



การประชุมวิชาการและนำเสนอผลงานวิจัยระดับชาติและนานาชาติ ครั้งที่ 10
"Global Goals, Local Actions: Looking Back and Moving Forward"

ผลของแรงต้านอากาศต่อการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกของระบบมวล-สปริง Effect of air resistance on spring-mass system harmonic motion

สิริญญา นินันท์¹

จิตรา เกตุแก้ว²

¹นักศึกษาระดับปริญญาโท สาขาวิชาฟิสิกส์ศึกษา

ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

²ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบการทดลองการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกของระบบมวล-สปริง และศึกษาขนาดของพื้นที่หน้าตัดของมวลที่ส่งผลต่อการกวัดแกว่งแบบถูกหน่วง โดยอาศัยโปรแกรม Tracker ในการทดลองเลือกใช้สปริงที่มีค่าคงที่ต่างกัน 2 ค่า ได้แก่ 9.8 ± 0.1 N/m และ 22.5 ± 0.1 N/m ตามลำดับ ทำการทดลองโดยใช้กระดาษวงกลมที่มีรัศมีต่างกันติดกับมวลแขวนที่ปลายสปริง โดยกำหนดให้มวลของระบบมีค่าคงที่ จากผลการทดลองพบว่า คาบเวลาของการสั่นมีค่าเพิ่มขึ้นแบบไม่เป็นเชิงเส้น เมื่อรัศมีของแผ่นกระดาษเพิ่มขึ้น เนื่องจากการเคลื่อนที่จะมีการหน่วงเนื่องจากแรงต้านของอากาศเข้ามาเกี่ยวข้อง และพบว่าสปริงที่มีค่าคงที่มากจะถูกหน่วงเร็วกว่าสปริงค่าคงที่น้อย และเมื่อพิจารณาขนาดของพื้นที่กระดาษวงกลม พบว่าพื้นที่ของกระดาษวงกลมรัศมีมากจะถูกหน่วงเร็วกว่า เนื่องจากมีพื้นที่รับแรงต้านอากาศมาก ทำให้การสั่นมีแอมพลิจูดลดลงเร็ว นอกจากนี้การทดลองยังได้แสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่หน้าตัดของแผ่นกระดาษกับค่าคงที่ของการหน่วงเนื่องจากอากาศด้วย

คำสำคัญ: การแกว่งแบบถูกหน่วง / การเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย / แรงต้านอากาศ

Abstract

This research aimed to design an experiment for studying of spring-mass system harmonic motion and to study the effect of damped oscillation by using the Tracker program. The experiment set consists of 1) springs with the different spring constants (9.8 ± 0.1 N/m and 22.5 ± 0.1 N/m), 2) circle paper with different radius. In the experiment, the mass of system was constant. The experimental results showed that the oscillation period was increased with increasing the radius of circle paper. The spring constants influence on the decay behavior of the damped oscillation. That means high spring constants effect to damping and the displacement decreased to equilibrium quickly. Moreover, if the mass cross-sectional area increases, the drag force will make return to its equilibrium rapidly. We also gave graphical proof of the relationship between cross-sectional area and the damping constant.

Keywords: damped harmonic/ damping constant/ drag force



บทนำ

วิชาฟิสิกส์ถือเป็นพื้นฐานในวิชาวิทยาศาสตร์ที่นักวิทยาศาสตร์ในสาขาอื่น ๆ จะต้องใช้หลักการและความคิดในวิชาฟิสิกส์ไปประยุกต์ใช้ ทำให้สาขาฟิสิกส์เป็นสาขาที่ต้องเน้นให้ผู้เรียนมีความรู้และเข้าใจเพื่อให้เรียนในสาขาอื่นได้อย่างดี ยิ่งไปกว่านั้น ฟิสิกส์เป็นวิทยาศาสตร์เชิงปฏิบัติการ นักฟิสิกส์สังเกตปรากฏการณ์ธรรมชาติและพยายามหารูปแบบและหลักการที่เชื่อมโยงปรากฏการณ์เหล่านี้ เราเรียกรูปแบบเหล่านี้ว่าทฤษฎีฟิสิกส์หรือกฎเมื่อเป็นที่ยอมรับและใช้กันอย่างกว้างขวาง การพัฒนาทฤษฎีฟิสิกส์ ต้องใช้ความคิดสร้างสรรค์ทุกขั้นตอน นักฟิสิกส์ต้องเรียนรู้ที่จะถามคำถามที่เหมาะสมและออกแบบการทดลองเพื่อพยายามหาคำตอบนั้นและหาข้อสรุปที่เหมาะสมจากการทดลอง การทดลองเป็นสิ่งสำคัญในการหาเหตุผลอย่างวิทยาศาสตร์ การทำการทดลองเพื่อให้ได้คำตอบและข้อสรุปที่ดีจะต้องหาวิธีการที่เหมาะสมและสอดคล้องกับอุปกรณ์ที่มี ซึ่งในปัจจุบันด้วยความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีส่งผลให้การเรียนการสอนเปลี่ยนไป มีการนำเทคโนโลยีมาใช้ในการจัดการเรียนการสอนมากขึ้น การทดลองในวิชาฟิสิกส์หลาย ๆ เรื่องก็มีการนำเอาเทคโนโลยีมาช่วยในการวิเคราะห์ผลด้วย เช่น ในปี ค.ศ. 2009 David Brown ได้พัฒนาโปรแกรม Tracker ซึ่งเป็นโปรแกรมที่ช่วยในการวิเคราะห์การเคลื่อนที่จากภาพถ่ายวิดีโอ โดยสามารถแสดงผลการวิเคราะห์ออกมาในรูปของกราฟได้ เช่น กราฟตำแหน่งกับเวลา ความเร็วกับเวลา ความเร่งกับเวลา ทำให้เห็นความสัมพันธ์ของปริมาณต่าง ๆ ทางฟิสิกส์ นอกจากนี้โปรแกรม Tracker ยังสามารถสร้างแบบจำลองการเคลื่อนที่ด้วยการสร้างสมการการเคลื่อนที่เพื่อนำมาเปรียบเทียบกับผลการทดลองจริงได้

การวิเคราะห์ภาพถ่ายวิดีโอเป็นวิธีที่นิยมใช้ในการเก็บข้อมูลเกี่ยวกับการเคลื่อนที่ จึงมีการนำไปใช้ในงานวิจัยด้านกลศาสตร์ เพราะทำให้ได้ข้อมูลที่ละเอียดและอุปกรณ์ก็ไม่ยุ่งยากซับซ้อน ตัวอย่างงานวิจัยด้านกลศาสตร์ที่ใช้การวิเคราะห์ภาพถ่ายวิดีโอร่วมกับโปรแกรม Tracker เช่นงานวิจัยของ Brown และ Cox ได้ศึกษาการสร้างแบบจำลองการตกของถ้วยเค้กกระดาษที่เพิ่มมวลด้วยคลิปหนีบกระดาษ พบว่าแบบจำลองการตกของถ้วยเค้กกระดาษภายใต้แรงต้านอากาศสอดคล้องกับข้อมูลจากการทดลอง ซึ่งสอดคล้องกับงานของ Chanpichai และ Wattanakasiwich ที่ศึกษาการศึกษาการเคลื่อนที่แบบโปรเจกไทล์ของลูกบาสด้วยภาพถ่ายวิดีโออัตราเร็วสูง 300 เฟรมต่อวินาที พบว่าการเพิ่มแรงต้านอากาศในสมการของแรงที่กระทำต่อลูกบาส ทำให้แบบจำลองใกล้เคียงกับการเคลื่อนที่จริง

หัวข้อหนึ่งที่ที่น่าสนใจในกลศาสตร์และเป็นหัวข้อพื้นฐานในการเรียนฟิสิกส์ของนักเรียนในระดับมัธยมศึกษาตอนปลายจนถึงระดับอุดมศึกษา คือการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย (simple harmonic motion) เป็นการเคลื่อนที่ที่รูปแบบหนึ่งที่มีการสั่นหรือแกว่งของวัตถุกลับไปกลับมาซ้ำรอยเดิม โดยมีคาบเวลาและแอมพลิจูดคงตัวตลอดการเคลื่อนที่ ทำให้การสั่นนี้ไม่มีที่สิ้นสุด ซึ่งในธรรมชาติความเป็นจริงแล้วการสั่นที่เกิดขึ้นจะมีการลดลงของพลังงานเนื่องจากแรงต้าน ทำให้การสั่นมีแอมพลิจูดลดลงและหยุดในที่สุด เรียกว่าการสั่นแบบถูกหน่วง (damped harmonic motion) อย่างไรก็ตามผู้สอนพยายามอธิบายความแตกต่างให้นักเรียนเข้าใจ ผ่านการสอนตามทฤษฎีและสมการทางคณิตศาสตร์ ภายหลังพบว่านักเรียนยังไม่เข้าใจและไม่สามารถอธิบายรูปแบบการเคลื่อนที่ภายใต้เงื่อนไขของแรงต้านได้ เนื่องจากสมการทางคณิตศาสตร์ที่ใช้มีความยากและนักเรียนยังเรียนไม่ถึงในระดับนั้น มีการศึกษาหลายชิ้นที่แสดงให้เห็นถึงแนวคิดเกี่ยวกับความเข้าใจพื้นฐานของการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกภายใต้เงื่อนไขของแรงต้าน โดยการทดลองในห้องปฏิบัติการ ซึ่งสามารถทดลองให้นักเรียนเห็นถึงปัจจัยที่มีผลต่อการหน่วงได้และยังเชื่อมโยงเนื้อหาไปสู่เรื่องอื่น ๆ ที่น่าสนใจได้อีกด้วย ตัวอย่างงานวิจัยของ J.J. Mendoza-Arenas และคณะ ได้ทำการทดลองเพื่อศึกษาการเคลื่อนที่



การประชุมวิชาการและนำเสนอผลงานวิจัยระดับชาติและนานาชาติ ครั้งที่ 10
"Global Goals, Local Actions: Looking Back and Moving Forward"

แบบถูกหน่วง โดยแขวนวัตถุทรงกลมเข้ากับปลายสปริงแล้วให้วัตถุทรงกลมจมอยู่ในกลีเซอรินที่มีความเข้มข้นแตกต่างกัน ตรวจสอบการเคลื่อนที่ของวัตถุด้วยเซนเซอร์วัดแรง ผลการทดลองพบว่าความถี่และคาบเวลาการสั่นจะลดลงเมื่อความเข้มข้นของกลีเซอรินเพิ่มขึ้น ทำให้เห็นความสัมพันธ์ของความหนืดกับความเข้มข้นของกลีเซอริน ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ J. Poonyawatpornkul และ P. Wattanakasiwich ซึ่งทำการทดลองเพื่อศึกษาการเคลื่อนที่แบบถูกหน่วงของระบบมวล-สปริง ในกลีเซอรินที่มีอุณหภูมิต่าง ๆ กัน โดยใช้กล้องวิดีโอความเร็วสูง ในการบันทึกการเคลื่อนที่ของวัตถุและนำไปวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Tracker การทดลองแสดงให้เห็นความสัมพันธ์ระหว่างความถี่เชิงมุมกับค่าคงที่ของการหน่วง และได้นำเสนอข้อมูลในรูปของกราฟ ซึ่งพบว่าอุณหภูมิมีผลต่อความหนืดของกลีเซอริน การทดลองนี้สามารถนำไปใช้ในการสอนหัวข้อการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกและความหนืดของของไหลได้ แต่จากการศึกษาที่ผ่านมายังไม่พบว่ามีการศึกษาการเคลื่อนที่ในลักษณะนี้ภายใต้เงื่อนไขของแรงต้านอากาศ ดังนั้นจึงเกิดแนวคิดในการทดลองเพื่อศึกษาการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิก เมื่อมีปัจจัยของแรงต้านอากาศเข้ามาเกี่ยวข้อง และคาดว่าจะการทดลองนี้จะสามารถนำไปใช้ในการจัดการเรียนการสอนเรื่องการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่ายและการเคลื่อนที่แบบถูกหน่วง สำหรับห้องปฏิบัติการในระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลายไปจนถึงระดับอุดมศึกษาได้

ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้เกิดแนวคิดที่จะนำเทคนิคการวิเคราะห์ภาพถ่ายวิดีโอร่วมกับโปรแกรม Tracker มาใช้ในการออกแบบการทดลองการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกของระบบมวล-สปริง เพื่อศึกษาการเคลื่อนที่แบบถูกหน่วง เนื่องจากแรงต้านอากาศ โดยศึกษาการสั่นของระบบมวล-สปริงและขนาดของพื้นที่หน้าตัดของมวลที่ส่งผลต่อการกวัดแกว่งแบบถูกหน่วง บันทึกผลโดยการถ่ายภาพวิดีโอการทดลองและนำมาวิเคราะห์ผลด้วยโปรแกรม Tracker

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อออกแบบการทดลองและศึกษาการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกของระบบมวล-สปริง
2. เพื่อศึกษาขนาดของพื้นที่หน้าตัดของมวลที่ส่งผลต่อการกวัดแกว่งแบบถูกหน่วง โดยอาศัย

โปรแกรม Tracker

ขอบเขตการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้ เป็นการออกแบบการทดลองการสั่นของระบบมวล-สปริง เมื่อมีแรงต้านอากาศเข้ามาเกี่ยวข้อง โดยทำการศึกษาการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกของมวลติดสปริง ที่สปริงค่าคงที่ 9.8 ± 0.1 N/m และ 22.5 ± 0.1 N/m ตามลำดับ และใส่กระดาษวงกลมหนา 0.30 cm รัศมี 3, 5, 7, 9, 11, 13, และ 15 cm ในการทดลองใช้กล้องวิดีโอบันทึกภาพการสั่น เมื่อดึงสปริงออกเป็นระยะ 3 cm นำไปวิเคราะห์ผลด้วยโปรแกรม Tracker

วิธีดำเนินการวิจัย

การทดลองแบ่งเป็น 2 ตอน ดังนี้

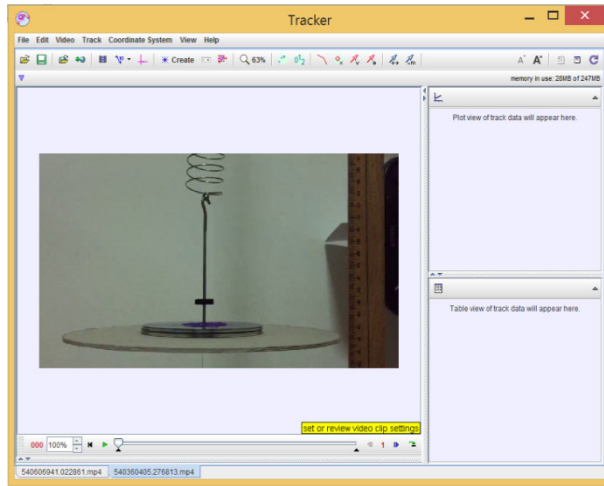
ตอนที่ 1 วัสดุ อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

วัสดุและอุปกรณ์ของชุดการทดลองการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกของระบบมวล-สปริง ประกอบด้วย 2 ส่วน ได้แก่ ส่วนของชุดระบบมวล-สปริง (spring-mass system) ประกอบด้วยชุดขาตั้งยึดจับสปริง โดยใช้

แท่งเหล็กความยาว 60 cm พร้อมฐานรองวางที่ขอบโต๊ะและใช้อุปกรณ์ยึดจับชิ้นงาน (large bench clamp) ยึดติดกับขอบโต๊ะอีกทีเพื่อความแข็งแรง ด้านบนใช้ข้อต่อยึดกับแท่งเหล็กที่มีขื่อเกี่ยวสำหรับแขวนสปริง นำมวลถ่วงและแผ่นกระดาษเพิ่มแรงต้านอากาศมาแขวนที่ปลายด้านล่างของสปริง ดังแสดงในรูปที่ 1 (ก) ส่วนที่ 2 เป็นส่วนของชุดวิเคราะห์การเคลื่อนที่ด้วยโปรแกรม Tracker ประกอบด้วย กล้องถ่ายวิดีโอ (ในที่นี้ใช้กล้องจากโทรศัพท์มือถือ i phone 6) และโปรแกรมสำเร็จรูป Tracker version 4.9.8 ดังแสดงในรูปที่ 1 (ข)

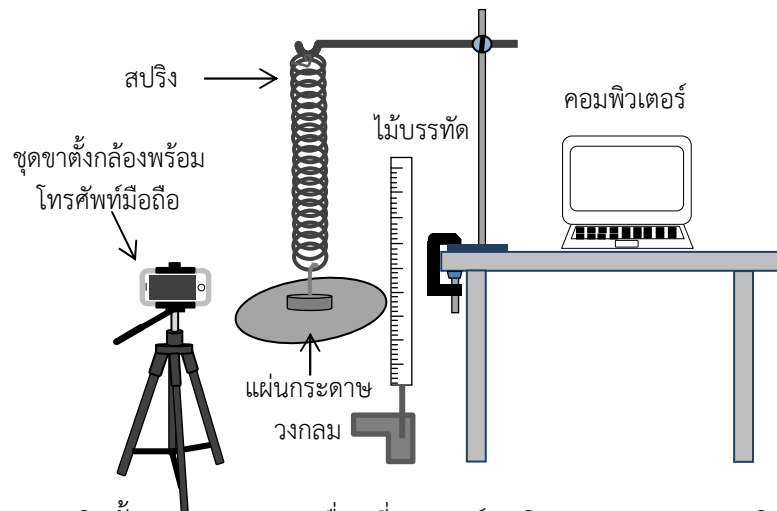


(ก) ชุดระบบมวล-สปริง



(ข) ชุดวิเคราะห์การเคลื่อนที่ด้วยโปรแกรม Tracker

รูปที่ 1 ชุดการทดลองการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกของระบบมวล-สปริง



รูปที่ 2 การติดตั้งชุดทดลองการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกของระบบมวล-สปริง

วิธีการทดลอง

1. ติดตั้งอุปกรณ์การทดลองตามรูปที่ 2 ซึ่งมวลสปริง มวลถ่วงและมวลของกระดาษวงกลมรัศมีต่าง ๆ บันทึกค่ามวลรวมของระบบ

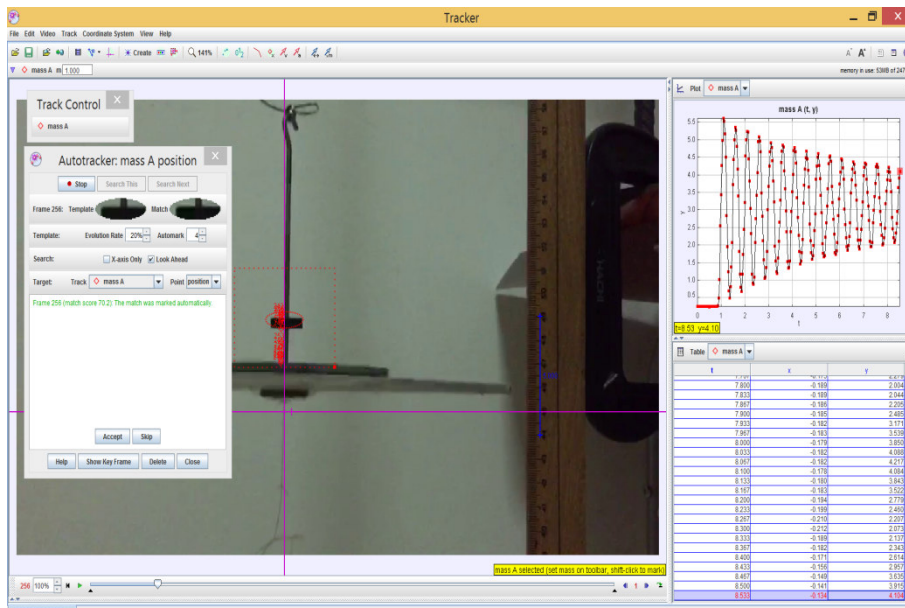


การประชุมวิชาการและนำเสนอผลงานวิจัยระดับชาติและนานาชาติ ครั้งที่ 10
"Global Goals, Local Actions: Looking Back and Moving Forward"

2. นำกระดาษรัศมี 15 cm และมวล 100 g ใส่ในจานวางน้ำหนักมาแขวนที่ปลายสปริง โดยใช้สปริงค่าคงที่ 22.5 ± 0.1 N/m จัดให้ระบบอยู่นิ่ง
3. ดึงสปริงให้ยืดออกจากตำแหน่งสมดุลประมาณ 3 cm แล้วปล่อย บันทึกภาพการสั่นของมวลติดสปริง
4. เปลี่ยนแผ่นกระดาษวงกลมเป็นรัศมี 13, 11, 9, 7, 5 และ 3 cm ตามลำดับ ทำการทดลองซ้ำข้อ 3 โดยแต่ละครั้งทำการเพิ่มดินน้ำมันเข้าไปที่บริเวณกลางแผ่นกระดาษ เพื่อให้มวลของระบบมีค่าคงเดิม
5. นำไฟล์ภาพวิดีโอไปวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป Tracker
6. ทำการทดลองตามข้อ 2-5 อีกครั้ง โดยเปลี่ยนใช้สปริงค่าคงที่ 9.8 ± 0.1 N/m
7. นำผลการทดลองที่ได้มาวิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง

ตอนที่ 2 การใช้โปรแกรม Tracker วิเคราะห์การเคลื่อนที่

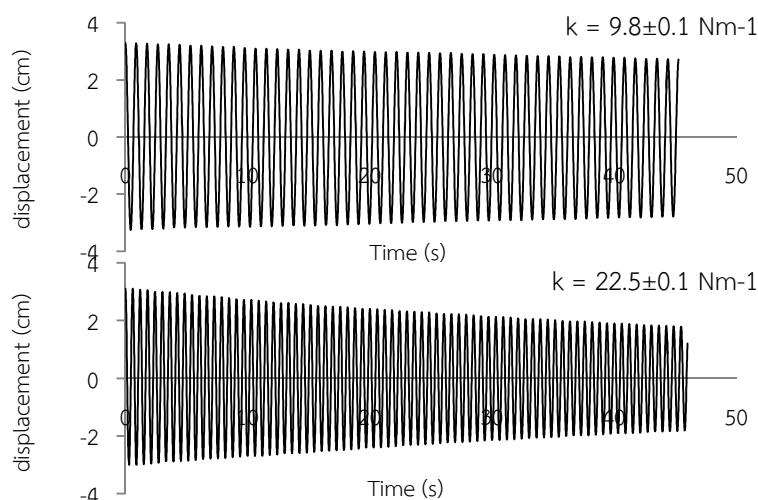
1. การนำเข้าไฟล์วิดีโอ เปิดวิดีโอที่ต้องการวิเคราะห์ โดยเลือกที่ File > Import...>Tracker File > เลือกไฟล์ > Open จะปรากฏหน้าต่างโปรแกรมและมีไฟล์วิดีโอที่ต้องการวิเคราะห์
2. การกำหนดเฟรม เป็นการกำหนดเวลาในโปรแกรม Tracker เมื่อเปิดไฟล์ โปรแกรมจะเริ่มวิดีโอที่เฟรม 000 เสมอ สามารถเลือกเฟรมเพื่อวิเคราะห์โดยเลือกปุ่มกำหนดคลิป (Clip settings) จะปรากฏหน้าต่างหลักของโปรแกรม จากนั้นกำหนด Start frame และ End frame คือ เฟรมเริ่มต้นและเฟรมสุดท้ายที่ใช้ในการวิเคราะห์ และการตั้ง Frame rate คือค่าอัตราส่วนของภาพต่อวินาที ซึ่งตั้งไว้ขณะบันทึกวิดีโอไว้ถูกบันทึกที่อัตรา 30 เฟรมต่อวินาที ดังนั้น 1 เฟรมจะใช้เวลา 0.033 วินาที เมื่อมีการเลื่อนเฟรมทีละหนึ่งช่วงของเวลาจึงเป็น $1 \times 0.033 = 0.033$ วินาที
3. กำหนดแกนอ้างอิง กำหนดแกนอ้างอิงโดยเลือก Track > Axes จะปรากฏเส้นสีม่วงตั้งฉากกัน แกนในแนวนอนจะมีขีดสั้นหนึ่งขีดบอกให้ทราบว่า เป็นแกน +x เลื่อนจุดกำเนิดของพิกัดฉากไปอยู่ที่กึ่งกลางมวลและให้แกนตั้งอยู่ในแนวการเคลื่อนที่
4. กำหนดความยาวอ้างอิง เพื่อใช้ในการวัดระยะของการสั่นในแนวตั้ง เลือก calibration stick A length เป็นระยะ 5.000 cm ตั้งมุมในช่อง angle from x-axis เป็น 90.0°
5. ระบุตำแหน่งวัตถุ (Point Mass) เป็นการระบุตำแหน่งของวัตถุที่เคลื่อนที่ในแต่ละเฟรม โดยกดปุ่ม Create เลือก Point Mass
6. การ Track เป็นการวิเคราะห์ตำแหน่งของวัตถุขณะเคลื่อนที่ ในที่นี้จะใช้ Auto track โดยกด Ctrl + Shift ค้างไว้ แล้วเลื่อนลูกศรไปที่ตำแหน่งของวัตถุที่เคลื่อนที่ แล้วคลิก 1 ครั้ง จะปรากฏหน้าต่าง Autotracker Mass A ดังรูปที่ 3 จากนั้นกด Search เพื่อ Track วัตถุที่เคลื่อนที่ทุกตำแหน่ง จนจบเฟรมสุดท้าย



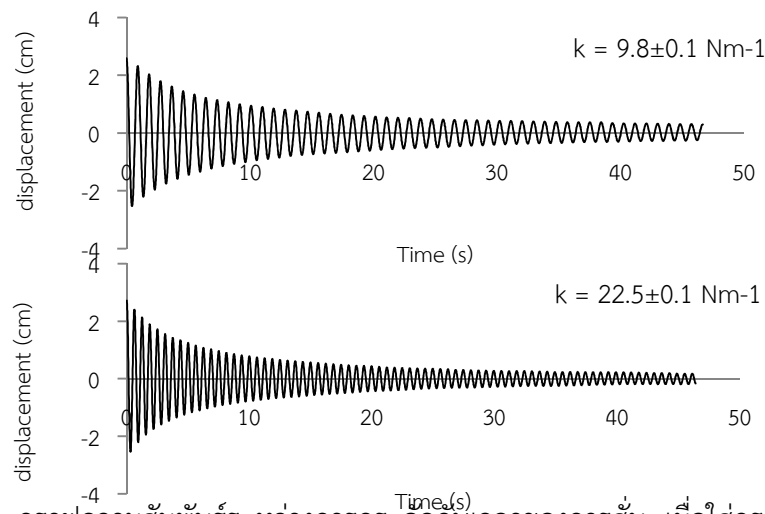
รูปที่ 3 การวิเคราะห์การเคลื่อนที่ด้วยโปรแกรม Tracker

ผลการวิจัย

การทดลองการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกของระบบมวล-สปริง เมื่อมีการหน่วงเนื่องจากแรงต้านอากาศ โดยใช้สปริงที่มีค่าคงที่ต่างกัน ได้แก่ สปริงตัวที่ 1 มีค่าคงที่ 9.8 ± 0.1 N/m และสปริงตัวที่ 2 มีค่าคงที่ 22.5 ± 0.1 N/m ทำการทดลองโดยใช้กระดาษขวงกลมรัศมีต่าง ๆ และให้แรงภายนอกโดยการดึงสปริงจากจุดสมดุล 3 cm เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างการกระจัด (displacement) ที่เปลี่ยนไปกับเวลา (time) ของแผ่นกระดาษขวงกลมรัศมี 3 cm และ 15 cm ดังกราฟในรูปที่ 4-5 ตามลำดับ



รูปที่ 4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างการกระจัดกับเวลาของการสั่น เมื่อใส่กระดาษขวงกลมรัศมี 3 cm และดึงสปริงจากตำแหน่งสมดุลเป็นระยะ 3 cm



รูปที่ 5 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างการกระจัดกับเวลาของการสั่น เมื่อใส่กระดาดวงกลมรัศมี 15 cm และดึงสปริงจากตำแหน่งสมดุลเป็นระยะ 3 cm

จากรูปที่ 4 – 5 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างการกระจัดกับเวลาของการสั่น โดยพิจารณาในช่วงเวลา 46 วินาทีแรกของการสั่น พบว่าคาบของการสั่นของสปริงที่มีค่า $k = 9.8 \pm 0.1$ N/m จะมีค่ามากกว่าสปริงที่มีค่า $k = 22.5 \pm 0.1$ N/m และสปริงที่มีค่าคงที่มากจะเกิดการหน่วงเร็วกว่าสปริงที่มีค่าคงที่น้อย เนื่องจากจะมีแรงดึงกลับมากกว่าซึ่งเป็นไปตามกฎของฮุค ($F = -kx$) และเมื่อพิจารณาที่ขนาดของแผ่นกระดาดวงกลมรัศมี 3 cm และ 15 cm พบว่าระบบมวลที่มีกระดาดวงกลมรัศมี 15 cm จะถูกหน่วงเร็วกว่า เนื่องจากกระดาดวงกลมที่มีรัศมีมากจะมีพื้นที่รับแรงต้านอากาศมาก ทำให้กระจัดลดลงและเข้าสู่ตำแหน่งสมดุลอย่างรวดเร็ว

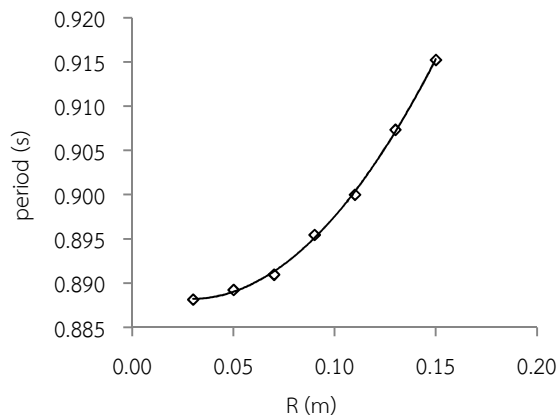
ผลการทดลองหาคาบเวลาเฉลี่ย (T) และความถี่เชิงมุมของการหน่วง (ω_d) แสดงดังตารางที่ 1 และมีความสัมพันธ์ระหว่างรัศมีของกระดาดวงกลมกับคาบเวลาของการสั่น ดังกราฟในรูปที่ 6

ตารางที่ 1 ผลการทดลองหาคาบเวลาเฉลี่ย (T) และความถี่เชิงมุมของการหน่วง (ω_d) ของสปริงค่าต่าง ๆ

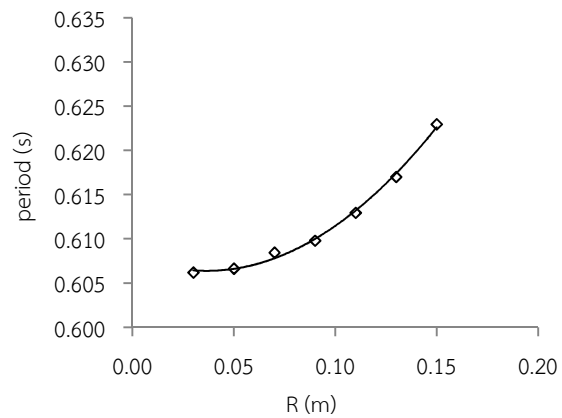
รัศมีของ แผ่นกระดาด (m)	$k = 9.8 \pm 0.1$ N/m		$k = 22.5 \pm 0.1$ N/m	
	T (s)	ω_d (rad/s)	T (s)	ω_d (rad/s)
0.03	0.888	7.074	0.606	10.365
0.05	0.889	7.066	0.607	10.357
0.07	0.891	7.052	0.608	10.327
0.09	0.895	7.017	0.610	10.304
0.11	0.900	6.981	0.613	10.251
0.13	0.907	6.925	0.617	10.183
0.15	0.915	6.865	0.623	10.086



การประชุมวิชาการและนำเสนอผลงานวิจัยระดับชาติและนานาชาติ ครั้งที่ 10
"Global Goals, Local Actions: Looking Back and Moving Forward"



(ก) สปริงค่าคงที่ 9.8 ± 0.1 N/m



(ข) สปริงค่าคงที่ 22.5 ± 0.1 N/m

รูปที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างรัศมีของกระดางวงกลมกับคาบเวลา เมื่อใช้สปริงค่าคงที่ต่างกัน

จากรูปที่ 6 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างรัศมีของกระดางวงกลมกับคาบเวลาของการสั่น เมื่อสปริงที่ใช้ในการทดลองมีค่าคงที่ของสปริงต่างกัน พบว่าสปริงที่มีค่าคงที่มากคาบเวลาของการสั่นจะน้อย ซึ่งเป็นไปตามสมการ $T_2 = \frac{4\pi^2 m}{k}$ แต่จากรูปจะเห็นได้ว่าเมื่อใส่แผ่นกระดางที่มีรัศมีเพิ่มมากขึ้น คาบของการสั่นจะมีค่าเพิ่มขึ้นแบบไม่เป็นเชิงเส้น กระดางวงกลมที่มีรัศมีมากจะมีคาบเวลาของการสั่นมากขึ้น เนื่องจากการหน่วงของแรงต้านของอากาศเข้ามาเกี่ยวข้อง

หากพิจารณาสมการการเคลื่อนที่เมื่อมีแรงต้าน

$$m \frac{d^2 y}{dt^2} + b \frac{dy}{dt} + ky = 0 \quad (1)$$

ซึ่งมีผลเฉลยของสมการ คือ

$$y(t) = y_m e^{-\frac{bt}{2m}} \cos(\omega_d t + \phi) \quad (2)$$

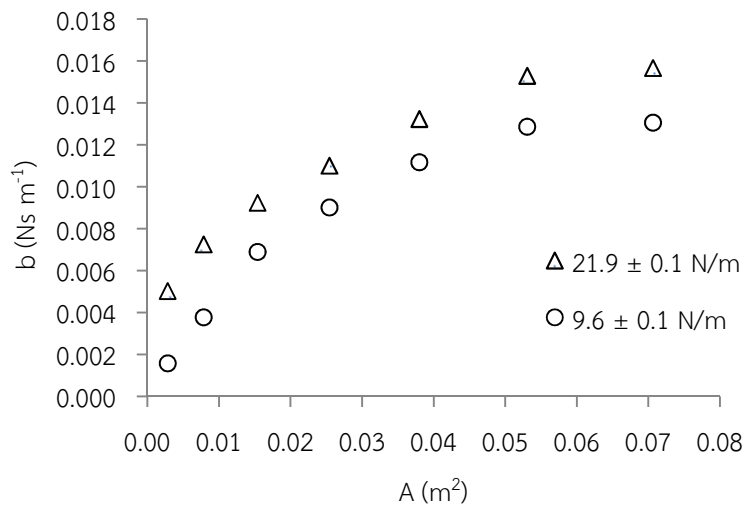
เมื่อจัดรูปโดยอาศัยค่าลอการิทึม (natural logarithms) ได้เป็น

$$\ln y(t) = -\frac{b}{2m} t + \ln y_m \quad (3)$$

สมการที่ (3) โดย b แทน ค่าคงที่ของการหน่วงเนื่องจากอากาศ เมื่อเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $\ln y$ กับ t โดยพิจารณาเฉพาะแอมพลิจูดที่เป็นบวกเท่านั้น จะได้กราฟมีลักษณะเป็นเส้นตรง เมื่อนำความชันของกราฟมาหาค่าคงที่ของการหน่วงจากอากาศ (b) และพิจารณาความสัมพันธ์ของค่าคงที่ของการหน่วงจากอากาศกับพื้นที่ของแผ่นกระดางวงกลม โดยเมื่อพื้นที่ของกระดางวงกลมมีค่ามากขึ้น ค่าคงที่ของการหน่วงเนื่องจากอากาศจะเพิ่มขึ้น และเมื่อเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่ของกระดางวงกลมกับค่าคงที่ของการหน่วงเนื่องจากอากาศ (b) แสดงดังกราฟในรูปที่ 7



การประชุมวิชาการและนำเสนอผลงานวิจัยระดับชาติและนานาชาติ ครั้งที่ 10
 "Global Goals, Local Actions: Looking Back and Moving Forward"



รูปที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่ของแผ่นกระดาษขงกลมกับค่าคงที่ของการหน่วงจากอากาศ

ผลการทดลองดังรูปที่ 7 พบว่าค่าคงที่ของการหน่วงเนื่องจากอากาศ (b) มีค่าแปรผันตามพื้นที่หน้าตัดของมวล และค่าคงที่ของการหน่วงเนื่องจากอากาศจากการทดลองที่สปริงค่าคงที่ 22.5 ± 0.1 N/m จะมากกว่าที่สปริงค่าคงที่ 9.8 ± 0.1 N/m เนื่องจากการสั่นมีแรงดึงกลับมากกว่า ทำให้สปริงเคลื่อนที่เร็ว จึงเกิดแรงต้านอากาศมาก

อภิปรายผลการวิจัย

การทดลองการเคลื่อนที่แบบฮาร์โมนิกของระบบมวล-สปริง เมื่อมีแรงต้านอากาศ เนื่องจากการใส่แผ่นกระดาษขงกลมที่ออกแบบขึ้นนี้ สามารถใช้ในการศึกษาลักษณะการเคลื่อนที่และปริมาณที่เกี่ยวข้องของระบบมวล-สปริงสองระบบที่มีค่าคงที่ของสปริงต่างกัน และได้รู้ความสัมพันธ์ระหว่างคาบเวลาของการสั่น ความถี่เชิงมุมของการหน่วงกับรัศมีของแผ่นกระดาษขงกลมรัศมีต่าง ๆ โดยสปริงค่าคงที่ 9.8 ± 0.1 N/m มีคาบเวลาเฉลี่ยของการใส่แผ่นกระดาษขงกลมรัศมีต่าง ๆ อยู่ระหว่าง 0.888 ถึง 0.915 วินาที ส่วนสปริงค่าคงที่ 22.5 ± 0.1 N/m มีคาบเวลาเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 0.606 ถึง 0.623 วินาที นั่นคือสปริงที่มีค่าคงที่มากคาบเวลาของการสั่นจะน้อยสามารถอธิบายเชื่อมโยงผลการทดลองกับทฤษฎีทางฟิสิกส์ได้ นอกจากนี้ยังแสดงให้เห็นว่า เมื่อใส่แผ่นกระดาษขงกลมที่มีรัศมีมากขึ้น คาบของการสั่นจะมีค่าเพิ่มขึ้นแบบไม่เป็นเชิงเส้น เนื่องจากการเคลื่อนที่ที่มีการหน่วงเนื่องจากแรงต้านของอากาศเข้ามาเกี่ยวข้อง ผลการทดลองพบว่า สปริงที่มีค่าคงที่ 22.5 ± 0.1 N/m จะถูกหน่วงเร็วกว่าสปริงค่าคงที่ 9.8 ± 0.1 N/m เนื่องจากจะเกิดแรงดึงกลับมากกว่า ทำให้สปริงเคลื่อนที่เร็วและเกิดแรงต้านอากาศมาก แอมพลิจูดของการสั่นจึงลดลงเร็วกว่า และเมื่อพิจารณาขนาดของพื้นที่แผ่นกระดาษขงกลม พบว่าพื้นที่ของกระดาษขงกลมรัศมี 15 cm จะถูกหน่วงเร็วที่สุด เนื่องจากมีพื้นที่รับแรงต้านอากาศมาก ทำให้การสั่นมีแอมพลิจูดลดลงเร็วที่สุด ตามด้วยแผ่นกระดาษขงกลมรัศมี 13, 11, 9, 7, 5 และ 3 cm ตามลำดับ สามารถคำนวณค่าคงที่ของการหน่วงเนื่องจากอากาศจากการทดลองกับสปริงค่าคงที่ 9.8 ± 0.1 N/m เมื่อใส่กระดาษขงกลมรัศมี 3 ถึง 15 cm มีค่าเท่ากับ 0.002 ถึง 0.013 Ns/m ตามลำดับ และเมื่อใช้สปริงค่าคงที่ 22.5 ± 0.1 N/m ใส่กระดาษขงกลมรัศมี 3 ถึง 15 cm มีค่าเท่ากับ 0.005 ถึง 0.016 Ns/m ตามลำดับ



การประชุมวิชาการและนำเสนอผลงานวิจัยระดับชาติและนานาชาติ ครั้งที่ 10
"Global Goals, Local Actions: Looking Back and Moving Forward"

ข้อเสนอแนะ

1. การแขวนมวลและใส่แผ่นกระดาษวงกลมต้องให้อยู่ในระนาบระดับ เพื่อไม่ให้เกิดการเอียงและมีการส่ายออกทางด้านข้าง

เอกสารอ้างอิง

- สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. (2558). หนังสือเรียน รายวิชาเพิ่มเติม ฟิสิกส์ เล่ม 1. กรุงเทพฯ: ศูนย์กลางคฤหาสน์.
- Keawsutti, D. (2013). Development of experimental modules on drag using video analysis technique. Master's Thesis of Teaching Physics, Faculty of Graduate Studies. Chiangmai: Chiangmai University.
- Brown, D., and Cox, A. J. (2009). Innovative uses of video analysis. The Physics Teacher 47(3): 145–150.
- Chanpichai, N., and Wattanakasiwich, P. (2010). Teaching Physics with Basketball. Proceedings of International Conference on Physics (ICPE 2009) 1263: 212 – 215.
- J J Mendoza-Arenas, E L D Perico and F Fajardo. (2009). Motion of a damped oscillating sphere as a function of the medium viscosity. European journal of physics 31: 129 – 141.
- J Poonyawatpornkul and P Wattanakasiwich. High-speed video analysis of damped harmonic motion. Physics Education 48(6): 782 – 789.