6 แก๊สและสมบัติของแก๊ส

ชีทเรียน+แบบฝึกหัด · ติวเคมี สอวน. ค่าย 1 · สอนสลับฝึกทีละช่วง

1 ตัวแปรของแก๊ส หน่วยความดัน บารอมิเตอร์และแมนอมิเตอร์

1. ปูพื้นก่อนลุย: ตัวแปร 4 ตัวของแก๊สและหน่วยที่ต้องแม่น

พฤติกรรมของแก๊สทั้งหมดอธิบายได้ด้วยตัวแปรแค่ 4 ตัว จำให้ขึ้นใจ:

ตัวแปร	สัญลักษณ์	หน่วยที่ใช้บ่อย	ข้อควรระวัง
ความดัน	P	atm, mmHg (torr), kPa	$1\ \mathrm{atm} = 760\ \mathrm{mmHg} = 101.3\ \mathrm{kPa}$
ปริมาตร	V	L, mL	$1\ \mathrm{L} = 1000\ \mathrm{mL} = 1\ \mathrm{dm}^3$
อุณหภูมิ	T	**เคลวินเท่านั้น**	$T(\mathrm{K}) = t(^\circ\mathrm{C}) + 273$
จำนวนโมล	n	mol	$n = \frac{m}{M} = \frac{N}{N_A}$

กติกาเหล็กข้อเดียวที่ห้ามลืมตลอดบทนี้: **อุณหภูมิในทุกสูตรของแก๊สต้องเป็นเคลวิน** เพราะกฎของแก๊สเป็นสัดส่วนตรงกับอุณหภูมิสัมบูรณ์ ไม่ใช่องศาเซลเซียส

และจำนิยาม STP ให้ขึ้นใจ: 0°C (273 K), 1 atm — ที่สภาวะนี้แก๊สอุดมคติ 1 โมลใดๆ กินปริมาตร **22.4 L** เสมอ

ลองซ้อมแปลงหน่วยเร็วๆ: อุณหภูมิห้อง 27°C คือ $27 + 273 = 300\ \mathrm{K}$ (เลขนี้จะเจอบ่อยมากเพราะคำนวณง่าย) และความดัน 380 mmHg คือ

$$380\ \cancel{\mathrm{mmHg}} \times \frac{1\ \mathrm{atm}}{760\ \cancel{\mathrm{mmHg}}} = 0.5\ \mathrm{atm}$$

สังเกตวิธี "ตัดหน่วย" แบบนี้ให้ชิน — มันคือเกราะกันพลาดที่ดีที่สุดในบทนี้

2. บารอมิเตอร์และแมนอมิเตอร์: วัดความดันแก๊สยังไง

ก่อนจะคำนวณกฎแก๊สต่างๆ ต้องรู้ก่อนว่า "ความดัน" ที่ใส่ในสูตรวัดมาจากไหน — เครื่องมือพื้นฐานที่สุดคือคอลัมน์ของเหลว (ส่วนใหญ่เป็นปรอท) เพราะน้ำหนักของของเหลวที่ตั้งอยู่ในหลอดคือตัวสร้างความดันโดยตรง

บารอมิเตอร์ (barometer) วัด**ความดันบรรยากาศ** — สร้างจากหลอดแก้วยาวเติมปรอทให้เต็ม แล้วกลับหัวปักลงอ่างปรอทโดยไม่ให้อากาศเข้า ปรอทในหลอดจะไหลลงมาจนเหลือค้างเป็นลำสูงระดับหนึ่ง โดยเหนือปรอทในหลอดเป็น**สุญญากาศ** (ไม่มีอะไรกดจากด้านบน) ความสูงของลำปรอทที่ค้างอยู่ (หน่วย mmHg) จึงเท่ากับความดันบรรยากาศ ณ ขณะนั้นพอดี — ที่ระดับน้ำทะเลวัดได้ 760 mmHg ซึ่งคือที่มาของนิยาม 1 atm

แมนอมิเตอร์ (manometer) วัด**ความดันแก๊สในระบบปิด** เทียบกับความดันบรรยากาศที่ทราบค่า — เป็นหลอดแก้วรูปตัว U บรรจุปรอท ปลายข้างหนึ่งต่อเข้ากับภาชนะแก๊สที่จะวัด อีกปลายหนึ่งเปิดสู่บรรยากาศ หลักการอ่านค่ามีข้อเดียว: **ที่ระดับความสูงเดียวกันในของเหลวต่อเนื่องกัน ความดันต้องเท่ากันเสมอ** จึงเทียบความสูงปรอทสองข้างของหลอดเพื่อหาความดันแก๊สได้ 2 กรณี

- ถ้าปรอทฝั่งที่ต่อกับแก๊ส**ต่ำกว่า**ฝั่งเปิดสู่บรรยากาศ แสดงว่าแก๊สดันปรอทลง นั่นคือ **แก๊สมีความดันมากกว่าบรรยากาศ**: $P_{\text{gas}} = P_{\text{atm}} + \Delta h$
- ถ้าปรอทฝั่งที่ต่อกับแก๊ส**สูงกว่า**ฝั่งเปิดสู่บรรยากาศ แสดงว่าบรรยากาศดันปรอทขึ้นฝั่งแก๊สได้มากกว่า นั่นคือ **แก๊สมีความดันน้อยกว่าบรรยากาศ**: $P_{\text{gas}} = P_{\text{atm}} - \Delta h$

โดย Δh คือผลต่างความสูงปรอทสองข้าง (หน่วยเดียวกับ P_{atm} เช่น mmHg)

ถ้าใช้ของเหลวอื่นแทนปรอท (เช่น น้ำ) ต้องคำนึงว่าของเหลวแต่ละชนิดมีความหนาแน่นต่างกัน — น้ำเบากว่าปรอทประมาณ 13.6 เท่า ดังนั้นความดันเท่ากันหนึ่งค่า จะต้องใช้ **คอลัมน์น้ำที่สูงกว่าคอลัมน์ปรอทประมาณ 13.6 เท่า** จึงจะสร้างความดันเท่ากันได้ (แปลงหน่วยผ่าน**อัตราส่วนความหนาแน่น** ไม่ใช่แปลงความยาวตรงๆ):

$$h_{\text{liquid}} \times d_{\text{liquid}} = h_{\text{Hg}} \times d_{\text{Hg}}$$

ตัวอย่างที่ 1 — (ก) ถ้าจะสร้างบารอมิเตอร์วัดความดันบรรยากาศ 1 atm ด้วยน้ำแทนปรอท ต้องใช้หลอดแก้วยาวอย่างน้อยกี่เมตร (กำหนดน้ำเบากว่าปรอท 13.6 เท่า) (ข) แมนอมิเตอร์ปลายเปิดต่อกับภาชนะบรรจุแก๊ส วัดความดันบรรยากาศได้ 755 mmHg พบว่าปรอทฝั่งที่ต่อกับแก๊สสูงกว่าฝั่งเปิดอยู่ 20 mm ความดันแก๊สในภาชนะเป็นกี่ mmHg

วิธีทำ (ก): ที่ความดันเดียวกัน คอลัมน์น้ำต้องสูงกว่าคอลัมน์ปรอทตามอัตราส่วนความหนาแน่น

$$h_{\text{water}} = h_{\text{Hg}} \times 13.6 = 760 \text{ mmHg} \times 13.6 = 10336 \text{ mm} \approx 10.3 \text{ m}$$

ดังนั้นต้องใช้หลอดยาวอย่างน้อยประมาณ 10.3 เมตร — นี่คือเหตุผลที่ในทางปฏิบัติเลือกใช้ปรอทแทนน้ำ (ของเหลวหนาแน่นมากใช้หลอดสั้นก็พอ)

วิธีทำ (ข): ปรอทฝั่งแก๊ส**สูงกว่า**ฝั่งเปิด แปลว่าบรรยากาศดันปรอทฝั่งแก๊สขึ้นได้มากกว่า $\Longrightarrow$ แก๊สมีความดัน**น้อยกว่า**บรรยากาศ

$$P_{\text{gas}} = P_{\text{atm}} - \Delta h = 755 - 20 = 735 \text{ mmHg}$$

> **ตรวจสอบเชิงเหตุผล:** ปรอทฝั่งแก๊สสูง แปลว่าบรรยากาศ "ชนะ" ดันปรอทขึ้นฝั่งนั้นได้มากกว่าแรงดันของแก๊สเอง จึงต้องได้ $P_{\text{gas}} < P_{\text{atm}}$ สอดคล้องกับคำตอบ 735 < 755

> **ข้อควรระวัง:** จุดพลาดที่พบบ่อยที่สุดคือจำสลับว่าจะบวกหรือลบ Δh — ให้จำหลักเดียว: ปรอทฝั่งไหนต่ำกว่า แปลว่าฝั่งนั้น "ชนะ" ในการดัน ความดันของฝั่งนั้นจึงมากกว่า

3. หน่วยความดัน psi และการแปลงหน่วยความดันครบระบบ

นอกจาก atm, mmHg (torr) และ kPa แล้ว ยังมีหน่วยความดันจากระบบอังกฤษที่พบได้บ่อยในบริบทอุตสาหกรรมและของใช้ในชีวิตประจำวัน (เช่น มาตรวัดลมยางรถยนต์ ถังแก๊ส) คือ **psi (pound per square inch)**

ค่าคงที่แปลงหน่วยที่ต้องจำเพิ่ม: $1 \text{ atm} = 14.7 \text{ psi}$ — ใช้คู่กับค่าที่รู้อยู่แล้วคือ $1 \text{ atm} = 760 \text{ mmHg} = 101.3 \text{ kPa}$

โจทย์แนวนี้มักผสมหลายหน่วยในข้อเดียว (psi → atm → kPa → mmHg) ทดสอบความคล่องในการแปลงหน่วยความดันทุกระบบ วิธีที่ปลอดภัยที่สุดคือ**แปลงทุกอย่างผ่าน atm เป็นตัวกลางเสมอ** อย่าพยายามจำอัตราแปลงข้ามหน่วยอื่นโดยตรง

ตัวอย่างที่ 2 — ยางรถยนต์คันหนึ่งวัดความดันลมยางได้ 29.4 psi จงแปลงความดันนี้เป็นหน่วย atm, kPa และ mmHg

วิธีทำ: แปลงผ่าน atm เป็นตัวกลางก่อนเสมอ

$$P = 29.4\ \cancel{\text{psi}} \times \frac{1\ \text{atm}}{14.7\ \cancel{\text{psi}}} = 2.0\ \text{atm}$$

จากนั้นแปลงต่อไปยังหน่วยอื่น

$$P = 2.0\ \cancel{\text{atm}} \times \frac{101.3\ \text{kPa}}{1\ \cancel{\text{atm}}} = 202.6\ \text{kPa}$$

$$P = 2.0\ \cancel{\text{atm}} \times \frac{760\ \text{mmHg}}{1\ \cancel{\text{atm}}} = 1520\ \text{mmHg}$$

ข้อควรระวัง: ห้ามเผลอนำตัวเลข psi ไปคูณ 760 หรือ 101.3 ตรงๆ (เช่น 29.4×760) เพราะตัวเลขเหล่านั้นคืออัตราส่วนของหน่วย atm ไม่ใช่ psi — ต้องแปลงเป็น atm ก่อนทุกครั้งแล้วค่อยแปลงต่อ

ฝึกทันที 6 ข้อ (ง่าย→ยาก)

ข้อ 1 ★☆☆☆☆

บารอมิเตอร์ปรอทแบบดั้งเดิม สร้างจากหลอดแก้วเติมปรอทจนเต็มแล้วกลับหัวปักลงอ่างปรอทโดยไม่ให้อากาศเข้า พื้นที่ว่างเหนือปรอทในหลอด (ก่อนถึงปลายปิด) มีสภาวะเป็นอย่างไร และความสูงของลำปรอทที่ค้างอยู่บอกอะไร

- **ก.** เป็นสุญญากาศ; ความสูงลำปรอทบอกความดันบรรยากาศ
- **ข.** มีอากาศเจือปนเล็กน้อย; ความสูงลำปรอทบอกความดันไอปรอท
- **ค.** เป็นสุญญากาศ; ความสูงลำปรอทบอกความดันในอ่างปรอทที่ก้นหลอด
- **ง.** มีความดันเท่ากับบรรยากาศ; ความสูงลำปรอทไม่มีความหมายทางฟิสิกส์

ข้อ 2 ★★☆☆☆

วันหนึ่งวัดความดันบรรยากาศได้ 750 mmHg ด้วยบารอมิเตอร์ปรอท ถ้าต้องการสร้างบารอมิเตอร์วัดความดันบรรยากาศในวันเดียวกันด้วยน้ำแทนปรอท ต้องใช้หลอดแก้วที่มีความยาวอย่างน้อยกี่เมตร (กำหนดน้ำเบากว่าปรอทประมาณ 13.6 เท่า)

- **ก.** 10.2 m
- **ข.** 0.75 m
- **ค.** 0.055 m
- **ง.** 102 m

ข้อ 3 ★★☆☆☆

แมนอมิเตอร์ปลายเปิดต่อกับภาชนะบรรจุแก๊ส ความดันบรรยากาศขณะนั้นวัดได้ 760 mmHg เมื่ออ่านค่า พบว่าปรอทฝั่งที่ต่อกับแก๊สอยู่ต่ำกว่าฝั่งที่เปิดสู่บรรยากาศอยู่ 30 mm ความดันแก๊สในภาชนะเป็นกี่ mmHg

- **ก.** 790 mmHg
- **ข.** 730 mmHg
- **ค.** 30 mmHg
- **ง.** 760 mmHg

ข้อ 4 ★★★☆☆

แมนอมิเตอร์ปลายปิด (เหนือปรอทในปลายปิดเป็นสุญญากาศ) ต่อกับภาชนะบรรจุแก๊ส วัดผลต่างระดับปรอทระหว่างสองข้างของหลอดได้ 570 mm ความดันแก๊สในภาชนะมีค่ากี่ atm (ไม่ต้องใช้ค่าความดันบรรยากาศในการคำนวณ)

ก. 0.75 atm

ข. 1.33 atm

ค. 0.075 atm

ง. 1.75 atm

ข้อ 5 ★★★☆☆

ถังแก๊สอุตสาหกรรมใบหนึ่งติดมาตรวัดความดันเป็นหน่วย psi อ่านค่าได้ 44.1 psi จงแปลงความดันนี้เป็นหน่วย kPa (กำหนด 1 atm = 14.7 psi = 101.3 kPa)

ก. 303.9 kPa

ข. 2280 kPa

ค. 648.3 kPa

ง. 5.88 kPa

ข้อ 6 ★★★★☆

วันหนึ่งอ่านค่าบารอมิเตอร์ปรอทได้ความดันบรรยากาศ 745 mmHg จากนั้นนำแมนอมิเตอร์ปลายเปิดไปต่อกับภาชนะบรรจุแก๊ส พบว่าปรอทฝั่งที่ต่อกับแก๊สอยู่สูงกว่าฝั่งที่เปิดสู่บรรยากาศอยู่ 25 mm ความดันแก๊สในภาชนะมีค่ากี่ psi (กำหนด 1 atm = 760 mmHg = 14.7 psi)

ก. 13.9 psi

ข. 14.9 psi

ค. 0.947 psi

ง. 14.4 psi

2 กฎของบอยล์

4. กฎของบอยล์ (Boyle's Law): บีบให้เล็ก ความดันยิ่งพุ่ง

เงื่อนไข: อุณหภูมิและจำนวนโมลคงที่

เมื่อบีบแก๊สให้ปริมาตรเล็กลง โมเลกุลจะชนผนังถี่ขึ้น ความดันจึงสูงขึ้น — ปริมาตรกับความดันจึง**แปรผกผัน**กัน:

$$P \propto \frac{1}{V} \quad \Rightarrow \quad P_1V_1 = P_2V_2$$

กราฟ P กับ V เป็นไฮเพอร์โบลา แต่ถ้าพล็อต P กับ $\frac{1}{V}$ จะได้เส้นตรงผ่านจุดกำเนิด (ข้อสอบชอบถามลักษณะกราฟ)

ตัวอย่างที่ 3 — แก๊สปริมาตร 2.0 L ที่ความดัน 1.2 atm ถูกอัดจนความดันเป็น 3.0 atm ที่อุณหภูมิคงที่ จงหาปริมาตรใหม่

วิธีทำ: อุณหภูมิคงที่ → ใช้กฎของบอยล์

$$V_2 = \frac{P_1V_1}{P_2} = \frac{1.2\,\cancel{\text{atm}} \times 2.0\ \text{L}}{3.0\,\cancel{\text{atm}}} = 0.80\ \text{L}$$

เช็กความสมเหตุสมผล: ความดันเพิ่ม (1.2 → 3.0) ปริมาตรต้องลด (2.0 → 0.80) ✓ นิสัยเช็กทิศทางแบบนี้ช่วยจับเลขผิดได้ก่อนส่งกระดาษ

ฝึกทันที 4 ข้อ (ง่าย→ยาก)

ข้อ 7 ★☆☆☆☆

แก๊สปริมาตร 4.0 L ความดัน 1.5 atm ถูกปล่อยให้ขยายตัวที่อุณหภูมิคงที่จนปริมาตรเป็น 6.0 L ความดันใหม่ของแก๊สเป็นเท่าใด

- **ก.** 1.0 atm
- **ข.** 2.25 atm
- **ค.** 1.5 atm
- **ง.** 0.67 atm

ข้อ 8 ★☆☆☆☆

แก๊สชนิดหนึ่งมีปริมาตร 6.0 L ที่ความดัน 1.0 atm เมื่ออัดแก๊สนี้ที่อุณหภูมิคงที่จนความดันเป็น 2.5 atm แก๊สจะมีปริมาตรกี่ลิตร

- **ก.** 15 L
- **ข.** 2.4 L
- **ค.** 0.42 L
- **ง.** 3.5 L

ข้อ 9 ★★★☆☆

จากการทดลองแก๊สชนิดหนึ่งที่อุณหภูมิคงที่ เมื่อพล็อตกราฟความดัน P กับส่วนกลับของปริมาตร $\frac{1}{V}$ ได้เส้นตรงผ่านจุดกำเนิด จุดหนึ่งบนกราฟอ่านค่าได้ $\frac{1}{V} = 0.50\ \text{L}^{-1}$ ที่ $P = 4.0\ \text{atm}$ ถ้าปล่อยให้แก๊สขยายตัวต่อที่อุณหภูมิคงที่จนปริมาตรเป็น 4.0 L ความดันของแก๊สขณะนั้นเป็นเท่าใด

- **ก.** 2.0 atm
- **ข.** 4.0 atm
- **ค.** 8.0 atm
- **ง.** 0.5 atm

ข้อ 10 ★★★★★

หลอดแก้วรูปตัว J ปลายสั้นปิด ปลายยาวเปิด มีปรอทขังอากาศไว้ในปลายปิดเป็นลำยาว 20.0 cm โดยระดับปรอทสองข้างเท่ากันพอดี ขณะนั้นความดันบรรยากาศเท่ากับ 76 cmHg ถ้าเติมปรอทลงทางปลายเปิดจนระดับปรอทข้างปลายเปิดสูงกว่าข้างปลายปิดอยู่ 19 cm ลำอากาศในปลายปิดจะยาวกี่เซนติเมตร (อุณหภูมิคงที่ หลอดมีพื้นที่หน้าตัดสม่ำเสมอ)

ก. 16.0 cm

ข. 26.7 cm

ค. 20.0 cm

ง. 25.0 cm

3 กฎของชาร์ลและกฎของเกย์-ลูสแซก

5. กฎของชาร์ล (Charles's Law): ร้อนขึ้น พองขึ้น

เงื่อนไข: ความดันและจำนวนโมลคงที่

เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น โมเลกุลวิ่งเร็วขึ้น ถ้าจะให้ความดันเท่าเดิม แก๊สต้องขยายตัว — ปริมาตรจึง**แปรผันตรง**กับอุณหภูมิเคลวิน:

$$V \propto T \quad \Rightarrow \quad \frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$$

กราฟ V กับ $T(\mathrm{K})$ เป็นเส้นตรงผ่านจุดกำเนิด และถ้าลากกราฟ V กับ $t(^\circ\mathrm{C})$ ย้อนไปตัดแกนที่ $V = 0$ จะได้ –273°C คือที่มาของ**ศูนย์สัมบูรณ์**นั่นเอง

ตัวอย่างที่ 4 — แก๊สปริมาตร 250 mL ที่ 27°C ถูกทำให้ร้อนขึ้นเป็น 87°C ที่ความดันคงที่ จงหาปริมาตรใหม่

วิธีทำ: แปลงเคลวินก่อนเสมอ: $T_1 = 27 + 273 = 300\ \mathrm{K}, T_2 = 87 + 273 = 360\ \mathrm{K}$

$$V_2 = V_1 \times \frac{T_2}{T_1} = 250\ \mathrm{mL} \times \frac{360\,\cancel{\mathrm{K}}}{300\,\cancel{\mathrm{K}}} = 300\ \mathrm{mL}$$

ระวัง! ถ้าเผลอใช้ $\frac{87}{27}$ จะได้คำตอบผิดเพี้ยนไปไกล — นี่คือกับดักอันดับหนึ่งของบทนี้

6. กฎของเกย์-ลูสแซก (Gay-Lussac's Law): ถังปิด ร้อนแล้วดันแรง

เงื่อนไข: ปริมาตรและจำนวนโมลคงที่ (ภาชนะแข็ง ปิดสนิท)

อุณหภูมิสูงขึ้น โมเลกุลชนผนังแรงและถี่ขึ้น แต่ขยายตัวไม่ได้ ความดันจึงพุ่ง:

$$P \propto T \quad \Rightarrow \quad \frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2}$$

นี่คือเหตุผลที่ห้ามโยนกระป๋องสเปรย์เข้ากองไฟ และทำไมลมยางรถแข็งขึ้นหลังวิ่งทางไกล

ตัวอย่างที่ 5 — ยางรถยนต์สูบลมไว้ 2.0 atm ที่ 27°C หลังวิ่งทางไกลอุณหภูมิในยางเป็น 57°C ถ้าปริมาตรยางคงที่ ความดันในยางเป็นเท่าใด

วิธีทำ: $T_1 = 300\ \mathrm{K}, T_2 = 57 + 273 = 330\ \mathrm{K}$

$$P_2 = P_1 \times \frac{T_2}{T_1} = 2.0\ \mathrm{atm} \times \frac{330\,\cancel{\mathrm{K}}}{300\,\cancel{\mathrm{K}}} = 2.2\ \mathrm{atm}$$

ฝึกทันที 5 ข้อ (ง่าย→ยาก)

ข้อ 11 ★★☆☆☆

แก๊สในลูกโป่งปริมาตร 3.0 L ที่ 27°C มีความหนาแน่น 1.20 g/L เมื่อนำไปแช่ในน้ำแข็งแห้งจนอุณหภูมิลดลงเหลือ −23°C ที่ความดันบรรยากาศคงที่ (มวลของแก๊สในลูกโป่งไม่เปลี่ยน) ความหนาแน่นของแก๊สในลูกโป่งขณะนั้นเป็นเท่าใด

ก. 1.44 g/L
ข. 1.00 g/L
ค. 1.20 g/L
ง. 1.728 g/L

ข้อ 12 ★★☆☆☆

แก๊สปริมาตร 400 mL ที่อุณหภูมิ 27 °C เมื่อให้ความร้อนจนอุณหภูมิเป็น 127 °C โดยความดันคงที่ แก๊สจะมีปริมาตรประมาณกี่มิลลิลิตร

ก. 1881 mL
ข. 300 mL
ค. 533 mL
ง. 400 mL

ข้อ 13 ★★★☆☆

ถังเหล็กปิดสนิท (ปริมาตรคงที่) บรรจุแก๊สความดัน 1.5 atm ที่ 27 °C ถ้าถังนี้ทนความดันได้สูงสุด 3.0 atm จะต้องให้ความร้อนจนอุณหภูมิถึงกี่องศาเซลเซียสถังจึงจะเริ่มระเบิด

ก. 327 °C
ข. 600 °C
ค. 54 °C
ง. 573 °C

ข้อ 14 ★★★★☆

ถังแก๊สปิดสนิท (ปริมาตรคงที่) มีวาล์วนิรภัยตั้งไว้ให้เปิดระบายเมื่อความดันในถังเกิน 8.0 atm ขณะบรรจุแก๊สที่อุณหภูมิ 25°C วัดความดันได้ 6.0 atm ถ้าอุณหภูมิแวดล้อมสูงขึ้นถึง 150°C วาล์วนิรภัยจะเปิดหรือไม่ เพราะเหตุใด

ก. เปิด เพราะความดันจะสูงขึ้นถึงประมาณ 8.5 atm ซึ่งเกิน 8.0 atm
ข. ไม่เปิด เพราะความดันจะลดลงเหลือประมาณ 4.2 atm
ค. เปิด เพราะความดันจะสูงขึ้นถึงประมาณ 36 atm
ง. ไม่สามารถระบุได้ เพราะไม่ทราบปริมาตรของถัง

ข้อ 15 ★★★★☆

แก๊สอุดมคติจำนวนหนึ่งมีปริมาตร 8.0 L ที่ความดัน 2.0 atm อุณหภูมิ 127 °C นำไปผ่านกระบวนการ 2 ขั้นตอนต่อเนื่องกัน คือ (1) ลดอุณหภูมิลงเหลือ 27 °C โดยความดันคงที่ แล้ว (2) อัดแก๊สที่อุณหภูมิคงที่จนปริมาตรเหลือ 3.0 L ความดันสุดท้ายของแก๊สเป็นกี่ atm

ก. 5.3 atm
ข. 4.0 atm
ค. 7.1 atm
ง. 2.0 atm

4 กฎรวมแก๊สและกฎแก๊สอุดมคติ PV=nRT

7. กฎรวมแก๊ส (Combined Gas Law): เปลี่ยนทีเดียวสามตัวแปร

เมื่อ P, V, T เปลี่ยนพร้อมกัน (โมลคงที่) รวมสามกฎข้างบนเป็นสูตรเดียว:

$$\frac{P_1V_1}{T_1} = \frac{P_2V_2}{T_2}$$

เทคนิคจำ: สูตรนี้คือ "แม่" ของสามกฎแรก — ตัวไหนคงที่ก็ตัดตัวนั้นทิ้ง เช่น T คงที่ก็เหลือ $P_1V_1 = P_2V_2$ ทันที ดังนั้นจริงๆ จำสูตรเดียวก็พอ

ตัวอย่างที่ 6 — แก๊สปริมาตร 1.5 L ที่ 720 mmHg และ 27°C จะมีปริมาตรเท่าใดที่ STP (0°C, 760 mmHg)

วิธีทำ: $T_1 = 300\ \mathrm{K}, T_2 = 273\ \mathrm{K}$

$$V_2 = V_1 \times \frac{P_1}{P_2} \times \frac{T_2}{T_1} = 1.5\ \mathrm{L} \times \frac{720\ \cancel{\mathrm{mmHg}}}{760\ \cancel{\mathrm{mmHg}}} \times \frac{273\ \cancel{\mathrm{K}}}{300\ \cancel{\mathrm{K}}} \approx 1.29\ \mathrm{L}$$

มุมมองเช็กคำตอบ: ความดันเพิ่ม (ปริมาตรควรลด) และอุณหภูมิลด (ปริมาตรควรลด) — สองแรงไปทางเดียวกัน คำตอบต้องน้อยกว่า 1.5 L ✓

8. กฎแก๊สอุดมคติ $PV = nRT$: สูตรครอบจักรวาล

กฎรวมแก๊สยังขาดตัวแปรหนึ่งคือ**จำนวนโมล** (กฎของอาโวกาโดร: $V \propto n$ ที่ P, T คงที่) รวมทุกอย่างเข้าด้วยกันได้สมการที่สำคัญที่สุดของบท:

$$PV = nRT$$

โดย $R = 0.0821\ \mathrm{L \cdot atm/(mol \cdot K)}$ — ใช้ค่านี้เมื่อ P เป็น atm, V เป็น L, T เป็น K **เท่านั้น** ถ้าโจทย์ให้หน่วยอื่น ให้แปลงหน่วยเข้าหา R เสมอ อย่าไปหา R ค่าอื่นให้ปวดหัว

จุดสังเกตว่าใช้สูตรไหน: ถ้าโจทย์เล่าเหตุการณ์ "สภาวะเดิม → สภาวะใหม่" ใช้กฎรวมแก๊ส แต่ถ้าโจทย์ถ่ายรูป "สภาวะเดียว" แล้วถามหาตัวแปรที่ขาด ใช้ $PV = nRT$

ตัวอย่างที่ 7 — แก๊สชนิดหนึ่งบรรจุในถัง 8.2 L ที่ความดัน 1.5 atm อุณหภูมิ 27°C มีแก๊สกี่โมล

วิธีทำ:

$$n = \frac{PV}{RT} = \frac{1.5\ \cancel{\mathrm{atm}} \times 8.2\ \cancel{\mathrm{L}}}{0.0821\ \frac{\cancel{\mathrm{L \cdot atm}}}{\mathrm{mol} \cdot \cancel{\mathrm{K}}} \times 300\ \cancel{\mathrm{K}}} = \frac{12.3}{24.63}\ \mathrm{mol} \approx 0.50\ \mathrm{mol}$$

8.1 หามวลโมลาร์จาก $PV = nRT$ — ข้อสอบสุดคลาสสิก

แทน $n = \frac{m}{M}$ ลงไป แล้วจัดรูป:

$$PV = \frac{m}{M}RT \quad \Rightarrow \quad M = \frac{mRT}{PV}$$

ตัวอย่างที่ 8 — แก๊สชนิดหนึ่งหนัก 0.44 g มีปริมาตร 246 mL ที่ 27°C และ 1 atm จงหามวลโมลาร์และระบุว่าน่าจะเป็นแก๊สใด

วิธีทำ: แปลงปริมาตรเป็นลิตรก่อน: $246\ \mathrm{mL} = 0.246\ \mathrm{L}$

$$M = \frac{mRT}{PV} = \frac{0.44\ \mathrm{g} \times 0.0821\ \frac{\cancel{\mathrm{L{\cdot}atm}}}{\mathrm{mol{\cdot}}\cancel{\mathrm{K}}} \times 300\ \cancel{\mathrm{K}}}{1\ \cancel{\mathrm{atm}} \times 0.246\ \cancel{\mathrm{L}}} = \frac{10.837}{0.246}\ \mathrm{g/mol} \approx 44\ \mathrm{g/mol}$$

มวลโมลาร์ 44 g/mol ตรงกับ $\mathrm{CO_2}$ ($12 + 2 \times 16 = 44$)

8.2 หาความหนาแน่นของแก๊ส

แทน $m = dV$ ในสูตรข้างบน จะได้:

$$d = \frac{PM}{RT}$$

อ่านสูตรนี้ให้ออก: แก๊สหนาแน่นขึ้นเมื่อ**อัดแรงขึ้น** (P สูง) หรือ**เย็นลง** (T ต่ำ) และแก๊สมวลโมลาร์มากย่อมหนาแน่นกว่า — นี่คือเหตุผลที่ $\mathrm{CO_2}$ (M = 44) ไหลลงต่ำ แต่ He (M = 4) ลอยขึ้น

ทางลัดที่ STP: $d = \frac{M}{22.4}$ g/L (เพราะ 1 mol กินปริมาตร 22.4 L พอดี)

ตัวอย่างที่ 9 — จงหาความหนาแน่นของแก๊ส $\mathrm{O_2}$ ที่ความดัน 2 atm อุณหภูมิ 27°C

วิธีทำ: $M_{\mathrm{O_2}} = 32$ g/mol

$$d = \frac{PM}{RT} = \frac{2\ \cancel{\mathrm{atm}} \times 32\ \mathrm{g/\cancel{mol}}}{0.0821\ \frac{\mathrm{L{\cdot}\cancel{atm}}}{\cancel{\mathrm{mol{\cdot}K}}} \times 300\ \cancel{\mathrm{K}}} = \frac{64}{24.63}\ \mathrm{g/L} \approx 2.60\ \mathrm{g/L}$$

✏️ ฝึกทันที 14 ข้อ (ง่าย→ยาก)

ข้อ 16 ★☆☆☆☆

แก๊สอุดมคติ 0.5 mol บรรจุอยู่ในภาชนะปริมาตร 12.3 L ที่อุณหภูมิ 27 °C แก๊สนี้มีความดันกี่ atm (กำหนด R = 0.082 L·atm/(mol·K))

- **ก.** 0.09 atm
- **ข.** 2.0 atm
- **ค.** 0.5 atm
- **ง.** 1.0 atm

ข้อ 17 ★★☆☆☆

แก๊สออกซิเจน ($\mathrm{O_2}$) มวล 8.0 g ที่ความดัน 1.0 atm อุณหภูมิ 27 °C มีปริมาตรกี่ลิตร (กำหนด O = 16, R = 0.082 L·atm/(mol·K))

- **ก.** 6.15 L
- **ข.** 5.60 L
- **ค.** 0.55 L
- **ง.** 12.3 L

ข้อ 18 ★★★☆☆

แก๊สบริสุทธิ์ชนิดหนึ่งมีความหนาแน่น 2.0 g/L ที่ความดัน 0.82 atm อุณหภูมิ 127 °C แก๊สนี้ควรเป็นแก๊สใด (กำหนด C = 12, N = 14, O = 16, S = 32, R = 0.082 L·atm/(mol·K))

ก. CO_2
ข. SO_2
ค. SO_3
ง. NO_2

ข้อ 19 ★★★☆☆

หยดน้ำ 0.90 g ลงในภาชนะสุญญากาศปริมาตรคงที่ 1.0 L แล้วให้ความร้อนจนอุณหภูมิเป็น 127 °C ซึ่งน้ำกลายเป็นไอทั้งหมดพอดี ความดันไอน้ำในภาชนะเป็นกี่ atm (กำหนด H = 1, O = 16, R = 0.082 L·atm/(mol·K))

ก. 0.52 atm
ข. 1.12 atm
ค. 29.5 atm
ง. 1.64 atm

ข้อ 20 ★★★☆☆

ยางรถยนต์คันหนึ่งมีปริมาตรภายใน 10.0 L บรรจุแก๊สอยู่ 0.40 mol ที่อุณหภูมิ 27°C ต้องการสูบลมเพิ่มให้ความดันในยางเป็น 3.0 atm ที่อุณหภูมิเดียวกัน ต้องสูบแก๊สเพิ่มอีกกี่โมล (กำหนด R = 0.082 L·atm/(mol·K))

ก. 0.82 mol
ข. 1.22 mol
ค. 13.15 mol
ง. 1.62 mol

ข้อ 21 ★★★☆☆

แก๊สจำนวนหนึ่งมีปริมาตร 3.0 L ที่ความดัน 1.2 atm อุณหภูมิ 27 °C เมื่อเปลี่ยนสภาวะเป็นความดัน 0.9 atm อุณหภูมิ 127 °C แก๊สจะมีปริมาตรประมาณกี่ลิตร

ก. 3.00 L
ข. 1.69 L
ค. 18.8 L
ง. 5.33 L

ข้อ 22 ★★★☆☆

แก๊สชนิดหนึ่งมวล 0.80 g มีปริมาตร 0.492 L ที่ความดัน 1.0 atm อุณหภูมิ 27 °C มวลโมลาร์ของแก๊สนี้มีค่าประมาณกี่กรัมต่อโมล (กำหนด R = 0.0821 L·atm/(mol·K))

ก. 36 g/mol
ข. 3.6 g/mol
ค. 40 g/mol
ง. 20 g/mol

ข้อ 23 ★★★☆☆

ความหนาแน่นของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ที่ความดัน 2.0 atm อุณหภูมิ 27 °C มีค่าประมาณกี่กรัมต่อลิตร (กำหนด C = 12, O = 16, R = 0.0821 L·atm/(mol·K))

ก. 1.96 g/L
ข. 3.57 g/L
ค. 1.79 g/L
ง. 7.15 g/L

ข้อ 24 ★★★★☆

ถังโลหะปริมาตรคงที่บรรจุแก๊สอุดมคติชนิดหนึ่งที่ความดัน 5.0 atm อุณหภูมิ 27 °C ต่อมาวาล์วชำรุดทำให้แก๊สรั่วออกไป 20% ของจำนวนโมลเดิม และขณะเดียวกันอุณหภูมิของถังสูงขึ้นเป็น 87 °C ความดันในถังขณะนี้เป็นกี่ atm

ก. 4.8 atm
ข. 6.0 atm
ค. 4.0 atm
ง. 12.9 atm

ข้อ 25 ★★★★☆

ฟองแก๊สจากก้นทะเลสาบลึกแห่งหนึ่งมีปริมาตร 2.0 mL ที่ความดัน 3.0 atm อุณหภูมิ 7°C เมื่อฟองลอยขึ้นถึงผิวน้ำ ซึ่งความดันลดลงเหลือ 1.0 atm และอุณหภูมิเพิ่มขึ้นเป็น 27°C ปริมาตรของฟองแก๊สที่ผิวน้ำเป็นเท่าใด

ก. 6.43 mL
ข. 6.0 mL
ค. 2.14 mL
ง. 0.71 mL

ข้อ 26 ★★★★☆

บอลลูนอากาศร้อนลำหนึ่งมีปริมาตร 2000 m^3 อากาศภายนอกที่อุณหภูมิ 27°C มีความหนาแน่น 1.20 kg/m^3 ถ้าให้ความร้อนอากาศภายในบอลลูนจนมีอุณหภูมิ 87°C ที่ความดันเดียวกับบรรยากาศภายนอกตลอดเวลา (อากาศภายในกับภายนอกเป็นสารเดียวกัน) มวลบรรทุกสูงสุด (payload ไม่รวมมวลของตัวบอลลูนเอง) ที่บอลลูนนี้ยกได้เท่ากับผลต่างมวลอากาศเย็นกับอากาศร้อนที่ปริมาตรเท่ากัน จงหามวลบรรทุกสูงสุดนี้

ก. 400 kg
ข. 2400 kg
ค. 2000 kg
ง. 480 kg

ข้อ 27 ★★★★☆

คนคนหนึ่งหายใจเข้าครั้งละ 500 mL ที่อุณหภูมิร่างกาย 37°C ความดัน 1.0 atm ถ้าอัตราการหายใจเฉลี่ย 20 ครั้งต่อนาที มวลรวมของอากาศที่หายใจเข้าในเวลา 1 นาทีเป็นกี่กรัม (กำหนดมวลโมลาร์เฉลี่ยของอากาศ = 29 g/mol, R = 0.082 L·atm/(mol·K))

ก. 11.4 g
ข. 0.57 g
ค. 95.6 g
ง. 12.6 g

ข้อ 28 ★★★★★

ภาชนะ A ปริมาตร 2.0 L บรรจุแก๊สฮีเลียมความดัน 3.0 atm และภาชนะ B ปริมาตร 3.0 L บรรจุแก๊สฮีเลียมความดัน 0.5 atm ทั้งสองใบอยู่ที่ 27 °C เชื่อมกันด้วยท่อเล็กที่มีวาล์วปิดอยู่ (ปริมาตรท่อตัดทิ้งได้) เมื่อเปิดวาล์วให้แก๊สผสมกันจนทั่ว แล้วให้ความร้อนทั้งระบบจนอุณหภูมิเป็น 127 °C ความดันสุดท้ายของระบบเป็นกี่ atm

ก. 1.5 atm
ข. 1.6 atm
ค. 2.0 atm
ง. 2.3 atm

ข้อ 29 ★★★★★

แก๊สผสมระหว่าง He กับ $\mathrm{CH_4}$ มีความหนาแน่น 0.25 g/L ที่ความดัน 0.82 atm อุณหภูมิ 127 °C ร้อยละโดยโมลของ He ในแก๊สผสมนี้เป็นเท่าใด (กำหนด H = 1, He = 4, C = 12, R = 0.082 L·atm/(mol·K))

ก. 25%

ข. 40%

ค. 50%

ง. 75%

5 กฎความดันย่อยของดอลตันและเก็บแก๊สเหนือน้ำ

9. กฎความดันย่อยของดอลตัน: แก๊สผสมก็แค่บวกกัน

แก๊สอุดมคติไม่สนใจกันและกัน — แก๊สแต่ละชนิดในภาชนะเดียวกันจึงออกความดันของตัวเองเหมือนอยู่ตัวเดียว ความดันรวมคือผลบวกของ**ความดันย่อย** (partial pressure) ทุกตัว:

$$P_{\text{total}} = P_A + P_B + P_C + \cdots$$

และความดันย่อยของแต่ละแก๊สคิดจาก**เศษส่วนโมล** $X_A = \frac{n_A}{n_{\text{total}}}$:

$$P_A = X_A \cdot P_{\text{total}}$$

ตัวอย่างที่ 10 — ผสมแก๊ส $\mathrm{N_2}$ 2 mol กับ $\mathrm{O_2}$ 3 mol ในถังเดียวกัน ความดันรวม 10 atm จงหาความดันย่อยของแต่ละแก๊ส

วิธีทำ: โมลรวม = 5 mol

$$P_{\mathrm{N_2}} = \frac{2}{5} \times 10 \text{ atm} = 4 \text{ atm}, \qquad P_{\mathrm{O_2}} = \frac{3}{5} \times 10 \text{ atm} = 6 \text{ atm}$$

เช็ก: $4 + 6 = 10$ atm ✓

9.1 เก็บแก๊สเหนือน้ำ — โจทย์บังคับของหมวดนี้

เวลาทดลองเก็บแก๊สโดยแทนที่น้ำ (เช่น เก็บ $\mathrm{H_2}$ จากปฏิกิริยาโลหะกับกรด) แก๊สที่ได้จะ**เปียก** คือมีไอน้ำปนอยู่เสมอ ดังนั้น:

$$P_{\text{atm}} = P_{\text{gas}} + P_{\mathrm{H_2O}}$$

ต้องหักความดันไอน้ำออกก่อน จึงจะได้ความดันของแก๊สจริงๆ ไปเข้าสูตร $PV = nRT$ (ค่าความดันไอน้ำขึ้นกับอุณหภูมิ โจทย์จะกำหนดมาให้เสมอ)

ตัวอย่างที่ 11 — เก็บแก๊ส $\mathrm{H_2}$ เหนือน้ำได้ปริมาตร 500 mL ที่ 25°C ความดันบรรยากาศ 760 mmHg กำหนดความดันไอน้ำที่ 25°C = 24 mmHg จงหาจำนวนโมลและมวลของ $\mathrm{H_2}$

วิธีทำ:

ขั้นที่ 1 — หักไอน้ำออก:

$$P_{\mathrm{H_2}} = 760 - 24 = 736 \text{ mmHg} = \frac{736}{760} \text{ atm} \approx 0.968 \text{ atm}$$

ขั้นที่ 2 — เข้าสูตร $PV = nRT$ ด้วย $V = 0.500$ L, $T = 25 + 273 = 298$ K:

$$n = \frac{PV}{RT} = \frac{0.968\,\cancel{\text{atm}} \times 0.500\,\cancel{\text{L}}}{0.0821\,\frac{\cancel{\text{L}}\cdot\cancel{\text{atm}}}{\text{mol}\cdot\cancel{\text{K}}} \times 298\,\cancel{\text{K}}} \approx 0.0198 \text{ mol}$$

ขั้นที่ 3 — แปลงเป็นมวล ($M_{\mathrm{H_2}} = 2$ g/mol):

$$m = 0.0198\,\cancel{\text{mol}} \times 2 \text{ g}/\cancel{\text{mol}} \approx 0.0396 \text{ g}$$

ถ้าลืมหักไอน้ำ จะได้โมลเกินจริง — และข้อสอบมักมีตัวเลือกหลอกที่คำนวณจาก 760 mmHg รอดักไว้พอดี

✏️ ฝึกทันที 9 ข้อ (ง่าย→ยาก)

ข้อ 30 ★☆☆☆☆

กล่องปิดใบหนึ่งบรรจุอนุภาคแก๊ส A จำนวน 6 อนุภาค และอนุภาคแก๊ส B จำนวน 4 อนุภาค ผสมกันโดยไม่ทำปฏิกิริยา วัดความดันรวมได้ 2.5 atm ความดันย่อยของแก๊ส B เป็นเท่าใด

ก. 1.0 atm
ข. 1.5 atm
ค. 0.4 atm
ง. 2.5 atm

ข้อ 31 ★☆☆☆☆

ถังใบหนึ่งบรรจุแก๊สผสมที่ไม่ทำปฏิกิริยากัน 3 ชนิด วัดความดันรวมได้ 1.2 atm ถ้าความดันย่อยของ He เท่ากับ 0.4 atm และของ $\mathrm{N_2}$ เท่ากับ 0.3 atm ความดันย่อยของแก๊สชนิดที่สามเป็นกี่ atm

ก. 0.7 atm
ข. 1.9 atm
ค. 0.5 atm
ง. 0.35 atm

ข้อ 32 ★★☆☆☆

บรรจุแก๊ส $\mathrm{N_2}$ 2.0 mol และแก๊ส $\mathrm{O_2}$ 3.0 mol ในถังเดียวกันโดยไม่เกิดปฏิกิริยา วัดความดันรวมได้ 2.0 atm ความดันย่อยของแก๊ส $\mathrm{N_2}$ เป็นกี่ atm

ก. 0.8 atm
ข. 1.2 atm
ค. 0.4 atm
ง. 1.0 atm

ข้อ 33 ★★★☆☆

ภาชนะปริมาตร 5.0 L บรรจุแก๊สผสมระหว่าง N_2 กับ Ar ที่อุณหภูมิ 27°C วัดความดันรวมได้ 2.05 atm ถ้าทราบว่ามี N_2 อยู่ 0.10 mol แก๊ส Ar ในภาชนะมีจำนวนกี่โมล (กำหนด R = 0.082 L·atm/(mol·K))

ก. 0.32 mol
ข. 0.42 mol
ค. 4.53 mol
ง. 0.16 mol

ข้อ 34 ★★★☆☆

ภาชนะ A ปริมาตร 4.0 L บรรจุแก๊ส CO_2 ความดัน 3.0 atm และภาชนะ B ปริมาตร 6.0 L บรรจุแก๊ส N_2 ความดัน 1.0 atm ที่อุณหภูมิเดียวกัน เมื่อเปิดวาล์วเชื่อมสองภาชนะให้แก๊สทั้งสองผสมกันทั่ว โดยรักษาอุณหภูมิให้คงที่ตลอด เศษส่วนโมลของ CO_2 ในแก๊สผสมสุดท้ายเป็นเท่าใด

ก. 0.667 (2/3)
ข. 0.5
ค. 0.75
ง. 0.333 (1/3)

ข้อ 35 ★★★☆☆

ภาชนะปิดใบหนึ่งบรรจุแก๊ส He, Ne และ Ar จำนวนโมลเริ่มต้นเท่ากัน มีรูรั่วเล็กมากให้แก๊สค่อยๆ แพร่ออกสู่บรรยากาศ หลังผ่านไประยะเวลาหนึ่ง ความดันย่อยของแก๊สทั้งสามชนิดที่เหลืออยู่ในภาชนะเรียงจากมากไปน้อยเป็นอย่างไร (กำหนด He = 4, Ne = 20, Ar = 40)

ก. $Ar > Ne > He$

ข. $He > Ne > Ar$

ค. $Ne > Ar > He$

ง. เท่ากันทั้งสามชนิด เพราะเริ่มต้นด้วยโมลเท่ากัน

ข้อ 36 ★★★☆☆

บรรจุแก๊ส CH_4 8 g และแก๊ส O_2 8 g ในถังใบเดียวกันโดยไม่เกิดปฏิกิริยา วัดความดันรวมได้ 1.2 atm ความดันย่อยของแก๊ส O_2 เท่ากับกี่ atm (กำหนด H = 1, C = 12, O = 16)

ก. 0.3 atm

ข. 0.6 atm

ค. 0.8 atm

ง. 0.4 atm

ข้อ 37 ★★★★☆

เก็บแก๊ส O_2 ด้วยวิธีแทนที่น้ำ ได้แก๊สปริมาตร 500 mL ที่ 27 °C ความดันบรรยากาศ 760 mmHg กำหนดความดันไอของน้ำที่ 27 °C = 27 mmHg แก๊ส O_2 แห้งนี้จะมีปริมาตรประมาณกี่มิลลิลิตรที่ STP (0 °C, 760 mmHg)

ก. 439 mL

ข. 455 mL

ค. 482 mL

ง. 530 mL

ข้อ 38 ★★★★★

ภาชนะ A ปริมาตร 2.0 L บรรจุแก๊ส CH_4 ความดัน 2.4 atm และภาชนะ B ปริมาตร 3.0 L บรรจุแก๊ส He ความดัน 1.6 atm ทั้งสองใบอยู่ที่ 27 °C เชื่อมถึงกันด้วยวาล์ว (ปริมาตรท่อตัดทิ้งได้ แก๊สไม่ทำปฏิกิริยากัน) เมื่อเปิดวาล์วให้แก๊สผสมกันทั่วแล้วให้ความร้อนทั้งระบบจนเป็น 127 °C ความดันย่อยของแก๊ส He ในระบบเป็นกี่ atm

ก. 0.96 atm

ข. 1.92 atm

ค. 2.56 atm

ง. 1.28 atm

6 กฎการแพร่ของแกรห์มและทฤษฎีจลน์ของแก๊ส

10. กฎการแพร่ของแกรห์ม (Graham's Law): เบากว่า วิ่งไวกว่า

ที่อุณหภูมิเดียวกัน แก๊สทุกชนิดมีพลังงานจลน์เฉลี่ยเท่ากัน ดังนั้นโมเลกุลเบาต้องวิ่งเร็วกว่าเพื่อชดเชยมวลที่น้อยกว่า อัตราการแพร่ (diffusion) หรือการแพร่ผ่านรูเล็ก (effusion) จึงแปรผกผันกับรากที่สองของมวลโมลาร์:

$$\frac{r_1}{r_2} = \sqrt{\frac{M_2}{M_1}}$$

จุดสังเกตกันงง: ตัวห้อยสลับข้างกัน — แก๊ส 1 อยู่บนฝั่งซ้าย แต่ M_2 อยู่บนฝั่งขวา และถ้าโจทย์ให้**เวลา**แทนอัตรา จำไว้ว่าเวลาแปรผกผันกับอัตรา:

$$\frac{t_1}{t_2} = \frac{r_2}{r_1} = \sqrt{\frac{M_1}{M_2}}$$

ตัวอย่างที่ 12 — แก๊ส X แพร่ผ่านรูเล็กด้วยอัตราเป็นครึ่งหนึ่งของแก๊ส CH_4 ที่สภาวะเดียวกัน จงหามวลโมลาร์ของ X

วิธีทำ: $M_{CH_4} = 16$ g/mol และ $\frac{r_X}{r_{CH_4}} = \frac{1}{2}$

$$\frac{r_X}{r_{CH_4}} = \sqrt{\frac{M_{CH_4}}{M_X}} \quad \Rightarrow \quad \frac{1}{2} = \sqrt{\frac{16}{M_X}}$$

ยกกำลังสองทั้งสองข้าง: $\frac{1}{4} = \frac{16}{M_X}$ ดังนั้น $M_X = 64$ g/mol (น่าจะเป็น SO_2: $32 + 2 \times 16 = 64$)

เช็กทิศทาง: X แพร่ช้ากว่า → X ต้องหนักกว่า ($64 > 16$) ✓

11. ทฤษฎีจลน์ของแก๊ส และแก๊สจริง vs แก๊สอุดมคติ

11.1 สมมติฐาน 5 ข้อของทฤษฎีจลน์ (KMT)

ทุกกฎที่เรียนมาข้างบน อธิบายได้จากแบบจำลองเดียว — ทฤษฎีจลน์ของแก๊ส ซึ่งตั้งสมมติฐานว่า:

1. แก๊สประกอบด้วยอนุภาคจำนวนมหาศาลที่**มีขนาดเล็กมากจนถือว่าปริมาตรเป็นศูนย์** เทียบกับภาชนะ
2. อนุภาคเคลื่อนที่**เป็นเส้นตรงระหว่างการชนแต่ละครั้ง ในทิศทางสุ่ม** (แนวการเคลื่อนที่เปลี่ยนเมื่อชนกันเองหรือชนผนัง)
3. การชนกันเองและชนผนังเป็นการ**ชนแบบยืดหยุ่นสมบูรณ์** (พลังงานจลน์รวมไม่สูญหาย)
4. **ไม่มีแรงดึงดูดหรือแรงผลักระหว่างอนุภาค**
5. พลังงานจลน์เฉลี่ยแปรผันตรงกับ**อุณหภูมิเคลวิน**เท่านั้น — ไม่ขึ้นกับชนิดแก๊ส

ข้อ 5 คือหัวใจ: ที่อุณหภูมิเดียวกัน He กับ SO_2 มีพลังงานจลน์เฉลี่ย**เท่ากัน** แต่ความเร็วเฉลี่ยไม่เท่ากัน โดยอัตราเร็ว rms เป็นไปตาม

$$u_{\text{rms}} \propto \sqrt{\frac{T}{M}}$$

ตัวอย่างที่ 13 — ที่อุณหภูมิเดียวกัน โมเลกุล He (M = 4) เคลื่อนที่เร็วเป็นกี่เท่าของโมเลกุล CH_4 (M = 16)

วิธีทำ: อุณหภูมิเท่ากัน ตัด T ทิ้งได้:

$$\frac{u_{\mathrm{He}}}{u_{\mathrm{CH_4}}} = \sqrt{\frac{M_{\mathrm{CH_4}}}{M_{\mathrm{He}}}} = \sqrt{\frac{16}{4}} = 2$$

He เร็วกว่า 2 เท่า — เบากว่า 4 เท่า แต่เร็วกว่าแค่ 2 เท่า เพราะอยู่ใต้รากที่สอง

11.2 แก๊สจริงเบี่ยงเบนจากอุดมคติเมื่อใด

แก๊สจริงไม่ได้ทำตามสมมติฐานข้อ 1 กับข้อ 4 เป๊ะๆ — โมเลกุลจริงมีปริมาตรและมีแรงดึงดูดระหว่างกัน แต่ปกติผลทั้งสองเล็กจนมองข้ามได้ ยกเว้นสองสภาวะนี้:

สภาวะ	สมมติฐานที่พัง	ผลที่เกิด
ความดันสูงมาก	ปริมาตรโมเลกุลไม่ใช่ศูนย์อีกต่อไป (โมเลกุลถูกอัดชิดกัน)	V จริงมากกว่าที่อุดมคติทำนาย
อุณหภูมิต่ำมาก	แรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลเริ่มมีผล (โมเลกุลวิ่งช้า ดึงกันติด)	P จริงน้อยกว่าที่อุดมคติทำนาย

สรุปเป็นประโยคเดียวที่ใช้ตอบข้อสอบได้เลย: **แก๊สจริงเข้าใกล้อุดมคติเมื่อความดันต่ำและอุณหภูมิสูง** และแก๊สที่โมเลกุลเล็ก ไม่มีขั้ว (เช่น He, H_2) ประพฤติตัวใกล้อุดมคติที่สุด ส่วนแก๊สโมเลกุลใหญ่หรือมีขั้ว (เช่น NH_3, SO_2, ไอน้ำ) เบี่ยงเบนมากที่สุด

✏️ ฝึกทันที 12 ข้อ (ง่าย→ยาก)

ข้อ 39 ★☆☆☆☆

ที่อุณหภูมิและความดันเดียวกัน แก๊สในข้อใดแพร่ได้เร็วที่สุด (กำหนด H = 1, He = 4, C = 12, N = 14, O = 16)

ก. CO_2
ข. He
ค. N_2
ง. CH_4

ข้อ 40 ★★☆☆☆

พิจารณาข้อความต่อไปนี้เกี่ยวกับแก๊สจริงและแก๊สอุดมคติ
(ก) ที่ความดันต่ำมากและอุณหภูมิสูง แก๊สจริงมีพฤติกรรมใกล้เคียงแก๊สอุดมคติ เพราะปริมาตรของโมเลกุลตัดทิ้งได้และแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลมีผลน้อย (ข) ที่อุณหภูมิและความดันเดียวกัน แก๊ส He เบี่ยงเบนจากแก๊สอุดมคติน้อยกว่าแก๊ส NH_3 (ค) ถ้าลดอุณหภูมิให้ต่ำพอและอัดความดันให้สูงพอ แก๊สอุดมคติจะควบแน่นเป็นของเหลวได้เช่นเดียวกับแก๊สจริง
ข้อความใดถูกต้อง

ก. (ก) และ (ข)
ข. (ก) เท่านั้น
ค. (ข) และ (ค)
ง. ทั้ง (ก) (ข) และ (ค)

ข้อ 41 ★★☆☆☆

พิจารณาข้อความเกี่ยวกับทฤษฎีจลน์ของแก๊สต่อไปนี้

(ก) ที่อุณหภูมิเดียวกัน แก๊สทุกชนิดมีอัตราการชนผนังภาชนะต่อวินาทีเท่ากัน (ข) แก๊สที่มีความเร็วเฉลี่ยของโมเลกุลสูงกว่า จะชนผนังภาชนะบ่อยกว่าและแรงกว่า ทำให้เกิดความดันมากกว่า ถ้าปัจจัยอื่นเหมือนกันทุกประการ (ค) การเพิ่มอุณหภูมิทำให้พลังงานจลน์เฉลี่ยของโมเลกุลเพิ่มขึ้น แต่ความถี่การชนผนังภาชนะไม่เปลี่ยนแปลง

ข้อความใดถูกต้อง

ก. (ข) เท่านั้น

ข. (ก) และ (ข)

ค. (ก) (ข) และ (ค)

ง. (ค) เท่านั้น

ข้อ 42 ★★☆☆☆

แก๊สจริงมีพฤติกรรมเบี่ยงเบนไปจากแก๊สอุดมคติมากที่สุดที่สภาวะใด

ก. ความดันต่ำ อุณหภูมิสูง

ข. ความดันสูง อุณหภูมิต่ำ

ค. ความดันต่ำ อุณหภูมิต่ำ

ง. ความดันสูง อุณหภูมิสูง

ข้อ 43 ★★★☆☆

ฉีดแก๊ส CH_4 และแก๊ส SO_2 พร้อมกันที่ปลายทั้งสองข้างของหลอดแก้วตรงยาว 90 cm ซึ่งอุณหภูมิและความดันสม่ำเสมอตลอดหลอด ถ้าสมมุติว่าตรวจจับตำแหน่งที่แก๊สทั้งสองพบกันได้ แก๊สทั้งสองจะพบกันที่ตำแหน่งห่างจากปลายด้าน CH_4 กี่เซนติเมตร (กำหนด H = 1, C = 12, O = 16, S = 32)

ก. 45 cm

ข. 30 cm

ค. 72 cm

ง. 60 cm

ข้อ 44 ★★★☆☆

พิจารณาข้อความต่อไปนี้ตามทฤษฎีจลน์ของแก๊ส เมื่อบรรจุแก๊ส He และแก๊ส CH_4 ไว้ในภาชนะคนละใบที่อุณหภูมิเดียวกัน (ก) โมเลกุลของแก๊สทั้งสองมีพลังงานจลน์เฉลี่ยเท่ากัน (ข) โมเลกุลของแก๊สทั้งสองมีอัตราเร็วเฉลี่ยเท่ากัน (ค) ถ้าเพิ่มอุณหภูมิของแก๊ส He ให้สูงขึ้น เส้นโค้งการกระจายอัตราเร็วโมเลกุลจะแผ่กว้างขึ้น ยอดโค้งเตี้ยลง และอัตราเร็วที่พบมากที่สุดมีค่าสูงขึ้น

ข้อความใดถูกต้อง (กำหนด H = 1, He = 4, C = 12)

ก. (ก) เท่านั้น

ข. (ก) และ (ข)

ค. (ก) และ (ค)

ง. (ข) และ (ค)

ข้อ 45 ★★★☆☆

พิจารณาข้อความเกี่ยวกับสมบัติของแก๊สต่อไปนี้

(ก) แก๊สที่ถูกทำให้เป็นของเหลวได้ง่าย มักมีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลแรงกว่าแก๊สที่ทำให้เป็นของเหลวได้ยาก (ข) ที่อุณหภูมิหนึ่ง โมเลกุลของแก๊สทุกโมเลกุลในภาชนะมีความเร็วเท่ากันพอดี (ค) การเพิ่มความดันช่วยให้แก๊สควบแน่นเป็นของเหลวได้ง่ายขึ้น เพราะโมเลกุลถูกบีบให้อยู่ใกล้กันจนแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลมีผลชัดเจนขึ้น

ข้อความใดถูกต้อง

ก. (ก) และ (ค)

ข. (ก) (ข) และ (ค)

ค. (ข) และ (ค)

ง. (ก) เท่านั้น

ข้อ 46 ★★★☆☆

ที่อุณหภูมิและความดันเดียวกัน บรรจุแก๊ส D_2 (ดิวเทอเรียม มวลอะตอมเป็น 2 เท่าของไฮโดรเจนธรรมดา) และแก๊ส H_2 แยกภาชนะปริมาตรเท่ากัน ข้อใดกล่าวถูกต้อง (กำหนดมวลอะตอม H = 1)

ก. D_2 มีความหนาแน่นเป็น 2 เท่าของ H_2 และแพร่ผ่านรูรั่วได้ช้ากว่า H_2 ประมาณ 1.41 เท่า

ข. D_2 มีความหนาแน่นเท่ากับ H_2 เพราะเป็นไฮโดรเจนเหมือนกัน

ค. D_2 มีความหนาแน่นเป็น 4 เท่าของ H_2 และแพร่ช้ากว่า 2 เท่า

ง. D_2 เบากว่า H_2 จึงแพร่เร็วกว่า

ข้อ 47 ★★★☆☆

ที่อุณหภูมิและความดันเดียวกัน แก๊ส A และแก๊ส B มีความหนาแน่น 1.43 g/L และ 2.86 g/L ตามลำดับ อัตราการแพร่ของแก๊ส A เป็นกี่เท่าของแก๊ส B

ก. 1.41 เท่า

ข. 2.00 เท่า

ค. 0.50 เท่า

ง. 0.71 เท่า

ข้อ 48 ★★★☆☆

แก๊ส O_2 ปริมาตรหนึ่งแพร่ผ่านรูพรุนเล็ก ๆ จนหมดใช้เวลา 50 วินาที ถ้าแก๊ส X ปริมาตรเท่ากัน ที่อุณหภูมิและความดันเดียวกัน ใช้เวลา 100 วินาที มวลโมลาร์ของแก๊ส X เท่ากับกี่กรัมต่อโมล (กำหนด O = 16)

ก. 64 g/mol

ข. 16 g/mol

ค. 128 g/mol

ง. 8 g/mol

ข้อ 49 ★★★★☆

แก๊ส X มีความหนาแน่นเป็น 2 เท่าของแก๊ส N_2 เมื่อวัดที่อุณหภูมิและความดันเดียวกัน ถ้าแก๊ส N_2 ปริมาตรหนึ่งแพร่ผ่านรูพรุนจนหมดใช้เวลา 60 วินาที แก๊ส X ปริมาตรเท่ากันที่สภาวะเดียวกันจะใช้เวลาประมาณกี่วินาที (กำหนด N = 14)

ก. 30 วินาที

ข. 42 วินาที

ค. 120 วินาที

ง. 85 วินาที

ข้อ 50 ★★★★★

ถังใบหนึ่งบรรจุแก๊ส H_2 และแก๊ส O_2 จำนวนโมลเท่ากันที่อุณหภูมิคงที่ ผนังถังมีรูเล็กมากรูหนึ่งให้แก๊สค่อย ๆ รั่วออกสู่สุญญากาศ ในช่วงแรกสุดของการรั่ว อัตราส่วนโดยโมลของ H_2 ต่อ O_2 ในแก๊สที่รั่วออกมาเป็นเท่าใด และแก๊สที่รั่วออกมาช่วงแรกนี้มี H_2 อยู่ร้อยละเท่าใดโดยโมล (กำหนด H = 1, O = 16)

ก. 16 : 1 และ 94%

ข. 4 : 1 และ 80%

ค. 1 : 4 และ 20%

ง. 2 : 1 และ 67%

7 สโตอิจิโอเมตรีของแก๊ส

12. สโตอิจิโอเมตรีของแก๊ส: ผูกปฏิกิริยาเข้ากับปริมาตร

หัวข้อนี้คือการเอาความรู้บทปริมาณสารสัมพันธ์มาเชื่อมกับแก๊ส เส้นทางคิดมีเส้นเดียว:

$$\text{mass / volume} \rightarrow \text{mol} \rightarrow \text{mole ratio} \rightarrow \text{mol} \rightarrow \text{mass / volume}$$

เครื่องมือแปลงโมล ↔ ปริมาตรมี 2 ชิ้น: ที่ STP ใช้ $V = n \times 22.4$ L ส่วนสภาวะอื่นใช้ $PV = nRT$

ตัวอย่างที่ 14 — เผา $CaCO_3$ 25 g จนสลายตัวหมดตามสมการ $CaCO_3 \rightarrow CaO + CO_2$ จะได้แก๊ส CO_2 กี่ลิตรที่ STP

วิธีทำ: $M_{CaCO_3} = 40 + 12 + 3 \times 16 = 100$ g/mol

ขั้นที่ 1 — มวลเป็นโมล:

$$n_{CaCO_3} = \frac{25\ \cancel{g}}{100\ \cancel{g}/\text{mol}} = 0.25\ \text{mol}$$

ขั้นที่ 2 — อัตราส่วนโมลจากสมการคือ 1 : 1 ดังนั้น $n_{CO_2} = 0.25$ mol

ขั้นที่ 3 — โมลเป็นปริมาตรที่ STP:

$$V_{CO_2} = 0.25\ \cancel{\text{mol}} \times 22.4\ \text{L}/\cancel{\text{mol}} = 5.6\ \text{L}$$

ตัวอย่างที่ 15 (ทางลัดปริมาตรต่อปริมาตร) — แก๊ส H_2 6 L ทำปฏิกิริยากับ N_2 ที่มากเกินพอตามสมการ $N_2 + 3H_2 \rightarrow 2NH_3$ ที่อุณหภูมิและความดันเดียวกัน จะได้ NH_3 กี่ลิตร

วิธีทำ: ที่ T, P เดียวกัน อัตราส่วนปริมาตรของแก๊ส = อัตราส่วนโมล (กฎการรวมปริมาตรของเกย์-ลูสแซก) — **ไม่ต้องแปลงเป็นโมลเลย**:

$$V_{NH_3} = 6\ \text{L} \times \frac{2}{3} = 4\ \text{L}$$

ทางลัดนี้ใช้ได้**เฉพาะแก๊สกับแก๊สที่สภาวะเดียวกันเท่านั้น** ห้ามใช้กับของแข็งหรือของเหลวเด็ดขาด

✏️ ฝึกทันที 10 ข้อ (ง่าย→ยาก)

ข้อ 51 ★☆☆☆☆

แก๊สไนโตรเจนทำปฏิกิริยากับแก๊สไฮโดรเจนตามสมการ $N_2(g) + 3H_2(g) \rightarrow 2NH_3(g)$ ถ้าใช้แก๊ส H_2 6.0 L ทำปฏิกิริยาจนหมดพอดี จะได้แก๊ส NH_3 กี่ลิตร เมื่อวัดปริมาตรทุกค่าที่อุณหภูมิและความดันเดียวกัน

ก. 2.0 L

ข. 9.0 L

ค. 4.0 L

ง. 6.0 L

ข้อ 52 ★★☆☆☆

แก๊สโพรเพน (C_3H_8) เผาไหม้สมบูรณ์กับแก๊ส O_2 ตามสมการ $C_3H_8 + 5O_2 \rightarrow 3CO_2 + 4H_2O$ ถ้าใช้ C_3H_8 2.2 g จะต้องใช้แก๊ส O_2 กี่ลิตรที่ STP (กำหนด C = 12, H = 1, ที่ STP แก๊ส 1 โมล = 22.4 L)

ก. 5.6 L

ข. 1.12 L

ค. 3.36 L

ง. 246.4 L

ข้อ 53 ★★☆☆☆

เผาหินปูน ($\mathrm{CaCO_3}$) 10.0 g จนสลายตัวสมบูรณ์ตามสมการ $\mathrm{CaCO_3(s) \rightarrow CaO(s) + CO_2(g)}$ จะได้แก๊ส $\mathrm{CO_2}$ ปริมาตรกี่ลิตรที่ STP (กำหนด C = 12, O = 16, Ca = 40, ที่ STP แก๊ส 1 โมล = 22.4 L)

ก. 22.4 L

ข. 1.12 L

ค. 4.48 L

ง. 2.24 L

ข้อ 54 ★★★☆☆

แก๊ส CO_2 ที่เกิดจากการเผาไหม้สมบูรณ์ของแก๊สมีเทน (CH_4) ตามสมการ $CH_4 + 2O_2 \rightarrow CO_2 + 2H_2O$ วัดปริมาตรได้ 4.92 L ที่ความดัน 1.0 atm อุณหภูมิ 27°C มวลของ CH_4 ที่ใช้เผาไหม้เป็นกี่กรัม (กำหนด C = 12, H = 1, R = 0.082 L·atm/(mol·K))

ก. 3.2 g

ข. 3.51 g

ค. 1.6 g

ง. 35.6 g

ข้อ 55 ★★★☆☆

ใส่โลหะสังกะสี 13.0 g ลงในกรดไฮโดรคลอริกที่มากเกินพอ เกิดปฏิกิริยา $\mathrm{Zn(s) + 2HCl(aq) \rightarrow ZnCl_2(aq) + H_2(g)}$ อย่างสมบูรณ์ แก๊ส $\mathrm{H_2}$ ที่เกิดขึ้นจะมีปริมาตรกี่ลิตร เมื่อวัดที่ความดัน 0.82 atm อุณหภูมิ 27 °C (กำหนด Zn = 65, R = 0.082 L·atm/(mol·K))

ก. 6.0 L

ข. 4.48 L

ค. 12.0 L

ง. 0.54 L

ข้อ 56 ★★★★☆

ภาชนะปิดปริมาตรคงที่บรรจุแก๊ส CO ความดันย่อย 0.6 atm และแก๊ส $\mathrm{O_2}$ ความดันย่อย 0.5 atm ที่ 25 °C เมื่อจุดประกายไฟให้เกิดปฏิกิริยา $\mathrm{2CO(g) + O_2(g) \rightarrow 2CO_2(g)}$ อย่างสมบูรณ์ แล้วปล่อยให้อุณหภูมิกลับมาเป็น 25 °C เท่าเดิม ความดันรวมในภาชนะเป็นกี่ atm

ก. 1.1 atm

ข. 0.8 atm

ค. 0.6 atm

ง. 0.2 atm

ข้อ 57 ★★★★☆

ภาชนะปิดปริมาตรคงที่บรรจุแก๊ส N_2 ความดันย่อย 1.0 atm และแก๊ส H_2 ความดันย่อย 3.0 atm ที่อุณหภูมิคงที่ค่าหนึ่ง เมื่อเกิดปฏิกิริยา $N_2(g) + 3H_2(g) \rightarrow 2NH_3(g)$ จนกระทั่ง N_2 ทำปฏิกิริยาไปเพียง 40% ของที่มีอยู่เดิม ความดันรวมในภาชนะขณะนั้นเป็นกี่ atm

ก. 4.0 atm

ข. 3.2 atm

ค. 2.0 atm

ง. 2.4 atm

ข้อ 58 ★★★★☆

จุดประกายไฟให้แก๊ส H_2 4 g ทำปฏิกิริยากับแก๊ส O_2 16 g จนสมบูรณ์ตามสมการ $2H_2(g) + O_2(g) \rightarrow 2H_2O(l)$ เมื่อปฏิกิริยาสิ้นสุดและวัดที่ STP แก๊สที่เหลืออยู่จะมีปริมาตรกี่ลิตร (กำหนด H = 1, O = 16, ที่ STP แก๊ส 1 โมล = 22.4 L)

ก. 11.2 L

ข. 44.8 L

ค. 33.6 L

ง. 22.4 L

ข้อ 59 ★★★★★

แก๊ส A ทำปฏิกิริยากับแก๊ส B ในภาชนะปิดปริมาตรคงที่และอุณหภูมิคงที่ตามสมการ $aA(g) + bB(g) \rightarrow cC(g)$ เริ่มต้นมีความดันย่อยของ A เท่ากับ 0.6 atm และ B เท่ากับ 0.6 atm (ความดันรวมเริ่มต้น 1.2 atm) เมื่อปฏิกิริยาเกิดสมบูรณ์พอดี (A และ B หมดไปพร้อมกัน เหลือเฉพาะผลิตภัณฑ์ C) ความดันรวมสุดท้ายวัดได้ 0.9 atm สัดส่วน $a : b : c$ อย่างง่ายที่สุดคือข้อใด

ก. 2 : 2 : 3

ข. 1 : 1 : 1

ค. 3 : 3 : 2

ง. 1 : 1 : 2

ข้อ 60 ★★★★★

แก๊สผสมระหว่าง CH_4 และ C_2H_6 มีปริมาตรรวม 20 cm^3 เมื่อเผาไหม้อย่างสมบูรณ์กับแก๊ส O_2 ที่มากเกินพอ เกิดแก๊ส CO_2 ปริมาตร 32 cm^3 โดยปริมาตรทั้งหมดวัดที่อุณหภูมิและความดันเดียวกัน ร้อยละโดยปริมาตรของ CH_4 ในแก๊สผสมคือข้อใด

ก. 40%

ข. 60%

ค. 20%

ง. 80%

8 สรุปและจุดพลาดบ่อย

📌 สรุปสูตรและประเด็นต้องจำ

เรื่อง	สูตร	เงื่อนไข / หมายเหตุ
บารอมิเตอร์	ความสูงลำปรอทค้าง (mmHg) $= P_{\text{atm}}$	เหนือปรอทในหลอดเป็นสุญญากาศ
แมนอมิเตอร์ปลายเปิด	$P_{\text{gas}} = P_{\text{atm}} \pm \Delta h$	ปรอทฝั่งไหนต่ำกว่า ฝั่งนั้นความดันมากกว่า
แปลงหน่วยความดัน psi	$1\ \text{atm} = 14.7\ \text{psi}$	แปลงผ่าน atm เป็นตัวกลางเสมอ
กฎของบอยล์	$P_1V_1 = P_2V_2$	T, n คงที่
กฎของชาร์ล	$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$	P, n คงที่
กฎของเกย์-ลูสแซก	$\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2}$	V, n คงที่
กฎรวมแก๊ส	$\frac{P_1V_1}{T_1} = \frac{P_2V_2}{T_2}$	n คงที่ — จำตัวเดียว ตัดตัวคงที่ทิ้งได้ทุกกฎ
กฎแก๊สอุดมคติ	$PV = nRT$	สภาวะเดียว ถามตัวแปรที่ขาด
หามวลโมลาร์	$M = \frac{mRT}{PV}$	มาจาก $n = \frac{m}{M}$
ความหนาแน่นแก๊ส	$d = \frac{PM}{RT}$	ที่ STP ลัดได้: $d = \frac{M}{22.4}$ g/L
ความดันย่อย	$P_A = X_A P_{\text{total}}$	$X_A = \frac{n_A}{n_{\text{total}}}$
เก็บแก๊สเหนือน้ำ	$P_{\text{gas}} = P_{\text{atm}} - P_{\text{H}_2\text{O}}$	หักไอน้ำก่อนเข้าสูตรเสมอ
กฎของแกรห์ม	$\frac{r_1}{r_2} = \sqrt{\frac{M_2}{M_1}}$	เบากว่าแพร่เร็วกว่า; ถ้าให้เวลา เศษส่วนกลับข้าง
อัตราเร็วโมเลกุล	$u_{\text{rms}} \propto \sqrt{\frac{T}{M}}$	ที่ T เดียวกัน พลังงานจลน์เฉลี่ยเท่ากันทุกแก๊ส

ค่าคงที่	ค่า
R	$0.0821\ \text{L} \cdot \text{atm}/(\text{mol} \cdot \text{K})$
ปริมาตรโมลาร์ที่ STP	$22.4\ \text{L}/\text{mol}$ (0°C, 1 atm)
การแปลงความดัน	$1\ \text{atm} = 760\ \text{mmHg} = 101.3\ \text{kPa} = 14.7\ \text{psi}$
การแปลงอุณหภูมิ	$T(\text{K}) = t(^\circ\text{C}) + 273$
เลขอาโวกาโดร	$N_A = 6.02 \times 10^{23}\ \text{mol}^{-1}$

⚠ จุดที่เด็กพลาดบ่อย

- **สลับทิศบวก/ลบในแมนอมิเตอร์** — จำหลักเดียว: ปรอทฝั่งไหนอยู่**ต่ำกว่า** ฝั่งนั้นคือฝั่งที่ถูกดันแรงกว่า ความดันฝั่งนั้นจึงมากกว่า อย่าเดาว่าบวกหรือลบ ให้วาดภาพแล้วเทียบระดับเสมอ
- **แปลงหน่วย psi ข้ามไปหน่วยอื่นโดยตรง** — psi ไม่ใช่ atm ห้ามเอาตัวเลข psi ไปคูณ 760 หรือ 101.3 ตรงๆ ต้องแปลงเป็น atm ก่อนเสมอ (ผ่าน $1\ \mathrm{atm} = 14.7\ \mathrm{psi}$) แล้วค่อยแปลงต่อ
- **ลืมแปลงองศาเซลเซียสเป็นเคลวิน** — ตัวการเบอร์หนึ่งของทั้งบท ทุกสูตรแก๊สใช้เคลวินเท่านั้น สร้างนิสัย: อ่านโจทย์จบบวก 273 ทันทีก่อนทำอะไรทั้งสิ้น
- **หน่วยไม่เข้าชุดกับ R** — ใช้ $R = 0.0821$ แล้วเผลอแทน V เป็น mL หรือ P เป็น mmHg วิธีเลี่ยง: เขียนหน่วยทุกตัวแล้วตัดหน่วยทีละคู่ ถ้าหน่วยไม่ตัดกันจนเหลือหน่วยของคำตอบ แปลว่าแทนผิดแน่นอน
- **ลืมหักความดันไอน้ำ** ตอนเก็บแก๊สเหนือน้ำ — เห็นคำว่า "เก็บเหนือน้ำ" หรือ "แทนที่น้ำ" เมื่อไร ให้เขียน $P_{\mathrm{gas}} = P_{\mathrm{atm}} - P_{\mathrm{H_2O}}$ เป็นบรรทัดแรกของวิธีทำเสมอ
- **สลับตัวห้อยในกฎของแกรห์ม** — จำด้วยเหตุผลแทนการท่อง: แก๊สเบา (M น้อย) ต้องแพร่เร็ว ถ้าคำตอบออกมาสวนทาง แปลว่าเศษส่วนกลับหัว รีบสลับก่อนเสียคะแนน
- **โจทย์ให้เวลาแต่คิดเป็นอัตรา** — เวลาแปรผกผันกับอัตรา ($t \propto \frac{1}{r}$) แก๊สที่ใช้เวลาน้อยกว่าคือแก๊สที่แพร่เร็วกว่า อ่านโจทย์ให้ชัดว่าให้ r หรือ t
- **ใช้ 22.4 L/mol นอก STP** — เลขนี้ใช้ได้เฉพาะที่ 0°C, 1 atm เท่านั้น ถ้าโจทย์บอก 25°C หรือความดันอื่น ต้องกลับไปใช้ $PV = nRT$ สถานเดียว
- **ใช้ทางลัดอัตราส่วนปริมาตรกับสารที่ไม่ใช่แก๊ส** — อัตราส่วนปริมาตร = อัตราส่วนโมล ใช้ได้เฉพาะแก๊สต่อแก๊สที่ T, P เดียวกัน ถ้ามีของแข็ง/ของเหลวในสมการ ต้องเดินผ่านโมลเต็มรูปแบบ
- **ตอบทิศทางแก๊สจริงสลับกัน** — จำแก่นเดียว: ความดันสูง → ปริมาตรโมเลกุลโผล่ (V จริง > อุดมคติ), อุณหภูมิต่ำ → แรงดึงดูดโผล่ (P จริง < อุดมคติ) และแก๊สใกล้อุดมคติสุดคือโมเลกุลเล็ก ไม่มีขั้ว ที่ความดันต่ำ อุณหภูมิสูง
- **ไม่เช็กทิศทางคำตอบ** — ก่อนวงคำตอบ ถามตัวเองหนึ่งวินาที: บีบแล้วต้องเล็กลงไหม ร้อนแล้วต้องพองไหม การเช็กเชิงเหตุผลแบบนี้จับเลขกดเครื่องคิดเลขพลาดได้เกือบทุกครั้ง

เฉลยย่อ บทที่ 6

1. ก	2. ก	3. ก	4. ก	5. ก	6. ก	7. ก	8. ข	9. ก	10. ก	11. ก	12. ค	13. ก
14. ก	15. ข	16. ง	17. ก	18. ค	19. ง	20. ก	21. ง	22. ค	23. ข	24. ก	25. ก	26. ก
27. ก	28. ค	29. ค	30. ก	31. ค	32. ก	33. ก	34. ก	35. ก	36. ง	37. ก	38. ง	39. ข
40. ก	41. ก	42. ข	43. ง	44. ค	45. ก	46. ก	47. ก	48. ค	49. ง	50. ข	51. ค	52. ก
53. ง	54. ก	55. ก	56. ข	57. ข	58. ง	59. ก	60. ก					

เฉลยละเอียด บทที่ 6

ข้อ 1 — ตอบ ก.

เป็นสุญญากาศ; ความสูงลำปรอทบอกความดันบรรยากาศ

หลักการบารอมิเตอร์: เมื่อกลับหลอดแก้วที่เติมปรอทเต็มลงอ่างปรอทโดยไม่ให้อากาศเข้า ปรอทบางส่วนจะไหลลงมาจนเหลือค้างเป็นลำ พื้นที่ว่างที่เกิดขึ้นเหนือปรอทในหลอด**ไม่มีอากาศหรือสารใดเลย** จึงเป็น**สุญญากาศ**

เมื่อไม่มีอะไรกดจากด้านบน แรงเดียวที่ค้ำลำปรอทให้ไม่ไหลลงหมดคือความดันบรรยากาศที่กดลงบนผิวปรอทในอ่างด้านล่าง ทำให้เกิดสมดุล: **น้ำหนักของลำปรอทที่ค้างอยู่ = แรงจากความดันบรรยากาศ** ดังนั้นความสูงของลำปรอท (หน่วย mmHg) จึงเท่ากับความดันบรรยากาศ ณ ขณะนั้นโดยตรง

ที่มาของตัวลวง: ตัวเลือกที่ว่า "มีอากาศเจือปน" ขัดกับหลักการสร้างบารอมิเตอร์ที่ต้องไม่ให้อากาศเข้าหลอดเลย ส่วนตัวเลือกที่บอกว่าความสูงบอก "ความดันในอ่างปรอทที่ก้นหลอด" สับสนระหว่างตำแหน่งวัดกับสิ่งที่วัดได้ — จริงๆ ความสูงบอกความดันบรรยากาศที่กดบนผิวปรอทในอ่าง ไม่ใช่ความดัน ณ ก้นหลอด

ข้อ 2 — ตอบ ก.

10.2 m

หลักคิด: ที่ความดันเดียวกัน ของเหลวที่เบากว่าต้องใช้ความสูงมากกว่าจึงจะสร้างความดันเท่ากันได้ ตามอัตราส่วนความหนาแน่น

$$h_{\text{water}} = h_{\text{Hg}} \times \frac{d_{\text{Hg}}}{d_{\text{water}}} = h_{\text{Hg}} \times 13.6$$

1 ขั้นที่ 1: แทนค่า $h_{\text{Hg}} = 750\ \text{mmHg}$

$$h_{\text{water}} = 750\ \text{mm} \times 13.6 = 10200\ \text{mm} = 10.2\ \text{m}$$

ตรวจสอบเชิงเหตุผล: น้ำเบากว่าปรอทมาก จึงต้องใช้คอลัมน์ที่สูงกว่ามากเพื่อสร้างความดันเท่ากัน สอดคล้องกับคำตอบที่สูงถึงระดับ 10 เมตร (นี่คือเหตุผลจริงที่บารอมิเตอร์ใช้ปรอทแทนน้ำ)

ข้อควรระวัง: ตัวลวง 0.75 m คือเผลอตีความความสูง 750 mmHg เป็นความยาวหลอดโดยตรงโดยไม่คิดเรื่องความหนาแน่นเลย ตัวลวง 0.055 m มาจากการหารด้วย 13.6 แทนที่จะคูณ (สลับทิศอัตราส่วน) และ 102 m คือคำนวณถูกแต่แปลงหน่วย mm เป็น m ผิด (เผลอคิดว่า 10200 เป็นหน่วย cm)

ข้อ 3 — ตอบ ก.

790 mmHg

หลักคิด: ที่ระดับความสูงเดียวกันในของเหลวต่อเนื่องกัน ความดันต้องเท่ากันเสมอ ปรอทฝั่งใดอยู่**ต่ำกว่า** แปลว่าฝั่งนั้นถูกดันแรงกว่า ความดันฝั่งนั้นจึงมากกว่า

1 **ขั้นที่ 1:** ปรอทฝั่งแก๊สต่ำกว่าฝั่งเปิด ⟹ แก๊สมีความดันมากกว่าบรรยากาศ

$$P_{\text{gas}} = P_{\text{atm}} + \Delta h = 760 + 30 = 790 \text{ mmHg}$$

ตรวจสอบเชิงเหตุผล: แก๊สต้องออกแรงดันปรอทฝั่งตัวเองลงไปได้มากกว่าที่บรรยากาศดันฝั่งเปิด จึงเป็นไปได้ก็ต่อเมื่อความดันแก๊สมากกว่าบรรยากาศ

ข้อควรระวัง: ตัวลวง 730 mmHg คือสลับเครื่องหมายเป็นลบ (เข้าใจผิดทิศ) ตัวลวง 30 mmHg คือตอบแค่ผลต่างความสูงโดยลืมบวกกับความดันบรรยากาศ และ 760 mmHg คือเผลอคิดว่าแมนอมิเตอร์ไม่มีผลต่อค่าที่อ่าน (ลืมพิจารณาผลต่างระดับปรอทไปเลย)

ข้อ 4 — ตอบ ก.

0.75 atm

หลักคิด: เมื่อปลายหนึ่งของแมนอมิเตอร์เป็นปลายปิดที่มีสุญญากาศอยู่เหนือปรอท (เหมือนหลักการบารอมิเตอร์) ไม่มีความดันจากภายนอกมากดฝั่งนั้นเลย ผลต่างความสูงปรอทจึง**เท่ากับความดันแก๊สโดยตรง** ไม่ต้องบวกหรือลบกับความดันบรรยากาศ

1 **ขั้นที่ 1:** อ่านค่าความดันแก๊สจากผลต่างระดับปรอทโดยตรง

$$P_{\text{gas}} = 570 \text{ mmHg}$$

2 **ขั้นที่ 2:** แปลงหน่วยเป็น atm

$$P_{\text{gas}} = \frac{570}{760} \text{ atm} = 0.75 \text{ atm}$$

ข้อควรระวัง: ตัวลวง 1.33 atm คือกลับเศษส่วน $(760/570)$ ตัวลวง 0.075 atm คือพลาดตำแหน่งทศนิยม ส่วน 1.75 atm มาจากความเข้าใจผิดว่าแมนอมิเตอร์ปลายปิดยังต้องบวกกับความดันบรรยากาศ 760 mmHg เหมือนแมนอมิเตอร์ปลายเปิด ($\frac{570+760}{760}$) ซึ่งผิดหลัก เพราะปลายปิดไม่มีความดันบรรยากาศมาเกี่ยวข้องเลย

ข้อ 5 — ตอบ ก.

303.9 kPa

หลักคิด: แปลงหน่วยความดันข้ามระบบต้องผ่าน atm เป็นตัวกลางเสมอ ห้ามคูณตัวเลข psi กับอัตราแปลงของหน่วยอื่นโดยตรง

1 **ขั้นที่ 1:** แปลง psi เป็น atm

$$P = 44.1\ \cancel{\text{psi}} \times \frac{1\ \text{atm}}{14.7\ \cancel{\text{psi}}} = 3.0\ \text{atm}$$

2 **ขั้นที่ 2:** แปลง atm เป็น kPa

$$P = 3.0\ \cancel{\text{atm}} \times \frac{101.3\ \text{kPa}}{1\ \cancel{\text{atm}}} = 303.9\ \text{kPa}$$

ข้อควรระวัง: ตัวลวง 2280 kPa มาจากการแปลงเป็น atm ถูกต้อง (3.0 atm) แต่คูณด้วยอัตราแปลงของ mmHg (760) แทนที่จะเป็น kPa (101.3) โดยเผลอติดป้ายหน่วยผิด ตัวลวง 648.3 kPa คือคูณ psi ด้วย 14.7 ตรงๆ แทนที่จะหาร ส่วน 5.88 kPa คือเอา psi คูณอัตราส่วน kPa/mmHg (101.3/760) โดยข้ามขั้นตอนแปลงเป็น atm ไปเลย ซึ่งไม่มีความหมายทางหน่วย

ข้อ 6 — ตอบ ก.

13.9 psi

หลักคิด: ต้องทำสองขั้นตอนต่อกัน — (1) อ่านความดันแก๊สจากแมนอมิเตอร์เทียบกับความดันบรรยากาศที่วัดได้จริงจากบารอมิเตอร์ (2) แปลงหน่วยเป็น psi

1 **ขั้นที่ 1:** ปรอทฝั่งแก๊ส**สูงกว่า**ฝั่งเปิด ⟹ บรรยากาศดันปรอทฝั่งแก๊สขึ้นได้มากกว่า ⟹ แก๊สมีความดัน**น้อยกว่า**บรรยากาศ

$$P_{\text{gas}} = P_{\text{atm}} - \Delta h = 745 - 25 = 720\ \text{mmHg}$$

2 **ขั้นที่ 2:** แปลงหน่วยผ่าน atm เป็นตัวกลาง

$$P_{\text{gas}} = \frac{720}{760}\ \text{atm} \times 14.7\ \frac{\text{psi}}{\text{atm}} \approx 13.9\ \text{psi}$$

ตรวจสอบเชิงเหตุผล: เพราะปรอทฝั่งแก๊สสูงกว่า คำตอบต้องน้อยกว่าความดันบรรยากาศเดิม (745 mmHg ≈ 14.4 psi) ซึ่ง 13.9 < 14.4 สอดคล้องกัน

ข้อควรระวัง: ตัวลวง 14.9 psi มาจากสลับเครื่องหมาย (บวกแทนลบ Δh) ตัวลวง 0.947 psi คือคำนวณถึงขั้น atm ถูกต้องแล้วลืมคูณด้วย 14.7 ต่อ ส่วน 14.4 psi คือลืมขั้นตอนแมนอมิเตอร์ไปเลย เอาค่าบารอมิเตอร์ 745 mmHg มาแปลงหน่วยตรงๆ

ข้อ 7 — ตอบ ก.

1.0 atm

❶ **ขั้นที่ 1:** อุณหภูมิและจำนวนโมลคงที่ ใช้กฎของบอยล์

$$P_2 = \frac{P_1 V_1}{V_2} = \frac{1.5\ \text{atm} \times 4.0\,\cancel{\text{L}}}{6.0\,\cancel{\text{L}}} = 1.0\ \text{atm}$$

ตรวจสอบเชิงเหตุผล: ปริมาตรเพิ่มขึ้น (ขยายตัว) ความดันจึงต้องลดลง จาก 1.5 เป็น 1.0 atm สมเหตุสมผล

ข้อควรระวัง: ตัวลวง 2.25 atm มาจากการสลับ V_1 กับ V_2 ในสูตร ($P_1 \times V_2/V_1$) ตัวลวง 1.5 atm คือเข้าใจผิดว่าความดันไม่เปลี่ยน และ 0.67 atm มาจากการยกกำลังสองอัตราส่วนปริมาตรโดยไม่จำเป็น

ข้อ 8 — ตอบ ข.

2.4 L

❶ **ขั้นที่ 1:** อุณหภูมิคงที่และจำนวนโมลคงที่ จึงใช้กฎของบอยล์ $P_1 V_1 = P_2 V_2$

❷ **ขั้นที่ 2:** แทนค่า

$$V_2 = \frac{P_1 V_1}{P_2} = \frac{1.0\ \cancel{\text{atm}} \times 6.0\ \text{L}}{2.5\ \cancel{\text{atm}}} = 2.4\ \text{L}$$

ตรวจสอบเชิงเหตุผล: ความดันเพิ่มขึ้น ปริมาตรต้องลดลง (แปรผกผันกัน) คำตอบ 2.4 L < 6.0 L สมเหตุสมผล

ข้อควรระวัง: ถ้าเผลอคูณ $6.0 \times 2.5 = 15$ จะได้ตัวลวง 15 L ซึ่งขัดกับหลักที่ว่าอัดแก๊สแล้วปริมาตรต้องเล็กลง

ข้อ 9 — ตอบ ก.

2.0 atm

หลักคิด: กราฟ P กับ $\frac{1}{V}$ เป็นเส้นตรงผ่านจุดกำเนิดคือลักษณะกราฟของกฎของบอยล์ ($P = k \times \frac{1}{V}$ โดย $k = P_1V_1$) จุดที่ให้มาบอกสภาวะเริ่มต้นของแก๊ส

1 ขั้นที่ 1: หาปริมาตรเริ่มต้นจาก $\frac{1}{V_1} = 0.50\ \mathrm{L}^{-1}$

$$V_1 = \frac{1}{0.50} = 2.0\ \mathrm{L}$$

2 ขั้นที่ 2: ใช้กฎของบอยล์หาความดันที่ $V_2 = 4.0$ L

$$P_2 = \frac{P_1V_1}{V_2} = \frac{4.0\ \mathrm{atm} \times 2.0\cancel{\mathrm{L}}}{4.0\cancel{\mathrm{L}}} = 2.0\ \mathrm{atm}$$

ตรวจสอบเชิงเหตุผล: ปริมาตรเพิ่มขึ้นจาก 2.0 เป็น 4.0 L (เพิ่ม 2 เท่า) ความดันจึงต้องลดลงครึ่งหนึ่งตามกฎของบอยล์ สอดคล้องกับ 2.0 atm

ข้อควรระวัง: ตัวลวง 4.0 atm คือเข้าใจผิดว่าความดันไม่เปลี่ยนแปลง (ลืมหลักการแปรผกผัน) ตัวลวง 8.0 atm มาจากการคูณแทนหารด้วย V_2 ($P_1 \times V_2/V_1$) และ 0.5 atm คือเผลอนำค่า $\frac{1}{V_1} = 0.5$ ไปใช้แทนปริมาตรจริง V_1 ในสูตรโดยไม่แปลงกลับก่อน

ข้อ 10 — ตอบ ก.

16.0 cm

หลักคิด: อากาศที่ถูกขังมีจำนวนโมลคงที่และอุณหภูมิคงที่ จึงใช้กฎของบอยล์ โดยปริมาตรของลำอากาศแปรผันตรงกับความยาวลำ (พื้นที่หน้าตัดคงที่) และความดันของอากาศขังอ่านจากสมดุลของปรอท

1 **ขั้นที่ 1:** หาความดันเริ่มต้นของอากาศขัง — ระดับปรอทสองข้างเท่ากัน แปลว่าความดันอากาศขังเท่ากับความดันบรรยากาศพอดี

$$P_1 = 76 \text{ cmHg}$$

2 **ขั้นที่ 2:** หลังเติมปรอท ระดับข้างปลายเปิดสูงกว่า 19 cm แสดงว่าอากาศขังต้องรับทั้งความดันบรรยากาศและน้ำหนักลำปรอทส่วนต่าง

$$P_2 = 76 + 19 = 95 \text{ cmHg}$$

3 **ขั้นที่ 3:** ใช้กฎของบอยล์กับความยาวลำอากาศ ℓ

$$P_1\ell_1 = P_2\ell_2 \quad \rightarrow \quad \ell_2 = \frac{76 \times 20.0}{95} = 16.0 \text{ cm}$$

ตรวจสอบเชิงเหตุผล: ความดันเพิ่มขึ้น ลำอากาศต้องสั้นลง (16.0 < 20.0 ✓)

ระวัง: ตัวลวง 25.0 cm มาจากการจับอัตราส่วนกลับด้าน ($20 \times \frac{95}{76}$) ซึ่งขัดกับข้อเท็จจริงที่ว่าอัดแล้วต้องหดตัว ส่วน 26.7 cm คือคิดว่าความดันใหม่เป็น $76 - 19 = 57$ cmHg (หักแทนที่จะบวก — ทิศของผลต่างระดับปรอทผิด)

ข้อ 11 — ตอบ ก.

1.44 g/L

หลักคิด: ความดันคงที่และมวลคงที่ ใช้กฎของชาร์ลหาปริมาตรใหม่ก่อน แล้วค่อยหาความหนาแน่นจากมวลเดิมหารด้วยปริมาตรใหม่

1 **ขั้นที่ 1:** แปลงอุณหภูมิเป็นเคลวิน $T_1 = 27 + 273 = 300\ \mathrm{K}, T_2 = -23 + 273 = 250\ \mathrm{K}$

2 **ขั้นที่ 2:** หาปริมาตรใหม่ด้วยกฎของชาร์ล

$$V_2 = V_1 \times \frac{T_2}{T_1} = 3.0\ \mathrm{L} \times \frac{250\ \cancel{\mathrm{K}}}{300\ \cancel{\mathrm{K}}} = 2.5\ \mathrm{L}$$

3 **ขั้นที่ 3:** หามวลแก๊ส (คงที่) จากสภาวะเริ่มต้น แล้วหาความหนาแน่นใหม่

$$m = 1.20\ \mathrm{g/L} \times 3.0\ \mathrm{L} = 3.6\ \mathrm{g}$$

$$d_2 = \frac{m}{V_2} = \frac{3.6\ \mathrm{g}}{2.5\ \mathrm{L}} = 1.44\ \mathrm{g/L}$$

ตรวจสอบเชิงเหตุผล: อุณหภูมิลดลง ลูกโป่งต้องหดตัว (มวลเท่าเดิมแต่ปริมาตรเล็กลง) ความหนาแน่นจึงต้องเพิ่มขึ้นจาก 1.20 g/L สอดคล้องกับคำตอบ 1.44 g/L

ข้อควรระวัง: ตัวลวง 1.00 g/L มาจากการกลับอัตราส่วนอุณหภูมิผิดทิศ ($d_2 = d_1 \times T_2/T_1$) ตัวลวง 1.20 g/L คือเข้าใจผิดว่าความหนาแน่นไม่เปลี่ยนเพราะมวลคงที่ (ลืมว่าปริมาตรเปลี่ยน) และ 1.728 g/L มาจากการคูณอัตราส่วนอุณหภูมิซ้ำสองรอบโดยไม่ตั้งใจ

ข้อ 12 — ตอบ ค.

533 mL

1 **ขั้นที่ 1:** ความดันคงที่ ใช้กฎของชาร์ล $\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$ โดยอุณหภูมิ **ต้องเป็นเคลวินเสมอ**

$$T_1 = 27 + 273 = 300\ \mathrm{K}, \quad T_2 = 127 + 273 = 400\ \mathrm{K}$$

2 **ขั้นที่ 2:** แทนค่า

$$V_2 = V_1 \times \frac{T_2}{T_1} = 400\ \mathrm{mL} \times \frac{400\ \cancel{\mathrm{K}}}{300\ \cancel{\mathrm{K}}} \approx 533\ \mathrm{mL}$$

ข้อควรระวัง: ถ้าใช้องศาเซลเซียสโดยตรง $400 \times \frac{127}{27} \approx 1881$ mL จะผิดทันที เพราะกฎของแก๊สทุกกฎอ้างอิงอุณหภูมิสัมบูรณ์ (K) เท่านั้น และถ้าสลับเศษส่วนเป็น $\frac{300}{400}$ จะได้ 300 mL ซึ่งขัดกับความจริงที่ว่าให้ความร้อนแล้วแก๊สต้องขยายตัว

ข้อ 13 — ตอบ ก.

327 °C

1 ขั้นที่ 1: ปริมาตรคงที่ ใช้กฎของเกย์-ลูสแซก $\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2}$

$$T_1 = 27 + 273 = 300\ \mathrm{K}$$

2 ขั้นที่ 2: หาอุณหภูมิที่ความดันถึง 3.0 atm

$$T_2 = T_1 \times \frac{P_2}{P_1} = 300\ \mathrm{K} \times \frac{3.0\ \cancel{\mathrm{atm}}}{1.5\ \cancel{\mathrm{atm}}} = 600\ \mathrm{K}$$

3 ขั้นที่ 3: โจทย์ถามเป็นองศาเซลเซียส ต้องแปลงกลับ

$$600 - 273 = 327\ ^\circ\mathrm{C}$$

ข้อควรระวัง: ตัวลวง 600 °C คือลืมแปลง K กลับเป็น °C ส่วน 54 °C มาจากการคิดผิดว่าความดันเพิ่ม 2 เท่า อุณหภูมิเซลเซียสก็เพิ่ม 2 เท่า (27×2) ซึ่งใช้ไม่ได้เพราะสัดส่วนตรงใช้ได้กับเคลวินเท่านั้น

ข้อ 14 — ตอบ ก.

เปิด เพราะความดันจะสูงขึ้นถึงประมาณ 8.5 atm ซึ่งเกิน 8.0 atm

หลักคิด: ปริมาตรคงที่ ใช้กฎของเกย์-ลูสแซก โดยไม่ต้องทราบปริมาตรจริงของถังเลย เพราะปริมาตรตัดออกจากสมการ

1 ขั้นที่ 1: แปลงอุณหภูมิเป็นเคลวิน $T_1 = 25 + 273 = 298\ \mathrm{K}, T_2 = 150 + 273 = 423\ \mathrm{K}$

2 ขั้นที่ 2: หาความดันที่อุณหภูมิใหม่

$$P_2 = P_1 \times \frac{T_2}{T_1} = 6.0\ \mathrm{atm} \times \frac{423\ \cancel{K}}{298\ \cancel{K}} \approx 8.52\ \mathrm{atm}$$

3 ขั้นที่ 3: เปรียบเทียบกับเกณฑ์วาล์วนิรภัย 8.0 atm — เนื่องจาก $8.52 > 8.0$ วาล์วนิรภัยจะ**เปิด**ระบายแก๊สออก

ข้อควรระวัง: ตัวลวง "ไม่เปิด ... 4.2 atm" มาจากการกลับอัตราส่วนอุณหภูมิผิดทิศ ($P_1 \times T_1/T_2$) ซึ่งขัดกับข้อเท็จจริงที่ว่าอุณหภูมิสูงขึ้นความดันต้องเพิ่ม ตัวลวง "36 atm" มาจากการลืมแปลงเป็นเคลวินแล้วใช้อัตราส่วนองศาเซลเซียสตรงๆ ($150/25 = 6$) ซึ่งแม้จะสรุปว่า "เปิด" เหมือนกัน แต่ตัวเลขผิดมาก ส่วนตัวเลือกที่บอกว่าระบุไม่ได้ เป็นความเข้าใจผิดว่าต้องใช้ปริมาตรถังในการคำนวณ ทั้งที่กฎของเกย์-ลูสแซกไม่ต้องใช้ปริมาตรเลย

ข้อ 15 — ตอบ ข.

4.0 atm

หลักคิด: โจทย์เป็นกระบวนการ 2 ขั้นที่แยกกันชัดเจน แต่ละขั้นใช้กฎแก๊สเดี่ยวคนละกฎ ต้องคิดทีละขั้นตามลำดับ ห้ามจับต้น-ปลายมาใส่สูตรเดียวมั่ว ๆ

1 **ขั้นที่ 1:** ลดอุณหภูมิที่ความดันคงที่ → กฎของชาร์ล (อุณหภูมิต้องเป็นเคลวิน)

$$T_1 = 127 + 273 = 400\ \text{K}, \quad T_2 = 27 + 273 = 300\ \text{K}$$

$$V_2 = V_1 \times \frac{T_2}{T_1} = 8.0\ \text{L} \times \frac{300\,\cancel{\text{K}}}{400\,\cancel{\text{K}}} = 6.0\ \text{L}$$

2 **ขั้นที่ 2:** อัดที่อุณหภูมิคงที่ → กฎของบอยล์ โดยสภาวะตั้งต้นของขั้นนี้คือ 2.0 atm, 6.0 L

$$P_3 = \frac{P_2 V_2}{V_3} = \frac{2.0\ \text{atm} \times 6.0\,\cancel{\text{L}}}{3.0\,\cancel{\text{L}}} = 4.0\ \text{atm}$$

ตรวจสอบเชิงเหตุผล: ทำให้เย็นลง (ปริมาตรหด) แล้วยังอัดต่ออีก ความดันสุดท้ายต้องสูงกว่า 2.0 atm เดิม

ระวัง: ตัวลวง 5.3 atm มาจากการใช้กฎของบอยล์กับปริมาตรเริ่มต้น 8.0 L โดยลืมทำขั้นที่ 1 ก่อน ($2.0 \times 8.0/3.0$) ส่วน 7.1 atm คือคิดขั้นบอยล์ก่อนแล้วคูณอัตราส่วนอุณหภูมิผิดทิศ ($5.33 \times \frac{400}{300}$)

ข้อ 16 — ตอบ ง.

1.0 atm

หลักคิด: โจทย์ให้ครบทั้ง n, V, T ถามหา P จึงใช้กฎแก๊สอุดมคติ $PV = nRT$ ตรง ๆ

1 **ขั้นที่ 1:** แปลงอุณหภูมิเป็นเคลวิน

$$T = 27 + 273 = 300\ \text{K}$$

2 **ขั้นที่ 2:** แทนค่า

$$P = \frac{nRT}{V} = \frac{0.5\,\cancel{\text{mol}} \times 0.082\,\frac{\cancel{\text{L}}\cdot\text{atm}}{\cancel{\text{mol}}\cdot\cancel{\text{K}}} \times 300\,\cancel{\text{K}}}{12.3\,\cancel{\text{L}}} = \frac{12.3}{12.3} = 1.0\ \text{atm}$$

ระวัง: ตัวลวง 0.09 atm มาจากการใช้ $T = 27$ โดยไม่แปลงเป็นเคลวิน ($\frac{0.5 \times 0.082 \times 27}{12.3}$) — ข้อผิดพลาดอันดับหนึ่งของบทแก๊สคือลืมบวก 273 เสมอ

ข้อ 17 — ตอบ ก.

6.15 L

หลักคิด: โจทย์ให้มวล ต้องเปลี่ยนเป็นโมลก่อน แล้วจึงใช้ $PV = nRT$ และสังเกตว่าสภาวะนี้ไม่ใช่ STP (อุณหภูมิ 27 °C ไม่ใช่ 0 °C) จึงห้ามใช้ 22.4 L/mol

1 ขั้นที่ 1: เปลี่ยนมวลเป็นโมล ($M_{O_2} = 2 \times 16 = 32$ g/mol)

$$n = \frac{8.0\,\cancel{g}}{32\,\cancel{g}/\text{mol}} = 0.25 \text{ mol}$$

2 ขั้นที่ 2: ใช้ $PV = nRT$ โดย $T = 27 + 273 = 300$ K

$$V = \frac{nRT}{P} = \frac{0.25 \times 0.082 \times 300}{1.0} = 6.15 \text{ L}$$

ระวัง: ตัวลวง 5.60 L คือเผลอใช้ 0.25×22.4 ทั้งที่อุณหภูมิเป็น 27 °C ไม่ใช่ STP ส่วน 0.55 L คือใช้ $T = 27$ โดยไม่แปลงเป็นเคลวิน และ 12.3 L คือลืมหารมวลด้วยมวลโมลาร์ (ใช้ $n = 0.5$ ผิด ๆ)

ข้อ 18 — ตอบ ค.

SO_3

1 ขั้นที่ 1: จาก $PV = nRT$ และ $n = \frac{m}{M}$ จัดรูปเป็นสูตรความหนาแน่น $d = \frac{PM}{RT}$ แล้วย้ายข้างหามวลโมลาร์

$M = \frac{dRT}{P}$

2 ขั้นที่ 2: แปลงอุณหภูมิ $T = 127 + 273 = 400$ K แล้วแทนค่า

$M = \frac{2.0 \times 0.082 \times 400}{0.82} = \frac{65.6}{0.82} = 80$ g/mol

3 ขั้นที่ 3: เทียบมวลโมลาร์ของตัวเลือก

- $CO_2 = 12 + 32 = 44$
- $SO_2 = 32 + 32 = 64$
- $SO_3 = 32 + 48 = 80$ ✓
- $NO_2 = 14 + 32 = 46$

แก๊สนี้จึงเป็น SO_3

ที่มาของตัวลวง: CO_2 (44) มาจากการเผลอใช้สูตรที่ STP คือ $M = d \times 22.4 = 44.8$ ทั้งที่ภาวะนี้ไม่ใช่ STP (0.82 atm, 127 °C) ส่วน SO_2 และ NO_2 ตักผู้ที่คำนวณเลขผิดหรือใช้ T เป็นเซลเซียส (ได้ $M \approx 25$ แล้วเดาแก๊สใกล้เคียง)

ข้อ 19 — ตอบ ง.

1.64 atm

❶ **ขั้นที่ 1:** เปลี่ยนมวลน้ำเป็นโมล ($M_{H_2O} = 2 + 16 = 18$ g/mol)

$n = \frac{0.90}{18} = 0.050$ mol

❷ **ขั้นที่ 2:** เมื่อน้ำกลายเป็นไอทั้งหมด ไอน้ำประพฤติตัวเป็นแก๊ส ใช้ $PV = nRT$ โดย $T = 127 + 273 = 400$ K

$P = \frac{nRT}{V} = \frac{0.050 \times 0.082 \times 400}{1.0} = 1.64$ atm

ตรวจสอบเชิงเหตุผล: แก๊ส 0.05 mol ที่ STP มีปริมาตร 1.12 L เมื่อถูกบีบให้อยู่ใน 1.0 L และอุณหภูมิสูงกว่า 273 K มาก ความดันจึงต้องสูงกว่า 1 atm พอสมควร ค่า 1.64 atm สมเหตุสมผล

ที่มาของตัวลวง: 0.52 atm คือใช้อุณหภูมิเซลเซียส ($T = 127$) โดยไม่แปลงเป็นเคลวิน 1.12 atm คือเอาปริมาตรที่ STP ($0.050 \times 22.4 = 1.12$ L) มาตอบเป็นความดันโดยสับสนแนวคิด ทั้งที่ภาวะในโจทย์ไม่ใช่ STP ส่วน 29.5 atm คือใช้มวล 0.90 แทนจำนวนโมลโดยลืมหารด้วยมวลโมลาร์

ข้อ 20 — ตอบ ก.

0.82 mol

หลักคิด: หาจำนวนโมลรวมที่ต้องการก่อนด้วย $PV = nRT$ แล้วค่อยลบด้วยจำนวนโมลที่มีอยู่เดิม

❶ **ขั้นที่ 1:** แปลงอุณหภูมิ $T = 27 + 273 = 300$ K แล้วหาจำนวนโมลรวมที่ต้องการ

$$n_{\text{target}} = \frac{PV}{RT} = \frac{3.0\,\cancel{\text{atm}} \times 10.0\,\cancel{\text{L}}}{0.082\,\frac{\cancel{\text{L}}\cdot\cancel{\text{atm}}}{\text{mol}\cdot\cancel{\text{K}}} \times 300\,\cancel{\text{K}}} \approx 1.22\ \text{mol}$$

❷ **ขั้นที่ 2:** ลบด้วยจำนวนโมลเดิมเพื่อหาปริมาณที่ต้องสูบเพิ่ม

$$\Delta n = 1.22 - 0.40 = 0.82\ \text{mol}$$

ข้อควรระวัง: ตัวลวง 1.22 mol คือตอบจำนวนโมลรวมที่ต้องการ ลืมหักโมลที่มีอยู่เดิมออก ตัวลวง 13.15 mol มาจากการลืมแปลงอุณหภูมิเป็นเคลวิน (ใช้ $T = 27$ ตรงๆ) แล้วยังลืมหักโมลเดิมด้วย ส่วน 1.62 mol มาจากการบวกโมลเดิมเข้าไปซ้ำอีกครั้งโดยไม่ตั้งใจ ($1.22 + 0.40$)

ข้อ 21 — ตอบ ง.

5.33 L

1 ขั้นที่ 1: ทั้งความดันและอุณหภูมิเปลี่ยน ใช้กฎรวมแก๊ส $\frac{P_1V_1}{T_1} = \frac{P_2V_2}{T_2}$

$$T_1 = 300\ \mathrm{K}, \quad T_2 = 400\ \mathrm{K}$$

2 ขั้นที่ 2: จัดรูปแล้วแทนค่า

$$V_2 = V_1 \times \frac{P_1}{P_2} \times \frac{T_2}{T_1} = 3.0\ \mathrm{L} \times \frac{1.2\ \cancel{\mathrm{atm}}}{0.9\ \cancel{\mathrm{atm}}} \times \frac{400\ \cancel{\mathrm{K}}}{300\ \cancel{\mathrm{K}}}$$

$$V_2 = 3.0 \times \frac{4}{3} \times \frac{4}{3} \approx 5.33\ \mathrm{L}$$

ตรวจสอบเชิงเหตุผล: ความดันลดลง (แก๊สขยาย) และอุณหภูมิสูงขึ้น (แก๊สขยาย) สองผลเสริมกัน ปริมาตรจึงต้องมากกว่า 3.0 L

ข้อควรระวัง: ถ้าใส่อัตราส่วนความดันกลับด้าน $\frac{0.9}{1.2}$ จะได้ 3.00 L พอดี (ดูเหมือนไม่เปลี่ยน) และถ้าใช้เซลเซียส $\frac{127}{27}$ จะได้ 18.8 L

ข้อ 22 — ตอบ ค.

40 g/mol

1 ขั้นที่ 1: จากกฎแก๊สอุดมคติ $PV = nRT$ และ $n = \frac{m}{M}$ จัดรูปได้

$$M = \frac{mRT}{PV}$$

2 ขั้นที่ 2: แปลงอุณหภูมิ $T = 27 + 273 = 300\ \mathrm{K}$ แล้วแทนค่า

$$M = \frac{0.80\ \mathrm{g} \times 0.0821\ \frac{\cancel{\mathrm{L}}\cdot\cancel{\mathrm{atm}}}{\mathrm{mol}\cdot\cancel{\mathrm{K}}} \times 300\ \cancel{\mathrm{K}}}{1.0\ \cancel{\mathrm{atm}} \times 0.492\ \cancel{\mathrm{L}}}$$

$$M = \frac{0.80 \times 24.63}{0.492} \approx 40\ \mathrm{g/mol}$$

(อาจตรวจสอบอีกทาง: $n = \frac{PV}{RT} = \frac{1.0 \times 0.492}{24.63} \approx 0.020\ \mathrm{mol}$ ดังนั้น $M = \frac{0.80}{0.020} = 40$)

ข้อควรระวัง: ถ้าใช้ $T = 273\ \mathrm{K}$ (จำสับสนกับ STP) จะได้ประมาณ 36 g/mol และถ้าลืมแปลงเป็นเคลวินโดยใช้ $T = 27$ จะได้ 3.6 g/mol

---

ข้อ 23 — ตอบ ข.

3.57 g/L

1 ขั้นที่ 1: หามวลโมลาร์ของ CO_2

$$M = 12 + (2 \times 16) = 44 \text{ g/mol}$$

2 ขั้นที่ 2: จาก $PV = nRT = \frac{m}{M}RT$ จัดรูปเป็นสูตรความหนาแน่น

$$d = \frac{m}{V} = \frac{PM}{RT}$$

3 ขั้นที่ 3: แทนค่า ($T = 300$ K)

$$d = \frac{2.0 \text{ atm} \times 44 \text{ g/mol}}{0.0821 \frac{\text{L·atm}}{\text{mol·K}} \times 300 \text{ K}} = \frac{88}{24.63} \approx 3.57 \text{ g/L}$$

ข้อควรระวัง: ตัวลวง 1.96 g/L มาจากการเผลอใช้สูตร STP คือ $\frac{44}{22.4}$ ทั้งที่สภาวะนี้ไม่ใช่ STP (ความดัน 2.0 atm และอุณหภูมิ 27 °C) ส่วน 1.79 g/L คือลืมคูณความดัน 2.0 atm

---

ข้อ 24 — ตอบ ก.

4.8 atm

1 ขั้นที่ 1: ปริมาตรคงที่แต่ทั้งจำนวนโมลและอุณหภูมิเปลี่ยน จึงใช้ $PV = nRT$ เปรียบเทียบสองสภาวะ

$\frac{P_2}{P_1} = \frac{n_2}{n_1} \times \frac{T_2}{T_1}$

2 ขั้นที่ 2: แปลงข้อมูล — แก๊สรั่วออก 20% จึงเหลือ $n_2 = 0.80n_1$ และแปลงอุณหภูมิเป็นเคลวิน

$T_1 = 27 + 273 = 300$ K, $T_2 = 87 + 273 = 360$ K

3 ขั้นที่ 3: แทนค่า

$P_2 = 5.0 \times 0.80 \times \frac{360}{300} = 5.0 \times 0.80 \times 1.2 = 4.8$ atm

ตรวจสอบเชิงเหตุผล: โมลหาย 20% (ผลคูณ 0.8) แต่อุณหภูมิเพิ่ม 20% ในหน่วยเคลวิน (ผลคูณ 1.2) สองผลเกือบหักล้างกัน ความดันจึงใกล้ 5.0 atm แต่ต่ำกว่าเล็กน้อยเพราะ $0.8 \times 1.2 = 0.96$

ที่มาของตัวลวง: 6.0 atm คือลืมว่าแก๊สรั่ว (คิดเฉพาะผลอุณหภูมิ) 4.0 atm คือลืมผลอุณหภูมิ (คิดเฉพาะแก๊สรั่ว) ส่วน 12.9 atm มาจากการใช้อุณหภูมิเซลเซียสตรง ๆ ($\frac{87}{27}$) ซึ่งผิดหลักที่ว่ากฎแก๊สต้องใช้อุณหภูมิสัมบูรณ์เสมอ

ข้อ 25 — ตอบ ก.

6.43 mL

หลักคิด: จำนวนโมลของแก๊สในฟองคงที่ ทั้งความดันและอุณหภูมิเปลี่ยนพร้อมกัน จึงใช้กฎรวมแก๊ส

1 **ขั้นที่ 1:** แปลงอุณหภูมิเป็นเคลวิน $T_1 = 7 + 273 = 280\ \mathrm{K}, T_2 = 27 + 273 = 300\ \mathrm{K}$

2 **ขั้นที่ 2:** แทนค่าในกฎรวมแก๊ส

$$V_2 = V_1 \times \frac{P_1}{P_2} \times \frac{T_2}{T_1} = 2.0\ \mathrm{mL} \times \frac{3.0\ \cancel{\mathrm{atm}}}{1.0\ \cancel{\mathrm{atm}}} \times \frac{300\ \cancel{\mathrm{K}}}{280\ \cancel{\mathrm{K}}} \approx 6.43\ \mathrm{mL}$$

ตรวจสอบเชิงเหตุผล: ความดันลดลง (ฟองขยาย) และอุณหภูมิเพิ่มขึ้น (ฟองขยาย) สองผลเสริมกันทำให้ฟองใหญ่ขึ้นมาก คำตอบต้องมากกว่า 2.0 mL ชัดเจน สอดคล้องกับ 6.43 mL

ข้อควรระวัง: ตัวลวง 6.0 mL คือคิดเฉพาะผลของความดัน (ลืมปรับอุณหภูมิ) ตัวลวง 2.14 mL คือคิดเฉพาะผลของอุณหภูมิ (ลืมปรับความดัน) และ 0.71 mL มาจากการกลับอัตราส่วนความดันผิดทิศ (P_2/P_1 แทนที่จะเป็น P_1/P_2)

ข้อ 26 — ตอบ ก.

400 kg

หลักคิด: ที่ความดันเดียวกัน ความหนาแน่นของแก๊สแปรผกผันกับอุณหภูมิเคลวิน ($d = \frac{PM}{RT}$ ที่ P คงที่) จึงหาความหนาแน่นอากาศร้อนได้จากอัตราส่วนอุณหภูมิ แล้วเทียบมวลที่ปริมาตรเดียวกัน

1. **ขั้นที่ 1:** แปลงอุณหภูมิเป็นเคลวิน $T_1 = 27 + 273 = 300\ \mathrm{K}, T_2 = 87 + 273 = 360\ \mathrm{K}$

2. **ขั้นที่ 2:** หาความหนาแน่นอากาศร้อนภายในบอลลูน

$$d_2 = d_1 \times \frac{T_1}{T_2} = 1.20\ \mathrm{kg/m^3} \times \frac{300\,\cancel{K}}{360\,\cancel{K}} = 1.00\ \mathrm{kg/m^3}$$

3. **ขั้นที่ 3:** หามวลอากาศเย็นและอากาศร้อนที่ปริมาตร 2000 m³

$$m_{\mathrm{cold}} = 1.20 \times 2000 = 2400\ \mathrm{kg}, \qquad m_{\mathrm{hot}} = 1.00 \times 2000 = 2000\ \mathrm{kg}$$

4. **ขั้นที่ 4:** มวลบรรทุกสูงสุด = ผลต่างมวลอากาศทั้งสอง

$$\mathrm{payload} = 2400 - 2000 = 400\ \mathrm{kg}$$

ตรวจสอบเชิงเหตุผล: อากาศร้อนเบากว่าอากาศเย็นที่ปริมาตรเดียวกัน แรงลอยตัวส่วนเกินจึงเท่ากับมวลอากาศเย็นที่ถูก "แทนที่" ลบด้วยมวลอากาศร้อนที่เหลืออยู่ ค่า 400 kg สมเหตุสมผลสำหรับบอลลูนขนาดนี้

ข้อควรระวัง: ตัวลวง 2400 kg คือตอบมวลอากาศเย็นเฉยๆ (ลืมหักมวลอากาศร้อนที่ยังอยู่) ตัวลวง 2000 kg คือตอบมวลอากาศร้อนเฉยๆ (ตอบผิดปริมาณที่ถาม) และ 480 kg มาจากการกลับอัตราส่วนอุณหภูมิผิดทิศตอนหาความหนาแน่นอากาศร้อน ($d_2 = 1.20 \times \frac{360}{300} = 1.44$ kg/m³ ทำให้ได้มวลอากาศร้อน 2880 kg ซึ่งมากกว่ามวลอากาศเย็น ผลต่างจึงติดลบ 480 kg แล้วถูกนำมาใช้เป็นค่าสัมบูรณ์โดยไม่ทันสังเกตว่าไม่สมเหตุสมผล)

ข้อ 27 — ตอบ ก.

11.4 g

หลักคิด: หาปริมาตรอากาศรวมที่หายใจเข้าใน 1 นาทีก่อน แล้วเปลี่ยนเป็นโมลด้วย $PV = nRT$ จากนั้นแปลงเป็นมวลด้วยมวลโมลาร์เฉลี่ย

1 **ขั้นที่ 1:** หาปริมาตรรวม

$$V_{\text{total}} = 500\ \text{mL} \times 20 = 10000\ \text{mL} = 10.0\ \text{L}$$

2 **ขั้นที่ 2:** แปลงอุณหภูมิเป็นเคลวิน $T = 37 + 273 = 310\ \text{K}$ แล้วหาจำนวนโมล

$$n = \frac{PV}{RT} = \frac{1.0 \times 10.0}{0.082 \times 310} \approx 0.393\ \text{mol}$$

3 **ขั้นที่ 3:** แปลงเป็นมวล

$$m = n \times M = 0.393\ \cancel{\text{mol}} \times 29\ \text{g}/\cancel{\text{mol}} \approx 11.4\ \text{g}$$

ข้อควรระวัง: ตัวลวง 0.57 g มาจากการลืมคูณจำนวนครั้งการหายใจ 20 ครั้ง (ใช้ปริมาตรครั้งเดียว 500 mL) ตัวลวง 95.6 g มาจากการลืมแปลงอุณหภูมิเป็นเคลวิน (ใช้ $T = 37$ ตรงๆ) ส่วน 12.6 g คือใช้มวลโมลาร์ของ O_2 บริสุทธิ์ (32 g/mol) แทนมวลโมลาร์เฉลี่ยของอากาศ (29 g/mol) โดยไม่ได้อ่านโจทย์ให้ครบ

ข้อ 28 — ตอบ ค.

2.0 atm

หลักคิด: ที่อุณหภูมิคงที่ ปริมาณ PV แปรผันตรงกับจำนวนโมล เมื่อเปิดวาล์วโมลรวมไม่เปลี่ยน จึงใช้ $P_1V_1 + P_2V_2 = P_{\text{total}}V_{\text{total}}$ (หลักเดียวกับกฎของบอยล์) จากนั้นค่อยคิดผลของอุณหภูมิด้วยกฎของเกย์-ลูสแซก

1 ขั้นที่ 1: หาความดันหลังเปิดวาล์วที่ 27 °C (ปริมาตรรวม $2.0 + 3.0 = 5.0$ L)

$$P = \frac{P_AV_A + P_BV_B}{V_{\text{total}}} = \frac{(3.0)(2.0) + (0.5)(3.0)}{5.0} = \frac{6.0 + 1.5}{5.0} = 1.5 \text{ atm}$$

2 ขั้นที่ 2: ให้ความร้อนที่ปริมาตรรวมคงที่ → กฎของเกย์-ลูสแซก

$$T_1 = 300 \text{ K}, \quad T_2 = 400 \text{ K}$$

$$P' = 1.5 \text{ atm} \times \frac{400\,\cancel{K}}{300\,\cancel{K}} = 2.0 \text{ atm}$$

ตรวจสอบเชิงเหตุผล: ความดันหลังผสมต้องอยู่ระหว่าง 0.5 กับ 3.0 atm (ได้ 1.5 ✓) และการให้ความร้อนต้องดันให้สูงขึ้นอีก

ระวัง: ตัวลวง 1.5 atm คือลืมคิดผลของการให้ความร้อน 1.6 atm คือลืมแก๊สในภาชนะ B ($\frac{6.0}{5.0} \times \frac{400}{300}$) ส่วน 2.3 atm มาจากการเฉลี่ยความดันตรง ๆ ($\frac{3.0+0.5}{2} = 1.75$) โดยไม่ถ่วงน้ำหนักด้วยปริมาตร แล้วคูณอัตราส่วนอุณหภูมิ

ข้อ 29 — ตอบ ค.

50%

หลักคิด: ความหนาแน่นของแก๊สผสมโยงกับ **มวลโมลาร์เฉลี่ย** ผ่าน $d = \frac{P\bar{M}}{RT}$ เมื่อได้ $\bar{M}$ แล้วจึงตั้งสมการเศษส่วนโมลย้อนหาองค์ประกอบ

1 ขั้นที่ 1: หามวลโมลาร์เฉลี่ยจากความหนาแน่น ($T = 127 + 273 = 400$ K)

$$\bar{M} = \frac{dRT}{P} = \frac{0.25 \times 0.082 \times 400}{0.82} = \frac{8.2}{0.82} = 10 \text{ g/mol}$$

2 ขั้นที่ 2: ให้เศษส่วนโมลของ He เป็น x (ดังนั้น CH_4 เป็น $1 - x$) โดย $M_{He} = 4$, $M_{CH_4} = 12 + 4 = 16$

$$4x + 16(1 - x) = 10$$

3 ขั้นที่ 3: แก้สมการ

$$16 - 12x = 10 \quad \rightarrow \quad x = \frac{6}{12} = 0.5$$

ดังนั้น He คิดเป็นร้อยละ 50 โดยโมล

ตรวจสอบเชิงเหตุผล: $\bar{M} = 10$ อยู่กึ่งกลางระหว่าง 4 กับ 16 พอดี ($\frac{4+16}{2} = 10$) จึงต้องผสมอย่างละครึ่งพอดี

ระวัง: จุดพลาดหลักคือลืมแปลง 127 °C เป็น 400 K (จะได้ $\bar{M} \approx 3.2$ ซึ่งน้อยกว่ามวลของ He เสียอีก — เป็นไปไม่ได้ ใช้เช็กตัวเองได้) และอย่าสับสนระหว่างร้อยละโดยโมลกับร้อยละโดยมวล ถ้าโจทย์ถามโดยมวล คำตอบจะเป็น $\frac{4 \times 0.5}{10} = 20\%$ ไม่ใช่ 50%

ข้อ 30 — ตอบ ก.

1.0 atm

หลักคิด: ความดันย่อยแปรผันตรงกับเศษส่วนโมล (หรือเศษส่วนจำนวนอนุภาคซึ่งเป็นสัดส่วนเดียวกัน)

1 ขั้นที่ 1: หาเศษส่วนจำนวนอนุภาคของแก๊ส B

$$X_B = \frac{4}{6 + 4} = 0.4$$

2 ขั้นที่ 2: คูณด้วยความดันรวม

$$P_B = X_B \times P_{\text{total}} = 0.4 \times 2.5 \text{ atm} = 1.0 \text{ atm}$$

ข้อควรระวัง: ตัวลวง 1.5 atm คือความดันย่อยของแก๊ส A (ตอบผิดตัว) ตัวลวง 0.4 atm คือตอบแค่เศษส่วนโมล ลืมคูณด้วยความดันรวม และ 2.5 atm คือตอบความดันรวมทั้งหมดโดยไม่ได้แยกความดันย่อย

ข้อ 31 — ตอบ ค.

0.5 atm

หลักคิด: กฎความดันย่อยของดอลตัน — ความดันรวมของแก๊สผสมที่ไม่ทำปฏิกิริยากัน เท่ากับผลบวกของความดันย่อยของแก๊สแต่ละชนิด

$$P_{\text{total}} = P_{\text{He}} + P_{\text{N}_2} + P_3$$

1 ขั้นที่ 1: ย้ายข้างหาความดันย่อยของแก๊สชนิดที่สาม

$$P_3 = 1.2 - 0.4 - 0.3 = 0.5 \text{ atm}$$

ระวัง: ตัวลวง 0.7 atm คือลบออกแค่ตัวเดียว ($1.2 - 0.5$ หรือหักไม่ครบ) ส่วน 1.9 atm คือเผลอบวกทุกค่าเข้าด้วยกัน — ความดันย่อยของแก๊สย่อยต้องน้อยกว่าความดันรวมเสมอ ใช้เช็กคำตอบได้ทันที

ข้อ 32 — ตอบ ก.

0.8 atm

หลักคิด: ความดันย่อยของแก๊สแต่ละชนิดเท่ากับเศษส่วนโมลคูณความดันรวม

$$P_i = X_i \times P_{\text{total}}$$

1 ขั้นที่ 1: หาเศษส่วนโมลของ N_2

$$X_{\text{N}_2} = \frac{2.0}{2.0 + 3.0} = \frac{2}{5} = 0.4$$

2 ขั้นที่ 2: คูณความดันรวม

$$P_{\text{N}_2} = 0.4 \times 2.0 \text{ atm} = 0.8 \text{ atm}$$

ตรวจสอบเชิงเหตุผล: $P_{\text{O}_2} = \frac{3}{5} \times 2.0 = 1.2$ atm และ $0.8 + 1.2 = 2.0$ atm ตรงกับความดันรวม ✓

ระวัง: ตัวลวง 1.2 atm คือความดันย่อยของ O_2 (ตอบผิดตัว — อ่านโจทย์ให้ครบว่าถามแก๊สใด) ส่วน 0.4 atm คือตอบเศษส่วนโมลเฉยๆ โดยลืมคูณความดันรวม

ข้อ 33 — ตอบ ก.

0.32 mol

หลักคิด: ใช้ $PV = nRT$ หาจำนวนโมลรวมของแก๊สผสมก่อน (แก๊สอุดมคติไม่สนใจชนิดของแก๊ส คิดจากความดันรวมได้เลย) แล้วลบด้วยโมลของ N_2 ที่ทราบ

1 ขั้นที่ 1: แปลงอุณหภูมิ $T = 27 + 273 = 300$ K แล้วหาจำนวนโมลรวม

$$n_{\text{total}} = \frac{PV}{RT} = \frac{2.05 \times 5.0}{0.082 \times 300} \approx 0.4167 \text{ mol}$$

2 ขั้นที่ 2: ลบด้วยโมลของ N_2

$$n_{Ar} = 0.4167 - 0.10 \approx 0.32 \text{ mol}$$

ข้อควรระวัง: ตัวลวง 0.42 mol คือตอบจำนวนโมลรวม ลืมหักโมลของ N_2 ออก ตัวลวง 4.53 mol มาจากการลืมแปลงอุณหภูมิเป็นเคลวิน (ใช้ $T = 27$ ตรงๆ) แล้วยังลืมหักด้วย และ 0.16 mol มาจากการหารผลลัพธ์ที่ถูกต้องด้วย 2 โดยไม่มีเหตุผลรองรับ

ข้อ 34 — ตอบ ก.

0.667 (2/3)

หลักคิด: ที่อุณหภูมิเดียวกัน จำนวนโมลของแต่ละแก๊สแปรผันตรงกับผลคูณ PV (จาก $PV = nRT$ ที่ T คงที่) จึงเทียบสัดส่วนโมลผ่าน PV ได้โดยไม่ต้องหาโมลจริง

1 ขั้นที่ 1: หาค่า PV ของแต่ละภาชนะ (เป็นสัดส่วนกับจำนวนโมล)

$$(PV)_{CO_2} = 3.0 \times 4.0 = 12, \qquad (PV)_{N_2} = 1.0 \times 6.0 = 6.0$$

2 ขั้นที่ 2: หาเศษส่วนโมลของ CO_2

$$X_{CO_2} = \frac{12}{12 + 6.0} = \frac{12}{18} = 0.667$$

ตรวจสอบเชิงเหตุผล: ภาชนะ A มีทั้งความดันและปริมาตรน้อยกว่า B ในบางมิติแต่ PV รวมของ A มากกว่า B ($12 > 6$) จึงสมเหตุสมผลที่ CO_2 มีสัดส่วนมากกว่าครึ่ง

ข้อควรระวัง: ตัวลวง 0.5 มาจากการเข้าใจผิดว่าแต่ละภาชนะมีส่วนร่วมเท่ากัน (ไม่ได้ถ่วงน้ำหนักด้วย PV) ตัวลวง 0.75 คือใช้อัตราส่วนความดันอย่างเดียว ($3.0/(3.0 + 1.0)$) โดยลืมคูณด้วยปริมาตร และ 0.333 คือตอบเศษส่วนโมลของ N_2 แทนที่จะเป็น CO_2 (อ่านโจทย์ผิดตัว)

ข้อ 35 — ตอบ ก.

$Ar > Ne > He$

หลักคิด: ตามกฎของแกรห์ม แก๊สที่เบากว่าแพร่ผ่านรูรั่วออกไปได้เร็วกว่า ($r \propto \frac{1}{\sqrt{M}}$) เมื่อเวลาผ่านไป แก๊สที่เบาจะเหลือในภาชนะน้อยกว่าแก๊สที่หนัก

1 **ขั้นที่ 1:** เรียงมวลโมลาร์จากมากไปน้อย: $Ar\ (40) > Ne\ (20) > He\ (4)$

2 **ขั้นที่ 2:** แก๊สที่หนักกว่าแพร่ออกช้ากว่า จึง**เหลืออยู่มากกว่า** ดังนั้นความดันย่อยที่เหลือเรียงจากมากไปน้อยตามลำดับมวลโมลาร์จากมากไปน้อยเช่นกัน

$$P_{Ar} > P_{Ne} > P_{He}$$

ข้อควรระวัง: ตัวลวง "$He > Ne > Ar$" กลับทิศทางความสัมพันธ์ (คิดว่าแก๊สที่แพร่เร็วจะเหลือมากกว่า ทั้งที่ควรเหลือน้อยกว่า) ตัวลวง "$Ne > Ar > He$" เป็นลำดับสุ่มที่ไม่มีหลักการรองรับ ส่วนตัวเลือกที่บอกว่าเท่ากันทั้งหมด เป็นการมองข้ามผลของกฎของแกรห์มไปเลย ทั้งที่แก๊สแต่ละชนิดแพร่ออกด้วยอัตราต่างกัน

ข้อ 36 — ตอบ ง.

0.4 atm

1 **ขั้นที่ 1:** เปลี่ยนมวลเป็นโมลก่อนเสมอ (ความดันย่อยขึ้นกับ **เศษส่วนโมล** ไม่ใช่เศษส่วนมวล)

$$n_{\mathrm{CH_4}} = 8\,\cancel{g} \times \frac{1\ \mathrm{mol}}{16\,\cancel{g}} = 0.50\ \mathrm{mol}$$

$$n_{\mathrm{O_2}} = 8\,\cancel{g} \times \frac{1\ \mathrm{mol}}{32\,\cancel{g}} = 0.25\ \mathrm{mol}$$

2 **ขั้นที่ 2:** หาเศษส่วนโมลของ $\mathrm{O_2}$

$$X_{\mathrm{O_2}} = \frac{0.25}{0.50 + 0.25} = \frac{1}{3}$$

3 **ขั้นที่ 3:** ใช้กฎความดันย่อยของดอลตัน

$$P_{\mathrm{O_2}} = X_{\mathrm{O_2}} \times P_{total} = \frac{1}{3} \times 1.2\ \mathrm{atm} = 0.4\ \mathrm{atm}$$

ข้อควรระวัง: ถ้าใช้เศษส่วนมวล $\frac{8}{16} \times 1.2$ จะได้ตัวลวง 0.6 atm ส่วน 0.8 atm คือความดันย่อยของ $\mathrm{CH_4}$ (ตอบผิดตัว)

ข้อ 37 — ตอบ ก.

439 mL

❶ **ขั้นที่ 1:** แก๊สที่เก็บเหนือน้ำเป็นแก๊สผสมระหว่าง O_2 กับไอน้ำ ใช้กฎของดอลตันหาความดันย่อยของ O_2 แห้ง

$$P_{O_2} = P_{atm} - P_{H_2O} = 760 - 27 = 733 \text{ mmHg}$$

❷ **ขั้นที่ 2:** ใช้กฎรวมแก๊สแปลงไปที่ STP โดย $T_1 = 300$ K, $T_2 = 273$ K, $P_2 = 760$ mmHg

$$V_2 = V_1 \times \frac{P_1}{P_2} \times \frac{T_2}{T_1} = 500 \text{ mL} \times \frac{733 \cancel{\text{mmHg}}}{760 \cancel{\text{mmHg}}} \times \frac{273 \cancel{K}}{300 \cancel{K}}$$

$$V_2 = 500 \times 0.9645 \times 0.91 \approx 439 \text{ mL}$$

ตรวจสอบเชิงเหตุผล: ทั้งการหักไอน้ำ (ความดันแก๊สจริงน้อยลง) และการลดอุณหภูมิ ล้วนทำให้ปริมาตรเล็กลง คำตอบจึงต้องน้อยกว่า 500 mL

ข้อควรระวัง: ถ้าลืมหักความดันไอน้ำจะได้ 455 mL ถ้าลืมปรับอุณหภูมิจะได้ 482 mL และถ้ากลับอัตราส่วนอุณหภูมิเป็น $\frac{300}{273}$ จะได้ 530 mL

ข้อ 38 — ตอบ ง.

1.28 atm

หลักคิด: เมื่อเปิดวาล์ว แก๊สแต่ละชนิดขยายเข้าไปเต็มปริมาตรรวมอย่างอิสระ (แนวคิดหัวใจของกฎดอลตัน) จึงคิดความดันย่อยของแต่ละแก๊สแยกกันด้วยกฎของบอยล์ แล้วค่อยปรับผลของอุณหภูมิ

❶ **ขั้นที่ 1:** ปริมาตรรวม $= 2.0 + 3.0 = 5.0$ L หาความดันย่อยของ He หลังเปิดวาล์วที่ 27 °C

$$P_{He} = 1.6 \text{ atm} \times \frac{3.0 \cancel{L}}{5.0 \cancel{L}} = 0.96 \text{ atm}$$

❷ **ขั้นที่ 2:** ให้ความร้อนที่ปริมาตรคงที่ จาก $T_1 = 300$ K เป็น $T_2 = 400$ K ความดันย่อยแต่ละตัวเพิ่มตามสัดส่วนอุณหภูมิ

$$P'_{He} = 0.96 \times \frac{400}{300} = 1.28 \text{ atm}$$

❸ **ขั้นที่ 3:** (ตรวจสอบ) ความดันย่อยของ CH_4: $2.4 \times \frac{2.0}{5.0} \times \frac{400}{300} = 1.28$ atm ความดันรวม $= 1.28 + 1.28 = 2.56$ atm

ระวัง: ตัวลวง 0.96 atm คือลืมคิดผลของการให้ความร้อน 2.56 atm คือตอบความดันรวมแทนความดันย่อย (อ่านโจทย์ไม่ครบ) ส่วน 1.92 atm คือความดันรวมก่อนให้ความร้อน — ทุกตัวมาจากการทำขั้นตอนไม่ครบ จึงต้องไล่ทีละขั้นอย่างเป็นระบบ

ข้อ 39 — ตอบ ข.

He

หลักคิด: ตามกฎการแพร่ของเกรแฮม อัตราการแพร่แปรผกผันกับรากที่สองของมวลโมลาร์

$$r \propto \frac{1}{\sqrt{M}}$$

ดังนั้น **แก๊สที่เบาที่สุดแพร่เร็วที่สุด** — เปรียบเทียบได้โดยไม่ต้องถอดรากเลย เพราะลำดับของ $\sqrt{M}$ ตามลำดับของ M เสมอ

1 ขั้นที่ 1: หามวลโมลาร์ของแต่ละแก๊ส

- $\mathrm{He} = 4$ g/mol
- $\mathrm{CH_4} = 12 + 4(1) = 16$ g/mol
- $\mathrm{N_2} = 2 \times 14 = 28$ g/mol
- $\mathrm{CO_2} = 12 + 2(16) = 44$ g/mol

2 ขั้นที่ 2: He เบาที่สุด จึงแพร่เร็วที่สุด (เร็วกว่า $\mathrm{CH_4}$ ถึง $\sqrt{16/4} = 2$ เท่า)

ระวัง: อย่าสับสนทิศทาง — แก๊สหนักแพร่ **ช้า** ไม่ใช่เร็ว ผู้ที่จำสูตรเป็น $r \propto \sqrt{M}$ จะเลือก $\mathrm{CO_2}$ ผิดทันที

ข้อ 40 — ตอบ ก.

(ก) และ (ข)

พิจารณาทีละข้อความ

(ก) ถูก — เงื่อนไขที่แก๊สจริงเข้าใกล้อุดมคติคือ ความดันต่ำ (โมเลกุลอยู่ห่างกันมาก ปริมาตรของตัวโมเลกุลจึงน้อยมากเมื่อเทียบกับปริมาตรภาชนะ) และอุณหภูมิสูง (พลังงานจลน์สูงจนแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลแทบไม่มีผล) ตรงตามข้อสมมติของทฤษฎีจลน์ทั้งสองข้อ

(ข) ถูก — ที่ภาวะเดียวกัน แก๊สที่เบี่ยงเบนน้อยคือแก๊สที่โมเลกุลเล็กและแรงยึดเหนี่ยวอ่อน He เป็นอะตอมเดี่ยวขนาดเล็ก ไม่มีขั้ว มีเพียงแรงลอนดอนที่อ่อนมาก ขณะที่ $\mathrm{NH_3}$ เป็นโมเลกุลมีขั้วและเกิดพันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุลได้ แรงยึดเหนี่ยวจึงแรงกว่ามาก ทำให้เบี่ยงเบนจากอุดมคติมากกว่า

(ค) ผิด — แก๊สอุดมคติถูกนิยามว่า "ไม่มีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุล" เมื่อไม่มีแรงดึงดูดเลย โมเลกุลจึงไม่มีทางเกาะกลุ่มกันเป็นของเหลวได้ ไม่ว่าจะลดอุณหภูมิหรือเพิ่มความดันเท่าใด การควบแน่นได้เป็นสมบัติของแก๊สจริงเท่านั้น

ที่มาของตัวลวง: ผู้ที่เลือก "(ก) เท่านั้น" มักเข้าใจผิดว่าแก๊สทุกชนิดเบี่ยงเบนเท่ากันหมด ส่วนผู้ที่เลือกชุดที่มี (ค) มักจำภาพว่า "แก๊สทุกชนิดควบแน่นได้" โดยลืมว่าแก๊สอุดมคติเป็นแบบจำลองที่ตัดแรงยึดเหนี่ยวทิ้งไปแล้ว

ข้อ 41 — ตอบ ก.

(ข) เท่านั้น

พิจารณาทีละข้อความ

(ก) ผิด — อัตราการชนผนังขึ้นกับความเร็วเฉลี่ยของโมเลกุล ซึ่งขึ้นกับมวลโมเลกุล ($u_{\text{rms}} \propto \sqrt{T/M}$) ที่อุณหภูมิเดียวกัน แก๊สที่มวลโมลาร์ต่างกันจึงมีความเร็วเฉลี่ยและอัตราการชนผนังไม่เท่ากัน

(ข) ถูก — ความดันเกิดจากแรงกระแทกสะสมของโมเลกุลที่ชนผนัง ยิ่งโมเลกุลเคลื่อนที่เร็วและชนถี่ ยิ่งสร้างความดันมาก

(ค) ผิด — เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น โมเลกุลเคลื่อนที่เร็วขึ้น จึงชนผนังได้บ่อยขึ้นด้วย ไม่ใช่คงที่ (นี่คือกลไกที่ทำให้กฎของเกย์-ลูสแซกเป็นจริง)

> **ที่มาของตัวลวง:** ผู้ที่เลือก "(ก) และ (ข)" มักเข้าใจผิดว่าอุณหภูมิเดียวกันแปลว่าทุกอย่างเหมือนกันหมด (ลืมว่าพลังงานจลน์เฉลี่ยเท่ากันแต่ความเร็วไม่เท่ากันเพราะมวลต่างกัน) ส่วน "(ค) เท่านั้น" มาจากการจำผิดว่าอุณหภูมิเกี่ยวกับพลังงานเท่านั้นไม่เกี่ยวกับความถี่การชน

ข้อ 42 — ตอบ ข.

ความดันสูง อุณหภูมิต่ำ

> **หลักคิดจากทฤษฎีจลน์ของแก๊ส** แก๊สอุดมคติตั้งอยู่บนข้อสมมติสำคัญ 2 ข้อ ได้แก่
>
> 1. ปริมาตรของโมเลกุลน้อยมากจนตัดทิ้งได้เมื่อเทียบกับปริมาตรภาชนะ
> 2. ไม่มีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุล

พิจารณาทีละเงื่อนไข

- ที่ **ความดันสูง** โมเลกุลถูกอัดจนอยู่ชิดกันมาก ปริมาตรของตัวโมเลกุลเองเริ่มมีนัยสำคัญเมื่อเทียบกับปริมาตรภาชนะ ข้อสมมติข้อ 1 จึงใช้ไม่ได้
- ที่ **อุณหภูมิต่ำ** โมเลกุลเคลื่อนที่ช้า พลังงานจลน์ต่ำจนแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลเริ่มมีผลชัดเจน ข้อสมมติข้อ 2 จึงใช้ไม่ได้ (และหากต่ำมากพอ แก๊สจะควบแน่นเป็นของเหลว)

ดังนั้นสภาวะ **ความดันสูงและอุณหภูมิต่ำ** ทำให้แก๊สจริงเบี่ยงเบนจากกฎ $PV = nRT$ มากที่สุด

ในทางกลับกัน ที่ความดันต่ำและอุณหภูมิสูง โมเลกุลอยู่ห่างกันและเคลื่อนที่เร็ว แก๊สจริงจึงมีพฤติกรรมเข้าใกล้แก๊สอุดมคติมากที่สุด

ข้อ 43 — ตอบ ง.

60 cm

❶ **ขั้นที่ 1:** หามวลโมลาร์ของแก๊สทั้งสอง

$M_{\mathrm{CH_4}} = 12 + 4(1) = 16$ g/mol และ $M_{\mathrm{SO_2}} = 32 + 2(16) = 64$ g/mol

❷ **ขั้นที่ 2:** ใช้กฎการแพร่ของเกรแฮม อัตราการแพร่แปรผกผันกับรากที่สองของมวลโมลาร์

$$\frac{r_{\mathrm{CH_4}}}{r_{\mathrm{SO_2}}} = \sqrt{\frac{M_{\mathrm{SO_2}}}{M_{\mathrm{CH_4}}}} = \sqrt{\frac{64}{16}} = 2$$

❸ **ขั้นที่ 3:** แก๊สทั้งสองเริ่มเคลื่อนที่พร้อมกันและพบกันที่เวลาเดียวกัน ระยะทางที่แต่ละแก๊สเคลื่อนที่ได้จึงเป็นสัดส่วนกับอัตราการแพร่ ดังนั้น $\mathrm{CH_4}$ เคลื่อนที่ได้ 2 ส่วน ขณะ $\mathrm{SO_2}$ ได้ 1 ส่วน รวม 3 ส่วน = 90 cm

$$d_{\mathrm{CH_4}} = \frac{2}{3} \times 90 = 60 \text{ cm}$$

ตรวจสอบเชิงเหตุผล: $\mathrm{CH_4}$ เบากว่าจึงแพร่เร็วกว่า ตำแหน่งพบกันต้องอยู่ค่อนไปทางฝั่ง $\mathrm{SO_2}$ คือมากกว่า 45 cm

ที่มาของตัวลวง: 45 cm คือคิดว่าแก๊สทั้งสองแพร่เร็วเท่ากัน (พบกันกลางหลอด) 30 cm คือจับอัตราส่วนกลับด้าน (ให้แก๊สหนักแพร่เร็วกว่า) ซึ่งขัดกับกฎของเกรแฮม ส่วน 72 cm มาจากการใช้อัตราส่วนมวลโมลาร์ตรง ๆ ($64 : 16 = 4 : 1$ ได้ $\frac{4}{5} \times 90$) โดยลืมถอดรากที่สอง

ข้อ 44 — ตอบ ค.

(ก) และ (ค)

พิจารณาทีละข้อความ

(ก) ถูก — ตามทฤษฎีจลน์ พลังงานจลน์เฉลี่ยของโมเลกุลแก๊สขึ้นกับ **อุณหภูมิสัมบูรณ์เพียงอย่างเดียว** ไม่ขึ้นกับชนิดหรือมวลของแก๊ส เมื่ออุณหภูมิเท่ากัน He และ $\mathrm{CH_4}$ จึงมีพลังงานจลน์เฉลี่ยต่อโมเลกุลเท่ากัน

(ข) ผิด — พลังงานจลน์เฉลี่ยเท่ากันไม่ได้แปลว่าอัตราเร็วเท่ากัน เพราะพลังงานจลน์ขึ้นกับทั้งมวลและอัตราเร็ว ($E_k = \frac{1}{2}mv^2$) โมเลกุลที่เบากว่าจึงต้องเคลื่อนที่เร็วกว่าเพื่อให้พลังงานเท่ากัน He ($M = 4$) จึงมีอัตราเร็วเฉลี่ยสูงกว่า $\mathrm{CH_4}$ ($M = 16$) ประมาณ $\sqrt{16/4} = 2$ เท่า

(ค) ถูก — เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น โมเลกุลมีช่วงอัตราเร็วหลากหลายขึ้น เส้นโค้งการกระจายอัตราเร็ว (แบบแมกซ์เวลล์-โบลต์ซมันน์) จึงแผ่กว้างขึ้นและยอดเตี้ยลง (พื้นที่ใต้กราฟคงที่เพราะจำนวนโมเลกุลเท่าเดิม) พร้อมกับตำแหน่งยอด (อัตราเร็วที่พบมากที่สุด) เลื่อนไปทางค่าสูงขึ้น

ที่มาของตัวลวง: ตัวเลือกที่มี (ข) ดักความเข้าใจผิดยอดฮิตที่เหมารวมว่า "อุณหภูมิเท่ากันแล้วทุกอย่างเท่ากัน" ส่วน "(ก) เท่านั้น" ดักผู้ที่จำภาพกราฟผิดว่าเพิ่มอุณหภูมิแล้วยอดโค้งสูงขึ้น

ข้อ 45 — ตอบ ก.

(ก) และ (ค)

พิจารณาทีละข้อความ

(ก) ถูก — การควบแน่นเป็นของเหลวเกิดจากแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลชนะพลังงานจลน์ของโมเลกุล แก๊สที่มีแรงยึดเหนี่ยวแรง (เช่น มีขั้วหรือพันธะไฮโดรเจน) จึงควบแน่นได้ง่ายกว่าที่อุณหภูมิสูงกว่า

(ข) ผิด — โมเลกุลแก๊สมีการกระจายความเร็วแบบแมกซ์เวลล์-โบลต์ซมันน์ ไม่ได้มีความเร็วเท่ากันทุกโมเลกุล บางโมเลกุลเร็วมาก บางโมเลกุลช้ามาก

(ค) ถูก — เมื่อความดันสูงขึ้น ระยะห่างเฉลี่ยระหว่างโมเลกุลลดลง แรงดึงดูดระหว่างโมเลกุล (ซึ่งลดลงอย่างรวดเร็วตามระยะทาง) จึงเริ่มมีผลชัดเจนขึ้น ทำให้ควบแน่นเป็นของเหลวได้ง่ายขึ้น

ที่มาของตัวลวง: ตัวเลือกที่มี (ข) ดักผู้ที่เข้าใจผิดว่า "อุณหภูมิเดียวกัน = ความเร็วเท่ากัน" ทั้งที่จริงมีเพียงพลังงานจลน์**เฉลี่ย**เท่ากัน ส่วน "(ก) เท่านั้น" ดักผู้ที่ลืมว่าความดันก็มีผลต่อการควบแน่นเช่นกัน ไม่ใช่แค่แรงยึดเหนี่ยวของโมเลกุล

ข้อ 46 — ตอบ ก.

D_2 มีความหนาแน่นเป็น 2 เท่าของ H_2 และแพร่ผ่านรูรั่วได้ช้ากว่า H_2 ประมาณ 1.41 เท่า

1 ขั้นที่ 1: หามวลโมลาร์ของแต่ละแก๊ส — อะตอม D หนักเป็น 2 เท่าของ H จึงมีมวลอะตอม 2

$$M_{H_2} = 2 \times 1 = 2 \text{ g/mol}, \qquad M_{D_2} = 2 \times 2 = 4 \text{ g/mol}$$

2 ขั้นที่ 2: ที่อุณหภูมิและความดันเดียวกัน ความหนาแน่นแปรผันตรงกับมวลโมลาร์ ($d = \frac{PM}{RT}$)

$$\frac{d_{D_2}}{d_{H_2}} = \frac{M_{D_2}}{M_{H_2}} = \frac{4}{2} = 2$$

3 ขั้นที่ 3: ใช้กฎของแกรห์มหาอัตราส่วนการแพร่

$$\frac{r_{D_2}}{r_{H_2}} = \sqrt{\frac{M_{H_2}}{M_{D_2}}} = \sqrt{\frac{2}{4}} = \frac{1}{\sqrt{2}} \approx 0.71$$

นั่นคือ D_2 แพร่ได้ช้ากว่า H_2 ประมาณ $\sqrt{2} \approx 1.41$ เท่า

ข้อควรระวัง: ตัวเลือกที่ว่าความหนาแน่นเท่ากันเป็นความเข้าใจผิดว่าธาตุชนิดเดียวกัน (ไฮโดรเจน) ต้องมีมวลเท่ากันเสมอ ทั้งที่ไอโซโทปมีมวลต่างกัน ตัวเลือก "4 เท่า และช้ากว่า 2 เท่า" มาจากการลืมถอดรากที่สองตอนคำนวณอัตราการแพร่ (ใช้อัตราส่วนมวลโมลาร์ตรงๆ) และตัวเลือกสุดท้ายกลับทิศทางความสัมพันธ์ระหว่างมวลกับการแพร่โดยสิ้นเชิง

ข้อ 47 — ตอบ ก.

1.41 เท่า

หลักคิด: ที่อุณหภูมิและความดันเดียวกัน ความหนาแน่นแปรผันตรงกับมวลโมลาร์ ($d = \frac{PM}{RT}$) จึงใช้อัตราส่วนความหนาแน่นแทนอัตราส่วนมวลโมลาร์ในกฎของแกรห์มได้โดยตรง โดยไม่ต้องหามวลโมลาร์จริงเลย

1 **ขั้นที่ 1:** หาอัตราส่วนมวลโมลาร์จากความหนาแน่น

$$\frac{M_B}{M_A} = \frac{d_B}{d_A} = \frac{2.86}{1.43} = 2.0$$

2 **ขั้นที่ 2:** ใช้กฎของแกรห์ม

$$\frac{r_A}{r_B} = \sqrt{\frac{M_B}{M_A}} = \sqrt{2.0} \approx 1.41$$

ตรวจสอบเชิงเหตุผล: แก๊ส A เบากว่า (ความหนาแน่นน้อยกว่า) จึงต้องแพร่เร็วกว่า สอดคล้องกับ $r_A/r_B > 1$

ข้อควรระวัง: ตัวลวง 2.00 เท่า มาจากการใช้อัตราส่วนความหนาแน่นตรงๆ โดยลืมถอดรากที่สอง ตัวลวง 0.50 เท่า คือกลับอัตราส่วนความหนาแน่นผิดทิศแล้วลืมถอดราก และ 0.71 เท่า คือถอดรากถูกแต่กลับทิศทาง ($\sqrt{d_A/d_B}$ แทนที่จะเป็น $\sqrt{d_B/d_A}$)

ข้อ 48 — ตอบ ค.

128 g/mol

1 **ขั้นที่ 1:** กฎการแพร่ของแกรห์ม: อัตราการแพร่แปรผกผันกับรากที่สองของมวลโมลาร์ และเนื่องจากปริมาตรเท่ากัน **เวลา** จึงแปรผกผันกับอัตรา

$$\frac{r_{O_2}}{r_X} = \frac{t_X}{t_{O_2}} = \sqrt{\frac{M_X}{M_{O_2}}}$$

2 **ขั้นที่ 2:** แทนค่า ($M_{O_2} = 32$)

$$\frac{100\,\cancel{s}}{50\,\cancel{s}} = \sqrt{\frac{M_X}{32}}$$

3 **ขั้นที่ 3:** ยกกำลังสองทั้งสองข้าง

$$2^2 = \frac{M_X}{32} \quad \rightarrow \quad M_X = 4 \times 32 = 128\ \text{g/mol}$$

ตรวจสอบเชิงเหตุผล: แก๊ส X ใช้เวลานานกว่า แสดงว่าแพร่ช้ากว่า จึงต้องหนักกว่า O_2

ข้อควรระวัง: ตัวลวง 64 คือคิดแบบเส้นตรง (เวลา 2 เท่า มวล 2 เท่า) โดยลืมยกกำลังสอง ส่วน 8 คือจับอัตราส่วนกลับด้าน ($32 \div 4$) ซึ่งขัดแย้งกับข้อเท็จจริงที่ว่าแก๊สที่แพร่ช้ากว่าต้องหนักกว่า

ข้อ 49 — ตอบ ง.

85 วินาที

หลักคิด: ข้อนี้ต้องต่อสองแนวคิดเข้าด้วยกัน — (1) ที่สภาวะเดียวกัน ความหนาแน่นของแก๊สแปรผันตรงกับมวลโมลาร์ (จาก $d = \frac{PM}{RT}$) และ (2) กฎของเกรแฮม โดยเมื่อปริมาตรเท่ากัน เวลาแปรผกผันกับอัตราการแพร่

1 **ขั้นที่ 1:** หามวลโมลาร์ของ X จากอัตราส่วนความหนาแน่น

$$\frac{M_X}{M_{N_2}} = \frac{d_X}{d_{N_2}} = 2 \quad \rightarrow \quad M_X = 2 \times 28 = 56 \text{ g/mol}$$

2 **ขั้นที่ 2:** ใช้กฎของเกรแฮมในรูปของเวลา (แก๊สหนักกว่า → แพร่ช้ากว่า → ใช้เวลานานกว่า)

$$\frac{t_X}{t_{N_2}} = \sqrt{\frac{M_X}{M_{N_2}}} = \sqrt{\frac{56}{28}} = \sqrt{2}$$

3 **ขั้นที่ 3:** คำนวณเวลา

$$t_X = 60 \times \sqrt{2} \approx 60 \times 1.414 \approx 85 \text{ s}$$

(ประมาณ 85 วินาที)

ตรวจสอบเชิงเหตุผล: X หนักกว่าจึงต้องใช้เวลานานกว่า 60 วินาที แต่ไม่ถึง 2 เท่า (เพราะถอดรากแล้ว)

ระวัง: ตัวลวง 120 วินาที คือคิดแบบเส้นตรง (หนัก 2 เท่า ใช้เวลา 2 เท่า) โดยลืมถอดรากที่สอง ส่วน 42 วินาที ($60 \div \sqrt{2}$) คือจับอัตราส่วนกลับด้าน ให้แก๊สหนักใช้เวลาน้อยลง ซึ่งขัดกับกฎของเกรแฮม

ข้อ 50 — ตอบ ข.

4 : 1 และ 80%

หลักคิด: การรั่วผ่านรูเล็กมาก (effusion) เป็นไปตามกฎของเกรแฮม — แก๊สแต่ละชนิดในถังเดียวกันรั่วออกด้วยอัตราแปรผกผันกับ $\sqrt{M}$ เมื่อจำนวนโมลตั้งต้นเท่ากัน (ความดันย่อยเท่ากัน) อัตราส่วนโมลของแก๊สที่รั่วออกในช่วงแรกจึงเท่ากับอัตราส่วนของอัตราการแพร่โดยตรง

1 ขั้นที่ 1: หาอัตราส่วนอัตราการรั่ว ($M_{\mathrm{H_2}} = 2, M_{\mathrm{O_2}} = 32$)

$$\frac{r_{\mathrm{H_2}}}{r_{\mathrm{O_2}}} = \sqrt{\frac{M_{\mathrm{O_2}}}{M_{\mathrm{H_2}}}} = \sqrt{\frac{32}{2}} = \sqrt{16} = 4$$

ดังนั้นแก๊สที่รั่วออกช่วงแรกมี $\mathrm{H_2} : \mathrm{O_2} = 4 : 1$ โดยโมล

2 ขั้นที่ 2: คิดร้อยละโดยโมลของ $\mathrm{H_2}$ ในแก๊สที่รั่วออก

$$\%\mathrm{H_2} = \frac{4}{4+1} \times 100 = 80\%$$

ระวัง: ตัวลวง 16 : 1 คือลืมถอดรากที่สอง (ใช้อัตราส่วนมวลโมลาร์ 32/2 ตรง ๆ) ตัวลวง 1 : 4 คือจับทิศกลับ ให้แก๊สหนักรั่วเร็วกว่า ซึ่งขัดกับกฎของเกรแฮม และข้อสังเกตสำคัญ: เมื่อเวลาผ่านไป $\mathrm{H_2}$ ในถังร่อยหรอเร็วกว่า อัตราส่วนที่รั่วออกจะไม่ใช่ 4 : 1 อีกต่อไป — โจทย์จึงเจาะจงว่า "ช่วงแรกสุด"

ข้อ 51 — ตอบ ค.

4.0 L

หลักคิด: ที่อุณหภูมิและความดันเดียวกัน อัตราส่วนปริมาตรของแก๊สเท่ากับอัตราส่วนโมล (กฎของเกย์-ลูสแซกว่าด้วยการรวมปริมาตร / กฎอาโวกาโดร) จึงเทียบปริมาตรตามเลขสัมประสิทธิ์ในสมการได้โดยตรง ไม่ต้องผ่านโมลเลย

1 ขั้นที่ 1: จากสมการ $\mathrm{H_2} : \mathrm{NH_3} = 3 : 2$

$$V_{\mathrm{NH_3}} = 6.0\ \mathrm{L} \times \frac{2}{3} = 4.0\ \mathrm{L}$$

ระวัง: ตัวลวง 9.0 L คือจับอัตราส่วนกลับด้าน ($6.0 \times \frac{3}{2}$) ส่วน 2.0 L คือเทียบกับ $\mathrm{N_2}$ ผิดตัว ($6.0 \times \frac{1}{3}$) — เขียนอัตราส่วนกำกับให้ชัดว่าตัวเลขไหนเป็นของสารใดก่อนคูณเสมอ

ข้อ 52 — ตอบ ก.

5.6 L

1 ขั้นที่ 1: หามวลโมลาร์ของ C_3H_8

$$M = 3(12) + 8(1) = 44 \text{ g/mol}$$

2 ขั้นที่ 2: เปลี่ยนมวลเป็นโมล

$$n_{C_3H_8} = \frac{2.2}{44} = 0.05 \text{ mol}$$

3 ขั้นที่ 3: จากสมการ $C_3H_8 : O_2 = 1 : 5$

$$n_{O_2} = 5 \times 0.05 = 0.25 \text{ mol}$$

4 ขั้นที่ 4: แปลงเป็นปริมาตรที่ STP

$$V_{O_2} = 0.25 \times 22.4 = 5.6 \text{ L}$$

ข้อควรระวัง: ตัวลวง 1.12 L มาจากการใช้อัตราส่วนโมล $1 : 1$ (ลืมคูณด้วย 5) ตัวลวง 3.36 L มาจากการสลับใช้สัมประสิทธิ์ของ CO_2 (3) แทนที่จะเป็น O_2 (5) และ 246.4 L มาจากการลืมหารมวลด้วยมวลโมลาร์ก่อน (ใช้ 2.2 เป็นจำนวนโมลตรงๆ)

ข้อ 53 — ตอบ ง.

2.24 L

หลักคิด: เส้นทางคำนวณมาตรฐาน: มวลสารตั้งต้น → โมล → เทียบอัตราส่วนในสมการ → ปริมาตรแก๊สที่ STP

1 ขั้นที่ 1: หามวลโมลาร์ของ CaCO_3

$$M = 40 + 12 + 3(16) = 100 \text{ g/mol}$$

2 ขั้นที่ 2: เปลี่ยนมวลเป็นโมล

$$n_{\text{CaCO}_3} = \frac{10.0 \cancel{\text{g}}}{100 \cancel{\text{g}}/\text{mol}} = 0.10 \text{ mol}$$

3 ขั้นที่ 3: จากสมการ $\text{CaCO}_3 : \text{CO}_2 = 1 : 1$ จึงได้ CO_2 0.10 mol คิดเป็นปริมาตรที่ STP

$$V = 0.10 \cancel{\text{mol}} \times 22.4 \frac{\text{L}}{\cancel{\text{mol}}} = 2.24 \text{ L}$$

ระวัง: ตัวลวง 22.4 L คือเผลอคิดว่ามี 1 โมลเต็ม ส่วน 1.12 L และ 4.48 L ดักผู้ที่คำนวณมวลโมลาร์ผิด (เช่น ลืมคูณออกซิเจน 3 อะตอม) — ค่า 22.4 L/mol ใช้ได้เฉพาะที่ STP ซึ่งโจทย์ระบุให้แล้ว

ข้อ 54 — ตอบ ก.

3.2 g

หลักคิด: สภาวะที่วัด (1.0 atm, 27°C) ไม่ใช่ STP จึงต้องใช้ $PV = nRT$ หาโมล CO_2 ก่อน แล้วเทียบอัตราส่วนโมลจากสมการย้อนกลับไปหามวล CH_4

1 **ขั้นที่ 1:** แปลงอุณหภูมิ $T = 27 + 273 = 300$ K แล้วหาโมล CO_2

$$n_{CO_2} = \frac{PV}{RT} = \frac{1.0 \times 4.92}{0.082 \times 300} = 0.20 \text{ mol}$$

2 **ขั้นที่ 2:** จากสมการ $CH_4 : CO_2 = 1 : 1$ ดังนั้น $n_{CH_4} = 0.20$ mol

3 **ขั้นที่ 3:** แปลงเป็นมวล ($M_{CH_4} = 12 + 4 = 16$ g/mol)

$$m_{CH_4} = 0.20 \times 16 = 3.2 \text{ g}$$

ข้อควรระวัง: ตัวลวง 3.51 g มาจากการเผลอใช้ 22.4 L/mol (สูตร STP) ทั้งที่สภาวะนี้ไม่ใช่ STP ($n = 4.92/22.4 = 0.2196$ mol) ตัวลวง 1.6 g มาจากการเข้าใจผิดว่าอัตราส่วนโมลเป็น $2 : 1$ (สลับกับสัมประสิทธิ์ O_2) และ 35.6 g มาจากการลืมแปลงอุณหภูมิเป็นเคลวิน

ข้อ 55 — ตอบ ก.

6.0 L

หลักคิด: โจทย์วัดแก๊สที่สภาวะซึ่งไม่ใช่ STP (0.82 atm, 27 °C) จึงต้องปิดท้ายด้วย $PV = nRT$ ห้ามใช้ 22.4 L/mol

1 **ขั้นที่ 1:** เปลี่ยนมวลสังกะสีเป็นโมล

$$n_{\text{Zn}} = \frac{13.0 \cancel{\text{g}}}{65 \cancel{\text{g}}/\text{mol}} = 0.20 \text{ mol}$$

2 **ขั้นที่ 2:** จากสมการ $\text{Zn} : \text{H}_2 = 1 : 1$ (กรดมากเกินพอ สังกะสีเป็นสารกำหนดปริมาณ)

$$n_{\text{H}_2} = 0.20 \text{ mol}$$

3 **ขั้นที่ 3:** ใช้ $PV = nRT$ โดย $T = 27 + 273 = 300$ K

$$V = \frac{nRT}{P} = \frac{0.20 \times 0.082 \times 300}{0.82} = \frac{4.92}{0.82} = 6.0 \text{ L}$$

ระวัง: ตัวลวง 4.48 L คือเผลอใช้ 0.20×22.4 ทั้งที่สภาวะนี้ไม่ใช่ STP ตัวลวง 12.0 L คือเข้าใจผิดว่า HCl 2 โมลให้ H_2 2 โมล (อัตราส่วน $\text{Zn} : \text{H}_2$ คือ $1 : 1$ ไม่ใช่ $1 : 2$) และ 0.54 L คือใช้ $T = 27$ โดยไม่แปลงเป็นเคลวิน

ข้อ 56 — ตอบ ข.

0.8 atm

หลักคิด: ในภาชนะปริมาตรคงที่และอุณหภูมิคงที่ ความดันย่อยแปรผันตรงกับจำนวนโมล จึงคิดปริมาณสัมพันธ์ด้วยหน่วยความดันได้โดยตรง

1 **ขั้นที่ 1:** หาสารกำหนดปริมาณ จากสมการ $\mathrm{CO} : \mathrm{O_2} = 2 : 1$ ดังนั้น CO 0.6 atm ต้องใช้ $\mathrm{O_2}$ เพียง $\frac{0.6}{2} = 0.3$ atm ซึ่งน้อยกว่าที่มีอยู่ (0.5 atm) แสดงว่า CO หมดก่อน (เป็นสารกำหนดปริมาณ)

2 **ขั้นที่ 2:** คิดความดันย่อยหลังปฏิกิริยา

- CO: หมดพอดี เหลือ 0 atm
- $\mathrm{O_2}$: เหลือ $0.5 - 0.3 = 0.2$ atm
- $\mathrm{CO_2}$: เกิดขึ้นเท่ากับ CO ที่ใช้ไป (อัตราส่วน $2 : 2$) = 0.6 atm

3 **ขั้นที่ 3:** รวมความดัน

$P_{total} = 0 + 0.2 + 0.6 = 0.8$ atm

ตรวจสอบเชิงเหตุผล: ปฏิกิริยานี้โมลแก๊สลดลง (3 โมลกลายเป็น 2 โมล) ความดันรวมจึงต้องน้อยกว่า 1.1 atm ที่เริ่มต้น

ที่มาของตัวลวง: 1.1 atm คือเข้าใจผิดว่าปฏิกิริยาไม่เปลี่ยนจำนวนโมลรวม (บวกความดันเดิมเฉย ๆ) 0.6 atm คือลืมนับ $\mathrm{O_2}$ ส่วนที่เหลือ ส่วน 0.2 atm คือหักแก๊สที่ทำปฏิกิริยาออกหมดแต่ลืมบวกความดันของ $\mathrm{CO_2}$ ที่เกิดขึ้นใหม่

ข้อ 57 — ตอบ ข.

3.2 atm

หลักคิด: ที่ปริมาตรและอุณหภูมิคงที่ ความดันย่อยแปรผันตรงกับโมล จึงคิดปริมาณสัมพันธ์ในหน่วย atm ได้เลย

1 ขั้นที่ 1: หาความดันของแก๊สที่ทำปฏิกิริยาและที่เกิดขึ้น เมื่อ N_2 ทำปฏิกิริยาไป 40%

- N_2 ใช้ไป $= 0.40 \times 1.0 = 0.4$ atm
- H_2 ใช้ไป $= 3 \times 0.4 = 1.2$ atm (อัตราส่วน $1:3$)
- NH_3 เกิดขึ้น $= 2 \times 0.4 = 0.8$ atm (อัตราส่วน $1:2$)

2 ขั้นที่ 2: หาความดันย่อยที่เหลือของแต่ละแก๊ส

- N_2 เหลือ $1.0 - 0.4 = 0.6$ atm
- H_2 เหลือ $3.0 - 1.2 = 1.8$ atm
- NH_3 มี 0.8 atm

3 ขั้นที่ 3: รวมความดัน

$P_{total} = 0.6 + 1.8 + 0.8 = 3.2$ atm

ตรวจสอบเชิงเหตุผล: ปฏิกิริยานี้โมลแก๊สลดลง (4 โมลเหลือ 2 โมล) ความดันรวมจึงต้องต่ำกว่า 4.0 atm เริ่มต้น แต่ปฏิกิริยาเกิดแค่บางส่วน จึงยังไม่ลดถึง 2.0 atm

ที่มาของตัวลวง: 4.0 atm คือเข้าใจผิดว่าความดันรวมไม่เปลี่ยนเมื่อเกิดปฏิกิริยา 2.0 atm คือคิดว่าปฏิกิริยาเกิดสมบูรณ์ 100% (ไม่อ่านเงื่อนไข 40%) ส่วน 2.4 atm คือหักแก๊สที่ใช้ไปแล้วลืมบวกความดันของ NH_3 ที่เกิดขึ้น $(4.0 - 0.4 - 1.2)$

ข้อ 58 — ตอบ ง.

22.4 L

1 ขั้นที่ 1: เปลี่ยนมวลเป็นโมล

$$n_{H_2} = 4\,\cancel{g} \times \frac{1\ \text{mol}}{2\,\cancel{g}} = 2.0\ \text{mol}$$

$$n_{O_2} = 16\,\cancel{g} \times \frac{1\ \text{mol}}{32\,\cancel{g}} = 0.5\ \text{mol}$$

2 ขั้นที่ 2: หาสารกำหนดปริมาณ จากสมการ $H_2 : O_2 = 2 : 1$ ดังนั้น O_2 0.5 mol ต้องใช้ H_2 เพียง $2 \times 0.5 = 1.0$ mol แต่มี H_2 ถึง 2.0 mol แสดงว่า O_2 หมดก่อน (เป็นสารกำหนดปริมาณ)

3 ขั้นที่ 3: หาแก๊สที่เหลือ — น้ำที่เกิดขึ้นเป็นของเหลวที่ STP จึงเหลือเฉพาะ H_2

$$n_{H_2}\ (\text{left}) = 2.0 - 1.0 = 1.0\ \text{mol}$$

4 ขั้นที่ 4: คิดเป็นปริมาตรที่ STP

$$V = 1.0\,\cancel{\text{mol}} \times 22.4\ \frac{\text{L}}{\cancel{\text{mol}}} = 22.4\ \text{L}$$

ข้อควรระวัง: ตัวลวง 44.8 L คือลืมว่าปฏิกิริยาใช้ H_2 ไปแล้ว ส่วน 33.6 L มาจากการลบโมลตรง ๆ ($2.0 - 0.5 = 1.5$ mol) โดยไม่ดูอัตราส่วนในสมการ และ 11.2 L คือเข้าใจผิดว่า H_2 เป็นสารกำหนดปริมาณ

ข้อ 59 — ตอบ ก.

2 : 2 : 3

หลักคิด: ที่ปริมาตรและอุณหภูมิคงที่ ความดันแปรผันตรงกับจำนวนโมล จึงใช้ความดัน (atm) แทนโมลได้โดยตรง เมื่อ A และ B หมดพอดี ความดันที่ใช้ไปของ A และ B เท่ากับความดันเริ่มต้นทั้งหมด และความดันสุดท้ายทั้งหมดเป็นของ C

1 **ขั้นที่ 1:** หาปริมาณที่ทำปฏิกิริยาและเกิดขึ้น

$$\Delta P_A = 0.6 \text{ atm}, \quad \Delta P_B = 0.6 \text{ atm}, \quad P_C = 0.9 \text{ atm}$$

(ทั้งหมดคือปริมาณที่ A และ B ใช้ไปจนหมด และปริมาณ C ที่เกิดขึ้นใหม่)

2 **ขั้นที่ 2:** อัตราส่วนความดันที่ใช้ไป/เกิดขึ้น คือ อัตราส่วนโมลของสัมประสิทธิ์ในสมการ

$$\Delta P_A : \Delta P_B : P_C = 0.6 : 0.6 : 0.9$$

3 **ขั้นที่ 3:** หารทุกเทอมด้วยตัวร่วมน้อยที่สุด (0.3) เพื่อให้ได้อัตราส่วนจำนวนเต็มอย่างง่าย

$$0.6/0.3 : 0.6/0.3 : 0.9/0.3 = 2 : 2 : 3$$

ตรวจสอบเชิงเหตุผล: ความดันรวมลดลงจาก 1.2 เหลือ 0.9 atm แสดงว่าจำนวนโมลแก๊สรวมลดลงหลังปฏิกิริยา ซึ่งสอดคล้องกับ $a + b > c\,(2 + 2 = 4 > 3)$ ✓

ข้อควรระวัง: ตัวลวง "1 : 1 : 1" มาจากการเข้าใจผิดว่าจำนวนโมลรวมไม่เปลี่ยนแปลง (ไม่ได้ใช้ข้อมูลความดันสุดท้ายที่ลดลง) ตัวลวง "3 : 3 : 2" คือสลับอัตราส่วนของสารตั้งต้นกับผลิตภัณฑ์ และ "1 : 1 : 2" เป็นการเดาโดยไม่ได้คำนวณจากข้อมูลความดันที่ให้มาจริง

ข้อ 60 — ตอบ ก.

40%

หลักคิด: ที่อุณหภูมิและความดันเดียวกัน อัตราส่วนปริมาตรของแก๊สเท่ากับอัตราส่วนโมล (กฎของอาโวกาโดร) จึงเทียบปริมาตรตามสมการเคมีได้โดยตรง

1 **ขั้นที่ 1:** เขียนสมการเผาไหม้ทั้งสอง

$$\mathrm{CH_4} + 2\mathrm{O_2} \rightarrow \mathrm{CO_2} + 2\mathrm{H_2O}$$

$$\mathrm{C_2H_6} + \frac{7}{2}\mathrm{O_2} \rightarrow 2\mathrm{CO_2} + 3\mathrm{H_2O}$$

สังเกตว่า $\mathrm{CH_4}$ 1 ปริมาตรให้ $\mathrm{CO_2}$ 1 ปริมาตร แต่ $\mathrm{C_2H_6}$ 1 ปริมาตรให้ $\mathrm{CO_2}$ 2 ปริมาตร (ตามจำนวนอะตอม C)

2 **ขั้นที่ 2:** ตั้งระบบสมการ ให้ปริมาตร $\mathrm{CH_4} = x$ และ $\mathrm{C_2H_6} = y$ (หน่วย cm³)

$$x + y = 20$$

$$x + 2y = 32$$

3 **ขั้นที่ 3:** ลบสมการแรกออกจากสมการที่สอง

$$y = 12 \quad \rightarrow \quad x = 20 - 12 = 8$$

4 **ขั้นที่ 4:** ตรวจสอบ: $\mathrm{CO_2} = 8 + (2 \times 12) = 32$ cm³ ตรงตามโจทย์

$$\%\mathrm{CH_4} = \frac{8}{20} \times 100 = 40\%$$

ข้อควรระวัง: ตัวลวง 60% คือเผลอตอบร้อยละของ $\mathrm{C_2H_6}$ (อ่านโจทย์ไม่ครบ) และผู้ที่ลืมคูณ 2 ให้ $\mathrm{C_2H_6}$ ตามจำนวนอะตอมคาร์บอน จะตั้งสมการไม่ได้เลยเพราะจะได้ปริมาตร $\mathrm{CO_2}$ เพียง 20 cm³ ไม่ถึง 32 cm³