บทที่ 6 แก๊สและสมบัติของแก๊ส

ชีทเรียน+แบบฝึกหัด · ติวเคมี สอวน. ค่าย 1 · แบบฝึกหัดเรียงตามหัวข้อจากง่ายไปยาก · เฉลยย่ออยู่หน้าสุดท้าย (ฉบับร่าง — รอเจ้าของรีวิว)

แก๊สและสมบัติของแก๊ส

หมวดนี้คือ "เครื่องผลิตคะแนน" ของ สอวน. ค่าย 1 — ข้อสอบชอบออกโจทย์คำนวณหลายขั้น เช่น ใช้ $PV = nRT$ หามวลโมลาร์ต่อด้วยหาสูตรโมเลกุล, เก็บแก๊สเหนือน้ำแล้วถามมวลสาร, หรือสโตอิจิโอเมตรีที่ผูกปฏิกิริยากับปริมาตรแก๊ส ถ้าแม่นเรื่องหน่วยและเลือกสูตรถูก หมวดนี้เก็บคะแนนเต็มได้จริง แต่ถ้าพลาดเรื่อง "ลืมแปลงเคลวิน" หรือ "ลืมหักความดันไอน้ำ" ก็เสียคะแนนง่ายที่สุดเช่นกัน

1. ปูพื้นก่อนลุย: ตัวแปร 4 ตัวของแก๊สและหน่วยที่ต้องแม่น

พฤติกรรมของแก๊สทั้งหมดอธิบายได้ด้วยตัวแปรแค่ 4 ตัว จำให้ขึ้นใจ:

ตัวแปร	สัญลักษณ์	หน่วยที่ใช้บ่อย	ข้อควรระวัง
ความดัน	P	atm, mmHg (torr), kPa	$1\ \text{atm} = 760\ \text{mmHg} = 101.3\ \text{kPa}$
ปริมาตร	V	L, mL	$1\ \text{L} = 1000\ \text{mL} = 1\ \text{dm}^3$
อุณหภูมิ	T	**เคลวินเท่านั้น**	$T(\text{K}) = t(^\circ\text{C}) + 273$
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 $27 + 273 = 300\ \text{K}$ (เลขนี้จะเจอบ่อยมากเพราะคำนวณง่าย) และความดัน 380 mmHg คือ

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

สังเกตวิธี "ตัดหน่วย" แบบนี้ให้ชิน — มันคือเกราะกันพลาดที่ดีที่สุดในบทนี้

2. 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 1 — แก๊สปริมาตร 2.0 L ที่ความดัน 1.2 atm ถูกอัดจนความดันเป็น 3.0 atm ที่อุณหภูมิคงที่ จงหาปริมาตรใหม่

วิธีทำ: อุณหภูมิคงที่ → ใช้กฎของบอยล์

$$V_2 = \frac{P_1 V_1}{P_2} = \frac{1.2\ \cancel{\text{atm}} \times 2.0\ \text{L}}{3.0\ \cancel{\text{atm}}} = 0.80\ \text{L}$$

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

3. 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 $T(\text{K})$ เป็นเส้นตรงผ่านจุดกำเนิด และถ้าลากกราฟ V กับ $t(^\circ\text{C})$ ย้อนไปตัดแกนที่ $V = 0$ จะได้ −273°C คือที่มาของ**ศูนย์สัมบูรณ์**นั่นเอง

ตัวอย่างที่ 2 — แก๊สปริมาตร 250 mL ที่ 27°C ถูกทำให้ร้อนขึ้นเป็น 87°C ที่ความดันคงที่ จงหาปริมาตรใหม่

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

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

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

4. 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 3 — ยางรถยนต์สูบลมไว้ 2.0 atm ที่ 27°C หลังวิ่งทางไกลอุณหภูมิในยางเป็น 57°C ถ้าปริมาตรยางคงที่ ความดันในยางเป็นเท่าใด

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

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

5. 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 4 — 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 ✓

6. 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 5 — แก๊สชนิดหนึ่งบรรจุในถัง 8.2 L ที่ความดัน 1.5 atm อุณหภูมิ 27°C มีแก๊สกี่โมล

วิธีทำ:

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

6.1 หามวลโมลาร์จาก $PV = nRT$ — ข้อสอบสุดคลาสสิก

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

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

ตัวอย่างที่ 6 — 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 $\mathrm{CO_2}$ ($12 + 2 \times 16 = 44$)

6.2 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 7 — จงหาความหนาแน่นของแก๊ส $\mathrm{O_2}$ ที่ความดัน 2 atm อุณหภูมิ 27°C

วิธีทำ: $M_{\mathrm{O_2}} = 32$ g/mol

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

7. 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 8 — ผสมแก๊ส $\mathrm{N_2}$ 2 mol กับ $\mathrm{O_2}$ 3 mol ในถังเดียวกัน ความดันรวม 10 atm จงหาความดันย่อยของแต่ละแก๊ส

วิธีทำ: โมลรวม = 5 mol

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

เช็ก: $4 + 6 = 10$ atm ✓

7.1 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 9 — 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

8. 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 10 — แก๊ส X แพร่ผ่านรูเล็กด้วยอัตราเป็นครึ่งหนึ่งของแก๊ส $\mathrm{CH_4}$ ที่สภาวะเดียวกัน จงหามวลโมลาร์ของ X

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

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

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

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

9. ทฤษฎีจลน์ของแก๊ส และแก๊สจริง vs แก๊สอุดมคติ

9.1 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 11 — ที่อุณหภูมิเดียวกัน โมเลกุล He (M = 4) เคลื่อนที่เร็วเป็นกี่เท่าของโมเลกุล CH_4 (M = 16)

วิธีทำ: อุณหภูมิเท่ากัน ตัด T ทิ้งได้:

$$\frac{u_{\text{He}}}{u_{\text{CH}_4}} = \sqrt{\frac{M_{\text{CH}_4}}{M_{\text{He}}}} = \sqrt{\frac{16}{4}} = 2$$

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

9.2 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

10. 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 12 — เผา $CaCO_3$ 25 g จนสลายตัวหมดตามสมการ $CaCO_3 \rightarrow CaO + CO_2$ จะได้แก๊ส CO_2 กี่ลิตรที่ STP

วิธีทำ: $M_{\text{CaCO}_3} = 40 + 12 + 3 \times 16 = 100$ g/mol

ขั้นที่ 1 — มวลเป็นโมล:

$$n_{\text{CaCO}_3} = \frac{25\,\cancel{g}}{100\,\cancel{g}/\text{mol}} = 0.25 \text{ mol}$$

ขั้นที่ 2 — อัตราส่วนโมลจากสมการคือ 1 : 1 ดังนั้น $n_{\text{CO}_2} = 0.25$ 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 13 (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

📌 สรุปสูตรและประเด็นต้องจำ

เรื่อง	สูตร	เงื่อนไข / หมายเหตุ
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	$P_{\text{gas}} = P_{\text{atm}} - P_{H_2O}$	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	$1\ \text{atm} = 760\ \text{mmHg} = 101.3\ \text{kPa}$
การแปลงอุณหภูมิ	$T(\text{K}) = t(^\circ\text{C}) + 273$
เลขอาโวกาโดร	$N_A = 6.02 \times 10^{23}\ \text{mol}^{-1}$

⚠️ จุดที่เด็กพลาดบ่อย

- **ลืมแปลงองศาเซลเซียสเป็นเคลวิน** — ตัวการเบอร์หนึ่งของทั้งบท ทุกสูตรแก๊สใช้เคลวินเท่านั้น สร้างนิสัย: อ่านโจทย์จบ บวก 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 $P_{\text{gas}} = P_{\text{atm}} - P_{\text{H}_2\text{O}}$ 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

✏️ แบบฝึกหัดท้ายบท (35 ข้อ — เรียงตามหัวข้อ ง่าย→ยาก)

กฎแก๊สเดี่ยว (บอยล์ ชาร์ล เกย์-ลูสแซก)

ข้อ 1. ★☆☆☆☆

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 2. ★★☆☆☆

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

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

ข้อ 3. ★★★☆☆

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 4. ★★★★☆

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

ข้อ 5. ★★★★★

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 6. ★★★★★

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

กฎแก๊สรวมและ PV=nRT

ข้อ 7. ★☆☆☆☆

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 8. ★★☆☆☆

แก๊สออกซิเจน (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 9. ★★★☆☆

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 10. ★★★☆☆

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 11. ★★★☆☆

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 12. ★★★☆☆

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 13. ★★★☆☆

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 14. ★★★★☆

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 15. ★★★★★

แก๊สผสมระหว่าง He กับ 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%

ทฤษฎีจลน์ของแก๊สและการแพร่ (เกรแฮม)

ข้อ 16. ★☆☆☆☆

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 17. ★★☆☆☆

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 18. ★★☆☆☆

แก๊สจริงมีพฤติกรรมเบี่ยงเบนไปจากแก๊สอุดมคติมากที่สุดที่สภาวะใด

ก. ความดันต่ำ อุณหภูมิสูง

ข. ความดันสูง อุณหภูมิต่ำ

ค. ความดันต่ำ อุณหภูมิต่ำ

ง. ความดันสูง อุณหภูมิสูง

ข้อ 19. ★★★☆☆

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 20. ★★★☆☆

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 21. ★★★☆☆

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 22. ★★★★☆

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 23. ★★★★★

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%

ความดันย่อยและแก๊สผสม

ข้อ 24. ★☆☆☆☆

ถังใบหนึ่งบรรจุแก๊สผสมที่ไม่ทำปฏิกิริยากัน 3 ชนิด วัดความดันรวมได้ 1.2 atm ถ้าความดันย่อยของ He เท่ากับ 0.4 atm และของ 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 25. ★★☆☆☆

บรรจุแก๊ส N_2 2.0 mol และแก๊ส O_2 3.0 mol ในถังเดียวกันโดยไม่เกิดปฏิกิริยา วัดความดันรวมได้ 2.0 atm ความดันย่อยของแก๊ส N_2 เป็นกี่ atm

ก. 0.8 atm

ข. 1.2 atm

ค. 0.4 atm

ง. 1.0 atm

ข้อ 26. ★★★☆☆

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 27. ★★★★☆

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 28. ★★★★★

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

ปริมาณสัมพันธ์ของแก๊สในปฏิกิริยา

ข้อ 29. ★☆☆☆☆

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 30. ★★☆☆☆

เผาหินปูน ($CaCO_3$) 10.0 g จนสลายตัวสมบูรณ์ตามสมการ $CaCO_3(s) \rightarrow CaO(s) + CO_2(g)$ จะได้แก๊ส 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 31. ★★★☆☆

ใส่โลหะสังกะสี 13.0 g ลงในกรดไฮโดรคลอริกที่มากเกินพอ เกิดปฏิกิริยา $Zn(s) + 2HCl(aq) \rightarrow ZnCl_2(aq) + H_2(g)$ อย่างสมบูรณ์ แก๊ส 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 32. ★★★★☆

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

ก. 1.1 atm

ข. 0.8 atm

ค. 0.6 atm

ง. 0.2 atm

ข้อ 33. ★★★★☆

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 34. ★★★★☆

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 35. ★★★★★

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%

เฉลยย่อ บทที่ 6

1. ข	2. ค	3. ก	4. ข	5. ค	6. ก	7. ง	8. ก	9. ค	10. ง
11. ง	12. ค	13. ข	14. ก	15. ค	16. ข	17. ก	18. ข	19. ง	20. ค
21. ค	22. ง	23. ข	24. ค	25. ก	26. ง	27. ก	28. ง	29. ค	30. ง
31. ก	32. ข	33. ข	34. ง	35. ก					

เฉลยละเอียด บทที่ 6

ข้อ 1 — ตอบ ข.

2.4 L

ขั้นที่ 1: อุณหภูมิคงที่และจำนวนโมลคงที่ จึงใช้กฎของบอยล์ $P_1V_1 = P_2V_2$

ขั้นที่ 2: แทนค่า

$$V_2 = \frac{P_1V_1}{P_2} = \frac{1.0\ \cancel{\text{atm}} \times 6.0\ \text{L}}{2.5\ \cancel{\text{atm}}} = 2.4\ \text{L}$$

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 2 — ตอบ ค.

533 mL

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

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

ขั้นที่ 2: แทนค่า

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

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

ข้อ 3 — ตอบ ก.

327 °C

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

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

ขั้นที่ 2: หาอุณหภูมิที่ความดันถึง 3.0 atm

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

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 4 — ตอบ ข.

4.0 atm

หลักคิด: โจทย์เป็นกระบวนการ 2 ขั้นที่แยกกันชัดเจน แต่ละขั้นใช้กฎแก๊สเดี่ยวคนละกฎ ต้องคิดทีละขั้นตามลำดับ ห้ามจับต้น-ปลายมาใส่สูตรเดียวมั่ว ๆ

ขั้นที่ 1: ลดอุณหภูมิที่ความดันคงที่ → กฎของชาร์ล (อุณหภูมิต้องเป็นเคลวิน)

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

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

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

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

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 5 — 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

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

$$P = \frac{P_A V_A + P_B V_B}{V_{\text{total}}} = \frac{(3.0)(2.0) + (0.5)(3.0)}{5.0} = \frac{6.0 + 1.5}{5.0} = 1.5 \text{ atm}$$

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 6 — ตอบ ก.

16.0 cm

หลักคิด: อากาศที่ถูกขังมีจำนวนโมลคงที่และอุณหภูมิคงที่ จึงใช้กฎของบอยล์ โดยปริมาตรของลำอากาศแปรผันตรงกับความยาวลำ (พื้นที่หน้าตัดคงที่) และความดันของอากาศขังอ่านจากสมดุลของปรอท

ขั้นที่ 1: หาความดันเริ่มต้นของอากาศขัง — ระดับปรอทสองข้างเท่ากัน แปลว่าความดันอากาศขังเท่ากับความดันบรรยากาศพอดี

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

ขั้นที่ 2: หลังเติมปรอท ระดับข้างปลายเปิดสูงกว่า 19 cm แสดงว่าอากาศขังต้องรับทั้งความดันบรรยากาศและน้ำหนักลำปรอทส่วนต่าง

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

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 7 — ตอบ ง.

1.0 atm

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

ขั้นที่ 1: แปลงอุณหภูมิเป็นเคลวิน

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

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 8 — ตอบ ก.

6.15 L

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

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

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

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 9 — ตอบ ค.

SO_3

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

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

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

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 10 — ตอบ ง.

1.64 atm

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

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

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 11 — ตอบ ง.

5.33 L

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

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

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 12 — ตอบ ค.

40 g/mol

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

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

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 13 — ตอบ ข.

3.57 g/L

ขั้นที่ 1: หามวลโมลาร์ของ CO_2

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

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

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

ขั้นที่ 3: แทนค่า ($T = 300 \text{ K}$)

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

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 14 — ตอบ ก.

4.8 atm

ขั้นที่ 1: ปริมาตรคงที่แต่ทั้งจำนวนโมลและอุณหภูมิเปลี่ยน จึงใช้ $PV = nRT$ เปรียบเทียบสองสภาวะ

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

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

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

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 15 — ตอบ ค.

50%

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

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

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

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

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

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 16 — ตอบ ข.

He

หลักคิด: ตามกฎการแพร่ของเกรแฮม อัตราการแพร่แปรผกผันกับรากที่สองของมวลโมลาร์

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

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

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

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 17 — 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 โมเลกุลจึงไม่มีทางเกาะกลุ่มกันเป็นของเหลวได้ไม่ว่าจะลดอุณหภูมิหรือเพิ่มความดันเท่าใด การควบแน่นได้เป็นสมบัติของแก๊สจริงเท่านั้น

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

ข้อ 18 — 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 19 — ตอบ ง.

60 cm

ขั้นที่ 1: หามวลโมลาร์ของแก๊สทั้งสอง

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

ขั้นที่ 2: ใช้กฎการแพร่ของเกรแฮม อัตราการแพร่แปรผกผันกับรากที่สองของมวลโมลาร์

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

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

$d_{\mathrm{CH_4}} = \frac{2}{3} \times 90 = 60$ 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 20 — 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 21 — ตอบ ค.

128 g/mol

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

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

ขั้นที่ 2: แทนค่า ($M_{O_2} = 32$)

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

ขั้นที่ 3: ยกกำลังสองทั้งสองข้าง

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

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 22 — ตอบ ง.

85 วินาที

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

ขั้นที่ 1: หามวลโมลาร์ของ X จากอัตราส่วนความหนาแน่น

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

ขั้นที่ 2: ใช้กฎของเกรแฮมในรูปของเวลา (แก๊สหนักกว่า → แพร่ช้ากว่า → ใช้เวลานานกว่า)

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

ขั้นที่ 3: คำนวณเวลา

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

(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 23 — ตอบ ข.

4 : 1 และ 80%

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

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

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 24 — ตอบ ค.

0.5 atm

หลักคิด: กฎความดันย่อยของดอลตัน — ความดันรวมของแก๊สผสมที่ไม่ทำปฏิกิริยากัน เท่ากับผลบวกของความดันย่อยของแก๊สแต่ละชนิด

$$P_{\text{total}} = P_{\mathrm{He}} + P_{\mathrm{N_2}} + P_3$$

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 25 — ตอบ ก.

0.8 atm

หลักคิด: ความดันย่อยของแก๊สแต่ละชนิดเท่ากับเศษส่วนโมลคูณความดันรวม

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

ขั้นที่ 1: หาเศษส่วนโมลของ $\mathrm{N_2}$

$$X_{\mathrm{N_2}} = \frac{2.0}{2.0 + 3.0} = \frac{2}{5} = 0.4$$

ขั้นที่ 2: คูณความดันรวม

$$P_{\mathrm{N_2}} = 0.4 \times 2.0 \text{ atm} = 0.8 \text{ atm}$$

ตรวจสอบเชิงเหตุผล: $P_{\mathrm{O_2}} = \frac{3}{5} \times 2.0 = 1.2$ atm และ $0.8 + 1.2 = 2.0$ atm ตรงกับความดันรวม ✓

ระวัง: ตัวลวง 1.2 atm คือความดันย่อยของ $\mathrm{O_2}$ (ตอบผิดตัว — อ่านโจทย์ให้ครบว่าถามแก๊สใด) ส่วน 0.4 atm คือตอบเศษส่วนโมลเฉย ๆ โดยลืมคูณความดันรวม

ข้อ 26 — ตอบ ง.

0.4 atm

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

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

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

ขั้นที่ 2: หาเศษส่วนโมลของ $\mathrm{O_2}$

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

ขั้นที่ 3: ใช้กฎความดันย่อยของดอลตัน

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

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

ข้อ 27 — ตอบ ก.

439 mL

ขั้นที่ 1: แก๊สที่เก็บเหนือน้ำเป็นแก๊สผสมระหว่าง O_2 กับไอน้ำ ใช้กฎของดอลตันหาความดันย่อยของ O_2 แห้ง

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

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 28 — ตอบ ง.

1.28 atm

หลักคิด: เมื่อเปิดวาล์ว แก๊สแต่ละชนิดขยายเข้าไปเต็มปริมาตรรวมอย่างอิสระ (แนวคิดหัวใจของกฎดอลตัน) จึงคิดความดันย่อยของแต่ละแก๊สแยกกันด้วยกฎของบอยล์ แล้วค่อยปรับผลของอุณหภูมิ

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

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

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

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

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 29 — ตอบ ค.

4.0 L

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

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 30 — ตอบ ง.

2.24 L

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

ขั้นที่ 1: หามวลโมลาร์ของ $\mathrm{CaCO_3}$

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

ขั้นที่ 2: เปลี่ยนมวลเป็นโมล

$$n_{\mathrm{CaCO_3}} = \frac{10.0\ \cancel{\mathrm{g}}}{100\ \cancel{\mathrm{g}}/\mathrm{mol}} = 0.10\ \mathrm{mol}$$

ขั้นที่ 3: จากสมการ $\mathrm{CaCO_3} : \mathrm{CO_2} = 1 : 1$ จึงได้ $\mathrm{CO_2}$ 0.10 mol คิดเป็นปริมาตรที่ STP

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

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 31 — ตอบ ก.

6.0 L

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

ขั้นที่ 1: เปลี่ยนมวลสังกะสีเป็นโมล

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

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

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

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 32 — ตอบ ข.

0.8 atm

หลักคิด: ในภาชนะปริมาตรคงที่และอุณหภูมิคงที่ ความดันย่อยแปรผันตรงกับจำนวนโมล จึงคิดปริมาณสัมพันธ์ด้วยหน่วยความดันได้โดยตรง

ขั้นที่ 1: หาสารกำหนดปริมาณ จากสมการ $\text{CO} : \text{O}_2 = 2 : 1$ ดังนั้น CO 0.6 atm ต้องใช้ O_2 เพียง $\frac{0.6}{2} = 0.3$ atm ซึ่งน้อยกว่าที่มีอยู่ (0.5 atm) แสดงว่า CO หมดก่อน (เป็นสารกำหนดปริมาณ)

ขั้นที่ 2: คิดความดันย่อยหลังปฏิกิริยา

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

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 O_2 ส่วนที่เหลือ ส่วน 0.2 atm คือหักแก๊สที่ทำปฏิกิริยาออกหมดแต่ลืมบวกความดันของ CO_2 ที่เกิดขึ้นใหม่

ข้อ 33 — ตอบ ข.

3.2 atm

หลักคิด: ที่ปริมาตรและอุณหภูมิคงที่ ความดันย่อยแปรผันตรงกับโมล จึงคิดปริมาณสัมพันธ์ในหน่วย atm ได้เลย

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 $1:2$)

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

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 34 — ตอบ ง.

22.4 L

ขั้นที่ 1: เปลี่ยนมวลเป็นโมล

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

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

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

ขั้นที่ 3: หาแก๊สที่เหลือ — น้ำที่เกิดขึ้นเป็นของเหลวที่ STP จึงเหลือเฉพาะ $\mathrm{H_2}$

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

ขั้นที่ 4: คิดเป็นปริมาตรที่ STP

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

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

ข้อ 35 — ตอบ ก.

40%

หลักคิด: ที่อุณหภูมิและความดันเดียวกัน อัตราส่วนปริมาตรของแก๊สเท่ากับอัตราส่วนโมล (กฎของอาโวกาโดร) จึงเทียบปริมาตรตามสมการเคมีได้โดยตรง

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)

ขั้นที่ 2: ตั้งระบบสมการ ให้ปริมาตร $\mathrm{CH_4} = x$ และ $\mathrm{C_2H_6} = y$ (หน่วย cm^3)

$$x + y = 20$$

$$x + 2y = 32$$

ขั้นที่ 3: ลบสมการแรกออกจากสมการที่สอง

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

ขั้นที่ 4: ตรวจสอบ: $\mathrm{CO_2} = 8 + (2 \times 12) = 32$ cm^3 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 cm^3 ไม่ถึง 32 cm^3