



PHYSICS TEAM

— Learn Physics, Love Physics —

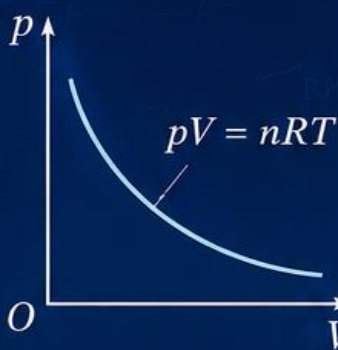
PHYSICS 2018 SERIES

| **VẬT LÝ 12** |

— CHUYÊN ĐỀ —

KHÍ LÝ TƯỞNG

VẬT LÝ 12



$$pV = nRT$$



$$T = t + 273,15 \text{ K}$$



BÁM SÁT TRIẾT LÝ

Chương trình GDPT
2018



8 DẠNG BÀI CHUYÊN SÂU

Từ cơ bản đến nâng cao,
hướng tới Olympic



BỒI DƯỠNG HỌC SINH GIỎI

Đào sâu bản chất lý thuyết,
kỹ năng mô hình hóa



TƯ DUY THỰC NGHIỆM

Gắn kết lý thuyết
với thực tiễn



**DÀNH CHO
HỌC SINH 12**

ÔN THI CHUYÊN, HSG, OLYMPIC



TÀI LIỆU CHẤT LƯỢNG CAO

Bản quyền bởi đội ngũ
PHYSICS TEAM



HỌC TẬP HIỆU QUẢ

Hệ thống bài tập vận dụng,
lời giải chi tiết



<https://physicsteam.vn>

CHUYÊN ĐỀ: KHÍ LÍ TỬ

MỤC LỤC

LỜI NÓI ĐẦU	3
DẠNG 1: KHÍ LÍ TỬ – BIẾN ĐỔI TRẠNG THÁI.....	4
1. HỆ THỐNG LÝ THUYẾT CƠ BẢN VÀ CHUYÊN SÂU	4
1.1. Phương trình trạng thái khí lí tử	4
1.2. Các đẳng quá trình cơ bản.....	4
1.3. Mở rộng nâng cao dành cho HSG	4
2. PHƯƠNG PHÁP GIẢI.....	4
3. BÀI TẬP VẬN DỤNG	6
♦ PT Bài 1: Nén khí đẳng nhiệt trong ống có cột thủy ngân	6
♦ PT Bài 2: Xác định nhiệt độ cực đại trong quá trình biến đổi tuyến tính.....	8
♦ PT Bài 3: Bình khí có van bảo hiểm (khối lượng khí thay đổi).....	10
♦ PT Bài 4: Sự thay đổi áp suất của khí trong bình kín theo nhiệt độ	12
♦ PT Bài 5: Biến thiên áp suất lốp xe theo nhiệt độ và ma sát	14
4. BÀI TẬP TRẮC NGHIỆM TRẢ LỜI NGẮN	16
♦ PT Bài 6: Trạng thái đẳng nhiệt của khối khí trong quá trình nạp áp suất liên tục	16
♦ PT Bài 7: Xác định thông số trạng thái ban đầu qua lượng biến thiên đẳng nhiệt	17
♦ PT Bài 8: Phân tích sai số thực nghiệm của khí áp kế thủy ngân Torricelli.....	19
♦ PT Bài 9: Trạng thái cân bằng cơ - nhiệt của ống khí chìm trong nước	20
♦ PT Bài 10: Trạng thái cân bằng cơ - nhiệt của khối khí trong xilanh thẳng đứng.....	22

LỜI NÓI ĐẦU

Chào mừng các Thầy/Cô giáo và các em học sinh đến với **Physics 2018 series** - Bộ tài liệu chuyên sâu được nghiên cứu và phát triển độc quyền bởi đội ngũ **Physics Team**.

Chuyên đề **Khí lý tưởng - Vật lý 12** là một trong những mảng kiến thức có tính phân hóa mạnh nhất trong các kỳ thi học thuật. Bám sát triết lý của Chương trình Giáo dục Phổ thông 2018, tập tài liệu này được xây dựng với mục tiêu định hình lại phương pháp học Khí lý tưởng. **Physics 2018 series** tập trung vào việc phát triển **bản chất vật lý cốt lõi, năng lực mô hình hóa và tư duy thực nghiệm**.

Nội dung giáo trình được thiết kế theo cấu trúc tuyến tính đồng bộ, dẫn dắt học sinh đi từ các quy luật vĩ mô cơ bản, bản chất động học vi mô đến các hệ thống cơ nhiệt phức tạp và chu trình động cơ nhiệt qua **8 dạng bài chuyên sâu**:

- **Dạng 1:** Khí lý tưởng – Biến đổi trạng thái
- **Dạng 2:** Đồ thị p-V, V-T, p-T
- **Dạng 3:** Hệ khí – Nhiều bình – Nối thông
- **Dạng 4:** Khí trong trường lực – Áp suất biến thiên
- **Dạng 5:** Liên hệ vi mô – Vĩ mô (Mô hình động lực phân tử)
- **Dạng 6:** Hệ khí có Piston – Lò xo – Cân bằng cơ nhiệt
- **Dạng 8:** Kết hợp Nhiệt học + Khí lý tưởng
- **Dạng 8:** Chu trình nhiệt – Hiệu suất

Hệ thống 8 dạng bài này hướng tới việc giải quyết đa mục tiêu chiến lược:

- **Bồi dưỡng Học sinh giỏi đỉnh cao:** Cung cấp các công cụ tư duy cao cấp, đào sâu bản chất lý thuyết để chinh phục các kỳ thi từ cấp Trường, Tỉnh/Thành phố, và định hướng đến các kỳ thi Olympic và Học sinh giỏi Quốc gia.
 - **Bứt phá điểm 9+, 10 thi Tốt nghiệp THPT:** Trang bị phương pháp giải quyết các câu hỏi định lượng phức tạp và các câu hỏi thực nghiệm phân hóa trong cấu trúc đề thi mới.
- Để giúp học sinh chuyển hóa lý thuyết thành năng lực giải quyết vấn đề thực tế, cấu trúc của mỗi dạng toán được chuẩn hóa chặt chẽ theo các trụ cột:

1. Hệ thống lý thuyết cơ bản và chuyên sâu: Mở rộng các mô hình vật lý tiên tiến và các "mốc nhiệt độ biên" dành riêng cho học sinh giỏi.

2. Phương pháp giải: Gồm quy trình từng bước rõ ràng.

3. Hệ thống bài tập vận dụng mẫu: Mỗi bài tập được trình bày qua tiến trình 4 bước độc quyền: *Đề bài* →  *Định hướng tư duy* →  *Hướng dẫn giải chi tiết* →  *lưu ý cho học sinh*.

4. Hệ thống bài tập Trắc nghiệm trả lời ngắn: Điểm nhấn cốt lõi bám sát cấu trúc đề thi mới. Phần này giúp học sinh rèn luyện kỹ năng bấm máy, kiểm soát sai số và làm chủ tốc độ xử lý tình huống định lượng dưới áp lực phòng thi.

Hệ thống phát hành và bảo mật tự động tại: <https://physicsteam.vn>

DẠNG 1: KHÍ LÝ TỬ – BIẾN ĐỔI TRẠNG THÁI**1. HỆ THỐNG LÝ THUYẾT CƠ BẢN VÀ CHUYÊN SÂU****1.1. Phương trình trạng thái khí lý tử**

Mối liên hệ giữa ba thông số trạng thái của một khối lượng khí xác định được biểu diễn qua phương trình Clapeyron:

$$\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2} = \text{hằng số}$$

Hoặc phương trình Mendeleev – Clapeyron:

$$pV = nRT = \frac{m}{M}RT$$

1.2. Các đẳng quá trình cơ bản

- Quá trình đẳng nhiệt (Định luật Boyle): $T = \text{const} \Rightarrow pV = \text{const}$. Đồ thị trong hệ (p, V) là đường Hyperbol.
- Quá trình đẳng áp (Định luật Charles): $p = \text{const} \Rightarrow \frac{V}{T} = \text{const}$. Đồ thị trong hệ (V, T) là đường thẳng đi qua gốc tọa độ.
- Quá trình đẳng tích (Định luật Gay-Lussac): $V = \text{const} \Rightarrow \frac{p}{T} = \text{const}$. Đồ thị trong hệ (p, T) là đường thẳng đi qua gốc tọa độ.

1.3. Mở rộng nâng cao dành cho HSG

- Quá trình biến đổi không chuẩn (Quá trình đa biến): Là quá trình mà cả p, V, T đều thay đổi theo một quy luật xác định (ví dụ: $p = aV + b$ hoặc $pV^n = \text{const}$).
- Mật độ phân tử và Khối lượng riêng: * Khối lượng riêng: $\rho = \frac{m}{V} = \frac{pM}{RT}$.

Mật độ phân tử: $n_0 = \frac{N}{V} = \frac{p}{kT}$ (với k là hằng số Boltzmann).

- Điều kiện thực tế: Hiểu rõ giới hạn của khí lý tử; khí thực chỉ tiến gần đến khí lý tử khi ở áp suất thấp và nhiệt độ cao.

2. PHƯƠNG PHÁP GIẢI**Bước 1: Xác định đối tượng và trạng thái**

- Xác định khối lượng khí (hoặc số mol n) có thay đổi trong quá trình xét hay không.
- Liệt kê các thông số (p, V, T) ở trạng thái đầu (1) và trạng thái cuối (2).
- Lưu ý: Luôn đổi nhiệt độ sang thang Kelvin ($T = t^\circ\text{C} + 273$).

Bước 2: Nhận diện loại biến đổi

- Nếu có một thông số không đổi: Sử dụng định luật về đẳng quá trình tương ứng.
- Nếu cả ba thông số đều thay đổi: Sử dụng phương trình trạng thái tổng quát.
- Nếu có sự thay đổi về khối lượng khí (bơm thêm, thoát ra): Sử dụng phương trình Mendeleev – Clapeyron cho từng trạng thái.

Bước 3: Thiết lập phương trình liên hệ

- Lập tỉ số để triệt tiêu các hằng số không cần thiết: $\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2}$.
- Trong các bài toán có hình học (piston di chuyển, cột thủy ngân): Biểu diễn V và p thông qua các đại lượng hình học (chiều dài cột khí l , tiết diện S , độ chênh lệch áp suất Δh).

Bước 4: Giải và biện luận đồ thị

- Đối với yêu cầu vẽ lại đồ thị trong hệ tọa độ mới: Xác định tính chất quá trình (ví dụ: đẳng tích trong hệ (p, V) là đường thẳng song song trục Op) và các điểm nút trạng thái.
- Đối với bài toán tìm cực trị (T_{max}, p_{min}): Thiết lập hàm số giữa hai đại lượng và sử dụng đạo hàm hoặc bất đẳng thức để tìm cực trị.

Bước 5: Kiểm tra đơn vị và tính hợp lý

- Đảm bảo tính đồng nhất đơn vị (ví dụ: áp suất cùng đơn vị atm hoặc Pa , thể tích cùng đơn vị $lít$ hoặc m^3).
- Kiểm tra kết quả có phù hợp với thực tế (ví dụ: nén khí thì áp suất phải tăng).

TÓM TẮT**1. CÔNG THỨC GỐC**

$$pV = nRT$$

$$\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2}$$

p : áp suất (Pa) V : thể tích (m^3)

T : nhiệt độ (K) n : số mol

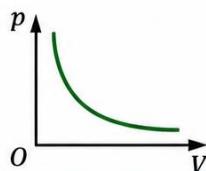
$R = 8,31 \text{ J/mol.K}$

2. BA ĐẲNG QUÁ TRÌNH**ĐẲNG NHIỆT**

($T = \text{const}$)

$$pV = \text{const}$$

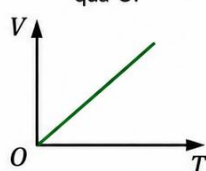
Đồ thị $p-V$
là Hyperbol.

**ĐẲNG ÁP**

($p = \text{const}$)

$$\frac{V}{T} = \text{const}$$

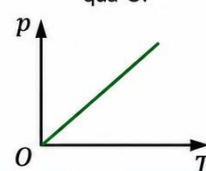
Đồ thị $V-T$
là đường thẳng
qua O.

**ĐẲNG TÍCH**

($V = \text{const}$)

$$\frac{p}{T} = \text{const}$$

Đồ thị $p-T$
là đường thẳng
qua O.

**3. KHI GIẢI BÀI**

Đổi nhiệt độ: $T = t + 273 \text{ (K)}$.



Nhận diện loại quá trình.



Áp dụng hệ thức tương ứng.

4. DỄ SAI NHẤT

Quên đổi sang Kelvin.



Nhầm loại quá trình.



Sai đơn vị áp suất, thể tích hoặc nhiệt độ.

5. GHI NHỚ

$$pV = nRT$$

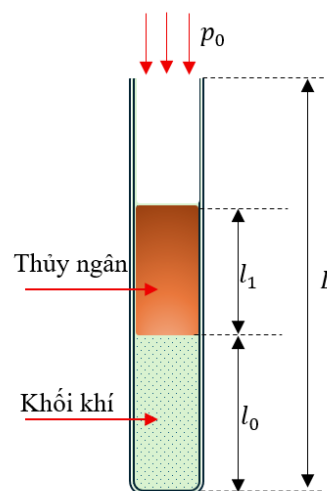


Mọi bài toán khí lý tưởng
đều xuất phát từ công thức này.

3. BÀI TẬP VẬN DỤNG

♦ PT | Bài 1: Nén khí đẳng nhiệt trong ống có cột thủy ngân

Một ống thủy tinh hình trụ dài $L = 50 \text{ cm}$, một đầu kín, một đầu hở, đặt thẳng đứng trong không khí. Ban đầu, ống được đặt sao cho miệng ống hướng lên trên, bên trong ống đang chứa một cột không khí dài $l_0 = 20 \text{ cm}$ được ngăn cách với bên ngoài bởi một cột thủy ngân dài $h = 15 \text{ cm}$. Áp suất khí quyển là $p_0 = 75 \text{ cmHg}$. Coi nhiệt độ không đổi trong suốt quá trình.



a) Tính áp suất của khối khí bên trong ống khi miệng ống hướng lên trên.

b) Người ta lật ngược ống một cách rất chậm để miệng ống hướng xuống dưới. Hãy biện luận để xác định xem thủy ngân có chảy ra ngoài không? Nếu không, hãy tính chiều dài mới l_1 của cột khí lúc này.

c) Giả sử khi miệng ống hướng xuống, người ta ấn ống thẳng đứng xuống một chậu thủy ngân sâu. Phải ấn ống đến độ sâu bao nhiêu (tính từ mặt thoáng đến miệng ống) để cột khí bên trong có chiều dài trở lại bằng l_0 ?

🔗 ĐỊNH HƯỚNG TƯ DUY

• **Bước 1** (Xác định áp suất): Khi miệng ống hướng lên, áp suất khí bằng áp suất khí quyển cộng với áp suất cột thủy ngân ($p_{up} = p_0 + h$). Khi miệng ống hướng xuống, áp suất khí bằng áp suất khí quyển trừ đi áp suất cột thủy ngân ($p_{down} = p_0 - h$).

• **Bước 2** (Biện luận chảy tràn): Sau khi tính được chiều dài mới của cột khí, cần kiểm tra điều kiện hình học:

$$l + h \leq L.$$

Nếu điều kiện này thỏa mãn thì cột thủy ngân vẫn nằm hoàn toàn trong ống và không chảy ra ngoài.

• **Bước 3** (Định luật Boyle – Mariotte): Vì nhiệt độ không đổi ($T = \text{const}$), ta luôn có $p_1 V_1 = p_2 V_2$. Với ống hình trụ, thể tích tỉ lệ thuận với chiều dài cột khí ($V = S \cdot l$).

• **Bước 4** (Hình học): Lưu ý mối liên hệ giữa chiều dài ống, chiều dài cột khí và cột thủy ngân trong từng trường hợp.

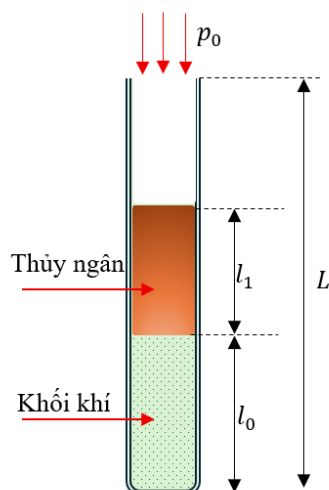
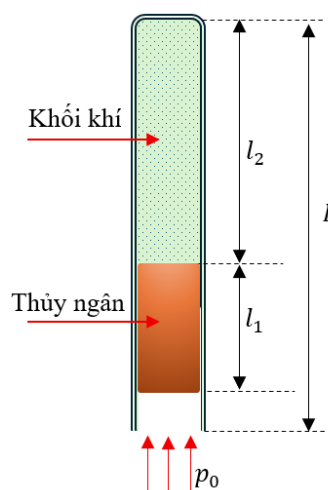
📖 HƯỚNG DẪN GIẢI CHI TIẾT

a) **Áp suất khí miệng ống hướng lên (p_1):**

- Ở trạng thái 1:

$$p_1 = p_0 + h = 75 + 15 = 90 \text{ (cmHg)}.$$

- Chiều dài cột khí: $l_1 = l_0 = 20 \text{ cm}$.

b) Lật ngược ống miệng hướng xuống (Biện luận):**Ban đầu****Sau khi lật ống**

- Giả sử thủy ngân không chảy ra ngoài. Khi đó chiều dài cột khí là l_2 .

- Áp suất khí lúc này:

$$p_2 = p_0 - h = 75 - 15 = 60 \text{ (cmHg)}.$$

- Áp dụng định luật Boyle – Mariotte:

$$p_1 \cdot l_1 = p_2 \cdot l_2 \Rightarrow 90 \cdot 20 = 60 \cdot l_2$$

$$\Rightarrow l_2 = \frac{1800}{60} = 30 \text{ (cm)}.$$

- **Biện luận:** Để thủy ngân không chảy ra, tổng chiều dài ($l_2 + h$) phải nhỏ hơn hoặc bằng chiều dài của ống thủy tinh. Vì ống có chiều dài $L = 50 \text{ cm} (\geq 45 \text{ cm})$, thủy ngân sẽ nằm yên, vậy $l_2 = 30 \text{ cm}$.

c) Ấn ống thẳng đứng xuống chậu thủy ngân

- Mục tiêu là đưa khối khí về lại chiều dài ban đầu $l_3 = l_0 = 20 \text{ cm}$.

- Thể tích khối khí như cũ nên áp suất bên trong trở về giá trị ban đầu: $p_4 = 90 \text{ cmHg}$.

Độ sâu của mặt phân cách khí - lỏng (y):

Áp suất khối khí chính là áp suất tại mặt phân cách này. Ta có:

$$p_4 = p_0 + y \Rightarrow 90 = 75 + y \Rightarrow y = 15 \text{ cm}.$$

(Mặt phân cách nằm sâu 15 cm so với mặt thoáng).

- Khối khí bị nén lại chiếm 20 cm ở đáy ống. Phần còn lại của ống chứa đầy thủy ngân (do ta ấn chìm vào chậu). Chiều dài phần chứa thủy ngân trong ống là:

$$L - 20 = 50 - 20 = 30 \text{ cm}.$$

- Miệng ống nằm dưới mặt phân cách khí - lỏng một đoạn đúng bằng 30 cm.

$$x = y + 30 = 15 + 30 = 45 \text{ cm}.$$

Kết luận: Cần ấn ống đến độ sâu **45 cm** so với mặt thoáng.

- **Đơn vị áp suất:** Trong các bài toán có cột thủy ngân, sử dụng đơn vị cmHg hoặc mmHg sẽ tiện lợi hơn rất nhiều so với Pa, vì áp suất cột thủy ngân đúng bằng chiều dài của nó (h).
- **Điều kiện cân bằng:** Hãy luôn vẽ hình và phân tích lực (áp suất) tại mặt ngăn cách giữa khí và thủy ngân. $p_{\text{trong}} = p_{\text{ngoài}}$ tại mặt ngăn cách là chìa khóa.
- **Quá trình chậm:** Cụm từ "lật chậm" hoặc "ấn chậm" ngầm định nhiệt độ khối khí luôn cân bằng với môi trường, tức là quá trình đẳng nhiệt.
- **Lỗi thường gặp:** Quên không cộng hoặc trừ áp suất khí quyển p_0 khi tính áp suất khối khí trong ống.

♦ PT | Bài 2: Xác định nhiệt độ cực đại trong quá trình biến đổi tuyến tính

Một khối lượng n mol khí lý tưởng thực hiện một quá trình biến đổi trạng thái từ (1) sang (2). Trên đồ thị $p - V$, quá trình này được biểu diễn bằng một đoạn thẳng nối hai điểm:

- Trạng thái (1): (p_1, V_1)

- Trạng thái (2): (p_2, V_2)

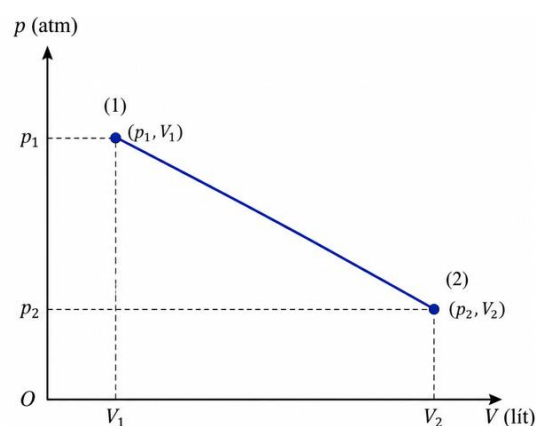
Biết rằng $p_2 < p_1$ và $V_2 > V_1$.

a) Thiết lập phương trình áp suất p theo thể tích V của khối khí trong quá trình này dưới dạng $p = aV + b$. Xác định các hệ số a, b theo p_1, V_1, p_2, V_2 .

b) Tìm biểu thức nhiệt độ T của khối khí theo thể tích V . Chứng minh rằng trong quá trình từ trạng thái (1) đến trạng thái (2), nhiệt độ đạt một giá trị cực đại.

c) Xác định thể tích V_0 và áp suất p_0 của khối khí tại thời điểm nhiệt độ đạt giá trị cực đại T_{max} .

d) Áp dụng số: Cho $n = 1$ mol; trạng thái (1) có $p_1 = 3$ atm, $V_1 = 2$ lít; trạng thái (2) có $p_2 = 1$ atm, $V_2 = 6$ lít. Tính giá trị T_{max} .



🔗 ĐỊNH HƯỚNG TƯ DUY

- **Bước 1** (Hình học): Đoạn thẳng trên hệ tọa độ (p, V) có phương trình $p = aV + b$. Đây là hàm bậc nhất.
- **Bước 2** (Vật lý): Sử dụng phương trình trạng thái Clapeyron – Mendeleev: $pV = nRT \Rightarrow T = \frac{pV}{nR}$.
- **Bước 3** (Toán học): Thay $p = aV + b$ vào biểu thức T . Ta sẽ thu được hàm $T(V)$ là một hàm bậc hai (Parabol) có bề lõm hướng xuống dưới (vì hệ số $a < 0$).

• **Bước 4** (Cực trị): Tìm đỉnh của Parabol bằng cách sử dụng công thức $V_{\text{đỉnh}} = -\frac{b}{2a}$ hoặc dùng đạo hàm $\frac{dT}{dV} = 0$.

HƯỚNG DẪN GIẢI CHI TIẾT

a) Thiết lập phương trình $p = aV + b$:

- Vì đồ thị là đoạn thẳng đi qua (V_1, p_1) và (V_2, p_2) :

+ Hệ số góc: $a = \frac{p_2 - p_1}{V_2 - V_1}$ (Vì $p_2 < p_1$ và $V_2 > V_1 \Rightarrow a < 0$).

+ Thay vào (1): $p_1 = aV_1 + b \Rightarrow b = p_1 - aV_1 = p_1 - \frac{p_2 - p_1}{V_2 - V_1} V_1 = \frac{p_1 V_2 - p_2 V_1}{V_2 - V_1}$.

b) Biểu thức nhiệt độ $T(V)$:

- Từ $T = \frac{pV}{nR} = \frac{(aV+b)V}{nR} = \frac{aV^2 + bV}{nR}$.

- Vì $a < 0$, hàm số $T(V)$ là một Parabol mở xuống nên có giá trị cực đại tại đỉnh. Điều này chứng tỏ trong quá trình giãn nở, nhiệt độ đạt cực đại tại một trạng thái trung gian của quá trình.

c) Xác định V_0, p_0 tại T_{max} :

- Đạo hàm: $\frac{dT}{dV} = \frac{1}{nR} (2aV + b)$.

- $T = T_{\text{max}}$ khi $2aV_0 + b = 0 \Rightarrow V_0 = -\frac{b}{2a}$.

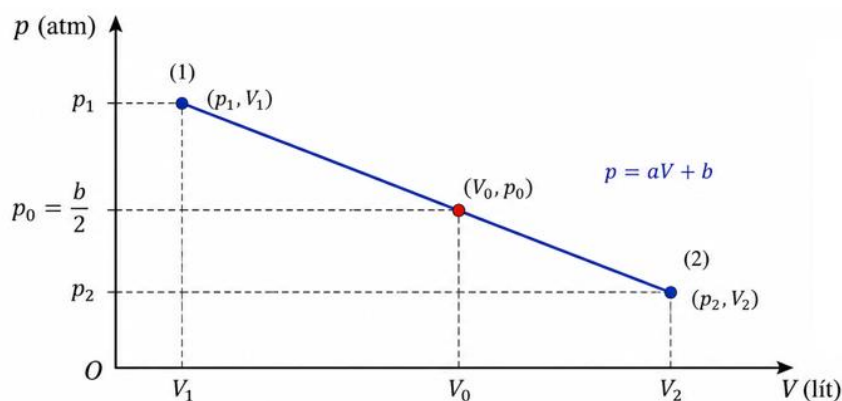
$$V_0 = -\frac{p_1 V_2 - p_2 V_1}{2(p_2 - p_1)}$$

- Thay V_0 vào phương trình áp suất: $p_0 = a\left(-\frac{b}{2a}\right) + b = \frac{b}{2}$.

Nhận xét: Tại điểm nhiệt độ cực đại:

$$p_0 = \frac{b}{2}.$$

Đây là hệ quả toán học của phương trình tuyến tính $p = aV + b$.



d) Áp dụng số:

- Đổi đơn vị: $p_1 = 3 \text{ atm}, V_1 = 2 \text{ l} \rightarrow p_1 V_1 = 6 \text{ (atm.l)}; p_2 = 1 \text{ atm}, V_2 = 6 \text{ l} \rightarrow p_2 V_2 = 6 \text{ (atm.l)}.$

- Tính a và b :

$$a = \frac{1-3}{6-2} = -0,5 \text{ (atm/l)}.$$

$$b = 3 - (-0,5) \cdot 2 = 4 \text{ (atm)}.$$

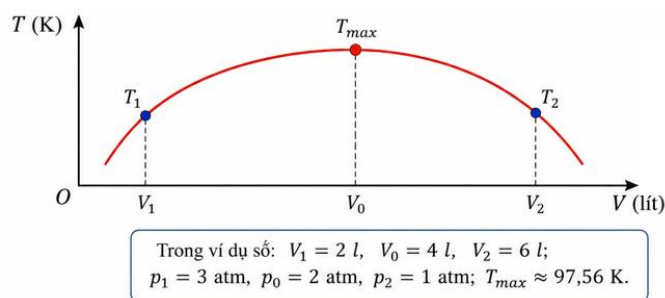
- Thể tích tại T_{max} : $V_0 = -\frac{4}{2(-0,5)} = 4 \text{ (lít)}.$

- Áp suất tại T_{max} : $p_0 = \frac{b}{2} = \frac{4}{2} = 2 \text{ (atm)}.$

- Giá trị nhiệt độ cực đại:

$$T_{max} = \frac{p_0 V_0}{nR} = \frac{2 \cdot 4}{1 \cdot 0,082} \approx 97,56 \text{ (K)}.$$

(Lưu ý: Nếu dùng $R = 8,31$ thì cần đổi p sang Pa và V sang m^3).



⚠ LƯU Ý CHO HỌC SINH

- **Nhận diện nhanh:** Nếu hai trạng thái đầu và cuối nằm trên cùng một đường đẳng nhiệt ($p_1 V_1 = p_2 V_2$) thì nhiệt độ cực đại luôn xuất hiện ở giữa quá trình.
- **Kỹ năng đạo hàm:** Đối với các bài toán HSG, việc thiết lập hàm số và tìm cực trị là kỹ năng "phải có". Đừng chỉ học thuộc các đẳng quá trình.
- **Đồ thị T-V:** Hãy thử vẽ đồ thị $T(V)$, bạn sẽ thấy nó là một cung Parabol đi qua gốc tọa độ (nếu kéo dài).
- **Ứng dụng:** Bài toán này là nền tảng để tính công và nhiệt lượng trong các quá trình đa biến phức tạp ở Dạng 4 và 5.

♦ PT | Bài 3: Bình khí có van bảo hiểm (khối lượng khí thay đổi)

Một bình thép dung tích $V = 20 \text{ lít}$ chứa khí ôxi ở áp suất $p_1 = 100 \text{ atm}$ và nhiệt độ $t_1 = 27^\circ\text{C}$. Bình được trang bị một van bảo hiểm. Van này sẽ tự động mở để khí thoát ra ngoài nếu áp suất trong bình vượt quá $p_{max} = 120 \text{ atm}$.

- Nếu nhiệt độ trong bình tăng lên đến $t_2 = 127^\circ\text{C}$ thì van bảo hiểm có mở không? Nếu có, hãy tính khối lượng khí đã thoát ra ngoài.
- Sau khi khí thoát ra và nhiệt độ giữ ở 127°C , áp suất trong bình lúc này là bao nhiêu?
- Để áp suất trong bình trở lại là 100 atm ở nhiệt độ 127°C , người ta phải xả thêm một lượng khí nữa. Tính tổng khối lượng khí đã thoát ra sau cả hai lần xả (so với ban đầu).

Cho biết: Khối lượng mol của ôxi là $M = 32 \text{ g/mol}$. Hằng số khí lý tưởng $R = 0,082 \text{ atm.l/mol.K}$.

☞ ĐỊNH HƯỚNG TƯ DUY

- **Bước 1** (Kiểm tra điều kiện mở van): Giả sử khí không thoát ra ($m = \text{const}$), sử dụng định luật Charles ($\frac{p}{T} = \text{const}$) để tính áp suất dự kiến p_2 . Nếu $p_2 > p_{\max}$, van sẽ mở.
- **Bước 2** (Tính khối lượng ban đầu): Xác định khối lượng khí ban đầu trong bình bằng phương trình trạng thái khí lý tưởng.
- **Bước 3** (Tính khối lượng còn lại): Khi van mở, áp suất trong bình sẽ duy trì ở mức tối đa $p_{\max}$ cho đến khi khí ngừng thoát. Sử dụng phương trình trạng thái cho trạng thái (2) với $p = p_{\max}$ và $T = T_2$ để tìm m_2 .
- **Bước 4** (Xử lý yêu cầu xả thêm): Lập lại phép tính với áp suất đích là 100 atm ở nhiệt độ 127°C.

HƯỚNG DẪN GIẢI CHI TIẾT

a) Kiểm tra van và tính khối lượng khí thoát ra:

- Nhiệt độ tuyệt đối: $T_1 = 27 + 273 = 300 \text{ K}$; $T_2 = 127 + 273 = 400 \text{ K}$.
- Giả sử khí không thoát ra, áp suất khi đó là:

$$p_2 = p_1 \frac{T_2}{T_1} = 100 \cdot \frac{400}{300} = 133,33 \text{ (atm)}.$$

- Vì $p_2 = 133,33 \text{ atm} > p_{\max} = 120 \text{ atm}$, nên van bảo hiểm sẽ mở.
- Khối lượng khí ban đầu trong bình:

$$m_1 = \frac{p_1 VM}{RT_1} = \frac{100 \cdot 20 \cdot 32}{0,082 \cdot 300} \approx 2601,6 \text{ (g)} \approx 2,6 \text{ (kg)}.$$

- Khối lượng khí còn lại khi áp suất đạt $p_{\max}$ ở T_2 :

$$m_2 = \frac{p_{\max} VM}{RT_2} = \frac{120 \cdot 20 \cdot 32}{0,082 \cdot 400} \approx 2341,5 \text{ (g)}.$$

- Khối lượng khí thoát ra lần 1: $\Delta m = m_1 - m_2 = 2601,6 - 2341,5 = 260,1 \text{ (g)}$.

b) Áp suất sau khi khí thoát ra:

- Khi van bảo hiểm đóng lại (ngừng xả), áp suất trong bình đúng bằng áp suất định mức của van: $p = 120 \text{ atm}$.

c) Tính tổng khối lượng khí thoát ra để $p = 100 \text{ atm}$ ở T_2 :

- Khối lượng khí cuối cùng trong bình (m_3):

$$m_3 = \frac{100 \cdot 20 \cdot 32}{0,082 \cdot 400} \approx 1951,2 \text{ (g)}.$$

- Tổng khối lượng khí đã thoát ra so với ban đầu:

$$\Delta m_{\text{tổng}} = m_1 - m_3 = 2601,6 - 1951,2 = 650,4 \text{ (g)}.$$

⚠ LƯU Ý CHO HỌC SINH

- **Áp suất giới hạn:** Van bảo hiểm chỉ giữ cho áp suất không vượt quá ngưỡng cho phép, nó không có nghĩa là xả hết khí. Nó sẽ đóng lại ngay khi áp suất trong bình bằng áp suất lò xo của van.
- **Bản chất của bài toán:** Đây thực chất là bài toán áp dụng phương trình Clapeyron – Mendeleev cho hai trạng thái có m khác nhau.
- **Ứng dụng thực tế:** Nguyên lý này được dùng trong bình gas gia đình, nồi áp suất và các hệ thống khí nén công nghiệp để tránh nổ bình khi gặp nhiệt độ cao.

♦ PT | Bài 4: Sự thay đổi áp suất của khí trong bình kín theo nhiệt độ

Một bình thép kín có thể tích không đổi chứa không khí ở áp suất $p_1 = 1,2 \times 10^5 \text{ Pa}$ và nhiệt độ $t_1 = 27^\circ\text{C}$. Coi không khí là khí lý tưởng.

- Tính áp suất p_2 khi nhiệt độ tăng lên $t_2 = 87^\circ\text{C}$.
- Áp suất trong bình đã tăng bao nhiêu phần trăm so với ban đầu?
- Thiết lập biểu thức tổng quát biểu diễn sự phụ thuộc của áp suất p vào nhiệt độ tuyệt đối T khi thể tích và lượng khí không đổi. Vẽ đồ thị phác thảo mối liên hệ giữa p và T .
- Trong một ngày nắng nóng, nhiệt độ môi trường có thể đạt tới 60°C . Hỏi bình khí trên có còn nằm trong giới hạn an toàn hay không? Nếu không, áp suất đã vượt giới hạn bao nhiêu phần trăm?

🔗 ĐỊNH HƯỚNG TƯ DUY

Bước 1 (Nhận dạng quá trình): Bình kín, thể tích không đổi nên đây là quá trình đẳng tích.

Bước 2 (Áp dụng định luật Gay-Lussac):

$$\frac{p}{T} = \text{const hay } \frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2}.$$

Bước 3 (Thiết lập biểu thức tổng quát): Rút ra mối liên hệ giữa áp suất và nhiệt độ tuyệt đối khi thể tích không đổi.

Bước 4 (Bài toán giới hạn): Sử dụng áp suất cực đại cho phép để xác định nhiệt độ lớn nhất của bình khí.

📖 HƯỚNG DẪN GIẢI CHI TIẾT

a) Tính áp suất p_2

Nhiệt độ tuyệt đối:

$$T_1 = 27 + 273 = 300\text{K},$$

$$T_2 = 87 + 273 = 360\text{K}.$$

Vì quá trình đẳng tích:

$$\frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2}.$$

Suy ra:

$$p_2 = p_1 \frac{T_2}{T_1} = 1,2 \times 10^5 \cdot \frac{360}{300} = 1,44 \times 10^5 \text{ Pa}.$$

b) Tính phần trăm tăng áp suất

Độ tăng áp suất:

$$\Delta p = p_2 - p_1 = 1,44 \times 10^5 - 1,2 \times 10^5 = 2,4 \times 10^4 \text{ Pa}.$$

Tỉ lệ tăng:

$$\frac{\Delta p}{p_1} \times 100\% = \frac{2,4 \times 10^4}{1,2 \times 10^5} \times 100\% = 20\%.$$

Vậy áp suất tăng **20%**.

c) Biểu thức tổng quát và đồ thị

Từ phương trình trạng thái khí lý tưởng:

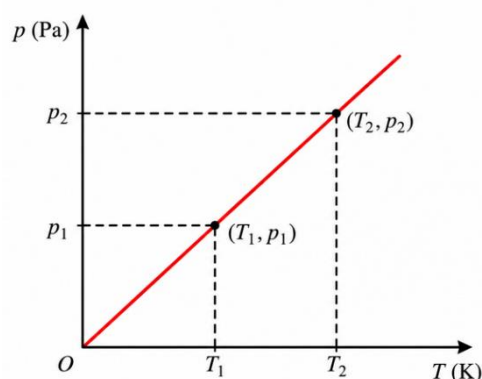
$$pV = nRT.$$

Với V và n không đổi:

$$p = \frac{nR}{V} T.$$

Nhận xét:

- Áp suất tỉ lệ thuận với nhiệt độ tuyệt đối.
- Đồ thị trong hệ tọa độ (T, p) là đường thẳng đi qua gốc tọa độ.



d) Kiểm tra giới hạn an toàn của bình

Nhiệt độ môi trường:

$$T_3 = 60 + 273 = 333 \text{ K}.$$

Vì bình kín có thể tích không đổi nên:

$$\frac{p_1}{T_1} = \frac{p_3}{T_3}.$$

Suy ra:

$$p_3 = p_1 \frac{T_3}{T_1} = 1,2 \times 10^5 \cdot \frac{333}{300} = 1,332 \times 10^5 \text{ Pa}.$$

Áp suất giới hạn của bình là:

$$p_{\max} = 1,8 \times 10^5 \text{ Pa}.$$

Ta thấy:

$$p_3 = 1,332 \times 10^5 \text{ Pa} < p_{\max} = 1,8 \times 10^5 \text{ Pa}.$$

Vậy bình khí **vẫn nằm trong giới hạn an toàn**.

⚠ LƯU Ý CHO HỌC SINH

- Trong quá trình đẳng tích:

$$\frac{p}{T} = \text{const.}$$

- Nhiệt độ bắt buộc phải đổi sang Kelvin trước khi tính toán.

- Đồ thị (p, T) luôn là đường thẳng đi qua gốc tọa độ.

- Đây là nguyên lý giải thích vì sao áp suất trong lốp xe, bình khí nén và bình cứu hỏa tăng lên khi nhiệt độ môi trường tăng cao.

♦ PT | Bài 5: Biến thiên áp suất lốp xe theo nhiệt độ và ma sát

Trước khi khởi hành từ Đà Nẵng đi quãng đường dài, một tài xế kiểm tra áp suất lốp xe ô tô và thấy đồng hồ đo chỉ $p_1 = 2,2 \text{ bar}$ ở nhiệt độ môi trường là $t_1 = 27^\circ\text{C}$.

a) Sau khi xe di chuyển liên tục trên đường cao tốc trong 2 giờ, do ma sát giữa lốp với mặt đường và các biến dạng liên tục của lốp, nhiệt độ không khí bên trong lốp xe tăng lên đến $t_2 = 77^\circ\text{C}$. Giả sử thể tích lốp xe biến dạng không đáng kể, hãy tính áp suất p_2 của không khí trong lốp lúc này.

b) Nếu lốp xe được thiết kế để chịu được áp suất tối đa là $p_{\max} = 3,0 \text{ bar}$, thì ở nhiệt độ nào của khối khí bên trong lốp sẽ bắt đầu gây nguy hiểm (nổ lốp)?

c) Trong thực tế, khi nhiệt độ tăng, lốp xe cũng giãn nở nhiệt làm thể tích tăng thêm khoảng 2%. Hãy tính lại áp suất p'_2 ở 77°C khi tính đến sự giãn nở này. Kết quả có an toàn hơn so với tính toán ở câu (a) không?

d) Tại sao các tay đua xe F1 thường dùng máy sưởi lốp trước khi xuất phát và các tài xế xe tải đường dài thường dùng lại tưới nước vào lốp xe khi trời nắng nóng? Giải thích dựa trên các quy luật khí lý tưởng.

Cho biết: $1 \text{ bar} = 10^5 \text{ Pa}$. Áp suất đồng hồ là áp suất dư (chênh lệch với áp suất khí quyển $p_{kq} = 1,0 \text{ bar}$), nhưng để đơn giản, trong bài toán này bỏ qua sự khác biệt giữa áp suất dư và áp suất tuyệt đối.

🔗 ĐỊNH HƯỚNG TƯ DUY

• **Bước 1** (Nhận diện quá trình): Khi thể tích không đổi ($V = \text{const}$), đây là quá trình đẳng tích. Ta sử dụng định luật Charles: $\frac{p}{T} = \text{const}$.

• **Bước 2** (Chuyển đổi nhiệt độ): Luôn đổi nhiệt độ Celsius ($^\circ\text{C}$) sang Kelvin (K) bằng công thức $T = t + 273$.

• **Bước 3** (Tính đến sự thay đổi thể tích): Khi V thay đổi, ta phải dùng phương trình trạng thái tổng quát (Clapeyron – Mendeleev) cho cùng một lượng khí: $\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2}$.

- **Bước 4** (Giải thích thực tế): Liên hệ giữa nhiệt độ, áp suất và độ bám đường (ma sát).

HƯỚNG DẪN GIẢI CHI TIẾT

a) Tính áp suất p_2 (Coi thể tích không đổi):

- Nhiệt độ tuyệt đối: $T_1 = 27 + 273 = 300 \text{ K}$; $T_2 = 77 + 273 = 350 \text{ K}$.

- Áp dụng định luật Charles:

$$\frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2} \Rightarrow p_2 = p_1 \frac{T_2}{T_1} = 2,2 \cdot \frac{350}{300} \approx 2,57 \text{ (bar)}.$$

b) Nhiệt độ gây nguy hiểm (T_{max}):

- Khi áp suất đạt $p_{max} = 3,0 \text{ bar}$:

$$\frac{p_1}{T_1} = \frac{p_{max}}{T_{max}} \Rightarrow T_{max} = \frac{p_{max} \cdot T_1}{p_1} = \frac{3,0 \cdot 300}{2,2} \approx 409 \text{ (K)}.$$

- Đổi sang nhiệt độ Celsius: $t_{max} = 409 - 273 = 136^\circ\text{C}$.

- Kết luận: Nếu nhiệt độ khí trong lốp vượt quá **136°C** , lốp có nguy cơ bị nổ.

c) Tính áp suất p'_2 khi thể tích tăng 2%:

- Thể tích lúc sau: $V_2 = V_1 + 2\%V_1 = 1,02V_1$.

- Áp dụng phương trình trạng thái:

$$\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p'_2 V_2}{T_2} \Rightarrow p'_2 = \frac{p_1 V_1 T_2}{T_1 \cdot (1,02V_1)} = \frac{p_1 T_2}{1,02 T_1}$$

$$p'_2 = \frac{2,2 \cdot 350}{1,02 \cdot 300} \approx 2,52 \text{ (bar)}.$$

- Nhận xét: Giá trị $2,52 \text{ bar} < 2,57 \text{ bar}$. Việc lốp giãn nở giúp giảm bớt áp suất bên trong, làm hệ thống trở nên an toàn hơn một chút so với giả thuyết thể tích không đổi.

d) Giải thích hiện tượng thực tế:

- Đua xe F1: Việc sưởi lốp giúp lốp đạt nhiệt độ làm việc tối ưu, tăng độ bám đường; đồng thời áp suất khí bên trong cũng đạt gần giá trị thiết kế.

- Tưới nước lốp xe tải: Khi đi đường dài, ma sát sinh nhiệt cực lớn làm áp suất tăng cao (như tính toán ở câu a). Việc tưới nước giúp làm giảm nhiệt độ T một cách cưỡng bức, từ đó hạ áp suất p trong lốp xuống nhanh chóng, tránh vượt ngưỡng p_{max} gây nổ lốp.

LƯU Ý CHO HỌC SINH

- **Áp suất đồng hồ vs Áp suất tuyệt đối:** Trong các bài thi HSG khó, đề bài thường cho áp suất đồng hồ. Lúc đó bạn phải cộng thêm 1,0 bar (khí quyển) trước khi đưa vào công thức khí lý tưởng, sau đó mới trừ ra để trả lời kết quả đồng hồ.

Lưu ý: Trong thực tế, đồng hồ đo lốp chỉ áp suất dư (so với khí quyển). Khi áp dụng phương trình khí lý tưởng phải dùng áp suất tuyệt đối:

$$p_{\text{tđ}} = p_d + p_{\text{khí quyển}}$$

Trong bài toán này, để đơn giản hóa việc tính toán, các giá trị áp suất cho trước được coi là áp suất tuyệt đối.

- **Sai số nhiệt độ:** Sự chênh lệch chỉ 50°C đã có thể làm áp suất tăng thêm gần 17%. Đây là con số rất lớn trong kỹ thuật an toàn.
- **Giãn nở nhiệt của vật liệu:** Trong thực tế thể tích lốp có thể thay đổi theo nhiệt độ và áp suất, nên bài toán chính xác thường phức tạp hơn mô hình khí lý tưởng đơn giản.
- **Ứng dụng:** Bài toán này nhắc nhở các tài xế không nên bơm lốp quá căng khi chuẩn bị đi đường dài vào mùa hè.

4. BÀI TẬP TRẮC NGHIỆM TRẢ LỜI NGẮN

♦ PT | Bài 6: Trạng thái đẳng nhiệt của khối khí trong quá trình nạp áp suất liên tục

Người ta dùng một cái bơm để đưa không khí ở áp suất khí quyển $p_0 = 1,0 \text{ atm}$ vào một quả bóng da có dung tích không đổi $V = 2,5 \text{ lít}$. Mỗi lần bơm đưa vào một lượng không khí có thể tích $V_0 = 125 \text{ cm}^3$ khi còn ở áp suất khí quyển p_0 . Biết rằng trước khi bơm, bên trong quả bóng đã có sẵn không khí ở áp suất $1,0 \text{ atm}$, và nhiệt độ của khối khí được giữ không đổi trong suốt quá trình bơm. Sau khi thực hiện đúng 12 lần bơm liên tiếp, áp suất không khí bên trong quả bóng bằng bao nhiêu atm?

Đáp số:

🔗 ĐỊNH HƯỚNG TƯ DUY

- **Bước 1** (Đồng bộ đơn vị thể tích): Đổi thể tích mỗi lần bơm từ cm^3 sang đơn vị lít (l) để đồng bộ với dung tích của quả bóng: $1 \text{ lít} = 1000 \text{ cm}^3$.
- **Bước 2** (Xác định trạng thái đầu): Gom toàn bộ lượng khí tham gia vào quá trình lúc sau về cùng trạng thái đầu (ở áp suất $p_0 = 1 \text{ atm}$). Lượng khí này gồm: lượng khí có sẵn trong bóng ($V = 2,5 \text{ l}$) và tổng lượng khí của 12 lần bơm bổ sung ($12 \cdot V_0$).
- **Bước 3** (Áp dụng định luật đẳng nhiệt): Sử dụng định luật Boyle - Mariotte cho toàn bộ khối khí khi bị nén gọn vào dung tích cố định của quả bóng ($V = 2,5 \text{ l}$) ở áp suất cuối cùng p_2 .

📖 HƯỚNG DẪN GIẢI CHI TIẾT

- Thể tích không khí đưa vào bóng sau 12 lần bơm là:

$$\Delta V = 12 \cdot V_0 = 12 \cdot 125 = 1500 \text{ cm}^3 = 1,5 \text{ lít}$$

- Xét toàn bộ lượng khí ở trạng thái ban đầu khi đều ở áp suất $p_1 = 1,0 \text{ atm}$, tổng thể tích của khối khí này là:

$$V_1 = V + \Delta V = 2,5 + 1,5 = 4,0 \text{ lít}$$

- Khi toàn bộ khối khí này nằm gọn trong quả bóng, trạng thái cuối cùng có thể tích $V_2 = V = 2,5 \text{ lít}$ và áp suất là p_2 .

- Vì nhiệt độ không đổi, áp dụng định luật Boyle - Mariotte:

$$p_1 \cdot V_1 = p_2 \cdot V_2 \Rightarrow 1,0 \cdot 4,0 = p_2 \cdot 2,5$$

$$\Rightarrow p_2 = \frac{4,0}{2,5} = 1,6 \text{ atm}$$

Vậy áp suất bên trong quả bóng sau khi bơm là **1,6 atm**.

Đáp số điền phiếu:

1	,	6	
---	---	---	--

⚠ LƯU Ý CHO HỌC SINH

- **Lỗi thường gặp:** Lỗi sai phổ biến nhất của học sinh khi làm bài toán bơm khí là quên cộng lượng khí ban đầu vốn đã chiếm sẵn thể tích 2,5 l bên trong quả bóng. Nếu quên lượng khí này, học sinh sẽ lập phương trình sai thành: $1 \cdot 1,5 = p_2 \cdot 2,5 \Rightarrow p_2 = 0,6 \text{ atm}$ (áp suất sau khi bơm mà lại nhỏ hơn áp suất khí quyển ban đầu là phi vật lý).

- **Lưu ý:** Sau khi bơm thêm khí vào một bình có thể tích không đổi, áp suất cuối cùng luôn phải lớn hơn áp suất ban đầu. Nếu kết quả nhỏ hơn áp suất ban đầu thì chắc chắn có sai sót.

◆ PT | Bài 7: Xác định thông số trạng thái ban đầu qua lượng biến thiên đẳng nhiệt

Một khối khí lý tưởng thực hiện một quá trình biến đổi trạng thái mà nhiệt độ được giữ không đổi. Thực nghiệm ghi nhận: nếu áp suất của khối khí biến đổi một lượng $\Delta p_1 = 2 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$ thì thể tích tương ứng của khối khí biến đổi một lượng $\Delta V_1 = 3 \text{ lít}$; còn nếu áp suất biến đổi một lượng $\Delta p_2 = 5 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$ thì thể tích tương ứng biến đổi một lượng $\Delta V_2 = 5 \text{ lít}$.

Thể tích ban đầu của khối khí này bằng bao nhiêu lít?

Đáp số:

--	--	--	--

🌀 ĐỊNH HƯỚNG TƯ DUY

- **Bước 1** (Nhận diện tính chất chuyển dịch trạng thái): Vì nhiệt độ khối khí không đổi, đây là quá trình đẳng nhiệt. Theo định luật Boyle – Mariotte, áp suất và thể tích tỉ lệ nghịch với nhau. Do đó, nếu áp suất tăng thì thể tích giảm và ngược lại.

- **Bước 2** (Thiết lập hệ phương trình biến thiên): Gọi p và V là áp suất và thể tích ban đầu. Thiết lập hai phương trình Boyle–Mariotte tương ứng với hai thí nghiệm: $(p + \Delta p)(V - \Delta V) = pV$.

- Bước 3 (Giải hệ phương trình tìm đáp số): Khai triển các hằng đẳng thức tích để triệt tiêu đại lượng pV , đưa về hệ phương trình bậc nhất hai ẩn để giải tìm V .

HƯỚNG DẪN GIẢI CHI TIẾT

1. Thiết lập phương trình cho trường hợp biến đổi thứ nhất:

Do nhiệt độ không đổi, áp dụng định luật Boyle – Mariotte. Giả sử áp suất tăng một lượng Δp_1 thì thể tích giảm một lượng ΔV_1 :

$$\begin{aligned}(p + 2 \cdot 10^5) \cdot (V - 3) &= p \cdot V \\ \Leftrightarrow p \cdot V - 3p + 2 \cdot 10^5 \cdot V - 6 \cdot 10^5 &= p \cdot V \\ \Leftrightarrow -3p + 2 \cdot 10^5 \cdot V &= 6 \cdot 10^5 \quad (1)\end{aligned}$$

2. Thiết lập phương trình cho trường hợp biến đổi thứ hai:

Tương tự, khi áp suất tăng một lượng Δp_2 thì thể tích giảm một lượng ΔV_2 :

$$\begin{aligned}(p + 5 \cdot 10^5) \cdot (V - 5) &= p \cdot V \\ \Leftrightarrow p \cdot V - 5p + 5 \cdot 10^5 \cdot V - 25 \cdot 10^5 &= p \cdot V\end{aligned}$$

Rút gọn, ta được:

$$-p + 10^5 \cdot V = 5 \cdot 10^5 \quad (2)$$

3. Giải hệ phương trình:

Từ phương trình (2), ta có: $p = 10^5 \cdot V - 5 \cdot 10^5$.

Thế vào phương trình (1):

$$\begin{aligned}-3 \cdot (10^5 \cdot V - 5 \cdot 10^5) + 2 \cdot 10^5 \cdot V &= 6 \cdot 10^5 \\ \Rightarrow V &= 9 \text{ (lít)}\end{aligned}$$

Vậy thể tích ban đầu của khối khí là **9** lít.

Đáp số điền phiếu:

9			
---	--	--	--

LƯU Ý CHO HỌC SINH

- Lỗi thường gặp: Đề bài cho đơn vị áp suất là N/m^2 (đơn vị chuẩn SI) nhưng thể tích lại cho bằng lít (l). Học sinh thường mất thời gian đổi lít sang m^3 ($1 \text{ l} = 10^{-3} \text{ m}^3$). Tuy nhiên, trong phương trình đẳng nhiệt tích phân đoạn này, nếu giữ nguyên đơn vị lít cho ΔV , ta sẽ giải ra thẳng thể tích V theo đơn vị lít, giúp triệt tiêu các lũy thừa âm và tránh sai sót tính toán.

- Tư duy về dấu của độ biến thiên: Cụm từ "biến đổi" trong đề bài không nói rõ là tăng hay giảm. Tuy nhiên, dù chọn giả thiết áp suất tăng – thể tích giảm hay ngược lại (áp suất giảm – thể tích tăng), hệ phương trình đối xứng vẫn cho ra một kết quả duy nhất là $V = 9$ lít và $p = 4 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$. Học sinh cần tự tin chọn một chiều biến đổi để giải bài toán.

♦ PT | Bài 8: Phân tích sai số thực nghiệm của khí áp kế thủy ngân Torricelli

Một khí áp kế thủy ngân (ống Torricelli) được đặt thẳng đứng nhưng bị chỉ thị sai do có một lượng nhỏ không khí lọt vào phần chân không phía trên cột thủy ngân trong ống. Khi áp suất khí quyển thực tế ngoài trời là $p_0 = 755 \text{ mmHg}$, khí áp kế này chỉ hiển thị chiều cao cột thủy ngân là $h_1 = 748 \text{ mm}$. Khi áp suất khí quyển thực tế thay đổi thành $p'_0 = 740 \text{ mmHg}$, khí áp kế hiển thị chiều cao cột thủy ngân là $h_2 = 736 \text{ mm}$. Coi diện tích mặt thủy ngân trong chậu chứa là rất lớn, tiết diện ống thủy tinh nhỏ và đều, nhiệt độ của hệ thống được giữ không đổi trong suốt quá trình đo. Chiều dài tổng cộng từ mặt thoáng thủy ngân trong chậu đến đỉnh trên cùng (bên trong) của ống thủy tinh bằng bao nhiêu milimét (mm)?

Đáp số:

🔗 ĐỊNH HƯỚNG TƯ DUY

- **Bước 1** (Phân tích áp suất phần khí lọt): Gọi l là chiều dài tổng cộng của ống tính từ mặt thoáng thủy ngân. Khi cột thủy ngân dâng lên một khoảng h , chiều dài của phần không gian chứa lượng khí lọt ở đỉnh ống là $(l - h)$. Áp suất khí quyển p_0 cân bằng với tổng áp suất của cột thủy ngân h và áp suất khí lọt $p_{khí}$: $p_0 = h + p_{khí} \Rightarrow p_{khí} = p_0 - h$.
- **Bước 2** (Thiết lập hệ phương trình đẳng nhiệt): Vì nhiệt độ không đổi và tiết diện ống đều, thể tích khối khí tỉ lệ thuận với chiều dài cột khí. Áp dụng định luật Boyle – Mariotte ($p \cdot V = \text{const}$ hay $p \cdot (l - h) = \text{const}$) cho hai trạng thái đo thực nghiệm để lập hệ phương trình một ẩn l .
- **Bước 3** (Giải tìm đáp số): Khai triển hệ phương trình bậc nhất để cô lập và giải tìm giá trị chiều dài l .

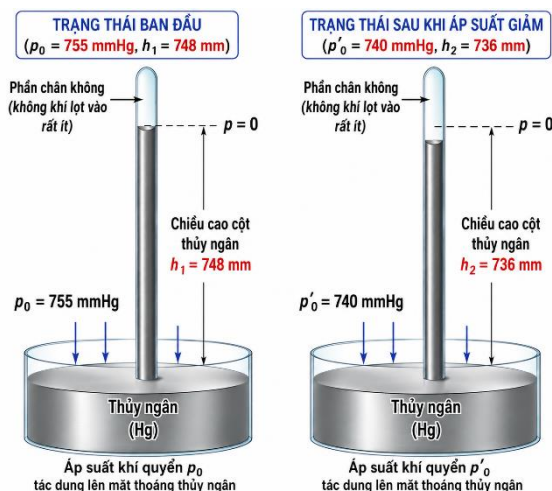
📖 HƯỚNG DẪN GIẢI CHI TIẾT

1. Phân tích trạng thái khối khí lọt ở lần đo thứ nhất:

- Chiều cao cột thủy ngân: $h_1 = 748 \text{ mm}$.
- Áp suất của khối khí lọt ở đỉnh ống lúc này là:
$$p_1 = p_0 - h_1 = 755 - 748 = 7 \text{ mmHg}$$
- Chiều dài của cột khí ở đỉnh ống là: $l_1 = l - 748$
 $\rightarrow V_1 \sim (l - 748)$.

2. Phân tích trạng thái khối khí lọt ở lần đo thứ hai:

- Chiều cao cột thủy ngân: $h_2 = 736 \text{ mm}$.
- Áp suất của khối khí lọt ở đỉnh ống lúc này là:
$$p_2 = p'_0 - h_2 = 740 - 736 = 4 \text{ mmHg}$$



- Chiều dài của cột khí ở đỉnh ống là: $l_2 = l - 736 \rightarrow V_2 \sim (l - 736)$.

3. Áp dụng định luật Boyle – Mariotte (Quá trình đẳng nhiệt):

Do lượng khí lọt bên trong ống không đổi và nhiệt độ giữ cố định, ta có:

$$p_1 \cdot V_1 = p_2 \cdot V_2$$

$$\Leftrightarrow p_1 \cdot (l - h_1) \cdot S = p_2 \cdot (l - h_2) \cdot S$$

Triệt tiêu diện tích tiết diện S ở hai vế và thay các giá trị áp suất vừa tìm được vào phương trình:

$$7 \cdot (l - 748) = 4 \cdot (l - 736)$$

$$\Rightarrow l = \frac{2292}{3} = 764 \text{ mm}$$

Vậy chiều dài tổng cộng của ống khí áp kế là **764 mm**.

Đáp số điền phiếu:

7	6	4	
---	---	---	--

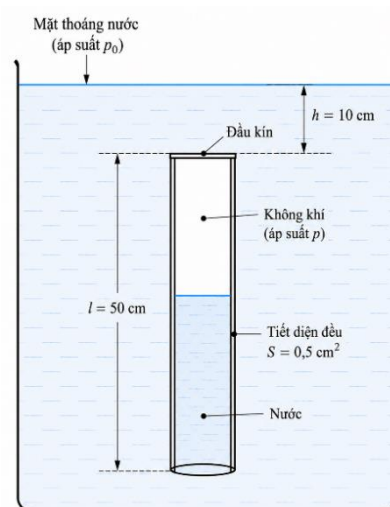
⚠ LƯU Ý CHO HỌC SINH

- **Bản chất của phép đo khí áp kế (Mẫu chốt vật lý):** Học sinh rất dễ nhầm lẫn lấy trực tiếp các giá trị $p_1 = 748 \text{ mmHg}$ và $p_2 = 736 \text{ mmHg}$ làm áp suất của khối khí biến đổi đẳng nhiệt. Chiều cao cột thủy ngân h chính là số chỉ của máy, còn áp suất thực tế của khối khí lọt phải tính bằng độ chênh lệch giữa áp suất khí quyển ngoài trời và áp suất cột thủy ngân ($p_{khí} = p_0 - h$).

- **Đơn vị Torr/mmHg đặc biệt trong nhiệt học:** Bài toán sử dụng đơn vị mmHg cho cả áp suất và chiều dài cột chất lỏng. Đây là một lợi thế toán học rất lớn. Học sinh tuyệt đối không cần đổi mmHg sang Pa hay đổi mm sang mét (m) vì các hệ số chuyển đổi ở hai vế phương trình tỉ số sẽ tự động triệt tiêu nhau hoàn toàn, giúp tính toán cực nhanh và tránh sai số.

♦ PT | Bài 9: Trạng thái cân bằng cơ - nhiệt của ống khí chìm trong nước

Một ống thủy tinh hình trụ có chiều dài $l = 50 \text{ cm}$, tiết diện đều $S = 0,5 \text{ cm}^2$, được hàn kín một đầu và chứa đầy không khí ở áp suất khí quyển $p_0 = 760 \text{ mmHg}$. Người ta ấn ống thủy tinh này chìm vào trong nước theo phương thẳng đứng, đầu kín ở phía trên. Khi hệ đạt trạng thái cân bằng cơ - nhiệt ổn định, đầu trên của ống nằm thấp hơn mặt nước một khoảng $h = 10 \text{ cm}$. Biết khối lượng của vỏ ống thủy tinh là $m = 15 \text{ g}$, khối lượng riêng của nước là $\rho_n = 1000 \text{ kg/m}^3$, khối lượng riêng của thủy ngân là $\rho_{Hg} = 13600 \text{ kg/m}^3$, gia tốc trọng trường lấy $g = 10 \text{ m/s}^2$. Coi thể tích của vỏ thủy tinh làm thành ống là không đáng kể so với thể tích phân rỗng của ống.



Lực giữ F thẳng đứng hướng xuống cần tác dụng lên ống để giữ nó cố định ở vị trí trên băng bao nhiêu niuton (N)? (Làm tròn kết quả đến hàng phần trăm).

Đáp số:

ĐỊNH HƯỚNG TƯ DUY

- **Bước 1** (Lập phương trình đẳng nhiệt quy đổi đơn vị cmHg): Khi chìm dưới nước, nước tràn vào ống một đoạn x (cm), nén khối khí lại còn chiều dài $(50 - x)$ cm. Áp suất tại mặt thoáng bên trong ống bằng áp suất thủy tĩnh tại độ sâu đó. Quy đổi áp suất cột nước cao $(h + l - x)$ cm sang cột thủy ngân bằng cách chia cho 13,6: $p = p_0 + \frac{h+l-x}{13,6}$. Áp dụng định luật Boyle – Mariotte để giải phương trình bậc hai tìm x .

- **Bước 2** (Xác định thể tích phần chìm để tính lực đẩy Archimedes): Thể tích phần ống chiếm chỗ nước thực tế (thể tích chìm) chính bằng thể tích khối khí còn lại: $V_{chìm} = S \cdot (l - x)$. Tính lực đẩy Archimedes: $F_A = \rho_n \cdot g \cdot V_{chìm}$.

- **Bước 3** (Cân bằng lực): Thiết lập hệ thức động học: $F + P = F_A \Rightarrow F = F_A - mg$.

HƯỚNG DẪN GIẢI CHI TIẾT

1. Khảo sát quá trình đẳng nhiệt của khối khí để tìm độ cao cột nước lọt vào ống:

Gọi x (cm) là chiều cao của cột nước tràn vào bên trong ống thủy tinh khi đạt trạng thái cân bằng.

- Trạng thái ban đầu (ngoài không khí):

$$+ p_1 = p_0 = 760 \text{ mmHg} = 76 \text{ cmHg}$$

$$+ V_1 = S \cdot l = S \cdot 50 \text{ (cm}^3\text{)}$$

- Trạng thái sau (chìm dưới nước):

$$+ \text{Chiều dài cột khí còn lại trong ống: } l' = 50 - x \text{ (cm)} \Rightarrow V_2 = S \cdot (50 - x) \text{ (cm}^3\text{)}.$$

+ Mặt thoáng bên trong ống cách mặt nước một khoảng là: $h + l - x = 10 + 50 - x = 60 - x$ (cm).

+ Áp suất của khối khí bị nén bằng áp suất thủy tĩnh tại độ sâu này, quy đổi theo đơn vị cmHg:

$$p_2 = p_0 + \frac{60 - x}{13,6} = 76 + \frac{60 - x}{13,6} \text{ (cmHg)}$$

- Áp dụng định luật Boyle – Mariotte ($p_1 \cdot V_1 = p_2 \cdot V_2$):

$$76 \cdot 50 \cdot S = \left(76 + \frac{60 - x}{13,6}\right) \cdot (50 - x) \cdot S$$

$$\Leftrightarrow x^2 - 1143,6x + 3000 = 0$$

Giải phương trình bậc hai trên với điều kiện vật lý $0 < x < 50$ cm:

- Nghiệm phù hợp: $x = \frac{1143,6 - 1138,341}{2} \approx 2,63 \text{ cm}$.

Chiều dài phần ống còn chứa khối khí (phần ống chiếm chỗ của nước) là:

$$l' = 50 - x = 50 - 2,63 = 47,37 \text{ cm} = 0,4737 \text{ m}$$

2. Tính toán lực đẩy Archimedes và trọng lượng ống:

- Đổi đơn vị tiết diện: $S = 0,5 \text{ cm}^2 = 0,5 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$.

- Thể tích phần ống chiếm chỗ nước:

$$V_{\text{chìm}} = S \cdot l' = (0,5 \cdot 10^{-4}) \cdot 0,4737 = 2,3685 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3$$

- Lực đẩy Archimedes tác dụng lên ống:

$$F_A = \rho_n \cdot g \cdot V_{\text{chìm}} = 1000 \cdot 10 \cdot (2,3685 \cdot 10^{-5}) \approx 0,237 \text{ N}$$

- Trọng lượng của vỏ ống thủy tinh ($m = 15 \text{ g} = 0,015 \text{ kg}$):

$$P = m \cdot g = 0,015 \cdot 10 = 0,15 \text{ N}$$

3. Tính lực giữ F cân bằng:

Áp dụng phương trình cân bằng lực thẳng đứng hướng trục:

$$F + P = F_A \Rightarrow F = F_A - P = 0,237 - 0,15 = \mathbf{0,087 \text{ N}}$$

Làm tròn hai chữ số thập phân theo yêu cầu: **0,09 N**

Đáp số điền phiếu:

0	,	0	9
---	---	---	---

⚠ LƯU Ý CHO HỌC SINH

- **Lỗi thường gặp:** Học sinh rất dễ mắc sai lầm khi cộng trực tiếp chiều cao cột nước ($60 - x$) cm vào áp suất khí quyển 76 cmHg. Hãy nhớ rằng áp suất thủy tĩnh của cột nước yếu hơn của thủy ngân 13,6 lần. Phải chia chiều cao cột nước cho 13,6 trước khi đưa vào phương trình tính toán.

- **Kỹ năng làm tròn số trung gian:** Vì phương trình bậc hai cho ra số lẻ, học sinh nên giữ tối thiểu 4 chữ số thập phân ở bước tính nghiệm cột nước x và thể tích chìm để tránh hiện tượng sai số lũy tiến làm lệch đáp án cuối cùng ở hàng phần trăm.

♦ PT | Bài 10: Trạng thái cân bằng cơ - nhiệt của khối khí trong xilanh thẳng đứng

Một xilanh đặt thẳng đứng, có diện tích tiết diện ngang là $S = 100 \text{ cm}^2$, chứa một lượng không khí xác định ở nhiệt độ ban đầu $t_1 = 27^\circ\text{C}$. Ban đầu xilanh được đẩy kín bằng một piston cách đáy xilanh một khoảng $h = 50 \text{ cm}$. Piston này có thể trượt không ma sát dọc theo mặt trong của xilanh. Sau đó, người ta đặt lên trên piston một quả cân có trọng lượng $P = 500 \text{ N}$ làm piston dịch chuyển tịnh tiến xuống một đoạn $l = 10 \text{ cm}$ rồi dừng lại ở trạng thái cân bằng mới. Biết áp suất khí quyển ngoài trời là $p_0 = 10^5 \text{ N/m}^2$. Bỏ qua khối lượng của piston.

Nhiệt độ của khối khí trong xilanh sau khi piston dừng lại ổn định bằng bao nhiêu độ C ($^\circ\text{C}$)?

Đáp số: **ĐỊNH HƯỚNG TƯ DUY**

- **Bước 1** (Xác định các thông số trạng thái đầu): Ở trạng thái 1, do piston không có khối lượng và không ma sát, áp suất khí trong bình bằng đúng áp suất khí quyển bên ngoài: $p_1 = p_0$. Thể tích ban đầu tính theo công thức hình trụ: $V_1 = S \cdot h$. Nhiệt độ tuyệt đối là $T_1 = t_1 + 273$.

- **Bước 2** (Xác định các thông số trạng thái sau): Ở trạng thái 2, khi đặt thêm quả cân, điều kiện cân bằng lực của piston thay đổi. Áp suất khí lúc sau bằng tổng áp suất khí quyển và áp suất do trọng lượng quả cân gây ra: $p_2 = p_0 + \frac{P}{S}$. Thể tích khối khí lúc này giảm đi do piston tụt xuống đoạn l : $V_2 = S \cdot (h - l)$.

- **Bước 3** (Áp dụng phương trình trạng thái Clapeyron): Sử dụng hệ thức tổng quát $\frac{p_1 \cdot V_1}{T_1} = \frac{p_2 \cdot V_2}{T_2}$ để giải tìm nhiệt độ tuyệt đối T_2 , từ đó suy ra nhiệt độ Celsius $t_2 = T_2 - 273$.

HƯỚNG DẪN GIẢI CHI TIẾT**1. Khảo sát trạng thái ban đầu (Trạng thái 1):**

- Áp suất khối khí trong bình cân bằng với áp suất khí quyển:

$$p_1 = p_0 = 10^5 \text{ N/m}^2$$

- Thể tích ban đầu của khối khí:

$$V_1 = S \cdot h$$

- Nhiệt độ tuyệt đối ban đầu của khối khí:

$$T_1 = t_1 + 273 = 27 + 273 = 300 \text{ K}$$

2. Khảo sát trạng thái sau khi đặt quả cân ổn định (Trạng thái 2):

- Đổi đơn vị tiết diện sang chuẩn hệ mét SI: $S = 100 \text{ cm}^2 = 100 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 = 10^{-2} \text{ m}^2$.

- Khi piston đứng cân bằng mới, áp lực hướng xuống (gồm áp lực khí quyển và trọng lượng quả cân) cân bằng với áp lực hướng lên do khối khí nén bên trong gây ra:

$$p_2 \cdot S = p_0 \cdot S + P \Rightarrow p_2 = p_0 + \frac{P}{S}$$

Thay các số liệu thực nghiệm vào hệ thức:

$$p_2 = 10^5 + \frac{500}{10^{-2}} = 10^5 + 50000 = 1,5 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$$

- Thể tích lúc sau của khối khí khi piston dịch chuyển xuống một đoạn $l = 10 \text{ cm}$:

$$V_2 = S \cdot (h - l)$$

3. Áp dụng phương trình trạng thái khí lý tưởng để xác định nhiệt độ cuối:

Vì khối lượng khí bên trong xilanh được giữ không đổi, áp dụng phương trình trạng thái Clapeyron:

$$\frac{p_1 \cdot V_1}{T_1} = \frac{p_2 \cdot V_2}{T_2} \Rightarrow \frac{p_1 \cdot (S \cdot h)}{T_1} = \frac{p_2 \cdot S \cdot (h - l)}{T_2}$$

Triệt tiêu diện tích tiết diện S ở cả hai vế, ta thu được phương trình rút gọn:

$$\frac{p_1 \cdot h}{T_1} = \frac{p_2 \cdot (h - l)}{T_2} \Rightarrow T_2 = T_1 \cdot \frac{p_2}{p_1} \cdot \frac{h - l}{h}$$

Thay các thông số hình học và áp suất vào biểu thức ($h = 50 \text{ cm}$, $l = 10 \text{ cm}$):

$$T_2 = 300 \cdot \frac{1,5 \cdot 10^5}{10^5} \cdot \frac{50 - 10}{50} = 300 \cdot 1,5 \cdot \frac{40}{50} = 450 \cdot 0,8 = 360 \text{ K}$$

Đổi kết quả về thang nhiệt độ Celsius theo yêu cầu của đề bài:

$$t_2 = T_2 - 273 = 360 - 273 = 87^\circ\text{C}$$

Vậy nhiệt độ của khối khí trong xilanh sau khi piston dừng lại ổn định bằng **87 °C**.

Đáp số điền phiếu:

8	7		
---	---	--	--

⚠ LƯU Ý CHO HỌC SINH

- **Lỗi thường gặp:** Học sinh rất hay mắc lỗi khi tính toán áp suất phụ thêm $\frac{P}{S}$. Nhiều em lấy trực tiếp $\frac{500}{100} = 5$ rồi cộng vào 10^5 dẫn đến sai lệch hoàn toàn. Hãy ghi nhớ: Diện tích tiết diện S bắt buộc phải đổi từ cm^2 sang m^2 ($1 \text{ cm}^2 = 10^{-4} \text{ m}^2$) trước khi thực hiện phép chia lực, để đảm bảo đồng bộ với đơn vị áp suất khí quyển N/m^2 (hoặc Pa).
- **Triệt tiêu thông số hình học hình trụ:** Khi thiết lập phương trình Clapeyron, biểu thức thể tích $V = S \cdot h$ cho phép ta triệt tiêu hoàn toàn tiết diện S ở cả hai vế. Điều này nghĩa là độ cao cột khí tỷ lệ thuận với thể tích khối khí, giúp học sinh giữ nguyên đơn vị cm cho h và l khi lập tỉ số mà không cần đổi sang mét, giúp tính nhẩm cực nhanh trong phòng thi.
- **Lỗi thường gặp:** Sau khi tính ra nhiệt độ tuyệt đối $T_2 = 360 \text{ K}$, lỗi sai của 30% học sinh khá là điền thẳng con số này vào ô trống đáp số. Hãy luôn đọc kỹ câu hỏi: Đề bài yêu cầu tìm nhiệt độ theo thang độ C ($^\circ\text{C}$), bắt buộc học sinh phải làm thêm bước trừ đi 273.