บทที่ 2
แนวคิด ทฤษฎีและวิจัยที่เกี่ยวข้อง

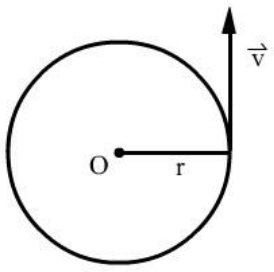
ในบทนี้จะกล่าวถึงเอกสารหรืองานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยครั้งนี้ การหาแรงตึงในเส้นเชือกและความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก โดยใช้เทคนิคการเคลื่อนที่แพนดูลัมแบบทรงกรวย โดยจะกล่าวในรายละเอียดที่ประกอบไปด้วย ส่วนที่ 1 การเคลื่อนที่แบบวงกลม ส่วนที่ 2 การเคลื่อนที่แบบแพนดูลัม กรวย ส่วนที่ 3 การวิเคราะห์ภาพวิดีโอดิจิตัลด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป และส่วนที่ 4 คือเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การเคลื่อนที่แบบวงกลม

วัตถุที่เคลื่อนที่เป็นวงกลมบนระนาบใด ๆ อัตราเร็วขณะใดขณะหนึ่งของวัตถุจะคงที่หรือไม่ก็ได้แต่ความเร็วของวัตถุไม่คงที่แน่นอนเนื่องจากมีการเปลี่ยนทิศทางของการเคลื่อนที่ตลอดเวลา (สุรพล รักวิจัย, 2542: หน้า 4-13) ซึ่งเมื่อวัตถุมีการเปลี่ยนทิศทางการเคลื่อนที่แสดงว่าวัตถุนี้ต้องมีองค์ประกอบของแรงมากระทำในทิศทางที่ตั้งฉากกับเส้นทางการเคลื่อนที่ด้วยและกรณีที่การเคลื่อนที่มีอัตราเร็วไม่คงที่แสดงว่าต้องมีองค์ประกอบของแรงในทิศทางที่ขนานกับแนวการเคลื่อนที่ (วิชิต กฤษณภูมิ, 2536: หน้า 68)

การเคลื่อนที่แบบวงกลมจัดเป็นหนึ่งในการเคลื่อนที่แบบ 2 มิติ ในการเคลื่อนที่เป็นวงกลมที่จะทำการศึกษานั้น ความเร็วของวัตถุที่เคลื่อนที่เป็นวงกลมจะมีค่าคงที่หรือเท่ากันตลอดการเคลื่อนที่เรียกว่าเคลื่อนที่วงกลมแบบนี้ว่า การเคลื่อนที่เป็นวงกลมสม่ำเสมอ (Uniform Circular Motion) (สุรพล รักวิจัย, 2542: หน้า 4-13)

การเคลื่อนที่เป็นวงกลม ลักษณะการเคลื่อนที่ของวัตถุจะมีแรงกระทำในทิศตั้งฉากกับเวกเตอร์ความเร็วเสมอตลอดการเคลื่อนที่โดยวัตถุจะเคลื่อนที่ด้วยความเร็วในคงที่ในแนววงกลมแต่ยังคงมีความเร่งเกิดขึ้นซึ่งความเร่งจะขึ้นกับการเปลี่ยนเวกเตอร์ความเร็วของการเคลื่อนที่โดยเวกเตอร์ความเร็วจะมีทิศสัมผัสกับเส้นทางการเคลื่อนที่ของวัตถุและมีทิศตั้งฉากกับแนวรัศมีวงกลม เรียกความเร่งชนิดนี้ว่า ความเร่งแนวสัมผัสวงกลม เวกเตอร์ความเร่งในการเคลื่อนที่แบบวงกลมจะมีทิศตั้งฉากกับเส้นทางการเคลื่อนที่ของวัตถุและมีทิศพุ่งเข้าสู่จุดศูนย์กลางวงกลมเสมอ เรียกความเร่งนี้ว่า ความเร่งสู่ศูนย์กลาง (สุชาติ สุภาพ, 2550: หน้า 177)



ภาพที่ 2.1แสดงการเคลื่อนที่แบบวงกลมด้วยอัตราเร็วคงที่
ที่มา (สุชาติ สุภาพ, 2550: หน้า 163)

$$t = \frac{1}{f} \tag{2.1}$$

เมื่อ t คือคาบของวัตถุที่มีการเคลื่อนที่แบบวงกลม
f คือความถี่ของวัตถุที่มีการเคลื่อนที่แบบวงกลม
v คือระยะทางตามแนวเส้นรอบวงกลมที่วัตถุเคลื่อนที่ได้ในหนึ่งหน่วยเวลา (เมตรต่อวินาที)

จากสมการการหาอัตราเร็วเชิงเส้น

$$v = \frac{s}{t} \tag{2.2}$$

เมื่อ $t = T$

เมื่อ v คืออัตราเร็วเชิงเส้นของการเคลื่อนที่แบบวงกลม
s คือระยะทางตามแนวเส้นรอบวงของวงกลมที่วัตถุเคลื่อนที่ในหนึ่งหน่วยเวลา (เมตรต่อวินาที)
T คือคาบของวัตถุที่เคลื่อนที่แบบวงกลม
t คือเวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่ในหนึ่งหน่วยเวลา (วินาที)

เมื่อวัตถุมีการเคลื่อนที่แบบวงกลม 1 รอบ ดังนั้นระยะทางแนวเส้นรอบวงของวงกลมที่เคลื่อนที่ในหนึ่งหน่วยเวลา

$$s = 2\pi r$$

แทน ระยะทางตามแนวเส้นรอบวงของวงกลมที่วัตถุเคลื่อนที่ในหนึ่งหน่วยเวลาในสมการที่ (2.2)

ดังนั้นจะได้ $$v = \frac{2\pi r}{T} \quad (2.3)$$

วัตถุที่เคลื่อนที่เป็นวงกลมจะเกิดความเร่ง 2 แนว คือ ความเร็วแนวเส้นสัมผัสวงกลมและความเร่งแนวรัศมีหรือความเร่งสู่ศูนย์กลาง

$$a_C = \frac{v^2}{r} \quad (2.4)$$

เมื่อ a_C คือความเร่งเนื่องจากการเคลื่อนที่แบบวงกลม

v คือความเร็วเชิงเส้นของการเคลื่อนที่แบบวงกลม

r คือรัศมีของการเคลื่อนที่แบบวงกลม

แรงเข้าสู่ศูนย์กลาง (Centripetal Force) F_C คือ แรงที่กระทำต่อวัตถุในการเคลื่อนที่แบบวงกลม มีทิศเดียวกับทิศของความ เร่งโดยกำหนด m คือ มวลวัตถุที่เคลื่อนที่แบบวงกลมในหน่วยกิโลกรัม (kg)

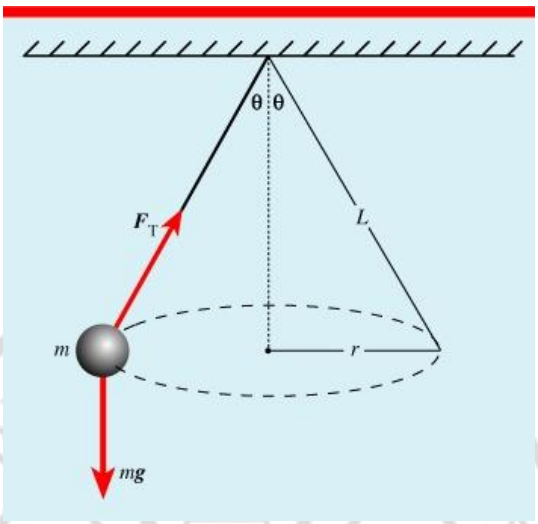
$$F_C = ma_C$$

จาก (2.4) แทน $a_C = \frac{v^2}{r}$ จะได้ $F_c = m\frac{v^2}{r}$ (2.5)

การเคลื่อนที่แบบเพนดูลัมกรวย (Conical pendulum)

ในทางทฤษฎีการเคลื่อนที่แบบเพนดูลัมกรวย (Cummings, Laws, Redish and Cooney, 2004, p.125) (Giancoli, 2001, p.116) (Barger and Olsson, 1995, p.81) ประกอบด้วยลูกตุ้มมวล m แขวนด้วยเชือกยาว L เคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็ว v ในแนวราบเป็นวงกลมด้วยรัศมี r แสดงดังภาพที่ 2.2

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี



ภาพที่ 2.2 การเคลื่อนที่แบบเพนดูลัมกรวย
ที่มา (Mazza and other, 2007: p.63)

ดังนั้น เมื่อนำลูกตุ้มมวล m มาผูกด้วยเชือกความยาว L แล้วให้ลูกตุ้มเคลื่อนที่มีลักษณะเป็นรูปกรวย (ดังภาพที่ 2.2 การเคลื่อนที่แบบเพนดูลัมกรวย) ลูกตุ้มจะเคลื่อนที่แบบวงกลมในระดับ เมื่อพิจารณาแรงที่กระทำต่อวัตถุพบว่า มีแรงเนื่องจากน้ำหนัก mg และแรงตึงเชือก F_T

พิจารณาแรงที่กระทำกับลูกตุ้มในแนวดิ่งพบว่า ลูกตุ้มไม่มีการเคลื่อนที่ขึ้นลงในแนวดิ่งแสดงว่า จากกฎการเคลื่อนที่ของนิวตันจะได้ความสัมพันธ์ดังนี้

$$\sum \vec{F} = m\vec{a} \qquad (2.6)$$

เมื่อ $\sum \vec{F} = F_T\cos\theta - mg$

จะได้ $F_T\cos\theta - mg = 0$

$$F_T\cos\theta = mg \qquad (2.7)$$

พิจารณาแรงที่กระทำกับวัตถุในแนวระดับ พบว่าวัตถุเคลื่อนที่เป็นวงกลมได้แสดงว่า มีแรง $F_T\sin\theta$ ทำหน้าที่เป็นแรงเข้าสู่ศูนย์กลาง

มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

$$\sum \vec{F} = m\vec{a} \qquad (2.8)$$

$\sum \vec{F} = F_T\sin\theta$

เมื่อพิจารณาการเคลื่อนที่ของวัตถุในแนวราบ

จะได้ $F_T\sin\theta = ma$ (2.9)

เมื่อ $$a_c = \frac{v^2}{r}$$

$$F_T \sin\theta = m\frac{v^2}{r} \qquad (2.10)$$

เมื่อ F_T คือ แรงที่ทำให้วัตถุเคลื่อนที่แบบวงกลมหรือแรงตึงของเส้นเชือก

m คือ มวลของวัตถุหรือมวลของลูกตุ้ม

a_C คือ ความเร่งเนื่องจากการเคลื่อนที่แบบวงกลมหรือความเร่งเข้าสู่ศูนย์กลาง

จากสมการที่ (2.7) และ (2.10) จะได้

$$\frac{F_T \sin\theta}{F_T \cos\theta} = \frac{m\frac{v^2}{r}}{mg}$$

จะได้ $$\tan\theta = \frac{v^2}{rg} \qquad (2.11)$$

โดย θ คือมุมระหว่างเส้นเชือกที่แขวนลูกตุ้มกับแนวดิ่ง

พิจารณาความสัมพันธ์ v เมื่อคงที่

จาก $v = \frac{2\pi r}{T}$ ที่ T คือคาบของวงโคจร (The period of the orbit)

หรือ คาบของการเคลื่อนที่

ดังนั้น $$\tan\theta = \frac{\left[\frac{2\pi r}{T}\right]^2}{rg}$$

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

$$\tan\theta = \frac{\frac{4\pi^2 r^2}{T^2}}{rg}$$

$$g\tan\theta = \frac{4\pi^2 r}{T^2}$$

$$T^2 = \frac{4\pi^2 r}{g\tan\theta}$$

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{r}{g\tan\theta}} \qquad (2.12)$$

พิจารณาค่า $\tan\theta$

ดังนั้น $$\tan\theta = \frac{r}{h} \qquad (2.13)$$

โดยพิจารณาค่า h จากทฤษฎีบทพีทาโกรัส

$$L^2 = r^2 + h^2$$
$$h = \sqrt{L^2 - r^2} \qquad (2.14)$$

จากสมการ (2.14) แทนค่าลงใน (2.13)

จะได้ $$\tan\theta = \frac{r}{\sqrt{L^2 - r^2}} \qquad (2.15)$$

ในกรณีของการเคลื่อนที่แบบเพนดูลัมกรวยพบว่า รัศมีของการเคลื่อนที่(r) มีความเกี่ยวข้องกับความยาวของเชือก(L) และคาบของการเคลื่อนที่(T) คือ

$$\sum F = F_c$$

เมื่อ $$F_c = \frac{mv^2}{r}$$

ดังนั้น $$\frac{mv^2}{r} = ma$$
$$\frac{v^2}{r} = a$$

เนื่องจากความเร่งของเคลื่อนที่ในแนวดิ่งคือ g ดังนั้น

$$v^2 = rg \qquad (2.16)$$

เมื่อ $$v = \frac{2\pi r}{T}$$
$$\left[\frac{2\pi r}{T}\right]^2 = gr$$

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

$$\frac{4\pi^2 r^2}{T^2} = gr$$

$$\frac{4\pi^2 r}{T^2} = g$$

$$r = \frac{gT^2}{4\pi^2} \qquad (2.17)$$

ดังนั้นจากสมการ (2.14) $h = \sqrt{L^2 - r^2}$

จากสมการ (2.17) $r = \frac{gT^2}{4\pi^2}$ แทนค่า r ลงไปในสมการ

ดังนั้นจะได้ $$h = \sqrt{L^2 - \left[\frac{gT^2}{4\pi^2}\right]^2} \qquad (2.18)$$

ดังนั้นจากสมการ (2.14) $h = \sqrt{L^2 - r^2}$ และสมการ (2.15) $\tan\theta = \frac{r}{\sqrt{L^2 - r^2}}$ จะทำให้ได้รัศมีของวงโคจรเกี่ยวข้องกับความยาวของเส้นเชือกและคาบของกการโคจร

$$r = \sqrt{L^2 - \left[\frac{gT^2}{4\pi^2}\right]^2} \qquad (2.19)$$

ดังนั้นจากสมการที่ (2.6) ถึงสมการที่ (2. 19) จึงเป็นทฤษฎีที่เกี่ยวข้องของการเคลื่อนที่แบบเพนดูลัมกรวยที่จะทำการหาปริมาณต่าง ๆ ที่ต้องการศึกษาในการทำวิจัยครั้งนี้คือ รัศมีของการเคลื่อนที่ (r) คาบของการเคลื่อนที่ (T) โดยมีความเกี่ยวข้องกับปริมาณต่าง ๆ เช่น ความยาวของเส้นเชือก (L) ความเร็วของวัตถุ (v)

ดังนั้นแรงตึงในเส้นเชือก F_T ขณะที่เครื่องบินกำลังเคลื่อนที่ (Larson and Grant, 1991: 564-565) สามารถหาได้จาก

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

$$F_T = \frac{4\pi^2 mL}{T^2} \qquad (2.20)$$

ในการเคลื่อนที่แบบวงกลมนี้จะต้องวัดรัศมีของการเคลื่อนที่ r ซึ่งมีความซับซ้อนใช้เวลานานและต้องอาศัยความละเอียด รอบคอบ โดยสมการ (2.20) สามารถหาได้จากการยกกำลังของสมการ (2.7) และ (2.10) เข้าด้วยกัน ทั้งนี้ในการหาค่าแรงตึงในเส้นเชือก เมื่อสามารถหาค่ารัศมี

ของการเคลื่อนที่ (r) แล้ว แรงตึงในเส้นเชือกตามองค์ประกอบของรัศมีของการเคลื่อนที่ $F_T^{(r)}$ (Moses and Adolphi, 1998: 372-373) จะสามารถหาได้จากสมการ (2.10) ทำให้ได้

$$F_T^{(r)} = m\sqrt{\left(\frac{4\pi^2 L}{T^2}\right)^2 - g^2} \qquad (2.21)$$

นอกจากนี้แล้วยังสามารถหาค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก (g) ได้โดย

จาก $T^2 = 4\pi^2 \frac{h}{g}$ ดังนั้น $g = \frac{4\pi^2 h}{T^2}$ เมื่อ $h = \sqrt{L^2 - r^2}$

ดังนั้น

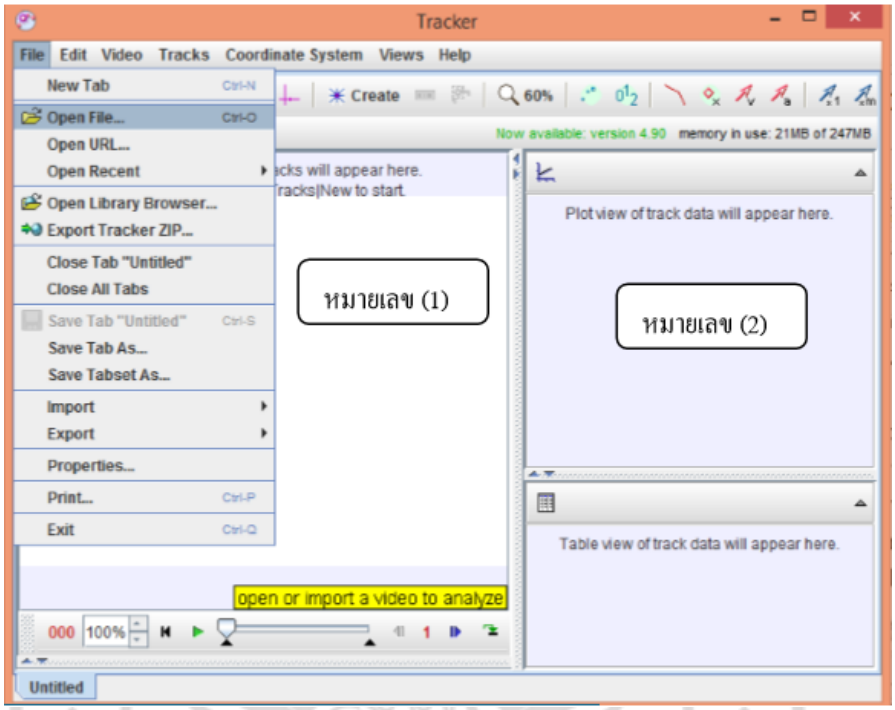
$$g = \frac{4\pi^2\sqrt{L^2 - r^2}}{T^2} \qquad (2.22)$$

การวิเคราะห์ภาพวิดีโอดิจิตัลด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป

โปรแกรมจำลองปรากฏการณ์ทางฟิสิกส์ที่ใช้สาธิตในห้องเรียนหรือเพิ่มเติมการศึกษาเกี่ยวกับฟิสิกส์ เรียกว่าโปรแกรมสำเร็จรูป Tracker เป็นโปรแกรมวิเคราะห์ถ่ายภาพวิดีโอดิจิตัลที่ช่วยทำให้การวิเคราะห์การทดลองฟิสิกส์มีความสะดวกมากยิ่งขึ้น ขั้นตอนการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป Tracker สามารถแบ่งเป็น 6 ขั้นตอน ดังนี้ (Brown & Cox, 2009: pp.145-150)

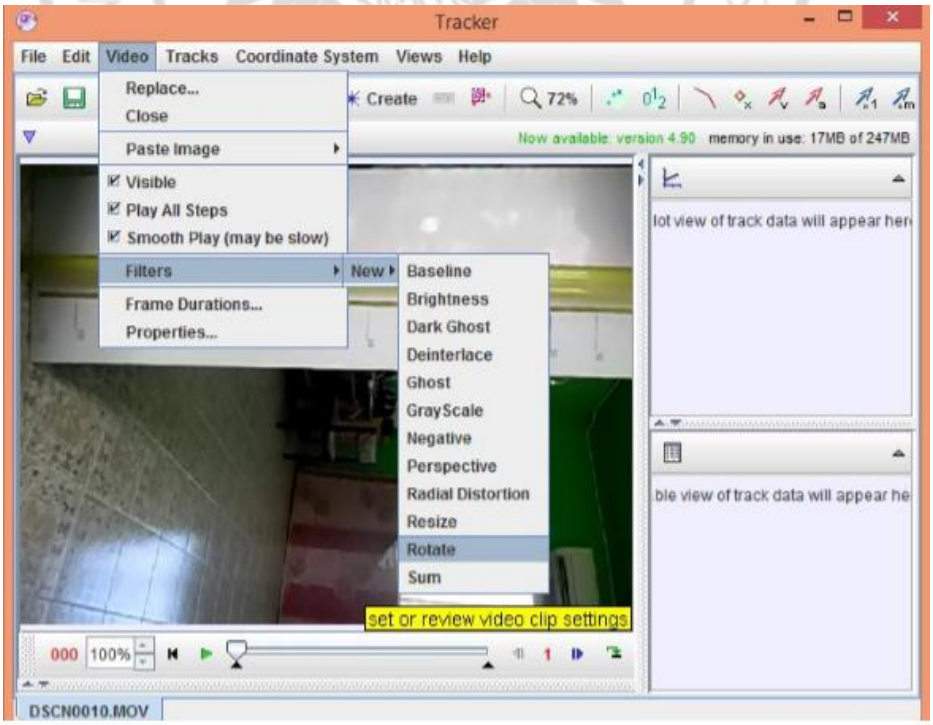
ขั้นตอนที่ 1 การนำไฟล์วิดีโอ เมื่อเข้าสู่โปรแกรมจะปรากฏแถบเครื่องมือการใช้งานต่างๆไว้ด้านบน พื้นที่ด้านซ้ายหมายเลข (1) จะเป็นพื้นที่ในการแสดงภาพถ่ายวิดีโอ ส่วนพื้นที่ด้านขวาหมายเลข (2) จะเป็นพื้นที่แสดงผลในรูปกราฟ ให้เลือกเมนู File และ Open File ตามลำดับ เลือกเปิดไฟล์ภาพวิดีโอที่ได้บันทึกไว้มาวิเคราะห์ ดังภาพที่ 2.3

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี



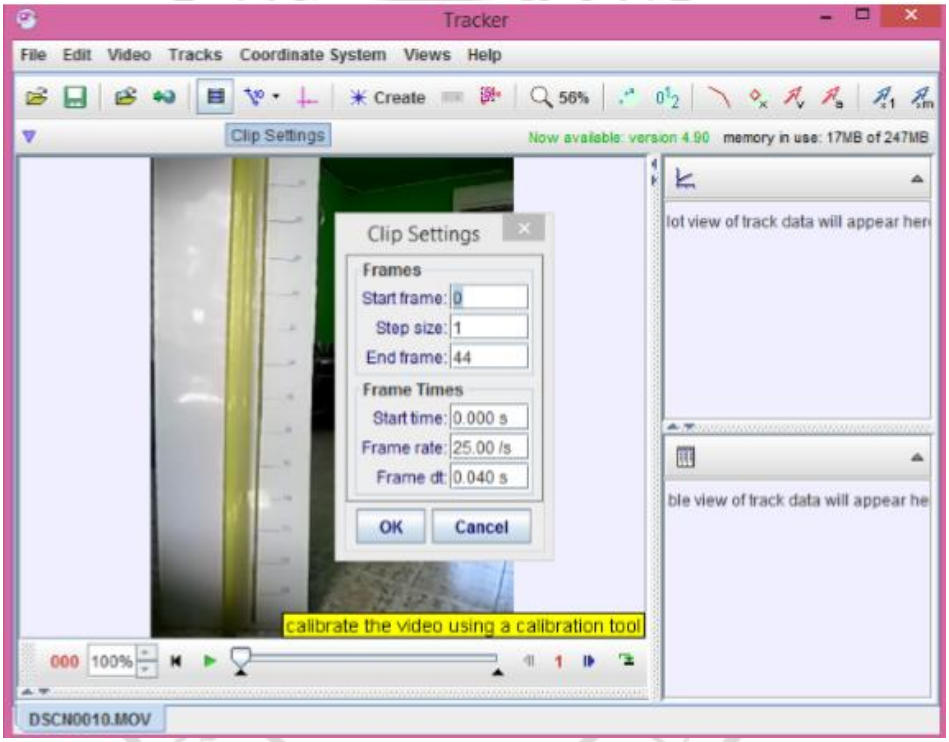
ภาพที่ 2.3 การนำเข้าไฟล์วิดีโอ

ขั้นตอนที่ 2 การปรับทิศทางการแสดงไฟล์ภาพวิดีโอ เลือกเมนู Video Fitter New และ Rotate ตามลำดับ ดังภาพที่ 2.4



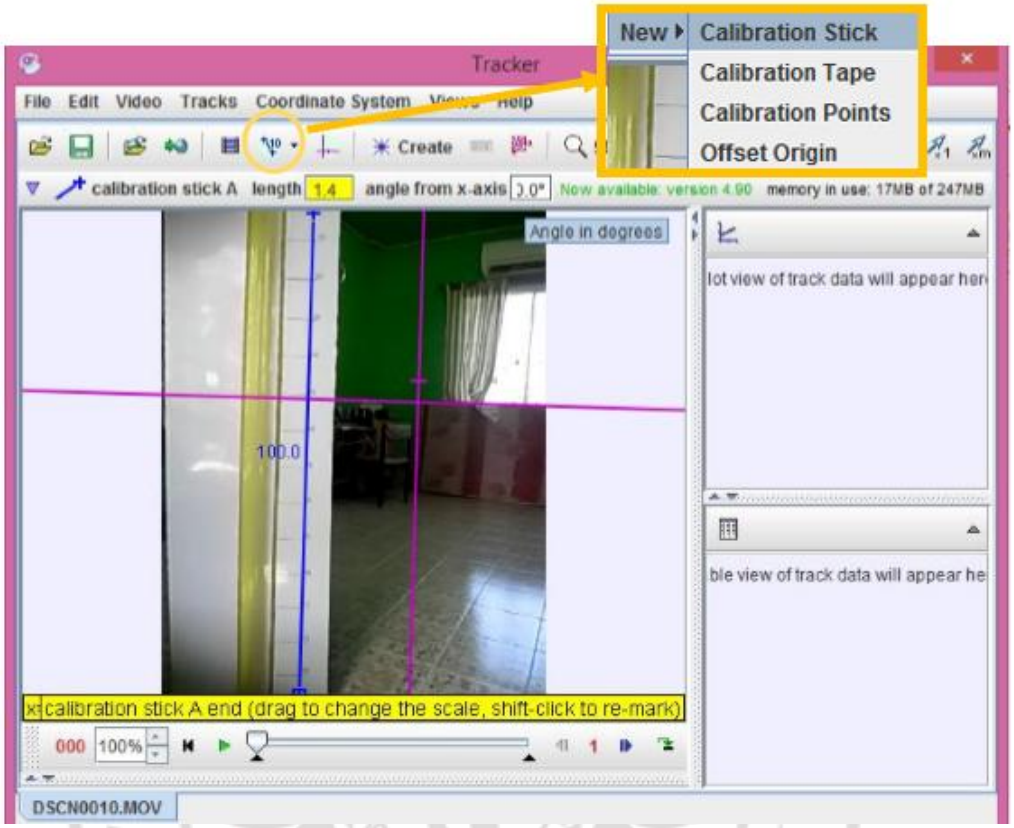
ภาพที่ 2.4 การปรับทิศทางการแสดงไฟล์ภาพวิดีโอ

ขั้นตอนที่ 3 การตั้งค่าระยะของเฟรมภาพวิดีโอ หากต้องการทราบจำนวนเฟรมภาพทั้งหมดที่ถ่ายวิดีโอการทดลอง ให้กดปุ่มเล่นไฟล์ภาพวิดีโอ หากต้องการวิเคราะห์ผลทดลองเพียงบางส่วนของไฟล์ภาพวิดีโอก็สามารถตั้งค่าระยะของเฟรมที่ต้องการได้ ตั้งแต่เฟรมแรก (Start Frame) ถุงเฟรมสุดท้าย (End Frame) ของการทดลอง เลือกแถบเมนู Clip Settings และระบุตัวเลขของเฟรมภาพวิดีโอที่กล่องข้อความ ดังภาพที่ 2.5



ภาพที่ 2.5 การตั้งค่าระยะของเฟรมภาพวิดีโอ

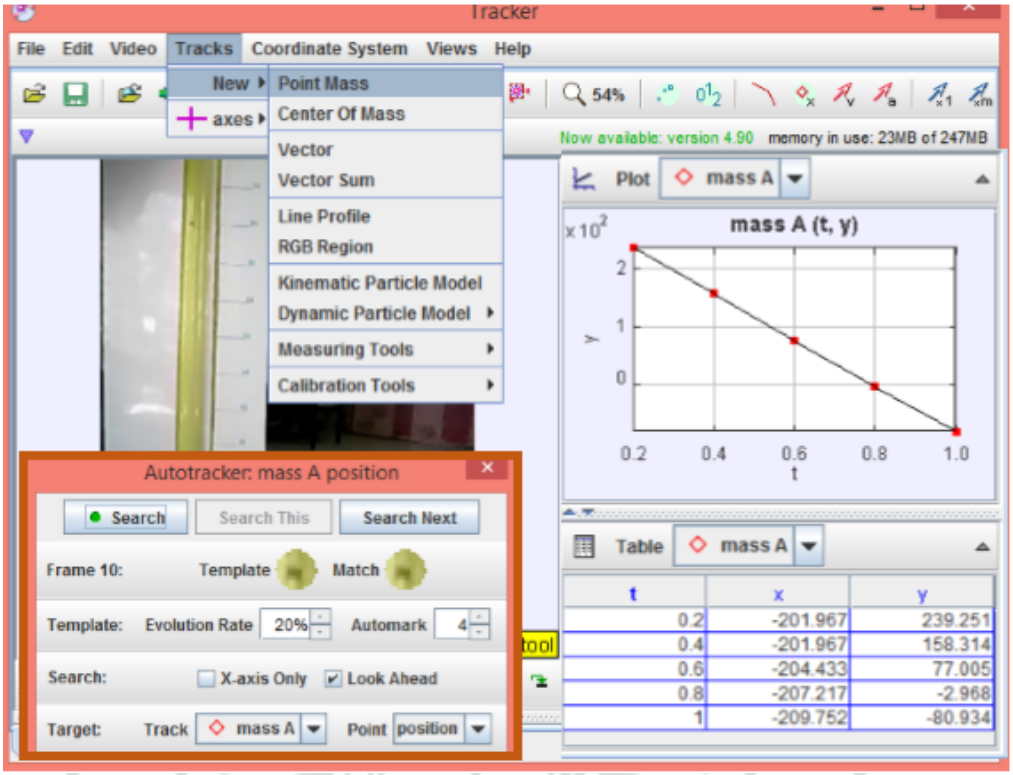
ขั้นตอนที่ 4 การตั้งค่าตำแหน่งและความยาวของระยะแกน x และแกน y โดยเลือกแถบเมนู Calibration Stick ซึ่งสามารถกำหนดความยาวในตำแหน่งที่ต้องการและสามารถระบุหน่วยของความยาวที่ใช้ในการทดลองในช่อง calibration stick length และปรับองศาของแกน x และแกน y ดังภาพ 2.6



ภาพที่ 2.6 การตั้งค่าตำแหน่งและความยาว

ขั้นตอนที่ 5 การกำหนดตำแหน่งจุดมวล ให้เลือกแถบเมนู Track และ Point Mass ตามลำดับ หลังจากนั้นกดปุ่ม CTRL + SHIFT ค้าง นำเมาส์ไปคลิกที่จุดมวล หากต้องการกำหนดจุดมวลเองทีละจุดให้เลือกเมนู Search Next แล้วทำเช่นนี้ไปทุกๆจุดมวลที่เคลื่อนที่ไปในการทดลอง แต่หากต้องการให้โปรแกรมกำหนดจุดมวล ให้เลือกเมนู Search ขณะกำหนดจุดมวลจะเห็นว่าข้อมูลและกราฟปรากฏขึ้นด้านขวา ดังภาพที่ 2.7

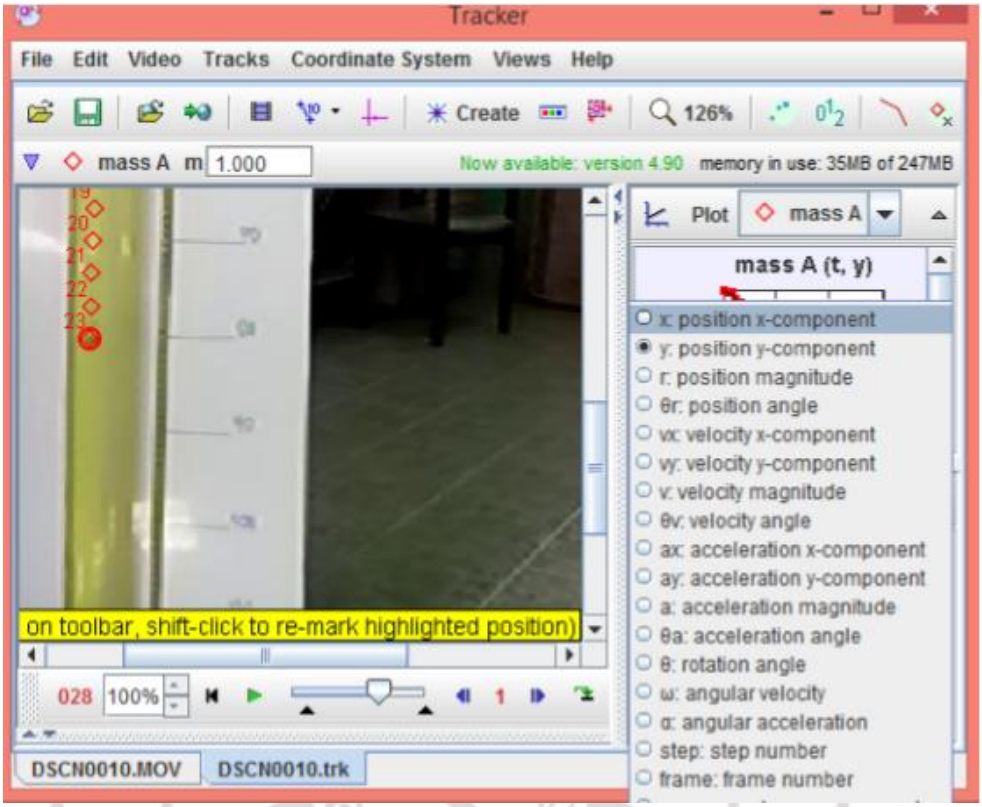
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี



ภาพที่ 2.7 การกำหนดตำแหน่งจุดมวล

ขั้นตอนที่ 6 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของปริมาณต่างๆจะเห็นได้ว่าข้อมูลจากการทดลองจะแสดงความสัมพันธ์ของปริมาณต่างๆในกราฟ และแสดงผลเป็นข้อมูลในตาราง หากต้องการเปลี่ยนปริมาณที่แสดงบนแกน x และแกน y ทำได้โดนคลิกไปที่แกน x และแกน y จะปรากฏปริมาณต่างๆขึ้นมา เลือกปริมาณที่ต้องการนำมาวิเคราะห์ผลการทดลอง ดังภาพที่ 2.8

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี



ภาพที่ 2.8 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของปริมาณต่าง ๆ

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ศิริพงษ์ มีมั่งคั่ง (2553) ได้ทำการวิจัยเรื่องชุดทดลองหาความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกแบบประหยัดโดยวิธีตกแบบเสรี ด้วยวิธีจับเวลาการตกของลูกเหล็กจากขดลวดแม่เหล็กไฟฟ้าที่ระดับความสูง 0.40เมตร จนถึง 1.15 เมตร ซึ่งจะเพิ่มระดับความสูงครั้งละ 0.05 เมตร แล้วนำระยะทางกับกำลังสองของเวลา ไปเขียนกราฟเพื่อนำไปหาค่าความเร่งเนื่องจากความโน้มถ่วงของโลก เปรียบเทียบกับค่าที่หาได้จากชุดทดลองเครื่องหมายการค้ายี่ห้อหนึ่ง โดยทำการทดลอง ณ ห้องปฏิบัติการฟิสิกส์ ศูนย์วิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา พบว่าชุดทดลองที่สร้างขึ้นวัดค่าได้ 9.76 เมตรต่อวินาที ^{2} เมื่อหาเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนเชิงทฤษฎี ณ ละติจูดของมหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา ที่ 14 องศา 59 ลิปดา 5 ฟิลิปดาเหนือจะมีค่าเท่ากับ 9.838 เมตรต่อวินาที ^{2} ซึ่งมีความคลาดเคลื่อนร้อยละ 0.20 ขณะที่ชุดทดลองของเครื่องหมายการค้ามีความคลาดเคลื่อนร้อยละ 1.12

Ochao, O.R. และ Koip,N.F. (1997) ได้ศึกษาการเคลื่อนที่แบบฮาร์โมนิกของตัวแกว่งกวัด (Oscillation) โดยได้แยกพิจารณาเป็น 3 กรณี คือ ตัวแกว่งกวัดที่มีการแกว่งกวัดแบบฮาร์โมนิกที่มีการหน่วง เพนดูลัมอย่างง่ายและฟิสิกัลป์เพนดูลัมที่มีการหน่วง โดยในการวิจัยใช้เมาส์วัดตำแหน่งของเพนดูลัมแล้วคำนวณหาแอมพลิจูด โดยใช้โปรแกรมในการตรวจสอบเวลาแสดงผลออกมาในรูปกราฟแล้วนำไปเปรียบเทียบกับทฤษฎี

แนวคิดในการใช้เครื่องบินบังคับในการศึกษาการเคลื่อนที่แบบวงกลมสม่ำเสมอ (Uniform circular motion, UCM) (Butcher, 1987: p.572-573)(Franklin, 1988: p.264) โดยงานศึกษาวิจัยนี้ได้อธิบายถึงการที่จะทำการทดลองโดยการใช้เครื่องบินบังคับในการศึกษาการเคลื่อนที่แบบวงกลมสม่ำเสมอจะทำได้อย่างไร โดยเป็นการเริ่มต้นการศึกษาการเคลื่อนที่แบบวงกลมสม่ำเสมอ

ต่อมา Mazza และคนอื่น ๆ (Mazza and other, 2007 : pp. 62-67) ได้ทำการทดลองเรื่อง The conical pendulum : The tethered aeroplane เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความยาวของเส้นเชือก และความเร็วของเครื่องบิน ซึ่งพบว่า ความยาวของเส้นเชือกระยะ 120 เซนติเมตร ถึง 340 เซนติเมตร ซึ่งขณะเดียวกันความเร็วของเครื่องบินมีค่าอยู่ระหว่าง 200 เซนติเมตรต่อวินาที ถึง 480 เซนติเมตรต่อวินาทีโดยผลการทดลอง จะพบว่า ค่าของรัศมีที่ได้จากการคำนวณทางทฤษฎีโดยใช้กฎการเคลื่อนที่ข้อที่ 2 ของนิวตัน กับค่าที่ได้จากการทดลองโดยปกติแล้วมีค่าแตกต่างกันประมาณร้อยละ 2

จากการวิจัยข้างต้นจะพบว่า Mazza และคนอื่น ๆ (Mazza and other, 2007: pp.62-67) ได้ทำการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่าง ความยาวของเส้นเชือก คาบของการเคลื่อนที่ รัศมีของวงโคจร ความเร็วของอากาศ ซึ่งนอกจากนี้แล้วยังมีการเปรียบเทียบรัศมีของวงโคจรระหว่างค่าที่ได้จากการทดลองและค่าที่ได้จากการคำนวณจากทฤษฎี ในการวิจัยครั้งนี้ผู้ทำวิจัยมีความสนใจที่จะศึกษาต่อยอดงานวิจัยโดยการออกแบบการทดลองการหาค่าแรงเข้าสู่ศูนย์กลาง และความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกโดยใช้เทคนิคการเคลื่อนที่ เพนดูลัมทรงกรวย ต่อยอ ดงานวิจัยของ Mazza และคนอื่น ๆ (Mazza and other, 2007: pp.62-67) แล้วนำค่าที่ได้จากการศึกษาวิจัยเปรียบเทียบกับค่าที่คำนวณจากทฤษฎีและค่ามาตรฐานและสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการจัดการเรียนการสอนวิชาฟิสิกส์ในโรงเรียนและมหาวิทยาลัยต่อไป

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี