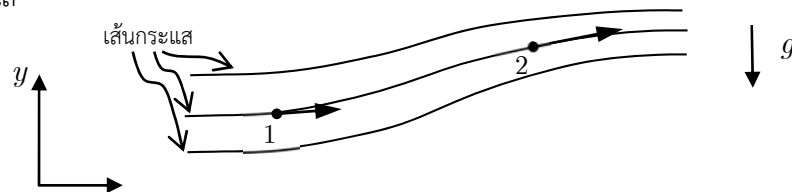


ข้อที่ 1 (มี 3 ข้อย่อย) [10.0 คะแนน]

1.1 เส้นกระแส (Streamline) และสมการของแบร์นูลลี (Bernoulli's equation)

[3.5 คะแนน]

เส้นกระแส (Streamline) คือเส้นที่ลากผ่านไปในของไหลที่กำลังไหล โดยที่ทุกจุดบนเส้นกระแส เวกเตอร์ความเร็วของของไหลจะขนานกับเส้นกระแส



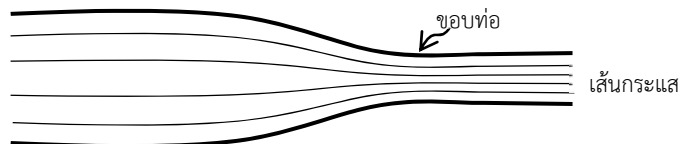
สมการของแบร์นูลลี (Bernoulli's equation) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณต่างๆ ระหว่างสองจุดใด ๆ บนเส้นกระแสเส้นเดียวกัน ในของไหลอุดมคติ (ของไหลที่ไม่มี ความหนืด) ที่มีความหนาแน่น ρ คงตัว ดังนี้

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

เมื่อเลข 1 และ 2 หมายถึงจุดที่ 1 และ 2 บนเส้นกระแส (Streamline) เส้นเดียวกันเส้นหนึ่ง (ดังแสดงในรูปด้านบน), p คือความดันสัมบูรณ์, y คือตำแหน่งในแนวตั้งวัดจากระดับอ้างอิง และ v คืออัตราเร็วของของไหล ณ จุดนั้นๆ

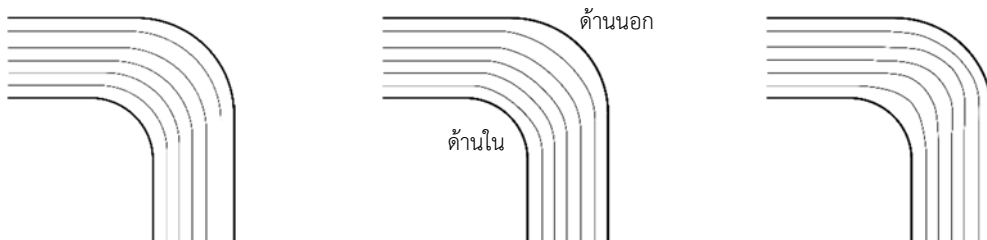
คำถาม

ก. ถ้าเราวาดเส้นกระแสจำนวนหนึ่งในการไหลของน้ำภายในท่อ ที่มีพื้นที่หน้าตัดต่างกันสองบริเวณ เราจะได้รูปแบบนี้



นั่นคือ ตรงบริเวณที่เส้นกระแสชิดกัน จะถือว่าบริเวณนั้นของไหลมีอัตราเร็วมากกว่าตรงที่เส้นกระแสห่างกัน

คำถาม: รูปใดต่อไปนี้จะแสดงเส้นกระแสของน้ำที่ไหลในท่อโค้งซึ่งมีพื้นที่หน้าตัดคงตัวได้ถูกต้อง (ท่อโค้งทั้งสามแบบวางนอนอยู่บนพื้นระดับ) [0.5 คะแนน]



A: เส้นกระแสห่างเท่าๆ กัน

B: เส้นด้านนอกอยู่ห่างกันมากกว่า

C: เส้นด้านในอยู่ห่างกันมากกว่า

- ข. แก้วใบหนึ่งบรรจุน้ำอยู่เกือบเต็ม ต้องการอุปกรณ์ที่สามารถพ่นน้ำในแก้วออกมา โดยใช้การเป่าอากาศเข้าทางท่อซ้าย (1) ทำให้น้ำในแก้วขึ้นตามหลอดแนวดิ่ง (4) จนขึ้นมาถึงท่อกกลาง (2) จากนั้นก็ถูกพ่นออกมาทางท่อขวา (3)

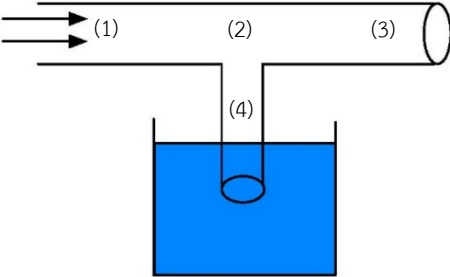
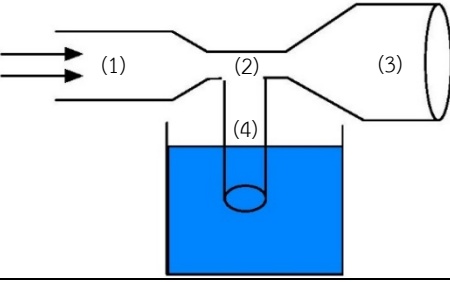
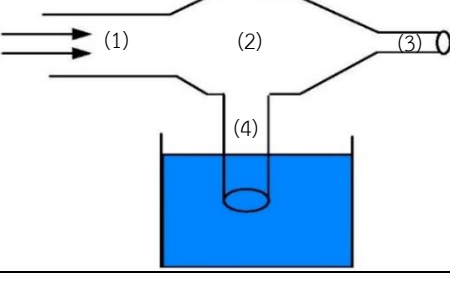
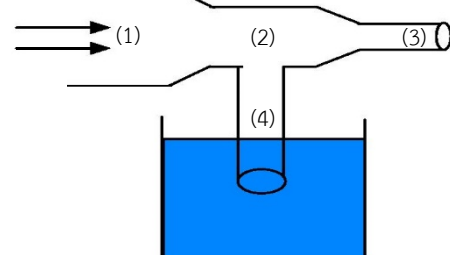
คำถาม:

[3.0 คะแนน]

ข.1 อุปกรณ์แบบใดบ้างต่อไปนี้ เมื่อเป่าลมเข้าทางท่อซ้ายแล้วจะสามารถทำให้น้ำถูกพ่นออกมาทางท่อขวาได้

ข.2 และถ้าอุปกรณ์แบบนั้นทำได้ จงหาว่าต้องเป่าอากาศเข้าไปทางท่อซ้ายด้วยอัตราเร็วอย่างน้อยที่สุดเท่าใด จึงทำให้น้ำพ่นน้ำออกมาได้

กำหนดให้ น้ำมีความหนาแน่นคงตัว ρ_w อากาศมีความหนาแน่นคงตัว ρ_a และผิวน้ำในแก้วอยู่ห่างจากด้านล่างของท่อกกลาง (2) เป็นระยะ h เท่ากันทุกแบบ

	แบบ A พื้นที่หน้าตัดของท่อเท่ากันทุกช่วง $A_1 = A_2 = A_3$
	แบบ B พื้นที่หน้าตัดของท่อไม่เท่ากัน โดย $A_2 = \frac{A_1}{2} \text{ และ } A_3 = 2A_1$
	แบบ C พื้นที่หน้าตัดของท่อไม่เท่ากัน โดย $A_2 = 2A_1 \text{ และ } A_3 = \frac{A_1}{2}$
	แบบ D พื้นที่หน้าตัดของท่อไม่เท่ากัน โดย $A_2 = \frac{A_1}{2} \text{ และ } A_3 = \frac{A_1}{4}$

1.2 การเปลี่ยนความยาวเส้นลวด [4 คะแนน]

ความยาวและพื้นที่หน้าตัดของเส้นลวดสามารถเปลี่ยนแปลงได้ตามอุณหภูมิ ถ้าเดิมลวดเส้นหนึ่งมีความยาว L ที่อุณหภูมิ T ต่อมาเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนเป็น $T + \Delta T$ ลวดจะมีความยาวเปลี่ยนไป ΔL ตามสมการ

$$\Delta L = \alpha L \Delta T \quad (1)$$

เมื่อ α คือสัมประสิทธิ์การขยายตัวเชิงความร้อน (Thermal expansion coefficient) ของลวดเส้นนั้น

เส้นลวดที่มีพื้นที่หน้าตัด A ความยาว L เมื่อถูกแรงขนาด F ดึง เส้นลวดจะยืดออกเป็นระยะ ΔL ตามความสัมพันธ์ต่อไปนี้

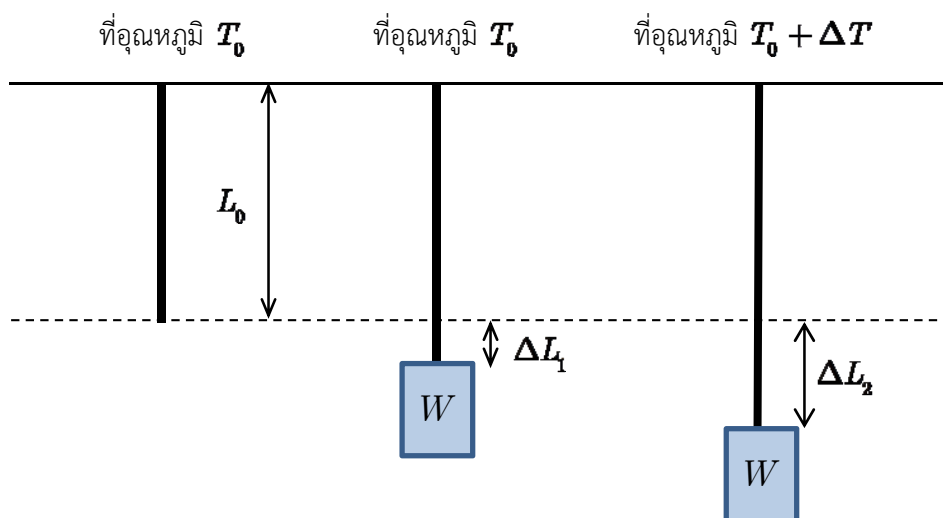
$$Y \frac{\Delta L}{L} = \frac{F}{A} \quad (2)$$

เมื่อ Y คือค่ามอดูลัสของยัง (Young's modulus) ของลวดเส้นนี้ และโดยทั่วไปค่ามอดูลัสของยังจะแปรผันตามอุณหภูมิแบบเชิงเส้น ซึ่งสามารถประมาณได้ว่า

$$Y(T + \Delta T) \approx Y(T) + \varepsilon \Delta T \quad (3)$$

โดย ε เป็นค่าคงตัวของเส้นลวด และ $\varepsilon \Delta T \ll Y(T)$

กำหนด ลวดเส้นหนึ่งมีพื้นที่หน้าตัด A ยาว L_0 และมีค่ามอดูลัสของยังที่อุณหภูมิ T_0 เป็น Y_0 มีสัมประสิทธิ์การขยายตัวเชิงความร้อน α เป็นค่าบวก และเราทราบค่า ε ของลวดเส้นนี้ นำวัตถุน้ำหนัก W มาห้อยไว้ที่ปลายลวดเส้นนี้ ดังรูป โดยสมมุติว่าเส้นลวดมีน้ำหนักน้อยมากเมื่อเทียบกับน้ำหนักของวัตถุที่นำมาห้อย

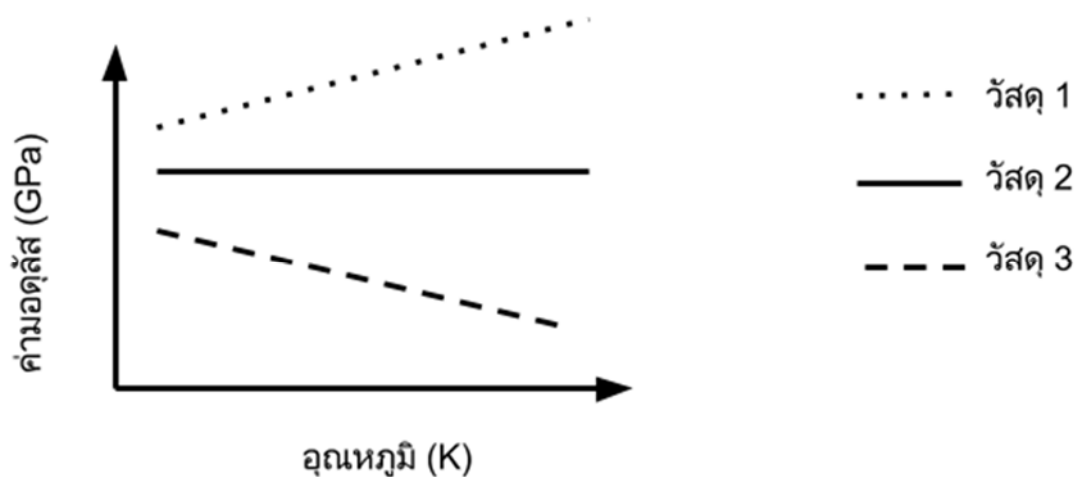


กำหนดให้

- ให้ประมาณว่าพื้นที่หน้าตัดของเส้นลวดคงตัว
- เราสามารถประมาณได้ว่า $\frac{1}{1+x} \approx 1-x$ เมื่อ $|x| \ll 1$

คำถาม

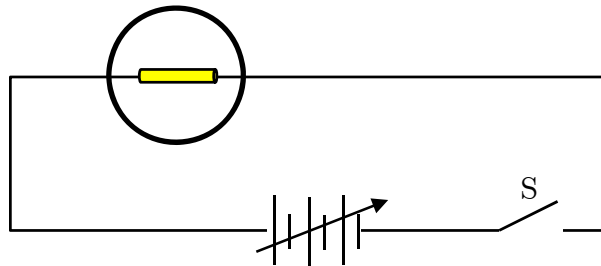
- ก. ถ้าอุณหภูมิของเส้นลวดมีค่าคงตัว T_0 จงหาระยะยืด ΔL_1 ของลวดเส้นนี้หลังจากที่นำวัตถุน้ำหนัก W มาห้อยที่ปลาย [0.4 คะแนน]
- ข. ถ้าอุณหภูมิของเส้นลวดเปลี่ยนไปเป็น $T_0 + \Delta T$ โดยที่ ΔT มีค่าน้อยๆ จงหาระยะยืด ΔL_2 ทั้งหมดของลวดเส้นนี้เนื่องจากการเปลี่ยนของอุณหภูมิและการดึงโดยวัตถุน้ำหนัก W [1.0 คะแนน]
- ค. ถ้าอุณหภูมิของเส้นลวดเปลี่ยนไปเป็น $T_0 + \Delta T$ โดยที่ ΔT มีค่าน้อยๆ จงหาพื้นที่หน้าตัด A ของเส้นลวดที่ทำให้วัตถุยังอยู่ที่ตำแหน่งเดิม เหมือนข้อ ก [2.0 คะแนน]
- ง. เพื่อให้สถานการณ์ในข้อ ค เป็นไปได้ วัสดุที่ใช้ทำลวดควรเป็นแบบใด (วัสดุ 1 หรือ 2 หรือ 3) ดังข้อมูลจากกราฟด้านล่าง อธิบายเหตุผลโดยคร่าวๆ [0.6 คะแนน]



1.3 หลอดไฟไส้สุญญากาศ

[2.5 คะแนน]

หลอดไฟสุญญากาศ ภายในมีไส้หลอดแบบทรงกระบอกตันที่มีพื้นที่ผิว A (ซึ่งไม่เปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิ) และความต้านทาน R ซึ่งแปรผันตรงกับอุณหภูมิ T โดยประมาณได้ว่า $R = \lambda T$ เมื่อ λ เป็นค่าคงตัว นำหลอดไฟมาต่อเข้ากับแหล่งจ่ายไฟที่ปรับค่าได้ดังรูป



กำหนดให้ กำลังความร้อนที่ถ่ายเทโดยการแผ่รังสีออกไปจากวัตถุที่มีพื้นที่ผิว A อุณหภูมิ T คือ $P = \sigma AT^4$ เมื่อ σ คือค่าคงตัว Stefan-Boltzmann

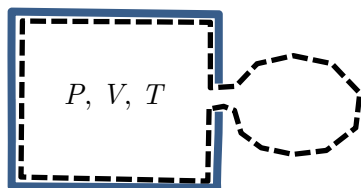
ถ้ายังไม่สับสวิตช์ S ลง และไส้หลอดมีอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิห้อง T_0 กำลังความร้อนที่ไส้หลอดได้รับ P_∞ จะสมดุลกับความร้อนที่ถ่ายเทออกไปจากไส้หลอดโดยการแผ่รังสี และมีค่าเท่ากับ $P_\infty = \sigma AT_0^4$

คำถาม

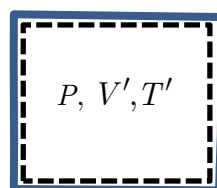
- ก. เมื่อสับสวิตช์ S ลง และปรับความต่างศักย์จนไส้หลอดร้อนและมีอุณหภูมิ T คงตัวแล้วนั้น จงหาว่าไส้หลอดได้รับกำลังไฟฟ้าเท่าใด [1.0 คะแนน]
- ข. หากกำลังไฟฟ้าที่จ่ายให้หลอดไฟมีค่ามากพอจนทำให้ไส้หลอดมีอุณหภูมิ T ใดๆ ที่สูงกว่าอุณหภูมิห้องมากๆ $T \gg T_0$ จะพบว่ากระแสไฟฟ้า I ที่ผ่านหลอดไฟมีความสัมพันธ์กับความต่างศักย์คร่อมหลอดไฟ V ตามสมการ $I = \beta V^n$ เมื่อ β เป็นค่าคงตัว จงหาค่าของ n เป็นตัวเลข [1.5 คะแนน]

ข้อที่ 2: เครื่องปรับอากาศ [10.0 คะแนน]

การเปิดเครื่องปรับอากาศทำให้อากาศในห้องหดตัวลง ดังนั้นอากาศจากภายนอกจึงไหลเข้ามาผ่านทางช่องต่างๆ เพื่อปรับให้ความดันอากาศภายในและภายนอกห้องมีค่าเท่ากัน ซึ่งอากาศที่มาจากภายนอกมีอุณหภูมิสูงกว่าและมีไอน้ำปนอยู่มาก เครื่องปรับอากาศจะทำการปรับทั้งอุณหภูมิและความชื้นให้มีค่าน้อยลงเพื่อให้คนที่อยู่ในห้องรู้สึกสบาย



ก่อนเปิดเครื่องปรับอากาศ



หลังเปิดเครื่องปรับอากาศ

เราอาจจำลองการทำงานของเครื่องปรับอากาศดังรูปข้างบน โดยเส้นทึบจำลองขอบเขตของห้อง เส้นประในรูปด้านซ้ายแสดงอากาศทั้งหมดตอนเริ่มต้นซึ่งรวมอากาศทั้งภายในและภายนอกห้อง ที่มีความดัน P ปริมาตร V และอุณหภูมิ T และรูปขวาแสดงให้เห็นว่า หลังจากเครื่องปรับอากาศทำงานแล้ว อากาศหดตัวจนมีปริมาตรเท่ากับปริมาตรห้องพอดีที่อุณหภูมิ T' ดังนั้น ปริมาตรของอากาศทั้งหมด V ที่เครื่องปรับอากาศทำงานมากกว่าปริมาตรของห้อง V'

การปรับความชื้นให้มีค่าน้อยลง ทำได้โดยทำให้ไอน้ำในอากาศควบแน่นเป็นหยดน้ำ โดยปกติเมื่อเปิดเครื่องปรับอากาศ อุณหภูมิของขดลวดทำความเย็นในเครื่องปรับอากาศจะมีอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิห้องที่เราต้องการจะให้ เป็น ซึ่งทำให้ไอน้ำรอบๆ ขดลวดเกิดการควบแน่น

การควบแน่นเป็นกระบวนการที่ตรงข้ามกับการกลายเป็นไอ ซึ่งทั้งสองกระบวนการนี้สามารถเกิดขึ้นที่อุณหภูมิที่ต่ำกว่าจุดเดือดของน้ำได้ โดยที่ ปริมาณความร้อน H ที่ต้องใช้ในการกลายเป็นไอของน้ำที่อุณหภูมิ T (K) มีค่าดังสมการ

$$H(T) = 57.075 - 0.0439 T \quad \text{kJ/mol}$$

เพื่อความง่าย สมมติให้อากาศประกอบด้วยก๊าซเพียงสองชนิด คือ ไอน้ำ (vapor) และก๊าซไนโตรเจน ความดันของอากาศรวม (P_{mixture}) เท่ากับ ความดันของไนโตรเจน และ ความดันของไอน้ำรวมกัน เราเรียกความดันของก๊าซแต่ละชนิดว่า Partial pressure หรือ ความดันย่อย เขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$P_{\text{mixture}} = P_{\text{N}_2} + P_{\text{vapor}}$$

ซึ่งค่าความดันย่อยต่างๆ เป็นไปตามความสัมพันธ์ $PV = nRT$ เมื่อ n เป็นจำนวนโมลของก๊าซชนิดนั้นๆ ที่อุณหภูมิ T เคลวิน, R เป็นค่าคงที่ก๊าซซึ่งมีค่าเท่ากับ $8.31 \frac{\text{J}}{\text{mol} \cdot \text{K}}$ และ V คือปริมาตรที่บรรจุก๊าซทั้งหมด

ความชื้นสัมพัทธ์นั้นหมายถึง อัตราส่วนโดยมวลของไอน้ำในอากาศในขณะหนึ่ง (ที่อุณหภูมิหนึ่ง) ต่อ มวลของไอน้ำสูงสุดที่อากาศสามารถแบกรับไว้ได้ (ที่อุณหภูมิเดียวกัน) มักจะบอกค่าเป็นเปอร์เซ็นต์ ค่าของปริมาณไอน้ำสูงสุดที่อากาศสามารถแบกรับไว้ได้มักจะไม่บอกตรงๆ เป็นมวลของไอน้ำสูงสุดในอากาศต่อหน่วยปริมาตร แต่จะบอกอ้อมๆ ด้วยค่าความดันย่อยสูงสุดของไอน้ำที่อุณหภูมินั้น เช่น ความดันย่อยของไอน้ำที่อุณหภูมิ 30°C มีค่าสูงสุดเท่ากับ 4.244 kPa

กำหนดให้

- เพื่อความง่าย สมมติให้อากาศประกอบด้วยก๊าซเพียงสองชนิด คือ ไอน้ำและก๊าซไนโตรเจน
- อากาศในห้องก่อนเปิดเครื่องปรับอากาศมีอุณหภูมิ $T = 30^{\circ}\text{C}$ ความชื้นสัมพัทธ์ 70% (เหมือนกับอากาศภายนอกห้อง)
- เมื่อเปิดเครื่องปรับอากาศแล้ว ต้องการให้อากาศในห้องมีอุณหภูมิ $T' = 25^{\circ}\text{C}$ ความชื้นสัมพัทธ์ 50%
- ความดันย่อยของไอน้ำที่อุณหภูมิ 30°C และ 25°C มีค่าสูงสุดเท่ากับ 4.244 kPa และ 3.169 kPa ตามลำดับ
- ขดลวดทำความเย็นในเครื่องปรับอากาศทำให้ไอน้ำรอบๆ ขดลวดเกิดการควบแน่น โดยอุณหภูมิของขดลวดทำความเย็นมีค่าคงตัวเป็น 10°C
- Molar mass ของไอน้ำ เท่ากับ 18 g/mol
- จุดเยือกแข็งของน้ำ คือ 273.15 K
- ความดันบรรยากาศ เท่ากับ $1.01325 \times 10^5\text{ Pa}$
- นอกจากความร้อนที่เกิดจากการลดอุณหภูมิของอากาศในห้องกับความร้อนที่ต้องใช้ในการควบแน่นไอน้ำในห้อง ให้สมมติว่าไม่มีการถ่ายเทความร้อนอื่นเพิ่มเติมระหว่างภายในห้องกับภายนอกห้อง

คำถาม

- 2.1. ถ้าความดันย่อยสูงสุดของไอน้ำที่อุณหภูมิหนึ่ง มีค่าเป็น P_{sat} จงแสดงว่า ความดันย่อยของไอน้ำ P_{vapor} ที่อุณหภูมินั้นในขณะที่มีความชื้นสัมพัทธ์ $h\%$ มีค่าเป็น $P_{\text{vapor}} = \frac{hP_{\text{sat}}}{100}$ [1.0 คะแนน]
- 2.2. จงหาค่าความดันย่อยของไอน้ำ $P_{\text{vapor}}, P'_{\text{vapor}}$ ในห้อง ก่อนและหลังเปิดเครื่องปรับอากาศ ตามลำดับ [1.0 คะแนน]
- 2.3. จงหาความดันย่อยของก๊าซไนโตรเจน $P_{\text{N}_2}, P'_{\text{N}_2}$ ในห้อง ก่อนและหลังการเปิดเครื่องปรับอากาศ ตามลำดับ (ให้คิดว่าความดันรวมของอากาศในห้องมีค่าคงที่และเท่ากับ ความดันบรรยากาศ) [1.5 คะแนน]

- 2.4. จงให้เหตุผลเพื่อแสดงว่า $\frac{P_{N_2} V}{T} = \frac{P'_{N_2} V'}{T'}$ [0.8 คะแนน]
- 2.5. ถ้าขนาดห้องเป็น $V' = 5 \times 5 \times 3 \text{ m}^3$ จงหา [1.6 คะแนน]
- ก. ปริมาตรของอากาศทั้งหมด V ก่อนเปิดเครื่องปรับอากาศ
- ข. งานเนื่องจากความดันบรรยากาศภายนอกห้อง (ที่ทำให้ปริมาตรของระบบเปลี่ยนไป)
- 2.6. จงหา [1.8 คะแนน]
- ก. มวลของไอน้ำทั้งหมดที่กลายเป็นหยดน้ำ
- ข. ปริมาณความร้อนที่คายออกมาจากการควบแน่นของไอน้ำ โดยให้สมมติว่า การกลายเป็นหยดน้ำเกิดจากการควบแน่นที่รอบๆ ขดลวดทำความเย็น ที่อุณหภูมิ 10°C
- 2.7. จงหาปริมาณความร้อนทั้งหมดที่ต้องเอาออกจากห้อง กำหนดให้ พลังงานภายในของไนโตรเจนเป็น $\frac{5}{2} PV$ และ พลังงานภายในของไอน้ำเป็น $3PV$ [2.1 คะแนน]
- 2.8. จงหาว่าปริมาณความร้อนที่ต้องใช้ในการควบแน่น คิดเป็นกี่เปอร์เซ็นต์ของปริมาณความร้อนทั้งหมดที่ต้องเอาออกจากห้อง [0.2 คะแนน]

ข้อที่ 3 [10.0 คะแนน]

Pump Drill (บิตหว่า)

สว่านปั๊ม (Pump drill) หรือบิตหว่า เป็นเครื่องมือโบราณตามแบบภูมิปัญญาชาวบ้าน ใช้สำหรับเจาะรูบนไม้หรือใช้จุดไฟ มีส่วนประกอบหลักๆ ดังรูปที่ 1 คือ แกนแนวดิ่งที่ปลายด้านล่างต่อกับหัวสว่าน คานไม้ในแนวระดับเจาะรูตรงกลางเพื่อสอดแกนแนวดิ่งเข้าไปและคานไม้สามารถเลื่อนขึ้นลงตามแกนดิ่งได้ (คานไม้มีการหมุนรอบแกนดิ่ง) เชือกที่ร้อยระหว่างคานไม้แนวระดับกับแกนแนวดิ่ง ล้อต้นและหนักตรึงอยู่บริเวณด้านล่างของแกนดิ่งเหนือสว่าน

วิธีการใช้สว่านปั๊มเป็นไปตามขั้นตอนดังนี้

รูปที่ 1



http://www.gilai.com/product_688/Pump-Drill-with-Ivory-Flywheel



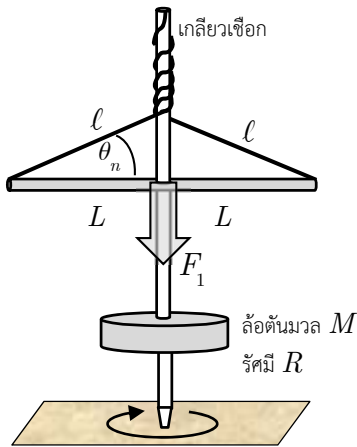
<https://i.ytimg.com/vi/c6wRLJWfjFw/hqdefault.jpg>

รูปที่ 2

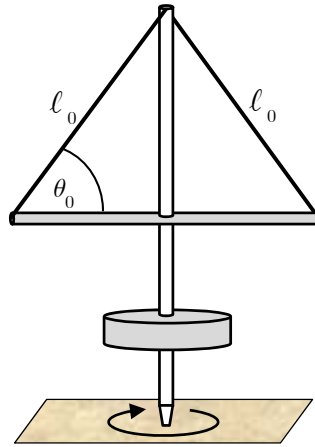
ขั้นเตรียมการ : หมุนคานไม้รอบแกนดิ่งให้เชือกพันเป็นเกลียวรอบแกน ตั้งอุปกรณ์ให้คานขนานกับพื้นและวางหัวสว่านบนเนื้อไม้ที่ต้องการเจาะรู (ก่อนเริ่มใช้งาน เชือกจะต้องพันเป็นเกลียวรอบแกนไม้)

ช่วงคลายเกลียว : ใช้มือจับคานทั้งสองด้านที่ตำแหน่งห่างจากแกนดิ่งเป็นระยะเท่ากัน (รูปที่ 2) แล้วกดลงมาด้วยแรงขนาดคงตัวเท่ากัน ได้แรงลัพธ์ขนาด F_1 ทำให้เชือกคลายเกลียว (รูปที่ 3) หัวสว่านจะเริ่มหมุนเจาะลงในเนื้อไม้ แรงกดคงตัวขนาด F_1 ยังคงกระทำต่อคาน ไปจนกระทั่งเกลียวเชือกคลายออกหมด ซึ่งเมื่อเชือกคลายเกลียวหมดพอดี ล้อต้นจะหมุนด้วยอัตราเร็วเชิงมุมขนาดหนึ่ง (รูปที่ 4)

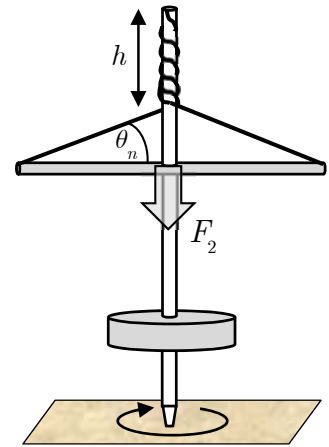
ช่วงปั่นเกลียวเอง : ความเฉื่อยของล้อต้นทำให้ล้อต้นยังคงหมุนต่อไป และทำให้เชือกพันเป็นเกลียวกลับอีกด้านรอบแกนดิ่ง โดยระหว่างนี้อาจกดคานด้วยแรงลัพธ์คงตัวขนาด F_2 ช่วยเบรกให้หมุนช้าลง (รูปที่ 5)



รูปที่ 3: กดคานให้เคลื่อนที่ลง



รูปที่ 4

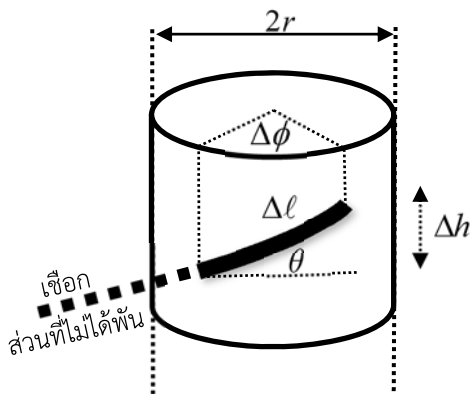


รูปที่ 5: คานกำลังเคลื่อนที่ขึ้น

กำหนดให้

- คานไม้แนวระดับยาว $2L$ และมีมวลน้อยมาก ไม่ต้องนำมาพิจารณา (ตลอดการใช้งาน ไม่มีการเสียดสีระหว่างคานกับแกนตั้ง)
- l_0 คือความยาวเชือกแต่ละด้าน และ l คือความยาวเชือกส่วนที่เหลือที่ไม่ได้พันรอบแกนตั้ง
- r คือรัศมีของแกนตั้ง โดยที่ $r \ll L$
- θ เป็นขนาดมุมระหว่างคานระดับกับเชือก, θ_0 คือขนาดมุมเมื่อเชือกคลายเกลียวทั้งหมด และ θ_n คือขนาดมุมเมื่อเชือกพันเป็นเกลียวจำนวน n รอบ
- ϕ เป็นการกระจัดเชิงมุมของแกนตั้ง โดย $\phi = 0$ ขณะที่เชือกคลายเกลียวทั้งหมด
- h เป็นความสูงเกลียวเชือกที่พันรอบแกนตั้ง
- n เป็นจำนวนรอบของเกลียวเชือกที่พันรอบแกนตั้ง
- ล้อต้นมวล M มีโมเมนต์ความเฉื่อยรอบแกนตั้งเป็น I ส่วนแกนตั้งมีโมเมนต์ความเฉื่อยน้อยมาก ไม่ต้องนำมาพิจารณา
- เมื่อมีแรงกดที่หัวส่วมากขึ้นจะมีแรงต้านมากขึ้นเช่นกัน ในที่นี้เราจะประมาณว่าขนาดของทอร์กเนื่องจากแรงเสียดทานที่หัวส่วแปรผันตรงกับแรงปฏิกิริยาที่พื้นไม้ทำกับหัวส่ว โดยมีค่าคงตัวของการแปรผันเท่ากับ k

ในขณะที่เชือกพันเป็นเกลียวนั้น ระยะระหว่างเกลียวมีขนาดไม่เท่ากัน และมุม θ เปลี่ยนไปตามจำนวนรอบของเกลียว รูปที่ 6 แสดงส่วนเล็กๆ ของเชือกที่พันรอบแกนตั้ง



รูปที่ 6

Δl คือ ความยาวของเชือกส่วนเล็กน้อยนี้

$\Delta \phi$ คือ การกระจัดเชิงมุมของเชือกส่วนนี้รอบแกนตั้ง

Δh คือ ความสูงในแนวตั้งของเชือกส่วนนี้

เมื่อ $r \ll L$ จะพบว่า $L = \ell \cos \theta$ และ $\Delta \ell \cos \theta = -r \Delta \phi$
และ $\Delta h = r \Delta \phi \tan \theta$

เมื่อแก้สมการ จะพบว่า (นักเรียนนำไปใช้ได้โดยไม่ต้องพิสูจน์)

$$\frac{1}{\tan \theta} = -\frac{L}{r} \frac{d\theta}{d\phi}$$

$$\cos \theta_n = (\cos \theta_0) e^{2n\pi \frac{r}{L}}$$

$$h = L(\tan \theta_0 - \tan \theta_n) - L(\theta_0 - \theta_n)$$

คำถาม

- 3.1 จงหาขนาดของความเร่งเชิงมุมของแกนตั้งในช่วงการคลายเกลียว ขณะที่เกิดด้วยแรง F_1 และเชือกทำมุม θ กับแกน
[2.0 คะแนน]
- 3.2 ถ้าในขั้นเตรียมการ ได้จำนวนเกลียวเริ่มต้นเท่ากับ n รอบ จะพบว่างานโดยแรง F_1 ในช่วงคลายเกลียวตั้งแต่เริ่มต้นจนคลายเกลียวหมด มีค่าเท่ากับ $b|F_1|$ จงหาค่า b ในรูปของตัวแปรที่โจทย์กำหนดให้
หมายเหตุ นักเรียนสามารถใช้ตัวแปร b นี้ในข้อต่อไปได้ โดยไม่ต้องแทนค่า
[1.0 คะแนน]
- 3.3 ขณะที่คลายเกลียวหมดแล้วพอดี (รูปที่ 4) หัวส่วจะหมุนด้วยอัตราเร็วเชิงมุม ω เท่าใด
[1.5 คะแนน]
- 3.4 จงหาขนาดของ F_1 ในช่วงการคลายเกลียว ที่ทำให้ในช่วงการปั่นเกลียวเองตามรูปที่ 5 นั้นแล้วได้จำนวนเกลียวเชือก n รอบเท่าเดิมและแกนตั้งหยุดหมุนพอดี โดยที่ไม่ต้องใช้แรงกดเพื่อชะลอ ($F_2 = 0$) เขียนคำตอบในรูปของ n, k, M และ b)
[1.5 คะแนน]
- 3.5 จากข้อมูลในข้อ 3.4 จงวาดกราฟคร่าวๆ ระหว่างทอร์กกลับและมุม ϕ ในช่วงการคลายเกลียวและช่วงปั่นเกลียว (วาดกราฟลงในกระดาษสรุปคำตอบ โดยกำกับค่าที่สำคัญด้วย)
[1.0 คะแนน]
- 3.6 ในข้อนี้เราจะประมาณว่าจำนวนเกลียว n มีค่าน้อย ทำให้ $\Delta \theta = \theta_0 - \theta_n$ มีค่าน้อย (หรือมุม θ ไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก) ซึ่งนักเรียนสามารถประมาณว่าทอร์กเนื่องจากแรงดึงเชือกในช่วงการคลายเกลียวมีค่าคงตัว จงหาค่าเฉลี่ยของผู้ใช้เครื่องมือนี้ในหนึ่งรอบการทำงานที่ประกอบด้วยช่วงคลายเกลียวและช่วงปั่นเกลียวเอง
[2.0 คะแนน]

- 3.7 กำหนดให้หัวส่วานมีลักษณะเป็นโบมิตบาง ยาว $2r$ และแรงปฏิกิริยาที่พื้นไม่ทำกับหัวส่วานกระจายอย่างสม่ำเสมอไปตามความยาวของโบมิต กำหนดให้สัมประสิทธิ์แรงเสียดทานที่พื้นไม่ทำกับโบมิตมีค่าเท่ากับ μ จงหาค่า k ในรูปของ μ และ r [1.0 คะแนน]

