فصل پنجم (قسمت اول)

بخش اول: مفهوم فرایندهای ترمودینامیکی و مبادلهٔ کار و گرما در ترمودینامیک

زیرشاخه‌های بخش اول A

۱- شناخت برخی از مفاهیم در علم ترمودینامیک
۲- تبادل انرژی بین دستگاه و محیط
۳- انرژی درونی یک گاز کامل
۴- قانون اول ترمودینامیک

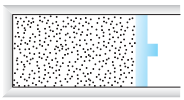
1-A شناخت برخی از مفاهیم در علم ترمودینامیک

ابتدا در این قسمت می‌خواهیم به توضیح مواردی بپردازیم که برای درک مفاهیم این فصل به آن‌ها نیاز دارید:

۱ **علم ترمودینامیک:** در علم ترمودینامیک به مطالعهٔ رابطهٔ بین گرما و کار و تبدیل گرما به کار مکانیکی پرداخته می‌شود. در این علم، فرایندهای فیزیکی به وسیلهٔ گروهی از کمیت‌های مشاهده‌پذیر یا ماکروسکوپی که حتماً شامل دماست، توصیف می‌شود.

۲ **کمیت‌های ماکروسکوپیک:** کمیت‌هایی هستند که وضعیت ماده را در مقیاس بزرگ توصیف می‌کنند بدون آن‌که درگیر جزئیات رفتار تک‌تک مولکول‌های ماده شوند. به‌طور مثال کمیت‌های فشار، حجم، دما و گرمای ویژه از کمیت‌های ماکروسکوپیک به‌حساب می‌آیند.

۳ **دستگاه:** مادهٔ مشخصی (معمولاً گاز یا مایع) که تحولات آن را در نظر گرفته و به بررسی متغیرهای ترمودینامیکی در آن می‌پردازیم.



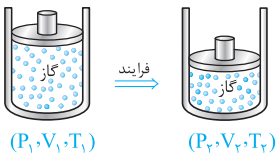
۴ **محیط:** هر آنچه پیرامون دستگاه موردنظر قرار گرفته و می‌تواند به تبادل انرژی با آن بپردازد را به‌عنوان محیط در نظر می‌گیریم.
به‌طور مثال در شکل مقابل گاز داخل محفظه را به عنوان دستگاه و هوای اطراف محفظه به‌عنوان محیط در نظر گرفته می‌شود.

۵ **تعادل ترمودینامیکی:** اگر در یک گاز کامل کمیت‌های P، V و T در تمام نقاط گاز یکسان باشد، گوییم گاز در تعادل ترمودینامیکی قرار دارد.

۶ **متغیرهای ترمودینامیکی:** برای توصیف حالت تعادل ترمودینامیکی یک دستگاه از کمیت‌های P، V و T استفاده می‌شود. این کمیت‌های ماکروسکوپی که حالت تعادل دستگاه را توصیف می‌کند، متغیرهای ترمودینامیکی نامیده می‌شوند.

۷ **معادلهٔ حالت:** متغیرهای ترمودینامیکی مستقل از یک‌دیگر نیستند و با هم رابطه دارند. رابطهٔ بین متغیرهای ترمودینامیکی را معادلهٔ حالت گویند. همان‌طور که در فصل (۴) ملاحظه کردید، اگر گاز آرمانی (کامل) باشد، معادلهٔ حالت آن ساده و مستقل از نوع گاز بوده و با رابطهٔ $PV = nRT$ توصیف می‌شود.

۸ **فرایند ترمودینامیکی:** هنگامی‌که دستگاه از یک حالت (T_1, V_1, P_1) به حالت دیگر (T_2, V_2, P_2) برود، گوییم دستگاه یک فرایند ترمودینامیکی را طی کرده است. به‌طور مثال با پایین آوردن پیستون در مخزن مقابل، یک فرایند ترمودینامیکی انجام شده است و گاز درون مخزن از یک حالت به حالت دیگر رفته است.



۹ **فرایند ایستاوار:** اگر در طی انجام یک فرایند، دستگاه همواره نزدیک به حالت تعادل بوده و سریع به حالت تعادل برسد، گوییم فرایند ایستاوار می‌باشد. به‌طور مثال در شکل فوق، اگر پیستون را به آرامی پایین بیاوریم، در هر لحظه کمیت‌های P، V و T در تمام نقاط گاز مقادیر یکسانی را داشته و دستگاه همواره بسیار نزدیک به حالت تعادل باقی می‌ماند، در نتیجه می‌توان فرایند را ایستاوار درنظر گرفت. در این فصل فرایندهای انجام‌شده را عمدتاً ایستاوار درنظر می‌گیریم.

۱۰ **فرایند آرمانی:** اگر در طی یک فرایند ترمودینامیکی هیچ اتلاف انرژی وجود نداشته باشد و فرایندها به‌طور ایستاوار انجام شود، فرایند به‌صورت آرمانی درنظر گرفته می‌شود.

۱۱ **منبع گرما:** منبع گرما جسمی است که جرم آن در مقابل جرم دستگاهی که با آن تبادل گرما دارد، چنان بزرگ است که می‌تواند مقدار زیادی گرما بگیرد و یا از دست بدهد، بدون آن‌که تغییر دمای محسوسی در آن اتفاق بیفتد.

2-A تبادل انرژی بین دستگاه و محیط

تبادل انرژی بین دستگاه و محیط از دو طریق گرما و کار انجام می‌شود که در ادامه به توضیح هر کدام می‌پردازیم:

گرما

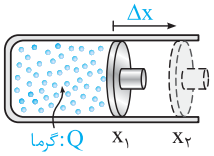
گرما انرژی‌ای است که به علت اختلاف دما بین دو جسم مبادله می‌شود. به‌عبارت دیگر، گرما هنگامی بین محیط و دستگاه مبادله می‌شود که این دو با هم اختلاف دما داشته باشند.

* با توجه به قرارداد موردنظر در این فصل، گرمایی که دستگاه می‌گیرد با علامت مثبت و گرمایی که دستگاه از دست می‌دهد، با علامت منفی درنظر می‌گیریم.

$$\begin{cases} Q > 0 \Rightarrow \text{دستگاه گرما می‌گیرد} \\ Q < 0 \Rightarrow \text{دستگاه گرما از دست می‌دهد} \end{cases}$$

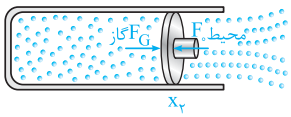
بررسی مفهوم کار در ترمودینامیک

در شکل مقابل، پیستون بدون اصطکاک ابتدا در موقعیت x_1 قرار دارد و برایند نیروهای وارد بر آن صفر است. اگر گرمای Q به گاز درون استوانه داده شود و پیستون بدون تغییر فشار گاز درون محفظه، از موقعیت x_1 به موقعیت جدید x_2 منتقل شود، برای محاسبهٔ مقدار کار انجام‌شده در این فرایند هم‌فشار داریم:



۱) پیستون در موقعیت x_2، مجدداً به تعادل رسیده است:

$$\sum F_x = 0 \Rightarrow F_{\text{گاز}} = F_{\text{محیط}} \Rightarrow F_G = F_0$$



F_G: نیرویی که مولکول‌های گاز به پیستون اعمال می‌کنند.
F_0: نیرویی که مولکول‌های محیط به پیستون اعمال می‌کنند.

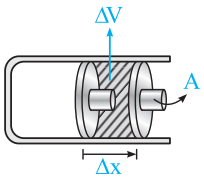
$$P_G = \frac{F_G}{A} \Rightarrow \boxed{F_G = F_0 = P_G.A}$$

۲) برای محاسبهٔ کار نیروی خارجی (کار محیط روی گاز) خواهیم داشت:

$$W_{F_0} = W = \text{نیرو} \times \text{جابه‌جایی} \times \cos\alpha = (P.A)\Delta x \cos 180^\circ = -P(A\Delta x)$$: کار محیط روی گاز

توجه شود در این فرایند جابه‌جایی پیستون به سمت راست و نیروی اعمال شده از طرف محیط بر پیستون به سمت چپ است، بنابراین زاویهٔ بین نیرو و جابه‌جایی (α) برابر ۱۸۰ درجه می‌باشد.

۳) میزان افزایش حجم گاز با توجه به شکل مقابل برابر $A.\Delta x$ می‌باشد.



$$\text{تغییر حجم استوانه} = \text{مساحت قاعده} \times \text{تغییر ارتفاع} \Rightarrow \Delta V = A.\Delta x$$

۴) در نهایت برای محاسبهٔ کار محیط داریم:

$$W = -P\underbrace{(A\Delta x)}_{\Delta V} = -P\Delta V \Rightarrow \boxed{W = -P\Delta V}$$

W : مقدار کار انجام‌شده توسط محیط روی گاز

* در کتاب درسی منظور از کار، کار انجام‌شده توسط محیط بر روی دستگاه است.

نکات مهم:

۱) کار انجام‌شده توسط گاز بر روی محیط (W') که گاهی از اوقات در سؤال‌ها پرسیده می‌شود، برابر است با:

$$W' = -W = +P\Delta V$$

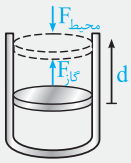
۲) همان‌طور که مشاهده می‌شود، اندازهٔ (قدرمطلق) کار محیط بر روی گاز و کار گاز بر روی محیط با یکدیگر برابر است:

$$|W| = |W'| = |P\Delta V|$$

در ادامه با دو تمرین زیر، به بررسی دو مفهوم بسیار مهم در این فصل می‌پردازیم:

تمرین ۱: در یک فرایند انبساطی، علامت کار محیط بر روی دستگاه و کار دستگاه بر روی محیط را به‌دست آورید.

پاسخ: در انبساط یک گاز ($\Delta V > 0$)، کار محیط بر روی دستگاه منفی و کار دستگاه (گاز) بر روی محیط مثبت است:



تحلیل ۱:

$$W = Fd\cos\alpha$$

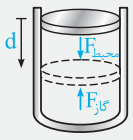
$$\begin{cases} \text{محیط}: W = F_{\text{محیط}}\, d\cos 180^\circ < 0 \\ \text{گاز}: W' = F_{\text{گاز}}\, d\cos 0 > 0 \end{cases}$$

تحلیل ۲:

$$\text{انبساط} \Rightarrow \Delta V > 0 \Rightarrow \begin{cases} \text{محیط}: W = -\overset{\oplus}{P}\,\overset{\oplus}{\Delta V} < 0 \\ \text{گاز}: W' = \overset{\oplus}{P}\,\overset{\oplus}{\Delta V} > 0 \end{cases}$$

تمرین ۲: در یک فرایند تراکمی، علامت کار محیط بر روی دستگاه و کار دستگاه بر روی محیط را به‌دست آورید.

پاسخ: در تراکم یک گاز ($\Delta V < 0$)، کار محیط بر روی دستگاه مثبت و کار دستگاه بر روی محیط منفی است:



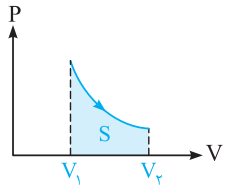
تحلیل ۱:

$$\begin{cases} \text{محیط}: W = F_{\text{محیط}}\, d\cos 0 > 0 \\ \text{گاز}: W' = F_{\text{گاز}}\, d\cos 180^\circ < 0 \end{cases}$$

تحلیل ۲:

$$\text{تراکم} \Rightarrow \Delta V < 0 \Rightarrow \begin{cases} \text{محیط}: W = -\overset{\oplus}{P}\,\overset{\ominus}{\Delta V} > 0 \\ \text{گاز}: W' = \overset{\oplus}{P}\,\overset{\ominus}{\Delta V} < 0 \end{cases}$$

بررسی یک موضوع مهم



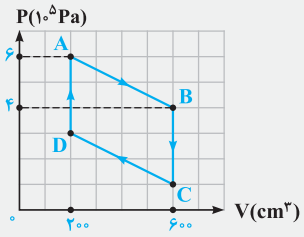
اگر در طی یک فرایند ترمودینامیکی فشار تغییر کند، دیگر نمی‌توان از رابطهٔ $W=-P\Delta V$ برای محاسبهٔ کار استفاده کرد. در این موارد اگر نمودار فشار برحسب حجم را داشته باشیم، مساحت زیر این نمودار برابر اندازهٔ کار انجام‌شده بر روی گاز می‌باشد.

$$|W|=S$$

دقت شود که علامت کار را با توجه به نحوهٔ تغییر حجم گاز در طی فرایند مشخص می‌کنیم. به‌طور مثال در نمودار مقابل، حجم گاز از V_1 به V_2 رسیده و در حال افزایش است (انبساط)، بنابراین کار محیط روی گاز منفی و کار گاز روی محیط مثبت است.

برای درک بهتر مفاهیم ارائه شده، به تمرین زیر توجه کنید:

تمرین ۳: در شکل روبه‌رو، اندازهٔ کاری که گاز در مسیر AB انجام می‌دهد، چند ژول است؟ (سؤالات امتحانی)



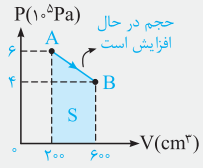
۱) ۲۵۰

۲) ۲۰۰

۳) ۱۷۰

۴) ۱۲۰

پاسخ: با توجه به این‌که نمودار فشار برحسب حجم داده شده است، مساحت محصور بین AB و محور افقی، مقدار کار گاز یا محیط را نشان می‌دهد. از طرفی در فرایند AB حجم گاز در حال افزایش است. این موضوع یعنی فرایند AB از نوع انبساط بوده و کار گاز که در صورت سؤال مورد پرسش قرار گرفته، در آن مثبت است.



$$S=|W'|=\frac{۶+۴}{۲}\times۱۰^{۵}\times(۶۰۰-۲۰۰)\times۱۰^{-۶}\Rightarrow S=۲۰۰\,J\Rightarrow W'=+۲۰۰\,J$$

(گزینهٔ ۲)

تبدیل سانتی‌متر مکعب به مترمکعب

3-A انرژی درونی یک گاز کامل

در این قسمت می‌خواهیم شما را با مفهوم انرژی درونی در گازهای کامل و تغییرات آن آشنا کنیم. به همین منظور ابتدا به یادآوری مفهوم انرژی درونی یک ماده در حالت کلی (و نه فقط در گازهای کامل) می‌پردازیم:

انرژی درونی یک ماده: انرژی درونی یک ماده با مجموع انرژی‌های اجزای تشکیل‌دهندهٔ آن ماده برابر است. به‌طور دقیق‌تر، به مجموع انرژی‌های پتانسیل و جنبشی ذره‌های سازندهٔ یک ماده، انرژی درونی آن ماده اطلاق می‌شود [برای توضیح هر کدام از انرژی‌های پتانسیل و جنبشی باید گفت که هر گازی از تعداد زیادی ذرات تشکیل شده است، که این ذرات به علت نیروهای چسبندگی بین آن‌ها، دارای انرژی پتانسیل‌اند و از طرفی چون این ذرات ساکن نبوده و در حال حرکت هستند، دارای انرژی جنبشی نیز می‌باشند].

انرژی درونی گاز کامل: در گازهای کامل، از نیروی چسبندگی بین ذرات و بر هم کنش این مولکول‌ها بر یک‌دیگر، صرف‌نظر شده است، یعنی گاز کامل انرژی پتانسیل ندارد و در نتیجه انرژی درونی یک گاز کامل فقط به انرژی جنبشی ذرات آن وابسته است.

$$\text{انرژی درونی} = \text{انرژی جنبشی} + \underbrace{\text{انرژی پتانسیل}}_{\text{در گازهای کامل صفر است.}}$$

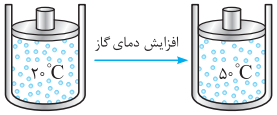
پارامترهای مؤثر بر انرژی درونی یک گاز کامل

در گازهای کامل، انرژی درونی به دو مورد زیر بستگی دارد:

۱) مقدار گاز (تعداد مول گاز) n

۲) دمای مطلق گاز T

$$U\propto nT$$



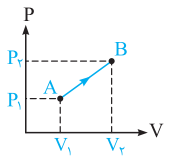
به‌طور مثال در شکل مقابل که دمای مقدار معینی گاز (مقدار معینی گاز، یعنی تعداد مول گاز ثابت است) موجود در مخزن افزایش‌یافته است، الزاماً انرژی درونی آن نیز افزایش خواهد یافت.

با افزایش دمای گاز، انرژی درونی آن افزایش می‌یابد. $\Rightarrow U\propto T \xleftarrow{n\text{ ثابت است.}} U\propto nT$

تغییر دیدگاهی بسیار مهم

با توجه به معادلهٔ حالت گاز کامل $PV = nRT$، مشخص است که $PV \propto nT$ می‌باشد. به‌عبارت دیگر می‌توان گفت که انرژی درونی یک گاز کامل با حاصل‌ضرب فشار در حجم گاز متناسب است.

$$U \propto PV$$



این نکتهٔ بسیار مهمی است که در حل سؤالات این فصل، اهمیت بسیاری دارد. به‌طور مثال در نمودار مقابل که گاز کامل از حالت A به حالت B می‌رود، در طی مسیر، با افزایش حجم و افزایش فشار گاز، حاصل‌ضرب آن‌ها نیز بیشتر شده و انرژی درونی گاز افزایش می‌یابد.

$$\uparrow U \propto (\uparrow P)(\uparrow V)$$

تمرین ۴: اگر انرژی درونی مقدار معینی گاز کامل افزایش یابد، کدام کمیت وابسته به آن گاز الزاماً افزایش می‌یابد؟ (سؤالات امتحانی)

۱) حجم ۲) فشار

۳) دما ۴) چگالی

پاسخ: اگر انرژی درونی مقدار معینی گاز کامل (یعنی تعداد مول ثابت است) افزایش یابد، تنها پارامتری که لزوماً افزایش می‌یابد، دمای گاز است و در مورد سایر کمیت‌ها نمی‌توان با قطعیت اظهارنظر کرد. بنابراین گزینهٔ (۳) صحیح است.

$$U \propto (\overset{\text{ثابت}}{n})\, T \xrightarrow{U\uparrow} T\uparrow$$

به‌طور مثال تغییر حجم لزوماً باعث تغییر انرژی درونی گاز کامل نمی‌شود. ممکن است در یک فرایند، حجم ۲ برابر و فشار گاز نصف شده باشد، یعنی هم حجم تغییر کرده و هم فشار، ولی در این حالت انرژی درونی گاز ثابت می‌ماند.

$$\overset{\text{ثابت}}{U} \propto \downarrow \overset{\frac{۱}{۲}\text{ برابر}}{P}\ \overset{\text{۲ برابر}}{V}\uparrow$$

به‌عبارت بهتر برای تغییر انرژی درونی یک گاز کامل، حاصل‌ضرب PV باید تغییر کند.

نتیجهٔ مهم: برای بررسی تغییر انرژی درونی یک گاز کامل، کافیست حاصل‌ضرب $P.V$ را بررسی کنیم. افزایش مقدار این حاصل‌ضرب، تضمین‌کنندهٔ افزایش انرژی درونی گاز کامل است و بالعکس.

نحوهٔ محاسبهٔ انرژی درونی و تغییرات آن در گازهای کامل

در ترمودینامیک، انرژی درونی یک گاز کامل و تک‌اتمی (مانند He، Ne و ...) از رابطهٔ مقابل محاسبه می‌شود:

$$U = \frac{۳}{۲}nRT$$

با استفاده از معادلهٔ حالت گاز کامل، در رابطهٔ فوق خواهیم داشت:

$$\begin{cases} U = \frac{۳}{۲}nRT & (۱) \\ PV = nRT & (۲) \end{cases} \Rightarrow \boxed{U = \frac{۳}{۲}PV}$$

برای محاسبهٔ تغییرات انرژی درونی یک گاز کامل و تک‌اتمی از روابط زیر استفاده می‌شود:

$$\begin{cases} \Delta U = U_۲ - U_۱ = \frac{۳}{۲}nRT_۲ - \frac{۳}{۲}nRT_۱ = \frac{۳}{۲}nR\Delta T \\ \text{یا} \\ \Delta U = \frac{۳}{۲}P_۲V_۲ - \frac{۳}{۲}P_۱V_۱ = \frac{۳}{۲}(P_۲V_۲ - P_۱V_۱) \end{cases}$$

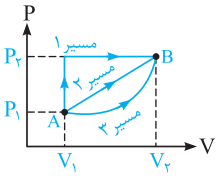
برای محاسبهٔ تغییرات انرژی درونی یک گاز کامل و دواتمی (مانند $H_۲$، $O_۲$، $N_۲$ و ...) و سه‌اتمی (مانند $CO_۲$، $O_۳$ و ...) در روابط فوق، به جای ضریب $\frac{۳}{۲}$ به‌ترتیب از ضرایب $\frac{۵}{۲}$ و $\frac{۷}{۲}$ استفاده می‌شود:

برای گاز کامل دواتمی: $U = \frac{۵}{۲}nRT \Rightarrow \Delta U = \frac{۵}{۲}nR\Delta T = \frac{۵}{۲}(P_۲V_۲ - P_۱V_۱)$

برای گاز کامل سه‌اتمی: $U = \frac{۷}{۲}nRT \Rightarrow \Delta U = \frac{۷}{۲}nR\Delta T = \frac{۷}{۲}(P_۲V_۲ - P_۱V_۱)$

تذکر: برای بررسی تغییرات انرژی درونی یک گاز کامل تک‌اتمی، اگر اطلاعاتی در مورد تغییرات دما و مقدار ماده داشته باشیم، بهتر است از رابطهٔ $\Delta U = \frac{۳}{۲}nR\Delta T$ و اگر اطلاعاتی در مورد تغییرات حجم و فشار گاز داشته باشیم، بهتر است از رابطهٔ $\Delta U = \frac{۳}{۲}(P_۲V_۲ - P_۱V_۱)$ استفاده کنیم.

بررسی یک نکتهٔ مهم



تغییرات انرژی درونی یک گاز کامل در یک فرایند، تابع مسیر نمی‌باشد و تابع حالت ابتدایی و نهایی گاز است. مثلاً در شکل مقابل در هر سه مسیر نشان داده شده، تغییرات انرژی درونی مقدار مشخصی از یک گاز کامل تک‌اتمی برابر است، زیرا در هر سه مسیر گاز از شرایط $V_۱$ و $P_۱$ به شرایط جدید $V_۲$ و $P_۲$ رسیده است، یعنی مختصات ابتدا و انتهای تمام مسیرها یکسان است.

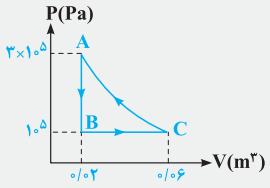
$$\Delta U_۱ = \Delta U_۲ = \Delta U_۳ = \frac{۳}{۲}(P_۲V_۲ - P_۱V_۱)$$

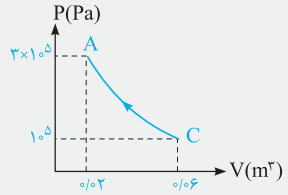
این موضوع در سال‌های اخیر، شدیداً مورد علاقهٔ طراحان سؤال قرار گرفته است.

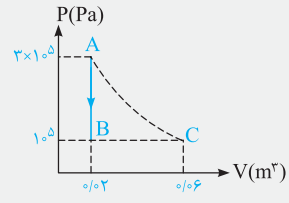
برای درک بهتر مفاهیم ارائه شده، به تمرین‌های زیر توجه کنید:

تمرین ۵: هرگاه یک گاز کامل تک‌اتمی فرایندهایی را مطابق شکل مقابل بپیماید، تغییر انرژی درونی آن در مسیرهای $A \to C$ و $A \to B$ به‌ترتیب چند ژول است؟ (سراسری (ریاضی ۸۷ و ۷۹)

۱) صفر ، ۱۲۰۰۰-
۲) صفر ، ۶۰۰۰-
۳) ۴۰۰۰ ، ۶۰۰۰-
۴) ۶۰۰۰ ، ۶۰۰۰







پاسخ: با توجه به این‌که نمودار $P - V$ داده شده است، برای محاسبهٔ تغییر انرژی درونی گاز کامل و تک‌اتمی از رابطهٔ $\Delta U = \frac{۳}{۲}(P_۲V_۲ - P_۱V_۱)$ استفاده می‌کنیم. این سؤال را در دو مرحله بررسی می‌کنیم:

مسیر $C \to A$: با توجه به داشتن فشار و حجم گاز کامل در ابتدا و انتهای فرایند CA و تک‌اتمی بودن گاز، تغییر انرژی درونی در طی این فرایند عبارت است از:

$$P_A = ۳\times۱۰^۵\,Pa \;,\; V_A = ۰/۰۲\,m^۳ \;,\; P_C = ۱۰^۵\,Pa \;,\; V_C = ۰/۰۶\,m^۳$$

$$\Delta U_{CA} = \frac{۳}{۲}(P_AV_A - P_CV_C) \Rightarrow \Delta U_{CA} = \frac{۳}{۲}(۳\times۱۰^۵\times۰/۰۲ - ۱۰^۵\times۰/۰۶) = ۰$$

محاسبهٔ فوق یعنی انرژی درونی در نقاط A و C با یک‌دیگر یکسان است و ΔU_{CA} صفر است.

مسیر $A \to B$: مشابه با روند قسمت قبل، داریم:

$$P_A = ۳\times۱۰^۵\,Pa \;,\; V_A = ۰/۰۲\,m^۳ \;,\; P_B = ۱۰^۵\,Pa \;,\; V_B = ۰/۰۲\,m^۳$$

$$\Delta U_{AB} = \frac{۳}{۲}(P_BV_B - P_AV_A) \Rightarrow \Delta U_{AB} = \frac{۳}{۲}(۱۰^۵\times۰/۰۲ - ۳\times۱۰^۵\times۰/۰۲) = -۶۰۰۰\,J$$

بنابراین گزینهٔ (۲) صحیح است.

تمرین ۶: در دمای ثابت، حجم گاز کامل موجود در یک مخزن را ۲ برابر کرده و نیمی از گاز موجود در مخزن از آن خارج می‌شود. در این عمل انرژی درونی گاز درون مخزن چند برابر می‌شود؟ (آزمون‌های سراسری گاج)

۱) $\frac{۱}{۴}$
۲) $\frac{۱}{۲}$
۳) ۱
۴) ۲

پاسخ: از آن‌جایی که در این تمرین، اطلاعاتی در مورد تغییرات دما و تغییرات مقدار گاز (تعداد مول گاز) داریم، بهتر است از تناسب $U \propto nT$ تغییرات انرژی درونی را بررسی کنیم. انرژی درونی گاز کامل، متناسب با حاصل‌ضرب nT بوده و با توجه به ثابت بودن دما و خارج شدن نیمی از گاز درون مخزن، انرژی درونی آن کاهش می‌یابد.

$U \propto n \underbrace{T}_{\text{ثابت}} \Rightarrow$ انرژی درونی گاز کاهش می‌یابد.

$$\Rightarrow \frac{U_۲}{U_۱} = \frac{n_۲}{n_۱} \times \frac{T_۲}{T_۱} = \frac{\frac{۱}{۲}n_۱}{n_۱} = \frac{۱}{۲} \quad \text{(گزینهٔ ۲)}$$

نگاه دیگر: اگر بخواهیم از تناسب $U \propto PV$ استفاده کنیم، ابتدا باید نحوهٔ تغییرات فشار را به‌دست آوریم. با توجه به اطلاعات داده شده، برای مقایسهٔ فشار گاز در دو حالت می‌توان نوشت:

$$PV = nRT \Rightarrow \frac{P_۲}{P_۱}\times\frac{V_۲}{V_۱} = \frac{n_۲}{n_۱}\times\frac{T_۲}{T_۱} \Rightarrow \frac{P_۲}{P_۱}\times\frac{۲V_۱}{V_۱} = \frac{\frac{۱}{۲}n_۱}{n_۱}\times\frac{T_۱}{T_۱} \Rightarrow \frac{P_۲}{P_۱} = \frac{۱}{۴}$$

$$\Rightarrow \frac{U_۲}{U_۱} = \frac{P_۲}{P_۱}\times\frac{V_۲}{V_۱} = \frac{۱}{۴}\times۲ = \frac{۱}{۲}$$

بررسی نحوهٔ تغییرات دمای مقدار معینی از یک گاز کامل

به منظور بررسی چگونگی تغییرات دمای مقدار معینی از یک گاز کامل، به کمک معادلهٔ حالت می‌توان از تحلیل پارامترهای P و V استفاده کرد.

$$PV = \overset{\text{ثابت}}{nR}T \Rightarrow PV \propto T$$

بنابراین دمای مطلق مقدار معینی از یک گاز کامل، متناسب است با حاصل‌ضرب کمیت‌های فشار و حجم. یعنی در فرایندهای ترمودینامیکی، با افزایش حاصل‌ضرب PV برای مقدار معینی گاز کامل، دمای مطلق گاز نیز افزایش می‌یابد و بالعکس.

حال برای فهم بهتر به دو مثال زیر توجه کنید:

مثال ۱: اگر فشار و حجم مقدار معینی از یک گاز کامل (تعداد مول ثابت) هر دو افزایش یابد، دمای مطلق گاز نیز الزاماً افزایش می‌یابد، زیرا:

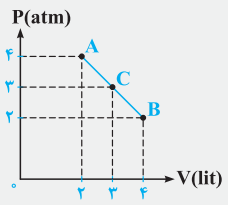
$$\underset{\text{زیاد}}{P} \quad \underset{\text{زیاد}}{V} = \underset{\text{ثابت}}{nR} \quad \underset{\text{زیاد}}{T}$$

مثال ۲: تغییرات فشار و حجم گاز، لزوماً نمی‌تواند باعث تغییر دمای گاز شود، به‌طور مثال اگر فشار گاز کاملی را ۲ برابر و حجم آن را نصف کنیم، حاصل‌ضرب PV ثابت مانده و در نتیجه دمای گاز نیز ثابت می‌ماند.

نتیجه: برای مقدار معینی از یک گاز کامل، نحوهٔ تغییرات دمای مطلق گاز و انرژی درونی آن یکسان است، یعنی با افزایش دمای مقدار معینی از یک گاز کامل انرژی درونی آن افزایش می‌یابد و بالعکس.

حال برای یادگیری بهتر این مطلب، به تمرین زیر توجه کنید:

تمرین ۷: **فرایند آرمانی بر روی مقدار معینی از یک گاز کامل از A تا B به شکل روبه‌رو است. اگر انرژی درونی گاز را در نقاط A، B و C به‌ترتیب با U_A، U_B و U_C و دمای گاز در این نقاط را به‌ترتیب با T_A، T_B و T_C نشان دهیم، کدام رابطه صحیح است؟** (سراسری ریاضی ۷۹، با تغییر)



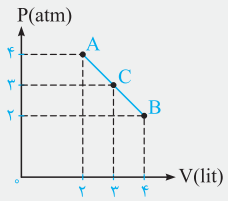
۱) $T_A = T_B < T_C$

۲) $T_A > T_C > T_B$

۳) $U_A < U_C < U_B$

۴) $U_A = U_B > U_C$

پاسخ: با توجه به مفاهیم مطرح‌شده در این درسنامه، برای مقایسهٔ دمای گاز کامل در نقاط A، B و C، کافیست حاصل‌ضرب PV را در این نقاط مقایسه کنیم:



$$\begin{cases} P_A V_A = ۴ \times ۲ = ۸ \\ P_B V_B = ۲ \times ۴ = ۸ \\ P_C V_C = ۳ \times ۳ = ۹ \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} P_A V_A = P_B V_B \Rightarrow T_A = T_B \\ P_C V_C > P_A V_A \Rightarrow T_C > T_A \end{cases} \Rightarrow T_A = T_B < T_C$$

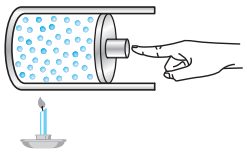
برای مقدار معینی گاز کامل $U \propto T$ بوده و در نتیجه $U_A = U_B < U_C$ می‌باشد، بنابراین گزینهٔ (۱) صحیح است.

تذکر ۱: با توجه به یکسان بودن حاصل‌ضرب PV در نقاط A و B، انرژی درونی و دمای گاز در این نقاط یکسان است.

تذکر ۲: در این نمودار خاص که از نمودارهای معروف در کنکور محسوب می‌شود، حداکثر دما در وسط پاره‌خط رخ می‌دهد (دقت شود که $P_A V_A$ باید با $P_B V_B$ برابر باشد).

تذکر ۳: همان‌طور که مشاهده می‌کنید، برای مقدار معینی از یک گاز کامل، مقایسهٔ انرژی درونی مشابه با مقایسهٔ دما می‌باشد.

4-A قانون اول ترمودینامیک



همان‌طور که در قسمت (2-A) بیان شد، تبادل انرژی بین محیط و دستگاه از دو طریق گرما و کار صورت می‌گیرد.

به‌طور مثال در مخزن مقابل با تغییر پیستون، بر روی گاز درون مخزن کار انجام شده و به وسیلهٔ شعله، به گاز گرما داده‌ایم، از این‌رو انرژی درونی گاز داخل مخزن می‌تواند تغییر کند.

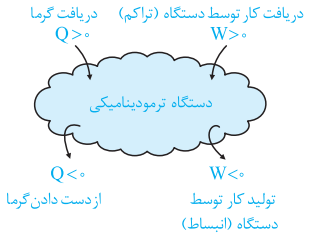
این ارتباط، موضوع **قانون اول ترمودینامیک** است. مطابق این قانون، داریم:

تغییرات انرژی درونی یک دستگاه، برابر جمع جبری کار انجام شده روی دستگاه و گرمای دریافت شده توسط آن است.

$$\Delta U = W + Q$$

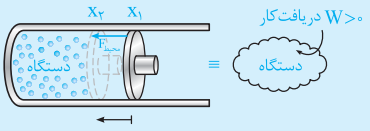
* قانون اول ترمودینامیک، همان قانون پایستگی انرژی است که در مورد فرایندهای ترمودینامیکی به‌کار می‌رود.

نکته: موضوع بسیار مهمی که باید به آن توجه داشت، علامت‌های Q، W و ΔU می‌باشد که در ادامه به توضیح آن‌ها می‌پردازیم:



- Q
  - اگر دستگاه گرما دریافت کند: $Q>0$
  - اگر دستگاه گرما از دست دهد: $Q<0$
- W
  - اگر دستگاه متراکم شود (محیط بر روی دستگاه کار انجام می‌دهد): $W>0$
  - اگر دستگاه منبسط شود (دستگاه بر روی محیط کار انجام می‌دهد): $W<0$
- ΔU
  - اگر انرژی درونی دستگاه افزایش یابد: $\Delta U>0$
  - اگر انرژی درونی دستگاه کاهش یابد: $\Delta U<0$

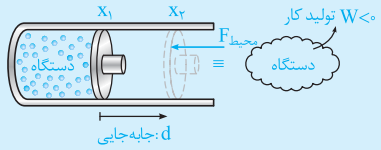
تحلیل دقیق‌تر مفهوم علامت کار: در رابطهٔ $\Delta U = Q + W$، منظور از ΔU تغییر انرژی درونی **دستگاه** مورد مطالعه و منظور از Q گرمایی است که دستگاه دریافت کرده یا از دست می‌دهد. اما منظور از W، **کار انجام‌شده توسط محیط روی دستگاه** [منظور کار خارجی] می‌باشد. به شکل‌های زیر توجه کنید:



* دستگاه در حال متراکم شدن است.

$W_{محیط} = F.d.\underbrace{\cos 0^\circ}_{+1} > 0 \Rightarrow W_{محیط} > 0$: کار محیط

* در این حالت اصطلاحاً گفته می‌شود، دستگاه کار دریافت کرده و یا محیط روی دستگاه کار انجام داده است.



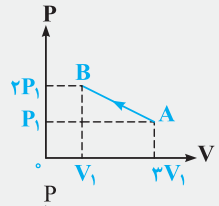
* دستگاه در حال انبساط می‌باشد و خواهیم داشت:

$W_{محیط} = F.d.\underbrace{\cos 180^\circ}_{-1} < 0 \Rightarrow W_{محیط} < 0$: کار محیط

* در این حالت اصطلاحاً گفته می‌شود دستگاه به محیط کار داده و یا دستگاه کار انجام داده است.

تذکر: در قسمت‌های (2-A) و (3-A) به‌ترتیب نحوهٔ محاسبهٔ کار و انرژی درونی را آموختیم. حال به کمک قانون اول ترمودینامیک به‌راحتی می‌توانیم گرمای مبادله شده بین دستگاه و محیط را به‌دست آوریم. در سؤالات (۱۳) تا (۱۸)، تست‌های بسیار خوبی از این مبحث مطرح کرده‌ایم. برای تسلط بیشتر، به تمرین زیر توجه کنید:

تمرین ۸: **فرایند آرمانی گاز کاملی به شکل روبه‌رو است. اگر کار و گرمای دریافت‌شده به‌وسیلهٔ گاز W و Q باشد، کدام رابطه نادرست است؟** (M.K.A)



۱) $W + Q < 0$

۲) $W > 0$

۳) $Q < 0$

۴) $|W| > |Q|$

پاسخ: برای پاسخ دادن به این تمرین، گام‌های زیر را طی می‌کنیم:

گام اول: با توجه به این‌که گزینهٔ (۱) مجموع کار و گرمای دریافت‌شده توسط گاز کامل را در طی فرایند AB پرسیده است، با مروری بر مفهوم قانون اول ترمودینامیک، باید از نحوهٔ تغییر انرژی درونی گاز کامل در طی فرایند AB مطلع شویم.

همان‌طور که می‌دانیم با توجه به نحوهٔ تغییرات حاصلضرب PV می‌توانیم در مورد نحوهٔ تغییرات انرژی درونی دستگاه اظهارنظر کنیم.

$$\begin{cases} P_A V_A = P_1 \times 3V_1 \\ P_B V_B = 2P_1 \times V_1 \end{cases} \xrightarrow{P_B V_B < P_A V_A} U_B < U_A \Rightarrow \Delta U = U_B - U_A < 0$$

گام دوم: با توجه به این‌که فرایند به‌صورت تراکمی می‌باشد (حجم گاز کاهش یافته است)، بنابراین کار انجام‌شده توسط محیط بر روی گاز مثبت می‌باشد.

فرایند تراکمی $\rightarrow W > 0$

گام سوم: با توجه به قانون اول ترمودینامیک، مجموع کار و گرمای دریافتی توسط گاز منفی است، چون انرژی درونی کاهش یافته است.

$$\Delta U = Q + W \xrightarrow{\Delta U < 0} Q + W < 0$$

از طرفی با توجه به مثبت بودن W، علامت Q باید منفی باشد تا علامت ΔU منفی شود.

$$\overset{-}{\Delta U} = Q + \overset{+}{W} \Rightarrow (Q < 0)$$ Q باید منفی باشد.

گام چهارم: برای این‌که علامت ΔU منفی شود، باید اندازهٔ Q بزرگ‌تر از اندازهٔ W باشد.

$$\overset{-}{\Delta U} = \overset{-}{Q} + \overset{+}{W} \Rightarrow |Q| > |W|$$

بنابراین گزینهٔ (۴) نادرست است.

۱ انرژی درونی و قانون اول ترمودینامیک

شاخه

پس از بررسی تست‌های این شاخه، برای تسلط بیشتر، در اولویت اول حل تست‌های ۷۶، ۷۷ و ۷۸ از قسمت یک قدم تا ۱۰۰ را به شما عزیزان پیشنهاد می‌کنیم.

بررسی مفاهیم اولیهٔ فرایندهای ترمودینامیکی ایستاوار و کار انجام شده توسط گاز و محیط

۱- کدام گزینه در رابطه با علم ترمودینامیک صحیح می‌باشد؟ (آزمون‌های سراسری گاج)

۱) ترمودینامیک تنها در مورد چگونگی تبادل کار، توسط یک سیستم با محیط اطراف خود بحث می‌نماید.

۲) ترمودینامیک تنها در مورد چگونگی تبادل گرما، توسط یک سیستم با محیط اطراف خود بحث می‌کند.

۳) ترمودینامیک چگونگی تبادل گرما و کار در یک سیستم از دیدگاه ماکروسکوپیک با محیط اطراف را بررسی می‌کند.

۴) ترمودینامیک چگونگی تبادل گرما و کار در یک سیستم از دیدگاه میکروسکوپیک با محیط اطراف را بررسی می‌کند.

۲- کدام‌یک از عبارت‌های زیر نادرست می‌باشد؟ (کتاب درسی)

۱) گرما انرژی‌ای است که به علت اختلاف دما بین دو جسم مبادله می‌شود.

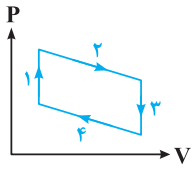
۲) برای یک استکان چای داغ، هوای اتاق را نمی‌توان منبع گرما در نظر گرفت.

۳) کمیت‌های فشار، حجم، دما و گرمای ویژه از کمیت‌های ماکروسکوپی محسوب می‌شوند.

۴) در یک فرایند ایستاوار، متغیرهای ترمودینامیکی همواره نزدیک به حالت تعادل بوده و سریع به تعادل می‌رسند.

تو دو تا سؤال بعدی، می‌خوایم شما رو با کار انجام‌شده بین گاز (دستگاه) و محیط، علامت آن و چگونگی محاسبهٔ مقدار آن آشنا کنیم. دقت کنید که این قسمت از مفاهیم خیلی مهم این فصل هستش و باید اون رو خیلی خوب یاد بگیرید.

۳- مطابق نمودار روبه‌رو، گاز کاملی در طی چند فرایند آرمانی در مسیرهای ۱، ۲، ۳ و ۴ تغییر حالت می‌دهد.



کدام‌یک از عبارت‌های زیر در رابطه با کار انجام‌شده در هر یک از این چهار فرایند نادرست است؟ (تألیفی)

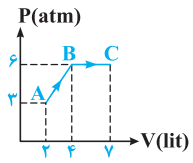
۱) علامت کار انجام‌شده توسط گاز بر روی محیط در فرایند (۲) مثبت است.

۲) علامت کار انجام‌شده توسط محیط بر روی گاز در فرایند (۴) مثبت و در فرایند (۲) منفی است.

۳) مقدار کار انجام‌شده توسط گاز بر روی محیط در فرایند (۱) برابر فرایند (۳) است.

۴) علامت کار انجام‌شده توسط گاز بر روی محیط در فرایند (۱) مثبت و علامت کار انجام‌شده توسط محیط بر روی گاز در فرایند (۳) منفی است.

۴- مطابق نمودار مقابل، ۴ مول گاز کامل دو اتمی، فرایندهایی را طی می‌کند. کار انجام‌شده توسط محیط بر روی گاز در فرایند AB، BC و در مجموع دو فرایند به‌ترتیب چند ژول است؟ (تألیفی)



۱) ۹۰۰، ۱۸۰۰، ۲۷۰۰

۲) ۱۲۰۰-، ۱۸۰۰-، ۲۷۰۰-

۳) ۱۲۰۰-، ۹۰۰-، ۲۱۰۰-

۴) ۹۰۰-، ۱۸۰۰-، ۲۷۰۰-

مفاهیم اولیهٔ انرژی درونی گاز کامل و تغییرات آن

تو این زیرشاخه مفهوم انرژی درونی و عواملی که روی اون تأثیر میذارن رو به شما یاد میدیم. این قسمت رو با دقت بخونید. پشیمون نمیشید ...

۵- اگر دمای مقدار معینی گاز کامل از $91^\circ C$ به $273^\circ C$ برسد، انرژی درونی آن چند برابر می‌شود؟ (آزمون‌های سراسری گاج)

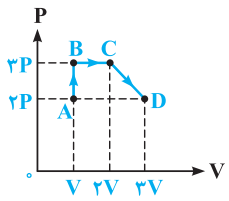
۱) $\frac{9}{4}$ ۲) $\frac{3}{2}$ ۳) ۳ ۴) ۶

۶- در شکل مقابل با باز کردن شیر مخزن، حجم، فشار و دمای مطلق اکسیژن موجود در زیر پیستون هر کدام نصف شده است. انرژی درونی گاز داخل مخزن چند برابر شده است؟ (سراسری ریاضی ۸۱، با اندکی تغییر)

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

سؤال بعدی به مقایسهٔ دما و انرژی درونی یک گاز کامل در نقاط مختلف بر روی نمودار P – V پردافته. هواستون باشه که این مفهوم تو این فصل خیلی مهمه.

☆ ۷- بر روی یک گاز کامل فرایندهایی مطابق شکل انجام شده است. اگر دمای گاز در نقاط مشخص شده بر روی نمودار، به ترتیب T_A، T_B، T_C و T_D و انرژی درونی گاز در این نقاط به ترتیب برابر U_A، U_B، U_C و U_D باشد، کدام رابطه بین آن‌ها درست است؟ (تألیفی)



۱) $T_A > T_B > T_C = T_D$
۲) $T_A < T_B < T_C = T_D$
۳) $U_A < U_B = U_C < U_D$
۴) $U_A = U_B < U_C < U_D$

تو ۵ تا سؤال بعدی نحوهٔ بررسی تغییرات انرژی درونی رو بررسی می‌کنیم که تو قسمت‌های دیگه تو این فصل خیلی به کار میاد. خوب یاد بگیریدش.

۸- در دمای ثابت، فشار مقدار معینی از یک گاز کامل تک‌اتمی را از P به ۳P می‌رسانیم. انرژی درونی این گاز چند برابر می‌شود؟ (تألیفی)

۱) $\frac{۱}{۳}$
۲) ۱
۳) ۳
۴) ۹

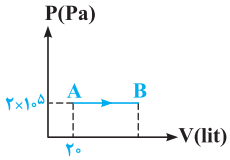
۹- در طی دو فرایند متوالی بر روی مقدار معینی از یک گاز کامل تک‌اتمی، ابتدا دمای مطلق آن را از T به ۲T و سپس از ۲T به ۳T می‌رسانیم. تغییرات انرژی درونی گاز در فرایند دوم چند برابر فرایند اول است؟ (تألیفی)

۱) ۱
۲) $\frac{۵}{۳}$
۳) ۳
۴) ۶

۱۰- در طی دو فرایند متوالی بر روی یک گاز کامل دواتمی، ابتدا حجم و فشار گاز را از (P,V) به $(2P,2V)$ و سپس از $(2P,2V)$ به $(3P,3V)$ می‌رسانیم. تغییرات انرژی درونی گاز در فرایند دوم چند برابر فرایند اول است؟ (تألیفی)

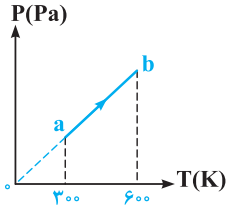
۱) ۱
۲) $\frac{۵}{۳}$
۳) ۳
۴) ۶

☆ ۱۱- یک گاز کامل تک‌اتمی، فرایند AB را مطابق شکل طی می‌کند. اگر انرژی درونی گاز در طی این فرایند ۹kJ تغییر کند، حجم گاز در حالت B چند لیتر است؟ (سراسری ریاضی ۹۱ و ۸۱)



۱) ۳۰
۲) ۵۰
۳) ۴۵
۴) ۳۸

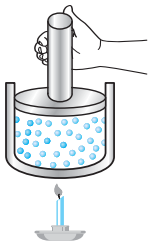
☆ ۱۲- نمودار P – T برای نیم‌مول گاز کامل تک‌اتمی مطابق شکل است. در این فرایند انرژی درونی گاز چند ژول افزایش می‌یابد؟ $(R = ۸\,J/mol.K)$ (سراسری ریاضی ۸۶ خارج از کشور، با اندکی تغییر)



۱) ۶۰۰
۲) ۱۲۰۰
۳) ۱۸۰۰
۴) ۳۰۰۰

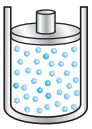
بررسی مفاهیم قانون اول ترمودینامیک

تو این زیرشاخه شما رو با قانون اول ترمودینامیک آشنا می‌کنیم که از مفاهیم پایه‌ای برای ادامهٔ این فصل محسوب میشه.



☆ ۱۳- در فرایند ترمودینامیکی شکل مقابل بر روی مقدار معینی از یک گاز کامل، مجموع کاری که با پایین آوردن پیستون بر روی گاز انجام می‌شود با گرمایی که به آن داده می‌شود، برابر با کدام کمیت وابسته به آن است؟ (آزمون‌های سراسری گاج)

۱) انرژی درونی
۲) انرژی مکانیکی
۳) تغییر انرژی درونی
۴) تغییر انرژی مکانیکی



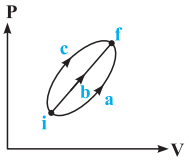
۱۴- با گرم کردن گاز کامل درون محفظهٔ مقابل، گاز ۴۰۰ ژول گرما گرفته و ۲۵۰ ژول کار روی محیط انجام داده است. با بدون اصطکاک در نظرگرفتن حرکت پیستون محفظه، انرژی درونی گاز چند ژول و چگونه تغییر می‌کند؟ (سؤالات امتحانی)

۱) ۶۵۰، افزایش
۲) ۱۵۰، افزایش
۳) ۱۵۰، کاهش
۴) ۶۵۰، کاهش

☆ ۱۵- اگر $\frac{۴}{۳}$ مول از یک گاز کامل تک‌اتمی ۱۴۰۰ ژول گرما از محیط بگیرد و ۱۰۰۰ ژول کار روی محیط انجام دهد، دمای آن چگونه تغییر می‌کند؟ $(R = ۸\,J/mol.K)$ (آزمون‌های سراسری گاج)

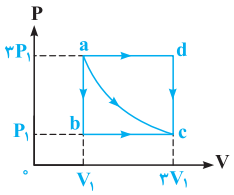
۱) $۱۲/۵^\circ C$، افزایش
۲) $۱۲/۵^\circ C$، کاهش
۳) $۲۵^\circ C$، افزایش
۴) $۲۵^\circ C$، کاهش

☆ **۱۶- نمودار (P – V) برای گاز کاملی که از سه مسیر a، b و c از حالت i به حالت f می‌رود، مطابق شکل است. اگر تغییر انرژی درونی گاز ΔU و گرمایی که گاز می‌گیرد Q باشد، کدام رابطه درست است؟** (سراسری ریاضی ۹۲، کتاب درسی)



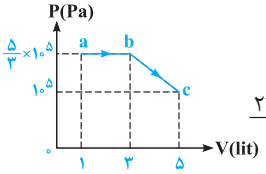
۱) $Q_c > Q_b > Q_a > 0$
۲) $Q_a > Q_b > Q_c > 0$
۳) $\Delta U_a = \Delta U_b = \Delta U_c < 0$
۴) $\Delta U_a = \Delta U_b = \Delta U_c = 0$

☆ **۱۷- مطابق شکل روبه‌رو، مقداری گاز کامل تک‌اتمی طی سه فرایند abc، ac و adc از حالت a به حالت c می‌رود. در این خصوص، کدام بیان نادرست است؟** (سراسری ریاضی ۸۹ و مشابه ۹۱ خارج از کشور)



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 انجام‌شده بر روی گاز در فرایند adc، ۳ برابر کار انجام‌شده بر روی گاز در فرایند abc است.

☆ **۱۸- نمودار (P – V) برای یک گاز کامل تک‌اتمی مطابق شکل مقابل است. گرمایی که گاز در فرایند abc با محیط مبادله می‌کند، چند ژول است؟ (R = ۸ J / mol.K)** (سراسری ریاضی ۹۲ و مشابه ۸۱ خارج از کشور)



۱) ۱۱۰۰
۲) ۳۳۰۰
۳) $\frac{1700}{3}$
۴) $\frac{23000}{3}$

۲ شناخت برخی از انواع فرایندهای ترمودینامیکی

پس از بررسی تست‌های این شاخه، برای تسلط بیشتر، در اولویت اول حل تست‌های ۷۹، ۸۱، ۸۴، ۸۶، ۸۹، ۹۲ و ۹۴ از قسمت یک قدم تا ۱۰۰ را به شما عزیزان پیشنهاد می‌کنیم.

تو این شاخه چهارتا فرایند خاص هم‌حجم، هم‌فشار، هم‌دما و بی‌دررو رو بررسی می‌کنیم تا اونا رو خوب یاد بگیرید. آفرش هم یه مقایسه‌ای بین اونا انجام میدیم ...

مفاهیم، روابط و نمودارهای فرایند هم‌حجم

۱۹- در یک فرایند هم‌حجم انرژی درونی مقدار معینی از یک گاز کامل ۳۰۰ ژول کاهش یافته است. کدام‌یک از موارد زیر در رابطه با این فرایند نادرست است؟ (برگرفته از سؤالات امتحانی)

۱) کار انجام‌شده توسط محیط بر روی گاز صفر است.
۲) گاز ۳۰۰ ژول گرما از دست داده است.
۳) دمای گاز کاهش یافته است.
۴) فشار گاز افزایش یافته است.

☆ **۲۰- اگر R ثابت گازها برحسب ژول بر مول واحد کلوین باشد، مقدار گرمایی که در حجم ثابت باید به یک مول گاز کامل تک‌اتمی بدهیم، تا دمای آن را یک کلوین بالا ببرد، برابر با کدام است؟** (سراسری ریاضی ۸۳)

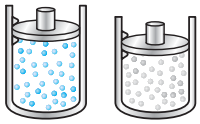
۱) $\frac{1}{2}R$
۲) $\frac{3}{2}R$
۳) $\frac{5}{2}R$
۴) $\frac{7}{2}R$

۲۱- در یک مخزن با حجم ثابت ۸ لیتر، مقداری گاز کامل تک‌اتمی در فشار ۲atm داریم. اگر ۲۴۰۰ ژول گرما به گاز داده شود، فشار آن به چند اتمسفر می‌رسد؟ (R ≃ ۸ J / mol.K) (آزمون‌های سراسری گاج)

۱) ۴
۲) ۲
۳) ۳
۴) ۲/۵

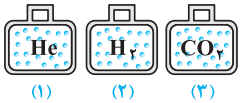
دو تا سؤال بعدی، سؤالای نسبتاً مفهومی هستن. این سؤالا درک شما رو از این زیرشاخه بالاتر می‌برن.

۲۲- در شکل مقابل، به دو مقدار مجزای گاز کامل، در حجم ثابت گرمای مساوی می‌دهیم. در این فرایند، کدام کمیت مربوط به این دو گاز با هم برابر است؟ (سؤالات امتحانی)



۱) تغییر انرژی درونی
۲) تغییر دما
۳) انرژی درونی
۴) دما

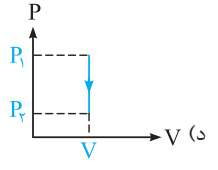
☆ **۲۳- در شکل زیر، در درون سه مخزن فلزی تعداد مول یکسانی از سه گاز هلیوم، هیدروژن و کربن دی‌اکسید قرار دارد. اگر به هر سه گاز گرمای یکسان دهیم، در مقایسهٔ تغییر دمای سه گاز کدام گزینه صحیح است؟** (آزمون‌های سراسری گاج)

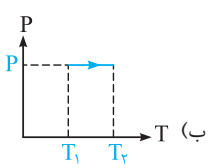


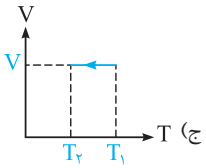
۱) $\Delta T_{He} = \Delta T_{H_2} = \Delta T_{CO_2}$
۲) $\Delta T_{He} > \Delta T_{H_2} > \Delta T_{CO_2}$
۳) $\Delta T_{He} < \Delta T_{H_2} < \Delta T_{CO_2}$
۴) $\Delta T_{He} = \Delta T_{H_2} > \Delta T_{CO_2}$

تو ادامهٔ این زیرشاخه، سراغ نمودارهای مرتبط با فرایند هم‌حجم میریم ...

۲۴- کدام‌یک از نمودارهای رسم‌شده برای مقدار معینی از یک گاز کامل، می‌توانند معادل یک‌دیگر باشند؟ (تألیفی)

الف) 

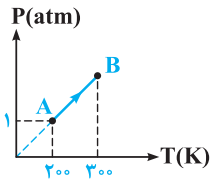
ب) 

ج) 

د)

۱) ج، د ۲) الف، د ۳) ب، ج ۴) الف، ج، د

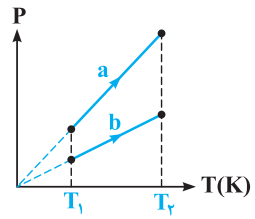
۲۵- مطابق شکل مقابل، یک مول از یک گاز کامل فرایند AB را طی می‌کند. فشار گاز در نقطهٔ B و کار انجام‌شده توسط گاز بر روی محیط از A تا B در SI به‌ترتیب کدام است؟ (آزمون‌های سراسری گاج)



۱) ۱/۵، صفر ۲) ۱/۵، ۱۰۰

۳) $-۲۲۰ ،۱/۵\times۱۰^{۵}$ ۴) صفر، $۱/۵\times۱۰^{۵}$

۲۶- نمودار فشار برحسب دمای مطلق دو گاز کامل و تک‌اتمی با تعداد مول یکسان، در دو فرایند a و b مطابق شکل داده شده است. کدام‌یک از عبارت‌های زیر صحیح است؟ (آزمون‌های سراسری گاج)



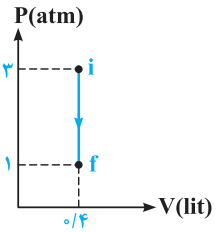
۱) حجم مخزن در فرایند a بزرگ‌تر از b است.

۲) تغییر انرژی درونی گاز در دو فرایند یکسان است.

۳) کار انجام‌شده توسط گاز در فرایند a بیشتر است.

۴) گرمای داده شده به گاز در فرایند a بیشتر است.

۲۷- نمودار P – V مربوط به یک مول از یک گاز کامل و دواتمی مطابق شکل است. کدام‌یک از عبارت‌های زیر در رابطه با این فرایند نادرست می‌باشد؟ ($R \simeq ۸\,J/mol.K$) (تألیفی)



۱) گاز ۲۰۰ ژول گرما از دست داده است.

۲) کار انجام‌شده بر روی گاز صفر بوده و چگالی گاز در این فرایند ثابت است.

۳) انرژی درونی گاز ۲۰۰ ژول کاهش یافته است.

۴) دمای گاز ۲۰ درجهٔ سلسیوس کاهش یافته است.

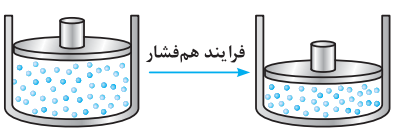
مفاهیم، روابط و نمودارهای فرایند هم‌فشار

تو ابتدای این زیرشاخه با دو تا سؤال، علامت‌های ΔU، Q و W هنگام انبساط و تراکم گاز در یک فرایند هم‌فشار رو به شما یادآور میشیم که توی سؤالات این زیرشاخه خیلی مهمه.

۲۸- در انبساط هم‌فشار یک گاز کامل، کدام کمیت‌ها مثبت‌اند؟ (W: کار انجام‌شده روی گاز، Q: گرمای داده شده به گاز و ΔU: تغییر انرژی درونی گاز است.) (سراسری ریاضی ۸۹ خارج از کشور)

۱) Q و ΔU ۲) ΔU، Q و W ۳) W و Q ۴) W و ΔU

۲۹- مطابق شکل زیر، در طی یک فرایند هم‌فشار بر روی مقدار معینی از گاز کامل داخل محفظه، پیستون را اندکی پایین می‌آوریم. کدام‌یک از موارد زیر در رابطه با این فرایند نادرست است؟ (مکمل مفهومی ریاضی ۸۹)



۱) علامت کار انجام‌شده بر روی گاز مثبت و گرمای گرفته شده توسط گاز منفی است.

۲) انرژی درونی و دمای گاز کاهش یافته است.

۳) مقدار گرمای از دست داده شده توسط گاز بیشتر از کار انجام‌شده بر روی آن است.

۴) در این فرایند نسبت دمای مطلق گاز به حجم گاز کاهش یافته است.

تو دو تا سؤال بعدی، گرمای ویژهٔ مولی در فشار ثابت رو با گرمای ویژهٔ مولی در حجم ثابت مقایسه می‌کنیم تا اونا رو بهتر یاد بگیریم.

۳۰- در گازهای کامل نسبت $\frac{C_P}{C_V}$: (سراسری ریاضی ۷۵)

۱) با توجه به نوع گاز ممکن است بزرگ‌تر، کوچک‌تر یا مساوی یک باشد. ۲) همیشه برابر واحد است.

۳) همیشه کوچک‌تر از یک است. ۴) همیشه بزرگ‌تر از یک است.

۳۱- گرمای ویژهٔ مولی در فشار ثابت برای گاز هلیوم (He) چند برابر گرمای ویژهٔ مولی در حجم ثابت برای گاز هیدروژن (H_2) است؟

۱) $\frac{۵}{۳}$ ۲) $\frac{۵}{۷}$ ۳) $\frac{۳}{۵}$ ۴) ۱ (مکمل محاسباتی ریاضی ۷۵)

☆ **۳۲- گرمایی که یک گرم گاز هیدروژن می‌گیرد، تا در فشار ثابت دمایش $۱^\circ C$ افزایش یابد، چند برابر مقدار گرمایی است که یک گرم آب می‌گیرد تا دمایش $۱^\circ C$ افزایش یابد؟ $(M_{H_2}=۲gr/mol, C_P=۲۸J/mol.K, c_{آب}=۴۲۰۰J/kg.^\circ C)$** (سراسری ریاضی ۹۳ خارج از کشور)

۱) $\frac{۲۰}{۳}$ ۲) $\frac{۱۰}{۳}$ ۳) ۲ ۴) ۱

☆ **۳۳- در یک فرایند هم‌فشار، یک لیتر گاز کامل دواتمی با دمای صفر درجهٔ سلسیوس مقداری گرما از دست می‌دهد و حجم آن در فشار یک اتمسفر ۲۰ درصد کاهش می‌یابد. در این فرایند، کار انجام‌شده بر روی گاز و گرمای از دست داده‌شده توسط گاز به‌ترتیب چند ژول است؟ $(۱atm=۱۰^۵Pa, C_P=\frac{۷}{۲}R)$** (تغییر یافتهٔ سراسری ریاضی ۸۶)

۱) ۲۰، ۵۰ ۲) ۲۰، ۷۰ ۳) ۴۰، ۹۰ ۴) ۴۰، ۷۰

۳۴- گاز درون یک محفظه را در فشار ثابت ۲×۱۰^۵Pa سرد می‌کنیم و از حجم $۶lit$ به $۲lit$ می‌رسد. اگر گاز در این فرایند، $۲۸۰۰J$ گرما از دست بدهد، انرژی درونی آن چند ژول کاهش می‌یابد؟ (سراسری ریاضی ۹۵)

۱) ۱۲۰۰ ۲) ۱۸۰۰ ۳) ۲۰۰۰ ۴) ۳۶۰۰

☆ **۳۵- دمای ۲ مول گاز کامل، در فشار ثابت از ۳۰ درجهٔ سلسیوس به ۸۰ درجهٔ سلسیوس افزایش می‌یابد. کار انجام‌شده روی گاز در این فرایند چند ژول است؟ $(R\simeq ۸/۳J/mol.K)$** (سراسری ریاضی ۹۳)

۱) ۴۱۵ ۲) -۴۱۵ ۳) ۸۳۰ ۴) -۸۳۰

☆ **۳۶- حجم اولیهٔ گاز کاملی در دمای $۲۷^\circ C$ برابر ۲ لیتر است. اگر در فشار ثابت $۱/۵\times۱۰^۵$ پاسکال، دمای آن را به $۱۲۷^\circ C$ برسانیم، کاری که گاز روی محیط انجام می‌دهد، چند ژول است؟** (سراسری ریاضی ۹۱، ۸۶ خارج از کشور)

۱) ۱ ۲) ۳۰۰ ۳) ۱۰۰ ۴) $\frac{۲۰۰}{۳}$

تو ۴ تا سؤال بعدی ارتباط بین مقادیر ΔU، Q و W رو تو فرایند هم‌فشار در مورد گازهای کامل تک‌اتمی و دواتمی یاد می‌گیریم. البته تو این سؤالا یه روش خیلی خوب و سریع نیز به شما یاد میدیم. بنابراین توصیه می‌کنیم که حتماً پاسخ اونا رو بخونید.

۳۷- در فشار ثابت P، به مقدار معینی گاز کامل، Q ژول گرما می‌دهیم و دمای آن به اندازهٔ ΔT افزایش می‌یابد. اگر تغییر انرژی درونی گاز ΔU باشد، کدام رابطه در SI درست است؟ (سراسری ریاضی ۹۲ خارج از کشور)

۱) $\Delta U<۰<Q$ ۲) $۰<\Delta U<Q$ ۳) $۰<\Delta U=Q$ ۴) $۰<\Delta U=\frac{۳}{۲}Q$

۳۸- مقداری گاز کامل تک‌اتمی طی فرایندی هم‌فشار $۵۰۰J$ گرما از محیط می‌گیرد. تغییر انرژی درونی این گاز چند ژول است؟ $(C_P=\frac{۵}{۲}R)$

۱) ۲۰۰ ۲) ۳۰۰ ۳) ۴۰۰ ۴) ۵۰۰ (سراسری ریاضی ۸۹)

☆ **۳۹- در یک فرایند هم‌فشار بر روی ۲ مول گاز کامل تک‌اتمی، گرمای گرفته شده توسط دستگاه، ۳۰۰ ژول بیشتر از اندازهٔ کار انجام‌شده بر روی آن است. کدام‌یک از موارد زیر در رابطه با این فرایند نادرست می‌باشد؟ $(R\simeq ۸J/mol.K)$** (مکمل خلاقانهٔ ریاضی ۹۲ و ۸۹)

۱) گاز در این فرایند منبسط شده است.
۲) انرژی درونی دستگاه ۳۰۰ ژول افزایش یافته است.
۳) اندازهٔ کار انجام‌شده بر روی دستگاه ۱۰۰ ژول می‌باشد.
۴) دمای دستگاه به اندازهٔ ۱۲/۵ درجهٔ سلسیوس افزایش یافته است.

۴۰- در یک فرایند هم‌فشار، به گاز کامل و دواتمی $۳۵۰J$ گرما می‌دهیم. تغییر انرژی درونی این گاز چند ژول است؟ $(C_P=\frac{۷}{۲}R)$

۱) ۲۰۰ ۲) ۲۵۰ ۳) ۳۰۰ ۴) ۳۵۰ (مکمل محاسباتی ریاضی ۹۲ و ۸۹)

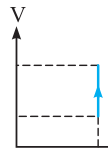
اینم یه سؤال که از مثالای کتاب درسیه و احتمال مطرح شدنش تو امتحانای نهایی خیلی زیاده ...

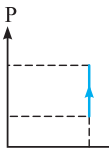
☆ **۴۱- یک گرم آب در نقطهٔ جوش و در فشار ثابت $۱۰^۵Pa$ تبخیر شده و حجم آن از $۱cm^۳$ به $۱۶۰۱cm^۳$ می‌رسد. در طی این فرایند، کار انجام‌شده بر روی دستگاه و تغییر انرژی درونی آن به‌ترتیب از راست به چپ برابر چند ژول است؟ (مقدار L_V را به‌طور تقریبی برابر $۲۲۰۰J/gr$ درنظر بگیرید.)** (برگرفته از کتاب درسی)

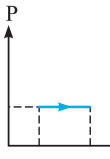
۱) -۱۶۰، ۲۰۴۰ ۲) -۱۶۰، ۲۳۶۰ ۳) $+۱۶۰$، ۲۰۴۰ ۴) $+۱۶۰$، ۲۳۶۰

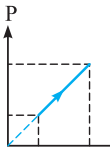
بچه‌ها، حالا میریم سراغ نمودارهای هم‌فشار ...

۴۲- کدام‌یک از نمودارهای زیر می‌تواند مربوط به یک فرایند هم‌فشار باشد؟ (سؤالات امتحانی)

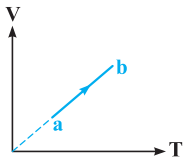
۱) 

۲) 

۳) 

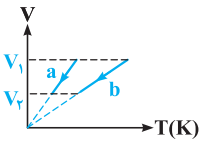
۴) 

۴۳- در شکل مقابل پاره‌خط ab فرایندی را روی مقداری گاز کامل نشان می‌دهد. در طی این فرایند ..... (سراسری ریاضی ۸۵ خارج از کشور)



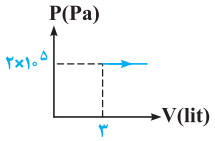
۱) انرژی درونی گاز ثابت است.
۲) فشار گاز ثابت است.
۳) چگالی گاز تغییر نکرده است.
۴) گاز کار دریافت کرده و گرما از دست داده است.

۴۴- مطابق نمودار مقابل، طی دو فرایند a و b بر روی مقدار معینی از یک گاز کامل، حجم آن را از V_1 به V_2 می‌رسانیم. کدام گزینه دربارهٔ مقایسهٔ فشار و کار انجام‌شده روی گاز در فرایندهای a و b درست است؟ (متکل مفهومی ریاضی ۸۵)



۱) $W_a > W_b \, ، \, P_a > P_b$
۲) $W_a < W_b \, ، \, P_a < P_b$
۳) $W_a = W_b \, ، \, P_a < P_b$
۴) $P_a < P_b$ ، نمی‌توان تعیین کرد.

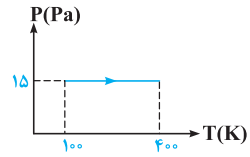
۴۵- شکل مقابل، فرایندی را نشان می‌دهد که در طی آن مقداری گاز کامل تک‌اتمی در فشار ثابت، ۱۰۰۰ ژول گرما گرفته است. حجم گاز در پایان فرایند به چند لیتر می‌رسد؟ $\left(C_P = \frac{5}{2}R\right)$ (آزمون‌های سراسری گاج)



۱) ۴ ۲) ۵ ۳) ۶ ۴) ۷

قابل توجه شاگرد زرنگا ... سؤال بعدی خیلی قشنگه و احتمال نمره منفی گرفتن توش بالاست. دقت کنید...

۴۶- مقدار ۲ مول گاز کامل تک‌اتمی فرایندی را مطابق شکل طی می‌کند. کار انجام‌شده بر روی گاز توسط محیط و تغییرات انرژی درونی گاز در این فرایند به‌ترتیب چند ژول است؟ $(R = 8\,J/mol.K)$ (برگرفته از سؤالات امتحانی)

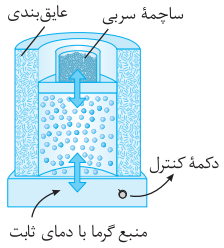


۱) ۷۲۰۰ ، -۴۵۰۰
۲) ۱۶۸۰۰ ، -۴۸۰۰
۳) ۷۲۰۰ ، ۴۸۰۰
۴) ۷۲۰۰ ، -۴۸۰۰

مفاهیم، روابط و نمودارهای فرایندهم‌دما

این زیرشاخه رو با چند تا سؤال ساده و مفهومی از فرایند هم‌دما شروع می‌کنیم ...

۴۷- مطابق شکل مقابل، مخزن استوانه‌ای شکل در تماس با یک منبع گرمایی با دمای ثابت قرار دارد. اگر گاز کامل داخل این مخزن را در طی یک فرایند هم‌دما متراکم کنیم، کدام گزینه در مورد علامت‌های ΔU، Q و W صحیح است؟ (ΔU: تغییر انرژی درونی دستگاه، Q: گرمای گرفته شده توسط دستگاه، W: کار انجام‌شده بر روی دستگاه) (سؤالات امتحانی، مشابه سراسری ریاضی ۸۲)



۱) $W > 0 \, ، \, Q < 0 \, ، \, \Delta U < 0$
۲) $W > 0 \, ، \, Q < 0 \, ، \, \Delta U = 0$
۳) $W < 0 \, ، \, Q > 0 \, ، \, \Delta U < 0$
۴) $W < 0 \, ، \, Q > 0 \, ، \, \Delta U = 0$

۴۸- دستگاهی از گاز کامل در یک فرایند هم‌دما ۶۰۰ ژول کار روی محیط انجام می‌دهد. انرژی درونی این دستگاه: (سراسری ریاضی ۸۶)

۱) ثابت می‌ماند.
۲) ۶۰۰ ژول کاهش می‌یابد.
۳) ۶۰۰ ژول افزایش می‌یابد.
۴) بیش از ۶۰۰ ژول کاهش می‌یابد.

۴۹- در یک فرایند هم‌دما فشار مقدار معینی از یک گاز کامل را ۲۵ درصد کاهش می‌دهیم. حجم، چگالی و انرژی درونی گاز در این فرایند به‌ترتیب از راست به چپ چند برابر می‌شود؟ (آزمون‌های سراسری گاج)

۱) $\frac{3}{4} \, ، \, \frac{3}{4} \, ، \, 1$
۲) $\frac{4}{3} \, ، \, \frac{2}{3} \, ، \, \frac{3}{4}$
۳) $\frac{5}{4} \, ، \, \frac{3}{4} \, ، \, 1$
۴) $1 \, ، \, \frac{4}{3} \, ، \, \frac{3}{4}$

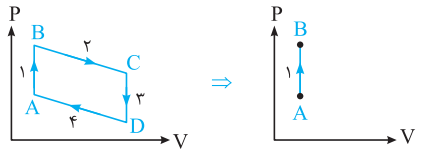
پاسخ‌نامهٔ تشریحی — بررسی مفاهیم اولیه و فرایندهای ترمودینامیکی

۱ ۳ با توجه به متن کتاب درسی، علم ترمودینامیک علمی است که نحوهٔ تبادل گرما و کار بین محیط و سیستم را از دیدگاه ماکروسکوپیک بررسی می‌کند.

۲ ۲ منبع گرمایی، با دریافت و یا از دست دادن مقدار محدودی گرما، تغییرات دمایش ناچیز است. بنابراین برای یک استکان چای داغ، هوای اتاق را می‌توان منبع گرما در نظر گرفت، چون با سرد شدن چای، دمای اتاق به‌طور قابل ملاحظه‌ای تغییر نمی‌کند.

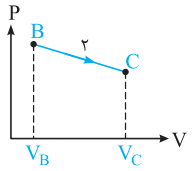
* سایر گزینه‌ها با توجه به درسنامه صحیح می‌باشند.

۴ ۳ علامت کار انجام‌شده در هر کدام از فرایندها را به‌طور جداگانه بررسی می‌کنیم:



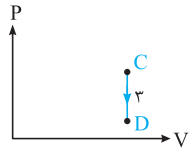
فرایند ۱: با توجه به شکل مقابل، در فرایند (۱) حجم گاز در طی فرایند ثابت است $(V_A = V_B)$. این موضوع یعنی کار انجام شده توسط محیط بر روی گاز صفر است.

$V_A = V_B \Rightarrow$ حجم گاز ثابت است. $\Rightarrow W = 0$



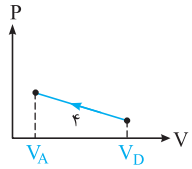
فرایند ۲: در طی فرایند (۲)، حجم گاز در حال افزایش بوده و فرایند از نوع انبساط می‌باشد، بنابراین در طی این فرایند کار انجام شده توسط محیط بر روی گاز منفی و کار انجام شده توسط گاز بر روی محیط مثبت است.

$V_C > V_B \Rightarrow$ حجم گاز در حال افزایش است. $\Rightarrow W < 0 \xrightarrow{W' = -W} W' > 0$



فرایند ۳: مشابه استدلال مطرح شده در فرایند (۱)، کار انجام شده توسط محیط بر روی گاز در فرایند (۳) نیز صفر است.

$W = -W' = 0$

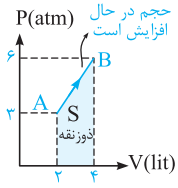


فرایند ۴: در طی فرایند (۴)، حجم گاز در حال کاهش بوده و فرایند از نوع تراکم می‌باشد، بنابراین در طی این فرایند کار انجام شده توسط محیط بر روی گاز مثبت و کار انجام شده توسط گاز بر روی محیط منفی است.

$V_A < V_D \Rightarrow$ حجم گاز در حال کاهش است. $\Rightarrow W > 0$

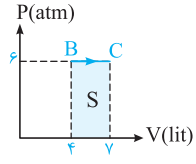
بنابراین گزینهٔ (۴) نادرست می‌باشد، چون کار در هر دو فرایند (۱) و (۳) صفر می‌باشد.

۴ ۴ همان‌طور که در درسنامه بیان شد، سطح زیر نمودار $P - V$ در هر فرایند، بیانگر قدرمطلق کار انجام‌شده در آن فرایند است. بنابراین برای محاسبهٔ کار در هر فرایند می‌توان نوشت:



فرایند AB: در این فرایند حجم گاز افزایش یافته است. بنابراین فرایند از نوع انبساط بوده و کار محیط بر روی گاز در این فرایند منفی است.

$$|W_{AB}| = S_{\text{ذوزنقه}} = \frac{(۳+۶)\times ۱۰^۵}{۲} \times ۲ \times ۱۰^{-۳} = ۹۰۰ \xrightarrow[\text{انبساط}]{W_{AB}<0} W_{AB} = -۹۰۰J$$



فرایند BC: مشابه فرایند AB، در این فرایند نیز کار انجام‌شده توسط محیط بر روی گاز منفی است.

$$|W_{BC}| = S = ۶ \times ۱۰^۵ \times ۳ \times ۱۰^{-۳} = ۱۸۰۰ \xrightarrow[\text{انبساط}]{W_{BC}<0} W_{BC} = -۱۸۰۰J$$

بنابراین کار محیط بر روی گاز در مجموع دو فرایند برابر است با: $W_{\text{کل}} = W_{AB} + W_{BC} = (-۹۰۰) + (-۱۸۰۰) = -۲۷۰۰J$

۵ ۲ برای مقایسهٔ انرژی درونی مقدار معینی گاز کامل با توجه به ثابت بودن تعداد مول گاز در دو حالت $(n_۲ = n_۱)$، می‌توان نوشت:

$$T_۱ = ۹۱ + ۲۷۳ = ۹۱ + ۳ \times ۹۱ = ۴ \times ۹۱K \quad , \quad T_۲ = ۲۷۳ + ۲۷۳ = ۳ \times ۹۱ + ۳ \times ۹۱ = ۶ \times ۹۱K$$

$$U \propto T \Rightarrow \frac{U_۲}{U_۱} = \frac{T_۲}{T_۱} = \frac{۶ \times ۹۱}{۴ \times ۹۱} = \frac{۶}{۴} = \frac{۳}{۲}$$

تذکر ۱: باید دقت شود که در رابطهٔ فوق، دماها باید برحسب کلوین باشند.

تذکر ۲: در حل برخی از سؤالات امتحانات نهایی و کنکور، معمولاً از رابطهٔ $۲۷۳ = ۳ \times ۹۱$ برای ساده‌سازی استفاده می‌کنیم.

۶ ۳ همان‌طور که در درسنامه بیان شد، انرژی درونی یک گاز کامل با حاصل‌ضرب $P \times V$ متناسب است. بنابراین با توجه به این‌که فشار و حجم گاز، هر دو $\frac{۱}{۲}$ برابر (یا نصف) شده‌اند، در نتیجه انرژی درونی گاز $\frac{۱}{۴}$ برابر می‌شود.

$U \propto P \; V$ — P: برابر $\frac{۱}{۲}$ شود؛ V: برابر $\frac{۱}{۲}$ شود؛ U: برابر $\frac{۱}{۴}$ می‌شود

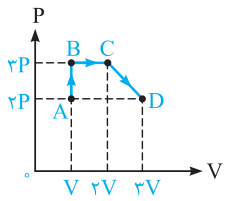
نگاه دیگر:

$$\begin{cases} \frac{P_۲}{P_۱} \times \frac{V_۲}{V_۱} = \frac{n_۲}{n_۱} \times \frac{T_۲}{T_۱} \\ P_۲ = \frac{۱}{۲} P_۱ \;,\; V_۲ = \frac{۱}{۲} V_۱ \;,\; T_۲ = \frac{۱}{۲} T_۱ \end{cases} \Rightarrow \frac{\frac{۱}{۲}P_۱}{P_۱} \times \frac{\frac{۱}{۲}V_۱}{V_۱} = \frac{n_۲}{n_۱} \times \frac{\frac{۱}{۲}T_۱}{T_۱} \Rightarrow \frac{n_۲}{n_۱} = \frac{۱}{۲}$$

$$U \propto nT \Rightarrow \frac{U_۲}{U_۱} = \frac{n_۲}{n_۱} \times \frac{T_۲}{T_۱} = \frac{۱}{۲} \times \frac{۱}{۲} = \frac{۱}{۴}$$

تذکر مهم: باید دقت شود که عبارت $U \propto T$ زمانی صحیح است که تعداد مول گاز کامل ثابت باشد. در این سؤال که تعداد مول گاز عوض شده است، $U \propto nT$ است.

۷ ۲ با توجه به مفاهیم مطرح شده در درسنامه، می‌دانیم حاصل‌ضرب PV، متناسب با دمای مطلق گاز است. بنابراین نقطه‌ای که حاصل‌ضرب PV برای آن بزرگ‌تر است، دمای مطلق بیشتری دارد و می‌توان نوشت:



$$\begin{cases} T_A \propto P_A V_A = ۲PV \\ T_B \propto P_B V_B = ۳PV \\ T_C \propto P_C V_C = ۶PV \\ T_D \propto P_D V_D = ۶PV \end{cases} \Rightarrow T_D = T_C > T_B > T_A$$

از طرفی انرژی درونی مقدار معینی از یک گاز کامل، متناسب با دمای مطلق آن است، بنابراین در مقایسهٔ انرژی درونی این گاز می‌توان نوشت:

$$U_D = U_C > U_B > U_A$$

تذکر: از A تا B و از B تا C، حاصل‌ضرب PV دائماً در حال افزایش است و در نتیجه از مسیر A تا C دما نیز در حال افزایش است.

۸ ۲ با توجه به ثابت بودن دما و مقدار گاز (تعداد مول گاز)، انرژی درونی آن ثابت می‌ماند.

$$U \propto nT \xrightarrow{n \text{ و } T \text{ ثابت هستند.}} U_۲ = U_۱$$

نگاه دیگر: در واقع با ۳ برابر شدن فشار و ثابت بودن دما، حجم گاز $\frac{۱}{۳}$ برابر شده (چرا؟) و انرژی درونی گاز کامل ثابت می‌ماند.

$U \propto P \; V$ — P: $\frac{۱}{۳}$ برابر؛ V: ۳ برابر؛ U: ثابت

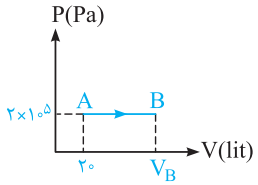
۹ ۱ در این سؤال می‌خواهیم به محاسبهٔ **تغییرات** انرژی درونی در یک فرایند بپردازیم. بنابراین با توجه به رابطهٔ $\Delta U = \frac{۳}{۲} nR\Delta T$ در گازهای کامل تک‌اتمی، می‌توان نوشت:

$$\frac{\Delta U_۲}{\Delta U_۱} = \frac{\Delta T_۲}{\Delta T_۱} = \frac{۳T - ۲T}{۲T - T} = \frac{T}{T} = ۱$$

۱۰ ۲ با توجه به رابطهٔ $\Delta U = \frac{۵}{۲}(P_۲V_۲ - P_۱V_۱)$ در گازهای کامل دواتمی، برای محاسبهٔ تغییرات انرژی درونی این گاز کامل می‌توان نوشت:

$$\frac{\Delta U_۲}{\Delta U_۱} = \frac{P_۳V_۳ - P_۲V_۲}{P_۲V_۲ - P_۱V_۱} = \frac{(۳P \times ۳V) - (۲P \times ۲V)}{(۲P \times ۲V) - (P \times V)} = \frac{۵PV}{۳PV} = \frac{۵}{۳}$$

۱۱ ۲ با توجه به این‌که گاز کامل و تک‌اتمی است، تغییر انرژی درونی آن در طی فرایند AB برابر است با:



$$\Delta U = \frac{۳}{۲} nR(T_B - T_A) = \frac{۳}{۲}(P_B V_B - P_A V_A)$$

$$\Rightarrow \frac{۳}{۲}(۲ \times ۱۰^۵ \times V_B - ۲ \times ۱۰^۵ \times ۲۰) \times \underbrace{۱۰^{-۳}}_{\text{برای تبدیل لیتر به مترمکعب}} = ۹ \times ۱۰^۳ \Rightarrow V_B = ۵۰ \text{ lit}$$

* دقت کنیم انرژی درونی ۹kJ افزایش یافته است $(\Delta U > ۰)$، زیرا حاصل‌ضرب PV و دما در طی فرایند افزایش یافته است.

$$P_B V_B > P_A V_A \Rightarrow T_B > T_A \Rightarrow U_B > U_A \Rightarrow \Delta U = U_B - U_A > ۰$$