



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

การศึกษาการแกว่งของลูกตุ้มตัวนำในสนามไฟฟ้า Study of conducting pendulum oscillation in the electric field

วรรณภา ชัมรักษา¹
จิตรา เกตุแก้ว²

Email : wannapajacob@hotmail.com

¹นักศึกษาระดับปริญญาโท สาขาวิชาฟิสิกส์ศึกษาภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

²ผู้ช่วยศาสตราจารย์ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

บทคัดย่อ

จากการศึกษาลักษณะการแกว่งของลูกตุ้มตัวนำในสนามไฟฟ้า โดยมีแผ่นตัวนำคู่ขนานที่มีระยะห่างที่ต่างกัน ตั้งแต่ 7, 11 และ 15 cm โดยจ่ายแรงดันไฟฟ้าคงที่ ที่ 10 kV และแบ่งการศึกษาลักษณะการแกว่งของลูกตุ้มตัวนำในสนามไฟฟ้าออกเป็น 2 ช่วงคือ 1) ช่วงที่จ่ายแรงดันไฟฟ้าคงที่ ที่ 10 kV พบว่าลักษณะของการเคลื่อนที่อยู่ในรูปของฟังก์ชันสามเหลี่ยม หรือฟันเลื่อย (triangle wave) เมื่อสนามไฟฟ้ามีค่ามากส่งผลให้คาบเวลาการแกว่งน้อย ซึ่งจะเห็นได้ว่าคาบเวลาของการแกว่งนี้ มีค่าน้อยกว่าคาบเวลาของการแกว่งลูกตุ้มอย่างง่าย เนื่องเป็นผลมาจากสนามไฟฟ้าที่มีค่ามาก ทำให้ลูกตุ้มตัวนำเคลื่อนที่ได้เร็วภายใต้สนามไฟฟ้า 2) ช่วงของการหยุดจ่ายแรงดันไฟฟ้า จากผลการศึกษา พบว่าลักษณะกราฟการเคลื่อนที่มีลักษณะเป็นรูปฟังก์ชันไซน์ (sinusoidal wave) คาบเวลาของการแกว่งลูกตุ้มตัวนำ มีค่าขึ้นกับความยาวเชือก โดยไม่ขึ้นกับระยะห่างระหว่างแผ่นตัวนำคู่ขนาน ความถี่เชิงมุมเมื่อมีการหน่วง มีค่าเข้าใกล้ความถี่ธรรมชาติ ซึ่งขนาดแอมพลิจูดการแกว่งนี้มีค่าลดลงเมื่อเวลาเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากการสูญเสียพลังงานไปกับตัวประกอบภาระหน่วงของการแกว่ง

คำสำคัญ การแกว่ง, การเคลื่อนที่แบบหน่วง, ไฟฟ้าสถิต, สนามไฟฟ้า

Abstract

The research was aimed to study the damping oscillation of a conducting pendulum in an electric field, using parallel plates with different distances and 10 kV input voltage. It was founded that there were 2 types of the oscillation of the pendulum. The first type is during the constant input of voltage in which the oscillation is in triangle wave and the oscillation frequency depends on the electric field. The increasing electric field causes the increase in oscillation frequency. The second type is during the stopping of voltage input in which the oscillation of pendulum is in the sinusoidal wave. The period of the oscillation depends on the string length, not on the distance between the parallel plates. The damped angular frequency is a little lower than the natural angular frequency. The oscillation decreases in amplitude when time increases because of the lose of energy to the damped oscillation due to air drag.



Keywords electrostatics, electric field, damped simple harmonic motion, oscillation

บทนำ

การเคลื่อนที่ของวัตถุสามารถแบ่งออกได้เป็นหลายแบบ การเคลื่อนที่แบบหนึ่งคือ การเคลื่อนที่ที่เป็นแบบคาบ (Periodic Motion) ซึ่งเป็นการเคลื่อนที่ในลักษณะซ้ำเส้นทางเดิมในช่วงเวลาหนึ่ง เราเรียกการเคลื่อนที่ที่เป็นคาบของวัตถุที่ซ้ำเส้นทางเดิมว่า การเคลื่อนที่แบบแกว่งกวัด (Oscillation) การแกว่งกวัดด้วยแอมพลิจูดคงที่ตลอดเวลา เรียกการแกว่งกวัดลักษณะนี้ว่า การแกว่งกวัดแบบซิมเปิลฮาร์โมนิก (Simple Harmonic Oscillation) ตัวอย่างเช่น การแกว่งกวัดของเพนดูลัมอย่างง่าย (Simple Pendulum) การเคลื่อนที่แบบแกว่งกวัดของวัตถุจะไม่เป็นการแกว่งกวัดแบบซิมเปิลฮาร์โมนิก เนื่องจากจะมีแรงต้านการเคลื่อนที่มากระทำกับวัตถุทำให้แอมพลิจูดการแกว่งกวัดของวัตถุลดลงอย่างช้าๆ จนกระทั่งวัตถุหยุดนิ่งหรือวัตถุกลับสู่สถานะสมดุลเสถียร เรียกการแกว่งกวัดที่มีแรงต้านการเคลื่อนที่มากระทำต่อวัตถุว่า การแกว่งกวัดแบบหน่วง (Damped Oscillation) [6]

ในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยเห็นความสำคัญของการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ในวิชาฟิสิกส์โดยทำการสร้างเครื่องมือขึ้นมาเพื่อทำการศึกษาวเคราะห์ลักษณะการแกว่งของลูกตุ้มตัวนำในสนามไฟฟ้า โดยศึกษาการแกว่งของลูกตุ้มตัวนำอย่างง่าย การแกว่งของลูกตุ้มตัวนำในสนามไฟฟ้าเมื่อจ่ายแรงดันไฟฟ้าคงที่ โดยใช้โปรแกรม Tracker มาใช้จับตำแหน่งของลูกตุ้มเพื่อนำข้อมูลไปใช้ในการศึกษาในแง่ต่างๆ เป็นบทเรียนที่เรียนรู้ด้วยตนเอง ซึ่งการเคลื่อนที่แบบแกว่งกวัด เป็นความรู้พื้นฐานของการศึกษาเกี่ยวกับวิชากลศาสตร์ในระดับสูงขึ้นไป ซึ่งจะเป็นประโยชน์ในการศึกษาในขั้นสูง เนื่องจากเป็นโปรแกรมที่สามารถระบุตำแหน่งความเร็ว ความเร่ง พิกัดตำแหน่งของวัตถุได้อย่างแม่นยำ นอกจากนี้ยังเป็นโปรแกรมที่สามารถใช้เป็นสื่อในการช่วยพัฒนาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนการสอนให้สูงขึ้น และทำให้การเรียนการสอนวิชาฟิสิกส์มีประสิทธิภาพมากขึ้น

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. ศึกษาลักษณะการแกว่งของลูกตุ้มตัวนำ ในสนามไฟฟ้าจากแผ่นประจุคู่ขนาน
2. ศึกษาคาบและความถี่ของการแกว่งลูกตุ้มตัวนำ ในสนามไฟฟ้าเมื่อใช้ความยาวเชือกที่ขนาดต่างกัน

ขอบเขตการวิจัย

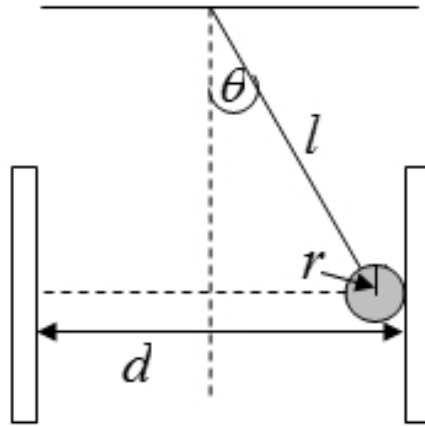
1. ศึกษาการแกว่งของลูกตุ้มตัวนำรัศมี (r) = 1.98 cm โดยอาศัยโปรแกรม Tracker
2. สร้างสนามไฟฟ้าจากแผ่นตัวนำวงกลมคู่ขนาน ซึ่งวางห่างกันเป็นระยะ (d) 7, 11 และ 15 cm และจ่ายแรงดันไฟฟ้าคงที่ ที่ 10 kV

วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลอง (Experimental Research) เพื่อศึกษาระยะห่างระหว่างแผ่นตัวนำคู่ขนาน ที่มีผลต่อคาบการแกว่งของลูกตุ้มตัวนำ

โดยใช้ลูกตุ้มตัวนำรัศมี (r) = 1.98 cm แขนงอย่างอิสระโดยใช้เชือกความยาวจากจุดตรึงถึงจุดศูนย์กลางมวลของลูกตุ้มตัวนำเป็น (l) = 50, 60 และ 70 cm และแผ่นตัวนำคู่ขนานรัศมี (R) = 15 cm โดย

นำแผ่นตัวนำกั้นทั้งสองฝั่ง กำหนดให้ระยะห่างระหว่างแผ่นตัวนำคู่ขนาน (d) เท่ากับ 15 11 และ 7 cm และจ่ายแรงดันไฟฟ้าคงที่ ที่ 10 kV ดังรูปที่ 1

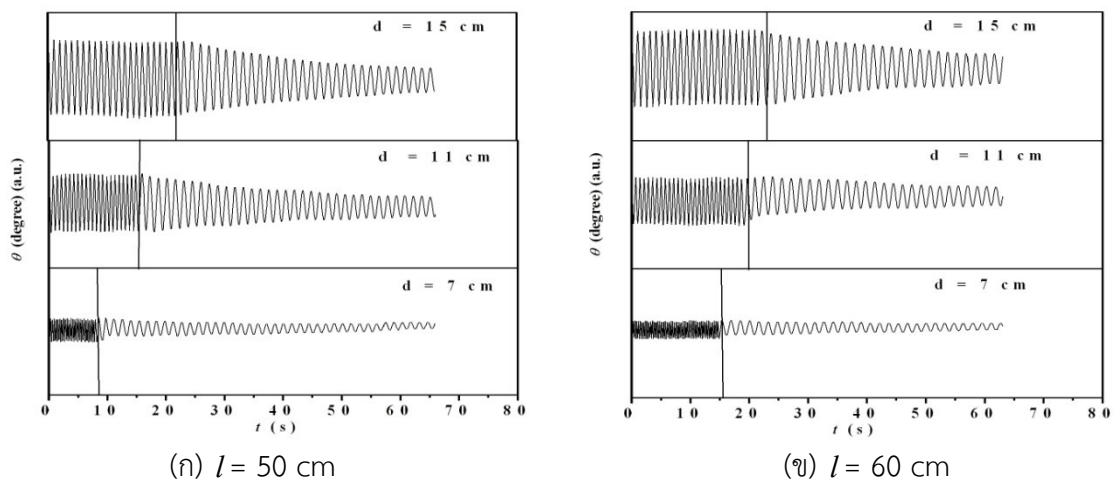


รูปที่ 1 แสดงแผนการการจัดวางอุปกรณ์การทดลอง และกำหนดตัวแปรต่างๆ

ในส่วนของการวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้โปรแกรม Tracker โดยใช้ในการจับตำแหน่งของลูกตุ้มตัวนำเพื่อใช้ในการศึกษาในแง่ต่างๆ

ผลการวิจัย

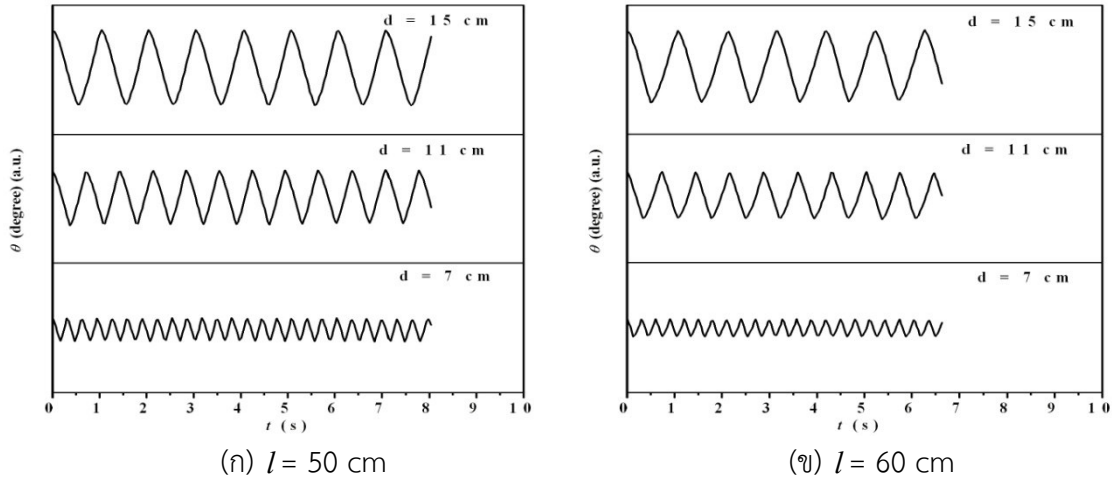
ผลของการแกว่งลูกตุ้มตัวนำในสนามไฟฟ้า โดยมีแผ่นตัวนำคู่ขนานกันทั้ง 2 ฝั่ง เป็นระยะ (d) ซึ่งผลการศึกษาแบ่งลักษณะการเคลื่อนที่ออกเป็น 2 ช่วง คือช่วงที่ 1) เมื่อจ่ายแรงดันไฟฟ้าคงที่ ที่ 10 kV จากรูปที่ 2 จะเห็นได้ว่าแอมพลิจูดของการสั่นจะมีลักษณะเท่ากัน และช่วงที่ 2) เมื่อหยุดจ่ายแรงดันไฟฟ้า จะเห็นได้ว่าแอมพลิจูดของการสั่นจะลดลงตามเวลา ดังแสดงไว้ในรูปที่ 2



รูปที่ 2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างการจัดเชิงมุมกับเวลา ของการแกว่งลูกตุ้มตัวนำที่ความยาวเชือกต่างกัน

อภิปรายผลการวิจัย

จากผลการศึกษาในช่วงที่จ่ายแรงดันไฟฟ้าคงที่ ที่ 10 kV ให้กับแผ่นตัวนำคู่ขนาน ที่ความยาวเชือก 50, 60 และ 70 cm ลักษณะการแกว่งของลูกตุ้มตัวนำจะมีแอมพลิจูดเท่ากัน และขนาดของแอมพลิจูดจะลดลงเมื่อ (d) มีค่าลดลง โดยค่า (d) คือระยะห่างระหว่างแผ่นตัวนำคู่ขนาน จะสัมพันธ์กับค่าความเข้มของสนามไฟฟ้าที่อยู่ระหว่างแผ่น



รูปที่ 3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างการกระจัดเชิงมุมกับเวลา ของการแกว่งลูกตุ้มตัวนำที่แรงดันไฟฟ้า 10 kV

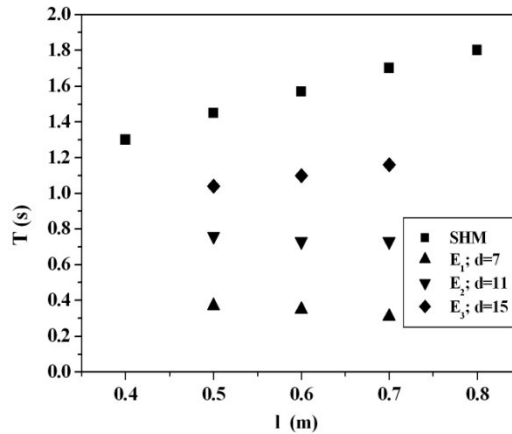
จากรูปที่ 3(ก) ความยาวเชือกเท่ากับ 50 cm จะพบว่าค่าแอมพลิจูดมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อระยะห่างระหว่างแผ่นตัวนำคู่ขนานเพิ่มขึ้น ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.0115, 0.0336 และ 0.0525 m ตามลำดับ และคาบเวลาของการแกว่งลูกตุ้มตัวนำมีค่าลดลงตามสนามไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้น

รูปที่ 4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความยาวเชือก (l) กับคาบเวลา (T) พบว่าที่ระยะห่างระหว่างแผ่นตัวนำคู่ขนาน (d) เท่ากับ 7 cm ที่ความยาวของลูกตุ้มเพิ่มขึ้น พบว่าคาบเวลาการแกว่งมีค่าลดลงเล็กน้อยคือ 0.37, 0.35 และ 0.31 s และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างคาบเวลาการแกว่งดังกล่าว กับคาบเวลาของการแกว่งลูกตุ้มอย่างง่าย พบว่าคาบเวลาการแกว่งนั้นมีค่าน้อยลง เป็นผลมาจากสนามไฟฟ้าที่มีค่ามาก ทำให้ลูกตุ้มตัวนำเคลื่อนที่ได้เร็วกว่าในสนามไฟฟ้า ในกรณีเดียวกันความยาวเชือกจะเคลื่อนที่ได้ช้ากว่าลูกตุ้มตัวนำ จึงทำให้คาบเวลาการแกว่งลดลง

เมื่อพิจารณาที่ระยะห่างระหว่างแผ่นตัวนำคู่ขนาน (d) เท่ากับ 15 cm ที่ความยาวเชือกเพิ่มขึ้น พบว่าคาบเวลาการแกว่งมีค่าเพิ่มเล็กน้อยคือ 1.04, 1.10 และ 1.16 s ซึ่งเป็นผลมาจากค่าสนามไฟฟ้าที่มีค่าน้อย ซึ่งทำให้พบว่าคาบเวลาการแกว่งนั้นลดลงตามสนามไฟฟ้าที่ลดลงด้วย ดังรูปที่ 4



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



รูปที่ 4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างระยะห่างระหว่างแผ่นตัวนำคู่ขนาน (l) กับคาบเวลา (T)

ตารางที่ 1 แสดงผลการศึกษาคาบเวลาของการแกว่งลูกตุ้มในสนามไฟฟ้าสม่ำเสมอ ที่แรงดันไฟฟ้า 10 kV พบว่าคาบของการแกว่งลูกตุ้มตัวนำ มีค่าระยะห่างระหว่างแผ่นตัวนำคู่ขนาน โดยความยาวเชือกที่ 50 cm พบว่าคาบเวลาการแกว่งมีค่าเท่ากับ 0.37, 0.76 และ 1.04 s เมื่อระยะห่างระหว่างแผ่นคู่ขนานเป็น 7, 11 และ 15 cm ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่าเมื่อสนามไฟฟ้าเพิ่มมากขึ้นจะทำให้คาบเวลาการแกว่งของลูกตุ้มตัวนำมีค่าน้อยลง

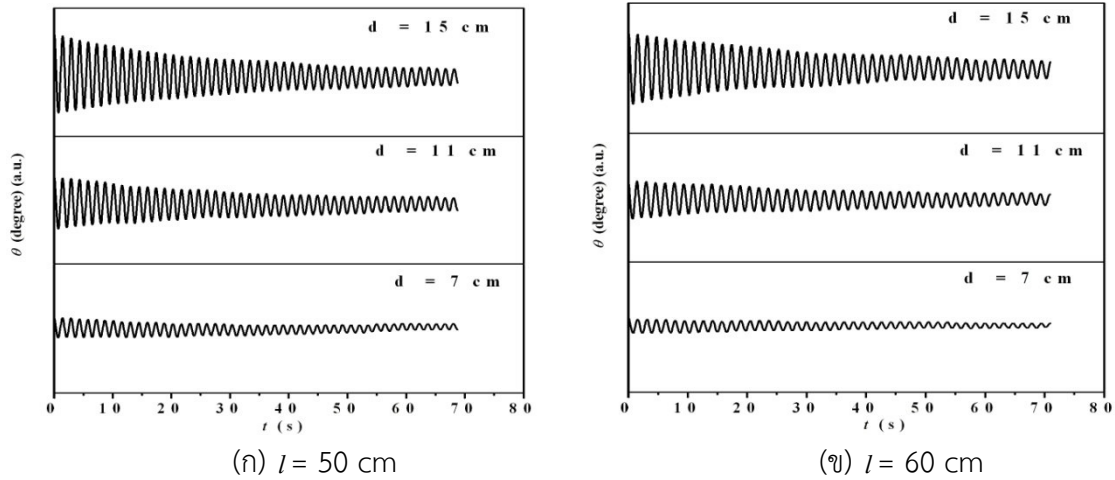
ตารางที่ 1 ผลการศึกษาคาบเวลาของการแกว่งลูกตุ้มในสนามไฟฟ้าคงที่ ที่ 10 kV

l (m)	d (m)	A_{\max} (m)	T (s)	T_{SHM} (s)	f (Hz)
0.5	0.07	0.0115	0.37	1.44	2.7027
	0.11	0.0336	0.76	1.45	1.3158
	0.15	0.0525	1.04	1.45	0.9615
0.6	0.07	0.0137	0.35	1.58	2.8571
	0.11	0.0334	0.73	1.58	1.3699
	0.15	0.0531	1.10	1.58	0.9091
0.7	0.07	0.0153	0.31	1.70	3.2258
	0.11	0.0350	0.73	1.70	1.3699
	0.15	0.0544	1.16	1.70	0.8621

จากผลการปล่อยลูกตุ้มตัวนำให้แกว่ง หลังจากที่อยู่ดจ่ายแรงดันไฟฟ้าที่ 10 kV พบว่า ลักษณะกราฟการเคลื่อนที่มีลักษณะเป็นรูปฟังก์ชันไซน์ (sinusoidal wave) คาบของการแกว่งลูกตุ้มตัวนำ มีค่าขึ้นกับความยาวเชือก ไม่ขึ้นกับระยะห่างระหว่างแผ่นตัวนำคู่ขนาน (d) เนื่องจากว่าระยะดังกล่าวมีค่ามุม θ ที่น้อยมากๆ ดังรูปที่ 5



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



รูปที่ 5 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างการกระจัดเชิงมุมกับเวลาของการแกว่งลูกตุ้มตัวนำ เมื่อหยุดจ่ายแรงดันไฟฟ้าที่ 10 kV

จากตารางที่ 2 จะเห็นได้ว่าคาบเวลาการแกว่งลูกตุ้มตัวนำ เมื่อหยุดจ่ายแรงดันไฟฟ้า ที่ความยาวเชือกเดียวกันพบว่า คาบเวลาการแกว่งมีค่าใกล้เคียงกันเมื่อระยะห่างระหว่างแผ่นตัวนำคู่ขนานเพิ่มขึ้น พิจารณาที่ความยาวเชือก 50 cm พบว่าคาบเวลาการแกว่งเท่ากับ 1.49, 1.51 และ 1.51 s และคาบเวลาการแกว่งมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อระยะห่างระหว่างแผ่นตัวนำคู่ขนานเดียวกัน โดยมีความยาวเชือกเพิ่มขึ้น พิจารณาที่ระยะห่างระหว่างแผ่นตัวนำคู่ขนานเท่ากับ 7 cm คาบเวลาการแกว่งเท่ากับ 1.49, 1.64 และ 1.75 s และยังพบว่าคาบเวลาการแกว่งนี้มีค่าเข้าใกล้คาบเวลาของการแกว่งแบบหน่วง ซึ่งเป็นผลมาจากแรงต้านอากาศที่ต้านการเคลื่อนที่ของลูกตุ้มตัวนำ ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ผลการศึกษาคาบเวลาของการแกว่งลูกตุ้มตัวนำ เมื่อหยุดจ่ายแรงดันไฟฟ้าที่ 10 kV

l (m)	d (m)	A_{\max} (m)	T (s)	T_{SHM} (s)
0.5	0.07	0.0115	1.49	1.44
	0.11	0.0336	1.51	1.45
	0.15	0.0525	1.51	1.45
0.6	0.07	0.0137	1.64	1.58
	0.11	0.0334	1.64	1.58
	0.15	0.0531	1.60	1.58
0.7	0.07	0.0153	1.75	1.70
	0.11	0.0350	1.75	1.70
	0.15	0.0544	1.75	1.70



การศึกษานี้สรุปได้ว่า เมื่อแกว่งลูกตุ้มตัวนำในสนามไฟฟ้าคงที่ พบว่าลักษณะของการเคลื่อนที่อยูในรูปของฟังก์ชันสามเหลี่ยม หรือฟันเลื่อย (triangle wave) คาบเวลาการแกว่งลูกตุ้มตัวนำในสนามไฟฟ้ามีค่าขึ้นกับระยะห่างระหว่างแผ่นตัวนำคู่ขนาน ซึ่งสัมพันธ์กับค่าความเข้มของสนามไฟฟ้าที่อยู่ระหว่างแผ่น และเมื่อลูกตุ้มตั้งนำแกว่งภายใต้แรงโน้มถ่วง ลักษณะการเคลื่อนที่เป็นลักษณะรูปฟังก์ชันไซน์ (sinusoidal wave) คาบเวลาการแกว่งลูกตุ้มตัวนำ มีค่าขึ้นกับความยาวเชือก ไม่ขึ้นกับระยะห่างระหว่างแผ่นตัวนำคู่ขนาน และความถี่เชิงมุมเมื่อมีการหน่วง มีค่าเข้าใกล้ความถี่ธรรมชาติ ซึ่งการแกว่งนี้มีค่าลดลงเมื่อเวลาเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากการสูญเสียพลังงานไปกับตัวประกอบการหน่วงของการแกว่ง

ข้อเสนอแนะ

1. การดึงลูกตุ้มให้แกว่งต้องให้ได้ระยะที่แน่นอน และความยาวเชือกต้องมีค่าที่วัดได้จริงเสมอ เพื่อให้การคำนวณค่าต่างๆเกิดความผิดพลาด
2. การทดลองนี้สามารถนำไปใช้ในการจัดการเรียนการสอนปฏิบัติการฟิสิกส์ เรื่องการแกว่งของลูกตุ้มภายใต้สนามไฟฟ้าของแผ่นตัวนำคู่ขนานได้เป็นอย่างดี

เอกสารอ้างอิง

1. Matej Forjan, Marko Marhl, and Vladimir Grubelnik. Mathematical modelling of the electrostatic pendulum in school and undergraduate education. *Eur. J. Phys.* (2014), 35, 13 pp.
2. Martin D H and Longbrake R L 1972 An electrostatic oscillator experiment *Am. J. Phys.* 4 395–8
3. L. Castro - Arce et al. Electric Discharge System Based On Franklin Bells. (JMEST) ISSN: 3159-0040 Vol. 2 Issue 6, June - 2015
4. Halliday, D., Resnick, R., & Walker, J.(1997). *Fundamental of physics* (5th ed.). New York: John Wilry & Sons.
5. Serway,R.A.(1996). *Physics for scientist & engineers with modern physics* (4th ed.). Philadelphia: Saunders College.
6. สิงหาประสิทธิ์พงศ์. (2547). การศึกษาการแกว่งกวัดแบบหน่วงต่ำของเพนดูลัมทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้า. ปรินญาณีพนธ์กศ.ม. (ฟิสิกส์). กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัยมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ .