การทดลอง

หลักของอาร์คิมิดีส: แรงลอยตัวและความหนาแน่น

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาแรงลอยตัว และหลักของอาร์คิมิดีส
2. เพื่อหาความหนาแน่นของวัตถุ

อุปกรณ์

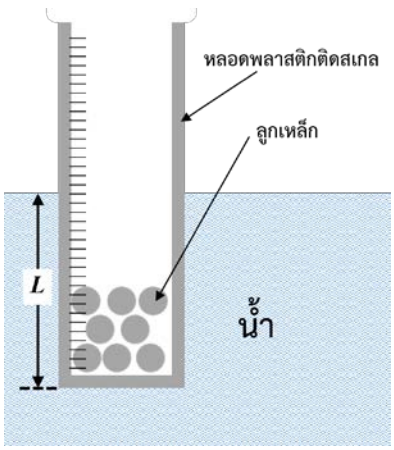
1. กระป๋องพลาสติกใหญ่
2. หลอดพลาสติกติดสเกล
3. ลูกเหล็ก 20 ลูก
4. น้ำ
5. เวอร์เนียร์คาลิปเปอร์

ทฤษฎี

ในของไหลสถิตซึ่งไม่สามารถบีบอัดได้ (incompressible static fluid) ความดันมีค่าแปรผันตรงกับความลึกของของไหล ดังนั้นเมื่อวัตถุจมอยู่ในของเหลวทั้งก้อนหรือแค่เพียงบางส่วน ผลต่างระหว่างความดันของของเหลวที่ด้านบนและด้านล่างของวัตถุ จะทำให้เกิดแรงในทิศชี้ขึ้นกระทำต่อวัตถุที่เรียกว่า แรงลอยตัว (Buoyant force: F_b) ขนาดของแรงลอยตัวจะเป็นไปตามหลักของอาร์คิมิดีส (Archimedes' principle) ซึ่งกล่าวว่า **"วัตถุที่จมในของเหลวทั้งก้อนหรือแค่เพียงบางส่วน จะมีแรงลอยตัวเท่ากับน้ำหนักของเหลวที่ถูกแทนที่"** หรือเขียนเป็นสมการได้ ดังนี้

$$F_b = \rho_f g V_f = m_f g \qquad (1)$$

โดยที่ ρ_f คือ ความหนาแน่นของของเหลว g คือ ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงโลก V_f คือ ปริมาตรของวัตถุส่วนที่จมในของเหลว และ m_f คือ มวลของของเหลวที่ถูกแทนที่



เมื่อนำหลักของอาร์คิมิดีสไปใช้กับการทดลองตอนที่ 1 ขณะที่หลอดพลาสติกติดสเกลซึ่งมีพื้นที่หน้าตัด A และ มีลูกเหล็กบรรจุอยู่ n ลูก ลอยนิ่งอยู่ในน้ำ (อยู่ในสมดุล) โดยส่วนที่จมอยู่ในน้ำยาว L ขนาดของแรงลอยตัวจะเท่ากับน้ำหนักของวัตถุนั่นคือ

$$\rho_w g L A = (m_{tb} + n m_{Fe}) g \qquad (2)$$

เมื่อ ρ_w คือ ความหนาแน่นน้ำ m_{tb} คือ มวลของหลอดพลาสติกติดสเกล และ m_{Fe} คือ มวลของลูกเหล็ก 1 ลูก เมื่อจัดรูปสมการที่ (2) ใหม่จะได้ว่า

$$L = \frac{m_{Fe}}{\rho_w A} n + \frac{m_{tb}}{\rho_w A} \quad (3)$$

ดังนั้น การเปลี่ยนแปลงของระยะที่หลอดจม ΔL เมื่อจำนวนลูกเหล็กเปลี่ยนไป Δn คือ

$$\Delta L = \frac{m_{Fe}}{\rho_w A} \Delta n \quad (4)$$

ค่า ΔL ในสมการที่ (4) สามารถหาได้จากผลต่างของระดับน้ำระหว่างมีกับไม่มีลูกเหล็กในหลอดพลาสติกติดสเกล ดังนั้น $\Delta n = n$ ก็คือจำนวนลูกเหล็กที่ใส่ลงไป เมื่อนำข้อมูลที่ได้จากการทดลองตอนที่ 1 มาเขียนกราฟระหว่าง ΔL (แกนตั้ง) และ n (แกนนอน) กราฟที่ได้ควรเป็นกราฟเส้นตรง ซึ่งมีความชัน (slope) เท่ากับ $m_{Fe}/\rho_w A$ และสามารถนำไปหาค่ามวลของลูกเหล็ก 1 ลูกได้ ดังนี้

$$m_{Fe} = \text{slope} \times \rho_w A \quad (5)$$

วิธีการทดลอง

<u>ตอนที่ 1</u> การหามวลของลูกเหล็กด้วยแรงลอยตัว

1. ใช้เวอร์เนียร์คาลิปเปอร์วัดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกของหลอดพลาสติกติดสเกล (d_1) 3 ครั้ง แล้วนำค่าที่วัดได้มาหาค่าเฉลี่ย จากนั้นนำค่าเฉลี่ยที่ได้ไปคำนวนหารัศมีภายนอกเฉลี่ย ($\bar{r}_1$)
2. ใส่น้ำลงในกระป๋องพลาสติกใหญ่จนถึงขีดที่กำหนดไว้ แล้วนำหลอดพลาสติกติดสเกล (ไม่มีอะไรอยู่ในหลอด) ไปลอยน้ำในกระป๋องพลาสติกใหญ่ เมื่อหลอดพลาสติกติดสเกลอยู่ในสมดุล (ลอยนิ่งและตั้งตรง) ให้บันทึกสเกลระดับน้ำที่อยู่บนหลอดพลาสติกติดสเกล (s_0)
3. ใส่ลูกเหล็กครั้งละ 1 ลูก รวม 8 ครั้ง หรือจนกว่าหลอดพลาสติกติดสเกลจะจม แต่ละครั้งบันทึกจำนวนลูกเหล็ก (n) และสเกลระดับน้ำ (s_n) ***<u>ข้อควรระวัง</u> เมื่อจำนวนลูกเหล็กมากขึ้น หลอดจะมีการแกว่งตัวมากขึ้น จึงควรประคองหลอดไว้แล้วค่อยๆปล่อยให้หลอดหยุดนิ่ง***
4. คำนวณหาค่า $\Delta L = |s_n - s_0|$ หรือ ระดับน้ำที่เปลี่ยนไปจากตอนที่ไม่มีลูกเหล็กอยู่ในหลอดพลาสติกติดสเกล
5. เขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ΔL (แกนตั้ง) และ n (แกนนอน) หาความชันของกราฟที่ได้
6. นำค่าความชันที่ได้มาหาค่ามวลของลูกเหล็ก 1 ลูกด้วยสมการที่ (5) โดยที่ $A = \pi \bar{r}_1^2$ และกำหนดให้ ความหนาแน่นของน้ำ ρ_w = 1.00 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร

<u>ตอนที่ 2</u> การหาปริมาตรลูกเหล็กด้วยการแทนที่น้ำและการหาความหนาแน่นของลูกเหล็ก

1. ใช้เวอร์เนียร์คาลิปเปอร์วัดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของหลอดพลาสติกติดสเกล (d_2) 3 ครั้ง แล้วนำค่าที่วัดได้มาหาค่าเฉลี่ย จากนั้นนำค่าเฉลี่ยที่ได้ไปคำนวนหารัศมีภายในเฉลี่ย ($\bar{r}_2$)
2. ตวงน้ำลงในหลอดพลาสติกติดสเกล 10 มิลลิลิตร แล้วบันทึกสเกลระดับน้ำเป็น h_1
3. ใส่ลูกเหล็กลงไปในหลอดพลาสติกติดสเกล 10 ลูก บันทึกสเกลระดับน้ำ (h_2) แล้วคำนวณหาระดับน้ำที่เปลี่ยนไป $h = \left|h_2 - h_1\right|$ นำค่าที่ได้มาคำนวณหาปริมาตรของลูกเหล็ก 1 ลูกจาก $V_{Fe} = \pi \bar{r}_2^2 h/10$
4. คำนวณหาค่าความหนาแน่นลูกเหล็กจากการทดลอง โดยนำปริมาตรของลูกเหล็กจากข้อ 3. และมวลของลูกเหล็กที่ได้จากตอนที่ 1 แทนในสมการ $\rho_{Fe} = \dfrac{m_{Fe}}{V_{Fe}}$

<u>ตอนที่ 3</u> การหาความหนาแน่นของลูกเหล็กจากทฤษฎี

1. ชั่งมวลลูกเหล็ก 10 ลูก 3 ครั้ง แล้วหาค่ามวลเฉลี่ยต่อหนึ่งลูก
2. ใช้เวอร์เนียร์คาลิปเปอร์วัดเส้นผ่านศูนย์กลางของลูกเหล็ก (d_{Fe}) 3 ครั้ง แล้วนำค่าที่วัดได้มาหาค่าเฉลี่ย จากนั้นนำค่าเฉลี่ยที่ได้ไปคำนวนหารัศมีเฉลี่ยของลูกเหล็ก ($\bar{r}_{Fe}$) นำค่าที่ได้ไปคำนวณหาปริมาตรของลูกเหล็กจากการวัดด้วยสมการ $V = \dfrac{4}{3}\pi \bar{r}_{Fe}^3$
3. ใช้ค่ามวลและปริมาตรของลูกเหล็กจากข้อ 1. และ 2. คำนวณความหนาแน่นของลูกเหล็ก
4. เปรียบเทียบค่าความหนาแน่นของลูกเหล็กที่ได้จากการทดลอง (ρ_{Fe}) กับค่าที่ได้จากทฤษฎี (ρ_{th}) ด้วยความสัมพันธ์

$$\text{เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน} = \frac{\left|\rho_{Fe} - \rho_{th}\right|}{\rho_{th}} \times 100\%$$

หลังทำการทดลองเสร็จแล้ว ให้นักศึกษาเช็ดลูกเหล็กให้แห้งก่อนเก็บคืนในกล่อง