t จะเกิดความเร่งของวัตถุขึ้น โดยความเร่งจะมีทิศเข้าสู่ศูนย์กลางตลอดการเคลื่อนที่ จึงเรียกความเร่งนี้ว่า ความเร่งสู่ศูนย์กลาง ($\vec{a}_c$)

จะได้ $\vec{F}_c = m\vec{a}_c$

ขนาดของความเร่ง $\vec{a}_c$ จะหาได้ดังนี้

จากรูปที่ 2. วัตถุมวล m กำลังเคลื่อนที่เป็นแนวโค้งแบบวงกลม ด้วยความเร็ว $\vec{v}$ ณ ตำแหน่ง A และตำแหน่ง B มีขนาดความเร็ว v เท่ากัน

ใช้เวลา t

รัศมีความโค้งของการเคลื่อนเป็น R

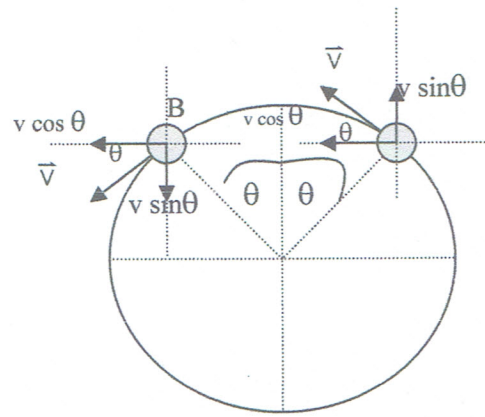
ระยะทางที่เคลื่อนที่ได้คือ $S = 2\theta R$

จาก $v = \frac{S}{t}$

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

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

จาก $a = \frac{\Delta v}{t}$



รูปที่ 3 แสดงองค์ประกอบของความเร็ว

จากรูปที่ 3. ในแนวแกน x จะไม่เกิดความเร่ง เนื่องจาก ขนาดและทิศทางของความเร็วไม่เปลี่ยนแปลง แต่ในแนวแกน y จะเกิดความเร่งเนื่องจากทิศทางของความเร็วเปลี่ยนไป จะได้

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

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

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

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

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

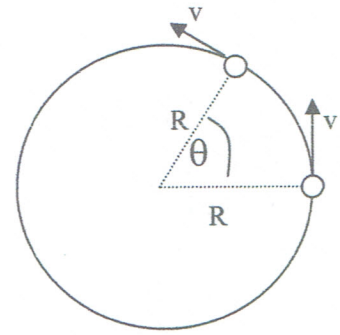
จะได้ $$\vec{F}_c = m\vec{a}_c$$

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

ปริมาณที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนที่แบบวงกลม

เมื่อวัตถุมีการเคลื่อนที่ สิ่งหนึ่งที่เกิดขึ้นคือ อัตราเร็ว (v) หรือ ความเร็ว ($\vec{v}$) ของวัตถุนั้น และการเคลื่อนที่ในแนวเชิงเส้น หรือ เรียกว่าอัตราเร็วเชิงเส้นหรือความเร็วเชิงเส้น เมื่อวัตถุใดมีการเคลื่อนที่รอบตำแหน่งใดๆ เช่นการเคลื่อนที่แบบวงกลม การแกว่งของลูกตุ้ม หรือการสั่นของสปริง การเคลื่อนที่นั้นจะทำให้ระยะทางของวัตถุเปลี่ยนไปแล้ว มุมที่เทียบกับตำแหน่งนั้นก็จะเปลี่ยนไปด้วย การเคลื่อนที่ในลักษณะที่ทำให้มุมเปลี่ยนไปนี้เรียกว่า เกิดอัตราเร็วเชิงมุมหรือความเร็วเชิงมุม ดังนั้นการเคลื่อนที่แบบวงกลมจะมีอัตราเร็วเชิงมุมและความเร็วเชิงมุม มาเกี่ยวข้อง ปริมาณนี้ในทางฟิสิกส์แทนด้วยสัญลักษณ์คือ ω (อ่านว่า โอเมก้า) เราสามารถหาขนาดของอัตราเร็วเชิงมุมได้ดังนี้

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



รูปที่ 4. การเคลื่อนที่ในแบบวงกลม

เมื่อ ω คือ อัตราเร็วเชิงมุม มีหน่วยเป็น เรเดียนต่อวินาที (rad /s)

θ คือ มุมที่เคลื่อนที่กวาดไปได้ มีหน่วยเป็น เรเดียน (rad)

t คือ เวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่ มีหน่วยเป็น วินาที (s)

ความถี่และคาบ

ความถี่ (f) ใช้กับการกระทำที่ซ้ำ หรือ ครบรอบ ในหนึ่งหน่วยเวลา

ความถี่ คือ จำนวนครั้ง หรือ จำนวนรอบ ในหนึ่งหน่วยเวลา

ความถี่ $= \frac{\text{จำนวนครั้ง (หรือจำนวนรอบ)}}{\text{เวลา}}$ มีหน่วยเป็น ครั้ง (หรือรอบ) ต่อวินาที , (เฮิรตซ์ : Hz)

$$f = \frac{n}{t}$$

คาบ (T) ใช้กับ เวลา ในการกระทำสิ่งนั้นๆ หนึ่งครั้งหรือ หนึ่งรอบ

คาบ คือ เวลาที่ใช้ ในหนึ่งครั้งหรือหนึ่งรอบ

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

$$T = \frac{t}{n}$$

ความสัมพันธ์ระหว่างความถี่และคาบ

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

ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราเร็วเชิงเส้น (v) และอัตราเร็วเชิงมุม (ω)

การเคลื่อนที่เป็นวงกลม ระยะทางที่เคลื่อนที่ได้จะหาได้จาก

$$S = \theta R \quad \text{.....(1)}$$

เมื่อ S คือ ระยะทางตามแนวเส้นรอบวงที่เคลื่อนที่ได้ มีหน่วยเป็น เมตร (m)

θ คือ มุมที่วัตถุเคลื่อนที่กวาดไปได้รอบจุดศูนย์กลาง มีหน่วยเป็น องศา หรือ เรเดียน

R คือ รัศมีของการเคลื่อนที่รอบจุดศูนย์กลาง มีหน่วยเป็น เมตร (m)

และจากสมการ $\omega = \frac{\theta}{t}$ .....(2)

แทนค่า θ จากสมการ (1) ในสมการ (2)

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

จะได้ $\omega = \frac{v}{R}$

หรือ $v = \omega R$ .....*****

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

$\omega = \frac{2 \times 3.142 \text{ rad}}{86400 \text{ s}}$

$\omega = 7.27 \times 10^{-5}$ rad / s

ตอบ อัตราเร็วเชิงมุมของวัตถุบนผิวโลกเท่ากับ 7.27×10^{-5} เรเดียนต่อวินาที

ข. หาอัตราเร็วเชิงเส้นของวัตถุที่อยู่บนเส้นศูนย์สูตรของโลก

จาก $v = \omega R$

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

$v = 4.63 \times 10^{2}$ 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

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 กรณีที่ถนนระดับมีรัศมีความโค้ง 100 เมตร

จาก $F_c = \frac{mv^2}{R}$

$$F_c = \frac{(1{,}000\ \text{kg})\left(\frac{60 \times 10^3}{3600}\ \text{m/s}\right)^2}{100\ \text{m}}$$

$F_c = 2{,}778\ \text{N}$

ตอบ แรงสู่ศูนย์กลางที่กระทำต่อรถยนต์กรณีที่ถนนระดับมีรัศมีความโค้ง 100 เมตร เท่ากับ 2,778 นิวตัน

กรณีที่ถนนระดับมีรัศมีความโค้ง 500 เมตร

จาก $F_c = \frac{mv^2}{R}$

$$F_c = \frac{(1{,}000\ \text{kg})\left(\frac{60 \times 10^3}{3600}\ \text{m/s}\right)^2}{500\ \text{m}}$$

$F_c = 555.6\ \text{N}$

ตอบ แรงสู่ศูนย์กลางที่กระทำต่อรถยนต์กรณีที่ถนนระดับมีรัศมีความโค้ง 500 เมตร เท่ากับ 555.6 นิวตัน

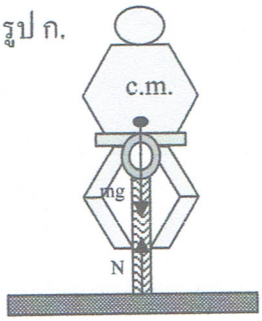
2. เนื่องจากแรงสู่ศูนย์กลางที่กระทำต่อรถยนต์มีค่าสูงสุด 1,000 นิวตัน รถยนต์จะต้องเลี้ยวโค้งด้วยแรงสู่ศูนย์กลางที่น้อยกว่าหรือเท่ากับแรงสู่ศูนย์กลางสูงสุดจึงจะเลี้ยวโค้งได้อย่างปลอดภัย

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

การเลี้ยวโค้งบนถนนระดับของรถจักรยานยนต์หรือรถจักรยาน

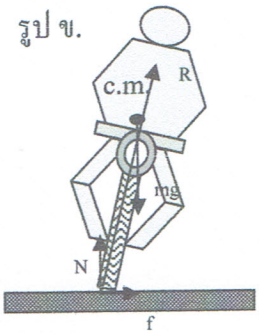
ขณะที่แล่นบนถนนระดับ จะมีแรงกระทำต่อรถกับคนมากมายรวมทั้งแรงเสียดทานที่กระทำที่ล้อให้รถเคลื่อนที่ไปข้างหน้าได้ ยังมี $m\bar{g}$ คือ น้ำหนักของรถและคน ส่วน $\bar{N}$ คือ แรงที่พื้นกระทำต่อรถและคน ในขณะที่แล่นในแนวตรง และ $\bar{f}$ คือ แรงเสียดทานที่พื้นถนนกระทำกับด้านข้างของล้อรถในทิศเข้าหาจุดศูนย์กลาง , $\bar{R}$ คือ แรงลัพธ์ของแรง $\bar{f}$ และ $\bar{N}$ เมื่อแล่นในแนวโค้งหรือเอียง พิจารณาจากรูปต่อไปนี้

รูป ก.



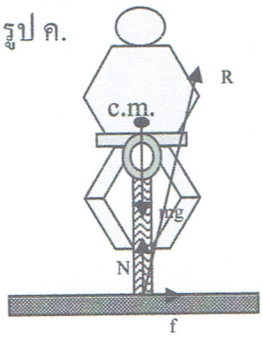
จากรูปที่ 5 ก. พิจารณาขณะที่แล่นในแนวตรงบนถนนระดับ จะมีแรงกระทำต่อรถจักรยานยนต์หรือรถจักยาน คือ น้ำหนัก $m\bar{g}$ ของรถและคน ส่วนแรง $\bar{N}$ คือ แรงที่พื้นกระทำต่อรถและคน โดยแนวของแรงทั้งสอง จะผ่านจุดศูนย์กลางมวลรวมของรถและคนอยู่ในแนวดิ่ง ทำให้รถไม่มีโมเมนต์ของแรงเกิดขึ้นที่รถ จึงทำให้รถไม่ล้ม

รูป ข.



จากรูปที่ 5 ข. พิจารณาขณะที่แล่นในแนวโค้งและ**เอียงรถ**บนถนนระดับ จะมีแรงกระทำต่อรถจักรยานยนต์หรือรถจักยาน คือ น้ำหนัก $m\bar{g}$ ของรถและคน ส่วนแรง $\bar{N}$ คือแรงที่พื้นกระทำต่อรถและคน และ แรงเสียดทาน $\bar{f}$ ที่พื้นถนนกระทำกับด้านข้างของล้อรถในทิศเข้าหาจุดศูนย์กลาง เป็นผลให้**เกิดแรงลัพธ์ $\bar{R}$ ของแรง $\bar{f}$ และ $\bar{N}$ เมื่อแล่นในแนวโค้ง รถจึงจำเป็นต้องเอียง**เพื่อให้แรงลัพธ์ $\bar{R}$ ผ่านจุดศูนย์กลางมวลรวมของรถและคน ทำให้รถไม่มีโมเมนต์ของแรงเกิดขึ้นที่รถ **จึงทำให้รถไม่ล้ม**

รูป ค.

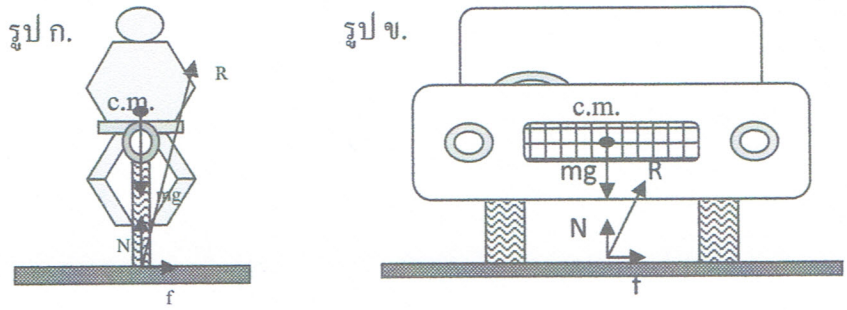


จากรูปที่ 5 ค. พิจารณาขณะที่แล่นในแนวโค้งและ**ไม่เอียงรถ**บนถนนระดับ จะมีแรงกระทำต่อรถจักรยานยนต์หรือรถจักยาน คือ น้ำหนัก $m\bar{g}$ ของรถและคน ส่วนแรง $\bar{N}$ คือแรงที่พื้นกระทำต่อรถและคน และ แรงเสียดทาน $\bar{f}$ ที่พื้นถนนกระทำกับด้านข้างของล้อรถในทิศเข้าหาจุดศูนย์กลาง เป็นผลให้**เกิดแรงลัพธ์ $\bar{R}$ ของแรง $\bar{f}$ และ $\bar{N}$ เมื่อแล่นในแนวโค้ง เมื่อไม่เอียงรถ**แรงลัพธ์ $\bar{R}$ ก็จะไม่ผ่านจุดศูนย์กลางมวลรวมของรถและคน ทำให้รถมีโมเมนต์ของแรงเกิดขึ้นที่รถ **จึงทำให้รถล้ม**

รูปที่ 5. แสดงแรงกระทำต่อรถจักรยานยนต์

การยกขอบถนนโค้ง

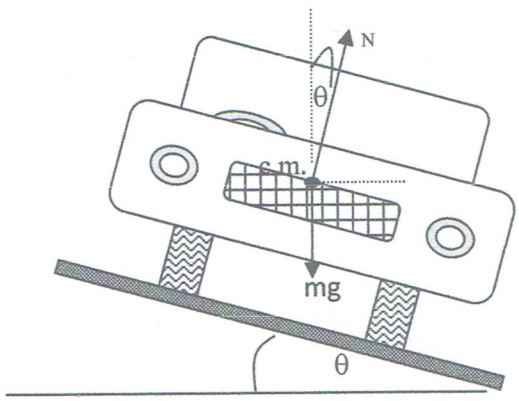
เพื่อให้การเลี้ยวโค้งปลอดภัยขึ้น ด้วยความเร็วที่แตกต่างจากถนนโค้งในแนวระดับ โดยมีหลักให้แรงลัพธ์ $\vec{R}$ ผ่านจุดศูนย์กลางมวลรวมของรถและคน ทำให้รถไม่มีโมเมนต์ของแรงเกิดขึ้นที่รถ พิจารณาจากรูปต่อไปนี้



รูปที่ 6. แรงกระทำต่อรถขณะที่กำลังแล่นเลี้ยวโค้งบนถนนพื้นระดับ

จากรูปที่ 6 ก. และ รูปที่ 6 ข. เมื่อแล่นบนถนนโค้งแล้วไม่มีการเอียงรถ แรงลัพธ์ จะไม่ผ่านจุดศูนย์กลางมวลรวมของรถและคน ทำให้รถมีโมเมนต์ของแรงเกิดขึ้นที่รถ จึงทำให้รถล้มหรือพลิกคว่ำได้

ดังนั้นวิศวกรจึงออกแบบถนนโดยการยกขอบถนนโค้ง เพื่อให้รถแล่นด้วยความปลอดภัย ด้วยความเร็วที่เป็นไปได้ โดยไม่อาศัยแรงเสียดทาน $\vec{f}$ ยกเว้นรถแล่นด้วยอัตราเร็วที่ไม่พอดีรถจึงจะอาศัยแรงเสียดทาน $\vec{f}$ ช่วย



รูปที่ 7. แรงกระทำต่อรถขณะที่กำลังแล่น

จากรูปที่ 7. เมื่อยกขอบถนน เมื่อแล่นด้วยอัตราเร็วที่เป็นไปได้ 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) สัมพันธ์กับอัตราเร็วที่เป็นไปได้ ดังนี้

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

$$\theta = 10.5^\circ$$

คำตอบ พื้นถนนจะต้องเอียงทำมุม 10.5 องศากับแนวระดับรถจึงจะเลี้ยวได้อย่างปลอดภัย

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

วิธีทำ แรงเสียดทานระหว่างพื้นถนนกับยางรถที่มีค่าน้อยที่สุดที่ทำให้รถยนต์สามารถเลี้ยวโค้งได้ คือแรงสู่ศูนย์กลาง

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

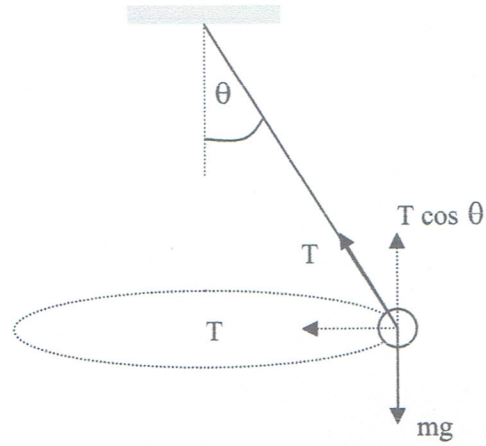
$$\vec{F}_c = \frac{(1{,}550\ kg)(10\ m/s)^2}{50\ m}$$

$$\vec{F}_c = 3{,}100\ N$$

คำตอบ แรงเสียดทานระหว่างพื้นถนนกับยางที่มีค่าน้อยที่สุดที่ทำให้รถยนต์สามารถเลี้ยวได้อย่างปลอดภัยเท่ากับ 3,100 นิวตัน

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

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



จาก $\bar{F}_c = \frac{mv^2}{R}$

แทนค่า $T \sin\theta = \frac{mv^2}{R}$

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

$$T \cos\theta = mg$$

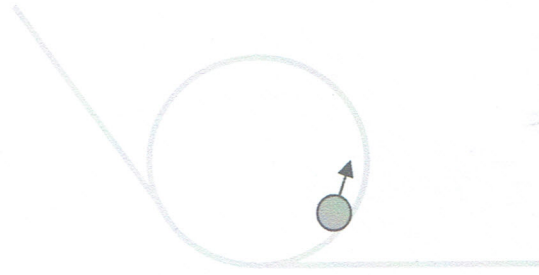
จะได้ $$\frac{T \sin\theta}{T \cos\theta} = (\frac{mv^2}{R})(\frac{1}{mg})$$

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

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

การเคลื่อนที่แบบวงกลมในระนาบดิ่ง

การเคลื่อนที่แบบวงกลมในระนาบดิ่ง ได้แก่ การเคลื่อนที่ของลูกกลมโลหะไปตามรางรูปวงกลมในระนาบดิ่ง ทุกๆหนแห่งที่ลูกกลมโลหะเคลื่อนที่ผ่านจะมีแรงสู่ศูนย์กลางกระทำต่อลูกกลมโลหะเพื่อเปลี่ยนทิศของความเร็ว แรงสู่ศูนย์กลางมีค่าเป็นอย่างไร เมื่อลูกกลมโลหะอยู่ ณ ตำแหน่งต่างๆ ในรางรูปวงกลม ดังรูปที่ 8. ดังนั้นจะต้องระลึกว่าเพราะลูกกลมถูกแรงโน้มถ่วงกระทำอยู่ตลอดเวลาด้วย ผลของแรงโน้มถ่วงที่กระทำนี้ จะทำให้อัตราเร็วของการเคลื่อนที่ไม่สามารถจะรักษาให้คงตัวได้ แต่จะต้องเป็นไปตามหลักการอนุรักษ์พลังงาน ซึ่งจะได้เรียนในบทต่อไป



รูปที่ 8. การเคลื่อนที่เป็นวงกลมในระนาบดิ่ง

การคิดหาค่าแรงที่ต้องการที่จะกระทำให้วัตถุวิ่งโค้ง อาจทำได้ตามหลักเกณฑ์ปกติ เช่น กรณีลูกกลมโลหะอยู่ ณ ตำแหน่งล่างสุดของรางวงกลม แรงที่รางกระทำกับวัตถุจะเป็นเท่าใด ขณะที่วัตถุมีอัตราเร็ว v และรางมีรัศมีความโค้งเป็น R

ถ้าให้ F_c เป็นแรงสู่ศูนย์กลาง จากรูปที่ 9. ก จะได้

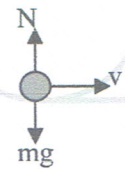
จาก $F_c = \frac{mv^2}{R}$

จะได้ $F_c = N - mg$

แสดงว่า แรงที่รางดันลูกกลมโลหะในทิศตั้งฉากกับราง คือ N

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

รูป 9. ก



ถ้าให้ F_c เป็นแรงสู่ศูนย์กลาง จากรูปที่ 9. ข จะได้

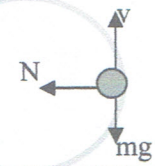
จาก $F_c = \frac{mv^2}{R}$

จะได้ $F_c = N$

แสดงว่า แรงที่รางดันลูกกลมโลหะในทิศตั้งฉากกับราง คือ N

จะได้ $N = \frac{mv^2}{R}$ .....*****

รูป 9. ข



ถ้าให้ F_c เป็นแรงสู่ศูนย์กลาง จากรูปที่ 9. ค จะได้

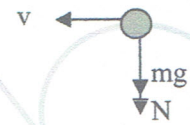
จาก $F_c = \frac{mv^2}{R}$

จะได้ $F_c = N + mg$

แสดงว่า แรงที่รางดันลูกกลมโลหะในทิศตั้งฉากกับราง คือ N

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

รูป 9. ค



ถ้าให้ F_c เป็นแรงสู่ศูนย์กลาง จากรูปที่ 9. ง จะได้

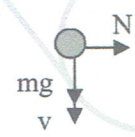
จาก $F_c = \frac{mv^2}{R}$

จะได้ $F_c = N$

แสดงว่า แรงที่รางดันลูกกลมโลหะในทิศตั้งฉากกับราง คือ N

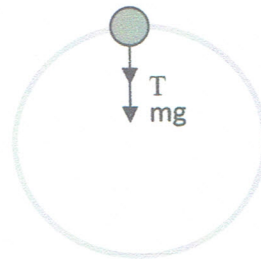
จะได้ $N = \frac{mv^2}{R}$ .....*****

รูป 9. ง



รูปที่ 9. แรงต่อการเคลื่อนที่เป็นวงกลม ในระนาบดิ่งที่จุดต่างๆ

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



วิธีทำ อัตราเร็ว ณ ตำแหน่งสูงสุดหาได้ดังนี้

จาก $F_c = \frac{mv^2}{R}$

จะได้ $F_c = T + mg$

จะได้ $T + mg = \frac{mv^2}{R}$

$v^2 = R(T + mg)/m$

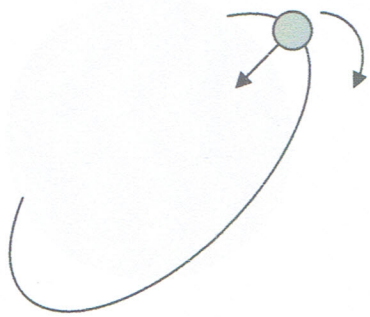
$v^2 = (1\ kg)(6\ N + (1\ kg)(10\ m/s^2))/(1\ kg)$

$v^2 = 16\ (m/s)^2$

$v = 4\ m/s$

คำตอบ อัตราเร็ว ณ ตำแหน่งสูงสุดเท่ากับ 4 เมตรต่อวินาที

การเคลื่อนที่ของดาวเทียม



รูปที่ 10. การเคลื่อนที่ของดาวเทียมรอบโลก

ดาวเทียมที่โคจรรอบโลกมีเป็นจำนวนมาก ดาวเทียมแต่ละดวงจะทำหน้าที่ต่างๆกัน เช่นดาวเทียมอุตุนิยม ดาวเทียมสำรวจทรัพยากร ดาวเทียมสื่อสารและดาวเทียมจารกรรมทางทหารเป็นต้น ดาวเทียมแต่ละดวงมีรัศมีวงโคจรต่างกัน แตกต่างก็เคลื่อนที่รอบโลกในแนววงกลม โดยมีแรงที่โลกดึงดูดดาวเทียมเป็นแรงสู่ศูนย์กลางกระทำต่อดาวเทียม ดาวเทียมแต่ละดวงจะเคลื่อนที่รอบโลกด้วยอัตราเร็วอย่างไร

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

จาก $F = \frac{GMm}{R^2}$

และ $F_c = \frac{mv^2}{R}$

ดังนั้น $\frac{mv^2}{R} = \frac{GMm}{R^2}$

$V^2 = \frac{GM}{R}$

จาก $v^2 = \frac{GM}{R}$

จะเห็นว่า ดาวเทียมที่มีรัศมีวงโคจรต่างกันจะเคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็วเชิงเส้นต่างกันด้วย

การส่งดาวเทียมขึ้นไปสู่วงโคจรต่างๆ รอบโลกนั้น ได้มีการกำหนดรัศมีวงโคจรไว้ก่อน แล้วคำนวณหาแรงสู่ศูนย์กลางที่กระทำกับดาวเทียมและอัตราเร็วเชิงเส้นในวงโคจรนั้นๆ เมื่อยิงดาวเทียมขึ้นไปจนมีความสูงหรือรัศมีของการโคจรตามต้องการแล้ว จึงปรับทิศทางและอัตราเร็วของดาวเทียมเพื่อให้เข้าสู่วงโคจรรอบโลกตามที่กำหนดไว้

เมื่อสังเกตดาวเทียมสื่อสารจากพื้นโลก จะเห็นดาวเทียมสื่อสารอยู่ ณ ตำแหน่งเดิมตลอดเวลา ที่เป็นเช่นนี้ เพราะดาวเทียมสื่อสารมีคาบของการโคจรรอบโลกเท่ากับคาบการหมุนของโลกรอบตัวเอง หรืออัตราเร็วเชิงมุมของดาวเทียมสื่อสารเท่ากับอัตราเร็วเชิงมุมในการหมุนรอบตัวเองของโลก และการที่ดาวเทียมสื่อสารอยู่ที่ตำแหน่งเดิมโดยไม่เปลี่ยนแปลง ทำให้สถานีภาคพื้นดินและดาวเทียมสามารถติดต่อกันได้ตลอดเวลา

ตัวอย่าง โลกหมุนรอบตัวเองเท่ากับ 24 ชั่วโมง รัศมีวงโคจรรอบโลกของดาวเทียมสื่อสารจะต้องเป็นเท่าใด และมีอัตราเร็วเชิงมุมเท่าใด กำหนดให้ $G = 6.67\times10^{-11}$ นิวตัน(เมตร)^{2}ต่อ (กิโลกรัม)^2 มวลของโลก $= 5.95\times10^{24}$กิโลกรัม

วิธีทำ เนื่องจากคาบของดาวเทียมสื่อสารเท่ากับคาบของการหมุนรอบตัวเองของโลก

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

จะได้ $\omega = \frac{(2)(\frac{22}{7})}{86{,}400 s}$

$= 7.27\times10^{-5}\ rad/s$ ..... **ตอบ**

จาก $v^2 = \frac{GM}{R}$

และ $v = \omega R$

จะได้ $R^3 = \frac{GM}{\omega^2}$

$R^3 = \frac{(6.67\times10^{-11}\ N.m^2/kg^2)(5.95\times10^{24}\ kg)}{(7.27\times10^{-5}\ rad/s)^2}$

$R^3 = 74848.19\times10^{18}\ m^3$

$R = 42.14 \times 10^6\ m$ ..... **ตอบ**

คำตอบ รัศมีวงโคจรรอบโลกของดาวเทียมเท่ากับ 42.14×10^6 เมตร อัตราเร็วเชิงมุมของดาวเทียมสื่อสารเท่ากับ 7.26×10^{-5} เรเดียนต่อวินาที

ใบงาน 2.1 เรื่องการเคลื่อนที่แบบวงกลม

1. ให้นักเรียนเขียนแสดงความคิดเห็นเพื่อตอบคำถามต่อไปนี้ วัตถุที่ผูกด้วยเชือกแล้วแกว่งวัตถุนั้นให้เคลื่อนที่เป็นวงกลม สิ่งที่สำคัญของการเคลื่อนที่นี้มีอะไรบ้าง

.....

.....

.....

.....

.....

2. ให้นักเรียนอภิปรายกันในกลุ่มและตอบคำถามต่อไปนี้ วัตถุที่ผูกด้วยเชือกแล้วแกว่งวัตถุนั้นให้เคลื่อนที่เป็นวงกลม สิ่งที่สำคัญของการเคลื่อนที่นี้มีอะไรบ้าง

.....

.....

.....

.....

.....

.....

3. ความคิดเห็นที่นักเรียนและครูร่วมกันอภิปรายสรุป เห็นว่า วัตถุที่ผูกด้วยเชือกแล้วแกว่งวัตถุนั้นให้เคลื่อนที่เป็นวงกลม สิ่งที่สำคัญของการเคลื่อนที่นี้มีอะไรบ้าง

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

ใบงาน 2.2 เรื่องการเคลื่อนที่แบบวงกลม

1. ให้นักเรียนสรุปสาระสำคัญที่ได้จากการสืบค้น ข้อมูล และบันทึกลงในสมุด

1. การเคลื่อนที่แบบวงกลมในระนาบระดับ
2. การเคลื่อนที่บนถนนโค้งพื้นถนนราบ
3. การเคลื่อนที่บนถนนโค้งพื้นถนนเอียง
4. การเคลื่อนที่แบบวงกลมในระนาบดิ่ง

2. ให้นักเรียนเติมคำ หรือข้อความลงในช่องว่างให้ถูกต้อง

1. วัตถุเคลื่อนที่แบบวงกลมได้ แสดงว่าต้องมี แรงกระทำต่อวัตถุ แรงนี้เรียกว่า .....
2. จากข้อ 1. แรงนี้มีสัญลักษณ์แทนด้วย ..... มีหน่วยเป็น .....
3. แรงนี้จะกระทำต่อวัตถุชั่วขณะหนึ่ง หรือ ตลอดเวลาที่เคลื่อนที่แบบวงกลม .....
4. แรงนี้จะมีทิศอย่างไรกับทิศของความเร็วเชิงเส้นของวัตถุ .....
5. ถ้าการเคลื่อนที่แบบวงกลมเคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็วคงที่ แสดงว่า วัตถุนั้นมีความเร่ง หรือ ไม่ .....
6. ปริมาณที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนที่แบบวงกลม ที่เรียกว่า อัตราเร็วเชิงมุม เขียนแทนด้วย .....
7. เวลาที่ใช้ในการเคลื่อนครบรอบ เรียกว่า ..... เขียนแทนด้วยสัญลักษณ์.....
8. จำนวนรอบที่เคลื่อนที่ได้ในหนึ่งหน่วยเวลา เรียกว่า ..... เขียนแทนด้วยสัญลักษณ์ .....
9. วัตถุที่ผูกด้วยเชือก ถูกแกว่งให้เคลื่อนที่แบบวงกลม แรงตึงในเส้นเชือก นี้ ทำหน้าที่เป็นแรงอะไร .....
   .....
10. ดาวเทียมที่โคจรรอบโลกเป็นวงกลม จะมีแรงดึงดูดระหว่างมวลของโลกและดาวเทียมกระทำร่วมกัน แรงนี้ทำหน้าที่เป็นแรงอะไร .....
11. วัตถุมวล 0.5 กิโลกรัม กำลังเคลื่อนที่เป็นวงกลม ด้วยรัศมีความโค้ง 2.0 เมตร ด้วยอัตราเร็วคงที่ 10 เมตรต่อวินาที จงหาปริมาณต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนที่นี้

ก. คาบ ข. ความถี่ ค. อัตราเร็วเชิงเส้น

ง. อัตราเร็วเชิงมุม จ. ความเร่งสู่ศูนย์กลาง ฉ. แรงสู่ศูนย์กลาง

วิธีทำ ก. คาบ จาก $v = \frac{2\pi R}{T}$

$T = \frac{2\pi R}{v} = \frac{2(.....)(.....)}{(.....)}$

$T =$ ..... วินาที (s)

ข. ความถี่ จาก $f = \frac{1}{T} = \frac{1}{(\ldots\ldots\ldots)}$

$f =$ ..... เฮิรตซ์ (Hz)

ค. อัตราเร็วเชิงเส้น คือ v

จะได้ $v =$ ..... เมตรต่อวินาที (m/s)

ง. อัตราเร็วเชิงมุม คือ ω

จาก $v = \omega R$

จะได้ $\omega = \frac{v}{R} = \frac{(\ldots\ldots\ldots)}{(\ldots\ldots\ldots)}$

$\omega =$ ..... เรเดียนต่อวินาที(rad / s)

จ. ความเร่งสู่ศูนย์กลาง คือ a_c

จาก $a_c = \frac{v^2}{R} = \frac{(\ldots\ldots\ldots)^2}{(\ldots\ldots\ldots)}$

$a_c =$ ..... เมตรต่อวินาที^{2} (m/s^2)

ฉ. แรงสู่ศูนย์กลาง คือ F_c

จาก $F_c = m a_c$

$F_c =$ (.....)(.....)

$F_c =$ ..... นิวตัน (N)

ใบงาน 2.3 เรื่องการเคลื่อนที่แบบวงกลม

1. วัตถุมวล 1 กิโลกรัม ผูกด้วยเชือกยาว 0.5 เมตร ถูกแกว่งให้วัตถุนี้เคลื่อนที่เป็นวงกลมอยู่ในแนวดิ่งด้วยอัตราเร็วคงตัว10 เมตรต่อวินาที จงหาแรงตึงเชือก

ก. ขณะที่เชือกอยู่ในแนวระดับ (200 N)

ข. ขณะที่วัตถุอยู่ที่จุดสูงสุด (190 N)

ค. ขณะที่วัตถุอยู่ที่จุดต่ำสุด (210 N)

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

2. นายแดงขี่รถมอเตอร์ไซค์กำลังเลี้ยวเข้าโค้งด้วยอัตราเร็ว 15 เมตรต่อวินาที โดยมีรัศมีความโค้ง 30 เมตร เขาจะต้องเอียงรถทำมุมเท่าไร จึงจะขับรถผ่านโค้งได้อย่างปลอดภัย

.....

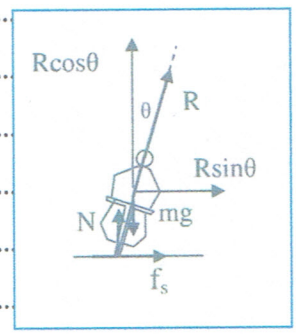
.....

.....

.....

.....

.....



.....

.....

.....

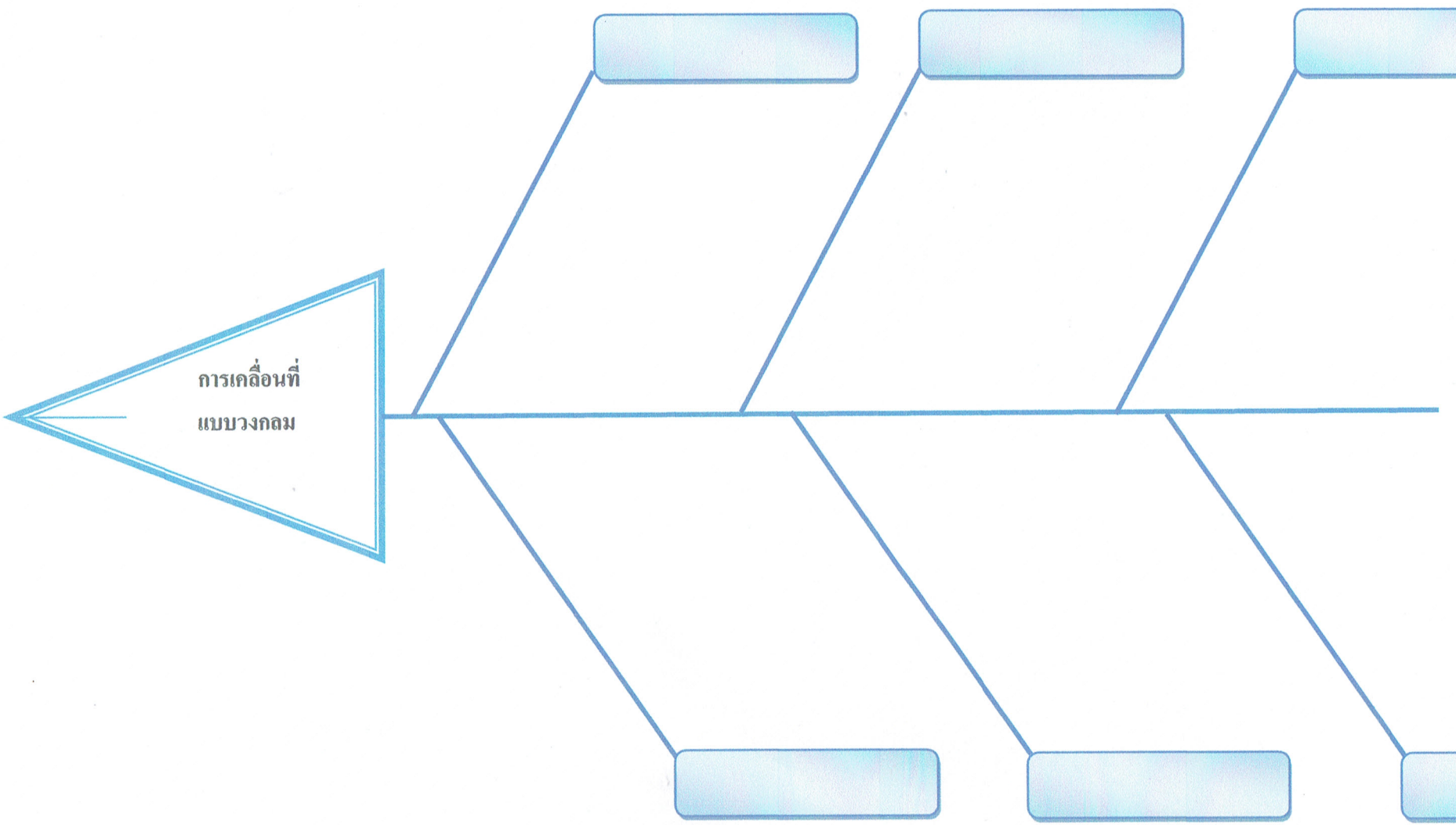
ใบงาน 2.4 เรื่องการเคลื่อนที่แบบวงกลม

คำสั่ง

1. ให้นักเรียนสรุปความรู้ที่เกี่ยวกับปริมาณที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนที่แบบวงกลม เป็นผังก้างปลา (Fishbone)
2. ให้นักเรียนสรุปความรู้ที่เกี่ยวกับการเคลื่อนที่แบบวงกลมในสถานการณ์ต่างๆ เป็นผังแมงมุม (Spider Map)
3. ให้นักเรียนทำโจทย์คำนวณโดยใช้ ผังความคิด (Mind Map) ในการแก้ปัญหาโดยแต่ละคนตั้งโจทย์ขึ้นมาตามความต้องการของตนเอง

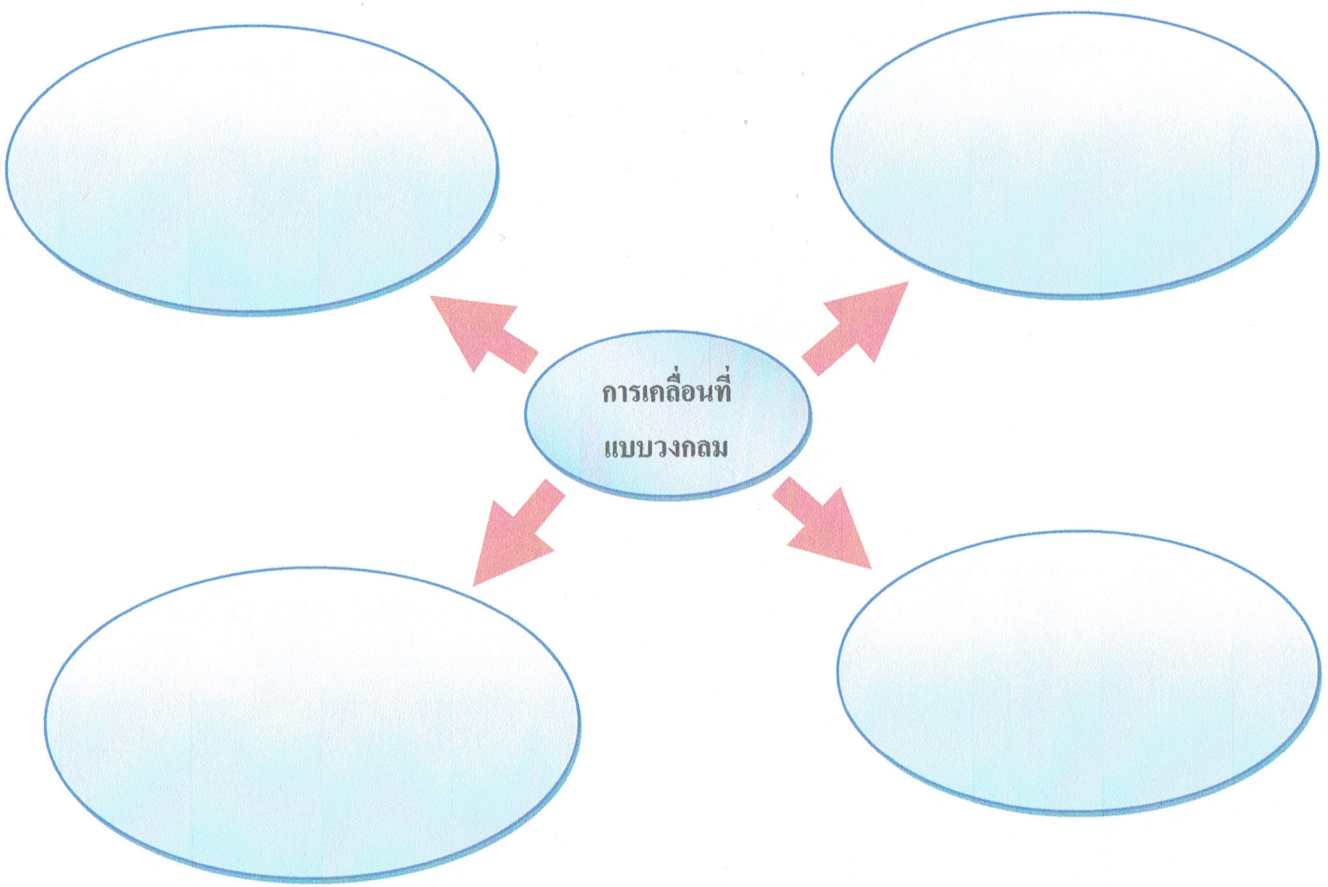
ชื่อ ..... สกุล ..... เลขที่ ..... ชั้น .....

ผังก้างปลา (Fishbone) ปริมาณที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนที่แบบวงกลม



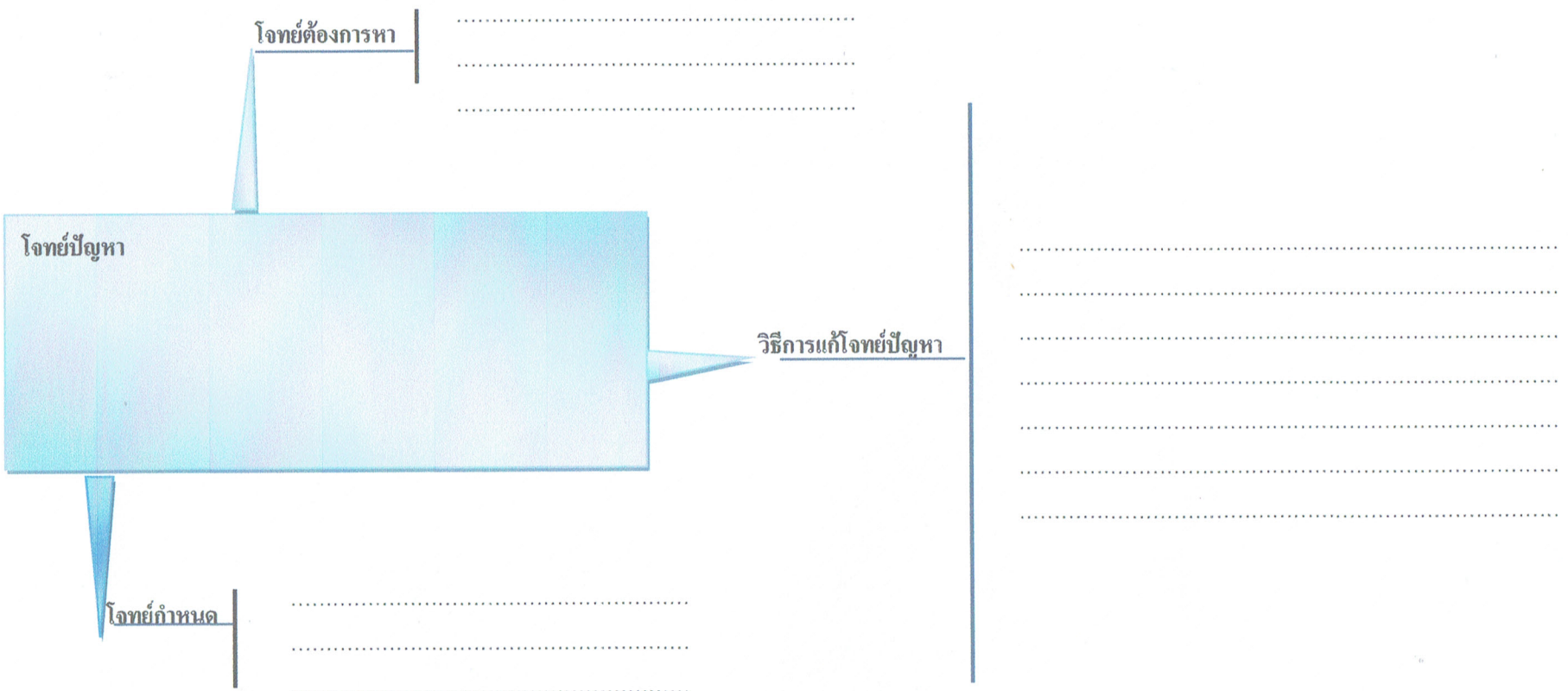
ชื่อ ..... สกุล ..... เลขที่ ..... ชั้น .....

ผังแมงมุม (Spider Map) ของการเคลื่อนที่แบบวงกลม

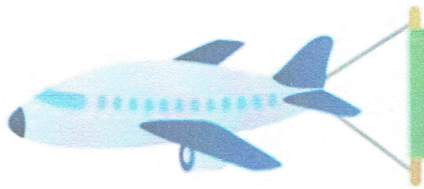


ชื่อ ..... สกุล ..... เลขที่ ..... ชั้น .....

การแก้โจทย์ปัญหาโดยใช้แผนที่ความคิด (Mind Map)



แนวคำตอบชุดกิจกรรมการเรียนรู้
วิชา ฟิสิกส์ 1 ว30201
เรื่องการเคลื่อนที่แบบต่างๆ
ชุดที่ 2 การเคลื่อนที่แบบวงกลม



แนวคำตอบ ชุดกิจกรรม การทดลองที่ 2
เรื่อง การเคลื่อนที่แบบวงกลม

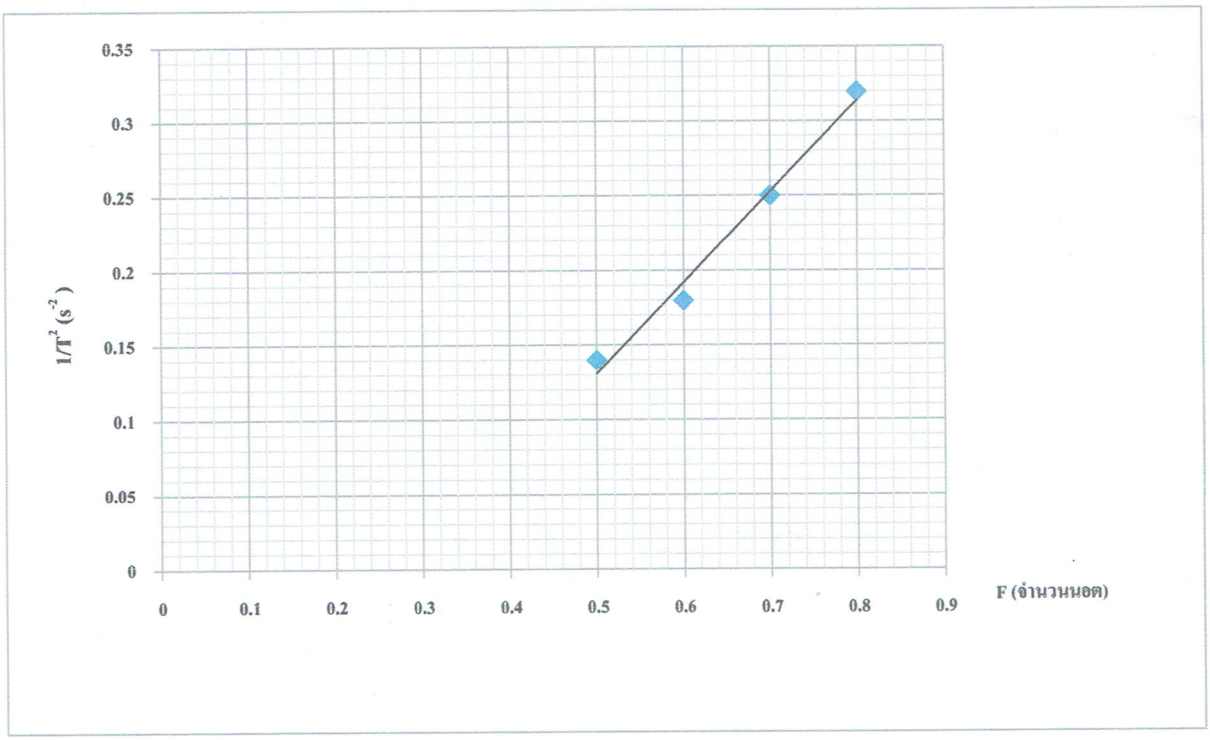
จุดประสงค์

1. เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างคาบและแรงสู่ศูนย์กลางของการเคลื่อนที่ของวัตถุในแนววงกลมในระนาบระดับเมื่อรัศมีคงตัว
2. เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างคาบและรัศมีของการเคลื่อนที่ของวัตถุในแนววงกลมในระนาบระดับ เมื่อแรงสู่ศูนย์กลางคงตัว

แนวคำตอบตอนที่ 1

ตัวอย่างผลการทดลอง

จำนวนนอต (ตัว)	ช่วงเวลาในการเคลื่อนที่ 30 รอบ (s)	T (s)	T^2 (s^2)	$\frac{1}{T^2}$ (s^{-2})
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	0.14	0.14	7.1



กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนนอตกับส่วนกลับของคาบยกกำลังสอง

แนวคำตอบหลังการทดลอง

1. เมื่อขนาดแรงดึงในเส้นเชือกเพิ่มขึ้นช่วงเวลาในการเคลื่อนที่ครบรอบของจุกยางเป็นเช่นไร

   ช่วงเวลาในการเคลื่อนที่ครบรอบของจุกยางจะลดลง

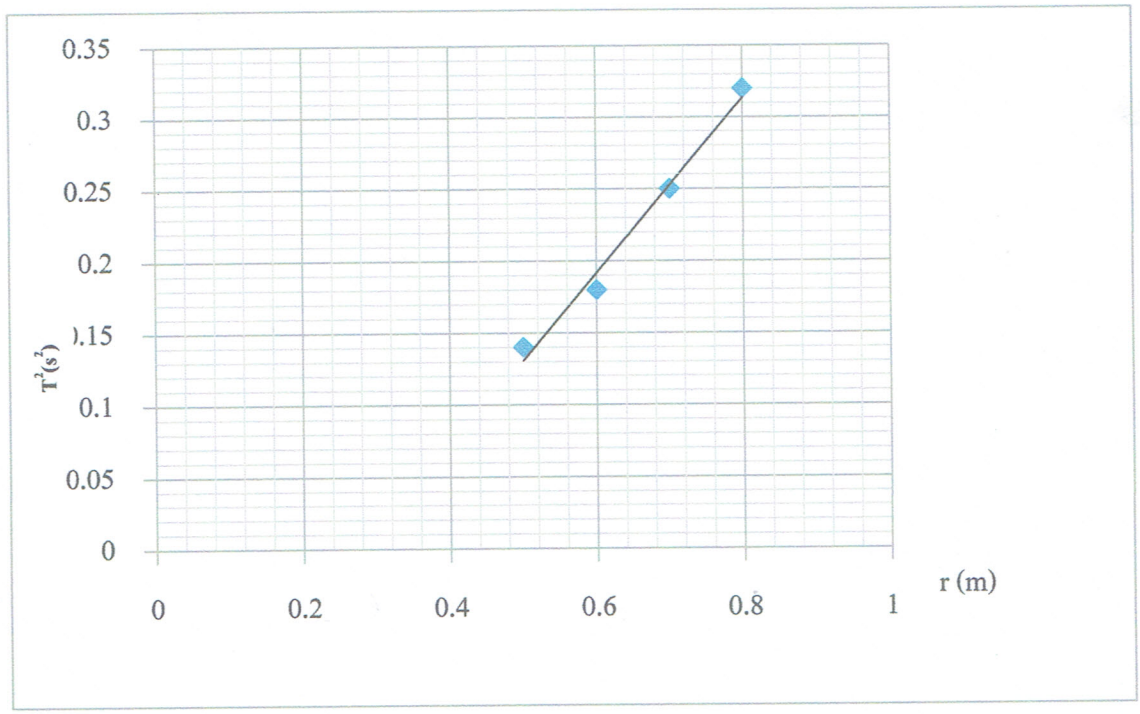
2. กราฟระหว่างขนาดของแรงดึงในเส้นเชือก F กับส่วนกลับของคาบยกกำลังสอง $\frac{1}{T^2}$ มีลักษณะเป็นอย่างไร และสรุปความสัมพันธ์ระหว่างประมาณทั้งสองได้อย่างไร

   กราฟที่ได้มีลักษณะเป็นเส้นตรง แสดงว่าแรงดึงในเส้นเชือกแปรผันตรงกับส่วนกลับของคาบกำลังสอง

แนวคำตอบตอนที่ 2

ตัวอย่างผลการทดลอง

รัศมี r (m)	ช่วงเวลาในการเคลื่อนที่ 30 รอบ (s)	T (s)	T^2 (s^2)
0.50	11	0.35	0.14
0.60	13	0.43	0.18
0.70	15	0.50	0.25
0.80	17	0.57	0.32



กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างรัศมีกับคาบยกกำลังสอง

แนวคำตอบหลังการทดลอง

1. เมื่อรัศมีของการเคลื่อนที่เพิ่มขึ้น ช่วงเวลาในการเคลื่อนที่ครบรอบของจุกยางเป็นอย่างไร
   ช่วงเวลาในการเคลื่อนที่ครบรอบของจุกยางจะเพิ่มขึ้น
2. กราฟระหว่างรัศมีของการเคลื่อนที่ (r) คาบยกกำลังสอง (T^2) มีลักษณะเป็นอย่างไร และสรุปความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณทั้งสองได้อย่างไร
   ได้กราฟเป็นเส้นตรง แสดงว่ารัศมีการเคลื่อนที่ (r) แปรผันตรงกับคาบยกกำลังสอง (T^2)

สรุปผลการทดลอง

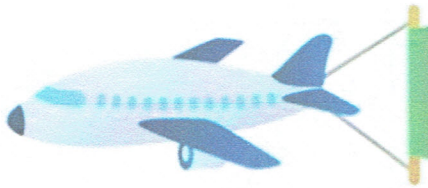
1. ขณะรัศมีคงตัว ถ้าขนาดของแรงสู่ศูนย์กลางเพิ่มขึ้น คาบของการเคลื่อนที่จะลดลง
2. กราฟระหว่างขนาดแรงดึงในเส้นเชือก Fกับส่วนกลับของคาบยกกำลังสอง $\frac{1}{T^2}$ เป็นกราฟเส้นตรง แสดงว่า F แปรผันตรงกับ $\frac{1}{T^2}$
3. ขณะแรงดึงในเส้นเชือกคงตัว คาบของการเคลื่อนที่จะเพิ่มขึ้น ถ้ารัศมีการเคลื่อนที่เพิ่มขึ้น
4. กราฟระว่ารัศมี r ของการเคลื่อนที่กับคาบยกกำลังสอง T^2 เป็นกราฟเส้นตรง แสดงว่า r แปรผันตรงกับ T^2

แนวคำตอบใบงานที่ 2.1
เรื่องการเคลื่อนที่แบบวงกลม

1. ให้นักเรียนเขียนแสดงความคิดเห็นเพื่อตอบคำถามต่อไปนี้ วัตถุที่ผูกด้วยเชือกแล้วแกว่งวัตถุนั้นให้เคลื่อนที่เป็นวงกลม สิ่งที่สำคัญของการเคลื่อนที่นี้มีอะไรบ้าง
   ความยาวของเชือก , แรงที่ใช้ในการดึงเชือก , มวลของวัตถุ , ระนาบในการแกว่งวัตถุ , อัตราเร็วในการแกว่ง

2. ให้นักเรียนอภิปรายกันในกลุ่มและตอบคำถามต่อไปนี้ วัตถุที่ผูกด้วยเชือกแล้วแกว่งวัตถุนั้นให้เคลื่อนที่เป็นวงกลม สิ่งที่สำคัญของการเคลื่อนที่นี้มีอะไรบ้าง
   ความยาวของเชือก , แรงที่ใช้ในการดึงเชือก , มวลของวัตถุ , ระนาบในการแกว่งวัตถุ , อัตราเร็วในการแกว่ง

3. ความคิดเห็นที่นักเรียนและครูร่วมกันอภิปรายสรุป เห็นว่า วัตถุที่ผูกด้วยเชือกแล้วแกว่งวัตถุนั้นให้เคลื่อนที่เป็นวงกลม สิ่งที่สำคัญของการเคลื่อนที่นี้มีอะไรบ้าง
   ความยาวของเชือก , แรงที่ใช้ในการดึงเชือก , มวลของวัตถุ , ระนาบในการแกว่งวัตถุ ,อัตราเร็วในการแกว่ง



แนวคำตอบใบงานที่ 2.2 เรื่องการเคลื่อนที่แบบวงกลม

1. ให้นักเรียนสรุปสาระสำคัญที่ได้จากการสืบค้น ข้อมูล และบันทึกลงในสมุด

1. การเคลื่อนที่แบบวงกลมในระนาบระดับ
2. การเคลื่อนที่บนถนนโค้งพื้นถนนราบ
3. การเคลื่อนที่บนถนนโค้งพื้นถนนเอียง
4. การเคลื่อนที่แบบวงกลมในระนาบดิ่ง

2. ให้นักเรียนเติมคำ หรือข้อความลงในช่องว่างให้ถูกต้อง

1. วัตถุเคลื่อนที่แบบวงกลมได้ แสดงว่าต้องมี แรงกระทำต่อวัตถุ แรงนี้เรียกว่า แรงสู่ศูนย์กลาง
2. จากข้อ 1. แรงนี้มีสัญลักษณ์แทนด้วย F_c มีหน่วยเป็น นิวตัน
3. แรงนี้จะกระทำต่อวัตถุชั่วขณะหนึ่ง หรือ ตลอดเวลาที่เคลื่อนที่แบบวงกลม กระทำตลอดเวลา
4. แรงนี้จะมีทิศอย่างไรกับทิศของความเร็วเชิงเส้นของวัตถุ ตั้งฉากซึ่งกันและกัน
5. ถ้าการเคลื่อนที่แบบวงกลมเคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็วคงที่ แสดงว่า วัตถุนั้นมีความเร่ง หรือ ไม่ วัตถุเคลื่อนที่โดยมีขนาดของอัตราเร็วคงที่แต่ทิศทางเปลี่ยนทำให้เคลื่อนที่โดยมีความเร่ง
6. ปริมาณที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนที่แบบวงกลม ที่เรียกว่า อัตราเร็วเชิงมุม เขียนแทนด้วย ω (โอเมกา)
7. เวลาที่ใช้ในการเคลื่อนครบรอบ เรียกว่า คาบการเคลื่อนที่ เขียนแทนด้วย T
8. จำนวนรอบที่เคลื่อนที่ได้ในหนึ่งหน่วยเวลา เรียกว่า ความถี่การเคลื่อนที่ เขียนแทนด้วย f
9. วัตถุที่ผูกด้วยเชือก ถูกแกว่งให้เคลื่อนที่แบบวงกลม แรงดึงในเส้นเชือก นี้ ทำหน้าที่เป็นแรงอะไร แรงสู่ศูนย์กลาง F_c
10. ดาวเทียมที่โคจรรอบโลกเป็นวงกลม จะมีแรงดึงดูดระหว่างมวลของโลกและดาวเทียมกระทำร่วมกัน แรงนี้ทำหน้าที่เป็นแรงอะไร แรงสู่ศูนย์กลาง F_c

11. วัตถุมวล 0.5 กิโลกรัม กำลังเคลื่อนที่เป็นวงกลม ด้วยรัศมีความโค้ง 2.0 เมตร ด้วยอัตราเร็วคงที่10 เมตรต่อวินาที จงหาปริมาณต่างๆที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนที่นี้

ก. คาบ ข. ความถี่ ค. อัตราเร็วเชิงเส้น

ง. อัตราเร็วเชิงมุม จ. ความเร่งสู่ศูนย์กลาง ฉ. แรงสู่ศูนย์กลาง

วิธีทำ ก. คาบ จาก $v = \frac{2\pi R}{T}$

$T = \frac{2\pi R}{v} = \frac{2(3.14)(2)}{(10)}$

$T = 1.256$ วินาที(s)

ข. ความถี่ จาก $f = \frac{1}{T} = \frac{1}{(1.256)}$

$f = 0.796$ เฮิรตซ์ (Hz)

ค. อัตราเร็วเชิงเส้น คือ v

จะได้ $v = 10$ เมตรต่อวินาที (m/s)

ง. อัตราเร็วเชิงมุม คือ ω

จาก $v = \omega R$

จะได้ $\omega = \frac{v}{R} = \frac{(10)}{(2)}$

$\omega = 5$ เรเดียนต่อวินาที (rad / s)

จ. ความเร่งสู่ศูนย์กลาง คือ a_c

จาก $a_c = \frac{v^2}{R}$

$a_c = \frac{(10)^2}{(2)}$

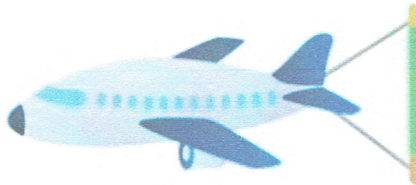
$a_c = 50$ เมตรต่อวินาที^{2} (m/s^2)

ฉ. แรงสู่ศูนย์กลาง คือ F_c

จาก $F_c = m a_c$

$F_c = (0.5)(50)$

$F_c = 25$ นิวตัน (N)



แนวคำตอบใบงานที่ 2.3 เรื่องการเคลื่อนที่แบบวงกลม

1. วัตถุมวล 1 กิโลกรัม ผูกด้วยเชือกยาว 0.5 เมตร ถูกแกว่งให้วัตถุนี้เคลื่อนที่เป็นวงกลมอยู่ในแนวดิ่งด้วยอัตราเร็วคงตัว10 เมตรต่อวินาที จงหาแรงดึงเชือก

ก. ขณะที่เชือกอยู่ในแนวระดับ (200 N)

ข. ขณะที่วัตถุอยู่ที่จุดสูงสุด (190 N)

ค. ขณะที่วัตถุอยู่ที่จุดต่ำสุด (210 N)

ก. ขณะที่เชือกอยู่ในแนวระดับ

$$T = \frac{mv^2}{R}$$

$$T = \frac{1x10^2}{0.5}$$

$$T = 200 \text{ N}$$

ข. ขณะที่วัตถุอยู่ที่จุดสูงสุด

$$F_c = T + mg$$

$$T = F_c - mg$$

$$T = 200 - 10$$

$$T = 190 \text{ นิวตัน}$$

ค. ขณะที่วัตถุอยู่ที่จุดต่ำสุด

$$F_c = T - mg$$

$$T = F_c + mg$$

$$T = 200 + 10 \text{ นิวตัน}$$

$$T = 210 \text{ นิวตัน}$$

2. นายแดงขี่รถมอเตอร์ไซค์กำลังเลี้ยวเข้าโค้งด้วยอัตราเร็ว 15 เมตรต่อวินาที โดยมีรัศมีความโค้ง 30 เมตร เขาจะต้องเอียงรถทำมุมเท่าไร จึงจะขับรถผ่านโค้งได้อย่างปลอดภัย

จาก $\tan\theta = \frac{v^2}{rg}$

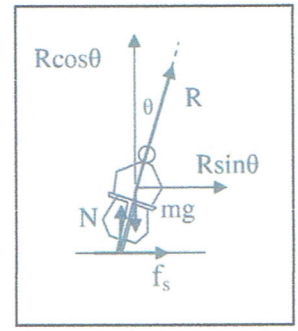
$= \frac{15^2}{30x10}$ 225/300

$= \frac{15}{20}$

$= \frac{3}{4}$

$\theta = 37^0$

นายแดงต้องเอียงทำมุม $90 - 37 = 53^0$ กับแนวระดับ



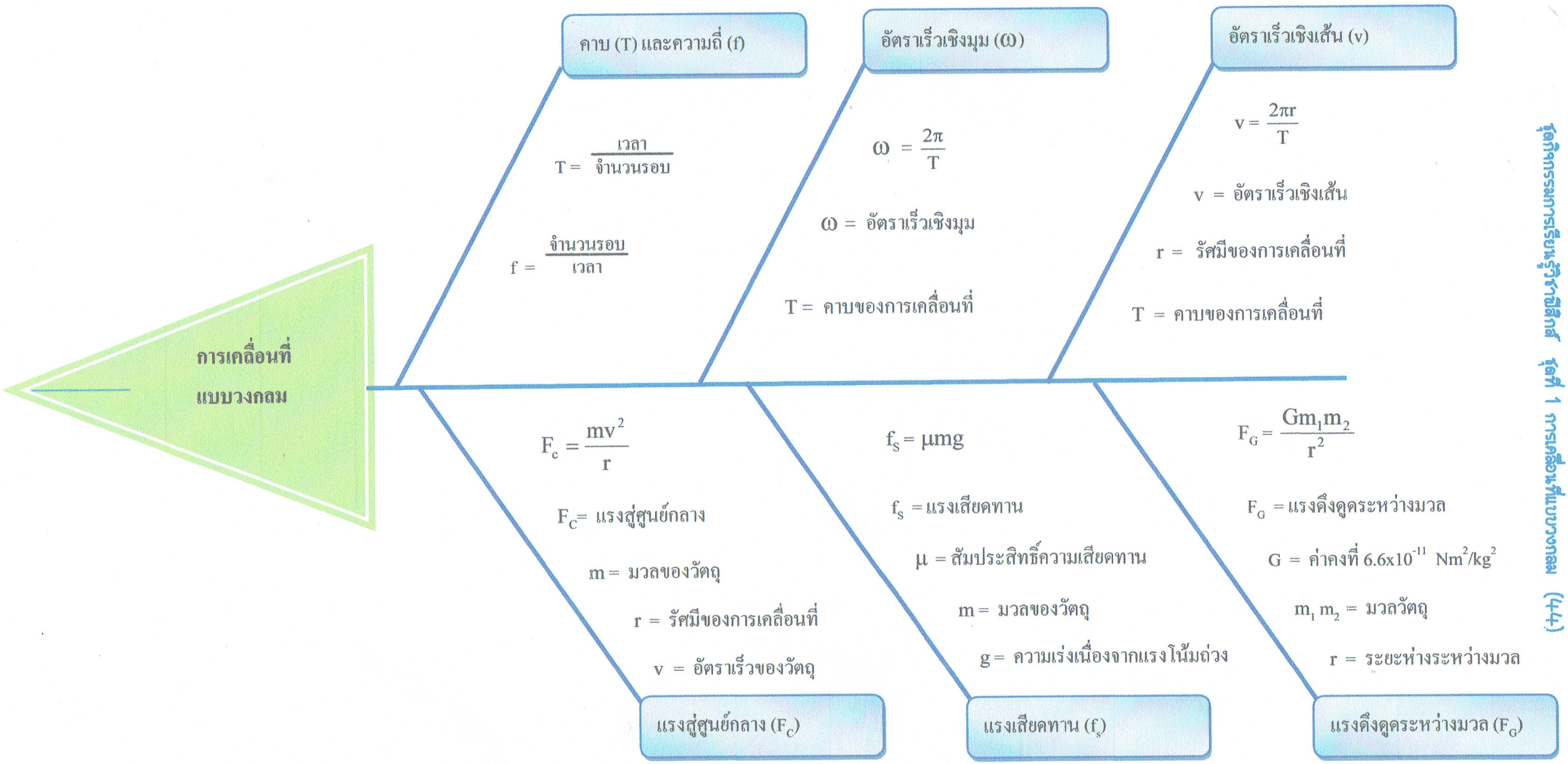
แนวคำตอบใบงานที่ 1.4 เรื่องการเคลื่อนที่แบบวงกลม

คำสั่ง

1. ให้นักเรียนสรุปความรู้ที่เกี่ยวกับปริมาณที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนที่แบบวงกลม เป็นผังก้างปลา (Fishbone)
2. ให้นักเรียนสรุปความรู้ที่เกี่ยวกับการเคลื่อนที่แบบวงกลมในสถานการณ์ต่างๆ เป็นผังแมงมุม (Spider Map)
3. ให้นักเรียนทำโจทย์คำนวณโดยใช้ ผังความคิด (Mind Map) ในการแก้ปัญหาโดยแต่ละคนตั้งโจทย์ขึ้นมาตามความต้องการของตนเอง

ชื่อ ..... สกุล ..... เลขที่ ..... ชั้น .....

ผังก้างปลา (Fishbone) ปริมาณที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนที่แบบวงกลม



ชื่อ ..... สกุล ..... เลขที่ ..... ชั้น .....

ผังแมงมุม (Spider Map) ของการเคลื่อนที่แบบวงกลม

ชื่อ ..... สกุล ..... เลขที่ ..... ชั้น .....

การแก้โจทย์ปัญหาโดยใช้แผนที่ความคิด (Mind Map)

โจทย์ต้องการหา แรงสู่ศูนย์กลางที่กระทำต่อรถ (F_c)

โจทย์ปัญหา

รถยนต์มวล 1,000 กิโลกรัม แล่นด้วยอัตราเร็ว 60 กิโลเมตรต่อชั่วโมง เลี้ยวโค้งบนถนนที่มีผิวอยู่ในแนวระดับและมีทางโค้งซึ่งมีรัศมีความโค้ง 100 เมตร จงหาแรงสู่ศูนย์กลางที่กระทำต่อรถคันนี้

โจทย์กำหนด

มวลวัตถุ $m = 1000$ kg

อัตราเร็ว $v = 60$ km/hr

รัศมีความโค้ง $r = 100$ m

วิธีการแก้โจทย์ปัญหา

จาก $F_c = \frac{mv^2}{R}$

$F_c = \frac{(1{,}000 \text{ kg})\left(\frac{60 \times 10^3}{3600} \text{ m/s}\right)^2}{100 \text{ m}}$

$F_c = 2{,}778$ N

ตอบ แรงสู่ศูนย์กลางที่กระทำต่อรถยนต์กรณีที่ถนนระดับมีรัศมีความโค้ง 100 เมตร เท่ากับ 2,778 นิวตัน

แบบทดสอบหลังเรียน

คำชี้แจง ข้อสอบทั้งหมดมี 15 ข้อ

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

ผลการเรียนรู้ สืบค้นข้อมูล ทดลอง อธิบาย และคำนวณเกี่ยวกับการเคลื่อนที่แบบวงกลม

1. แกว่งวัตถุหนึ่งซึ่งผูกด้วยเชือกให้เคลื่อนที่เป็นวงกลม ข้อใดเป็นความสัมพันธ์ที่ถูกต้อง
   ก. ความเร็วมีทิศเดียวกับความเร่ง
   ข. ความเร็วมีทิศตรงข้ามกับความเร่ง
   ค. แรงที่กระทำต่อวัตถุมีทิศเดียวกับความเร่ง
   ง. แรงที่กระทำต่อวัตถุมีทิศเดียวกับความเร็ว
2. แรงเป็นปัจจัยที่มีผลต่อการเคลื่อนที่ของวัตถุ ในกรณีการเคลื่อนที่แบบวงกลม แรงจะกระทำต่อวัตถุในลักษณะใด
   ก. แรงมีทิศขนานกับทิศของความเร็วตลอดเวลา
   ข. แรงมีทิศตั้งฉากกับทิศของความเร็วตลอดเวลา
   ค. แรงมีทิศทำมุมกับทิศของความเร็วโดยมุมจะเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา
   ง. ถูกทุกข้อที่กล่าวมา
3. จงพิจารณาข้อความต่อไปนี้
   1) วัตถุที่เคลื่อนที่แบบวงกลม แสดงว่าวัตถุนั้นจะต้องมีการเคลื่อนแบบความเร็วไม่คงที่เสมอ
   2) วัตถุที่เคลื่อนที่แบบวงกลม แสดงว่าวัตถุนั้นจะต้องมีแรงสู่ศูนย์กลางเสมอ
   3) วัตถุที่เคลื่อนที่แบบวงกลม แสดงว่าวัตถุนั้นจะต้องมีความเร่งสู่ศูนย์กลางเสมอ

   ข้อที่ถูกต้องคือ
   ก. ข้อ 1 , 2
   ข. ข้อ 1 , 3
   ค. ข้อ 2 , 3
   ง. ข้อ 1 , 2 , 3
4. จงพิจารณาข้อความต่อไปนี้
   1) ความเร็วเชิงมุม มีค่าเท่ากับการเปลี่ยนมุมในหนึ่งหน่วยเวลา
   2) การเคลื่อนที่แบบวงกลม ด้วยอัตราเร็วคงที่เป็นการเคลื่อนที่แบบความเร็วไม่คงที่
   3) การเคลื่อนที่แบบวงกลม ด้วยอัตราเร็วคงที่เป็นการเคลื่อนที่แบบไม่มีความเร่ง

ข้อที่ถูกต้องคือ

ก. ข้อ 1 , 2

ข. ข้อ 1 , 3

ค. ข้อ 2 , 3

ง. ข้อ 1 , 2 , 3

5. การเคลื่อนที่แบบวงกลมครบ 4 รอบ จะกวาดมุมรอบจุดศูนย์กลางไปได้กี่เรเดียน

ก. 1π เรเดียน

ข. 2π เรเดียน

ค. 4π เรเดียน

ง. 8π เรเดียน

6. จงพิจารณาข้อความต่อไปนี้ เกี่ยวกับการเคลื่อนที่แบบวงกลม

1) แรงสู่ศูนย์กลาง มีทิศตั้งฉากกับความเร็วตลอดการเคลื่อนที่

2) คาบของการเคลื่อนที่แปรผกผันกับความถี่

3) เมื่อวัตถุเคลื่อนที่แบบวงกลมด้วยอัตราเร็วคงที่ แสดงว่าแรงลัพธ์ที่กระทำต่อวัตถุเป็นศูนย์

ข้อที่ถูกต้องคือ

ก. ข้อ 1 , 2

ข. ข้อ 1 , 3

ค. ข้อ 2 , 3

ง. ข้อ 1 , 2 , 3

7. แรงสู่ศูนย์กลางของรถยนต์ที่กำลังเลี้ยวโค้งบนถนนราบ มาจากแรงใด

ก. แรงโน้มถ่วงของโลก

ข. แรงปฏิกิริยาของพื้นถนน

ค. แรงเสียดทานระหว่างล้อกับพื้นถนน

ง. ถูกทุกข้อ

8. จงพิจารณาข้อความต่อไปนี้

1) การยกขอบถนนด้านนอกให้เอียงทำมุมกับแนวระดับมากหรือน้อย จะต้องคำนึงถึงอัตราเร็วของรถขณะเลี้ยวโค้ง และรัศมีของความโค้ง

2) ถ้าดาวเทียมโคจรรอบโลกเป็นวงกลม ดาวเทียมมีความเร่งในการเคลื่อนที่

3) ถ้าต้องการหาอัตราเร็วของดาวเทียมที่โคจรเป็นวงกลมรอบโลก จะต้องทราบมวลของดาวเทียมและรัศมีวงโคจรของดาวเทียม

ข้อที่ถูกต้องคือ

ก. ข้อ 1 , 2

ข. ข้อ 1 , 3

ค. ข้อ 2 , 3

ง. ข้อ 1 , 2 , 3

9. อนุภาคหนึ่งเคลื่อนที่เป็นวงกลมรัศมี 7 เมตร ด้วยอัตราเร็วคงที่ โดยมีคาบของการเคลื่อนที่ 16 วินาที เมื่อเวลาผ่านไป 8 วินาที อนุภาคนี้เคลื่อนที่ได้ระยะทางกี่เมตร

ก. 10 เมตร

ข. 16 เมตร

ค. 22 เมตร

ง. 56 เมตร

10. วัตถุที่เคลื่อนที่เป็นวงกลม ความเร่งเข้าสู่ศูนย์กลางจะมีค่ามากที่สุดเมื่อใด

ก. ความเร็วต่ำ – รัศมีความโค้งมาก

ข. ความเร็วต่ำ – รัศมีความโค้งน้อย

ค. ความเร็วสูง – รัศมีความโค้งน้อย

ง. ความเร็วสูง – รัศมีความโค้งมาก

11. วัตถุมวล 1 กิโลกรัม ผูกด้วยเชือกยาว 0.5 เมตร เหวี่ยงให้วัตถุนี้เคลื่อนที่เป็นวงกลมอยู่ในแนวระดับด้วยอัตราเร็วคงตัว เมื่อเชือกนี้ทนแรงดึงได้สูงสุด 18 นิวตัน วัตถุนี้จะมีอัตราเร็วสูงสุดกี่เมตรต่อวินาที

ก. 1 เมตรต่อวินาที

ข. 2 เมตรต่อวินาที

ค. 3 เมตรต่อวินาที

ง. 4 เมตรต่อวินาที

12. ผูกมวล 2 กิโลกรัมกับเชือก เหวี่ยงให้เคลื่อนที่เป็นวงกลมในระนาบดิ่ง มีรัศมีความโค้ง 1 เมตร ขณะเชือกอยู่ในแนวระดับ วัตถุนี้มีอัตราเร็ว $\sqrt{5}$ เมตรต่อวินาที จงหาความเร่งของวัตถุขณะนั้นจะมีค่ากี่เมตรต่อวินาที^{2} ($g = 10\ m/s^2$)

ก. $2\sqrt{5}$ เมตรต่อ(วินาที)^2

ข. $3\sqrt{5}$ เมตรต่อ(วินาที)^2

ค. $4\sqrt{5}$ เมตรต่อ(วินาที)^2

ง. $5\sqrt{5}$ เมตรต่อ(วินาที)^2

13. ผูกมวล 2 กิโลกรัม กับเชือก เหวี่ยงให้เคลื่อนที่เป็นวงกลมในระนาบดิ่ง ด้วยอัตราเร็วคงที่ ผลต่างของแรงดึงเชือกที่จุดสูงสุดและจุดต่ำสุดเป็นเท่าใด

ก. 30 นิวตัน

ข. 40 นิวตัน

ค. 50 นิวตัน

ง. 60 นิวตัน

14. ในการขับรถจักรยานไปตามถนนโค้งราบสองแห่งที่มีพื้นผิวลักษณะเหมือนกัน แต่ทางโค้งที่สองมีรัศมีความโค้งเป็นครึ่งหนึ่งของรัศมีความโค้งแรก ถ้าต้องการขับขี่โดยเอียงรถจากแนวดิ่งเท่ากันทั้งสองโค้ง ดังนั้นการขี่ผ่านโค้งที่สองจะต้องใช้อัตราเร็วเป็นกี่เท่าของการขี่รถผ่านโค้งแรก

ก. $\sqrt{2}$

ข. $\frac{\sqrt{2}}{2}$

ค. 2

ง. 4

15. จงพิจารณาข้อความต่อไปนี้

1) อัตราเร็วเชิงมุมมีค่าคงที่

2) ดาวเทียมมีความเร่งในการเคลื่อนที่

3) คาบการเคลื่อนที่ของดาวเทียมมีค่าคงที่

ข้อที่ถูกต้องคือ

ก. ข้อ 1 , 2

ข. ข้อ 1 , 3

ค. ข้อ 2 , 3

ง. ข้อ 1 , 2 , 3

ชุดกิจกรรม การเรียนรู้ ชุดที่ 2
เรื่อง การเคลื่อนที่แบบวงกลม

แบบทดสอบก่อนเรียน		แบบทดสอบหลังเรียน	
ข้อที่	เฉลย	ข้อที่	เฉลย
1	ง	1	ค
2	ก	2	ข
3	ง	3	ง
4	ก	4	ก
5	ค	5	ง
6	ก	6	ก
7	ค	7	ค
8	ง	8	ง
9	ข	9	ค
10	ง	10	ค
11	ข	11	ค
12	ข	12	ง
13	ง	13	ข
14	ก	14	ข
15	ข	15	ข

เกณฑ์การประเมินแบบทดสอบหลังเรียน

ระดับคุณภาพ

ดีมาก	หมายถึง	ได้คะแนน 13 – 15	คะแนน
ดี	หมายถึง	ได้คะแนน 11 – 12	คะแนน
พอใช้	หมายถึง	ได้คะแนน 8 – 10	คะแนน
ปรับปรุง	หมายถึง	ได้คะแนน ต่ำกว่า 7	คะแนน

การผ่านเกณฑ์ต้องได้ระดับคุณภาพดีขึ้นไป

หากไม่ผ่านเกณฑ์การประเมิน

ให้นักเรียนใช้เวลาในคาบว่างหรือนอกเวลาเรียน ศึกษาเนื้อหา ใบความรู้ทำใบงานและแบบทดสอบหลังเรียนจนกว่าจะผ่านเกณฑ์นะครับ

อ้างอิง

จรัญ บุระตะ. (2555) **คู่มือเรียนด้วยตนเอง ฟิสิกส์ ม.4 – ม.6 เล่ม 1** กรุงเทพมหานคร : นิพนธ์.

จักรินทร์ วรรณโพธิ์กลาง. (2552) **ฟิสิกส์ เล่ม 1 ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4.** กรุงเทพมหานคร : อมรการพิมพ์.

จิต นวนแก้ว และคณะ. (2553) **ฟิสิกส์** กรุงเทพมหานคร : พัฒนาคุณภาพวิชาการ (พว.)

เฉลิมชัย มอญสุขำ. (2550) **หนังสือส่งเสริมการเรียนรู้ ฟิสิกส์ ม. 4** กรุงเทพมหานคร : เดอะบุคส์.

ชวลิต เลาหอุดมพันธ์. (2556) **ฟิสิกส์ ขนมหวาน เล่มที่ 1** กรุงเทพมหานคร : ศูนย์หนังสือจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ช่วง ทมทิตชงค์และคณะ. (2553) **ฟิสิกส์ 1 กลศาสตร์** กรุงเทพมหานคร : เทพเนรมิตการพิมพ์

นรินทร์ เนาวประทีป. (2553) **ฟิสิกส์ เล่ม 1** กรุงเทพมหานคร : ฟิสิกส์เซ็นเตอร์.

นิรันดร์ สุวรัตน์. (2553) **ฟิสิกส์ ม. 4 กลศาสตร์ 1** กรุงเทพมหานคร : โรงพิมพ์เพิ่มทรัพย์การพิมพ์

พิมพันธ์ เตชะคุปต์ และคณะ. (2553) **ฟิสิกส์พื้นฐาน ม. 4** กรุงเทพมหานคร : พัฒนาคุณภาพวิชาการ (พว.)

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. (2554) **คู่มือครู รายวิชาเพิ่มเติม ฟิสิกส์ 1** กรุงเทพมหานคร : โรงพิมพ์ สกสค. ลาดพร้าว

_____. (2554) **หนังสือเรียน รายวิชาเพิ่มเติม ฟิสิกส์ 1** กรุงเทพมหานคร : โรงพิมพ์ สกสค. ลาดพร้าว

.....