# هم کلاسی

# Hamkelasi.ir

www.physics4physics.com

نزدیک ۱۰ سوال
از این فصل
در کنکور ۹۴
ریاضی (۳) ٪۷

...

قطار ماندو من و این سکوت راه آهن

در ایستگاه نشستیم هر سه تا تنها

...

# ترمو دینامیک

نویسنده: نوید ظریفیان
www.physics4physics.com
info@physics4physics.com
۰۹۱۲۸۲۰۵۶۷۷

www.physics4physics.com

## تعاریف

به علم مبادله‌ی کار و گرما بین دستگاه و محیط پیرامون آن «ترمودینامیک» گویند.

**محیط و دستگاه**

هر چیزی که پیرامون آن را مرزبندی کرده، کار و گرمایی که از این مرزها وارد و یا خارج شوند را محاسبه نماییم «دستگاه» نامیده می‌شود. تمامی آن‌چه که دستگاه را احاطه نموده و بر روی آن اثر گذارد و از آن اثرپذیر باشد را «محیط» می‌نامیم.

**کمیت‌های ماکروسکوپیک و میکروسکوپیک**

کمیت‌هایی که به توصیف ویژگی‌های تک‌تک ذرات تشکیل دهنده‌ی دستگاه می‌پردازند را «کمیت‌های میکروسکوپیک» گویند. شتاب، نیرو، سرعت و ... جزء این دسته‌اند.

کمیت‌هایی که به توصیف ویژگی‌های کلّی و ظاهری یک دستگاه می‌پردازند را «کمیت‌های ماکروسکوپیک» می‌نامند. چگالی، حجم، دما، فشار، گرمای ویژه و ... جزء این دسته قرار دارند. علم ترمودینامیک رفتار ماده را بر حسب این کمیت‌ها توصیف می‌کند.

**گاز کامل**

به گازی گفته می‌شود که بر هم کنش بین مولکول‌های آن ناچیز و قابل صرف نظر باشد، پس می‌بایست فاصله‌ی بین مولکول‌ها در مقایسه با ابعاد آن‌ها بسیار زیاد باشد. بنابراین گازی کامل است که بسیار رقیق باشد.

در فصل گرما دیدید گازی است که در آن، فاصله‌ی بین مولکول‌ها آن‌قدر زیاد است که نیروی کولنی بین ذرات نادیده گرفته می‌شود.
اگر فشار گازهای معمولی کم‌تر از ۱۰ atm باشد، در دماهای معمولی، تقریباً آن را یک گاز کامل در نظر می‌گیرند.

**حالت**: منظور از حالت مقدار معینی از یک گاز، اندازه‌ی کمیت‌های فشار، حجم و دمای آن است. هنگامی‌که می‌گویند مقداری گاز از یک حالت به یک حالت دیگر می‌رود، یک یا دو و یا هر سه کمیت آن تغییر می‌کند. به این تغییر حالت، **فرایند** می‌گویند.

**حالت تعادل**: حالتی است که در آن، فشار و دمای همه‌جای گاز یکسان است. اگر مقداری گاز به حال خود رها شود، پس از مدت زمانی به‌طور خودبه‌خودی، به حالت تعادل می‌رسد.

**فرایند آرمانی**: فرایندی است که آن‌قدر آهسته انجام می‌شود که تقریباً در طول فرایند، گاز همواره در حال تعادل است.

**متغیرهای ترمودینامیکی**

کمیت‌های ماکروسکوپیک فشار، حجم و دمای مطلق که حالت دستگاه را می‌توان برحسب آنها توصیف کرد «متغیرهای ترمودینامیکی» نامیده می‌شوند.

**معادله‌ی حالت**

متغیرهای ترمودینامیکی از یک‌دیگر مستقل نیستند و با هم رابطه دارند. رابطه‌ی بین متغیرهای ترمودینامیکی، «معادله‌ی حالت» نامیده می‌شود و در حالتی که گاز را کامل در نظر بگیریم، معادله‌ی حالت آن به‌صورت زیر خواهد بود:

$$PV = nRT$$

$P$: فشار گاز $(Pa)$ — $V$: حجم گاز $(m^3)$ — $T$: دمای مطلق $(K)$ — $R$: ثابت گازها $(\frac{J}{mol.K})$

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

$n$: تعداد مول — $m$: جرم $(g)$ — $M$: جرم مولی $(\frac{g}{mol})$

یک مول از هر گاز معادل $۶/۰۲۲\times۱۰^{۲۳}$ (عدد آووگادرو) مولکول از آن گاز است.

$$T = \theta + ۲۷۳$$
$$۱lit = ۱۰^{-۳}(m^3)$$
$$۱atm = ۱/۰۱\times۱۰^{۵}(pa)$$

در رابطه‌ی فوق واضح است که برای مقدار معینی گاز کامل، نسبت $\frac{PV}{T}$ مقدار ثابتی است. این مقدار ثابت به مقدار گاز بستگی دارد و مستقل از نوع آن می‌باشد.

اگر دستگاهی از حالت $P_۱$ ، $V_۱$ و $T_۱$ به حالت $P_۲$ ، $V_۲$ و $T_۲$ برود داریم:

$$\frac{P_۲V_۲}{T_۲} = \frac{P_۱V_۱}{T_۱}$$

از معادله‌ی حالت، معمولاً ۵ نوع تست در کنکور می‌آید که از هر کدام یک مثال می‌زنیم.

**۱- جای‌گذاری**: در این نوع تست‌ها، یک مجهول داریم که مقدار آن، با جای‌گذاری اطلاعات در معادله‌ی حالت به‌دست می‌آید.

**مثال ۱**

**۳ مول گاز کامل را در ظرفی به حجم ۵۰ Lit قرار داده‌ایم. در دمای ۲۷ °C، فشار گاز چند atm است؟** $(R = ۸\ \frac{J}{mol.K})$

۱) ۱/۲۲ ۲) ۱/۴۴

۳) ۱/۶۶ ۴) ۱/۸۸

**۲- مقایسه‌ی دو گاز کامل:**

**مثال ۱۲**

**در یک مخزن ۴ گرم گاز هلیم در دمای $27^{\circ}C$ و در مخزن دیگر ۱۴ گرم گاز نیتروژن در دمای $2^{\circ}C$ قرار دارد. اگر فشار گاز هر دو مخزن یکسان باشد، حجم مخزن اول چند برابر حجم مخزن دوم است؟**

۱) $\frac{12}{11}$ ۲) $\frac{24}{11}$

۳) $\frac{48}{11}$ ۴) $\frac{64}{11}$

Zarifian

**۳- مقایسه‌ی دو حالت یک گاز کامل:** در یک فرایند، مقداری گاز از یک حالت به حالت دیگر می‌رود.

**مثال ۱۳**

**مقداری گاز کامل در یک مخزن در دمای ثابت قرار دارد. اگر حجم ظرف را ۲۰ درصد کم کنیم، فشار گاز .....**

۱) ۲۵ درصد زیاد می‌شود. ۲) ۲۵ درصد کم می‌شود.

۳) ۲۰ درصد زیاد می‌شود. ۴) ۲۰ درصد کم می‌شود.

Zarifian

**۴- مقایسه با شرایط استاندارد:** منظور از شرایط استاندارد، فشار $1atm$ و دمای $273\ K$ است. حجم یک مول گاز کامل در شرایط استاندارد، $22/4\ Lit$ است.

**مثال ۱۴**

**۳ مول گاز در دمای $91^{\circ}C$ و فشار ۳ اتمسفر، تقریباً چه حجمی را (برحسب لیتر) اشغال می‌کند؟**

۱) ۲۴ ۲) ۲۶ ۳) ۲۸ ۴) ۳۰

Zarifian

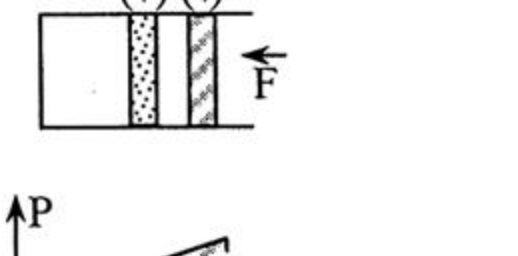
**۵- مخلوط دو گاز کامل:** اگر دو گاز مختلف با شرایط ۱ و ۲ را با هم مخلوط کنیم و آن را (بدون تغییر شیمیایی) در شرایط ۳ قرار دهیم،

$$\frac{P_1V_1}{T_1}+\frac{P_2V_2}{T_2}=\frac{P_3V_3}{T_3}$$

می‌توان نوشت:

**مثال ۱۵**

**در ظرف روبه‌رو، اگر شیر را باز کنیم، فشار نهایی گاز چند atm می‌شود؟ (فرایند در دمای ثابت انجام می‌شود.)**

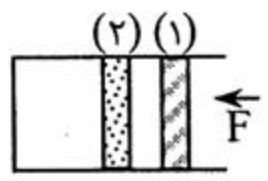



۱) ۲/۴ ۲) ۲/۵

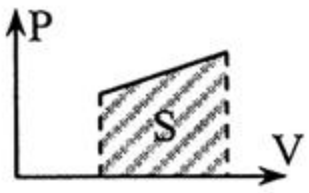
۳) ۲/۶ ۴) ۲/۷

Zarifian

- **انرژی درونی:** انرژی درونی یک ماده با مجموع انرژی‌های مولکول‌های تشکیل‌دهنده‌ی آن ماده برابر است.
- در دمای معین هر چه تعداد مولکول‌های تشکیل‌دهنده‌ی ماده در حالت یا فاز معینی بیش‌تر باشد، انرژی درونی آن بیش‌تر است.
- به طور دقیق‌تر، انرژی درونی $U$ با مجموع انرژی‌های جنبشی و پتانسیل مولکول‌های ماده برابر است.
- انرژی درونی گاز کامل تابعی از مجموع انرژی جنبشی ذرات گاز است و دما معیاری از انرژی جنبشی متوسط مولکول‌های گاز است. پس هر چه دما بالاتر باشد انرژی جنبشی ذرات بیشتر و انرژی درونی گاز بیش‌تر است. پس انرژی درونی مقدار معینی گاز کامل **تنها تابع دمای مطلق گاز** است.




- هرگاه دستگاه از محیط گرما بگیرد $Q$ مثبت است.
- هرگاه دستگاه به محیط گرما بدهد $Q$ منفی است.
- هرگاه دستگاه (گاز) متراکم شود کار محیط روی دستگاه مثبت $(W > 0)$ است و کار گاز روی محیط منفی $(W' < 0)$ است.
- هرگاه دستگاه (گاز) منبسط شود کار محیط روی دستگاه منفی $(W < 0)$ است و کار گاز روی محیط مثبت $(W' > 0)$ است.
- دقت کنید در تراکم $\Delta V$ منفی و $W$ مثبت است و در انبساط $\Delta V$ مثبت و $W$ منفی است.



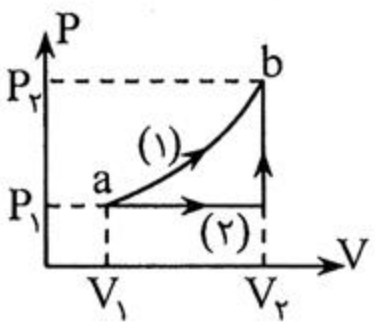

- کار همواره برابر سطح محصور بین نمودار $P-V$ است. $|W| = S$

از آنجا که U تابعی از دما است، بنابراین $\Delta U$ نیز تابعی از تغییرات دما $(\Delta T)$ خواهد بود. به‌عبارتی تغییر انرژی درونی فرآیندهای یک دستگاه به نوع فرآیند بستگی ندارد و تنها به دمای اولیه و ثانویه‌ی گاز در حین فرآیند بستگی دارد.

اگر در یک مسئله نوع گاز معلوم باشد، می‌توان اثبات نمود که تغییر انرژی درونی آن از رابطه‌ی زیر محاسبه می‌شود:

$$\Delta U = U_2 - U_1 \begin{cases} \xrightarrow{\text{تک اتمی}} \frac{3}{2}nR(T_2 - T_1) \\ \xrightarrow{\text{دو اتمی}} \frac{5}{2}nR(T_2 - T_1) \\ \xrightarrow{\text{سه اتمی و بیشتر}} \frac{7}{2}nR(T_2 - T_1) \end{cases} \xrightarrow[T=\frac{PV}{nR}]{PV=nRT} \Delta U = \begin{cases} \frac{3}{2}(P_2V_2 - P_1V_1) \\ \frac{5}{2}(P_2V_2 - P_1V_1) \\ \frac{7}{2}(P_2V_2 - P_1V_1) \end{cases}$$

## قانون اول ترمودینامیک $(\Delta U = Q + W)$




- تغییرات انرژی درونی دستگاه برابر است با مجموع گرمایی که دستگاه دریافت می‌کند و کاری که روی آن انجام می‌شود.
- در واقع هرگاه دستگاه (گاز) در اثر کار یا گرما تحول یابد و از حالت a به حالت b برود (مطابق شکل) برای مسیرهای مختلف مقدار W و Q متفاوت اما همواره مجموع $Q + W$ یعنی تغییر انرژی درونی در تمام مسیرها یکسان است.
- قانون اول ترمودینامیک بیانی از قانون پایستگی انرژی است. $\Delta U_1 = \Delta U_2 \Rightarrow W_1 + Q_1 = W_2 + Q_2$

## فرآیندهای خاص

فرایندهای بی‌شماری می‌توان روی مقداری گاز انجام داد؛ اما ۴ نوع آن در کنکور بررسی می‌شوند ...

**۱- فرایند هم‌فشار:** $\boxed{\Delta U = Q + W}$ $\quad \Delta U = \frac{3}{5}Q \quad \Delta U = -\frac{3}{2}W \quad Q = -\frac{5}{2}W$

**۲- فرایند هم‌حجم:** در این فرایند، کار انجام‌شده روی گاز صفر است. $\Delta U = Q + \cancel{W} \longrightarrow \boxed{\Delta U = Q}$

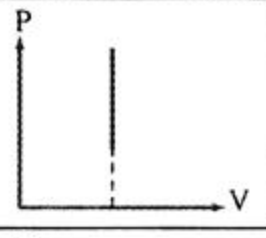
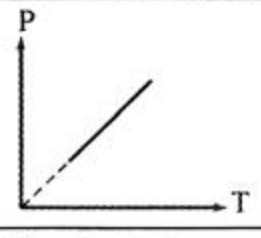
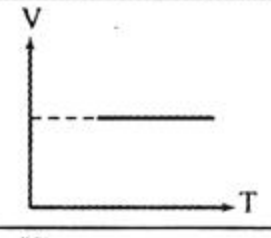
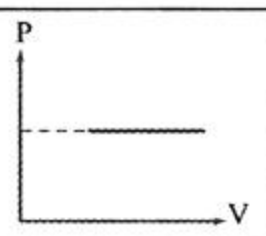
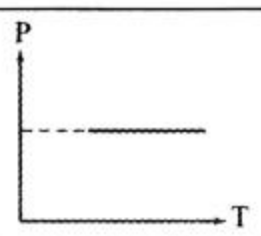
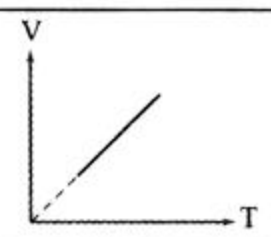
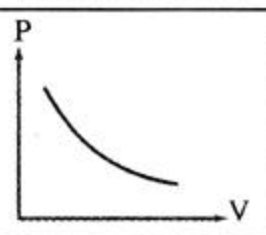
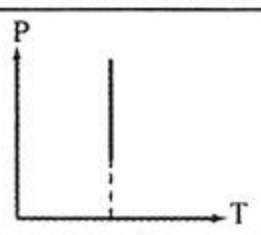
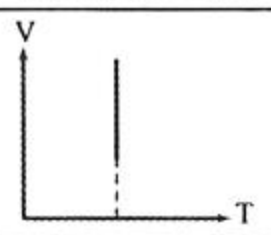
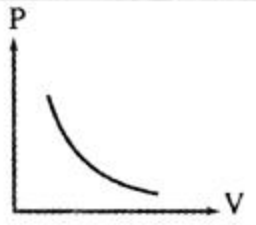
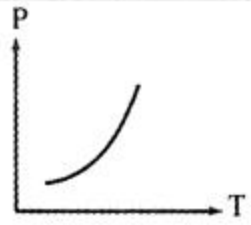
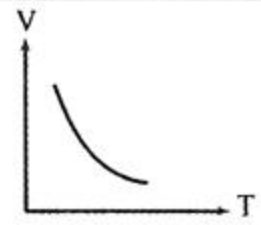
**۳- فرایند هم‌دما:** در این فرایند، دما و انرژی درونی گاز ثابت می‌ماند ... $\cancel{\Delta U} = Q + W \longrightarrow \boxed{Q = -W}$

**۴- فرایند بی‌دررو:** $\Delta U = \cancel{Q} + W \longrightarrow \boxed{\Delta U = W}$

در این نوع فرایند (که معمولاً یا سریع انجام می‌شود و یا ظرف حاوی گاز به‌خوبی عایق‌بندیِ گرمایی می‌شود)، گاز با محیط، گرمایی مبادله نمی‌کند.

**گرمای ویژه‌ی مولی در فشار ثابت** $(C_{MP})$: مقدار گرمایی است که یک مول گاز کامل می‌گیرد تا در فشار ثابت، دمای آن یک درجه‌ی سلسیوس افزایش یابد.

**گرمای ویژه‌ی مولی در حجم ثابت** $(C_{MV})$: مقدار گرمایی است که یک مول گاز کامل می‌گیرد تا در حجم ثابت، دمای آن یک درجه‌ی سلسیوس افزایش یابد.

| نوع فرایند | قانون عمومی | Q | W | $\Delta U$ | نمودار P − V | نمودار P − T | نمودار V − T |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| هم‌حجم $(V_1 = V_2)$ | $\frac{P_2}{P_1} = \frac{T_2}{T_1}$ | $nC_{MV}\Delta T$ | ۰ | $nC_{MV}\Delta T$ |  |  |  |
| هم‌فشار $(P_1 = P_2)$ | $\frac{V_2}{V_1} = \frac{T_2}{T_1}$ | $nC_{MP}\Delta T$ | $-P\Delta V$ | $nC_{MV}\Delta T$ |  |  |  |
| هم‌دما $(T_1 = T_2)$ | $\frac{P_2}{P_1} = \frac{V_1}{V_2}$ | $nRT\ln\frac{V_2}{V_1}$ مطالعه آزاد | ۰ | $-nRT\ln\frac{V_2}{V_1}$ مطالعه آزاد |  |  |  |
| بی‌دررو | $(\frac{P_2}{P_1})(\frac{V_2}{V_1}) = \frac{T_2}{T_1}$ | ۰ | $nC_{MV}\Delta T$ | $nC_{MV}\Delta T$ |  |  |  |

| نوع گاز | $C_{MV}$ | $C_{MP}$ |
|---|---|---|
| تک‌اتمی | $\frac{3}{2}R$ | $\frac{5}{2}R$ |
| دواتمی | $\frac{5}{2}R$ | $\frac{7}{2}R$ |
| چنداتمی | $\frac{7}{2}R$ | $\frac{9}{2}R$ |

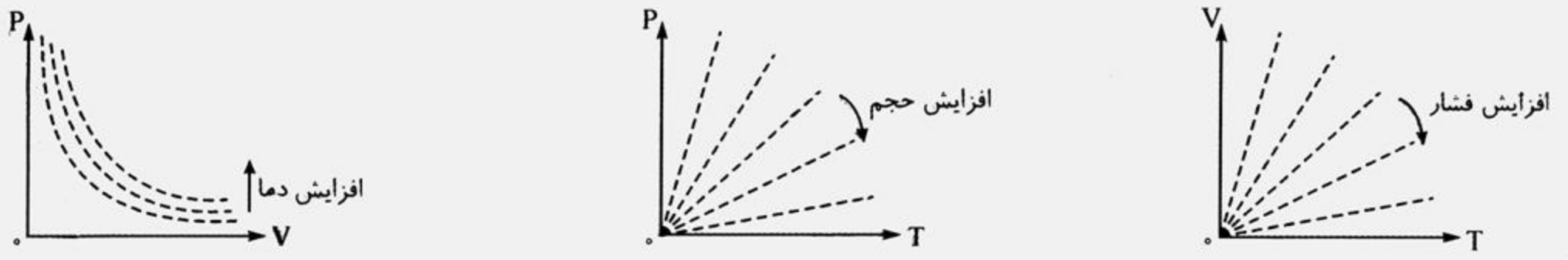
اگر از طرفینِ رابطه‌ی $PV = nRT$ دلتا بگیریم، داریم ...

$$PV = nRT \longrightarrow \Delta(PV) = \Delta(nRT) = nR(\Delta T)$$

از روی تغییرات حاصل‌ضرب PV، می‌توان به تغییرات دما پی‌برد.

$$\Delta(PV) > 0 \longrightarrow \Delta T > 0 \longrightarrow \Delta U > 0$$
$$\Delta(PV) = 0 \longrightarrow \Delta T = 0 \longrightarrow \Delta U = 0$$
$$\Delta(PV) < 0 \longrightarrow \Delta T < 0 \longrightarrow \Delta U < 0$$

**همانطور که در نمودار P-V منحنی های همدما رسم می کنیم، می توان در نمودار P-T ، خطوط هم حجم و در نمودار V-T ، خطوط هم فشار رسم کرد.**

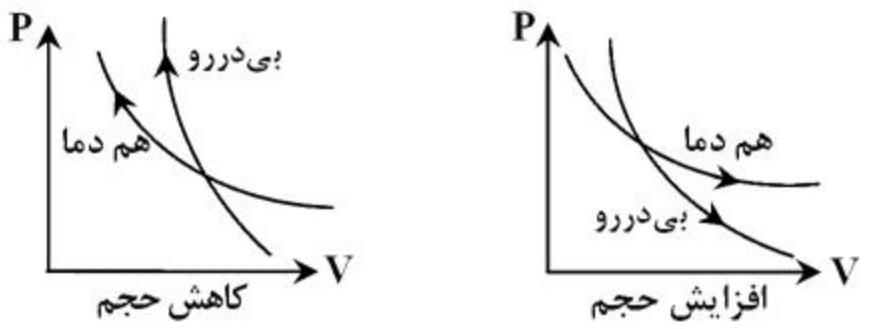



**تعبیر فیزیکی رابطه‌ی $C_{MP} > C_{MV}$ :**

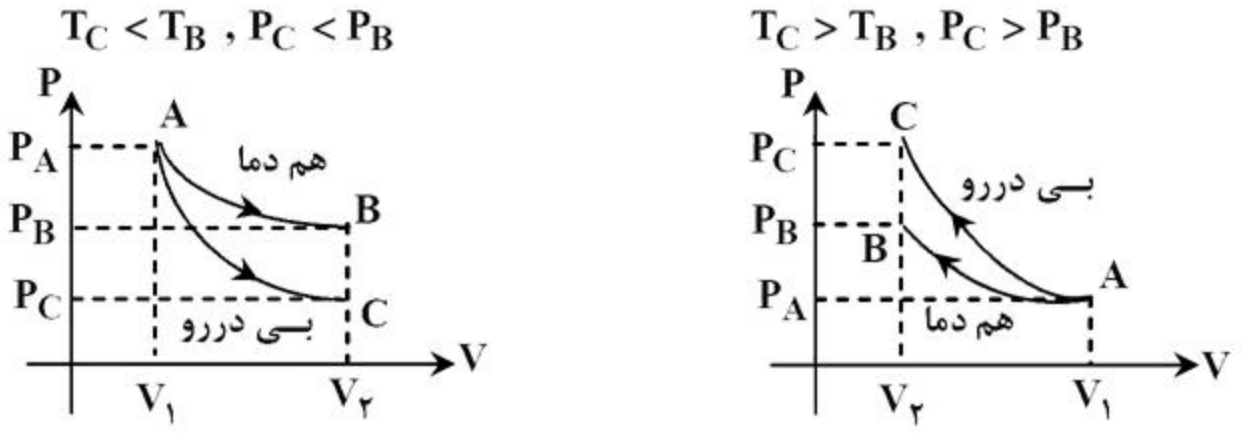
در فرآیند هم‌حجم کاری انجام نمی‌شود $(\Delta U = Q)$، بنابراین تمام گرمای داده شده به گاز باعث افزایش دمای گاز می‌شود. در حالی کـه در انبساط هم‌فشار بخشی از گرمایی که به گاز داده می‌شود در اثر انبساط و ایجاد کار، تلف می‌شود.

بنابراین برای این‌که دمای یک مول گاز یک کلوین افزایش یابد، در فرآیند هم‌فشار باید گرمای بیش‌تری به گاز داده شود و به همـین منظـور می‌بایست ظرفیت گرمایی ویژه در فشار ثابت بیش‌تر از ظرفیت گرمایی ویژه در حجم ثابت باشد.

در فرآیند بی‌دررو چون هر سه متغیر تغییر می‌کنند، نمی‌توان روابط و نمودارهای دقیقی در دستگاه‌های مختصات $P-V$ ، $V-T$ و $P-T$ برای آن رسم کرد. به‌همین خاطر از روابط و نمودارهای مقایسه‌ای مخصوصاً با نمودار هم‌دما استفاده می‌شود. معمولاً هنگام مقایسه‌ی یک فرآیند بی‌دررو و فرآیند هم‌دما با استفاده از نمودار $P-V$ ابتدا از محل تلاقی این نمودار شروع کرده و بسته به حالت مطرح شده در مسئله در جهت افزایش یا کاهش حجم پیش می‌رویم.

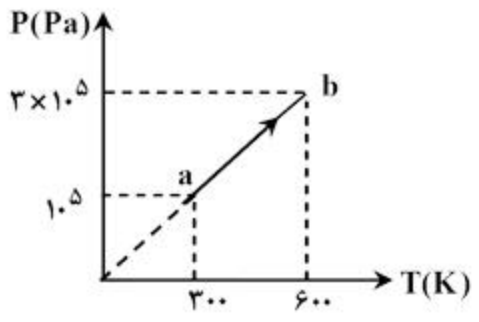



با توجه به نمودارهای فوق می‌توان نتیجه گرفت که شیب نمودار $P-V$ در یک تحول بی‌دررو همواره بیش‌تر از شیب نمودار هم‌دما است. در تعبیر فیزیکی آن می‌توان گفت از آن جایی که در فرآیند بی‌دررو دستگاه نمی‌تواند با محیط گرما مبادله کند، فشار و در نتیجه دمای آن در حین انجام کار بر روی دستگاه نسبت به فرآیند هم‌دما در حالت تراکم بیش‌تر افزایش می‌یابد و در حالت انبساط بیش‌تر کاهش می‌یابد.



## مثال ۶

نمودار $P-T$ نیم مول گاز کامل تک اتمی مطابق شکل است. در این فرآیند انرژی درونی گاز چند ژول افزایش می‌یابد؟ $(R \simeq ۸\frac{J}{mol.K}\ ,\ C_{MV}=\frac{۳}{۲}R)$



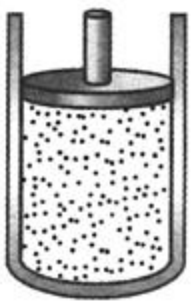

۱) ۶۰۰ ۲) ۱۲۰۰

۳) ۱۸۰۰ ۴) ۳۰۰۰

Zarifian

## مثال ۷

در شکل روبه‌رو، گازی تحت فشار $۱/۵\times۱۰^۵\ Pa$ در داخل استوانه‌ای قرار دارد که دهانه‌ی آن با پیستونی به اصطکاک ناچیز و سطح مقطع $۰/۰۳\ m^۲$ بسته شده است. اگر پیستون به‌آرامی $۲\ cm$ به سمت پایین جابه‌جا شود، کار انجام شده بر روی گاز چند ژول است؟ (فشار گاز در طول فرایند، ثابت و فشار هوا $۱۰^۵\ Pa$ است.)



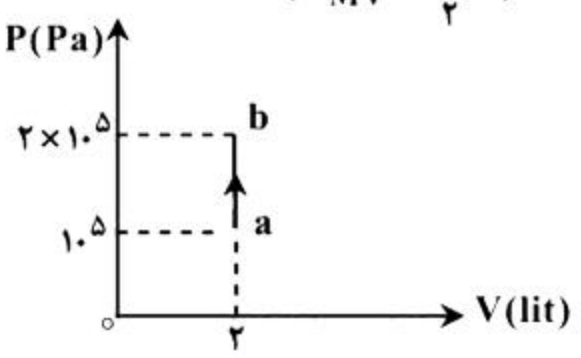
۱) ۶۰ ۲) ۹۰

۳) $-۶۰$ ۴) $-۹۰$

Zarifian

## مثال ۸

نمودار $P-V$ یک گاز کامل تک‌اتمی مطابق شکل است. در این فرآیند، انرژی درونی گاز ..... یافته است. $(C_{MV}=\frac{۳}{۲}R)$




۱) ۳۰۰ ژول کاهش

۲) ۳۰۰ ژول افزایش

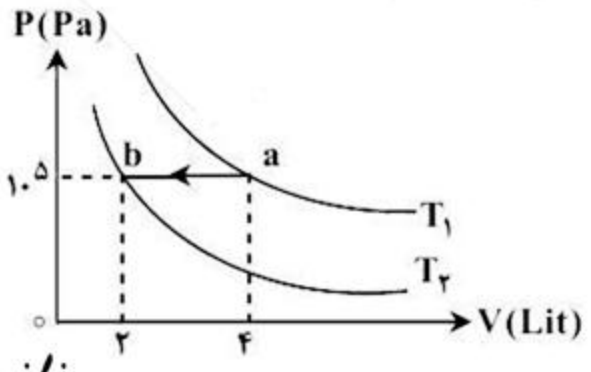
۳) $۳\times۱۰^۵$ ژول افزایش

۴) $۳\times۱۰^۵$ ژول کاهش

Zarifian

## مثال ۹

شکل مقابل مربوط به یک گاز کامل تک اتمی است که طی فرآیند ab به‌طور هم‌فشار از دمای $T_۱$ به دمای $T_۲$ رسیده است. تغییر انرژی درونی گاز در این فرآیند چند ژول است؟




۱) $+۵۰۰$

۲) $+۳۰۰$

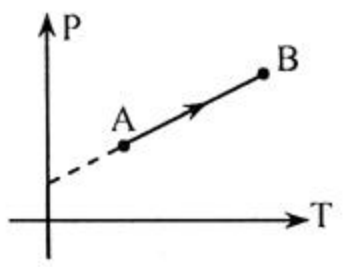
۳) $-۳۰۰$

۴) $-۵۰۰$

Zarifian

## مثال ۱۰

گاز کاملی طی یک فرآیند مطابق شکل از حالت A به B می‌رسد در این فرآیند:




۱) حجم گاز ثابت می‌ماند.

۲) حجم گاز افزایش می‌یابد.

۳) حجم گاز کاهش می‌یابد.

۴) حجم گاز ابتدا افزایش و سپس کاهش می‌یابد.

Zarifian

**مثال ۱۱**

در تراکم هم‌فشار به روی مقدار معینی گاز کامل تک اتمی، کار انجام شده بر روی گاز $W$ و گرمای مبادله شده‌ی گاز با محیط $Q$ است. داریم:

۱) $Q > W, Q > 0, W > 0$

۲) $|Q| > W, Q < 0, W > 0$

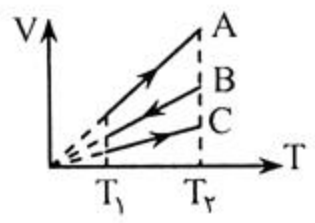
۳) $|Q| < W, Q < 0, W > 0$

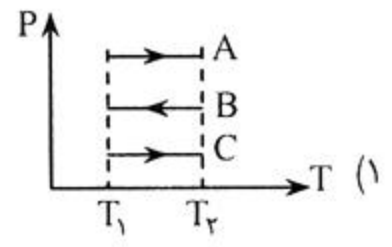
۴) $|Q| > W, Q < 0, W < 0$

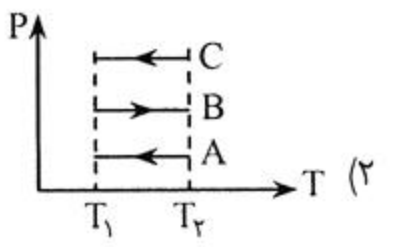
Zarifian

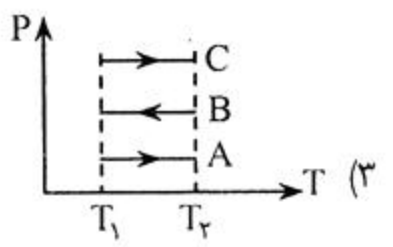
**مثال ۱۲**

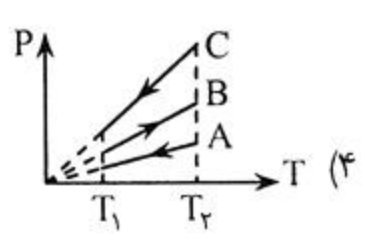
نمودار $V - T$ سه فرآیند A، B و C گاز کاملی به صورت شکل روبه‌رو است. نمودار $P - T$ آن‌ها کدام است؟




۱)



۲)


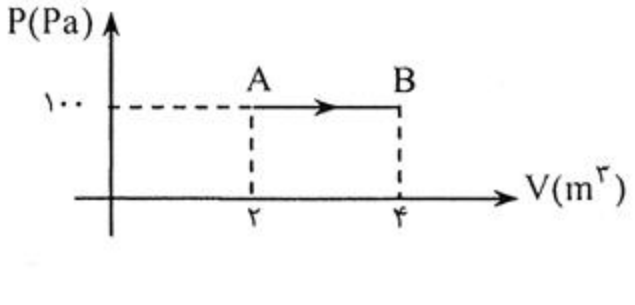

۳)



۴)



Zarifian

**مثال ۱۳**

مطابق شکل روبه‌رو، گاز کاملی فرآیند AB را طی می‌کند. اگر طی این فرآیند، ۷۰۰ ژول گرما به گاز داده شود، تغییرات انرژی درونی گاز بر حسب ژول کدام است؟




۱) ۳۰۰

۲) ۵۰۰

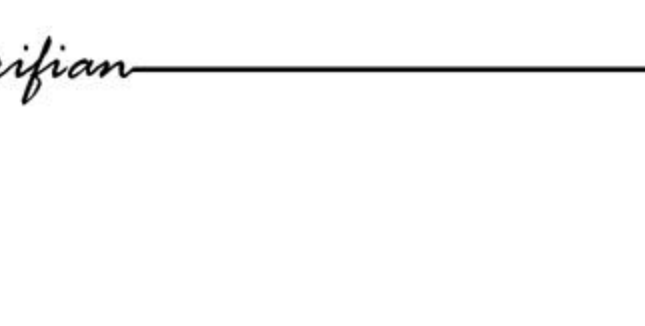
۳) −۵۰۰

۴) −۳۰۰

Zarifian

**مثال ۱۴**

شکل روبه‌رو نمودار هم دمای گاز کاملی را در دماهای ۳۰۰K و ۴۰۰K نشان می‌دهد. نسبت $\frac{P_۲}{P_۱}$ برابر است با:




۱) ۲

۲) $\frac{۱}{۲}$

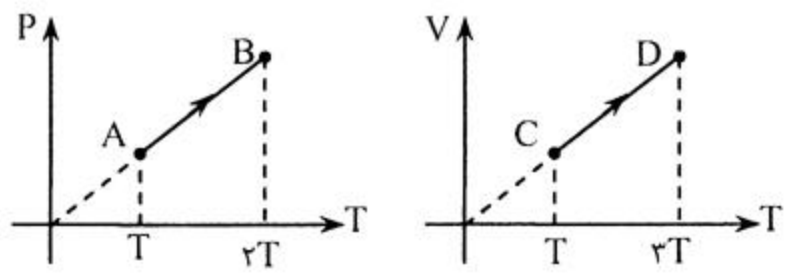
۳) $\frac{۳}{۴}$

۴) $\frac{۴}{۳}$

Zarifian

**مثال ۱۵**

مطابق شکل، ۲ مول گاز تک اتمی از حالت A به B می‌رسد و ۱ مول گاز دو اتمی از حالت C به D می‌رسد. اگر $Q_{AB}$ و $Q_{CD}$ گرمای مبادله شده‌ی گازها با محیط باشد، نسبت $\frac{Q_{CD}}{Q_{AB}}$ برابر است با:




۱) $\frac{۵}{۳}$

۲) $\frac{۷}{۳}$

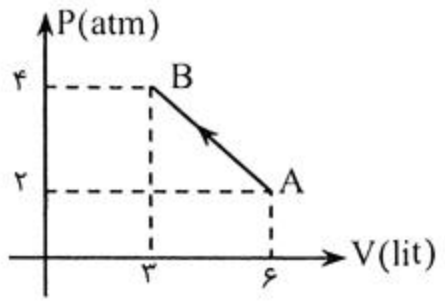
۳) $\frac{۳}{۵}$

۴) $\frac{۳}{۷}$

Zarifian

**مثال ۱۶**

**شکل مقابل فرآیند آرمانی یک گاز کامل را از حالت A به B نشان می‌دهد. در حین این فرآیند دمای گاز چگونه تغییر کرده است؟**




۱) ابتدا کاهش و سپس افزایش یافته است.

۲) در طول فرآیند ثابت مانده است.

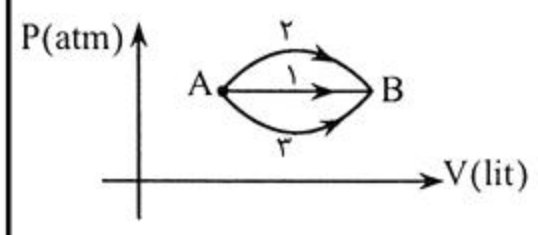
۳) به تدریج کاهش یافته است.

۴) ابتدا افزایش و سپس کاهش یافته است.

Zarifian

**مثال ۱۷**

**مطابق شکل مقدار معینی از یک گاز کامل طی سه فرآیند جداگانه از حالت A به B می‌رسد. کدام گزینه در مورد گرمایی که گاز در سه فرآیند دریافت می‌کند درست است؟**




۱) $Q_۲ > Q_۱ > Q_۳$ ۲) $Q_۲ < Q_۱ < Q_۳$

۳) $Q_۱ < Q_۲ < Q_۳$ ۴) $Q_۱ > Q_۲ > Q_۳$

Zarifian

**مثال ۱۸**

**یک قطعه یخ به حجم $۲\ cm^۳$ و دمای $۰\ ^\circ C$، در فشار $۱\ atm$ قرار دارد و با جذب گرما از هوای اطراف ذوب می‌شود. اگر چگالی یخ پس از ذوب به $\frac{۱۰}{۹}$ مقدار اولیه‌اش برسد، کاری که هوا روی یخ انجام داده است، چند ژول است؟**

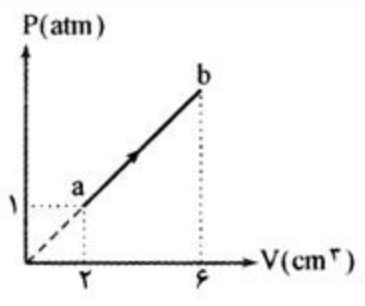
۱) $-\frac{۱}{۴۵}$ ۲) $\frac{۱}{۴۵}$

۳) $-\frac{۱}{۵۰}$ ۴) $\frac{۱}{۵۰}$

Zarifian

**مثال ۱۹**

**مطابق شکل روبه‌رو، مقداری گاز کامل تک‌اتمی از حالت a به b منتقل می‌شود. گرمای جذب شده توسط گاز در این فرایند، چند ژول است؟**



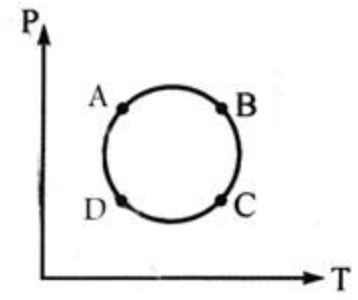

۱) ۰/۸ ۲) ۱/۶

۳) ۲/۴ ۴) ۳/۲

Zarifian

**مثال ۲۰**

**نمودار P – T گاز کاملی به‌صورت روبه‌روست. در این صورت در کدام نقطه، گاز دارای حجم بیشتری است؟**




۱) A

۲) B

۳) C

۴) D

Zarifian

**۲۱ - ۲۰ گرم گاز کامل در فشار ۴ اتمسفر در محفظه‌ای به حجم ۳۰ لیتر قرار دارد. در دمای ثابت، ۱۰ گرم از گاز را خارج کرده و حجم محفظه را نیز نصف می‌کنیم. فشار آن چند اتمسفر می‌شود؟** ۸۵

۱) ۲
۲) ۴
۳) ۶
۴) ۸

**۲۲ - در یک فرایند روی مقدار معیّنی گاز کامل، دمای دستگاه بدون دریافت یا انتقال گرما تغییر می‌کند. این فرایند می‌تواند ..... باشد.** ۸۵

۱) هم حجم
۲) هم فشار
۳) هم دما
۴) بی‌دررو

**۲۳ - دستگاهی از گاز کامل در یک فرایند هم دما ۶۰۰ ژول کار روی محیط انجام می‌دهد. انرژی درونی این دستگاه:** ۸۶

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

**۲۴ - در یک فرایند هم فشار، یک لیتر گاز کامل دواتمی با دمای صفر درجه‌ی سلسیوس مقداری گرما از دست می‌دهد و حجم آن در فشار یک اتمسفر به ۰/۸ حجم اولیه‌اش می‌رسد. در این فرایند، گاز چند ژول گرما از دست می‌دهد؟** $\left(1atm = 10^5 Pa \ , \ C_{MP} = \frac{7}{2}R\right)$ ۸۶

۱) ۵۰
۲) ۷۰
۳) ۱۰۰
۴) ۴۰

**۲۵ - در یک سیستم گاز کامل، در کدام فرایند انرژی درونی گاز کاهش می‌یابد؟** ۸۷

۱) انقباض هم‌دما
۲) انبساط هم‌دما
۳) انبساط بی‌دررو
۴) انقباض بی‌دررو

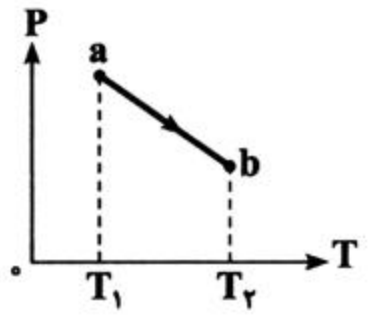
**۲۶ - مقداری گاز کامل تک اتمی در فشار $P_1$، حجم $V_1$ و دمای مطلق $T_1$ قرار دارد. طی یک فرایند هم حجم دمای گاز به $T_2 = 2T_1$ می‌رسد و گاز گرمای $Q_1$ را دریافت می‌کند. سپس طی یک فرآیند هم فشار دمای گاز به $T_3 = 4T_2$ می‌رسد و گاز گرمای $Q_2$ را دریافت می‌کند. $Q_2$ چند برابر $Q_1$ است؟** ۸۷

۱) ۵
۲) ۱۰
۳) $\frac{5}{6}$
۴) $\frac{10}{3}$

**۲۷ - در کدام فرایند ترمودینامیکی، تغییر انرژی درونی گاز کامل با کار انجام شده روی گاز برابر است؟** ۸۸

۱) هم‌حجم
۲) بی‌دررو
۳) هم‌دما
۴) هم‌فشار

۸۸ **۲۸ - نمودار (P - T) یک مول گاز کامل طی یک فرایند مطابق شکل مقابل است. کدام عبارت در خصوص فرایند ab درست است؟**




۱) حجم گاز افزایش یافته است.
۲) گاز گرما از دست داده است.
۳) انرژی درونی گاز کاهش یافته است.
۴) کار انجام شده روی گاز مثبت است.

۸۹ **۲۹ - مقداری گاز کامل تک اتمی طی فرآیندی هم‌فشار ۵۰۰J گرما از محیط می‌گیرد. تغییر انرژی درونی این گاز چند ژول است؟** $(C_{MP}=\frac{5}{2}R)$

۱) ۲۰۰
۲) ۳۰۰
۳) ۵۰۰
۴) ۴۰۰

۹۰ **۳۰ - دو مول گاز کامل تک‌اتمی به حجم ۱/۷۵ مترمکعب را در فشار ثابت منبسط کرده‌ایم. اگر دمای اولیه‌ی گاز ۳۵۰ کلوین باشد و در این فرایند $10^4$ ژول گرما مبادله شده باشد، دمای ثانویه چند کلوین و حجم ثانویه چند متر مکعب است؟** $(R=8J/mol.K)$

۱) ۶۰۰ و ۳
۲) ۷۶۶ و ۳
۳) ۷۶۶ و ۳/۸
۴) ۶۰۰ و ۳/۸

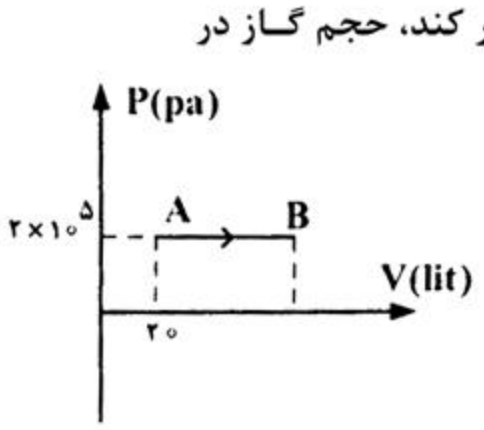
۹۰ **۳۱ - مخزنی به حجم ۵ لیتر حاوی گاز اکسیژن در فشار $10^5Pa$ و دمای $27^\circ C$ است. جرم گاز موجود در مخزن چند گرم است؟** $(R=8J/mol.K \text{ و } M_{O_2}=32g/mol)$

۱) $\frac{10}{3}$
۲) $\frac{5}{3}$
۳) $\frac{20}{3}$
۴) $\frac{5}{24}$

۹۱ **۳۲ - حجم گاز کاملی در فشار $10^5pa$ و دمای $27^\circ C$، برابر $1cm^3$ است. تعداد مولکولهای گاز کدام است؟** ($R=8\frac{J}{mol.k}$ و عدد آووگادرو $=6\times10^{23}$)

۱) $2/5\times10^{21}$
۲) $2/5\times10^{19}$
۳) $\frac{10^{13}}{24}$
۴) $\frac{10^{23}}{24}$

۹۱ **۳۳ - یک گاز کامل تک اتمی، فرایند AB را مطابق شکل طی می‌کند. اگر انرژی درونی گاز طی این فرایند 9kJ تغییر کند، حجم گاز در حالت B چند لیتر است؟** $(C_{MP}=\frac{5}{2}R \text{ و } C_{MV}=\frac{3}{2}R)$

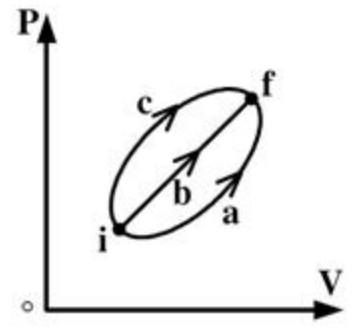



۱) ۳۰
۲) ۳۸
۳) ۴۵
۴) ۵۰

۹۱ **۳۴ - حجم اولیه‌ی گاز کاملی در دمای $27^\circ C$ برابر ۲ لیتر است. اگر در فشار ثابت $1/5\times10^5$ پاسکال، دمای آن را به $127^\circ C$ برسانیم. کاری که گاز روی محیط انجام می‌دهد، چند ژول است؟**

۱) ۱
۲) $\frac{200}{3}$
۳) ۱۰۰
۴) ۳۰۰

**۳۵ - نمودار ( $P-V$ )ی گاز کاملی که از سه مسیر a، b و c از حالت i به حالت f می‌رود، مطابق شکل زیر است. اگر تغییر انرژی درونی گاز $\Delta u$ و گرمایی که گاز می‌گیرد Q باشد، کدام رابطه درست است؟** ۹۲



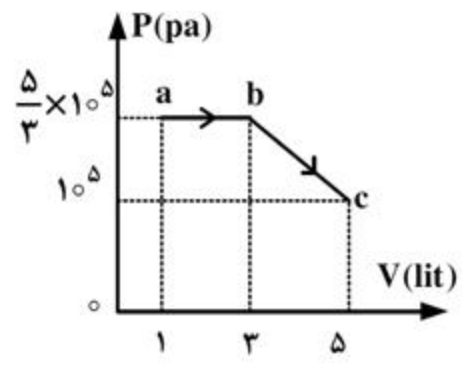

۱) $Q_c > Q_b > Q_a > 0$

۲) $Q_a > Q_b > Q_c > 0$

۳) $\Delta u_a = \Delta u_b = \Delta u_c < 0$

۴) $\Delta u_a = \Delta u_b = \Delta u_c = 0$

**۳۶ - نمودار ( $P-V$ )ی یک گاز کامل تک اتمی مطابق شکل زیر است. گرمایی که گاز در فرایند abc با محیط مبادله می‌کند، چند ژول است؟ ( $R = 8 \frac{J}{mol.k}$ )** ۹۲



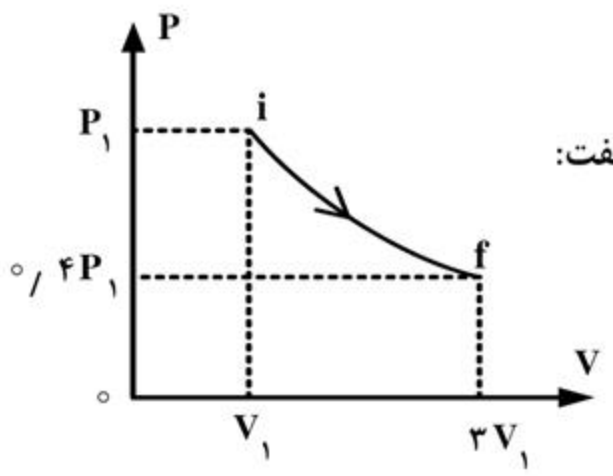

۱) ۱۱۰۰ ۲) ۳۳۰۰

۳) $\frac{1700}{3}$ ۴) $\frac{2300}{3}$

**۳۷ - دمای ۲ مول گاز کامل، در فشار ثابت از ۳۰ درجهٔ سلسیوس به ۸۰ درجهٔ سلسیوس افزایش می‌یابد. کار انجام شده روی گاز در این فرایند چند ژول است؟ ( $R = 8/3 \frac{J}{mol.K}$ )** ۹۳

۱) ۴۱۵ ۲) −۴۱۵ ۳) ۸۳۰ ۴) −۸۳۰

**۳۸ - مطابق شکل زیر، مقداری گاز کامل، طی فرایندی از حالت i به حالت f می‌رسد. در مورد این فرایند می‌توان گفت:** ۹۳



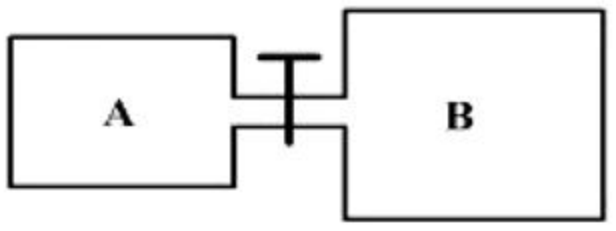

۱) فرایند هم دما است.

۲) فرایند بی‌دررو است.

۳) گاز گرما گرفته است.

۴) کار انجام شده روی گاز مثبت است.

**در شکل روبه‌رو، ظرف A به حجم ۲ لیتر حاوی گاز اکسیژن با دمای $47^\circ C$ و فشار ۴ اتمسفر است و ظرف B به حجم ۵ لیتر، کاملاً خالی است. اگر شیر رابط را باز کنیم و دمای گاز در ظرف‌ها به ۷ درجهٔ سلسیوس برسد، فشار گاز چند اتمسفر می‌شود؟** ۹۴




۱) ۰/۷۵

۲) ۱/۲۵

۳) ۱

۴) ۲

**در جدول روبه‌رو، به جای X و Y از راست به چپ کدام‌یک از کلمه‌های زیر مناسب است؟** ۹۴

| انرژی درونی | حجم | فشار | نوع فرایند |
|---|---|---|---|
| X | Y | کاهش | بی‌دررو |

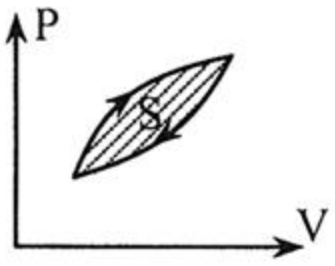
۱) کاهش، افزایش

۲) افزایش، افزایش

۳) افزایش، کاهش

۴) کاهش، کاهش

**چرخه:** فرآیندی که در طول آن دستگاه پس از طی چند فرآیند به حالت اولیه‌ی خود برمی‌گردد.



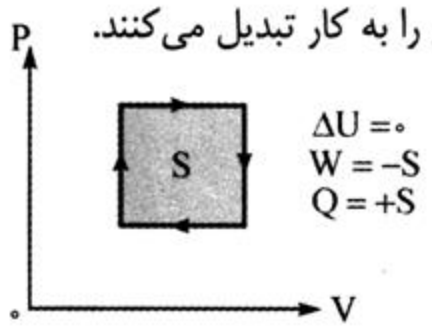

- تغییر انرژی درونی دستگاه در چرخه صفر است. $(\Delta U = 0\ ,\ W = -Q)$

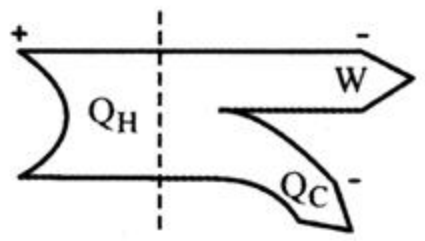
تغییر انرژی درونی یک گاز کامل در هر فرآیند دلخواهی از رابطه‌ی $\Delta U = nC_{MV}\Delta T$ به‌دست می‌آید.

$$\text{داخل چرخه } |W| = S \text{ : در هر چرخه} \Rightarrow \begin{cases} \text{چرخه ی ساعتگرد} \Rightarrow \begin{pmatrix} W_T < 0 \\ \Delta U = 0 \\ |W_T| = S \end{pmatrix} \Rightarrow W_T + Q_T = 0 \Rightarrow Q_T > 0 \\ \text{چرخه ی پاد ساعتگرد} \Rightarrow \begin{pmatrix} W_T > 0 \\ \Delta U = 0 \\ |W_T| = S \end{pmatrix} \Rightarrow W_T + Q_T = 0 \Rightarrow Q_T < 0 \end{cases}$$

## ماشین گرمایی

اگر چرخه ساعتگرد باشد، مربوط به ماشین گرمایی است. ماشین‌های گرمایی گرما دریافت می‌کنند و مقداری از آن را به کار تبدیل می‌کنند.

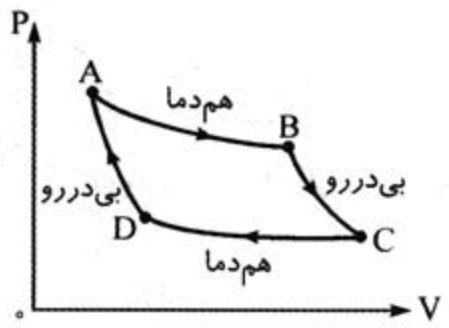



$$Q_H = |W| + |Q_C|$$
$$\eta = \frac{|W|}{Q_H} = 1 - \frac{|Q_C|}{Q_H}$$

اگر ماشین گرمایی با چرخه‌ای موسوم به کارنو کار کند، بازده آن، در چنین شرایطی، نسبت به دیگر ماشین‌های گرمایی بیشتر خواهد بود. در این صورت بازده‌ی ماشین گرمایی این‌گونه به‌دست می‌آید ...

$$\eta_{max} = 1 - \frac{T_C}{T_H}$$




چرخه‌ی کارنو

- قانون دوم ترمودینامیک (بیان ماشین گرمایی):

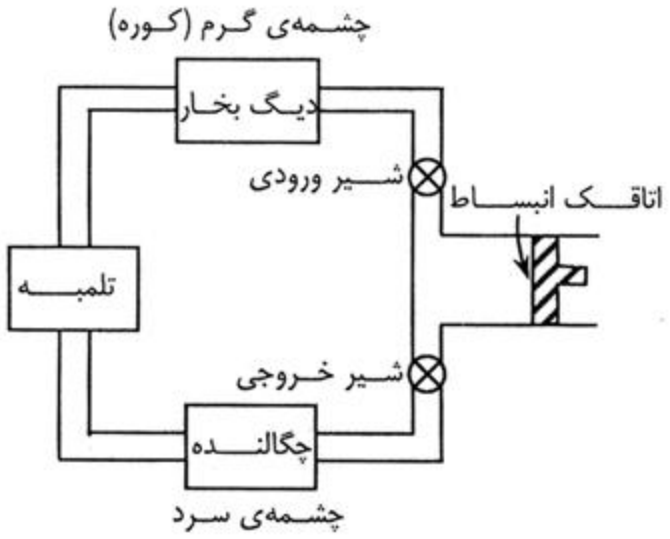
ممکن نیست دستگاه چرخه‌ای را بپیماید که در حین آن مقداری گرما را از منبع گرم جذب و تمام آن را به کار تبدیل کند.

- بنا به قانون دوم ترمودینامیک هرگز $Q_C$ برابر صفر نمی‌شود.
- بنا به قانون دوم ترمودینامیک هرگز بازده‌ی یک ماشین گرمایی ۱۰۰٪ نمی‌شود.

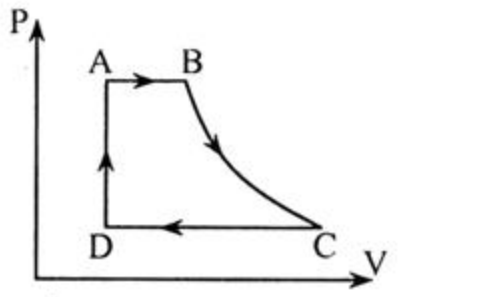
$$Q_H = |W| + Q_C \Rightarrow \begin{cases} \text{هرگز} \quad Q_H = |W| \\ \text{همواره} \quad |Q_C| \neq 0 \end{cases}$$

**قانون اول ترمودینامیک تنها اصل بقای انرژی را مورد بررسی قرار می‌دهد، در حالی‌که قانون دوم مجموعه‌ای از بایدها و نبایدها است و شدنی بودن را بررسی می‌کند.**

## ماشین بخار



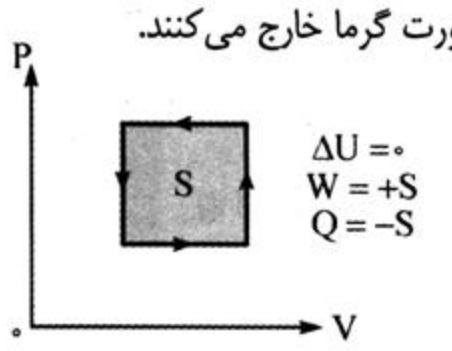

- ماشین بخار در نواحی مختلف جهان برای تولید برق مورد استفاده قرار می‌گیرد.
- در ماشین بخار دستگاهی که چرخه را طی می‌کند، آب است.
- آب در دیگ بخار مقداری گرما دریافت می‌کند و پس از طی چند فرآیند مختلف به حالت اولیه‌ی خود در دیگ بخار برمی‌گردد و این چرخه دائماً تکرار می‌شود.
- ماشین بخار را ماشین برون‌سوز گویند زیرا گرما توسط کوره از بیرون به آب داده می‌شود.
- از A تا B: تبدیل آب به بخار آب داغ در فشار ثابت با گرفتن گرما از کوره.
- B تا C: انبساط بی‌دررو بخار آب، در این مرحله انرژی مکانیکی مورد نیاز از ماشین بخار به دست می‌آید. در این مرحله شیر ورودی باز شده، بخار پیستون را در اتاقک انبساط به عقب می‌راند.
- از C تا D: میعان بخار آب در فشار ثابت
- از D تا A: افزایش فشار آب تا فشار اولیه در حجم تقریباً ثابت

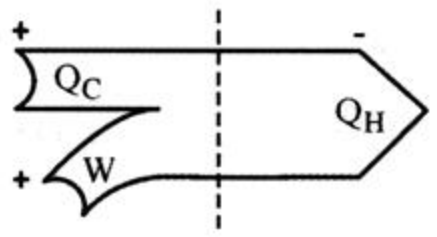



نمودار P - V یک ماشین بخار آرمانی

## یخچال

اگر چرخه پادساعتگرد باشد، مربوط به یخچال است. یخچال‌ها مقداری گرما و کار دریافت می‌کنند و کل آن را به‌صورت گرما خارج می‌کنند.




$$Q_C + W = |Q_H|$$

$$K = \frac{Q_C}{W}$$

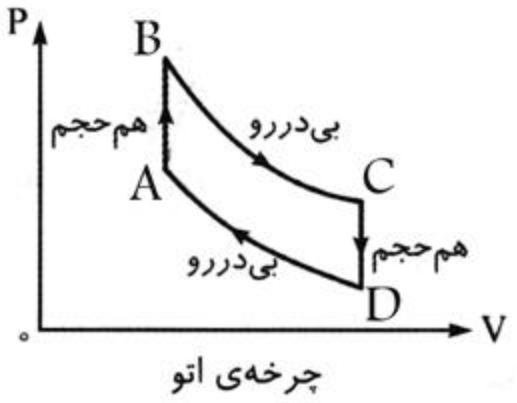
**قانون دوم ترمودینامیک به بیانِ یخچالی:** هیچ یخچالی نمی‌تواند بدون دریافت کار، گرما را از منبع سرد به منبع گرم منتقل کند.

— وجود برفک روی بدنه‌ی داخلی محفظه‌ی یخ‌ساز یخچال مانند عایق گرمایی عمل می‌کند و جلوی انتقال گرما به گاز فریون گرفته می‌شود و در عملکرد یخچال اختلال ایجاد می‌کند.

— کولرهای گازی نیز درست همانند یخچال عمل می‌کنند. برای یک کولر گازی، فضای اتاق مانند فضای داخل یخچال است که باید گرما از آن گرفته شود و به بیرون اتاق داده شود.

— با باز گذاشتن در یخچال نمی‌توان آشپزخانه را خنک کرد، زیرا اساس کار یخچال انتقال گرما از داخل یخچال به محیط بیرون است. اگر در یخچال باز باشد، این دو محیط یکی می‌شود، بنابراین نه‌تنها آشپزخانه خنک نمی‌شود، بلکه گرم‌تر نیز می‌شود، چون مقداری از کار موتور یخچال هم به‌صورت گرما ظاهر می‌شود.

— قانون دوم ترمودینامیک به بیان ماشین گرمایی و یخچالی دو بیان متفاوت از یک مفهوم فیزیکی هستند. یعنی اگر قانون دوم ترمودینامیک به‌بیان یخچالی نقض شود (یعنی اگر گرما خودبه‌خود از جسم سرد به جسم گرم منتقل شود.) قانون دوم ترمودینامیک به بیان ماشین گرمایی نیز نقض می‌شود (یعنی می‌توان ماشینی ساخت که در طی یک چرخه تمام گرما را به‌کار تبدیل کند.) و برعکس.



چرخه‌ی اتو

**ماشین گرمایی درون سوز:** (چرخه‌ی اُتو)

- از D تا A: پیستون طی یک فرآیند بی‌دررو بالا می‌رود و گاز را متراکم می‌کند.
- از A تا B: در اثر جرقه‌ی شمع، مخلوط هوا و سوخت منفجر گشته، طی یک فرآیند هم‌حجم، دما و فشار به شدت بالا می‌رود. ( $Q_H$ دریافت می‌شود)
- از B تا C: در یک فرآیند بی‌دررو پیستون به پایین رانده می‌شود.
- از C تا D: در یک فرآیند هم‌حجم، گاز از سوپاپ خروجی خارج شده و فشار گاز کاهش می‌یابد.

**مثال ۳۹**

**یک ماشین گرمایی با بازده ۲۵٪ در هر چرخه ۱۵۰۰ ژول گرما به محیط می‌دهد. مقدار گرمای دریافتی توسط ماشین از چشمه‌ی گرم و کار انجام شده به وسیله‌ی ماشین بر حسب ژول به ترتیب از راست به چپ عبارتند از:**

۱) ۱۸۰۰ و ۳۰۰ ۲) ۱۲۰۰ و ۳۰۰

۳) ۲۰۰۰ و ۵۰۰ ۴) ۱۵۰۰ و ۵۰۰

Zarifian

**مثال ۴۰**

**کدام‌یک از گزینه‌های زیر در مورد یک ماشین گرمایی می‌تواند درست باشد؟**

۱) $Q_H = ۱۲۰J$ , $W = ۶۰J$ , $Q_C = ۶۰J$

۲) $Q_H = ۲۰۰J$ , $W = -۲۰۰J$ , $Q_C = ۰$

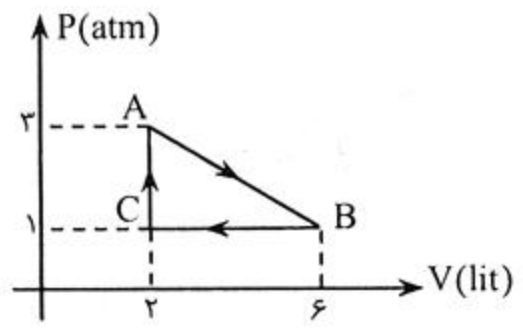
۳) $Q_H = ۱۰۰J$ , $Q_C = -۳۰J$ , $T_C = ۳۰۰K$ , $T_H = ۹۰۰K$

۴) $Q_H = ۱۰۰J$ , $Q_C = -۵۵J$ , $T_C = ۲۰۰K$ , $T_H = ۸۰۰K$

Zarifian

**مثال ۴۱**

چرخه‌ی شکل مقابل مربوط به یک گاز کامل تک اتمی مربوط به یک ماشین گرمایی است.
بازده‌ی گرمایی این ماشین تقریباً چند درصد است؟




۱) ۱۴
۲) ۲۸
۳) ۱۸
۴) ۳۶

Zarifian

**مثال ۴۲**

ضریب عملکرد یک یخچال ۵ است. اگر با ۵ دقیقه کار موتور مقدار $۱۸\times۱۰^{۵}$ ژول گرما از داخل یخچال گرفته شود، توان موتور یخچال چند کیلووات است؟

۱) ۱/۲ ۲) ۲/۴ ۳) ۳/۶ ۴) ۴/۸

Zarifian

**مثال ۴۳**

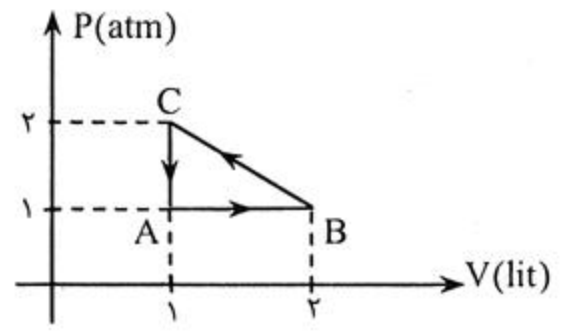
کدام‌یک از بیان‌های زیر در مورد یک ماشین گرمایی و یا یک یخچال، قانون اول ترمودینامیک را نقض می‌کند؟

۱) $Q_H = ۵۸۰J$ , $Q_C = -۲۴۰J$ , $W = -۳۴۰J$
۲) $Q_H = ۳۲۰J$ , $Q_C = ۰$ , $W = -۳۲۰J$
۳) $Q_H = ۴۵۰J$ , $Q_C = -۲۵۰J$ , $W = -۱۸۰J$
۴) $Q_H = -۲۸۰J$ , $Q_C = +۲۸۰J$ , $W = ۰$

Zarifian

**مثال ۴۴**

۲ مول گاز ۲ اتمی چرخه‌ی ABCA را طی می‌کند. این چرخه مربوط به کدام دستگاه زیر است؟




۱) یخچال، $K = ۵$
۲) یخچال، $k = ۷$
۳) موتور گرمایی $\eta = ۶۰٪$
۴) موتور گرمایی $\eta = ۴۰٪$

Zarifian

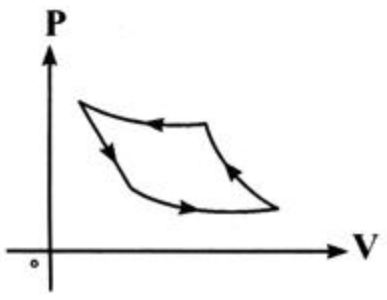
**مثال ۴۵**

یک موتور بنزینی، در هر چرخه ۸۰ ژول گرما از سوخت می‌گیرد و توان خروجی‌اش ۱۴۰۰ W است. اگر بازده‌ی این ماشین ۳۵٪ باشد، در هر ثانیه چند چرخه می‌پیماید؟

۱) ۲۵ ۲) ۳۰ ۳) ۴۰ ۴) ۵۰

Zarifian

۴۶ - نمودار P - V (فشار بر حسب حجم) چرخه‌ای که دستگاه در یک یخچال فرضی طی می‌کند، مانند شکل مقابل است. اگر ضریب عملکرد آن ۴ و مساحت داخل چرخه ۳kJ باشد، این یخچال در هر چرخه چند کیلوژول گرما به محیط می‌دهد؟




۸۴

۱) ۳ ۲) ۹

۳) ۱۲ ۴) ۱۵

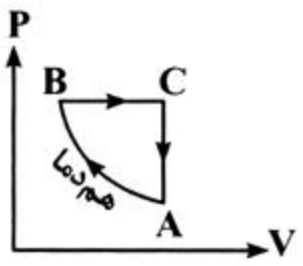
۴۷ - اختلاف دمای منبع گرم و منبع سرد در یک ماشین گرمایی ۲۷°C است. اگر بیشترین بازده‌ی این ماشین ۳۰٪ باشد، دمای منبع گرم تقریباً چند درجه‌ی سانتی‌گراد است؟

۸۴

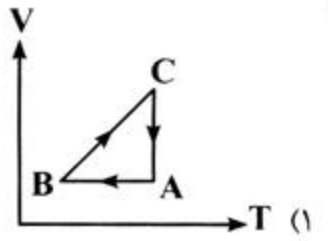
۱) ۹۰ ۲) ۱۱۷

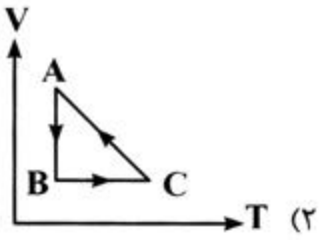
۳) -۱۵۶ ۴) -۱۸۳

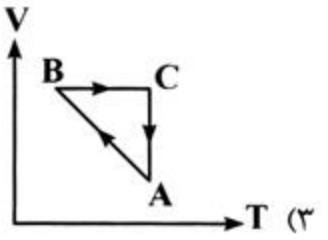
۴۸ - نمودار P - V، سه فرایند ترمودینامیکی گاز کامل در شکل روبه‌رو رسم شده است. نمودار V - T آن‌ها کدام است؟

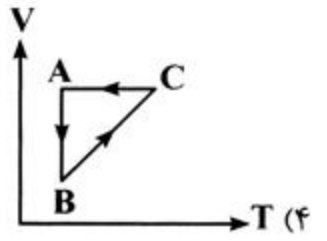



۸۵

۱)


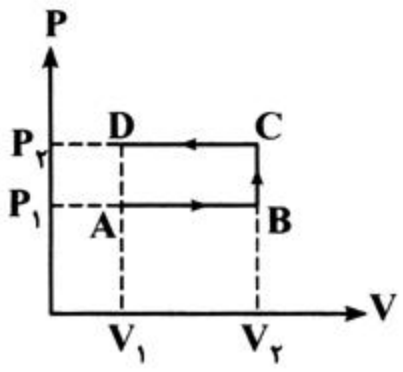

۲)



۳)



۴)



۴۹ - مطابق شکل، گاز کاملی سه فرایند AB، BC و CD را طی می‌کند. وقتی گاز از حالت A، از مسیر مشخص شده، به حالت D می‌رود، کدام گزینه‌ی زیر درست است؟

۸۶

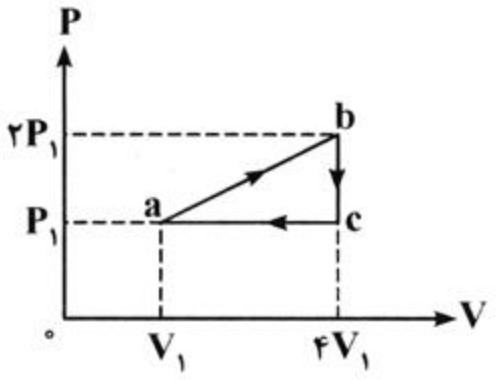



۱) انرژی درونی گاز ثابت می‌ماند. ۲) کار محیط روی گاز منفی است.

۳) انرژی درونی گاز افزایش می‌یابد. ۴) کاری که گاز روی محیط انجام می‌دهد برابر صفر است.

۵۰ - یک گاز کامل تک‌اتمی چرخه‌ای را مطابق شکل می‌پیماید. تغییر انرژی درونی گاز در فرآیند ab، چند برابر $P_1V_1$ است؟ $\left(C_{MV}=\frac{3}{2}R\ ,\ C_{MP}=\frac{5}{2}R\right)$

۸۷




۱) ۴/۵ ۲) ۸

۳) ۱۰/۵ ۴) ۱۵

۵۱ - یک ماشین که با چرخه‌ی کارنو کار می‌کند به اندازه‌ی $۱/۲۶\times۱۰^{۷}$ ژول گرما از منبع گرم با دمای ۶۲۷ درجه‌ی سلسیوس گرفته و مقداری از آن را به منبع سرد با دمای ۲۷ درجه‌ی سلسیوس می‌دهد. کار انجام شده توسط ماشین و گرمایی را که به چشمه‌ی سرد داده است، به ترتیب از راست به چپ هر کدام چند ژول است؟

۸۸

۱) $|Q_C|=۸/۴\times۱۰^{۶}\ ,\ |W|=۴/۲\times۱۰^{۶}$ ۲) $|Q_C|=۴/۲\times۱۰^{۶}\ ,\ |W|=۸/۴\times۱۰^{۶}$

۳) $|Q_C|=۶\times۱۰^{۵}\ ,\ |W|=۱۲\times۱۰^{۶}$ ۴) $|Q_C|=۱۲\times۱۰^{۶}\ ,\ |W|=۶\times۱۰^{۵}$

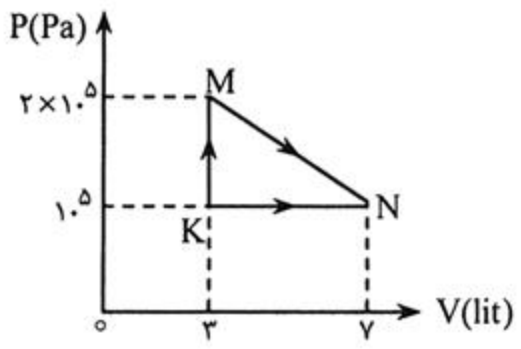
۵۲ - حداکثر بازده‌ی ماشین حرارتی که بین دماهای جوش و انجماد آب (۱۰۰ و صفر درجه‌ی سلسیوس) کار می‌کند، تقریباً چند درصد است؟

۸۹

۱) ۱۵ ۲) ۲۷

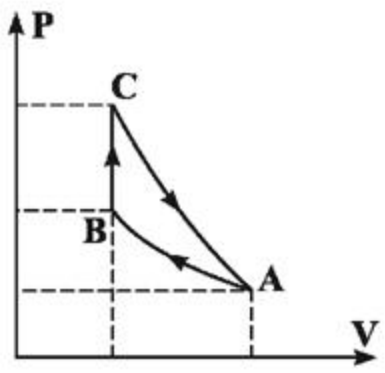
۳) ۴۰ ۴) ۳۳

**۵۳ - مطابق شکل مقابل، گاز دو اتمی، از طریق دو مسیر از K به N رسیده است. گرمایی که گاز در مسیر KMN گرفته، چند ژول است؟** $(C_{MP}=\frac{۷}{۲}R \text{ و } C_{MV}=\frac{۵}{۲}R)$ ۸۹




۱) ۶۰۰ ۲) ۸۰۰
۳) ۱۶۰۰ ۴) ۱۲۰۰

**۵۴ - یک گاز کامل تک‌اتمی چرخه‌ای شامل سه فرایند متوالی هم‌دما، هم‌حجم و بی‌دررو را مطابق شکل روبه‌رو، طی می‌کند. کار انجام شده روی محیط در فرایند بی‌دررو، برابر با کدام است؟** ۹۰




۱) کار انجام‌شده در کل چرخه ۲) گرمای مبادله شده در فرایند هم‌دما
۳) کار انجام شده در فرایند هم‌دما ۴) گرمای مبادله شده در فرایند هم‌حجم

**۵۵ - اگر دمای چشمه‌ی سرد یک ماشین گرمایی را که با چرخه‌ی کارنو کار می‌کند ۱۰۰ کلوین کاهش دهیم، بازده آن از $\eta$ به $\eta+۲۰٪$ تبدیل می‌شود. دمای چشمه‌ی گرم این ماشین چند درجه‌ی سلسیوس است؟** ۹۲

۱) ۵۰۰ ۲) ۳۲۷ ۳) ۳۰۰ ۴) ۲۲۷

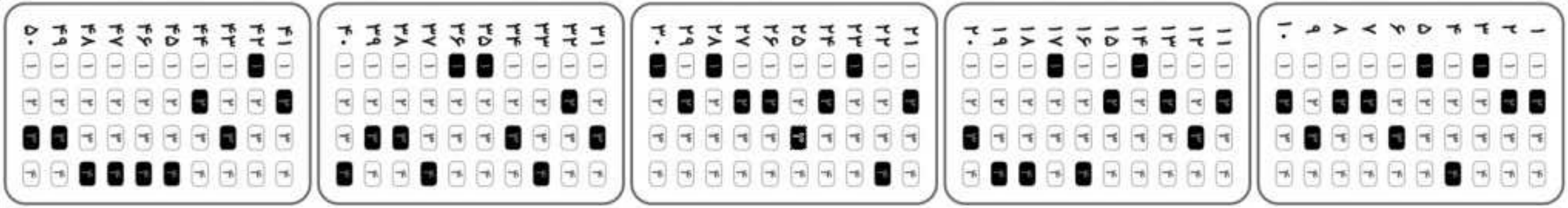
**۵۶ - ضریب عملکرد یخچالی برابر با ۴ است. این یخچال ۲ کیلوگرم آب با دمای ۱۰ درجهٔ سلسیوس را به یخ $-۸^\circ C$ تبدیل کرده است. یخچال در این فرایند چند کیلو ژول گرما به محیط بیرون داده است؟** ۹۳

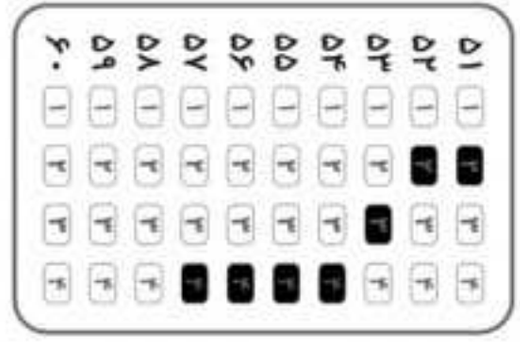
$(L_f=۳۳۶\frac{kJ}{kg} \text{ و } C_{\text{آب}}=۲C_{\text{یخ}}=۴۲۰۰\frac{J}{kg.^\circ C})$

۱) ۴۳۳ ۲) ۴۹۳ ۳) ۸۶۷ ۴) ۹۸۷

**اگر ضریب عملکرد یخچال (۱)، ۱٫۵ برابر ضریب عملکرد یخچال (۲) باشد و توان الکتریکی این دو یخچال با هم برابر باشد، در یک بازهٔ زمانی‌که هر دو یخچال روشن هستند، گرمایی که یخچال (۱) به بیرون می‌دهد، چند برابر گرمایی است که یخچال (۲) به بیرون می‌دهد؟** ۹۴

۱) $\frac{۳}{۲}$ ۲) $\frac{۴}{۳}$
۳) $\frac{۵}{۴}$ ۴) بستگی به اندازهٔ ضریب عملکرد یخچال‌ها دارد.




# پاسخنامه ترمو ۹۴