

## การประยุกต์ใช้ปืนแม่เหล็กไฟฟ้าเพื่อทดสอบเรื่องการเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์ Application of the Electromagnetic Gun for Projectile Motion Testing

คณิต ทองพิสิฐสมบัติ<sup>1</sup> และ พุทธิดา ชัยสวัสดิ์\*<sup>1</sup>  
Kanit Thongpisisombat<sup>1</sup> and Phuttatida Chaisawas\*<sup>1</sup>  
<sup>1</sup>หลักสูตร/ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสยาม  
\*ผู้ประสานงานหลัก อีเมล: phuttatida.cha@siam.edu

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อออกแบบและสร้างปืนแม่เหล็กไฟฟ้า สำหรับใช้ในการทดลอง เรื่องการเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์ที่มีความแม่นยำในการวัดที่สูงขึ้น โดยโครงสร้างของปืนแม่เหล็กไฟฟ้าทำจากท่ออลูมิเนียมท่อนยาว 56 cm มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายนอกและภายใน 8 mm และ 6 mm ตามลำดับ พันด้วยสายไฟ AWG เบอร์ 20 เป็นขดลวดโซลินอยด์จำนวน 3 ชั้น (ชั้นละ 33 รอบ) ตัวโพรเจกไทล์ เป็นวัสดุเฟอร์โรแมกเนต คือ ดอกสว่านทำเกลียวเบอร์ 3 ขนาด 3 g โดยใช้แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงขนาด 50 V ให้กับตัวเก็บประจุ  $3 \times 10^4 \mu\text{F}$  โดยใช้ตัวเรียงกระแสชนิดควบคุมด้วยซิลิคอน (SCR) เป็นอุปกรณ์สวิตช์ควบคุมกระแสภายในขดลวดโซลินอยด์ เพื่อเปลี่ยนพลังงานแม่เหล็กไฟฟ้าเป็นพลังงานจลน์ของโพรเจกไทล์ โดยความเร็วของโพรเจกไทล์คำนวณได้จากความชันของกราฟความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งการกระจัดในแนวราบและแนวตั้ง (x,y) และใช้เวลาจากเครื่องจับเวลาโฟโต้เกตระบบดิจิทัล (digital photogate timer) เท่ากับ 3.113 m/s และ 3.571 m/s ตามลำดับ เมื่อคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของทั้งสองวิธีมีค่า 13.67%

**คำสำคัญ:** การเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์ ปืนแม่เหล็กไฟฟ้า

### Abstract

The designed and experiment setup of the electromagnetic gun were to improve measurement accuracy in projectile motion. The magnetic gun made from an aluminum tube is 56 cm long, 8 mm and 6 mm for outer and inner diameter respectively. The end of a tube was bound by AWG cable made for 3 layers (33 rounds/layer) as a solenoid. For the projectile mass testing is a ferromagnetic material screw nail in which a 3 g weight and 5 cm long. The DC power supply with 50 volt charged to the  $3 \times 10^4 \mu\text{F}$  capacitor and Silicon Control Rectifier (SCR) is a current controller in solenoid by charging by the electromagnetic into kinetic energy for the projectile. The velocity of projectile was calculated from the slope of x,y positions plot and using a digital photogate timer. The results showed that both methods were 3.113 m/s and 3.571 m/s which corresponds to the percentage difference is 13.67%.

**Keywords:** projectile motion, electromagnetic gun

### บทนำ

การทดลองการเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์เป็นการเคลื่อนที่แบบ 2 มิติ โดยชุดทดลองที่ขายในท้องตลาดมีลักษณะเป็นรางโค้ง ติดตั้งบนแผ่นกระดานวัดระยะในการเคลื่อนที่โดยปล่อยลูกเหล็กที่มีความสูงใดๆ ให้เคลื่อนที่ลงมาตามรางโค้งทำเอียงมุม  $60^\circ$  เมื่อหลุดจากรางจะเคลื่อนที่แบบวิถีโค้งไปชนกับกระดาษคาร์บอนบนฉาก ทำให้เกิดจุดบนกระดาษ ที่ใช้หาตำแหน่งที่ชน (x,y) เพื่อคำนวณค่าความเร็วของโพรเจกไทล์ได้ต่อไป ซึ่งข้อเสียของชุดทดลองนี้คือลูกเหล็กจะหลุดออกจากรางก่อนถึงตำแหน่งปลายสุดของรางและแรงที่กระทำกับกระดาษคาร์บอนน้อยเกินไป ส่งผลให้การหาตำแหน่งการชน (x,y) ทำได้ยากและมีความคลาดเคลื่อน (กาญจนา จันทร์ประเสริฐ, 2552) การออกแบบและจัดทำชุดทดลอง โดยประยุกต์ใช้หลักการทางแม่เหล็กไฟฟ้า เพื่อพัฒนาคุณภาพและลดความผิดพลาดในการทดลองร่วมกับการสร้างความเข้าใจที่ถูกต้องให้กับผู้เรียน โดยมีแนวทางในการนำเสนอหลากหลาย อีกทั้งยังเป็นการดึงดูดความสนใจของผู้เรียนได้มากขึ้นกว่าวิธีการสอนด้วยชุดทดลองทั่วไป

การเคลื่อนที่โพรเจกไทล์ เป็นการเคลื่อนที่ที่มีเส้นทางการเคลื่อนที่แบบวิถีโค้ง ทำให้วัตถุมีความเร็วที่ตำแหน่งต่างๆ สองทิศทาง คือ ความเร็วตามแนวระดับ ( $u_x$ ) ซึ่งจะมีค่าคงที่ตลอดการเคลื่อนที่ โดยไม่คิดแรงต้านของอากาศหรือแรงภายนอกที่

ไม่ใช่แรงโน้มถ่วงของโลกมากระทำกับวัตถุและความเร็วในแนวดิ่ง ( $u_y$ ) ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากการเคลื่อนที่ภายใต้แรงโน้มถ่วงของโลก ( $g$ ) โดยการเคลื่อนที่โพรเจกไทล์เป็นการเคลื่อนที่ทั้งสองทิศทางพร้อมกัน ดังนั้น เวลาที่ใช้การเคลื่อนที่จึงมีค่าเท่ากับทั้งสองทิศทาง เมื่อให้  $x$  คือ การกระจัดในแนวระดับ  $y$  คือ การกระจัดในแนวดิ่ง และ  $t$  คือ เวลาในการเคลื่อนที่ (Serway & Jewett, 2008) สามารถเขียนความสัมพันธ์ของปริมาณต่างๆที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนที่ในแต่ละทิศทางเป็นสมการได้ดังนี้

$$x = u_x t \quad (1)$$

$$y = u_y t + \frac{1}{2} g t^2 \quad (2)$$

ถ้าให้วัตถุเริ่มต้นเคลื่อนที่ออกไปในแนวระดับ ( $\theta = 0^\circ$ ) ทำให้ความเร็วเริ่มต้นตามแนวแกนดิ่งมีค่าเป็นศูนย์ เมื่อแทนค่า  $t = \frac{x}{u_x}$

จาก (1) ใน (2) จะได้ความสัมพันธ์

$$y = \frac{g x^2}{2 u_x^2} \quad (3)$$

โดย  $\frac{g}{2 u_x^2}$  เป็นค่าคงตัว

เมื่อเขียนกราฟความสัมพันธ์ตามสมการ (3) ระหว่าง  $x^2$  กับ  $y$  โดยให้  $x^2$  อยู่บนแกนนอน และ  $y$  อยู่บนแกนตั้ง จะได้ความสัมพันธ์เชิงฟังก์ชันแบบกราฟเส้นตรง มีความชัน (slope) =  $\frac{g}{2 u_x^2}$  (Cudnik, Rahman, and Williams, 2012) ดังนั้น

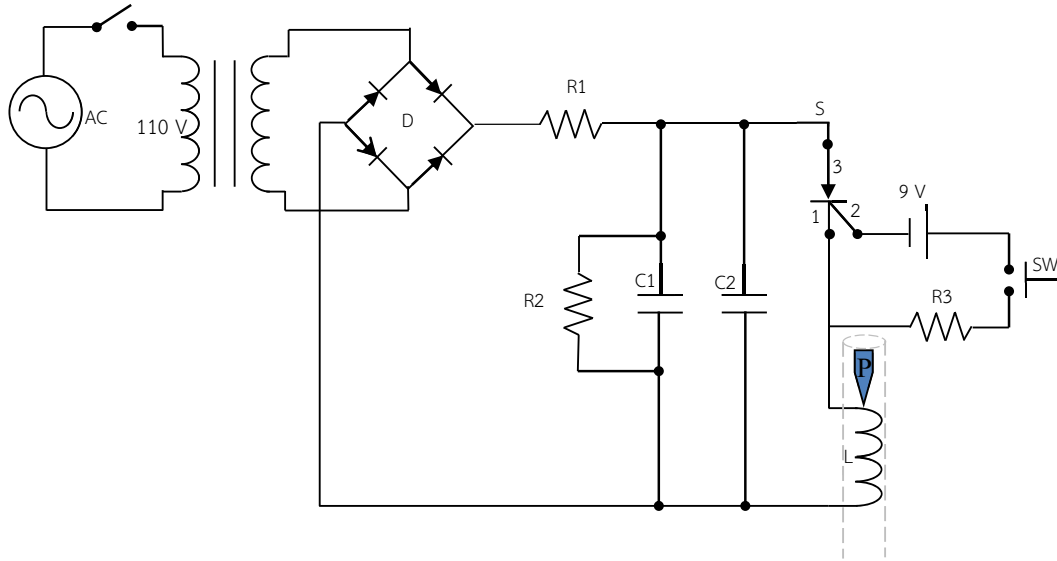
จากกราฟสามารถคำนวณหาความเร็วของวัตถุได้ตามสมการ

$$u_x = \sqrt{\frac{g}{2(\text{slope})}} \quad (4)$$

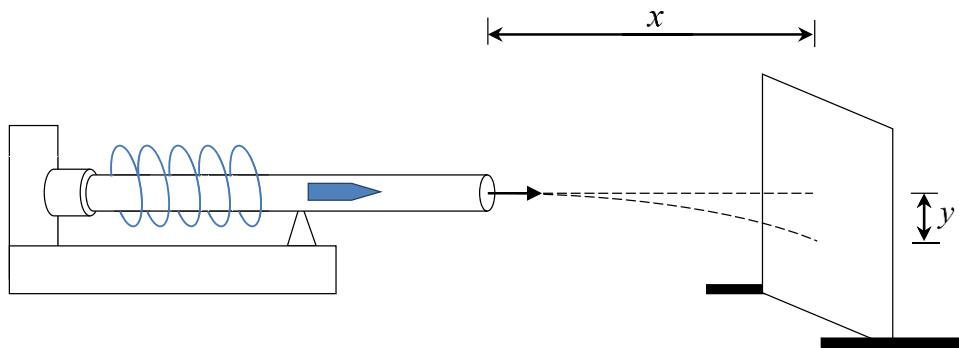
### วิธีดำเนินการวิจัย

ปืนแม่เหล็กไฟฟ้าทำหน้าที่เร่งให้โลหะขนาดเล็ก เช่น เหล็ก ให้มีความเร็วและเคลื่อนที่ภายในท่อที่มีสนามแม่เหล็กไหลเวียนอยู่จากขดลวดโซลินอยด์ โดยอุปกรณ์นี้ปราศจากการรบกวนหรือลวดวงจรของกระแสไฟฟ้าซึ่งไม่ทำให้เกิดผลกระทบต่อตัวอุปกรณ์ และเมื่อพิจารณาถึงทฤษฎีพื้นฐานทางแม่เหล็กไฟฟ้า สามารถนำมาประยุกต์เพื่อสร้างชุดทดลองการเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์ โดยใช้เป็นตัวเร่งความเร็วของวัสดุทดสอบที่ใช้ในการทดลองการเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์แทนการใช้ลูกเหล็กให้กลิ้งลงมาตามราง

ตัวปืนแม่เหล็กไฟฟ้าที่สร้างขึ้นในการทดลองครั้งนี้ประกอบด้วย ท่ออลูมิเนียมยาว 56 cm เส้นผ่าศูนย์กลางภายนอกและภายใน 8 mm และ 6 mm ตามลำดับ โดยให้ปลายท่อสูงจากพื้น 18 cm ที่ปลายข้างหนึ่งของท่อจะพันสายไฟ AWG เบอร์ 20 เป็นขดลวดโซลินอยด์จำนวน 3 ชั้น ชั้นละ 33 รอบ ยาวประมาณ 6.5 cm วัสดุตัวเร่งเป็นดอกสว่านทำเกลียวเบอร์ 3 ขนาด 3 g โดยมีรูปที่ 1 แสดงแผนภาพวงจรของปืนแม่เหล็กไฟฟ้า ประกอบด้วยแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง 110 V<sub>AC</sub> ต่อเข้าไดโอดบริดจ์ ใช้ตัวต้านทานสองตัวต่ออนุกรมแบ่งแรงดัน ให้ได้ 55 V เพื่อจ่ายให้กับตัวเก็บประจุขนาด 15000  $\mu$ F ทนแรงดันได้สูงสุด 70 V นำมาต่อขนานกัน 2 ตัว จะได้ค่าความจุ 30000  $\mu$ F การทำสวิตช์เปิดการทำงาน จะให้ SCR ต่อไฟจากตัวเก็บประจุ เข้ามาตัว SCR รอกการกดสวิตช์จะส่งไฟเลี้ยงเข้าขาเกต 9 V<sub>DC</sub> ก็จะตัดต่อไฟเข้าขดลวดโซลินอยด์ทำให้เกิดสนามแม่เหล็ก ผลักตัวดอกสว่าน (P) ให้เคลื่อนที่ออกไปด้วยความเร็ว เวลาในผลึกส่งแต่ละครั้งจะต้องใช้เวลาในการเก็บประจุประมาณ 1.30 นาที โดยมีโวลต์มิเตอร์บอกแรงดันไฟฟ้าในการผลึกเท่ากับ 50 V (Hansen, 2001, Skala & andKindl, 2013)



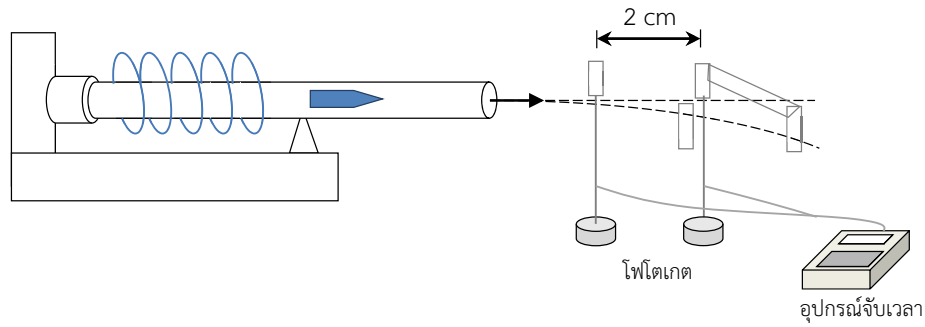
รูปที่ 1 แสดงแผนภาพวงจรของปืนแม่เหล็กไฟฟ้า



รูปที่ 2 แสดงชุดทดลองปืนแม่เหล็กไฟฟ้า

ในการดำเนินการทดลองเริ่มจากจัดชุดอุปกรณ์การทดลองตามรูปที่ 2 โดยให้ระยะห่างระหว่างปลายท่อและฉากรับเท่ากับ 25 cm บันทึกค่าการกระจัดในแนวระดับ ( $x$ ) เปิดสวิตซ์วงจรเพื่อทำการเร่งความเร็วของดอกสว่านที่ค่าแรงดันไฟฟ้า 50 V ให้เข้าชนกับฉากที่มีแผ่นกระดาษติดอยู่เกิดเป็นรูเล็กๆบนกระดาษ วัดความสูงของจุดที่ได้เทียบกับระดับอ้างอิง บันทึกเป็นการกระจัดในแนวตั้ง ( $y$ ) ทำการทดลองซ้ำโดยเพิ่มระยะห่างระหว่างปลายท่อและฉากรับครั้งละ 5 cm จนมีระยะ 50 cm ตามลำดับนำข้อมูลที่ได้เขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะ  $x$  กับ  $y$  และ  $x^2$  กับ  $y$  เพื่อคำนวณหาความเร็วของดอกสว่านโดยใช้สมการที่ (4) ซึ่งกำหนดให้เป็นความเร็วจากการทดลองโดยวิธีที่ 1

เปรียบเทียบกับความเร็วของดอกสว่านที่วัดโดยวิธีที่ 2 โดยการจัดชุดอุปกรณ์ตามข้างต้น แต่เพิ่มเครื่องจับเวลาใช้โฟโต้เกตระบบดิจิทัล (Digital Photogate timer) และอุปกรณ์จับเวลาของบริษัท Pasco Scientific USA โดยจัดอุปกรณ์วางโฟโต้เกตระบบดิจิทัลที่ปลายท่อให้ห่างกันเป็นระยะ 2 cm ดังรูปที่ 3 เพื่อจับเวลาที่ดอกสว่านผ่านระยะดังกล่าว แล้วนำไปคำนวณหาความเร็วความสมการที่ (1) (Miller, 2017)



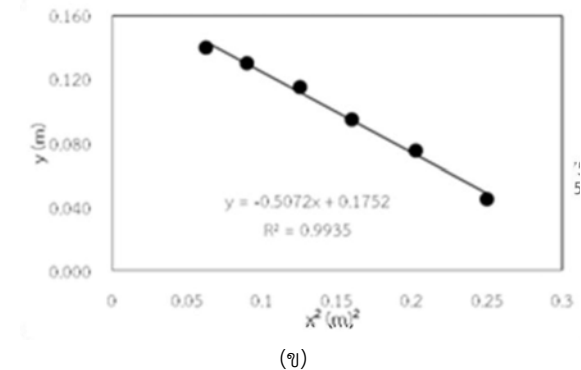
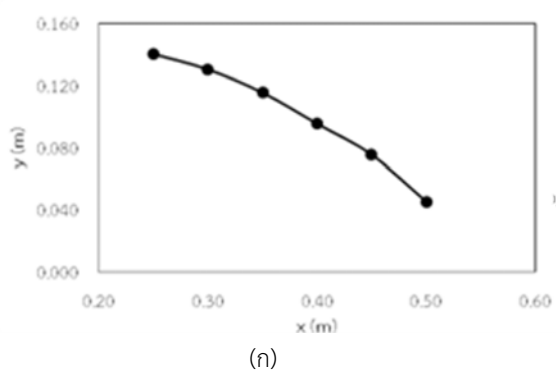
รูปที่ 3 แสดงการจัดโฟโต้เกตระบบดิจิทัลที่ปลายท่อให้ห่างกันเป็นระยะ 2 cm

**ผลการวิจัยและอภิปรายผล**

จากการใช้ชุดทดลองการเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์ที่สร้างขึ้น โดยการทดลองใช้สนามแม่เหล็ก ผลักตัวดอกสว่านมวล 3 g ที่แรงดันไฟฟ้า 50 v ให้เคลื่อนที่ไปตามท่ออลูมิเนียมยาว 56 cm สามารถเคลื่อนที่ได้ระยะไกลสุด 55 cm เมื่อดอกสว่านเคลื่อนที่ออกจากท่อ สามารถวัดค่า  $x, y$  และ  $x^2$  ได้ตามตารางที่ 1 จากข้อมูลผลการทดลองสามารถเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการกระจัด  $(x, y)$  และ  $(x^2, y)$  ได้ดังแสดงในรูปที่ 4

ตารางที่ 1 แสดงการกระจัดตามแนวราบและแนวตั้งที่ได้จากการทดลอง

การกระจัดตามแนวระดับ	การกระจัดตามแนวตั้ง	การกระจัดตามแนวระดับ <sup>2</sup>
$x$ (m)	$y$ (m)	$x^2$ (m <sup>2</sup> )
0.250	0.140	0.0625
0.300	0.130	0.0900
0.350	0.115	0.1250
0.400	0.095	0.1600
0.450	0.075	0.2025
0.500	0.045	0.2500



รูปที่ 4 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง (ก) การกระจัดในแนวระดับ ( $x$ ) และการกระจัดในแนวตั้ง ( $y$ ) และ (ข) การกระจัดในแนวระดับ<sup>2</sup> ( $x^2$ ) และการกระจัดในแนวตั้ง ( $y$ )

เมื่อนำค่าความชันที่ได้จากกราฟ  $(x^2, y)$  ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.5072 แทนในสมการ (4) เพื่อคำนวณค่าความเร็วของดอกสว่านจากการทดลองด้วยวิธีที่ 1 มีค่า 3.113 m/s เทียบกับค่าความเร็วที่วัดโดยวิธีจับเวลาขณะดอกสว่านเคลื่อนที่ผ่านโฟโต้เกต

ซึ่งจับเวลาได้ค่า 0.0056 s และแทนค่าเวลาที่ได้ลงใน (1) จะได้ความเร็วจากการทดลองด้วยวิธีที่ 2 มีค่า 3.571 m/s เมื่อคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของความเร็วทั้งสองวิธี ได้ 13.67%

### สรุป

ปืนแม่เหล็กไฟฟ้าที่สร้างขึ้นใช้แรงดันไฟฟ้า 50 v ผลักดอกสว่านมวล 3 g ออกจากท่อลูมิเนียมยาว 56 cm ได้ระยะไกลสุด 55cm โดยความเร็วของโพรเจกไทล์คำนวณได้จากความชันของกราฟความสัมพันธ์ระหว่างการกระจัดในแนวราบและแนวตั้ง (x,y) และใช้เวลาที่บันทึกจากโฟโต้เกต เท่ากับ 3.113 m/s และ 3.571 m/s ตามลำดับ เมื่อคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของทั้งสองวิธีมีค่า 13.67% โดยข้อดีของชุดทดลองดังกล่าวคือผลการทดลองจะมีความผิดพลาดน้อยเพราะมีโวลต์มิเตอร์บอกค่าแรงดันไฟฟ้าในการควบคุมแรงผลักให้เท่ากันทุกครั้งและการบอกค่าตำแหน่ง x,y สามารถเห็นจุดทะลุบนกระดาษได้ชัดเจนข้อเสียของปืนแม่เหล็กไฟฟ้าคือประสิทธิภาพในการผลักมวลของปืนแม่เหล็กไฟฟ้ามีค่าต่ำ เนื่องจากการเปลี่ยนเป็นพลังงานจลน์ของโพรเจกไทล์มีการสูญเสียพลังงานหลายขั้นตอนจากการแปรผันพลังงาน เช่น พลังงานสะสมในตัวเก็บประจุเปลี่ยนไปเป็นพลังงานแม่เหล็กในขดลวดโซลินอยด์ และพลังงานแม่เหล็กเปลี่ยนไปเป็นพลังงานจลน์ของโพรเจกไทล์ (Murray, 2011) ดังนั้น พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการผลักมวลโพรเจกไทล์จะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับแหล่งจ่ายกระแส หากต้องการให้ยิงได้ไกลและแรงขึ้นจะต้องเพิ่มปริมาณกระแส

### เอกสารอ้างอิง

- กาญจนา จันทร์ประเสริฐ. (2552). *การสร้างชุดทดลองหลักการอนุรักษ์พลังงานกลและการเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์*. การประชุมวิชาการ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ครั้งที่ 6.
- Cudnik, B., Rahman, M. and Williams, S. (2012). *Physics 2111 Laboratory Manual*. Retrieved January 5, 2017, from <https://www.pvamu.edu/Include/Physics/Spring2012/Physics%202111%20Lab%20Manual%208.3E.pdf>
- Hansen, B. (2001). *Barry's Coilgun Mark II*. Retrieved January 15, 2017, from <https://www.coilgun.info/mark1/oscillator.htm>
- Miller, J. R. (2017). *Physics 103 Setup Instructions: Projectile Motion*. Department of Physics.St. Lawrence University. Retrieved March 30, 2017 from [http://myslu.stlawu.edu/~jmi/physics/labs/103\\_lab/setup\\_manual/inactive/project\\_old\\_setup.shtml](http://myslu.stlawu.edu/~jmi/physics/labs/103_lab/setup_manual/inactive/project_old_setup.shtml)
- Murray, J. (2011). *gauss-machine-gun*. Retrieved March 30, 2017, from <http://www.deltaveng.com/>
- Serway, R. A. and Jewett, J. W. (2008). *Physics for Scientists and Engineers with Modern Physics*. 7<sup>th</sup> Edition. CA: Thomson Leaning, Inc.
- Skala, B. and Kindl, V. (2013). *Electromagnetic Coil Gun-Design and Construction*. Proceeding of Electrotechnical Institute, Issue 263.