

การวัดค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกโดยใช้  
เพนดูลัมของเคเตอร์



โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต  
ภาควิชา ฟิสิกส์ประยุกต์  
คณะวิทยาศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2550

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# Measurement of gravitational acceleration using Kater's pendulum

Mr. Satianpong Udomnilobol  
Mr. Chackrapong Swattiwong


A Special Project Submitted in Partial Fulfillment of the Requirement for the Degree of  
Bachelor of Science  
Department of Applied Physics  
Faculty of Science  
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang  
Academic Year 2007

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**โครงการพิเศษเรื่อง** การวัดค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกโดยการใช้ เคเตอร์  
 เพนคูล์ม  
**นักศึกษา** นายจักรพงษ์ สวัสดิวงศ์  
 นายเสถียรพงษ์ อุดมนิโบล  
**ภาควิชา** ฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์  
**สาขาวิชา** ฟิสิกส์ประยุกต์  
**อาจารย์ที่ปรึกษา** รศ. สุวรรณ คูสำราญ

ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
 อนุมัติให้โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

คณะกรรมการตรวจสอบ	ลายมือชื่อ
ประธานกรรมการ รศ.อนุพงศ์ สรงประภา กรรมการ นายธรรมรัตน์ แต่งตั้ง กรรมการ ดร.ประธาน บุรณศิริ กรรมการที่ปรึกษา รศ. สุวรรณ คูสำราญ	

  
 .....  
 (รองศาสตราจารย์วิชาญ เตชิตธีระ)  
 หัวหน้าภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์

**ลิขสิทธิ์ของภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์คณะวิทยาศาสตร์**

**สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงการพิเศษเรื่อง	การวัดค่าความเร่งอันเนื่องมาจากแรงโน้มถ่วงของโลกโดยใช้เพนดูลัมของเคเตอร์
นักศึกษา	นายเสถียรพงษ์ อุดมนิโลบล นายจักรพงษ์ สวัสดิวงศ์
ภาควิชา	ฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์
สาขาวิชา	ฟิสิกส์ประยุกต์
ปีการศึกษา	2550
อาจารย์ที่ปรึกษา	รศ. สุวรรณ คูสำราญ

### บทคัดย่อ

ในการใช้เพนดูลัมเพื่อการวัดความเร่งอันเนื่องมาจากแรงโน้มถ่วงโลกนั้น การหาคาบสามารถทำได้โดยการจับเวลาการแกว่งเพนดูลัม แต่ระยะทางวัดจากจุดศูนย์กลางมวลไปหาจุดหมุนนั้นหาได้ยากเนื่องจากต้องหาดำแหน่งที่แน่นอนของจุดศูนย์กลางมวล การแก้ปัญหาคือทำได้โดยการประยุกต์เพนดูลัมให้กลายเป็นเพนดูลัมกลับหัวได้ หรือเพนดูลัมของเคเตอร์ โดยการใส่แกนหมุนเข้าไปทั้งสองปลายของเพนดูลัม และเพิ่มมวลที่เปลี่ยนตำแหน่งได้ให้กับเพนดูลัม ด้วยวิธีการนี้ทำให้ไม่มีความจำเป็นที่จะต้องหาจุดศูนย์กลางมวลของเพนดูลัมก็สามารถหาค่าความเร่งอันเนื่องมาจากแรงโน้มถ่วงได้

**Special Project Title** Measurement of gravitational acceleration using  
Kater's pendulum

**Name** Sationpong Udomnilobol  
Chackrapong Swattiwong

**Department** Applied Physics, Faculty of Science

**Program** Applied Physics

**Academic year** 2007

**Special Project Advisor** Assoc.Prof. Suwan Kusumrarn

### ABSTRACT

By using simple pendulum to determine the gravitational acceleration, the value of period can be obtained by simple timing a large number of swings, but the radius of gyration is not easily measured because it's hard to find the exact location of the center of mass. To overcome this difficulty we turn a physical pendulum into a Kater's pendulum which is reversible pendulum. There are two knife-edges pivot points attached and two adjustable masses are positioned on the rod so that the period of swings are the same from both edges. From this method we obtain the gravitational acceleration without using an exact location of the center of mass.

## กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษชุดนี้สำเร็จลงได้เป็นผลมาจากความช่วยเหลือจากบุคคลต่างๆหลากหลาย  
อันดับแรกต้องขอขอบพระคุณ รศ.สุวรรณ คุณสำราญ ที่ช่วยให้คำแนะนำในการทำงาน รวมถึง  
วิถีทางแก้ปัญหาที่พบ คุณป้าแม่บ้านที่ช่วยอำนวยความสะดวกในการทำงานในห้องทดลอง รวมไปถึง  
ไปถึงเพื่อนๆและรุ่นพี่ในภาควิชาที่ช่วยให้คำแนะนำเรื่องต่างๆมากมาย

นาย เสถียรพงษ์ อุดมนิโลบล

นาย จักรพงศ์ สวัสดิ์ตวิวงศ์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญรูป	จ
สารบัญตาราง	ช
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมาของโครงการพิเศษ	1
1.2 วัตถุประสงค์	1
1.3 ขอบเขตการวิจัย	1
1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน	1
1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	1
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	
2.1 Simple harmonic motion	2
2.2 Simple pendulum	4
2.3 Physical pendulum	7
2.4 Kater's pendulum	9
บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย	
3.1 การสร้างKater's pendulum	12
3.2 ขั้นตอนการทดลอง	17
บทที่ 4 ผลการทดลองและการอภิปรายผล	
4.1 แบบที่หนึ่ง	18
4.2 แบบที่สอง	24
4.3 แบบที่สาม	30
4.4 แบบที่สี่	36
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง และข้อเสนอแนะ	44

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่2.1 การเคลื่อนที่แบบซิมเปิลฮาร์โมนิกเทียบกับมวลติดสปริง	2
รูปที่2.2 Simple pendulum	4
รูปที่2.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า $\theta$ และค่า $\sin \theta$	5
รูปที่2.4 Physical Pendulum	7
รูปที่2.5 Kater's pendulum	9
รูปที่3.1รูปแบบตัวอย่างKater's pendulum	13
รูปที่3.2ชุดทดลอง Kater's Pendulum	14
รูปที่3.3IR-Sensor	15
รูปที่3.4 IR-Sensor Schematic	16
รูปที่3.5 PHYWE TIMER 4-4	16
รูปที่3.6 แกนหมุนทั้งสองด้านของเพนดูลัม	17
รูปที่3.7 แสดงทิศทางของลูกมวลเลื่อน	17
รูปที่4.1.1 การจัดวางลูกมวลเลื่อนในแบบที่หนึ่ง	18
รูปที่4.1.2 กราฟความสัมพันธ์คาบและตำแหน่งมวลเลื่อนแบบที่หนึ่ง ครั้งที่หนึ่ง	19
รูปที่4.1.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์คาบและตำแหน่งมวลเลื่อนแบบที่หนึ่ง ครั้งที่หนึ่ง(ขยาย)	20
รูปที่4.1.4 กราฟความสัมพันธ์คาบและตำแหน่งมวลเลื่อนแบบที่หนึ่ง ครั้งที่สอง	21
รูปที่4.1.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์คาบและตำแหน่งมวลเลื่อนแบบที่หนึ่ง ครั้งที่สอง(ขยาย)	21
รูปที่4.1.6 กราฟความสัมพันธ์คาบและตำแหน่งมวลเลื่อนแบบที่หนึ่ง ครั้งที่สาม	22
รูปที่4.1.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์คาบและตำแหน่งมวลเลื่อนแบบที่หนึ่ง ครั้งที่สามขยาย)	23
รูปที่4.2.1 การจัดวางลูกมวลเลื่อนในแบบที่สอง	24
รูปที่4.2.2 กราฟความสัมพันธ์คาบและตำแหน่งมวลเลื่อนแบบที่สอง ครั้งที่หนึ่ง	25
รูปที่4.2.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์คาบและตำแหน่งมวลเลื่อนแบบที่สอง ครั้งที่หนึ่ง(ขยาย)	26
รูปที่4.2.4 กราฟความสัมพันธ์คาบและตำแหน่งมวลเลื่อนแบบที่สอง ครั้งที่สอง	27
รูปที่4.2.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์คาบและตำแหน่งมวลเลื่อนแบบที่สอง ครั้งที่สอง(ขยาย)	27
รูปที่4.2.6 กราฟความสัมพันธ์คาบและตำแหน่งมวลเลื่อนแบบที่สอง ครั้งที่สาม	28

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่4.2.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์คาบและตำแหน่งมวลเลื่อนแบบที่สอง ครั้งที่สาม(ขยาย)	29
รูปที่4.3.1 การจัดวางลูกมวลเลื่อนในแบบที่สาม	30
รูปที่4.3.2 กราฟความสัมพันธ์คาบและตำแหน่งมวลเลื่อนแบบที่สาม ครั้งที่หนึ่ง	31
รูปที่4.3.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์คาบและตำแหน่งมวลเลื่อนแบบที่สาม ครั้งที่หนึ่ง(ขยาย)	32
รูปที่4.3.4 กราฟความสัมพันธ์คาบและตำแหน่งมวลเลื่อนแบบที่สาม ครั้งที่สอง	33
รูปที่4.3.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์คาบและตำแหน่งมวลเลื่อนแบบที่สาม ครั้งที่สอง(ขยาย)	33
รูปที่4.3.6 กราฟความสัมพันธ์คาบและตำแหน่งมวลเลื่อนแบบที่สาม ครั้งที่สาม	34
รูปที่4.3.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์คาบและตำแหน่งมวลเลื่อนแบบที่สาม ครั้งที่สาม(ขยาย)	35
รูปที่4.4.1 การจัดวางลูกมวลเลื่อนในแบบที่สี่	36
รูปที่4.4.2 กราฟความสัมพันธ์คาบและตำแหน่งมวลเลื่อนแบบที่สี่ ครั้งที่หนึ่ง	37
รูปที่4.4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์คาบและตำแหน่งมวลเลื่อนแบบที่สี่ ครั้งที่หนึ่ง(ขยาย)	38
รูปที่4.4.4 กราฟความสัมพันธ์คาบและตำแหน่งมวลเลื่อนแบบที่สี่ ครั้งที่สอง	39
รูปที่4.4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์คาบและตำแหน่งมวลเลื่อนแบบที่สี่ ครั้งที่สอง(ขยาย)	39
รูปที่4.4.6 กราฟความสัมพันธ์คาบและตำแหน่งมวลเลื่อนแบบที่สี่ ครั้งที่สาม	40
รูปที่4.4.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์คาบและตำแหน่งมวลเลื่อนแบบที่สี่ ครั้งที่สาม(ขยาย)	41

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 4.1.1 ตารางแสดงผลการทดลองแบบที่หนึ่ง ครั้งที่หนึ่ง	19
ตารางที่ 4.1.2 ตารางแสดงผลการทดลองแบบที่หนึ่ง ครั้งที่สอง	20
ตารางที่ 4.1.3 ตารางแสดงผลการทดลองแบบที่หนึ่ง ครั้งที่สาม	22
ตารางที่ 4.2.1 ตารางแสดงผลการทดลองแบบที่สอง ครั้งที่หนึ่ง	25
ตารางที่ 4.2.2 ตารางแสดงผลการทดลองแบบที่สอง ครั้งที่สอง	26
ตารางที่ 4.2.3 ตารางแสดงผลการทดลองแบบที่สอง ครั้งที่สาม	28
ตารางที่ 4.3.1 ตารางแสดงผลการทดลองแบบที่สาม ครั้งที่หนึ่ง	31
ตารางที่ 4.3.2 ตารางแสดงผลการทดลองแบบที่สาม ครั้งที่สอง	32
ตารางที่ 4.3.3 ตารางแสดงผลการทดลองแบบที่สาม ครั้งที่สาม	34
ตารางที่ 4.4.1 ตารางแสดงผลการทดลองแบบที่สี่ ครั้งที่หนึ่ง	37
ตารางที่ 4.4.2 ตารางแสดงผลการทดลองแบบที่สี่ ครั้งที่สอง	38
ตารางที่ 4.4.3 ตารางแสดงผลการทดลองแบบที่สี่ ครั้งที่สาม	40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1.ความเป็นมาของโครงการพิเศษ

ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกเป็นค่าคงที่ค่าหนึ่งที่สำคัญซึ่งสามารถบ่งบอกได้ถึงแรงที่มากกระทำในกลศาสตร์และเป็นรากฐานที่สำคัญในการวัดทางกลศาสตร์ ค่าของความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกสามารถวัดได้โดยตรงซึ่งค่อนข้างมีความแม่นยำ การใช้ชุดทดลองของการตกแบบอิสระของวัตถุนั้นจะได้ความแม่นยำที่น้อย ดังนั้นต้องหาวิธีอื่นที่แม่นยำกว่ามาใช้ ในปี 1878 Kater ได้นำเสนอวิธีการที่นำมาใช้คือการใช้ลูกตุ้มซึ่งมีความแม่นยำกว่าแบบเดิม Kater's pendulum เป็นลูกตุ้มที่มีลักษณะหมุนกลับได้ หมายถึง สามารถใช้จุดหมุนได้ทั้งสองปลายในการแกว่งลูกตุ้ม การใช้pendulumแบบนี้สามารถให้ความแม่นยำสูงถึง  $\pm 0.1\%$

### 1.2.วัตถุประสงค์

- เพื่อเรียนรู้การหาค่าความเร่งอันเนื่องมาจากแรงโน้มถ่วงของโลก
- เพื่อทำเป็นอุปกรณ์สำหรับห้องปฏิบัติการที่สามารถใช้งานได้จริง สำหรับการหาค่าความเร่งอันเนื่องมาจากแรงโน้มถ่วง

### 1.3.ขอบเขตการวิจัย

เพื่อสร้างอุปกรณ์การทดลองเพื่อหาค่าความเร่งอันเนื่องมาจากแรงโน้มถ่วงของโลกโดยใช้หลักการของ Pendulum

### 1.4.ขั้นตอนการดำเนินงาน

- ศึกษาทฤษฎีpendulum
- ออกแบบอุปกรณ์การทดลอง
- สร้างอุปกรณ์การทดลอง
- ทดลองอุปกรณ์และวิเคราะห์ผลหาความผิดพลาด
- แก้ไขข้อผิดพลาด

### 1.5.ผลที่คาดว่าจะได้รับ

- ได้เรียนรู้การทำอุปกรณ์สำหรับห้องปฏิบัติการ
- รู้จักการทำงานเป็นทีม
- ได้สร้างอุปกรณ์เพื่อใช้ในการศึกษาหาค่าความเร่งอันเนื่องมาจากแรงโน้มถ่วงของโลกเพื่อนำค่าไปใช้

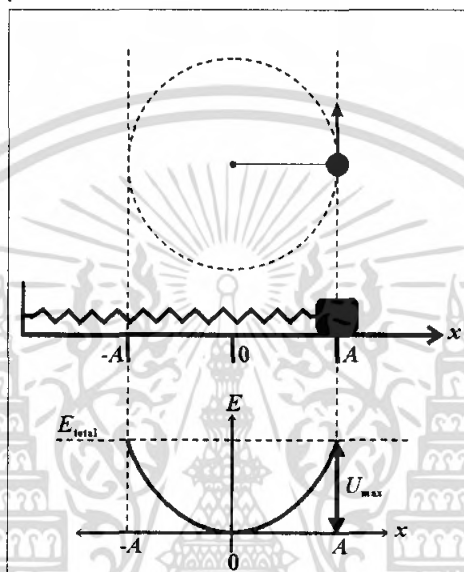
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

### ทฤษฎีและหลักการ

#### 2.1. การเคลื่อนที่แบบซิมเปิลฮาร์โมนิก(Simple harmonic motion)

##### 2.1.1. อัตราเร็วเชิงมุม



รูปที่ 2.1 การเคลื่อนที่แบบซิมเปิลฮาร์โมนิกเทียบกับมวลติดสปริง

จากรูปที่ 1 จะเห็นว่าการเคลื่อนที่แบบซิมเปิลฮาร์โมนิกเป็นการเคลื่อนที่แบบกลับไปกลับมาเป็นคาบซึ่งเราสามารถเขียนความสัมพันธ์ระหว่าง ระยะทางและเวลาได้จาก

$$x(t) = x \cos(\omega t + \phi) \quad (1)$$

ซึ่ง  $x(t)$  = ระยะทางที่มวลนั้นเคลื่อนที่ได้

$X$  = แอมพลิจูดสูงสุดของการเคลื่อนที่ของมวลนั้น

$\omega$  = ค่าความถี่เชิงมุม

$\phi$  = ค่าคงที่เชิงมุม

จากสมการเมื่อเราให้  $\phi$  มีค่าเป็น 0 เราจะสามารถอธิบายค่า  $\omega$  ได้จากการเขียนรูปใหม่เป็น

$$x \cos(\omega t + \phi) = x \cos \omega(t + T) \quad (2)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อมวลเคลื่อนที่กลับทางเดิมเราจะพบว่าเฟสมีการเคลื่อนที่ไปขนาด  $2\pi$  เรเดียนจากสมการที่  
แล้ว พบว่า

$$\omega t + 2\pi = \omega(t + T) \quad (3)$$

$$\omega = \frac{2\pi}{T} \quad (4)$$

### 2.1.2. การประยุกต์ใช้กฎข้อที่สองของนิวตัน

กฎข้อที่สองของนิวตันกล่าวว่าแรงบนวัตถุเคลื่อนที่ใดๆ มีค่าเท่ากับมวลของตัวมันเองคูณกับ  
ความเร่งในเวลานั้น

$$F = Ma \quad (5)$$

จากการเคลื่อนที่ของมวลติดสปริง จะพบว่าเมื่อนำกฎข้อที่สองของนิวตันมาใช้เพื่อให้ทราบว่า  
มีแรงกระทำใดที่ทำให้เกิดความเร่งของอนุภาคซึ่งจะเขียนได้จากสมการ

$$F = Ma = -m(\omega^2)x \quad (6)$$

ตามกฎของฮุก

$$F = -kx \quad (7)$$

สำหรับมวลติดสปริงจะพบว่าค่าคงที่คือ

$$k = m\omega^2 \quad (8)$$

เมื่อทำการย้ายข้าง

$$\omega = \sqrt{\frac{k}{m}} \quad (9)$$

## 2.2. Simple pendulum



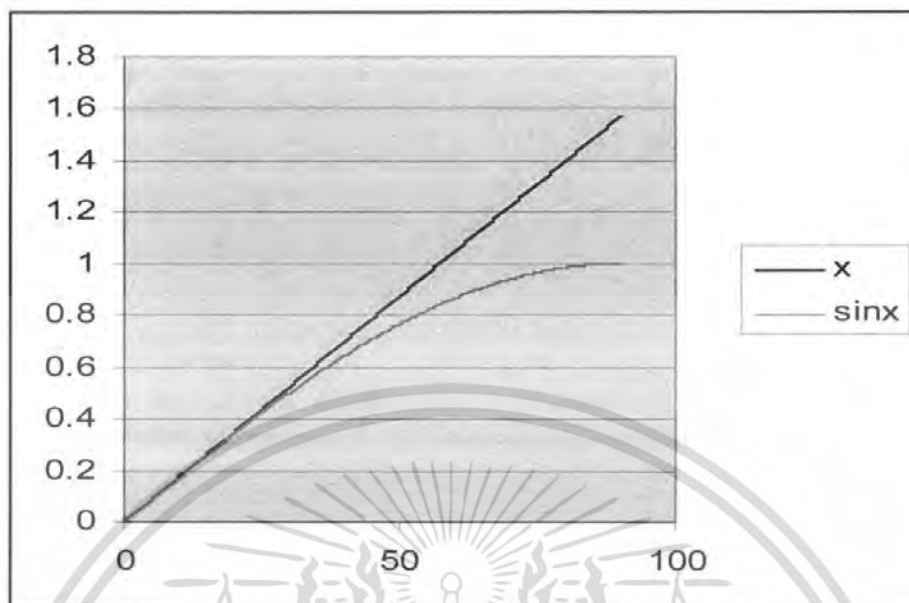
รูปที่ 2.2 Simple pendulum

จากรูปที่ 2 พิจารณาเส้นแรงในแนวทิศทางการแกว่งของเพนดูลัมจะได้ เมื่อ  $F$  คือแรงลัพธ์ในทิศทางที่กล่าวถึง  $m$  คือมวลของเพนดูลัมโดยไม่คิดเส้นเชือก  $g$  คือความเร่งอันเนื่องมาจากแรงโน้มถ่วง  $\theta$  คือมุม ณ เวลาที่กล่าวถึง

$$F = mg \sin \theta \quad (10)$$

พิจารณาค่าความสัมพันธ์ระหว่าง  $\theta$  กับ  $\sin \theta$  รูปที่ 3 โดยให้ความสนใจ ณ จุดที่ค่าทั้งสองเข้าใกล้ศูนย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า  $\theta$  และค่า  $\sin \theta$

จากกราฟข้างต้นจะเห็นว่า เมื่อค่า  $\theta$  เข้าใกล้ 0 ค่า  $\sin \theta$  และค่า  $\theta$  จะมีค่าใกล้เคียงกันจน

$$\theta \approx \sin \theta \quad (11)$$

โดย

$$S = L\theta \quad (12)$$

จากกราฟจะได้

$$\theta = \frac{S}{L} \quad (13)$$

ถ้ามวล  $m$  เคลื่อนที่เป็นระยะสั้น  $s$  จากกฎของนิวตันจะได้

$$F = \left(\frac{mg}{L}\right)s \quad (14)$$

เมื่ออธิบายจากมวลติดสปริงซึ่งคิดได้จาก

$$F = -kx \quad (15)$$

ซึ่งจากรูปเราจะเห็นได้ว่าเมื่อเราแทน  $\left(\frac{mg}{L}\right) = k$  และ  $s = x$  แล้วเมื่อทำการหาคาบของลูกตุ้มนี้จะได้

$$T = \frac{2\pi}{\omega} \quad (16)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$T = 2\pi\sqrt{\left(\frac{m}{k}\right)}. \quad (17)$$

เมื่อแทนค่า K จะได้

$$T = 2\pi\sqrt{\left(\frac{m}{mg/L}\right)} \quad (18)$$

$$T = 2\pi\sqrt{\left(\frac{L}{g}\right)} \quad (19)$$

$$g = \frac{4\pi^2 L}{T^2} \quad (20)$$

เราจะหาค่าความเร่งอันเนื่องมาจากแรงโน้มถ่วงได้จากสมการนี้แต่วิธีนี้จะมีความคลาดเคลื่อนเนื่องจากความตึงของเชือกและความยาวของเชือกที่แน่นอนซึ่งหาได้ยาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.3. Physical pendulum

Physical pendulum มีลักษณะเป็นแท่งตรง มีจุดหมุน 1 จุดเมื่อทำการแกว่ง



รูปที่ 2.4 Physical Pendulum

พิจารณารูปที่ 4 Physical pendulum จะมีค่าทอร์กซึ่งเป็นแรงบิดที่เกิดขึ้นในวัตถุหมุนที่ไม่ใช่จุดมคต ค่าทอร์กจะมีค่าเท่ากับแรง  $F$  ในสมการที่ (10) คูณกับความยาว  $L$  จากแกนหมุนถึงจุดศูนย์กลางมวล

$$\tau = -(Mg \sin \theta)L \quad (21)$$

เมื่อ  $\tau$  คือค่าทอร์ก เครื่องหมายลบเป็นทอร์กกลับ  $M$  เป็นมวลของแท่งเหล็ก  $g$  เป็นแรงโน้มถ่วงของโลก  $h$  เป็นระยะจากจุดหมุนถึงจุดศูนย์กลางมวล และ  $\tau = I\alpha$  โดย  $I$  เป็นโมเมนต์ความเฉื่อย  $\alpha$  คือความเร่งเชิงมุม

$$\tau = I \frac{d^2\theta}{dt^2} = -(Mg \sin \theta)L \quad (22)$$

จาก

$$\omega = \sqrt{\frac{MgL}{I}} \quad (23)$$

และ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$T = \frac{2\pi}{\omega} \quad (24)$$

จะได้

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{I}{MgL}} \quad (25)$$

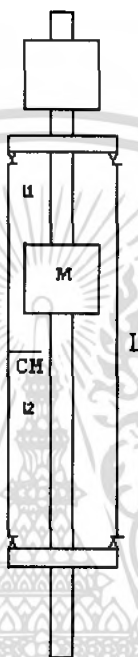
ในการใช้งานPhysical pendulumมีความจำเป็นที่จะต้องหาจุดศูนย์กลางมวลของเพนดูลัม ทั้งแท่งที่เป็นวัตถุแข็งเกร็งซึ่งต้องการความแม่นยำสูง ในการหาความเร่งอันเนื่องมาจากแรงโน้มถ่วงของโลกจึงมีเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสูงไปด้วย



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.4. Kater's pendulum

การประยุกต์ใช้งานเพนดูลัมของเคเตอร์ จุดประสงค์หลักคือการลดความยุ่งยากที่เกิดขึ้นจากการใช้ Physical pendulum ที่จำเป็นจะต้องหาจุดศูนย์กลางมวลที่แม่นยำ โดยในวิธีการนี้สิ่งที่จำเป็นในการหาความเร่งอันเนื่องมาจากแรงโน้มถ่วงมีเพียงค่าที่ตำแหน่งตัดกันเมื่อเพนดูลัมพลิกกลับหัว



รูปที่ 2.5 Kater's pendulum

Kater's pendulum เป็น physical pendulum แบบหนึ่งซึ่งใช้จุดหมุน 2 จุดในการหาค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกซึ่งจุดหมุนนั้นมีลักษณะแหลมเพื่อลดแรงเสียดทานระหว่างจุดหมุนและพื้นผิวสัมผัสและมีลูกตุ้มจำนวนหนึ่งเพื่อให้มีทอร์กเยอะซึ่งจะทำให้สังเกตได้ง่าย

พิจารณาค่าทอร์กที่เกิดจากความเร่งอันเนื่องมาจากแรงโน้มถ่วงของโลกแสดงผลต่อวัตถุแข็งเกร็งที่กล่าวถึง

$$\tau = I_0 \frac{d^2\theta}{dt^2} = -MgL \sin \theta \quad (26)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และ

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{I}{MgL}} \quad (27)$$

จากทฤษฎีแกนขนาน

$$I_0 = I_{cm} + MR^2 \quad (27)$$

โดยที่  $R$  เป็นระยะทางจากจุดหมุนถึงจุดศูนย์กลางมวลโดยสามารถแทนค่า  $I$  ได้จาก

$$T_A = 2\pi \sqrt{\frac{I_{cm} + Ml_1^2}{Mgl_1}} \quad (28)$$

$$T_B = 2\pi \sqrt{\frac{I_{cm} + Ml_2^2}{Mgl_2}} \quad (29)$$

ซึ่งวิธีใช้คือการหาความที่เท่ากันของการแกว่งของทั้ง 2 จุด ซึ่งเราจะได้

$$(I_{cm} + Ml_1^2)l_2 = (I_{cm} + Ml_2^2)l_1 \quad (30)$$

$$I_{cm} = Ml_1l_2 \quad (31)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อเรานำสมการที่(31)แทนค่าลงในสมการ(28)หรือ(29)จะได้

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l_1 + l_2}{g}} \quad (32)$$

จากสมการนี้เราจะเห็นได้ว่า เราไม่จำเป็นต้องรู้ค่าจุดศูนย์กลางมวล แต่ต้องวัดค่าความยาวระหว่างจุดหมุนให้ถูกต้องซึ่งง่ายกว่าและแม่นยำกว่าวิธีก่อนหน้านี้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 3

### วิธีการดำเนินการวิจัย

#### 3.1. การสร้าง Kater's pendulum

การวัดค่าความเร่งอันเนื่องมาจากแรงโน้มถ่วงทำโดยยึดค่าอ้างอิงเป็นตัวกำหนดเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาด โดยค่าความเร่งอ้างอิงดังกล่าวนี้หาได้จาก

$$g_{\phi} = 9.780327(1 + 0.0053024 \sin^2 \phi - 0.0000058 \sin^2 2\phi)$$

$g_{\phi}$  = ความเร่งอันเนื่องมาจากแรงโน้มถ่วงที่ตำแหน่งละติจูด :  $\phi$

สถานที่ทำการทดลองตั้งอยู่ที่จังหวัดกรุงเทพมหานครซึ่งอยู่ที่ตำแหน่งละติจูด  $13^{\circ}$  เพราะฉะนั้นจึงหาค่าความเร่งอันเนื่องมาจากแรงโน้มถ่วงที่จะนำมาใช้ในการอ้างอิงกับผลการทดลองได้ที่

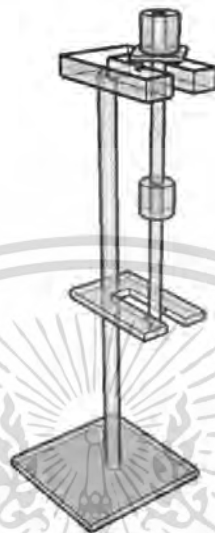
$$g_{\phi} = 9.780327(1 + 0.0053024 \sin^2(13) - 0.0000058 \sin^2 2(13))$$

$$g_{\phi} = 9.782983 \text{ m/s}^{-2}$$

เพราะฉะนั้นค่าความเร่งอันเนื่องมาจากแรงโน้มถ่วงอ้างอิงที่ควรวัดได้ และนำไปใช้ในการค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดจะมีค่า  $9.783 \text{ ms}^{-2}$

### 3.1.1 Pendulum

การจัดสร้างใช้รูปแบบดังรูปเป็นตัวอย่าง



รูปที่3.1รูปแบบตัวอย่างKater's pendulum

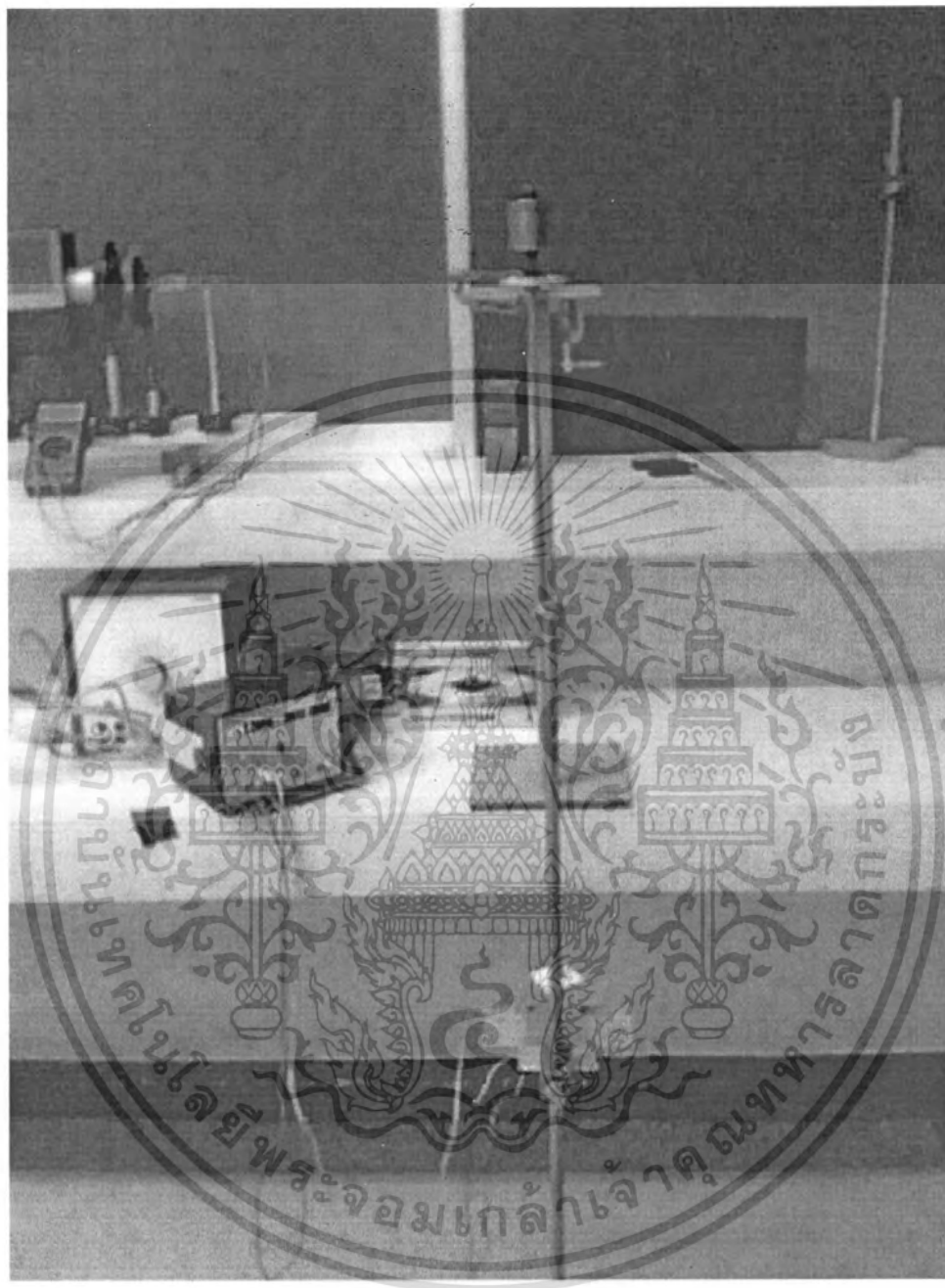
3.1.1.1. ตัวยึดฐานเพนดูลัม ควรยึดติดไว้ให้การยึดเหนี่ยวแข็งแรงพอเพื่อป้องกันการเคลื่อนที่เล็กน้อยของตัวยึดที่เกิดเมื่อเพนดูลัมแกว่งตัว แต่เพียงการเคลื่อนที่เพียงเล็กน้อยของฐานจะทำให้เกิดคาบที่ผิดพลาดของเพนดูลัม โดยการติดเข้ากับโต๊ะหรือโครงสร้างตึกก็สามารถทำได้เช่นกัน

3.1.1.2. ทำความสะอาดสนิมหรือสีบนฐานยึด เพื่อให้พื้นผิวเป็นเหล็กเรียบที่สุด การกัดกร่อนสามารถป้องกันได้โดยการเคลือบน้ำมันบนพื้นผิว สนิมและสีบนพื้นผิวจะทำให้แกนหมุนมีประสิทธิภาพลดลง และจะดูดซึมพลังงานจากเพนดูลัม

3.1.1.3. ปรับฐานแขวนเพนดูลัมให้ขนานเป็นระนาบเดียวกับพื้นให้มากที่สุด ตัวเพนดูลัมให้ใส่มวลเลื่อนเข้าไปก่อนจากนั้นใส่จุดหมุนพร้อมกับตัวยึดที่ระยะที่ต้องการและใส่มวลถ่วงเป็นลำดับสุดท้าย พร้อมทั้งจัดให้จุดหมุนที่ใช้แขวนในขณะนั้นให้ตรงกับแนวของเซ็นเซอร์

3.1.1.4. ทดลองแกว่งเพนดูลัมในคาบกว้างเพื่อสังเกตทิศทางการแกว่ง หากทิศทางการแกว่งยังมีลักษณะเอียงไม่ตั้งฉากกับแนวของเซ็นเซอร์ ให้ทำการแก้ไขตามข้อ3.1.3ซ้ำอีกครั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2 ชุดทดลอง Kater's Pendulum

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

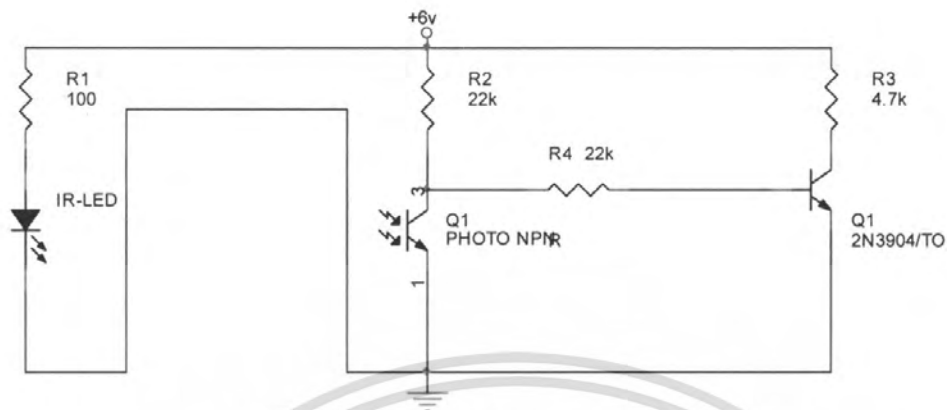
### 3.1.2. Photogate

ในการทดลอง การจับเวลาเพื่อหาคาบด้วยมือมนุษย์จะทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนสูง จึงมีการนำ photogate มาใช้ โดยตัว photogate นั้นจะเป็นเซ็นเซอร์อินฟราเรดแบบอัตโนมัติต่อเข้ากับส่วนประมวลผล PHYWE timer 4-4 เพื่อใช้ในการวัดคาบ

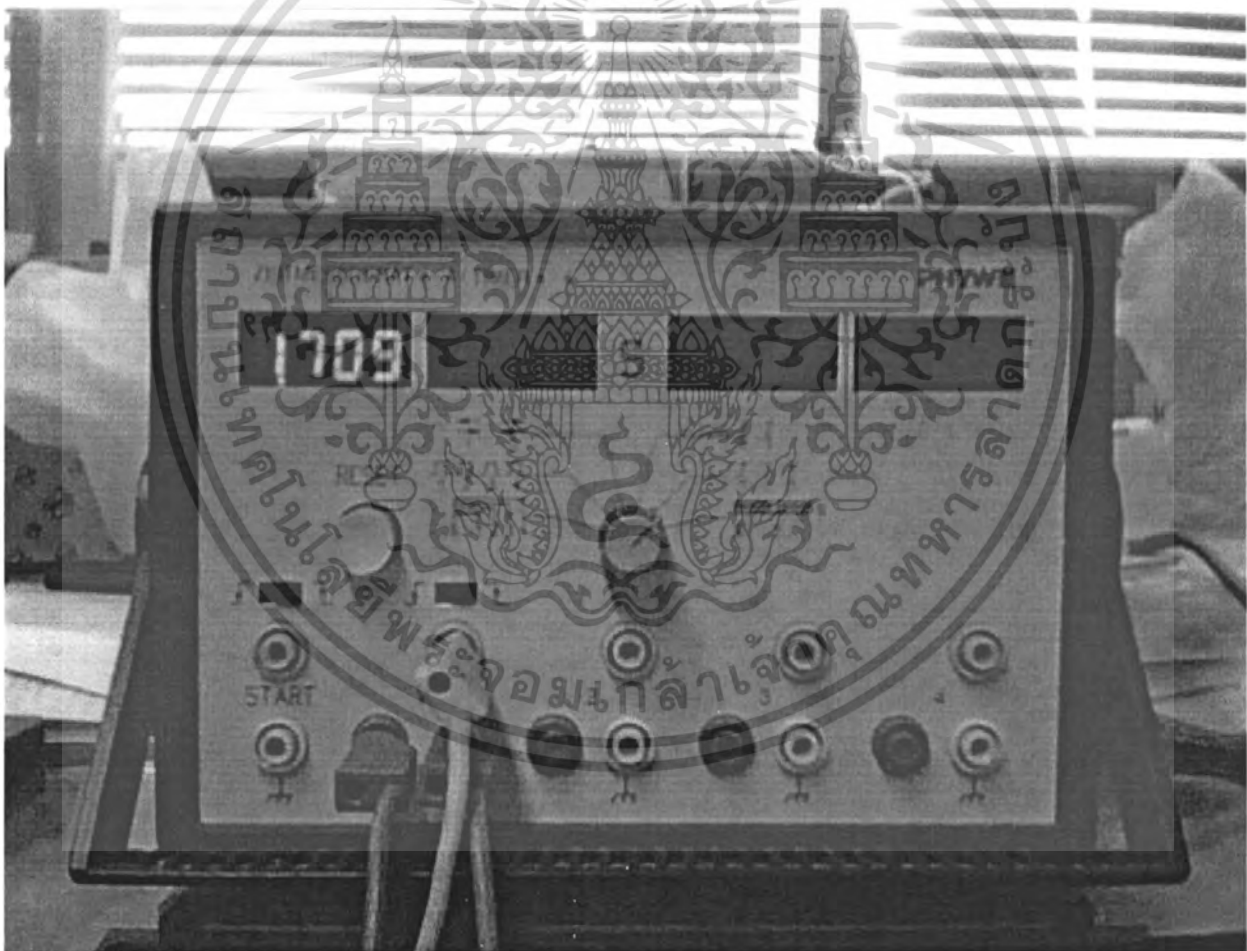


รูปที่ 3.3 IR-Sensor

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่3.4 IR-Sensor Schematic



รูปที่3.5 PHYWE TIMER 4-4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

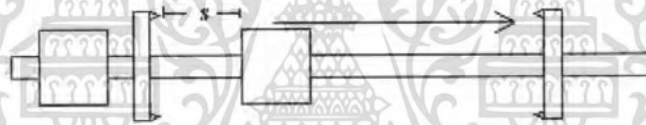
### 3.2 ขั้นตอนการทดลอง

3.2.1. แขนวนเพนดูลัมกับฐานให้ระยะห่างระหว่างจุดหมุน 80cm.



รูปที่ 3.6 แกนหมุนทั้งสองด้านของเพนดูลัม

3.2.2. เริ่มปรับลูกมวลเลื่อนให้ค่าเป็น 10cm.



รูปที่ 3.7 แสดงทิศทางของลูกมวลเลื่อน

3.2.3. ทำการจับเวลาวัดคาบในการแกว่งโดยการเฉลี่ย 3 ครั้ง และบันทึกเป็นค่า  $T_A$

3.2.4. พลิกเพนดูลัมขึ้นเพื่อเปลี่ยนจุดหมุน จับเวลาวัดคาบอีกครั้งและบันทึกเป็นค่า  $T_B$

3.2.5. พลิกเพนดูลัมกลับสู่ตำแหน่งเดิมและทำซ้ำข้อ 3 และ 4 โดยเพิ่มค่า  $r$  ขึ้นครั้งละ 10cm

3.2.6. นำค่าเฉลี่ยคาบ  $T_A$  และ  $T_B$  ที่ได้ไปพล็อตกราฟเดียวกันเพื่อหาจุดตัด

3.2.7. ค่าคาบที่ได้จากจุดตัดคือค่าที่จะนำไปเข้าสู่สมการเพื่อหาค่าความเร่งอันเนื่องมาจากแรงโน้มถ่วง

## บทที่ 4

### ผลการทดลองและอภิปรายผล

การหาค่าที่เท่ากันโดยการเลื่อนตำแหน่งของลูกตุ้มเพื่อทำการทดลองหาค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก โดยการจัดลูกมวลเลื่อน เพิ่มจำนวน เปลี่ยนตำแหน่งอย่างหลากหลาย เพื่อสังเกตแนวโน้มและการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้น โดยค่า  $T$  มีหน่วยเป็นวินาทีและตำแหน่งมวลเลื่อนมีหน่วยเป็นเซนติเมตร ได้ผลดังนี้

#### 4.1 แบบที่หนึ่ง



รูปที่ 4.1.1 การจัดวางลูกมวลเลื่อนในแบบที่หนึ่ง

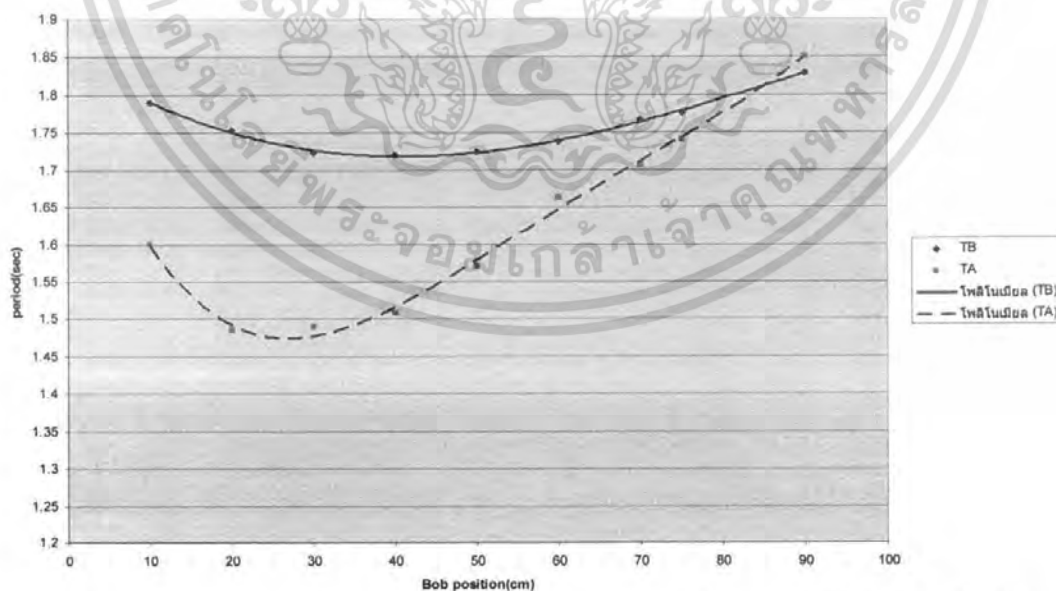
ในการจัดวางลูกมวลเลื่อนแบบที่หนึ่ง เป็นลักษณะมาตรฐานโดยมีมวลเลื่อนอยู่ตรงกลางหนึ่งลูก แกนหมุนสองข้าง และมวลถ่วงที่ส่วนปลาย โดยมวลเลื่อนมีน้ำหนัก 1 กิโลกรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.1.1 ตารางแสดงความสัมพันธ์ระหว่างคาบเวลาในแบบที่หนึ่ง ครั้งที่ 1

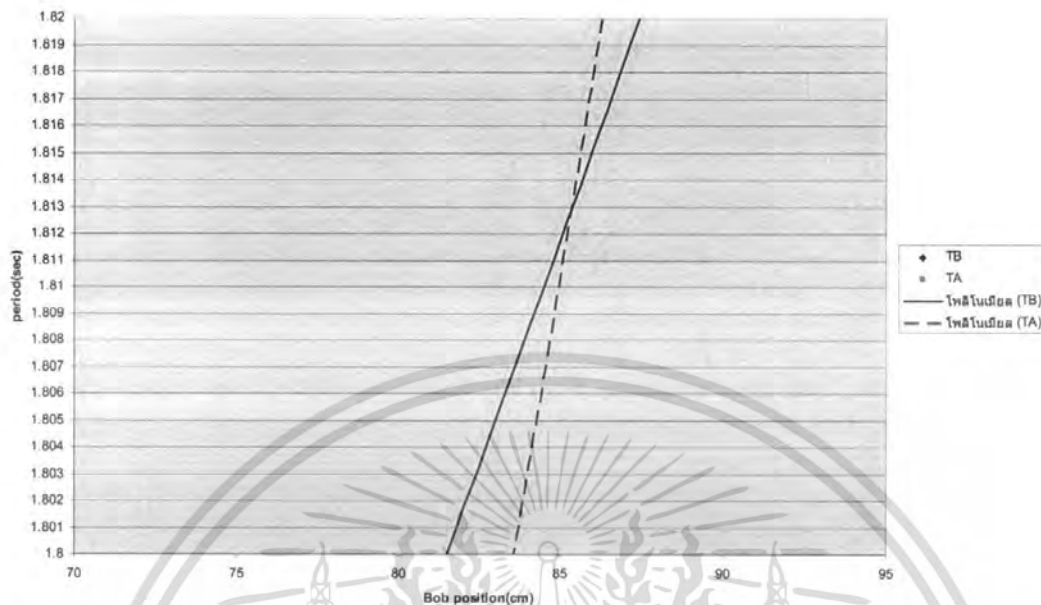
ตำแหน่ง มวล (cm)	TA			TAavg (s)	TB			TBavg (s)
	(s)	(s)	(s)		(s)	(s)	(s)	
10	1.608	1.599	1.591	1.599	1.79	1.790	1.790	1.790
20	1.490	1.490	1.478	1.486	1.749	1.754	1.756	1.753
30	1.484	1.489	1.498	1.490	1.706	1.731	1.733	1.723
40	1.492	1.515	1.515	1.507	1.722	1.719	1.720	1.720
50	1.572	1.570	1.570	1.570	1.727	1.725	1.720	1.724
60	1.662	1.663	1.662	1.662	1.734	1.740	1.740	1.738
70	1.707	1.704	1.711	1.707	1.767	1.767	1.767	1.767
75	1.737	1.745	1.741	1.741	1.778	1.776	1.779	1.777
90	1.850	1.852	1.851	1.851	1.829	1.830	1.830	1.829

ตารางที่ 4.1.1 ตารางแสดงผลการทดลองแบบที่หนึ่ง ครั้งที่หนึ่ง



รูปที่ 4.1.2 กราฟความสัมพันธ์คาบและตำแหน่งมวลเลื่อนแบบที่หนึ่ง ครั้งที่หนึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

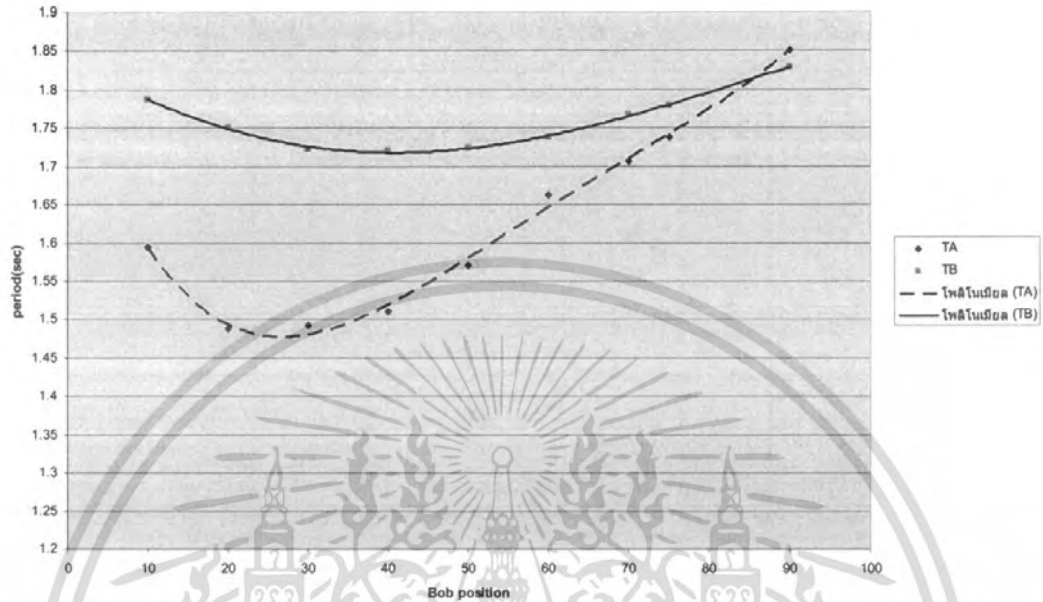


รูปที่ 4.1.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์คาบและตำแหน่งมวลเคลื่อนแบบที่หนึ่ง ครั้งที่หนึ่ง(ขยาย)  
ครั้งที่ 2

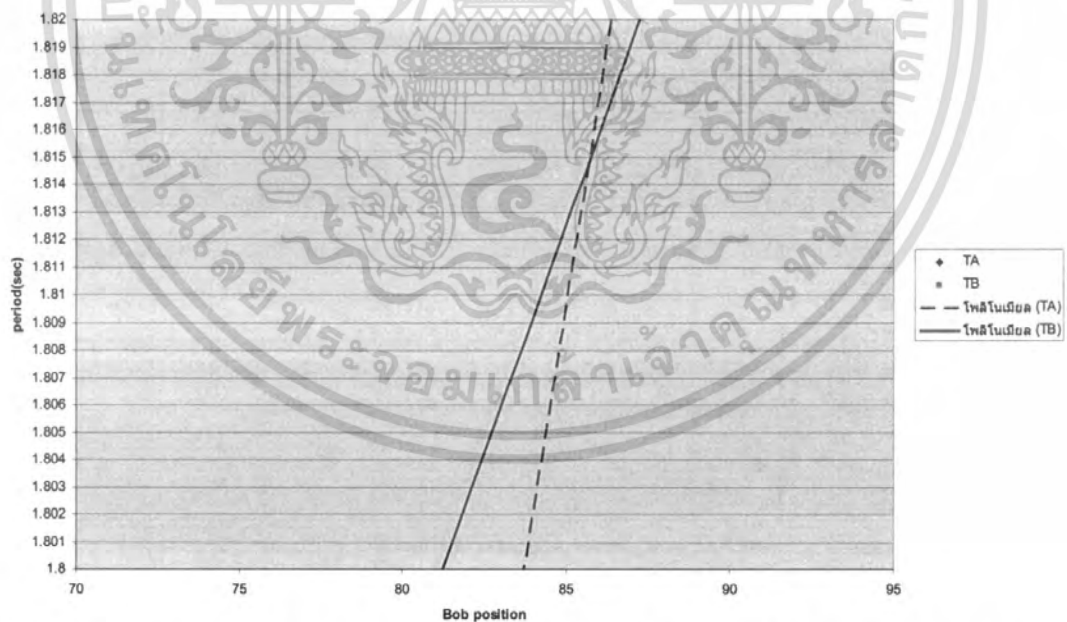
ตำแหน่ง มวล (cm)	TA (s)			TAavg (s)	TB (s)			T <sub>B</sub> avg (s)
10	1.594	1.599	1.591	1.594	1.786	1.787	1.790	1.787
20	1.497	1.490	1.478	1.488	1.749	1.754	1.750	1.751
30	1.493	1.489	1.498	1.493	1.706	1.731	1.733	1.723
40	1.500	1.515	1.515	1.510	1.722	1.719	1.720	1.720
50	1.573	1.570	1.570	1.571	1.727	1.725	1.720	1.724
60	1.662	1.663	1.662	1.662	1.734	1.740	1.740	1.738
70	1.707	1.704	1.711	1.707	1.767	1.767	1.767	1.767
75	1.737	1.738	1.741	1.738	1.778	1.78	1.779	1.779
90	1.850	1.852	1.851	1.851	1.829	1.830	1.830	1.829

ตารางที่ 4.1.2 ตารางแสดงผลการทดลองแบบที่หนึ่ง ครั้งที่สอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.1.4 กราฟความสัมพันธ์คาบและตำแหน่งมวลเลื่อนแบบที่หนึ่ง ครั้งที่สอง



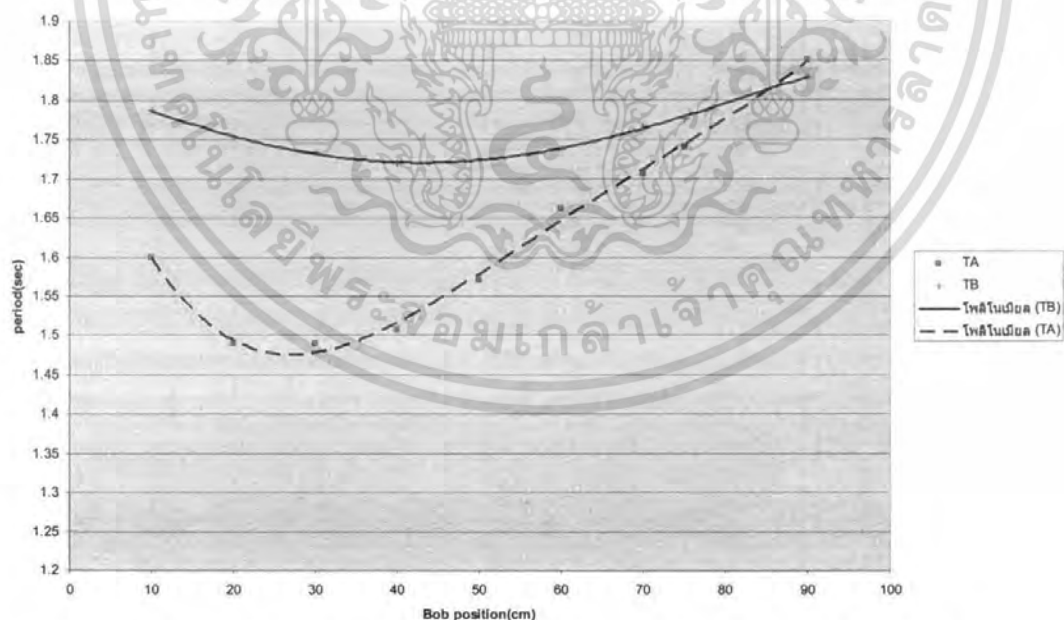
รูปที่ 4.1.5 กราฟความสัมพันธ์คาบและตำแหน่งมวลเลื่อนแบบที่หนึ่ง ครั้งที่สอง(ขยาย)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ครั้งที่ 3

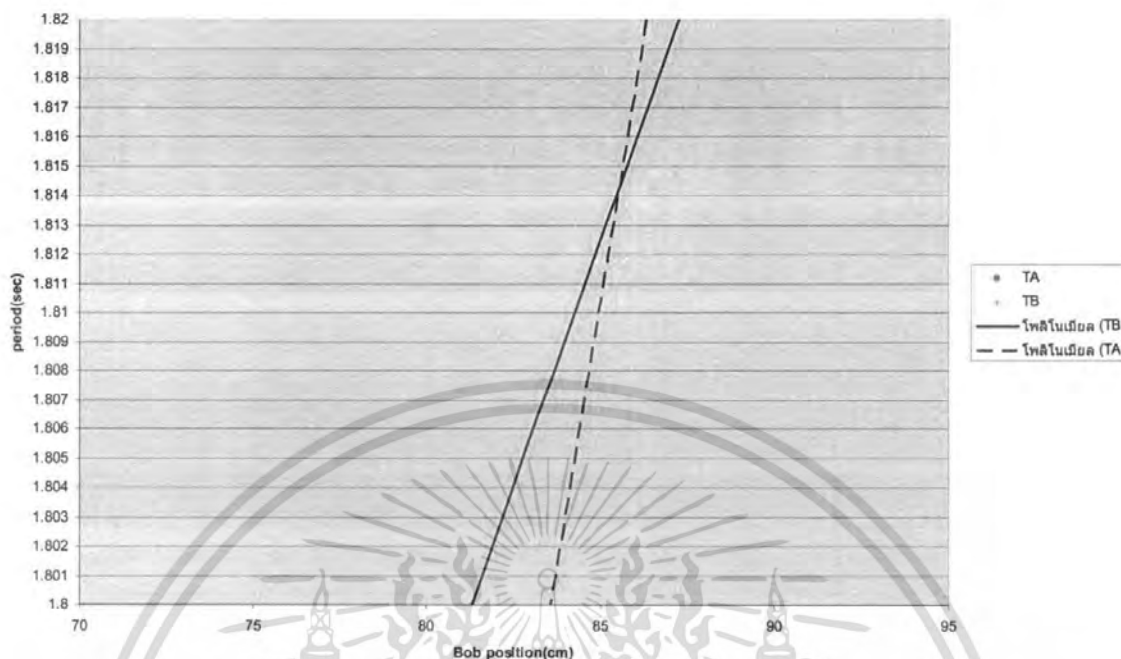
ตำแหน่ง มวล (cm)	TA			TAavg (s)	TB			T <sub>B</sub> avg (s)
	(s)	(s)	(s)		(s)	(s)	(s)	
10	1.608	1.599	1.594	1.600	1.79	1.786	1.785	1.787
20	1.496	1.493	1.478	1.489	1.749	1.754	1.756	1.753
30	1.484	1.489	1.498	1.490	1.736	1.731	1.735	1.734
40	1.492	1.515	1.515	1.507	1.722	1.719	1.720	1.720
50	1.572	1.570	1.570	1.570	1.727	1.725	1.720	1.724
60	1.662	1.663	1.662	1.662	1.734	1.740	1.740	1.738
70	1.707	1.704	1.711	1.707	1.767	1.767	1.767	1.767
75	1.737	1.745	1.741	1.741	1.778	1.776	1.779	1.777
90	1.85	1.851	1.851	1.850	1.828	1.830	1.830	1.829

ตารางที่ 4.1.3 ตารางแสดงผลการทดลองแบบที่หนึ่ง ครั้งที่สาม



รูปที่ 4.1.6 กราฟความสัมพันธ์คาบและตำแหน่งมวลเลื่อนแบบที่หนึ่ง ครั้งที่สาม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.1.7 กราฟความสัมพันธ์คาบและตำแหน่งมวลเคลื่อนแบบที่หนึ่ง ครั้งที่สาม(ขยาย)

#### 4.1.2 การคำนวณหาความเร่งอันเนื่องมาจากแรงโน้มถ่วงในรูปแบบที่หนึ่ง

จากกราฟจุดตัดของคาบทั้งสามครั้งการทดลองอยู่ที่

ครั้งที่หนึ่ง 1.813 s

ครั้งที่สอง 1.815 s

ครั้งที่สาม 1.814 s

ค่าเฉลี่ยจากกราฟจาก จุดตัดกันของคาบทั้ง 3 จุดจะได้

$$T = \frac{1.813 + 1.815 + 1.814}{3} = 1.814 \text{ sec}$$

จากกราฟ เมื่อนำค่าจากกราฟที่ตัดกันมาคำนวณจะพบว่า

$$g = \frac{0.8}{1.814^2 \times 2} \times 8\pi^2 = 9.605 \text{ m/s}^2$$

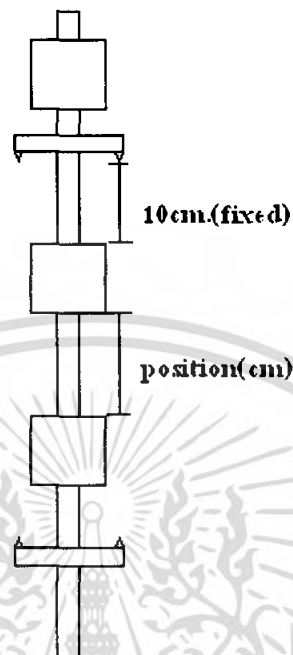
ซึ่งเมื่อเทียบกับค่าจริงจะมีค่าความผิดพลาด

ค่าจริง  $g = 9.783 \text{ m/s}^2$

$$\left| \frac{9.605 - 9.783}{9.783} \right| \times 100 = 1.800\%$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 4.2 แบบที่สอง



รูปที่ 4.2.1 การจัดวางลูกมวลเลื่อนในแบบที่สอง

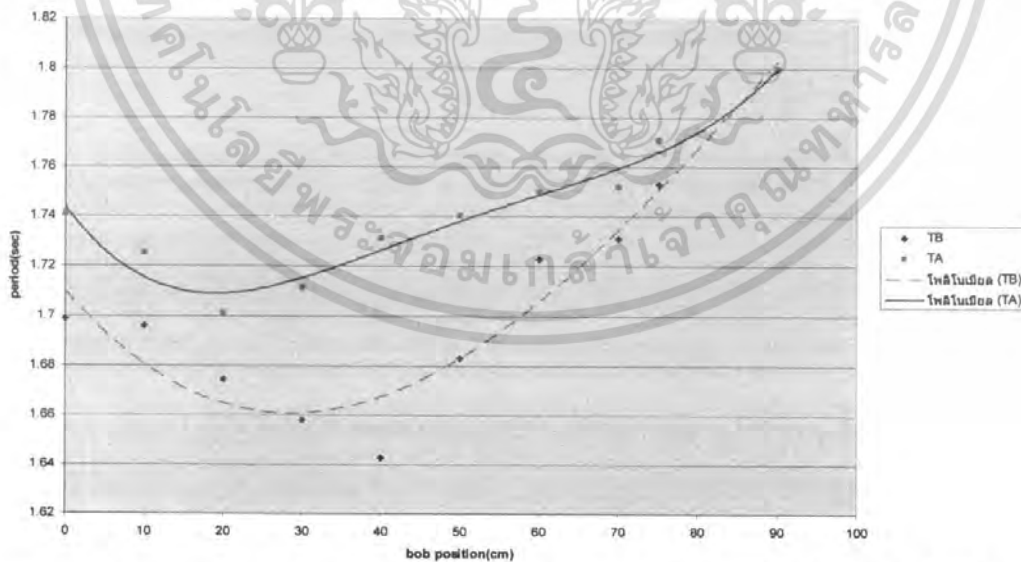
การจัดวางลูกมวลเลื่อนในแบบที่สอง ทำโดยเพิ่มมวล 1 กิโลกรัมอีกหนึ่งก้อน และให้ก้อนแรก กำหนดตำแหน่งไว้ที่ 10 เซนติเมตรจากจุดหมุน จากนั้นให้ตำแหน่งมวลเลื่อนที่ต้องวัดเป็นความห่าง ระหว่างมวลก้อนแรกและก้อนที่สอง

#### 4.2.1 ตารางแสดงความสัมพันธ์ระหว่างคาบเวลาในแบบที่สอง

ครั้งที่ 1

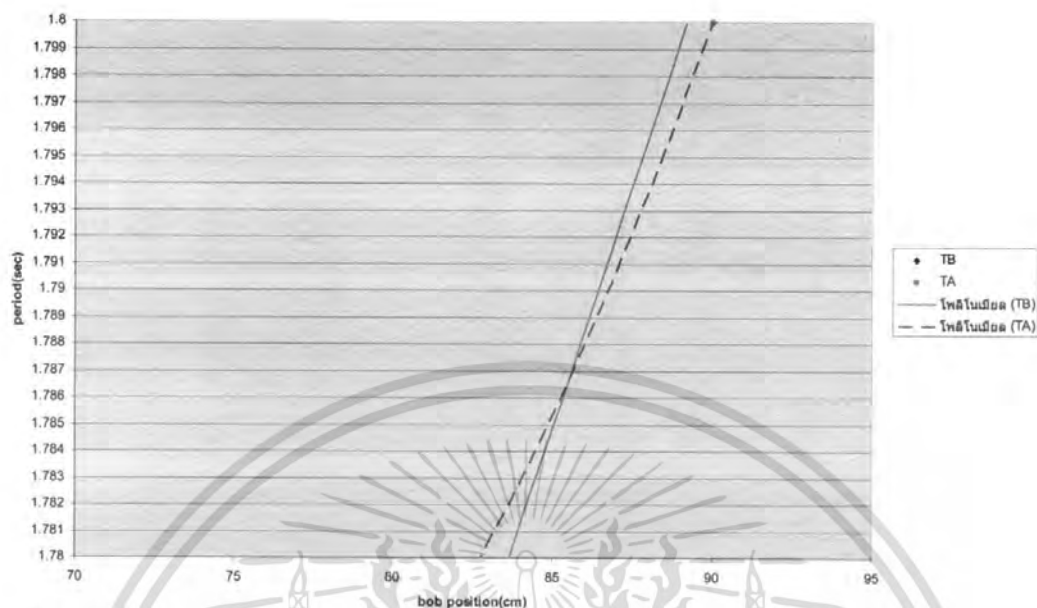
ตำแหน่ง มวล (cm)	TA			TAavg (s)	TB			TBavg (s)
	(s)	(s)	(s)		(s)	(s)	(s)	
0	1.744	1.738	1.741	1.741	1.702	1.704	1.691	1.699
10	1.730	1.722	1.723	1.725	1.707	1.681	1.700	1.696
20	1.702	1.700	1.702	1.701	1.677	1.675	1.671	1.674
30	1.707	1.710	1.717	1.711	1.662	1.659	1.653	1.658
40	1.733	1.730	1.730	1.731	1.627	1.653	1.648	1.642
50	1.739	1.74	1.742	1.740	1.685	1.680	1.684	1.683
60	1.748	1.756	1.745	1.749	1.725	1.721	1.722	1.722
70	1.752	1.752	1.751	1.751	1.733	1.725	1.735	1.731
75	1.771	1.771	1.771	1.771	1.759	1.751	1.749	1.753
90	1.801	1.799	1.800	1.800	1.800	1.797	1.803	1.800

ตารางที่ 4.2.1 ตารางแสดงผลการทดลองแบบที่สอง ครั้งที่หนึ่ง



รูปที่ 4.2.2 กราฟความสัมพันธ์คาบและตำแหน่งมวลเลื่อนแบบที่สอง ครั้งที่หนึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

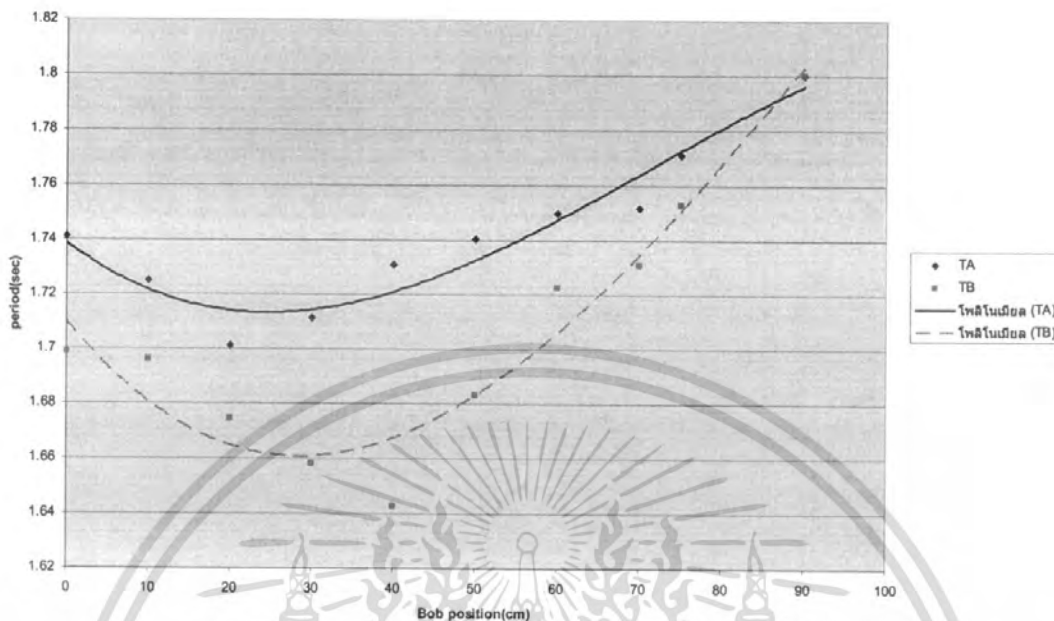


รูปที่ 4.2.3 กราฟความสัมพันธ์คาบและตำแหน่งมวลเคลื่อนแบบที่สสอง ครั้งที่หนึ่ง(ขยาย)  
ครั้งที่ 2

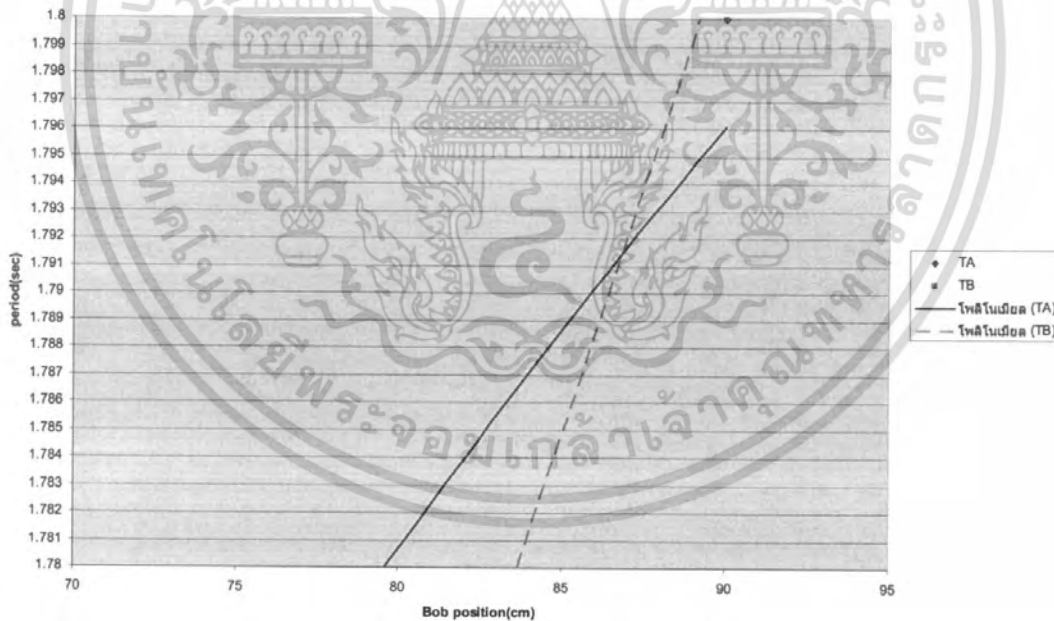
ตำแหน่ง มวล (cm)	TA (s)		TAavg (s)	TB (s)			TBavg (s)
0	1.744	1.738	1.741	1.702	1.704	1.691	1.699
10	1.730	1.722	1.723	1.707	1.681	1.700	1.696
20	1.702	1.700	1.702	1.677	1.675	1.671	1.674
30	1.707	1.710	1.717	1.662	1.659	1.653	1.658
40	1.733	1.730	1.730	1.627	1.653	1.648	1.642
50	1.739	1.740	1.742	1.685	1.680	1.684	1.683
60	1.748	1.756	1.745	1.725	1.721	1.722	1.722
70	1.752	1.752	1.751	1.733	1.725	1.735	1.731
75	1.771	1.771	1.771	1.759	1.751	1.749	1.753
90	1.801	1.799	1.800	1.800	1.797	1.803	1.800

ตารางที่ 4.2.2 ตารางแสดงผลการทดลองแบบที่สสอง ครั้งที่สอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2.4 กราฟความสัมพันธ์คาบและตำแหน่งมวลเคลื่อนแบบที่สอง ครั้งที่สอง



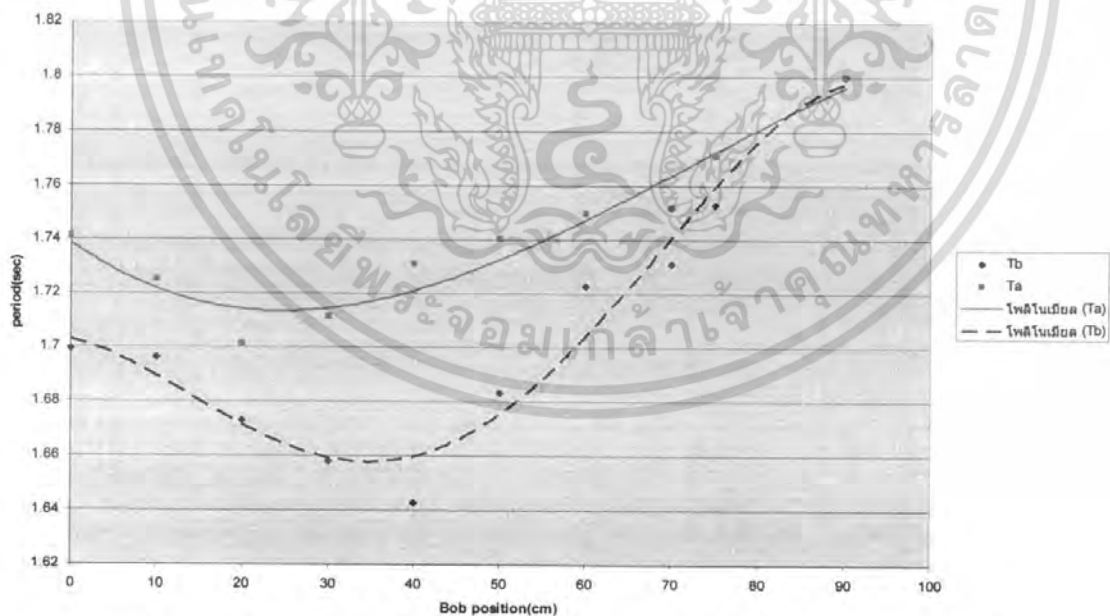
รูปที่ 4.2.5 กราฟความสัมพันธ์คาบและตำแหน่งมวลเคลื่อนแบบที่สอง ครั้งที่สอง (ขยาย)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ครั้งที่ 3

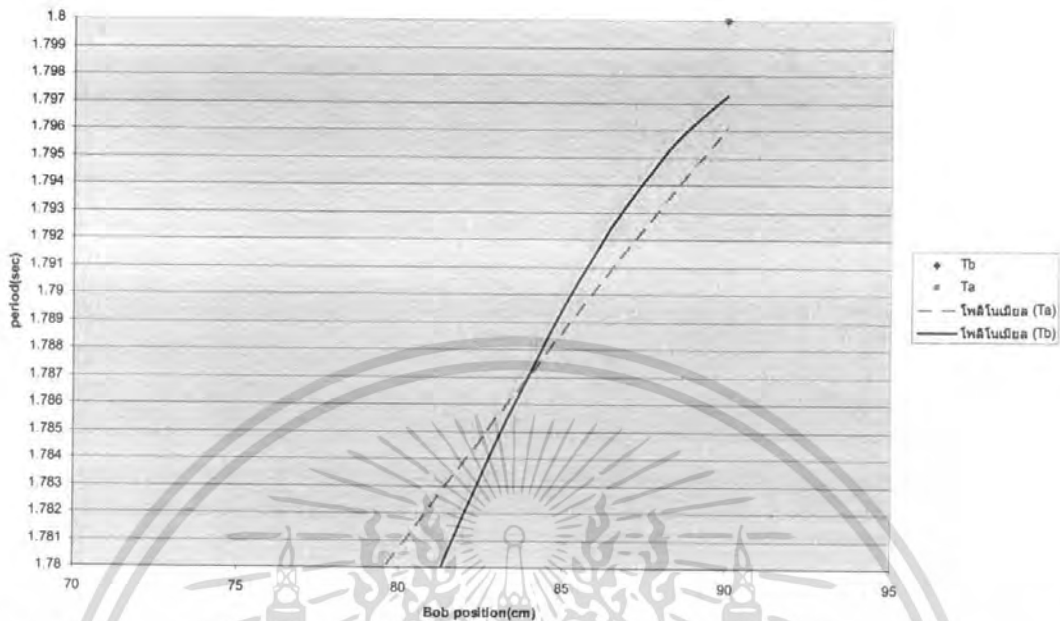
ตำแหน่งมวล (cm)	TA (s)			TAavg (s)	TB (s)			T <sub>B</sub> avg (s)
0	1.743	1.738	1.742	1.741	1.702	1.705	1.691	1.699
10	1.730	1.722	1.723	1.725	1.706	1.682	1.700	1.696
20	1.702	1.700	1.702	1.701	1.674	1.675	1.670	1.673
30	1.707	1.710	1.717	1.711	1.662	1.659	1.653	1.658
40	1.733	1.730	1.730	1.731	1.627	1.653	1.648	1.642
50	1.739	1.740	1.742	1.740	1.685	1.680	1.684	1.683
60	1.748	1.756	1.745	1.749	1.725	1.721	1.722	1.722
70	1.752	1.752	1.751	1.751	1.733	1.725	1.735	1.731
75	1.771	1.771	1.771	1.771	1.759	1.751	1.749	1.753
90	1.801	1.799	1.800	1.800	1.800	1.797	1.803	1.800

ตารางที่ 4.2.3 ตารางแสดงผลการทดลองแบบที่สอง ครั้งที่สาม



รูปที่ 4.2.6 กราฟความสัมพันธ์คาบและตำแหน่งมวลเลื่อนแบบที่สอง ครั้งที่สาม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2.7 กราฟความสัมพันธ์คาบและตำแหน่งมวลเลื่อนแบบที่สอง ครั้งที่สาม(ขยาย)

#### 4.2.2. การคำนวณหาความเร่งอันเนื่องมาจากแรงโน้มถ่วงในรูปแบบที่สอง

จากกราฟจุดตัดของคาบทั้งสามครั้งการทดลองอยู่ที่

ครั้งที่หนึ่ง 1.787 s

ครั้งที่สอง 1.792 s

ครั้งที่สาม 1.787 s

ค่าเฉลี่ยจากกราฟจาก จุดตัดกันของคาบทั้ง 3จุดจะได้

$$T = \frac{1.787 + 1.792 + 1.792}{3} = 1.788 \text{ sec}$$

จากกราฟ เมื่อนำค่าจากกราฟที่ตัดกันมาคำนวณจะพบว่า

$$g = \frac{0.8}{1.788^2 \times 2} \times 8\pi^2 = 9.886 \text{ m/s}^2$$

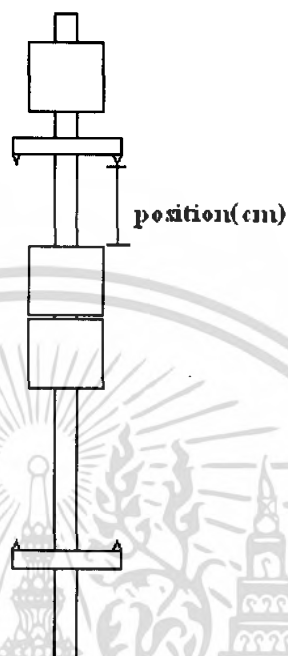
ซึ่งเมื่อเทียบกับค่าจริงจะมีค่าความผิดพลาด

ค่าจริง  $g = 9.783 \text{ m/s}^2$

$$\left| \frac{9.886 - 9.783}{9.783} \right| \times 100 = 1.000\%$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 4.3แบบที่สาม



รูปที่4.3.1 การจัดวางลูกมวลเลื่อนในแบบที่สาม

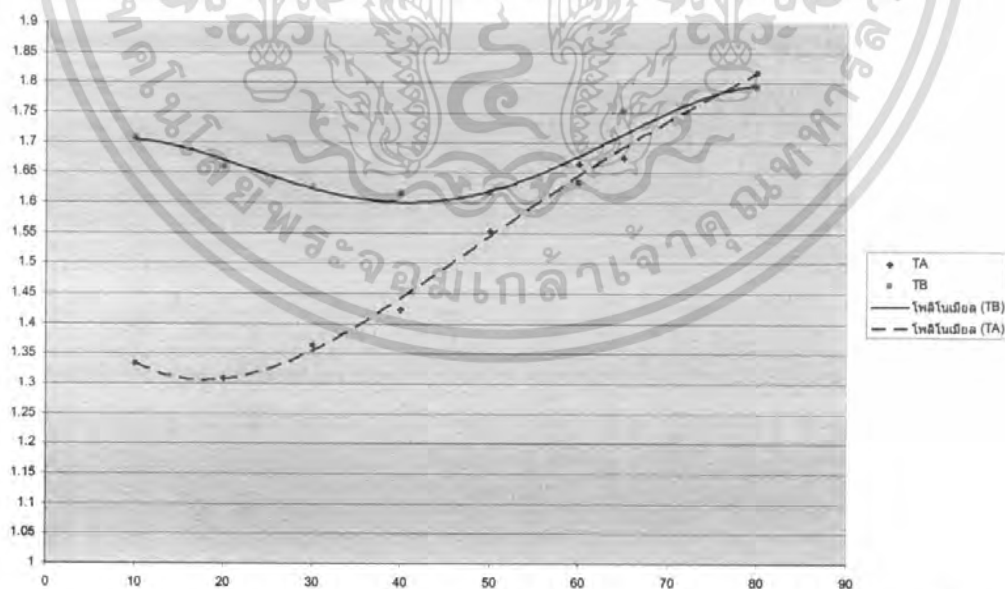
การจัดวางลูกมวลเลื่อนในแบบที่สามนั้น จะมีลักษณะคล้ายในแบบที่สอง โดยจะมีการเพิ่มจำนวนลูกมวลหนัก 1 กิโลกรัมเหมือนกัน แต่ลูกมวลทั้งสองจะถูกจัดให้อยู่ติดกัน โดยถือว่าลูกมวลทั้งสองเป็นมวลก้อนเดียวกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.3.1 ตารางแสดงความสัมพันธ์ระหว่างคาบเวลาในแบบที่สาม ครั้งที่ 1

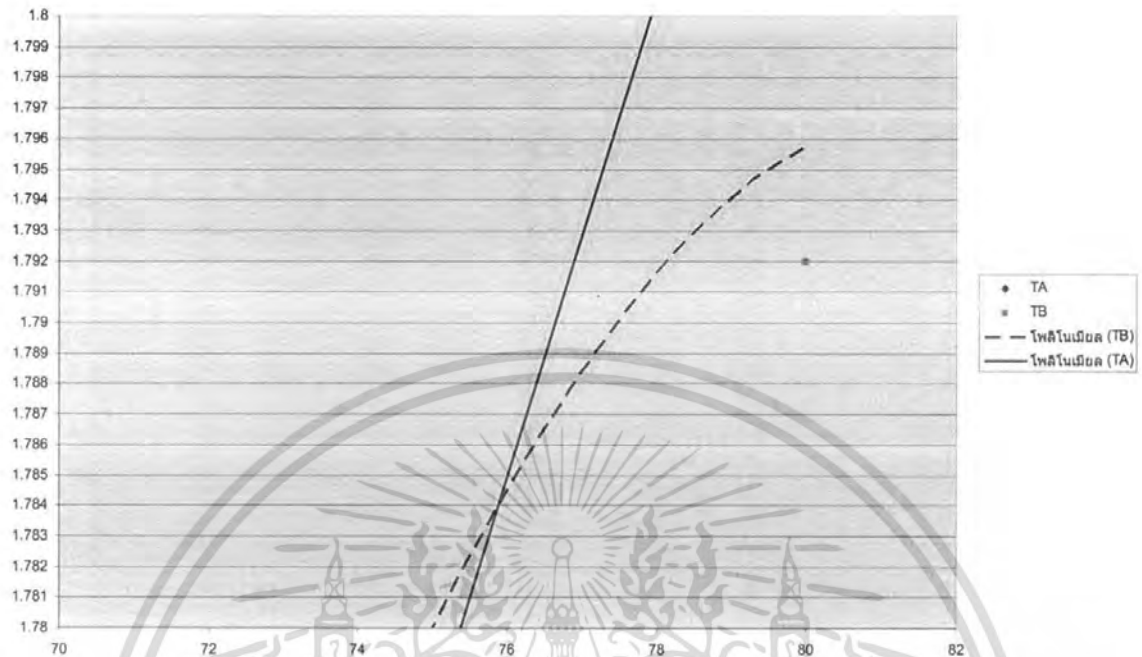
ตำแหน่ง มวล (cm)	TA			TAavg (s)	TB			TBavg (s)
	(s)	(s)	(s)		(s)	(s)	(s)	
10	1.333	1.332	1.335	1.333	1.708	1.709	1.707	1.708
20	1.31	1.302	1.312	1.308	1.656	1.664	1.658	1.659
30	1.364	1.359	1.369	1.364	1.626	1.627	1.624	1.625
40	1.426	1.425	1.416	1.422	1.617	1.614	1.616	1.615
50	1.555	1.552	1.552	1.553	1.619	1.619	1.615	1.617
60	1.665	1.662	1.664	1.663	1.636	1.635	1.628	1.633
65	1.673	1.673	1.674	1.673	1.755	1.751	1.754	1.753
80	1.82	1.818	1.816	1.818	1.794	1.791	1.791	1.792

ตารางที่ 4.3.1 ตารางแสดงผลการทดลองแบบที่สาม ครั้งที่หนึ่ง



รูปที่ 4.3.2 กราฟความสัมพันธ์คาบและตำแหน่งมวลเลื่อนแบบที่สาม ครั้งที่หนึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



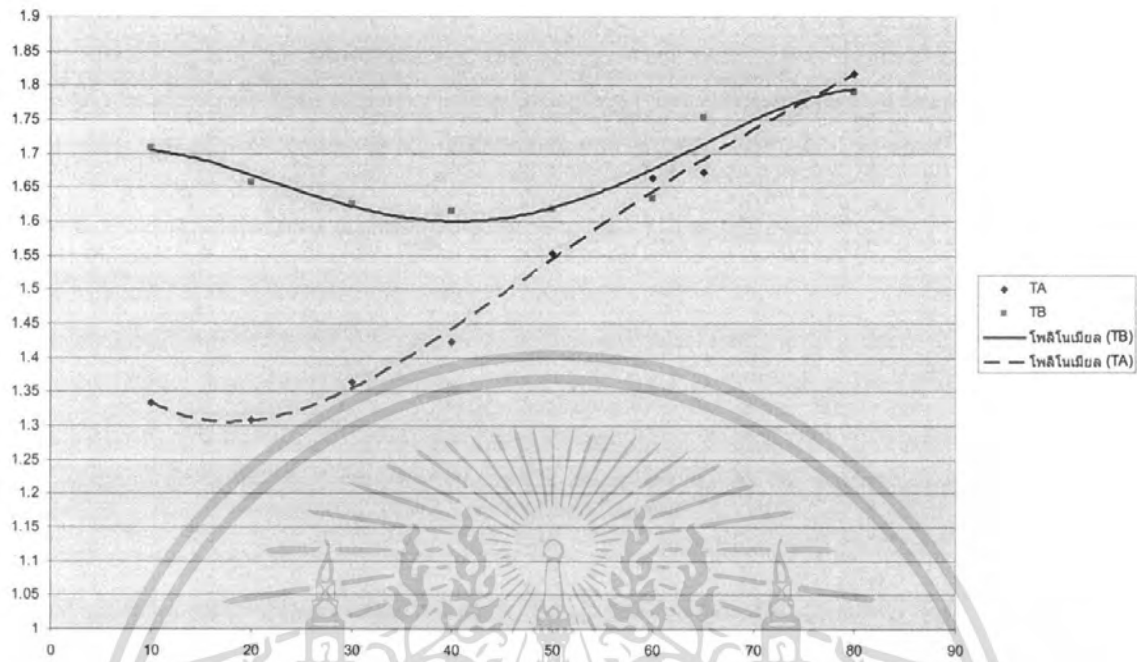
รูปที่ 4.3.3 กราฟความสัมพันธ์คาบและตำแหน่งมวลเลื่อนแบบที่สาม ครั้งที่หนึ่ง(ขยาย)

ครั้งที่ 2

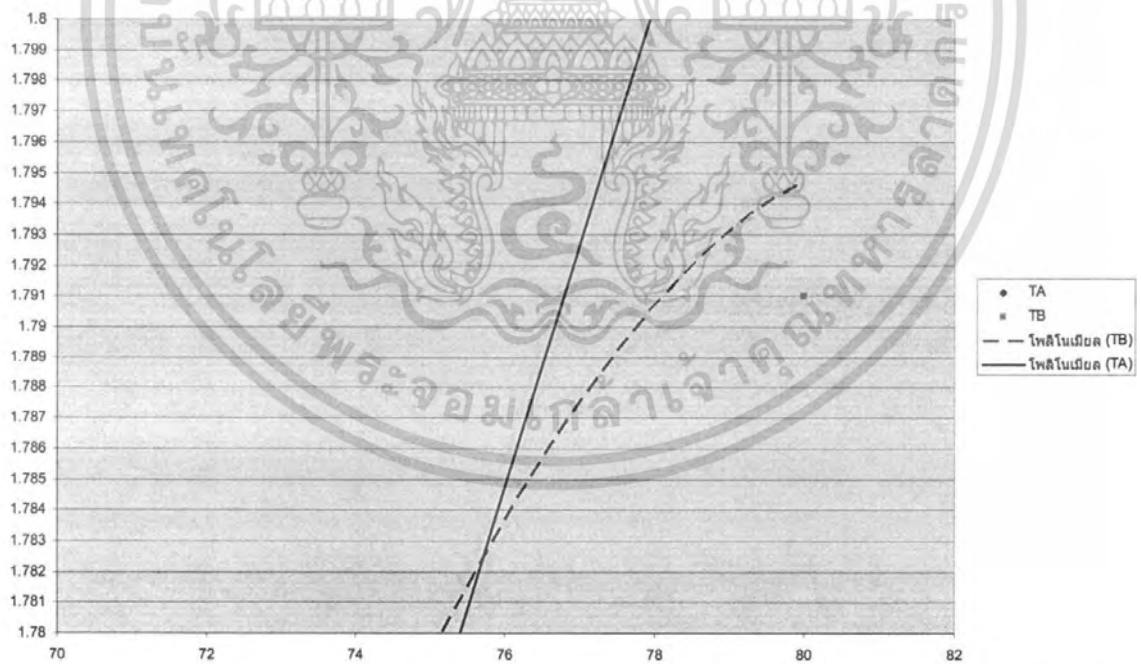
ตำแหน่ง มวล (cm)	TA (s)			TAavg (s)	TB (s)			TBavg (s)
10	1.333	1.332	1.335	1.333	1.708	1.709	1.707	1.708
20	1.31	1.302	1.312	1.308	1.656	1.664	1.654	1.658
30	1.364	1.359	1.369	1.364	1.626	1.625	1.624	1.625
40	1.426	1.425	1.416	1.422	1.615	1.614	1.616	1.615
50	1.555	1.552	1.552	1.553	1.619	1.619	1.617	1.618
60	1.665	1.662	1.664	1.663	1.636	1.635	1.628	1.633
65	1.673	1.673	1.673	1.673	1.755	1.751	1.754	1.753
80	1.82	1.818	1.816	1.818	1.791	1.791	1.791	1.791

ตารางที่ 4.3.2. ตารางแสดงผลการทดลองแบบที่สาม ครั้งที่สอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3.4 กราฟความสัมพันธ์คาบและตำแหน่งมวลเลื่อนแบบที่สาม ครั้งที่สอง



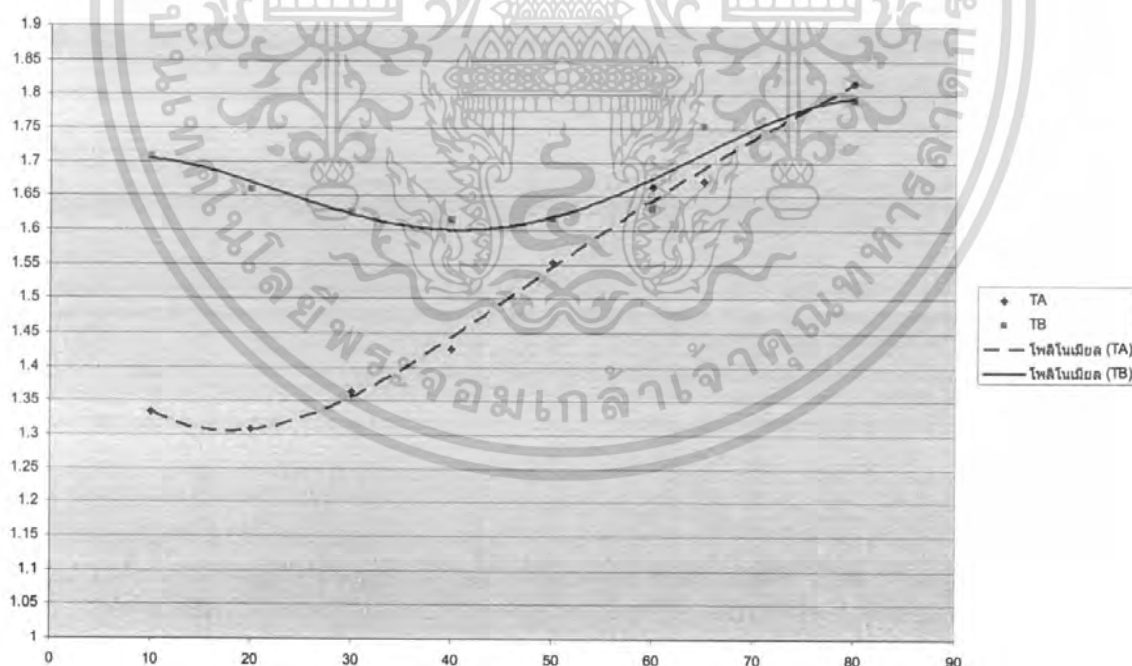
รูปที่ 4.3.5 กราฟความสัมพันธ์คาบและตำแหน่งมวลเลื่อนแบบที่สาม ครั้งที่สอง(ขยาย)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ครั้งที่ 3

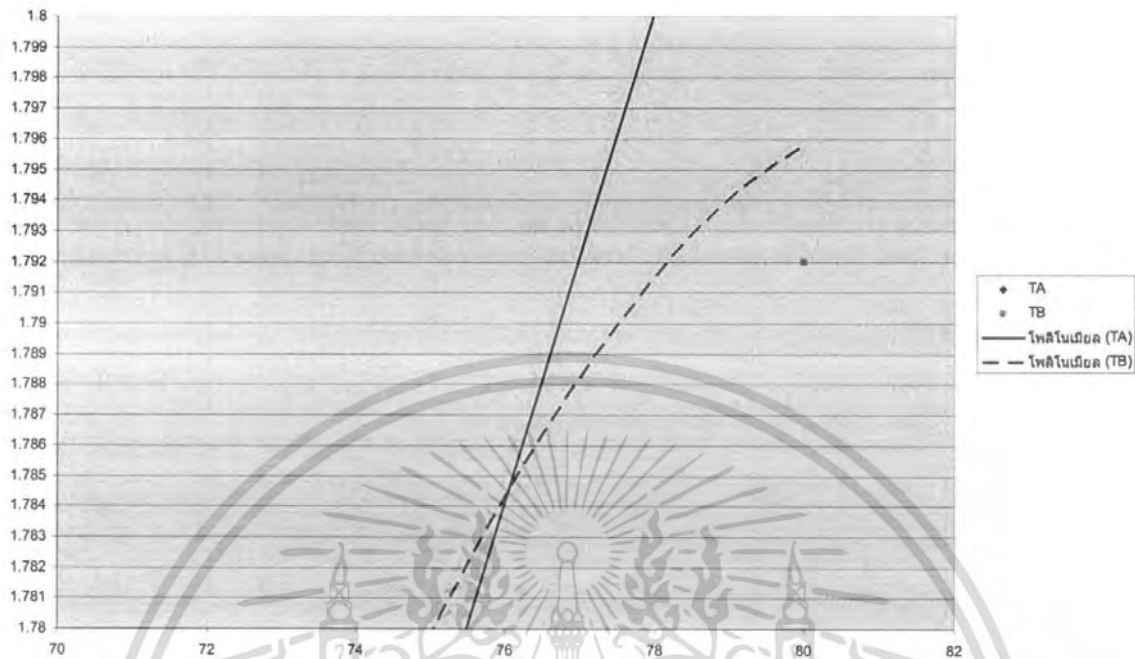
ตำแหน่ง มวล (cm)	TA			TAavg (s)		TB			TBavg (s)
	(s)	(s)	(s)			(s)	(s)	(s)	
10	1.333	1.332	1.335	1.333		1.708	1.709	1.707	1.708
20	1.31	1.302	1.312	1.308		1.656	1.664	1.658	1.659
30	1.364	1.359	1.369	1.364		1.626	1.627	1.624	1.625
40	1.426	1.425	1.426	1.425		1.617	1.614	1.616	1.615
50	1.553	1.552	1.552	1.552		1.619	1.619	1.615	1.617
60	1.665	1.662	1.664	1.663		1.6336	1.635	1.628	1.632
65	1.672	1.673	1.674	1.673		1.755	1.751	1.754	1.753
80	1.82	1.818	1.816	1.818		1.794	1.791	1.791	1.792

ตารางที่ 4.3.3 ตารางแสดงผลการทดลองแบบที่สาม ครั้งที่สาม



รูปที่ 4.3.6 กราฟความสัมพันธ์คาบและตำแหน่งมวลเลื่อนแบบที่สาม ครั้งที่สาม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3.7 กราฟความสัมพันธ์คาบและตำแหน่งมวลเลื่อนแบบที่สาม ครั้งที่สาม (ขยาย)

#### 4.3.2. การคำนวณหาความเร่งอันเนื่องมาจากแรงโน้มถ่วงในรูปแบบที่สาม

จากกราฟจุดตัดของคาบทั้งสามครั้งการทดลองอยู่ที่

ครั้งที่หนึ่ง 1.784 s

ครั้งที่สอง 1.782 s

ครั้งที่สาม 1.785 s

ค่าเฉลี่ยจากกราฟจาก จุดตัดกันของคาบทั้ง 3 จุดจะได้

$$T = \frac{1.784 + 1.782 + 1.785}{3} = 1.783 \text{ sec}$$

จากกราฟ เมื่อนำค่าจากกราฟที่ตัดกันมาคำนวณจะพบว่า

$$g = \frac{0.8}{1.783^2 \times 2} \times 8\pi^2 = 9.942 \text{ m/s}^2$$

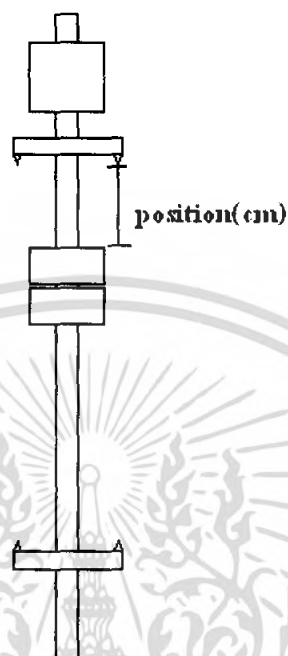
ซึ่งเมื่อเทียบกับค่าจริงจะมีค่าความผิดพลาด

ค่าจริง  $g = 9.783 \text{ m/s}^2$

$$\left| \frac{9.942 - 9.783}{9.783} \right| \times 100 = 1.600\%$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.4.แบบที่สี่



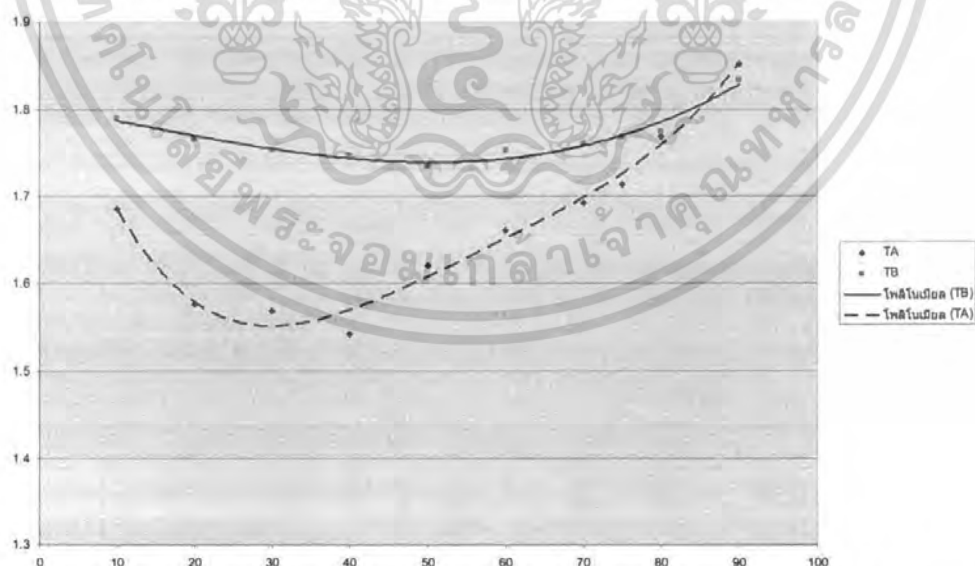
รูปที่4.4.1 การจัดวางลูกมวลเลื่อนในแบบที่สี่

การจัดวางลูกมวลเลื่อนในแบบที่สี่ จะมีการเปลี่ยนมวลของลูกมวลเลื่อนจาก1กิโลกรัม เหลือเพียง250กรัม จากนั้นทำการใส่ลูกมวล250กรัมสองลูก โดยให้ทั้งสองลูกอยู่ติดกัน เท่ากับว่าได้มวลก้อนเดียวที่น้ำหนัก500กรัม

#### 4.4.1 ตารางแสดงความสัมพันธ์ระหว่างคาบเวลาในแบบที่สี่ ครั้งที่ 1

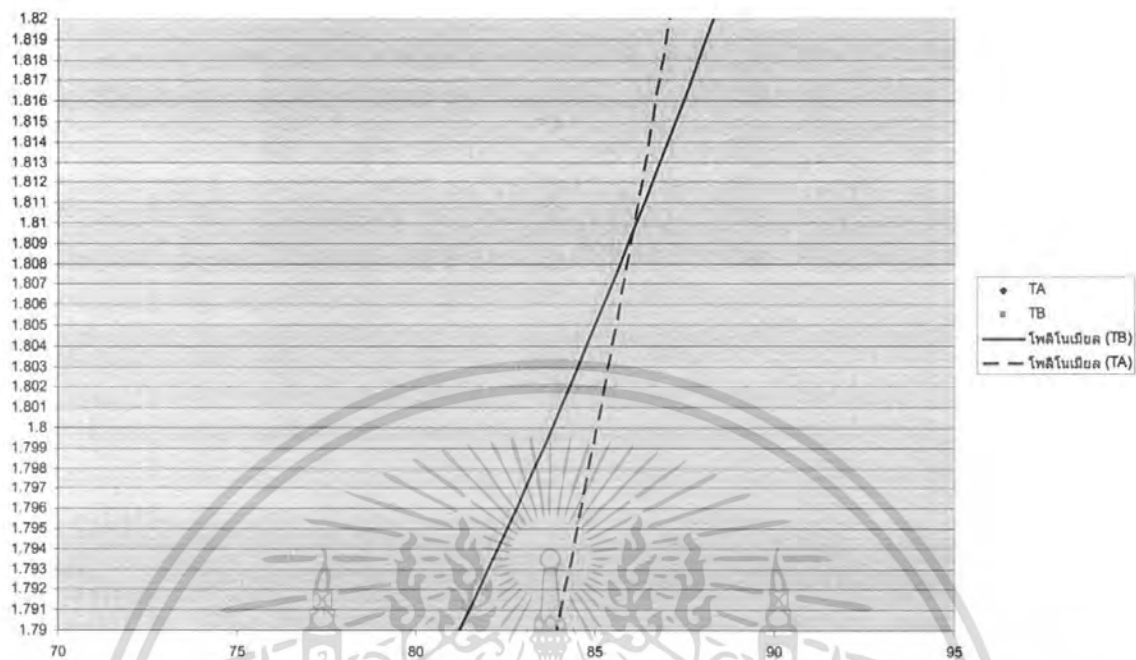
ตำแหน่ง มวล (cm)	TA (s)			TAavg (s)	TB (s)			T <sub>B</sub> avg (s)
10	1.681	1.687	1.688	1.685	1.794	1.788	1.788	1.790
20	1.576	1.575	1.577	1.576	1.764	1.766	1.768	1.766
30	1.568	1.568	1.568	1.568	1.756	1.753	1.752	1.753
40	1.56	1.563	1.504	1.542	1.747	1.745	1.748	1.746
50	1.617	1.619	1.624	1.620	1.736	1.735	1.734	1.735
60	1.637	1.670	1.676	1.661	1.749	1.755	1.753	1.752
70	1.698	1.699	1.68	1.692	1.761	1.76	1.761	1.760
75	1.71	1.715	1.716	1.713	1.770	1.769	1.767	1.768
80	1.754	1.775	1.776	1.768	1.775	1.774	1.773	1.774
90	1.832	1.834	1.836	1.834	1.851	1.849	1.856	1.852

ตารางที่ 4.4.1. ตารางแสดงผลการทดลองแบบที่สี่ ครั้งที่หนึ่ง



รูปที่ 4.4.2 กราฟความสัมพันธ์คาบและตำแหน่งมวลเลื่อนแบบที่สี่ ครั้งที่หนึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

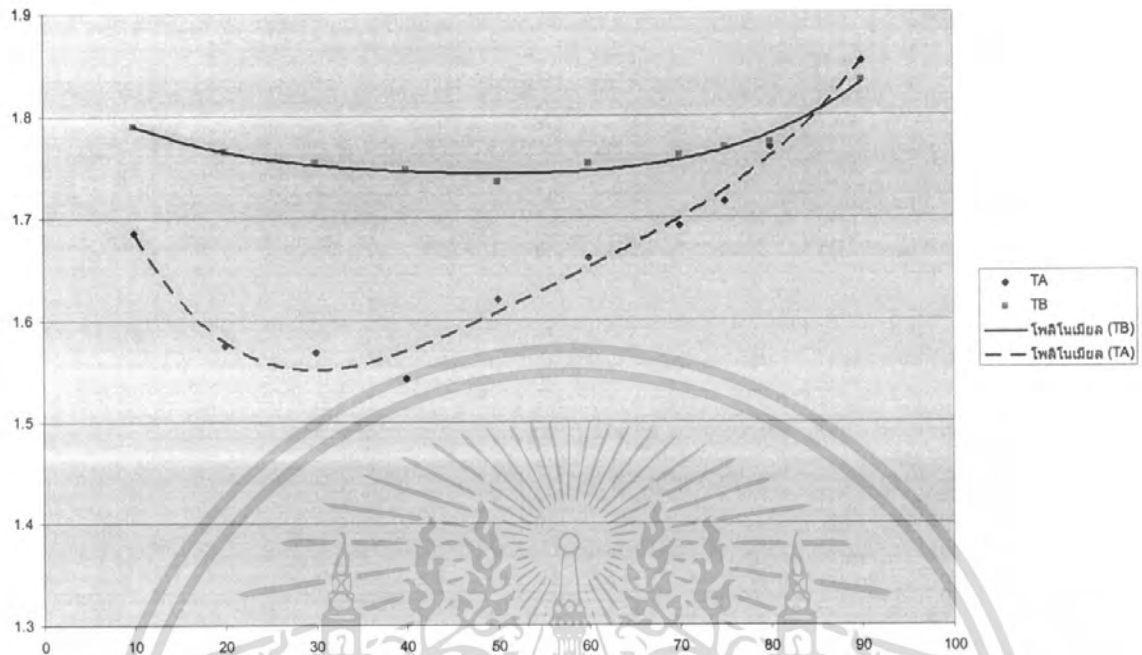


รูปที่ 4.4.3 กราฟความสัมพันธ์คาบและตำแหน่งมวลเลื่อนแบบที่สี่ ครั้งที่หนึ่ง(ขยาย)  
ครั้งที่ 2

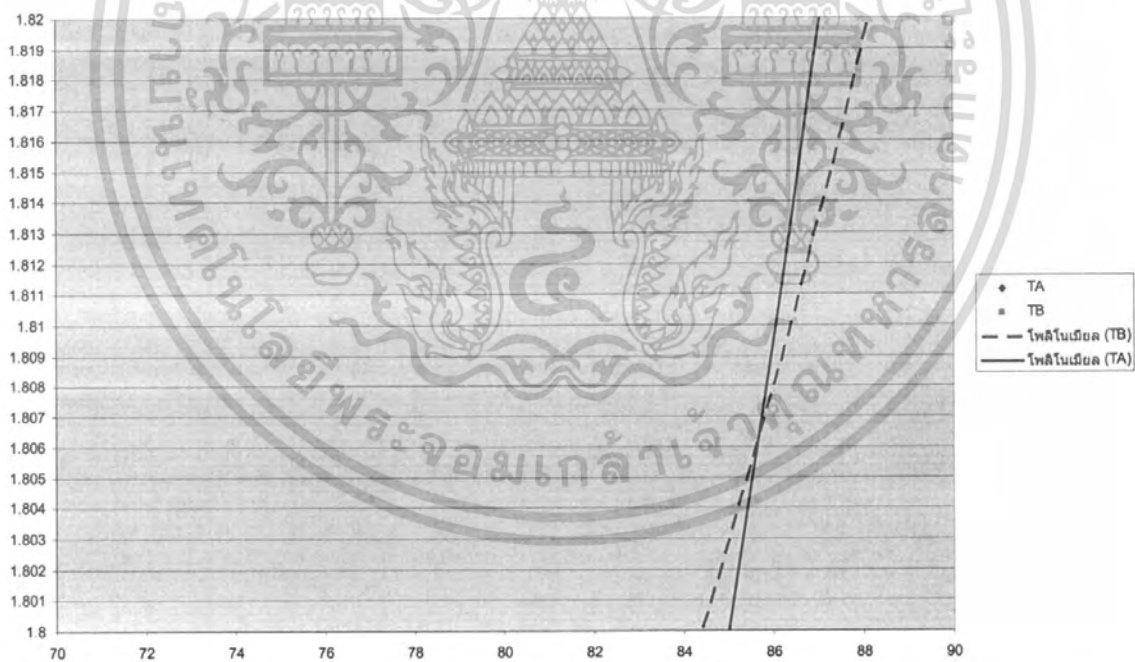
ตำแหน่ง มวล (cm)	TA			TAavg (s)	TB			TBavg (s)
	(s)	(s)	(s)		(s)	(s)	(s)	
10	1.681	1.687	1.687	1.685	1.794	1.788	1.788	1.790
20	1.576	1.575	1.575	1.575	1.764	1.765	1.768	1.765
30	1.568	1.568	1.568	1.568	1.756	1.753	1.752	1.753
40	1.56	1.563	1.504	1.542	1.747	1.745	1.748	1.746
50	1.617	1.619	1.624	1.620	1.736	1.735	1.734	1.735
60	1.637	1.670	1.676	1.661	1.749	1.755	1.753	1.752
70	1.698	1.699	1.680	1.692	1.761	1.760	1.761	1.760
75	1.716	1.714	1.716	1.715	1.770	1.769	1.767	1.768
80	1.754	1.775	1.776	1.768	1.775	1.772	1.773	1.773
90	1.832	1.834	1.836	1.834	1.851	1.850	1.856	1.852

ตารางที่ 4.4.2 ตารางแสดงผลการทดลองแบบที่สี่ ครั้งที่สอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4.4 กราฟความสัมพันธ์ค่าและตำแหน่งมวลเลื่อนแบบที่สี่ ครั้งที่สอง



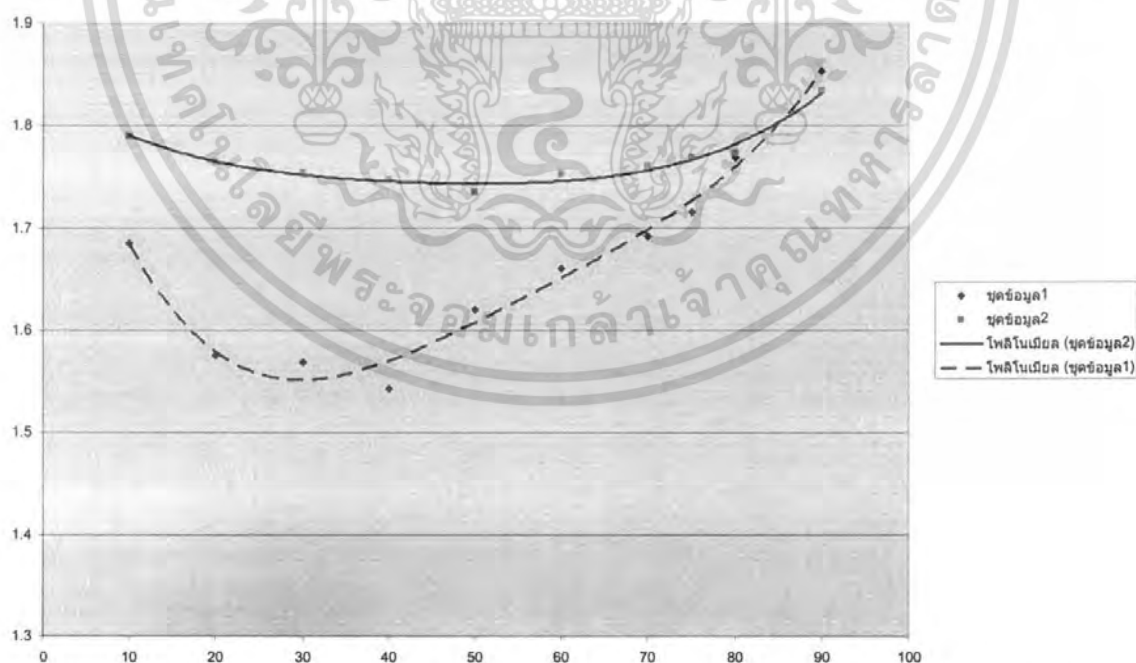
รูปที่ 4.4.5 กราฟความสัมพันธ์ค่าและตำแหน่งมวลเลื่อนแบบที่สี่ ครั้งที่สอง(ขยาย)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ครั้งที่ 3

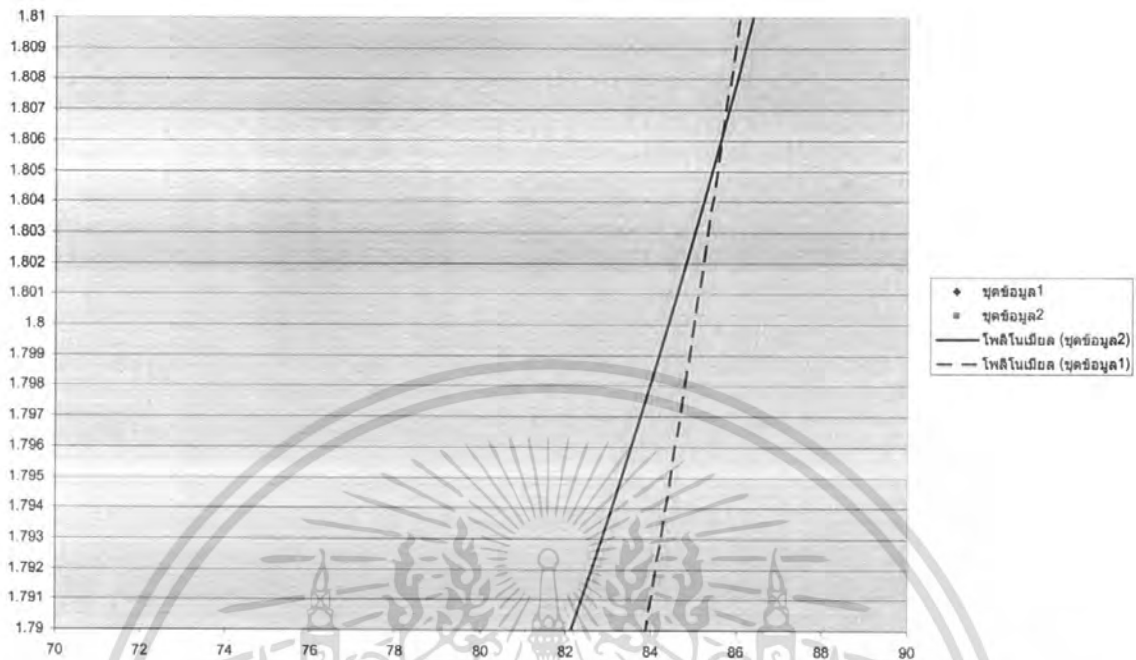
ตำแหน่ง มวล (cm)	TA (s)			TAavg (s)	TB (s)			T <sub>B</sub> avg (s)
10	1.681	1.687	1.687	1.685	1.794	1.788	1.788	1.79
20	1.576	1.575	1.575	1.575	1.764	1.765	1.768	1.765
30	1.568	1.568	1.568	1.568	1.756	1.753	1.752	1.753
40	1.56	1.563	1.504	1.542	1.747	1.745	1.748	1.746
50	1.617	1.619	1.624	1.620	1.736	1.735	1.734	1.735
60	1.637	1.67	1.676	1.661	1.749	1.755	1.753	1.752
70	1.698	1.699	1.680	1.692	1.761	1.76	1.761	1.760
75	1.716	1.714	1.716	1.715	1.77	1.769	1.767	1.768
80	1.754	1.775	1.776	1.768	1.775	1.772	1.773	1.773
90	1.832	1.834	1.836	1.834	1.851	1.85	1.856	1.852

ตารางที่ 4.4.3. ตารางแสดงผลการทดลองแบบที่สี่ ครั้งที่สาม



รูปที่ 4.4.6 กราฟความสัมพันธ์คาบและตำแหน่งมวลเลื่อนแบบที่สี่ ครั้งที่สาม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4.6 กราฟความสัมพันธ์คาบและตำแหน่งมวลเคลื่อนแบบที่สี่ ครั้งที่สาม(ขยาย)

#### 4.4.2. การคำนวณหาความเร่งอันเนื่องมาจากแรงโน้มถ่วงในรูปแบบที่สาม

จากกราฟจุดตัดของคาบทั้งสามครั้งการทดลองอยู่ที่

ครั้งที่หนึ่ง 1.810 s

ครั้งที่สอง 1.806 s

ครั้งที่สาม 1.806 s

ค่าเฉลี่ยจากกราฟจาก จุดตัดกันของคาบทั้ง 3จุดจะได้

$$T = \frac{1.810 + 1.806 + 1.806}{3} = 1.807 \text{ sec}$$

จากกราฟ เมื่อนำค่าจากกราฟที่ตัดกันมาคำนวณจะพบว่า

$$g = \frac{0.8}{1.807^2 \times 2} \times 8\pi^2 = 9.680 \text{ m/s}^2$$

ซึ่งเมื่อเทียบกับค่าจริงจะมีค่าความผิดพลาด

ค่าจริง  $g = 9.783 \text{ m/s}^2$

$$\left| \frac{9.680 - 9.783}{9.783} \right| \times 100 = 1.000\%$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื่องจากการทดลองพบว่ามี ความคลาดเคลื่อนจากเครื่องมือวัด

ค่าความคลาดเคลื่อนของตลับเมตร  $\pm 1 \text{ mm}$

ค่าความคลาดเคลื่อนจากการวัดคาบ  $\pm 0.005 \text{ sec}$

จากสมการความคลาดเคลื่อนที่ได้จากทฤษฎี

$$\frac{\Delta g}{g} = \frac{\Delta L}{L} + \frac{2(\Delta T)}{T}$$

แบบที่ 1

$$\frac{\Delta g}{g} = \frac{\Delta L}{L} + \frac{2(\Delta T)}{T}$$

$$\frac{\Delta g}{g} = \frac{0.001}{0.800} + \frac{2(0.05)}{1.814} = 0.007$$

$$\Delta g = 0.007 \times 9.605 = 0.067$$

แบบที่ 2

$$\frac{\Delta g}{g} = \frac{\Delta L}{L} + \frac{2(\Delta T)}{T}$$

$$\frac{\Delta g}{g} = \frac{0.001}{0.800} + \frac{2(0.05)}{1.790} = 0.007$$

$$\Delta g = 0.007 \times 9.886 = 0.069$$

แบบที่ 3

$$\frac{\Delta g}{g} = \frac{\Delta L}{L} + \frac{2(\Delta T)}{T}$$

$$\frac{\Delta g}{g} = \frac{0.001}{0.800} + \frac{2(0.05)}{1.783} = 0.007$$

$$\Delta g = 0.007 \times 9.942 = 0.069$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบบที่ 4

$$\frac{\Delta g}{g} = \frac{\Delta L}{L} + \frac{2(\Delta T)}{T}$$

$$\frac{\Delta g}{g} = \frac{0.001}{0.800} + \frac{2(0.05)}{1.807} = 0.021$$

$$\Delta g = 0.007 \times 9.680 = 0.067$$

ซึ่งจากการคำนวณจะพบว่า ค่าความคลาดเคลื่อนจากเครื่องมือวัดมีค่าประมาณ  $\pm 0.07 m/s^2$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

### สรุปและข้อเสนอนะ

#### สรุปผลการทดลองและการวัด

จากการทดลองจะพบว่า การวัดค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงนั้น มีความแม่นยำสูง เนื่องจากการใช้ค่าคาบที่เท่ากันทำให้ไม่ต้องหาจุดต่ำสุดซึ่งหายาก

จากการทดลองจะพบว่า เมื่อเราเปลี่ยนค่าน้ำหนักที่ถ่วงกับเพนดูลัมดังกล่าว แล้วจะพบว่าค่าคาบนั้นยังคงที่ซึ่งหมายความว่ามวลนั้นไม่มีผลต่อการวัดค่าความเร่งโน้มถ่วงของโลก

ผลการทดลองที่ได้ค่าที่คลาดเคลื่อนกว่าความเป็นจริงอาจมีสาเหตุจากเนื่องจาก

- การวัดระยะลูกตุ้มซึ่งวัดด้วยตลับเมตร ซึ่งระดับสายตาที่มองนั้นอาจไม่ตั้งฉากกับที่วัดซึ่งทำให้ระยะผิดไป

- การสังเกตคาบโดยใช้ เกทซึ่งเมื่อแกว่งเพนดูลัมนั้นอาจเกิดแฉกทำให้การแกว่งนั้นไม่

สมบูรณ์

#### ข้อเสนอนะ

ในการทดลององศาของเพนดูลัมควรให้มีค่าน้อยที่สุด อันเนื่องมาจากค่า  $\sin\theta$  ที่ต้องการให้  $\theta$  มีค่าเข้าใกล้ 0 มากที่สุด

จุดหมุนควรมีความแหลมมากที่สุดเพื่อลดพื้นที่ที่ทำให้เกิดแรงเสียดทานต่อผิวสัมผัสน้อยที่สุด ทำให้ความผิดพลาดน้อยลง

แนวของจุดหมุนควรวอยู่ในระนาบเดียวกับเซ็นเซอร์ตรวจจับ เพื่อให้การแกว่งของเพนดูลัมตั้งฉากกับแนวการวัด

## เอกสารอ้างอิง

Young & Freedman. 2000, UNIVERSITY PHYSICS tenth edition  
New York, Addison Wesley Longman



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก

### Error estimation

จากการทดลองเราจะพบว่าค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากเครื่องมือวัด

จากการวัดความยาวของเพนดูลัม  $\pm 1\text{mm}$

ซึ่งจะทำให้ค่าการวัดความเร่งโน้มถ่วงคลาดเคลื่อนไป

จากการวัดคาบโดยใช้โคน์เตอร์  $\pm 0.01\text{sec}$

จากสมการการหาค่าความคลาดเคลื่อน

$$\Delta F = \left| \frac{\partial F}{\partial x} \right| (\Delta x) + \left| \frac{\partial F}{\partial y} \right| (\Delta y)$$

เมื่อ  $F$  เป็นปริมาณที่หาได้จากการคำนวณจากปริมาณ  $x$  และ  $y$

และ  $x$  และ  $y$  หาได้จากค่าได้จากความละเอียดสูงสุดของเครื่องมือวัดซึ่งเมื่อทำแล้วจะได้

จากสมการ

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

จะได้

$$F = g$$

$$x = L$$

$$y = T$$

$$\Delta g = \frac{\partial g}{\partial L} (\Delta L) + \frac{\partial g}{\partial T} (\Delta T)$$

$$\Delta g = \frac{4\pi^2}{T^2} (\Delta L) + \frac{4\pi^2 \times 2L}{T^3} (\Delta T)$$

นำ  $g = \frac{4\pi^2 L}{T^2}$  หาค่าตลอดจะได้

$$\frac{\Delta g}{g} = \frac{\Delta L}{L} + \frac{2(\Delta T)}{T}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้