

# فصل اول

## جلسه اول



### CHAPTER ONE

#### مقدمات ترمودینامیک

ترمودینامیک از زیرشاخه‌های فیزیک و شیمی می‌باشد که به رابطه‌ی بین کار و گرما و نحوه‌ی تبدیل شدن آن‌ها به یکدیگر می‌پردازد. در این فصل کتاب، به بررسی گاز کامل می‌پردازیم.

**گاز کامل (آرمانی):** گازی است که ذرات آن به یکدیگر نیروی جاذبه وارد نمی‌کنند. گاز بسیار رقیق را می‌توان گاز کامل در نظر گرفت.

در ابتدای بحث چند تعریف را بیان می‌کنیم که در مبحث ترمودینامیک با آن‌ها برخورد داریم:

**کمیت ماکروسکوپی:** کمیت‌هایی هستند که وضعیت ماده را در مقیاس بزرگ توصیف می‌کنند و به جزئیات رفتار تک تک مولکول‌ها وابسته نیستند.

کمیت میکروسکوپی در مقابل کمیت ماکروسکوپی قرار دارد. به عنوان مثال سرعت و انرژی جنبشی ذرات کمیت‌های میکروسکوپی و حجم، فشار و دما کمیت‌های ماکروسکوپی هستند.

**ترمودینامیک:** علم ترمودینامیک قوانین حاکم بین کمیت‌های ماکروسکوپی یک دستگاه در پدیده‌های گرمایی را بیان می‌کند و به مطالعه‌ی مبادله‌ی انرژی و کاربرد آن در چنین دستگاه‌هایی می‌پردازد.

**دستگاه:** ماده‌ی مورد بررسی که معمولاً به صورت گاز یا مایع است را دستگاه می‌نامیم.

**محیط:** آنچه در اطراف دستگاه وجود دارد و دستگاه با آن‌ها می‌تواند تبادل انرژی داشته باشد، محیط نامیده می‌شود.

**متغیرهای ترمودینامیکی:** کمیت‌های ماکروسکوپی هستند که حالت و وضعیت دستگاه را می‌توان براساس آن‌ها توصیف کرد که عبارتند از: دما، فشار، حجم و مقدار ماده.

#### یادآوری تبدیل واحدها

در این بخش به تبدیل واحدهای زیر نیاز پیدا می‌کنید:

$$1 \text{ atm} \approx 10^5 \text{ Pa}, \quad 1 \text{ lit} = 10^{-3} \text{ m}^3, \quad 1 \text{ cm}^3 = 10^{-6} \text{ m}^3$$

$$\text{دما: } T(\text{K}) = 273 + \theta(^{\circ}\text{C}), \quad \Delta T = \Delta \theta$$

**مثال ۱:** حاصل ضرب فشار و حجم ( $P.V$ ) از جنس چه نوع کمیتی است؟

$$\frac{N}{m^2} \times m^3 = N.m = J$$

**پاسخ:** با جاگذاری واحدهای فشار ( $\text{Pa} = \frac{N}{m^2}$ ) و حجم ( $m^3$ ) به پاسخ می‌رسیم:

بنابراین حاصل ضرب  $PV$  با انرژی هم‌یکا است.

#### معادله‌ی حالت

**تعریف:** رابطه‌ی بین متغیرهای ترمودینامیکی معادله‌ی حالت نامیده می‌شود.

**نکته:** متغیرهای ترمودینامیکی از یکدیگر مستقل نیستند. یعنی تغییر در یکی از متغیرها باعث تغییر در برخی یا همه‌ی متغیرهای ترمودینامیکی دیگر می‌شود.

**نکته:** معادله‌ی حالت در گازها به طور کلی پیچیده می‌باشد ولی برای گاز کامل، معادله‌ی حالت، ساده و مستقل از نوع گاز می‌باشد.

طبق آزمایش مشخص شده است که نسبت  $\frac{PV}{T}$  ( $P$ : فشار،  $V$ : حجم،  $T$ : دمای مطلق) برای مقدار معینی گاز کامل مقداری ثابت است و مستقل

$$\frac{PV}{T} \propto n \quad (۱)$$

از نوع گاز بوده و فقط به مقدار گاز بستگی دارد:

$$n = \frac{m}{M}$$

$n$ : مقدار گاز برحسب مول ( $\text{mol}$ ) می‌باشد که از رابطه‌ی روبه‌رو به دست می‌آید:

$$m: \text{جرم گاز (g یا kg)}, \quad M: \text{جرم مولی گاز (g/mol یا kg/mol)}$$

ثابت تناسب در رابطه‌ی (۱)، ثابت گازها (R) نامیده می‌شود که مقدار و واحد آن به صورت زیر می‌باشد:

$$R = 8.314 \frac{\text{J}}{\text{mol.K}} \left( \frac{\text{ژول}}{\text{مول. کلوین}} \right)$$

$$\frac{PV}{T} = nR$$

بنابراین معادله‌ی حالت به صورت روبه‌رو می‌باشد:

P: فشار گاز (پاسکال Pa) ، n: تعداد مول گاز (mol) ، V: حجم گاز (مترمکعب  $\text{m}^3$ ) ، T: دمای مطلق (کلوین K)

**مثال ۲:** اگر هوای کلاس را گاز کامل در نظر بگیریم و فشار هوا برابر ۱ atm و ابعاد کلاس  $4 \times 3 \times 5$  بر حسب متر و دمای هوا در حدود  $20^\circ\text{C}$  باشد، تقریباً چند مول گاز در کلاس وجود دارد؟ ( $R = 8.314 \frac{\text{J}}{\text{mol.K}}$ )

$$P = 1 \text{ atm} \approx 10^5 \text{ Pa}$$

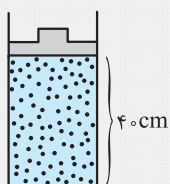
$$V = 4 \times 3 \times 5 = 60 \text{ m}^3$$

$$T = 273 + \theta = 273 + 20 = 293 \text{ K}$$

$$\Rightarrow n = \frac{PV}{RT} = \frac{10^5 \times 60}{8.314 \times 293} \approx 2463 \text{ mol}$$

**پاسخ:** به عنوان اولین مثال، اعداد را تقریباً به‌طور واقعی در نظر گرفته‌ایم:

**مثال ۳:** مطابق شکل یک گاز تک اتمی در دمای  $-23^\circ\text{C}$  زیر پیستون قرار دارد. جرم پیستون و وزنه‌ی روی آن ۱۰ کیلوگرم است. اگر سطح مقطع پیستون  $20 \text{ cm}^2$  و فشار هوا  $10^5 \text{ Pa}$  باشد چند مول گاز درون ظرف موجود است؟ ( $R = 8.314 \frac{\text{J}}{\text{mol.K}}$  ،  $g = 10 \frac{\text{N}}{\text{kg}}$ )



$$P = P_0 + \frac{F}{A} = P_0 + \frac{mg}{A}$$

$$PV = nRT \Rightarrow \left( 10^5 + \frac{10000}{20 \times 10^{-4}} \right) (20 \times 10^{-6} \times 40 \times 10^{-2}) = n \times 8.314 \times 250 \Rightarrow 10^5 \left( 1 + \frac{1}{2} \right) \times 8 \times 10^{-4} = 2000n$$

$$\Rightarrow 120 = 2000n \Rightarrow n = \frac{120}{2000} = 0.06 \text{ mol}$$

**پاسخ:** یادآوری:

**نکته:** اگر داخل ظرف چند نوع گاز باشد، باید تعداد مول گازها را با هم جمع کرده و عدد مجموع را به جای کمیت n در معادله‌ی حالت قرار دهیم.

**مثال ۴:** در ظرفی به حجم ۳۰ lit و دمای  $27^\circ\text{C}$  مقدار ۸g هیدروژن و ۳۲g اکسیژن وجود دارد. فشار گاز تقریباً چند اتمسفر می‌باشد؟

$$(R = 8.314 \frac{\text{J}}{\text{mol.K}} , M_{H_2} = 2 \frac{\text{g}}{\text{mol}} , M_{O_2} = 32 \frac{\text{g}}{\text{mol}})$$

۴ (۴)

۳ / ۲ (۳)

۸ (۲)

۲ (۱)

**پاسخ:** ابتدا تعداد مول گاز را به دست می‌آوریم:

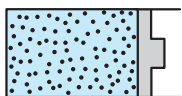
$$n = \frac{m}{M} \Rightarrow \begin{cases} n_{H_2} = \frac{8}{2} = 4 \text{ mol} \\ n_{O_2} = \frac{32}{32} = 1 \text{ mol} \end{cases} \Rightarrow n_{\text{کل}} = n_1 + n_2 = 5 \text{ mol}$$

$$P = \frac{nRT}{V} = \frac{5 \times 8.314 \times 300}{30 \times 10^{-3}} = 4 \times 10^5 \text{ Pa} \approx 4 \text{ atm} \Rightarrow \text{گزینه‌ی (۴) صحیح است.}$$

### معادله‌ی حالت و فرایند ترمودینامیکی

هنگامی که دستگاه (گاز) از حالت (۱)  $(P_1, V_1, T_1, n_1)$  به حالت (۲)  $(P_2, V_2, T_2, n_2)$  تغییر کند، می‌گویند که یک فرایند ترمودینامیکی رخ داده است. با توجه به معادله‌ی حالت، بین وضعیت (۱) و (۲) رابطه‌ی زیر برقرار است:

$$\frac{PV}{nT} = R \Rightarrow \frac{P_1 V_1}{n_1 T_1} = \frac{P_2 V_2}{n_2 T_2}$$



**توجه:** ترمودینامیک وضعیت ماده را در حالت تعادل بررسی می‌کند، یعنی تمام متغیرهای P، V و T در همه جای گاز یکسان می‌باشند و اگر فرایند به آهستگی انجام گیرد، فرایند به حالت تعادل نزدیک‌تر است، به عبارت دیگر یک دستگاه در صورتی در حالت تعادل است که مشخصه‌های قابل اندازه‌گیری مانند دما، حجم، فشار و... به‌طور خودبه‌خودی تغییر نکند. مثلاً در شکل مقابل اگر دما و فشار نقاط مختلف گاز متفاوت باشد، گاز در حال تعادل نخواهد بود و گاز از مکان پرفشار به مکان کم‌فشار (همینطور از مکان با دمای بیش‌تر به مکان با دمای کم‌تر) می‌رود و مشخصه‌های گاز به‌طور خودبه‌خودی در حال تغییر خواهند بود.

$$\frac{P_1 V_1}{n_1 T_1} = \frac{P_2 V_2}{n_2 T_2} \quad \text{نکات رابطه‌ی}$$

- (۱) واحد فشار (P) و حجم (V) در طرفین رابطه باید یکسان باشد و می‌تواند هر واحدی باشد. فشار می‌تواند پاسکال، اتمسفر و سانتی‌متر جیوه باشد و حجم می‌تواند  $\text{cm}^3$ ، lit،  $\text{m}^3$  و... باشد. لازم به ذکر است که در رابطه  $PV = nRT$  باید تمام یکاها در SI باشند.
- (۲) واحد T حتماً باید کلونین باشد.

**مثال ۵:** ظرف اسپری در دمای  $27^\circ\text{C}$  را داخل آتش می‌اندازیم تا دمای آن به  $127^\circ\text{C}$  برسد. با صرف‌نظر از انبساط ظرف، اگر فشار اولیه‌ی گاز داخل اسپری  $2 \text{ atm}$  باشد، (آ) فشار جدید چند اتمسفر می‌شود؟ (ب) فشار گاز چند درصد تغییر می‌کند؟

**پاسخ:** (آ) حجم گاز و مقدار گاز ثابت است، بنابراین رابطه به صورت زیر می‌باشد:

$$\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2} \Rightarrow \frac{2}{273+27} = \frac{P_2}{273+127} \Rightarrow P_2 = \frac{2 \times 400}{300} = \frac{8}{3} \text{ atm}$$

(ب) درصد تغییرات هر کمیتی از رابطه‌ی  $\frac{\Delta x}{x_1} \times 100$  به دست می‌آید، یعنی نسبت تغییر یک کمیت به مقدار اولیه‌ی آن است.

$$\frac{\Delta P}{P_1} \times 100 = \frac{\frac{8}{3} - 2}{2} \times 100 = \frac{2}{2} \times 100 = \frac{1}{2} \times 100 = 50\%$$

**نکته:** جهت سهولت در محاسبات می‌توانیم از مقایسه‌ی شرایط گاز با حالت متعارفی استفاده کنیم.

**حالت متعارفی:** یک مول از هر گاز در دمای صفر درجه‌ی سلسیوس و فشار یک اتمسفر حجمی برابر  $22.4$  لیتر را اشغال می‌کند.

**توجه:** اعداد بالا از رابطه‌ی  $\frac{PV}{T} = nR$  به دست آمده‌اند.

**مثال ۶:** داخل ظرفی با حجم  $6 \text{ lit}$  مقدار  $5$  مول گاز تک اتمی آرگون با دمای  $273^\circ\text{C}$  وجود دارد. فشار گاز چند اتمسفر است؟

$$\frac{P \times 6}{n \times T} = \frac{P \times 6}{5 \times (273+273)} = \frac{P \times 6}{5 \times 546} = \frac{P \times 6}{2730} = \frac{P}{455} \Rightarrow P = 4 \text{ atm}$$

**پاسخ:** با توجه به این که ثابت گازها (R) بیان نشده است و همچنین حجم گاز به صورت ضربی از عدد  $22.4 \text{ lit}$  بیان شده است، بنابراین از شرایط متعارفی کمک می‌گیریم:

$$\frac{P_0 V_0}{n_0 T_0} = \frac{PV}{nT} \Rightarrow \frac{1 \times 22.4}{1 \times 273} = \frac{P \times 6}{5 \times (273+273)} \Rightarrow 4 = \frac{P}{5} \Rightarrow P = 4 \text{ atm} \Rightarrow \text{گزینه‌ی (۴) صحیح است.}$$

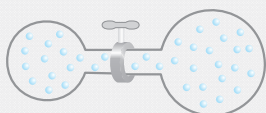
### مسائل جرم متغیر

در مسایلی که جرم گاز ثابت نیست و مقداری گاز به ظرف اضافه می‌شود و یا از آن خارج می‌شود و یا در مسایلی که چند ظرف به یکدیگر متصل می‌شوند، دو روش وجود دارد:

**روش اول:** می‌توان تعداد مول‌ها را پایسته دانست، که در رابطه‌ی زیر می‌توان به جای n از رابطه‌ی  $n = \frac{PV}{RT}$  استفاده کرد:

$$n_T = n_1 + n_2 + \dots \Rightarrow \frac{P_T V_T}{T_T} = \frac{P_1 V_1}{T_1} + \frac{P_2 V_2}{T_2} + \dots$$

**روش دوم:** نوشتن رابطه‌ی  $\frac{P_1 V_1}{n_1 T_1} = \frac{P_2 V_2}{n_2 T_2}$  بین دو حالت مختلف گاز



**مثال ۷:** مطابق شکل دو ظرف حاوی گاز توسط لوله‌ی نازکی به یکدیگر متصل شده‌اند، اگر شیر بین دو ظرف باز شود، پس از تعادل در دمای ثابت، فشار نهایی گاز چند اتمسفر می‌شود؟

$$P_1 = 2 \text{ atm}, \quad P_2 = 5 \text{ atm} \\ V_1 = 10 \text{ lit}, \quad V_2 = 20 \text{ lit}$$

$$V_T = V_1 + V_2 = 30 \text{ lit}$$

$$n_1 + n_2 = n_T$$

$$\Rightarrow \frac{P_1 V_1}{T_1} + \frac{P_2 V_2}{T_2} = \frac{P_T V_T}{T_T} \Rightarrow 2 \times 10 + 5 \times 20 = P_T \times 30 \Rightarrow P_T = \frac{120}{30} = 4 \text{ atm}$$

**پاسخ:** حجم شرایط نهایی برابر است با مجموع حجم‌ها:

حال پایستگی تعداد مول را می‌نویسیم:

**مثال ۸:** اگر شیر کیسولی را باز کنیم تا نصف جرم گاز خارج شود و دمای مطلق گاز را نصف کنیم، فشار گاز داخل کیسول چند برابر می‌شود؟ (کیسول حجم ثابتی دارد.)

$$(۱) \quad \frac{1}{2} \quad (۲) \quad \frac{1}{4} \quad (۳) \quad \frac{1}{2} \quad (۴) \quad \frac{1}{4}$$

**پاسخ:** حجم گاز همان حجم ظرف است، بنابراین حجم ثابت است، اگر نصف جرم گاز خارج شود، در حقیقت تعداد مول گاز نصف شده است:

$$\text{گزینه‌ی (۴) صحیح است.} \Rightarrow \frac{P_1 V_1}{n_1 T_1} = \frac{P_2 V_2}{n_2 T_2} \xrightarrow[n_2 = \frac{1}{2} n_1, T_2 = \frac{1}{2} T_1]{V \text{ ثابت}} \frac{P_1}{n_1 T_1} = \frac{P_2}{\frac{1}{2} n_1 \times \frac{1}{2} T_1} \Rightarrow P_1 = 4 P_2 \Rightarrow \frac{P_2}{P_1} = \frac{1}{4} \Rightarrow$$

### چگالی گاز

چگالی گاز نیز مانند بقیه‌ی مواد محاسبه می‌شود، یعنی نسبت جرم به حجم گاز ( $\rho = \frac{m}{V}$ ) و با توجه به این که حجم گاز به کمیت‌های دیگری مانند فشار و دما می‌تواند وابسته باشد، بنابراین می‌توان چگالی را بر حسب کمیت‌های ماکروسکوپی دیگر به دست آورد:

$$\left. \begin{aligned} m &= n \times M \\ V &= \frac{nRT}{P} \end{aligned} \right\} \Rightarrow \rho = \frac{m}{V} = \frac{n \times M}{\frac{nRT}{P}} \Rightarrow \rho = \frac{PM}{RT}$$

$P$ : فشار گاز (Pa پاسکال)،  $M$ : جرم مولی ( $\frac{\text{kg}}{\text{mol}}$ )،  $R$ : ثابت گازها ( $\frac{\text{J}}{\text{mol.K}}$ )،  $T$ : دمای مطلق (K کلین)

**مثال ۹:** اگر در حجم ثابت دمای مطلق گاز را سه برابر کنیم؛

(آ) فشار گاز چند برابر می‌شود؟ (ب) چگالی گاز چند برابر می‌شود؟

$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2} \Rightarrow \frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{3 T_1} \Rightarrow \frac{P_2}{P_1} = 3$$

**پاسخ:** (آ) با توجه به ثابت بودن مقدار گاز از رابطه‌ی روبه‌رو استفاده می‌کنیم.

(ب) با توجه به ثابت بودن مقدار گاز و حجم گاز، چگالی نیز ثابت می‌ماند و نیازی به استفاده از رابطه‌ی  $\rho = \frac{PM}{RT}$  نیست.

**مثال ۱۰:** حباب هوایی از عمق ۲۰ متری به سطح آب می‌آید. چگالی هوای درون حباب در سطح آب چند برابر می‌شود؟

$$(\rho_{\text{آب}} = 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}, P_0 = 10^5 \text{ Pa})$$

$$(۱) \quad \frac{1}{2} \quad (۲) \quad 2 \quad (۳) \quad 3 \quad (۴) \quad \frac{1}{3}$$

**پاسخ:** با توجه به رابطه‌ی  $P = \rho gh = 1000 \times 10 \times 20 = 2 \times 10^5 \text{ Pa}$ ، فشار ناشی از آب به ازای هر ۱۰ متر برابر با  $10^5 \text{ Pa}$  یعنی برابر  $P_0$  می‌شود بنابراین فشار ۲۰ متر آب برابر  $2P_0$  است. از طرفی فشار هوا هم که بر سطح آب وارد می‌شود طبق اصل پاسکال اثر آن در عمق ۲۰ متری ظاهر می‌شود. بنابراین داریم:

$$P_1 V_1 = P_2 V_2 \Rightarrow (2P_0 + P_0) V_1 = P_0 V_2 \Rightarrow 3 V_1 = V_2 \xrightarrow[\text{ثابت } m]{\rho = \frac{m}{V}} \frac{\rho_2}{\rho_1} = \frac{V_1}{V_2} = \frac{1}{3} \Rightarrow$$

**مثال ۱۱:** دمای مطلق ظرف حاوی گاز را ۴۰ درصد افزایش داده و فشار گاز را ۵۰ درصد کاهش می‌دهیم،

(آ) چگالی گاز چند برابر شده است؟ (ب) چگالی گاز چند درصد و چگونه تغییر کرده است؟

**پاسخ:** (آ) در حل مسایل مربوط به چگالی نیاز نیست که فرمول جدید چگالی ( $\rho = \frac{PM}{RT}$ ) را حفظ باشید. با توجه به ثابت بودن مقدار گاز، چگالی با حجم رابطه‌ی عکس دارد:

$$\left. \begin{aligned} \rho_2 &= \frac{V_1}{V_2} = \frac{\frac{nRT_1}{P_1}}{\frac{nRT_2}{P_2}} = \frac{P_2}{P_1} \times \frac{T_1}{T_2} \\ T_2 &= 1/4 T_1 \\ P_2 &= 1/2 P_1 \end{aligned} \right\} \Rightarrow \frac{\rho_2}{\rho_1} = \frac{1}{2} \times \frac{1}{1/4} = \frac{2}{1}$$

(ب) درصد تغییرات هر کمیتی از رابطه‌ی  $\frac{\Delta x}{x_1} \times 100$  به دست می‌آید:  $\frac{\Delta \rho}{\rho_1} \times 100 = \frac{\rho_2 - \rho_1}{\rho_1} \times 100 = \frac{\frac{2}{1} \rho_1 - \rho_1}{\rho_1} \times 100 = \frac{1}{1} \times 100 = 100\%$

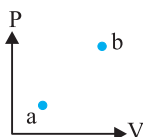
علامت منفی نشان دهنده‌ی کاهش می‌باشد.



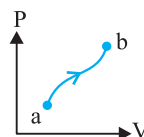
## فرایند ترمودینامیکی

قبلاً بیان نمودیم که اگر متغیرهای ترمودینامیکی  $(T, V, P)$  یک گاز ثابت باشد، گاز در حالت تعادل ترمودینامیکی است. اکنون اگر حالت گاز از شرایط اولیه  $P_1, V_1, T_1$  (با حرکت پیستون و یا گرم نمودن گاز) به شرایط ثانویه  $P_2, V_2, T_2$  برده شود، می‌گوییم یک فرایند ترمودینامیکی رخ داده است.

**فرایند ترمودینامیکی آرمانی:** حال نکته‌ای که باید در ترمودینامیک به آن توجه نمود این است که باید تغییر اعمال شده روی گاز در هر مرحله بسیار جزئی باشد تا مجموعه‌ی تغییرات، گاز را از بیشمار شرایط تعادل نزدیک به هم عبور دهد در این حالت می‌گوییم فرایند آرمانی طی شده است. بنابراین در فرایند آرمانی باید مسیر انجام فرایند معلوم باشد چون بعداً خواهید دید محاسبات کار یا گرمای مبادله شده با گاز به مسیر فرایند وابسته است.



از a تا b مسیر معلوم نیست (فرایند غیر آرمانی)



از a تا b مسیر معلوم است (فرایند آرمانی)

## تبادل انرژی

گاز (دستگاه) با محیط اطراف خود از دو طریق گرما و کار تبادل انرژی می‌کند.

**الف) گرما:** نوعی انرژی می‌باشد که به دلیل اختلاف دما بین دو جسم مبادله می‌شود.

بنابراین اگر گاز با محیط اختلاف دما داشته باشد، گرما از قسمت گرم‌تر به قسمت دیگر منتقل می‌شود.

اگر گاز گرما بگیرد، گرما با علامت مثبت و اگر گاز گرما از دست بدهد گرما با علامت منفی لحاظ می‌شود.

محاسبه‌ی گرما در گازها برخلاف جامدات و مایعات فرمول ثابتی ندارد و با توجه به نوع فرایند (حجم ثابت، فشار ثابت و...) رابطه‌های مختلفی دارد.

**منبع گرما:** جسمی است که اگر گرما بگیرد یا از دست بدهد، دمای آن به‌طور قابل ملاحظه‌ای تغییر نمی‌کند. اگر یک لیوان آب گرم یا سرد را داخل اتاق قرار دهید، دمای آب تغییر می‌کند ولی دمای اتاق تغییر محسوسی نمی‌کند، بنابراین هوای اتاق برای یک لیوان آب گرم یا سرد منبع گرما می‌باشد.

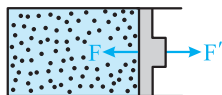
**توجه:** اگر دمای منبع گرما از جسم بیشتر باشد، به آن منبع گرم و اگر دمای منبع گرما کمتر از جسم باشد، به آن منبع سرد می‌گویند.

هوای اتاق برای آب گرم، منبع سرد و برای آب سرد منبع گرم می‌باشد.

(ریاضی- فرداد ۸۸)

**مثال ۱۲:** کدام یک منبع گرمای بهتری می‌باشد: یخ صفر درجه سلسیوس یا مخلوط آب و یخ صفر درجه سلسیوس؟

**پاسخ:** یخ صفر درجه با دریافت گرما، تبدیل به آب صفر درجه می‌شود و دما ثابت می‌ماند ولی اگر گرما از دست بدهد، دمای آن کاهش می‌یابد، بنابراین یخ صفر درجه منبع گرمای مناسبی نیست، ولی مخلوط آب و یخ اگر گرما بگیرد، بدون تغییر دما، یخ ذوب می‌شود و اگر گرما از دست دهد، بدون تغییر دما آب به یخ تبدیل می‌شود.



**ب) کار:** با تغییر حجم گاز در یک فرایند، محیط روی دستگاه و یا دستگاه روی محیط کار انجام می‌دهد.

برای درک این موضوع، مطابق شکل، سیلندر و پیستونی را در نظر بگیرید که مقداری گاز در آن محبوس شده است.

دستگاه (گاز) به محیط نیروی  $F'$  را وارد می‌کند و طبق قانون سوم نیوتن محیط نیز به دستگاه نیروی  $F$  برابر و در

خلاف جهت  $F'$  را وارد می‌کند (کنش و واکنش). اگر پیستون جابه‌جایی بسیار کوچک  $d$  داشته باشد طبق فرمول

کار، هر دو نیروی  $F$  و  $F'$  کار انجام می‌دهند.

**توجه:** با توجه به این‌که  $F$  و  $F'$  در خلاف جهت هم هستند، کار آن‌ها قرینه‌ی یکدیگر می‌باشد.

در تراکم و انبساط علامت کار به‌صورت زیر می‌باشد: ( $W$  کار محیط روی دستگاه و  $W'$  کار دستگاه روی محیط است).

$$\text{تراکم: } \begin{cases} W = Fd \cos 0^\circ \Rightarrow W > 0 \\ W' = F'd \cos 180^\circ \Rightarrow W' < 0 \end{cases}$$

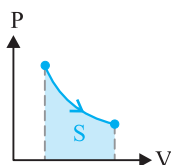
در تراکم، حرکت پیستون در شکل بالا به سمت چپ است:

$$\text{انبساط: } \begin{cases} W = Fd \cos 180^\circ \Rightarrow W < 0 \\ W' = F'd \cos 0^\circ \Rightarrow W' > 0 \end{cases}$$

در انبساط، حرکت پیستون به سمت راست است:

**توجه:**  $W' = -W$  (طبق توضیحات بالا)

**توجه:** در ترمودینامیک، منظور از کار ( $W$ )، کار محیط روی دستگاه است.

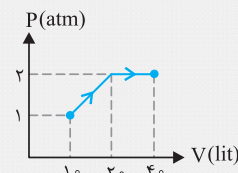


**محاسبه‌ی کار:** در هر نوع فرایندی اگر نمودار تغییرات فشار برحسب حجم رسم شود، مساحت زیر نمودار برابر مقدار کار می‌باشد و علامت کار با توجه به تراکمی یا انبساطی بودن فرایند تعیین می‌شود:

$$|W| = S \xrightarrow{\text{انبساط}} W = -S$$

**توجه:** واحد P و V باید به ترتیب پاسکال و مترمکعب باشند، یعنی در SI باشند تا یکای کار هم در SI، ژول محاسبه شود.

**مثال ۱۳:** در شکل مقابل کار انجام شده چند ژول می‌باشد؟



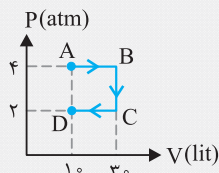
**پاسخ:** مساحت زیر نمودار بیان‌گر مقدار کار است:

$$|W| = S = S_{\text{مستطیل}} + S_{\text{دو زنگه}} = \left[ \left( \frac{1+2}{2} \right) \times 10 + 2 \times 20 \right] \times 10^{-5} \times 10^{-3} = (15 + 40) \times 10^{-2} = 5500 \text{ J}$$

جهت سهولت در محاسبه، تبدیل واحد پاسکال و مترمکعب یک‌جا لحاظ شده‌اند.  
فرایند انبساطی می‌باشد بنابراین کار منفی است:

$$W = -5500 \text{ J}$$

**مثال ۱۴:** تغییرات فشار برحسب حجم برای مقدار معینی گاز اکسیژن مطابق شکل است.



(آ) کار انجام شده توسط گاز در هر فرایند چند ژول است؟

(ب) کار انجام شده توسط گاز در کل فرایند چند ژول است؟

**پاسخ:** (آ) کار انجام شده توسط گاز ( $W'$ ) قرینه‌ی ( $W$ ) می‌باشد:

$$AB: \text{انبساط} \Rightarrow W = -S \Rightarrow W' = +S_{\text{مستطیل زیر AB}} = +4 \times 20 \times 10^{-2} = 8000 \text{ J}$$

BC:  $W = 0$  (اگر حجم گاز تغییر نکند، کار انجام نمی‌شود). مساحت زیر فرایند BC برابر صفر است.

$$CD: \text{تراکم} \Rightarrow W = +S_{\text{مستطیل زیر CD}} \Rightarrow W' = -S = -20 \times 2 \times 10^{-2} = -4000 \text{ J}$$

(ب) کار انجام شده در کل فرایندها برابر است با مجموع کارها:

$$W'_{\text{کل}} = W'_{AB} + W'_{BC} + W'_{CD} = +8000 + 0 - 4000 = +4000 \text{ J}$$

**توجه:** حاصل ضرب  $10^5$  (تبدیل اتمسفر به پاسکال) و  $10^{-3}$  (تبدیل لیتر به متر مکعب) برابر با  $10^2$  در نظر گرفته شده است.

## انرژی درونی و قانون اول ترمودینامیک

**انرژی درونی:** مجموع انرژی ذرات یک جسم را انرژی درونی جسم می‌گویند و به‌صورت دقیق‌تر، به مجموع انرژی جنبشی و پتانسیل ذره‌های یک جسم، انرژی درونی می‌گویند. انرژی درونی را با نماد  $U$  نمایش می‌دهند.

**نکته:** در مورد گازهای کامل، انرژی درونی مقدار معینی گاز فقط تابع دمای مطلق گاز می‌باشد:  $U \propto T$

**نکته:** اگر دمای مطلق گاز از  $T_1$  به  $T_2$  برسد، انرژی درونی از  $U_1$  به  $U_2$  می‌رسد و رابطه‌ی روبه‌رو برقرار است:  $\frac{U_2}{U_1} = \frac{T_2}{T_1}$

**مثال ۱۵:** دمای مقداری گاز کامل را از  $182^\circ\text{C}$  به صفر درجه‌ی سانتی‌گراد می‌رسانیم. انرژی درونی گاز چند برابر شده است؟

$$\frac{U_2}{U_1} = \frac{T_2}{T_1} \quad \begin{matrix} \text{صفر (۱)} & \text{(۲) } \frac{3}{5} & \text{(۳) } 182 & \text{(۴) } \frac{1}{182} \end{matrix}$$

$$\frac{U_2}{U_1} = \frac{T_2}{T_1} = \frac{0 + 273}{182 + 273} = \frac{3 \times 91}{5 \times 91} = \frac{3}{5}$$

**پاسخ:** انرژی درونی مقدار معینی گاز فقط به دمای مطلق بستگی دارد:

بنابراین گزینه‌ی (۲) صحیح است.

## قانون اول ترمودینامیک

این قانون در واقع همان پایستگی انرژی می‌باشد که رابطه‌ی بین انرژی درونی، گرما و کار را بیان می‌کند.  
اگر گاز در فرایندی گرمای  $Q$  را بگیرد و کار  $W$  بر روی آن انجام شود، تغییر انرژی درونی آن از رابطه‌ی زیر به دست می‌آید:

$$\Delta U = Q + W$$

واحد  $\Delta U$ ،  $Q$  و  $W$  هر سه (J) می‌باشد.



$Q$ :  $\begin{cases} Q > 0 & \text{گاز گرما بگیرد.} \\ Q < 0 & \text{گاز گرما بدهد.} \end{cases}$

$W$ :  $\begin{cases} W > 0 & \text{گاز متراکم شود.} \\ W < 0 & \text{گاز منبسط شود.} \end{cases}$

$\Delta U$ :  $\begin{cases} \Delta U > 0 & \text{دمای گاز افزایش یابد.} \\ \Delta U < 0 & \text{دمای گاز کاهش یابد.} \end{cases}$

۱۶

**مثال ۱۶:** اگر یک دستگاه ترمودینامیکی،  $250^\circ$  ژول گرما از محیط بگیرد و  $300^\circ$  ژول کار روی محیط انجام دهد. انرژی درونی آن ..... ژول

(سراسری ریاضی)

..... می‌یابد.

(۴)  $550^\circ$ ، افزایش

(۳)  $50^\circ$ ، افزایش

(۲)  $50^\circ$ ، کاهش

(۱)  $500^\circ$ ، کاهش

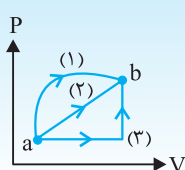
**پاسخ:** گاز روی محیط کار انجام داده است، بنابراین علامت کار منفی است:

$$\left. \begin{array}{l} Q = +250^\circ\text{J} \\ W = -300^\circ\text{J} \end{array} \right\} \Rightarrow \Delta U = Q + W = 250 + (-300) = -50^\circ\text{J}$$

انرژی درونی  $50^\circ\text{J}$  کاهش یافته است.

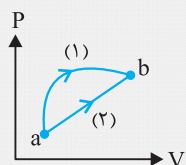
بنابراین گزینه‌ی (۲) صحیح است.

**نکته:** تغییر انرژی درونی مقدار معینی گاز فقط به تغییر دمای گاز بستگی دارد و در تمام نمودارها به مسیر وابسته نیست:



$$\left. \begin{array}{l} \Delta T_1 = \Delta T_2 = \Delta T_3 = T_b - T_a \\ \Delta U \propto \Delta T \end{array} \right\} \Rightarrow \Delta U_1 = \Delta U_2 = \Delta U_3$$

در شکل مقابل گاز از سه مسیر مختلف از حالت  $a$  به  $b$  رفته است و تغییر انرژی درونی در این سه مسیر یکسان است ولی کار و گرما در این سه مسیر متفاوت است.



**مثال ۱۷:** مقداری گاز اکسیژن مطابق نمودار مقابل از دو مسیر مختلف از حالت  $a$  به  $b$  تغییر می‌کند.

کار انجام شده در مسیرهای ۱ و ۲ به ترتیب  $80^\circ\text{J}$  و  $50^\circ\text{J}$  می‌باشد و گاز در مسیر (۱) مقدار  $100^\circ\text{J}$  گرما دریافت کرده است:

(آ) انرژی درونی گاز از  $a$  تا  $b$  چند ژول و چگونه تغییر کرده است؟

(ب) گرمای مبادله شده در مسیر (۲) چند ژول است؟

**پاسخ:**

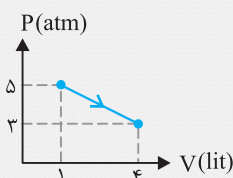
(آ) فرایندهای (۱) و (۲) انبساطی هستند، بنابراین کار انجام شده منفی می‌باشد:

$$\Delta U_1 = Q_1 + W_1 = 100 + (-80) = +20^\circ\text{J}$$

انرژی درونی  $20^\circ\text{J}$  افزایش یافته است.

(ب) تغییر انرژی درونی مستقل از مسیر است:

$$\Delta U_1 = \Delta U_2 \Rightarrow \Delta U_1 = Q_2 + W_2 \Rightarrow 20 = Q_2 + (-50) \Rightarrow Q_2 = +70^\circ\text{J} \Rightarrow \text{گاز } 70^\circ\text{J گرما دریافت کرده است.}$$



**مثال ۱۸:** مقداری گاز اکسیژن فرایندی مطابق شکل روبه‌رو را طی کرده است.

(آ) کار انجام شده چند ژول است؟

(ب) اگر گرمایی که گاز جذب می‌کند برابر  $2950^\circ\text{J}$  ژول باشد، انرژی درونی چقدر تغییر کرده است؟

**پاسخ:**

(آ) کار انجام شده برابر است با مساحت زیر نمودار:

$$|W| = S_{\text{دورنقه}} = \frac{(5+3) \times 1.5 \times (4-1) \times 10^{-3}}{2} = \frac{8 \times 3 \times 1.5}{2} = 120^\circ\text{J} \xrightarrow{\text{انبساط}} W = -120^\circ\text{J}$$

$$\Delta U = Q + W \Rightarrow \Delta U = 2950 + (-120) = 1750^\circ\text{J}$$

(ب)

## پرسش‌های جلسه اول

?

(ریاضی- دی ۹۲)

۱۷

۱

در عبارت‌های زیر گزینه‌ی درست را انتخاب کنید.

- (آ) (یخ صفر درجه‌ی سلسیوس - مخلوط آب و یخ در حال تعادل) را می‌توان به عنوان منبع گرما در نظر گرفت.  
 (ب) این کمیت ماکروسکوپی است. (گرمای ویژه - سرعت مولکول‌های گاز)  
 (پ) اگر در حجم ثابت، دمای گاز را افزایش دهیم چگالی گاز (ثابت می‌ماند - کاهش می‌یابد).  
 (ت) دستگاه از طریق (گرما - کار - گرما و کار) با محیط تبادل انرژی دارد.  
 (ث) اگر فشار گاز افزایش یابد، انرژی درونی (ممکن است افزایش یابد - لزوماً افزایش می‌یابد).

۲

جای خالی را با عبارت مناسب پر کنید.

- (آ) کمیت‌هایی که وضعیت ماده را در مقیاس بزرگ توصیف می‌کنند، کمیت‌های ..... نامیده می‌شوند.  
 (ب) رابطه‌ی بین متغیرهای ترمودینامیکی ..... نامیده می‌شود.  
 (پ) منبع گرما جسمی است که اگر گرما بگیرد و یا از دست دهد، دمای آن ..... نمی‌یابد.  
 (ت) هنگامی که دستگاه ترمودینامیکی از یک حالت به حالت دیگری می‌رود، می‌گوییم یک ..... انجام شده است.

۳

- ۲۰ مول گاز هلیوم درون مخزنی با فشار ۴۰ atm و دمای ۳۰۰ K وجود دارد. ( $R = 8 \frac{J}{mol \cdot K}$ ,  $M_{He} = 4 \frac{g}{mol}$ ,  $\rho = 125 \frac{kg}{m^3}$  هلیوم مایع) (ب) اگر گاز درون مخزن را به مایع تبدیل کنیم، حجم مایع هلیوم چند لیتر خواهد شد؟  
 (آ) حجم مخزن چند لیتر است؟

۴

- فشار هوای لاستیک اتومبیلی ۳ اتمسفر است. پس از مدتی رانندگی دمای لاستیک از ۲۷°C به ۵۷°C می‌رسد و حجم لاستیک ۱۰ درصد افزایش می‌یابد. فشار هوای لاستیک چند اتمسفر شده است؟

۵

حجم گاز کاملی را ۴۰ درصد کاهش داده و فشار آن را سه برابر می‌کنیم.

- (آ) دمای مطلق گاز چند برابر شده است؟ (ب) اگر دمای اولیه ۲۷°C باشد، دمای ثانویه چند درجه‌ی سانتی‌گراد است؟

۶

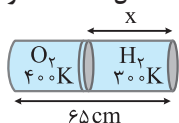
- درون کپسولی ۲g اکسیژن تحت فشار ۱۰ atm و دمای ۴۷°C موجود است. اگر شیر کپسول را باز کنیم تا فشار کپسول به ۶ atm و دمای آن به ۲۷°C برسد، چند گرم اکسیژن از کپسول خارج شده است؟ ( $M_{O_2} = 32 \frac{g}{mol}$ )

۷

- روی کپسولی حاوی نیتروژن شیر اطمینانی قرار دارد که در فشار بالای ۱۰ atm باز می‌شود. درون کپسول ۱۰۰ مول گاز با دمای ۲۷°C وجود دارد. اگر دمای گاز را به ۱۲۷°C برسانیم، چند مول گاز از ظرف خارج می‌شود؟ (انبساط ظرف ناچیز است.)

۸

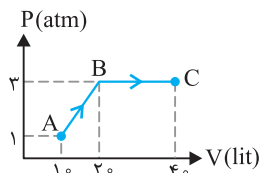
- درون یک استوانه مطابق شکل پیستون عایقی قرار دارد که می‌تواند بدون اصطکاک و آزادانه جابه‌جا شود. پیستون در حالت تعادل است. اگر جرم هیدروژن و اکسیژن در دو طرف با هم برابر باشند، طول x چند سانتی‌متر است؟



$$(M_{H_2} = 2 \frac{g}{mol}, M_{O_2} = 32 \frac{g}{mol})$$

۹

- مقداری گاز هلیوم فرایند آرمانی روبه‌رو را طی کرده است. کار انجام شده توسط گاز در فرایند ABC چند ژول است؟



۱۰

- در یک انبساط در دمای ثابت برای یک گاز کامل ۱۰۰J کار انجام شده است.  
 (آ) تغییر انرژی درونی گاز چند ژول است؟ (ب) گاز چند ژول و چگونه گرما مبادله کرده است؟

۱۱

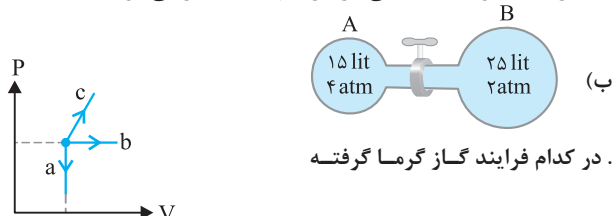
- مقداری گاز در حجم ثابت، ۲۰۰J گرما دریافت کرده است، تغییر انرژی درونی گاز و کار انجام شده روی گاز چند ژول است؟

۱۲

- دمای مقداری گاز نیتروژن را از ۲۷°C به ۵۷°C رسانده‌ایم. اگر انرژی درونی اولیه‌ی گاز ۱۵۰J باشد، انرژی درونی گاز در دمای جدید چند ژول است؟

۱۳

- در هر یک از شکل‌های زیر با فرض ثابت ماندن دمای گازها، اگر شیر بین دو ظرف باز شود فشار نهایی هر ظرف چند اتمسفر می‌شود؟



۱۴

- مقداری گاز کامل سه فرایند a، b و c را به‌طور جداگانه طی کرده است. در کدام فرایند گاز گرما گرفته است و در کدام فرایند گاز گرما از دست داده است؟



## پاسخ پرسش‌های جلسه اول

۱

آ) مخلوط آب و یخ در حال تعادل (ب) گرمای ویژه  
 ت) گرما و کار (ث) ممکن است افزایش یابد

۲

آ) ماکروسکوپی (ب) معادله‌ی حالت (پ) به‌طور قابل ملاحظه‌ای تغییر (ت) فرایند ترمودینامیکی

۳

$$\frac{PV}{T} = nR \Rightarrow V = \frac{nRT}{P} = \frac{20 \times 10^{-3} \times 300}{40 \times 10^5} = 12 \times 10^{-3} \text{ m}^3 = 12 \text{ lit} \quad (\text{آ})$$

(ب) اگر گاز به مایع تبدیل شود، جرم آن ثابت می‌ماند:

$$m = n \times M = 20 \times 4 = 80 \text{ g}$$

$$\rho = \frac{m}{V} \Rightarrow V = \frac{m}{\rho} = \frac{80 \times 10^{-3}}{125} \text{ m}^3 = \frac{80}{125} \text{ lit} = 0.64 \text{ lit}$$

۴

حجم جدید ۱/۱ برابر حجم اولیه است:

$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2} \Rightarrow \frac{P_1 \times 1/1 V_1}{330} = \frac{3 \times V_2}{300} \Rightarrow \frac{P_1 \times 1/1}{330} = \frac{1}{100} \Rightarrow P_1 = 3 \text{ atm}$$

۵

(آ) از مقایسه‌ی دو حالت گاز استفاده کنید:

$$\frac{T_2}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{P_1 V_1} \xrightarrow{V_2 = 0.6 V_1, P_2 = 3 P_1} \frac{T_2}{T_1} = 3 \times 0.6 = 1.8$$

(ب)

$$T_2 = 1.8 T_1 \Rightarrow T_2 = 1.8 \times (273 + 27) = 1.8 \times 300 = 540 \text{ K}$$

$$\theta_2 = T_2 - 273 = 267^\circ \text{C}$$

۶

با توجه به تغییر مقدار گاز، معادله‌ی حالت مقایسه‌ای را برای گاز اولیه و گاز باقی‌مانده بنویسید. حجم گاز، همان حجم ظرف است بنابراین حجم ثابت می‌ماند.

$$\frac{P_1 V_1}{n_1 T_1} = \frac{P_2 V_2}{n_2 T_2} \Rightarrow \frac{10}{\frac{2}{32} \times 320} = \frac{6}{\frac{m}{32} \times 300} \Rightarrow \frac{10}{640} = \frac{6}{300m} \Rightarrow m = \frac{6 \times 640}{10 \times 300} = 1.28 \text{ g}$$

$$m = 2 - 1.28 = 0.72 \text{ g} \quad \text{جرم گاز خارج شده}$$

۷

اگر فشار از ۱ atm به بیش‌تر شود، آن‌قدر گاز خارج می‌شود تا فشار همان ۱ atm شود. بنابراین فشار گاز ثابت است و حجم گاز نیز همان حجم ظرف است و ثابت می‌ماند.

از روش مقایسه استفاده کنید. (گاز اولیه و گاز باقی‌مانده)

$$\frac{P_1 V_1}{n_1 T_1} = \frac{P_2 V_2}{n_2 T_2} \xrightarrow{P_1 = P_2, V_1 = V_2} n_1 T_1 = n_2 T_2 \Rightarrow 100 \times 300 = n_2 \times 400$$

$$\Rightarrow n_2 = \frac{300}{4} = 75 \text{ mol} \quad \text{مقدار گاز باقی‌مانده}$$

$$n = 100 - 75 = 25 \text{ mol} \quad \text{تعداد مول خارج شده}$$

۸

با توجه به در حال تعادل بودن پیستون، نتیجه می‌گیریم فشار در دو طرف یکسان است و حجم گاز برابر است با حاصل‌ضرب طول استوانه و مساحت قاعده‌ی استوانه (A):

$$\frac{P_1 V_1}{n_1 T_1} = \frac{P_2 V_2}{n_2 T_2} \xrightarrow{P_1 = P_2} \frac{(65 - x)A}{\frac{m}{32} \times 400} = \frac{x A}{\frac{m}{2} \times 300} \Rightarrow \frac{32(65 - x)}{400} = \frac{2x}{300}$$

$$\Rightarrow 8(65 - x) = \frac{2x}{3} \Rightarrow 1560 - 24x = 2x \Rightarrow x = \frac{1560}{26} = 60 \text{ cm}$$

۹

کار انجام شده برابر است با مساحت زیر نمودار  $(P-V)$ .

$$|W| = S = S_{\text{مستطیل}} + S_{\text{دو زنگه}} = \left(\frac{1+3}{2} \times 10 + 20 \times 3\right) \times 10^2 = 8000 \text{ J}$$

 $10^2$  جای حاصل ضرب  $10^5$  (تبدیل اتمسفر به پاسکال) و  $10^{-3}$  (تبدیل لیتر به متر مکعب) قرار داده شده است.

$$\Rightarrow W = -8000 \text{ J} \quad \text{فرایند انبساطی}$$

$$W' = +8000 \text{ J}$$

کار انجام شده توسط گاز  $(W')$  قرینه‌ی  $W$  است:

۱۰

آ تغییر انرژی درونی مقدار معینی گاز کامل فقط به تغییر دمای مطلق گاز بستگی دارد:

$$\Delta T = 0 \Rightarrow \Delta U \propto \Delta T \Rightarrow \Delta U = 0 \quad \text{هم‌دمای}$$

ب فرایند انبساطی است، بنابراین علامت کار منفی است:

$$\left. \begin{array}{l} W = -100 \text{ J} \\ \Delta U = Q + W \\ \Delta U = 0 \end{array} \right\} \Rightarrow Q + (-100) = 0 \Rightarrow Q = +100 \text{ J}$$

گاز گرما دریافت کرده است.

۱۱

حجم گاز ثابت است، بنابراین کار انجام نشده است:  $W = 0$ 

طبق قانون اول ترمودینامیک بنویسید:

$$\Delta U = Q + W \Rightarrow \Delta U = 200 + 0 = +200 \text{ J}$$

انرژی درونی گاز  $200 \text{ J}$  افزایش یافته است.

۱۲

انرژی درونی مقدار معینی گاز فقط به دمای مطلق گاز بستگی دارد.

$$\frac{U_2}{U_1} = \frac{T_2}{T_1} \Rightarrow \frac{U_2}{150} = \frac{330}{300} \Rightarrow U_2 = 165 \text{ J}$$

۱۳

$$n_A + n_B = n_{\text{کل}} \Rightarrow \frac{P_1 V_1}{P_2} = \frac{P V}{P_2} \Rightarrow 4 \times 15 = P \times (15 + 25) \Rightarrow P = \frac{60}{40} = 1.5 \text{ atm}$$

آ دما ثابت است:

ب دما ثابت است:

$$n_A + n_B = n_{\text{کل}} \Rightarrow P_1 V_1 + P_2 V_2 = P V \Rightarrow 4 \times 15 + 2 \times 25 = P \times (15 + 25) \Rightarrow 110 = 40 P \Rightarrow P = \frac{11}{4} = 2.75 \text{ atm}$$

۱۴

در فرایند c چون حاصل‌ضرب فشار در حجم انتهای فرایند آن بیش‌تر از ابتدای آن است، پس دمای گاز افزایش یافته  $(\Delta T > 0)$ ، از این‌رو  $\Delta U > 0$  است. از طرفی چون کار منفی است (گاز منبسط شده) بنابراین طبق رابطه‌ی  $\Delta U = Q + W$  باید مقدار مثبت بزرگی باشد

یعنی  $Q > 0$ ، بنابراین گاز گرما گرفته است.در فرایند b با همان استدلال فرایند c، گاز گرما گرفته است:  $Q > 0$ 

در فرایند a کار صفر است و دمای انتهای فرایند کم‌تر از ابتدای آن است (در حجم ثابت، فشار گاز کم شده)، پس  $\Delta U < 0$  و طبق رابطه‌ی قانون اول ترمودینامیک،  $Q$  هم منفی است. پس گاز گرما از دست داده است.

یادآوری: طبق معادله‌ی حالت  $(T = \frac{PV}{nR})$ ، دمای گاز با حاصل‌ضرب  $PV$  رابطه‌ی مستقیم دارد.

## تست‌های جلسه اول

۱. جرم  $\frac{8}{3}$  لیتر هلیوم در فشار  $6 \times 10^5$  پاسکال و دمای  $27^\circ\text{C}$  چند گرم است؟ ( $R = \frac{8}{3} \frac{\text{J}}{\text{mol.K}}$  و جرم مولی هلیوم  $4 \frac{\text{g}}{\text{mol}}$  است.)

(سراسری ریاضی)

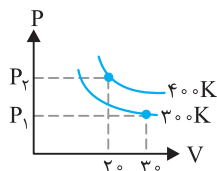
۲ (۴)

۴ (۳)

۸ (۲)

۱۶ (۱)

۲. شکل مقابل، نمودار دو منحنی هم‌دمای گاز کاملی را در دماهای  $300\text{K}$  و  $400\text{K}$  نشان می‌دهد. نسبت  $\frac{P_2}{P_1}$  برابر است با:

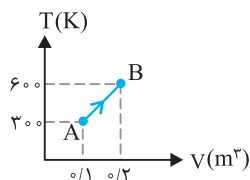

 $\frac{1}{2}$  (۲)

۲ (۱)

 $\frac{4}{3}$  (۴)

 $\frac{3}{4}$  (۳)

۳. شکل روبه‌رو نشان‌دهنده فرایندی مربوط به مقدار معینی گاز کامل است. نسبت فشار گاز در نقطه‌ی A به فشار گاز در نقطه‌ی B کدام است؟


 $\frac{\sqrt{2}}{2}$  (۲)

 $\frac{1}{2}$  (۱)

۲ (۴)

۱ (۳)

۴. در یک مخزن ۴ گرم گاز هیدروژن در دمای  $27^\circ\text{C}$  و در مخزن دیگر ۸ گرم گاز اکسیژن در دمای  $47^\circ\text{C}$  قرار دارد. اگر فشار این دو گاز با هم برابر باشند، نسبت حجم گاز هیدروژن به حجم گاز اکسیژن کدام است؟ ( $M_{\text{O}_2} = 32 \frac{\text{g}}{\text{mol}}$ ،  $M_{\text{H}_2} = 2 \frac{\text{g}}{\text{mol}}$ )

 $\frac{1}{15}$  (۴)

۱۵ (۳)

 $\frac{2}{15}$  (۲)

 $\frac{15}{2}$  (۱)

(آزمایشی سنجش)

۵. فشار مقدار معینی از یک گاز کامل را دو برابر می‌کنیم، کدام مورد الزاماً درست است؟

(۲) دمای گاز دو برابر می‌شود.

(۱) حجم گاز نصف می‌شود.

(۴) نسبت حجم به دمای مطلق دو برابر می‌شود.

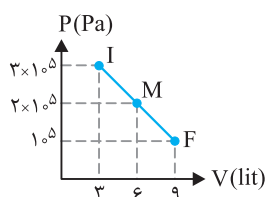
(۳) نسبت حجم به دمای مطلق نصف می‌شود.

۶. در یک محفظه مقداری گاز وجود دارد. اگر حجم گاز را ۲ برابر و دمای مطلق را نصف کرده و مقدار گاز از نظر جرمی را به نصف تقلیل دهیم، فشار گاز چند برابر می‌شود؟

۲ (۴)

 $\frac{1}{2}$  (۳)

 $\frac{1}{4}$  (۲)

 $\frac{1}{8}$  (۱)


۷. فرایندی مطابق شکل، روی مقدار معینی گاز کامل انجام شده است. اگر دمای گاز در نقاط I، M، و F به ترتیب  $T_I$ ،  $T_M$  و  $T_F$  باشد، کدام رابطه درست است؟

(آزمایشی سنجش)

 $T_M > T_I < T_F$  (۲)

 $T_F > T_M > T_I$  (۱)

 $T_I > T_M > T_F$  (۴)

 $T_M > T_I = T_F$  (۳)

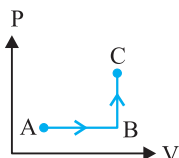
۸. گاز کاملی فرایندهایی مطابق شکل را طی کرده است. اگر دمای گاز در نقاط نشان داده شده به ترتیب  $T_B$ ،  $T_A$  و  $T_C$  باشد، کدام رابطه بین آن‌ها درست است؟

(آزمایشی سنجش)

 $T_A < T_B < T_C$  (۲)

 $T_A > T_B > T_C$  (۱)

 $T_A = T_B < T_C$  (۴)

 $T_A < T_B = T_C$  (۳)


۹. جرم  $\frac{5}{6}$  لیتر گاز اکسیژن در فشار ۲ جو و دمای  $91^\circ\text{C}$  چند گرم است؟ (حجم یک مول اکسیژن در شرایط متعارفی فشار یک جو و دمای صفر

(سراسری تجربی)

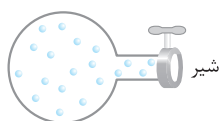
درجه‌ی سلسیوس برابر  $\frac{22}{4}$  لیتر است.) ( $M_{\text{O}_2} = 32 \frac{\text{g}}{\text{mol}}$ )

۲۴ (۴)

۱۶ (۳)

۱۲ (۲)

۸ (۱)

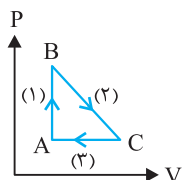


۱۰. در شکل مقابل، شیر مخزن گاز را باز کرده و ۲۵ درصد از گاز درون آن تخلیه شده و دمای گاز از  $327^{\circ}\text{C}$

(آزمون‌های گاه)

به  $27^{\circ}\text{C}$  می‌رسد. فشار گاز درون مخزن در طی این فرایند چند برابر می‌شود؟

- (۱)  $\frac{3}{2}$  (۲)  $\frac{3}{4}$  (۳)  $\frac{16}{18}$  (۴)  $\frac{3}{8}$

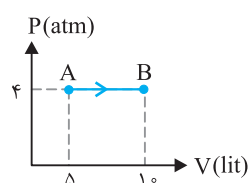


۱۱. در شکل مقابل، گاز کاملی در طی چند فرایند آرمانی در مسیرهای ۱، ۲ و ۳ تغییر حالت می‌دهد. در این

فرایندها علامت کار انجام شده بر روی گاز به ترتیب کدام است؟

- (۱) صفر، منفی، مثبت (۲) منفی، صفر، مثبت (۳) صفر، مثبت، منفی (۴) منفی، منفی، صفر

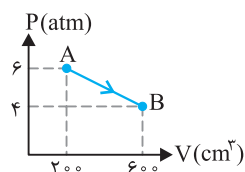
(آزمون‌های گاه)



۱۲. در شکل مقابل، کار انجام شده توسط گاز بر روی محیط در فرایند AB چند ژول است؟

- (۱) ۲۰۰۰ (۲) -۲۰۰۰ (۳) ۲۰ (۴) -۲۰

(آزمایشی سنجش)



۱۳. در شکل روبه‌رو، اندازه‌ی کاری که گاز در مسیر AB انجام می‌دهد، چند ژول است؟

- (۱) ۲۵۰ (۲) ۲۰۰ (۳) ۱۷۰ (۴) ۱۲۰

۱۴. اگر جرم مولی گاز M باشد، در این صورت چگالی گاز برابر است با:

- (۱)  $\frac{PM}{RT}$  (۲)  $\frac{PMR}{T}$  (۳)  $\frac{RT}{PM}$  (۴)  $\frac{P}{MRT}$

۱۵. چگالی اکسیژن در دمای  $27^{\circ}\text{C}$  و فشار  $10^5\text{ Pa}$  چند گرم بر لیتر است؟ ( $M = 32 \frac{\text{g}}{\text{mol}}$ ,  $R = 8 \frac{\text{J}}{\text{mol.K}}$ )

- (۱)  $\frac{4000}{3}$  (۲)  $\frac{4}{3}$  (۳)  $\frac{4}{3000}$  (۴)  $\frac{40}{3}$

۱۶. دمای گازی  $10^{\circ}\text{C}$  و فشار آن ۱ اتمسفر است. اگر دمای گاز را به  $20^{\circ}\text{C}$  و فشار آن را به ۲ اتمسفر برسانیم، چگالی گاز ..... (سراسری ریاضی)

- (۱) بیش از دو برابر می‌شود. (۲) تغییر نمی‌کند. (۳) کمتر از دو برابر می‌شود. (۴) دو برابر می‌شود.

۱۷. چگالی هوا در دمای صفر درجه‌ی سلسیوس و فشار یک جو در حدود  $\frac{1}{3} \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$  است. چگالی هوا در فشار ۴ جو و دمای  $273^{\circ}\text{C}$  چند کیلوگرم

بر مترمکعب است؟

- (۱) ۰/۶۵ (۲) ۱/۳ (۳) ۲/۶ (۴) ۵/۲

۱۸. با کدام یک از روش‌های زیر، می‌توان جرم حجمی گاز را ۲ برابر کرد؟

- (۱) فشار و دمای مطلق را دو برابر کرد. (۲) فشار آن را نصف و دمای مطلق را دو برابر کرد. (۳) در فشار ثابت دمای مطلق را نصف کرد. (۴) در دمای ثابت فشار آن را نصف کرد.

(آزمایشی سنجش)

۱۹. انرژی درونی مقدار معینی گاز کامل را افزایش داده‌ایم. کدام کمیت وابسته به گاز الزاماً افزایش یافته است؟

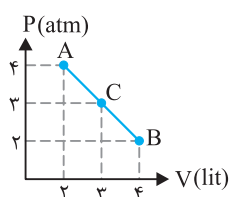
- (۱) چگالی (۲) حجم (۳) دما (۴) فشار



۲۰. فرایند آرمانی یک گاز کامل از A تا B به شکل روبه‌رو است. اگر انرژی درونی گاز را در نقاط A، B و C

به ترتیب با  $U_A$ ،  $U_B$  و  $U_C$  نشان دهیم، کدام رابطه صحیح است؟

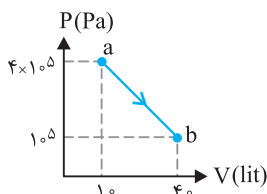
- (۱)  $U_A = U_B < U_C$  (۲)  $U_A > U_C > U_B$   
(۳)  $U_A < U_B < U_C$  (۴)  $U_A = U_B > U_C$



۲۱. شکل روبه‌رو نمودار (P - V) مربوط به مقداری گاز کامل است. انرژی درونی گاز در طی این فرایند چگونه

تغییر کرده است؟

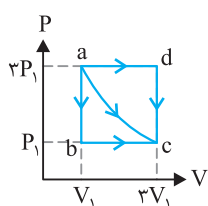
- (۱) پیوسته کاهش می‌یابد.  
(۲) پیوسته افزایش می‌یابد.  
(۳) ابتدا کاهش، سپس افزایش می‌یابد.  
(۴) ابتدا افزایش، سپس کاهش می‌یابد.



۲۲. مطابق شکل روبه‌رو، مقداری گاز کامل تک اتمی طی سه فرایند abc، ac و adc از حالت a به c می‌رود. در

این خصوص، کدام بیان نادرست است؟

- (۱) تغییر انرژی درونی گاز در هر سه فرایند یکسان است.  
(۲) تغییر انرژی درونی گاز در هر سه فرایند برابر صفر است.  
(۳) در هر سه فرایند گاز گرمای یکسانی دریافت کرده است.  
(۴) کار در فرایند adc، ۳ برابر کار در فرایند abc است.



(آزمون‌های گاج)

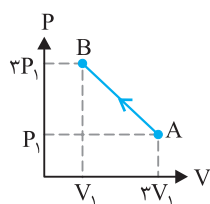
۲۳. اگر تغییرات انرژی درونی یک گاز از رابطه  $\Delta U = |Q| - |W|$  به دست آید، در این صورت:

- (۱) محیط با جذب گرما بر روی سیستم کار انجام داده است.  
(۲) سیستم با جذب گرما، متراکم شده است.  
(۳) سیستم بر روی محیط کار انجام داده و انرژی درونی‌اش کم می‌شود.  
(۴) سیستم با جذب گرما بر روی محیط کار انجام داده است.

۲۴. فرایند آرمانی گاز کاملی به شکل روبه‌رو است. اگر کار و گرمای دریافت شده به وسیله‌ی گاز W و Q باشد،

کدام رابطه صحیح است؟

- (۱)  $W + Q > 0$  (۲)  $W + Q < 0$   
(۳)  $Q > 0, W < 0$  (۴)  $W + Q = 0$

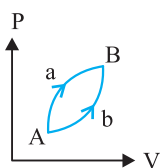


۲۵. در شکل مقابل کدام گزینه برای مقایسه‌ی گرمای مبادله شده، در دو مسیر، درست است؟

- (۱)  $Q_a > Q_b$   
(۲)  $Q_a < Q_b$   
(۳)  $Q_a = Q_b$

(۴) بسته به دمای اولیه‌ی گاز، هر کدام ممکن است درست باشد.

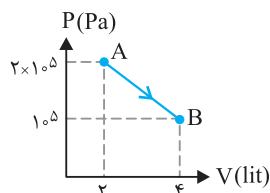
(آزمایشی سنجش)



۲۶. شکل روبه‌رو فرایند یک گاز کامل را از A تا B نشان می‌دهد. در این فرایند کار دریافت شده به وسیله‌ی گاز

..... است و گاز گرما .....

- (۱) منفی، دریافت کرده است.  
(۲) منفی، از دست داده است.  
(۳) مثبت، دریافت کرده است.  
(۴) مثبت، از دست داده است.



۲۷. روی یک کپسول، شیر اطمینان متصل شده است. در دمای  $7^\circ\text{C}$  تعداد  $10$  مول گاز کامل تحت فشاری هم‌اندازه با فشار شیر اطمینان وجود دارد.

اگر دمای کپسول را به  $127^\circ\text{C}$  برسانیم، چند مول گاز داخل ظرف باقی می‌ماند؟

- (۱) ۳ (۲) ۷ (۳) ۴ (۴) ۱۰

## پاسخ تست‌های جلسه اول

۱ ۲ ۳ ۴

$$\left. \begin{aligned} P_B = P_A \\ V_B > V_A \end{aligned} \right\} \Rightarrow P_B V_B > P_A V_A$$

$$\left. \begin{aligned} V_C = V_B \\ P_C > P_B \end{aligned} \right\} \Rightarrow P_C V_C > P_B V_B$$

$$\xrightarrow{T \propto PV} T_C > T_B > T_A$$

۱ ۲ ۳ ۴

با توجه به این که ۵/۶ لیتر، برابر ۱/۴ مقدار ۲۲/۴ لیتر است، از مقایسه‌ی شرایط گاز با شرایط متعارفی استفاده کنید:

$$\frac{P_0 V_0}{n_0 T_0} = \frac{PV}{nT} \Rightarrow \frac{1 \times 22/4}{1 \times 273} = \frac{2 \times 5/6}{n \times (273 + 91)}$$

$$\Rightarrow \frac{4}{3 \times 91} = \frac{2}{n \times 4 \times 91} \Rightarrow n = \frac{6}{16} \text{ mol}$$

$$m = n \times M = \frac{6}{16} \times 32 = 12 \text{ g}$$

۱ ۲ ۳ ۴

اگر ۲۵ درصد گاز خارج شود یعنی تعداد مول باقی‌مانده ۳/۴ مقدار اولیه است:

$$\frac{n_2}{n_1} = \frac{3}{4}$$

حجم گاز همان حجم ظرف است، بنابراین ثابت مانده است:

$$\frac{P_2 V_2}{n_2 T_2} = \frac{P_1 V_1}{n_1 T_1} \Rightarrow \frac{P_2}{P_1} = \frac{V_1}{V_2} \times \frac{T_2}{T_1} \times \frac{n_2}{n_1}$$

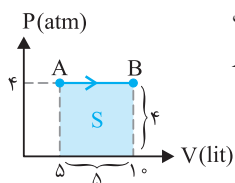
$$= 1 \times \frac{(273 + 27)}{(273 + 327)} \times \frac{3}{4} = \frac{300}{600} \times \frac{3}{4} = \frac{3}{8}$$

۱ ۲ ۳ ۴

در فرایند (۱) حجم تغییر نکرده است، بنابراین کار انجام نمی‌گیرد. فرایند (۲) انبساطی است، بنابراین علامت کار منفی است. فرایند (۳) تراکمی است، بنابراین علامت کار مثبت است.

۱ ۲ ۳ ۴

کار انجام شده توسط گاز در انبساط مثبت است و مقدار کار برابر است با مساحت زیر نمودار (P-V):

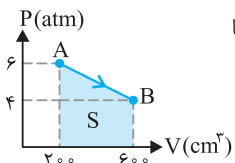


$$\Rightarrow W = -S \Rightarrow W = -S_{\text{مستطیل}} = -4 \times 10^5 \times 5 \times 10^{-3} = -2000 \text{ J}$$

$$W' = -W \Rightarrow W' = +2000 \text{ J}$$

۱ ۲ ۳ ۴

کار انجام شده در هر فرایند برابر است با مساحت زیر نمودار P-V، بنابراین:



$$|W_{AB}| = S_{\text{مجموع دو قاعده}} = \frac{\text{ارتفاع}}{2} \times \text{دورنجه}$$

$$= \left( \frac{6+4}{2} \right) \times 10^5 \times 400 \times 10^{-6} = 5 \times 10^5 \times 400 \times 10^{-6} = 200 \text{ J}$$

۱ ۲ ۳ ۴

$$n = \frac{PV}{RT} = \frac{6 \times 10^5 \times 8 / 3 \times 10^{-3}}{8 / 3 \times 300} = 2 \text{ mol}$$

$$m = nM = 2 \times 4 = 8 \text{ g}$$

۱ ۲ ۳ ۴

$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2} \Rightarrow \frac{P_1 \times 30}{300} = \frac{P_2 \times 20}{400} \Rightarrow \frac{P_1}{10} = \frac{P_2}{20} \Rightarrow \frac{P_2}{P_1} = 2$$

۱ ۲ ۳ ۴

$$\frac{P_A V_A}{T_A} = \frac{P_B V_B}{T_B} \Rightarrow \frac{P_A \times 0.1}{300} = \frac{P_B \times 0.2}{600}$$

$$\Rightarrow \frac{P_A \times 1}{3} = \frac{P_B \times 2}{6} \Rightarrow \frac{P_A}{P_B} = 1$$

۱ ۲ ۳ ۴

گاز (۱) هیدروژن و گاز (۲) اکسیژن است و به جای n رابطه‌ی  $\frac{m}{M}$  را جاگذاری می‌کنیم:

$$\frac{P_1 V_1}{n_1 T_1} = \frac{P_2 V_2}{n_2 T_2} \Rightarrow \frac{V_1}{\frac{4}{3} \times (273 + 27)} = \frac{V_2}{\frac{8}{3} \times (273 + 47)}$$

$$\Rightarrow \frac{V_1}{2 \times 300} = \frac{V_2}{\frac{1}{4} \times 320} \Rightarrow \frac{V_1}{600} = \frac{V_2}{80}$$

$$\Rightarrow \frac{V_1}{V_2} = \frac{600}{80} = \frac{60}{8} = \frac{15}{2}$$

۱ ۲ ۳ ۴

$$\frac{P_2 V_2}{n_2 T_2} = \frac{P_1 V_1}{n_1 T_1} \xrightarrow{n_1 = n_2} \frac{P_2}{P_1} = \frac{V_1}{V_2} \times \frac{T_2}{T_1}$$

$$\Rightarrow \frac{P_2}{P_1} = \left( \frac{V_1}{T_1} \right) \times \left( \frac{T_2}{V_2} \right) = \frac{1}{2}$$

یعنی نسبت حجم به دمای مطلق نصف شده است.

۱ ۲ ۳ ۴

طبق رابطه‌ی  $n = \frac{m}{M}$ ، اگر جرم گاز (m) را نصف کنیم، تعداد مول‌ها

$$\frac{n_2}{n_1} = \frac{1}{2}$$

نیز نصف می‌شود:

$$\frac{P_1 V_1}{n_1 T_1} = \frac{P_2 V_2}{n_2 T_2} \Rightarrow \frac{P_1 \times V_1}{\frac{1}{2} n_1 \times \frac{1}{2} T_1} = \frac{P_2 \times 2 V_1}{\frac{1}{2} n_1 \times \frac{1}{2} T_1}$$

$$\Rightarrow P_1 = \frac{P_2 \times 2}{\frac{1}{4}} \Rightarrow P_1 = 8 P_2 \Rightarrow \frac{P_2}{P_1} = \frac{1}{8}$$

۱ ۲ ۳ ۴

دما با حاصل‌ضرب PV رابطه‌ی مستقیم دارد، در هنگام مقایسه لازم نیست واحدها را به SI تبدیل کنید:

$$\left. \begin{aligned} P_I V_I &= 3 \times 10^5 \times 3 = 9 \times 10^5 \\ P_M V_M &= 2 \times 10^5 \times 6 = 12 \times 10^5 \\ P_F V_F &= 10^5 \times 9 = 9 \times 10^5 \end{aligned} \right\}$$

$$\Rightarrow P_M V_M > P_I V_I = P_F V_F \xrightarrow{T \propto PV} T_M > T_I = T_F$$

$$\left\{ \begin{aligned} P_c &= \frac{P_a + P_b}{2} = \frac{4 \times 10^5 + 10^5}{2} = 2.5 \times 10^5 \text{ Pa} \\ V_c &= \frac{V_a + V_b}{2} = \frac{10 + 40}{2} = 25 \text{ lit} \end{aligned} \right.$$

تغییر انرژی درونی فقط به نقطه‌ی اول و آخر بستگی دارد، بنابراین تغییر انرژی درونی در هر سه مسیر یکسان است (گزینه‌ی ۱). با توجه به این که  $P_a V_a = P_c V_c$  است، بنابراین  $T_a = T_c$  است و انرژی درونی نقطه‌ی اول و آخر یکسان است و تغییر انرژی درونی صفر می‌شود (گزینه‌ی ۲).

مساحت زیر نمودار  $adc$  سه برابر مساحت زیر نمودار  $abc$  است، بنابراین کار نیز سه برابر است (گزینه‌ی ۴).

گزینه‌ی (۳): تغییر انرژی‌های درونی در هر سه مسیر یکسانند و هر چه کار بیش‌تر باشد، گرما نیز بیش‌تر است:

$$\left\{ \begin{aligned} |W_{adc}| > |W_{ac}| > |W_{abc}| \\ \Delta U_{adc} = \Delta U_{ac} = \Delta U_{abc} \end{aligned} \right\} \Rightarrow Q_{adc} > Q_{ac} > Q_{abc}$$

با مقایسه‌ی رابطه‌ی  $\Delta U = |Q| - |W|$  و قانون اول ترمودینامیک، می‌توان نتیجه گرفت:

$Q = |Q| \Rightarrow Q > 0$ . یعنی گاز گرما گرفته است.

یعنی دستگاه روی محیط کار انجام داده است.  $W = -|W| \Rightarrow W < 0$ .

دمای نقاط  $A$  و  $B$  با هم برابرند، زیرا:

$$\left. \begin{aligned} P_A V_A &= P_B V_B = 2 P_1 V_1 \\ T &= \frac{PV}{nR} \end{aligned} \right\} \Rightarrow T_A = T_B \Rightarrow \Delta T = 0$$

$$\xrightarrow{\Delta U \propto \Delta T} \Delta U = 0 \Rightarrow Q + W = 0$$

تغییر انرژی درونی هر دو مسیر یکسان است، زیرا انرژی درونی به مسیر وابسته نیست و فقط به نقطه‌ی اول و آخر بستگی دارد:

$$\Delta U_a = \Delta U_b$$

اندازه‌ی کار انجام شده در مسیر  $a$  بیش‌تر از مسیر  $b$  است، زیرا مساحت زیر نمودار نشان‌دهنده‌ی مقدار کار است و با توجه به انبساطی بودن فرایندها، کار منفی است:

$$\begin{aligned} \Delta U_a = \Delta U_b &\Rightarrow Q_a - |W_a| = Q_b - |W_b| \\ \Rightarrow Q_a - Q_b &= |W_a| - |W_b| \\ \xrightarrow{|W_a| > |W_b|} Q_a - Q_b &> 0 \Rightarrow Q_a > Q_b \end{aligned}$$

فرایند انبساطی است، بنابراین کار منفی است.

برای علامت گرما از قانون اول ترمودینامیک و انرژی درونی استفاده کنید:

$$\begin{aligned} P_A V_A &= P_B V_B \Rightarrow T_A = T_B \xrightarrow{U \propto T} U_A = U_B \Rightarrow \Delta U = 0 \\ \Delta U &= Q + W \xrightarrow{W < 0, \Delta U = 0} Q > 0 \Rightarrow \text{گاز گرما گرفته است.} \end{aligned}$$

حجم گاز همان حجم ظرف است، بنابراین حجم ثابت می‌ماند و با توجه به وجود شیر اطمینان، فشار گاز نیز ثابت می‌ماند، زیرا اگر فشار افزایش یابد، شیر باز می‌شود و آن‌قدر گاز خارج می‌شود تا فشار گاز ثابت بماند.

$$\begin{aligned} \frac{P_1 V_1}{n_1 T_1} &= \frac{P_2 V_2}{n_2 T_2} \xrightarrow{P_1 = P_2, V_1 = V_2} n_1 T_1 = n_2 T_2 \\ \Rightarrow 10(273 + 7) &= n_2 \times (273 + 127) \\ \Rightarrow 10 \times 280 &= n_2 \times 400 \Rightarrow n_2 = \frac{2800}{400} = 7 \text{ mol} \end{aligned}$$

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{nM}{nRT} = \frac{PM}{RT}$$

$$\rho = \frac{PM}{RT} = \frac{10^5 \times 32}{8 \times 300} = \frac{4}{3} \times 10^3 \frac{\text{g}}{\text{m}^3} = \frac{4}{3} \times 10^3 \frac{\text{g}}{10^3 \text{ lit}} = \frac{4}{3} \frac{\text{g}}{\text{lit}}$$

$$\rho = \frac{m}{V} \xrightarrow{m \text{ ثابت}} \frac{\rho_2}{\rho_1} = \frac{V_1}{V_2} = \frac{P_1}{nRT_2} = \frac{P_2}{P_1} \times \frac{T_1}{T_2} = \frac{2}{1} \times \frac{283}{293} < 2$$

می‌توانستیم از رابطه‌ی  $\rho = \frac{PM}{RT}$  نیز استفاده کنیم.

$$\begin{aligned} \rho &= \frac{PM}{RT} \Rightarrow \frac{\rho_2}{\rho_1} = \frac{P_2}{P_1} \times \frac{T_1}{T_2} = \frac{4}{1} \times \frac{273}{2 \times 273} = 2 \\ \Rightarrow \frac{\rho_2}{1/3} &= 2 \Rightarrow \rho_2 = 2/6 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \end{aligned}$$

$$\rho = \frac{PM}{RT} \Rightarrow \frac{\rho_2}{\rho_1} = \frac{P_2}{P_1} \times \frac{T_1}{T_2}$$

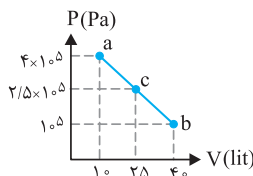
$$\begin{aligned} \text{گزینه‌ی (۱): } 2 \times \frac{1}{2} &= 1, \text{ گزینه‌ی (۲): } \frac{1}{2} \times \frac{1}{2} = \frac{1}{4} \\ \text{گزینه‌ی (۳): } 1 \times \frac{1}{2} &= \frac{1}{2}, \text{ گزینه‌ی (۴): } \frac{1}{2} \times 1 = \frac{1}{2} \end{aligned}$$

با توجه به این که انرژی درونی با دمای مطلق رابطه‌ی مستقیم دارد، بنابراین با افزایش انرژی درونی، دما و یا حاصل‌ضرب  $PV$  الزاماً افزایش می‌یابد.

دما با حاصل‌ضرب  $PV$  رابطه دارد ( $T = \frac{PV}{nR}$ ).

$$\begin{aligned} P_A V_A &= 8, P_C V_C = 9, P_B V_B = 8 \\ \Rightarrow P_C V_C > P_A V_A &= P_B V_B \xrightarrow{T \propto PV} T_C > T_B = T_A \\ \xrightarrow{U \propto T} U_C &> U_B = U_A \end{aligned}$$

دمای نقاط  $a$  و  $b$  با هم برابر می‌باشند زیرا:



$$P_a V_a = P_b V_b = 4 \times 10^5 \times 10 \times 10^{-3} = 4 \times 10^3 \text{ J}$$

$$T = \frac{PV}{nR} \Rightarrow T_a = T_b$$

$$P_c V_c = 2/5 \times 10^5 \times 25 \times 10^{-3} = 6/25 \times 10^3 \text{ J}$$

دمای نقطه‌ی  $c$  بیش‌تر از نقطه‌ی  $a$  است، زیرا  $P_c V_c > P_a V_a$ . بنابراین دما و انرژی درونی نقطه‌ی  $c$  بیش‌تر از نقاط  $a$  و  $b$  است، یعنی از  $a$  تا  $c$  انرژی درونی افزایش یافته و سپس از  $c$  تا  $b$  کاهش می‌یابد.

نقطه‌ی  $c$  وسط نقاط  $a$  و  $b$  می‌باشد و برای به‌دست آوردن مختصات این نقطه از رابطه‌ی داده شده استفاده می‌کنیم: