

NHIỆT HỌC & NHIỆT ĐỘNG LỰC HỌC

Nền Tảng Và Bài Tập Ứng Dụng

Tài liệu tổng hợp lý thuyết – ví dụ minh họa – bài tập tự luyện
dành cho học sinh THPT và người tự học

Biên soạn: tháng 8 năm 2026

Lời nói đầu

Nhiệt học và Nhiệt động lực học là một trong những nhánh quan trọng và thú vị nhất của Vật lý học, nghiên cứu về nhiệt độ, nhiệt lượng, sự chuyển hóa năng lượng và các quy luật chi phối chúng. Từ chiếc ấm đun nước trong bếp, động cơ ô tô, tủ lạnh, cho đến các hiện tượng thời tiết và vũ trụ học, nhiệt động lực học hiện diện ở khắp mọi nơi trong đời sống và kỹ thuật.

Cuốn sách này được biên soạn nhằm cung cấp cho học sinh trung học phổ thông và những người tự học một nền tảng vững chắc, có hệ thống về Nhiệt học và Nhiệt động lực học, bám sát chương trình Vật lý phổ thông nhưng được trình bày với chiều sâu và sự liên kết logic giữa các chương, giúp người đọc không chỉ “biết công thức” mà còn hiểu được bản chất vật lý ẩn sau mỗi định luật.

Nội dung sách được chia thành bốn phần lớn:

1. **Nền tảng Nhiệt học** – nhiệt độ, sự nở vì nhiệt, nhiệt lượng và sự chuyển thể của các chất.
2. **Chất khí và các định luật thực nghiệm** – ba định luật cơ bản và phương trình trạng thái khí lý tưởng.
3. **Nhiệt động lực học** – nội năng, hai nguyên lý nhiệt động lực học, entropy, động cơ nhiệt và chu trình Carnot.
4. **Ứng dụng và tổng hợp** – các ứng dụng thực tế, bài tập tổng hợp cuối sách và phụ lục công thức.

Mỗi chương đều có phần **lý thuyết trọng tâm**, các **ví dụ minh họa có lời giải chi tiết**, và **bài tập tự luyện kèm đáp số** ở cuối sách để người đọc tự kiểm tra mức độ hiểu bài. Các hình vẽ, đồ thị được đưa vào nhằm giúp người học hình dung trực quan hơn về các quá trình nhiệt động lực học.

Hy vọng cuốn sách sẽ là người bạn đồng hành hữu ích trên con đường chinh phục môn Vật lý của bạn.

Chúc bạn học tập hiệu quả!

Mục lục

PHẦN I - NỀN TẢNG NHIỆT HỌC	6
1 Nhiệt độ và các thang đo nhiệt độ	7
1.1 Nhiệt độ là gì?	7
1.2 Đo nhiệt độ – nguyên tắc hoạt động của nhiệt kế	7
1.3 Các thang đo nhiệt độ	7
1.3.1 Thang Celsius ($^{\circ}\text{C}$)	7
1.3.2 Thang Fahrenheit ($^{\circ}\text{F}$)	8
1.3.3 Thang Kelvin (K) – thang nhiệt độ tuyệt đối	8
1.4 Công thức chuyển đổi giữa các thang đo	8
1.5 Nhiệt độ trong thực tế và trong khoa học	9
1.6 Bài tập tự luyện – Chương 1	9
2 Sự nở vì nhiệt của vật rắn và chất lỏng	11
2.1 Nguyên nhân của sự nở vì nhiệt	11
2.2 Sự nở dài của vật rắn	11
2.3 Sự nở khối của vật rắn	12
2.4 Sự nở vì nhiệt của chất lỏng	12
2.5 Ứng dụng và tác hại của sự nở vì nhiệt	12
2.6 Bài tập tự luyện – Chương 2	13
3 Nhiệt lượng - Nhiệt dung riêng - Phương trình cân bằng nhiệt	14
3.1 Nhiệt lượng là gì?	14
3.2 Nhiệt dung riêng	14
3.3 Công thức tính nhiệt lượng	15
3.4 Phương trình cân bằng nhiệt	15
3.5 Bài tập tự luyện – Chương 3	17
4 Sự chuyển thể của các chất	18
4.1 Các thể của vật chất và quá trình chuyển thể	18
4.2 Sự nóng chảy và đông đặc	18
4.3 Sự hóa hơi và ngưng tụ	19
4.4 Bài toán tổng hợp có chuyển thể	20
4.5 Bài tập tự luyện – Chương 4	22
5 Cấu tạo chất và thuyết động học phân tử chất khí	23
5.1 Cấu tạo chất – những nội dung cơ bản	23
5.2 Thuyết động học phân tử chất khí	23
5.3 Áp suất chất khí dưới góc độ động học phân tử	24
5.4 Nhiệt độ và động năng phân tử	24
5.5 Bài tập tự luyện – Chương 5	25
PHẦN II - CHẤT KHÍ VÀ CÁC ĐỊNH LUẬT	26
6 Các định luật thực nghiệm về chất khí	27

6.1	Trạng thái của một khối khí – Thông số trạng thái	27
6.2	Định luật Boyle–Mariotte (quá trình đẳng nhiệt)	27
6.3	Định luật Charles (quá trình đẳng tích)	28
6.4	Định luật Gay-Lussac (quá trình đẳng áp)	29
6.5	Bài tập tự luyện – Chương 6	30
7	Phương trình trạng thái khí lý tưởng	31
7.1	Phương trình trạng thái khí lý tưởng (phương trình Clapeyron)	31
7.2	Phương trình Clapeyron–Mendeleev	31
7.3	Bảng tổng hợp các quá trình biến đổi trạng thái	33
7.4	Bài tập tự luyện – Chương 7	33
	PHẦN III - NHIỆT ĐỘNG LỰC HỌC	34
8	Nội năng và sự biến đổi nội năng	35
8.1	Nội năng là gì?	35
8.2	Hai cách làm biến đổi nội năng	35
8.2.1	Thực hiện công	36
8.2.2	Truyền nhiệt	36
8.3	Công của khí trong quá trình đẳng áp	36
8.4	Bài tập tự luyện – Chương 8	37
9	Nguyên lý I Nhiệt động lực học	38
9.1	Phát biểu Nguyên lý I	38
9.2	Vận dụng Nguyên lý I cho các đẳng quá trình của khí lý tưởng	38
9.2.1	Quá trình đẳng tích ($V = \text{const}$)	38
9.2.2	Quá trình đẳng áp ($p = \text{const}$)	39
9.2.3	Quá trình đẳng nhiệt ($T = \text{const}$)	39
9.2.4	Quá trình đoạn nhiệt ($Q = 0$)	39
9.3	Bảng tóm tắt Nguyên lý I theo từng quá trình	39
9.4	Bài tập tự luyện – Chương 9	40
10	Nguyên lý II Nhiệt động lực học và Entropy	42
10.1	Vì sao cần Nguyên lý II?	42
10.2	Hai cách phát biểu Nguyên lý II	42
10.2.1	Phát biểu của Clausius (về truyền nhiệt)	42
10.2.2	Phát biểu của Kelvin (về động cơ nhiệt)	42
10.3	Entropy – thước đo mức độ hỗn loạn	43
10.4	Ý nghĩa và hệ quả quan trọng của Nguyên lý II	43
10.5	Bài tập tự luyện – Chương 10	44
11	Động cơ nhiệt - Máy lạnh - Chu trình Carnot	45
11.1	Động cơ nhiệt là gì?	45
11.2	Máy lạnh - nguyên lý ngược với động cơ nhiệt	46
11.3	Chu trình Carnot	46
11.4	Bài tập tự luyện – Chương 11	48
	PHẦN IV - ỨNG DỤNG VÀ TỔNG HỢP	50
12	Ứng dụng thực tế của Nhiệt học và Nhiệt động lực học	51
12.1	Động cơ đốt trong	51
12.2	Nhà máy nhiệt điện	51
12.3	Tủ lạnh và điều hòa không khí	51

12.4	Bơm nhiệt (heat pump)	51
12.5	Hiện tượng khí quyển và khí hậu	52
12.6	Y học và sinh học	52
12.7	Công nghệ nhiệt độ thấp (Cryogenics)	52
13	Bài tập tổng hợp cuối sách	53
A	Bảng tổng hợp công thức	55
A.1	A.1. Nhiệt độ	55
A.2	A.2. Sự nở vì nhiệt	55
A.3	A.3. Nhiệt lượng và chuyển thể	55
A.4	A.4. Thuyết động học phân tử	55
A.5	A.5. Các định luật chất khí	56
A.6	A.6. Nhiệt động lực học	56
B	Hằng số vật lý và đơn vị đo	57
B.1	B.1. Các hằng số thường dùng	57
B.2	B.2. Bảng chuyển đổi đơn vị áp suất	57
B.3	B.3. Bảng chuyển đổi đơn vị năng lượng	57
B.4	B.4. Điều kiện tiêu chuẩn (đktc)	57
C	Đáp số bài tập tự luyện	58
C.1	Chương 1	58
C.2	Chương 2	58
C.3	Chương 3	58
C.4	Chương 4	58
C.5	Chương 5	59
C.6	Chương 6	59
C.7	Chương 7	59
C.8	Chương 8	59
C.9	Chương 9	60
C.10	Chương 10	60
C.11	Chương 11	60
D	Đáp số Bài tập tổng hợp	61

PHẦN I - NỀN TẢNG NHIỆT HỌC

CHƯƠNG 1

Nhiệt độ và các thang đo nhiệt độ

Mục tiêu chương: Hiểu khái niệm nhiệt độ dưới góc độ vi mô và vĩ mô; nắm vững các thang đo nhiệt độ phổ biến (Celsius, Fahrenheit, Kelvin) và biết cách chuyển đổi qua lại giữa chúng.

1.1 Nhiệt độ là gì?

Ở cấp độ vi mô, mọi vật chất đều được cấu tạo từ các phân tử, nguyên tử luôn chuyển động hỗn loạn không ngừng (chuyển động nhiệt hỗn loạn). **Nhiệt độ** là đại lượng vật lý đặc trưng cho mức độ chuyển động hỗn loạn của các phân tử cấu tạo nên vật – nhiệt độ càng cao, các phân tử chuyển động càng nhanh (động năng trung bình của phân tử càng lớn).

Ở cấp độ vĩ mô, nhiệt độ là đại lượng đặc trưng cho trạng thái nóng, lạnh của vật, đồng thời quyết định chiều truyền nhiệt tự nhiên: nhiệt luôn tự truyền từ vật có nhiệt độ cao hơn sang vật có nhiệt độ thấp hơn khi hai vật tiếp xúc nhau, cho đến khi đạt trạng thái **cân bằng nhiệt** (hai vật có cùng nhiệt độ).

Ghi nhớ

Nhiệt độ không phải là “lượng nhiệt chứa trong vật” – đó là một sự nhầm lẫn phổ biến. Nhiệt độ là thước đo mức độ chuyển động hỗn loạn của phân tử, còn nhiệt lượng là năng lượng được trao đổi giữa các vật (sẽ học ở Chương 3).

1.2 Đo nhiệt độ - nguyên tắc hoạt động của nhiệt kế

Nhiệt kế hoạt động dựa trên sự thay đổi có quy luật của một tính chất vật lý theo nhiệt độ, ví dụ:

- Sự nở dài của cột thủy ngân hoặc rượu trong ống mao dẫn (nhiệt kế chất lỏng).
- Sự thay đổi điện trở của kim loại hoặc bán dẫn theo nhiệt độ (nhiệt kế điện trở).
- Sự thay đổi hiệu điện thế tiếp xúc giữa hai kim loại khác nhau (cặp nhiệt điện – thermocouple).
- Bức xạ nhiệt phát ra từ vật (hỏa kế quang học, nhiệt kế hồng ngoại).

1.3 Các thang đo nhiệt độ

1.3.1 Thang Celsius ($^{\circ}\text{C}$)

Do nhà thiên văn học Thụy Điển Anders Celsius đề xuất năm 1742. Thang này chọn hai mốc chuẩn ở áp suất khí quyển tiêu chuẩn (1 atm):

- Nhiệt độ nước đá đang tan: 0°C

- Nhiệt độ nước đang sôi: 100°C

Khoảng cách giữa hai mốc được chia thành 100 phần bằng nhau, mỗi phần là 1°C .

1.3.2 Thang Fahrenheit ($^{\circ}\text{F}$)

Do Daniel Gabriel Fahrenheit đề xuất năm 1724, phổ biến tại Hoa Kỳ. Trong thang này:

- Nhiệt độ nước đá đang tan: 32°F
- Nhiệt độ nước đang sôi: 212°F

1.3.3 Thang Kelvin (K) - thang nhiệt độ tuyệt đối

Do William Thomson (Lord Kelvin) đề xuất, được dùng làm đơn vị SI chính thức của nhiệt độ. Điểm 0 của thang Kelvin gọi là **độ không tuyệt đối** ($0\text{ K} = -273,15^{\circ}\text{C}$) - đây là nhiệt độ thấp nhất về mặt lý thuyết mà vật chất có thể đạt tới, tại đó chuyển động nhiệt hỗn loạn của phân tử đạt cực tiểu. Trong thực nghiệm, độ không tuyệt đối chỉ có thể được tiệm cận chứ không bao giờ đạt tới chính xác.

Vì sao thang Kelvin quan trọng?

Thang Kelvin không có giá trị âm nên rất thuận tiện khi dùng trong các công thức vật lý (đặc biệt là các định luật chất khí và nhiệt động lực học), vì nhiều đại lượng (áp suất, thể tích, động năng phân tử) tỉ lệ thuận trực tiếp với nhiệt độ tuyệt đối T (K), không phải với nhiệt độ Celsius.

1.4 Công thức chuyển đổi giữa các thang đo

Công thức chuyển đổi nhiệt độ

$$T(\text{K}) = t(^{\circ}\text{C}) + 273,15 \approx t(^{\circ}\text{C}) + 273$$

$$t(^{\circ}\text{F}) = \frac{9}{5}t(^{\circ}\text{C}) + 32 \quad \Leftrightarrow \quad t(^{\circ}\text{C}) = \frac{5}{9}[t(^{\circ}\text{F}) - 32]$$

$$T(\text{K}) = \frac{5}{9}[t(^{\circ}\text{F}) - 32] + 273,15$$

Trong chương trình phổ thông, ta thường dùng xấp xỉ $T(\text{K}) = t(^{\circ}\text{C}) + 273$ để đơn giản hóa tính toán.

Ví dụ 1.1

Nhiệt độ cơ thể người bình thường là 37°C . Hãy đổi sang thang Kelvin và thang Fahrenheit.

Lời giải:

Đổi sang Kelvin: $T = 37 + 273 = 310\text{ K}$.

Đổi sang Fahrenheit: $t(^{\circ}\text{F}) = \frac{9}{5} \times 37 + 32 = 66,6 + 32 = 98,6^{\circ}\text{F}$.

Ví dụ 1.2

Nhiệt độ bề mặt Mặt Trời khoảng $5\,778\text{ K}$. Hỏi nhiệt độ này bằng bao nhiêu độ Celsius?

Lời giải:

$$t(^{\circ}\text{C}) = T(\text{K}) - 273 = 5\,778 - 273 = 5\,505^{\circ}\text{C}.$$

Ví dụ 1.3

Một địa phương ở Bắc Mỹ báo nhiệt độ ngoài trời là -4°F . Nhiệt độ này tương ứng với bao nhiêu độ Celsius? Đây có phải nhiệt độ rất lạnh không?

Lời giải:

$$t(^{\circ}\text{C}) = \frac{5}{9}[(-4) - 32] = \frac{5}{9} \times (-36) = -20^{\circ}\text{C}.$$

Đây là nhiệt độ rất lạnh, thấp hơn nhiệt độ đông đặc của nước tới 20°C , tương ứng với điều kiện mùa đông khắc nghiệt.

1.5 Nhiệt độ trong thực tế và trong khoa học

Hiện tượng / vật thể	Nhiệt độ xấp xỉ
Độ không tuyệt đối	$0\text{ K} = -273^{\circ}\text{C}$
Nitơ lỏng	$77\text{ K} \approx -196^{\circ}\text{C}$
Nước đá tan	$273\text{ K} = 0^{\circ}\text{C}$
Nhiệt độ phòng	$\approx 293\text{ K} = 20^{\circ}\text{C}$
Cơ thể người	$310\text{ K} = 37^{\circ}\text{C}$
Nước sôi (1 atm)	$373\text{ K} = 100^{\circ}\text{C}$
Lò nướng bánh	$\approx 450\text{ K} \approx 180^{\circ}\text{C}$
Bề mặt Mặt Trời	$\approx 5\,778\text{ K}$
Lõi Mặt Trời	$\approx 1,5 \times 10^7\text{ K}$

1.6 Bài tập tự luyện - Chương 1

Bài 1.1

Đổi các nhiệt độ sau sang thang Kelvin: a) 25°C ; b) -40°C ; c) 1000°C .

Bài 1.2

Đổi các nhiệt độ sau sang thang Celsius: a) 350 K ; b) 77 K ; c) 0 K .

Bài 1.3

Một học sinh đo được nhiệt độ phòng thí nghiệm là 77°F . Hỏi nhiệt độ đó bằng bao nhiêu độ Celsius và bao nhiêu Kelvin?

Bài 1.4

Ở nhiệt độ nào thì số chỉ trên thang Celsius và thang Fahrenheit bằng nhau? (Gợi ý: giải phương trình $t = \frac{9}{5}t + 32$.)

Bài 1.5

Giải thích vì sao trong các công thức của định luật chất khí (sẽ học ở Chương 6, 7), nhiệt độ luôn phải được tính bằng đơn vị Kelvin chứ không phải Celsius.

CHƯƠNG 2

Sự nở vì nhiệt của vật rắn và chất lỏng

Mục tiêu chương: Hiểu nguyên nhân vi mô của sự nở vì nhiệt; nắm công thức nở dài, nở khối và biết vận dụng vào các bài toán kỹ thuật thực tế.

2.1 Nguyên nhân của sự nở vì nhiệt

Khi nhiệt độ tăng, các phân tử/nguyên tử trong vật dao động mạnh hơn quanh vị trí cân bằng, làm khoảng cách trung bình giữa chúng tăng lên. Kết quả là kích thước tổng thể của vật (chiều dài, thể tích) tăng theo nhiệt độ. Đây gọi là hiện tượng **nở vì nhiệt**, xảy ra ở cả ba thể rắn, lỏng, khí, tuy mức độ khác nhau rất nhiều (khí nở nhiều nhất, rắn nở ít nhất).

2.2 Sự nở dài của vật rắn

Xét một thanh rắn có chiều dài ban đầu ℓ_0 ở nhiệt độ t_0 . Khi nhiệt độ tăng lên t , chiều dài thanh trở thành ℓ .

Công thức nở dài

$$\ell = \ell_0 [1 + \alpha(t - t_0)]$$

$$\Delta\ell = \ell - \ell_0 = \alpha \ell_0 \Delta t$$

trong đó α (đơn vị: K^{-1} hay $^{\circ}C^{-1}$) là **hệ số nở dài**, phụ thuộc vào bản chất vật liệu.

Bảng hệ số nở dài của một số vật liệu thường gặp:

Vật liệu	$\alpha (\times 10^{-6} K^{-1})$
Nhôm	24
Đồng	17
Sắt, thép	12
Thủy tinh thường	9
Thủy tinh Pyrex	3,2
Bê tông	12
Kim cương	1

2.3 Sự nở khối của vật rắn

Đối với vật rắn nở đều theo mọi phương, thể tích cũng tăng theo nhiệt độ:

Công thức nở khối

$$V = V_0[1 + \beta(t - t_0)], \quad \beta \approx 3\alpha$$

trong đó β là **hệ số nở khối**. Quan hệ $\beta \approx 3\alpha$ xuất phát từ việc thể tích tỉ lệ với lập phương chiều dài, và khi $\alpha\Delta t \ll 1$ ta có thể bỏ qua các số hạng bậc cao.

2.4 Sự nở vì nhiệt của chất lỏng

Chất lỏng chỉ có sự nở khối (không có hình dạng riêng), và hệ số nở khối của chất lỏng thường lớn hơn nhiều so với chất rắn. Công thức tương tự:

$$V = V_0[1 + \beta(t - t_0)]$$

Trường hợp đặc biệt của nước: Nước có tính chất nở vì nhiệt dị thường (dị thường nước) trong khoảng 0°C đến 4°C : khi tăng nhiệt độ từ 0°C đến 4°C , nước co lại (thể tích giảm), đạt khối lượng riêng cực đại tại 4°C , sau đó mới nở ra bình thường khi tiếp tục tăng nhiệt độ. Đây là lý do vì sao nước đá nổi trên mặt nước và các hồ nước đóng băng từ trên mặt xuống, giúp sinh vật dưới đáy hồ tồn tại được qua mùa đông.

2.5 Ứng dụng và tác hại của sự nở vì nhiệt

Ứng dụng:

- Băng kép (bimetal strip) trong rơ-le nhiệt, bàn ủi, nhiệt kế cơ học: hai kim loại có hệ số nở dài khác nhau được ghép chặt với nhau, khi nhiệt độ thay đổi băng kép bị uốn cong, dùng để đóng/ngắt mạch điện tự động.
- Nhiệt kế thủy ngân/rượu dựa trên sự nở khối của chất lỏng.
- Lắp ráp các chi tiết máy khít bằng phương pháp nung nóng (nung vòng bi để lắp vào trục).

Tác hại cần khắc phục:

- Đường ray xe lửa, cầu thép phải để khe hở giãn nở (dilatation joint) để tránh cong vênh khi trời nóng.
- Dây điện cao thế phải được mắc chùng (không căng quá) để tránh đứt khi co lại lúc trời lạnh.
- Đổ bê tông đường, vỉa hè phải chia thành từng ô có khe co giãn.

Ví dụ 2.1

Một thanh ray xe lửa bằng thép dài $12,5\text{ m}$ ở 15°C . Hệ số nở dài của thép là $\alpha = 12 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$. Tính độ dài thanh ray khi nhiệt độ tăng lên 45°C vào mùa hè.

Lời giải:

$$\Delta \ell = \alpha \ell_0 \Delta t = 12 \times 10^{-6} \times 12,5 \times (45 - 15) = 12 \times 10^{-6} \times 12,5 \times 30 \approx 4,5 \times 10^{-3} m = 4,5 mm$$

Vậy chiều dài thanh ray khi đó là $\ell = 12,5 m + 4,5 mm = 12,5045 m$. Đây là lý do vì sao giữa các thanh ray phải có khe hở giãn nở vài milimét.

Ví dụ 2.2

Một bình thủy tinh Pyrex có thể tích $V_0 = 1000 cm^3$ ở $20^\circ C$, chứa đầy dầu hỏa. Hệ số nở khối của dầu hỏa là $\beta_{\text{dầu}} = 950 \times 10^{-6} K^{-1}$, của thủy tinh Pyrex là $\beta_{tt} = 9,6 \times 10^{-6} K^{-1}$ (bằng 3α). Khi nhiệt độ tăng lên $70^\circ C$, thể tích dầu tràn ra khỏi bình là bao nhiêu?

Lời giải:

Độ tăng thể tích của dầu: $\Delta V_{\text{dầu}} = \beta_{\text{dầu}} V_0 \Delta t = 950 \times 10^{-6} \times 1000 \times 50 = 47,5 cm^3$

Độ tăng thể tích của bình (thủy tinh): $\Delta V_{tt} = \beta_{tt} V_0 \Delta t = 9,6 \times 10^{-6} \times 1000 \times 50 = 0,48 cm^3$

Thể tích dầu tràn ra: $\Delta V = \Delta V_{\text{dầu}} - \Delta V_{tt} = 47,5 - 0,48 \approx 47,0 cm^3$

Vì hệ số nở khối của chất lỏng lớn hơn nhiều so với chất rắn chứa nó, nên khi đun nóng bình chứa đầy chất lỏng, chất lỏng sẽ tràn ra ngoài - đây là lý do các thùng chứa nhiên liệu, chai lọ đựng chất lỏng không bao giờ được đổ đầy hoàn toàn.

2.6 Bài tập tự luyện - Chương 2

Bài 2.1

Một dây điện bằng đồng dài $50 m$ ở $20^\circ C$. Hệ số nở dài của đồng là $17 \times 10^{-6} K^{-1}$. Tính độ dài dây khi nhiệt độ giảm xuống $-10^\circ C$ vào mùa đông. Dây sẽ dài ra hay ngắn lại?

Bài 2.2

Một khối nhôm hình lập phương có cạnh $10 cm$ ở $25^\circ C$. Biết hệ số nở dài của nhôm là $24 \times 10^{-6} K^{-1}$. Tính thể tích khối nhôm ở $200^\circ C$.

Bài 2.3

Vì sao khi lắp kính vào khung cửa sổ, người thợ luôn để lại một khe hở nhỏ giữa mép kính và khung? Hãy giải thích bằng kiến thức nở vì nhiệt.

Bài 2.4

Giải thích hiện tượng: vào mùa đông, các hồ nước ở vùng ôn đới đóng băng trên bề mặt trước, trong khi nước ở đáy hồ vẫn ở thể lỏng và có nhiệt độ khoảng $4^\circ C$, giúp cá và các sinh vật thủy sinh sống sót.

CHƯƠNG 3

Nhiệt lượng - Nhiệt dung riêng - Phương trình cân bằng nhiệt

Mục tiêu chương: Phân biệt nhiệt lượng và nhiệt độ; nắm công thức tính nhiệt lượng; vận dụng phương trình cân bằng nhiệt để giải các bài toán trao đổi nhiệt giữa nhiều vật.

3.1 Nhiệt lượng là gì?

Nhiệt lượng (kí hiệu Q) là phần năng lượng mà vật nhận được hoặc mất đi trong quá trình truyền nhiệt (không phải do thực hiện công). Đơn vị của nhiệt lượng trong hệ SI là **Jun (J)**; ngoài ra người ta còn dùng đơn vị **calo (cal)**, với $1 \text{ cal} = 4,186 \text{ J}$ (nhiệt lượng cần để làm nóng 1 g nước thêm 1°C).

Nhiệt lượng luôn tự truyền từ vật/nơi có nhiệt độ cao hơn sang vật/nơi có nhiệt độ thấp hơn (theo Nguyên lý II nhiệt động lực học, xem Chương 10), không bao giờ truyền theo chiều ngược lại một cách tự nhiên.

3.2 Nhiệt dung riêng

Nhiệt dung riêng của một chất (kí hiệu c) là nhiệt lượng cần cung cấp để làm 1 kg chất đó tăng thêm 1 K (hay 1°C). Đơn vị: $\text{J}/(\text{kg}\cdot\text{K})$.

Nhiệt dung riêng đặc trưng cho khả năng “hấp thụ nhiệt” của từng chất – chất có nhiệt dung riêng lớn cần nhiều nhiệt lượng hơn để tăng cùng một độ nhiệt so với chất có nhiệt dung riêng nhỏ.

Chất	Nhiệt dung riêng c ($\text{J}/\text{kg}\cdot\text{K}$)
Nước	4180
Nước đá	2090
Hơi nước	2010
Rượu (etanol)	2500
Nhôm	880
Thủy tinh	840
Sắt, thép	460
Đồng	380
Chì	130

Vì sao nước có nhiệt dung riêng đặc biệt lớn?

Nước có nhiệt dung riêng lớn hơn hầu hết các chất thông thường, nhờ liên kết hydro giữa các phân tử nước. Đây là lý do nước biển và các đại dương đóng vai trò điều hòa khí hậu Trái Đất – vùng ven biển thường có khí hậu ôn hòa hơn (mùa hè mát, mùa đông ấm) so với vùng sâu trong lục địa.

3.3 Công thức tính nhiệt lượng

Công thức nhiệt lượng thu vào / tỏa ra

$$Q = mc\Delta t = mc(t_2 - t_1)$$

trong đó: m (kg) là khối lượng vật; c ($J/kg.K$) là nhiệt dung riêng; $\Delta t = t_2 - t_1$ là độ biến thiên nhiệt độ (K hoặc $^{\circ}C$, hai thang này có cùng độ chia nên Δt như nhau ở cả hai thang).

Nếu $t_2 > t_1$ ($\Delta t > 0$): vật thu nhiệt ($Q > 0$). Nếu $t_2 < t_1$ ($\Delta t < 0$): vật tỏa nhiệt ($Q < 0$).

Nhiệt dung của vật $C = mc$ (J/K) là nhiệt lượng cần để làm cả vật (không phải 1kg) tăng thêm 1 K.

3.4 Phương trình cân bằng nhiệt

Khi hai hay nhiều vật có nhiệt độ khác nhau được đặt tiếp xúc với nhau trong một hệ cô lập (không trao đổi nhiệt với môi trường bên ngoài), nhiệt sẽ truyền từ vật nóng hơn sang vật lạnh hơn cho đến khi đạt cân bằng nhiệt (cùng nhiệt độ). Theo định luật bảo toàn năng lượng:

Phương trình cân bằng nhiệt

$$Q_{\text{tỏa}} = Q_{\text{thu}}$$

Tổng nhiệt lượng do các vật tỏa ra bằng tổng nhiệt lượng do các vật thu vào (trong hệ cô lập nhiệt, không có mất mát nhiệt ra môi trường).

Các bước giải bài toán cân bằng nhiệt:

1. Xác định vật nào tỏa nhiệt (có nhiệt độ ban đầu cao hơn nhiệt độ cân bằng), vật nào thu nhiệt.
2. Viết biểu thức nhiệt lượng tỏa ra và thu vào cho từng vật.
3. Áp dụng $Q_{\text{tỏa}} = Q_{\text{thu}}$, giải phương trình tìm đại lượng chưa biết (thường là nhiệt độ cân bằng t , khối lượng, hoặc nhiệt dung riêng).

Ví dụ 3.1

Thả một quả cầu nhôm khối lượng 200 g đã được nung nóng tới $120^{\circ}C$ vào một cốc nước ở $25^{\circ}C$. Sau khi cân bằng nhiệt, nhiệt độ chung là $30^{\circ}C$. Biết khối lượng nước là 500 g, nhiệt dung riêng của nước là $4180 J/kg.K$, nhiệt dung

riêng của nhôm là 880 J/kg.K . Bỏ qua sự trao đổi nhiệt với cốc và môi trường. Kiểm tra xem số liệu bài toán có phù hợp không (tính nhiệt lượng tỏa ra và thu vào).

Lời giải:

Nhiệt lượng quả cầu nhôm tỏa ra khi hạ từ 120°C xuống 30°C :

$$Q_{\text{tỏa}} = m_{\text{Al}} c_{\text{Al}} (120 - 30) = 0,2 \times 880 \times 90 = 15\,840 \text{ J}$$

Nhiệt lượng nước thu vào khi tăng từ 25°C lên 30°C :

$$Q_{\text{thu}} = m_{\text{nước}} c_{\text{nước}} (30 - 25) = 0,5 \times 4180 \times 5 = 10\,450 \text{ J}$$

Ta thấy $Q_{\text{tỏa}} = 15\,840 \text{ J} \neq Q_{\text{thu}} = 10\,450 \text{ J}$. Sự chênh lệch ($\approx 5\,390 \text{ J}$) cho thấy trong thực tế đã có một phần nhiệt lượng bị thất thoát ra môi trường xung quanh (qua cốc, không khí...), điều mà đề bài lý tưởng hóa đã bỏ qua. Đây là nhận xét quan trọng giúp học sinh hiểu được giới hạn của mô hình "hệ cô lập nhiệt".

Ví dụ 3.2

Người ta thả một miếng đồng khối lượng $m_1 = 0,5 \text{ kg}$ ở nhiệt độ $t_1 = 100^\circ\text{C}$ vào $m_2 = 2 \text{ kg}$ nước ở nhiệt độ $t_2 = 20^\circ\text{C}$, làm nước nóng lên tới nhiệt độ cân bằng t . Biết nhiệt dung riêng của đồng $c_1 = 380 \text{ J/kg.K}$, của nước $c_2 = 4180 \text{ J/kg.K}$. Bỏ qua nhiệt lượng hao phí ra môi trường. Tính nhiệt độ cân bằng t .

Lời giải:

Phương trình cân bằng nhiệt: $Q_{\text{tỏa}} = Q_{\text{thu}}$

$$m_1 c_1 (t_1 - t) = m_2 c_2 (t - t_2)$$

$$0,5 \times 380 \times (100 - t) = 2 \times 4180 \times (t - 20)$$

$$190(100 - t) = 8360(t - 20)$$

$$19\,000 - 190t = 8360t - 167\,200$$

$$19\,000 + 167\,200 = 8360t + 190t$$

$$186\,200 = 8550t$$

$$t \approx 21,78^\circ\text{C}$$

Vì nhiệt dung của khối nước lớn hơn rất nhiều so với miếng đồng, nhiệt độ cân bằng chỉ tăng nhẹ so với nhiệt độ ban đầu của nước.

Ví dụ 3.3

Cần bao nhiêu nhiệt lượng để đun sôi 1,5 lít nước từ 25°C lên 100°C ? Nếu dùng bếp điện có công suất 1000 W với hiệu suất 80% , hỏi mất bao lâu?

Lời giải:

Khối lượng nước: $m = 1,5 \text{ kg}$ (vì khối lượng riêng của nước xấp xỉ 1000 kg/m^3).

Nhiệt lượng cần thiết: $Q = mc\Delta t = 1,5 \times 4180 \times (100 - 25) = 1,5 \times 4180 \times 75 = 470\,250 \text{ J} \approx 470,25 \text{ kJ}$

Vì hiệu suất bếp là 80% , công suất có ích thực tế dùng để đun nước là $P_{\text{ích}} =$

$$0,8 \times 1000 = 800 \text{ W.}$$

$$\text{Thời gian đun: } t = \frac{Q}{P_{\text{ich}}} = \frac{470\,250}{800} \approx 587,8 \text{ s} \approx 9,8 \text{ phút}$$

3.5 Bài tập tự luyện - Chương 3

Bài 3.1

Tính nhiệt lượng cần thiết để đun nóng 2 kg nước từ 20 °C lên 80 °C. Biết $c_{\text{nước}} = 4180 \text{ J/kg.K}$.

Bài 3.2

Thả một cục sắt khối lượng 400 g ở 150 °C vào 1 kg nước ở 20 °C. Bỏ qua hao phí nhiệt. Tính nhiệt độ cân bằng. Biết $c_{\text{sắt}} = 460 \text{ J/kg.K}$, $c_{\text{nước}} = 4180 \text{ J/kg.K}$.

Bài 3.3

Người ta pha 200 g nước ở 100 °C vào 500 g nước ở 20 °C đựng trong một bình cách nhiệt. Tính nhiệt độ của nước khi cân bằng.

Bài 3.4

Một ấm nhôm khối lượng 500 g chứa 2 kg nước ở 25 °C. Tính nhiệt lượng cần để đun sôi nước trong ấm (kể cả nhiệt lượng làm nóng ấm), biết $c_{\text{Al}} = 880 \text{ J/kg.K}$, $c_{\text{nước}} = 4180 \text{ J/kg.K}$.

Bài 3.5

Thả một khối kim loại khối lượng 300 g ở 200 °C vào 500 g nước ở 20 °C thì nhiệt độ cân bằng là 32,3 °C. Tính nhiệt dung riêng của kim loại đó, từ đó cho biết đó có thể là kim loại gì (tham khảo bảng nhiệt dung riêng trong bài).

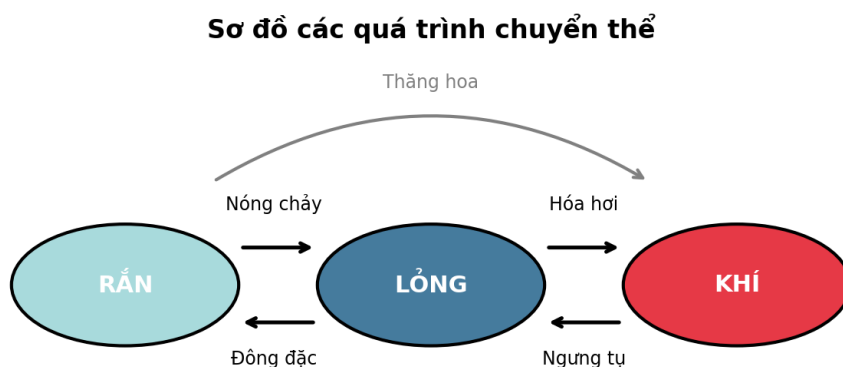
CHƯƠNG 4

Sự chuyển thể của các chất

Mục tiêu chương: Hiểu bản chất các quá trình nóng chảy, đông đặc, hóa hơi, ngưng tụ; nắm công thức tính nhiệt nóng chảy và nhiệt hóa hơi; vận dụng vào các bài toán tổng hợp có chuyển thể.

4.1 Các thể của vật chất và quá trình chuyển thể

Vật chất thường tồn tại ở ba thể cơ bản: **rắn, lỏng, khí** (ngoài ra còn có thể plasma ở nhiệt độ rất cao). Khi cung cấp hoặc lấy đi nhiệt lượng, vật chất có thể chuyển từ thể này sang thể khác:



Hình 4.1: Sơ đồ các quá trình chuyển thể

- **Nóng chảy:** rắn → lỏng
- **Đông đặc:** lỏng → rắn
- **Hóa hơi** (bay hơi/sôi): lỏng → khí
- **Ngưng tụ:** khí → lỏng
- **Thăng hoa:** rắn → khí (trực tiếp, ví dụ băng khô CO_2 rắn)
- **Ngưng kết:** khí → rắn (trực tiếp)

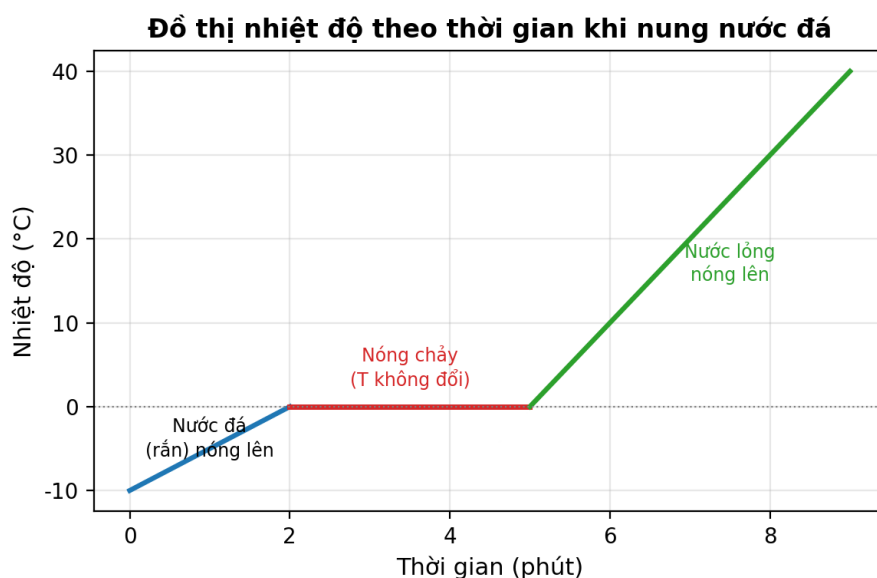
4.2 Sự nóng chảy và đông đặc

Sự nóng chảy là quá trình chất chuyển từ thể rắn sang thể lỏng. Đối với chất rắn kết tinh (có cấu trúc mạng tinh thể xác định, ví dụ: nước đá, kim loại, muối ăn), sự nóng chảy xảy ra ở một **nhiệt độ xác định** gọi là **nhiệt độ nóng chảy** t_{nc} , và trong suốt quá trình nóng chảy, nhiệt độ của chất **không đổi** dù vẫn tiếp tục được cung

cấp nhiệt - toàn bộ nhiệt lượng lúc này được dùng để phá vỡ cấu trúc mạng tinh thể chứ không làm tăng động năng phân tử.

Ngược lại, chất rắn vô định hình (thủy tinh, nhựa, sáp, hắc ín) không có nhiệt độ nóng chảy xác định - chúng mềm dần rồi chảy lỏng trong một khoảng nhiệt độ.

Sự đông đặc là quá trình ngược lại: chất lỏng chuyển thành rắn. Đối với cùng một chất, nhiệt độ đông đặc bằng nhiệt độ nóng chảy (ở cùng áp suất).



Hình 4.2: Đồ thị nhiệt độ theo thời gian khi nung nóng chảy nước đá

Nhiệt lượng nóng chảy / đông đặc

$$Q = \lambda m$$

trong đó λ (J/kg) là ****nhiệt nóng chảy riêng**** của chất - nhiệt lượng cần để làm nóng chảy hoàn toàn 1 kg chất đó ở nhiệt độ nóng chảy (không làm thay đổi nhiệt độ); m (kg) là khối lượng chất chuyển thể.

Bảng nhiệt độ nóng chảy và nhiệt nóng chảy riêng của một số chất (ở áp suất khí quyển chuẩn):

Chất	t_{nc} ($^{\circ}C$)	λ ($\times 10^3 J/kg$)
Nước đá	0	334
Chì	327	25
Nhôm	660	397
Đồng	1085	205
Sắt	1538	277
Vàng	1064	63

4.3 Sự hóa hơi và ngưng tụ

Sự hóa hơi là quá trình chất chuyển từ thể lỏng sang thể khí (hơi). Có hai hình thức:

- **Sự bay hơi:** xảy ra ở bề mặt chất lỏng, ở bất kỳ nhiệt độ nào, càng mạnh khi nhiệt độ càng cao, diện tích mặt thoáng càng lớn, và tốc độ gió trên bề mặt càng lớn.
- **Sự sôi:** là quá trình hóa hơi xảy ra cả ở bề mặt lẫn trong lòng chất lỏng (tạo thành bọt khí), chỉ xảy ra ở một nhiệt độ xác định gọi là **nhiệt độ sôi** t_s (phụ thuộc áp suất bên ngoài). Trong khi sôi, nhiệt độ chất lỏng cũng không đổi, dù được tiếp tục đun.

Nhiệt độ sôi phụ thuộc áp suất

Nhiệt độ sôi của chất lỏng giảm khi áp suất khí quyển giảm. Đây là lý do ở vùng núi cao (áp suất khí quyển thấp), nước sôi ở nhiệt độ thấp hơn 100°C (ví dụ trên đỉnh Everest, nước sôi ở khoảng 70°C), khiến việc nấu chín thức ăn khó khăn hơn. Ngược lại, nổi áp suất làm tăng áp suất bên trong, khiến nước sôi ở nhiệt độ cao hơn 100°C , giúp nấu chín thức ăn nhanh hơn.

Sự ngưng tụ là quá trình ngược lại của hóa hơi: hơi chuyển thành chất lỏng, thường xảy ra khi hơi được làm lạnh hoặc bị nén.

Nhiệt lượng hóa hơi / ngưng tụ

$$Q = Lm$$

trong đó L (J/kg) là **nhiệt hóa hơi riêng** - nhiệt lượng cần để hóa hơi hoàn toàn 1 kg chất lỏng ở nhiệt độ sôi (không làm thay đổi nhiệt độ).

Chất	t_s ($^\circ\text{C}$, ở 1 atm)	L ($\times 10^6\text{ J/kg}$)
Nước	100	2,26
Rượu (etanol)	78	0,85
Ête	34,6	0,35
Nitơ lỏng	-196	0,20
Thủy ngân	357	0,29

Vì sao mồ hôi làm mát cơ thể?

Khi mồ hôi (chủ yếu là nước) bay hơi trên da, nó cần hấp thụ một lượng nhiệt lớn (nhiệt hóa hơi riêng của nước rất cao, $2,26 \times 10^6\text{ J/kg}$) lấy từ chính cơ thể, làm nhiệt độ da giảm xuống. Đây là cơ chế tự nhiên giúp cơ thể điều hòa thân nhiệt khi vận động hoặc trời nóng.

4.4 Bài toán tổng hợp có chuyển thể

Khi giải các bài toán có kèm chuyển thể (ví dụ: đá tan thành nước rồi nước nóng lên, hoặc nước nóng lên rồi hóa hơi), cần chia quá trình thành nhiều giai đoạn nhỏ, mỗi giai đoạn dùng đúng công thức tương ứng ($Q = mc\Delta t$ cho giai đoạn thay đổi nhiệt độ, $Q = \lambda m$ hoặc $Q = Lm$ cho giai đoạn chuyển thể), sau đó cộng lại (hoặc đưa vào phương trình cân bằng nhiệt tổng quát).

Ví dụ 4.1

Tính nhiệt lượng cần thiết để biến 2 kg nước đá ở -10°C thành hơi nước ở 100°C . Biết $c_{\text{đá}} = 2090\text{ J/kg.K}$, $\lambda_{\text{đá}} = 334 \times 10^3\text{ J/kg}$, $c_{\text{nước}} = 4180\text{ J/kg.K}$, $L_{\text{nước}} = 2,26 \times 10^6\text{ J/kg}$.

Lời giải:

Chia thành 4 giai đoạn:

Giai đoạn 1 - làm nóng nước đá từ -10°C lên 0°C :

$$Q_1 = m c_{\text{đá}} \Delta t_1 = 2 \times 2090 \times 10 = 41\,800\text{ J}$$

Giai đoạn 2 - nóng chảy hoàn toàn ở 0°C :

$$Q_2 = m \lambda_{\text{đá}} = 2 \times 334\,000 = 668\,000\text{ J}$$

Giai đoạn 3 - làm nóng nước từ 0°C lên 100°C :

$$Q_3 = m c_{\text{nước}} \Delta t_3 = 2 \times 4180 \times 100 = 836\,000\text{ J}$$

Giai đoạn 4 - hóa hơi hoàn toàn ở 100°C :

$$Q_4 = m L_{\text{nước}} = 2 \times 2,26 \times 10^6 = 4\,520\,000\text{ J}$$

Tổng nhiệt lượng cần thiết:

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 = 41\,800 + 668\,000 + 836\,000 + 4\,520\,000 = 6\,065\,800\text{ J} \approx 6,07\text{ MJ}$$

Nhận xét: nhiệt lượng cần cho giai đoạn hóa hơi (Giai đoạn 4) chiếm phần lớn nhất, gấp gần 5,4 lần nhiệt lượng nóng chảy - điều này cho thấy hóa hơi cần nhiều năng lượng hơn nóng chảy rất nhiều, vì các phân tử phải "thoát" hoàn toàn khỏi lực hút lẫn nhau để trở thành khí.

Ví dụ 4.2

Bỏ 100 g nước đá ở 0°C vào 300 g nước ở 25°C đựng trong bình cách nhiệt. Hỏi khi cân bằng nhiệt, trong bình còn nước đá hay không? Nếu có, tính khối lượng đá còn lại; nếu không, tính nhiệt độ cân bằng.

Lời giải:

Nhiệt lượng tối đa nước (300 g) có thể tỏa ra khi hạ từ 25°C xuống 0°C :

$$Q_{\text{tỏa,max}} = m_{\text{nước}} c_{\text{nước}} \Delta t = 0,3 \times 4180 \times 25 = 31\,350\text{ J}$$

Nhiệt lượng cần để làm tan chảy hoàn toàn 100 g đá:

$$Q_{\text{tan}} = m_{\text{đá}} \lambda = 0,1 \times 334\,000 = 33\,400\text{ J}$$

Vì $Q_{\text{tỏa,max}} (31\,350\text{ J}) < Q_{\text{tan}} (33\,400\text{ J})$, nước không đủ nhiệt để làm tan chảy hết đá. Do đó, khi cân bằng, nhiệt độ hệ là 0°C và còn một phần đá chưa tan.

$$\text{Khối lượng đá đã tan: } m_{\text{tan}} = \frac{Q_{\text{tỏa,max}}}{\lambda} = \frac{31\,350}{334\,000} \approx 0,0939\text{ kg} = 93,9\text{ g}$$

$$\text{Khối lượng đá còn lại: } m_{\text{đá,còn}} = 100 - 93,9 = 6,1\text{ g}$$

4.5 Bài tập tự luyện - Chương 4

Bài 4.1

Tính nhiệt lượng cần để làm tan chảy hoàn toàn 5 kg nước đá đang ở 0°C .

Bài 4.2

Tính nhiệt lượng cần để hóa hơi hoàn toàn $0,5\text{ kg}$ nước đang ở 100°C .

Bài 4.3

Tính nhiệt lượng cần để biến 1 kg nước đá ở -15°C thành nước ở 20°C (không hóa hơi).

Bài 4.4

Thả 50 g nước đá ở 0°C vào một cốc nước có khối lượng 200 g ở 20°C . Tính nhiệt độ cân bằng, giả sử đá tan hết (bỏ qua nhiệt dung của cốc).

Bài 4.5

Người ta dẫn 20 g hơi nước ở 100°C vào một bình chứa 500 g nước ở 20°C . Hơi nước ngưng tụ hoàn toàn thành nước ở 100°C rồi hòa với nước trong bình. Tính nhiệt độ cân bằng cuối cùng (bỏ qua nhiệt dung của bình).

CHƯƠNG 5

Cấu tạo chất và thuyết động học phân tử chất khí

Mục tiêu chương: Hiểu các nội dung cơ bản của thuyết động học phân tử; nắm khái niệm khí lý tưởng; hiểu mối liên hệ giữa nhiệt độ và động năng trung bình của phân tử.

5.1 Cấu tạo chất - những nội dung cơ bản

Thuyết cấu tạo chất gồm ba nội dung chính:

1. Các chất được cấu tạo từ các hạt riêng biệt gọi là **phân tử** (hoặc nguyên tử).
2. Các phân tử chuyển động hỗn loạn không ngừng gọi là **chuyển động nhiệt hỗn loạn** (chuyển động Brown là bằng chứng thực nghiệm trực tiếp cho chuyển động này).
3. Giữa các phân tử có **lực tương tác** (lực hút và lực đẩy), độ lớn phụ thuộc khoảng cách giữa chúng.

Sự khác biệt giữa ba thể rắn, lỏng, khí chủ yếu nằm ở khoảng cách giữa các phân tử và độ mạnh yếu của lực tương tác:

Thể	Khoảng cách phân tử	Lực tương tác	Chuyển động phân tử
Rắn	Rất gần	Rất mạnh	Dao động quanh vị trí cân bằng cố định
Lỏng	Gần	Khá mạnh	Dao động + dịch chuyển, đổi vị trí
Khí	Rất xa (so với kích thước phân tử)	Rất yếu (gần như bỏ qua)	Chuyển động tự do, hỗn loạn, va chạm liên tục

5.2 Thuyết động học phân tử chất khí

Đối với chất khí, thuyết động học phân tử đưa ra các giả thiết cơ bản sau:

1. Chất khí được cấu tạo từ các phân tử có kích thước rất nhỏ so với khoảng cách giữa chúng (có thể coi phân tử khí như các chất điểm).
2. Các phân tử khí chuyển động hỗn loạn không ngừng; chuyển động này càng nhanh khi nhiệt độ càng cao.
3. Khi chuyển động, các phân tử va chạm vào nhau và va chạm vào thành bình, gây ra **áp suất chất khí** lên thành bình.

Chất khí lý tưởng là chất khí trong đó có thể bỏ qua thể tích riêng của phân tử và bỏ qua tương tác giữa các phân tử (trừ lúc va chạm), chỉ tuân theo thuyết động học phân tử ở trên. Trong điều kiện áp suất không quá lớn và nhiệt độ không quá thấp, các khí thực (oxi, nitơ, hidro...) có tính chất gần giống khí lý tưởng, nên các định luật khí lý tưởng vẫn áp dụng khá chính xác cho khí thực trong điều kiện thông thường.

5.3 Áp suất chất khí dưới góc độ động học phân tử

Áp suất mà chất khí tác dụng lên thành bình sinh ra từ vô số va chạm liên tục của các phân tử khí lên thành bình. Mỗi va chạm truyền một xung lực rất nhỏ, nhưng do số lượng phân tử cực lớn (cỡ 10^{23} phân tử trong 1 mol khí) và tần suất va chạm cực cao, tổng hợp lại tạo ra một áp lực ổn định và đo được.

Từ mô hình động học phân tử, có thể chứng minh được hệ thức liên hệ giữa áp suất p , mật độ phân tử n (số phân tử/thể tích), khối lượng phân tử m_0 và tốc độ trung bình bình phương $\overline{v^2}$ của phân tử:

$$p = \frac{1}{3} n m_0 \overline{v^2}$$

Đây là phương trình cơ bản của thuyết động học phân tử chất khí (chương trình nâng cao), cho thấy áp suất tỉ lệ thuận với mật độ phân tử và với bình phương tốc độ trung bình của chúng.

5.4 Nhiệt độ và động năng phân tử

Một kết quả quan trọng của thuyết động học phân tử là: **động năng tịnh tiến trung bình của một phân tử khí lý tưởng tỉ lệ thuận với nhiệt độ tuyệt đối** của khối khí:

Động năng trung bình của phân tử khí

$$\overline{W_d} = \frac{1}{2} m_0 \overline{v^2} = \frac{3}{2} k_B T$$

trong đó $k_B = 1,38 \times 10^{-23} \text{ J/K}$ là ****hằng số Boltzmann****, T là nhiệt độ tuyệt đối (K).

Hệ thức này cho thấy nhiệt độ tuyệt đối chính là đại lượng đo trực tiếp mức độ chuyển động hỗn loạn (động năng trung bình) của các phân tử - đây là bản chất vi mô sâu sắc nhất của khái niệm nhiệt độ đã được giới thiệu ở Chương 1. Khi $T \rightarrow 0 \text{ K}$ (độ không tuyệt đối), động năng chuyển động nhiệt của phân tử tiến tới cực tiểu (theo cơ học lượng tử, không hoàn toàn bằng 0 do dao động điểm-không, nhưng theo vật lý cổ điển có thể coi là dừng chuyển động nhiệt hỗn loạn).

Ví dụ 5.1

Tính động năng tịnh tiến trung bình của một phân tử khí oxi ở nhiệt độ 27°C .

Lời giải:

Đổi nhiệt độ sang Kelvin: $T = 27 + 273 = 300\text{ K}$

$$\overline{W_d} = \frac{3}{2}k_B T = \frac{3}{2} \times 1,38 \times 10^{-23} \times 300 = 6,21 \times 10^{-21}\text{ J}$$

Đây là một năng lượng vô cùng nhỏ ở cấp độ một phân tử, nhưng vì có khoảng 6×10^{23} phân tử trong 1 mol khí, tổng động năng của cả khối khí là đáng kể (liên hệ đến khái niệm nội năng ở Chương 8).

Ví dụ 5.2

So sánh động năng tịnh tiến trung bình của phân tử khí ở 0°C và ở 100°C . Tỷ số động năng ở hai nhiệt độ này bằng bao nhiêu?

Lời giải:

$T_1 = 273\text{ K}$, $T_2 = 373\text{ K}$. Vì $\overline{W_d}$ tỉ lệ thuận với T :

$$\frac{\overline{W_{d2}}}{\overline{W_{d1}}} = \frac{T_2}{T_1} = \frac{373}{273} \approx 1,366$$

Vậy động năng trung bình của phân tử ở 100°C lớn hơn khoảng 36,6% so với ở 0°C . Lưu ý: dù nhiệt độ Celsius tăng gấp nhiều lần (100°C so với 0°C là vô nghĩa vì chia cho 0), động năng phân tử chỉ liên hệ tuyến tính với nhiệt độ **tuyệt đối** (Kelvin), một lần nữa khẳng định vai trò đặc biệt của thang Kelvin trong vật lý phân tử.

5.5 Bài tập tự luyện - Chương 5

Bài 5.1

Nêu ba nội dung cơ bản của thuyết động học phân tử chất khí. Chất khí lý tưởng khác với chất khí thực ở điểm nào?

Bài 5.2

Tính động năng tịnh tiến trung bình của phân tử khí nitơ ở nhiệt độ 17°C .

Bài 5.3

Ở nhiệt độ nào thì động năng tịnh tiến trung bình của phân tử khí gấp đôi giá trị của nó ở 27°C ?

Bài 5.4

Giải thích tại sao khi bơm bánh xe đạp bằng bơm tay, thân bơm và van bơm thường nóng lên?

PHẦN II - CHẤT KHÍ VÀ CÁC ĐỊNH LUẬT

CHƯƠNG 6

Các định luật thực nghiệm về chất khí

Mục tiêu chương: Nắm vững ba định luật thực nghiệm (Boyle-Mariotte, Charles, Gay-Lussac) mô tả mối liên hệ giữa các thông số trạng thái p, V, T của một khối khí xác định; biết vận dụng vào các bài toán biến đổi trạng thái đẳng quá trình.

6.1 Trạng thái của một khối khí - Thông số trạng thái

Trạng thái của một khối khí xác định (khối lượng không đổi) được mô tả bởi ba thông số:

- **Thể tích** V (đơn vị: m^3 , lít...)
- **Áp suất** p (đơn vị: Pa, atm, mmHg, bar...) - lực nén vuông góc lên một đơn vị diện tích thành bình.
- **Nhiệt độ tuyệt đối** T (đơn vị: K)

$$1 \text{ atm} = 1,013 \times 10^5 \text{ Pa} = 760 \text{ mmHg}$$

Khi khối khí chuyển từ trạng thái này sang trạng thái khác, ta gọi đó là một **quá trình biến đổi trạng thái**. Có ba loại **đẳng quá trình** đặc biệt, trong đó một thông số được giữ không đổi:

- **Đẳng nhiệt** ($T = \text{const}$) $\rightarrow$ Định luật Boyle-Mariotte
- **Đẳng tích** ($V = \text{const}$) $\rightarrow$ Định luật Charles (định luật Sác-lơ)
- **Đẳng áp** ($p = \text{const}$) $\rightarrow$ Định luật Gay-Lussac

6.2 Định luật Boyle-Mariotte (quá trình đẳng nhiệt)

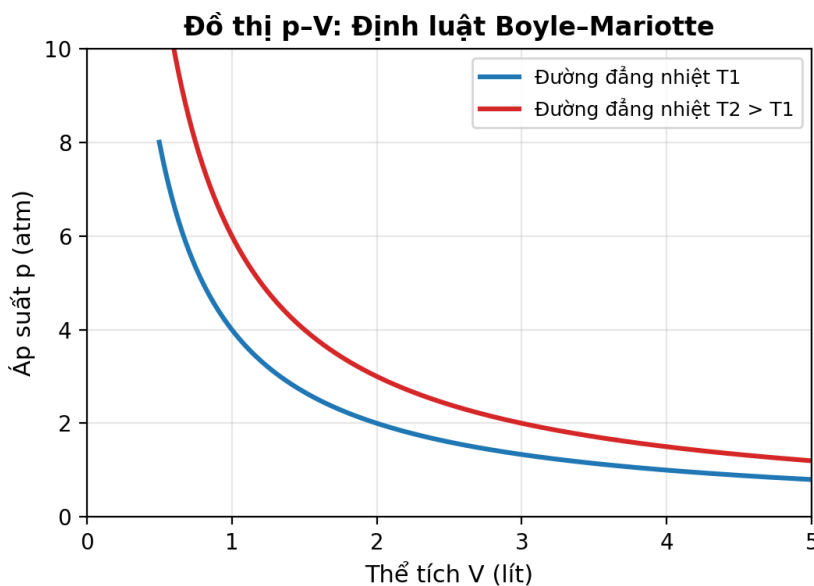
Được Robert Boyle (1662) và Edme Mariotte (1676) phát hiện độc lập. Phát biểu: **Ở nhiệt độ không đổi, tích của áp suất và thể tích của một khối khí xác định là một hằng số.**

Định luật Boyle-Mariotte

$$pV = \text{hằng số} \quad \Leftrightarrow \quad p_1 V_1 = p_2 V_2 \quad (T = \text{const})$$

Đường biểu diễn quá trình đẳng nhiệt trên giản đồ p - V gọi là **đường đẳng nhiệt**, có dạng đường hyperbol (vì $p = \frac{\text{const}}{V}$). Ứng với nhiệt độ càng cao, đường đẳng nhiệt càng nằm xa gốc tọa độ hơn (do $pV = nRT$ càng lớn).

Giải thích vi mô: khi nén khí ở nhiệt độ không đổi, thể tích giảm làm mật độ phân tử tăng, số va chạm của phân tử lên thành bình trong một đơn vị thời gian tăng lên,



Hình 6.1: Đồ thị p-V minh họa định luật Boyle-Mariotte

dẫn đến áp suất tăng. Vì động năng trung bình phân tử không đổi (T không đổi), tích pV được bảo toàn.

Ví dụ 6.1

Một lượng khí có thể tích $V_1 = 6$ lít ở áp suất $p_1 = 1 \text{ atm}$. Nén đẳng nhiệt khí này đến thể tích $V_2 = 2$ lít. Tính áp suất khí lúc này.

Lời giải:

Áp dụng định luật Boyle-Mariotte: $p_1 V_1 = p_2 V_2$

$$p_2 = \frac{p_1 V_1}{V_2} = \frac{1 \times 6}{2} = 3 \text{ atm}$$

6.3 Định luật Charles (quá trình đẳng tích)

Phát hiện bởi Jacques Charles (khoảng 1787). Phát biểu: **Ở thể tích không đổi, áp suất của một khối khí xác định tỉ lệ thuận với nhiệt độ tuyệt đối của nó.**

Định luật Charles

$$\frac{p}{T} = \text{hằng số} \quad \Leftrightarrow \quad \frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2} \quad (V = \text{const})$$

Giải thích vi mô: khi tăng nhiệt độ ở thể tích không đổi, động năng trung bình phân tử tăng (phân tử chuyển động nhanh hơn), va chạm lên thành bình mạnh hơn và thường xuyên hơn, làm áp suất tăng theo.

Ví dụ 6.2

Một bình kín chứa khí ở áp suất $p_1 = 2 \text{ atm}$, nhiệt độ $t_1 = 27^\circ\text{C}$. Nếu nung nóng bình lên $t_2 = 127^\circ\text{C}$ (thể tích bình không đổi), áp suất khí trong bình lúc này bằng bao nhiêu?

Lời giải:

Đổi ra Kelvin: $T_1 = 300 \text{ K}$, $T_2 = 400 \text{ K}$

Áp dụng định luật Charles: $\frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2}$

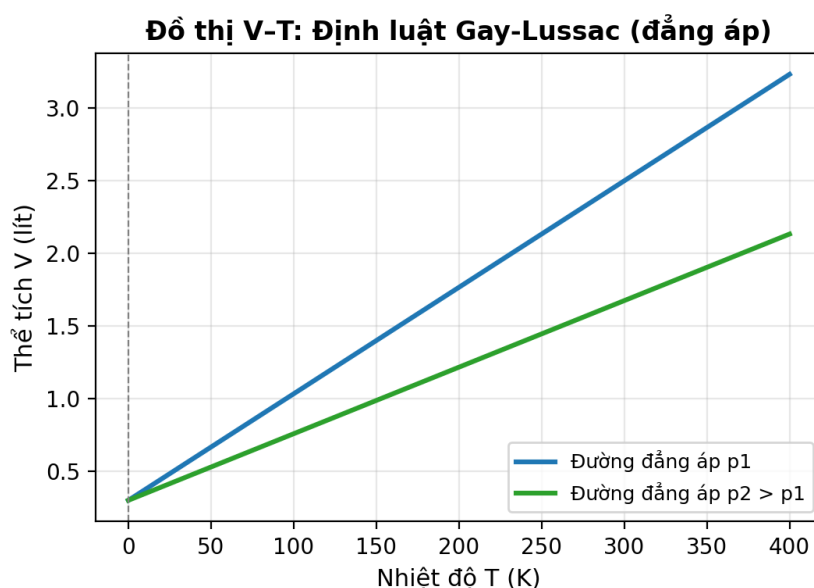
$$p_2 = p_1 \frac{T_2}{T_1} = 2 \times \frac{400}{300} \approx 2,67 \text{ atm}$$

6.4 Định luật Gay-Lussac (quá trình đẳng áp)

Phát hiện bởi Joseph Louis Gay-Lussac (1802). Phát biểu: **Ở áp suất không đổi, thể tích của một khối khí xác định tỉ lệ thuận với nhiệt độ tuyệt đối của nó.**

Định luật Gay-Lussac

$$\frac{V}{T} = \text{hằng số} \quad \Leftrightarrow \quad \frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2} \quad (p = \text{const})$$



Hình 6.2: Đồ thị V-T minh họa định luật Gay-Lussac

Ví dụ 6.3

Một lượng khí có thể tích 4 lít ở nhiệt độ 17°C , áp suất không đổi. Đun nóng khí đến 127°C . Tính thể tích khí lúc này.

Lời giải:

$T_1 = 290 \text{ K}$, $T_2 = 400 \text{ K}$

$$V_2 = V_1 \frac{T_2}{T_1} = 4 \times \frac{400}{290} \approx 5,52 \text{ lít}$$

Lưu ý quan trọng

Cả ba định luật trên chỉ áp dụng cho **một khối khí xác định** (khối lượng/số mol khí không đổi trong suốt quá trình). Nếu khối khí bị thêm vào hoặc lấy bớt ra, phải sử dụng phương trình trạng thái tổng quát (Chương 7) có tính đến số mol khí n .

6.5 Bài tập tự luyện - Chương 6

Bài 6.1

Một khối khí có thể tích 10 lít, áp suất 2 atm ở nhiệt độ không đổi. Nếu áp suất tăng lên 5 atm, thể tích khí lúc này là bao nhiêu?

Bài 6.2

Một bình chứa khí có dung tích không đổi. Ở 20 °C áp suất khí là 1,5 atm. Hỏi phải nung nóng bình đến nhiệt độ nào để áp suất tăng lên 2 atm?

Bài 6.3

Một xilanh có pittông di chuyển tự do (áp suất khí trong xilanh luôn bằng áp suất khí quyển bên ngoài, không đổi). Ở 10 °C thể tích khí trong xilanh là 2 lít. Tính thể tích khí khi nhiệt độ tăng lên 50 °C.

Bài 6.4

Một lốp xe ô tô được bơm căng ở nhiệt độ 20 °C với áp suất 2,2 atm (coi thể tích lốp không đổi). Khi xe chạy trên đường vào mùa hè, nhiệt độ không khí trong lốp tăng lên 60 °C. Tính áp suất khí trong lốp lúc này. Áp suất này có gây nguy hiểm (nổ lốp) không nếu áp suất giới hạn an toàn của lốp là 3 atm?

CHƯƠNG 7

Phương trình trạng thái khí lý tưởng

Mục tiêu chương: Nắm phương trình Clapeyron (kết hợp ba định luật) và phương trình Clapeyron-Mendeleev (có số mol); vận dụng giải các bài toán tổng hợp về chất khí, kể cả khi khối lượng khí thay đổi.

7.1 Phương trình trạng thái khí lý tưởng (phương trình Clapeyron)

Kết hợp ba định luật Boyle-Mariotte, Charles và Gay-Lussac, ta có thể suy ra mối liên hệ tổng quát giữa ba thông số trạng thái p, V, T của một khối khí xác định khi chuyển từ trạng thái (p_1, V_1, T_1) sang trạng thái (p_2, V_2, T_2) bất kỳ (không cần một thông số nào cố định):

Phương trình trạng thái khí lý tưởng (Clapeyron)

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

Đây là phương trình tổng quát nhất cho một khối khí xác định (số mol không đổi), từ đó có thể suy ra lại cả ba định luật riêng lẻ khi cố định một trong ba thông số p, V, T .

Ví dụ 7.1

Một khối khí có thể tích $V_1 = 3$ lít, áp suất $p_1 = 2 \text{ atm}$, nhiệt độ $t_1 = 27^\circ\text{C}$. Người ta nén khí đến thể tích $V_2 = 1$ lít đồng thời nung nóng đến $t_2 = 127^\circ\text{C}$. Tính áp suất khí ở trạng thái 2.

Lời giải:

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

$$\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2} \Rightarrow p_2 = \frac{p_1 V_1 T_2}{T_1 V_2} = \frac{2 \times 3 \times 400}{300 \times 1} = 8 \text{ atm}$$

7.2 Phương trình Clapeyron-Mendeleev

Phương trình Clapeyron ở trên chỉ áp dụng khi khối lượng (số mol) khí không đổi. Để mô tả đầy đủ hơn, có tính đến lượng chất, Mendeleev đã tổng quát hóa thành:

Phương trình Clapeyron-Mendeleev

$$pV = nRT$$

trong đó: p (Pa) là áp suất; V (m^3) là thể tích; n (mol) là số mol khí; T (K) là nhiệt độ tuyệt đối; $R = 8,31 \text{ J}/(\text{mol}\cdot\text{K})$ là ****hằng số khí lý tưởng**** (như nhau cho mọi chất khí lý tưởng).

Số mol khí liên hệ với khối lượng m (g hoặc kg) và khối lượng mol M (g/mol hoặc kg/mol) qua công thức $n = \frac{m}{M}$, do đó phương trình còn được viết:

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

Điều kiện tiêu chuẩn (đktc): $T_0 = 273 \text{ K}$ (0°C), $p_0 = 1 \text{ atm} = 1,013 \times 10^5 \text{ Pa}$. Ở điều kiện này, 1 mol khí bất kỳ (khí lý tưởng) chiếm thể tích $V_0 = 22,4$ lít.

Ví dụ 7.2

Tính thể tích của 16 g khí oxi (O_2 , $M = 32 \text{ g/mol}$) ở điều kiện tiêu chuẩn.

Lời giải:

$$\text{Số mol: } n = \frac{m}{M} = \frac{16}{32} = 0,5 \text{ mol}$$

Ở đktc, thể tích 1 mol khí là 22,4 lít, vậy:

$$V = n \times 22,4 = 0,5 \times 22,4 = 11,2 \text{ lít}$$

Ví dụ 7.3

Một bình có thể tích $V = 10$ lít chứa khí nitơ (N_2 , $M = 28 \text{ g/mol}$) ở áp suất $p = 2 \times 10^5 \text{ Pa}$, nhiệt độ $t = 27^\circ\text{C}$. Tính khối lượng khí nitơ trong bình.

Lời giải:

$$\text{Đổi đơn vị: } V = 10 \text{ lít} = 10 \times 10^{-3} \text{ m}^3 = 0,01 \text{ m}^3; T = 300 \text{ K}$$

$$\text{Từ } pV = nRT \Rightarrow n = \frac{pV}{RT} = \frac{2 \times 10^5 \times 0,01}{8,31 \times 300} = \frac{2000}{2493} \approx 0,802 \text{ mol}$$

$$\text{Khối lượng khí: } m = nM = 0,802 \times 28 \approx 22,5 \text{ g}$$

Ví dụ 7.4

Một xilanh đựng khí có pittông đóng kín. Ban đầu khí có áp suất $p_1 = 10^5 \text{ Pa}$, thể tích $V_1 = 100 \text{ cm}^3$, nhiệt độ 27°C . Người dùng bơm thêm khí (cùng loại, cùng nhiệt độ) vào xilanh sao cho lượng khí tăng gấp đôi, đồng thời giữ nhiệt độ không đổi và thể tích không đổi. Tính áp suất khí sau khi bơm.

Lời giải:

Vì T, V không đổi, theo $pV = nRT$: p tỉ lệ thuận với n . Khi số mol khí tăng gấp đôi ($n_2 = 2n_1$):

$$p_2 = p_1 \times \frac{n_2}{n_1} = 10^5 \times 2 = 2 \times 10^5 \text{ Pa}$$

Đây là ví dụ minh họa trường hợp khối lượng khí **thay đổi**, không thể dùng các định luật Boyle-Mariotte/Charles/Gay-Lussac (chỉ áp dụng cho khối khí không đổi) mà phải dùng trực tiếp phương trình Clapeyron-Mendeleev.

7.3 Bảng tổng hợp các quá trình biến đổi trạng thái

Quá trình	Đại lượng không đổi	Định luật/Phương trình	Đồ thị điển hình
Đẳng nhiệt	T	$p_1 V_1 = p_2 V_2$	Hyperbol trên p - V
Đẳng tích	V	$p_1/T_1 = p_2/T_2$	Đường thẳng qua gốc
Đẳng áp	p	$V_1/T_1 = V_2/T_2$	Đường thẳng qua gốc
Tổng quát (n không đổi)	-	$p_1 V_1/T_1 = p_2 V_2/T_2$	-
Tổng quát (có n)	-	$pV = nRT$	-

7.4 Bài tập tự luyện - Chương 7

Bài 7.1
Một khối khí ở trạng thái ($p_1 = 1,5 \text{ atm}$; $V_1 = 4 \text{ lít}$; $t_1 = 17^\circ\text{C}$) biến đổi sang trạng thái ($V_2 = 2 \text{ lít}$; $t_2 = 77^\circ\text{C}$). Tính p_2 .

Bài 7.2
Tính khối lượng khí hidro (H_2 , $M = 2 \text{ g/mol}$) chứa trong một bình 20 lít ở áp suất 3 atm , nhiệt độ 27°C .

Bài 7.3
Một quả bóng bay chứa $0,02 \text{ mol}$ khí heli ở áp suất khí quyển 1 atm và nhiệt độ 25°C . Tính thể tích quả bóng.

Bài 7.4
Nêu sự khác biệt giữa phương trình Clapeyron ($p_1 V_1/T_1 = p_2 V_2/T_2$) và phương trình Clapeyron-Mendeleev ($pV = nRT$). Khi nào bắt buộc phải dùng phương trình thứ hai?

PHẦN III - NHIỆT ĐỘNG LỰC HỌC

CHƯƠNG 8

Nội năng và sự biến đổi nội năng

Mục tiêu chương: Hiểu khái niệm nội năng; phân biệt hai cách làm biến đổi nội năng (thực hiện công và truyền nhiệt); nắm công thức tính công trong quá trình đẳng áp.

8.1 Nội năng là gì?

Nội năng của một vật (kí hiệu U) là tổng động năng chuyển động nhiệt hỗn loạn của các phân tử cấu tạo nên vật cộng với thế năng tương tác giữa các phân tử đó:

$$U = W_{\text{đ, phân tử}} + W_{\text{t, tương tác phân tử}}$$

Đối với khí lý tưởng, vì bỏ qua lực tương tác giữa các phân tử (trừ lúc va chạm), nội năng chỉ bao gồm động năng chuyển động nhiệt của các phân tử, do đó **nội năng của khí lý tưởng chỉ phụ thuộc vào nhiệt độ T** (không phụ thuộc thể tích hay áp suất):

$$U = U(T) \quad (\text{khí lý tưởng})$$

Đối với vật rắn, lỏng, hoặc khí thực, nội năng còn phụ thuộc vào thể tích (vì thế năng tương tác phân tử phụ thuộc khoảng cách giữa chúng).

Phân biệt Nội năng, Nhiệt lượng, Nhiệt độ

Ba khái niệm này thường bị nhầm lẫn:

- **Nhiệt độ (T):** đại lượng đặc trưng cho mức độ chuyển động hỗn loạn phân tử (trạng thái "nóng lạnh").
- **Nội năng (U):** một dạng năng lượng dự trữ bên trong vật, là một hàm trạng thái (chỉ phụ thuộc trạng thái hiện tại của hệ, không phụ thuộc quá trình đi tới trạng thái đó).
- **Nhiệt lượng (Q):** phần năng lượng trao đổi giữa các vật trong quá trình truyền nhiệt – không phải là năng lượng "chứa sẵn" trong vật, mà chỉ xuất hiện khi có sự trao đổi.

8.2 Hai cách làm biến đổi nội năng

Nội năng của một vật có thể thay đổi qua hai con đường:

8.2.1 Thực hiện công

Khi có ngoại lực tác dụng làm vật biến dạng, nén, hoặc ma sát, công cơ học được thực hiện lên vật, làm chuyển hóa cơ năng thành nội năng (nội năng tăng), hoặc ngược lại vật thực hiện công lên bên ngoài (nội năng giảm). Ví dụ: cọ xát hai vật vào nhau làm chúng nóng lên; nén nhanh không khí trong xilanh làm nhiệt độ khí tăng (nguyên lý hoạt động của bật lửa hơi/bể nén khí Diesel).

8.2.2 Truyền nhiệt

Khi hai vật có nhiệt độ khác nhau tiếp xúc nhau (hoặc trao đổi nhiệt qua bức xạ, dẫn nhiệt, đối lưu), nhiệt lượng truyền từ vật nóng sang vật lạnh, làm nội năng vật nóng giảm và nội năng vật lạnh tăng, không kèm theo công cơ học nhìn thấy được ở cấp độ vĩ mô.

Có ba hình thức truyền nhiệt:

- **Dẫn nhiệt:** truyền nhiệt qua sự truyền động năng giữa các phân tử/nguyên tử liên kề, không kèm theo sự di chuyển của vật chất (chủ yếu xảy ra ở chất rắn).
- **Đối lưu:** truyền nhiệt nhờ sự di chuyển của các dòng chất lỏng/khí mang theo nhiệt lượng (xảy ra ở chất lỏng, khí).
- **Bức xạ nhiệt:** truyền nhiệt qua sóng điện từ (hồng ngoại), không cần môi trường vật chất, xảy ra được cả trong chân không (ví dụ: nhiệt từ Mặt Trời truyền tới Trái Đất).

8.3 Công của khí trong quá trình đẳng áp

Khi khí trong xilanh (có pittông) giãn nở hoặc bị nén ở áp suất không đổi p , khí thực hiện công (hoặc nhận công) lên pittông:

Công của khí trong quá trình đẳng áp

$$A = p \Delta V = p (V_2 - V_1)$$

Quy ước dấu: nếu khí **giãn nở** ($\Delta V > 0$), khí **thực hiện công dương** lên môi trường bên ngoài (ta nói khí sinh công); nếu khí **bị nén** ($\Delta V < 0$), khí **nhận công** từ bên ngoài (công của khí âm, công ngoại lực thực hiện lên khí dương).

Đối với quá trình biến đổi thể tích không theo quy luật đẳng áp (áp suất thay đổi theo thể tích), công tổng quát được tính bằng diện tích dưới đường biểu diễn quá trình trên giản đồ p - V : $A = \int_{V_1}^{V_2} p dV$ (chương trình nâng cao/đại học).

Ví dụ 8.1

Một lượng khí trong xilanh giãn nở đẳng áp từ thể tích $V_1 = 2$ lít đến $V_2 = 5$ lít dưới áp suất không đổi $p = 1,5 \times 10^5 \text{ Pa}$. Tính công do khí thực hiện.

Lời giải:

Đổi đơn vị: $\Delta V = (5 - 2) \text{ lít} = 3 \text{ lít} = 3 \times 10^{-3} \text{ m}^3$

$$A = p \Delta V = 1,5 \times 10^5 \times 3 \times 10^{-3} = 450 \text{ J}$$

Vì khí giãn nở ($\Delta V > 0$), khí thực hiện công dương 450 J lên pittông (lên môi

trường ngoài).

Ví dụ 8.2

Một pittông nén khí trong xilanh từ thể tích $V_1 = 8$ lít xuống $V_2 = 3$ lít ở áp suất không đổi $2 \times 10^5 \text{ Pa}$. Tính công mà khí nhận được từ bên ngoài.

Lời giải:

$$\Delta V = 3 - 8 = -5 \text{ lít} = -5 \times 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$A_{\text{khí}} = p\Delta V = 2 \times 10^5 \times (-5 \times 10^{-3}) = -1000 \text{ J}$$

Công của khí âm (-1000 J) nghĩa là khí không thực hiện công mà nhận công dương 1000 J từ bên ngoài (từ pittông nén vào khí).

8.4 Bài tập tự luyện - Chương 8

Bài 8.1

Nêu hai cách làm biến đổi nội năng của một vật. Cho một ví dụ thực tế cho mỗi cách.

Bài 8.2

Vì sao nội năng của khí lý tưởng chỉ phụ thuộc vào nhiệt độ mà không phụ thuộc vào thể tích hay áp suất?

Bài 8.3

Một khối khí giãn nở đẳng áp từ 3 lít lên 7 lít dưới áp suất 10^5 Pa . Tính công do khí thực hiện.

Bài 8.4

Phân biệt ba hình thức truyền nhiệt (dẫn nhiệt, đối lưu, bức xạ nhiệt) và cho ví dụ minh họa mỗi loại trong đời sống.

CHƯƠNG 9

Nguyên lý I Nhiệt động lực học

Mục tiêu chương: Phát biểu và vận dụng Nguyên lý I nhiệt động lực học; áp dụng cho các quá trình đẳng tích, đẳng áp, đẳng nhiệt, đoạn nhiệt của khí lý tưởng.

9.1 Phát biểu Nguyên lý I

Nguyên lý I nhiệt động lực học thực chất là **định luật bảo toàn và chuyển hóa năng lượng** áp dụng cho các quá trình nhiệt: độ biến thiên nội năng của một hệ bằng tổng công và nhiệt lượng mà hệ nhận được.

Nguyên lý I nhiệt động lực học

$$\Delta U = A + Q$$

trong đó: ΔU là độ biến thiên nội năng của hệ; A là công mà hệ **nhận được** từ bên ngoài; Q là nhiệt lượng mà hệ **nhận được** từ bên ngoài.

Quy ước dấu (rất quan trọng!)

- $Q > 0$: hệ nhận nhiệt; $Q < 0$: hệ tỏa nhiệt.
- $A > 0$: hệ nhận công (bị nén); $A < 0$: hệ thực hiện công lên bên ngoài (giãn nở, sinh công).
- $\Delta U > 0$: nội năng tăng; $\Delta U < 0$: nội năng giảm.

Lưu ý: một số tài liệu (đặc biệt SGK Việt Nam) quy ước công A là công mà hệ nhận được, trong khi một số tài liệu quốc tế/kỹ thuật dùng công W do hệ sinh ra và viết $\Delta U = Q - W$. Hai cách viết là tương đương, chỉ khác quy ước dấu của công; cần xác định rõ quy ước trước khi giải bài tập.

9.2 Vận dụng Nguyên lý I cho các đẳng quá trình của khí lý tưởng

9.2.1 Quá trình đẳng tích ($V = \text{const}$)

Vì $\Delta V = 0$, khí không thực hiện công cũng không nhận công: $A = 0$. Nguyên lý I trở thành:

$$\Delta U = Q$$

Toàn bộ nhiệt lượng trao đổi được dùng để làm biến đổi nội năng (tăng hoặc giảm nhiệt độ khí), không có phần nào chuyển thành công cơ học.

9.2.2 Quá trình đẳng áp ($p = \text{const}$)

Khí thực hiện công $A' = p\Delta V$ lên môi trường (công do khí sinh ra), tức công mà khí nhận là $A = -p\Delta V$. Nguyên lý I:

$$\Delta U = Q - p\Delta V \quad \text{hay} \quad Q = \Delta U + p\Delta V$$

Nhiệt lượng cung cấp cho khí trong quá trình đẳng áp được dùng cho hai việc: một phần làm tăng nội năng (ΔU), phần còn lại chuyển hóa thành công khí thực hiện để giãn nở ($p\Delta V$).

9.2.3 Quá trình đẳng nhiệt ($T = \text{const}$)

Vì nội năng khí lý tưởng chỉ phụ thuộc nhiệt độ, khi T không đổi thì $\Delta U = 0$. Nguyên lý I trở thành:

$$Q = -A \quad \text{hay} \quad Q = A'$$

Toàn bộ nhiệt lượng khí nhận vào được chuyển hóa hoàn toàn thành công khí sinh ra (khí giãn nở đẳng nhiệt), hoặc toàn bộ công nhận vào (khí bị nén) được tỏa ra hoàn toàn thành nhiệt.

9.2.4 Quá trình đoạn nhiệt ($Q = 0$)

Quá trình đoạn nhiệt là quá trình xảy ra đủ nhanh hoặc được cách nhiệt tốt, sao cho hệ không kịp trao đổi nhiệt với môi trường xung quanh ($Q = 0$). Nguyên lý I trở thành:

$$\Delta U = A$$

Khi khí giãn nở đoạn nhiệt (sinh công, $A < 0$), nội năng giảm nên nhiệt độ khí giảm xuống. Khi khí bị nén đoạn nhiệt (nhận công, $A > 0$), nội năng tăng nên nhiệt độ khí tăng lên. Đây là nguyên lý hoạt động của **động cơ diesel**: không khí bị nén đoạn nhiệt rất nhanh trong xilanh làm nhiệt độ tăng vọt (có thể trên 500°C), đủ để tự bốc cháy nhiên liệu diesel phun vào mà không cần bugi đánh lửa.

9.3 Bảng tóm tắt Nguyên lý I theo từng quá trình

Quá trình	Điều kiện	Hệ quả Nguyên lý I
Đẳng tích	$\Delta V = 0$	$\Delta U = Q$
Đẳng áp	$p = \text{const}$	$Q = \Delta U + p\Delta V$
Đẳng nhiệt	$\Delta U = 0$	$Q = -A = A'$
Đoạn nhiệt	$Q = 0$	$\Delta U = A$

Ví dụ 9.1

Người ta cung cấp cho một khối khí trong xilanh một nhiệt lượng $Q = 1500 \text{ J}$. Khí nhận nhiệt và giãn nở đẳng áp, thực hiện công $A' = 600 \text{ J}$ lên pittông.

Tính độ biến thiên nội năng của khí.

Lời giải:

Công khí nhận được: $A = -A' = -600 \text{ J}$ (vì khí sinh công nên nhận công âm)

Áp dụng Nguyên lý I: $\Delta U = A + Q = -600 + 1500 = 900 \text{ J}$

Nội năng khí tăng thêm 900 J (một phần nhiệt lượng nhận vào dùng để tăng nội năng, phần còn lại 600 J chuyển hóa thành công giãn nở).

Ví dụ 9.2

Một lượng khí lý tưởng thực hiện quá trình đẳng nhiệt, nhận công $A = 250 \text{ J}$ từ bên ngoài (bị nén). Hỏi khí tỏa ra hay nhận vào một nhiệt lượng là bao nhiêu?

Lời giải:

Vì đẳng nhiệt nên $\Delta U = 0$. Nguyên lý I: $\Delta U = A + Q \Rightarrow 0 = 250 + Q \Rightarrow Q = -250 \text{ J}$

$Q < 0$ nghĩa là khí tỏa ra một nhiệt lượng 250 J ra môi trường (đúng như dự đoán: khi bị nén, khí nhận công từ bên ngoài, và để nhiệt độ không đổi, toàn bộ công này phải được tỏa ra dưới dạng nhiệt).

Ví dụ 9.3

2 mol khí lý tưởng đơn nguyên tử (nội năng $U = \frac{3}{2}nRT$) giãn nở đẳng tích từ 27°C lên 127°C . Tính nhiệt lượng khí đã nhận.

Lời giải:

Vì đẳng tích: $A = 0$, nên $Q = \Delta U$.

$$\Delta U = \frac{3}{2}nR\Delta T = \frac{3}{2} \times 2 \times 8,31 \times (400 - 300) = \frac{3}{2} \times 2 \times 8,31 \times 100 = 2493 \text{ J}$$

Vậy khí đã nhận nhiệt lượng $Q = 2493 \text{ J}$, toàn bộ dùng để tăng nội năng (đẳng tích nên không sinh công).

9.4 Bài tập tự luyện - Chương 9

Bài 9.1

Phát biểu Nguyên lý I nhiệt động lực học và nêu quy ước dấu của các đại lượng A , Q , ΔU .

Bài 9.2

Một khối khí nhận nhiệt lượng $Q = 2000 \text{ J}$ và thực hiện công $A' = 800 \text{ J}$ lên môi trường ngoài (khí giãn nở). Tính độ biến thiên nội năng của khí.

Bài 9.3

Khí trong một bình kín (thể tích không đổi) được làm lạnh, tỏa ra nhiệt lượng 500 J . Tính độ biến thiên nội năng của khí. Nhiệt độ khí tăng hay giảm?

Bài 9.4

Trong một quá trình đoạn nhiệt, khí bị nén và nhận công 350 J từ bên ngoài. Tính độ biến thiên nội năng của khí. Nhiệt độ khí thay đổi như thế nào?

Bài 9.5

Giải thích tại sao khi bơm hơi nhanh vào lốp xe đạp bằng bơm tay, ta cảm thấy thân bơm nóng lên, dựa trên Nguyên lý I nhiệt động lực học (coi quá trình nén gần như đoạn nhiệt vì diễn ra nhanh).

CHƯƠNG 10

Nguyên lý II Nhiệt động lực học và Entropy

Mục tiêu chương: Hiểu vì sao cần Nguyên lý II bên cạnh Nguyên lý I; nắm hai cách phát biểu Nguyên lý II; hiểu khái niệm entropy như thước đo mức độ hỗn loạn/mất trật tự của hệ.

10.1 Vì sao cần Nguyên lý II?

Nguyên lý I nhiệt động lực học chỉ khẳng định năng lượng được bảo toàn, nhưng **không** cho biết chiều mà quá trình có thể tự xảy ra. Ví dụ, Nguyên lý I không cấm việc nhiệt tự truyền từ vật lạnh sang vật nóng, hay việc một tách cà phê nguội tự nóng trở lại nhờ hút nhiệt từ không khí xung quanh – những điều mà kinh nghiệm thực tế cho thấy không bao giờ xảy ra một cách tự nhiên. Nguyên lý II nhiệt động lực học ra đời để bổ sung, xác định **chiều diễn biến tự nhiên** của các quá trình nhiệt động lực học.

10.2 Hai cách phát biểu Nguyên lý II

10.2.1 Phát biểu của Clausius (về truyền nhiệt)

Nhiệt không thể tự truyền từ vật có nhiệt độ thấp hơn sang vật có nhiệt độ cao hơn, nếu không tiêu tốn thêm năng lượng từ nguồn khác.

Đây là lý do máy lạnh, tủ lạnh – vốn “bơm” nhiệt từ nơi lạnh (bên trong tủ) ra nơi nóng hơn (môi trường) – cần phải tiêu thụ điện năng (công cơ học) để vận hành máy nén; chúng không thể hoạt động “miễn phí”.

10.2.2 Phát biểu của Kelvin (về động cơ nhiệt)

Không thể chế tạo được một động cơ nhiệt hoạt động tuần hoàn, chỉ nhận nhiệt từ một nguồn duy nhất rồi biến đổi hoàn toàn thành công cơ học (không có nhiệt lượng nào bị tỏa ra nguồn lạnh khác).

Nói cách khác, không thể tồn tại “động cơ vĩnh cửu loại 2” – một cỗ máy chỉ hút nhiệt từ đại dương hay không khí xung quanh rồi biến hoàn toàn thành công có ích, dù điều này không hề vi phạm định luật bảo toàn năng lượng (Nguyên lý I). Mọi động cơ nhiệt thực tế đều bắt buộc phải tỏa một phần nhiệt ra nguồn lạnh (xem Chương 11).

Hai cách phát biểu này tuy nhìn khác nhau nhưng đã được chứng minh là **tương đương** về mặt logic (có thể suy ra cách này từ cách kia).

10.3 Entropy - thước đo mức độ hỗn loạn

Entropy (kí hiệu S) là một đại lượng vật lý đặc trưng cho mức độ hỗn loạn, mất trật tự của một hệ ở cấp độ vi mô. Hệ càng hỗn loạn (số cách sắp xếp vi mô tương ứng với cùng một trạng thái vĩ mô càng nhiều), entropy càng lớn.

Nguyên lý II có thể được phát biểu lại một cách tổng quát hơn bằng ngôn ngữ entropy:

Nguyên lý II (theo entropy)

Trong một hệ cô lập (không trao đổi vật chất và năng lượng với môi trường ngoài), entropy của hệ không bao giờ giảm theo thời gian:

$$\Delta S \geq 0$$

Dấu "=" ứng với quá trình thuận nghịch (lý tưởng, không có ma sát/hao phí); dấu ">" ứng với quá trình không thuận nghịch (thực tế, luôn có ma sát, khuếch tán tự phát...).

Nói một cách hình tượng: vũ trụ (xét như một hệ cô lập khổng lồ) luôn có xu hướng tiến tới trạng thái hỗn loạn hơn theo thời gian. Đây cũng là cơ sở vật lý cho khái niệm "**mũi tên thời gian**" – lý do vì sao ta luôn cảm nhận thời gian trôi theo một chiều duy nhất (từ quá khứ trật tự hơn đến tương lai hỗn loạn hơn), trong khi hầu hết các định luật cơ học cơ bản (như định luật Newton) đều đối xứng, không phân biệt chiều thời gian.

Ví dụ trực quan về entropy

Khi nhỏ một giọt mực vào cốc nước, mực sẽ tự khuếch tán lan ra khắp cốc nước (entropy tăng) chứ không bao giờ tự tập trung trở lại thành một giọt (điều đó sẽ làm entropy giảm, vi phạm Nguyên lý II). Tương tự, một căn phòng bừa bộn có xu hướng "tự nhiên" trở nên bừa bộn hơn theo thời gian nếu không có ai dọn dẹp (tốn công/năng lượng) – dọn phòng chính là quá trình làm giảm entropy cục bộ của căn phòng, nhưng phải trả giá bằng việc làm tăng entropy ở nơi khác (cơ thể người dọn tỏa nhiệt, tăng entropy môi trường xung quanh) với tổng entropy toàn hệ (phòng + người) vẫn tăng, phù hợp với Nguyên lý II.

10.4 Ý nghĩa và hệ quả quan trọng của Nguyên lý II

- Không có động cơ nhiệt nào đạt hiệu suất 100% (xem Chương 11) – luôn có một phần nhiệt lượng bị "lãng phí" tỏa ra nguồn lạnh, đây là giới hạn cơ bản của tự nhiên chứ không phải do công nghệ kém.
- Các quá trình tự nhiên (không được điều khiển) đều là **không thuận nghịch** (irreversible): ma sát luôn sinh nhiệt tỏa ra môi trường chứ nhiệt đó không bao giờ tự động biến ngược trở lại thành chuyển động có trật tự.
- Nguyên lý II giải thích tại sao ta cần tốn năng lượng (điện) để vận hành tủ lạnh, máy lạnh, máy bơm nhiệt – các thiết bị "đảo ngược" chiều truyền nhiệt tự nhiên.
- Trong vũ trụ học, Nguyên lý II liên hệ tới khái niệm "cái chết nhiệt" (heat death) của vũ trụ – trạng thái giả thuyết khi entropy vũ trụ đạt cực đại, mọi chênh lệch nhiệt độ đã san bằng và không còn quá trình vĩ mô nào có thể xảy ra được nữa.

10.5 Bài tập tự luyện - Chương 10

Bài 10.1

Phát biểu Nguyên lý II nhiệt động lực học theo hai cách của Clausius và Kelvin. Hai cách phát biểu này có mâu thuẫn với nhau không?

Bài 10.2

Giải thích vì sao tủ lạnh cần tiêu thụ điện năng để hoạt động, dựa trên phát biểu Clausius của Nguyên lý II.

Bài 10.3

Nêu một ví dụ trong đời sống minh họa cho việc entropy của một hệ cô lập luôn có xu hướng tăng theo thời gian.

Bài 10.4

"Động cơ vĩnh cửu loại 2" là gì? Vì sao loại động cơ này không thể tồn tại theo Nguyên lý II, mặc dù nó không vi phạm Nguyên lý I (định luật bảo toàn năng lượng)?

CHƯƠNG 11

Động cơ nhiệt - Máy lạnh - Chu trình Carnot

Mục tiêu chương: Hiểu nguyên lý hoạt động chung của động cơ nhiệt và máy lạnh; nắm công thức tính hiệu suất; hiểu chu trình Carnot và ý nghĩa của hiệu suất Carnot như giới hạn lý thuyết cao nhất.

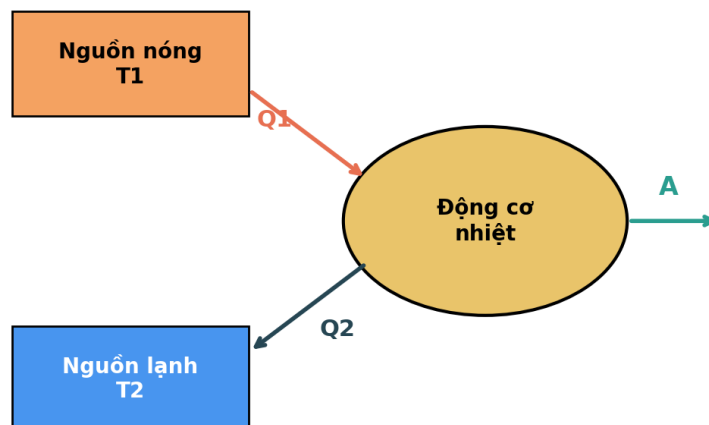
11.1 Động cơ nhiệt là gì?

Động cơ nhiệt là thiết bị biến đổi một phần nhiệt năng thành công cơ học, hoạt động theo chu trình (tuần hoàn, lặp lại nhiều lần). Theo Nguyên lý II (phát biểu Kelvin), mọi động cơ nhiệt đều cần tối thiểu **hai nguồn nhiệt**:

- **Nguồn nóng** (nhiệt độ T_1): cung cấp nhiệt lượng Q_1 cho động cơ.
- **Nguồn lạnh** (nhiệt độ $T_2 < T_1$): nhận nhiệt lượng Q_2 do động cơ tỏa ra.

Động cơ chuyển hóa phần chênh lệch $Q_1 - Q_2$ thành công cơ học có ích A .

Sơ đồ nguyên lý hoạt động của động cơ nhiệt



Hình 11.1: Sơ đồ nguyên lý hoạt động động cơ nhiệt

Theo định luật bảo toàn năng lượng (Nguyên lý I) áp dụng cho một chu trình đầy đủ ($\Delta U_{\text{chu trình}} = 0$ vì trạng thái đầu và cuối trùng nhau):

Công và hiệu suất động cơ nhiệt

$$A = Q_1 - Q_2$$

$$H = \frac{A}{Q_1} = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{Q_2}{Q_1}$$

trong đó H là ****hiệu suất**** động cơ nhiệt (luôn nhỏ hơn 1, thường biểu diễn theo %).

Vì Q_2 luôn khác 0 (theo Nguyên lý II, không thể triệt tiêu hoàn toàn nguồn lạnh), hiệu suất của bất kỳ động cơ nhiệt thực tế nào cũng luôn **nhỏ hơn 100%**.

Các động cơ nhiệt phổ biến: động cơ đốt trong (ô tô, xe máy), động cơ hơi nước, tua-bin khí, nhà máy nhiệt điện (than, khí, hạt nhân đều dùng hơi nước làm tua-bin quay).

11.2 Máy lạnh - nguyên lý ngược với động cơ nhiệt

Máy lạnh (tủ lạnh, điều hòa không khí) hoạt động theo nguyên lý ngược lại: tiêu tốn công cơ học (điện năng) A để “bơm” nhiệt lượng Q_2 từ nguồn lạnh (bên trong tủ/phòng) sang nguồn nóng (môi trường bên ngoài), với $Q_1 = Q_2 + A$ là nhiệt tỏa ra môi trường.

Hệ số làm lạnh (COP - Coefficient of Performance) đặc trưng cho hiệu quả máy lạnh:

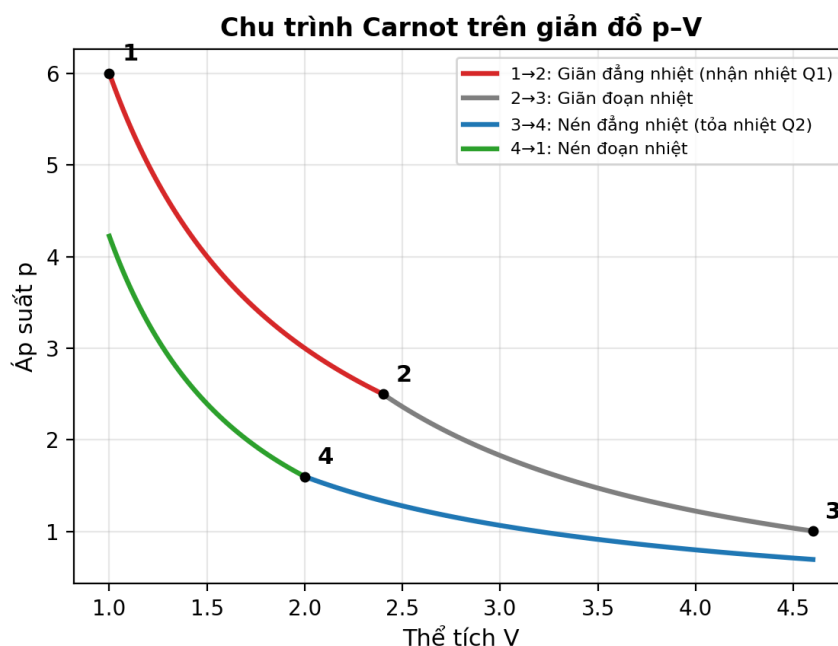
$$\varepsilon = \frac{Q_2}{A}$$

Khác với hiệu suất động cơ nhiệt (luôn < 1), hệ số ε của máy lạnh có thể lớn hơn 1 (thường từ 2 đến 5 đối với máy lạnh gia dụng), vì mục đích không phải chuyển hóa hoàn toàn năng lượng mà là “vận chuyển” một lượng nhiệt lớn hơn nhiều so với công tiêu tốn.

11.3 Chu trình Carnot

Nhà bác học người Pháp Sadi Carnot (1824) đã đề xuất một chu trình lý tưởng gồm 4 giai đoạn thuận nghịch, đạt hiệu suất **cao nhất về mặt lý thuyết** trong số mọi động cơ nhiệt hoạt động giữa hai nguồn nhiệt T_1 và T_2 cho trước:

- 1→2: **Giãn nở đẳng nhiệt** ở nhiệt độ T_1 (tiếp xúc nguồn nóng): khí nhận nhiệt lượng Q_1 , sinh công, nội năng không đổi.
- 2→3: **Giãn nở đoạn nhiệt** ($Q = 0$): khí tiếp tục sinh công, nhiệt độ giảm từ T_1 xuống T_2 .
- 3→4: **Nén đẳng nhiệt** ở nhiệt độ T_2 (tiếp xúc nguồn lạnh): khí tỏa nhiệt lượng Q_2 , nhận công nén, nội năng không đổi.
- 4→1: **Nén đoạn nhiệt** ($Q = 0$): khí tiếp tục nhận công nén, nhiệt độ tăng trở lại từ T_2 lên T_1 , khép kín chu trình.



Hình 11.2: Chu trình Carnot trên giản đồ p-V

Với chu trình Carnot lý tưởng (thuận nghịch), tỉ số $\frac{Q_2}{Q_1}$ chỉ phụ thuộc vào nhiệt độ hai nguồn:

Hiệu suất Carnot - giới hạn lý thuyết cao nhất

$$\frac{Q_2}{Q_1} = \frac{T_2}{T_1} \quad \Rightarrow \quad H_{Carnot} = 1 - \frac{T_2}{T_1}$$

(T_1, T_2 tính bằng Kelvin, T_1 là nhiệt độ nguồn nóng, T_2 là nhiệt độ nguồn lạnh)

Định lý Carnot: Không có động cơ nhiệt nào hoạt động giữa hai nguồn nhiệt T_1, T_2 lại có hiệu suất cao hơn hiệu suất Carnot $H_{Carnot} = 1 - \frac{T_2}{T_1}$. Hiệu suất Carnot chỉ đạt được (về mặt lý thuyết) khi mọi quá trình trong chu trình đều thuận nghịch (không ma sát, không tổn hao) – điều không thể có trong thực tế, nên hiệu suất động cơ thực luôn **nhỏ hơn** hiệu suất Carnot tương ứng.

Ý nghĩa thực tiễn của hiệu suất Carnot

Công thức $H_{Carnot} = 1 - \frac{T_2}{T_1}$ cho thấy: muốn tăng hiệu suất động cơ nhiệt, cần tăng nhiệt độ nguồn nóng T_1 và/hoặc giảm nhiệt độ nguồn lạnh T_2 càng nhiều càng tốt. Đây là lý do các nhà máy nhiệt điện, động cơ ô tô hiện đại luôn tìm cách vận hành ở nhiệt độ cao hơn (dùng vật liệu chịu nhiệt tốt hơn) để cải thiện hiệu suất.

Ví dụ 11.1

Một động cơ nhiệt trong một chu trình nhận nhiệt lượng $Q_1 = 6 \times 10^6 \text{ J}$ từ nguồn nóng và tỏa ra nhiệt lượng $Q_2 = 4,5 \times 10^6 \text{ J}$ cho nguồn lạnh. Tính công động cơ thực hiện và hiệu suất động cơ.

Lời giải:

Công sinh ra: $A = Q_1 - Q_2 = 6 \times 10^6 - 4,5 \times 10^6 = 1,5 \times 10^6 \text{ J}$

Hiệu suất: $H = \frac{A}{Q_1} = \frac{1,5 \times 10^6}{6 \times 10^6} = 0,25 = 25\%$

Ví dụ 11.2

Một động cơ nhiệt lý tưởng (chu trình Carnot) hoạt động giữa nguồn nóng ở $t_1 = 227^\circ\text{C}$ và nguồn lạnh ở $t_2 = 27^\circ\text{C}$. Tính hiệu suất cực đại có thể đạt được. Nếu động cơ nhận 10^4 J nhiệt lượng từ nguồn nóng, công tối đa sinh ra là bao nhiêu?

Lời giải:

Đổi ra Kelvin: $T_1 = 500 \text{ K}$, $T_2 = 300 \text{ K}$

$$H_{Carnot} = 1 - \frac{T_2}{T_1} = 1 - \frac{300}{500} = 1 - 0,6 = 0,4 = 40\%$$

Công tối đa: $A_{max} = H_{Carnot} \times Q_1 = 0,4 \times 10^4 = 4000 \text{ J}$

Đây là công tối đa về mặt lý thuyết; động cơ thực tế (có ma sát, tổn hao nhiệt...) sẽ có hiệu suất và công sinh ra nhỏ hơn giá trị này.

Ví dụ 11.3

Một tủ lạnh có hệ số làm lạnh $\varepsilon = 4$, tiêu thụ công suất điện 150 W . Hỏi trong 1 giờ hoạt động, tủ lạnh lấy đi bao nhiêu nhiệt lượng từ khoang lạnh bên trong?

Lời giải:

Công tiêu thụ trong 1 giờ (3600 s): $A = P \times t = 150 \times 3600 = 540\,000 \text{ J} = 540 \text{ kJ}$

Nhiệt lượng lấy từ khoang lạnh: $Q_2 = \varepsilon \times A = 4 \times 540\,000 = 2\,160\,000 \text{ J} = 2,16 \text{ MJ}$

Đây là minh chứng cho hiệu quả của máy lạnh: chỉ với 540 kJ điện năng tiêu thụ, tủ lạnh đã "vận chuyển" ra ngoài tới $2,16 \text{ MJ}$ nhiệt lượng - gấp 4 lần công đã bỏ ra, điều hoàn toàn hợp lý vì máy lạnh không "tạo ra" năng lượng mà chỉ vận chuyển nhiệt nhờ công cung cấp.

11.4 Bài tập tự luyện - Chương 11**Bài 11.1**

Một động cơ nhiệt nhận $Q_1 = 8000 \text{ J}$ từ nguồn nóng, tỏa $Q_2 = 5000 \text{ J}$ cho nguồn lạnh trong mỗi chu trình. Tính công sinh ra và hiệu suất của động cơ.

Bài 11.2

Một động cơ Carnot lý tưởng hoạt động giữa nguồn nóng 327°C và nguồn lạnh 27°C . Tính hiệu suất Carnot.

Bài 11.3

Một nhà máy nhiệt điện có nguồn nóng (hơi nước) ở 500°C và nguồn lạnh (nước làm mát) ở 30°C . Tính hiệu suất tối đa lý thuyết (Carnot) mà nhà máy có thể đạt được. So sánh với hiệu suất thực tế của các nhà máy nhiệt điện (thường khoảng 35–45%) và giải thích vì sao có sự khác biệt.

Bài 11.4

Một động cơ có hiệu suất 30%, mỗi chu trình sinh công $A = 3000\text{ J}$. Tính nhiệt lượng Q_1 động cơ nhận từ nguồn nóng và nhiệt lượng Q_2 tỏa ra nguồn lạnh trong mỗi chu trình.

Bài 11.5

Một điều hòa không khí có hệ số làm lạnh $\varepsilon = 3,5$, cần lấy đi 10 MJ nhiệt lượng từ phòng trong một giờ để giữ nhiệt độ ổn định. Tính công suất điện tiêu thụ của điều hòa.

PHẦN IV - ỨNG DỤNG VÀ TỔNG HỢP

CHƯƠNG 12

Ứng dụng thực tế của Nhiệt học và Nhiệt động lực học

Mục tiêu chương: Liên hệ kiến thức đã học với các ứng dụng công nghệ và hiện tượng tự nhiên quan trọng.

12.1 Động cơ đốt trong

Động cơ ô tô, xe máy hoạt động theo chu trình gần giống lý thuyết (chu trình Otto cho động cơ xăng, chu trình Diesel cho động cơ dầu diesel), gồm các kỳ nạp, nén (gần đoạn nhiệt), nổ (đẳng tích với động cơ xăng), giãn nở sinh công, và xả. Hiệu suất thực tế của động cơ đốt trong chỉ đạt khoảng 25–40%, phần năng lượng còn lại mất mát dưới dạng nhiệt tỏa ra qua hệ thống làm mát, khí xả, và ma sát – một hệ quả trực tiếp của Nguyên lý II nhiệt động lực học chứ không đơn thuần là hạn chế kỹ thuật.

12.2 Nhà máy nhiệt điện

Nhà máy nhiệt điện (đốt than, khí, hoặc dùng lò phản ứng hạt nhân) đều hoạt động theo nguyên lý chung: nhiệt lượng sinh ra làm sôi nước tạo hơi nước áp suất cao, hơi nước làm quay tua-bin nối với máy phát điện, sau đó hơi nước được ngưng tụ (tỏa nhiệt cho nguồn lạnh – thường là sông, hồ, hoặc tháp giải nhiệt) rồi bơm trở lại lò để tiếp tục chu trình. Hiệu suất nhà máy nhiệt điện hiện đại đạt khoảng 35–45%, bị giới hạn cơ bản bởi hiệu suất Carnot ứng với nhiệt độ hơi nước và nhiệt độ nguồn làm mát.

12.3 Tủ lạnh và điều hòa không khí

Cả hai thiết bị đều hoạt động theo chu trình nén hơi lạnh (vapor-compression cycle), sử dụng một chất làm lạnh (refrigerant) luân chuyển qua 4 giai đoạn chính: nén (máy nén tăng áp suất và nhiệt độ chất làm lạnh dạng hơi), ngưng tụ (tỏa nhiệt ra môi trường, chất làm lạnh hóa lỏng), giãn nở qua van tiết lưu (áp suất và nhiệt độ giảm mạnh), và bay hơi (hấp thụ nhiệt từ không gian cần làm lạnh, chất làm lạnh hóa hơi trở lại). Chu trình lặp lại liên tục nhờ máy nén tiêu thụ điện năng.

12.4 Bơm nhiệt (heat pump)

Bơm nhiệt hoạt động cùng nguyên lý với máy lạnh nhưng mục đích ngược lại: thay vì lấy nhiệt từ trong phòng để làm lạnh, bơm nhiệt lấy nhiệt từ môi trường ngoài (dù lạnh) và “bơm” vào trong nhà để sưởi ấm. Vì hệ số hiệu quả COP của bơm nhiệt

thường lớn hơn 1 (có thể đạt 3–4), việc sưởi ấm bằng bơm nhiệt tiết kiệm năng lượng hơn nhiều so với sưởi trực tiếp bằng điện trở ($COP = 1$).

12.5 Hiện tượng khí quyển và khí hậu

Nhiều hiện tượng thời tiết liên quan trực tiếp đến nhiệt động lực học: gió được hình thành từ sự chênh lệch nhiệt độ (và áp suất) giữa các vùng không khí, gây ra đối lưu khí quyển; mây hình thành khi hơi nước bốc lên cao, gặp áp suất thấp giãn nở đoạn nhiệt, nhiệt độ giảm xuống dưới điểm sương và ngưng tụ thành các giọt nước nhỏ. Hiệu ứng nhà kính, biến đổi khí hậu toàn cầu cũng là những vấn đề liên quan mật thiết đến cân bằng nhiệt của Trái Đất – sự cân bằng giữa năng lượng bức xạ Mặt Trời hấp thụ và năng lượng bức xạ hồng ngoại Trái Đất phát ra không gian.

12.6 Y học và sinh học

Cơ thể con người duy trì thân nhiệt ổn định khoảng $37^\circ C$ nhờ các cơ chế điều hòa nhiệt (tiết mồ hôi để hạ nhiệt qua bay hơi, run rẩy để sinh nhiệt qua co cơ, co giãn mạch máu ngoại vi để điều chỉnh tốc độ tỏa nhiệt). Các thiết bị y tế như lồng ấp trẻ sơ sinh, máy đo thân nhiệt hồng ngoại, hay kỹ thuật áp lạnh (cryotherapy) trong điều trị đều ứng dụng trực tiếp các nguyên lý truyền nhiệt và chuyển thể đã học.

12.7 Công nghệ nhiệt độ thấp (Cryogenics)

Ngành công nghệ nhiệt độ cực thấp (gần độ không tuyệt đối) có nhiều ứng dụng quan trọng: hóa lỏng khí (nitơ lỏng ở $-196^\circ C$, heli lỏng ở $-269^\circ C$) dùng trong bảo quản y sinh (đông lạnh mẫu vật, tế bào gốc), làm siêu dẫn nam châm trong máy chụp cộng hưởng từ (MRI) và máy gia tốc hạt, tên lửa đẩy dùng nhiên liệu oxy lỏng/hidro lỏng.

Kết nối kiến thức

Toàn bộ các ứng dụng trên đều là hệ quả trực tiếp từ những nguyên lý cơ bản đã học xuyên suốt cuốn sách này: phương trình trạng thái khí lý tưởng (Chương 7) mô tả hành vi của khí trong xilanh động cơ, buồng nén máy lạnh; Nguyên lý I (Chương 9) đảm bảo năng lượng luôn được bảo toàn trong mọi chu trình; Nguyên lý II và hiệu suất Carnot (Chương 10, 11) giải thích vì sao không thiết bị nào đạt hiệu suất tuyệt đối, đồng thời chỉ ra hướng cải tiến công nghệ (tăng T_1 , giảm T_2) để nâng cao hiệu suất.

CHƯƠNG 13

Bài tập tổng hợp cuối sách

Phần này gồm các bài tập tổng hợp, kết hợp kiến thức từ nhiều chương khác nhau, giúp người đọc rèn luyện khả năng vận dụng linh hoạt và kiểm tra lại mức độ nắm vững toàn bộ nội dung cuốn sách. Đáp số chi tiết được trình bày ở Phụ lục cuối sách.

Bài TH.1 (Chương 2 & 3)

Một thanh nhôm dài 2 m ở 20°C , khối lượng 1 kg , được nung nóng đến 220°C . Biết hệ số nở dài của nhôm $\alpha = 24 \times 10^{-6}\text{ K}^{-1}$, nhiệt dung riêng $c_{Al} = 880\text{ J/kg.K}$.

- Tính độ dẫn dài của thanh nhôm.
- Ngay sau khi nung, thanh nhôm được thả vào 5 kg nước ở 25°C (bỏ qua nhiệt dung của bình chứa). Tính nhiệt độ cân bằng của hệ.

Bài TH.2 (Chương 6 & 7)

Một khối khí ở trạng thái đầu $p_1 = 1\text{ atm}$, $V_1 = 2\text{ lít}$, $T_1 = 300\text{ K}$ được nén đẳng nhiệt xuống thể tích $V_2 = 0,5\text{ lít}$.

- Tính áp suất p_2 sau khi nén.
- Sau đó, giữ thể tích không đổi (V_2), người ta tiếp tục nung nóng khối khí cho đến khi áp suất đạt $p_3 = 6\text{ atm}$. Tính nhiệt độ T_3 (K và $^\circ\text{C}$) lúc này.

Bài TH.3 (Chương 3 & 4)

Tính tổng nhiệt lượng cần cung cấp để biến 3 kg nước đá ở -5°C thành nước ở 50°C (không hóa hơi). Biết $c_{\text{đá}} = 2090\text{ J/kg.K}$, $\lambda_{\text{đá}} = 334 \times 10^3\text{ J/kg}$, $c_{\text{nước}} = 4180\text{ J/kg.K}$.

Bài TH.4 (Chương 7)

Một bình có thể tích 8 lít chứa $0,4\text{ mol}$ khí Heli ở 27°C .

- Tính áp suất khí trong bình.
- Người ta bơm thêm $0,2\text{ mol}$ khí Heli nữa vào bình (thể tích và nhiệt độ không đổi). Tính áp suất khí lúc này.

Bài TH.5 (Chương 8 & 9)

Một khối khí lý tưởng đơn nguyên tử gồm $n = 2\text{ mol}$ nhận nhiệt lượng $Q = 5000\text{ J}$ và thực hiện công $A' = 2000\text{ J}$ lên môi trường ngoài trong một quá trình giãn nở đẳng áp.

- Tính độ biến thiên nội năng ΔU của khối khí.

b) Biết $U = \frac{3}{2}nRT$ đối với khí lý tưởng đơn nguyên tử, tính độ biến thiên nhiệt độ ΔT của khối khí.

Bài TH.6 (Chương 11)

Một động cơ nhiệt lý tưởng hoạt động theo chu trình Carnot giữa nguồn nóng 227°C và nguồn lạnh 27°C . Trong mỗi chu trình, động cơ nhận $Q_1 = 8000\text{ J}$ từ nguồn nóng.

- Tính hiệu suất Carnot của động cơ.
- Tính công sinh ra và nhiệt lượng tỏa ra nguồn lạnh trong mỗi chu trình.

Bài TH.7 (Chương 11)

Một hệ thống điều hòa không khí có hệ số làm lạnh $\varepsilon = 3$ phải lấy đi 5 MJ nhiệt lượng xâm nhập vào phòng mỗi giờ để giữ nhiệt độ phòng ổn định. Tính công suất điện tiêu thụ của điều hòa (tính bằng Watt).

Bài TH.8 (Chương 11, vận dụng cao)

Hai nhà máy nhiệt điện A và B có thông số như sau: nhà máy A hoạt động với nguồn nóng 550°C , nguồn lạnh 25°C ; nhà máy B hoạt động với nguồn nóng 400°C , nguồn lạnh 25°C .

- Tính hiệu suất Carnot (giới hạn lý thuyết cao nhất) của mỗi nhà máy.
- Nhà máy nào có tiềm năng đạt hiệu suất cao hơn? Giải thích dựa trên Nguyên lý II nhiệt động lực học và đề xuất một hướng cải tiến kỹ thuật để tăng hiệu suất nhà máy B.

PHỤ LỤC A

Bảng tổng hợp công thức

A.1 A.1. Nhiệt độ

Đại lượng	Công thức
Đổi °C sang K	$T(K) = t(^{\circ}C) + 273$
Đổi °C sang °F	$t(^{\circ}F) = \frac{9}{5}t(^{\circ}C) + 32$
Đổi °F sang °C	$t(^{\circ}C) = \frac{5}{9}[t(^{\circ}F) - 32]$

A.2 A.2. Sự nở vì nhiệt

Đại lượng	Công thức
Nở dài	$\ell = \ell_0[1 + \alpha\Delta t]$
Nở khối	$V = V_0[1 + \beta\Delta t]$, với $\beta \approx 3\alpha$

A.3 A.3. Nhiệt lượng và chuyển thể

Đại lượng	Công thức
Nhiệt lượng thay đổi nhiệt độ	$Q = mc\Delta t$
Phương trình cân bằng nhiệt	$Q_{\text{tỏa}} = Q_{\text{thu}}$
Nhiệt nóng chảy/đông đặc	$Q = \lambda m$
Nhiệt hóa hơi/ngưng tụ	$Q = Lm$

A.4 A.4. Thuyết động học phân tử

Đại lượng	Công thức
Động năng trung bình phân tử	$\overline{W_d} = \frac{3}{2}k_B T$
Áp suất chất khí (động học)	$p = \frac{1}{3}nm_0\overline{v^2}$

A.5 A.5. Các định luật chất khí

Định luật	Điều kiện	Công thức
Boyle-Mariotte	$T = \text{const}$	$p_1 V_1 = p_2 V_2$
Charles	$V = \text{const}$	$p_1/T_1 = p_2/T_2$
Gay-Lussac	$p = \text{const}$	$V_1/T_1 = V_2/T_2$
Clapeyron	$n = \text{const}$	$p_1 V_1/T_1 = p_2 V_2/T_2$
Clapeyron-Mendeleev	-	$pV = nRT$

A.6 A.6. Nhiệt động lực học

Đại lượng	Công thức
Công khí (đẳng áp)	$A = p\Delta V$
Nguyên lý I	$\Delta U = A + Q$
Đẳng tích	$\Delta U = Q$
Đẳng áp	$Q = \Delta U + p\Delta V$
Đẳng nhiệt	$Q = -A$
Đoạn nhiệt	$\Delta U = A$
Hiệu suất động cơ nhiệt	$H = \frac{A}{Q_1} = 1 - \frac{Q_2}{Q_1}$
Hiệu suất Carnot	$H_{Carnot} = 1 - \frac{T_2}{T_1}$
Hệ số làm lạnh	$\varepsilon = \frac{Q_2}{A}$

PHỤ LỤC B

Hằng số vật lý và đơn vị đo

B.1 B.1. Các hằng số thường dùng

Hằng số	Kí hiệu	Giá trị
Độ không tuyệt đối	-	$0\text{ K} = -273,15^\circ\text{C}$
Hằng số khí lý tưởng	R	$8,31\text{ J}/(\text{mol.K})$
Hằng số Boltzmann	k_B	$1,38 \times 10^{-23}\text{ J/K}$
Số Avogadro	N_A	$6,022 \times 10^{23}\text{ mol}^{-1}$
Thể tích mol khí ở đktc	V_0	$22,4\text{ lít/mol}$
Nhiệt dung riêng của nước	c	$4180\text{ J}/(\text{kg.K})$
Nhiệt nóng chảy riêng của nước đá	λ	$334 \times 10^3\text{ J/kg}$
Nhiệt hóa hơi riêng của nước	L	$2,26 \times 10^6\text{ J/kg}$

B.2 B.2. Bảng chuyển đổi đơn vị áp suất

Đơn vị	Quy đổi sang Pa
1 atm	$1,013 \times 10^5\text{ Pa}$
1 mmHg (torr)	$133,3\text{ Pa}$
1 bar	10^5 Pa
1 at (kỹ thuật)	$0,981 \times 10^5\text{ Pa}$

B.3 B.3. Bảng chuyển đổi đơn vị năng lượng

Đơn vị	Quy đổi sang Jun (J)
1 cal	$4,186\text{ J}$
1 kcal	4186 J
1 kWh	$3,6 \times 10^6\text{ J}$
1 eV	$1,602 \times 10^{-19}\text{ J}$

B.4 B.4. Điều kiện tiêu chuẩn (đktc)

$$T_0 = 273\text{ K } (0^\circ\text{C}), \quad p_0 = 1\text{ atm} = 1,013 \times 10^5\text{ Pa}$$

PHỤ LỤC C

Đáp số bài tập tự luyện

C.1 Chương 1

1.1 a) 298 K b) 233 K c) 1273 K

1.2 a) 77°C b) -196°C c) -273°C

1.3 $25^\circ\text{C} \approx 298\text{ K}$

1.4 $t = -40$ (tại $-40^\circ\text{C} = -40^\circ\text{F}$, hai thang trùng nhau)

1.5 Vì các định luật chất khí liên hệ trực tiếp với động năng trung bình phân tử ($\overline{W_d} = \frac{3}{2}k_B T$), chỉ có ý nghĩa vật lý đúng khi T là nhiệt độ tuyệt đối (Kelvin, luôn dương); dùng Celsius (có giá trị âm, mốc 0 tùy chọn) sẽ cho kết quả sai, ví dụ thể tích âm.

C.2 Chương 2

2.1 $\Delta\ell \approx -25,5\text{ mm}$ (dây ngắn lại do nhiệt độ giảm); chiều dài còn lại $\approx 49,97\text{ m}$

2.2 $V \approx 1012,6\text{ cm}^3$

2.3 Để chừa khoảng trống cho kính nở ra khi trời nóng, tránh kính bị nứt vỡ do bó cứng trong khung.

2.4 Nước có khối lượng riêng cực đại ở 4°C (tính dị thường); nước lạnh hơn 4°C nhẹ hơn nên nổi lên trên và đóng băng trước, lớp băng cách nhiệt giữ cho nước bên dưới không tiếp tục mất nhiệt nhanh, duy trì ở khoảng 4°C .

C.3 Chương 3

3.1 $Q = 501,6\text{ kJ}$

3.2 $t \approx 25,5^\circ\text{C}$

3.3 $t \approx 42,9^\circ\text{C}$

3.4 $Q = 660\text{ kJ}$

3.5 $c \approx 511\text{ J/kg.K}$ - gần với nhiệt dung riêng của thép/gang.

C.4 Chương 4

4.1 $Q = 1,67\text{ MJ}$

4.2 $Q = 1,13\text{ MJ}$

4.3 $Q \approx 449 \text{ kJ}$

4.4 Đá tan hết; nhiệt độ cân bằng $\approx 0^\circ\text{C}$ (dư một lượng nhiệt rất nhỏ để hâm nước sau khi đá vừa tan hết).

4.5 $t \approx 43,9^\circ\text{C}$

C.5 Chương 5

5.1 Ba nội dung: (1) khí gồm các phân tử coi như chất điểm; (2) chuyển động hỗn loạn không ngừng, nhanh hơn khi T tăng; (3) va chạm phân tử - thành bình gây áp suất. Khí lý tưởng bỏ qua thể tích riêng và tương tác phân tử (trừ va chạm), khí thực thì không hoàn toàn bỏ qua được, đặc biệt ở áp suất cao/nhiệt độ thấp.

5.2 $\overline{W_d} \approx 6,0 \times 10^{-21} \text{ J}$

5.3 $T = 600 \text{ K} = 327^\circ\text{C}$

5.4 Khi bơm, không khí bị nén nhanh (gần như đoạn nhiệt), pittông thực hiện công lên khí làm tăng nội năng khí, nhiệt độ khí tăng, truyền nhiệt ra thân bơm làm thân bơm nóng lên.

C.6 Chương 6

6.1 $V_2 = 4 \text{ lít}$

6.2 $T_2 \approx 390,7 \text{ K} \approx 117,7^\circ\text{C}$

6.3 $V_2 \approx 2,28 \text{ lít}$

6.4 $p_2 \approx 2,5 \text{ atm}$ - vẫn dưới ngưỡng an toàn 3 atm nên không gây nổ lốp.

C.7 Chương 7

7.1 $p_2 \approx 3,62 \text{ atm}$

7.2 $m \approx 4,88 \text{ g}$

7.3 $V \approx 0,49 \text{ lít (489 mL)}$

7.4 Phương trình Clapeyron chỉ áp dụng khi số mol khí không đổi; phương trình Clapeyron-Mendeleev có n nên áp dụng được cả khi lượng khí thay đổi (bơm thêm/lấy bớt khí) - bắt buộc phải dùng phương trình này khi khối lượng khí không phải hằng số.

C.8 Chương 8

8.1 Thực hiện công (ví dụ: cọ xát hai vật) và truyền nhiệt (ví dụ: đun nóng vật trên bếp).

8.2 Vì khí lý tưởng bỏ qua tương tác phân tử, nội năng chỉ gồm động năng chuyển động nhiệt - chỉ phụ thuộc nhiệt độ (qua $\overline{W_d} = \frac{3}{2}k_B T$), không có phần thế năng tương tác phụ thuộc khoảng cách (thể tích).

8.3 $A = 400 J$

8.4 Dẫn nhiệt: truyền động năng giữa phân tử liên kế (ví dụ: cầm thanh sắt nung nóng một đầu); đối lưu: dòng chất lỏng/khí mang nhiệt (ví dụ: đun nước trong nồi); bức xạ: sóng điện từ, không cần môi trường (ví dụ: ánh nắng Mặt Trời).

C.9 Chương 9

9.1 $\Delta U = A + Q$; $Q > 0$ nhận nhiệt, $A > 0$ nhận công, $\Delta U > 0$ nội năng tăng.

9.2 $\Delta U = 1200 J$

9.3 $\Delta U = -500 J$; nhiệt độ khí giảm.

9.4 $\Delta U = 350 J$; nhiệt độ khí tăng.

9.5 Khi bơm nhanh, quá trình gần như đoạn nhiệt ($Q \approx 0$), pittông nén khí thực hiện công dương lên khí ($A > 0$) nên $\Delta U = A > 0$ - nội năng khí tăng, nhiệt độ khí tăng, làm thân bơm nóng lên khi tiếp xúc.

C.10 Chương 10

10.1 Clausius: nhiệt không tự truyền từ vật lạnh sang vật nóng nếu không tốn năng lượng ngoài. Kelvin: không thể có động cơ chỉ nhận nhiệt từ một nguồn rồi biến hoàn toàn thành công. Hai cách phát biểu tương đương, không mâu thuẫn.

10.2 Vì chiều truyền nhiệt tự nhiên là từ nóng sang lạnh; để “bơm ngược” nhiệt từ trong tủ (lạnh) ra ngoài (nóng hơn), theo Clausius bắt buộc phải tiêu tốn công (điện năng) từ nguồn khác.

10.3 Ví dụ: giọt mực khuếch tán trong nước; khí từ bình kín lan tỏa ra phòng khi mở van; phòng bừa bộn dần nếu không dọn dẹp.

10.4 Là động cơ giả định chỉ hút nhiệt từ một nguồn duy nhất (ví dụ đại dương) rồi biến hoàn toàn thành công có ích, không tỏa nhiệt ra nguồn lạnh nào. Không vi phạm Nguyên lý I (năng lượng vẫn bảo toàn) nhưng vi phạm Nguyên lý II (phát biểu Kelvin), nên không thể tồn tại.

C.11 Chương 11

11.1 $A = 3000 J$; $H = 37,5\%$

11.2 $H_{Carnot} = 50\%$

11.3 $H_{Carnot} \approx 60,8\%$; hiệu suất thực tế (35-45%) thấp hơn nhiều do các quá trình thực không thuận nghịch (ma sát, tổn thất nhiệt qua ống dẫn, tổn hao ở máy phát điện, tua-bin...).

11.4 $Q_1 = 10\,000 J$; $Q_2 = 7\,000 J$

11.5 $P \approx 794 W$

PHỤ LỤC D

Đáp số Bài tập tổng hợp

TH.1 a) $\Delta \ell = 9,6 \text{ mm}$ b) $t \approx 32,9^\circ \text{C}$

TH.2 a) $p_2 = 4 \text{ atm}$ b) $T_3 = 450 \text{ K} = 177^\circ \text{C}$

TH.3 $Q \approx 1,66 \text{ MJ}$

TH.4 a) $p_1 \approx 1,23 \text{ atm}$ b) $p_2 \approx 1,85 \text{ atm}$

TH.5 a) $\Delta U = 3000 \text{ J}$ b) $\Delta T \approx 120,3 \text{ K}$

TH.6 a) $H_{\text{Carnot}} = 40\%$ b) $A = 3200 \text{ J}; Q_2 = 4800 \text{ J}$

TH.7 $P \approx 463 \text{ W}$

TH.8 a) $H_A \approx 63,8\%; H_B \approx 55,7\%$ b) Nhà máy A có tiềm năng hiệu suất cao hơn vì nhiệt độ nguồn nóng cao hơn (hiệu suất Carnot tăng khi T_1 tăng hoặc T_2 giảm, theo Nguyên lý II). Hướng cải tiến cho nhà máy B: nâng nhiệt độ hơi nước đầu vào tua-bin (dùng vật liệu chịu nhiệt tốt hơn) và/hoặc hạ nhiệt độ nguồn làm mát.