

ปฏิบัติการฟิสิกส์ 1

บทนำ

สถาบันการศึกษาไม่เพียงแต่เป็นแหล่งที่นักศึกษาจะเรียนรู้วิชาการเพียงอย่างเดียว ยังเป็นแหล่งที่นักศึกษามีโอกาสได้พัฒนา อุปนิสัย ความมีวินัย และความสำนึกรับผิดชอบทางสังคม วิชาปฏิบัติการมีส่วนช่วยให้บรรลุจุดประสงค์ข้อหลังนี้ได้มาก คำแนะนำต่อไปนี้จะช่วยให้นักศึกษาพัฒนาคุณลักษณะดังกล่าวนี้

1. การมาห้องปฏิบัติการทันเวลา และมีการเตรียมหัวข้อที่จะทำการทดลองมาอย่างดี ในกรณีที่มาสาย หรือขาดเรียนต้องชี้แจงต่ออาจารย์ผู้ควบคุม

2. การทำงาน หรือปรึกษากันเองอย่างเงียบๆ และพยายามจัดเครื่องมือเพื่อให้การทดลองได้ผลดีที่สุด

3. จงมีความซื่อสัตย์ในการบันทึกข้อมูลตามที่อ่านได้จากเครื่องวัด โดยไม่บันทึกตามความนึกคิดของผู้ทดลอง อย่าลอกข้อมูล การคำนวณ หรือสรุปผลการทดลองมาจากแหล่งอื่น ถ้าผลการทดลองมีความเคลื่อนไหวคลาดจากการทดลองร่วมอยู่ด้วย แตกต่างจากที่คาดคิดหรือทฤษฎีให้ตรวจสอบการอ่านข้อมูลว่าอ่านถูกต้องหรือไม่ และตรวจสอบการคำนวณทันที ถ้าไม่พบข้อผิดพลาดให้พยายามอธิบาย หรือให้เหตุผลของความแตกต่างดังกล่าวให้ดีที่สุดเท่าที่จะทำได้ การขอคำปรึกษาจากอาจารย์ผู้ควบคุมอาจจะได้รับความกระจ่างเพิ่มขึ้น

4. ควรมีขั้นตอนในการปฏิบัติการไว้ในใจ เพื่อการทดลองจะได้ดำเนินไปอย่างมีประสิทธิภาพ พยายามทำงานร่วมกับทุกคนในกลุ่ม เพื่อให้ทุกคนได้มีประสบการณ์ในการใช้เครื่องมือ แต่ทุกคนต้องคำนวณและสรุปผลการทดลองด้วยตนเอง

5. ทำการทดลองในบริเวณที่ตั้งเครื่องมือของกลุ่มตัวเอง อย่ารบกวนกลุ่มอื่นหรือการทดลองอื่นที่กำลังทำการทดลองอยู่เช่นกัน

6. ทำการทดลองเรื่องหนึ่งๆ ให้แล้วเสร็จภายในเวลาที่กำหนด ซึ่งโดยปกติใช้เวลาประมาณ 3 ชั่วโมง

7. เมื่อทำการทดลองเสร็จสิ้นแล้ว ต้องส่งผลการทดลองให้อาจารย์ผู้ควบคุมตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูล ตลอดจนขั้นตอนของการทดลอง หากมีข้อบกพร่องอย่างไร นักศึกษาควร

แก้ไขให้เรียบร้อย โดยนักศึกษาอาจจะต้องทำการทดลองซ้ำอีก หรือหาผลการทดลองใหม่ ซึ่งอาจารย์ผู้ควบคุมจะลงนามกำกับและให้คะแนนเก็บสะสมสำหรับแต่ละการทดลอง

จุดมุ่งหมายของการปฏิบัติการฟิสิกส์ 1

ห้องปฏิบัติการเป็นสถานที่สำหรับนักศึกษาจะได้เรียนด้วยการปฏิบัติการจริง เพื่อที่จะได้เข้าใจกฎเกณฑ์และทฤษฎีขึ้น แม้ในวิชาปฏิบัติการฟิสิกส์เบื้องต้นนี้ นักศึกษาก็มีโอกาสค้นพบกฎเกณฑ์ หรือทฤษฎีใหม่ๆ ทางฟิสิกส์ได้น้อยมาก หรือมีโอกาสที่จะพิสูจน์ ล้มล้างทฤษฎีเก่าๆ ซึ่งได้ค้นพบมาหลายสิบปี หรือหลายศตวรรษได้น้อยมาก แต่นักศึกษาก็มีโอกาสได้ซาบซึ้งถึงคุณค่าของความอดทน ความเฉลียวฉลาดของนักฟิสิกส์ที่ค้นพบกฎเกณฑ์ต่างๆ ในอดีต ถ้าไม่เพราะความรู้และการประยุกต์ใช้กฎเกณฑ์ทางฟิสิกส์แล้ว เครื่องมือที่ใช้อำนวยความสะดวกสบายอย่างทุกวันนี้ การท่องเที่ยวอวกาศ การดำน้ำ วิทยุ โทรทัศน์ คอมพิวเตอร์ ฯลฯ ก็จะไม่เป็น นอกจากที่กล่าวข้างต้นแล้วการเรียนปฏิบัติการฟิสิกส์ 1 ยังมีจุดมุ่งหมายเฉพาะลงไปอีก เช่น

1. เพื่อเสริมความรู้ความเข้าใจ และ พิสูจน์ทฤษฎีที่ศึกษามาแล้วในภาคบรรยาย
2. เพื่อฝึกฝนการใช้เครื่องมือ และเทคนิคในการวัด
3. เพื่อให้คุ้นเคยกับขีดจำกัดของอุปกรณ์และความคลื่อนคลาดในการวัดและการทดลอง
4. เพื่อฝึกฝนวิธีการสังเกต การบันทึกข้อมูล การวิเคราะห์ การหาความสัมพันธ์ และการอธิบายผลที่ได้จากการทดลอง
5. เพื่อให้รู้จักเสนอผลการทดลองโดยวิธีการภาพ

คุณลักษณะและข้อปฏิบัติสำหรับผู้เรียนปฏิบัติการฟิสิกส์ 1

1. เป็นผู้ที่สอบไล่ผ่านฟิสิกส์ 1 มาแล้ว และลงทะเบียนเรียนกระบวนวิชา PH 113 ในภาคการศึกษานั้น ตามวันและเวลาที่มหาวิทยาลัยกำหนดในปฏิทินการศึกษา
2. ต้องเข้าปฏิบัติการอย่างสม่ำเสมอตั้งแต่ชั่วโมงแรกจนถึงวันสุดท้าย ในชั่วโมงแรกจะมีการบรรยายสรุปการปฏิบัติให้ฟังโดยย่อ และนักศึกษาจะต้องมาสอบไล่ตามวัน เวลา ตามที่อาจารย์ผู้ควบคุมจะกำหนดให้
3. แต่งตัวให้เรียบร้อยก่อนเข้าห้อง ให้เข้าห้องต้นชั่วโมง ถ้าขาดต้องขออนุญาตอาจารย์ผู้ควบคุมมาปฏิบัติทดแทน

4. เขียนใบเบิกอุปกรณ์ ตรวจสอบให้ถูกต้องและส่งคืนตามสภาพเดิมให้เหมือนตอนยืมมา ถ้าเกิดความเสียหายเนื่องจากความไม่ระมัดระวัง ต้องชดเชยหรือจัดหาซื้อมาให้เหมือนเดิม การรับผิดชอบต้องรับผิดชอบทั้งกลุ่มที่มาในวันนั้น นอกจากนี้ต้องเตรียมกระดาษกราฟ ไม้โปรแทรกเตอร์ ที่ต้องใช้ในการเขียนรายงานเรื่องนั้นๆ มาให้พร้อม

5. ไม่ควรเขียนข้อมูลลงบนเศษกระดาษ แล้วมาบันทึกใหม่บนแบบบันทึกข้อมูล แต่ควรบันทึกลงในตารางที่กำหนดให้ โดยมีหน่วยกำกับไว้ให้เรียบร้อย อย่างตั้งใจที่จะอภิปรายหรือเสนอแนะวิธีการทดลองที่เหมาะสมกว่า

6. ให้ค้นคว้าเรื่องสวัสดิภาพของตนเองและผู้เกี่ยวข้องตลอดเวลา ในกรณีที่เกิดไฟไหม้ให้นักศึกษาออกจากห้องทดลองโดยเร็วที่สุด

7. บันทึกผลการทดลองลงในแบบการเขียนรายงานตอนท้ายการทดลอง ซึ่งมีช่องว่างต่างๆ ที่นักศึกษาจะต้องกรอกลงไปและอย่าลืมสรุปหรือเสนอแนะในการทดลองแต่ละเรื่องต่อท้ายรายงานด้วย การทำงานควรทำให้เสร็จเรียบร้อยทุกอย่างในเวลาปฏิบัติ

ความคลาดเคลื่อน (Errors)

ความไม่แน่นอนในการอ่านข้อมูลเรียกว่า “ความคลาดเคลื่อน” ในการวัดปริมาณทางฟิสิกส์ใดๆ ย่อมมีความคลาดเคลื่อนเกิดขึ้นได้เสมอ สาเหตุของความคลาดเคลื่อนมีหลายประเภท เช่น

1. ความอคติของผู้ทดลอง (personal bias) เป็นตัวอย่างที่เห็นง่ายที่สุด สำหรับผู้เริ่มทำการทดลองใหม่ๆ คือ ผู้วัดมีความโน้มเอียงที่จะเชื่อในค่าที่ได้จากการวัดครั้งแรกมากกว่าค่าที่ได้จากการวัดครั้งต่อไป

2. ความคลาดเคลื่อนเนื่องจากตัวผู้วัด (personal errors)
การติดตั้งเครื่องมือไม่ถูกต้อง การอ่านข้อมูลไม่ละเอียด ความแตกต่างของประสาททั้ง 6 ของแต่ละบุคคล และความเหลื่อมเนื่องจากการดู (parallax)

3. ความคลาดเคลื่อนจากอุบัติเหตุภายนอก (accidental errors)
ความคลาดเคลื่อนที่อยู่เหนือการควบคุมของมนุษย์ มีตัวอย่างมากมาย เช่น อิทธิพลของการเปลี่ยนแปลงอำนาจแม่เหล็ก เสียง อุณหภูมิ ความดัน ไฟฟ้า ลม และ อื่นๆ

4. ความคลาดเคลื่อนเนื่องจากระบบ (systematic errors)

ความคลื่อนคลาดทำนองนี้จะมีลักษณะไปทางเดียว คือ จะเป็นบวก หรือไม่ก็เป็นลบ เช่น ความคลาดเคลื่อนเนื่องจากการใช้ไม้เมตรวัดความยาวจากปลายข้างเดิมเสมอ ถ้าบังเอิญที่ปลายข้างนี้เกิดการสึกกร่อน ก็จะทำให้เกิดการคลื่อนคลาดคงที่ค่าหนึ่งทุกๆ ครั้งที่ทำการวัดจากปลายข้างนี้ ดังนั้นถ้าเราไม่มีการตรวจสอบ และแก้ไขก็จะทำให้เกิดความคลื่อนคลาดเนื่องจากระบบ ซึ่งอาจจะทำให้ผลที่ได้ต่างจากความเป็นจริงไปมาก

5. ความคลาดเคลื่อนเนื่องจากเครื่องมือ (instrumental errors)

เครื่องมือใหม่ๆ มักจะถูกนำมาเทียบมาตรฐาน(calibrate) หรือมีคู่มือแก้ไขความคลื่อนคลาดอยู่ด้วย อย่างไรก็ตาม เครื่องมือที่ได้ผ่านการเทียบมาตรฐาน แก้ไขความคลื่อนคลาดแล้ว จะวัดค่าได้ถูกต้องก็ต่อเมื่อวัดภายใต้เงื่อนไขที่คล้ายๆ กับเมื่อตอนเทียบมาตรฐานแก้ไขความคลื่อนคลาด เช่น แถบวัดความยาวที่ทำด้วยเหล็ก (steel tape) แก้ไขความคลื่อนคลาดไว้ที่ 20 °C จะวัดค่าได้ไม่ถูกต้องถ้าอุณหภูมิในห้องทดลองต่ำหรือสูงกว่า 20 °C นอกเสียจากว่าเราได้แก้ไขค่าสัมประสิทธิ์แห่งการขยายตัวของเหล็กเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิแล้ว อย่าลืมว่าเครื่องมือที่ได้รับการแก้ไขความคลื่อนคลาดแล้วจะเชื่อถือได้ก็ต่อเมื่อมีการใช้อย่างระมัดระวัง และการใช้ด้วยวิจรรย์ตามเท่านั้น

เลขนัยสำคัญ (significant figures)

ในการบันทึกข้อมูลจะต้องบันทึกเพียงตัวเลขที่มีค่าแน่นอนเชื่อถือได้ ซึ่งอ่านได้จากเครื่องมือที่ใช้วัดกับตัวเลขอีกตัวหนึ่ง ซึ่งอ่านโดยการคาดคะเน(doubtful figures) เช่น เราใช้ไม้เมตรธรรมดาวัดความยาวของสิ่งหนึ่งซึ่งยาวจริง 82.25 เซนติเมตร ค่าที่อ่านได้จากการวัดในห้องทดลองอาจจะเป็น 82.55 เซนติเมตร หรือ 82.58 เซนติเมตร ทั้งนี้เพราะตัวเลขตัวสุดท้ายเกิดจากการคาดคะเนของผู้วัด ตัวเลขทุกตัวรวมถึงเลขที่มีขีดข้างบนนั้นเรียกว่า “เลขนัยสำคัญ (significant figures)” ค่านี้อาจจะเขียนได้เป็น 82.55 ± 0.05 เซนติเมตร หรือ 82.58 ± 0.05 เซนติเมตร ความคลื่อนคลาดร้อยละของการวัดครั้งเดียวคือ $\frac{0.05}{82.58} \times 100 = 0.06\%$ ถ้าหากวัดหลายครั้งจะต้องนำมาหาค่าเฉลี่ย

การคำนวณความคลื่อนคลาดและความคลื่อนคลาดร้อยละ

พิจารณาข้อมูลที่ได้จากการวัดความยาวของของสิ่งเดียวกัน ตามตารางข้างล่างนี้

ครั้งที่	ค่าที่อ่านได้ (X_i , เซนติเมตร)	ค่าเบี่ยงเบน (d_i , deviation)	d_i^2
1	152.28	-0.048	0.002304
2	152.36	+0.032	0.001024
3	152.30	-0.028	0.000784
4	152.32	-0.008	0.000064
5	152.38	+0.052	0.002704
	$\bar{X} = 152.328$	$\sum_i d_i = 0.168$	$\sum_i d_i^2 = 0.00688$

จากค่าข้างบนนั้น

ค่าเฉลี่ย $\bar{X} = 152.328$ เซนติเมตร

ค่าเบี่ยงเบนเฉลี่ยของวัดแต่ละครั้ง (a.d. = average deviation of individual reading)

คือ
$$a.d. = \frac{\sum_i |d_i|}{n} = 0.0336 \text{ เซนติเมตร}$$

ค่าเบี่ยงเบนของมัชฌิมเลขคณิต (A.D. = average deviation of the arithmetic mean)

คือ
$$A.D. = \frac{a.d.}{\sqrt{n}} = 0.015$$

ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D. = standard deviation)

คือ
$$S.D. = \sqrt{\frac{\sum_i d_i^2}{n}} = 0.037$$

ค่าความคลื่อนคลาดน่าจะเป็นของการวัดหนึ่งครั้ง (p.e. = probable error of a single observation)

คือ
$$p.e. = 0.6745 \sqrt{\frac{\sum_i d_i^2}{n-1}} = 0.028$$

ค่าความคลื่อนคลาดน่าจะเป็นของมัชฌิมเลขคณิต (P.E. = probable error of the arithmetic mean) คือ

$$P.E. = 0.6745 \sqrt{\frac{\sum_i d_i^2}{n(n-1)}} = 0.013$$

จะเลือกใช้ค่าเบี่ยงเบนค่าใดนั้น ขึ้นอยู่กับความละเอียดที่เราต้องการ เช่น ถ้าเราใช้ ค่า a.d. ค่าเฉลี่ยที่ดีที่สุดสำหรับข้อมูลชุดนี้คือ 152.328 ± 0.034 เซนติเมตร

ค่าร้อยละของความคลาดเคลื่อน เมื่อเปรียบเทียบกับค่าที่ยอมรับหรือค่ามาตรฐาน (standard value) เช่น เปรียบเทียบกับค่าที่แสดงไว้ในคู่มือ โดยทั่วไป

$$\text{ความคลาดเคลื่อนคลาดร้อยละ} = \frac{|\bar{X} - X_{\text{Standard}}|}{X_{\text{Standard}}} \times 100$$

ค่าร้อยละของค่าเฉลี่ยเมื่อเปรียบเทียบกับมัธยฐานเลขคณิต เช่น

$$\% A.D. = \frac{A.D.}{a.m.} \times 100 ; (a.m. = \text{arithmetic mean})$$

จะเห็นว่าความคลาดเคลื่อนคลาดขึ้นอยู่กับจำนวนครั้งที่ทำการวัด ดังนั้น ถ้าเพิ่มจำนวนครั้งที่ทำการวัด จะทำให้ความคลาดเคลื่อนคลาดยิ่งลดน้อยลง ในทางปฏิบัติมักจะทำการวัด 3 – 5 ครั้ง เพื่อให้งานเป็นไปด้วยดี

ความคลาดเคลื่อนในการวัดทางอ้อม (errors in indirect measurements)

ในบางกรณีค่าที่เราต้องการ ได้มาจากการคำนวณที่ประกอบด้วยค่าที่ได้จากการวัดหลายค่า เช่น การหาโมเมนต์ของความเฉื่อย I จากสมการ

$$I = I_0 + mh^2$$

หรือการหาพิกัดด้านหนึ่งของรูปทรงกระบอกจากสมการ

$$S = 2\pi rh$$

หรือการหาพื้นที่วงกลมจากสมการ

$$A = \pi r^2$$

หรือการหาค่า g จากสมการ

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

ให้ถือกฎดังนี้

กฎข้อ 1. การบวกหรือการลบ เลขนัยสำคัญของผลลัพธ์จะรวมถึงเลขหลักแรกที่มีเลขที่ได้จากการคาดคะเน

$$\begin{array}{r} \text{เช่น} \quad 1040.8\bar{5} \quad \text{หรือ} \quad 1040.8\bar{5} \\ \quad \quad + \quad \quad \quad \quad \quad - \quad \quad \quad \quad \quad \\ \quad \quad 25.\bar{6} \quad \quad \quad \quad \quad 25.\bar{6} \end{array}$$

$$\underline{166.4}$$

$$\underline{115.2}$$

กฎข้อ 2. ในการคูณหรือหาร จำนวนเลขนัยสำคัญของผลลัพธ์จะเท่ากับจำนวนเลขนัยสำคัญของตัวประกอบที่มีจำนวนเลขนัยสำคัญน้อยที่สุด เช่น

$$\begin{array}{r} 10.7\bar{7} \\ \times \\ \underline{3.5\bar{5}} \\ \hline \underline{38.2\bar{3}3\bar{5}} \end{array} = 38.\bar{2}$$

กฎข้อ 3. ในการบวก หรือ การลบ ตัวเลขที่แสดงความคลื่อนคลาด ค่าความคลื่อนคลาดของผลบวกหรือลบหาได้จากการรวมความคลื่อนคลาดของตัวเลขนัยสำคัญที่นำมาบวกลบกัน เช่น

$$\begin{array}{r} 25.20 \pm 0.23 \\ + \\ \underline{5.312 \pm 0.021} \\ + \\ \underline{1.2534 \pm 0.0025} \\ \hline \underline{31.76 \pm 0.25} \end{array} \quad \text{หรือ} \quad \begin{array}{r} 13.210 \pm 0.022 \\ - \\ \underline{7.315 \pm 0.026} \\ \hline \underline{5.895 \pm 0.048} \end{array}$$

กฎข้อ 4. ในการคูณ หรือการหาร ตัวเลขที่แสดงความคลื่อนคลาดร้อยละ จะหาค่าสคงความคลื่อนคลาดร้อยละของผลคูณหรือผลหาร ได้จากการรวมค่าความคลื่อนคลาดเป็นร้อยละของตัวเลขที่นำมาคูณหรือผลหารได้จากการรวมค่าความคลื่อนคลาดเป็นร้อยละของตัวเลขที่นำมาคูณหรือหารกัน เช่น

$$\begin{array}{r} 13.27 \pm 0.17\% \\ \times \\ \underline{1.325 \pm 1.3\%} \\ \hline \underline{179.2 \pm 1.5\%} \end{array}$$

อนึ่ง ในการเขียนเลขจำนวนใหญ่มาก หรือเล็กน้อย ให้ละทิ้งหรือขจัดเลขศูนย์ที่มีมากมาย โดยใช้เลขยกกำลัง หรือใช้คำนำหน้าแทน เช่น

$$\begin{aligned} \text{ความเร็วแสง, } c &= 3 \times 10^8 \text{ เมตร/วินาที} &= 3 \times 10^{10} \text{ เซนติเมตร/วินาที} \\ &= 1.86 \times 10^5 \text{ ไมล์/วินาที} \end{aligned}$$

ตารางข้างล่างนี้แสดงคำนำหน้า ที่นิยมทั่วไป

คำนำหน้าในระบบเอสไอ(SI PREFIXES)

ตัวคูณ (FACTOR)	คำนำหน้า (Prefix)	สัญลักษณ์ย่อ (Abbreviation)
10^{-1} *	เดซี (deci)	d
10^{-2} *	เซนติ (centi)	c
10^{-3}	มิลลิ (milli)	m
10^{-6}	ไมโคร (micro)	μ
10^{-9}	นาโน (nano)	n
10^{-12}	พิโก (pico)	p
10^{-15}	เฟมโต (femto)	f
10^{-18}	อัตโต (atto)	a
10^*	เดคา (deka)	da
10^2 *	เฮกโต (hecto)	h
10^3	กิโล (kilo)	k
10^6	เมกะ (mega)	M
10^9	จิกะ (giga)	G
10^{12}	เทระ (tera)	T
10^{15}	เพตะ (peta)	P
10^{18}	เอกซะ (exa)	E

* ตัวคูณนี้จะใช้เมื่อจำเป็นจริงๆ เท่านั้น หนึ่งขอให้หลีกเลี่ยงการใช้คำนำหน้าซ้อนกัน เช่น m μ หรือ $\mu\mu$

การวิเคราะห์โดยใช้กราฟ

(Graphical Analysis)

กฎเกณฑ์ทางฟิสิกส์ที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณทางกายภาพ สามารถที่จะอธิบายได้โดยใช้

คำบรรยาย

สมการ

กราฟ

การใช้แบบใดย่อมขึ้นอยู่กับชนิดของข้อมูล โอกาส และประโยชน์ที่จะไปใช้ อย่างไรก็ตาม การใช้กราฟจะทำให้เห็นภาพความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณหนึ่งกับอีกปริมาณหนึ่งได้ชัดเจน

โดยทั่วไปกราฟแบ่งออกเป็น 4 ประเภทใหญ่

1. กราฟที่ใช้แสดงข้อมูลทางสถิติ หรือการเปรียบเทียบมาตรฐาน

(Statistical and calibration data)

เขียนได้โดยการลากเส้นตรงต่อจุดกับจุดตามลำดับ

2. กราฟที่ใช้แสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรสองตัวแปร

(Empirical relationships)

เขียนได้โดยวาดเส้นเรียบ(Smooth curve) ผ่านจุดหรือกลุ่มจุด

3. กราฟที่แสดงความสัมพันธ์ทางทฤษฎี

(Theoretical relationship)

การเขียนกราฟชนิดนี้ ได้จากสมการคณิตศาสตร์ที่แสดงความสัมพันธ์นั้น ซึ่งอาจเป็นเส้นตรง, พาราโบลา, ไฮเพอร์โบลา, หรือเส้นโค้งแบบไซน์

4. กราฟที่ได้จากการคำนวณ ใช้แทนตารางที่บันทึกข้อมูลที่จะนำไปใช้ในการคำนวณในภายหลัง มักเขียนในกระดาษกราฟอย่างดี และทำให้เป็นมาตรฐาน

การเขียนกราฟ

เพื่อให้กราฟเป็นสื่อความหมายได้ถูกต้อง และได้มาตรฐาน มีกฎในการเขียนกราฟดังนี้

1. วางตำแหน่ง(plot) ตัวแปรต้น(independent variable) ไปตามแกนระนาบ(abscissa หรือ แกน X) และตัวแปรตาม(dependent variable) ไปตามแกนตั้ง(ordinate หรือแกน Y) แกนทั้งสองนี้ให้ขีดเส้นหนักรูขี้เหล็ก

2. เลือกขนาดของกราฟที่จะบรรจุความสัมพันธ์ของข้อมูลที่มีอยู่ได้หมดและถูกต้อง โดยทั่วไปเส้นกราฟควรอยู่ในแผ่นกระดาษกราฟที่มีทั้งหมด ถ้าหากข้อมูลมีเลขนัยสำคัญ 2 ตัวไม่ควรขยายกราฟให้ใหญ่จนอ่านค่ากราฟได้เลขนัยสำคัญ 3 ตัว เพราะจะทำให้เกิดค่าความคลื่อนคลาดเพิ่มขึ้น ในหลายกรณีอาจพบว่าแกนทั้งสองของกราฟไม่จำเป็นต้องตัดกันที่จุด (0,0)

3. เลือกสเกลหลักที่สามารถแบ่งครึ่งต่อไปอีกได้ง่าย เช่น 2, 5 และ 10 นิยมมาก แต่ 4 บางครั้งก็ใช้กัน อย่าใช้ค่า 3, 7 และ 9 เพราะจะทำให้ยากต่อการอ่านกราฟ

4. ถ้าข้อมูลมีค่าน้อยมากๆ หรือใหญ่มากๆ ให้ใช้เลขสิบยกกำลังมาคูณแทน โดยให้ตัวเลขที่คูณกับเลขสิบยกกำลังไม่ควรเกิน 2 ตัวแทนแต่ละช่องใหญ่

5. ให้เขียนชื่อแกน พร้อมทั้งหน่วยให้ชัดเจน กำกับไว้ข้างแกนด้านนอกบริเวณที่จะลงตำแหน่งข้อมูล

6. จุดตำแหน่งข้อมูลลงบนกระดาษกราฟ แล้วเขียนวงกลมเล็กๆ รอบจุดนั้น ในกรณีที่ต้องสร้างกราฟหลายเส้นลงบนแผ่นเดียวกันให้ใช้รูปสี่เหลี่ยม หรือสามเหลี่ยมเล็กๆ รอบจุดบนเส้นที่สอง และเส้นที่สามตามลำดับ ทั้งนี้เพื่อป้องกันความสับสนและต้องไม่ลืมที่จะเขียนความสัมพันธ์ หรือ สัญลักษณ์ย่อกำกับแต่ละเส้นไว้ด้วย

7. เขียนเส้นเรียบที่ดีที่สุดผ่านจุด หรือกลุ่มจุด ระวังอย่าให้เส้นผ่านเข้าไปในวงกลมเล็กๆ นั้น ในกรณีที่ต้องต่อเส้นที่สร้างใดๆ ให้ใช้เส้นไขว้ปลา

8. ให้เขียนชื่อกราฟเส้นตรงบริเวณที่ว่างตอนบนของกราฟ

9. ถ้าเป็นกราฟสำหรับรายงานผลเชิงวิชาการ(ไม่ใช่สำหรับตีพิมพ์เผยแพร่) ควรเขียนชื่อผู้ทดลอง และวันที่ทำการทดลองไว้ที่มุมขวามือด้านล่างกำกับไว้ด้วย

10. ใช้กระดาษกราฟ log-log , semi-log หรือ polar-coordinate แทนกระดาษกราฟธรรมดา(Rectangular-coordinate) ตามความจำเป็นและเหมาะสม

ผลทางกราฟ (Graphical results)

การแสดงความสัมพันธ์ของตัวแปรสองตัว โดยใช้กราฟจะช่วยให้เราหาความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ กราฟเส้นตรงเป็นกราฟที่พิจารณาและคำนวณได้ง่าย ถ้ากราฟเป็นรูปเส้นโค้งก็จะบอกได้ยากกว่าเป็นรูปพาราโบลา, ไฮเพอร์โบลาร์ หรือรูปวงรี โดยเฉพาะอย่างยิ่งถ้าส่วนที่เห็นจากกราฟเป็นเพียงส่วนเล็กๆ ของรูปเหล่านี้

ต่อไปนี้เป็นตัวอย่างของกราฟที่ได้จากข้อมูลแบบต่างๆ และจากการศึกษากราฟทำให้ได้สมการความสัมพันธ์ของข้อมูลต่างๆ อีกด้วย

ตัวอย่างที่ 1 ถ้าในการทดลองหนึ่งเราพบว่าค่า y แปรผันโดยตรงกับค่า x (ดูรูปที่ 1) เราจะได้เส้นตรงและสมการสำหรับเส้นตรงนี้คือ

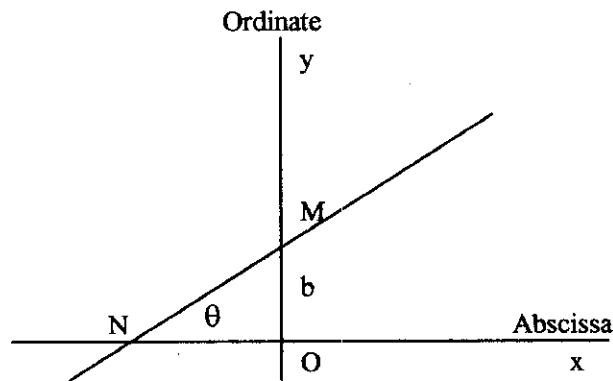
$$y = ax + b$$

สมมติว่าเส้นตรงนี้ตัดแกน X และ Y ที่จุด N และ M ตามลำดับ

$$y - \text{intercept} = OM = b$$

$$\text{ความชัน slope} = \tan \theta = a$$

ตัวอย่างสมการทางฟิสิกส์ที่มีความสัมพันธ์เช่นนี้คือ สมการของการเคลื่อนที่ $v = v_0 + at$



รูปที่ 1 กราฟของ $y = ax + b$

ตัวอย่างที่ 2

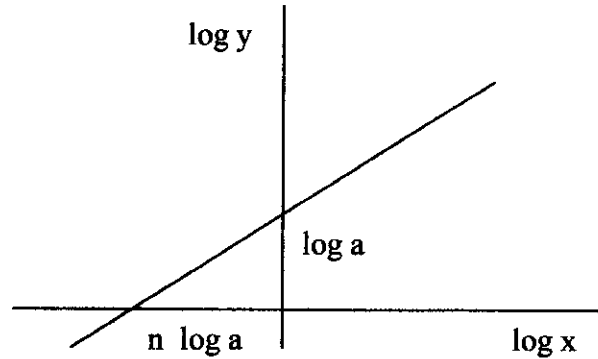
$$\text{จากสมการ } T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}} ; k = \text{ค่าคงที่}$$

ถ้าสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง T กับ m จะไม่เป็นเส้นตรง แต่ถ้าเป็น T กับ \sqrt{m} หรือ T^2 กับ m จะได้เส้นตรง ตัวอย่างที่ 3 เมื่อพบว่าปริมาณ x และ y ไม่เป็นสัดส่วนต่อกัน(สร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง x กับ y แล้วไม่เป็นเส้นตรง) จะสงสัยว่าตัวแปรตัวหนึ่งจะต้องยกกำลังบางค่า และเป็นสัดส่วนตรงกับอีกตัวหนึ่ง วิธีที่เหมาะสมที่จะหาความสัมพันธ์นี้คือ หา \log ของปริมาณทั้งสองก่อนที่จะเขียนกราฟ โดยสมมติว่าความสัมพันธ์ของ x และ y เป็นแบบ

$$y = ax^n$$

a เป็นค่าคงที่

n เป็นค่าคงที่ จะเป็นบวกหรือลบ หรือเป็นเศษส่วนก็ได้



รูปที่ 2 กราฟของ $\log y = \log a + n \log x$

สมการข้างบนนั้น เขียนได้อีกอย่างหนึ่งเป็น

$$\log y = \log a + n \log x$$

ถ้าเราสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $\log x$ และ $\log y$ บนกระดาษกราฟธรรมดา (Rectangular-coordinate graph) จะได้เส้นตรง

$$\text{ค่า } y\text{-intercept} = \log a$$

$$\text{ค่าความชัน (slope)} = n \text{ (ดูรูปที่ 2)}$$

ดังนั้นเราจึงหาค่า a และ n ได้เมื่อรู้ค่า y -intercept และค่าความชัน

หนึ่งในกรณีที่จะให้เกิดความเร็วและสะดวก แทนที่จะคำนวณหาค่า \log ของค่าต่างๆ ของ x และ y เราก็สร้างโดยใช้กราฟ $\log\text{-}\log$ กราฟที่ได้จะเป็นกราฟเส้นตรง

ตัวอย่างสมการทางฟิสิกส์ที่มีความสัมพันธ์ทำนองนี้คือ

$$H = \frac{R}{J} I^2 ; n = 2 \quad (R, J \text{ คงที่})$$

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r^2} ; n = -2 \quad (q_1, q_2, \epsilon_0 \text{ คงที่})$$

$$T^2 = Cr^3 \quad (\text{Kepler's Law})$$

ซึ่งเขียนใหม่ได้เป็น (เลือกค่ารากที่สองที่เป็น +)

$$T = \sqrt{C} r^{3/2} ; n = \frac{3}{2} \quad (C \text{ คงที่})$$

เทคนิคในการสร้างกราฟที่กล่าวข้างบนนี้ ยังนำไปใช้กับความสัมพันธ์ เช่น

$$y = ka^x$$

หรือ $y = y_0 e^{\lambda x}$

ได้ด้วย

เพราะ $y = ka^x$ เขียนใหม่ได้เป็น $\log y = \log k + x \log a$

และ $y = y_0 e^{\lambda x}$ เขียนใหม่ได้เป็น $\ln y = \log y_0 + \lambda x$ ($\ln = \log_e$)

สรุปประเด็นสำคัญ

นักศึกษาควรปฏิบัติตามคำแนะนำในระหว่างปฏิบัติการทุกขั้นตอนอย่างเคร่งครัดเพื่อให้เกิดความคลื่อนคลาดน้อยที่สุด โดยคำนวณค่าความคลื่อนคลาดร้อยละจากตัวเลขนัยสำคัญและวิเคราะห์โดยอาศัยกราฟ

กิจกรรมการเรียนรู้

1. ศึกษาคำแนะนำสำหรับวิชาปฏิบัติการฟิสิกส์ 1 และทบทวนให้เข้าใจก่อนปฏิบัติการทุกครั้ง
2. ฝึกฝนการคำนวณหาความคลื่อนคลาดร้อยละ โดยเฉพาะจากตัวเลขนัยสำคัญ และเขียนจำนวนเลขทุกครั้ง โดยใช้เลขยกกำลัง
3. สร้างกราฟตามความสัมพันธ์ของปริมาณต่าง ๆ ทางฟิสิกส์ตามตัวอย่างที่ให้ไว้

แบบทดสอบบทนำ

- ในการปฏิบัติการในแต่ละครั้ง ควรกระทำสิ่งใดก่อนเป็นอันดับแรก
 - เตรียมศึกษาขั้นตอนต่างๆ
 - จัดเครื่องมือให้ได้ผลดีที่สุด
 - คัดเลือกข้อมูลที่น่าเชื่อถือจากแหล่งอื่น
 - ปรึกษาอาจารย์ผู้ควบคุม
- จุดมุ่งหมายของการปฏิบัติการฟิสิกส์ 1 คืออะไร
 - สร้างทฤษฎีใหม่
 - ฝึกฝนการใช้เครื่องมือ
 - พิสูจน์ทฤษฎีที่ศึกษาแล้ว
 - ข้อ 2. และข้อ 3. ถูกต้อง
- ความไม่แน่นอนในการวัดปริมาณทางฟิสิกส์ไม่อาจเกิดจากสาเหตุใดต่อไปนี้
 - ความอคติของผู้ทดลอง
 - ประสาทสัมผัสของแต่ละบุคคล
 - การใช้เครื่องมือตามมาตรฐาน
 - อิทธิพลที่อยู่เหนือความควบคุม
- เลขนัยสำคัญหมายถึงกรณีใด
 - อ่านจากเครื่องวัดได้ค่าละเอียดที่สุด
 - อ่านได้จริงจากเครื่องวัดรวมกับค่าคาดคะเน
 - เลขที่มีค่าแน่นอนเชื่อถือได้เท่านั้น
 - เลขที่มีทศนิยมไม่เกินสี่ตำแหน่ง
- ความเคลื่อนคลาดร้อยละจะหาได้จากความสัมพันธ์ใด
 - $\frac{(\text{ค่าเฉลี่ย} - \text{ค่ามาตรฐาน})}{\text{ค่ามาตรฐาน}} \times 100$
 - ค่าเบี่ยงเบนคูณร้อยละ
 - ค่าเบี่ยงเบนของมัชฌิมเลขคณิต
 - ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
- การวัดหลายครั้งจะมีผลต่อความเคลื่อนคลาดหรือไม่
 - ทำให้ความเคลื่อนคลาดน้อยลง
 - ทำให้ความเคลื่อนคลาดมากขึ้น
 - ทำให้ความเคลื่อนคลาดมากขึ้นหรือน้อยลงก็ได้
 - ไม่มีผลแต่อย่างใด
- ในทางปฏิบัติควรวัดปริมาณหนึ่งๆ อย่างน้อยกี่ครั้ง
 - ครั้งเดียว
 - 1-2 ครั้ง
 - 2-3 ครั้ง
 - 3-5 ครั้ง
- ข้อใดต่อไปนี้ผิดกฎการเขียนกราฟให้ได้มาตรฐาน
 - ตัวแปรอิสระอยู่ในแกนระนาบและตัวแปรตามอยู่ในแกนตั้ง
 - แกนทั้งสองของกราฟจะต้องตัดกันที่จุด (0,0) ทุกกรณี
 - สเกลหลักสามารถแบ่งครึ่งต่อไปได้โดยง่าย เช่น 2,5 และ 10
 - ค่าน้อยมากหรือใหญ่มากควรใช้เลขไม่เกินสิบสองตัวคูณกับเลขสิบยกกำลัง

9. ขนาดของกราฟควรสัมพันธ์กับข้อมูลอย่างไร

1. บรรจุข้อมูลได้ครบถ้วนถูกต้อง
2. แสดงเส้นกราฟบนแผ่นกราฟได้ทั้งหมด
3. ขยายกราฟให้อ่านค่าได้เกินเลขน้อยสำคัญ
4. ข้อ 1 และ 2 ถูกต้อง

10. การอธิบายผลทางกราฟไม่ถูกต้องในกรณีใด

1. กราฟเส้นตรงแสดงว่าตัวแปรทั้งสองแปรผันเป็นสัดส่วนโดยตรงซึ่งกันและกัน
2. กราฟเส้นโค้งไฮเพอร์โบลาแสดงว่าตัวแปรทั้งสองแปรผันผกผันซึ่งกันและกัน
3. กราฟเส้นโค้งพาราโบลาแสดงว่าเป็นฟังก์ชันยกกำลังสาม

แนวตอบ

- | | | | | |
|------|------|------|------|-------|
| 1. 1 | 2. 4 | 3. 3 | 4. 2 | 5. 1 |
| 6. 1 | 7. 4 | 8. 2 | 9. 4 | 10. 3 |

การทดลองที่ 1

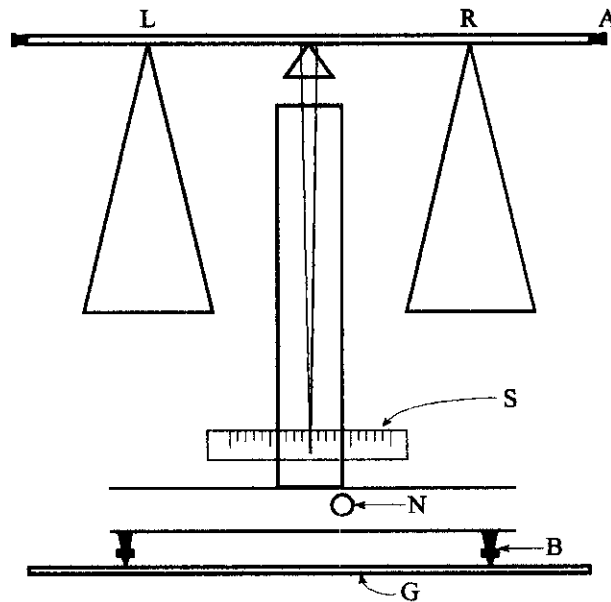
เรื่อง การชั่งอย่างละเอียด

จุดประสงค์การเรียนรู้

1. ใช้เครื่องชั่งอย่างละเอียดตามกรรมวิธีที่ถูกต้อง
2. หามวลของวัตถุอย่างละเอียดได้

เครื่องใช้ในการทดลอง

1. เครื่องชั่งอย่างละเอียด 2 แขน พร้อมหีบน้ำหนัก ซึ่งบรรจุตุ้มน้ำหนักมาตรฐานไว้
2. เครื่องชั่งอย่างละเอียดชนิดหาค่าได้โดยตรง (เครื่องชั่งไฟฟ้า)
3. วัตถุที่จะหามวล 3 ชนิด ได้แก่ โลหะรูปสี่เหลี่ยมตัน เทริยณุตึง และลูกกลมโลหะ
4. กระจกกราบ



รูป 1.1 แสดงลักษณะของเครื่องชั่งอย่างละเอียด ชนิด 2 แขน G คือ กระจกกราบ, B สกรูปรับระดับ, N ปุ่มยกคันชั่ง, S สเกล, L แขนซ้าย, R แขนขวา, A สกรูทองเหลืองปรับให้สมดุล

ทฤษฎี

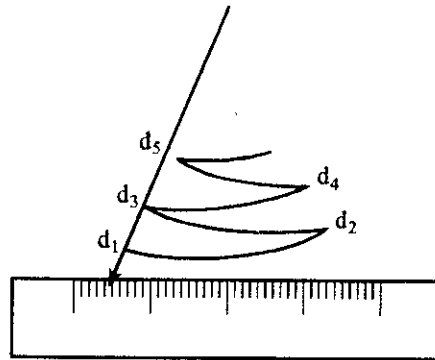
เครื่องชั่งอย่างละเอียดชนิด 2 แขน (Analytical Balance) มีลักษณะดังรูป 1.1 เครื่องชั่งที่ดี ต้องมีความไว (Sensibility) สูง คือเข็มชี้จะแกว่งไปมาแม้จะใส่มวลลงในจานข้างใดข้างหนึ่งเพียงเล็กน้อย และแขนซ้ายขวาต้องเท่ากัน

วิธีชั่งและคำนวณหามวลของวัตถุ

1. หาจุดหยุดของเครื่องชั่งเมื่อจานเปล่า โดยไม่จำเป็นต้องรอให้เข็มหยุดแกว่งอย่างแท้จริง เนื่องจากการแกว่งจะใช้เวลานาน กว่าเข็มจะหยุดแกว่ง วิธีหาจึงใช้สมการ (1.1)

$$\text{หาจุดหยุดของเครื่องชั่งเมื่อจานเปล่า} = R = \frac{d_1 + d_3 + d_5}{3} + \frac{d_2 + d_4}{2} \quad (1.1)$$

โดยที่ d_1, d_3, d_5 คือระยะทางเป็นลบจากขีดศูนย์ตรงกลางสเกลถึงขีดเข็มแกว่งไปได้ไกลที่สุดทางซ้ายมือ d_2, d_4 คือระยะทางเป็นลบจากขีดศูนย์ตรงกลางสเกลถึงขีดเข็มแกว่งไปได้ไกลที่สุดทางขวามือ (ดูรูป 1.2) สำหรับระยะทางทั้งหมด ขอให้พยายามอ่านให้ได้ละเอียดถึง 0.1 ของช่อง



รูปที่ 1.2 แสดงการแกว่งของเข็มชี้

2. หาระยะที่เปลี่ยนไปจากจุดหยุดของเครื่องชั่งเมื่อจานเปล่า เมื่อเติมน้ำหนักในจานข้างใดข้างหนึ่ง 1 มิลลิกรัม (ม.ก.) ค่าที่ได้นี้ คือ ความไวของเครื่องชั่ง (Sensibility ; S) (สำหรับแฟคเตอร์การชั่ง (Weighing factor ; W) คือส่วนกลับของ S) โดยเติมน้ำหนัก 2 ม.ก. ลงในจานข้างใดข้างหนึ่ง แล้วหาจุดหยุดตามสมการ (1.1)

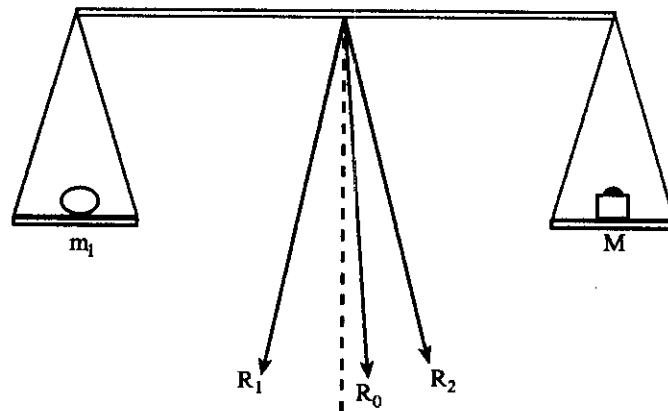
สมมติว่าให้จุดหยุดเป็น R_1 ดังนั้น

$$S = \frac{\text{จำนวนช่องระหว่าง } R_0 \text{ กับ } R_1}{2 \text{ มก.}} \quad (1.2)$$

$$W = \frac{\text{จำนวนช่องระหว่าง } R_0 \text{ กับ } R_1}{2 \text{ มก.}} \quad (1.3)$$

3. หาจุดหยุดจากเครื่องชั่งเมื่อใส่วัตถุที่จะหามวลลงในจานซ้าย แล้วใส่ค้อนน้ำหนักในจานขวา และสลับกัน

4. สมมติว่าเมื่อชั่งมวล m_1 กรัมทางจานซ้าย แล้วหาจุดหยุดได้เป็น R_2 โดยต้องใส่ค้อนน้ำหนักทางจานขวาเป็น M กรัม แล้วนำมาเขียนรูปได้ดังรูปที่ 1.3



รูป 1.3 ตัวอย่างแสดงจุดหยุดต่างๆ เมื่อชั่งหามวลของวัตถุ

พิจารณาจากรูปจะเห็นว่าจุดหยุด R_2 เปลี่ยนจาก R_0 ไปทางขวา ดังนั้น $m_1 > M$ แสดงว่า เราใส่ค้อนน้ำหนักน้อยไป ดังนั้น

$$\begin{aligned} m_1 &= M + \text{ค่าแก้} \\ &= M + \left(2 \text{ มก.} \times \frac{1}{1000} \right) \text{ กรัม} \times \frac{\text{จำนวนช่องระหว่าง } R_0 \text{ กับ } R_2}{\text{จำนวนช่องระหว่าง } R_0 \text{ กับ } R_1} \end{aligned}$$

5. คำนวณหาค่ามวลของวัตถุเดียวกันเมื่อชั่งในจานขวา สมมติให้มวลเป็น m_2 ดังนั้นจะหามวลแท้จริงของวัตถุ (P) ได้จากสมการ (1.4) ซึ่งมีวิธีหาดังนี้

ถ้าแขนซ้ายและแขนขวาของเครื่องชั่งยาว L และ R ตามลำดับ

ในสภาวะสมดุล (Equilibrium) จะ ได้

$$P \times L = m_1 \times R$$

$$P \times R = m_2 \times R$$

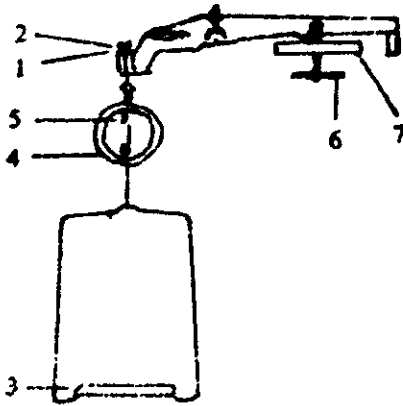
จากสมการทั้งสองนี้จะ ได้

$$P = \sqrt{m_1 m_2} \quad (1.4)$$

$$\frac{L}{R} = \sqrt{\frac{m_1}{m_2}} \quad (1.5)$$

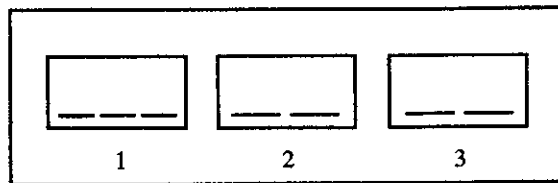
เครื่องชั่งอย่างละเอียดชนิดอ่านค่าได้โดยตรง (Direct Reading Balance) มีลักษณะดังรูปที่

1.4



ในรูปที่ 1.4 ที่เกี่ยวน้ำหนัก (4) ซึ่งที่เกี่ยวน้ำหนักทั้งหมด (5) ไว้แน่นต่อกับจานชั่ง (3) ในขณะที่อีกข้างหนึ่งของคานชั่ง จะมีน้ำหนักถ่วงยึดไว้ (7) เพื่อให้เครื่องชั่งสมดุล เมื่อใส่วัตถุที่จะชั่งในจานชั่ง คานชั่งจะไม่สมดุล โดยการหมุนตัวเลขที่หน้าปัดตามน้ำหนักที่พอเหมาะจะทำให้เครื่องชั่งสมดุลอีกครั้ง

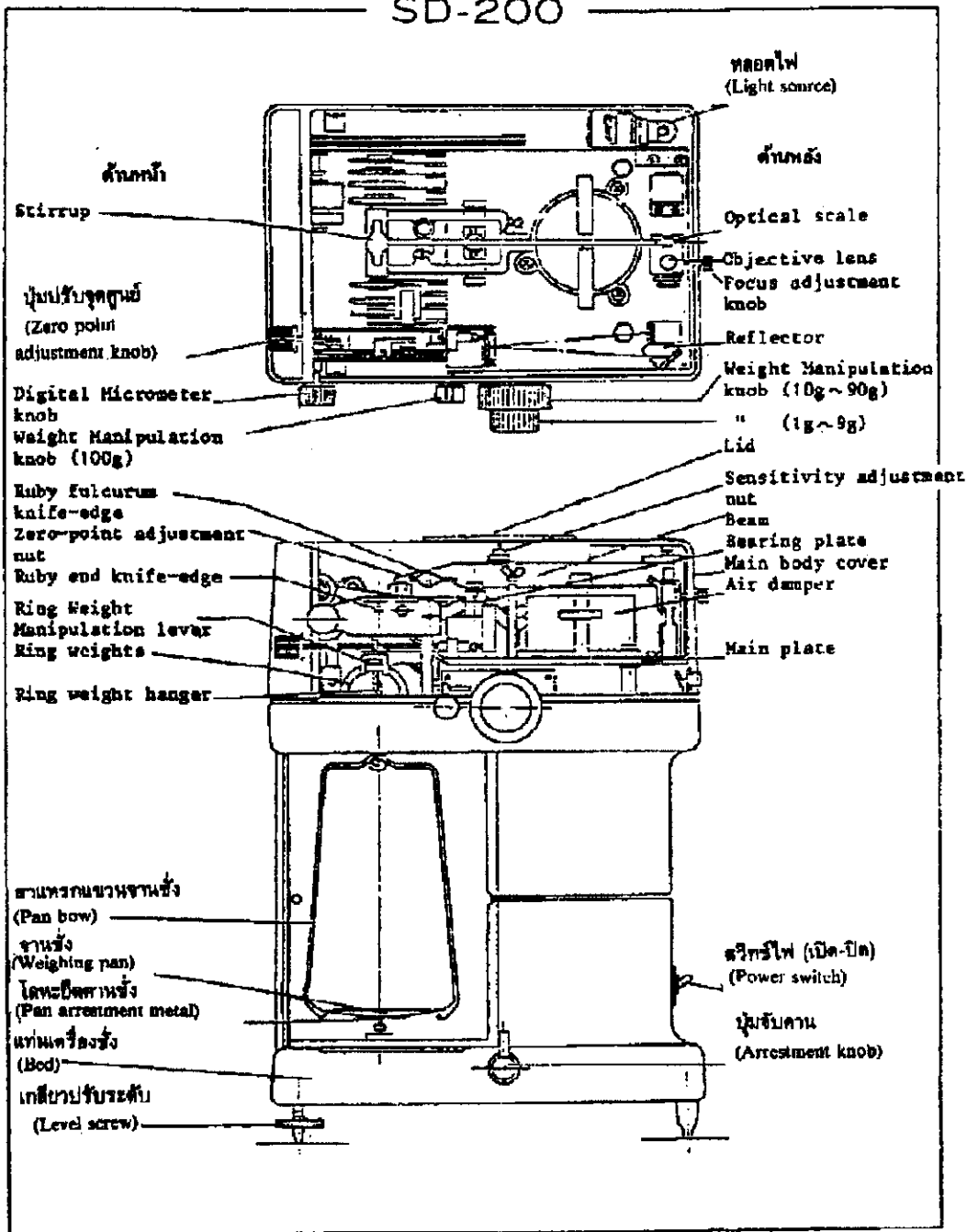
รูปที่ 1.4 เครื่องชั่งชนิดอ่านค่าได้โดยตรง
(เครื่องชั่งไฟฟ้า)



รูปที่ 1.5 หน้าปัดมีแสดงตัวเลข ประกอบด้วยสามส่วน คือ

1. ส่วนที่แสดงจำนวนน้ำหนักเป็นกรัม ในหลักร้อย-สิบ-หน่วย
2. ส่วนแสดงทศนิยมตำแหน่งที่ 1-2 ของกรัม
3. ส่วนแสดงทศนิยมตำแหน่งที่ 3-4 ของกรัม

SD-200



รูปที่ 1.6 แสดงส่วนประกอบภายในของเครื่องชั่งชนิดอ่านค่าได้โดยตรง

วิธีใช้เครื่องชั่งไฟฟ้า (คู่มืออธิบายประกอบการสาธิตโดยละเอียดในวิดีโอ)

1. ปรับจุดศูนย์ (ดูรูปที่ 1.6)

โดยหมุนปุ่มปรับน้ำหนักหลักร้อย, สิบบ, หน่วย ให้ตัวเลขบนหน้าปัดเป็น 000 และหมุนปุ่มปรับค่าทศนิยมตำแหน่งที่ 3-4 ให้ตัวเลขบนหน้าปัดเป็น 00 จากนั้นจึงหมุนปุ่มปรับคาน (arrestment knob) ไปข้างหลัง (FULL) ถ้าตัวเลขบนช่องเสกสำหรับอ่านค่าทศนิยมตำแหน่งที่ 1-2 ไม่อยู่ตรงกับขีดหลักของช่องแสดงตัวเลขนี้ ก็ให้หมุนปุ่มปรับจุดศูนย์ ซึ่งอยู่ทางตอนบนขวา ด้านหน้าเครื่องชั่ง จนกว่าจะตรงกัน

2. วิธีชั่ง

สมมติจะชั่งวัตถุซึ่งมีมวล 24.8461 กรัม

2.1 เปิดประตูเครื่องชั่ง วางวัตถุไว้กลางจานชั่ง ปิดประตูหมุนปุ่มปรับคานไปข้างหน้า (PARTIAL) คันชั่งจะถูกลอยออกช้า ๆ สเกลแสดงทศนิยมตำแหน่งที่ 1-2 จะเคลื่อนไปทางบวก

2.2 หมุนปุ่มควบคุมน้ำหนักวงแหวนในช่วง 10-90 กรัม จนกระทั่งเลข 20 ปรากฏบนหน้าปัด ส่วนที่ 1 (ดูรูป 1.5) เนื่องจากน้ำหนักวงแหวนในเครื่องชั่ง (ดูรูปที่ 1.6) ซึ่งถ่วงน้ำหนักเบาว่าน้ำหนักวัตถุที่ชั่ง สเกลแสดงทศนิยมตำแหน่งที่ 1-2 ยังคงเคลื่อนไปทางบวกต่อไป แต่ถ้าเราหมุนปุ่มควบคุมช่วง 10-90 กรัมนี้ไปอีก 1 จังหวะ จะปรากฏเลข 30 และสเกลจะเคลื่อนไปทางลบ เป็นการแสดงว่าน้ำหนักวัตถุอยู่ระหว่าง 20 และ 30 กรัม ดังนั้นให้หมุนปุ่มช่วง 10-90 กรัมกลับไปที่ได้เลขปรากฏเป็น 20 กรัม

2.3 ทำวิธีเดียวกับข้อ 2.2 จะได้น้ำหนักในหลักหน่วยเป็น 4 กรัม แล้วหมุนปุ่มจับคานไปที่ตำแหน่งหยุด (กึ่งกลาง)

2.4 ขณะนี้ตัวเลข 24 จะแสดงอยู่บนหน้าปัด ต่อไปหาทศนิยมตำแหน่งที่ 1 – 2 โดยหมุนปุ่มจับคานไปด้านหลัง (FULL) สเกลจะเลื่อนไปหยุดอยู่ที่ค่าระหว่าง 84 และ 85

2.5 หมุนปุ่มปรับค่าทศนิยมตำแหน่งที่ 3 – 4 (digital micrometer knob) จะได้ตัวเลข 48 ตรงกับเส้นหลัก เมื่อปรากฏค่าทศนิยมตำแหน่งที่ 3 – 4 เป็น 61 ดังนั้นเราจึงอ่านผลลัพธ์ทั้งหมดได้เป็น 24.8461 กรัม

2.6 หลังจากเสร็จสิ้นการชั่งแล้ว ต้องให้ปุ่มจับคาน อยู่ที่ตำแหน่งหยุด (กึ่งกลาง) ทุกครั้ง จึงเอาวัตถุออก จากนั้นหมุนปุ่มปรับน้ำหนักทั้งหมดให้ตัวเลขบนหน้าปัดเป็น 0

ข้อควรระวังในการใช้เครื่องชั่ง

1. ตรวจสอบความเรียบร้อยและความสะอาดของเครื่องชั่ง ระวังอย่าให้เครื่องชั่งถูกความชื้น ควรใช้ผ้าสะอาดเช็ดจานชั่งก่อนลงมือชั่ง
2. ใช้เครื่องชั่งอย่างระมัดระวัง อย่ากระตุกหรือกระชาก หรือจี้ครอยใดๆ
3. ให้ใช้คีมคีบค้อนน้ำหนัก ห้ามใช้มือจับค้อนน้ำหนัก
4. สำหรับเครื่องชั่งชนิด 2 แขน ก่อนเติมหรือหยิบน้ำหนักออกจากงานต้องหมุนปุ่มยกคานชั่งให้คานชั่งถูกยึดไว้ทั้งสองข้างแขน
5. ใส่น้ำหนัก (หรือวัตถุที่ชั่ง) ไว้ตรงกลางจานชั่ง

วิธีทดลอง

ตอนที่ 1 โดยใช้เครื่องชั่งอย่างละเอียดชนิด 2 แขน

1. จัดเครื่องมือโดยวางกระจกราบบนโต๊ะที่เรียบและอยู่ในแนวระดับ วางเครื่องชั่งบนกระจก ปรับขาเครื่องชั่งให้เครื่องชั่งอยู่ในแนวระดับ โดยสังเกตจากลูกค้อนที่ฐานของเครื่องชั่ง
2. หมุนปุ่มยกคานชั่ง (N) ให้เข็มแกว่ง ดูว่าเข็มแกว่งไปทางซ้ายและขวาเท่าๆ กันหรือไม่ ถ้าไม่เท่าให้ปรับที่สกรูทองเหลือง (A)
3. หาจุดหยุดของเครื่องชั่งเมื่อจานเปล่า = R_0
4. หาจุดหยุดของเครื่องชั่งเมื่อเติม 2 ม.ก. ลงในจานขวา = R_1
5. หาจุดหยุดของเครื่องชั่ง เมื่อใส่วัตถุที่จะชั่งลงในในจานซ้าย แล้วเติมค้อนน้ำหนักในจานขวา = R_2 บันทึกค่าของค้อนน้ำหนักที่ใส่ในจานขวาทั้งหมดไว้ และคำนวณหา m_1
6. หาจุดหยุดของเครื่องชั่งเมื่อเติม 2 มก. ลงในจานซ้าย = R'_1
7. หาจุดหยุดของเครื่องชั่งเมื่อชั่งวัตถุ (ชนิดเดียวกับที่ชั่งในจานซ้าย) ในจานขวา แล้วเติมค้อนน้ำหนักในจานซ้าย = R'_2 บันทึกค่าของค้อนน้ำหนักที่ใส่ในจานซ้ายทั้งหมดไว้ และคำนวณหา
8. หามวลที่แท้จริงของวัตถุโดยการคำนวณจากสมการ (1.4)
9. ทำการทดลองตั้งแต่ข้อ 5. ถึงข้อ 8. โดยเปลี่ยนวัตถุที่ชั่งเป็นชนิดอื่นอีก 2 ชนิด

ตอนที่ 2 โดยใช้เครื่องชั่งอย่างละเอียดชนิดหาค่าได้โดยตรง

1. ชั่งน้ำหนักของวัตถุทั้ง 3 ชนิด โดยใช้เครื่องชั่งอย่างละเอียด
2. เปรียบเทียบมวลที่ได้กับการชั่งตอนที่ 1. และหาความเคลื่อนคลาดเป็นร้อยละ

สรุปประเด็นสำคัญ

เครื่องชั่งอย่างละเอียดชนิดสองแขนมีความไวสูง โดยการหาจุดหยุดของเครื่องชั่งเมื่อจานเปล่า เมื่อเติมน้ำหนัก 2 มก. และวางวัตถุลงในจานข้างใดข้างหนึ่ง จะหามวลของวัตถุได้จากค่าแก้

กิจกรรมการเรียนรู้

1. เตรียมอุปกรณ์ทดลองตามคำแนะนำในแต่ละขั้นตอน
2. บันทึกผลการทดลองทุกขั้นตอนในตารางให้ชัดเจนและถูกต้อง

แบบทดสอบการทดลองที่ 1

- เครื่องชั่งอย่างละเอียดที่ใช้ในการทดลองนี้มีลักษณะอย่างไร
 - มีสองแขน
 - อ่านค่าได้โดยตรง
 - เป็นเครื่องชั่งไฟฟ้า
 - ถูกทุกข้อ
- เข็มชี้จะแกว่งมากในกรณีที่ชั่งมวลเพียงเล็กน้อย แสดงถึงลักษณะใดของเครื่องชั่ง
 - ความไวสูง
 - ความไวต่ำ
 - แกนช้ายขวาไม่เท่ากัน
 - ไม่มีค่าขอบที่ถูกต้อง
- การหาจุดหยุดของเครื่องชั่งควรใช้วิธีใด
 - อ่านสเกลเมื่อเข็มชี้หยุดนิ่ง
 - เฉลี่ยค่าเข็มชี้ซ้ายสุดและขวาสุด
 - เฉลี่ยค่าเข็มชี้ซ้ายสุดและขวาสุดรวมห้าครั้ง
 - อ่านเฉพาะเมื่อเป็นงานเปล่า
- มวลของวัตถุที่หาได้จากเครื่องชั่งอย่างละเอียดชนิดสองแขนอาศัยหลักการใด
 - ชั่งวัตถุในงานช้ายเท่ากัน
 - ชั่งวัตถุในงานขวาเท่ากัน
 - เฉลี่ยการชั่งในงานช้ายและงานขวา
 - หาค่าแก้จากจุดหยุดเทียบกับ 2 มิลลิกรัม
- เมื่อเครื่องชั่งอยู่ในสภาวะสมดุลจะทำให้ค่าต่างๆ เป็นไปตามความสัมพันธ์ใด
 - $P \times L = m_1 \times R$
 - $P \times R = m_2 \times L$
 - $P = (m_1 m_2)^{1/2}$ และ $L/R = (m_1 m_2)^{1/2}$
 - ถูกทุกข้อ
- มวลแท้จริงของวัตถุเท่ากับเท่าใด
 - $P = (m_1 m_2)^{1/2}$
 - $(m_1 m_2)^{1/2}$
 - m_1
 - m_2
- เครื่องชั่งอย่างละเอียดชนิดอ่านค่าได้โดยตรงมีลักษณะอย่างไร
 - มีสองแขน
 - เป็นเครื่องชั่งไฟฟ้า
 - แสดงน้ำหนักเป็นตัวเลข
 - ข้อ 2 และ 3 ถูก
- กรณีใดที่แสดงว่าเครื่องชั่งไฟฟ้าอยู่ในสภาวะสมดุล
 - ตัวเลขหน้าปัทม์หยุดนิ่งอยู่ตรงกลาง
 - เมื่อปุ่มจับคานอยู่ที่ตำแหน่งหยุด (กึ่งกลาง)
 - เมื่อปุ่มจับคานบิดไปด้านหลัง (FULL)
 - เมื่อปุ่มจับคานบิดไปด้านหน้า
- ก่อนที่จะวางวัตถุบนงานชั่งหรือนำวัตถุออกจากงานชั่งจะต้องหมุนปุ่มจับคานให้อยู่ที่ตำแหน่งใด
 - บิดไปข้างหน้า
 - ตำแหน่งหยุด (กึ่งกลาง)
 - บิดไปข้างหลัง
 - ตำแหน่งใดก็ได้
- การชั่งวัตถุทุกครั้งควรวางงานชั่งในลักษณะใด
 - ห่างจากขอบงานชั่ง
 - กลางงานชั่งพอดี
 - ชิดขอบงานชั่ง
 - ตำแหน่งใดก็ได้

แนวตอบ

- | | | | | |
|------|------|------|------|-------|
| 1. 4 | 2. 1 | 3. 3 | 4. 4 | 5. 4 |
| 6. 1 | 7. 2 | 8. 1 | 9. 2 | 10. 2 |

บันทึกผลการทดลอง
เรื่อง การชั่งอย่างละเอียด

ผู้รายงาน ชื่อ..... เลขรหัส.....
 ผู้ร่วมรายงาน 1. ชื่อ..... เลขรหัส.....
 2. ชื่อ..... เลขรหัส.....
 3. ชื่อ..... เลขรหัส.....
 4. ชื่อ..... เลขรหัส.....
 ทำการทดลองวันที่ เดือน พ.ศ. Section กลุ่ม.....

อาจารย์ผู้ควบคุมปฏิบัติการ _____

ตอนที่ 1

รายการ	ครั้งที่	จุดแกว่ง					จุดหยุด	จุดหยุดเฉลี่ย
		d ₁	d ₂	d ₃	d ₄	d ₅		
จานเปล่า	1							R ₀ =
	2							
เดิม 2 มก. ในจานชาม	1							R ₁ =
	2							
เดิม 2 มก. ในจานชาม	1							R' ₁ =
	2							
ชั่งโลหะที่เหลี่ยมในจานชาม ค้อนน้ำหนักใส่จานชามมวล _____ กรัม	1							R ₂ =
	2							
ชั่งโลหะที่เหลี่ยมในจานชาม ค้อนน้ำหนักใส่จานชามมวล _____ กรัม	1							R' ₂ =
	2							

รายการ	ครั้งที่	จุดแกว่ง					จุดหยุด	จุดหยุดเฉลี่ย
		d ₁	d ₂	d ₃	d ₄	d ₅		
ชั่งเหรียญในงานซ้าย ค้อนน้ำหนักใส่งานขวามวล _____ กรัม	1							$R_2 =$
	2							
ชั่งเหรียญในงานขวา ค้อนน้ำหนักใส่งานซ้ายมวล _____ กรัม	1							$R'_2 =$
	2							
ชั่งตุกกลมโลหะในงานขวา ค้อนน้ำหนักใส่งานซ้ายมวล _____ กรัม	1							$R_2 =$
	2							
ชั่งตุกกลมโลหะในงานซ้าย ค้อนน้ำหนักใส่งานขวามวล _____ กรัม	1							$R'_2 =$
	2							

การคำนวณหา m_1 (หรือ m_2) และ P

รูปแสดงจุดหยุด R_0, R_1 และ R_2 จากการทดลอง (ดูรูปที่ 1.3 เป็นตัวอย่าง)

คำนวณหา m_1 (หรือ m_2)

.....

.....

.....

.....

คำนวณหา P

.....

.....

.....

คำนวณหา L/R, S และ W

.....

.....

.....

.....

.....

ตอนที่ 2

รายการวัตถุ	เครื่องชั่งไฟฟ้า ชั่งได้ (กรัม)		ค่าเฉลี่ย
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	
โลหะรูปสี่เหลี่ยมตัน			
เหรียญสตึง			
ลูกกลมโลหะ			

รายการวัตถุ	น้ำหนัก(กรัม) เครื่องชั่งสองแขน	น้ำหนัก(กรัม) เครื่องชั่งไฟฟ้า	% แตกต่าง
โลหะรูปสี่เหลี่ยมตัน			
เหรียญสตึง			
ลูกกลมโลหะ			

.....

อาจารย์ผู้ควบคุมปฏิบัติการ

