

บทที่ 12 กลศาสตร์ของไหล

ของไหล คือ การรวมตัวของโมเลกุล ที่มีการเรียงตัวแบบสุ่ม และมีแรง
อ่อนระหว่างโมเลกุลด้วยกันหรือระหว่างโมเลกุลกับพื้นผิวภาชนะบรรจุ เช่น
ของเหลวและก๊าซ การศึกษาของไหลที่อยู่นิ่งเรียกว่า สถิตศาสตร์ของของไหล
Fluid statics การศึกษาที่มีการเคลื่อนที่ เรียกว่า พลศาสตร์ของของไหล
Fluid dynamics

1. ความหนาแน่นและความถ่วงจำเพาะ

ความหนาแน่นของวัตถุหมายถึง มวลต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรของวัตถุ

$$\rho = \frac{m}{V} \quad \text{kg/m}^3$$

ความถ่วงจำเพาะของวัตถุหมายถึง อัตราส่วนระหว่างความหนาแน่น
ของวัตถุ ρ ต่อความหนาแน่นของน้ำ ρ_w

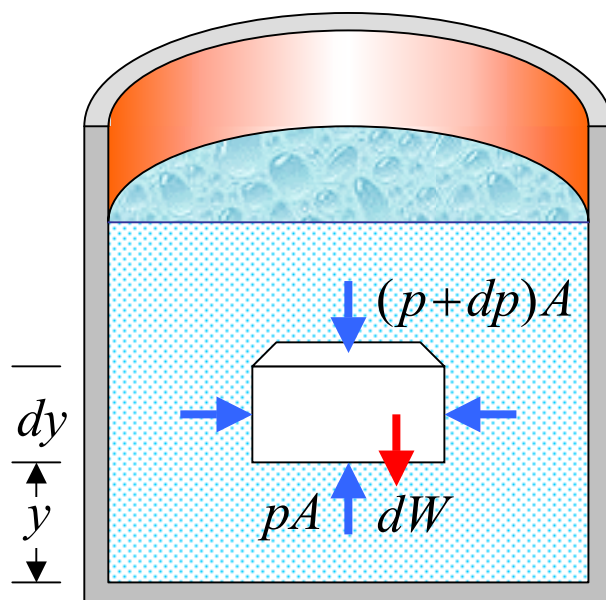
$$\rho_r = \frac{\rho}{\rho_w}$$

2. ความดันในของไหล

ความดัน ณ จุดต่าง ๆ ในของไหลที่หยุดนิ่ง หาได้จากอัตราส่วนระหว่าง
แรงดันกับพื้นที่ตั้งฉากกับแรงดันนั้น

$$p = \frac{dF}{dA}$$

ความดันมีหน่วยเป็น นิวตัน/เมตร² หรือพาสคาล ($1 \text{ N/m}^2 \equiv 1 \text{ Pa}$)



จากรูปกำหนดให้กันภาชนะเป็นระดับอ้างอิง เนื่องจากสภาวะสมดุล $\Sigma F_y = 0$

ได้สมการว่า $pA - (p+dp)A - mg = 0$

$$pA - (p+dp)A - \rho(Ady)g = 0$$

$$dp = -(\rho g)dy$$

$$p_2 - p_1 = -\rho g(y_2 - y_1)$$

กรณีภาชนะเปิด $p_2 = p_a$ และ $y_2 - y_1 = h$ ได้สมการว่า

$$p_a - p_1 = -\rho gh$$

$$p_1 = \rho gh + p_a$$

ดังนั้น ความดันจะขึ้นกับความลึกเท่านั้น ไม่ขึ้นกับรูปร่างภาชนะบรรจุ
 ที่ความลึกเดียวกัน ความดันมีค่าเท่ากัน



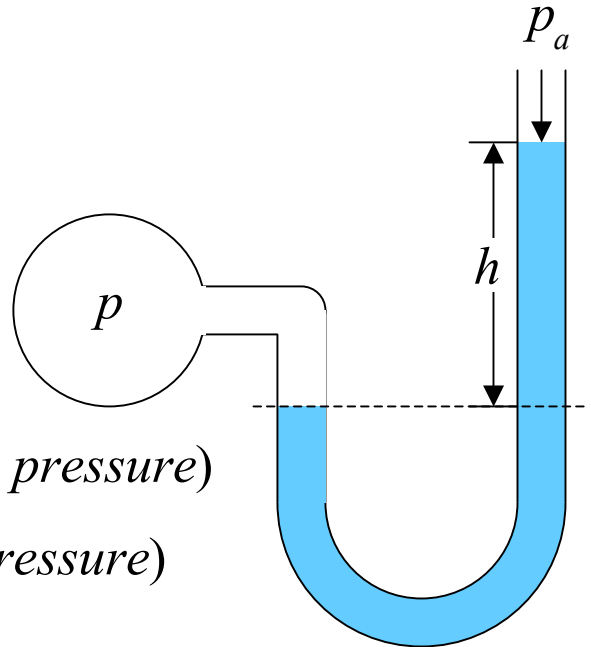
2.1 เครื่องมือวัดความดัน

เครื่องมือวัดความดันที่ง่ายที่สุด คือ แมนอมิเตอร์ชนิดปลายเปิด (Open-tube manometer) จากรูป ความดันที่ระดับต่ำสุดของหลอดทั้งสองเท่ากัน นั่นคือ

$$p + \rho g y_1 = p_a + \rho g y_2$$
$$p - p_a = \rho g (y_2 - y_1) = \rho g h$$

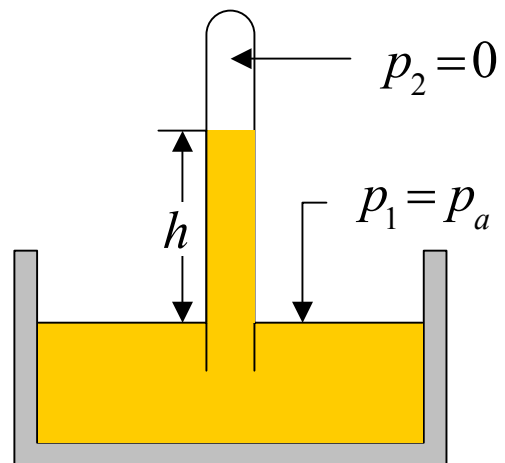
p เรียกความดันสัมบูรณ์ (*absolute pressure*)

$p - p_a$ เรียกว่าความดันเกจ (*guage pressure*)



เครื่องมือวัดความดันบรรยากาศ เรียกว่า บารอมิเตอร์ (Barometer) มีหลายแบบ บารอมิเตอร์แบบปรอท ตามรูป

$$p_a + \rho g y_1 = \rho g y_2$$
$$p_a = \rho g (y_2 - y_1) = \rho g h$$

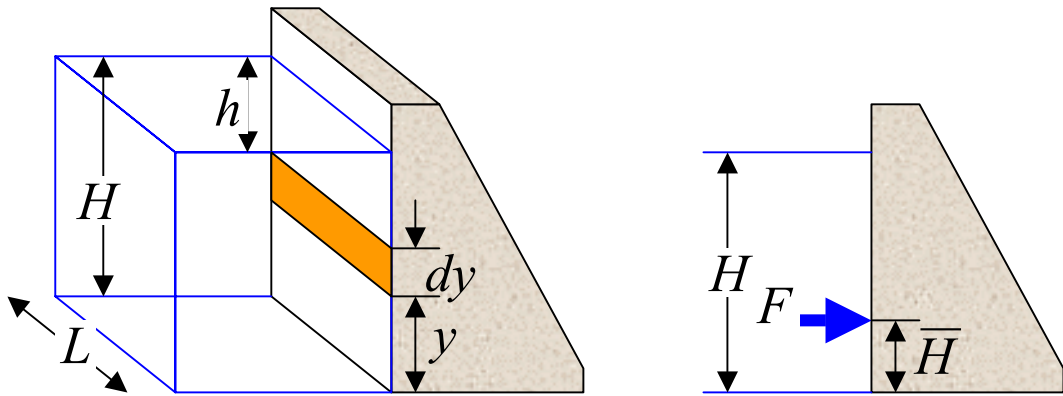


ความดัน เนื่องจากลำปรอทสูง 1 มิลลิเมตร เรียกว่า ความดัน 1 ทอร์

ความดันบรรยากาศ เท่ากับ ความสูง 76 มิลลิเมตรปรอท

1 บรรยากาศ เท่ากับ 1.013×10^5 pascal ($1 \text{ bar} = 10^5 \text{ pascal}$)

2.2 แรงลัพท์ที่กระทำต่อเขื่อน



จากแรงดันของน้ำกระทำต่อเขื่อน ได้ว่า $dF = PdA$

$$F = \int PdA = \int_0^H \rho g(H-y)Ldy = \frac{1}{2}\rho gLH^2$$

พิจารณาโมเมนต์ของแรงที่กระทำต่อเขื่อนเปิด

$$d\Gamma = ydF = y\rho g(H-y)Ldy$$

$$\Gamma = \int d\Gamma = \int_0^H \rho gL(H-y)ydy$$

$$\Gamma = \frac{1}{6}\rho gLH^3$$

โมเมนต์ลัพท์ เท่ากับ ผลรวมของโมเมนต์ย่อย

$$\Gamma = \frac{1}{6}\rho gLH^3 = F \cdot \bar{H}$$

$$\Gamma = \frac{1}{6}\rho gLH^3 = \frac{1}{2}\rho gLH^2 \cdot \bar{H}$$

ดังนั้น จะสามารถกล่าวได้ว่า แรงลัพท์จะกระทำที่ระดับความสูงของเขื่อน

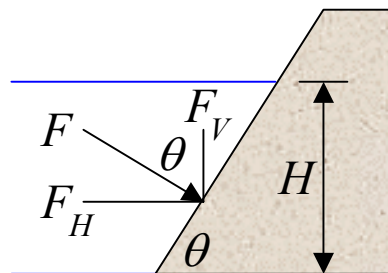
จากพื้น เท่ากับ $\frac{1}{3}$ ของระดับความสูงของน้ำทั้งหมด $\bar{H} = \frac{1}{3}H$

สำหรับเขื่อนเอียง

$$F_H = F \sin\theta = \frac{1}{2}\rho gLH^2$$

$$F = \frac{F_H}{\sin\theta} = \frac{\frac{1}{2}\rho gLH^2}{\sin\theta}$$

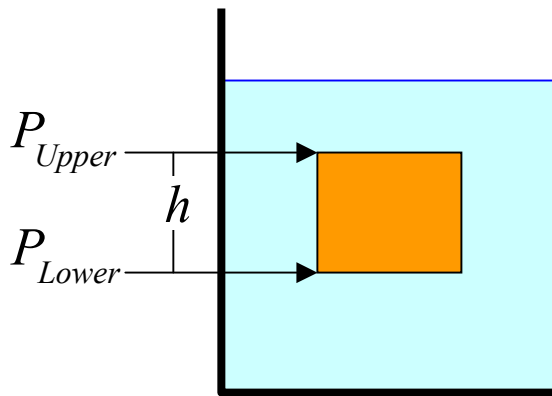
$$F_V = F \cos\theta = \frac{1}{2}\rho gLH^2 \cot\theta$$



3. หลักของอาร์คิมิดีส

หลักของอาร์คิมิดีส Archimedes principle กล่าวว่า เมื่อมีส่วนใดส่วนหนึ่งของวัตถุหรือทั้งหมดจมอยู่ในของไหล ของไหลจะออกแรงพยุงต่อวัตถุนั้น **Buoyant force** ขนาดของแรงพยุงมีค่าเท่ากับน้ำหนักของของไหลที่ถูกวัตถุนั้นแทนที่

จากหลักของอาร์คิมิดีส สามารถอธิบายโดยผลต่างของความดันกระทำที่ต่างระดับความลึกต่อวัตถุตั้งรูป



$$\Delta P = P_{Lower} - P_{Upper} = B / A$$

$$B = \Delta P \cdot A = (\rho g h) \cdot A = \rho V g$$

พิจารณาวัตถุลอยอยู่ในของเหลว แรงเนื่องจากความโน้มถ่วงกระทำต่อวัตถุ เท่ากับ $F = mg$ แรงพยุงที่กระทำต่อวัตถุ เท่ากับ $B = \rho V g$ ดังนั้นแรงลัพธ์มีค่าเท่ากับ

$$\text{Net force} = F - B = mg - \rho V g$$

หากว่าน้ำหนักที่กระทำต่อวัตถุมีค่ามากกว่าแรงพยุง จะทำให้วัตถุจมลงไปในของเหลว หรือหากว่าแรงพยุงมีค่ามากกว่าน้ำหนัก จะทำให้วัตถุลอยขึ้นบน

ผิวของเหลว ทำให้วัตถุบางส่วนจมอยู่ในของเหลวแรงพยุงจึงลดลง มีค่าเท่ากับน้ำหนักของวัตถุ เข้าสู่สมดุล

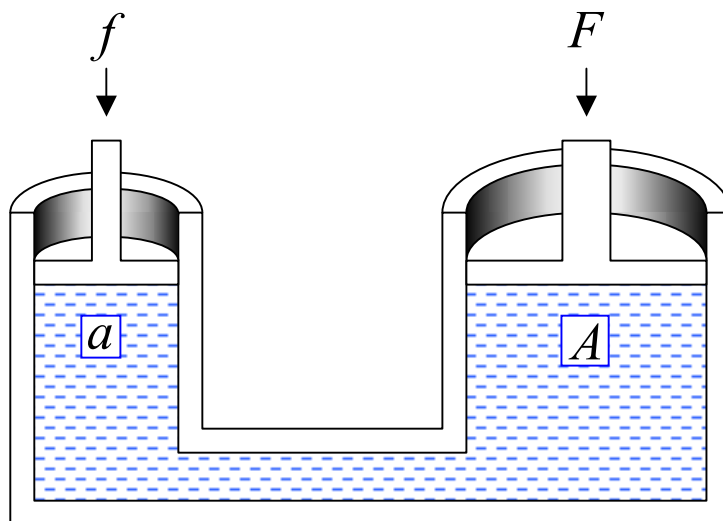
ดังนั้น แรงพยุงสามารถเขียนเป็นสมการได้ว่า

$$B = \rho_{\text{เหลว}} V_{\text{วัตถุส่วนที่จม}} g$$

4. เครื่องอัดไฮดรอลิก

ถ้าทำให้ความดันที่ผิวของไหลเพิ่มขึ้น ความดัน p ระดับความลึก h ใด ๆ ก็เพิ่มขึ้นด้วยค่าเท่ากัน นักวิทยาศาสตร์ชาวฝรั่งเศสชื่อ เบลส ปาสคาล พิสูจน์ความจริงข้อนี้ในปี ค.ศ. 1653 และสรุปเป็นกฎปาสคาลได้ว่า

“เมื่อมีความดันเพิ่มขึ้นที่ผิวของของไหล ซึ่งอยู่ในภาชนะปิด ความดันที่เพิ่มขึ้นนี้ จะถ่ายทอดไปทั่วทุก ๆ จุด ในของไหล รวมทั้งที่ผิวของภาชนะที่ของไหลสัมผัสด้วย”



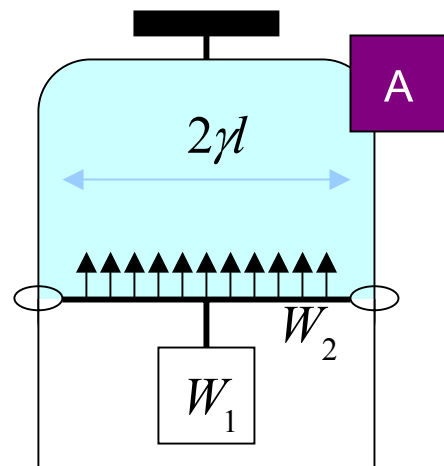
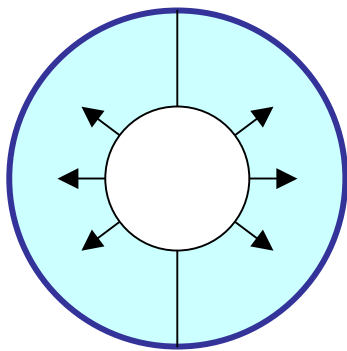
$$\frac{f}{a} = \frac{F}{A} \quad ; \quad F = f \frac{A}{a}$$

เครื่องอัดไฮดรอลิก ใช้เป็นเครื่องผ่อนแรงในเครื่องมือต่าง ๆ

5. ความตึงผิว (Surface Tension)

ปรากฏการณ์บางอย่างที่สังเกตได้ เช่น แมลงบางชนิดวิ่งไปมาได้บนผิวน้ำนิ่ง หรือเข็มเย็บผ้าเล่มเล็ก ๆ สามารถอยู่บนผิวน้ำได้แสดงว่าผิวน้ำหรือผิวของเหลวมีลักษณะเหมือนอยู่ใต้แรงดึง เรียกแรงนี้ว่า แรงตึงผิว

ความตึงผิวของของเหลว γ คือ อัตราส่วนระหว่างแรงตึงผิว F ต่อความยาว d บนผิวของของเหลวที่แรงตึงผิวกระทำตั้งฉาก $\gamma = \frac{F}{d}$ มีหน่วยเป็น นิวตัน/เมตร



จากรูป A ถ้า l เป็นความยาวของลวดตรง ถูกแรงดึงจากน้ำหนักโครงลวด W_1 และน้ำหนักวัตถุ W_2 ทำให้โครงลวดยืดยึดลงมาระยะ Δs เนื่องจากฟิล์มมี 2 หน้า ดังนั้น

$$\gamma = \frac{F}{2l} \quad ; \quad F = W_1 + W_2$$

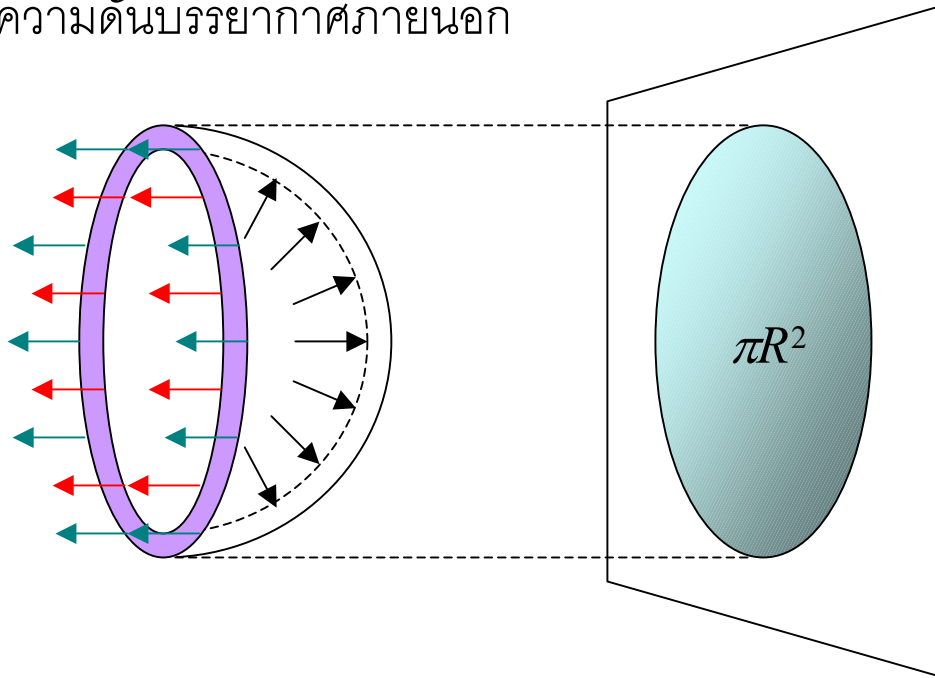
$$\gamma = \frac{F \Delta s}{2l \Delta s} = \frac{\Delta W}{\Delta A}$$

จากรูปได้ว่า ความตึงผิวเท่ากับงานต่อพื้นที่

ความตึงผิวของของเหลวมักจะมีค่าลดลงเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น

5.1 ความดันที่ผิวด้านในของฟองสบู่ และหยดของเหลว

ผลจากความตึงผิว ทำให้ความดันภายในฟองสบู่หรือหยดของเหลว มีค่ามากกว่าความดันบรรยากาศภายนอก



ครึ่งทรงกลมอยู่ในสมดุลระหว่าง แรงตึงผิว เท่ากับ ความดันอากาศลัพธ์

$$2(2\pi R)\gamma = (p - p_a)\pi R^2$$

$$(p - p_a) = \frac{4\gamma}{R}$$

กรณีเป็นหยดของเหลว จะมีผิวของเหลวเพียงผิวเดียว

$$(2\pi R)\gamma = (p - p_a)\pi R^2$$

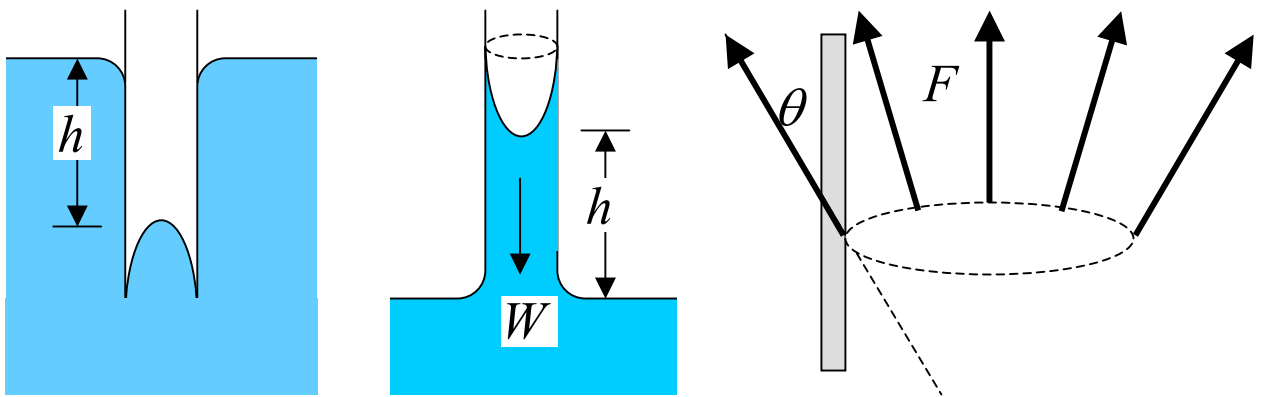
$$(p - p_a) = \frac{2\gamma}{R}$$

5.2 มุมสัมผัสและการซึมตามรูเล็ก

เนื่องจากของเหลวมีแรงตึงผิวทำให้ผิวของของเหลวในภาชนะมีลักษณะโค้ง มุมที่ผิวของเหลวกระทำต่อด้านข้างภาชนะ เรียกว่ามุมสัมผัส θ

กรณี มุม θ มีค่าอยู่ระหว่าง $0-90^\circ$ ผิวของของเหลวจะเปียกภาชนะ
 ถ้ามุม θ มีค่าอยู่ระหว่าง $90^\circ-180^\circ$ ผิวของเหลวจะไม่เปียกภาชนะ

ถ้านำหลอดรูเล็กจุ่มลงในของเหลว ในกรณีของเหลวเปียกภาชนะ ของ
เหลวจะมีระดับสูงกว่าระดับของเหลวในภาชนะ แต่ถ้าของเหลวไม่เปียก
 ภาชนะ ระดับของเหลวในหลอดจะต่ำ กว่าระดับของเหลวในภาชนะ
 ปรากฏการณ์นี้เรียกว่า การซึมตามรูเล็ก (Capillarity)



เนื่องจากของเหลวอยู่ภาวะสมดุล จากรูป ดังนั้น ได้ความสัมพันธ์ว่า

$$F \cos \theta = W$$

$$2\pi R \gamma \cos \theta = \pi R^2 \rho g h$$

$$h = \frac{2\gamma \cos \theta}{\rho g R}$$

ค่า $\cos \theta$ จะเป็นค่าบวก ถ้าเป็นของเหลวที่เปียกภาชนะ

6. ความหนืดและกฎของสโตกส์

ถ้าวัตถุรัศมี R เคลื่อนที่ในของไหล อยู่ในสภาวะสมดุลด้วยความเร็ว v จะมีแรงชนิดหนึ่งต้านการเคลื่อนที่ของวัตถุ เรียกว่า แรงหนืด F_v เกิดจากของไหลมีความหนืด η จากการทดลองพบว่า

$$F_{\text{viscosity}} = 6\pi\eta Rv$$

การเคลื่อนที่ของวัตถุในของไหล ที่เกิดขึ้น จะเป็นการเคลื่อนที่อย่างมีความเร่ง ในช่วงแรก และมีความเร็วสูงขึ้นจนเข้าสู่สภาวะสมดุล ในช่วงที่สอง เคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงที่ ดังสมการ

ช่วงแรก

$$\Sigma F_y = ma_y$$

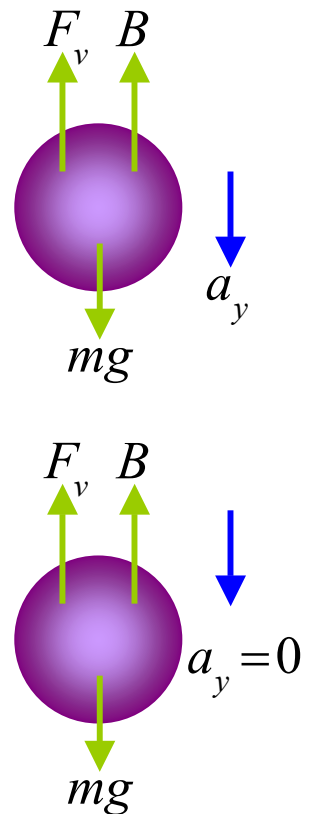
$$mg - (F_v - B) = ma_y$$

$$\frac{4}{3}\pi R^3 \rho' g - (6\pi\eta Rv - \frac{4}{3}\pi R^3 \rho g) = ma_y$$

ช่วงสอง

$$\frac{4}{3}\pi R^3 \rho' g - (6\pi\eta Rv - \frac{4}{3}\pi R^3 \rho g) = 0$$

$$v = \frac{2}{9} \frac{R^2 g}{\eta} (\rho' - \rho)$$



กรณีทราบความเร็วปลาย v สามารถคำนวณหาค่า η ได้ หน่วยของ η คือ

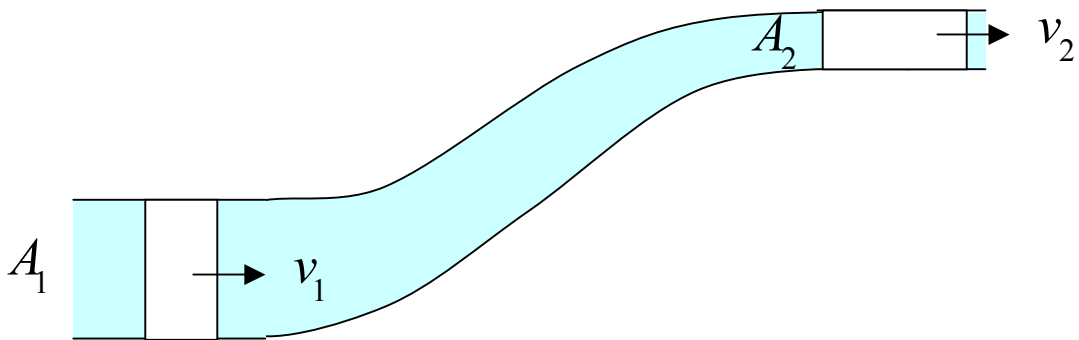
$N \cdot s / m^2$ หรืออาจจะใช้หน่วยเป็นพอยส์ (Poise) โดย $1 P = \frac{1}{10} N \cdot s / m^2$

เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ความหนืดของของเหลวจะลดลง แต่สำหรับก๊าซจะเพิ่มขึ้น

7. พลศาสตร์ของของไหล

พลศาสตร์ของของไหล กล่าวถึงของไหลที่มีการเคลื่อนที่ ของไหลอุดมคติ ซึ่งถือว่าเป็นของไหลที่อัดตัวไม่ได้ และไม่มี ความหนืด การไหลอย่างสม่ำเสมอ จะมีเส้นทางการไหลที่แน่นอน ไม่ปะปนกัน ที่จุด ๆ หนึ่ง ในเส้นทางการไหล ความเร็วของอนุภาคที่ผ่านจุดนี้จะต้องเท่ากันเสมอ

7.1 สมการความต่อเนื่อง



ถ้าเป็นการไหลอย่างสม่ำเสมอ ในช่วงเวลา Δt เท่ากัน มวลของของไหลที่ไหลเข้า A_1 จะเท่ากับมวลของของไหลที่ไหลออกจาก A_2

$$\rho A_1 v_1 \Delta t = \rho A_2 v_2 \Delta t$$

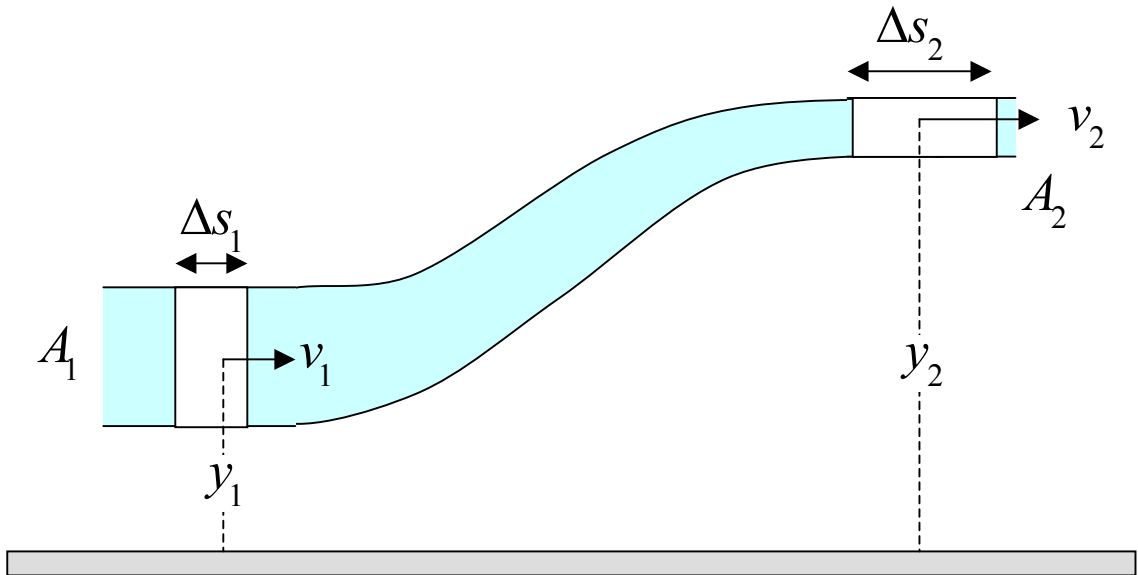
$$A_1 v_1 = A_2 v_2$$

$$Av = \text{constant}$$

เรียกสมการนี้ว่า สมการความต่อเนื่อง (Equation of continuity)

7.2 สมการแบร์นูลลี

พิจารณาการไหลเคลื่อนที่จาก a ไปยัง c ในช่วงเวลา Δt เท่ากัน ปริมาตรของไหลที่เคลื่อนที่จาก a ไปยัง c มีค่าเท่ากัน



$$Volume = A_1 \Delta s_1 = A_2 \Delta s_2$$

งานสุทธิบนของไหลที่พิจารณา คือ

$$Work = p_1 A_1 \Delta s_1 - p_2 A_2 \Delta s_2 = (p_1 - p_2) V$$

จากหลักของงาน - พลังงาน

$$Work = \Delta E_k + \Delta E_p$$

ดังนั้น สามารถกล่าวได้ว่า

$$(p_1 - p_2) V = \Delta E_k + \Delta E_p$$

$$(p_1 - p_2) V = \frac{1}{2} \rho V (v_2^2 - v_1^2) + \rho V g (y_2 - y_1)$$

$$(p_1 - p_2) = \frac{1}{2} \rho (v_2^2 - v_1^2) + \rho g (y_2 - y_1)$$

$$p_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2 + \rho g y_1 = p_2 + \frac{1}{2} \rho v_2^2 + \rho g y_2$$

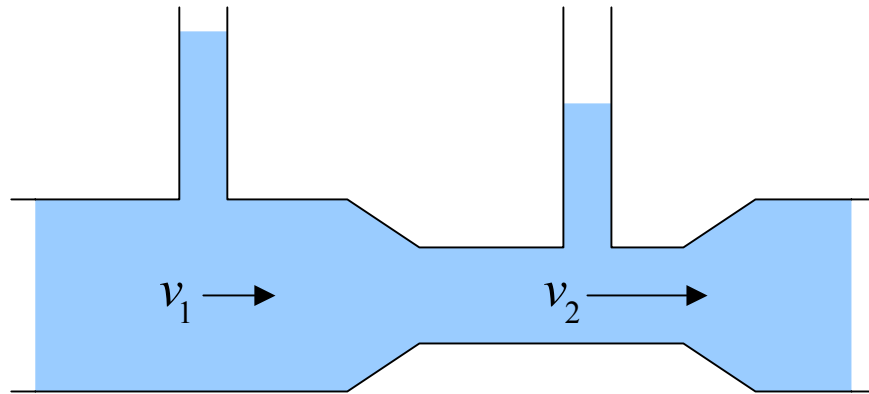
$$p + \frac{1}{2} \rho v^2 + \rho g y = Constant$$

เรียกสมการนี้ว่า สมการแบร์นูลลี

7.3 การประยุกต์สมการของแบร์นูลลี

□ มาตรเวนจูรี (Venturi meter)

มาตรเวนจูรี เป็นอุปกรณ์ที่ใช้วัดอัตราการไหลของของไหลในท่อ เนื่อง จากท่ออยู่ในแนวระดับ $y_1 = y_2$ สมการของแบร์นูลลี สามารถเขียนได้ว่า



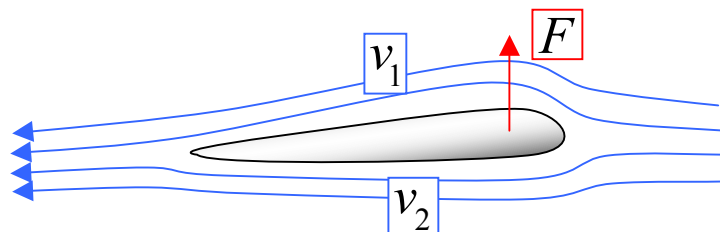
$$p_1 + \frac{1}{2}\rho v_1^2 + \rho g y_1 = p_2 + \frac{1}{2}\rho v_2^2 + \rho g y_2$$

$$p_1 + \frac{1}{2}\rho v_1^2 = p_2 + \frac{1}{2}\rho v_2^2$$

สามารถสรุปได้ว่า v_2 จะมากกว่า v_1 และ p_2 น้อยกว่า p_1

□ แรงยกใต้ปีกเครื่องบิน

พิจารณา ปีกเครื่องบินมีความหนาไม่มาก ดังนั้นระดับความสูงของปีก เครื่องบินมีค่าใกล้เคียงกันตั้งสมการ $y_1 \approx y_2$ ดังนั้นสมการสามารถเขียนได้ว่า



$$p_1 + \frac{1}{2}\rho v_1^2 + \rho g y_1 = p_2 + \frac{1}{2}\rho v_2^2 + \rho g y_2$$

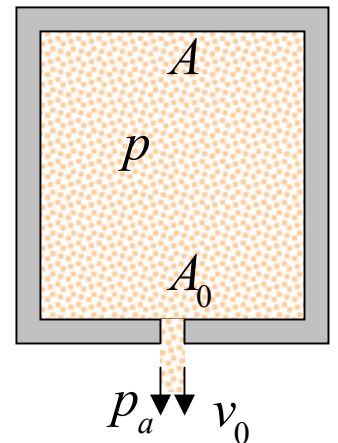
$$p_2 - p_1 = \frac{1}{2}\rho(v_1^2 - v_2^2)$$

เนื่องจาก พื้นที่ส่วนโค้งบนปีกมีระยะโค้งมากกว่าส่วนโค้งใต้ปีก ดังนั้นในระยะเวลาที่เท่ากัน มวลของของไหล(ลม) เคลื่อนตัวเข้าบนปีกมีความเร็วมากกว่า มวลที่ไหลไปยังด้านล่างของปีก ทำให้ v_1 จะมากกว่า v_2 ได้แรงยกขึ้นมากกว่าน้ำหนักของเครื่องบิน ทำให้เครื่องบินลอยขึ้นได้ ดังสมการ

$$F = (p_2 - p_1)A = \frac{1}{2} \rho A (v_1^2 - v_2^2)$$

□ แรงขับเคลื่อนจรวด

พิจารณา ภาชนะปิดพื้นที่หน้าตัด A ความดัน p เจาะรูที่มีพื้นที่หน้าตัด A_0 ก๊าซจะถูกขับดันออกมาจากรู ด้วยอัตราเร็ว v_0 จากสมการแบร์นูลลี สามารถเขียนได้ว่า $p_1 - p_2 = \rho g(y_2 - y_1) + \frac{1}{2} \rho (v_2^2 - v_1^2)$



ที่ระดับใกล้เคียงกัน $y_1 \approx y_2$ ได้สมการว่า $p_1 - p_2 = \frac{1}{2} \rho (v_2^2 - v_1^2)$

แทนค่า p_1 ด้วย p , p_2 ด้วย p_a , v_2 ด้วย v_0 และ v_1 ด้วย v จะได้

$$v_0^2 = \frac{2(p - p_a)}{\rho} + v^2$$

พิจารณาเมื่อ $A_0 \ll A$ และ v น้อยมาก ๆ ได้สมการว่า

$$v_0 = \sqrt{\frac{2(p - p_a)}{\rho}}$$

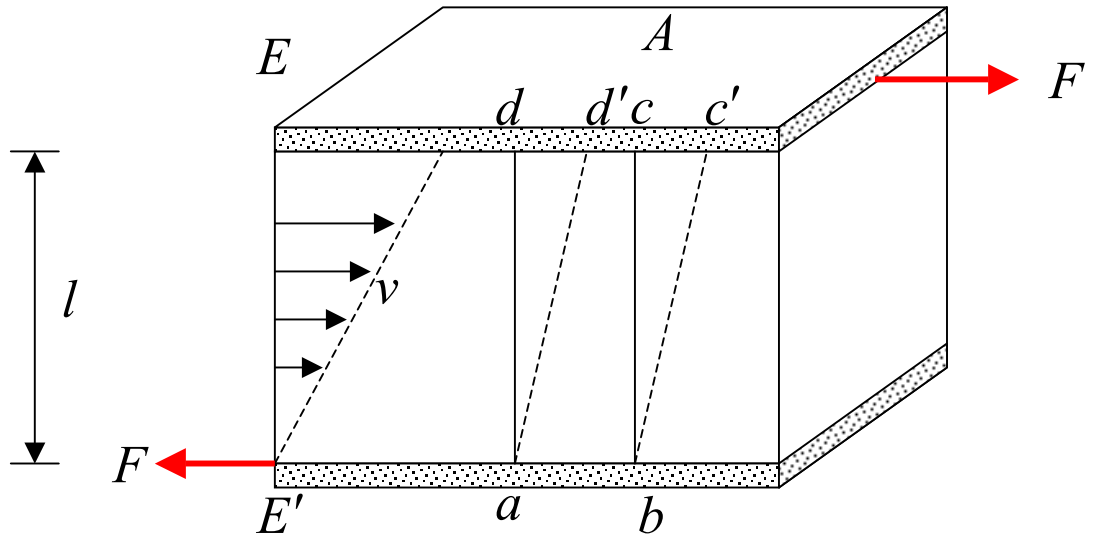
มวลของก๊าซที่ถูกขับเท่ากับ $\rho A_0 v_0 \Delta t$ และโมเมนตัมเท่ากับ $\rho A_0 v_0^2 \Delta t$

อัตราการเปลี่ยนแปลงโมเมนตัมเท่ากับ $\frac{\rho A_0 v_0^2 \Delta t - 0}{\Delta t}$

ดังนั้นแรงขับเคลื่อนเท่ากับ $F = \rho A_0 v_0^2 = \frac{2\rho A_0 (p - p_a)}{\rho} = 2A_0 (p - p_a)$

8. การไหลของของไหลที่มีความหนืด

พิจารณา แผ่นขนานสองแผ่น E และ E' วางขนานกัน โดยมีชั้นของไหลที่มีความหนืด อยู่ระหว่างแผ่น ออกแรง ดึงแผ่นบนให้เคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็วคงตัว v



การไหลแบบนี้เรียกว่า การไหลแบบลามินาร์ (Laminar flow) ความเค้นเฉือนกับของไหล ซึ่งมีค่าเท่ากับ $\frac{F}{A}$ เกิดความเครียดเฉือน $\frac{d'c'}{l}$ กับของไหล อัตราการเปลี่ยนความเครียดเฉือนกับของไหล

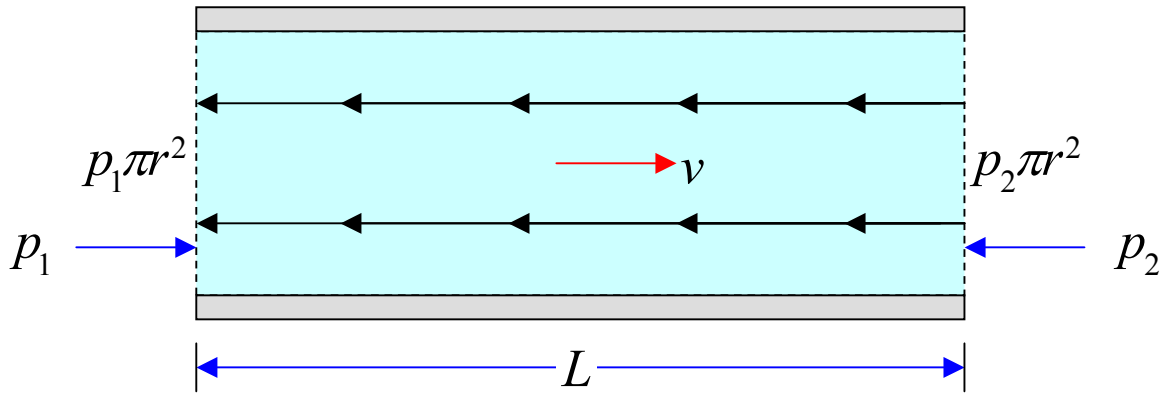
อัตราการเปลี่ยนความเครียดเฉือน $\frac{v}{l}$

จากสัมประสิทธิ์ของความหนืด $\eta = \frac{F \cdot l}{v \cdot A}$

ได้ความสัมพันธ์ว่า $F = \eta A \frac{v}{l} = \eta A \frac{dv}{dy}$

□ การไหลของของไหลที่มีความหนืดในท่อ

พิจารณา ท่อรัศมี R ยาว L ภายใต้ความดัน p_1 และ p_2 ของไหลส่วนนี้เคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็ว v คงตัว



แรงที่ทำให้ของไหลเคลื่อนที่ เท่ากับ แรงต้านเนื่องจากความหนืด

$$(p_1 - p_2)\pi r^2 = -\eta(2\pi r L) \frac{dv}{dr}$$

(เครื่องหมาย ลบ แสดงว่าอัตราเร็ว v ลดลงเมื่อรัศมี r เพิ่ม)

ดังนั้น

$$-dv = \frac{(p_1 - p_2)}{2\eta L} r dr$$

$$-\int_v^0 dv = \frac{(p_1 - p_2)}{2\eta L} \int_r^R r dr$$

จะได้

$$v = \frac{(p_1 - p_2)}{4\eta L} (R^2 - r^2)$$

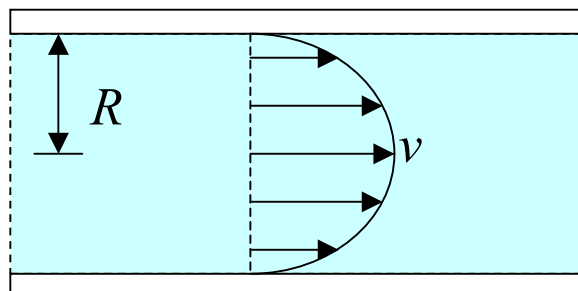
ส่วนที่ติดกับท่อ

$$r = R, \quad v = 0$$

ส่วนที่อยู่ وسطสุด

$$r = 0, \quad v = \frac{(p_1 - p_2)}{4\eta L} R^2$$

อัตราเร็วตำแหน่งต่าง ๆ ของท่อ อาจแสดงได้โดยรูป อัตราเร็วเปลี่ยนแปลงตามรัศมี r



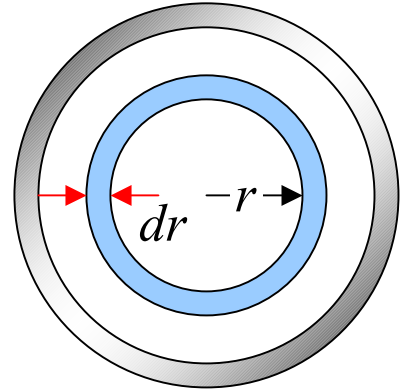
□ กฎของปัวเซิล

พิจารณาชั้นของของเหลว รูปทรงกระบอกกกลวงหนา dr ปริมาตรของของไหลที่พิจารณา

$$dV' = v(dA)dt$$

$$dV' = \frac{(p_1 - p_2)}{4\eta L} (R^2 - r^2) 2\pi r dr dt$$

$$dV' = \frac{(p_1 - p_2)}{4\eta L} dt \cdot (R^2 - r^2) 2\pi r dr$$



ถ้าจะหาปริมาตรของของไหล ทั้งหมดในช่วงเวลา dt

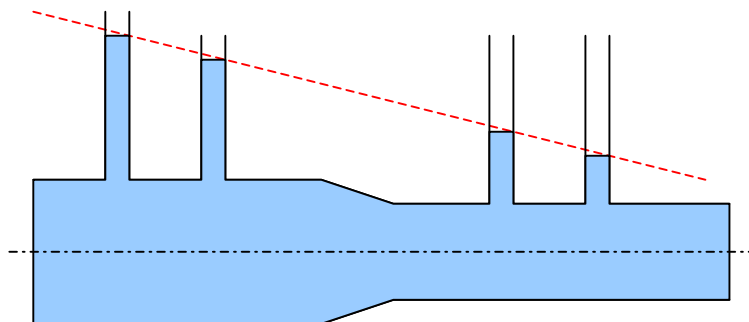
$$\int_0^{V'} dV' = \frac{(p_1 - p_2)}{4\eta L} 2\pi dt \cdot \int_0^R (R^2 - r^2) r dr$$

$$V' = \frac{\pi \cdot R^4 \cdot (p_1 - p_2)}{8 \eta L} dt$$

กำหนดให้ $V' = dV$ ในช่วงเวลา dt

$$\frac{dV'}{dt} = \frac{\pi \cdot R^4 \cdot (p_1 - p_2)}{8 \eta L}$$

ผู้ที่พบความสัมพันธ์ เป็นคนแรก คือ ปัวเซิล จึงเรียกสมการนี้ว่า **กฎของปัวเซิล** ความดันของของไหลที่มีความหนืด จะลดลงตามระยะทางที่เคลื่อนที่ ถึงแม้การเคลื่อนที่จะอยู่ในแนวระดับ



□ เลขเรโนลด์ส์

ปริมาณที่จะบอกให้รู้ว่าการไหล จะเป็นแบบลามินาร์หรือแบบปั่นป่วน เรียกว่า เลขเรโนลด์ส์

$$N_R = 2 \frac{\rho \bar{v} R}{\eta}$$

โดยที่ R คือรัศมีของท่อ

ถ้า N_R น้อยกว่า 2,000 จะเป็นการไหลแบบลามินาร์

ถ้า N_R มากกว่า 3,000 จะเป็นการไหลแบบปั่นป่วน

แต่ถ้าอยู่ระหว่าง 2,000 ถึง 3,000 จะบอกไม่ได้ว่าไหลแบบใด

หนังสืออิเล็กทรอนิกส์	
ฟิสิกส์ 1(ภาคกลศาสตร์(ฟิสิกส์ 1 (ความร้อน)
ฟิสิกส์ 2	กลศาสตร์เวกเตอร์
โลหะวิทยาฟิสิกส์	เอกสารคำสอนฟิสิกส์ 1
ฟิสิกส์ 2 (บรรยาย(แก้ปัญหาฟิสิกส์ด้วยภาษา C
ฟิสิกส์พิศวง	สอนฟิสิกส์ผ่านทางอินเทอร์เน็ต
ทดสอบออนไลน์	วิดีโอการเรียนการสอน
หน้าแรกในอดีต	แผ่นใสการเรียนการสอน
เอกสารการสอน PDF	กิจกรรมการทดลองทางวิทยาศาสตร์
แบบฝึกหัดออนไลน์	สุดยอดสิ่งประดิษฐ์
การทดลองเสมือน	
บทความพิเศษ	ตารางธาตุไทย1) 2 (Eng)
พจนานุกรมฟิสิกส์	ลับสมองกับปัญหาฟิสิกส์
ธรรมชาติมหัศจรรย์	สูตรพื้นฐานฟิสิกส์
การทดลองมหัศจรรย์	ดาราศาสตร์ราชมงคล
แบบฝึกหัดกลาง	
แบบฝึกหัดโลหะวิทยา	แบบทดสอบ
ความรู้รอบตัวทั่วไป	อะไรเอ่ย ?
ทดสอบ)เกมเศรษฐี(คติปริศนา
ข้อสอบเอนทรานซ์	เฉลยกลศาสตร์เวกเตอร์
คำศัพท์ประจำสัปดาห์	
ความรู้รอบตัว	
การประดิษฐ์ของโลก	ผู้ได้รับโนเบลสาขาฟิสิกส์
นักวิทยาศาสตร์เทศ	นักวิทยาศาสตร์ไทย
ดาราศาสตร์พิศวง	การทำงานของอุปกรณ์ทางฟิสิกส์
การทำงานของอุปกรณ์ต่าง ๆ	

 การเรียนรู้การสอนฟิสิกส์ 1 ผ่านทางอินเทอร์เน็ต 	
1. การวัด	2. เวกเตอร์
3. การเคลื่อนที่แบบหนึ่งมิติ	4. การเคลื่อนที่บนระนาบ
5. กฎการเคลื่อนที่ของนิวตัน	6. การประยุกต์กฎการเคลื่อนที่ของนิวตัน
7. งานและพลังงาน	8. การดลและโมเมนตัม
9. การหมุน	10. สมดุลของวัตถุแข็งเกร็ง
11. การเคลื่อนที่แบบคาบ	12. ความยืดหยุ่น
13. กลศาสตร์ของไหล	14. ปริมาณความร้อน และ กลไกการถ่ายโอนความร้อน
15. กฎข้อที่หนึ่งและสองของเทอร์โมไดนามิก	16. คุณสมบัติเชิงโมเลกุลของสสาร
17. คลื่น	18. การสั่น และคลื่นเสียง
 การเรียนรู้การสอนฟิสิกส์ 2 ผ่านทางอินเทอร์เน็ต 	
1. ไฟฟ้าสถิต	2. สนามไฟฟ้า
3. ความกว้างของสายฟ้า	4. ตัวเก็บประจุและการต่อตัวต้านทาน
5. ศักย์ไฟฟ้า	6. กระแสไฟฟ้า
7. สนามแม่เหล็ก	8. การเหนี่ยวนำ
9. ไฟฟ้ากระแสสลับ	10. ทรานซิสเตอร์
11. สนามแม่เหล็กไฟฟ้าและเสาอากาศ	12. แสงและการมองเห็น
13. ทฤษฎีสัมพัทธภาพ	14. กลศาสตร์ควอนตัม
15. โครงสร้างของอะตอม	16. นิวเคลียร์
 การเรียนรู้การสอนฟิสิกส์ทั่วไป ผ่านทางอินเทอร์เน็ต 	
1. จลศาสตร์ (kinematic)	2. จลพลศาสตร์ (kinetics)
3. งานและโมเมนตัม	4. ซิมเปิลฮาร์โมนิก คลื่น และเสียง
5. ของไหลกับความร้อน	6. ไฟฟ้าสถิตกับกระแสไฟฟ้า
7. แม่เหล็กไฟฟ้า	8. คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ากับแสง
9. ทฤษฎีสัมพัทธภาพ อะตอม และนิวเคลียร์	

