

บทที่ 17 ของไหล

17.1 ความหนาแน่น (Density)

ความหนาแน่น เป็นสมบัติเฉพาะตัวของสารแต่ละชนิด หาได้จากอัตราส่วนระหว่างมวลต่อปริมาตร หน่วยความหนาแน่นคือ กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร นิยมเขียนแทนด้วยอักษรกรีก ρ (อ่านว่า rho) ความหนาแน่นเป็นปริมาณสเกลาร์

ความหนาแน่นสัมพัทธ์ (Relative density) เป็นความหนาแน่นของสารนั้นเทียบกับความหนาแน่นของสารอ้างอิง

m แทน มวลของสาร (kg)

V แทน ปริมาตรของสาร (m^3)

ρ แทน ความหนาแน่นของสาร (kg / m^3)

$$\rho = \frac{m}{V} \dots\dots\dots(17.1)$$

แบบฝึกหัด 17.1

1. น้ำประปาที่อยู่ในถังมีมวล 20 กิโลกรัม วัดปริมาตรได้ 0.02 ลูกบาศก์เมตร อยากทราบว่า น้ำประปามีความหนาแน่นเท่าใด
2. ปรอทมีความหนาแน่น $13.6 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ จะมีความหนาแน่นสัมพัทธ์เท่าใด
3. อะลูมิเนียมมีความหนาแน่น $2.7 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ เบนซินมีความหนาแน่น $0.9 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ อะลูมิเนียมมีความหนาแน่นสัมพัทธ์กับเบนซินเท่าใด

17.2 ความดันในของเหลว

แรงดัน (Force , F) ผลคูณระหว่างความดันกับพื้นที่ ๆ ถูกแรงกระทำ แรงดันเป็นปริมาณเวกเตอร์ มีหน่วยเป็นนิวตัน

ความดัน (Pressure , P) คืออัตราส่วนระหว่างแรงที่กระทำต่อพื้นที่ ๆ ถูกแรงกระทำโดยพื้นที่นั้น ต้องตั้งฉากกับแรงกระทำ ด้วยความดันเป็นปริมาณสเกลาร์ มีหน่วยเป็นนิวตันต่อตารางเมตรหรือพาสคัล(Pa)

ให้ F แทน แรงที่กระทำ (N)

A แทน พื้นที่ที่ถูกแรงกระทำและตั้งฉากกับ F (m^2)

P แทน ความดัน (N / m^2)

$$P = \frac{F}{A} \dots\dots\dots(17.2)$$

เพิ่มเติม 1. ในทางอุตุนิยมวิทยาใช้หน่วยเป็น Bar เมื่อ $1 \text{ Bar} = 10^5$ พาสคัล (Pa)

2. ในบางครั้งความดันอ่านเป็นบรรยากาศ โดยที่ บรรยากาศ = $1.013 \times 10^5 \text{ N / m}^2$

3. 1 บรรยากาศ (atm) = 760 มิลลิเมตรปรอท (torr) = 14.7 lb/in^2

17.2.1 ความดันในของเหลวขึ้นกับความลึก

สรุปหลักการสำคัญเกี่ยวกับความดันในของเหลวในสถานะอยู่นิ่งได้ดังนี้

1. ณ จุดใด ๆ ในของเหลวจะมีแรงกระทำของของเหลวไปในทุกทิศทุกทาง
2. แรงที่ของเหลวกระทำต่อผนังภาชนะหรือผิววัตถุที่อยู่ในของเหลวจะอยู่ในทิศตั้งฉากกับผนังภาชนะหรือผิวของวัตถุที่ของเหลวสัมผัส
3. ความดัน ณ จุดใด ๆ ในของเหลวที่อยู่นิ่งแปรผันตรงกับความลึกและความหนาแน่นของของเหลวเมื่ออุณหภูมิคงตัว
4. ความดันในของเหลวชนิดหนึ่ง ๆ ไม่ขึ้นอยู่กับปริมาตรและรูปร่างของภาชนะที่บรรจุของเหลว และที่ความลึกเท่ากันของเหลวชนิดเดียวกันความดันจะเท่ากันเสมอ

การจำแนกชนิดของความดัน

1. ความดันบรรยากาศ (Atmospheric Pressure , Pa) เป็นความดันที่เกิดจากบรรยากาศที่ทับถมอยู่เหนือจุดที่พิจารณามีค่าเท่ากับน้ำหนักของอากาศในชั้นบรรยากาศที่ทับถมอยู่เหนือพื้นที่ 1 ตารางหน่วย ซึ่งคำนวณแล้วได้ $1.013 \times 10^5 \text{ N/m}^2$ เมื่อภาวะปกติ

2. ความดันเกจ (Gauge Pressure , P_w) หมายถึง ความดันของของเหลวเนื่องจากน้ำหนักของของเหลว

ให้ P_w แทน ความดันเกจหรือความดันของของเหลวเนื่องจากน้ำหนักของของเหลว

ρ แทน ความหนาแน่นของของเหลว

h แทน ความสูงหรือความลึกของของเหลวจากผิวของของเหลว

$$P_w = \rho gh \dots\dots\dots(17.3)$$

3. ความดันสัมบูรณ์ (Absolute Pressure , P) หมายถึง ความดันของของเหลวเนื่องจากน้ำหนักของของเหลวรวมกับความดันบรรยากาศ จะได้ว่า

$$P = P_a + P_w \dots\dots\dots(17.4)$$

$$P = P_a + \rho gh \dots\dots\dots(17.5)$$

แรงดันน้ำที่กระทำต่อเขื่อน

ให้ F แทน แรงดันที่น้ำกระทำต่อประตูเขื่อนหรือเขื่อน

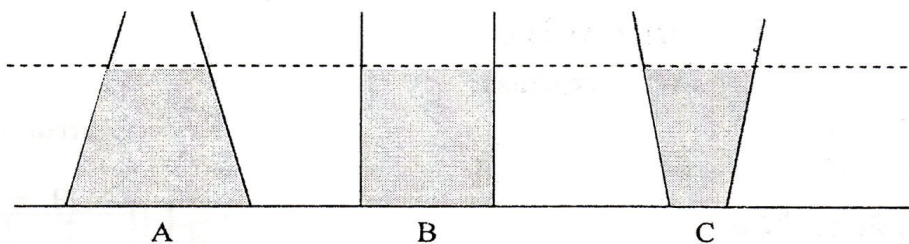
ρ แทน ความหนาแน่นของน้ำ 1 แทน ความยาวของประตูเขื่อน

g แทน ความเร่งเนื่องจากแรงดึงดูดของโลก h แทน ความสูงของระดับน้ำ

$$F = \frac{1}{2} \rho l g h^2 \dots\dots\dots(17.6)$$

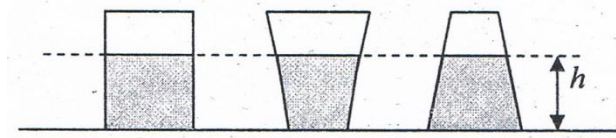
แบบฝึกหัด 17.2.1

1. ความดันของน้ำ ตรงจุดที่ลึก 10 m มีค่าเท่าไรเมื่อความหนาแน่นของน้ำ เท่ากับ 1000 kg/m^3 (10^5 N/m^2)
2. ถ้าความดันน้ำ ปรุทะลุมุมกับ 1.09×10^6 นิวตันต่อตารางเมตร เมื่อเกิดเพลิงไหม้ ณ ที่แห่งหนึ่ง พนักงานดับเพลิงจะสามารถฉีดน้ำ ขึ้นไปได้สูงสุดเท่าไร (109 เมตร)
3. เรือดำน้ำ ลำหนึ่งได้รับการออกแบบให้ทนความดันภายนอกได้สูงสุดขนาด $4.1 \times 10^6 \text{ N/m}^2$ จะสามารถนำเรือดำลงไปใต้น้ำทะเล ซึ่งมีความหนาแน่น $1.025 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ ได้อย่างมากที่สุดเท่าไร (400 เมตร)
4. เขื่อนแห่งหนึ่งกว้าง 80 เมตร ถ้าระดับน้ำ สูง 50 เมตร แรงดันของน้ำ หนือเขื่อนมีค่าเท่าใด (10^9 N)
5. เขื่อนรูปครึ่งวงกลมรัศมี 20 เมตร ถ้าระดับน้ำ สูง 25 เมตร แรงดันของน้ำ หนือเขื่อนมีค่าเท่าใด (1.25×10^8 นิวตัน)
6. ประตูเขื่อนแห่งหนึ่งกว้าง 60 เมตร ระดับน้ำ ข้างหนึ่งอยู่สูง 40 เมตร อีกข้างหนึ่งอยู่ สูง 30 เมตร จงหาแรงดันที่กระทำกับประตูเขื่อน (2.1×10^8 นิวตัน)
7. เขื่อนกั้นน้ำ แห่งหนึ่งยาว 5 เมตร สูง 7 เมตร วิศวกรออกแบบสร้างเขื่อนได้กำหนดแรงดันทั้งหมดของน้ำ ที่ตัวเขื่อนจะรับไว้ได้ 2.25×10^6 นิวตัน จงคำนวณหาระดับน้ำ หนือเขื่อนที่เขื่อนจะรับไว้ได้
8. (มข.50) แก้วใบหนึ่งบรรจุไว้ด้วยน้ำ กับน้ำ เติง ข้อความใดต่อไปนี้ สรุปลงได้ถูกต้องเมื่อมีน้ำ เติงบดแล้วเริ่มละลาย
 1. ระดับน้ำ ในแก้วจะต่ำกว่าระดับเดิม
 2. ระดับน้ำ ในแก้วจะสูงกว่าระดับเดิม
 3. ระดับน้ำ ในแก้วยังคงเหมือนเดิม
 4. สรุปลงไม่ได้เนื่องจากข้อมูลที่ให้มาไม่เพียงพอ
9. (มข.51) จากรูป ภาชนะทั้ง สามบรรจุของเหลวชนิดเดียวกันและอยู่ในระดับเดียวกัน ข้อความต่อไปนี้ ข้อใดกล่าวถูกต้องเกี่ยวกับความดันและแรงดัน



1. ความดันและแรงดันที่ก้นภาชนะ $A > B > C$
 2. ความดันและแรงดันที่ก้นภาชนะ $C > B > A$
 3. ความดันที่ก้นภาชนะทั้งสามเท่ากันแต่แรงดันที่ก้นภาชนะ $A > B > C$
 4. แรงดันที่ก้นภาชนะทั้งสามเท่ากันแต่ความดันที่ก้นภาชนะ $A > B > C$
10. (มข.53) ที่ความลึก 10 เมตรในน้ำ จะมีความดันสัมบูรณ์กี่ปาสกาล เมื่อกำหนดให้ ความหนาแน่นของน้ำ เท่ากับ 1.000×10^3 กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร และความดันบรรยากาศเท่ากับ 1.013×10^5 ปาสกาล
1. 1.000×10^5 ปาสกาล
 2. 2.013×10^5 ปาสกาล
 3. 1.013×10^7 ปาสกาล
 4. 1.013×10^9 ปาสกาล

11. (มข.54) จากรูป ภาชนะทั้งสามใบบรรจุของเหลวชนิดเดียวกันที่ระดับความสูง เท่ากันและพื้นที่ของ ภาชนะมีขนาดเท่ากัน ข้อความต่อไปนี้ข้อใดถูกต้อง



- ก. ความดันเกจที่ก้นภาชนะทุกใบเท่ากัน
ข. ความดันสัมบูรณ์ที่ก้นภาชนะทุกใบเท่ากัน
ค. แรงดันของเหลวกระทำต่อก้นภาชนะทุกใบเท่ากัน

1. ข้อ ก และ ข้อ ข ถูก

2. ข้อ ก และ ข้อ ค ถูก

3. ข้อ ข และ ข้อ ค ถูก

4. ถูกทุกข้อ

12. (มข.55) ถังฝาเปิดรูปทรงกระบอกมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 20cm สูง 60 cm บรรจุน้ำจนเต็ม จงคำนวณหา ความดันสัมบูรณ์ที่ก้นภาชนะ กำหนดให้ $g = 10 \text{ m/s}^2$, $\rho_{\text{water}} = 10^3 \text{ kg/m}^3$, $P_a = 10^5 \text{ N/m}^2$

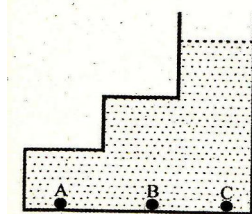
1. $6 \times 10^3 \text{ N/m}^2$

2. $0.94 \times 10^5 \text{ N/m}^2$

3. 1.03×10^5

4. $1.06 \times 10^5 \text{ N/m}^2$

13. (มข.56) ภาชนะเปิดบรรจุของเหลวดังรูป ความดันที่จุด A, B และ C มีค่าตามข้อใด



1. $A = B = C$

2. $A > B > C$

3. $A < B < C$

4. $B > A > C$

14. (มข.56) ประตูกั้นน้ำ ตั้งอยู่ในแอ่งกว้าง 20 เมตร ระดับน้ำ สูง 12 เมตร แรงลัพธ์ที่กระทำต่อประตูกั้นน้ำ เป็นกิโลตัน เมื่ออีกด้านหนึ่งของประตูกั้นน้ำ เป็นอากาศ (กำหนดให้ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วง $g = 10 \text{ m/s}^2$ ความหนาแน่นของน้ำ $\rho = 1 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$)

1. 72×10^5

2. 96×10^5

3. 144×10^5

4. 288×10^5

17.2.2 เครื่องมือวัดความดัน

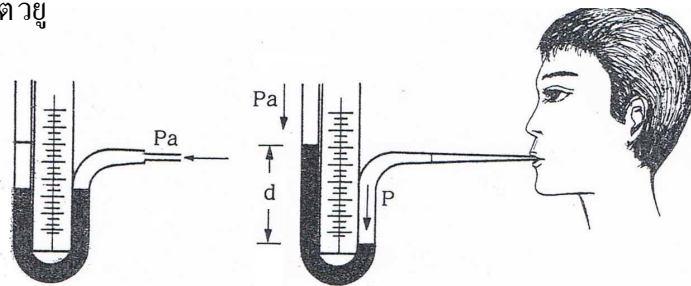
ความดันของแก๊สหุงต้มในถังแก๊ส ความดันของบรรยากาศขณะเวลาต่างๆ ความดันของแก๊สใน ยางรถยนต์ หรือความดันของน้ำ ปรุปลา ล้วนเกี่ยวข้องกับชีวิตประจำวันของทุกคน ความดันของของไหล เหล่านี้ วัดค่าได้อย่างไร เครื่องวัดเหล่านี้มีหลายรูปแบบ เช่น แมนอมิเตอร์ แบรอมิเตอร์ และเครื่องวัดที่ ครอบครอง จะกล่าวถึงเพียงสังเขปดังนี้

แบรอมิเตอร์ปรอท สร้างตามหลักของ ทอร์ริเชลลี โดยนำหลอดแก้วปลายเปิดข้างหนึ่ง ปลายปิด ข้างหนึ่ง ทำให้เป็นสุญญากาศแล้วคว่ำหลอดเปิดของหลอดแก้วลงไปใอ่างปรอท เมื่อหลอดแก้วอยู่ใน แนวตั้งอากาศภายนอกจะดันปรอทให้เข้าสู่หลอดแก้วเป็นลำปรอทยาว 760 มิลลิเมตร ที่ระดับน้ำ ทะเล ฉะนั้นที่ระดับน้ำ ทะเลอากาศจะมีความดันเท่ากับ 760 มิลลิเมตรปรอทเสมอ

บารอมิเตอร์แอนิรอยด์ ถ้าต้องการวัดความดันอากาศในที่สูง ๆ เช่น บนภูเขา หรือบนเครื่องบิน ซึ่งทำจากโลหะที่บางมากและยืดหยุ่นได้ เมื่อความดันอากาศเพิ่มขึ้น คลັบลูกฟูกก็จะถูกบีบให้แฟบลงแต่มีความดันอากาศลดลง คลັบลูกฟูกก็จะพองขึ้น แล้วจะมีผลต่อแหวนบ่งผลไปยังเข็มชี้ ซึ่งติดสเกลบอกบนหน้าปัดไว้เรียบร้อย สำหรับหน้าปัดบารอมิเตอร์แอนิรอยด์ นั้นสามารถดัดแปลงเป็นความสูงจากระดับน้ำทะเลได้ เพราะว่าความดันอากาศจะลดลงตามความสูงในอัตราประมาณ มิลลิเมตรของปรอทต่อความสูงที่เพิ่มขึ้นทุก ๆ 11 เมตร เรียกเครื่องมือที่ดัดแปลงนี้ว่า มาตรวัดความสูง หรือเอลติมิเตอร์ ซึ่งใช้ติดตัว หรือติดในเครื่องบินเพื่อทราบระดับความสูงของเครื่องบิน

เครื่องวัดบูร์ดอน (Bourdon gauge) ประกอบด้วยท่อกลวง มีปลายปิดข้างหนึ่งและม้วนเป็นรูปวงกลม ที่ปลายปิดมีเข็มติดอยู่สามารถเลื่อนไปมาเพื่อชี้บนสเกลได้ เมื่อต้องการวัดความดันก็ให้ของไหลไหลเข้าไปในท่อทางด้านปลายเปิดจะทำให้ท่อนี้ยืดออกเข็มที่ติดกับปลายท่อก็จะชี้บนสเกลบอกความดันของไหลนั้นได้ แมนอมิเตอร์แบบนี้ นิยมใช้กับของไหลที่มีความดันสูงมาก เช่น หม้อต้มเตาต้มยางรถยนต์ ถึงแก๊สหุงต้ม เป็นต้น

แมนอมิเตอร์ (Manometer) เป็นอุปกรณ์สำหรับวัดความแตกต่างของความดันในของไหล โดยปกติใช้บอกความแตกต่างของความดันในรูปความแตกต่างของระดับความสูงของลำของเหลวทั้งสองข้างในหลอดแก้วรูปตัวยู



ให้ **P** แทน ความดันสัมบูรณ์ของอากาศในสายยางที่นักเรียนเป่า

Pa แทน ความดันของบรรยากาศขณะนั้น

P_w แทน ความดันเนื่องจากลำของเหลวที่สูง d

ถ้าของเหลวอยู่ในสภาพสมดุล จะได้ว่า

$$P = P_a + P_w$$

ความดันของอากาศในสายยางที่เพิ่มขึ้น

$$P - P_a = P_w = \rho g d \dots\dots\dots(17.7)$$

จะเห็นว่า ผลต่างของระดับของเหลวในหลอดแก้วรูปตัวยู หรือระยะ d จะแปรผันตรงกับความดันที่เพิ่มของอากาศในสายยาง

แสดงว่าเราสามารถหาระยะ d เป็นตัวแสดงความดันที่เพิ่มขึ้นที่ปลายข้างหนึ่ง ความดันที่วัดได้จากเครื่องมือวัดนี้ เรียกว่า ความดันเกจนั่นเอง

17.2.3 ความดันกับชีวิตประจำวัน

ในชีวิตประจำวัน เราต้องเกี่ยวข้องกับความดันตลอดเวลา ดังจะเห็นได้จากอุปกรณ์หลายอย่างที่เรำใช้ในการทำงานต้องอาศัยความดันบรรยากาศทั้งสิ้น ดังตัวอย่างต่อไปนี้

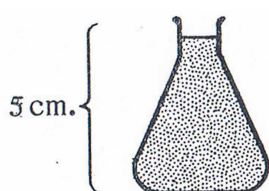
เครื่องวัดความดันโลหิต ซึ่งเรียกว่า Sphygmomanometer เป็นเครื่องมือประกอบด้วยแมนอมิเตอร์ โดยใช้แมนอมิเตอร์วัดผ่านท่อนแขน ในขณะที่หัวใจบีบตัวส่งโลหิตไปตามเส้นเลือดแดง ไปเลี้ยงส่วนต่างๆ ของร่างกาย ซึ่งเป็นค่าความดันโลหิตสูงสุด และเมื่อโลหิตในเส้นเลือดดำย้อนกลับหัวใจจะอ่านค่าความดันโลหิตต่ำสุดจากแมนอมิเตอร์ สำหรับคนปกติ ความดันโลหิตจะเป็น 20/80 หมายความว่า ค่าความดันโลหิตสูงสุดจะเป็น 120 mm.Hg และต่ำสุดเป็น 80 mm.Hg

หลอดดูดเครื่องดื่ม เมื่อใช้หลอดดูดเครื่องดื่ม อากาศในหลอดมีปริมาตรลดลง ทำให้ความดันอากาศในหลอดดูดลดลงด้วย ความดันอากาศภายนอกซึ่งมากกว่าก็จะสามารถดันของเหลวขึ้นไปแทนที่อากาศในหลอดดูดจนกระทั่งของเหลวเข้าปาก

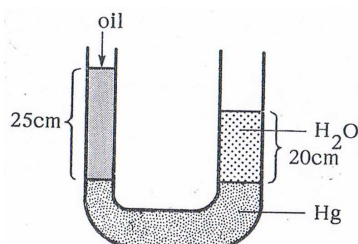
ยางติดผนัง เมื่อออกแรงกดแผ่นยางติดผนังบนผิวเรียบ เช่น แผ่นกระจก อากาศที่อยู่ระหว่างแผ่นยางและกระจกจะถูกขับออก ทำให้บริเวณดังกล่าวเกือบเป็นสุญญากาศ อากาศภายนอกซึ่งมีความดันสูงกว่าก็จะกดผิวแผ่นยางให้แนบติดแผ่นกระจก

แบบฝึกหัด 17.2.2-3

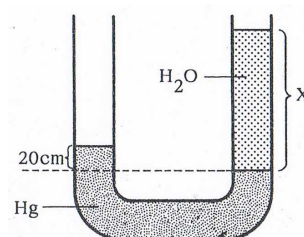
1. ถ้าของเหลวที่บรรจุในหลอดแก้วรูปตัวยู ของแมนอมิเตอร์ คือ น้ำ ซึ่งมีความหนาแน่นเท่ากับ 000 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร เมื่อของเหลวในหลอดแก้วรูปตัวยูต่างระดับกัน 2 เซนติเมตร ความดันเกจที่อ่านได้จะเป็นเท่าไร (200 นิวตันต่อตารางเมตร)
2. น้ำจืดลึก 0.6 เมตร ให้ความดันเท่ากับน้ำ ทะเลลึก 0.4 เมตร จงหาความหนาแน่นของน้ำ ทะเล กำหนดความหนาแน่นของน้ำ เท่ากับ 10^3 kg/m^3 ($1.5 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$)
3. ที่ก้นบ่อแร่แห่งหนึ่งบารอมิเตอร์ ปรอทอ่านได้ 77.4 cm จงหาว่า บารอมิเตอร์นี้ น้ำมันที่วางไว้ข้างกันจะอ่านได้เท่าไร กำหนดความหนาแน่นของปรอทและน้ำมันเท่ากับ $13.6 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ และ $0.9 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ ตามลำดับ (11.7 m)
4. ที่ก้นบ่อแร่แห่งหนึ่งบารอมิเตอร์ ปรอทอ่านได้ 80 cm จงหาว่า บารอมิเตอร์นี้ น้ำมันที่วางไว้ข้างกันจะอ่านได้เท่าไร กำหนดความหนาแน่นของปรอทและน้ำมันเท่ากับ $13.6 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ และ $0.8 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ ตามลำดับ



รูปข้อ 5



รูปข้อ 6



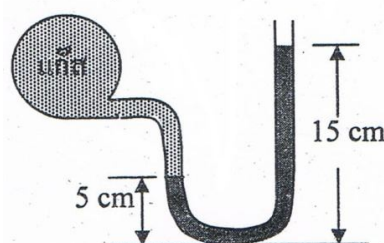
รูปข้อ 7

5. ขวดใส่ของเหลวตั้งรูปส่วนสูงของของเหลว 5 cm ก้นขวดมีพื้นที่ 100 cm^2 ถ้าของเหลวมีความหนาแน่น $13.6 \times 10^4 \text{ kg/m}^3$ ความดันเกจที่ก้นขวดมีค่าเท่าไร ($6.8 \times 10^4 \text{ N/m}^2$)
6. จากรูปความหนาแน่นของน้ำมันมีค่าเป็นกี่เท่าของน้ำ (0.8 เท่าของน้ำ)
7. จากรูป ถ้าปรอทมีความหนาแน่นเป็น 13.6 เท่าของน้ำ X จะมีค่าเท่าไร (2.72 เมตร)
8. (มข.52) ระดับปกติของความดันโลหิต (blood pressure) ของคนทั่วไปคือความดันตัวบน 120 มิลลิเมตรของปรอทและความดันตัวล่าง 80 มิลลิเมตรของปรอท จงหาค่าความดันตัวบนนี้ในหน่วยมาตรฐาน
1. 0.16 atm 2. 1.6 atm 3. $1.6 \times 10^3 \text{ N/m}^2$ 4. $1.6 \times 10^4 \text{ pascal}$
9. (มข.53) เราทราบว่าบรรยากาศที่ผิวโลกมีความดันประมาณ 760 มิลลิเมตรปรอท โลหิตในร่างกายของคนเราก็ดีกมีความดันเช่นกัน ข้อใดต่อไปนี้ เป็นข้อความที่ถูกต้อง

1. ความดันโลหิตมีค่ามากกว่าความดันบรรยากาศเสมอ
2. ความดันโลหิตมีค่าน้อยกว่าความดันบรรยากาศเสมอ
3. ความดันโลหิตมีค่าเท่ากับความดันบรรยากาศเสมอ
4. ไม่แน่นอน อาจมากกว่าหรือน้อยกว่าก็ได้

10. (มข.54) ขาข้างหนึ่งของแอนอมิเตอร์ถูกต่อเข้ากับภาชนะที่บรรจุแก๊สชนิดหนึ่งปรากฏว่าระดับปรอทในขาทั้งสองข้างสูง 5 เซนติเมตร และ 15 เซนติเมตร ดังรูป ถ้าความดันของอากาศภายนอกขณะนั้นเท่ากับ 10^5 พาสคัล แก๊สในภาชนะมีความดันเท่าใด (กำหนดให้ ความหนาแน่นปรอทเท่ากับ 13.6×10^3 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และความเร่งโน้มถ่วงของโลก เท่ากับ 10 เมตรต่อวินาที²)

1. 0.136×10^5 พาสคัล
2. 1.36×10^5 พาสคัล
3. 1.136×10^5 พาสคัล
4. 2.36×10^5 พาสคัล

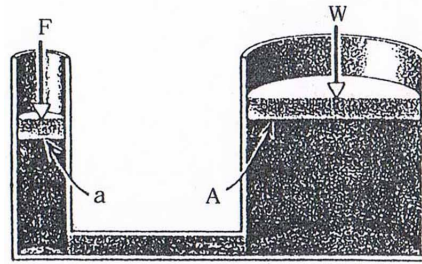


11. (มข.56) (กำหนดความดันบรรยากาศเป็น 760 มิลลิเมตรปรอท) ในการวัดความดันโลหิต ถ้าวัดได้ 30 มิลลิเมตรปรอท แสดงว่าในเส้นเลือดมีความดันสัมบูรณ์เป็นกี่มิลลิเมตรปรอท
1. 130 2. 630 3. 890 4. 1.00143×10^5

17.3 กฎของพาสคัลและเครื่องอัดไฮดรอลิก

กฎของพาสคัล ซึ่งกล่าวว่า เมื่อความดัน ณ ตำแหน่งใด ๆ ในของเหลวที่อยู่นิ่งในภาชนะมีความดันที่เพิ่มขึ้นจะถ่ายทอดไปทุก ๆ จุดในของเหลว

กฎของพาสคัลสามารถอธิบายการทำงานของเครื่องกลผ่อนแรงที่รู้จักกันทั่วไปคือเครื่องอัดไฮดรอลิก ซึ่งประกอบด้วยกระบอกสูบ และลูกสูบสองชุดมีขนาดต่างกัน มีท่อต่อเชื่อมกันและมีของเหลวบรรจุอยู่ภายใน



รูปการทำงานของเครื่องอัดไฮดรอลิก

ให้ A และ a แทน พื้นที่หน้าตัดของลูกสูบใหญ่และลูกสูบเล็ก

F แทน แรงกดลูกสูบด้านพื้นที่หน้าตัด

W แทน น้ำหนักที่ต้องการจะยก

จากกฎของพาสคัลจะได้ว่า

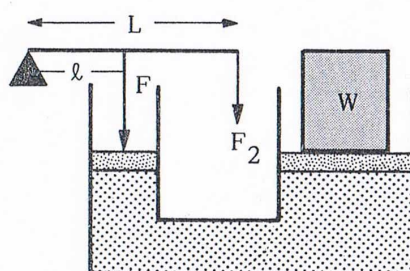
$$P_1 = P_2$$

$$\frac{F}{a} = \frac{W}{A} \dots\dots\dots(17.8)$$

การได้เปรียบเชิงกล $MA = \frac{W}{F} = \frac{A}{a} = \left(\frac{R}{r}\right)^2 = \left(\frac{D}{d}\right)^2 = \frac{h}{H} \dots\dots\dots(17.9)$

สูตรเครื่องอัดไฮดรอลิก หรือเครื่องอัดบาร์มหัท ที่ไม่มีระบบคานโยกมาเกี่ยวข้อง สูตรนี้ใช้เมื่อเครื่องอัดมีประสิทธิภาพ 100 % ได้ $\frac{W}{F}$ เรียกว่าได้เปรียบเชิงกลตามปฏิบัติ (A.M.A.) ส่วน $\frac{A}{a}$ เรียกว่าได้เปรียบเชิงกลตามทฤษฎี (I.M.A.)

ถ้าเอาระบบคานโยกเข้ามาใส่ในเครื่องนี้ ดังรูป



จะได้ว่า $\frac{W}{F_2} = \frac{A}{a} \times \frac{L}{l} \dots\dots\dots(17.10)$

$\frac{W}{F_2}$ แทน การได้เปรียบเชิงกลตามปฏิบัติของเครื่องทั้งหมด

$\frac{A}{a}$ แทน การได้เปรียบเชิงกลตามทฤษฎีของลูกสูบ

$\frac{L}{l}$ แทน การได้เปรียบเชิงกลตามทฤษฎีของคานโยก

$$\frac{A}{a} \times \frac{L}{l} \text{ แทน การได้เปรียบเชิงกลตามทฤษฎีของเครื่องทั้งหมด}$$

สูตรข้างต้น ใช้เมื่อเครื่องมีประสิทธิภาพ 100 %

ถ้าเครื่องมีประสิทธิภาพไม่ถึง 100 % ให้ใช้สูตรดังนี้

$$\text{ประสิทธิภาพ (Eff)} = \left[\frac{\frac{W}{F_2}}{\frac{A}{a} \times \frac{L}{l}} \right] \times 100 \dots\dots\dots(17.11)$$

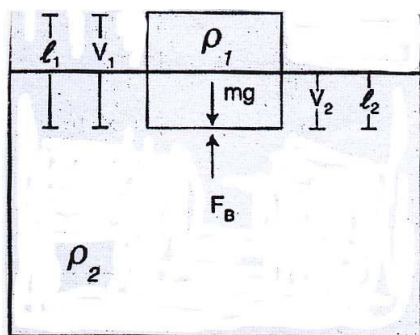
แบบฝึกหัด 17.3

1. แม่แรงยกรถยนต์เครื่องหนึ่ง ลูกสูบใหญ่มีพื้นที่เป็น 200 เท่าของลูกสูบเล็ก ถ้าต้องการให้แม่แรงยกรถมวล 1000 กิโลกรัม จะต้องออกแรงกดที่ลูกสูบเล็กเท่าไร (50 นิวตัน)
2. เครื่องยกไฮดรอลิกเครื่องหนึ่ง มีรัศมีลูกสูบใหญ่เป็น 5 เท่าของลูกสูบเล็ก จะต้องออกแรงกดที่ลูกสูบเล็กอย่างน้อยเท่าใดจึงจะสามารถยกมวล 1000 กิโลกรัมขึ้นได้ (400 นิวตัน)
3. เครื่องอัดบาร์มาห์ ลูกสูบใหญ่มีพื้นที่ 20 cm^2 พื้นที่สูบอัด 2.5 cm^2 คานโยกยาว 28 cm ระยะจากจุดพลิกครัมถึงคานสูบอัด 2 cm ถ้าออกแรงกระทำที่ปลายคาน 20 นิวตัน จะสามารถยกน้ำหนักได้เท่าใด (2240 นิวตัน)
4. เครื่องอัดไฮดรอลิกเครื่องหนึ่งให้ยกน้ำหนัก 2,400 นิวตัน โดยผู้ใช้ออกแรงกดเท่ากับน้ำหนัก 5 นิวตัน ถ้าเส้นผ่านศูนย์กลางของลูกสูบใหญ่เป็น 8 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางของลูกสูบเล็ก จงหาอัตราส่วนของแขนคานจัดที่ใช้กดลูกสูบ (7 : 1)
5. เครื่องอัดไฮดรอลิกเครื่องหนึ่งเส้นผ่านศูนย์กลางสูบอัด 2 cm เส้นผ่านศูนย์กลางสูบยก 50 cm ในการโยกแต่ละครั้งสูบอัดจะเคลื่อนที่ลง 7 cm จงหาว่าถ้าต้องการให้สูบยกเคลื่อนตัวสูงขึ้น 14 cm จะต้องโยกกี่ครั้ง (1,250 ครั้ง)
6. เครื่องอัดบาร์มาห์เครื่องหนึ่งลูกสูบยก และลูกสูบอัด มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.4 m และ 4 cm ตามลำดับ ก้านสูบอัดติดกับคานโยกที่อยู่ห่างจากจุดหมุน 20 cm ถ้าคานโยกยาว 80 cm ถ้าเราออกแรงกดที่คานโยก 5 นิวตัน สูบยกจะสามารถยกน้ำหนักได้เท่าไร (2000 นิวตัน)
7. เครื่องอัดไฮดรอลิกเครื่องหนึ่งมีเส้นผ่านศูนย์กลางสูบอัดและลูกสูบยกเป็น 1 cm และ 10 cm ตามลำดับ ที่ก้านสูบอัดมีคานอีกอันหนึ่งที่มีแขนคานเป็นอัตราส่วน 15 : 1 ถ้าออกแรงที่ปลายคาน 10 N จะสามารถยกน้ำหนักได้ 12,000 N จงหาประสิทธิภาพของเครื่องอัดนี้เป็นกี่เปอร์เซ็นต์ (80%)

17.4 แรงลอยตัวและหลักของอาร์คิมิดีส

ถ้าหากเราชั่งน้ำหนักวัตถุในขณะที่จมอยู่ในของเหลว จะพบว่าน้ำหนักวัตถุขณะนั้นจะน้อยกว่าน้ำหนักวัตถุที่ชั่งในอากาศ ทั้งนี้เพราะของเหลวออกแรงพยุงวัตถุไว้ในทิศขึ้นข้างบน เรียกแรงนี้ว่าแรงลอยตัวของของเหลว (Buoyant Force , F_B)

หลักของอาร์คิมิดีส กล่าวว่าวัตถุใด ๆ ที่จุ่มอยู่ในของเหลวทั้งก้อนหรือจุ่มอยู่เพียงบางส่วน จะถูกแรงลอยตัวกระทำและขนาดของแรงลอยตัวนี้ จะเท่ากับขนาดของน้ำ หนักของของเหลวที่ถูกวัตถุแทนที่
แรงลอยตัว คือ แรงที่ของเหลวพยายามยกตัววัตถุขึ้นมา



หลักสมมูล แรงรวมขึ้น = แรงรวมลง

$$F_B = mg$$

$$\rho_1 V_1 = \rho_2 V_2 \dots\dots\dots(17.12)$$

$$\rho_1 \ell_1 = \rho_2 \ell_2 \dots\dots\dots(17.13)$$

กำหนดให้ F_B แทน แรงลอยตัว ρ_1 แทน ความหนาแน่นวัตถุ ρ_2 แทน ความหนาแน่นของเหลว

V_1 แทน ปริมาตรทั้งหมด V_2 แทน ปริมาตรที่จุ่ม ℓ_1 แทน ความยาวทั้งหมด

ℓ_2 แทน ความยาวที่จุ่ม g แทน ความเร่งโน้มถ่วง

แบบฝึกหัด 17.4

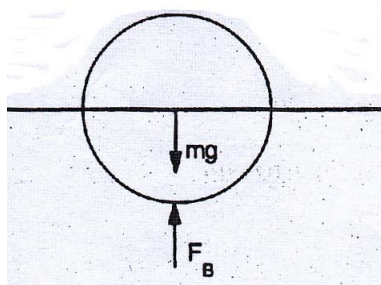
- (ข้อสอบเข้ามหาวิทยาลัย) วัตถุทรงกลมตันลูกหนึ่งลอยอยู่ในของเหลว โดยจุ่มลงไปครึ่งลูกพอดี กำหนดว่าของเหลวมีความหนาแน่น 1.2 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร จงหาว่าความหนาแน่นของวัตถุมีค่าเท่าใด

1. 0.6 g/cm^3

2. 0.8 g/cm^3

3. 0.9 g/cm^3

4. 1.0 g/cm^3

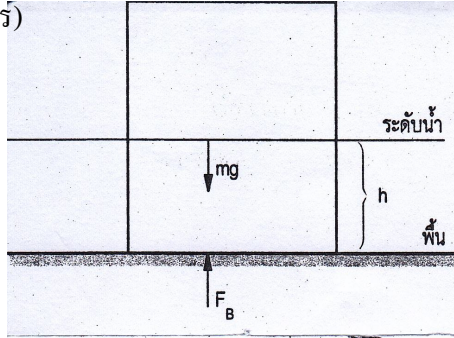


- (ข้อสอบเข้ามหาวิทยาลัย) น้ำแข็งมีความหนาแน่น $0.9 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ ลอยอยู่ในน้ำทะเลที่มีความหนาแน่น $1.04 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ จงหาว่า น้ำแข็งจมน้ำ เป็นปริมาตรกี่เปอร์เซ็นต์

1. 86.9 เปอร์เซ็นต์ 2. 87.7 เปอร์เซ็นต์ 3. 88.5 เปอร์เซ็นต์ 4. 89.0 เปอร์เซ็นต์

3. (ข้อสอบเข้ามหาวิทยาลัย) ลูกบาศก์มีผาปีดวงอยู่บนพื้น แต่ละด้านยาว 0.5 เมตรหนัก 20 นิวตัน วันหนึ่งฝนตกน้ำท่วม ระดับน้ำจะต้องสูงจากพื้นเท่าใดจึงเริ่มลอย (ให้ความหนาแน่นของน้ำเท่ากับ 1,000 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)

1. 0.01 m
2. 0.04 m
3. 0.08 m
4. 0.25 m

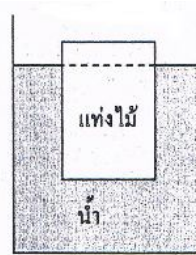


4. (มข.51) วัตถุรูปลูกบาศก์ยาวด้านละ 10 เซนติเมตร ความหนาแน่น 800 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ลอยอยู่ในน้ำที่บรรจุในภาชนะหนึ่ง ถ้าผิวบนของวัตถุอยู่ในแนวระดับ จงหาว่าผิวบนของวัตถุจะอยู่สูงกว่าผิวน้ำเท่าใดกำหนดให้ ความหนาแน่นของน้ำเท่ากับ 1,000 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

1. 8 เซนติเมตร
2. 6 เซนติเมตร
3. 4 เซนติเมตร
4. 2 เซนติเมตร

5. (มข.53) แท่งไม้ลอยในน้ำที่มีความหนาแน่น 1.0×10^3 กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร พบว่าแท่งไม้ลอยเหนือน้ำร้อยละ 20 จงหา ความหนาแน่นของแท่งไม้

1. 80×10^3 กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร
2. 20×10^3 กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร
3. 0.8×10^3 กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร
4. 0.2×10^3 กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร



6. (มข.54) นำไม้รูปลูกบาศก์มีความยาวด้านละ 0.5 เมตร มีความหนาแน่น 800 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ไปลอยในน้ำที่มีความหนาแน่น 1000 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร จะต้องใช้แรงเท่าใดกดที่แท่งไม้ เพื่อให้แท่งไม้จมมิดน้ำพอดี(กำหนดให้ ความเร่งโน้มถ่วงของโลก เท่ากับ 10 เมตรต่อวินาที²)

1. 125 นิวตัน
2. 250 นิวตัน
3. 375 นิวตัน
3. 500 นิวตัน

7. (มข.56) แท่งไม้ลอยนิ่งอยู่ในน้ำ พบว่า ปริมาตรที่ลอยเหนือน้ำเป็นร้อยละ 20 ของปริมาตรทั้งหมด เมื่อความหนาแน่นของน้ำเป็น 1×10^3 kg/m³ ความหนาแน่นของไม้จะเป็นกี่ kg/m³

1. 0.2×10^5
2. 0.8×10^3
3. 20×10^3
4. 80×10^3

17.5 ความตึงผิว (Surface tension)

ความตึงผิว หมายถึง อัตราส่วนของแรงที่กระทำไปตามผิวของเหลวต่อความยาวของผิวที่ถูกแรงกระทำ ความยาวนี้ต้องตั้งฉากกับแรงตึง มีหน่วยเป็น นิวตันต่อเมตร

แรงตึงผิวของของเหลว หมายถึง แรงชนิดหนึ่งที่พยายามยึดผิวของเหลวไว้ แรงตึงผิวของของเหลวจะมีทิศขนานกับผิวของของเหลวและตั้งฉากกับเส้นขอบที่ของเหลวสัมผัส

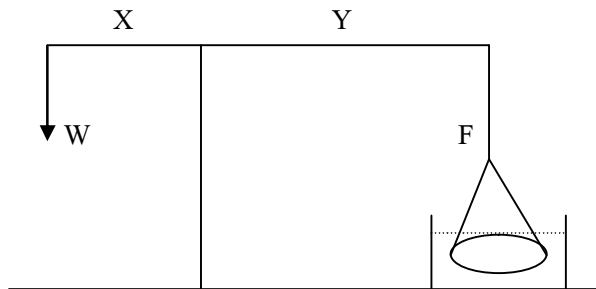
ให้ F แทน ขนาดของแรงตึงผิว γ แทน แรงตึงผิวของของเหลว

1 แทน ความยาวของเส้นผิวที่ขาด

$$\gamma = \frac{F}{l} \dots\dots\dots(17.14)$$

- เพิ่มเติม 1. ค่าความตึงผิวของของเหลวแต่ละชนิดจะมีค่าไม่เท่ากัน
2. สำหรับของเหลวชนิดเดียวกันค่าความตึงผิวจะเปลี่ยนไป เมื่อมีสารมาเจือปน เช่น น้ำสบู่ น้ำเกลือ จะมีความตึงผิวน้อยกว่าความตึงผิวของน้ำ
3. ค่าความตึงผิวจะลดลงเมื่ออุณหภูมิของของเหลวเพิ่มขึ้น

การหาค่าความตึงผิว

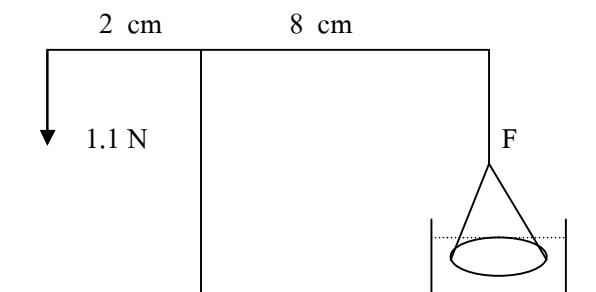


$$\gamma = \frac{F}{2l} = \frac{F}{2(2\pi r)} \dots\dots\dots(17.15)$$

หา F จาก $F.Y = W.X$

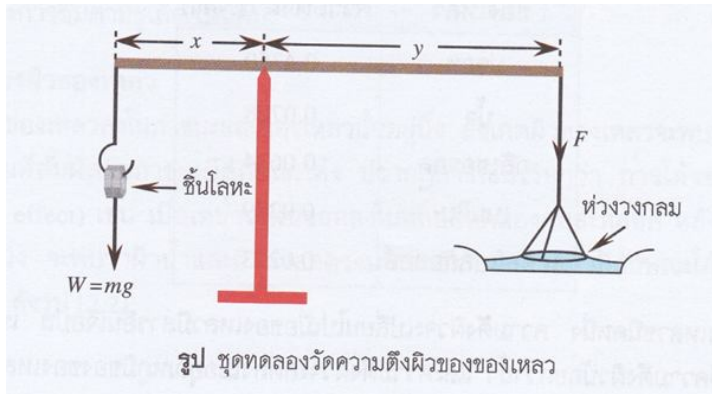
แบบฝึกหัด 17.5

1. ถ้าวรัศมีของห่วงเท่ากับ 14 cm และห่วงหลุดจากผิวปรอทพอดีความตึงผิวของปรอทเป็นเท่าใด



2. ลวดโลหะรูปวงกลมมีเส้นผ่านศูนย์กลางยาว 10 เซนติเมตร แต่ละผิวน้ำ พอดี จงหาแรงที่ดึงลวดโลหะนี้ให้หลุดจากผิวน้ำพอดี เมื่อลวดโลหะนี้มีมวล 25 กรัม กำหนดให้ความตึงผิวของน้ำ เท่ากับ 7.0×10^{-2} นิวตันต่อเมตร (0.289 N)

3. ในการทดลองวัดความตึงผิวของของเหลวชนิดหนึ่งโดยใช้เครื่องมือดังรูป ถ้าห่วงกลมมีรัศมี 10 เซนติเมตร พบว่าจะต้องเพิ่มมวล 139.5 กรัม ที่ห่วงสำหรับแขวนน้ำหนัก จึงทำให้ห่วงจมหลุดจากผิวของเหลวพอดี จงหาความตึงผิวของของเหลวนี้ (0.363 N/m)



4. ลวดวงกลมมวล m มีเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน d_1 และมีเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก d_2 ห้อยอยู่ในแนวราบโดยวงกลมแตะผิวของเหลว แรงที่ใช้ดึงลวดวงกลมให้หลุดจากผิวของเหลวพอดีมีค่าเท่าใด กำหนดให้ความตึงผิวของของเหลวเท่ากับ γ ($\gamma\pi(d_1 + d_2) + mg$)

17.6 ความหนืด

แรงหนืด คือ แรงเสียดทานภายในของไหล หรือแรงต้านทานการเคลื่อนที่ของวัตถุที่เกิดภายในของไหลนั้น ซึ่งจะขึ้นสัดส่วนโดยตรงกับความเร็วพื้นที่ผิวของของไหล และเป็นปฏิภาคกลับความหนาของของไหล

ความหนืด (η) คือ คุณสมบัติของของไหลในการต้านการเคลื่อนที่ของวัตถุในของไหลนั้น มีหน่วยเป็น นิวตันวินาทีต่อตารางเมตร ($\text{N-S} / \text{m}^2$)

ความหนืดในของเหลวเกิดจากแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุล ซึ่งจะมีค่าลดลงเมื่อของเหลวมีอุณหภูมิสูงขึ้น

ความหนืดในอากาศ ซึ่งโมเลกุลของมันอยู่ห่างกันมาก เกิดการถ่ายเทโมเมนตัม ซึ่งจะมีค่าความหนืดเพิ่มขึ้น เมื่ออุณหภูมิของอากาศสูงขึ้น

ของไหลที่มีความหนืดสูงจะเคลื่อนที่ได้ช้ากว่าของไหลที่มีความหนืดต่ำในเครื่องกลชนิดต่าง ๆ เราใช้น้ำมันหล่อลื่นชนิดต่าง ๆ กัน ความหนืดของน้ำมันหล่อลื่นมีหน่วยเป็น SAE ย่อมาจาก The Society of Automotive Engineering

การพิจารณาแรงหนืดและความหนืด

ถ้าของเหลวสองชั้นมีพื้นที่ A เท่ากัน กำลังเคลื่อนที่ด้วยความเร็วสัมพัทธ์ v โดยมีระยะระหว่างชั้นมีค่าเป็น d

$$\eta = \frac{Fd}{Av} \dots\dots\dots(17.16)$$

เพิ่มเติม บางกรณีความหนืดใช้หน่วยเป็น Poise (ปอยส์) ซึ่งย่อมาจาก Poiseville

$$1 \text{ Poise} = 10^{-1} \text{ N-S} / \text{m}^2$$

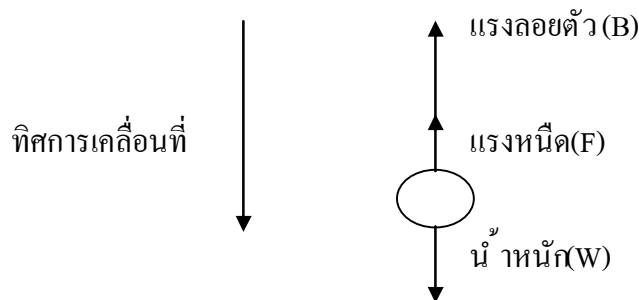
กฎของสโตกส์ (Stokes Law)

สำหรับของไหลอุดมคติ(ไม่มีความหนืด) ไหลผ่านลูกทรงกลม หรือลูกทรงกลมเคลื่อนที่ผ่านของไหลที่อยู่นิ่ง ความดันของกระแสวิ่งบนเท่ากับความดันกระแสวิ่งล่าง ทำให้แรงลัพธ์เป็นศูนย์ ถ้าของไหลมีความหนืด ก็จะมีแรงเนื่องจากความหนืดมาฉุดให้เคลื่อนที่ช้าลง

สำหรับทรงกลมรัศมี r ซึ่งเคลื่อนที่ผ่านของไหลที่มีสัมประสิทธิ์แห่งความหนืด η และ v เป็นความเร็วของทรงกลมสัมพัทธ์กับของไหล แรงต้านการเคลื่อนที่ F คือ

$$F = 6\pi\eta vr \dots\dots\dots(17.17)$$

แรงที่กระทำกับวัตถุที่เคลื่อนที่ในของไหล



เมื่อวัตถุเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงที่

$$B + F = mg$$

$$\rho Vg + 6\pi\eta vr = mg$$

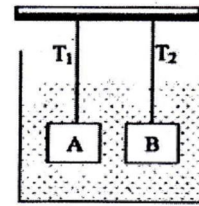
$$\eta = \frac{mg - \rho \frac{4}{3}\pi r^3 g}{6\pi vr} \dots\dots\dots(17.18)$$

แบบฝึกหัด 17.6

1. แผ่นสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด $0.1 \times 0.1 \text{ m}^2$ วางขนานกับผิวในแนวระดับขนาดใหญ่ระหว่างแผ่นทั้งสองของเหลวที่มีความหนืด 0.05 พาสคัล-วินาที โดยแผ่นทั้งสองอยู่ห่างกัน 1 mm เมื่อ มีแรงกระทำตามแนวผิวของแผ่นบน(แรงเหวี่ยง) ขนาด $5 \times 10^{-3} \text{ N}$ จงหาว่าแผ่นสี่เหลี่ยมนี้เคลื่อนที่ด้วยความเร็วเท่าไร
2. ลูกกลมเหล็กรัศมี 1 มิลลิเมตร ตกในน้ำเชื่อม ความเร็วสุดท้ายของลูกกลมเหล็กมีค่าเท่าใด กำหนดให้ลูกกลมเหล็กและน้ำเชื่อมมีความหนาแน่น 7800 และ 1600 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ และน้ำเชื่อมมีความหนืด 100 มิลลิพาสคัล วินาที (0.135m/s)
3. หยดน้ำมันมีรัศมี 0.1 มิลลิเมตร ตกในอากาศจนมีความเร็วสุดท้าย จงหาแรงหนืดที่อากาศกระทำต่อหยดน้ำมัน และความเร็วสุดท้ายของหยดน้ำมัน กำหนดให้ น้ำมันมีความหนาแน่น 880 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และอากาศมีความหนืด 18 ไมโครพาสคัล วินาที (ไม่คิดแรงพุงของอากาศ) (3.485×10^{-8} และ 1.027 m/s)

4. (มข.55) แขนงวัตถุ A และ B ด้วยเชือกเบา ปลายอีกข้างผูกติดกับเพดาน เมื่อนำวัตถุทั้งสองไปจุ่มลงในน้ำ ข้อความใดกล่าวได้ถูกต้องกำหนดให้วัตถุทั้งสองมีปริมาตรเท่ากันและความหนาแน่น $\rho_A > \rho_B > \rho_{water}$

1. แรงพยุง (buoyant force) ที่กระทำต่อ A น้อยกว่า B และ $T_1 > T_2$
2. แรงพยุง (buoyant force) ที่กระทำต่อ A เท่ากับ B และ $T_1 > T_2$
3. แรงพยุง (buoyant force) ที่กระทำต่อ A มากกว่า B และ $T_1 < T_2$
4. แรงพยุง (buoyant force) ที่กระทำต่อ A มากกว่า B และ $T_1 > T_2$



17.7 พลศาสตร์ของของไหล

เราได้ศึกษาสมบัติบางประการของของไหล เช่น ความดัน แรงลอยตัว เป็นต้น ซึ่งเป็นการศึกษาของไหลที่อยู่นิ่ง สำหรับของไหลที่มีกระแสเคลื่อนที่ เช่น พัดลม การไหลของน้ำในท่อ ความดันของของไหลเหล่านั้นจะเปลี่ยนอย่างไรหรือไม่ จะได้ศึกษาต่อไปนี้

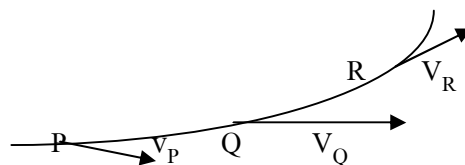
17.7.1 ของไหลอุดมคติ

การเคลื่อนที่ของของไหลเป็นการเคลื่อนที่ที่ซับซ้อน เพื่อให้การศึกษากการเคลื่อนที่ของของไหลไม่ยุ่งยาก เราจะพิจารณาของไหลอุดมคติ(ideal fluid) ซึ่งมีสมบัติดังนี้

1. มีการไหลอย่างสม่ำเสมอ (steady flow) หมายถึงความเร็วของอนุภาค ณ ตำแหน่งต่างๆ ในการไหลมีค่าคงตัวโดยความเร็วของอนุภาคของของไหลเมื่อไหลผ่านจุดต่างๆ กันจะเท่ากันหรือต่างกันก็ได้
2. มีการไหลโดยไม่หมุน (irrotational flow) กล่าวคือในบริเวณโดยรอบจุดหนึ่งๆ ในของไหลจะไม่มีอนุภาคของของไหลเคลื่อนที่ด้วยความเร็วเชิงมุมรอบจุดนั้นๆ เลย
3. มีการไหลโดยไม่มีแรงต้านเนื่องจากความหนืด(nonviscous flow) หมายความว่า ไม่มีแรงต้านใด ๆ ภายในเนื้อของของไหลมากระทำต่ออนุภาคของของไหล
4. ไม่สามารถอัดได้(incompressible flow) หมายความว่า ของไหลมีปริมาตรคงตัวโดยปริมาตรของของไหลแต่ละส่วนไม่ว่าจะไหลผ่านบริเวณใดก็ยังมีค่าความหนาแน่นเท่าเดิม

17.7.2 การไหลของของไหลอุดมคติ

พิจารณาการไหลของของไหลในอุดมคติ



จากรูป แสดงเส้นทางของอนุภาคของของไหลเมื่อมีการเคลื่อนที่ผ่านจุด P, Q, R เส้นทางเดินนี้เรียกว่า สายกระแส

- สายกระแสนานกับความเร็วของอนุภาคของของไหลที่แต่ละตำแหน่ง
- สายกระแสจะไม่ตัดกัน
- สายกระแสนั้นประกอบกันเป็นมัดเราเรียกว่าหลอดการไหล

17.7.3 สมการความต่อเนื่อง

ให้ v_1 แทน ความเร็วของอนุภาคของของไหลที่จุดที่ 1

v_2 แทน ความเร็วของอนุภาคของของไหลที่จุดที่ 2

A_1 แทน พื้นที่หน้าตัดของหลอดที่ตั้งฉากกับสายกระแสที่จุดที่ 1

A_2 แทน พื้นที่หน้าตัดของหลอดที่ตั้งฉากกับสายกระแสที่จุดที่ 2

ρ_1 แทน ความหนาแน่นของของไหลที่จุดที่ 1

ρ_2 แทน ความหนาแน่นของของไหลที่จุดที่ 2

R_1 แทน รัศมีของท่อที่จุดที่ 1

R_2 แทน รัศมีของท่อที่จุดที่ 2

D_1 แทน เส้นผ่าศูนย์กลางของท่อที่จุดที่ 1

D_2 แทน เส้นผ่าศูนย์กลางของท่อที่จุดที่ 2

Q แทน อัตราการไหล

$$\text{จาก } \rho_1 A_1 v_1 = \rho_2 A_2 v_2 \dots\dots\dots(17.19)$$

$$\rho A v = \text{ค่าคงตัว} \dots\dots\dots(17.20)$$

$$\text{แต่ } \rho_1 = \rho_2$$

$$\text{จะได้ } A_1 v_1 = A_2 v_2 \dots\dots\dots(17.21)$$

$$R_1^2 v_1 = R_2^2 v_2 \dots\dots\dots(17.22)$$

$$D_1^2 v_1 = D_2^2 v_2 \dots\dots\dots(17.23)$$

จาก (17.21) จะได้ว่า

$$A v = \text{ค่าคงตัว} = Q \dots\dots\dots(17.24)$$

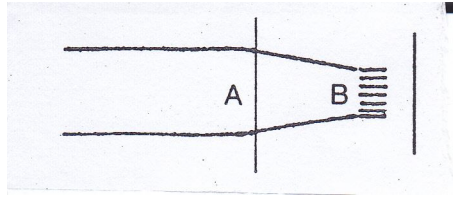
ผลคูณของ $A v$ เรียกว่า อัตราการไหล มีหน่วยเป็นลูกบาศก์เมตร/ วินาที

แบบฝึกหัด 17.7.3

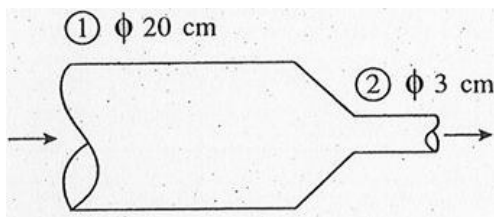
1. น้ำมันไหลในท่อที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 มิลลิเมตร ด้วยความเร็วเฉลี่ย 4 เมตรต่อวินาที จงหาอัตราการไหล (0.018 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที)
2. ถ้าอัตราเร็วของน้ำในท่อที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 มิลลิเมตร ด้วยความเร็วเฉลี่ย 1.5 เมตรต่อวินาที จงหาความเร็วเฉลี่ยเมื่อน้ำผ่านท่อที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 มิลลิเมตร (6 เมตรต่อวินาที)

3. (ข้อสอบพื้นฐานวิศวะ) ท่อน้ำดับเพลิงแสดงดังรูป จงหาความเร็วของน้ำที่พุ่งออกจากปลายท่อ B เมื่อความเร็วของน้ำที่ A เท่ากับ 5 เมตรต่อวินาที กำหนดให้เส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ A และ B เท่ากับ 8 เซนติเมตร และ 4 เซนติเมตร ตามลำดับ

1. 10 เมตรต่อวินาที
2. 15 เมตรต่อวินาที
3. 20 เมตรต่อวินาที
4. 25 เมตรต่อวินาที



4. (Ent) น้ำไหลเข้าท่อด้วยอัตราคงที่ 50 kg/s จงหาผลต่างของความเร็วเฉลี่ยที่จุดที่ 1 และจุดที่ 2 ดังรูป เมื่อความหนาแน่นของน้ำ มีค่าเท่ากับ 1000 kg/m³



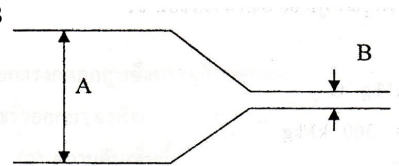
1. 1.6 m/s
2. 10.9 m/s
3. 50.8 m/s
4. 69.1 m/s

5. (มข.50) น้ำไหลลงมาตามสายยางที่มีพื้นที่หน้าตัดเป็นวงกลมขนาด 1.0 m² ด้วยอัตราเร็ว 4.0 m/s จงหาอัตราเร็วของน้ำในสายยางดังกล่าวถ้าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของสายยางลดลงเป็น $\frac{1}{2}$ เท่าของค่าเดิม

1. 1.0 m/s
2. 4.0 m/s
3. 8.0 m/s
4. 16 m/s

6. (มข.51) จากรูป หลอดการไหลหนึ่งของพื้นที่ภาคตัดขวาง ที่ A เป็น 10 เท่าของพื้นที่ภาคตัดขวางที่ B ข้อความต่อไปนี้ข้อใดกล่าวถูกต้อง

1. ความหนาแน่นของของไหลที่จุด A มีค่าเป็น 10 เท่าของที่จุด B
2. ความหนาแน่นของของไหลที่จุด A และที่จุด B เท่ากัน
3. อัตราการไหลของของไหลที่จุด B มีค่าเป็น 10 เท่าของที่จุด A
4. อัตราเร็วของของไหลที่จุด A และที่จุด B เท่ากัน



7. (มข.53) ท่อน้ำที่จุด A มีรัศมีเป็น 2 เท่าของจุด B ถ้าอัตราเร็วของน้ำที่จุด A เป็น 5 เมตร/วินาที อัตราเร็วที่จุด B จะเป็นกี่เมตร/วินาที

1. 10
2. 20
3. 25
4. 50



8. (มข.54) ถ้าน้ำในท่อประปาที่ไหลผ่านมาตรเข้าบ้าน มีอัตราการไหล 60 ลิตรต่อนาที จงหาอัตราเร็วของน้ำในท่อประปาเมื่อไหลผ่านท่อที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 เซนติเมตร

1. $\frac{10}{\pi}$ เมตรต่อวินาที

2. $\frac{15}{\pi}$ เมตรต่อวินาที

3. $\frac{20}{\pi}$ เมตรต่อวินาที

4. $\frac{25}{\pi}$ เมตรต่อวินาที

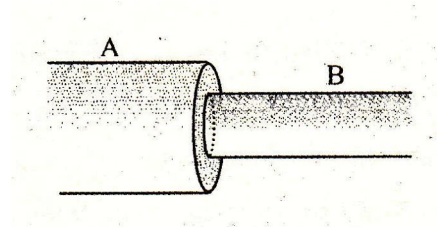
9. (มข.56) ท่อ A มีรัศมี 2 เท่าของท่อ B ถ้าน้ำไหลออกจากท่อ B ด้วยอัตราเร็ว 20 m/s แล้วตรงท่อ A น้ำจะมีอัตราเร็วเท่ากับเท่าไร

1. 5 m/s

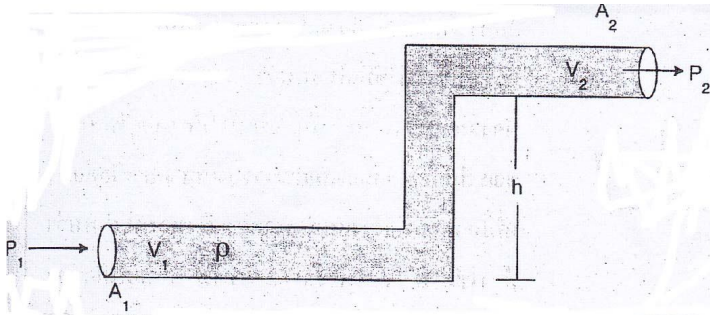
2. 10 m/s

3. 40 m/s

4. 80 m/s



17.7.4 สมการของแบร์นูลี



กำหนดให้

P แทน ความดัน

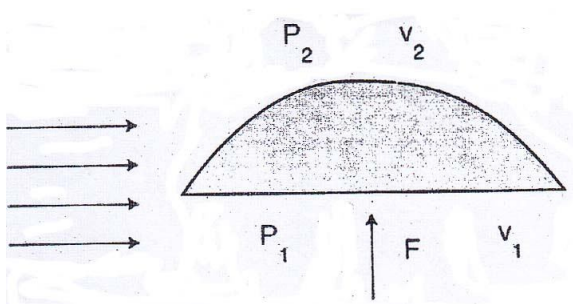
ρ แทน ความหนาแน่น

v แทน อัตราเร็ว

h แทน ความสูง

สูตร
$$P_1 + \rho gh_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2 = P_2 + \rho gh_2 + \frac{1}{2} \rho v_2^2 \dots \dots \dots (17.25)$$

แรงยกของปีกเครื่องบิน



กำหนดให้

F แทน แรงยกปีก

v แทน ความเร็วลม

ρ แทน ความหนาแน่นอากาศ

A แทน พื้นที่ปีก

สูตร
$$\begin{aligned} F &= \Delta P A \\ F &= (P_1 - P_2) A \\ F &= \frac{1}{2} \rho (v_2^2 - v_1^2) A \dots \dots \dots (17.26) \end{aligned}$$

ที่ด้านบน v มาก P น้อย ที่ด้านล่าง v น้อย P มาก

17.7.5 การประยุกต์สมการแบร์นูลลี

สมการของแบร์นูลลีสามารถอธิบายปรากฏการณ์ต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนที่ของของไหลได้หลายเรื่อง เช่น การหาอัตราเร็วของของเหลวที่พุ่งออกจากรูเล็ก ๆ การทำงานของเครื่องพ่นสี และการออกแบบปีกเครื่องบิน เป็นต้น

อัตราการไหลที่ปากท่อมีค่าเดียวกันกับอัตราเร็วของเทหวัตถุ เมื่อปล่อยให้ตกอย่างเสรีจากที่สูง ทฤษฎีนี้เรียกว่า ทฤษฎีของทอริเชลลี ไม่จำกัดว่ารูรั่วที่ท่อจะต้องเปิดที่ก้นแท่งค์ อาจให้รูรั่วที่ข้าง ๆ แท่งค์ก็ได้ แต่ให้รูรั่วอยู่ได้ผิวของไหล

$$v = \sqrt{2gh} \dots\dots\dots(17.27)$$

แบบฝึกหัด 17.7.4-5

1. จงหาปริมาตรของน้ำผ่านรูรั่วของถังน้ำต่อนาทีที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 25 มิลลิเมตรและระดับน้ำที่รูรั่วสูงจากผิวน้ำ 4.9 เมตร ใช้ $g = 9.8 \text{ m/s}^2$
 ก. $0.05 \text{ m}^3 \cdot \text{min}^{-1}$ ข. $0.10 \text{ m}^3 \cdot \text{min}^{-1}$ ค. $0.29 \text{ m}^3 \cdot \text{min}^{-1}$ ง. $0.30 \text{ m}^3 \cdot \text{min}^{-1}$
2. ในการออกแบบเครื่องบินให้มีแรงยกขึ้น 900 นิวตันต่อตารางเมตรของพื้นที่ปีกโดยถือว่าลมที่พัดผ่านสมมาตรต่อลำตัวที่พัดได้ปีกมีอัตราเร็ว 100 เมตรต่อวินาทีจงหาความเร็วของลมเหนือปีกเครื่องบินเพื่อให้ได้แรงยกตามต้องการ กำหนดให้อากาศมีความหนาแน่น 1.3 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร
 ก. 100.6 m/s ข. 105.6 m/s ค. 1106.6 m/s ง. 106.7 m/s
3. อัตราเร็วของลมพายุที่พัดเหนือหลังคาบ้านหลังหนึ่งเป็น 30 เมตรต่อวินาทีถ้าหลังคาบ้านมีพื้นที่ 75 ตารางเมตรแรงยกที่กระทำกับหลังคาบ้านเท่าใด กำหนดให้ความหนาแน่นของอากาศขณะนั้นเท่ากับ 0.3 กิโลกรัมต่อเมตรและ $g = 10 \text{ m/s}^2$
 ก. 26,352 นิวตัน ข. 25,632 นิวตัน ค. 23,625 นิวตัน ง. 23,652 นิวตัน
4. พายุไซโคลนพัดผ่านบ้านหลังหนึ่งโดยมีอัตราเร็วลมเหนือหลังคาบ้านเป็น 40 เมตรต่อวินาทีโดยพื้นที่ของหลังคาบ้านเป็น 200 ตารางเมตรและความหนาแน่นอากาศเป็น 0.3 กิโลกรัมลูกบาศก์เมตรจงหาแรงยกที่กระทำต่อหลังคาบ้าน
 ก. 24,000 นิวตัน ข. 40,000 นิวตัน ค. 48,000 นิวตัน ง. 55,000 นิวตัน
5. เครื่องบินลำหนึ่งขณะที่กำลังบินความเร็วอากาศที่พัดผ่านส่วนบนของปีกเท่ากับ 110 เมตรต่อวินาทีผ่านส่วนล่างของปีก 100 เมตรต่อวินาทีจะทำให้แรงยกขึ้นมีขนาดกี่นิวตันต่อตารางเมตรกำหนดให้ความหนาแน่นของอากาศขณะนั้นเท่ากับ 1.3 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร
 ก. 1235.0 ข. 133.25 ค. 1365.0 ง. 2665.0
6. ถังน้ำเปิดฝาสูง 2 เมตรบรรจุน้ำอยู่เต็มถึงตั้งบนฐานสูง 3.8 เมตร ถ้าเจาะรูด้านข้างถึงโดยสูงจากก้นถึงขึ้นมา 1.2 เมตร จงหาว่าน้ำ จะพุ่งออกจากรูที่เจาะด้วยความเร็วเท่าไร
 ก. 4.0 m/s ข. 4.9 m/s ค. 6.8 m/s ง. 10.0 m/s

7. แท่งค้ำน้ำเปิดสูง 1.5 เมตร มีน้ำอยู่ 1.25 เมตร ที่ก้นแท่งค้ำด้านข้างมีท่อเปิดอยู่และแท่งค้ำน้ำตั้งอยู่สูงจากพื้น 5 เมตร จงหา ก. อัตราเร็วของน้ำที่พุ่งออกจากท่อด้านล่าง ข. น้ำพุ่งออกไปในแนวราบได้ไกลเท่าไร

ก. $V_2 = 5 \text{ m/s}$, $S_x = 5 \text{ m}$

ข. $V_2 = 4 \text{ m/s}$, $S_x = 4 \text{ m}$

ค. $V_2 = 6 \text{ m/s}$, $S_x = 6 \text{ m}$

ง. $V_2 = 8 \text{ m/s}$, $S_x = 8 \text{ m}$

8. (มข.50) เครื่องบินโบอิง -737 มีมวล 2×10^4 กิโลกรัม มีพื้นที่ผิวบนและผิวล่างของปีกเครื่องบินเท่ากันคือ 100 ตารางเมตร จงหาผลต่างของความดันที่กระทำต่อพื้นที่ผิวของปีกบนกับปีกล่างของเครื่องบินในขณะที่เครื่องบินกำลังบินในแนวระดับขนานกับพื้นโลก (กำหนดให้ $g = 10 \text{ m/s}^2$)

1. 1000 N/m^2

2. 2000 N/m^2

3. 3000 N/m^2

4. 4000 N/m^2

9. (มข.51) ถังน้ำมีน้ำบรรจุอยู่เมตร ที่ข้างถังมีรูเล็กๆ ซึ่งอยู่กึ่งกลางระหว่างระดับน้ำก้นถัง เมื่อปล่อยน้ำให้พุ่งออกจากรูเล็กๆนี้ อัตราเร็วของน้ำที่พุ่งออกมีค่ากี่เมตรต่อวินาที

1. $\sqrt{gh}$

2. $\sqrt{2gh}$

3. gh

4. $2gh$

11. (มข..54) ถังน้ำมันขนาดใหญ่มีรูรั่วที่ระยะ 10 เมตร จากผิวน้ำมัน ถ้าถังนั้นปิดสนิทและความดันที่ผิวน้ำมันเท่ากับ 1×10^5 พาสคัล และความดันบรรยากาศเท่ากับ 1.0×10^5 พาสคัล จงหาอัตราเร็วของน้ำมันที่พุ่งออกจากถัง (กำหนดให้ ความหนาแน่นของน้ำมันเท่ากับ 800 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และความเร่งโน้มถ่วงของโลก เท่ากับ $10 \text{ เมตรต่อวินาที}^2$)

1. 10 เมตรต่อวินาที

2. $10\sqrt{10}$ เมตรต่อวินาที

3. $10\sqrt{5}$ เมตรต่อวินาที

4. $10\sqrt{2}$ เมตรต่อวินาที

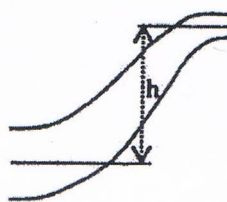
12. (มข.55) น้ำในท่อไหลด้วยอัตรา $3 \text{ m}^3/\text{min}$ พื้นที่หน้าตัดของท่อล่างและท่อบนมีขนาด 0.05 และ 0.0125 m^2 ตามลำดับ ท่อบนสูงกว่าท่อล่างเป็นระยะ $h = 200 \text{ cm}$ ถ้าท่อล่างมีความดัน 10^5 N/m^2 จงหาความดันที่ท่อบนกำหนดให้ $\rho_{\text{water}} = 10^3 \text{ kg/m}^3$, $g = 10 \text{ m/s}^2$

1. $5 \times 10^4 \text{ N/m}^2$

2. $11 \times 10^4 \text{ N/m}^2$

3. $15 \times 10^4 \text{ N/m}^2$

4. $195 \times 10^4 \text{ N/m}^2$



13. (มข.56) ถังน้ำปลาเปิดขนาดใหญ่มีระดับสูง 15 เมตร มีรูเล็กๆที่ระดับสูง 10 จงหาความเร็วของน้ำที่ไหลออกจากรูนี้เป็นกี่ m/s (กำหนดให้ ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วง $g = 10 \text{ m/s}^2$)

1. 10

2. $\sqrt{200}$

3. 100

4. 200