คู่มือ

วิชาปฏิบัติการฟิสิกส์ทั่วไป

GENERAL PHYSICS LABORATORY รหัส 0209195

ภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2564

สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์

มหาวิทยาลัยทักษิณ

สุทธิษา ก้อนเรือง ชลธิรา แสงสุบัน พชร ผลนาค

คำนำ

หนังสือ “คู่มือปฏิบัติการฟิสิกส์ทั่วไป” เล่มนี้ จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการเรียนการสอนรายวิชาปฏิบัติการฟิสิกส์ทั่วไป (รหัสวิชา 0209195) ของนิสิตคณะวิทยาสาตร์ วิทยาเขตพัทลุง มุ่งเน้นให้ผู้เรียนมีความรู้ ความเข้าใจ และสามารถอธิบายเกี่ยวกับเนื้อหาสอดคล้องกับทฤษฎีในวิชาฟิสิกส์ทั่วไป (รหัสวิชา 0209105) ได้อย่างถูกต้องตามหลักวิทยาศาสตร์ โดยเน้นการฝึกทักษะการปฏิบัติการทดลองทางฟิสิกส์ การใช้เครื่องมือวิทยาศาสตร์ การคิดแก้ปัญหา และการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยหลักการทางฟิสิกส์และคณิตศาสตร์

เนื้อหาในคู่มือปฏิบัติการฟิสิกส์ทั่วไปประกอบด้วย การทดลองจำนวน 12 เรื่อง ได้แก่ การวัดและความคลาดเคลื่อน การเขียนกราฟและการวิเคราะห์ข้อมูลจากกราฟ สมดุลแรง การตกอิสระ การเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์ การเคลื่อนที่แบบซิมเปิลฮาร์โมนิก ความหนืดของของเหลว สัมประสิทธิ์การขยายตัวเชิงเส้นของโลหะ คลื่นนิ่ง เลนส์นูนและเลนส์เว้า การเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้า และการใช้หัววัดไกเกอร์-มูลเลอร์และการดูดกลืนรังสีนิวเคลียร์ โดยแต่ละการทดลองประกอบด้วยทฤษฎี วัตถุประสงค์การทดลอง อุปกรณ์การทดลอง วิธีการทดลอง และรายงานการทดลอง ผู้เรียบเรียงได้สืบค้นทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการทดลองตามเอกสารอ้างอิง อุปกรณ์และวิธีการทดลองผ่านการตรวจสอบจากอาจารย์ผู้สอนและนักวิชาชีพ สาขาวิชาฟิสิกส์ เพื่อให้มั่นใจว่าผู้เรียนสามารถเข้าใจและลงมือปฏิบัติได้ด้วยตนเอง และรายงานการทดลองได้ออกแบบให้ง่ายต่อการกรอกข้อมูลจากผลการทดลอง

ผู้เรียบเรียงขอขอบคุณนักวิทยาศาสตร์ สาขาวิชาฟิสิกส์ทุกท่านที่ให้ความร่วมมือในการจัดทำคู่มือปฏิบัติการฟิสิกส์สำหรับวิทยาศาสตร์ชีวภาพเล่มนี้จนสำเร็จลุล่วงด้วยดี

ดร.สุทธิษา ก้อนเรือง
ผศ.ดร.ชลธิรา แสงสุบัน
ผศ.ดร.พชร ผลนาค
กรกฎาคม 2564

คำชี้แจง

ข้อปฏิบัติในการเรียนวิชาปฏิบัติการฟิสิกส์ทั่วไป รหัส 0209195 ภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2564

1. นิสิตเข้ากลุ่มไลน์ ฟิสิกส์ทั่วไป_2564/1 เพื่อติดต่อกับอาจารย์ผู้สอน
2. นิสิตปฏิบัติการทดลองเป็นกลุ่มตามที่ผู้สอนจัดให้ (กรณีการเรียน on site)
3. นิสิตต้องศึกษาคู่มือปฏิบัติการทดลองมาล่วงหน้า
4. นิสิตที่เข้าห้องเรียนสาย 5 นาที ขึ้นไป ไม่มีสิทธิ์ทำแบบทดสอบก่อนเรียน
5. นิสิตที่เข้าห้องสาย 30 นาที ขึ้นไป ไม่มีสิทธิ์ทำการทดลองและส่งรายงานการ
6. นิสิตสามารถลาเรียนได้ไม่เกิน 2 ครั้ง ในกรณีที่มีเหตุจำเป็น โดยมีเงื่อนไขดังนี้
   - ลากิจ ต้องส่งใบลาล่วงหน้า
   - ลาป่วย ต้องส่งใบลาพร้อมใบรับรองแพทย์ภายใน 1 สัปดาห์ นับจากวันที่ป่วย
7. นิสิตที่ลาเรียนอย่างถูกต้องตามข้อปฏิบัตินี้ ต้องดำเนินการติดต่อขอทำปฏิบัติการทดลองชดเชยภายใน 7 วันทำการ นับจากวันที่กลับมาเรียน
8. นิสิตที่ขาดเรียนไม่มีสิทธิ์ทำปฏิบัติการทดลองชดเชย
9. นิสิตที่ขาดเรียนเกิน 2 ครั้ง จะไม่มีสิทธิ์สอบปลายภาค (เวลาเรียนไม่ครบ 80 %) ในกรณีที่มีเหตุจำเป็น ให้ติดต่ออาจารย์ผู้สอนภายใน 5 วันทำการ นับจากวันที่ขาดเรียน
10. หากมีอุปกรณ์ชำรุดเสียหายขณะปฏิบัติการทดลองต้องแจ้งอาจารย์ผู้สอนหรือนักวิทยาศาสตร์ทันที และสมาชิกทุกคนในกลุ่มต้องร่วมกันชดเชยค่าเสียหาย
11. นิสิตทต้องแต่งกายด้วยเครื่องแบบนิสิตเข้าห้องปฏิบัติการทดลอง ยกเว้นได้รับอนุญาตจากอาจารย์ผู้สอนเป็นกรณีพิเศษ
12. ห้ามนำอาหารมารับประทานภายในห้องปฏิบัติการทดลอง
13. ห้ามใช้โทรศัพท์ในเวลาเรียน ยกเว้นมีเหตุจำเป็น
14. นิสิตเก็บอุปกรณ์และทำความสะอาดโต๊ะทดลองของตนเองทุกครั้งหลังเสร็จปฏิบัติการทดลอง

15. หากนิสิตมีข้อสงสัยเกี่ยวกับการวัดผล คะแนน ข้อสอบ หรือต้องการร้องเรียนและอุทธรณ์ผลการประเมินให้นิสิตดำเนินการภายใน 15 วัน หลังจากประกาศผล โดยผ่านทางอาจารย์ผู้สอนหรือ ไลน์ http://line.me/ti/g/aFeQiQu1kA หรือ QR Code

การเตรียมตัวทำปฏิบัติการสำหรับนิสิต

1. นิสิตต้องศึกษาคู่มือปฏิบัติการทดลองมาล่วงหน้า
2. นิสิตต้องถ่ายเอกสารหรือปริ้นรายงานการทดลองสำหรับบันทึกข้อมูลการทดลองทุกปฏิบัติการ
3. นิสิตต้องเตรียมเครื่องคำนวณและเครื่องเขียนเพื่อทำปฏิบัติการทดลองทุกครั้ง

ขั้นตอนการทำปฏิบัติการฟิสิกส์ทั่วไป

1. นิสิตทำแบบทดสอบก่อนเรียนผ่าน google form ใช้เวลา 5 นาที
2. อาจารย์อธิบายทฤษฎี ใช้เวลา 20 นาที
3. นิสิตศึกษาการใช้อุปกรณ์และวิธีการทดลองจากวิดีโอสาธิตการทดลอง ใช้เวลา 15 นาที
4. นิสิตทำการทดลอง วิเคราะห์ผลการทดลอง และสรุปผลการทดลอง ใช้เวลา 2 ชั่วโมง
5. อาจารย์และนิสิตร่วมกันอภิปรายและสรุปผลการทดลอง ใช้เวลา 10 นาที
6. นิสิตทำแบบทดสอบหลังเรียน ผ่าน google form ใช้เวลา 10 นาที
7. นิสิตส่งรายงานการทดลอง ก่อนหมดเวลา 20 นาที (กรณี on line อนุญาตให้ส่งหลังหมดเวลาไม่เกิน 20 นาที) โดยนิสิตเขียนชื่อในรายงานทุกหน้า ถ่ายภาพรายงานการทดลองทุกหน้า รวมไฟล์ภาพถ่ายเป็นไฟล์เดียว และส่งไฟล์แก่อาจารย์ผู้สอนโดยการอัพโหลดผ่าน line / google form / TSU MOOCS / e-mail (ขึ้นอยู่กับอาจารย์ผู้สอน)

   * website สำหรับรวมไฟล : https://www.ilovepdf.com/th/jpg_to_pdf

   * ระบบ TSU MOOCS, https://moocs.tsu.ac.th/my/
8. นิสิตเก็บรวบรวมงานการทดลองทุกปฏิบัติการและส่งอาจารย์ผู้สอนเมื่อมหาวิทยาลัยเปิดให้เข้าเรียนในหห้องปฏิบัติการได้

ลิงค์การเรียนออนไลน์

อาจารย์ผู้สอน	ลิงค์การเรียนออนไลน์
ผศ.ดร.พชร ผลนาค • วิชาปฏิบัติการฟิสิกส์ทั่วไป กลุ่ม P101 พ. 9.00 - 12.10 ห้อง ศก 217 • วิชาฟิสิกส์ทั่วไป บทที่ 9-12	Meeting link: https://thaksin.webex.com/thaksin/j.php?MTID=m3b016047e4429491a9deb6f1d448404a Meeting number: 182 769 9514 Password: tCWVpqAK539
ผศ.ดร.ชลธิรา แสงสุบัน • วิชาปฏิบัติการฟิสิกส์ทั่วไป กลุ่ม P102 พฤ. 9.00 - 12.10 ห้อง ศก 217 • วิชาฟิสิกส์ทั่วไป บทที่ 5-8	Meeting link: https://thaksin.webex.com/thaksin/j.php?MTID=m817276576c8e353e7c4d9e007092a856 Meeting number: 182 030 5986 Password: eZZ2DuPt22E
อ.ดร.สุทธิษา ก้อนเรือง • วิชาปฏิบัติการฟิสิกส์ทั่วไป กลุ่ม P103 ศ. 14.00 - 17.10 ห้อง ศก 217 • วิชาฟิสิกส์ทั่วไป บทที่ 1-4	Meeting link: https://thaksin.webex.com/thaksin/j.php?MTID=m9cb403bc0153cfa5e4156f704ffa438b Meeting number: 142 166 1848 Password: MyTmm3dFP27

การประเมินผลการเรียน

วิธีการประเมิน	สัดส่วนการประเมิน	หมายเหตุ
1. การทดสอบก่อนเรียน (สอบทฤษฎีและวิธีการทดลอง)	10%	ทดสอบผ่าน google form
2. การทดสอบหลังเรียน (สอบวิธีการทดลองและการวิเคราะห์ผลการทดลอง)	10%	ทดสอบผ่าน google form
3. รายงานการทดลอง (12 ปฏิบัติการ)	35%	- กรณี on line ให้ส่งรายงานการทดลองหลังหมดเวลาไม่เกิน 20 นาที (อัพโหลดรายงานการทดลองทุกหน้าผ่าน google form หรือ TSU MOOCS ขึ้นอยู่กับอาจารย์ผู้สอน) - กรณีการเรียน on site ให้ส่งรายงานการทดลองก่อนหมดเวลา 20 นาที
4. การสอบกลางภาค (สอบทฤษฎี การวิเคราะห์ และคำนวณ)	15%	ทดสอบผ่าน google form หรือ TSU MOOCS
5. การสอบปลายภาค (สอบทฤษฎี การวิเคราะห์ และคำนวณ)	15%	ทดสอบผ่าน google form หรือ TSU MOOCS
6. พฤติกรรมและการมีส่วนร่วมในการทำปฏิบัติการในชั้นเรียน	5%	ประเมินจากการสังเกตโดยอาจารย์ผู้สอน
7. ทักษะปฏิบัติการ	10%	ประเมินจากการทำปฏิบัติการนอกเวลาเมื่อมีการเรียนแบบ on site * หากไม่มีการเรียนแบบ on site คะแนนส่วนนี้จะถูกนำกลับไปรวมกับคะแนนรายงานการทดลองและคิดสัดส่วนคะแนนรวมกันเป็น 45 %
รวม	**100%**	

ข้อกำหนดการออกข้อสอบแต่ละการทดลอง

การสอบ		จำนวนข้อ	จำนวนคะแนน	ผู้ออกข้อสอบ	ปฏิบัติการที่
1. การก่อนเรียน ปฏิบัติการละ 2 ข้อ ข้อละ 1 คะแนน รวม 2 คะแนน				กำหนดส่งข้อสอบ 5/7/64	
	● ทฤษฎี	1	1	อ.ดร.สุทธิษา ก้อนเรือง ผศ.ดร.ชลธิรา แสงสุบัน ผศ.ดร.พชร ผลนาค	1/2/3/4 5/6/7/8 9/10/11/12
	● วิธีการทดลอง	1	1		
2. ข้อสอบหลังเรียน ปฏิบัติการละ 2 ข้อ ข้อละ 1 คะแนน รวม 2 คะแนน				กำหนดส่งข้อสอบ 5/7/64	
	● วิธีการทดลอง การปฏิบัติ หรือการอ่านค่า	1	1	อ.ดร.สุทธิษา ก้อนเรือง ผศ.ดร.ชลธิรา แสงสุบัน ผศ.ดร.พชร ผลนาค	1/2/3/4 5/6/7/8 9/10/11/12
	● การคำณวนและการวิเคราะห์ผลการทดลอง	1	1		
3. ข้อสอบสอบกลางภาค ปฏิบัติการที่ 1- 6 ปฏิบัติการละ 9 คะแนน				สอบ วันที่ 3 กันยายน 2564 เวลา 8.00-10.00	
	● สอบทฤษฎี	2 (ปรนัย 4 ตัวเลือก)	2	อ.ดร.สุทธิษา ก้อนเรือง ผศ.ดร.ชลธิรา แสงสุบัน ผศ.ดร.พชร ผลนาค	1/2 3/4 5/6
	● วิธีการทดลอง การปฏิบัติ หรือการอ่านค่า	2 (ปรนัย 4 ตัวเลือก)	2		
	● การคำณวน การวิเคราะห์ และการสรุปผล	1-2 (อัตนัย)	5		
4. ข้อสอบสอบกลางภาค ปฏิบัติการที่ 7- 12 ปฏิบัติการละ 9 คะแนน				สอบ วันที่ 5 พฤศจิกายน 2564 เวลา 8.00-10.00	
	● สอบทฤษฎี	2 (ปรนัย 4 ตัวเลือก)	2	อ.ดร.สุทธิษา ก้อนเรือง ผศ.ดร.ชลธิรา แสงสุบัน ผศ.ดร.พชร ผลนาค	7/8 9/10 11/12
	● วิธีการทดลอง การปฏิบัติ หรือการอ่านค่า	2 (ปรนัย 4 ตัวเลือก)	2		
	● การคำณวน การวิเคราะห์ และการสรุปผล	1-2 (อัตนัย)	5		

เกณฑ์การประเมินผลการเรียน

ระดับขั้น	ความหมาย	ระดับคะแนน	คะแนน %
A	ดีเยี่ยม	4.0	85 - 100
B^+	ดีมาก	3.5	80 - 84
B	ดี	3.0	75 - 79
C^+	ดีพอใช้	2.5	68 - 74
C	พอใช้	2.0	60 - 67
D^+	อ่อน	1.5	55 - 59
D	อ่อนมาก	1.0	50 - 54
F	ตก	0	0 - 49

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
คำนำ	ก
คำชี้แจง	ข
ข้อปฏิบัติในการเรียนวิชาปฏิบัติการฟิสิกส์ทั่วไป	ข
การเตรียมตัวทำปฏิบัติการสำหรับนิสิต	ค
ขั้นตอนการทำปฏิบัติการฟิสิกส์ทั่วไป	ค
ลิงค์การเรียนออนไลน์	ง
เกณฑ์การประเมินผลการเรียน	จ
การประเมินผลการเรียน	ฉ
บทนำ	0-1
การทดลองที่ 1 การวัดและความคลาดเคลื่อน	1-1
การทดลองที่ 2 การเขียนกราฟและวิเคราะห์ข้อมูลจากกราฟ	2-1
การทดลองที่ 3 สมดุลแรง	3-1
การทดลองที่ 4 การตกอย่างอิสระ	4-1
การทดลองที่ 5 การเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์	5-1
การทดลองที่ 6 การเคลื่อนที่แบบซิมเปิลฮาร์โมนิก	6-1
การทดลองที่ 7 ความหนืดของของเหลว	7-1
การทดลองที่ 8 สัมประสิทธิ์การขยายตัวเชิงเส้นของโลหะ	8-1
การทดลองที่ 9 คลื่นนิ่ง	9-1
การทดลองที่ 10 เลนส์นูนและเลนส์เว้า	10-1
การทดลองที่ 11 การเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้า	11-1
การทดลองที่ 12 การใช้หัววัดไกเกอร์-มูลเลอร์และการดูดกลืนรังสีนิวเคลียร์	12-1

บทนำ
การวัดและความคลาดเคลื่อน

1. ทฤษฎี

ฟิสิกส์เป็นวิทยาศาสตร์พื้นฐานที่มุ่งศึกษาและทำความเข้าใจปรากฏการณ์ทางธรรมชาติ ข้อมูลทางฟิสิกส์จึงต้องอาศัยการสังเกต การทดลองและการวัดปริมาณทางกายภาพ เช่น ความยาว มวล และเวลา การวัดปริมาณทางกายภาพเหล่านี้จำเป็นต้องมีมาตรฐานเดียวกันเพื่อความเข้าใจที่ตรงกัน ทำให้ผู้ที่สนใจสามารถนำผลการวัดไปใช้ในเรื่องอื่นๆได้ อย่างไรก็ตามในการวัดทุกครั้งย่อมมีความคลาดเคลื่อนเกิดขึ้นเสมอ ผู้วัดจึงต้องศึกษาวิธีการวัด สาเหตุของความคลาดเคลื่อนจากการวัดและหลักการบันทึกผลการวัดที่ถูกต้อง

1.1 วิธีการวัด

1.1.1 การวัดโดยตรง (Direct measurement)

การวัดโดยตรงเป็นการวัดปริมาณใด ๆที่สามารถทำได้โดยตรงด้วยเครื่องมือวัด เช่น วัดความยาวของลูกเต๋าได้ 0.01 m

1.1.2 การวัดโดยอ้อม (Indirect measurement)

การวัดโดยอ้อมเป็นการวัดปริมาณใด ๆ ที่ไม่สามารถทำได้โดยตรงด้วยเครื่องมือวัด ต้องคำนวณปริมาณที่ต้องการด้วยความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ เช่น ลูกเต๋าที่มีด้านทุกด้านยาวเท่ากัน คือ 0.01 m จะมีปริมาตร = $(0.01)^3 = 10^{-6}$ m^3

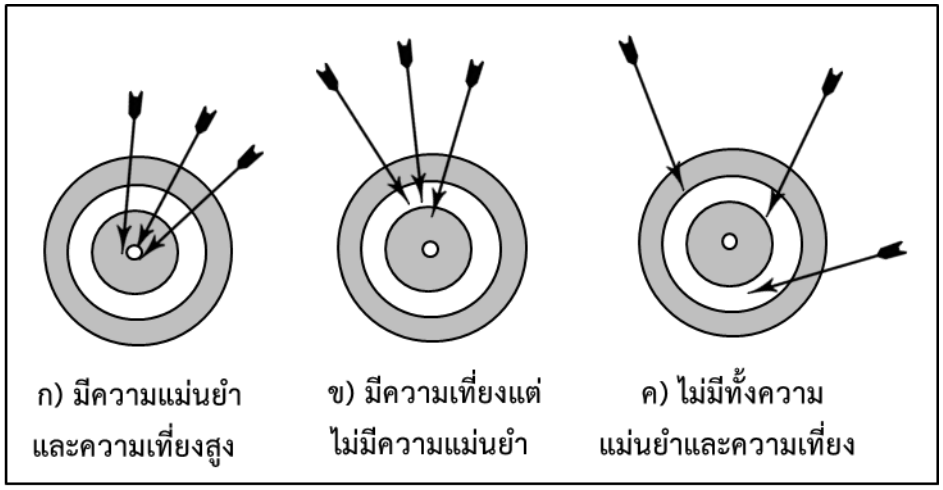
1.2 ความแม่นยำและความเที่ยงตรงของการวัด

1.2.1 ความแม่นยำ (Accuracy)

การวัดที่มีความแม่นยำคือการวัดที่ให้ผลใกล้เคียงค่าจริงหรือค่าที่ยอมรับ เช่น ดินสอแท่งหนึ่งยาว 15.00 cm เมื่อวัดความยาวของดินสอแท่งนี้จำนวน 4 ครั้ง ได้ข้อมูลการวัดเป็น 14.95, 15.05, 14.10 และ 14.20 cm แสดงว่าผลการวัดในครั้งที่ 1 และ 2 มีความแม่นยำสูง คือใกล้เคียงค่าจริงมากกว่าครั้งที่ 3 และ 4

1.2.2 ความเที่ยง (Precision)

การวัดที่มีความเที่ยง คือ การวัดที่ให้ผลเหมือนเดิมหรือใกล้เคียงกันทุกครั้ง จากตัวอย่างที่ผ่านมาพบว่าความยาวของดินสอที่วัดได้ในครั้งที่ 1 และ 2 มีความแตกต่างจากครั้งที่ 3 และ 4 มาก ทำให้ข้อมูลมีการกระจายตัวมาก ผลการวัดนี้จึงมีความเที่ยงต่ำ ข้อมูลที่ดีคือข้อมูลมีทั้งความแม่นยำและความเที่ยงสูงเพื่อให้เข้าใจได้ง่ายขึ้นจึงได้แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณทั้งสองไว้ในรูปที่ 1



รูปที่ 1 ความสัมพันธ์ระหว่างความแม่นยำและความเที่ยง

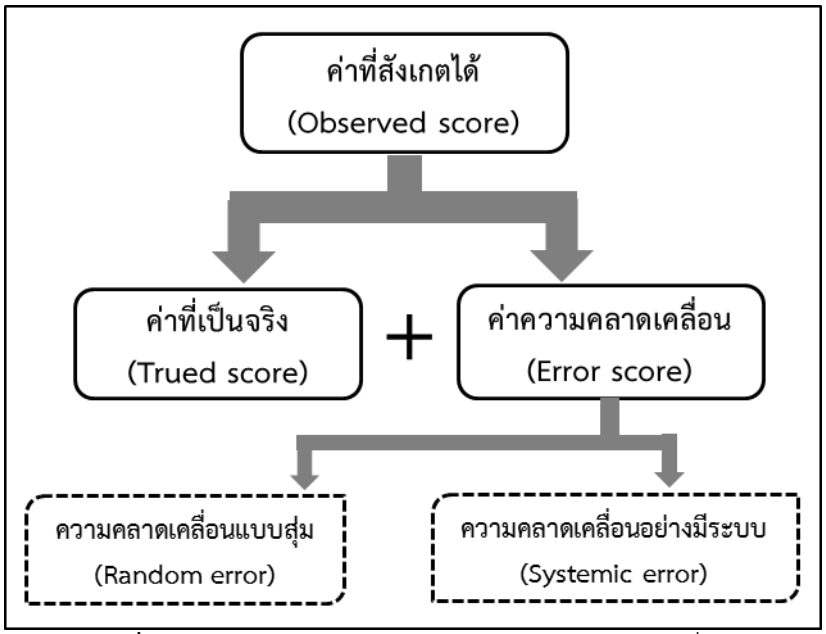
1.3 ชนิดของความคลาดเคลื่อนจากการวัด

1.3.1 ความคลาดเคลื่อนแบบสุ่ม (Random Error)

ความคลาดเคลื่อนแบบสุ่มเกิดในลักษณะไม่คงที่เนื่องจากผลการวัดที่ได้มีการกระจายรอบๆ ค่าเฉลี่ย ทำให้ไม่มีผลต่อค่าเฉลี่ย แต่มีผลต่อการกระจายของข้อมูล

1.3.2 ความคลาดเคลื่อนอย่างมีระบบ (Systematic Error)

ความคลาดเคลื่อนอย่างมีระบบเกิดในลักษณะคงที่ เนื่องจากผลการวัดที่ได้แตกต่างจากค่าที่ยอมรับ โดยจะมีค่ามากหรือน้อยกว่าค่าที่ควรจะเป็นในทิศทางเดียวกัน ทำให้มีผลต่อค่าเฉลี่ยและการกระจายของข้อมูล สามารถเขียนความสัมพันธ์ระหว่างการวัดและความคลาดเคลื่อนได้ ดังแสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 2 ความสัมพันธ์ระหว่างการวัดและความคลาดเคลื่อน

1.4 สาเหตุของความคลาดเคลื่อนในการวัด

1.4.1 ความคลาดเคลื่อนเนื่องจากตัวบุคคล (Personal error)

เกิดได้จากหลายสาเหตุ เช่นขาดทักษะในการใช้เครื่องมือ มีอคติในการเก็บข้อมูล

1.4.2 ความคลาดเคลื่อนในระบบ (Systematic error)

เกิดขึ้นเนื่องจากการเลือกใช้เครื่องมือและเทคนิคการวัดที่ไม่เหมาะสม เช่น ใช้ไม้บรรทัดวัดเส้นผ่านศูนย์กลางของขดลวด

1.4.3 ความคลาดเคลื่อนเนื่องจากสิ่งแวดล้อม

เป็นความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ หรืออาจมีสาเหตุจากเหตุสุดวิสัยอื่นๆ เช่น การเกิดแผ่นดินไหวขณะทำการทดลอง หรือมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอย่างรวดเร็วจนไม่สามารถควบคุมให้คงที่ได้ตามเงื่อนไข

1.5 การบันทึกผลการวัดที่ถูกต้อง

1.5.1 การใช้เลขนัยสำคัญ

เลขนัยสำคัญเป็นตัวเลขที่สามารถอ่านได้จากเครื่องมือวัดหรือได้จากการคำนวณ ประกอบด้วยตัวเลขที่แน่นอนและตัวเลขที่ได้จากการประมาณหลักการใช้เลขนัยสำคัญได้แสดงไว้ในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 หลักการใช้เลขนัยสำคัญเพื่อบันทึกผลการวัด

หลักการใช้เลขนัยสำคัญ	ตัวอย่าง	นัยสำคัญ	วัดที่บันทึก
เลขทุกตัวที่ไม่ใช่ 0 เป็นเลขนัยสำคัญ	112, 4.13 และ 65.4	3	
0 เป็นเลขนัยสำคัญ เมื่อ			
- อยู่ระหว่างเลข 1-9	01102, 4.003 และ 6.504	4	
- อยู่ขวามือหลังทศนิยมและหลังตัวเลขอื่น	12.0, 0.00400 และ 7.00×10^2	3	
การบวกและลบเลขนัยสำคัญ คำตอบที่ถูกต้องจะมีจำนวนทศนิยมเท่ากับจำนวนทศนิยมที่น้อยที่สุด	1.1+ 2.34 + 5.678 = 9.118		9.1
การคูณและหารเลขนัยสำคัญคำตอบที่ถูกต้องจะมีเลขนัยสำคัญเท่ากับจำนวนที่มีเลขนัยสำคัญน้อยสุด	0.01 x 2.00 x 5.60 = 0.112	1	0.1

1.5.2 การบันทึกผลการวัดที่เกิดจากการวัดเพียงครั้งเดียว

ในกรณีที่ใช้เครื่องมือวัดทำการวัด ความยาว ความกว้าง ความหนา หรือปริมาณใด ๆ ของวัตถุโดยตรง ความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากการวัดคือค่าละเอียดสุดของเครื่องมือวัด และบันทึกผลเป็น *ค่าที่วัดได้*$\pm$*ค่าความละเอียดสุดของเครื่องมือวัด* เช่น วัดความยาวของปากกาด้ามหนึ่งด้วยไม้บรรทัดเพียงครั้งเดียว พบว่าปากกายาว 13.8 cm ค่าความคลาดเคลื่อนคือค่าความละเอียดสุดของไม้บรรทัดคือ 0.1 cm ดังนั้นผลการวัดคือ 13.8$\pm$0.1 cm

1.5.3 การวิเคราะห์ผลการทดลองโดยใช้ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานค่าเฉลี่ย

ค่าเฉลี่ย ใช้ในกรณีที่ต้องทำการวัดซ้ำหลายๆครั้ง เพื่อหาค่าที่เป็นตัวแทนของข้อมูลทั้งหมดที่วัด ตัวอย่างเช่น ในการวัดความยาวของไม้จิ้มฟันจำนวน 5 ครั้ง ผลการวัดคือ 4.90, 5.00, 5.15, 4.95 และ 4.90 cm ค่าเฉลี่ยของข้อมูลชุดนี้คือ

$$\overline{x} = \frac{4.90 + 5.00 + 5.15 + 4.95 + 4.90}{5} = 4.98\ cm$$

สามารถเขียนในรูปของสมการการหาค่าเฉลี่ย ได้ดังนี้

$$\overline{x} = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + \ldots + x_n}{n} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} x_i \qquad (1)$$

เมื่อ n คือ จำนวนข้อมูล

$x_1 + x_2 + x_3 + \ldots + x_n$ คือ ข้อมูลที่วัดได้

ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation, S.D.) เป็นค่าเชิงสถิติที่บอกถึงการกระจายของข้อมูลที่ได้จากการวัด ผลการวัดที่ให้ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานน้อยจะแสดงถึงการวัดที่มีความเที่ยงสูง นิยมเขียนในรูปของ ค่าเฉลี่ย $\pm$ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน นั่นคือ ผลการวัด = $\overline{x} \pm S.D.$ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสามารถคำนวณได้จาก

$$S.D. = \sqrt{\sum_{i=1}^{n} \frac{\left(x_i - \overline{x}\right)^2}{n-1}} \qquad (2)$$

การวัดความยาวของไม้จิ้มฟันในตัวอย่างที่ผ่านมาจึงมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ดังนี้

$$S.D. = \sqrt{\sum_{i=1}^{n} \frac{\left(4.90 - 4.98\right)^2 + \left(5.00 - 4.98\right)^2 + \left(4.95 - 4.98\right)^2 + \left(4.90 - 4.98\right)^2}{5-1}} = 0.10$$

1.5.4 การแสดงค่าความคลาดเคลื่อนและไม่แน่นอนของผลการวัด

ร้อยละความคลาดเคลื่อน เป็นการเปรียบเทียบค่าที่ได้จากการทดลองกับค่าจริงหรือค่าที่ยอมรับ เพื่อหาความแม่นยำในการวัด ซึ่งสามารถหาได้จาก

$$\text{ร้อยละความคลาดเคลื่อน} = \left| \frac{\text{ค่าจากการทดลอง - ค่าที่ยอมรับหรือค่าจริง}}{\text{ค่าที่ยอมรับหรือค่าจริง}} \right| \text{X } 100 \qquad (3)$$

ร้อยละความแตกต่าง ใช้ในกรณีที่ไม่ทราบค่าที่แท้จริงแต่ต้องการหาความเที่ยงของการวัด ซึ่งสามารถหาได้จาก

$$\text{ร้อยละความแตกต่าง} = \left| \frac{\text{ผลการวัดครั้งที่ 1 - ผลการวัดครั้งที่ 2}}{\text{ค่าเฉลี่ยจากผลการวัดทั้ง 2 ครั้ง}} \right| \text{X } 100 \qquad (4)$$

เอกสารอ้างอิง

1. ประธาน บุรณศิริ และคณะ. 2558. **ฟิสิกส์ 1.** เซนเกจ เลินนิ่ง-ไชน่า จำกัด, กรุงเทพฯ. แปลจาก Raymond A. Serway & John W. Jewett, Jr. **Physics for Scientists and Engineers with Modern Physics**. Thomson-Brooks/Cole, USA.
2. ชาติชาย ไวยสุรสิงห์. 2553. บทที่ 2 ทฤษฎีการวัดและความคลาดเคลื่อน. **SlideShare**. แหล่งที่มา:https://www.slideshare.net/Chattichai/2-2-4736513 , 8 กรกฎาคม 2560.
3. เปรมฤทัย น้อยหมื่นไวย. 2560. **การวัด การสร้างเครื่องมือวิจัยและการตรวจสอบคุณภาพเครื่องมือ.** โครงการฝึกอบรม “สร้างนักวิจัยรุ่นใหม่ (ลูกไก่) รุ่นที่ 1.มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช. กรุงเทพฯ.(อัดสำเนา)
4. Lucasbosch (pseud.) .2555. File : Vernier Caliper 150mm. svg . **Wikimedia Commons**. แหล่งที่มา: https:/ / upload.wikimedia.org/ wikipedia/ commons/ 9/ 9d/ Vernier_Caliper_150mm.svg, 8 กรกฎาคม 2560.
5. Measuring instruments. 2560. How to read a vernier caliper. **Measuring-Tools. biz**. แหล่งที่มา: http:/ / www.measuring-tools.biz/ measuring-instruments/ read-a-verniercaliper.html, 8 กรกฎาคม 2560.
6. High-resolution.6vh.info. 2558. The micrometer screw gauge. **Micrometer screw gauge diagram**.
   แหล่งที่มา: https://high-resolution.6vh.info/files/images/micrometer-screwgauge-diagram.html, 8 กรกฎาคม 2560.
7. Anonymous. 2560. How To Read A Micrometer Screw Gauge. **Mini Physics**.
   แหล่งที่มา : https://www.miniphysics.com/how-to-read-a-micrometer-screw-gauge.html, 9 กรกฎาคม2560.

แบบฝึกหัด

1. จงตอบว่าการวัดปริมาณต่อไปนี้เป็นการวัดโดยตรงหรือโดยอ้อม
   1) พยาบาลวัดอุณภูมิร่างกายของผู้ป่วย .....
   2) แม่ค้าชั่งน้ำหนักของผัก .....
   3) ช่างวัดขนาดพื้นห้องได้ 16 m^2 .....
   4) บาริสต้าตวงกาแฟเพื่อชงให้ลูกค้า .....
   5) เด็กต้องการหาปริมาตรลูกบอล .....

2. นิสิตทำการชั่งมวลของสารเคมี จำนวน 5 ชนิด โดยวิธีการคือ วางบีกเกอร์บนเครื่องชั่งแบบดิจิทัล เทสารลงในบีกเกอร์ แล้วอ่านค่ามวลที่ได้ และบันทึกผล จากนั้นนิสิตนึกได้ว่าไม่ได้ทำการรีเซ็ตการแสดงผลเป็น 0 ก่อนเทสารลงในบีกเกอร์ทุกครั้ง จงตอบคำถาม
   1) มวลที่อ่านค่าได้ทั้งหมดเกิดความคลาดเคลื่อนแบบใด

      ตอบ..... .....

      ....
   2) ความคลาดเคลื่อนเกิดจากสาเหตุใด

      ตอบ.....

      ....
   3) นิสิตมีวิธีแก้ไขผลที่ได้จากการชั่งอย่างไร ในกรณีที่ไม่สามารถนำสารเดิมมาชั่งใหม่ได้

      ตอบ..... .....

      ....

3. “การวัดปริมาณซ้ำหลายครั้ง ถ้าค่าที่ได้จากการวัดมีความเที่ยงสูง แสดงว่าผลการวัดมีความแม่นสูงเช่นกัน” ข้อความนี้กล่าวถูกหรือไม่ เพราะเหตุใด

   ....
   ....
   ....
   ....
   ....

4. จำนวนต่อไปนี้มีเลขนัยสำคัญกี่ตัว

   1) 8.9 .....
   2) 0.0053 .....
   3) 3.780 .....
   4) 0.2001 .....
   5) 1.010 .....
   6) 0.500 .....
   7) 0.0009 .....
   8) 2.46×10^{-6} .....
   9) 0.025×10^{-3} .....
   10) 1.1080×10^{5} .....

5. จงหาผลลัพธ์ต่อไปนี้

   1) 703 + 8 +0.87 = ...
   2) 28.326 – 8.97 +3.0 = ...
   3) 12.46 x 84.2 = ...
   4) 14.28/0.714 = ...
   5) (2.350 x 1.04) / 0.20 = ...

6. นิสิตคนหนึ่งทำการวัดความยาวของปากกาจำนวน 6 ครั้ง ได้ผลการวัดคือ 15.11 15.12 15.22 15.13 15.18 และ 15.23 cm จงหาค่าเฉลี่ยของและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของความยาวของปากกา

.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....

7. นิสิตนำตัวต้านทานขนาด 1000 Ω มาวัดความต้านทานด้วยมัลติมิเตอร์เครื่องหนึ่ง พบว่าค่าที่ได้จากมัลติมิเตอร์ คือ 980 Ω จงหาร้อยละความคลาดเคลื่อนของค่าความต้านทานนี้

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

8. ชายคนหนึ่งซื้อผลไม้ซึ่งแม่ค้าชั่งน้ำนักได้ 2.0 kg เมื่อมาถึงบ้านเขาได้ลองชั่งน้ำนักผลไม้อีกครั้งด้วยเครื่องชั่งของเขา พบว่าค่าน้ำหนักของผลไม้ที่ได้เป็น 2.2 kg จงหาร้อยละความแตกต่างของการชั่งน้ำหนักผลไม้ทั้งสองครั้ง

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

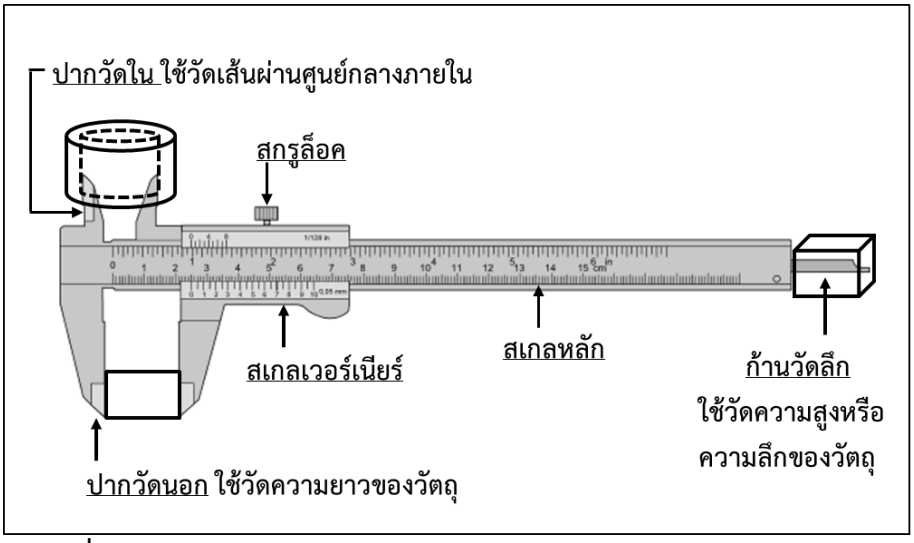
.....

การทดลองที่ 1
เรื่อง เวอร์เนียคาลิปเปอร์และไมโครมิเตอร์

1.1 ทฤษฎี

1.1.1 เวอร์เนียคาลิปเปอร์ (Vernier calipers)

เวอร์เนียคาลิปเปอร์เป็นเครื่องมือวัดที่มีความแม่นยำสูง มีลักษณะคล้ายไม้บรรทัด ประกอบด้วยสเกลหลักและสเกลเวอร์เนียร์ที่สามารถเลื่อนไปมาบนสเกลหลักได้ เวอร์เนียคาลิปเปอร์สามารถใช้วัดได้ทั้งความยาว ความสูง และเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของวัตถุ ส่วนประกอบและการใช้งานของเวอร์เนียคาลิปเปอร์ ได้แสดงไว้ในรูปที่ 1.1



รูปที่ 1.1 ส่วนประกอบและลักษณะการใช้งานและของเวอร์เนียร์คาลิปเปอร์

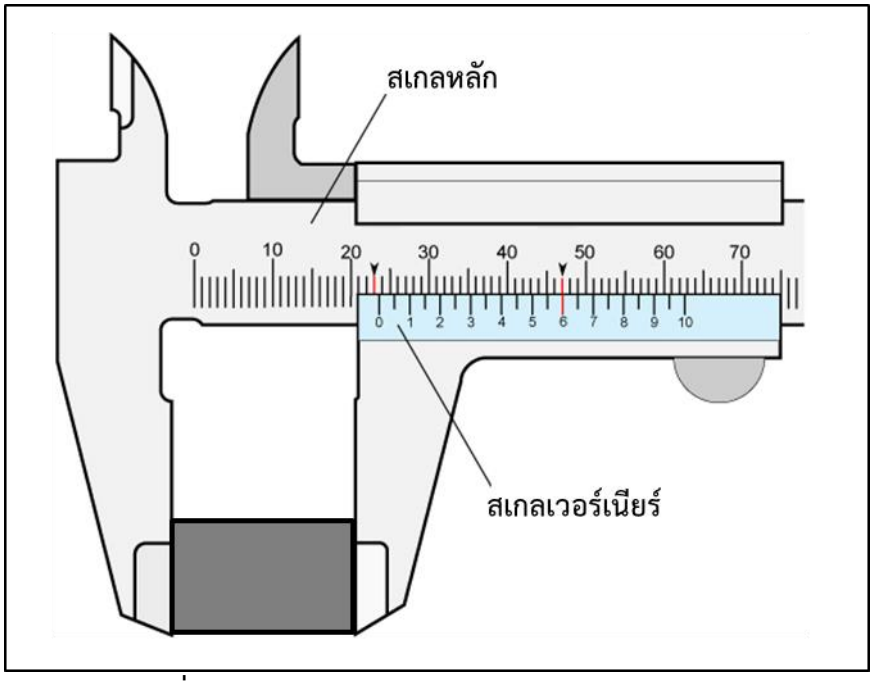
ก่อนทำการวัดด้วยเวอร์เนียคาลิปเปอร์ ผู้วัดต้องทราบค่าความละเอียด (Least Count; LC) ของสเกลเวอร์เนียร์ก่อน โดยปกติค่าความละเอียดจะระบุไว้ที่มุมขวาล่างใกล้กับตัวเลื่อนของสเกลเวอร์เนียร์ หรือสามารถหาได้จาก

$$Least\ \text{Count} = \frac{s}{n} \qquad (1.1)$$

เมื่อ s คือค่าความยาว 1 ช่องของสเกลหลัก และ n คือจำนวนช่องของสเกลเวอร์เนียร์ ค่าความละเอียดของเวอร์เนียร์คาลิปเปอร์จะถูกใช้เป็นค่าความผิดพลาดเมื่อผู้วัดทำการวัดเพียงครั้งเดียว

ขั้นตอนการวัดโดยใช้เวอร์เนียร์คาลิปเปอร์ มีดังนี้

1. เลื่อนปากวัดนอกของเวอร์เนียร์คาลิปเปอร์ให้ชิดกันพอดี ตรวจสอบว่าขีดศูนย์ของสเกลเวอร์เนียร์และสเกลหลักตรงกันหรือไม่ หากไม่ตรงให้พิจารณาความคลาดเคลื่อนศูนย์
2. เลื่อนปากวัดนอกขงเวอร์เนียร์ให้ชิดพอดีกับวัตถุที่ต้องการวัด
3. ล็อคสกรูล็อคให้เวอร์เนียร์อยู่กับที่
4. อ่านค่าบนสเกลทั้งสอง และบันทึกผล



รูปที่ 1.2 การอ่านค่าความยาวจากเวอร์เนียคาลิปเปอร์

จากรูปที่ 1.2 เวอร์เนียร์คาลิปเปอร์มีความยาว 1 ช่องของสเกลหลัก (s) เท่ากับ 1 mm และมีจำนวนช่องบนสเกลเวอร์เนียร์ (n) 20 ช่อง จึงมีค่าความละเอียดของเครื่องมือวัด(*Least Count; LC*) เท่ากับ $Least\ \text{Count} = \frac{s}{n} = \frac{1}{20}$ หรือ 0.05 mm

ขีดศูนย์ของสเกลเวอร์เนียร์อยู่ระหว่างขีดที่ 23 และ 24 ของสเกลหลัก แสดงว่าวัตถุมีความยาวมากกว่า 23 mm แต่น้อยกว่า 24 mm ค่าที่อ่านได้บนสเกลหลัก (*Main Scale Reading; MSR*) จึงเท่ากับ 23 mm ในที่นี้พบว่าขีดบนสเกลเวอร์เนียร์ที่ตรงกับขีดบนสเกลหลักคือขีดที่ 12 (ตรงกับเลข 6) ค่าที่อ่านได้บนสเกลเวอร์เนียร์ (*Vernier Scale Reading; VSR*) คือ 12×0.05 = 0.6 mm

ดังนั้นความยาวของวัตถุคือ 23+0.6 = 23.6 mm เนื่องจากเป็นการวัดเพียงครั้งเดียวจึงบันทึกผลเป็น ***ค่าที่วัดได้±ค่าความละเอียดสุดของเครื่องมือวัด*** คือ 23.6±0.05 mm ดังแสดงในตารางที่ 1.1

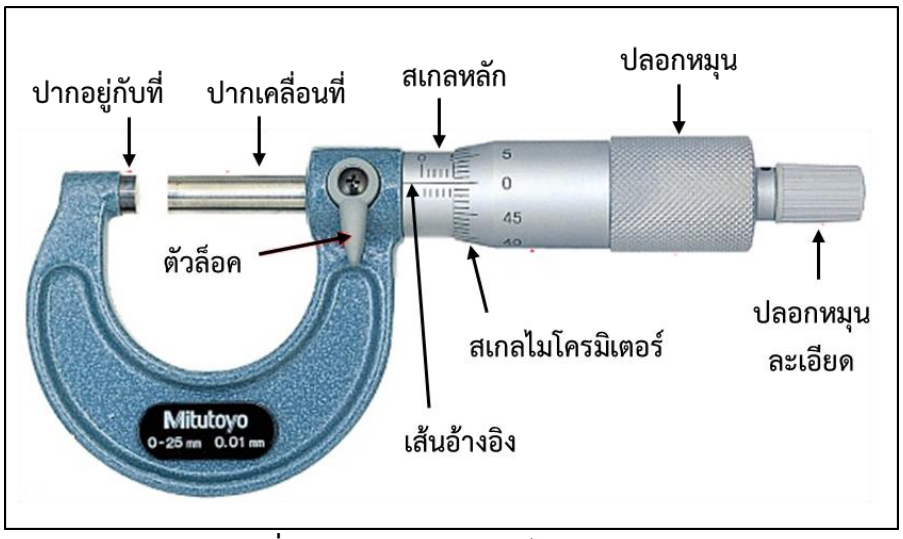
ตารางที่ 1.1 ตัวอย่างการบันทึกผลการวัดความยาวด้วยเวอร์เนียคาลิปเปอร์ จากการวัดพียงครั้งเดียว

ค่าความละเอียดของเวอร์เนียร์คาลิปเปอร์ (*Least Count, LC*) = ...*0.05*.... mm

ปริมาณที่ต้องการวัด	**ครั้งที่**	**ค่าที่อ่านได้จากสเกลหลัก, *MSR, (mm)***	**ขีดที่สเกลเวอร์เนียร์ตรงกับสเกลหลัก, *VSR***	***VSR× LC (mm)***	**ผลการวัด *MSR+ (VSR× LC) (mm)***	**ค่าความคลาดเคลื่อน *(mm)***
ความยาวของตัวอย่าง	1	23	12	0.6	23.60	$\pm$0.05

1.2 ไมโครมิเตอร์ (Micrometer)

ไมโครมิเตอร์เป็นเครื่องมือวัดที่เหมาะกับการวัดความหนาของวัตถุซึ่งมีค่าน้อยมาก ๆ เช่น ความหนาของเส้นผม ความหนาของกระดาษและเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นลวด ประกอบด้วยสเกลหลักและสเกลไมโครมิเตอร์ที่สามารถหมุนรอบสเกลหลักได้ ส่วนประกอบไมโครมิเตอร์ ได้แสดงไว้ในรูปที่ 1.3



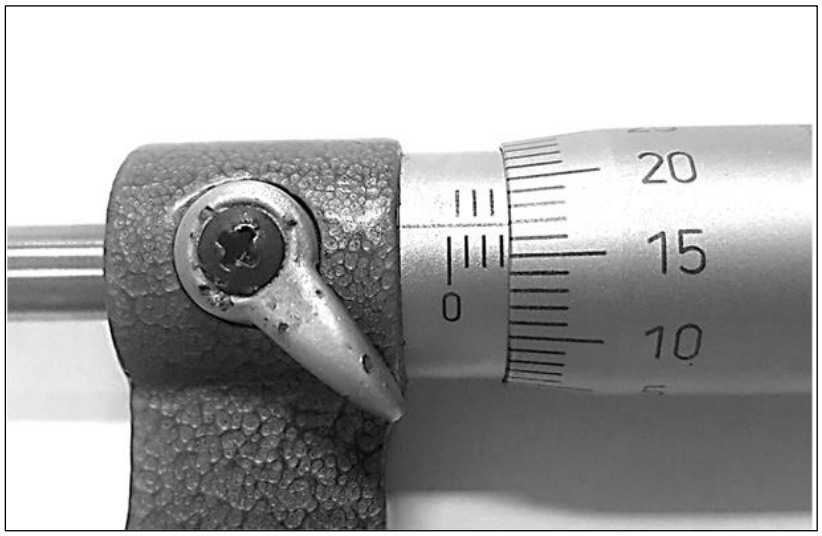
รูปที่ 1.3 ส่วนประกอบของไมโครมิเตอร์

สำหรับค่าความละเอียดของไมโครมิเตอร์ใช้หลักการเดียวกับเวอร์เนียร์คาลิปเปอร์เช่น ไมโครมิเตอร์มีค่า 1 พิตต์ (pitch) เท่ากับ 0.5 mm หมายความว่าเมื่อหมุนปลอกหมุน สเกลไมโครมิเตอร์จะหมุนไป 1 รอบ ได้ระยะทางเท่ากับ 0.5 mm บนสเกลหลัก จำนวนช่องบนสเกลไมโครมิเตอร์ที่หมุนไป 1 รอบ เท่ากับ 50 ช่อง ดังนั้นค่าความละเอียดของเครื่องมือวัด (*Least Count; LC*) หาได้จาก

$$Least\ \text{Count} = \frac{p}{n} = \frac{\text{ระยะ 1 พิตต์}}{\text{จำนวนช่องของสเกลไมโครมิเตอร์}} = \frac{0.5}{50} = 0.01\ mm$$

ขั้นตอนการวัดโดยใช้ไมโครมิเตอร์ มีดังนี้

1. นำวัตถุไปไว้ระหว่างปากวัดให้ด้านหนึ่งของวัตถุชิดกับปากอยู่กับที่
2. หมุนปลอกหมุนจนกระทั่งปากวัดเคลื่อนที่เกือบสัมผัสพอกับวัตถุ จากนั้นจึงเปลี่ยนมาหมุนปลอกหมุนละเอียดจนกระทั่งปากวัดเคลื่อนที่สัมผัสพอดีกับวัตถุ
3. เมื่อได้ยินเสียงดังกริ๊กเบาๆ บิดตัวล็อคไปซ้ายสุดแล้วจึงอ่านค่าที่ได้



รูปที่ 1.4 การอ่านค่าจากไมโครมิเตอร์

จากรูปที่ 1.4 ค่าที่อ่านได้บนสเกลหลัก (Main Scale Reading; MSR) คือ 3.0 mmการอ่านค่าบนสเกลไมโครมิเตอร์ให้อ่านค่าที่ตรงกับแนวเส้นอ้างอิง จากรูปเส้นอ้างอิงตรงกับขีดที่ 17 พอดี ทำให้ค่าที่อ่านได้บนสเกลไมโครมิเตอร์ (*Micro Scale Reading; MiSR*) คือ 17×0.01 = 0.17 mm

ดังนั้นความยาวของวัตถุคือ 3.00+0.17 = 3.17 mm เนื่องจากเป็นการวัดเพียงครั้งเดียวจึงมีความคลาดเคลื่อนเท่ากับ ±0.01 mm ดังแสดงในตารางที่ 1.2

ตารางที่ 1.2 ตัวอย่างการบันทึกผลการวัดความหนาด้วยไมโครมิเตอร์ จากการวัดพียงครั้งเดียว

ค่าความละเอียดของไมโครมิเตอร์ (*Least Count, LC*) = ...0.01..... mm

ปริมาณที่ต้องการวัด	**ครั้งที่**	**ค่าที่อ่านได้จากสเกลหลัก, *MSR, (mm)***	**ขีดที่สเกลไมโครมิเตอร์ตรงกับเส้นอ้างอิง, *MiSR,***	***MiSR× LC (mm)***	**ผลการวัด *MSR+ (MiSR× LC) (mm)***	**ค่าความคลาดเคลื่อน *(mm)***
ความหนาของตัวอย่าง	1	3.00	17	0.17	3.17	±0.01

1.2 วัตถุประสงค์การทดลอง

1.2.1 สามารถเลือกใช้เครื่องมือวัดได้อย่างเหมาะสม

1.2.2 เพื่อฝึกทักษะการวัดโดยใช้เวอร์เนียร์คาลิปเปอร์และไมโครมิเตอร์

1.2.3 สามารถคำนวณค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจากผลการวัดได้อย่างถูกต้อง

1.2.4 สามารถบันทึกข้อมูลโดยที่เกิดจากการวัดเพียงครั้งเดียวได้อย่างถูกต้อง

1.3 อุปกรณ์การทดลอง

1.3.1 เวอร์เนียร์คาลิปเปอร์	จำนวน	1	ชุด
1.3.2 ไมโครมิเตอร์	จำนวน	1	ชุด
1.3.3 ท่อ PVC	จำนวน	1	อัน
1.3.4 เส้นลวด	จำนวน	1	เส้น
1.3.5 กระดาษ A4	จำนวน	1	แผ่น
1.3.6 เหรียญบาท	จำนวน	1	เหรียญ

1.4 วิธีการทดลอง

ตอนที่ 1 ศึกษาการใช้เวอร์เนียร์คาลิปเปอร์ คำนวณค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

1. บันทึกค่าความละเอียดของเวอร์เนียร์คาลิปเปอร์ และบันทึกผล
2. วัดความยาวและเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของท่อ PVC ด้วยเวอร์เนียร์คาลิปเปอร์ (ดูข้อมูลสำหรับการทดลองหน้า 6)
3. วัดเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นลวดด้วยเวอร์เนียร์คาลิปเปอร์ จำนวน 3 ครั้ง (ดูข้อมูลสำหรับการทดลองหน้า 7)
4. คำนวณค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจากผลการวัดในข้อ 2 และ 3 บันทึกผล

ตอนที่ 2 ศึกษาการใช้ไมโครมิเตอร์ คำนวณค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

1. บันทึกค่าความละเอียดของไมโครมิเตอร์และบันทึกผล
2. วัดความหนาของกระดาษ A4 ด้วยไมโครมิเตอร์ จำนวน 3 ครั้ง (ดูข้อมูลสำหรับการทดลองหน้า 8)
3. วัดเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นลวดด้วยไมโครมิเตอร์ จำนวน 3 ครั้ง (ดูข้อมูลสำหรับการทดลองหน้า 9)
4. คำนวณค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจากผลการวัดในข้อ 2 และ 3 บันทึกผล

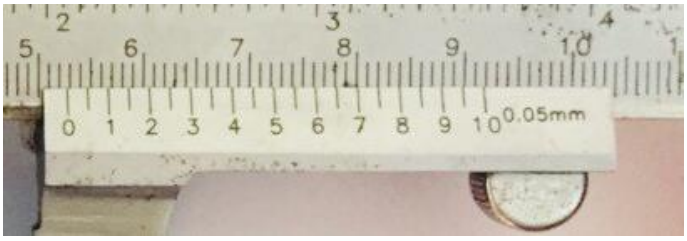
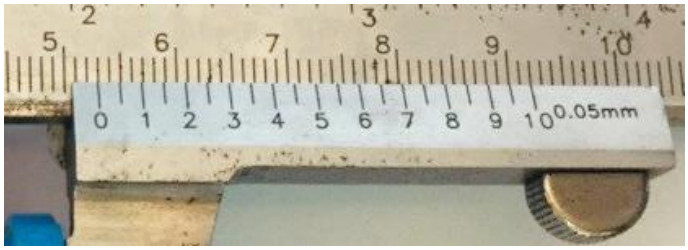
ตอนที่ 3 การบันทึกข้อมูลที่เกิดจากการวัดเพียงครั้งเดียว

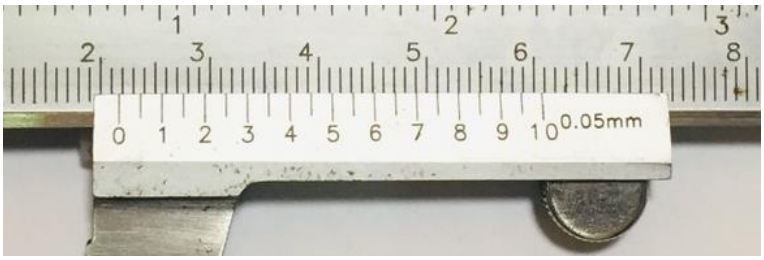
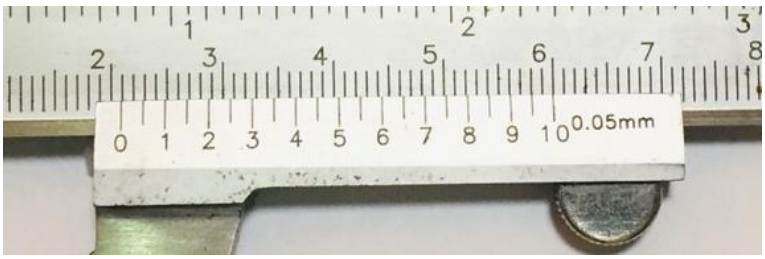
วัดเส้นผ่านศูนย์กลางของเหรียญบาทด้วยไม้บรรทัด เวอร์เนียร์คาลิปเปอร์ และไมโครมิเตอร์ แต่ละอุปกรณ์วัดเพียงครั้งเดียว บันทึกค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากการวัดเพียงครั้งเดียว

(ดูข้อมูลสำหรับการทดลองหน้า 10-11)

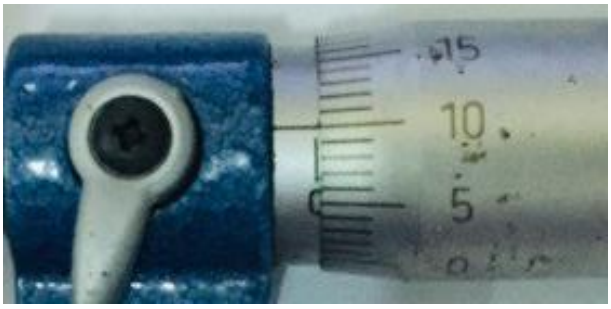
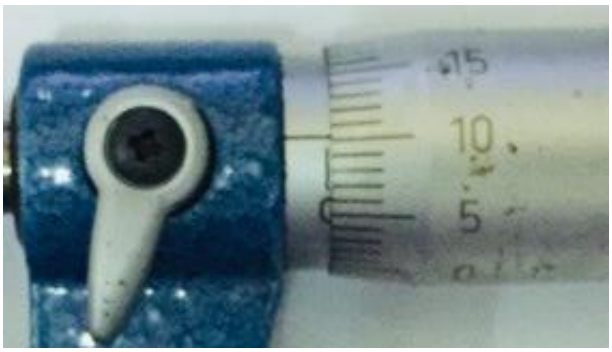
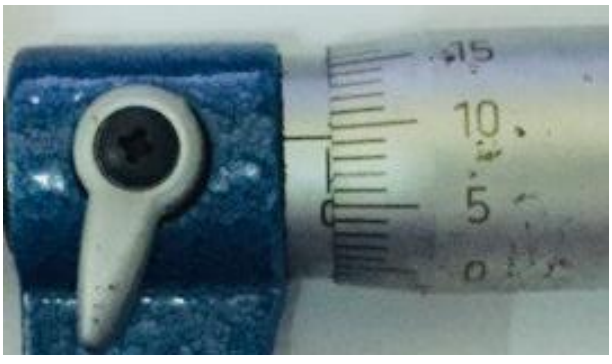
ข้อมูลสำหรับการทดลอง

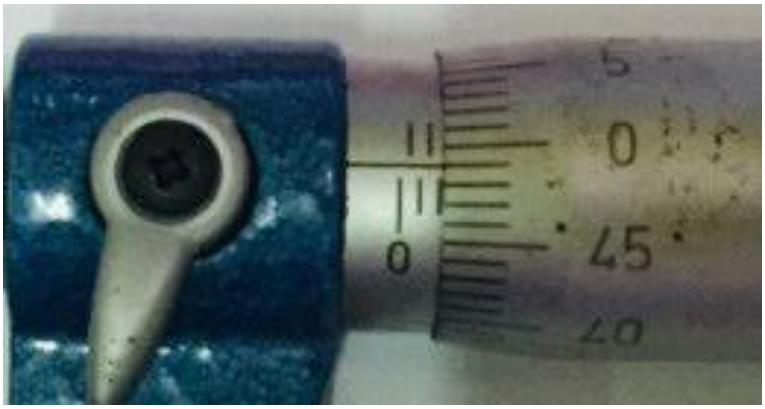
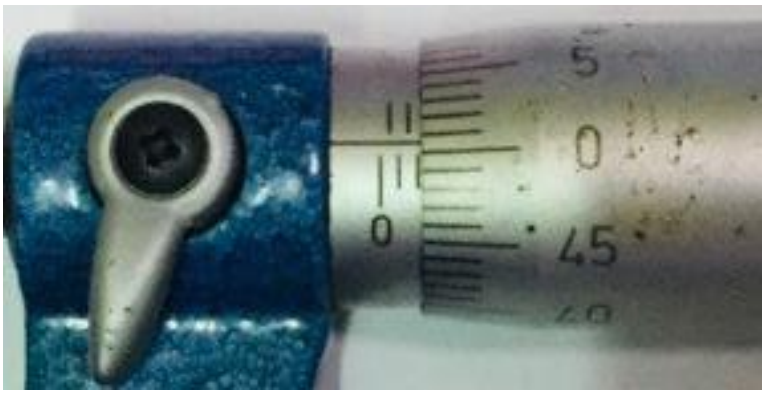
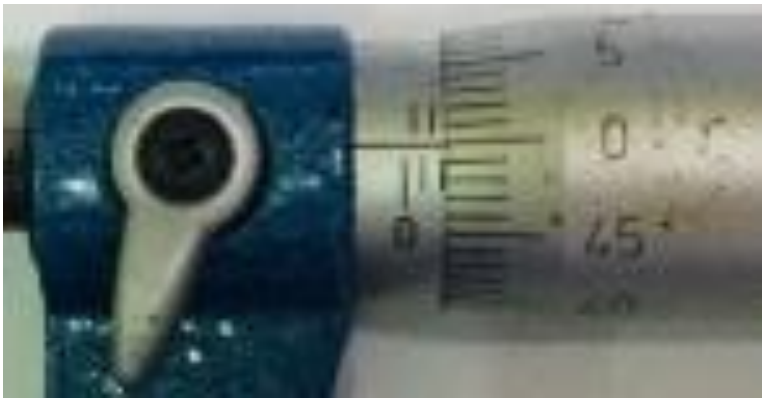
ตอนที่ 1 ศึกษาการใช้เวอร์เนียร์คาลิปเปอร์ การคำนวณค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ปริมาณที่ต้องการวัด	ครั้งที่	ภาพการวัด
ความยาวท่อ PVC	ตัวอย่างการวัด	
	1	
	2	
	3	

ปริมาณที่ต้องการวัด	**ครั้งที่**	**ภาพการวัด**
เส้นผ่านศูนย์กลางภายในท่อ PVC	ตัวอย่างการวัด	
	1	
	2	
	3	

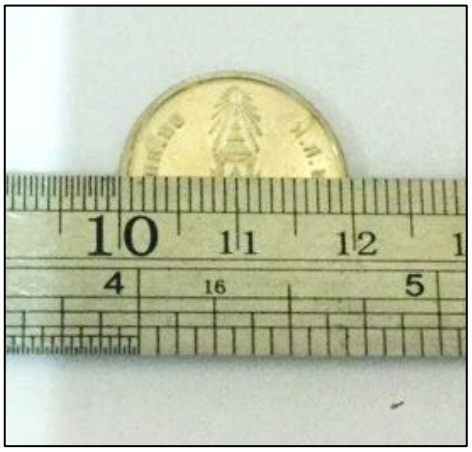
ตอนที่ 2 ศึกษาการใช้ไมโครมิเตอร์ การคำนวณค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ปริมาณที่ต้องการวัด	**ครั้งที่**	**ภาพการวัด**
ความหนาของกระดาษ A4	ตัวอย่างการวัด	
	1	
	2	
	3	

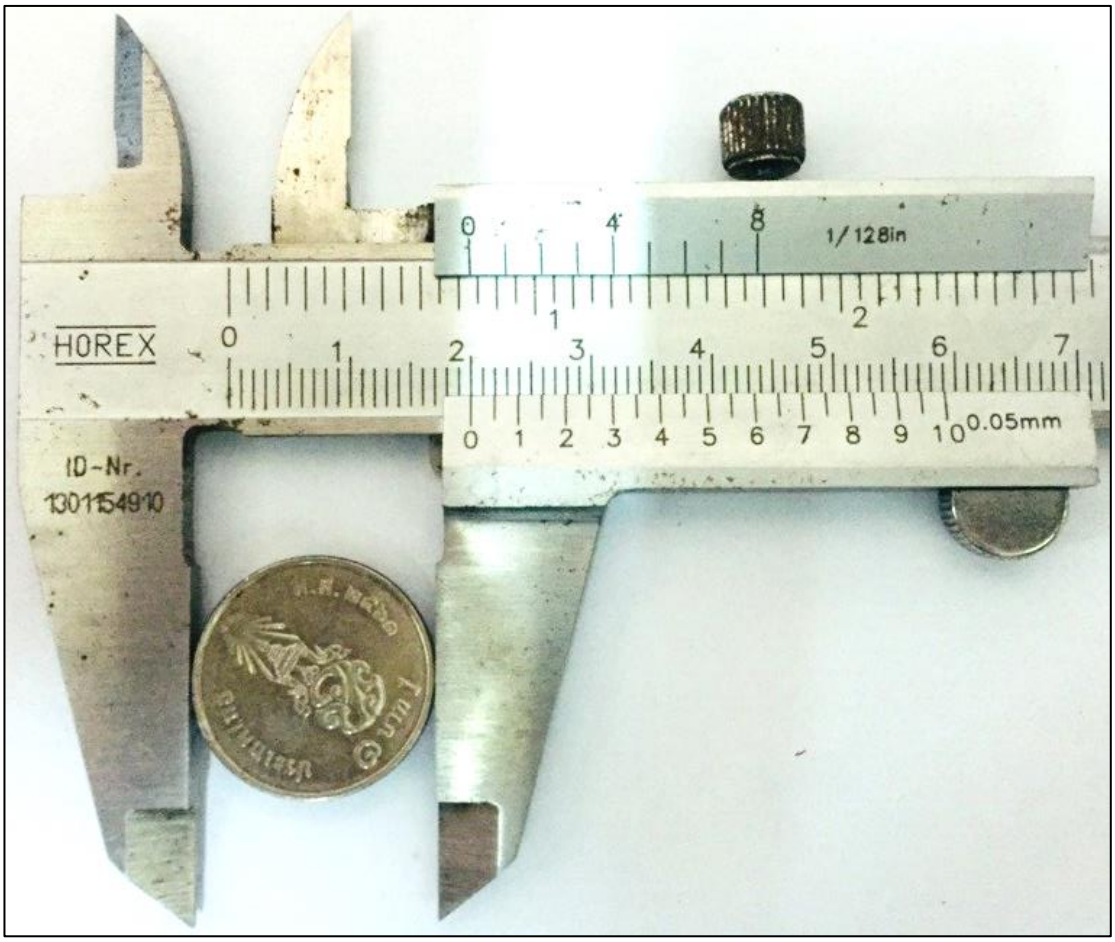
ปริมาณที่ต้องการวัด	**ครั้งที่**	**ภาพการวัด**
เส้นผ่านศูนย์กลางเส้นลวด	ตัวอย่างการวัด	
	1	
	2	
	3	

ตอนที่ 3 การบันทึกข้อมูลที่เกิดจากการวัดเพียงครั้งเดียว

ไม้บรรทัด



เวอร์เนียร์คาลิปเปอร์



ไมโครมิเตอร์

เอกสารอ้างอิง

1. ประธาน บุรณศิริ และคณะ. 2558. **ฟิสิกส์ 1.** เซนเกจ เลินนิ่ง-ไชน่า จำกัด, กรุงเทพฯ. แปลจาก Raymond A. Serway & John W. Jewett, Jr. **Physics for Scientists and Engineers with Modern Physics**. Thomson-Brooks/Cole, USA.
2. ชาติชาย ไวยสุรสิงห์. 2553. บทที่ 2 ทฤษฎีการวัดและความคลาดเคลื่อน. **SlideShare**. แหล่งที่มา:https://www.slideshare.net/Chattichai/2-2-4736513 , 8 กรกฎาคม 2560.
3. เปรมฤทัย น้อยหมื่นไวย. 2560. **การวัด การสร้างเครื่องมือวิจัยและการตรวจสอบคุณภาพเครื่องมือ.** โครงการฝึกอบรม “สร้างนักวิจัยรุ่นใหม่ (ลูกไก่) รุ่นที่ 1. มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช. กรุงเทพฯ.(อัดสำเนา)
4. Lucasbosch (pseud.) .2555. File : Vernier Caliper 150mm. svg . **Wikimedia Commons**.แหล่งที่มา: https:/ / upload.wikimedia.org/ wikipedia/ commons/ 9/ 9d/ Vernier_Caliper_150mm.svg, 8 กรกฎาคม 2560.
5. Measuring instruments. 2560. How to read a vernier caliper. **Measuring-Tools. biz**. แหล่งที่มา : http:/ / www.measuring-tools.biz/ measuring-instruments/ read-a-verniercaliper.html, 8 กรกฎาคม 2560.
6. High-resolution.6vh.info. 2558. The micrometer screw gauge. **Micrometer screw gauge diagram**. แหล่งที่มา: https://high-resolution.6vh.info/files/images/micrometer-screwgauge-diagram.html, 8 กรกฎาคม 2560.
7. Anonymous. 2560. How To Read A Micrometer Screw Gauge. **Mini Physics**. แหล่งที่มา : https://www.miniphysics.com/how-to-read-a-micrometer-screw-gauge.html, 9 กรกฎาคม2560.

การทดลองที่ 2
เรื่อง การเขียนกราฟและการวิเคราะห์ข้อมูลจากกราฟ

2.1 ทฤษฎี

การนำเสนอข้อมูลทางฟิสิกส์ สามารถทำได้ด้วยวิธีการที่หลากหลาย เช่น การเขียนอธิบาย การแสดงค่าในตาราง การเขียนสมการและการเขียนกราฟ การเขียนกราฟเป็นวิธีที่ดีที่สุดวิธีหนึ่งที่ทำให้มองเห็นความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ 2 ปริมาณ ได้อย่างชัดเจน ไม่ว่าปริมาณเหล่านั้นจะเป็นสัดส่วนกันโดยตรง เป็นส่วนกลับของกันและกัน หรือไม่มีความสัมพันธ์กันเลยก็ตาม

เรานำเสนอข้อมูลในรูปกราฟ เพื่อการติดตาม ตรวจสอบผลการทดลอง วิเคราะห์ผลการทดลอง เช่น การหาสมการของกราฟและลักษณะเด่นของข้อมูล เปรียบเทียบค่าที่ได้จากการทดลองกับค่าในทางทฤษฎี ได้ความสัมพันธ์เชิงประจักษ์ และเป็นการแสดงความน่าเชื่อถือของข้อมูล

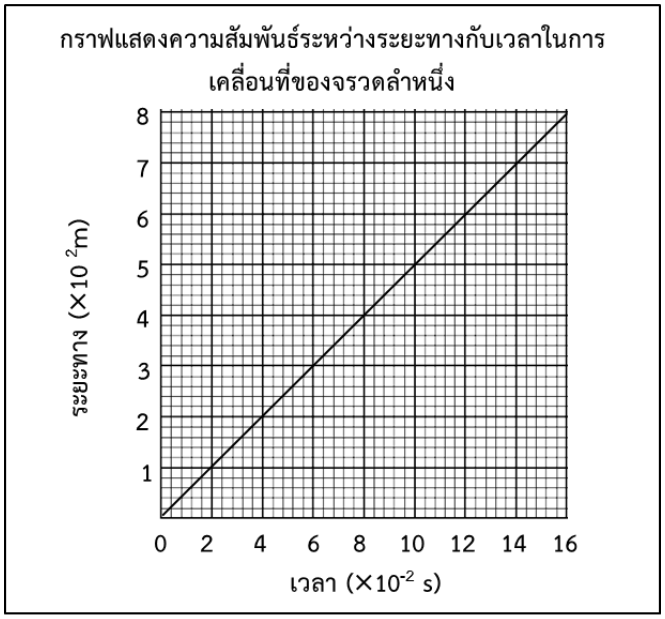
2.1.1 การเขียนกราฟ

การเขียนกราฟต้องประกอบด้วย

- **ชื่อเรื่อง**

ชื่อกราฟควรจะสั้นและเข้าใจง่าย โดยทั่วไปจะระบุความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณบนแกน y กับปริมาณบนแกน x เช่น “กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง*ระยะทาง*กับ*เวลา*ในการเคลื่อนที่ของจรวดลำหนึ่ง” หรือ “*ระยะทาง*ในการเคลื่อนที่ของจรวดเป็นฟังก์ชันของ*เวลา*”

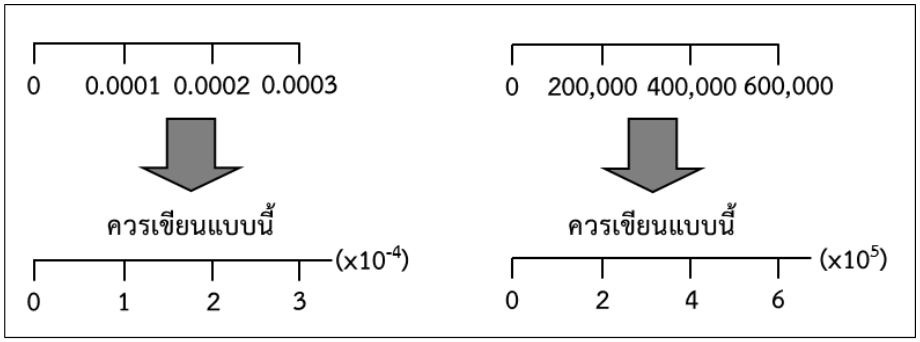
ในที่นี้ *เวลา*อยู่บนแกน x เนื่องจากเวลาเป็นปริมาณตั้งต้น หรือปริมาณอิสระ จึงเรียกว่า “ตัวแปรอิสระ (Independent variable)” และให้*ระยะทาง*ซึ่งเปลี่ยนแปลงตามเวลา (ระยะทางขึ้นกับเวลา) อยู่บนแกน y และเรียกว่า “ตัวแปรตาม (Dependent variable)” ดังแสดงในรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 การเขียนชื่อกราฟโดยระบุความสัมพันธ์ระหว่างแปรตามและตัวแปรอิสระ

- **รายละเอียดบนแกน x และ y**

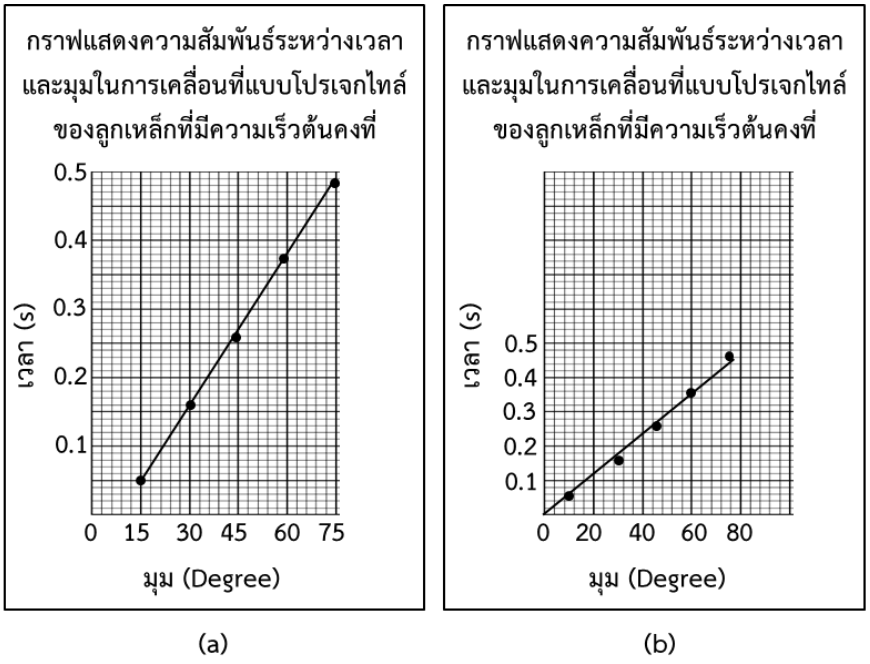
เขียนชื่อของตัวแปรอิสระและตัวแปรตามไว้บนแกน x และ y ตามลำดับพร้อมทั้งเขียนหน่วยของแต่ละตัวแปรไว้ภายในวงเล็บ เพื่อให้ผู้อ่านเข้าใจได้ชัดเจน ในกรณีที่ปริมาณบนแกน x และ y มีค่ามาก เช่น 1,00,000 30,000 และ5,000 หรือมีค่าน้อยมาก ๆ เช่น 0.000001 0.00005 และ 0.0002 ให้เขียนตัวเลขเป็นจำนวนเท่าแล้วคูณด้วยเลขสิบยกกำลังกำกับไว้บนแกน x และ y ดังแสดงในรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 การเขียนปริมาณบนแกนของกราฟในรูปสิบยกกำลัง

- **การกำหนดมาตราส่วนที่เหมาะสม**

การเขียนข้อมูลลงบนกราฟ ควรใช้พื้นที่อย่างน้อย 75% ของกระดาษกราฟ โดยเริ่มจากมองหาข้อมูลที่มีค่ามากสุดที่ต้องลงบนแกน x และ y ก่อน จากนั้นจึงนับจำนวนช่องบนแกน x และ y แล้วคำนวณเพื่อกำหนดมาตราส่วนที่เหมาะสมในแต่ละแกน โดยมาตราส่วนในแต่ละแกนไม่จำเป็นต้องเท่ากัน ตัวอย่างการกำหนดมาตราส่วนที่เหมาะสมและไม่เหมาะสมได้แสดงไว้ในรูปที่ 2.3



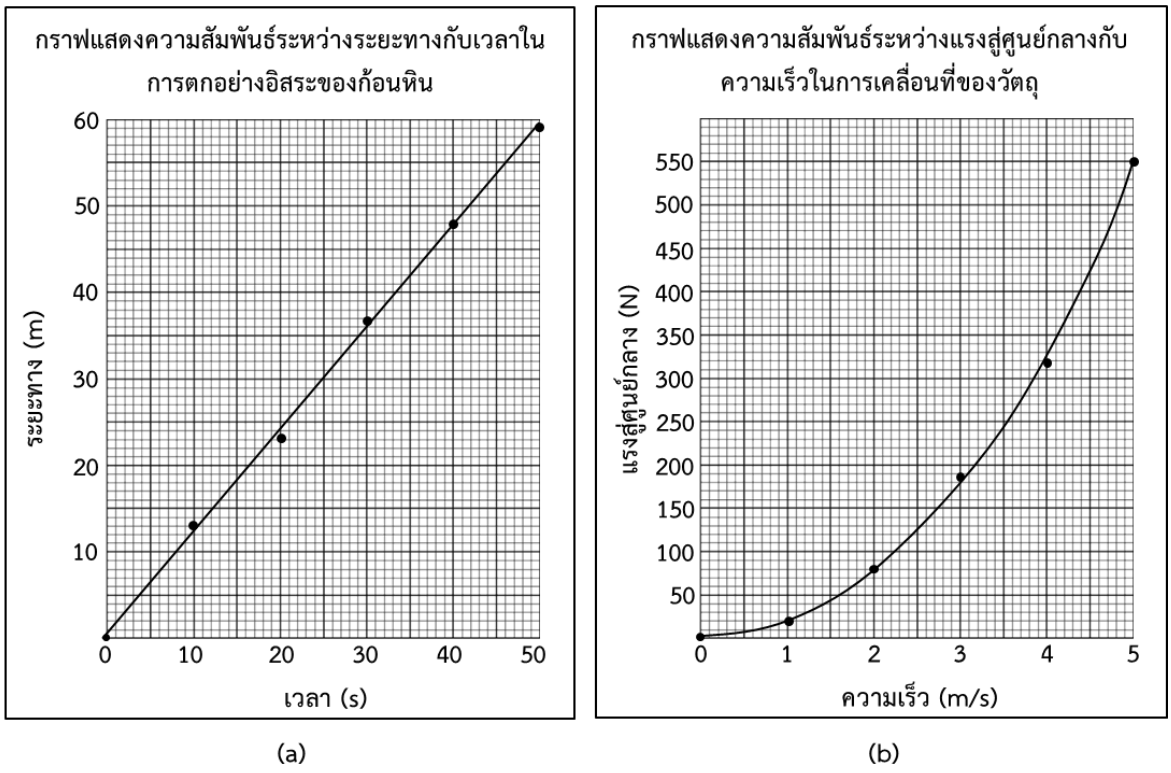
รูปที่ 2.3 การกำหนดมาตราส่วนที่ (a) เหมาะสม และ (b) ไม่เหมาะสม ในการเขียนกราฟ

- **การเขียนจุดข้อมูลลงบนกราฟ**

การเขียนข้อมูลลงบนกราฟควรอยู่ในรูปของวงกลมทึบขนาดเล็ก (●) ที่สามารถมองเห็นได้ชัดเจน เรียก “จุดข้อมูล” ตำแหน่งที่ลงจุดข้อมูลต้องตรงกับข้อมูลจริง หากจำเป็นต้องประมาณค่าควรประมาณค่าให้ใกล้เคียงกับข้อมูลจริงมากที่สุด ดังแสดงในรูปที่ 2.3 (a)

- **เส้นกราฟ**

ในการเขียนกราฟไม่ควรลากเส้นเชื่อมแต่ละจุดข้อมูล ควรเขียนเส้นกราฟให้สม่ำเสมอและผ่านจุดข้อมูลมากที่สุด โดยให้มีจำนวนจุดข้อมูลที่อยู่เหนือเส้นกราฟเท่ากับจำนวนจุดข้อมูลที่อยู่ใต้เส้นกราฟ วิธีนี้จะทำให้ได้เส้นกราฟที่เกิดจากการลากเฉลี่ย และเป็นเส้นกราฟที่ดี (Best fit line) ในกรณีที่จุดข้อมูลเรียงตัวในแนวโค้ง ให้เขียนเส้นกราฟเฉลี่ยในแนวโค้งเช่นเดียวกับกรณีของกราฟเส้นตรง ดังแสดงในรูปที่ 2.4 (a) และ 2.4 (b)



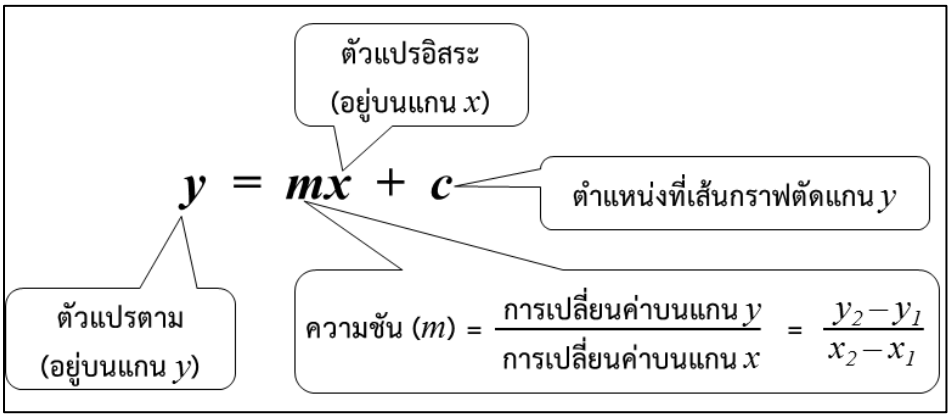
รูปที่ 2.4 ลักษณะของกราฟที่ดี (Best fit line) ในกรณีที่เป็น
(a) กราฟเชิงเส้น และ (b) กราฟแบบไม่เป็นเชิงเส้น

1.1.2 การวิเคราะห์ข้อมูลจากกราฟ

เราสามารถอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร 2 ตัวแปรได้จากการเขียนกราฟ วิธีแรกคือการอธิบายความสัมพันธ์ทั่วไป ที่สังเกตได้ระหว่างตัวแปรทั้งสอง วิธีที่สอง คือ การอธิบายโดยใช้รูปแบบความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ ที่เรียกว่าสมการของกราฟเชิงเส้น

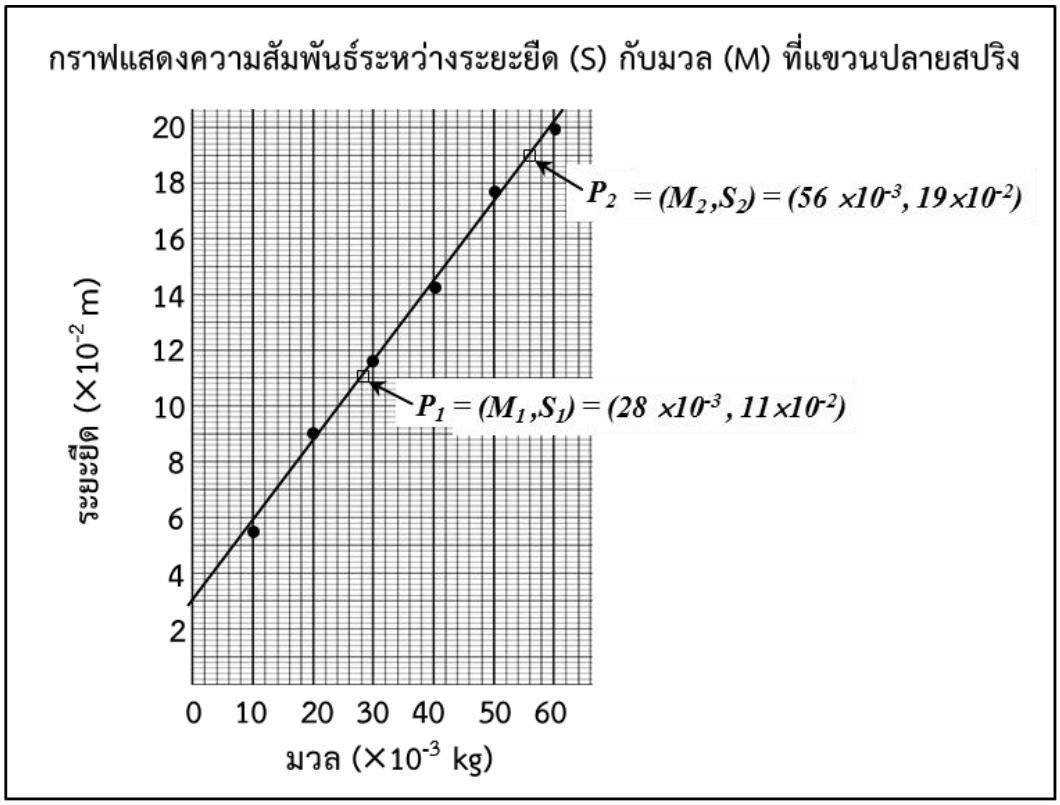
การหาสมการของกราฟเชิงเส้นใน 2 ตัวแปร

สมการเชิงเส้น (สมการของกราฟเส้นตรง) ที่แสดงความสำพันธ์ระหว่างตัวแปร 2 ตัวแปร นิยมเขียนในรูปของ



จะเห็นได้ว่าเราจำเป็นต้องทราบค่าความชัน (m) และตำแหน่งที่เส้นกราฟตัดแกน y (c) ของกราฟเสียก่อน จึงจะเขียนสมการของกราฟเชิงเส้นได้ ขั้นตอนการหา m และ c ได้แสดงไว้อย่างละเอียดในตัวอย่างที่ 1.1

<u>ตัวอย่างที่ 2.1</u> จงหาสมการเชิงเส้นของกราฟที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะยืดของสปริง (S) กับมวล (M) ที่แขวนปลายสปริง



วิธีคิด จากสมการของกราฟเชิงเส้น $y = mx + c$

- หาความชัน (m) โดย

① หาตำแหน่ง 2 ตำแหน่งที่อยู่บนเส้นกราฟ (*ไม่ใช่จุดข้อมูล) ซึ่งสามารถอ่านค่าได้โดยตรงไม่ต้องประมาณ ในที่นี้

ให้ตำแหน่งที่ 1 คือ *P1* มีพิกัด (M_1 , S_1) = (28×10^{-3} , 11×10^{-2})

ให้ตำแหน่งที่ 2 คือ *P2* มีพิกัด (M_2 , S_2) = (56×10^{-3} , 19×10^{-2})

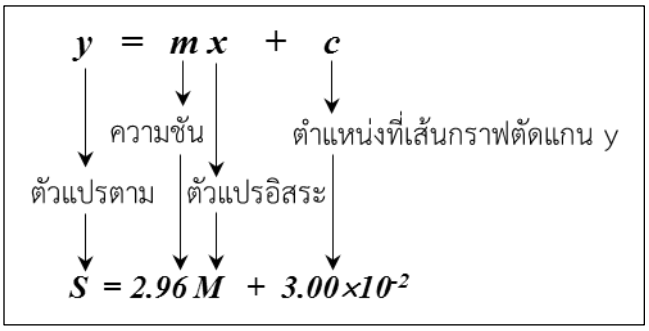
② คำนวณความชันจาก $m = \dfrac{S_2 - S_1}{M_2 - M_1}$

$$m = \frac{\left(19\times10^{-2}\right) - \left(11\times10^{-2}\right)}{\left(56\times10^{-3}\right) - \left(28\times10^{-3}\right)}$$

$$m = 2.86 \ m/kg$$

③ หาตำแหน่งที่เส้นกราฟตัดแกน y (c) ในที่นี้อ่านค่าได้ $c = 3.00\times10^{-2} \ m$

④ แทนค่า m และ c ลงในสมการของกราฟเชิงเส้น



ดังนั้น สมการเชิงเส้นของกราฟที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะยืดของสปริง (S) กับมวล (M) ที่แขวนปลายสปริง คือ $S = 2.86M + \left(3\times10^{-2}\right)$

2.1.3 การเขียนกราฟจากสมการของกราฟเชิงเส้น

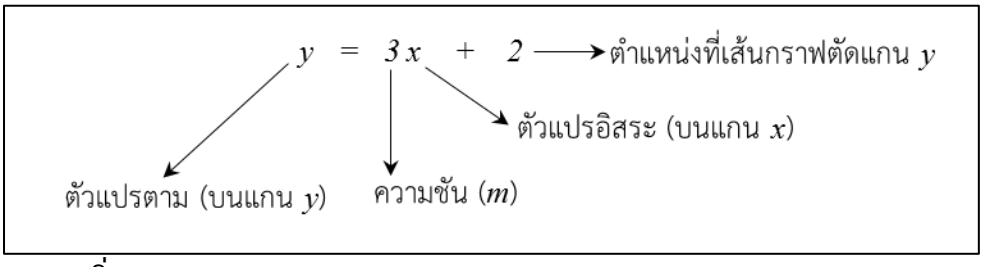
ในหัวข้อ 1.1.2 การเขียนกราฟทำให้เราสามารถหาสมการของกราฟได้ ในทางกลับกันหากเรารู้สมการของกราฟก็สามารถเขียนกราฟได้เช่นกัน ดังแสดงไว้ในตัวอย่างที่ 1.2

<u>ตัวอย่างที่ 2.2</u> จงเขียนกราฟจากสมการของกราฟเชิงเส้นต่อไปนี้

$(a)\ y=3x+2$ และ $(b)\ V=-0.5D+30$

$(a)\ y=3x+2$

<u>วิธีคิด</u>



การเขียนกราฟเริ่มจาก

① สมมุติค่า x ซึ่งเป็นตัวแปรอิสระอย่างน้อย 5 ค่า แล้วแทนค่าเหล่านั้นลงในสมการ $y=3x+2$ เพื่อหาค่า y ซึ่งจะเปลี่ยนตาม x เช่น

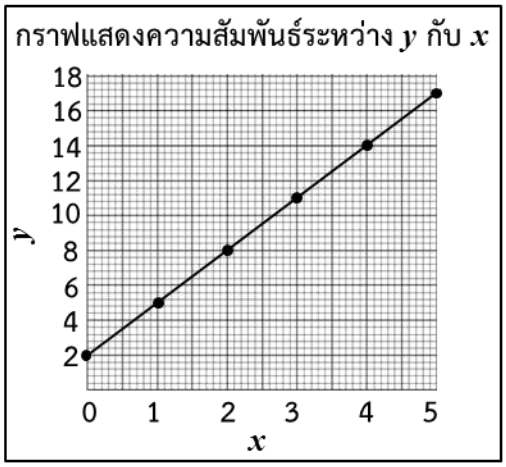
$x=0\ ;\ y=3(0)+2=2$

$x=1\ ;\ y=3(1)+2\ =5$

$x=2\ ;\ y=3(2)+2=8$

② ลงจุดข้อมูล (x,y) แต่ละคู่บนกระดาษกราฟและลากเส้นกราฟเฉลี่ย (Best fit line)

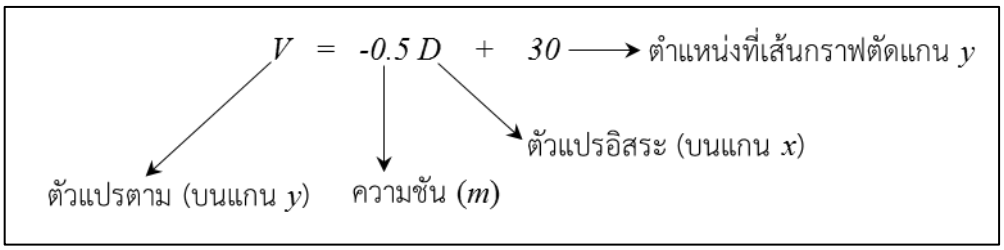
x	y
0	2
1	2
2	8
3	11
4	14
5	17



พบว่ากราฟที่ได้มีความสัมพันธ์แบบเชิงเส้น คือ เมื่อ x เพิ่มขึ้น y จะเพิ่มเป็นสัดส่วนโดยตรงกับ x

$(b)\ \ V=-0.5D+30$

<u>วิธีคิด</u>



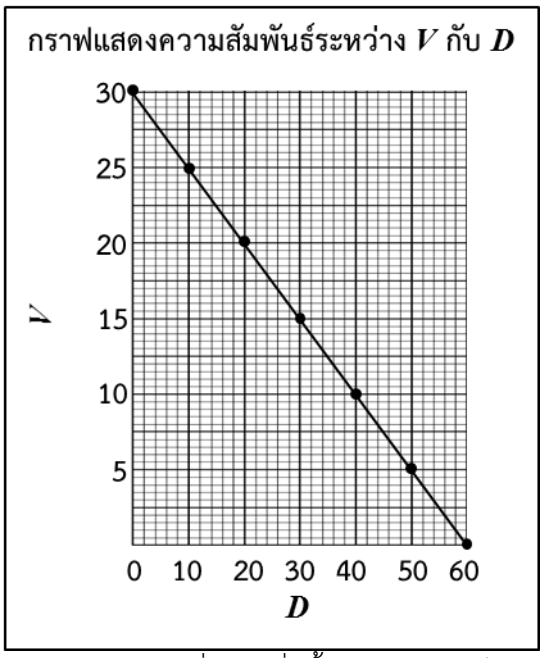
การเขียนกราฟเริ่มจาก

① สมมุติค่า *x* ซึ่งเป็นตัวแปรอิสระอย่างน้อย 5 ค่า แล้วแทนค่าเหล่านั้นลงในสมการ $V=-0.5D+30$ เพื่อหาค่า *V* ซึ่งจะเปลี่ยนตาม *D* เช่น

$$D=0\ \ ;\ V=-0.5(0)\ +30\ =30$$
$$D=10\ ;\ V=-0.5(10)+30\ =25$$
$$D=20\ ;\ V=-0.5(20)+30\ =20$$

② ลงจุดข้อมูล (D,V) แต่ละคู่บนกระดาษกราฟและลากเส้นกราฟเฉลี่ย (Best fit line)

D	*V*
0	30
10	25
20	20
30	15
40	10
50	5
60	0

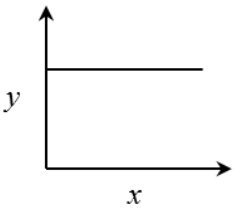
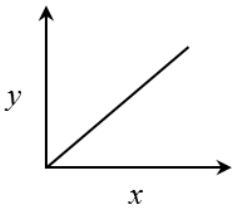
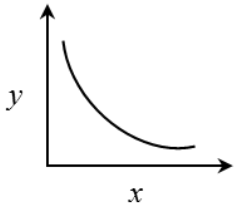
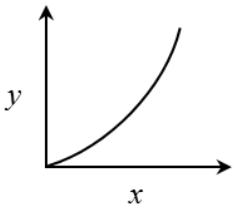
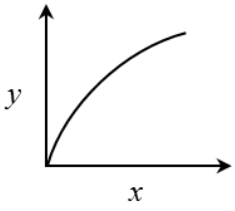


พบว่ากราฟที่ได้มีความสัมพันธ์แบบเชิงเส้น คือเมื่อ *D* เพิ่มขึ้น *V* จะลดลงเป็นสัดส่วนโดยตรงกับ *D* ทำให้ความชันของกราฟ (*m*) เป็นลบ

2.1.4 ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรกับชนิดของกราฟ

รูปร่างที่มีแตกต่างกันของกราฟแสดงถึงความสัมพันธ์ที่แตกต่างกันระหว่างตัวแปรอิสระและตัวแปรตาม เราสามารถแบ่งความสัมพันธ์พื้นฐานระหว่างตัวแปรได้ 4 แบบ ดังแสดงในตารางที่ 2.1

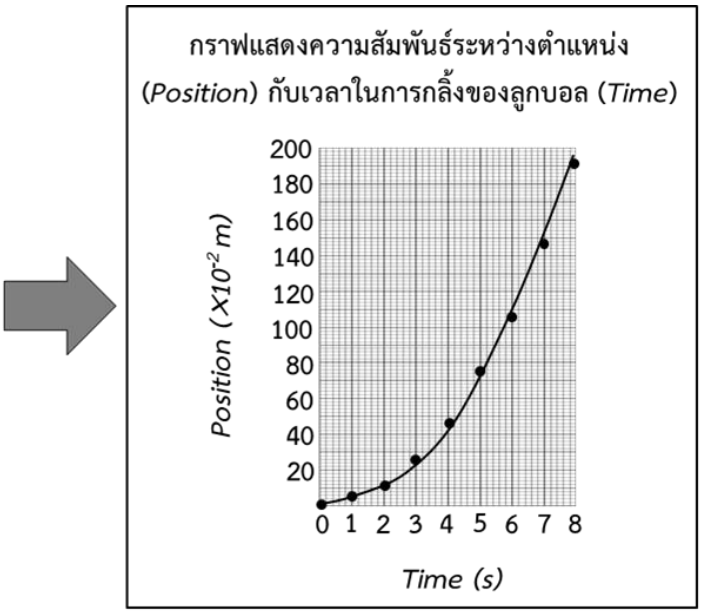
ตารางที่ 2.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระและตัวแปรตามของกราฟแบบต่าง ๆ

แบบที่	รูปร่างของกราฟ	ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต้นและตัวแปรตาม	วิธีการแปลงเป็นกราฟเส้นตรง	สมการเชิงเส้นของกราฟ
1		ไม่มีความสัมพันธ์กัน (No relation) เมื่อ x เพิ่ม y มีค่าคงที่ จึงไม่มีความสัมพันธ์กันระหว่างตัวแปรทั้งสอง	-	$y = c$ หรือ y เป็นค่าคงที่
2		มีความสัมพันธ์เชิงเส้น (Linear relation) เมื่อ x เพิ่ม y เพิ่มเป็นสัดส่วนโดยตรงกับ x	-	$y = mx+c$
3		มีความสัมพันธ์แบบผกผัน (Inverse proportion) เมื่อ x เพิ่ม y ลดลงเป็นสัดส่วนผกผันกับ x	เขียนกราฟระหว่าง y กับ $1/x$	$y = m(1/x)+c$
4		มีความสัมพันธ์แบบพาราโบลา (Parabolic relation) y เพิ่มเป็นสัดส่วนกับรากที่สองของ x	เขียนกราฟระหว่าง y กับ x^2	$y = mx^2 +c$
		มีความสัมพันธ์แบบพาราโบลา (Parabolic relation) รากที่สองของ y เป็นสัดส่วนกับ x	เขียนกราฟระหว่าง y^2 กับ x	$y^2 = mx+c$

จากตารางที่ 2.1 กราฟแบบที่ 3 และ 4 มีลักษณะเป็นเส้นโค้ง เรียกว่า “กราฟแบบไม่เป็นเชิงเส้น” ซึ่งไม่สามารถหาค่าความชันของกราฟ (m) ได้ จำเป็นต้องแปลงให้เป็นกราฟเชิงเส้นโดยใช้วิธีการตามที่ระบุไว้ในตาราง จึงจะสามารถหาค่า m, c และสมการของกราฟได้ ดังแสดงในตัวอย่างที่ 2.3

<u>ตัวอย่างที่ 2.3</u> จงหาสมการเชิงเส้นของกราฟที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่ง (Position) กับเวลาในการกลิ้งของลูกบอล (Time)

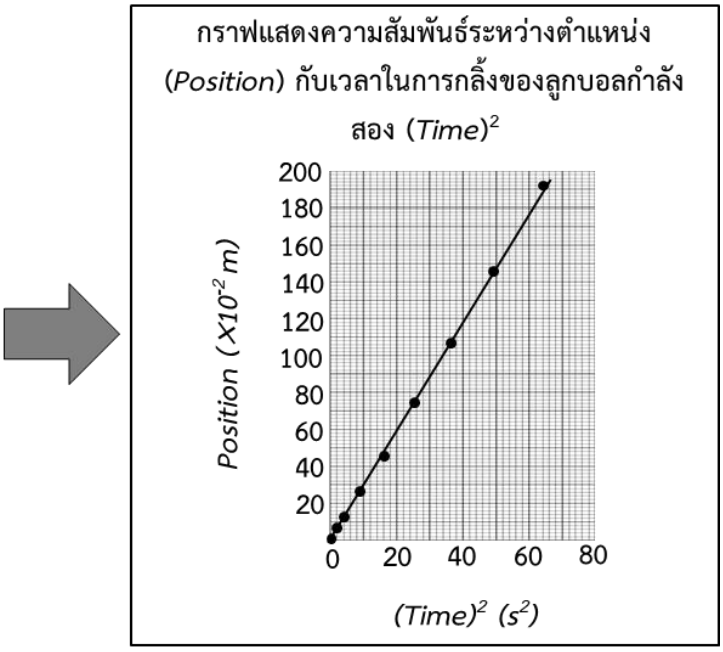
Time (s)	***Position ($\times 10^{-2}$ m)***
0	0.0
1	3.1
2	12.2
3	27.0
4	47.9
5	75.2
6	108.3
7	146.8
8	192.1



<u>วิธีคิด</u>

จากตารางที่ 2.1 ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระคือเวลา (*Time*) และตัวแปรตามคือตำแหน่ง (*Position*) เป็นแบบพาราโบลา ทำให้ตำแหน่งในการกลิ้งของลูกบอลเพิ่มเป็นสัดส่วนกับรากที่สองของเวลาเราสามารถแปลงกราฟพาราโบลาเป็นกราฟเชิงเส้นได้โดยการลงจุดข้อมูลระหว่าง *Position* กับ $Time^2$ (เทียบกับตารางที่ 1.1 คือ y กับ x^2) เมื่อคำนวณค่า $Time^2$ และนำไปเขียนกราฟ จะได้ผลดังนี้

$(Time)^2$ (s^2)	***Position ($\times 10^{-2}$ m)***
0	0.0
1	3.1
4	12.2
9	27.0
16	47.9
25	75.2
36	108.3
49	146.8
81	192.1



เห็นได้ว่ากราฟระหว่าง *Position* กับ $Time^2$ มีความสัมพันธ์แบบเชิงเส้นเรียบร้อยแล้ว ทำให้สามารถหาความหาค่าความชัน (m) ตำแหน่งที่เส้นกราฟตัดแกน y (c) และสมการเชิงเส้นได้ โดยใช้วิธีการเดียวกันกับตัวอย่างที่ 2.1

2.2 วัตถุประสงค์การทดลอง

1.2.1 นิสิตสามารถเขียนกราฟจากข้อมูลการทดลองได้

1.2.2 นิสิตสามารถวิเคราะห์ข้อมูลและเขียนสมการเชิงเส้นจากกราฟได้

1.2.3 นิสิตสามารถเขียนกราฟจากสมการเชิงเส้นได้

2.3 อุปกรณ์การทดลอง

1.3.1 ไม้บรรทัด	จำนวน	1	อัน
1.3.2 ดินสอ 2 B	จำนวน	1	แท่ง
1.3.3 ยางลบ	จำนวน	1	แท่ง
1.3.4 เครื่องคิดเลข	จำนวน	1	เครื่อง
1.3.5 กระดาษกราฟ	จำนวน	3	แผ่น

2.4 วิธีการทดลอง

ตารางที่ 2.2

Distance (km)	Cost (Baht)
1	37
2	72
3	107
4	142
5	177
6	212
7	247

ตารางที่ 2.3

Time ($x10^2$ s)	Distance ($x10^3$ m)
0	0.0
3	3.5
6	7.6
9	11.7
12	15.3
15	19.0

ตารางที่ 2.4

Mass (kg)	Acceleration (m/s^2)
1	20.2
2	9.8
3	6.8
4	5.0
5	3.9
6	3.4

ตอนที่ 1 การเขียนกราฟเส้นตรง

1. รถแท็กซี่คันหนึ่งคิดอัตราค่าโดยสาร ดังแสดงในตารางที่ 2.2 จงใช้ข้อมูลในตารางเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าโดยสาร (*Coast*) กับระยะทาง (*Distance*) ในการใช้บริการ แล้วหาสมการเชิงเส้นของกราฟ
2. จงใช้ข้อมูลในตารางที่ 2.3 เขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะทาง (*Distance*) กับเวลา (*Time*) ในการวิ่งของม้าตัวหนึ่ง แล้วหาสมการเชิงเส้นของกราฟ

ตอนที่ 2 ชนิดของกราฟและการแปลงกราฟ

1. จงใช้ข้อมูลในตารางที่ 2.4 เขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร่ง (Acceleration) กับมวล (Mass) ของวัตถุเมื่อแรงที่กระทำมีค่าคงที่
2. สังเกตลักษณะของกราฟที่ได้ หากกราฟที่ได้เป็น “กราฟแบบไม่เป็นเชิงเส้น” ให้แปลงเป็นกราฟเชิงเส้นโดยใช้วิธีการตามที่ระบุไว้ในตาราง 2.1 แล้วหาสมการเชิงเส้นของกราฟ

ตอนที่ 3 การเขียนกราฟจากสมการของกราฟเชิงเส้น

จงเขียนกราฟจากสมการของกราฟเชิงเส้นต่อไปนี้

1. $y = 2x$
2. $M = \frac{2}{3}K - 2$
3. $S = -T + 5$

เอกสารอ้างอิง

1. ชะเอม สายทอง. 2544. **ทฤษฎีกราฟ**. โอเดียนสโตร์, กรุงเทพฯ.
2. ณรงค์ ปั้นนิ่ม. 2548. **ทฤษฎีกราฟ = Graph theory**. ภูมิบัณฑิต, กรุงเทพฯ.
3. สุชีพ งามเจริญ. 2556. **คณิตคิดเร็วทีละเรื่อง -- ทฤษฎีกราฟเบื้องต้น**. ธรรมบัณฑิต, นนทบุรี.
4. ทนงศักดิ์ อัศวชัยสุวิกรม. 2553. **ทฤษฎีกราฟเบื้องต้น**. บ้านบัณฑิต, กรุงเทพฯ.
5. วรานุช แขมมณี. 2559. **ทฤษฎีกราฟเบื้องต้น = Introduction to graph theory**. สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.

การทดลองที่ 3
เรื่อง สมดุลแรง

3.1 ทฤษฎี

3.1.1 แรง (Force)

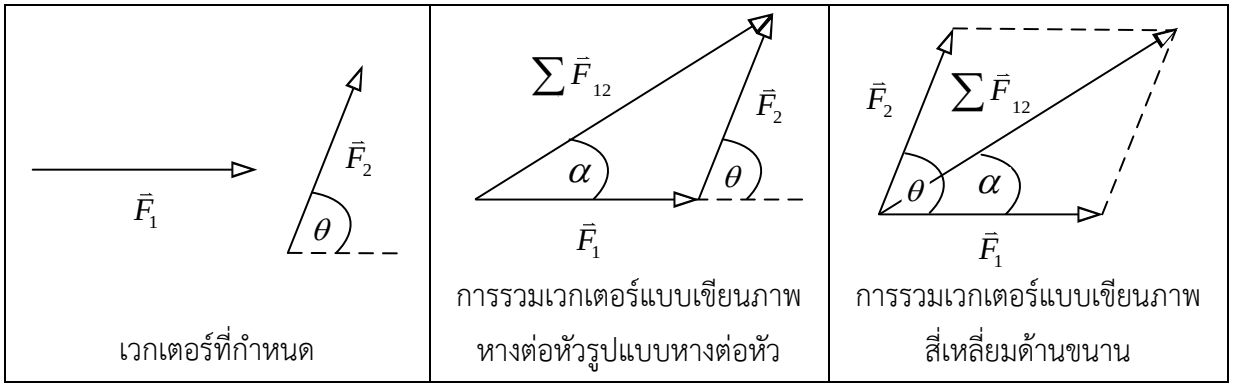
แรง (Force) เป็นปริมาณเวกเตอร์ (Vector) ต้องบอกทั้งขนาดและทิศทางจึงจะสามารถเข้าใจได้อย่างชัดเจน ดังนั้นการกระทำการใด ๆ ในทางคณิตศาสตร์ต่อแรงจึงแตกต่างจากพีชคณิตปกติ

- การรวมเวกเตอร์

การรวมเวกเตอร์โดยการเขียนภาพ

การรวมเวกเตอร์โดยวิธีการเขียนภาพสามารถทำได้ด้วยการเขียนรูปแบบหางต่อหัว หรือ การเขียนรูปสี่เหลี่ยมด้านขนาน ดังรูปที่ 3.1 ซึ่งแสดงเวกเตอร์ลัพธ์ ($\sum \vec{F}_{12}$) จากการรวมกันของ $\vec{F}_1$ และ $\vec{F}_2$ โดยสามารถเขียนเป็นความสัมพันธ์ได้ ว่า

$$\sum \vec{F}_{12} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 \tag{3.1}$$



เวกเตอร์ที่กำหนด | การรวมเวกเตอร์แบบเขียนภาพหางต่อหัวรูปแบบหางต่อหัว | การรวมเวกเตอร์แบบเขียนภาพสี่เหลี่ยมด้านขนาน

(ก) (ข) (ค)

รูปที่ 3.1 การรวมกันของ $\vec{F}_1$ และ $\vec{F}_2$ โดยวิธีการเขียนภาพ

การรวมเวกเตอร์โดยการคำนวณ

<u>- การรวมเวกเตอร์ 2 เวกเตอร์</u>

เมื่อมีเวกเตอร์ 2 เวกเตอร์ทำมุมต่อกันที่จุด ๆ หนึ่ง สามารถหาเวกเตอร์ลัพธ์ได้โดยใช้กฎการรวมเวกเตอร์แบบรูปสี่เหลี่ยมด้านขนาน ดังรูปที่ 3.1 (ค) โดยขนาดของเวกเตอร์ลัพธ์ ($\sum \vec{F}_{12}$) หาได้จากสมการที่ (3.2)

$$\sum F_{12} = \sqrt{F_1^2 + F_2^2 + 2F_1F_2\cos\theta} \tag{3.2}$$

ขนาดของเวกเตอร์ลัพธ์ (α) หาได้จากสมการที่ (3.3)

$$\alpha = \tan^{-1}\frac{F_2\sin\theta}{\left(F_1 + F_2\cos\theta\right)} \tag{3.3}$$

เมื่อ $\sum F_{12}$ คือ ขนาดของเวกเตอร์ลัพธ์ของเวกเตอร์ 2 เวกเตอร์

F_1 คือ ขนาดของ $\vec{F}_1$

F_2 คือ ขนาดของ $\vec{F}_2$

θ คือ มุมระหว่าง $\vec{F}_1$ กับ $\vec{F}_2$

α คือ มุมของเวกเตอร์ลัพธ์ (มุมระหว่าง $\vec{F}$ กับ $\vec{F}_1$)

- การรวมเวกเตอร์ตั้งแต่ 2 เวกเตอร์ขึ้นไป

การรวมเวกเตอร์ตั้งแต่ 2 เวกเตอร์ขึ้นไปโดยวิธีการคำนวณทำได้โดยใช้หลักการแยกองค์ประกอบของเวกเตอร์ ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้

1. เขียนทุกเวกเตอร์ลงในระบบพิกัด xy

2. แยกองค์ประกอบของทุกเวกเตอร์ให้อยู่ในแนวแกน x และแกน y ตามสมการ (3.4)

$$\begin{aligned} F_x &= F\cos\theta \\ F_y &= F\sin\theta \end{aligned} \qquad (3.4)$$

3. รวมเวกเตอร์องค์ประกอบในแต่ละแกน ($\sum \vec{F}_x$ และ $\sum \vec{F}_y$) ตามสมการ (3.5)

$$\begin{aligned} \sum \vec{F}_x &= \vec{F}_{1x} + \vec{F}_{2x} + \vec{F}_{3x} + \ldots + \vec{F}_{nx} \\ \sum \vec{F}_y &= \vec{F}_{1y} + \vec{F}_{2y} + \vec{F}_{3y} + \ldots + \vec{F}_{ny} \end{aligned} \qquad (3.5)$$

เมื่อจำนวนแรงในแนวแกน x และแกน y มีค่าตั้งแต่ 1 ถึง n

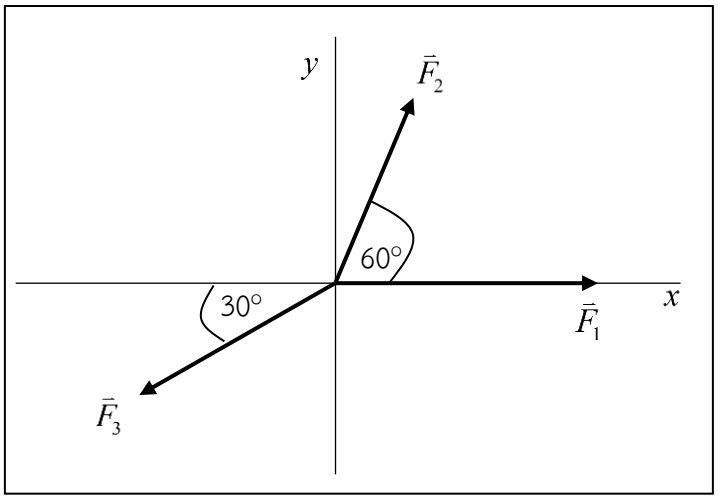
4. หาขนาดของเวกเตอร์ลัพธ์ ($\sum F$) ตามสมการ (3.6)

$$\sum F = \sqrt{\sum F_x^2 + \sum F_y^2} \qquad (3.6)$$

5. หาทิศของเวกเตอร์ลัพธ์ ตามสมการ (3.7)

$$\alpha = \tan^{-1}\left(\frac{\sum F_y}{\sum F_x}\right) \qquad (3.7)$$

ตัวอย่างที่ 1 กำหนดให้แรง $\vec{F}_1$, $\vec{F}_2$ และ $\vec{F}_3$ มีขนาด 5 N, 3 N และ 4 N ตามลำดับ และมีทิศทางดังรูปที่ 3.3 จงหาขนาดและทิศทางของเวกเตอร์ลัพธ์ ($\sum \vec{F}$) จาก $\sum \vec{F} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_3$



วิธีทำ

- แยกองค์ประกอบของทุกเวกเตอร์ให้อยู่ในแนวแกน x และ y (สมการ 3.4)

$F_x = F\cos\theta$	$F_y = F\sin\theta$
$F_{1x} = F_1\cos\theta_1$	$F_{1y} = F_1\sin\theta_1$
=.....	=.....
=.....	=.....
$F_{2x} = F_2\cos\theta_2$	$F_{2y} = F_2\sin\theta_2$
=.....	=.....
=.....	=.....
$F_{3x} = F_3\cos\theta_3$	$F_{3y} = F_3\sin\theta_3$
=.....	=.....
=.....	=.....

- รวมเวกเตอร์องค์ประกอบในแต่ละแกน ($\sum \vec{F}_x$ และ $\sum \vec{F}_y$) (สมการ 3.5)

$$\sum \vec{F}_x = \vec{F}_{1x} + \vec{F}_{2x} + \vec{F}_{3x} = \ldots\ldots\ldots = \ldots\ldots\ldots$$
$$\sum \vec{F}_y = \vec{F}_{1y} + \vec{F}_{2y} + \vec{F}_{3y} = \ldots\ldots\ldots = \ldots\ldots\ldots$$

- หาขนาดของเวกเตอร์ลัพธ์ ($\sum F$) (สมการ 3.6)

$$\sum F = \sqrt{\sum F_x^2 + \sum F_y^2} = \ldots\ldots\ldots = \ldots\ldots\ldots$$

- หาทิศของเวกเตอร์ลัพธ์ (สมการ 3.7)

$$\alpha = \tan^{-1}\left(\frac{\sum \vec{F}_y}{\sum \vec{F}_x}\right) = \text{.....} = \text{.....}$$

3.1.2 สภาพสมดุล (Equilibrium)

สภาพสมดุล (Equilibrium) คือ สภาพที่วัตถุอยู่นิ่งหรือเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงตัว ซึ่งสอดคล้องกับกฎข้อที่ 1 ของนิวตันที่กล่าวว่า “วัตถุหยุดนิ่งหรือเคลื่อนที่เชิงเส้นด้วยความเร็วคงที่ เมื่อผลรวมของแรงที่กระทำต่อวัตถุมีค่าเท่ากับศูนย์”

$$\sum \vec{F} = 0 \tag{3.8}$$

เมื่อพิจารณาแรงที่กระทำต่อวัตถุในระบบพิกัด xy จะได้ว่า

$$\sum \vec{F} = \sum \vec{F}_x + \sum \vec{F}_y \tag{3.9}$$

ดังนั้นหากวัตถุอยู่ในสภาวะสมดุลผลรวมของแรงในแต่ละแกนจะมีค่าเป็นศูนย์

$$\sum \vec{F}_x = 0 \quad , \quad \sum \vec{F}_y = 0 \tag{3.10}$$

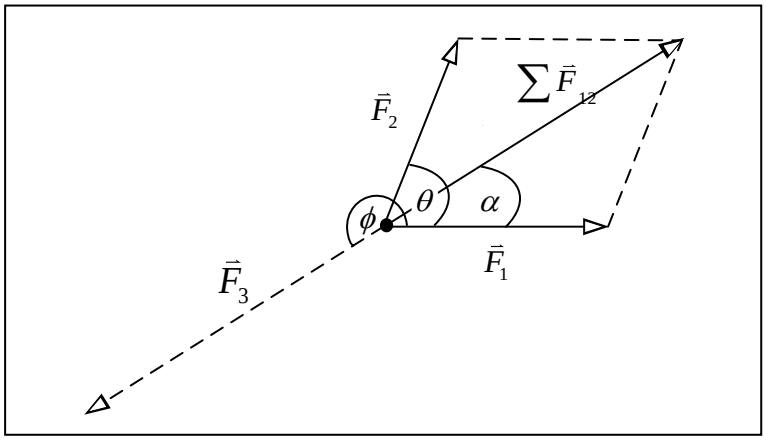
ถ้าแรงลัพธ์ที่กระทำต่อวัตถุไม่เป็นศูนย์ ตัวอย่างเช่น มีแรงสองแรง ($\vec{F}_1$ และ $\vec{F}_2$) กระทำต่อวัตถุโดยทำมุม (θ) ซึ่งกันและกัน จะได้แรงลัพธ์ ($\sum \vec{F}_{12}$) ดังรูปที่ 3.2 ซึ่งสามารถหาขนาดและทิศทางของแรงลัพธ์ได้ตามวิธีการที่กล่าวมา หากต้องการให้วัตถุอยู่ในสภาวะสมดุลต้องหาแรงอีกแรงหนึ่งที่มีขนาดเท่ากับแรงลัพธ์แต่มีทิศทางตรงกันข้ามกับแรงลัพธ์นั้นมากระทำกับวัตถุ แรงนี้เรียกว่า “**แรงกู้**” (Anti-Resultant force) ($\vec{F}_3$) ดังนั้นขนาดของแรงกู้จึงหาได้โดยวิธีเดียวกับการหาแรงลัพธ์ จากสมการที่ (3.2) และ (3.6)

เขียนสมการใหม่ได้ว่า

$$F_3 = \sqrt{F_1^2 + F_2^2 + 2F_1F_2\cos\theta} \tag{3.11}$$

และ

$$F_3 = \sqrt{\sum F_x^2 + \sum F_y^2} \tag{3.12}$$

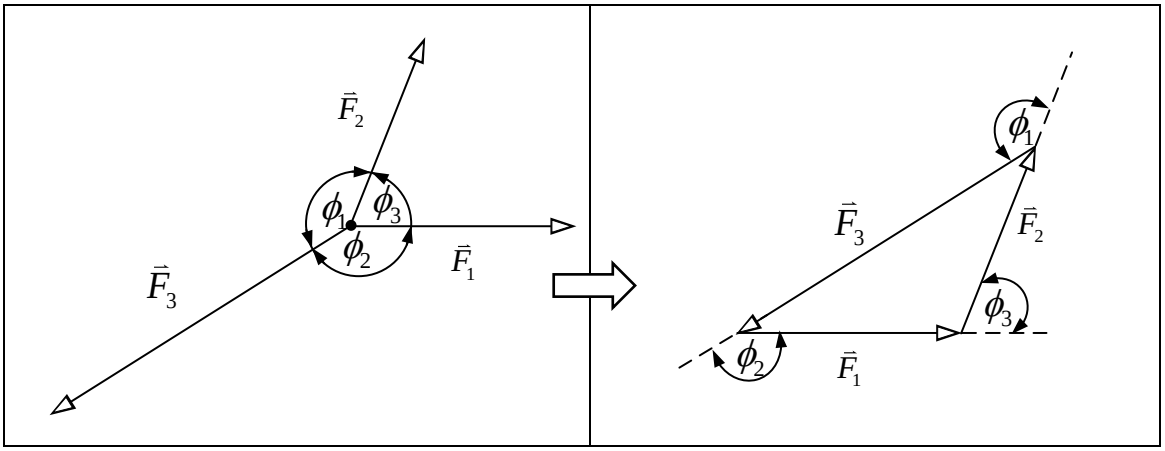


รูปที่ 3.2 แรงกู้ ($\vec{F}_3$) มีขนาดเท่ากับแรงลัพธ์ ($\sum \vec{F}$) แต่มีทิศทางตรงกันข้าม

เนื่องจากทิศของแรงกู้ (ϕ) ตรงกันข้ามกับทิศของแรงลัพธ์ (α) ดังนั้นการหาทิศของแรงกู้ทำได้โดยการหาทิศของแรงลัพธ์ตามสมการที่ (3.3) หรือ (3.7) แล้วนำบวก 180 องศา จึงจะได้ทิศของแรงกู้

$$\phi = \alpha + 180 \tag{3.13}$$

ถ้า ϕ_1, ϕ_2 และ ϕ_3 เป็นมุมตรงข้ามของแรง $\vec{F}_1$, $\vec{F}_2$ และ $\vec{F}_3$ ตามลำดับ เมื่อวัตถุที่ถูกกระทำโดยแรงดังกล่าวอยู่ในสภาวะสมดุล แรงดังกล่าวจะเขียนเป็นรูปสามเหลี่ยมปิดพอดี ดังรูปที่ 3.3 (ข)



(ก) สมดุลของแรง 3 แรง (ข) รูปสามเหลี่ยมปิดพอดีจากสมดุลของแรง 3 แรง

รูปที่ 3.3 วัตถุอยู่ในสภาวะสมดุลจากแรง 3 แรง จะเขียนเป็นรูปสามเหลี่ยมปิดพอดี

จากรูปที่ 3.3 (ก) เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างทั้งสามพบว่า แรงใดแรงหนึ่งมีขนาดเท่ากับแรงลัพธ์ของแรงอีกสองแรงที่เหลือ แต่มีทิศตรงข้ามกัน นั่นคือ ขนาดของแรง $\vec{F}_3$ **(แรงกู้)** มีความสัมพันธ์กับขนาดของแรง $\vec{F}_1$ และ $\vec{F}_2$ คือ

$$F_3 = \sqrt{F_1^2 + F_2^2 + 2F_1F_2\cos\phi_3} \qquad (3.14)$$

เมื่อ ϕ_3 เป็นมุมระหว่าง $\vec{F}_1$ และ $\vec{F}_2$ จะเห็นว่าสมการที่ (3.14) สอดคล้องกับสมการที่ (3.11) เนื่องจาก $\theta = \phi_3$ และ จากกฎของไซน์ จะได้ว่า

$$\frac{F_1}{\sin\phi_1} = \frac{F_2}{\sin\phi_2} = \frac{F_3}{\sin\phi_3} \qquad (3.15)$$

3.2 วัตถุประสงค์

3.2.1 สามารถคำนวณหาขนาดและทิศทางของแรงลัพธ์ได้

3.2.2 สามารถคำนวณหาขนาดและทิศทางของแรงกู้ได้

3.2.3 เข้าใจหลักการสมดุลของแรง

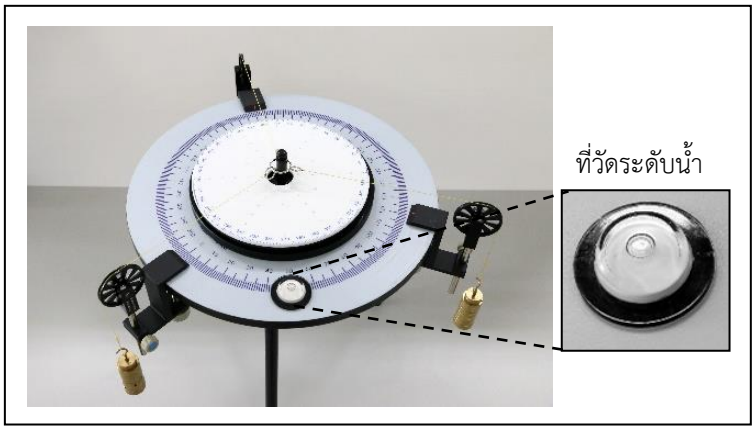
3.3 วัสดุและอุปกรณ์การทดลอง

3.3.1 โต๊ะแรง	จำนวน	1	ชุด
3.3.2 ขาตั้ง	จำนวน	3	ขา
3.3.3 ชุดรอก	จำนวน	4	อัน
3.3.4 ที่วัดระดับน้ำ	จำนวน	1	อัน
3.3.5 Center column	จำนวน	1	อัน
3.3.6 วงแหวนผูกเส้นด้าย	จำนวน	1	อัน
3.3.7 เชือก	จำนวน	1	ชุด
3.3.8 มวล	จำนวน	1	กล่อง
3.3.9 ตะขอสำหรับแขวนมวล (หนัก 50 g)	จำนวน	4	อัน

3.4 วิธีทำการทดลอง

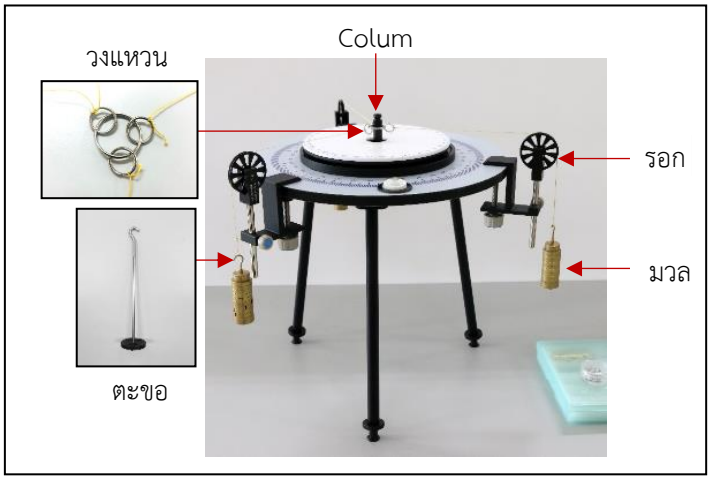
ตอนที่ 1 สมดุลของแรง 3 แรง

1. ปรับโต๊ะแรงให้อยู่ในแนวระดับโดยใช้ระดับน้ำช่วยในการตั้งระนาบ ดังรูปที่ 3.4



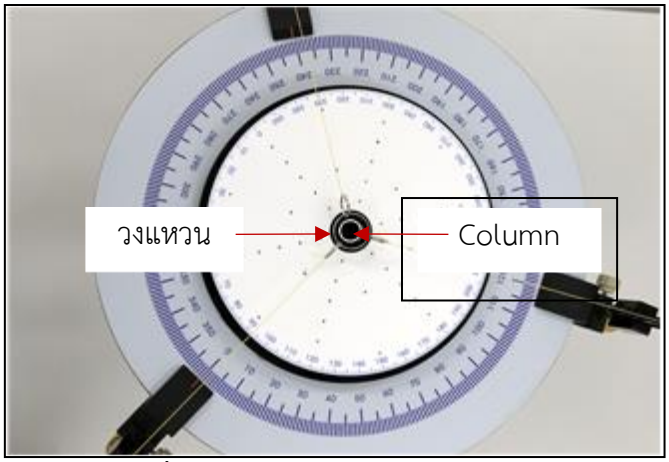
รูปที่ 3.4 ปรับโต๊ะแรงในแนวระดับโดยใช้ที่วัดระดับน้ำ

2. ติดตั้งรอก 3 ตัว เข้าที่มุมของโต๊ะแรง โดยรอกตัวที่ 1 ตรงกับมุม 0 องศา กำหนดเป็นตำแหน่งของแรง $\vec{F}_1$, รอกตัวที่ 2 ตรงกับมุม 90 องศา กำหนดเป็นตำแหน่งของแรง $\vec{F}_2$ และรอกตัวที่ 3 ไม่กำหนดมุม จากนั้นวางวงแหวนลงบน Column ผูกเส้นด้ายเข้ากับวงแหวนแล้วคล้องผ่านรอกทั้ง 3 ตัว แล้วแขวนมวล 150 g และ 100 g ที่รอกตัวที่ 1 และ 2 ตามลำดับ ดังตัวอย่างรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 ตัวอย่างการแขวนมวล

3. แขวนมวลที่รอกตัวที่ 3 กำหนดให้เป็นแรง $\vec{F}_3$ โดยปรับมวลและมุม เพื่อให้แรงทั้ง 3 แรง สมดุล (สังเกตจาก Column ต้องอยู่ตรงกลางวงแหวน) ดังตัวอย่างรูปที่ 3.6
4. บันทึกมวลและมุมของแรงทั้ง 3 แรงลงในตารางที่ 1
5. ทำการทดลองซ้ำข้อ 2-4 โดยการเปลี่ยนตำแหน่งของแรง $\vec{F}_1$ และ $\vec{F}_2$ และเปลี่ยนมวลที่แขวน ณ ตำแหน่งของแรง $\vec{F}_1$ และ $\vec{F}_2$ ตามที่กำหนดในตารางที่ 2 และ 3 จากนั้น บันทึกมวลและมุมของแรงทั้ง 3 แรงลงในตารางที่ 2 และ 3



รูปที่ 3.6 ตัวอย่างสมดุลของแรง 3 แรง

6. คำนวณขนาดของแรงทั้ง 3 แรง ตามสมการ (3.16) โดยแรง $\vec{F}_3$ ซึ่งเป็นแรงกู้ที่ได้จากการทดลอง กำหนดเป็น $\vec{F}_{3\text{exp}}$

$$F = mg \tag{3.16}$$

กำหนด ค่า g = 9.81 m/s^2

7. หาแรงลัพธ์ที่กระทำในระบบตามหลักการแยกองค์ประกอบของแรง เพื่อพิสูจน์ว่าการทดลองเป็นไปตามทฤษฎีการสมดุลของแรงตามสมการที่ (3.4), (3.5) และ (3.6) และยกตัวอย่างการคำนวณเฉพาะการทดลองครั้งที่ 1

ตอนที่ 2 การหาแรงกู้ ($\vec{F}_{3the}$) จากการคำณวน

1. นำขนาดของแรง F_1(N) ขนาดของแรง F_2(N) ขนาดและทิศ (θ) ของแรง $F_{3\text{exp}}$ จากการทดลอง ในตอนที่ 1 ใส่ในตารางที่ 4
2. คำนวณหาขนาดและทิศของแรงกู้ ($\vec{F}_{3the}$) ของการทดลองตอนที่ 1 ทั้ง 3 ครั้ง โดยยกตัวอย่างคำนวณเฉพาะการทดลองครั้งที่ 1 ตามขั้นตอนดังนี้
   2.1 หาขนาดของแรงลัพธ์ที่เกิดจากแรง $\vec{F}_1$ และ $\vec{F}_2$ จากสมการที่ (3.2)
   2.2 หาทิศทางของแรงลัพธ์เกิดจากแรง $\vec{F}_1$ และ $\vec{F}_2$ จากสมการที่ (3.3)
   2.3 หาขนาดของแรงกู้จากการคำนวณ (ของแรงกู้ เท่ากับ ขนาดของแรงลัพธ์)
   2.4 หาทิศทางของแรงกู้จากการคำนวณ จากสมการที่ (3.13)
3. แจงหาค่าร้อยละความแตกต่างระหว่างแรงกู้ที่ได้จากการทดลอง, $\vec{F}_{3\text{exp}}$ กับ แรงกู้ที่ได้จากการคำนวณ, $\vec{F}_{3the}$ จากสมการ

$$\text{ร้อยละความแตกต่าง} = \left| \frac{\vec{F}_{3\text{exp}} - \vec{F}_{3the}}{(\vec{F}_{3\text{exp}} + \vec{F}_{3the})/2} \right| \times 100$$

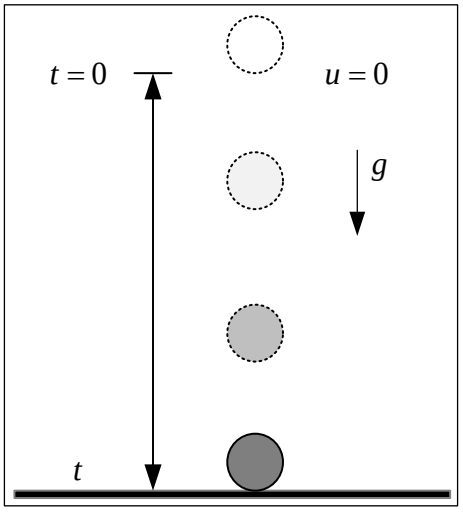
เอกสารอ้างอิง

1. ปรเมษฐ์ ปัญญาเหล็ก. 2538. **ปฏิบัติการฟิสิกส์ 1**. มหาวิทยาลัยศรีปทุม, กรุงเทพฯ.
2. ปิยพงษ์ สิทธิคง. 2547. ฟิสิกส์ระดับอุดมศึกษา 1. เพียร์สัน เอ็ดดูเคชั่น อินโดไชน่า. กรุงเทพฯ.
3. สมพงษ์ ใจดี 2540. ฟิสิกส์มหาวิทยาลัย 1. จุงฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. กรุงเทพฯ.
4. David Halliday and Robert Resnick. 2011. Fundamentals of physics (9th ed). Jearl Walker. Raymond A.
5. Serway and John W. Jewett. 2004. Physics for Scientists and Engineers (6th Ed). Thomson Brooks/Cole.

การทดลองที่ 4
เรื่อง การตกอย่างอิสระ

4.1 ทฤษฎี

การตกอย่างอิสระ (Free fall) หมายถึง การที่วัตถุใด ๆ เคลื่อนที่ได้อย่างอิสระภายใต้อิทธิพลของแรงโน้มถ่วงของโลกเพียงอย่างเดียว



รูปที่ 4.1 การตกอย่างอิสระของวัตถุที่ถูกปล่อยจากจุดหยุดนิ่งลงสู่พื้นโลก

การตกอย่างอิสระไม่คำนึงถึงการเคลื่อนที่เริ่มแรก ดังนั้นไม่ว่าวัตถุจะถูกโยนขึ้น ขว้างลง หรือปล่อยลงมาก็ล้วนตกอย่างอิสระ วัตถุที่ตกอย่างอิสระจะเคลื่อนที่ด้วยความเร่งซึ่งมีทิศลงในแนวแกน y เรียกความเร่งนี้ว่า “ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก” ใช้สัญลักษณ์ g มีค่าประมาณ 9.81 m/s^2 ที่ระดับน้ำทะเล

เมื่อไม่คำนึงถึงแรงต้านของอากาศ และสมมติว่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกไม่ได้แตกต่างกันไปตามระดับความสูงของการเคลื่อนที่ระยะทางสั้น ๆ การเคลื่อนที่ของวัตถุที่ตกอย่างอิสระในแนวแกน y จะเป็นการเคลื่อนที่ในหนึ่งมิติด้วยความเร่งคงที่เท่ากับความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก เมื่อกำหนดให้ทิศการเคลื่อนที่ขึ้นมีเครื่องหมายเป็นบวก (+) จะได้ว่า

$$a_y = -g = -9.81 \ m/s^2 \qquad (4.1)$$

สมการการเคลื่อนที่ในหนึ่งมิติ สำหรับการตกอย่างอิสระมีดังนี้

$$v = u - gt \tag{4.2}$$

$$v^2 = u^2 - 2gs \tag{4.3}$$

$$s = ut - \frac{1}{2}gt^2 \tag{4.4}$$

$$s = \left(\frac{u+v}{2}\right)t \tag{4.5}$$

เมื่อ s คือ ระยะทางจากตำแหน่งที่ปล่อยวัตถุถึงตำแหน่งที่วัตถุตกกระทบพื้น (m)

u คือ ความเร็วต้นของวัตถุ (m/s)

v คือ ความเร็วของวัตถุขณะใดขณะหนึ่ง (m/s)

g คือ ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วง (m/s^2)

t คือ เวลาที่วัตถุเคลื่อนที่ (s)

หากพิจารณากรณีที่วัตถุถูกปล่อยลงมาซึ่งความเร็วเริ่มต้นเป็นศูนย์ ($u = 0$) ดังรูปที่ 3.1 สมการ 3.4 เขียนใหม่ได้ว่า (การกระจัด s มีทิศลงจึงมีเครื่องหมาย ลบ)

$$s = \frac{1}{2}gt^2 \tag{4.6}$$

จากสมการ 4.6 จะเห็นว่า ความสูง (s) จะแปรผันตรงกับเวลายกกำลังสอง (t^2) เมื่อนำไปเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความสูง (s) และ เวลายกกำลังสอง (t^2) จะได้กราฟเส้นตรงซึ่งค่าความชัน ($slope : m$) ของกราฟที่คำนวณได้จากกราฟ คือ

$$m = \frac{1}{2}g \tag{4.7}$$

ดังนั้น สามารถคำนวณหาค่าความเร่งโน้มถ่วงของโลกได้จากค่าความชันของกราฟดังสมการที่ (4.5) นั่นคือ

$$g = 2m \tag{4.8}$$

4.2 วัตถุประสงค์การทดลอง

4.2.1 เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความสูง (S) ของการตกอย่างอิสระของวัตถุกับเวลา (t)

4.2.2 เพื่อค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก ($g_{\exp}$)

4.2.3 เพื่อศึกษาผลของมวลต่อค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก

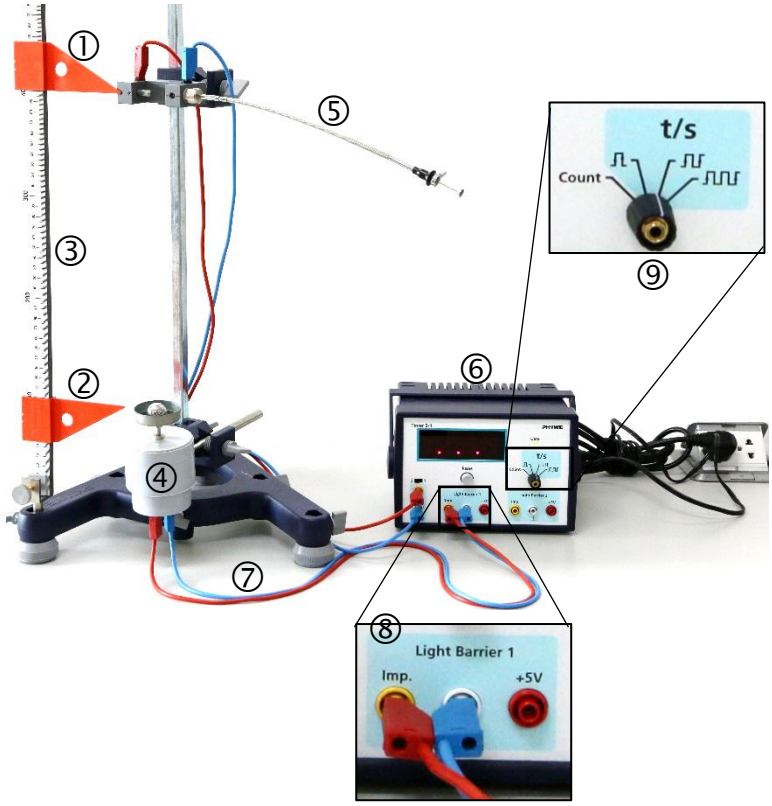
4.3 อุปกรณ์การทดลอง

4.3.1	Falling sphere apparatus	จำนวน	1	ชุด
4.3.2	ตัวปล่อยวัตถุ (Release unit)	จำนวน	1	ชุด
4.3.3	Impact switch	จำนวน	1	ชุด
4.3.4	เครื่องนับเวลา (Timer 2-1)	จำนวน	1	เครื่อง
4.3.5	ตัวรับวัตถุ (Support base)	จำนวน	1	อัน
4.3.6	Right angle clamp	จำนวน	2	อัน
4.3.7	Plate holder	จำนวน	1	อัน
4.3.8	Cursors, 1 pair	จำนวน	1	คู่
4.3.9	ไม้เมตร (Meter scale, l = 1000 mm)	จำนวน	1	อัน
4.3.10	Support rod (square, l = 1000 mm)	จำนวน	1	อัน
4.3.11	สายไฟ (Connecting cord, l= 1000mm, red)	จำนวน	1	เส้น
4.3.12	สายไฟ (Connecting cord, l= 1000mm, blue)	จำนวน	1	เส้น
4.3.13	สายไฟ (Connecting cord, l= 750mm, red)	จำนวน	1	เส้น
4.3.14	สายไฟ (Connecting cord, l= 750mm, blue)	จำนวน	1	เส้น

4.4 วิธีการทดลอง

1. จัดวางอุปกรณ์ดังรูปที่ 4.2

1 = ตัวชี้ตำแหน่งจุดปล่อยวัตถุ
2 = ตัวชี้ตำแหน่งจุดตกของวัตถุ
3 = ไม้เมตร
4 = ถาดรับวัตถุ
5 = ตัวปล่อยวัตถุ
6 = เครื่องนับเวลา
7 = สายไฟ
8 = Light Barrier 1
9 = Count



รูปที่ 4.2 การจัดอุปกรณ์ทดลองการตกอย่างอิสระ

2. ต่อตัวปล่อยวัตถุเข้ากับช่อง Start ของเครื่องนับเวลา และตัวรับวัตถุเข้ากับช่อง Light Barrier 1 ของเครื่องนับเวลา (รูปที่ 4.2 หมายเลข 8) และหมุ่นปุ่มเลือกการนับเวลาไปที่ตำแหน่งที่ 3 (รูปที่ 4.2 หมายเลข 9)
3. ปรับตัวชี้ตำแหน่งจุดตก (Cursors 1) ให้ตรงตำแหน่ง 0.100 m จากนั้นดึงถาดรับวัตถุขึ้นให้สุด แล้วปรับขอบถาดให้ตรงกับตัวชี้ตำแหน่งจุดตก
4. ปรับตัวชี้ตำแหน่งจุดปล่อยวัตถุ (Cursors 2) ให้ห่างจากจุดตกขึ้นไป 0.1 m (ตำแหน่ง 0.300 m) จากนั้นปรับตัวปล่อยวัตถุ (Release unit) ให้ตรงกับตัวชี้ตำแหน่งจุดปล่อยวัตถุ
5. ทำการยึดลูกเหล็กขนาดที่ 1 เข้ากับตัวปล่อยวัตถุ
6. กดปุ่ม Reset ที่เครื่องนับเวลา
7. ทำการปล่อยลูกเหล็ก และบันทึกเวลาในการเคลื่อนที่ของลูกเหล็กที่อ่านได้จากเครื่องนับเวลาลงในตารางบันทึกผล ทำการทดลองซ้ำอีก 2 ครั้ง (จะได้ข้อมูล 3 ครั้งที่ใกล้เคียงกัน หากข้อมูลที่ได้ไม่ใกล้คียงกันให้ทำการทดลองใหม่)
8. ทำการทดลองซ้ำโดยเปลี่ยนวัตถุเป็นลูกเหล็กขนาดที่ 2

9. ทำการทดลองซ้ำที่ความสูงจากจุดตก 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, และ 0.7 เมตร แล้วบันทึกผลลงในตาราง
10. หาค่าเวลาเฉลี่ย ($\bar{t}$) และเวลาเฉลี่ยยกกำลังสอง ($\bar{t}^2$)
11. เขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความสูง (s) กับเวลาเฉลี่ยยกกำลังสอง ($\bar{t}^2$) ของลูกเหล็กขนาดที่ 1และ ลูกเหล็กขนาดที่ 2
12. หาค่าความชันจากกราฟ และค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก (g_{exp}) จากสมการที่ (4.8)
13. คำนวณหาร้อยละความคลาดเคลื่อนของค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกที่ได้จากการทดลอง (g_{exp}) เทียบกับค่าทางทฤษฎี (g_{the} = 9.81 m/s^2)

เอกสารอ้างอิง

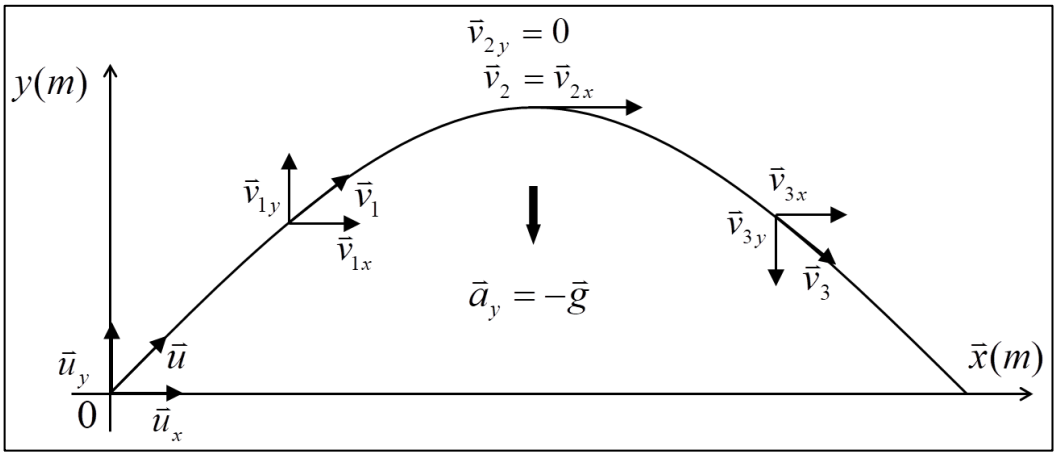
1. ปรเมษฐ์ ปัญญาเหล็ก. 2538. **ปฏิบัติการฟิสิกส์ 1**. มหาวิทยาลัยศรีปทุม, กรุงเทพฯ.
2. ปิยพงษ์ สิทธิคง. 2547. ฟิสิกส์ระดับอุดมศึกษา 1. เพียร์สัน เอ็ดดูเคชั่น อินโดไชน่า. กรุงเทพฯ.
3. สมพงษ์ ใจดี 2540. ฟิสิกส์มหาวิทยาลัย 1. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. กรุงเทพฯ.
4. David Halliday and Robert Resnick. 2011. Fundamentals of physics (9th ed). Jearl Walker. Raymond A.
5. Serway and John W. Jewett. 2004. Physics for Scientists and Engineers (6th Ed). Thomson Brooks/Cole.

การทดลองที่ 5
เรื่อง การเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์

5.1 ทฤษฎี

การเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์ หมายถึง การเคลื่อนที่ของวัตถุที่ประกอบด้วยการเคลื่อนที่ 2 แนวตั้งฉากกัน โดยในแนวดิ่งวัตถุเคลื่อนที่ภายใต้อิทธิพลของแรงโน้มถ่วงของโลก (ไม่มีผลของแรงต้านอากาศ) เช่น การขว้างวัตถุออกไปในอากาศ และการเตะฟุตบอล เป็นต้น ลักษณะการเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์เป็นวิถีโค้งแบบพาราโบลา และวัตถุมีความเร็วต้น , $\vec{u}$, ไม่เท่ากับศูนย์

การวิเคราะห์การเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์ใช้แบบจำลองทางอุดมคติ คือ แทนวัตถุด้วยอนุภาคขนาดเล็กซึ่งเคลื่อนที่ภายใต้แรงโน้มถ่วงของโลกที่มีขนาดและทิศทางคงตัว



รูปที่ 5.1 การเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์

การเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์เป็นการเคลื่อนที่ใน 2 มิติ ระนาบการเคลื่อนที่นี้เรียกว่า ระนาบ xy สิ่งสำคัญในการวิเคราะห์การเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์ คือ ต้องพิจารณาพิกัด x และ y แยกกัน

สมมติที่เวลาเริ่มต้น $t = 0$ วัตถุเคลื่อนที่ด้วยความเร็วเริ่มต้น, $\vec{u}$ ในทิศทำมุม, θ กับแกน $+x$ จะมีความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกเท่านั้นที่กระทำกับวัตถุในทิศพุ่งลงสู่ผิวโลก ($\vec{g}$) เนื่องจากความเร็วเป็นเวกเตอร์ ดังนั้นขนาดขององค์ประกอบของความเร็วในแกน x และ y สามารถเขียนได้เป็น

$$u_x = u\cos\theta \tag{5.1}$$

และ

$$u_y = u\sin\theta \tag{5.2}$$

โดยที่เริ่มต้นวัตถุต้องมีความเร็วเริ่มต้นในแนวระดับ (u_x) ส่วนความเร็วเริ่มต้นในแนวดิ่ง (u_y) จะมีหรือไม่ก็ได้ และเนื่องจากการเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์เกิดขึ้นภายใต้อิทธิพลของความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกซึ่งมีทิศทางตามแนวแกน y เท่านั้น ดังนั้นในพิกัด x จึงมีความเร่งเท่ากับศูนย์ เมื่อกำหนดให้ทิศพุ่งขึ้นตามแนวแกน y เป็นบวก จะได้ว่า

$$\vec{a}_y = -\vec{g}$$
และ $$\vec{a}_x = 0 \qquad (5.3)$$

5.1.1 การเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์ในแนวราบ (แนวแกน x)

พิจารณาการกระจัดในแนวราบ (แนวแกน x) เมื่อความเร่งเท่ากับศูนย์จะได้ว่า

$$s_x = u_x t \qquad (5.4)$$

แทนค่า u_x จากสมการ (5.1) ลงใน (5.4) จะได้

$$s_x = (u\cos\theta)t \qquad (5.5)$$

เมื่อ s_x คือ ระยะกระจัดในแนวระดับ
u คือ ความเร็วที่วัตถุเคลื่อนที่ออกไปจากจุดกำเนิด
u_x คือ ความเร็วที่วัตถุเคลื่อนที่ออกไปจากจุดกำเนิดในแนวระดับ
t คือ เวลา
θ คือ มุมที่ความเร็วที่วัตถุเคลื่อนที่ออกไปจากจุดกำเนิดทำกับแนวแกน x

5.1.2 การเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์ในแนวดิ่ง (แนวแกน y)

พิจารณาการกระจัดในแนวดิ่ง (แนวแกน y) จะได้ว่า

$$s_y = u_y t - \frac{1}{2}gt^2 \qquad (5.6)$$

เมื่อ s_y คือ ระยะกระจัดในแนวดิ่ง

แทนค่า u_y จากสมการ (5.2) ลงใน (5.6) จะได้

$$s_y = (u\sin\theta)t - \frac{1}{2}gt^2 \qquad (5.7)$$

ในการหาค่าเวลาที่วัตถุขึ้นไปสูงสุด (t_m) หาได้จาก (จากรูปที่ 5.1 ตำแหน่งสูงสุด คือ v_2)

$$v_{2y} = u_y - gt_m \qquad (5.8)$$

เมื่อ v_{2y} คือ ความเร็วในแนวดิ่งที่ที่ตำแหน่งสูงสุด $(v_{2y} = 0)$
t_m คือ เวลาที่วัตถุขึ้นไปสูงสุด

แทนค่า u_x จากสมการ (5.2) ลงใน (5.8) จะได้

$$t_m = \frac{u \sin\theta}{g} \tag{5.9}$$

ดังนั้น สามารถหาค่าการกระจัดสูงสุดที่วัตถุขึ้นไปได้โดยแทนค่า t_m จากสมการ (5.9) ลงในสมการ (5.7) จะได้

$$s_y = \frac{(u \sin\theta)^2}{2g} \tag{5.10}$$

เวลาทั้งหมดที่ใช้ในการเคลื่อนที่คือ

$$t = 2t_m \tag{5.11}$$

แทนค่า t_m จากสมการ (5.9) ลงใน (5.11) จะได้เวลาทั้งหมดที่วัตถุใช้ในการเคลื่อนที่

$$t = \frac{2u \sin\theta}{g} \tag{5.12}$$

5.2 วัตถุประสงค์การทดลอง

5.2.1 เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ของระยะกระจัดในแนวราบ การกระจัดสูงสุดในแนวดิ่ง และเวลากับมุมเริ่มต้นในการเคลื่อนที่

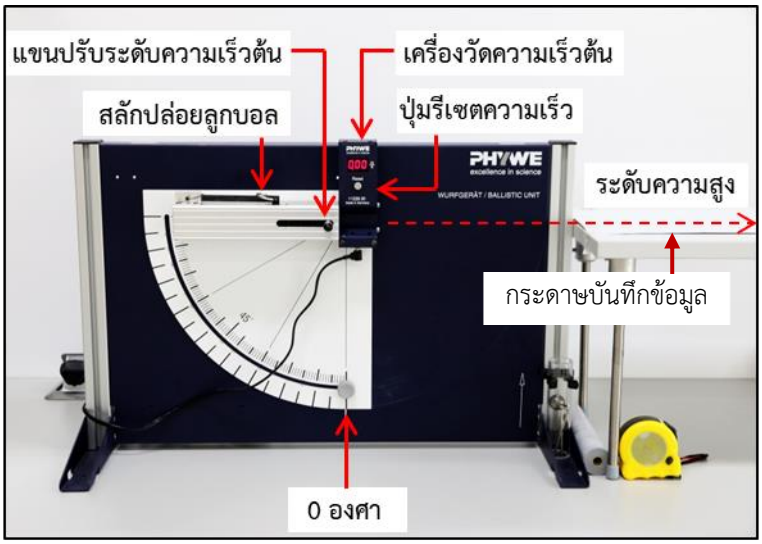
5.2.2 เพื่อหามุมเริ่มต้นที่ทำให้ได้ระยะการตกของลูกบอลไกลที่สุด

5.3 อุปกรณ์การทดลอง

5.3.1	เครื่องยิงโปรเจกไตล์	จำนวน	1	ชุด
5.3.2	เครื่องวัดความเร็วลูกบอล	จำนวน	1	ชุด
5.3.3	แหล่งจ่ายไฟสำหรับเครื่องวัดความเร็ว	จำนวน	1	ชุด
5.3.4	โต๊ะรองรับการตกของลูกบอล	จำนวน	1	ตัว
5.3.5	ลูกบอลเหล็ก	จำนวน	1	ลูก
5.3.6	กระดาษบันทึกข้อมูล	จำนวน	1	แผ่น
5.3.7	ตลับเมตร	จำนวน	1	อัน

5.4 วิธีการทดลอง

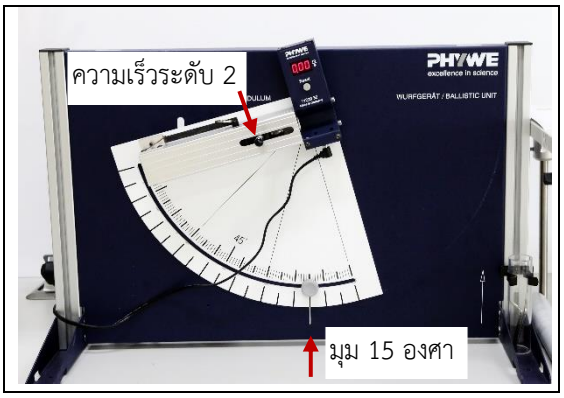
1. ปรับค่ามุมของกระบอกยิงลูกบอลไปที่มุม 0 องศา และปรับระดับความสูงของโต๊ะให้เท่ากับปากกระบอกยิง และติดกระดาษคาร์บอนบนโต๊ะ ดังรูปที่ 5.2



รูปที่ 5.2 อุปกรณ์การยิงโพรเจกไทล์

2. ปรับค่ามุมของกระบอกยิงลูกบอลไปที่ 15 องศา วางลูกบอลตรงกึ่งกลางปากกระบอกยิง ดึงแขนปรับระดับความเร็วต้นไปยังความเร็วระดับ 1 ดังรูปที่ 5.3 (ก)

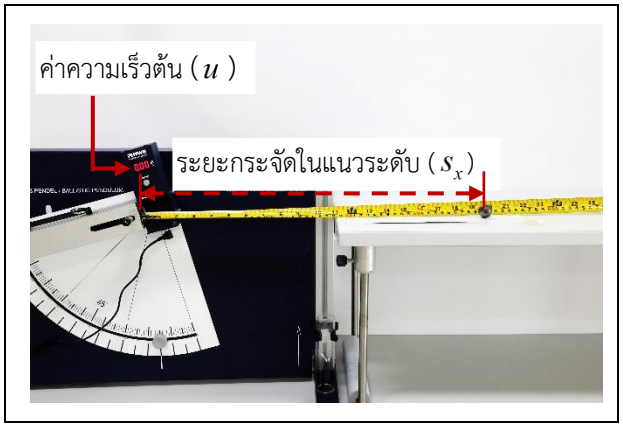
(ก) ความเร็วระดับ 1



(ข) ความเร็วระดับ 2

รูปที่ 5.3 การปรับระดับความเร็วและมุม

3. กดรีเซตเครื่องวัดความเร็วต้น แล้วดึงสลักปล่อยลูกบอล สังเกตตำแหน่งที่ลูกบอลตกบนพื้นโต๊ะ
4. เลื่อนโต๊ะไปยังตำแหน่งที่ลูกบอลตก
5. ทำการยิงลูกบอล 3 ครั้ง แต่ละครั้งให้อ่านค่าความเร็วต้น (u) และวัดระยะกระจัดสูงสุดในแนวระดับ (s_x) ของการเคลื่อนที่ของลูกบอล โดยวัดจากปากกระบอกยิงถึงตำแหน่งที่ลูกบอลตก ดังรูป 5.4



รูปที่ 5.4 การวัดระยะกระจัดในแนวระดับ (s_x) และค่าความเร็วต้น (u)

6. บันทึกระยะกระจัด (s_x) และค่าความเร็วต้น (u) ในตารางที่ 1
7. ทำการทดลองซ้ำข้อ 2–6 โดยเปลี่ยนมุม เป็น 30, 45, 60 และ 75 องศา
8. ทำการทดลองซ้ำข้อ 2–7 โดยเปลี่ยนไปใช้ความเร็วระดับ 2 ด้วยการทำการวางลูกบอลตรงกึ่งกลางปากกระบอกยิง แล้วดึงแขนปรับระดับความเร็วต้นไปยังความเร็วระดับ 2 ดังรูปที่ 5.3 (ข) บันทึกระยะกระจัด (s_x) และค่าความเร็วต้น (u) ในตารางที่ 2
9. คำนวณหาค่าเฉลี่ยของระยะกระจัดในแนวราบ ($\overline{s}_{x\exp}$) และความเร็วต้นเฉลี่ย ($\overline{u}$) แล้วบันทึกผลในตารางที่ 1 และ 2
10. เขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมุมที่ใช้ในการยิงลูกบอล (θ) กับค่าเฉลี่ยของระยะกระจัดในแนวระดับ ($\overline{s}_{x\exp}$) ของลูกบอลทั้ง 2 ความเร็ว
11. คำนวณหาค่าการกระจัดสูงสุดในแนวดิ่ง (s_y) จากสมการที่ (5.10) และคำนวณหาค่าเวลาทั้งหมด (t) ที่ใช้ในการเคลื่อนที่ของลูกบอลทั้ง 2 ความเร็วตามสมการที่ (5.12) โดยใช้ค่าความเร็วต้นเฉลี่ย ($\overline{u}$) ของแต่ละมุมม แล้วบันทึกผลลงในตารางที่ 1 และ 2
12. นำค่าเฉลี่ยของระยะกระจัดในแนวราบ ($\overline{s}_x$) จากตารางที่ 1 และ 2 มาใส่ในตารางที่ 3 และ 4 ตามลำดับ กำหนดเป็นระยะกระจัดในแนวราบที่ได้จากการทดลอง ($s_{x\exp}$)
13. คำนวณหาค่าระยะกระจัดในแนวราบ (s_{xthe}) จากใช้สมการที่ (5.5) โดยใช้ความเร็วต้นเฉลี่ย ($\overline{u}$) และเวลา (t) จากตารางที่ 1 และ 2 แล้วบันทึกผลในตารางที่ 3-4
14. วิเคราะห์ค่าร้อยละความแตกต่างของระยะกระจัดในแนวราบของลูกบอลที่ได้จากทดลอง ($s_{x\exp}$) และที่ได้จากการคำนวณ (s_{xthe}) แล้วบันทึกผลในตารางที่ 3-4

$$\text{ร้อยละความแตกต่างของระยะกระจัดในแนวระดับ} = \left|\frac{\overline{s}_{x\exp} - s_{xthe}}{\left(\overline{s}_{x\exp} + s_{xthe}\right)/2}\right| \times 100$$

เอกสารอ้างอิง

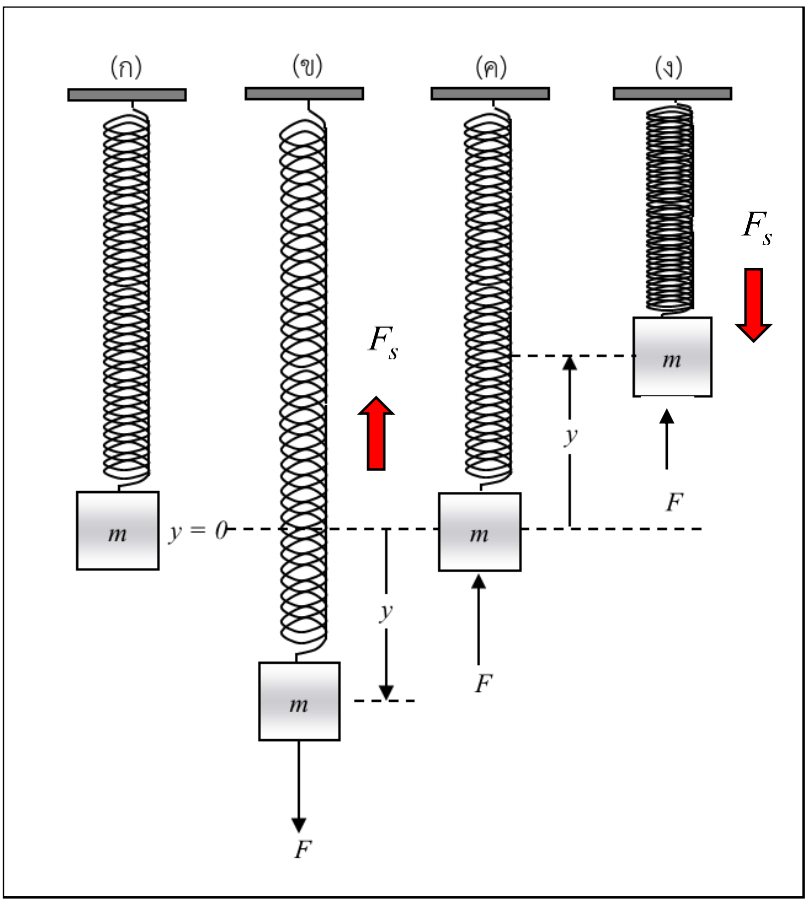
1. ปรเมษฐ์ ปัญญาเหล็ก. 2538. **ปฏิบัติการฟิสิกส์ 1**. มหาวิทยาลัยศรีปทุม, กรุงเทพฯ.
2. ปิยพงษ์ สิทธิคง. 2547. ฟิสิกส์ระดับอุดมศึกษา 1. เพียร์สัน เอ็ดดูเคชั่น อินโดไชน่า. กรุงเทพฯ.
3. สมพงษ์ ใจดี 2540. ฟิสิกส์มหาวิทยาลัย 1. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. กรุงเทพฯ.
4. David Halliday and Robert Resnick. 2011. Fundamentals of physics (9th ed). Jearl Walker. Raymond A.
5. Serway and John W. Jewett. 2004. Physics for Scientists and Engineers (6th Ed). Thomson Brooks/Cole.

การทดลองที่ 6
เรื่อง การเคลื่อนที่แบบซิมเปิลฮาร์โมนิก

6.1 ทฤษฎี

การเคลื่อนที่แบบซิมเปิลฮาร์โมนิก (Simple Harmonic Motion) เป็นการเคลื่อนที่กลับไปกลับมาผ่านในแนวเส้นทางเดิม ผ่านจุดกำ เนิดของวัตถุ ซึ่งถือเป็นตำ แหน่งสมดุลของระบบ(Equilibrium position) โดยแรงที่ทำให้วัตถุเกิดการเคลื่อนที่มีทิศชี้ไปยังตำแหน่งสมดุลเสมอ

การทดลองนี้เป็นการศึกษาการเคลื่อนที่แบบซิมเปิลฮาร์โมนิกของวัตถุมวล m ที่ติดอยู่กับปลายลวดสปริง ดังแสดงในรูปที่ 6.1



รูปที่ 6.1 การเคลื่อนที่แบบซิมเปิลฮาร์โมนิกของวัตถุมวล m ที่ติดกับปลายลวดสปริง

ในตอนเริ่มต้น กำหนดให้ตำแหน่งที่วัตถุหยุดนิ่งเป็นตำแหน่งสมดุลของระบบ คือ $y = 0$ (รูปที่ 5.1 (ก)) เมื่อออกแรงดึงวัตถุลงในแนวดิ่งเป็นระยะ y (รูปที่ 6.1 (ข)) จะมีแรงต้านของสปริงเกิดขึ้น แรงของสปริงนี้มีขนาดเท่ากับแรงดึงลงแต่มีทิศตรงข้าม คือมีทิศชี้ไปยังตำแหน่งสมดุล จึงมีเครื่องหมายลบซึ่งเป็นไปตามกฎของฮุก (Hooke's Law) คือ

$$F = ky$$
$$F_s = -ky \tag{6.1}$$

เมื่อ F คือ แรงที่กระทำต่อสปริง (N)

F_s คือ แรงภายในสปริง (N)

k คือ ค่าคงที่ของสปริง (N/m)

y คือ ระยะกระจัดของสปริงที่วัดจากตำแหน่งสมดุล (m)

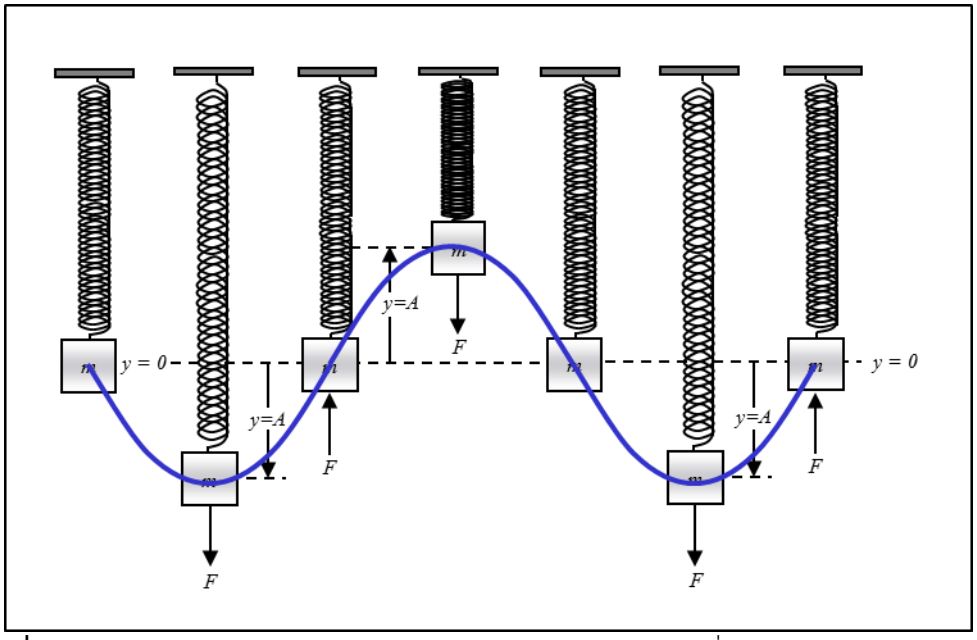
เมื่อปล่อยมือ วัตถุมวล m เคลื่อนที่ขึ้นด้านบนด้วยความเร่ง a เข้าหาตำแหน่งสมดุลที่ $y = 0$ (รูปที่ 6.1 (ค)) และเคลื่อนที่ผ่านตำแหน่งสมดุลจนกระทั่งห่างออกไปเป็นระยะ y ทำให้ระยะกระจัดมีทิศขึ้นบนในขณะที่แรงดันกลับของสปริงมีทิศลงล่าง (รูปที่ 6.1 (ง)) จากนั้นสปริงจะดันวัตถุให้เคลื่อนที่เข้าหาตำแหน่งสมดุลด้วยความเร่ง a อีกครั้งหนึ่ง สามารถอธิบายการเคลื่อนที่ของวัตถุนี้ได้โดยใช้กฎของนิวตันดังสมการ

$$\sum F = -ky = ma \tag{6.2}$$

เมื่อ m คือ มวลของวัตถุที่ติดกับปลายสปริง (kg)

a คือ ความเร่งในการการเคลื่อนที่ของวัตถุที่ติดกับปลายสปริง (m/s^2)

เนื่องการเคลื่อนที่ของวัตถุมวล m เป็นการเคลื่อนที่ซ้ำรอบที่มีคาบ (Periodic) และมีความถี่ของการเคลื่อนที่ (Frequency) ดังแสดงในรูปที่ 6.2



รูปที่ 6.2 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและตำแหน่งของวัตถุมวล m ที่มีคาบและแอมปลิจูดคงที่

จึงอธิบายการเคลื่อนที่ได้ด้วยฟังก์ชันไซน์ ดังนี้

$$y = A\sin\omega t \tag{6.3}$$

เมื่อ y คือ ระยะกระจัดของสปริงที่วัดจากตำแหน่งสมดุล (m)

A คือ ระยะกระจัดที่มากที่สุด หรือแอมปลิจูด (m)

ω คือ ความถี่เชิงมุมของการเคลื่อนที่ (rad/s) สามารถเขียนได้ในรูปของคาบ (T)

t คือ เวลาที่ที่วัตถุใช้ในการเคลื่อนที่ครบ 1 รอบ, $\omega = \dfrac{2\pi}{T}$

s คือ เวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่ (s)

ระยะกระจัดของสปริงที่เวลาต่างๆสัมพันธ์กับความเร็ว (v) และความเร่งของการเคลื่อนที่ (a) ดังนี้

$$v = A\omega\cos\omega t \tag{6.4}$$

$$\begin{aligned} a &= -A\omega^2\sin\omega t \\ &= -\omega^2\left(A\sin\omega t\right) \\ &= -\omega^2 y \end{aligned} \tag{6.5}$$

จากกฎของนิวตันในสมการที่ (6.2), $-ky = ma$ เมื่อแทนความเร่ง a ด้วยสมการที่ (6.5) และแทนค่า $\omega = \dfrac{2\pi}{T}$ จะได้ว่า

$$\begin{aligned} -ky &= m\left(-\omega^2 y\right) \\ k &= m\omega^2 \\ k &= m\left(\frac{2\pi}{T}\right)^2 \\ T &= 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}} \end{aligned} \tag{6.6}$$

จากสมการที่ (6.6) เห็นได้ว่า คาบของการเคลื่อนที่แบบซิมเปิลฮาร์โมนิกไม่ขึ้นขึ้นกับแอมปลิจูด หรือตัวแปรอย่างอื่น แต่จะขึ้นกับมวลรวมมวลของวัตถุที่ติดกับปลายสปริง และค่าคงที่ของสปริงเท่านั้น

6.2 วัตถุประสงค์การทดลอง

6.2.1 เพื่อหาค่าคงที่ของสปริงกฎของฮุก

6.2.2 เพื่อศึกษาการเคลื่อนที่แบบซิมเปิลฮาร์โมนิกของวัตถุที่ติดอยู่กับปลายลวดสปริง

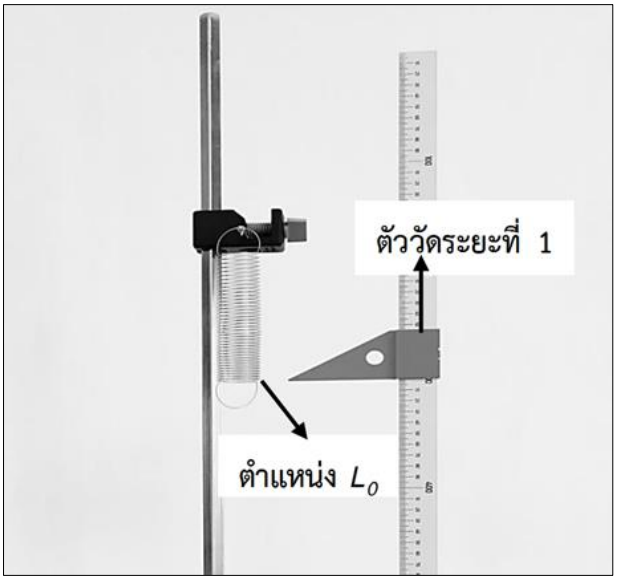
6.3 อุปกรณ์การทดลอง

6.3.1 สปริง	จำนวน	2	ตัว
6.3.2 ขาตั้ง	จำนวน	1	ชุด
6.3.3 ตะขอแขวนมวล	จำนวน	1	ชิ้น
6.3.4 ชุดตุ้มน้ำหนักขนาดต่างๆ	จำนวน	1	ชุด
6.3.5 นาฬิกาจับเวลา	จำนวน	1	เรือน
6.3.6 ไม้เมตร	จำนวน	1	อัน
6.3.7 ตัววัดระยะ	จำนวน	2	อัน

6.4 วิธีการทดลอง

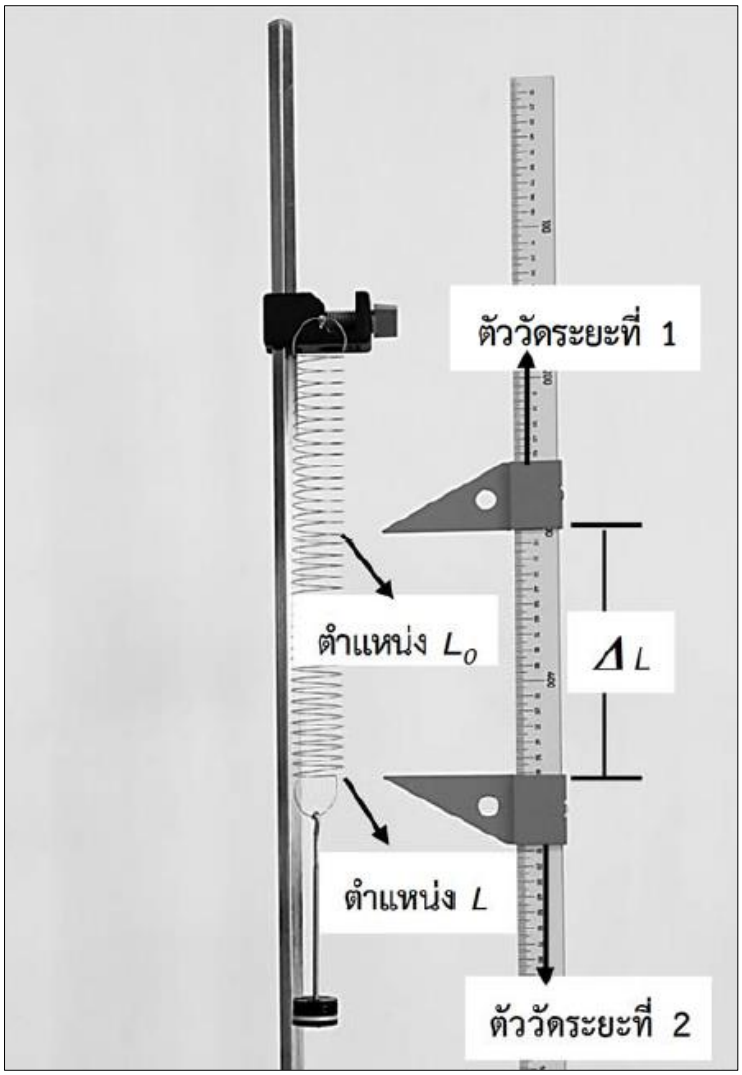
ตอนที่ 1 กฎของฮุก (Hooke's Law)

1. ใช้สปริงตัวที่ 1 จัดอุปกรณ์การทดลองโดยให้วงล่างสุดของสปริงตรงกับตัววัดระยะที่ 1 ที่ตำแหน่ง 300 mm และให้เป็นตำแหน่งเริ่มต้น, L_0 , ดังแสดงในรูปที่ 6.3



รูปที่ 6.3 การจัดอุปกรณ์การทดลองเพื่อหาตำแหน่ง L_0

2. แขวนมวล 30 g กับปลายสปริง (ตะขอมวลพร้อมฐาน 10 g + มวลของตุ้มน้ำหนักรวมมวล 20 g)
3. เลื่อนตัววัดระยะตัวที่ 2 บนไม้เมตรลงมาให้ตรงกับวงล่างสุดของสปริง เพื่ออ่านค่า L ดังแสดงในรูปที่ 6.4 พร้อมทั้งคำนวณระยะยืดของสปริง, ΔL , และบันทึกผล
4. เพิ่มมวลครั้งละ 20 g โดยบันทึกตำแหน่งของตะขอที่เปลี่ยนไปทุกครั้งจนกระทั่งมวลของตุ้มน้ำหนักรวมกับมวลตะขอเป็น 90 g
5. เขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงที่กระทำต่อสปริง, F , กับระยะยืดของสปริง, ΔL



รูปที่ 6.4 การวัดระยะ L และหา ΔL

6. คำนวณค่าหาค่าคงที่ของสปริง, k_1, จากความชันของกราฟ ตามสมการ (6.1) คือ

$$F = k\Delta L \quad , \text{ เมื่อ } y = \Delta L$$

จากสมการเส้นตรง $y = mx$

ดังนั้น ความชัน $m = k$

7. คำนวณค่าร้อยละความคลาดเคลื่อนของค่าคงที่ของสปริง, k_1, เมื่อกำหนดให้ค่าจริงคือ 3 N/m
8. <u>*เปลี่ยนมาใช้สปริงตัวที่ 2*</u> โดยทำการทดลองซ้ำในข้อ 1-6 และคำนวณค่าร้อยละความคลาดเคลื่อนของค่าคงที่ของสปริง, k_2 , เมื่อกำหนดให้ค่าจริงคือ 20 N/m

ตอนที่ 2 การเคลื่อนที่แบบซิมเปิลฮาร์โมนิก

1. ติดตั้งสปริงตัวที่ 1 และแขวนมวล 30 g กับปลายสปริง (ตะขอมวลพร้อมฐาน 10 g + มวลของตุ้มน้ำหนักรวมมวล 20 g)
2. ดึงมวลลงในแนวดิ่งเป็นระยะประมาณ 2 cm แล้วปล่อย จากนั้นจับเวลาที่ใช้ในการสั่น, *t*, ครบ 20 รอบ อ่านค่าจากนาฬิกาจับเวลาและบันทึกผล โดยทำการทดลองซ้ำอีก 3 ครั้ง เพื่อหาเวลาเฉลี่ย

รูปที่ 6.5 นาฬิกาจับเวลา

4. เพิ่มมวลครั้งละ 20 g และทำเช่นเดียวกับข้อ 3 จนกระทั่งมวลของตุ้มน้ำหนักรวมกับมวลของตะขอเป็น 110 g
5. คำนวณหาค่าคาบของการสั่น, T , และคาบของการสั่นยกกำลังสอง, T^2 ,
6. เขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างคาบของการสั่นยกกำลังสอง, T^2 , กับมวลที่แขวน, m
7. หาค่าความชันของกราฟ และนำมาคำนวณค่าหาค่าคงที่ของสปริง, k , โดยใช้สมการ (6.6) คือ

$$T^2 = 4\pi^2\left(\frac{m}{k_1}\right)$$

จากสมการเส้นตรง $y = mx$

$$\text{ความชัน} = \frac{4\pi^2}{k_1}$$

ดังนั้น

$$k = \frac{4\pi^2}{\text{ความชัน}}$$

8. คำนวณค่าร้อยละความคลาดเคลื่อนของค่าคงที่ของสปริง, k , เมื่อกำหนดให้ค่าจริงคือ 3 N/m

เอกสารอ้างอิง

1. ปรเมษย์ ปัญญาเหล็ก. 2550. **ฟิสิกส์ 1**. พิมพ์ครั้งที่ 13. ฝ่ายบริหาร มหาวิทยาลัยศรีปทุม, กรุงเทพฯ.
2. ประธาน บุรณศิริ และคณะ. 2558. **ฟิสิกส์ 1**. เซนเกจ เลินนิ่ง-ไซน่า จำกัด, กรุงเทพฯ. แปลจาก Raymond A. Serway & John W. Jewett, Jr. **Physics for Scientists and Engineers with Modern Physics.** Thomson-Brooks/Cole, USA.
3. สมพงษ์ ใจดี. 2551.**ฟิสิกส์มหาวิทยาลัย 2**. โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.
4. James E. Parks. 2000. Hooke's Law. **The University of Tennessee**. Available Source:
5. http://www.phys.utk.edu/labs/hookeslaw.pdf, October 29, 2018.

การทดลองที่ 7
เรื่อง ความหนืดของของเหลว

7.1 ทฤษฎี

ความหนืด (Viscosity) เป็นสมบัติอย่างหนึ่งของของไหล ขณะที่ของไหลมีการเคลื่อนที่แต่ละโมเลกุลของของไหลก็จะมีการเคลื่อนที่ชนกันไปมาตลอดเวลาด้วยทิศทางที่ไม่แน่นอน การเคลื่อนที่เหล่านี้เองที่ส่งผลต้านการเคลื่อนที่ ทำให้ของไหลเคลื่อนที่ช้าลงหรือทำให้เกิดความหนืดขึ้นในของไหล ดังแสดงในรูปที่ 7.1

รูปที่ 7.1 ลักษณะการเคลื่อนที่ของของเหลวที่มีความหนืดต่างกัน
(ที่มา : https://www.cambridgenetwork.co.uk/news/arecor-launches-new-platform-tool-for-viscosity-reduction-in1847/)

ความหนืดถูกนิยามในรูปของค่าสัมประสิทธิ์ความหนืดของของไหล (Coefficient of viscosity) คือ

$$\eta = \frac{\text{ความเค้นเฉือนที่กระทำต่อของเหลว}}{\text{อัตราการเปลี่ยนแปลงของความเค้นเฉือน}}$$

$$\eta = \frac{F/A}{v/l} \tag{7.1}$$

เมื่อ η คือ ค่าสัมประสิทธิ์ความหนืดของของไหล (N·s/m^2)

F คือ แรงกระทำต่อของไหล (N)

A คือ พื้นที่หน้าตัดที่แรงกระทำต่อของไหล (m^2)

v คือ ความเร็วของของไหล (m/s)

l คือ เส้นผ่านศูนย์กลางท่อ (m)

ค่าสัมประสิทธิ์ความหนืดของของไหลบางชนิดได้แสดงไว้ในตารางที่ 7.1

ตารางที่ 7.1 สัมประสิทธิ์ความหนืดของของไหลบางชนิด

ของไหล	**อุณหภูมิ** (^{o}C)	**สัมประสิทธิ์ความหนืด,** η, (N·s/m^2)
อากาศ	20	0.00018
ปรอท	25	0.015
กลีเซอรีน	28	1.95
เบนซิน	30	0.006
น้ำ	30	0.008

7.1.1 กฎของสโตกส์ (Stokes's law)

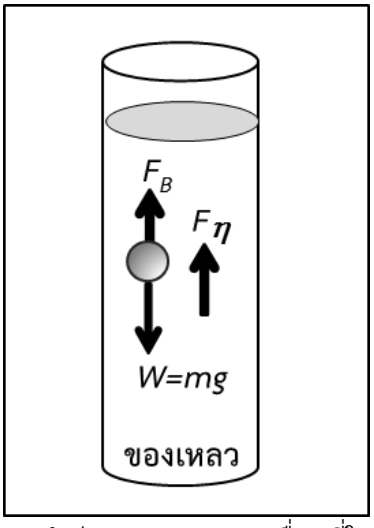
เมื่อปล่อยทรงกลมรัศมี r ให้เคลื่อนที่ผ่านของเหลวที่มีสัมประสิทธิ์ความหนืด η และมีความเร็วของทรงกลม v สัมพัทธ์กับของเหลว แรงต้านการเคลื่อนที่ที่เกิดขึ้นกับทรงกลม F_η คือ

$$F_\eta = 6\pi\eta r v \tag{7.2}$$

ในตอนเริ่มต้น ทรงกลมถูกปล่อยด้วยความเร็วต้นที่เป็นศูนย์ แรงต้านจากความหนืดจึงมีค่าเป็นศูนย์เนื่องจากแรงต้านเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเร็วของทรงกลม จากนั้นทรงกลมจะเคลื่อนที่ด้วยความเร่ง และมีความเร็วเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ในขณะเดียวกันแรงต้านก็เพิ่มขึ้นด้วยจนในที่สุดแรงลัพธ์ที่กระทำต่อทรงกลมเป็นศูนย์ นั่นคือ $\sum F = 0$

$$F_B + F_\eta = mg \tag{7.3}$$

เมื่อ F_B คือ แรงลอยตัวของของเหลว ดังแสดงในรูปที่ 7.2



รูปที่ 7.2 แรงที่กระทำต่อทรงกลมขณะเคลื่อนที่ในของเหลว

จากกฎของอคีมิดิส $$F_B = m'g = \rho' mg = \rho' \frac{4}{3}\pi r^3 g$$

เมื่อแรงลัพธ์เป็นศูนย์ จะได้ว่า $$\frac{4}{3}\pi r^3 \rho' g + 6\pi\eta r v_T = mg$$

$$\frac{4}{3}\pi r^3 \rho' g + 6\pi\eta r v_T = \frac{4}{3}\pi r^3 \rho g$$

$$v_T = \frac{2r^2 g}{9\eta}\left(\rho - \rho'\right) \tag{7.4}$$

หรือ $$r^2 = \frac{9\eta v_T}{2g\left(\rho - \rho'\right)} \tag{7.5}$$

เมื่อ ρ คือ ความหนาแน่นของทรงกลม (kg/m^3)

ρ' คือ ความหนาแน่นของของเหลว (kg/m^3)

v_T คือ ความเร็วสุดท้าย (Terminal velocity) ที่ทรงกลมเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงที่

ในทางปฏิบัติสามารถคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์ความหนืดของของเหลว, η , ได้โดยการเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างรัศมีของทรงกลมยกกำลังสอง , r^2, กับความเร็วคงที่, v_T , ของทรงกลม แล้วหาความชันของเส้นกราฟ, m, จากนั้นคำนวณค่า η โดย

$$m = \frac{9\eta}{2g\left(\rho - \rho'\right)}$$

$$\eta = m\left[\frac{2g}{9}\left(\rho - \rho'\right)\right] \tag{7.6}$$

7.2 วัตถุประสงค์การทดลอง

7.2.1 เพื่อศึกษาปริมาณที่เกี่ยวข้องกับความหนืดของของเหลว

7.2.2 เพื่อศึกษาการเคลื่อนที่ของวัตถุในของเหลวที่มีความหนืดและสามารถหาค่าสัมประสิทธิ์ความหนืดของของเหลวได้

7.3 อุปกรณ์การทดลอง

7.3.1	ฐานรองพร้อมแท่งยึดจับท่อแก้ว	จำนวน	1	ชุด
7.3.2	กลีเซอรีนบรรจุในขวดพลาสติกพร้อมกรวย	จำนวน	1	ชุด
7.3.3	ลูกเหล็กที่มีขนาดต่างกัน	จำนวน	3	ลูก
7.3.4	นาฬิกาจับเวลา	จำนวน	1	เรือน
7.3.5	แท่งแม่เหล็ก	จำนวน	1	แท่ง

7.3 อุปกรณ์การทดลอง (ต่อ)

7.3.6	ไมโครมิเตอร์	จำนวน	1	อัน
7.3.7	ตลับเมตร	จำนวน	1	อัน
7.3.8	ห่วงยาง	จำนวน	2	เส้น

7.4 วิธีการทดลอง

ตอนที่ 1 หาความหนาแน่นของลูกเหล็กทรงกลมและความหนาแน่นของกลีเซอรีน

1. วัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของลูกเหล็ก , d , ทั้ง 3 ขนาด ด้วยไมโครมิเตอร์ คำนวณรัศมีของทรงกลม, r , และปริมาตรของลูกเหล็ก , V , จากความสัมพันธ์

$$V = \frac{4}{3}\pi r^3$$

2. ชั่งมวลของลูกเหล็กทั้ง 4 ขนาด แล้วคำนวณความหนาแน่น , ρ , และความหนาแน่นเฉลี่ยของลูกเหล็ก , ρ_{ave} , จากความสัมพันธ์

$$\rho = \frac{\text{มวลลูกเหล็ก } (kg)}{\text{ปริมาตรลูกเหล็ก } (m^3)}$$

3. ใช้กระบอกฉีดยาดูดกลีเซอรีนจากขวดพลาสติกให้ได้ปริมาตร 10 ml แล้วถ่ายกลีเซอรีนจากกระบอกฉีดยาทั้งหมดลงในบีกเกอร์ จากนั้นนำบีกเกอร์ที่บรรจุกลีเซอรีนไปชั่ง
4. บันทึกมวลของกลีเซอรีนโดยไม่คิดมวลของบีกเกอร์ แล้วคำนวณความหนาแน่นของกลีเซอรีน, ρ' , ในหน่วยของ kg/m^3 (เมื่อกำหนดให้ปริมาตร 1 mL = 1$\times$10^{-6} m^3) จากความสัมพันธ์

$$\rho = \frac{\text{มวลกลีเซอรีน } (kg)}{\text{ปริมาตรกลีเซอรีน } (m^3)}$$

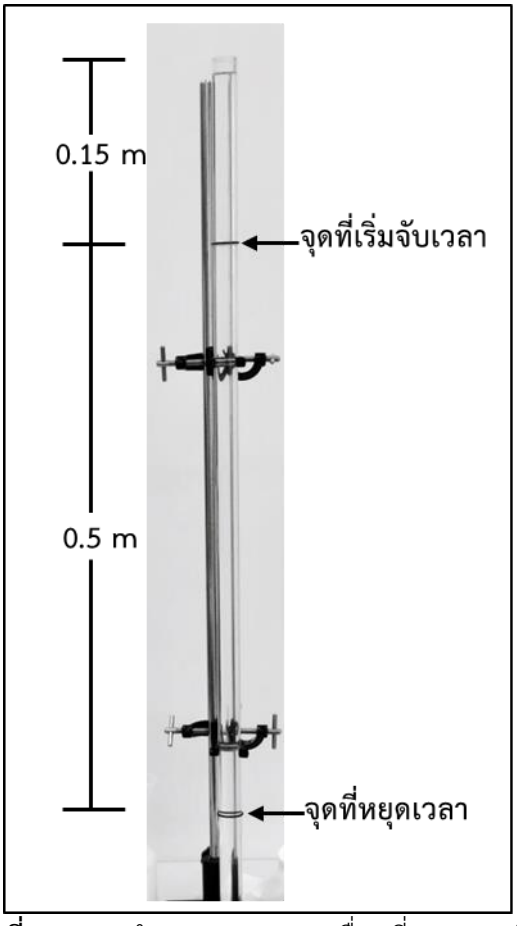
ตอนที่ 2 หาค่าสัมประสิทธิ์ความหนืดของกลีเซอรีน

1. นำกลีเซอรีนมาบรรจุในท่อแก้ว
2. วัดระยะจากปลายท่อด้านบนลงมา 15 cm จากนั้นใช้ห่วงยางสีดำรัดไว้ที่ตำแหน่งดังกล่าวและกำหนดให้เป็นจุดที่เริ่มจับเวลา
3. วัดระยะจากห่วงยางสีดำลงมา 50 cm แล้วใช้ห่วงยางสีดำเส้นที่สองรัดไว้ที่ตำแหน่งดังกล่าวและกำหนดให้เป็นจุดที่หยุดจับเวลา ดังแสดงในรูปที่ 7.3
4. กำหนดให้ลูกเหล็กขนาดที่ 1, 2, และ 3 เรียงจากขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางน้อยสุดไปหาขนาดที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางมากสุด ตามลำดับ

5. ปล่อยลูกเหล็กขนาดที่ 1 ในกลีเซอรีน เริ่มจับเวลาการเคลื่อนที่เมื่อลูกเหล็กเคลื่อนผ่านห่วงยางเส้นแรก และหยุดเวลาเมื่อลูกเหล็กเคลื่อนผ่านห่วงยางเส้นที่สอง บันทึกผล
6. ใช้แท่งแม่เหล็กเพื่อนำลูกเหล็กออกจากท่อแก้ว
7. จับเวลาซ้ำอีก 2 ครั้ง และหาอัตราเร็วเฉลี่ย, v , ในการเคลื่อนที่ของลูกเหล็กจากความสัมพันธ์

$$v = \frac{s}{t}$$

8. เปลี่ยนขนาดของลูกเหล็กเป็นขนาดที่ 2, 3 และ 4 และทำการทดลองซ้ำในข้อ 4 ถึง 6
9. เขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างรัศมีของลูกเหล็กยกกำลังสอง, r^2 , กับอัตราเร็วเฉลี่ย, v , ของลูกเหล็กในกลีเซอรีน แล้วหาความชันของเส้นกราฟ , m
10. คำนวณค่าสัมประสิทธิ์ความหนืดของกลีเซอรีน โดยใช้สมการ (7.5)
11. คำนวณค่าร้อยละความคลาดเคลื่อนของสัมประสิทธิ์ความหนืดของกลีเซอรีนที่ได้จากการทดลองโดยเทียบกับค่าจริงในตารางที่ 7.1



รูปที่ 7.3 การกำหนดระยะการเคลื่อนที่ของลูกเหล็ก

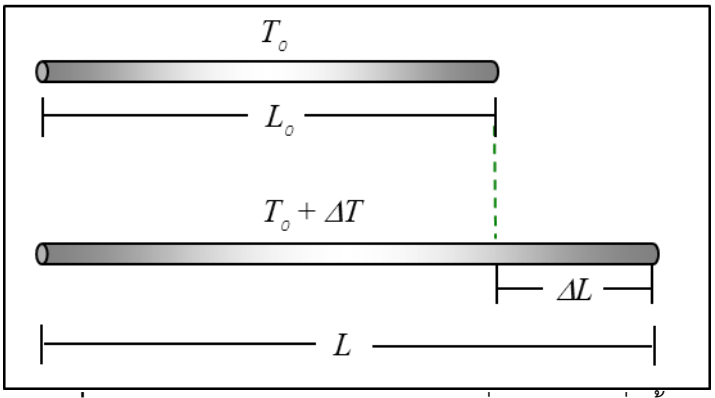
เอกสารอ้างอิง

1. Vibrant high technology cluster of Cambridge. 2556. Arecor launches new platform tool for viscosity reduction in high concentration biologics. **Cambridge Network**. แหล่งที่มา: https: / / www. cambridgenetwork. co. uk/ news/ arecor-launches-new-platform-tool-forviscosity-reduction-in1847/, 9 กรกฎาคม 2560.
2. ปรเมษย์ ปัญญาเหล็ก. 2550. **ฟิสิกส์ 1**. พิมพ์ครั้งที่ 13. ฝ่ายบริหาร มหาวิทยาลัยศรีปทุม, กรุงเทพฯ.
3. สมพงษ์ ใจดี. 2551.**ฟิสิกส์มหาวิทยาลัย 2**. โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.
4. Kaye and Laby Tables of Physical & Chemical Constants. 2560. Viscosities. **Viscosities of liquids**. แหล่งที่มา :http://www.kayelaby.npl.co.uk/general_physics/2_2/2_2_3.html, 10 สิงหาคม 2560.

การทดลองที่ 8
เรื่อง สัมประสิทธิ์การขยายตัวเชิงเส้นของโลหะ

8.1 ทฤษฎี

เมื่อของแข็งมีอุณหภูมิสูงขึ้นจะทำให้แอมปลิจูดการสั่นของอะตอมในตาข่ายโครงผลึกของของแข็งมีค่าเพิ่มขึ้นด้วย ถ้าแอมปลิจูดการสั่นของอะตอมที่เพิ่มขึ้นนี้ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงต่อรูปร่างของของแข็งใน 1 มิติ เช่น มีความยาวเพิ่มขึ้น ซึ่งจะเรียกว่าของแข็งนั้นว่ามี “การขยายตัวเชิงเส้น” ดังแสดงในรูปที่ 8.1



รูปที่ 8.1 การขยายตัวเชิงเส้นของโลหะเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น

จากรูป ความยาวที่เพิ่มขึ้นของโลหะมีความสัมพันธ์กับความยาวตอนเริ่มต้น และอุณหภูมิที่เปลี่ยนไปของโลหะ ดังสมการ

$$\Delta L = \alpha L_0 \Delta T \tag{8.1}$$

เมื่อ ΔL คือ ความยาวที่เปลี่ยนไปของโลหะ (m)
มีค่าเท่ากับ ความยาวสุดท้าย (L) – ความยาวตอนเริ่มต้น (L_0)

α คือ สัมประสิทธิ์การขยายตัวเชิงเส้นของโลหะ ($^{\circ}C^{-1}$ หรือ K^{-1})

L_0 คือ ความยาวตอนเริ่มต้นของโลหะ (m)

ΔT คือ อุณหภูมิที่เปลี่ยนไปของโลหะ ($^{\circ}C$)
มีค่าเท่ากับ อุณหภูมิสุดท้าย (T) - อุณหภูมิตอนเริ่มต้น (T_0)

ดังนั้น เราสามารถเขียนสัมประสิทธิ์การขยายตัวเชิงเส้นของโลหะได้ในรูปของความยาวที่เปลี่ยนไป (ΔL) ต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ (ΔT) ดังสมการ

$$\alpha = \left(\frac{\Delta L}{\Delta T}\right)\frac{1}{L_0} \tag{8.2}$$

ในทางปฏิบัติสามารถคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเชิงเส้นของโลหะได้โดยการเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความยาวที่เปลี่ยนไปของโลหะต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของโลหะนั้น แล้วหาความชันของเส้นกราฟ (m) นั่นคือ

$$\alpha = \frac{m}{L_0} \tag{8.3}$$

เนื่องจากโลหะแต่ละชนิดสามารถขยายตัวในแนวยาวหรือขยายตัวเชิงเส้นได้แตกต่างกันแม้จะได้รับความร้อนที่เท่ากัน ค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเชิงเส้นจึงเป็นค่าเฉพาะของโลหะแต่ละชนิด ดังแสดงในตารางที่ 8.1

ตารางที่ 8.1 ค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเชิงเส้นของโลหะบางชนิด

ชนิดโลหะ	**สัมประสิทธิ์การขยายตัวเชิงเส้น (°C)$^{-1}$**
อะลูมิเนียม	2.2×10^{-5}
ทองแดง	1.6×10^{-5}
เหล็ก	1.1×10^{-5}

8.2 วัตถุประสงค์การทดลอง

8.2.1 เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างการขยายตัวเชิงเส้นของโลหะกับการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ

8.2.2 สามารถหาค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเชิงเส้นของโลหะได้

8.3 อุปกรณ์การทดลอง

8.3.1	ชุดทดลองหาค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเชิงเส้นของโลหะ (อ่างน้ำและเครื่องทำความร้อน)	จำนวน	1	ชุด
8.3.2	ท่อโลหะ (อะลูมิเนียม ทองแดง และเหล็ก)	จำนวน	3	ชิ้น
8.3.3	ฐานวางชุดทดลอง	จำนวน	1	ชิ้น
8.3.4	มาตรวัดการขยายตัวเชิงเส้น	จำนวน	1	อัน

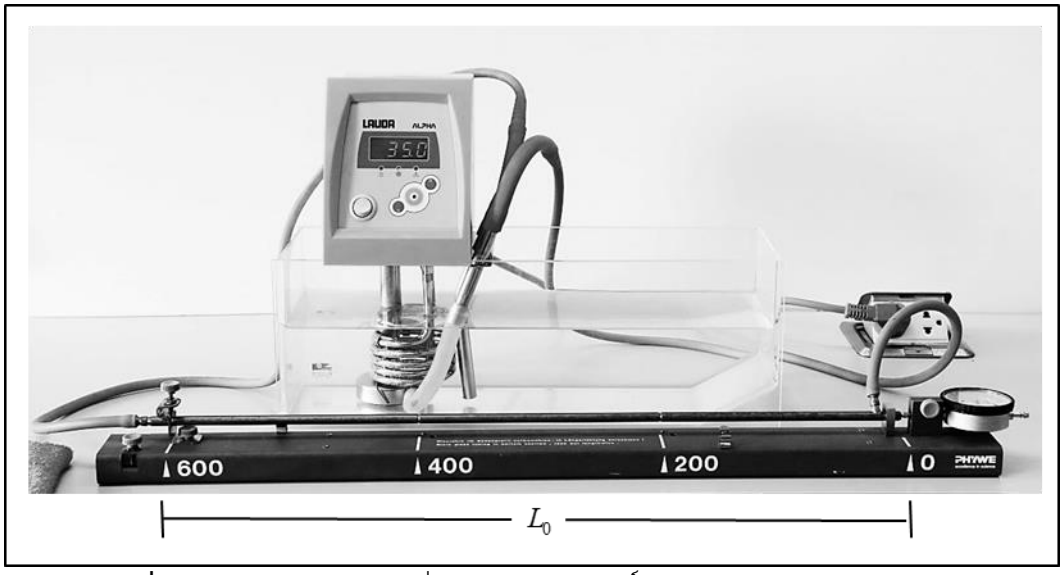
8.4 วิธีการทดลอง

ตอนที่ 1 ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างการขยายตัวเชิงเส้นของโลหะกับการเปลี่ยนแปลงขออุณหภูมิ

1. ประกอบท่ออะลูมิเนียมบนฐานวางชุดทดลอง ให้ร่องบนปลายท่อด้านที่ 1 สวมลงพอดีกับตัวรับบนฐานวางชุดทดลอง และสัมผัสพอดีกับหมุดของมาตรวัดการขยายตัวเชิงเส้น พร้อมกับจัดให้ปลายท่อด้านที่ 2 สวมลงพอดีกับตัวรับบนฐานวางชุดทดลองและอยู่ที่ตำแหน่ง 600 mm (กำหนดให้เป็นความยาวเริ่มต้นของโลหะ, L_0) จากนั้นขันสกรูยึดท่อให้แน่น ดังแสดงในรูปที่ 8.2

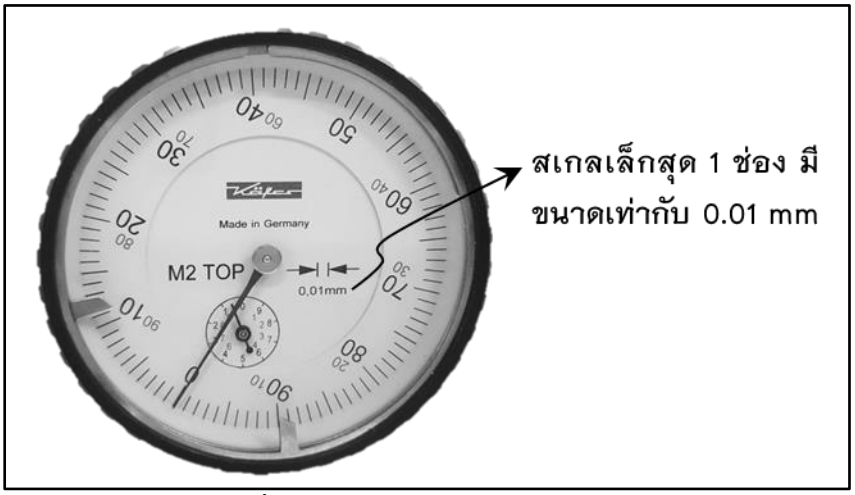
รูปที่ 8.2 การประกอบท่ออะลูมิเนียมบนฐานวางชุดทดลอง

2. ใส่น้ำลงในอ่างโดยให้มีปริมาตร 3 ใน 4 ของปริมาตรอ่าง
3. นำสายยางมาต่อกับปลายท่ออะลูมิเนียมทั้งสองด้าน ดังแสดงในรูปที่ 8.3



รูปที่ 8.3 การจัดชุดทดลองเพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเชิงเส้นของโลหะ

4. เปิดเครื่องทำความร้อนที่วางอยู่ในอ่าง จากนั้นปรับให้เครื่องมีอุณหภูมิ 35°C (กำหนดเป็นอุณหภูมิอุณหภูมิตอนเริ่มต้น, T_0)
5. เมื่ออุณหภูมิของเครื่องทำความร้อนคงที่ที่ 35 °C จึงปรับมาตรวัดการขยายตัวเชิงเส้นให้เป็นศูนย์ ดั' แสดงในรูปที่ 8.4



รูปที่ 8.4 มาตรวัดการขยายตัวเชิงเส้น

6. ปรับเครื่องทำความร้อนที่ให้มีอุณหภูมิ T =40 °C และรอจนกระทั่งอุณหภูมิของเครื่องทำความร้อนคงที่ที่ 40 °C จึงอ่านค่าการขยายตัวเชิงเส้น, ΔL ,จากมาตรวัดและคำนวณให้อยู่ในหน่วยเมตร บันทึกผล
7. ปรับเครื่องทำความร้อนให้มีอุณหภูมิ T =45 °C, 50 °C, 55 °C, และ 60 °C จึงอ่านค่าการขยายตัวเชิงเส้น, ΔL ,จากมาตรวัดและคำนวณให้อยู่ในหน่วยเมตร บันทึกผล
8. ปรับลดอุณหภูมิของเครื่องทำความร้อนให้เหลือ 35 °C จากนั้นปิดเครื่องและเปลี่ยนน้ำในอ่าง

9. ทำการทดลองซ้ำ เช่นเดียวกับข้อ 1-7 โดยเปลี่ยนจากท่ออะลูมิเนียมเป็นทองแดงและเหล็ก
10. คำนวณหาค่าอุณหภูมิที่เปลี่ยนไปของโลหะ, ΔT
11. เขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความยาวที่เปลี่ยนไปของโลหะ, ΔL, กับการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ, ΔT
12. คำนวณค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเชิงเส้นของอะลูมิเนียม ทองแดง และเหล็กจากความชันของกราฟโดยใช้สมการ (8.3)
13. คำนวณค่าร้อยละความคลาดเคลื่อนของสัมประสิทธิ์การขยายตัวเชิงเส้นของโลหะแต่ละชนิด โดยใช้ตารางที่ 8.1

เอกสารอ้างอิง

1. การะเกด แก้วใหญ่. 2553. **ฟิสิกส์ทั่วไป**. คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ, สงขลา.
2. ปรเมษย์ ปัญญาเหล็ก. 2550. **ฟิสิกส์ 1**. พิมพ์ครั้งที่ 13. ฝ่ายบริหาร มหาวิทยาลัยศรีปทุม, กรุงเทพฯ.
3. ประธาน บุรณศิริ และคณะ. 2558. **ฟิสิกส์ 1**. เซนเกจ เลินนิ่ง-ไชน่า จำกัด, กรุงเทพฯ. แปลจาก
4. Raymond A. Serway & John W. Jewett, Jr. **Physics for Scientists and Engineers with Modern Physics**. Thomson-Brooks/Cole, USA

การทดลองที่ 9
เรื่อง คลื่นนิ่ง

9.1 ทฤษฎี

การเคลื่อนที่แบบคลื่นเกิดจากการรบกวนสภาวะสมดุลทางฟิสิกส์ ทำให้เกิดการส่งผ่านพลังงานจากที่หนึ่งไปอีกที่หนึ่ง การส่งผ่านพลังงานโดยการเคลื่อนที่ของคลื่นนั้นมีทั้งแบบอาศัยตัวกลางหรือไม่อาศัยตัวกลาง

คลื่นที่อาศัยตัวกลางในการเคลื่อนที่นั้น เรียกว่าคลื่นกล เช่น คลื่นในเส้นเชือก คลื่นเสียง และคลื่นน้ำ เป็นต้น ซึ่งอัตราเร็วในการเคลื่อนที่ของคลื่นหาได้จากสมการ

$$v = f\lambda \tag{9.1}$$

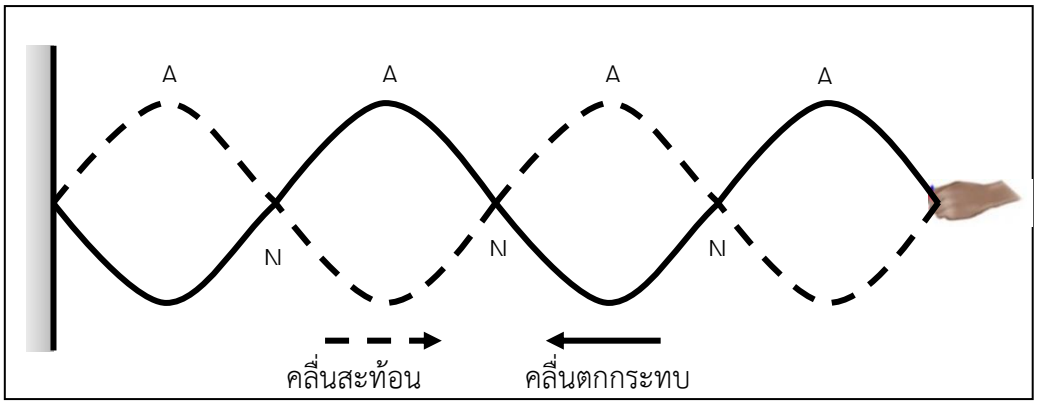
เมื่อ v คือ อัตราเร็วคลื่น มีหน่วยเป็น เมตรต่อวินาที (m/s)

f คือ ความถี่ของคลื่น มีหน่วยเป็น เฮิรซ์ (Hz)

λ คือ ความยาวของคลื่น มีหน่วยเป็น เมตร (m)

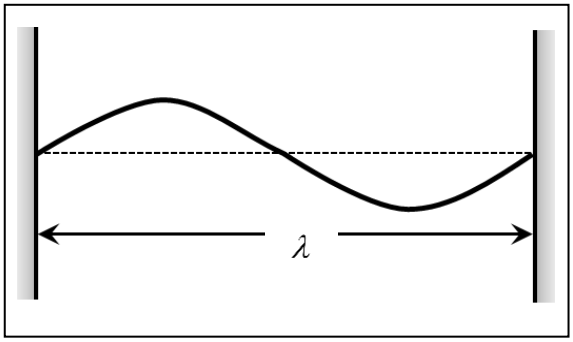
ถ้าตรึงปลายเชือกข้างหนึ่งไว้แล้วดึงที่ปลายเชือกอีกข้างหนึ่งให้ตึง จากนั้นสะบัดปลายเชือกด้านที่ดึงไว้จะเกิดคลื่นตามขวางเคลื่อนที่จากปลายด้านที่สะบัดไปยังปลายด้านที่ถูกตรึงไว้ หลังจากนั้นจะเกิดคลื่นสะท้อนกลับจากจุดตรึง และเกิดการซ้อนทับกันของคลื่นตกกระทบและคลื่นสะท้อน โดยคลื่นทั้งสองลูกมีความถี่ (frequency) แอมพลิจูด (amplitude) เท่ากัน แต่มีเฟสต่างกัน ถ้าความยาวเชือกคงที่ แล้วมีความตึงของเชือกและความถี่พอเหมาะ คลื่นทั้งสองจะรวมกันแบบเสริมกันและเกิดเป็นคลื่นนิ่ง (standing wave) แสดงดังในรูป 9.1 โดยจะเห็นคลื่นสั่นเป็นส่วน ๆ

ณ ตำแหน่งที่คลื่นทั้งสองมีเฟสตรงกัน ทำให้เกิดการแทรกสอดแบบเสริม ส่งผลให้คลื่นลัพธ์มีแอมพลิจูดเป็นสองเท่าของคลื่นเดิมแต่ละลูก และมีการกระจัดลัพธ์สูงสุด ตำแหน่งนี้เรียกว่า ปฏิบัพ (Antinoads : A) ณ ตำแหน่งที่คลื่นทั้งสองมีเฟสตรงกันข้าม ทำให้เกิดการแทรกสอดแบบหักล้าง ส่งผลให้คลื่นลัพธ์เป็นศูนย์ และการกระจัดลัพธ์เป็นศูนย์ จึงเห็นเป็นจุดที่ไม่มีการขยับ ตำแหน่งนี้เรียกว่า บัพ (Noads : N)

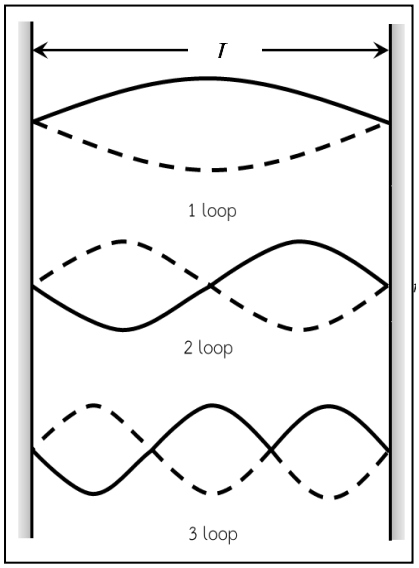


รูปที่ 9.1 คลื่นนิ่งในเส้นเชือก

ระยะห่างระหว่างปฏิบัพที่อยู่ถัดกัน หรือบัพที่อยู่ถัดกันมีค่าเป็น $\lambda/2$ และระยะห่างระหว่างบัพกับปฏิบัพที่อยู่ถัดกันเป็น $\lambda/4$



รูปที่ 9.2 การวัดความยาวคลื่น



รูปที่ 9.3 คลื่นนิ่งในเส้นเชือกที่ความถี่ต่าง ๆ

ความยาวคลื่น (λ) หาได้จากสมการที่ (9.2)

$$\lambda_n = \frac{2L}{n} \qquad (9.2)$$

เมื่อ λ_n คือ ความยาวคลื่น มีหน่วยเป็น เมตร (m)

L คือ ความยาวเส้นเชือก มีหน่วยเป็น เมตร (m)

n คือ จำนวนลูกคลื่นของคลื่นนิ่ง (Loop)

เนื่องจากคลื่นนิ่งเกิดขึ้นได้จากความถี่ต่าง ๆ กัน ซึ่งความเร็วของคลื่นนิ่งจึงต่างกันในแต่ละความถี่ ดังนั้น สมการที่ (9.1) จึงเขียนใหม่ได้เป็น

$$v_n = f_n \lambda_n \tag{9.3}$$

เมื่อ v_n คือ อัตราเร็วคลื่น ที่มีจำนวนลูกคลื่น = n

f_n คือ ความถี่ของคลื่น ที่มีจำนวนลูกคลื่น = n

λ_n คือ ความยาวของคลื่น ที่มีจำนวนลูกคลื่น = n

นอกจากนี้ความเร็วของคลื่นนิ่งยังขึ้นอยู่กับแรงตึงเชือก (T) และความหนาแน่นเชิงเส้นของเส้นเชือก (μ) ตามความสัมพันธ์ในสมการที่ (9.4)

$$v = \sqrt{\frac{T}{\mu}} \tag{9.4}$$

เมื่อ v คือ อัตราเร็วคลื่น มีหน่วยเป็น เมตรต่อวินาที (m/s)

T คือ แรงตึงในเส้นเชือก มีหน่วยเป็น นิวตัน (N)

μ คือ ความหนาแน่นเชิงเส้นของเส้นเชือก มีหน่วยเป็น กิโลกรัมต่อเมตร (kg/m)

สมการที่ (9.4) สามารถจัดรูปใหม่ได้ว่า $$v^2 = \left(\frac{1}{\mu}\right)T \tag{9.5}$$

เมื่อเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราเร็วคลื่นยกกำลังสอง (v^2) กับแรงตึงเชือก (T) จะได้ว่าความชันของกราฟ (slope) คือ

$$m = \frac{1}{\mu} \tag{9.6}$$

หรือ $$\mu = \frac{1}{m} \tag{9.7}$$

โดยนิยาม ความหนาแน่นเชิงเส้นของเส้นเชือก (μ) คือมวลของเชือก (m) ต่อหนึ่งหน่วยความยาวเชือก (L) หาได้จาก

$$\mu = \frac{m}{L} \tag{9.8}$$

9.2 วัตถุประสงค์การทดลอง

9.2.1 เพื่อศึกษาการเกิดคลื่นนิ่งในเส้นเชือก

9.2.2 เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราเร็วของคลื่นนิ่งกับความตึงของเส้นเชือก

9.2.3 เพื่อหาค่าความหนาแน่นเชิงเส้นของเส้นเชือกและเปรียบเทียบค่าที่ได้จากการทดลองกับค่าจริง

9.3 อุปกรณ์การทดลอง

9.3.1 ชุดการทดลองคลื่นนิ่งในเส้นเชือก 1 ชุด ประกอบด้วย

- รอกและอุปกรณ์ยึดเครื่องมือกับโต๊ะ	จำนวน	1	ชุด
- เครื่องกำเนิดความถี่ (function generator)	จำนวน	1	เครื่อง
- เส้นลวด	จำนวน	1	เส้น
- มวลที่ใช้สำหรับแขวน	จำนวน	1	ชุด
- ตะขอสำหรับแขวนมวล	จำนวน	1	อัน
- แท่งแม่เหล็ก	จำนวน	1	แท่ง
- ตลับเมตร	จำนวน	1	อัน
9.3.2 เครื่องชั่งดิจิตัล	จำนวน	1	เครื่อง

9.4 วิธีการทดลอง

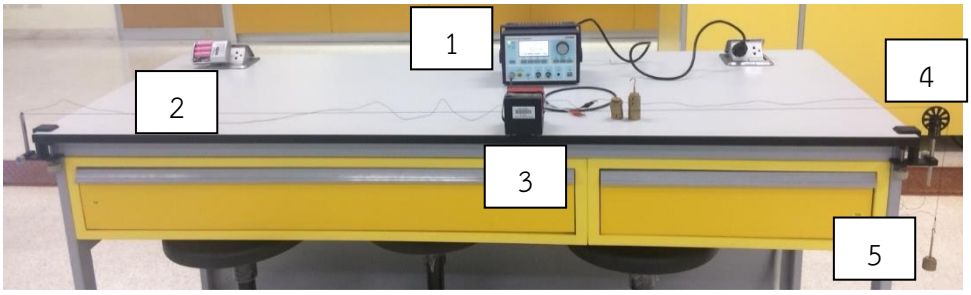
ตอนที่ 1 หาค่าความหนาแน่นเชิงเส้นของเส้นเชือก (μ_1)

1. วัดความยาว (L) และชั่งมวล (m) ของเส้นลวด แล้วบันทึกผลในตารางที่ 1
2. คำนวณหาค่าจริงของความหนาแน่นเชิงเส้นของเส้นเชือก (μ_1) จากสมการ (9.8) แล้วบันทึกผลในตารางที่ 1

ตอนที่ 2 ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราเร็วของคลื่นนิ่งกับความตึงของเส้นเชือกและหาค่าความหนาแน่นเชิงเส้นของเส้นเชือก (μ_2)

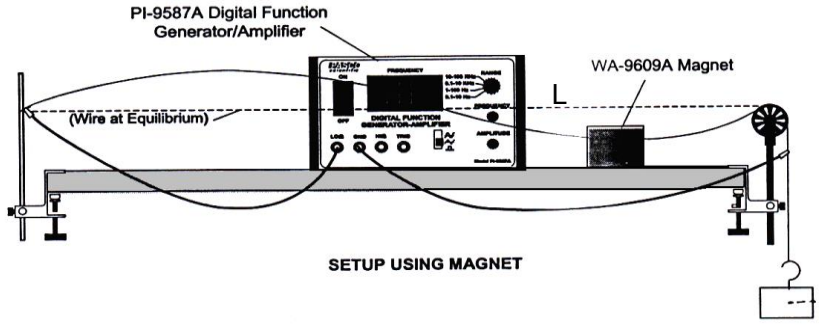
1. ติดตั้งอุปกรณ์การทดลองดังรูป 9.4 โดยใช้เส้นลวดที่กำหนดให้
2. ใส่มวลแขวนโดยให้ผลรวมของมวลกับตะขอมีค่า 100 กรัม
3. ทำการวัดค่าความยาวของเส้นลวดโดยวัดจากจุดตรึงไปยังจุดกึ่งกลางรอกและบันทึกค่าความยาวของเส้นลวด (L)
4. นำแท่งแม่เหล็กไปวางโดยให้เส้นลวดอยู่บริเวณกึ่งกลางของแท่งแม่เหล็ก และให้ตำแหน่งของแท่งแม่เหล็กอยู่ตรงกลางของความยาวเส้นลวด (L)
5. ตั้งค่าแอมพลิจูดที่เครื่องฟังก์ชันเจนเนอร์เรเตอร์ 4 โวลต์ แล้วปรับค่าความถี่จนกระทั่งสังเกตเห็นการสั่นของเส้นลวดเกิดเป็นคลื่นนิ่งชัดเจนที่สุดจำนวน 5 บ่วง บันทึกค่าความถี่ ลงในตารางที่ 2

6. ทำการทดลองเช่นเดิม แต่เปลี่ยนค่าผลรวมของมวลกับตะขอเป็น 150, 200, 250, 300, 350 และ 400 กรัม
7. คำนวณค่าความยาวคลื่น (λ) จากสมการที่ (9.2) และคำนวณค่าอัตราเร็วคลื่น (v) จากสมการที่ (9.1) และคำนวณค่าอัตราเร็วคลื่นยกกำลังสอง (v^2) แล้วบันทึกค่าลงในตารางที่ 2
8. คำนวณหาค่าความตึงของเส้นลวดจากสมการ $T = mg$ โดยกำหนดค่า $g = 9.81\ m/s^2$
9. เขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราเร็วคลื่นยกกำลังสอง (v^2) กับแรงตึงเชือก (T)
10. หาความชันของกราฟ (slope) ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราเร็วคลื่นยกกำลังสอง (v^2) กับแรงตึงเชือก (T)
11. นำค่าความชันไปคำนวณหาค่าความหนาแน่นเชิงเส้น (μ_2) โดยใช้สมการที่ (9.7)
12. คำนวณค่าร้อยละความแตกต่างของความหนาแน่นเชิงเส้นของเส้นเชือกที่ได้จากการทดลองตอนที่ 1 และ 2 (μ_1 และ μ_2)



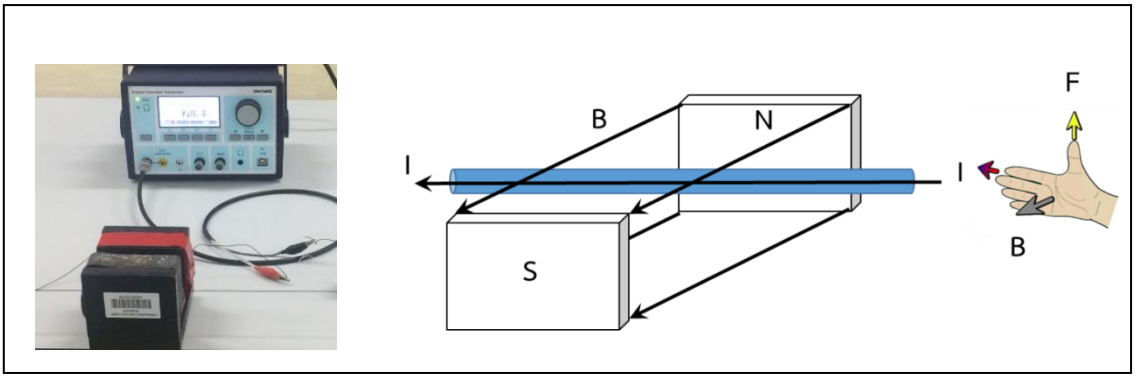
1 = ฟังก์ชันเจนเนอร์เรเตอร์
2 = เส้นลวด
3 = แท่งแม่เหล็ก
4 = รอก
5 = มวลที่ใช้สำหรับแขวน

(a)



(b)

รูปที่ 9.4 (a) การติดตั้งชุดทดลองและ (b) ลักษณะของคลื่นนิ่งที่เกิดขึ้น



รูปที่ 9.5 แรงที่กระทำต่อเส้นลวดที่วางอยู่ในสนามแม่เหล็กเมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่าน

เอกสารอ้างอิง

1. ปรเมษฐ์ ปัญญาเหล็ก. 2538. **ปฏิบัติการฟิสิกส์ 1**. มหาวิทยาลัยศรีปทุม, กรุงเทพฯ.
2. David Halliday and Robert Resnick. 2011. Fundamentals of physics (9th ed). Jearl Walker. Raymond A.
3. Serway and John W. Jewett. 2004. Physics for Scientists and Engineers (6th Ed). Thomson Brooks/Cole.

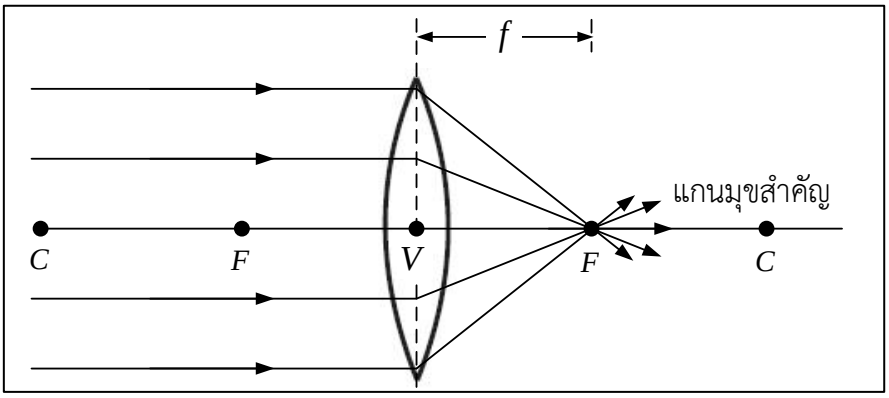
การทดลองที่ 10
เรื่อง เลนส์นูนและเลนส์เว้า

10.1 ทฤษฎี

10.1.1 เลนส์ (Lens)

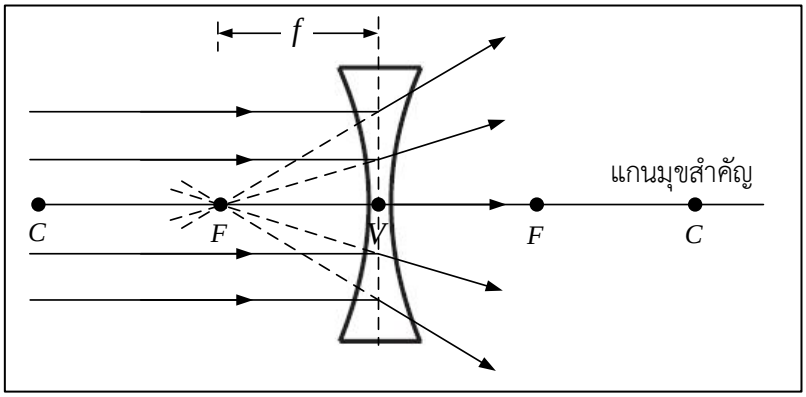
เลนส์ (lens) เป็นส่วนประกอบสำคัญของทัศนูปกรณ์หลายชนิด เช่น กล้องถ่ายรูป กล้องโทรทรรศน์ และกล้องจุลทรรศน์ เลนส์แบ่งได้ 2 ประเภท หลักๆ ได้แก่ เลนส์นูนและเลนส์เว้า

เลนส์นูน (Convex Lens) คือ เลนส์ที่มีลักษณะส่วนตรงกลางหนากว่าส่วนปลาย ทำหน้าที่รวมแสงเมื่อมีแสงขนานมาตกกระทบเลนส์ รังสีหักเหของแสงจะทะลุผ่านเลนส์ไปตัดกันจริงที่จุดโฟกัสซึ่งอยู่หลังเลนส์



รูปที่ 10.1 ลักษณะการหักเหของแสงขนานผ่านเลนส์นูน

เลนส์เว้า (Concave Lens) คือ เลนส์ที่มีลักษณะส่วนตรงกลางบางกว่าส่วนปลาย ทำหน้าที่กระจายแสงเมื่อมีแสงขนานมาตกกระทบเลนส์ รังสีหักเหของแสงจะกระจายออกทะลุผ่านเลนส์โดยแนวของรังสีหักเหไปตัดกันที่จุดโฟกัสด้านหน้าเลนส์



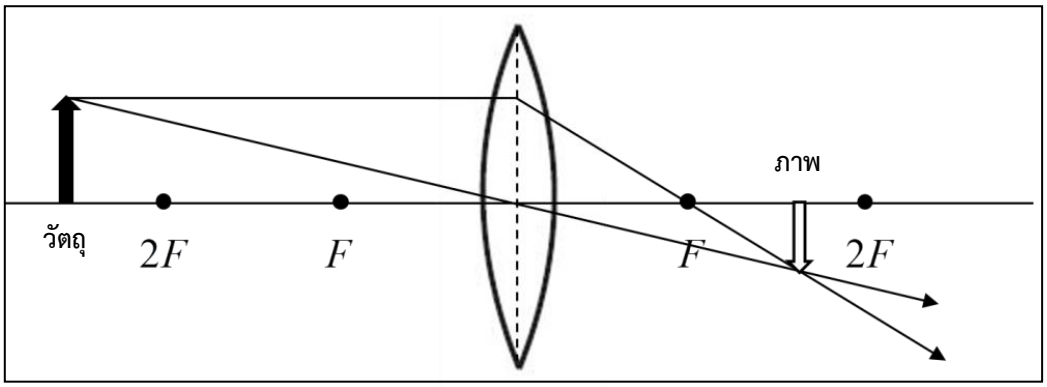
รูปที่ 10.2 ลักษณะการหักเหของแสงขนานผ่านเลนส์เว้า

10.1.2 การเขียนแผนภาพแสดงการเกิดภาพจากเลนส์

ภาพที่เกิดจากการหักเหของแสงผ่านเลนส์จะเกิด ณ ตำแหน่งที่เป็นจุดตัดกันของเส้นรังสีหักเห ซึ่งการเขียนแผนภาพแสดงทางเดินแสงสามารถหาตำแหน่งของภาพได้

<u>สำหรับเลนส์นูน มีวิธีการเขียนแผนภาพดังนี้</u>

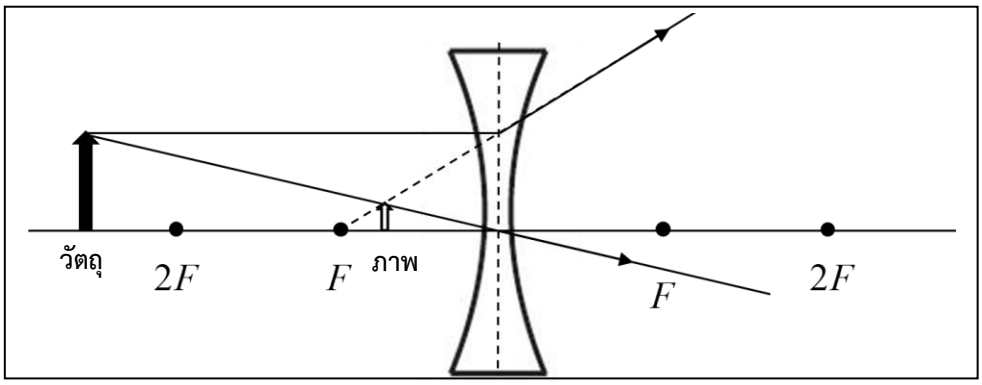
1. เขียนเส้นรังสีตกกระทบจากวัตถุให้ขนานกับแกนมุขสำคัญ เมื่อผ่านเลนส์นูนแล้วหักเหไปผ่านที่จุดโฟกัสหลังเลนส์
2. เขียนเส้นรังสีตกกระทบจากวัตถุให้ผ่านจุดกึ่งกลางเลนส์โยไม่มีการหักเห
3. ตำแหน่งที่รังสีหักเหจากข้อ 1 และ 2 ตัดกัน คือ ตำแหน่งที่เกิดภาพ



รูปที่ 10.3 แผนภาพแสดงการเกิดภาพจากเลนส์นูน

<u>สำหรับเลนส์เว้า มีวิธีการเขียนแผนภาพดังนี้</u>

1. เขียนเส้นรังสีตกกระทบจากวัตถุให้ขนานกับแกนมุขสำคัญ เมื่อผ่านเลนส์เว้าแล้วหักเหเบนออกจากแกนมุขสำคัญ เมื่อต่อแนวรังสีในทิศย้อนกลับเส้นรังสีจะผ่านจุดโฟกัสหน้าเลนส์
2. เขียนเส้นรังสีตกกระทบจากวัตถุให้ผ่านจุดกึ่งกลางเลนส์โดยไม่มีการหักเห
3. ตำแหน่งที่รังสีหักเหจากข้อ 1 และ 2 ตัดกัน คือ ตำแหน่งที่เกิดภาพ



รูปที่ 10.4 แผนภาพแสดงการเกิดภาพจากเลนส์เว้า

10.1.3 คำนวณสำหรับเลนส์

ความสัมพันธ์ระหว่าง ความยาวโฟกัส ระยะภาพ ระยะวัตถุ ขนาดภาพ ขนาดวัตถุ และกำลังขยาย หาได้จาก

$$f = \frac{R}{2} \tag{10.1}$$

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{s} + \frac{1}{s'} \tag{10.2}$$

และ $$m = \frac{s'}{s} = \frac{Y'}{Y} \tag{10.3}$$

เมื่อ f คือ ความยาวโฟกัส (cm)

R คือ รัศมีความโค้งของเลนส์ (cm)

s คือ ระยะวัตถุ (cm)

s' คือ ระยะภาพ (cm)

Y คือ ความสูงของวัตถุ (cm)

Y' คือ ความสูงของภาพ (cm)

m คือ กำลังขยาย (เท่า)

ตารางที่ 1 การใช้เครื่องหมายสำหรับการคำนวณเกี่ยวกับเลนส์

ปริมาณ	**เครื่องหมาย**	
	บวก (+)	**เป็นลบ (-)**
ความยาวโฟกัส (f)	เลนส์นูน	เลนส์เว้า
ระยะวัตถุ (s)	วัตถุจริง	วัตถุเสมือน
ระยะภาพภาพ (s')	ภาพจริง	ภาพเสมือน

10.2 วัตถุประสงค์การทดลอง

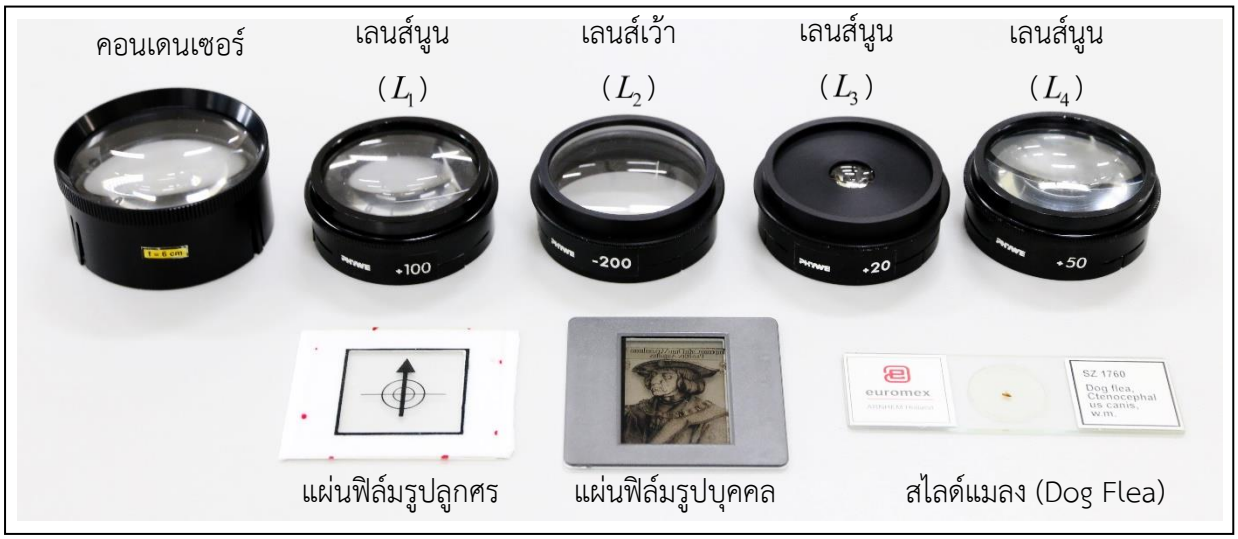
10.2.1 เพื่อหาค่าความยาวโฟกัสของเลนส์นูนและเลนส์เว้า

10.2.2 เพื่อหาค่ากำลังขยายของเลนส์นูนและเลนส์เว้า

10.2.3 เพื่อศึกษาลักษณะภาพที่เกิดจากเลนส์นูนและเลนส์เว้า

10.3 อุปกรณ์การทดลอง

10.3.1 กล่องกำเนิดแสง	จำนวน	1	เครื่อง
10.3.2 คอนเดนเซอร์ (Condenser)	จำนวน	1	อัน
10.3.3 เลนส์นูน (L_1) : +100 mm	จำนวน	1	อัน
10.3.4 เลนส์เว้า (L_2) : -200 mm	จำนวน	1	อัน
10.3.5 เลนส์นูน (L_3) : +20 mm	จำนวน	1	อัน
10.3.6 เลนส์นูน (L_4) : +50 mm	จำนวน	1	อัน
10.3.7 ฉากรับภาพ	จำนวน	1	อัน
10.3.8 ไม้บรรทัด	จำนวน	1	อัน
10.3.9 แผ่นฟิล์มรูปลูกศร	จำนวน	1	อัน
10.3.10 สไลด์แมลง (Dog Flea)	จำนวน	1	อัน
10.3.11 แผ่นฟิล์มรูปบุคคล	จำนวน	1	อัน

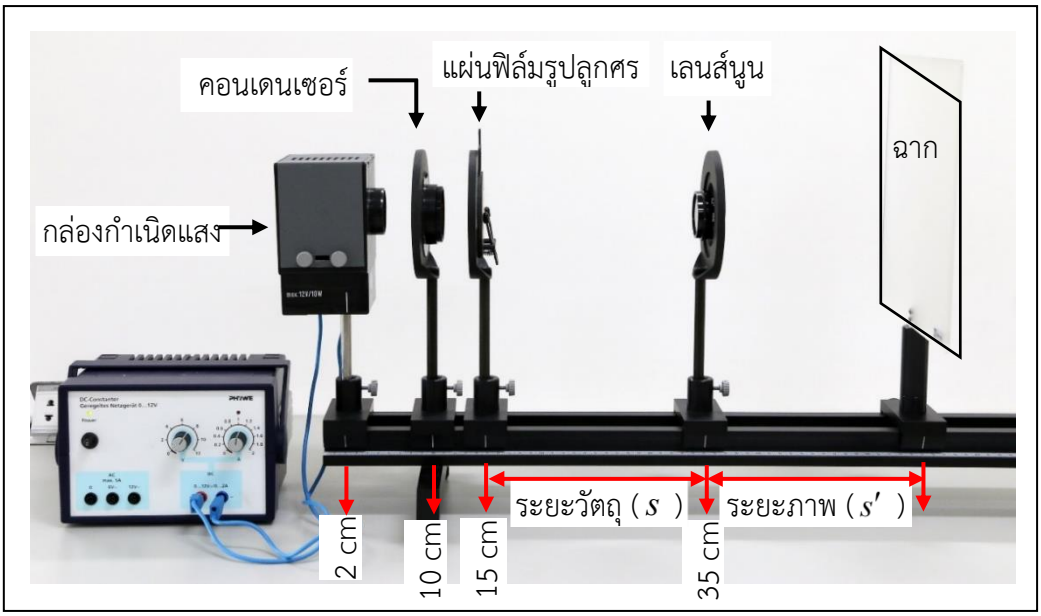


รูปที่ 10.5 อุปกรณ์การทดลอง

10.4 วิธีการทดลอง

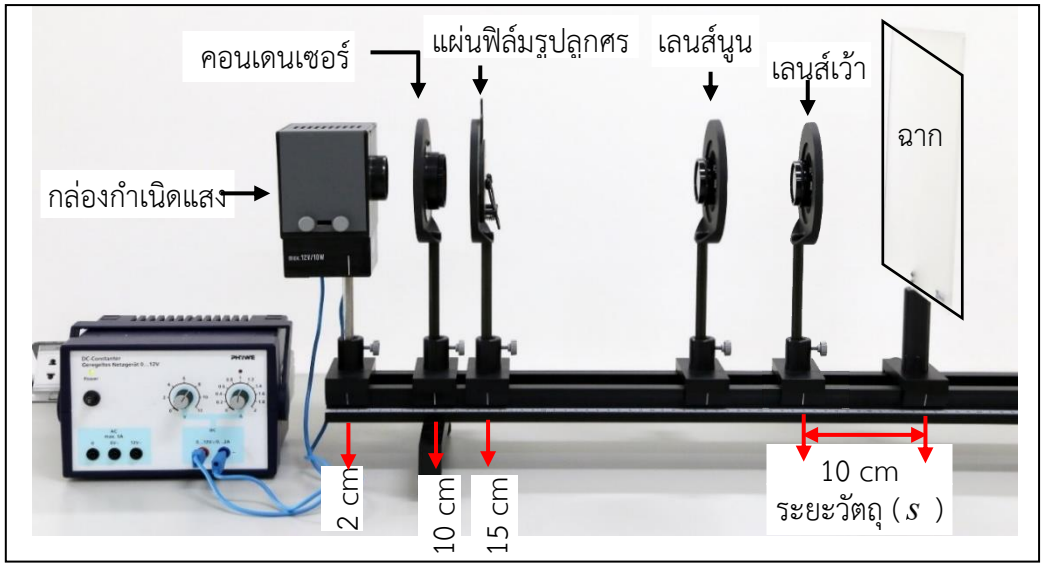
ตอนที่ 1 การหาความยาวโฟกัสและกำลังขยายของเลนส์นูนและเลนส์เว้า

1. จัดอุปกรณ์โดยวางกล่องกำเนิดแสงที่ตำแหน่ง 2 cm, วางคอนเดนเซอร์ที่ตำแหน่ง 10 cm, วางวัตถุ (แผ่นฟิล์มรูปลูกศร) ที่ตำแหน่ง 15 cm, วางเลนส์นูน (L_1) ที่ตำแหน่ง 35 cm และวางฉากหลังเลนส์นูน ดังรูปที่ 10.6

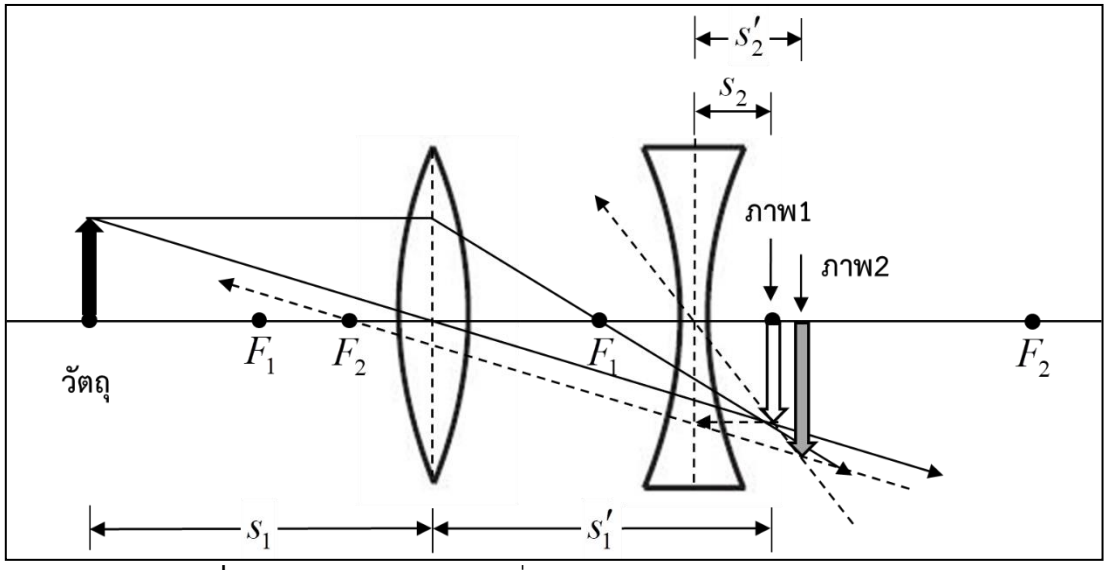


รูปที่ 10.6 การติดตั้งอุปกรณ์เพื่อหาความยาวโฟกัสและกำลังขยายของเลนส์นูน

2. เปิดกล่องกำเนิดแสง แล้วเลื่อนฉากไปมาจนเกิดภาพชัดเจนบนฉาก
3. บันทึกระยะวัตถุ (s), ระยะภาพ (s'), ขนาดของวัตถุ (Y) และขนาดของภาพ (Y') ลงในตารางที่ 1
4. คำนวณหาความยาวโฟกัสของเลนส์ (f_1) และค่ากำลังขยาย (m_1) จากสมการที่ (10.2) และ (10.3) ตามลำดับ และบันทึกค่าลงในตารางที่ 1
5. นำเลนส์เว้า (L_2) วางระหว่างเลนส์นูน (L_1) กับฉากในข้อ 2 โดยให้เลนส์เว้า (L_2) ห่างจากฉาก 10 เซนติเมตร ดังรูปที่ 10.7 บันทึกเป็นระยะวัตถุ (s) (ภาพบนหากที่เกิดจากเลนส์นูนจะทำหน้าที่เป็นวัตถุเสมือนของเลนส์เว้า)
6. เลื่อนฉากไปมาจนเกิดภาพชัดเจนบนฉาก
7. บันทึกระยะภาพ (s'), ขนาดของวัตถุ (Y) และขนาดของภาพ (Y') ลงในตารางที่ 1
8. คำนวณหาความยาวโฟกัสของเลนส์ (f_2) และค่ากำลังขยาย (m_2) จากสมการที่ (10.2) และ (10.3) ตามลำดับ และบันทึกค่าลงในตารางที่ 1



รูปที่ 10.7 การติดตั้งอุปกรณ์เพื่อหาความยาวโฟกัสและกำลังขยายของเลนส์เว้า



รูปที่ 10.8 แสดงการเกิดภาพเมื่อแสงหักเหผ่านเลนส์นูนและเลนส์เว้า

9. คำนวณหาค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของผลการทดลอง ($f_{\exp}$) โดยเทียบกับค่าความยาวโฟกัสแท้จริงของเลนส์ (f_{true}) จากสมการ

$$\text{เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน} = \left|\frac{f_{true} - f_{\exp}}{f_{true}}\right| \times 100\%$$

เมื่อ ความยาวโฟกัสที่แท้จริง (f_{true}) ของเลนส์นูน = 10 cm

ความยาวโฟกัสที่แท้จริง (f_{true}) ของเลนส์เว้า = -20 cm

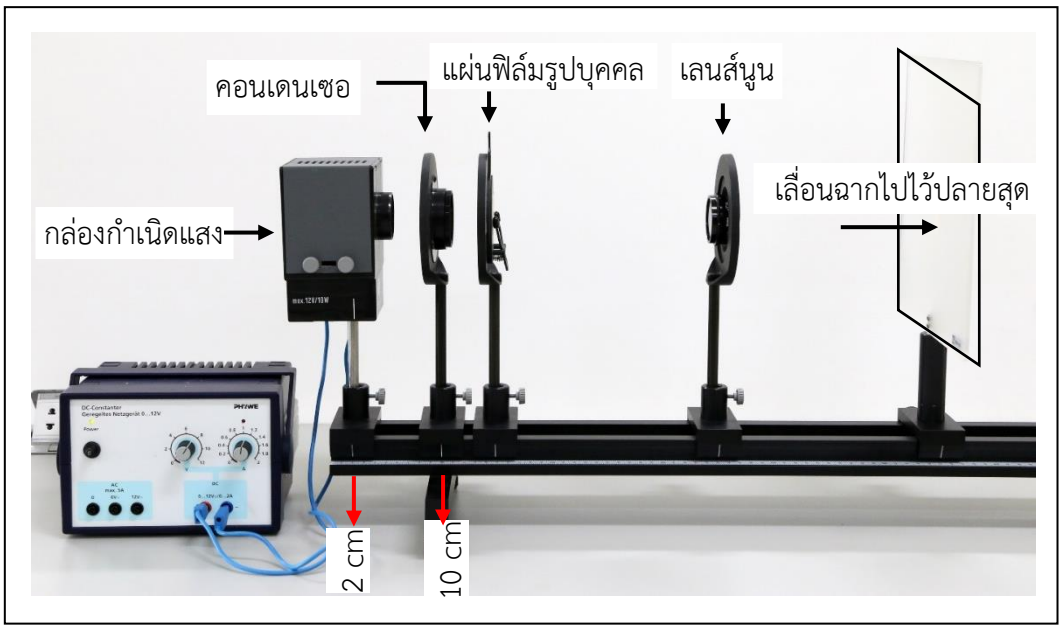
ตอนที่ 2 ลักษณะภาพที่เกิดจากเลนส์นูนและเลนส์เว้า

1. นำเลนส์นูน (L_1) ไปวางที่ตำแหน่งต่าง ๆ ดังต่อไปนี้ คือ
   $s < f$, $s = f$, $f < s < 2f$, $s = 2f$ และ $s > 2f$ สังเกตลักษณะภาพที่เกิดจากเลนส์นูน (L_1) บันทึกลักษณะภาพลงในตารางที่ 2 ตามลำดับ
2. นำเลนส์เว้า (L_2) ไปวางที่ตำแหน่งต่าง ๆ ดังต่อไปนี้ คือ
   $s < f$, $s = f$, $f < s < 2f$, $s = 2f$ และ $s > 2f$ สังเกตลักษณะภาพที่เกิดจากเลนส์เว้า (L_2) บันทึกลักษณะภาพลงในตารางที่ 2 ตามลำดับ

ตอนที่ 3 สร้างอุปกรณ์ทางทัศนศาสตร์พื้นฐานจากเลนส์

ตอนที่ 3.1 การสร้างเครื่องฉายภาพ (Slide projector)

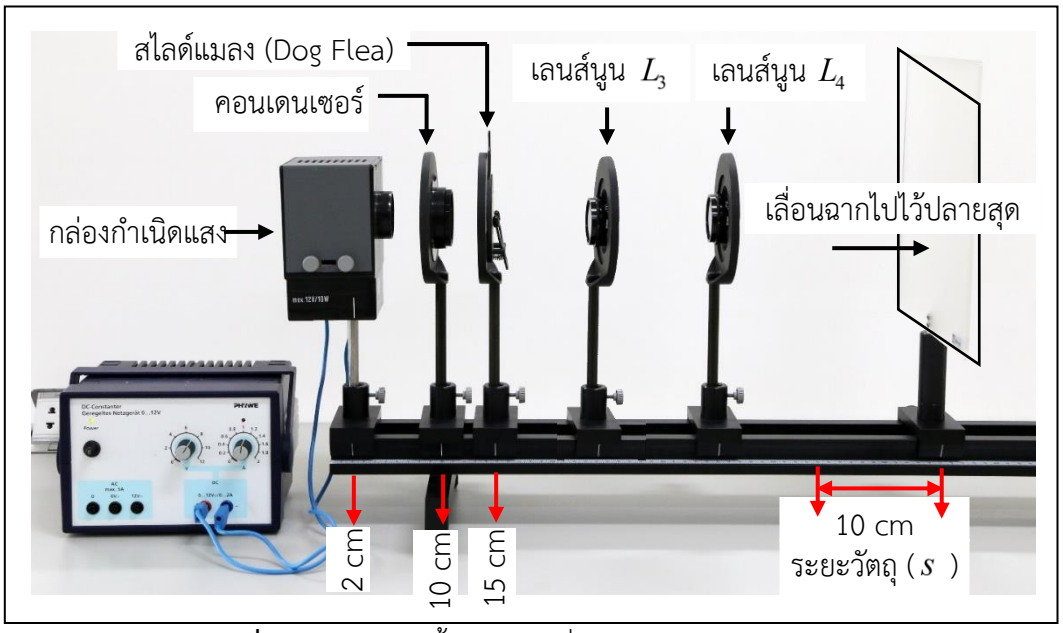
1. นำวัตถุ (แผ่นฟิล์มรูปบุคคล) วาง ระหว่างคอนเดนเซอร์ และเลนส์นูน (L_1) (+100 mm) และเลื่อนฉากไปวางไว้ที่ตำแหน่งปลายสุดของราง ดังรูปที่ 10.9
2. เลื่อนตำแหน่งของวัตถุ (แผ่นฟิล์มรูปบุคคล) และเลนส์นูนเพื่อให้เกิดภาพชัดและมีขนาดใหญ่ที่สุดบนฉาก
3. บันทึกขนาดวัตถุและขนาดภาพในตารางที่ 3 และภาพคำนวณกำลังขยายจากสมการที่ (10.3)



รูปที่ 10.9 การติดตั้งอุปกรณ์เพื่อสร้างเครื่องฉายภาพ

ตอนที่ 3.2 การสร้างกล้องจุลทรรศน์ (Microscope)

1. นำวัตถุ (สไลด์แมลง (Dog Flea)) วางหลังคอนเดนเซอร์, วางเลนส์นูน L_3 (+20 mm) และเลนส์นูน L_4 (+50 mm) หลังวัตถุตามลำดับ และเลื่อนฉากไปวางไว้ที่ตำแหน่งปลายสุดของราง ดังรูปที่ 10.10
2. เลื่อนตำแหน่งของวัตถุ (แผ่นฟิล์มรูปบุคคล) และเลนส์นูน ทั้ง 2 เลนส์ เพื่อให้เกิดภาพชัดและมีขนาดใหญ่ที่สุดบนฉาก
3. บันทึกขนาดวัตถุและขนาดภาพลงในตารางที่ 3 และภาพคำนวณค่ากำลังขยายจากสมการที่ (10.3)



รูปที่ 10.10 การติดตั้งอุปกรณ์เพื่อการสร้างกล้องจุลทรรศน์

เอกสารอ้างอิง

1. สุรศักดิ์ เชียงกา. 2557. ทัศนศาสตร์เบื้องต้น. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. กรุงเทพฯ.
2. David Halliday and Robert Resnick. 2011. Fundamentals of physics (9th ed). Jearl Walker. Raymond A.
3. Serway and John W. Jewett. 2004. Physics for Scientists and Engineers (6th Ed). Thomson Brooks/Cole.

การทดลองที่ 11
เรื่อง การเหนี่ยวนำสนามแม่เหล็ก

11.1 ทฤษฎี

พิจารณากฎการเหนี่ยวนำของฟาราเดย์ (Faraday's law of induction) ซึ่งเป็นการเปลี่ยนแปลงฟลักซ์แม่เหล็กในขดลวดปฐมภูมิ (primary coil) เมื่อฟลักซ์แม่เหล็ก, ϕ , พุ่งผ่านพื้นที่หน้าตัด, A, ของขดลวด ทุติยภูมิ (secondary coil) ที่วางนิ่งอยู่ภายใน จะเกิดการเหนี่ยวนำให้ขดลวดเหนี่ยวนำมีความต่างศักย์ไฟฟ้า, V_{ind}, เกิดขึ้น โดยฟลักซ์แม่เหล็กที่พุ่งผ่านพื้นที่หน้าตัด, A, หาได้จากการปริพันธ์ความหนาแน่นสนามแม่เหล็ก, $\vec{B}$, บนพื้นที่หน้าตัดของขดลวด เป็นตามสมการดังนี้

$$\varphi = \int_A \vec{B} \cdot d\vec{A} \tag{11.1}$$

สำหรับขดลวดตัวนำที่มีเพียงวงลูปเดี่ยว ความต่างศักย์เหนี่ยวนำ, V_{ind}, หาได้จากอัตราการเปลี่ยนแปลง ฟลักซ์แม่เหล็กที่พุ่งผ่านขดลวด ตามสมการดังนี้

$$V_{ind} = -\frac{d\varphi}{dt} = \oint_C \vec{E} \cdot d\vec{s} \tag{11.2}$$

เมื่อ $\vec{E}$ คือ ค่าความเข้มของสนามไฟฟ้า

$\vec{B}$ คือ ความหนาแน่นสนามแม่เหล็ก

s คือ เส้นรอบวงลูปของขดลวดตัวนำ

C คือ ความยาวของลูปตัวนำ

สำหรับขดลวดตัวนำที่มีขดลวดจำนวน n รอบ เขียนเป็นสมการทางคณิตศาสตร์ได้ดังนี้

$$V_{ind} = -n\frac{d\varphi}{dt} = n\oint_C \vec{E} \cdot d\vec{s} \tag{11.3}$$

ถ้าหากขดลวดยาวมากๆ เราสามารถพิจารณาได้ว่าสนามแม่เหล็กในขดลวดมีค่าคงที่ ดังนั้น สมการที่ (11.1) มีความสัมพันธ์ดังนี้

$$\varphi = \vec{B}\int_A d\vec{A} = \vec{B} \cdot \vec{A} \tag{11.4}$$

จากสมการข้อที่หนึ่งของแมกซ์เวล (Maxwell's 1st equation) กล่าวว่า กระแสไฟฟ้าที่ไหลในขดลวดตัวนำจะเกิดเส้นสนามแม่เหล็กเป็นวงปิดเกิดขึ้นรอบๆ เส้นทางการไหลของกระแสไฟฟ้า

$$I = \int_{A'} \vec{j} \cdot d\vec{A} = \frac{1}{\mu_0} \cdot \oint_{C'} \vec{B} \cdot d\vec{s} \qquad (11.5)$$

เมื่อ $\vec{j}$ คือ ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้า

μ_0 คือ ค่าคงที่สนามแม่เหล็กหรือค่าสภาพซึมซาบได้ทางแม่เหล็กในสุญญากาศ

สำหรับขดลวดยาว l ที่มีจำนวน n รอบ ขนาดของสนามแม่เหล็กภายในขดลวดมีค่าโดยประมาณ

$$B = \frac{\mu_0 nI}{l} \qquad (11.6)$$

ถ้ากระแสสลับ I_{AC} หรือ $I(t) = I_0 \cdot \sin \omega t$ ที่มีค่าความถี่ $f = \frac{\omega}{2\pi}$ ไหลผ่าน primary coil จะได้

$$B(t) = \left(\frac{\mu_0 n}{l}\right)\left(I_0 \sin(2\pi ft)\right) = \left(\frac{\mu_0 n}{l}\right)\left(I_0 \sin(\omega t)\right) \qquad (11.7)$$

แทนสมการที่ (11.7) ลงในสมการที่ (11.4) และ (11.3) ดังนั้น ความต่างศักย์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำในขดลวดทุติยภูมิ จะได้

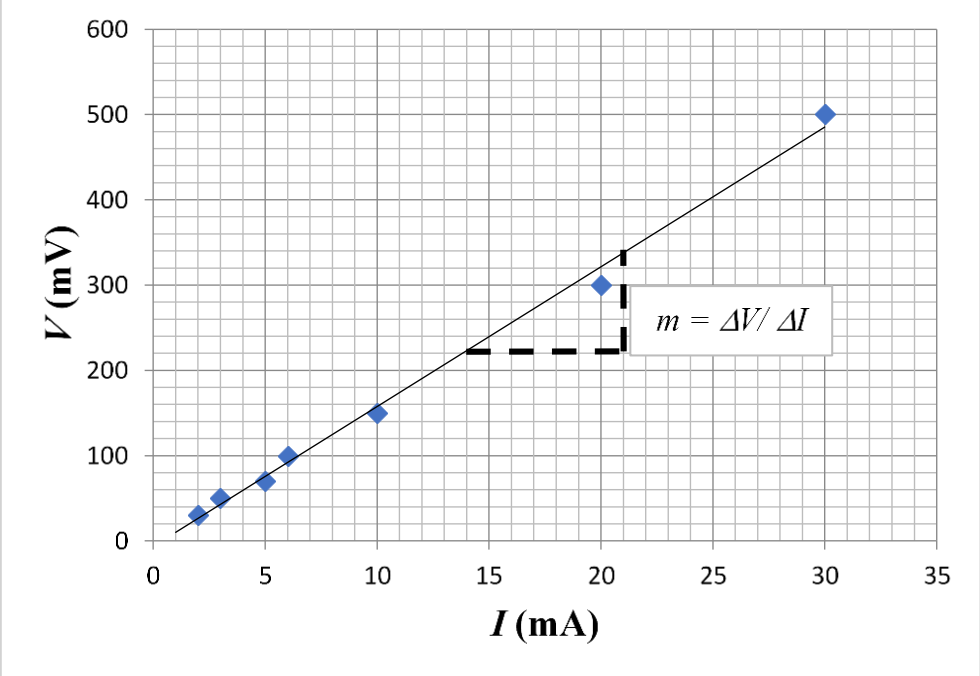
$$V_{ind}(t) = -\mu_0 n_p \frac{n_s A_s}{l} \omega I_0 \cos \omega t \qquad (11.8)$$

เมื่อ n_p คือ จำนวนรอบของขดลวดปฐมภูมิ

n_s คือ จำนวนรอบของขดลวดทุติยภูมิ

A_s คือ พื้นที่หน้าตัดของขดลวดทุติยภูมิ

เครื่องหมายลบในสมการที่ (11.8) แสดงถึงทิศทางของกระแสเหนี่ยวนำที่ไหลในขดลวดทุติยภูมิซึ่งมีทิศทางตรงข้ามกับทิศของกระแสที่ไหลในขดลวดปฐมภูมิ สำหรับรูปแบบของการทดลองเพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำและกระแสไฟฟ้าที่ไหลในขดลวด เราพบว่ากราฟที่พล็อต (รูปที่ 11.1) V_{ind} เป็นฟังก์ชันของ I_0 โดยมีความสัมพันธ์กันแบบเชิงเส้นและมีค่าความชัน (slope) เท่ากับ m



รูปที่ 11.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำและกระแสไฟฟ้าที่ไหลในขดลวดปฐมภูมิที่ความถี่ f คงที่

เมื่อไม่พิจารณาทิศทางการไหลของกระแสในขดลวดที่ขึ้นกับเวลา ดังนั้นสมการที่ (11.8) สามารถเขียนใหม่ได้ดังนี้

$$V_{ind}(t) = (\mu_0 \omega n_p \frac{n_s A_s}{l} \cos\omega t) I_0 = m(t) \cdot I_0 \qquad (11.9)$$

ถ้าหากเราทำการวัดค่ากระแสไฟฟ้าและความต่างศักย์ในช่วงหนึ่งคาบ ($T = \frac{1}{f}$) จะทำให้สมการที่ (11.9) พิจารณาได้เป็นสมการที่ไม่ขึ้นกับเวลา และเขียนใหม่ได้ดังนี้

$$V_{ind} = (\mu_0 \omega n_p \frac{n_s A_s}{l}) I_0 = m I_0 \qquad (11.10)$$

เมื่อ ความชันของกราฟ

$$m = \mu_0 \omega n_p \frac{n_s A_s}{l} \qquad (11.11)$$

ดังนั้น เราสามารถคำนวณหาค่า μ_0 ได้จากการหาค่าความชันของกราฟ, m, จากความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ, V_{ind}, และกระแสไฟฟ้าในขดลวดเหนี่ยวนำ, I , ดังสมการ

$$\mu_0 = \frac{ml}{\omega n_p n_s A_s} \qquad (11.12)$$

11.2 วัตถุประสงค์การทดลอง

11.2.1 เพื่อศึกษาความต่างศักย์เหนี่ยวนำ ที่เป็นฟังก์ชันกับค่าความเข้มของสนามแม่เหล็ก ความถี่ของสนามแม่เหล็ก จำนวนรอบของขดลวดเหนี่ยวนำ และพื้นที่หน้าตัดของขดลวดเหนี่ยวนำ

11.2.2 สามารถหาค่าสภาพซึมซาบได้ทางแม่เหล็กในสุญญากาศ, μ_0

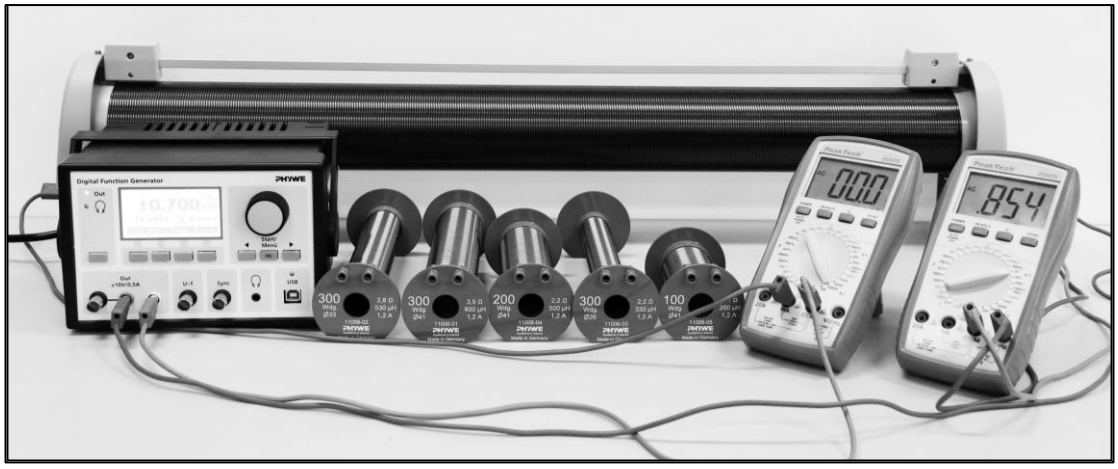
11.3 อุปกรณ์การทดลอง

11.3.1 ขดลวดปฐมภูมิ หรือ Field coil, 750 mm, 364 turns	จำนวน	1	อัน
11.3.2 ขดลวดทุติยภูมิ หรือ Induction coil, 300 turns, *d* = 41 mm	จำนวน	1	อัน
11.3.3 ขดลวดทุติยภูมิ หรือ Induction coil, 300 turns, *d* = 33 mm	จำนวน	1	อัน
11.3.4 ขดลวดทุติยภูมิ หรือ Induction coil, 300 turns, *d* = 26 mm	จำนวน	1	อัน
11.3.5 ขดลวดทุติยภูมิ หรือ Induction coil, 200 turns, *d* = 41 mm	จำนวน	1	อัน
11.3.6 ขดลวดทุติยภูมิ หรือ Induction coil, 100 turns, *d* = 41 mm	จำนวน	1	อัน
11.3.7 เครื่องกำเนิดสัญญาณ (Digital Function generator)	จำนวน	1	เครื่อง
11.3.8 มัลติมิเตอร์แบบดิจิตัล (Digital multimeter)	จำนวน	2	เครื่อง
11.3.9 สายไฟเส้นสีแดง (Connecting cord, l = 750 mm, red)	จำนวน	2	เส้น
11.3.10 สายไฟเส้นสีน้ำเงินสั้น (Connecting cord, l = 750 mm, blue)	จำนวน	2	เส้น
11.3.11 สายไฟเส้นสีแดงยาว (Connecting cord, l = 2000 mm, blue)	จำนวน	1	เส้น

11.4 วิธีการทดลอง

ตอนที่ 1 ศึกษาความต่างศักย์เหนี่ยวนำที่เป็นฟังก์ชันของกระแสในขดลวดปฐมภูมิ

1. จัดอุปกรณ์ตามรูปที่ 11.2 โดยใช้มัลติมิเตอร์แบบดิจิตอลในการวัดกระแสและความต่างศักย์เหนี่ยวนำของขดลวดทุติยภูมิที่มีจำนวนรอบเท่ากับ 300 รอบ และมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 41 mm ที่อยู่ภายในขดลวดปฐมภูมิ โดยตั้งค่าโวลต์มิเตอร์ไว้ที่ 2 V และตั้งค่าแอมมิเตอร์ไว้ที่ 200 mA



รูปที่ 11.2 แสดงการต่ออุปกรณ์การทดลองสำหรับการเหนี่ยวนำสนามแม่เหล็ก

2. ตั้งค่าความถี่ของเครื่องกำเนิดสัญญาณที่จ่ายให้กับขดลวดปฐมภูมิหรือ field coil เท่ากับ 10.7 kHz
3. ปรับกระแสที่เครื่องกำเนิดสัญญาณจนกระทั่งแอมมิเตอร์อ่านค่าได้เท่ากับ I =5, 10, 15, ..., 60 mA แล้วอ่านค่าความต่างศักย์เหนี่ยวนำ (V_{ind}) จากโวลต์มิเตอร์ แล้วบันทึกข้อมูล
4. นำข้อมูลไปเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์เหนี่ยวนำ (V_{ind}) และกระแส (I) ที่จ่ายให้กับขดลวด และคำนวณหาความชันของกราฟแล้วนำไปคำนวณหาค่า μ_0 โดยใช้สมการที่ (11.12)
5. เปรียบเทียบค่า μ_0 จากการทดลองกับค่าทางทฤษฎี เปรียบเทียบกับค่าทางทฤษฎี ($\mu_0 = 1.26\times10^{-6}\,\frac{Vs}{Am}$) และหาร้อยละความคลาดเคลื่อน

ตอนที่ 2 ศึกษาความต่างศักย์เหนี่ยวนำที่เป็นฟังก์ชันของเส้นผ่านศูนย์กลางของขดลวดทุติยภูมิ

1. ตั้งค่าความถี่ของเครื่องกำเนิดสัญญาณที่ 10.7 kHz ให้กับขดลวดปฐมภูมิ แล้วจ่ายกระแสไฟฟ้าคงที่ให้กับขดลวด จนกระทั่งแอมมิเตอร์อ่านค่าได้ 30 mA
2. นำขดลวดทุติยภูมิขนาดขดลวด 300 รอบ ใส่เข้าไปข้างในกึ่งกลางขดลวดปฐมภูมิ (ปรับเปลี่ยนขนาดของขดลวดทุติยภูมิที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาดต่างๆ คือ d = 26, 33, 41 mm)
3. รอสักครู่ แล้วอ่านค่าความต่างศักย์เหนี่ยวนำจากโวลต์มิเตอร์ บันทึกข้อมูล
4. นำข้อมูลไปเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์เหนี่ยวนำและขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของขดลวดทุติยภูมิ

ตอนที่ 3 ศึกษาความต่างศักย์เหนี่ยวนำที่เป็นฟังก์ชันของจำนวนรอบของขดลวดทุติยภูมิ

1. ตั้งค่าความถี่ของเครื่องกำเนิดสัญญาณที่ 10.7 kHz ให้กับขดลวดปฐมภูมิ แล้วจ่ายกระแสไฟฟ้าคงที่ให้กับขดลวด จนกระทั่งแอมมิเตอร์อ่านค่าได้ 30 mA
2. นำขดลวดทุติยภูมิขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง d = 41 mm ใส่เข้าไปข้างในกึ่งกลางขดลวดปฐมภูมิ (ปรับเปลี่ยนขนาดของขดลวดทุติยภูมิที่มีจำนวนรอบ n = 100, 200, 300 รอบ)
3. รอสักครู่แล้วอ่านค่าความต่างศักย์เหนี่ยวนำจากโวลต์มิเตอร์ บันทึกข้อมูล
4. นำข้อมูลไปเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์เหนี่ยวนำและจำนวนรอบของขดลวดทุติยภูมิ

เอกสารอ้างอิง

1. คณาจารย์ภาควิชาฟิสิกส์. 2544. **คู่มือปฏิบัติการฟิสิกส์ เล่มที่ 1**. ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่.
2. คณาจารย์ภาควิชาฟิสิกส์. 2550. **คู่มือปฏิบัติการฟิสิกส์พื้นฐาน 1**. ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ, พัทลุง.
3. PHYWE. 2059. Magnetic induction. **University Experiments**. แหล่งที่มา: http://repository.phywe.de/files/versuchsanleitungen/p2440201/e/p2440201e.pdf, 13 กรกฎาคม 2560.

การทดลองที่ 12
การใช้หัววัดไกเกอร์-มูลเลอร์และการดูดกลืนรังสีนิวเคลียร์

12.1 ทฤษฎี

12.1.1 กัมมันตภาพรังสี

ในปี พ.ศ. 2439 อองตวน อองรี แบ็กเกอแรล (Antoine Henri Becquerel) พบว่า มีรังสีแผ่ออกมาจากผลึกของเกลือยูเรเนียม ซึ่งทำให้เกิดรอยดำบนฟิล์มถ่ายรูปแลทะลุผ่านวัตถุต่าง ๆ ได้ โดยปริมาณที่แผ่ออกมาเป็นสัดส่วนกับความเข้มข้นของยูเรเนียม ต่อมาเรียกการแผ่รังสีนี้ว่า **กัมมันตภาพรังสี** และเรียกสารที่แผ่รังสีว่า **สารกัมมันตรังสี**

กัมมันตภาพรังสีเกิดจาการสลายตัวของนิวไคลด์ที่ไม่เสถียร โดยรังสีที่ปล่อยออกมามี 3 ชนิด ดังนี้

1. อนุภาคแอลฟา (α)

อนุภาคแอลฟา (α) หรือ รังสีแอลฟา เป็นนิวเคลียสของธาตุฮีเลียม มีสัญลักษณ์นิวเคลียร์เป็น $^{4}_{2}He$ ซึ่งประกอบด้วย 2 โปรตอน และ 2 นิวตรอน มีประจุไฟฟ้าเป็น +2e มีมวล 4.001516 amu รังสีแอลฟามีอำนาจทะลุทะลวงต่ำ ไม่สามารถทะลุผ่านแผ่นกระดาษได้ และเมื่ออยู่ในสนามไฟฟ้าจึงเบี่ยงเบนไปทางขั้วลบ เมื่อวิ่งผ่านอากาศอาจจะทำให้อากาศแตกตัวเป็นไอออนได้ ตัวอย่างนิวไคล์กัมมันตรังสีที่สลายตัวให้อนุภาคแอลฟา เช่น

$$^{239}_{94}Pu \rightarrow ^{235}_{92}U + ^{4}_{2}He$$
$$^{235}_{92}U \rightarrow ^{231}_{90}Th + ^{4}_{2}He$$

2. อนุภาคบีตา (β)

อนุภาคบีตา (β) หรือ รังสีบีตา เป็นอนุภาคอิเล็กตรอน มีสัญลักษณ์นิวเคลียร์เป็น $^{0}_{-1}e$ มีประจุไฟฟ้าเป็น -1e มีมวลเท่ากับ 0.00055 amu และมีอำนาจทะลุทะลวงสูงกว่ารังสีแอลฟา โดยสามารถทะลุผ่านแผ่นอะลูมิเนียมหนา 2-3 mm ได้ และเมื่ออยู่ในสนามไฟฟ้าจึงเบี่ยงเบนไปทางขั้วบวก (ในบางกรณีรังสีบีตาอาจจะเป็นโพสิตรอนซึ่งเป็นอนุภาคที่มีลักษณะเหมือนกับอิเล็กตรอนทุกประการแต่มีประจุเป็นบวก) การสลายตัวให้อนุภาคบีตา (β) จะทำให้ได้แอนตินิวตริโน ($\bar{\nu}$) มาด้วย ตัวอย่างนิวไคล์กัมมันตรังสีที่สลายตัวให้อนุภาคบีตา เช่น

$$^{32}_{15}P \rightarrow ^{32}_{16}S + ^{0}_{-1}e + \bar{\nu}$$
$$^{27}_{12}Mg \rightarrow ^{27}_{13}Al + ^{0}_{-1}e + \bar{\nu}$$

3. รังสีแกมมา (γ)

รังสีแกมมา (γ) เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความยาวคลื่นสั้นมาก (ความถี่สูง) ไม่มีมวล และไม่มีประจุจึงไม่เบี่ยงเบนในสนามไฟฟ้า และมีอำนาจทะลุทะลวงสูงสุด สามารถทะลุผ่านแผ่นตะกั่วแผ่นหนึ่งที่หนาหลายเซนติเมตรได้ ในกระบวนการสลายตัวให้รังสีหรืออนุภาคใด ๆ แล้ว หากนิวไคลด์ลูกยังไม่เสถียร สิ่งที่จะเกิดตามมาคือ การปรับตัวเข้าสู่สถานะพื้นโดยการปล่อยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งก็คือรังสีแกมมา นั่นเอง ตัวอย่างนิวไคล์กัมมันตรังสีที่สลายตัวให้รังสีแกมมา เช่น

$$^{12}_{5}B \rightarrow ^{12}_{6}C^{*} + ^{0}_{-1}e + \bar{\nu}$$

$$^{12}_{6}C^{*} \rightarrow ^{12}_{6}C + \gamma$$

12.1.2 อัตราการนับ (count rate)

เนื่องจากอัตราการนับขึ้นอยู่กับช่วงเวลาที่รังสีเคลื่อนเข้ามาในหัววัด ระยะห่างระหว่างสารตัวอย่างกับหัววัดจึงส่งผลต่ออัตราการนับ โดยทั่วไปอัตราการนับจะแปรผันกับส่วนกลับของระยะห่างระหว่างหัววัดกับสารตัวอย่างยกกำลังสอง ดังสมการ

$$N = \frac{A}{r^2} \tag{12.1}$$

เมื่อ N คือ อัตราการนับ (count rate)

A คือ ค่าคงที่

r คือ ระยะห่างระหว่างหัววัดกับสารตัวอย่าง

จากสมการที่ 1 สามารถแก้สมการให้อยู่ในรูปเชิงเส้นได้โดยการใช้ log ดังนี้

$$\log N = \log\left(\frac{A}{r^2}\right)$$

$$\log N = \log A - \log r^2$$

$$\log N = \log A - 2\log r$$

หรือ

$$\log N = -2\log r + \log A \tag{12.2}$$

จากสมการที่ 3 เมื่อเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $\log N$ และ $\log r$ จะได้กราฟเส้นตรงที่มีความชันเท่ากับ -2

นอกจากนี้สิ่งที่ต้องคำนึงถึงในการใช้หัววัด GM คือ รังสีภูมิหลัง (background radiation) ที่แผ่ออกมาจากสิ่งแวดล้อมขณะทำการวัด และ resolving time ที่หัววัดใช้เพื่อรีเซ็ตตัวเองให้สามารถนับรังสีที่แผ่เข้ามาลำดับถัดไปได้ ซึ่งหากรังสีที่แผ่เข้ามาเร็วกว่า resolving time รังสีนั้นจะไม่ถูกนับ

12.1.3 การดูดกลืนรังสีนิวเคลียร์

รังสีนิวเคลียร์ทั้งสามชนิดสามารถถูกดูดกลืนด้วยวัสดุที่แตกต่างกันซึ่งขึ้นอยู่กับความหนาแน่นและความหนาของวัสดุชนิดนั้นๆ อนุภาคที่มีประจุอย่างแอลฟาและบีต้าจะมีระยะไกลสุดที่สามารถผ่านเข้าไปในวัสดุได้ (พิสัย) ในขณะที่รังสีแกมมาซึ่งเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจะมีความเข้มลดลงดังสมการ

$$I = I_0 e^{-\mu x} \tag{12.3}$$

เมื่อ I คือ ความเข้มของรังสีที่ทะลุผ่านวัสดุ มีหน่วยเป็น counts per minute (cpm)

I_0 คือ ความเข้มของรังสีตกกระทบ

μ คือ สัมประสิทธิ์ของการดูดกลืนเชิงเส้น *(*linear absorption coefficient*)* มีหน่วยเป็น $1/cm$

x คือ ความหนาของวัสดุมีหน่วยเป็น cm

จากสมการที่ (12.3) สามารถแก้สมการให้อยู่ในรูปเชิงเส้นได้โดยการใช้ ln ดังนี้

$$\ln I = \ln I_0 e^{-\mu x}$$
$$\ln I = \ln I_0 + \ln e^{-\mu x}$$
$$\ln I = \ln I_0 - \mu x$$

หรือ
$$\ln I = -\mu x + \ln I_0 \tag{12.4}$$

จากสมการที่ (12.4) เมื่อเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $\ln I$ และ x จะได้กราฟเส้นตรงที่มีความชันเท่ากับ μ

$$m = \mu \tag{12.5}$$

สัมประสิทธิ์การดูดกลืนอาจแสดงในเทอมของสัมประสิทธิ์การดูดกลืนเชิงมวล (mass absorption coefficient) μ_m ได้ว่า

$$\mu_m = \frac{\mu}{\rho} \tag{12.6}$$

เมื่อ ρ คือ ความหนาแน่นของวัสดุ มีหน่วยเป็น g/cm^3

ดังนั้น μ_m จึงมีหน่วยเป็น cm^2/g

ความหนาของวัสดุที่ทำให้ความเข้มของรังสีลดลงเหลือครึ่งหนึ่งของความเข้มเดิม เรียกว่า **ค่าครึ่งความหนา** (half value layer, HVL, $x_{1/2}$) จากสมการที่ (12.3) จะได้ว่า

$$\frac{I_{1/2}}{I_0} = e^{-\mu x_{1/2}} = \frac{1}{2} \tag{12.6}$$

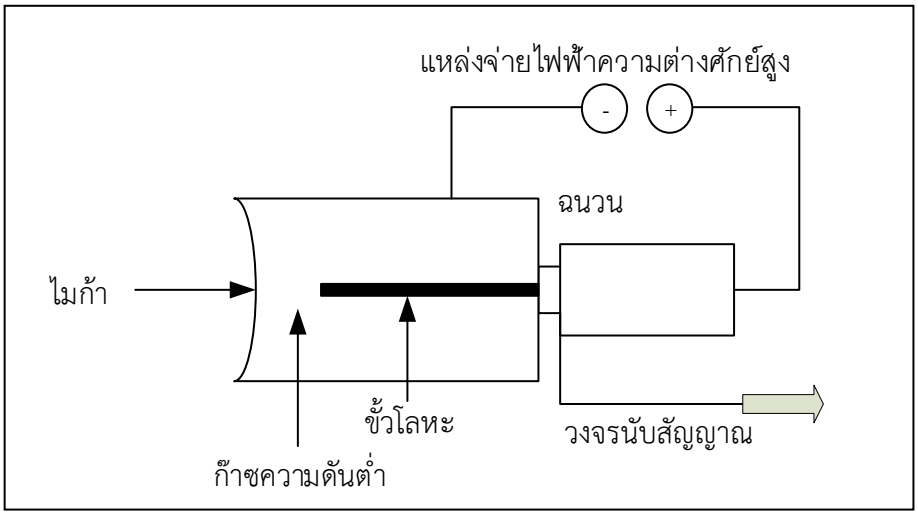
นั่นคือ $$x_{1/2} = \frac{\ln 2}{\mu} = \frac{0.693}{\mu} \tag{12.7}$$

ดังนั้นเมื่อทราบค่าสัมประสิทธิ์ของการดูดกลืนก็สามารถคำนวณหาค่าครึ่งความหนาได้

12.1.4 หัววัดไกเกอร์-มูลเลอร์ (Geiger-MÜller counter)

หัววัดไกเกอร์-มูลเลอร์ (หัววัด GM) ประกอบด้วยท่อโลหะทรงกระบอกที่ภายในบรรจุก๊าซความดันต่ำ (ปกติจะใช้ก๊าซอาร์กอน ความดันประมาณ 0.1 atm) ที่ผนังท่อจะมีศักย์ไฟฟ้าเป็นลบและที่ขั้วโลหะตรงกลางท่อจะมีศักย์ไฟฟ้าเป็นบวก ที่ปลายท่อด้านหนึ่งมีหน้าต่างที่ปิดด้วยแผ่นไมก้าบางที่รังสีนิวเคลียร์สามารถทะลุผ่านได้ โครงสร้างและองค์ประกอบของหัววัดไกเกอร์แสดงดังรูปที่ 12.1

เมื่อมีรังสีที่พลังงานมากพอผ่านเข้ามาในท่อจะทำให้ก๊าซที่บรรจุอยู่ภายในแตกตัวเป็นไอออนและอิเล็กตรอน อิเล็กตรอนจะถูกเร่งไปยังขั้วโลหะตรงกลางซึ่งมีศักย์ไฟฟ้าเป็นบวก ในขณะที่ไอออนจะเคลื่อนที่ไปยังผนังท่อ และถ้าความต่างศักย์ของแหล่งจ่ายไฟสูงพอ อิเล็กตรอนที่เคลื่อนที่อยู่จะทำให้ก๊าซแตกตัวต่อไปอีกเรื่อย ๆ ทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าในช่วงเวลาสั้นๆ ก่อนที่ความต่างศักย์ระหว่างขั้วโลหะกับผนังท่อจะลดลงจนก๊าซหยุดการแตกตัว พัลส์ของสัญญาณไฟฟ้าที่เกิดขึ้นสามารถนำเข้าสู่วงจรนับสัญญาณต่อไป



รูปที่ 12.1โครงสร้างและองค์ประกอบของหัววัดไกเกอร์-มูลเลอร์

12.1.5 ข้อกำหนดเกี่ยวกับความปลอดภัยด้านนิวเคลียร์เบื้องต้น

ในปฏิบัติการครั้งนี้มีข้อกำหนดเกี่ยวกับความปลอดภัยด้านนิวเคลียร์เบื้องต้น ดังนี้

1. ระวังอย่าสัมผัสกับสารกัมมันตรังสีโดยตรง ควรใช้ถุงมือหรือคีมหนีบ
2. ล้างมือให้สะอาดทันทีหลังจากเสร็จปฏิบัติการ
3. เมื่อไม่ใช้สารกัมมันตรังสีแล้ว จะต้องเก็บในบรรจุภัณฑ์ที่ออกแบบมาโดยเฉพาะ มีฉลากติดไว้อย่างชัดเจน และเก็บไว้ในที่เฉพาะที่บุคคลทั่วไปไม่สามารถเข้าถึงได้
4. หากเกิดอุบัติเหตุที่เกี่ยวข้องกับสารกัมมันตรังสีต้องรีบแจ้งให้อาจารย์ผู้สอนทราบทันที
5. เนื่องจากหัววัดไกเกอร์-มูลเลอร์ ใช้ความต่างศักย์สูงในการวัด ดังนั้นเพื่อความปลอดภัยก่อนถอดหรือเชื่อมต่อหัววัดทุกครั้งต้องตั้งค่าความต่างศักย์ไว้ที่ 0 V หรือปิดเครื่องวัดเสียก่อน

12.2 วัตถุประสงค์

12.2.1 เพื่อเข้าใจหลักการและสามารถใช้หัววัดไกเกอร์-มูลเลอร์ในการวัดความเข้มของรังสีที่แผ่ออกมาจากสารกัมมันตรังสีได้

12.2.2 เพื่อวิเคราะห์ผลของความหนาของวัสดุต่อการดูดกลืนรังสีบีต้าและแกมมา

12.3 วัสดุและอุปกรณ์การทดลอง

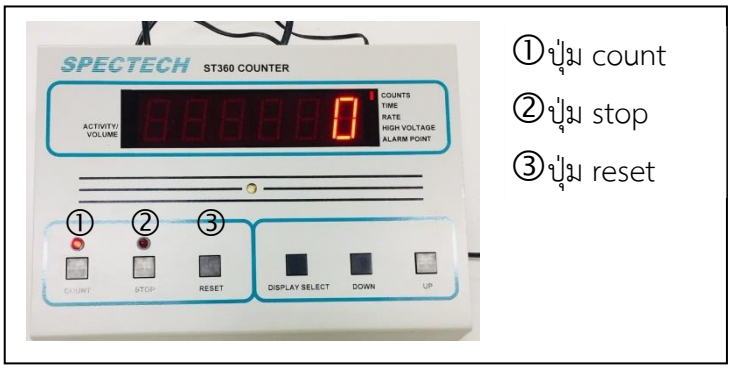
12.3.1	ชุดหัววัดไกเกอร์-มูลเลอร์ (ST360)	จำนวน	1	ชุด
12.3.2	แผ่นกั้นรังสีชนิดต่าง ๆ ที่มีความหนาแตกต่างกัน	จำนวน	1	ชุด
12.3.3	คีมสำหรับจับสารกัมมันตรังสี	จำนวน	1	อัน
12.3.4	สารกัมมันตรังสี Cs-137 และ Co-60	จำนวน	1	ชุด
12.3.5	แผ่นตะกั่ว	จำนวน	4	แผ่น

รูปที่ 12.2 ชุดวัสดุและหัววัดไกเกอร์-มูลเลอร์ที่ใช้ในการทดลอง

12.4 วิธีการทดลอง

ตอนที่ 1 ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างระยะห่างกับความเข้มของการแผ่รังสี

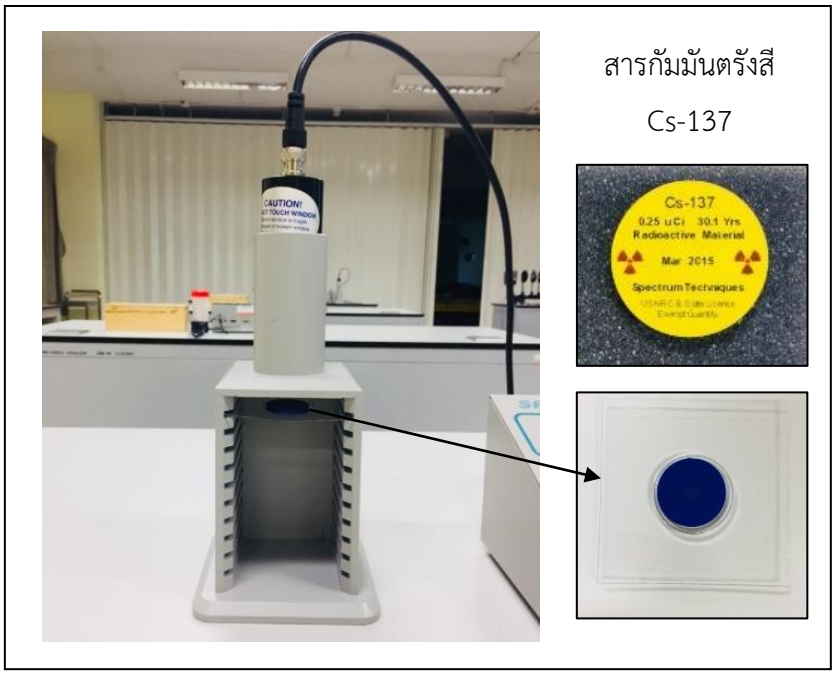
1. แกะปลอกสีแดงที่ครอบปลายหัววัดออกอย่างระมัดระวัง อย่าให้มือสัมผัสผิวด้านหน้าของหัววัด
2. ต่อหัววัดเข้ากับเครื่องนับสัญญาณผ่านสายที่มีหัวต่อแบบ BNC แล้ววางหัววัดไว้ด้านบนของชั้นวางสารตัวอย่างดังรูปที่ 12.2
3. ตั้งค่าความต่างศักย์ของหัววัดไว้ที่ 900 โวลต์ และ ตั้งค่าเวลาไว้ที่ 100 วินาที
4. กดปุ่ม count ขณะที่ยังไม่มีสารกัมมันตรังสีเพื่อวัดค่าความเข้มรังสีภูมิหลัง แล้วบันทึกค่าแล้วกดปุ่ม reset



รูปที่ 12.3 เครื่องนับสัญญาณ

5. ใช้คีมหนีบสารกัมมันตรังสี Cs-137 วางไว้ที่ถาดรองแล้วนำไปว่างที่ระยะห่างจากหัววัด 2 cm (ชั้นที่ 1 ห่างจากหัววัด 2 cm และชั้นถัดลงมาห่างกันชั้นละ 1 cm) โดยให้ด้านที่มีฉลากคว่ำลง ดังรูปที่ 12.4 แล้วกดปุ่ม count
6. เมื่อครบเวลา 100 วินาที บันทึกค่าความเข้มของรังสีที่วัดได้ลงในตารางที่ 1 แล้วกดปุ่ม reset

7. ทำซ้ำข้อ 1.6 โดยเปลี่ยนระยะห่างจากหัววัดเป็น 3 cm จนถึงระยะ 11 cm

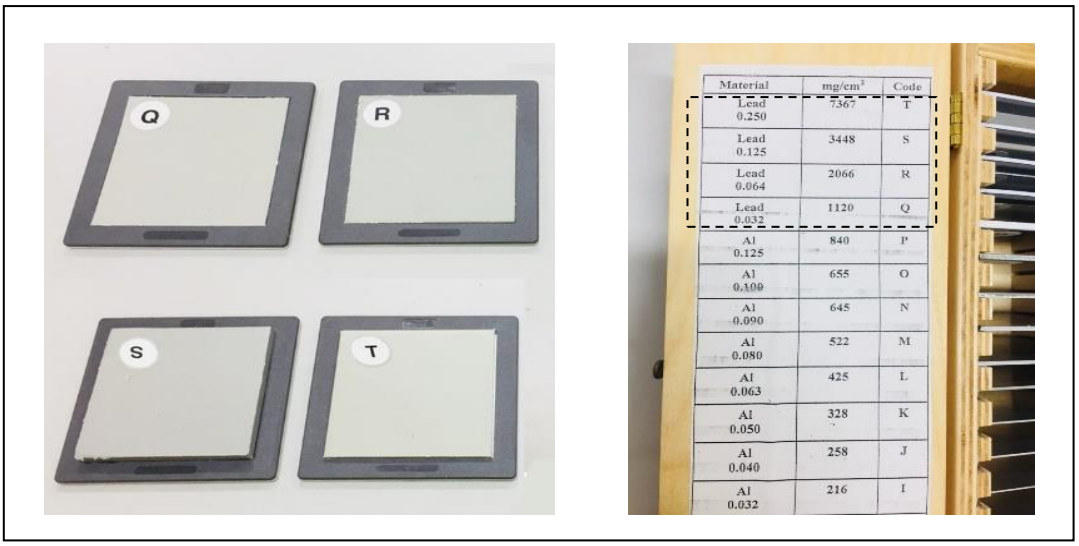


รูปที่ 12.4 การวางสารกัมมันตรังสีในชุดทดลอง

7. นำค่าความเข้มของรังสีที่วัดได้แต่ละครั้งมาลบด้วยค่าความเข้มของรังสีภูมิหลังจะได้ค่าความเข้มของรังสีที่แท้จริง (N)
9. หาค่าล็อกของความเข้มรังสีที่แท้จริง ($\log N$) และหาค่าล็อกของระยะห่างระหว่างหัววัด ($\log r$) บันทึกค่าในตารางที่ 1
10. เขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $\log N$ และ $\log r$ และคำนวณหาค่าความชันของเส้นกราฟ
11. คำนวณหาร้อยละความคลาดเคลื่อนของค่าความชันที่ได้จากการคำนวณจากเส้นกราฟกับความชันจากสมการ (3) ซึ่งมีค่าความชันเท่ากับ -2

ตอนที่ 2 การดูดกลืนรังสีแกมมา

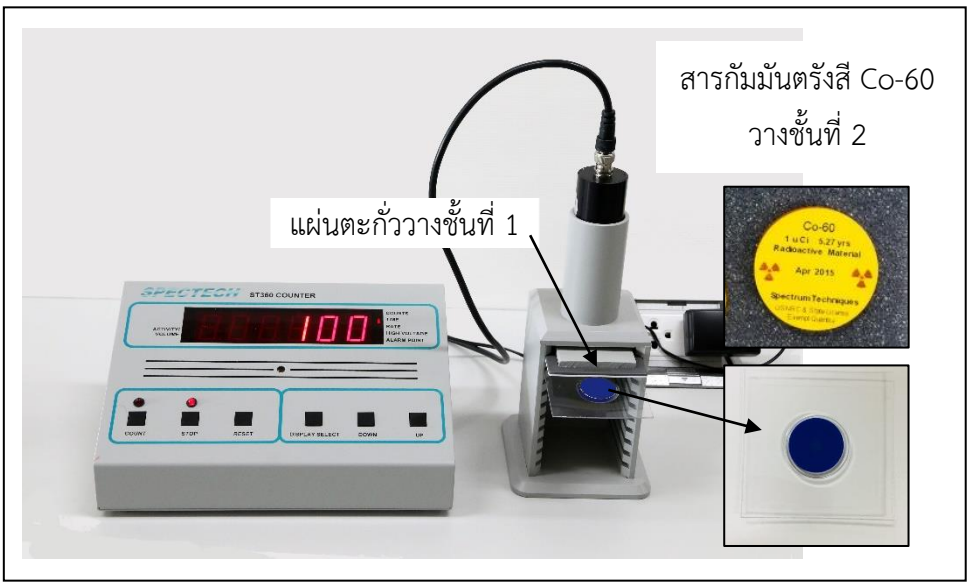
1. ตั้งค่าความต่างศักย์ของหัววัดไว้ที่ 900 โวลต์
2. ตั้งค่าเวลาไว้ที่ 100 วินาที
3. กดปุ่ม count ขณะที่ยังไม่มีสารกัมมันตรังสีเพื่อวัดค่าความเข้มรังสีภูมิหลัง แล้วบันทึกค่าแล้วกดปุ่ม reset
4. เปลี่ยนหน่วยความหนาของแผ่นตะกั่ว Q, R, S และ T จากหน่วยนิ้วเป็นหน่วยเซนติเมตร แล้วบันทึกลงในตารางที่ 2 เมื่อ 1 นิ้ว = 2.54 เซนติเมตร



(ก) แผ่นตะกั่ว Q, R, S และ T (ข) ความหนาของแผ่นตะกั่ว

รูปที่ 12.5 แผ่นตะกั่วที่ใช้ในการวัดการดูดกลืนรังสีแกมมา

5. ใช้คีมหนีบสารกัมมันตรังสี Co-60 วางไว้ที่ถาดรองแล้วนำไปว่างที่ระยะห่างจากหัววัด 3 cm (ชั้นที่ 2 นับจากด้านบน) โดยให้ด้านที่มีฉลากคว่ำลง
6. นำแผ่นตะกั่ว Q ซึ่งมีความหนาน้อยสุดไปวางกั้นระหว่างหัววัดรังสีกับสารกัมมันตรังสี Co-60 (ชั้นที่ 1 นับจากด้านบน) ดังรูปที่ รูปที่ 12.6
7. กดปุ่ม count เมื่อครบเวลา 100 วินาที บันทึกค่าความเข้มของรังสีที่วัดได้ลงในตารางที่ 2 แล้วกดปุ่ม reset
8. ทำซ้ำข้อ 7 โดยเปลี่ยนแผ่นตะกั่วเป็น R, S และ T



รูปที่ 12.6 การจุดอุปกรณ์สำหรับการวัดการดูดกลืนรังสีแกมมา

9. นำค่าความเข้มของรังสีที่วัดได้แต่ละครั้งมาลบด้วยค่าความเข้มของรังสีภูมิหลังก็จะได้ค่าความเข้มของรังสีที่แท้จริงแล้วหาค่าล็อกของความเข้มรังสีที่แท้จริง ($\ln I$)
10. เขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าล็อกของความเข้มรังสีที่แท้จริง ($\ln I$) และความหนา (x) และคำนวณหาค่าความชันของเส้นกราฟเพื่อนำไปหาค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนเชิงเส้น (μ) ตามสมการ (12.5)
11. หาค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนเชิงมวล (μ_m) จากสมการ (12.6) (โดยความหนาแน่นของตะกั่วเท่ากับ 11.3 g/cm^3)
12. เปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนเชิงมวล (μ_m) ที่ได้จากการทดลองกับค่ามาตรฐานของตะกั่ว คือ 0.055 cm^2/g ด้วยการหาค่าร้อยละความคลาดเคลื่อน

เอกสารอ้างอิง

1. นวลฉวี รุ่งธรเกียรติ. 2545. วิทยาศาสตร์นิวเคลียร์. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ.
2. สมพงษ์ ใจดี 2551. ฟิสิกส์มหาวิทยาลัย 4. จุงฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. กรุงเทพฯ.
3. Buyuk, B. and Tugrul, A.B. 2014. Comparison of Lead and WC- Co Materials against Gamma Irradiation. Proceedings of the 3rd International Congress APMAS2013, April 24-28, 2013, Antalya, Turkey. Vol.125, No.2 (p.423-425).
4. David Halliday and Robert Resnick. 2011. Fundamentals of physics (9th ed). Jearl Walker. Raymond A.
5. Serway and John W. Jewett. 2004. Physics for Scientists and Engineers (6th Ed). Thomson Brooks/Cole.