

ปฏิบัติการประจำห้อง F10306 : อัตราเร็วสุดท้ายของลูกเหล็กที่เคลื่อนที่ในน้ำมันเครื่อง

การทดลองนี้มีจุดประสงค์คือ เพื่อหาค่าความหนืดของน้ำมันเครื่องด้วยการวัดค่าอัตราเร็วสุดท้ายของลูกเหล็กขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางค่าต่าง ๆ ที่ถูกปล่อยให้ตกลงไปในน้ำมันเครื่อง รูปที่ 1 แสดงอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองนี้



รูปที่ 1 อุปกรณ์ในการทดลอง

เมื่อนักศึกษาเรียนปฏิบัติการนี้เสร็จแล้วนักศึกษาควรที่จะทำสิ่งต่อไปนี้ได้

1. ใช้ไมโครมิเตอร์วัดค่าเส้นผ่านศูนย์กลางของลูกเหล็กได้
2. บันทึกค่าระยะความยาวกับช่วงเวลาพร้อมหน่วยและค่าความคลาดเคลื่อนจากการวัดได้ถูกต้องตามแบบมาตรฐาน
3. บันทึกค่าช่วงเวลาเฉลี่ย พร้อมหน่วยและค่าความคลาดเคลื่อนที่เหมาะสมได้ถูกต้องตามแบบมาตรฐาน
4. ใช้การพล็อตกราฟเส้นตรง เพื่อวิเคราะห์หาค่าความหนืดของของเหลวได้

ใช้การพล็อตกราฟเส้นตรง เพื่อวิเคราะห์หาค่าความเร็วต้นและความเร่งของรถพร้อมค่าความคลาดเคลื่อน จากข้อมูลการทดลองได้ปริมาณที่เราสามารถวัดได้โดยตรงคือ

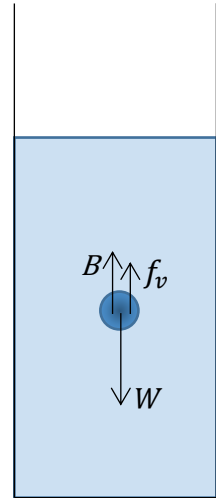
- ✓ เส้นผ่านศูนย์กลางของลูกเหล็ก d ด้วยไมโครมิเตอร์
- ✓ ระยะทาง L ที่ลูกเหล็กเคลื่อนที่ในระยยะสุดท้ายกั้นถึงกั้นภาชนะ
- ✓ ช่วงเวลา t ที่ลูกเหล็กใช้ในการเคลื่อนที่ได้ระยะ L ดังกล่าว

ความรู้ที่นักศึกษาควรทราบ

เมื่อลูกเหล็กมวล m เส้นผ่าศูนย์กลาง d ความหนาแน่น ρ_{steel} เคลื่อนที่ตกลงไปในของเหลวที่มีความหนาแน่น ρ_{liquid} และมีความหนืด η แรงที่กระทำต่อลูกเหล็กขณะเคลื่อนที่มี 3 แรง

- 1) น้ำหนัก $W = mg$,
- 2) แรงลอยตัว $B = \rho_{liquid} V_{displaced} g$
- 3) แรงต้านการเคลื่อนที่ $f_v = 3\pi d \eta v$.

โดย g คือ อัตราเร่งโน้มถ่วงของโลก $V_{displaced}$ คือปริมาตรลูกเหล็กที่แทนที่น้ำ (ปริมาตรส่วนจม) ซึ่งในที่นี้เท่ากับปริมาตรของลูกเหล็กนั่นเอง สังเกตว่า น้ำหนักและแรงลอยตัวมีค่าไม่เปลี่ยนแปลงตลอดการเคลื่อนที่ของลูกเหล็ก แต่แรงต้านจะมีขนาดที่เปลี่ยนไป โดยแปรผันตรงกับอัตราเร็ว ในตอนต้นของการเคลื่อนที่ อัตราเร็วยังไม่มาก แรงต้านยังมีขนาดน้อย ต่อมาแรงนี้จะมีขนาดใหญ่ขึ้นเมื่อลูกเหล็กวิ่งเร็วขึ้น โดยในที่สุด ทั้งอัตราเร็วของลูกเหล็กกับแรงต้านนี้จะมีค่าสูงสุด และเมื่อทั้งคู่มีค่าสูงสุด แรงสุทธิที่กระทำต่อลูกเหล็กก็จะมีค่าเป็น ศูนย์ เราเรียกค่าสูงสุดของอัตราเร็วนี้ว่า อัตราเร็วสุดท้าย v_T (terminal speed)



นั่นคือเราจะได้ความสัมพันธ์ของขนาดของแรงทั้งสามเป็น

$$\begin{aligned} B + f_v &= W \\ \rho_{liquid} V_{displaced} g + 3\pi d \eta v_T &= mg \\ \rho_{liquid} \frac{\pi d^3}{6} g + 3\pi d \eta v_T &= \rho_{steel} \frac{\pi d^3}{6} g \end{aligned}$$

จัดรูปสมการได้เป็น

$$v_T = \frac{g}{18\eta} (\rho_{steel} - \rho_{liquid}) d^2.$$

ในการทดลองนี้ มีสมการที่นำไปใช้หาค่าความคลาดเคลื่อนต่าง ๆ ดังนี้

$$\begin{aligned} \delta(\rho_{steel} - \rho_{liquid}) &= \sqrt{(\delta\rho_{steel})^2 + (\delta\rho_{liquid})^2} \\ \delta d^2 &= 2d\delta d \end{aligned}$$

เมื่อทำการทดลอง แล้วพล็อตกราฟ ระหว่าง กับ เราควรได้กราฟเส้นตรงโดย

$$\text{ความชัน} = \frac{g(\rho_{steel} - \rho_{liquid})}{18\eta}$$

ดังนั้นเราสามารถหาค่าความหนืด η ของของเหลวได้จาก

$$\eta = \frac{g(\rho_{steel} - \rho_{liquid})}{18 * \text{ความชัน}}$$

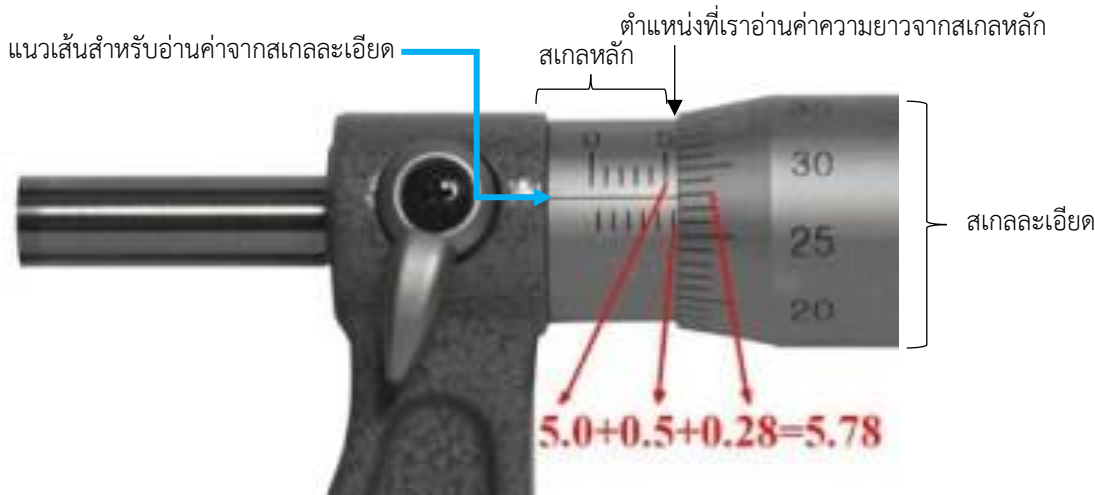
และหาความคลาดเคลื่อนของความหนืดได้จาก

$$\frac{\delta\eta}{\eta} = \sqrt{\left(\frac{\delta(\text{ความชัน})}{\text{ความชัน}}\right)^2 + \left(\frac{\delta g}{g}\right)^2 + \left(\frac{\delta(\rho_{steel} - \rho_{liquid})}{(\rho_{steel} - \rho_{liquid})}\right)^2}$$

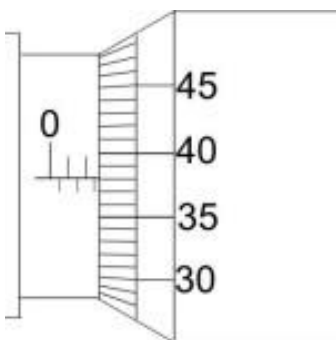
การอ่านค่าจากไมโครมิเตอร์

(ปรับมาจาก <https://www.miniphysics.com/how-to-read-a-micrometer-screw-gauge.html>)

สเกลการอ่านค่าของไมโครมิเตอร์มี 2 ส่วน ส่วนแรกคือสเกลหลัก คือตรงที่เป็นขีด อยู่ในแนวระดับในรูปด้านล่าง และส่วนที่เป็นสเกลละเอียด คือ ตรงส่วนด้านด้านขวาซึ่งหมุนได้ (การหมุนส่วนที่สองนี้ ครบ 1 รอบจะเท่ากับ ค่าความยาว 0.500 mm)



สังเกตว่าเส้น 2 เส้นด้านบน ที่อยู่ถัดกันบนสเกลหลัก ยาว 1.000 mm ส่วนเส้นด้านบนกับด้านล่างที่อยู่ถัดกัน ยาว 0.500 mm เมื่อเราอ่านค่าจากไมโครมิเตอร์ เราจะดูตรงตำแหน่งขอบด้านซ้ายของส่วนที่หมุนได้ว่า สเกลหลักอ่านได้ค่าเท่าใด กรณีของรูปด้านบน เราจะอ่านได้ 5.5 mm (เราอ่านค่าหยาบ ๆ จากสเกลหลัก สเกลละเอียดจะช่วยให้อ่านได้ละเอียดขึ้น) จากนั้นเราจะไปดูค่าจากสเกลละเอียด ซึ่งดูเทียบตรงแนวเส้นตรงในแนวนอนในรูป โดยในที่นี้เราจะอ่านเป็น 27.9 ± 0.1 ซึ่งจะมีค่าตรงกับค่าความยาวเท่ากับ 0.279 ± 0.001 mm ซึ่งเราจะสรุปค่าที่เราอ่านได้นี้ว่าเท่ากับ 5.5 mm + 0.279 mm $\rightarrow 5.779 \pm 0.001$ mm นักศึกษาลองพิจารณาตัวอย่างเพิ่มจากการอ่านค่าด้านล่าง



รูปด้านบนนี้ อ่านได้เท่ากับ 2.5 mm + 0.381 mm $\rightarrow 2.881 \pm 0.001$ mm



รูปด้านบนนี้ อ่านได้เท่ากับ $7 \text{ mm} + 0.380 \text{ mm} \rightarrow 7.380 \pm 0.001 \text{ mm}$



รูปด้านบนนี้ อ่านได้เท่ากับ $7.5 \text{ mm} + 0.221 \text{ mm} \rightarrow 7.721 \pm 0.001 \text{ mm}$

ในการทดลองนี้เราจะมีน้ำมันเครื่อง 2 ชนิดคือ SAE90 กับ SAE140 ($\rho_{SAE90} = 0.903 \pm 0.002 \frac{g}{cm^3}$ and $\rho_{SAE140} = 0.909 \pm 0.002 \frac{g}{cm^3}$).

ใบบันทึกผลการทดลองประจำห้อง F10306 : อัตราเร็วสุดท้ายของลูกเหล็กที่เคลื่อนที่ในน้ำมันเครื่อง

ชื่อ _____ รหัสนักศึกษา _____

ค่าระยะทางที่ลูกเหล็กเคลื่อนที่ในช่วงสุดท้ายที่เราใช้เพื่อวัดค่าเวลาในการเคลื่อนที่ (2)

$L \pm \delta L =$ _____

น้ำมันเครื่องที่ใช้ในการทดลองคือ _____

ซึ่งจากในเอกสารนี้มีค่าความหนาแน่นเท่ากับ _____

ตารางบันทึกผลการทดลอง [(2+2) ให้ระบุหน่วยในวงเล็บ]

d (_____) Reading error = —	t (_____) Reading error = _____	\bar{t} (_____)	SD ของ \bar{t} (_____)	$\delta \bar{t}$ (_____) These are random errors

d^2 (_____)	$\delta d^2 = 2d\delta d$ (_____)	$v_T = \frac{L}{\bar{t}}$ (_____)	$\delta v_T = v_T \sqrt{\left(\frac{\delta L}{L}\right)^2 + \left(\frac{\delta \bar{t}}{\bar{t}}\right)^2}$ (_____)

การวิเคราะห์ผลด้วยการพล็อตกราฟ (2+2)

จากกราฟที่พล็อตระหว่าง v_T กับ d^2

เราหาความชันได้เท่ากับ $\text{slope} \pm \delta(\text{slope}) =$ _____

และจุดตัดแกนตั้งมีค่าเท่ากับ $y\text{-intercept} \pm \delta(y\text{-intercept}) =$ _____

เมื่อเทียบกับกราฟ v_T กับ d^2 ที่เราพล็อตกับสมการ $v_T = \frac{g}{18\eta}(\rho_{\text{steel}} - \rho_{\text{liquid}})d^2$

โดยใช้ค่า $\rho_{\text{steel}} = 7.85 \pm 0.04 \frac{g}{cm^3}$

$\rho_{\text{liquid}} =$ _____

ความหนืดของน้ำมันเครื่องมีค่าเท่ากับ $\eta \pm \delta\eta =$ _____

(นักศึกษาสามารถใช้ที่ว่างด้านล่างทดเลขเพื่อช่วยในการคำนวณหาค่าความหนืดและค่าความคลาดเคลื่อนของน้ำมัน)

อภิปรายผล (2)

สรุปผลการเรียนรู้ของตนเอง (2)

สิ่งที่ได้เรียนรู้จากการทำการทดลองนี้คือ
