การศึกษารูปแบบการเคลื่อนที่ของแท่งแม่เหล็กผ่านท่อทองแดงและอลูมิเนียม
STUDY OF THE MOTION OF MAGNET FALLING THROUGH COPPER AND ALUMINIUM TUBES

สิริไชย พรมเจียม[1]
sirichai430@gmail.com
ตาณ เหล่าเจริญสุข[1]
tarnlaochareonsuk@gmail.com
สัณหณัฐ เชาว์กิจค้า[1]
sunhanut083@gmail.com
ธัญนันท์ ภูผาจง[2]
t.phuphachong@gmail.com
[1]นักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 โรงเรียนมหิดลวิทยานุสรณ์
[2]สาขาวิชาฟิสิกส์ โรงเรียนมหิดลวิทยานุสรณ์

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษารูปแบบการเคลื่อนที่ของแท่งแม่เหล็กโดยเปรียบเทียบความเร็วที่เปลี่ยนแปลงไปตลอดช่วงเวลาที่แท่งแม่เหล็กเคลื่อนที่ผ่านท่อโลหะสองชนิด ได้แก่ ท่อทองแดง และท่ออลูมิเนียม และศึกษาผลของความเข้มของสนามแม่เหล็กต่อรูปแบบการเคลื่อนที่คณะผู้วิจัยได้สร้างระบบรอกเพื่อใช้ทำการทดลองเมื่อปล่อยแท่งแม่เหล็กนีโอไดเมียม (neodymium) ทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 มิลลิเมตร และสูง 15 มิลลิเมตร ให้เคลื่อนที่ลงไปในท่อโลหะทั้งสองชนิดที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางภายในประมาณ 15.5 มิลลิเมตร และยาว 1 เมตร จะเกิดฟลักซ์แม่เหล็ก (magnetic flux) ตามทิศทางการเคลื่อนที่ของแท่งแม่เหล็กและจะเกิดฟลักซ์แม่เหล็กต้านในทิศทางตรงกันข้ามตามกฎของเลนซ์และฟาราเดย์ฟลักซ์แม่เหล็กต้านดังกล่าวจะทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำ (induced electric current) ที่พื้นผิวของท่อโลหะ ปรากฏการณ์นี้ส่งผลให้เกิดแรงต้านจากการเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้า (electromagneticbraking) ซึ่งต้านการเคลื่อนที่ของแท่งแม่เหล็ก แท่งแม่เหล็กจึงเคลื่อนที่ช้าลงจนกระทั่งเข้าสู่ความเร็วสุดท้าย (terminal velocity) ซึ่งมีค่าคงที่ ในการเก็บข้อมูลจากการทดลอง คณะผู้วิจัยใช้เซนเซอร์ตรวจวัดระยะทางที่แท่งแม่เหล็กเคลื่อนที่ได้เมื่อเวลาผ่านไป และทำการประมวลผลโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์Arduino จากนั้นนำความสัมพันธ์ดังกล่าวไปหาอนุพันธ์เพื่อให้ได้ความเร็วของแท่งแม่เหล็กที่เวลาใดๆ นอกจากนี้ยังทำการเปลี่ยนแปลงค่าความเข้มของสนามแม่เหล็กโดยการเพิ่มจำนวนแท่งแม่เหล็กแบบเดียวกันจนถึง 3 แท่ง

ผลการศึกษาพบว่าเมื่อปล่อยแท่งแม่เหล็กให้เคลื่อนที่ลงไปในท่อโลหะด้วยความเร็วเริ่มต้นที่คงที่ พบว่าความเร็วของแท่งแม่เหล็กในช่วงแรกนี้ไม่คงที่ ต่อมาความเร็วจะลดลงอย่างรวดเร็วจนเข้าสู่ความเร็วสุดท้ายและพบว่าชนิดของท่อโลหะมีผลต่อการเคลื่อนที่ของแท่งแม่เหล็ก ความเร็วคงที่เริ่มต้นในท่อทองแดงมีค่ามากกว่าในท่ออลูมิเนียมและช่วงเวลาของความเร็วที่ลดลงในท่อทองแดงจะยาวนานกว่าในท่ออลูมิเนียม ส่วนการเพิ่มความเข้มของสนามแม่เหล็กด้วยการเพิ่มจำนวนแท่งแม่เหล็กแบบเดียวกันไปจนถึง 3 แท่งในท่อโลหะทั้งสองประเภท พบว่าความเร็วต้นลดลง และทำให้ช่วงก่อนที่ความเร็วจะลดลงอย่างงรวดเร็วนั้นมีค่าเพิ่มขึ้นด้วยข้อจำกัดของระบบรอกและเซนเซอร์ตรวจวัดระยะทางที่ใช้ในการทำวิจัยนี้ ส่งผลให้ไม่สามารถหาความเร็วของแท่งแม่เหล็กตั้งแต่ช่วงที่ปล่อยได้ทันที จึงทำให้ศึกษาช่วงที่ความเร็วไม่คงที่ได้เพียงบางส่วน และระยะทางในการเคลื่อนที่ของแท่งแม่เหล็กที่วัดได้นั้นไม่มากพอที่จะศึกษาช่วงที่เข้าสู่ความเร็วสุดท้ายได้ทั้งหมด

หากงานวิจัยนี้ได้รับการพัฒนาในส่วนของเซนเซอร์ตรวจวัด เช่น การใช้เซนเซอร์ตรวจวัดอัตราเร็วของการหมุนของรอกแทนการใช้เซนเซอร์ตรวจวัดระยะทางที่แท่งแม่เหล็กเคลื่อนที่ได้จะทำให้การทดลองนั้นได้ข้อมูลที่ต่อเนื่องและแม่นยำมากขึ้น

คำสำคัญ: ฟลักซ์แม่เหล็ก, กระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำ, แรงต้านจากการเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้า

Abstract

This present work aims at studying the velocity of magnet falling through copper and aluminium tubes and the effect of magnetic field intensity on the velocity. We used a pulley-based system as experimental setup. When a cylindrical neodymium magnet of 15-mm diameter and 15-mm height is released from the aperture of the metallic tube of about 15.5-mm inner diameter and 1-m length, the magnetic flux is producedin the direction of the motion. This, in accordance with the Lenz’s law and the Faraday’s law, induces an electromotive force (the magnetic flux in the opposite direction of the motion) and an induced electric current inside the tube. As a consequence, the falling magnet is decelerated and reaches a constant terminal velocity. This effect is widely known as electromagnetic braking.In this work, we collected experimentally the distance values over time that the magnet falls along the tubeusing a laser sensor and an Arduino microcontroller. After having extrapolated the distance data, we determined the derivative of the extrapolation function in order to obtain the magnet velocity as a function of time. Moreover, we changed the magnetic field intensity by adding up the number of identical magnets up to 3 magnets.

The findings show that when the magnet is released into the metallic tube with a constant initial velocity, the velocity of falling magnet is not constant and is then rapidly decelerated, and finally reaches a constant terminal velocity. Furthermore, we found that the motion of magnet depends on the type of conducting tubes. At the beginning, the constant velocity of magnet in the copper tube is greater than that in the aluminium tube. The magnet in the copper tube takes much more time to reach the ground than the magnet in the aluminium tube. Additionally, increasing the number of identical magnets up to 3 magnets generates more intense magnetic fields in both tubes. As a result, the constant initial velocity decreases and the magnets reach the ground more slowly. However, those plentiful experimental data are not sufficient to exactly determine the initial velocity. It is thus difficult to study the entire range of the velocity of falling magnet.In addition, the recorded distances are not enough to study the velocity in the last interval of time before converging towards the terminal velocity. It would be better if the sensor could be developed to measure the angular speed of the pulley insteadof measuring the falling distance of the magnet. The experimental data would be more precise.

Keywords: magnetic flux, induced electric current, electromagnetic braking

บทนำ

นักวิทยาศาสตร์มีความสนใจเกี่ยวกับแรงต้านต่างๆ ที่มีผลต่อการเคลื่อนที่ของวัตถุ เช่น แรงต้านอากาศ แรงเสียดทาน แรงต้านจากการเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้า เป็นต้น การศึกษาเพื่อทำความเข้าใจธรรมชาติของแรง ต้านเหล่านี้จะช่วยให้สามารถทำนายรูปแบบการเคลื่อนที่ของวัตถุที่พิจารณาได้ดียิ่งขึ้น คณะผู้วิจัยสนใจแรงต้านจากการเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งมีนักฟิสิกส์ 3 ท่าน ได้แก่ฟาราเดย์ เฮนรีและเลนซ์เป็นผู้บุกเบิกในด้านนี้ในช่วงคริสต์ศตวรรษที่ 19 เนื่องจากการค้นพบการเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้าของนักวิทยาศาสตร์ทั้งสามท่าน ก่อให้เกิดเทคโนโลยีใหม่ๆ มากมาย เช่น ระบบการชะลอความเร็วด้วยแม่เหล็กที่ใช้ในรถไฟฟ้าความเร็วสูง(electromagnetic braking) ทางคณะผู้วิจัยจึงเล็งเห็นความสำคัญของแรงต้านจากการเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้าจึงได้ทำการศึกษาแรงต้านประเภทนี้โดยสร้างระบบเพื่อจำลองการเคลื่อนที่โดยพิจารณาความเร็วที่เปลี่ยนแปลงไปของแท่งแม่เหล็กนีโอไดเมียม(neodymium) ทรงกระบอกที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 มิลลิเมตร และสูง15มิลลิเมตร ที่ถูกปล่อยและผูกติดกับระบบรอกให้เคลื่อนที่ในท่อโลหะสองประเภทที่ถูกวางในแนวตั้ง ได้แก่ ท่อทองแดงและอลูมิเนียมซึ่งมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในประมาณ 15.5 มิลลิเมตร และยาว 1 เมตรในการทดลองจะใช้เซนเซอร์วัดระยะทางที่แม่เหล็กเคลื่อนที่ได้และนำมาคำนวณหาความเร็วของแม่เหล็กตลอดการเคลื่อนที่ผ่านท่อโลหะ และใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduinoในการประมวลผลการทดลอง หลักการสำคัญที่นำมาใช้ในการอธิบายลักษณะการเคลื่อนที่ของแท่งแม่เหล็กในท่อโลหะคือกฎของเลนซ์และกฎของฟาราเดย์ในขณะที่แม่เหล็กเคลื่อนที่ลงไปตามท่อโลหะ จะเกิดฟลักซ์แม่เหล็ก (magnetic flux) ตามทิศทางการเคลื่อนที่ลงของแม่เหล็ก และจะเกิดฟลักซ์แม่เหล็กต้านในทิศทางตรงกันข้าม ต่อจากนั้นฟลักซ์แม่เหล็กต้านดังกล่าวจะทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำ (induced electric current) ที่พื้นผิวของท่อโลหะ ปรากฏการณ์นี้ทำให้เกิดแรงต้านการเคลื่อนที่ของแม่เหล็กที่ส่งผลให้แม่เหล็กเคลื่อนที่ช้าลง จนกระทั่งเคลื่อนที่ในท่อโลหะโดยมีความเร็วเข้าสู่ความเร็วสุดท้าย (terminal velocity)ซึ่งมีค่าคงที่ ความรู้ที่ได้รับจากการศึกษาลักษณะการเคลื่อนที่ของแม่เหล็กในท่อโลหะทั้งสองชนิดนี้ สามารถนำไปเป็นแนวทางในการต่อยอดการศึกษาการเคลื่อนที่ของแม่เหล็กในโลหะประเภทอื่นๆ นำไปประกอบการเลือกวัสดุหรือการเลือกใช้ความเข้มสนามแม่เหล็กในการสร้างระบบชะลอความเร็วนอกจากนี้หากเซนเซอร์สำหรับตรวจวัดความเร็วของแท่งแม่เหล็กได้รับการพัฒนาให้มีประสิทธิภาพในการศึกษาลักษณะการเคลื่อนที่ของแท่งแม่เหล็กได้อย่างแม่นยำมากขึ้น จะทำให้สามารถนำระบบที่สร้างขึ้นไปปรับใช้เป็นสื่อประกอบการเรียนการสอนในรายวิชาฟิสิกส์เรื่องแม่เหล็กไฟฟ้าทั้งในระดับโรงเรียนและมหาวิทยาลัยได้ในอนาคต

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษารูปแบบการเคลื่อนที่ในช่วงที่ความเร็วของแม่เหล็กไม่คงที่ผ่านท่อทองแดงและอลูมิเนียม
2. เพื่อศึกษาผลของโลหะที่ใช้ทำท่อต่อรูปแบบการเคลื่อนที่ในช่วงที่ความเร็วของแม่เหล็กไม่คงที่ระหว่าง โลหะทองแดงและอลูมิเนียม
3. เพื่อศึกษาผลของความเข้มของสนามแม่เหล็กต่อรูปแบบการเคลื่อนที่ในช่วงที่ความเร็วของแม่เหล็กไม่คงที่ผ่านท่อทองแดงและอลูมิเนียม

ขอบเขตการวิจัย

1. ขอบเขตตัวแปร

ตัวแปรต้น คือแท่งแม่เหล็กนีโอไดเมียมซึ่งเป็นแม่เหล็กถาวรที่มีรูปร่างเป็นทรงกระบอกที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 มิลลิเมตร และสูง 3 มิลลิเมตร และความเข้มของสนามแม่เหล็กที่เกิดจากการเพิ่มจำนวนแท่งแม่เหล็ก โดยสามารถเพิ่มได้มากที่สุดจนมีจำนวน 3 แท่ง

ตัวแปรตาม คือรูปแบบการเคลื่อนที่ของแท่งแม่เหล็กในท่อโลหะทองแดงและอลูมิเนียม หรือความเร็วที่เปลี่ยนแปลงไปตลอดช่วงเวลาที่แท่งแม่เหล็กเคลื่อนที่ผ่านท่อโลหะทองแดงและอลูมิเนียม

ตัวแปรควบคุม คือ ระบบรอกที่สร้างขึ้นเอง ท่อทองแดงและอลูมิเนียมที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในประมาณ15.5 มิลลิเมตร และยาว 1 เมตร และเซนเซอร์ตรวจวัดระยะทางที่แท่งแม่เหล็กเคลื่อนที่ในท่อโลหะ

2. ขอบเขตเวลา

คณะผู้วิจัยทำการวิจัยภายในระยะเวลา 14 เดือนครึ่ง คือ ระหว่างวันที่ 15 มิถุนายน พ.ศ. 2560 ถึงวันที่ 30 สิงหาคม พ.ศ. 2561

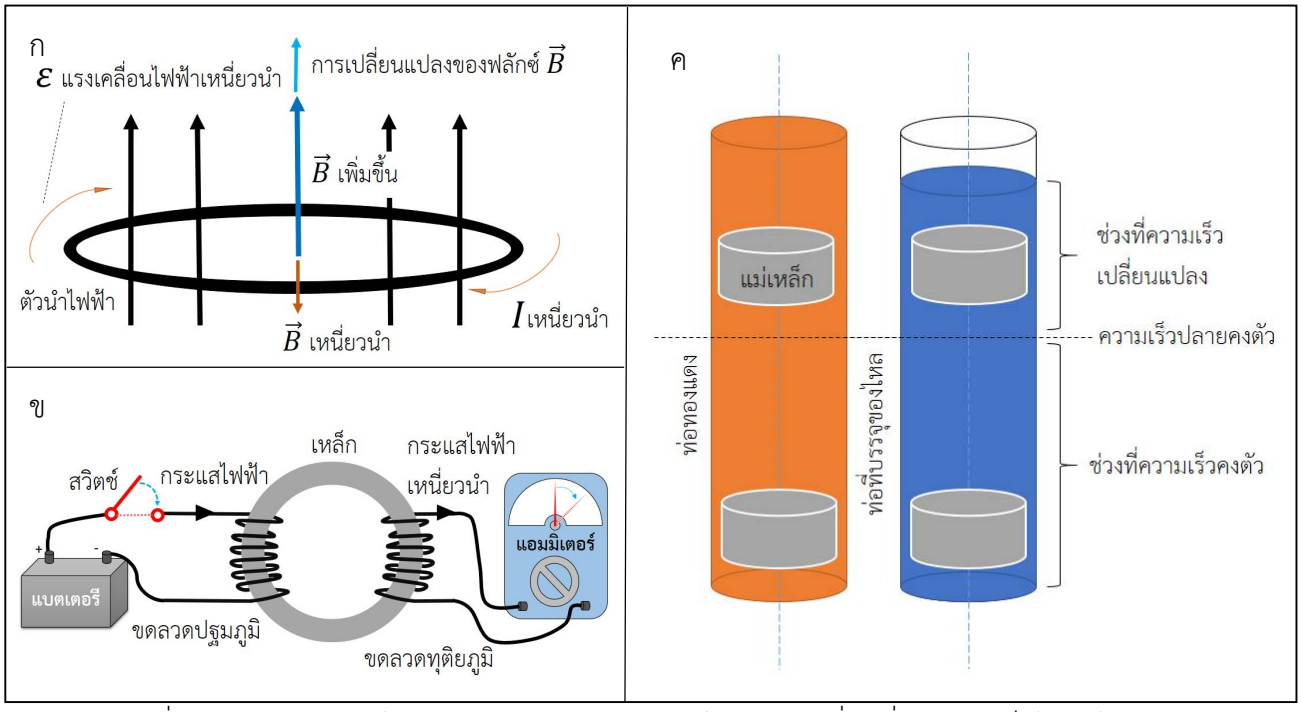
การทบทวนวรรณกรรม

จากกฎของเลนซ์ และฟาราเดย์ การเปลี่ยนแปลงฟลักซ์ของสนามแม่เหล็กจะเหนี่ยวนำให้เกิดกระแสไฟฟ้า จึงทำให้เกิดแรงต้านจากการเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้าในทิศตรงข้ามกับการเปลี่ยนแปลงฟลักซ์แม่เหล็ก ดังภาพที่ 1(ก) และภาพที่ 1(ข) เมื่อปิดสวิตช์ กระแสไฟฟ้าจะไหลเข้าขดลวดปฐมภูมิและสร้างสนามแม่เหล็กที่เหนี่ยวนำให้เหล็กกลายสภาพเป็นแม่เหล็ก ซึ่งจะสร้างสนามแม่เหล็กในขดลวดทุติยภูมิต่อไป เมื่อฟลักซ์แม่เหล็กเปลี่ยนแปลงไป จะทำให้เกิดสนามแม่เหล็กต้านในทิศตรงกันข้ามและเหนี่ยวนำให้เกิดกระแสไฟฟ้าในขดลวดทุติยภูมิ ตัวอย่างการประยุกต์ใช้กฎทั้งสองนี้คือ งานวิจัยเกี่ยวกับการอธิบายการเคลื่อนที่ของแม่เหล็กผ่านท่อโลหะ ซึ่งคณะผู้วิจัยได้ทบทวนวรรณกรรมและแบ่งงานวิจัยออกเป็น 3 ประเภท ดังนี้

1. งานวิจัยที่ศึกษาอุปกรณ์ตรวจวัดการเคลื่อนที่ของแม่เหล็ก เช่น กล้องจากคอมพิวเตอร์ในงานของ Bonanno (2010) การถ่ายคลิปวิดิโอของ Xavier (2014) การใช้รอกของ Irvine (2014) การประดิษฐ์อุปกรณ์จับเวลาของ Pathare (2014) เป็นต้น

2. งานวิจัยที่ศึกษารูปแบบการตกของแม่เหล็ก เช่น การตกนอกแกน (off-axis) และจำนวนของแม่เหล็กที่ตกในงานของ Donoso (2010) เป็นต้น

3. งานวิจัยที่ศึกษาลักษณะของท่อ เช่น วัสดุที่ใช้ในการทำท่อ ความหนาของท่อ รัศมีของท่อในงานของ Donoso (2009)



ภาพที่ 1 (ก) กฎของเลนซ์ (ข) การทดลองของฟาราเดย์ (ค) การเคลื่อนที่ของแม่เหล็กในท่อโลหะและในของไหล

อย่างไรก็ตาม งานวิจัยเหล่านี้เน้นการศึกษาอัตราเร็วปลายของแม่เหล็กที่เคลื่อนที่ในท่อโลหะ เช่นในงานวิจัยเชิงทฤษฎีของ Levin(2006) สมการที่ 10 และงานวิจัยเชิงทดลองของ Irvine(2014) แต่หากพิจารณาการเคลื่อนที่ทุกช่วงเวลาของแม่เหล็ก จะพบว่าเราสามารถศึกษาความเร็วต้น ความเร็วที่เปลี่ยนแปลงในขณะใดๆ และความเร็วปลายได้ ดังเช่นงานวิจัยของ Donoso(2009) ที่แบ่งช่วงการศึกษาการเคลื่อนที่ของแม่เหล็กผ่านท่อโลหะเป็น 2 ช่วงคือ ช่วงที่ความเร็วของแม่เหล็กไม่คงที่ และช่วงที่ความเร็วของแม่เหล็กคงที่ การศึกษาการเคลื่อนที่ของแม่เหล็กในท่อโลหะนี้สามารถนำไปเปรียบเทียบได้กับการเคลื่อนที่ของวัตถุในของไหล ดังภาพที่ 1(ค)

วิธีดำเนินการวิจัย

1. ระเบียบวิธีวิจัย

ในการดำเนินการวิจัยในครั้งนี้ คณะผู้วิจัยได้เริ่มทำการศึกษาค้นคว้าข้อมูล ทฤษฎีและกฎต่างๆ ทางแม่เหล็กไฟฟ้าโดยการทบทวนวรรณกรรมจากเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เพื่อให้สอดคล้องและตรงกับวัตถุประสงค์การวิจัยในประเด็นเรื่องการศึกษารูปแบบการเคลื่อนที่ของแท่งแม่เหล็กโดยเปรียบเทียบความเร็วที่เปลี่ยนแปลงไปตลอดช่วงเวลาที่แท่งแม่เหล็กเคลื่อนที่ผ่านท่อโลหะทองแดงและอลูมิเนียม และศึกษาผลของความเข้มของสนามแม่เหล็กต่อรูปแบบการเคลื่อนที่ดังกล่าว ผู้วิจัยได้นำองค์ความรู้ดังกล่าวมากำหนดเป็นกรอบแนวคิดในการทำการวิจัย ตั้งสมมติฐาน และกำหนดตัวแปรต้น ตัวแปรตาม และตัวแปรควบคุมในการทำวิจัยในครั้งนี้ และคณะผู้วิจัยได้ดำเนินการทดลองตามขั้นตอนการวิจัย เก็บรวมรวมข้อมูลที่ได้จากการทดลองวิเคราะห์ข้อมูลดังกล่าว อภิปรายและสรุปผลการวิจัยในเรื่องนี้ และได้เสนอข้อเสนอแนะบางประการที่สามารถนำไปต่อยอดหรือพัฒนางานวิจัยชิ้นนี้ให้ดียิ่งขึ้น

2. ขั้นตอนการวิจัย

ขั้นตอนในการทำวิจัยแบ่งออกเป็น 6 ส่วน ดังนี้

2.1 การทบทวนวรรณกรรมจากเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องเพื่อกำหนดกรอบแนวคิดในการทำวิจัย ตั้งสมมติฐาน และกำหนดตัวแปรต้น ตัวแปรตาม และตัวแปรควบคุม

2.2 การกำหนดวัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย โดยคณะผู้วิจัยได้เลือกใช้วัสดุและอุปกรณ์ดังนี้

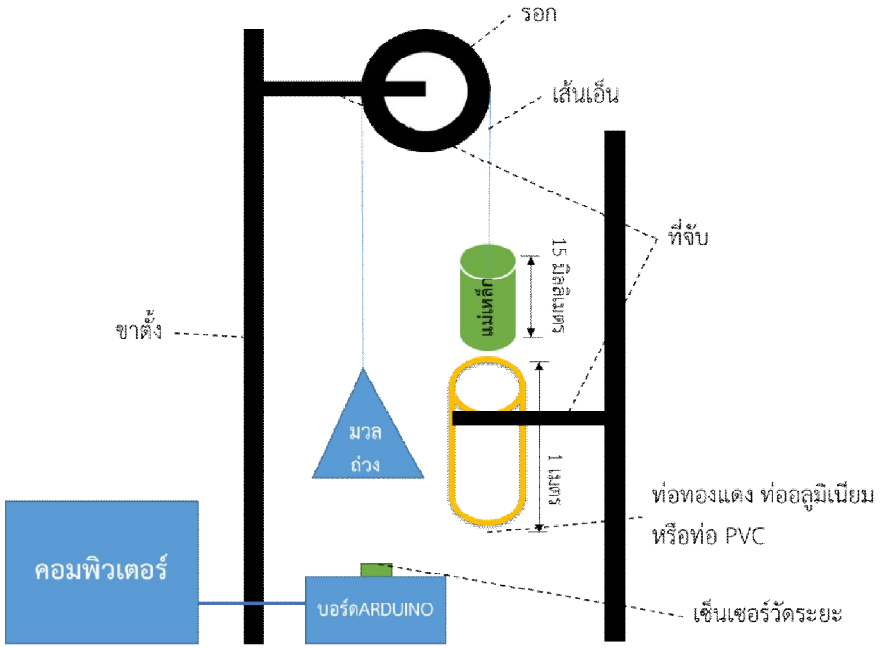
- แท่งแม่เหล็กถาวรนีโอไดเมียม ทรงกระบอก เส้นผ่านศูนย์กลาง 15 มิลลิเมตร และสูง 15 มิลลิเมตร จำนวน 3 แท่ง

- ท่อพอลิเมอร์พลาสติกสังเคราะห์หรือ PVC(polyvinyl chloride)ท่อโลหะทองแดงท่ออลูมิเนียมทรงกระบอก เส้นผ่านศูนย์กลางภายในประมาณ15.5 มิลลิเมตร หนา 2 มิลลิเมตร และยาว 1 เมตร จำนวนอย่างละ 1 ท่อโดยใช้ท่อ PVC ในการทดลองเพื่อเปรียบเทียบการเคลื่อนที่ของแม่เหล็กในฉนวนและโลหะ

- บอร์ด Arduino รุ่น Iteaduino UNO จำนวน 1 ชุด

- เซนเซอร์วัดระยะทาง (VL53L0X laser ranging and gesture sensor) จำนวน 1 ชุด

- รอกเดี่ยวขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 เซนติเมตร จำนวน 1 ตัว



ภาพที่ 2 ชุดการทดลองเพื่อศึกษาการเคลื่อนที่ของแท่งแม่เหล็กผ่านท่อ

2.3 การทดลอง

ขั้นตอนในการทดลองเพื่อเก็บข้อมูลระยะทางที่แท่งแม่เหล็กเคลื่อนที่ลงไปในท่อ PVC โลหะทองแดงและอลูมิเนียมเพื่อนำข้อมูลระยะทางไปคำนวณความเร็วของแท่งแม่เหล็ก มีดังนี้

2.3.1 ติดตั้งระบบรอกและเซนเซอร์ในชุดการทดลอง

ในการทดลองได้ติดตั้งระบบรอกและเซนเซอร์ดังภาพที่ 2โดยที่ท่อต้องอยู่ในแนวขนานกับทิศของความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก นำแท่งแม่เหล็กผูกติดกับเส้นเอ็นที่คล้องผ่านรอกโดยปลายอีกด้านหนึ่งผูกติดกับมวลถ่วง ซึ่งในแต่ละครั้งของการทดลองจะควบคุมผลต่างระหว่างมวลแม่เหล็กและมวลถ่วงให้

เป็นค่าคงที่เสมอ เซ็นเซอร์ที่ถูกต่อเข้ากับบอร์ด Arduino และมวลถ่วงถูกจัดวางให้อยู่ในแนวเดียวกันเพื่อวัดระยะทางที่แม่เหล็กเคลื่อนที่ได้

2.3.2 วัดความเข้มสนามแม่เหล็กของแท่งแม่เหล็ก

2.3.3 ทำการทดลองโดยปล่อยแท่งแม่เหล็กที่ขอบด้านบนของท่อ

2.4 การเก็บรวบรวมข้อมูลจากการทดลอง

2.5 การวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการทดลอง

2.6 การอภิปรายและสรุปผลการวิจัย

3. การเก็บรวบรวมข้อมูล

3.1 ทำการทดลองโดยเริ่มจากท่อ PVCวัดมวลของแท่งแม่เหล็ก 1 แท่ง ด้วยเครื่องชั่งดิจิตอล ทำซ้ำ 5 ครั้งแล้วหาค่าเฉลี่ย หลังจากนั้นวัดความเข้มสนามแม่เหล็กของแท่งแม่เหล็กด้วยเกาส์มิเตอร์ทำซ้ำ 5 ครั้งแล้วเฉลี่ยบันทึกค่ามวลและความเข้มสนามแม่เหล็กของแท่งแม่เหล็ก

3.2 วัดระยะทางที่แท่งแม่เหล็กเคลื่อนที่ลงไปในท่อโลหะด้วยเซนเซอร์ และบันทึกค่าระยะทางด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino โดยทำการปล่อยแท่งแม่เหล็กจำนวน 10 ครั้ง หากแท่งแม่เหล็กมีการแกว่งหรือหมุนในขณะที่เคลื่อนที่ลงไปในท่อให้เริ่มการทดลองใหม่

3.3 เพิ่มจำนวนแท่งแม่เหล็ก 1 แท่ง พร้อมกับปรับมวลถ่วงอีกฝั่งของเส้นเอ็นให้มีผลต่างมวลเท่าเดิม ทำการทดลองซ้ำในข้อ 3.1 และ 3.2 จนมีจำนวนแท่งแม่เหล็กสูงสุด 3 แท่ง

3.4 เปลี่ยนชนิดท่อจากPVC เป็นทองแดงและอลูมิเนียม ทดลองซ้ำในข้อ 3.1 3.2 และ 3.3

4. การวิเคราะห์ข้อมูล

นำข้อมูลระยะทางที่แท่งแม่เหล็กเคลื่อนที่ได้ที่เวลาใดๆ มาหาสมการความสัมพันธ์ และนำความสัมพันธ์ดังกล่าวไปหาอนุพันธ์เพื่อให้ได้ความเร็วของแท่งแม่เหล็กที่เวลาใดๆในแต่ละการทดลอง

ผลการวิจัย

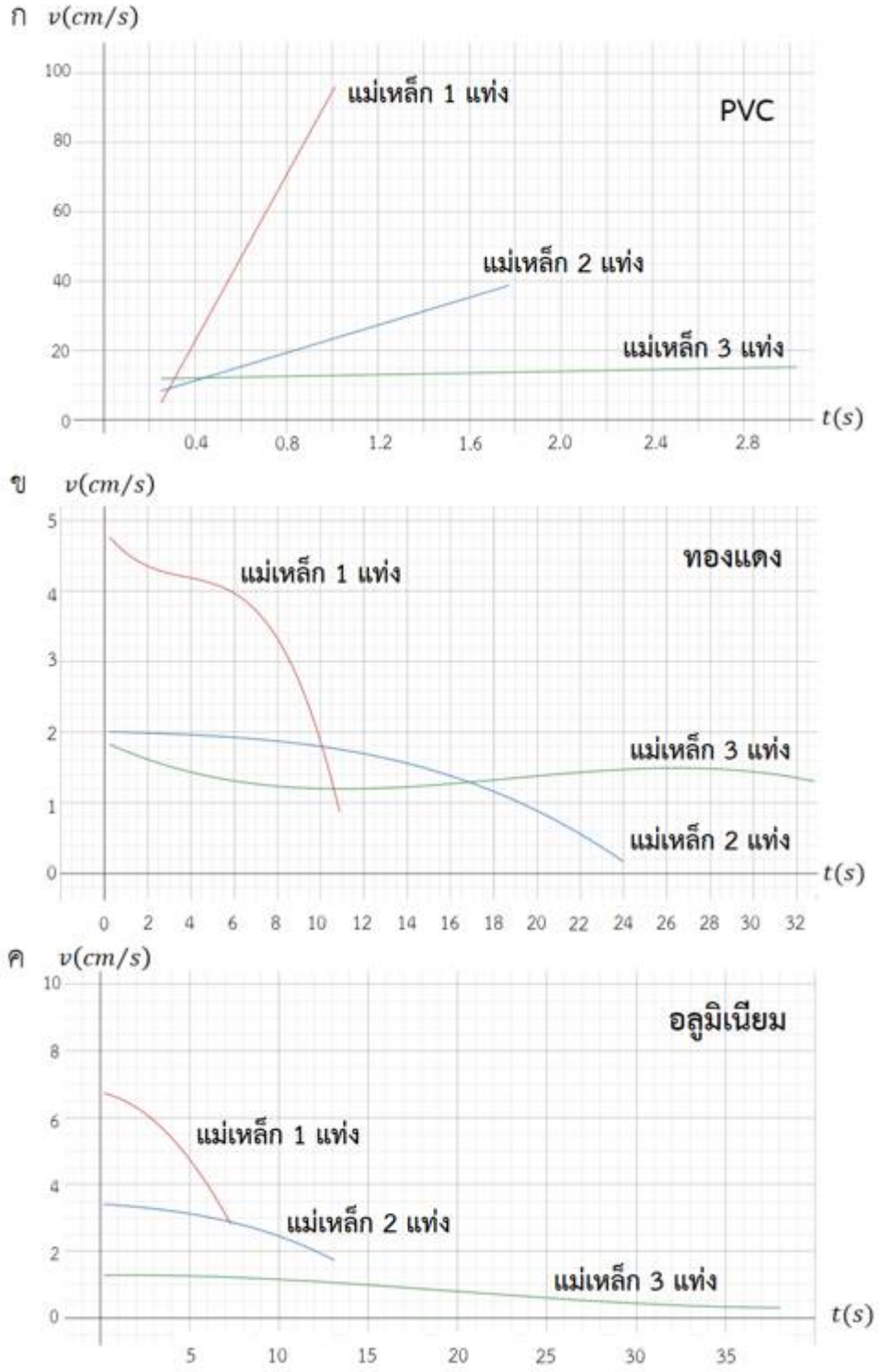
จากการศึกษาและวิเคราะห์ข้อมูล สรุปผลการวิจัยโดยแบ่งตามชนิดของท่อได้ดังนี้

1. ความเข้มสนามแม่เหล็ก

ตารางที่ 1 ค่าความเข้มของสนามแม่เหล็กของแท่งแม่เหล็กจำนวน 1 2 และ 3 แท่ง

ครั้งที่ทดสอบ	**ความเข้มสนามแม่เหล็ก(มิลลิเทสลา)**		
	แม่เหล็ก1แท่ง	**แม่เหล็ก2แท่ง**	**แม่เหล็ก3แท่ง**
1	42.2	50.1	58.2
2	41.8	49.4	58.8
3	42.1	49.1	58.1
4	41.7	48.5	59.7
5	41.6	47.2	58.6
ค่าเฉลี่ย	41.9	48.9	58.7
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.26	1.10	0.64

2. ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วและเวลาของแท่งแม่เหล็กที่เคลื่อนที่ในท่อ



ภาพที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วและเวลาของแท่งแม่เหล็กในท่อ (ก) PVC (ข) ทองแดง (ค) อลูมิเนียม

2.1 ท่อ PVC (ภาพที่ 3(ก))

ในท่อ PVCความเร็วเริ่มต้นที่เซนเซอร์วัดได้มีค่าใกล้คียงกัน และความเร็วของแท่งแม่เหล็กเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องและมีสมการเป็นเส้นตรงทั้ง 3 กรณี โดยที่ความชันของกราฟมีค่ามากที่สุดในกรณีแม่เหล็ก 1 แท่ง และน้อยที่สุดเมื่อมีแม่เหล็กจำนวน 3 แท่ง

2.2 ท่อโลหะทองแดง (ภาพที่ 3(ข))

ในท่อโลหะทองแดง ความเร็วเริ่มต้นที่เซนเซอร์วัดได้มีค่าแตกต่างกันอย่างชัดเจน โดยที่ความเร็วเริ่มต้นในกรณีแม่เหล็ก 1 แท่งมีค่ามากที่สุด และน้อยที่สุดเมื่อมีแม่เหล็กจำนวน 3 แท่ง เมื่อเวลาผ่านไป ความเร็วจะลดลงจากเดิม ยกเว้นกรณีที่มีแม่เหล็ก 3 แท่ง ที่ความเร็วมีการลดลงและเพิ่มขึ้น อาจเนื่องมาจากความคลาดเคลื่อนในการวัดระยะทางของเซนเซอร์และการทำงานของระบบรอก

2.3 ท่อโลหะอลูมิเนียม (ภาพที่ 3(ค))

ในท่อโลหะอลูมิเนียม ความเร็วเริ่มต้นที่เซนเซอร์วัดได้มีค่าแตกต่างกันอย่างชัดเจน โดยที่ความเร็วเริ่มต้นในกรณีแม่เหล็ก 1 แท่งมีค่ามากที่สุด และน้อยที่สุดเมื่อมีแม่เหล็กจำนวน 3 แท่ง ซึ่งคล้ายกับการเคลื่อนที่ของแม่เหล็กในท่อโลหะทองแดง เมื่อเวลาผ่านไป ความเร็วจะลดลงจากเดิมทั้ง 3 กรณี

สรุปและอภิปรายผลการวิจัย

ในการทดลองนี้ได้ควบคุมผลต่างระหว่างมวลแม่เหล็กและมวลถ่วงให้คงที่เสมอ ทำให้แรง F_0ที่ทำให้ระบบมวลเคลื่อนที่นั้นคงที่เสมอ และมีค่าF_0 = (M-m)g = 5.34x10^{-2}นิวตัน โดยที่ M คือมวลของแม่เหล็ก m คือมวลของมวลถ่วง และ g คือค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก ดังนั้นมวลรวมของระบบจึงเป็นM+m จากการวิเคราะห์ตามกฎข้อที่ 2 ของนิวตัน พบว่าความเร่งa ของมวลรวมของระบบคือ (M-m)g/(M+m)เมื่อพิจารณาการเคลื่อนที่ของแท่งแม่เหล็กในท่อ PVC ซึ่งไม่ใช่โลหะ (ภาพที่ 3(ก)) พบว่าเมื่อมวลของแท่งแม่เหล็กมากขึ้นต้องใช้มวลถ่วงมากขึ้นเช่นกัน เพื่อทำให้ F_0ยังคงที่ ดังนั้นพจน์ M+m จึงเพิ่มขึ้นเมื่อจำนวนแท่งแม่เหล็กที่เพิ่มขึ้น และสรุปได้ว่าเมื่อจำนวนแท่งแม่เหล็กเพิ่มขึ้น ความเร่งของมวลรวมของระบบ a จึงลดลง เนื่องจากการเคลื่อนที่ของแท่งแม่เหล็กในท่อ PVC เป็นแบบเส้นตรง มีทิศทางลงไปตามแนวท่อเสมอ และเป็นไปตามสมการ v = u + at โดยที่ u คือความเร็วต้นของแม่เหล็กที่เคลื่อนที่เข้าท่อ v คือความเร็วที่เปลี่ยนแปลงไปขณะเคลื่อนที่ในท่อ และ t คือเวลา เนื่องจากท่อ PVC ไม่ใช่โลหะ จึงไม่เกิดแรงต้านจากการเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้า แท่งแม่เหล็กจึงประพฤติตัวเสมือนก้อนมวลธรรมดา ตามทฤษฎีความเร็วต้น u จะเท่ากับศูนย์ และความเร่ง a คือความชันของกราฟเส้นตรง จากผลการทดลองพบว่าความเร็วต้น u ไม่เท่ากับศูนย์ อาจมีสาเหตุมาจากปัจจัยต่างๆ ที่ไม่คงที่และความไม่แม่นยำ ณ ขณะที่เริ่มปล่อยแท่งแม่เหล็ก อย่างไรก็ตามความเร่ง a ของระบบยังคงเป็นความชันของกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วและเวลาผลการทดลองนี้จึงสอดคล้องกับการวิเคราะห์ทางทฤษฎีและสนับสนุนการใช้งานได้จริงของชุดการทดลองนี้ ถึงแม้ว่าจะมีข้อจำกัดในเรื่องการวัดระยะทางของเซนเซอร์ กล่าวคือเซนเซอร์จะเริ่มวัดระยะทางที่แม่เหล็กเคลื่อนที่ได้เมื่อเวลาผ่านไปประมาณ 250 มิลลิวินาที หลังจากเริ่มปล่อยแม่เหล็กลงท่อ

ในการทดลองปล่อยแม่เหล็กให้เคลื่อนที่ในท่อทองแดงและอลูมิเนียม พบว่ากราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วและเวลาในท่อทองแดง (ภาพที่ 3(ข)) และในท่ออลูมิเนียม (ภาพที่ 3(ค)) แตกต่างจากกรณีที่ปล่อยแม่เหล็กในท่อ PVC (ภาพที่ 3(ก)) อย่างสิ้นเชิงเนื่องจากทองแดงและอลูมิเนียมมีสมบัติเป็นโลหะที่นำไฟฟ้าได้ จึงเกิดแรงต้านจากการเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้าเมื่อแท่งแม่เหล็กเคลื่อนที่ในท่อทั้งสองประเภท ทำให้ความเร็วในการเคลื่อนที่นั้นลดลงเมื่อเวลาผ่านไป เนื่องจากการวัดระยะทางโดยเซนเซอร์เริ่มตั้งแต่เวลา 250 มิลลิวินาทีและสิ้นสุดก่อนที่ความเร็วของแม่เหล็กจะเข้าสู่ความเร็วปลาย จึงแสดงค่าความเร็วเริ่มแรกที่

มากกว่าศูนย์ โดยตามกฎการเคลื่อนที่ของนิวตันแล้วความเร็วเริ่มต้นจากหยุดนิ่งจะต้องเป็นศูนย์ทำให้คาดการณ์รูปแบบการเคลื่อนที่ได้ว่า ช่วงก่อนที่เซนเซอร์จะสามารถวัดระยะทางที่เคลื่อนที่ได้นั้น มีการเพิ่มขึ้นของความเร็วอย่างรวดเร็ว ต่อมาเมื่อเข้าถึงช่วงที่วัดระยะทางได้ พบว่าความเร็วมีค่าคงที่เป็นระยะเวลาสั้นๆ ก่อนที่จะลดลงอย่างรวดเร็ว และเข้าสู่ความเร็วปลายในช่วงท้ายจากกฎของเลนซ์และฟาราเดย์สามารถอธิบายได้ว่าในช่วงก่อน 250 มิลลิวินาทีแรก เป็นช่วงที่ความเร็วมีค่าน้อย ส่งผลให้แรงต้านจากการเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้ามีค่าน้อยกว่าผลของแรงจากน้ำหนักของระบบ ความเร็วจึงยังคงเพิ่มขึ้น เมื่อความเร็วมีค่าที่มากพอแรงต้านจากการเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้าจะมีค่ามากขึ้นจนเอาชนะแรงจากน้ำหนักของระบบได้ ทำให้ความเร่งกลับทิศและความเร็วของแท่งแม่เหล็กจะลดลงอย่างรวดเร็วก่อนเข้าสู่ความเร็วปลาย ผลการทดลองนี้สอดคล้องกับผลการคำนวณเชิงทฤษฎีของ Levin (2006)

เมื่อเปรียบเทียบการเคลื่อนที่ของแท่งแม่เหล็กในท่อทองแดงและอลูมิเนียมในภาพรวม โดยพิจารณาให้ความเร็ว ณ เวลา 250 มิลลิวินาทีที่เซนเซอร์เริ่มวัดค่าได้เป็นความเร็วต้น จะพบว่าเมื่อจำนวนแท่งแม่เหล็กเท่ากัน (1 และ 2 แท่ง) ความเร็วต้นของแม่เหล็กที่เคลื่อนที่ผ่านท่อทองแดงจะมีค่าน้อยกว่าท่ออลูมิเนียม และช่วงเวลาที่ความเร็วต้นคงที่ในท่อทองแดงจะมากกว่าท่ออลูมิเนียม เนื่องจากทองแดงเป็นวัสดุที่มีค่าการเหนี่ยวนำให้เกิดกระแสที่สร้างสนามแม่เหล็กต้านมากกว่าอลูมิเนียม ส่งผลให้ความเร็วของแม่เหล็กเปลี่ยนแปลงช้ากว่า

เมื่อเปรียบเทียบผลของความเข้มสนามแม่เหล็กต่อการเคลื่อนที่ของแท่งแม่เหล็กในท่อโลหะชนิดเดียวกัน โดยทำการเพิ่มจำนวนแม่เหล็กจนถึง 3 แท่งพบว่ามีแนวโน้มที่จะทำให้ความเร็วต้นของแม่เหล็กที่เคลื่อนที่ผ่านท่อตัวนำชนิดเดียวกันมีค่าลดลงเมื่อจำนวนแท่งแม่เหล็กเพิ่มขึ้นและทำให้ช่วงเวลาก่อนที่ความเร็วจะลดลงอย่างรวดเร็วนั้นมีค่าเพิ่มขึ้น เนื่องจากความเข้มสนามแม่เหล็กที่เพิ่มทำให้แรงต้านเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ความเร็วเพิ่มขึ้นมาได้ช้า ความเร็วต้นจึงมีค่าที่น้อยลง แรงต้านจากแม่เหล็กจึงมีค่าน้อยลง

ข้อเสนอแนะ

ข้อเสนอแนะเพื่อการทำวิจัยต่อไป มีดังนี้

1. เปลี่ยนเซนเซอร์วัดระยะทาง โดยอาจเลือกใช้เซนเซอร์ที่มีช่วงในการวัดค่าได้มากขึ้น เพื่อที่จะสามารถได้จำนวนข้อมูลที่มากเพียงพอสำหรับการวิเคราะห์ความเร็วปลายที่คงที่ หรืออาจเลือกใช้เซนเซอร์ที่วัดอัตราเร็วของการหมุนของรอกเพื่อให้ได้ข้อมูลที่แม่นยำมากขึ้น

2. เปลี่ยนวิธีการเพิ่มความเข้มของสนามแม่เหล็กจากการนำแท่งแม่เหล็กขนาดเดียวกันมาต่อกันเป็นการใช้แม่เหล็กรูปร่างและขนาดเดียวกันแต่มีค่าความเข้มสนามแม่เหล็กที่แตกต่างกันไปเนื่องจากสามารถควบคุมผลต่างระหว่างมวลแม่เหล็กและมวลถ่วงให้คงที่ได้เสมอ ข้อเสนอแนะนี้จะช่วยให้ลดโอกาสการหมุนและแกว่งของแม่เหล็กจนชนผนังของท่อ เนื่องจากความไม่สมดุลของรูปร่างที่เกิดจากการนำแม่เหล็กมาต่อกันหลายแท่ง

เอกสารอ้างอิง

Bonanno, A., Bozzo, G., Camarca, M., Michelini, M. &Sapia, P. (2010). Foucault dissipation of a magnet falling through a copper pipe studied by means of a PC audio card and awebcam, presented at International Research Group on Physics Teaching. In International Research Group on Physics Teaching 2010 conference. Reims: Université de ReimsChampagne Ardenne.

Donoso, G., Ladera, C. L. & Martin, P. (2009). Magnet fall inside a conductive pipe:motion and the role of the pipe wall thickness. European Journal of Physics 30(4), 855–869.Retrieved October 10, 2017, from http://doi:10.1088/0143-0807/30/4/018

Donoso, G., Ladera, C. L. & Martin, P. (2010). Damped fall of magnets inside a conducting pipe. Am. J. Phys. 79(2), 193-200, Retrieved October 10, 2017, fromhttps://doi.org/10.1119/1.3531964

Irvine, B., Kemnetz, M. &Ruubel, T. (2014). Magnet Traveling through a Conducting Pipe: A Variation on the Analytical Approach. American Journal of Physics 82(4), 273–79. Retrieved October 10, 2017, from http://doi:10.1119/1.4864278

Levin, Y., Silveria, F. L. &Rizzato, F. B. (2006, September 6). Electromagnetic braking: a simple quantitative model. American Journal of Physics 74, 815. Retrieved October 10, 2017, from https://doi.org/10.1119/1.2203645

Pathare, S. R., Huli S., Lahane R. &Sawant S. (2014). Low-Cost Timer to Measure the Terminal Velocity of a Magnet Falling Through a Conducting Pipe. The Physics Teacher 52(3), 160-163. Retrieved October 10, 2017, from http://www.hbcse.tifr.res.in/research-development/physics-ed/low-cost-timer.pdf

Xavier, T. S. &Amritha, K. B. (2014). Theoretical Modeling of Magnetic Dragging Force and Experimental Calculation Using Video Analysis. International Journal of Engineering Science and Innovative Technology 3(6). Retrieved October 10, 2017, from http://www.ijesit.com/Volume%203/Issue%206/IJESIT201406_29.pdf