

۱- ۸۰ مول گاز کامل در فشار 10^5 پاسکال و دمای 300 K چند لیتر حجم دارد؟ ($R = 8/3\text{ J/mol.K}$) (آزاد ریاضی - ۸۸، نوبت صبح)

۱۹۹۲ (۴) ۱/۹۹۲ (۳) ۱۹۹/۲ (۲) ۱۹/۹۲ (۱)

۲- درون ظرفی به حجم 30 لیتر، 10 گرم هیدروژن در دمای 27°C موجود است. فشار این گاز بر حسب پاسکال کدام است؟ (در SI: $R = 8/3$) (آزاد ریاضی - ۸۱، نوبت صبح)

۳۷۳۵ (۴) ۴۱۵۰۰۰ (۳) ۳۷۳۵۰ (۲) ۴۱۵۰۰ (۱)

۳- جرم $8/3$ لیتر هلیوم در فشار 6×10^5 پاسکال و دمای 27°C چند گرم است؟ ($R = 8/3\text{ J/mol.K}$ و جرم مولکولی هلیوم 4 g/mol است.) (سراسری ریاضی - ۷۹)

۲ (۴) ۴ (۳) ۸ (۲) ۱۶ (۱)

۴- حجم 80 g از یک گاز کامل در دمای -23°C و فشار 10 atm برابر 83 lit است. این گاز کدام است؟ ($R = 8/3\text{ J/mol.K}$)

(۱) هیدروژن (۲) هلیوم (۳) اکسیژن (۴) نیتروژن

۵- توسط یک پمپ تخلیه‌ی هوا، فشار هوا در محفظه‌ای به ابعاد $1\text{ cm} \times 2\text{ cm} \times 4\text{ cm}$ تا 10^{-12} atm پایین آمده است. اگر دمای هوای داخل محفظه 27°C باشد، تعداد مولکول‌های هوای موجود در آن کدام است؟ ($R = 8\text{ J/mol.K}$ و $1\text{ mol} = 6 \times 10^{23}$ عدد آووگادرو فرض شوند.)

2×10^8 (۴) 2×10^3 (۳) 28×10^{38} (۲) 18×10^{23} (۱)

۶- شخصی در هر بار تنفس $1/2 \times 10^{22}$ مولکول هوا را وارد ریه‌های خود می‌کند. فشار هوای محیط 1 atm و دمای آن 27°C است. اگر شخص با آهنگ 15 بار در دقیقه نفس بکشد، حجم هوایی که در هر دقیقه تنفس می‌کند، چند لیتر است؟ (عدد آووگادرو برابر 6×10^{23} مولکول بر مول و $R = 8\text{ J/mol.K}$ لحاظ شوند.)

18000 (۴) 18 (۳) $7/2$ (۲) $7/2 \times 10^{-3}$ (۱)

۷- کپسولی به حجم $10/5\text{ lit}$ محتوی مقداری گاز هلیوم در فشار 1 atm و دمای 300 K است. اگر این گاز را تبدیل به مایع کنیم، چند سانتی‌متر مکعب هلیوم مایع به دست می‌آید؟ (جرم مولی گاز هلیوم 4 g/mol و چگالی آن در حالت مایع 125 kg/m^3 و $R = 8\text{ J/mol.K}$ در نظر گرفته شود.)

14 (۴) 14×10^{-3} (۳) $\frac{5}{7}$ (۲) $\frac{5}{7} \times 10^{-3}$ (۱)

۸- فرض کنید از کپسول فوق برای پر کردن بادکنک‌هایی استفاده شود؛ هر بادکنک در دمای -3°C ، تا رسیدن به فشار $1/5\text{ atm}$ پر می‌شود و در این شرایط، حجم 3 lit را در برمی‌گیرد. توسط این کپسول چند بادکنک را می‌توان پر کرد؟

۴ (۴) ۳ (۳) ۲ (۲) ۱ (۱)

۹- حجم یک مول اکسیژن در دمای صفر درجه‌ی سلسیوس و فشار یک اتمسفر $22/4$ لیتر است. حجم 8 گرم اکسیژن در فشار 4 اتمسفر و دمای 273 درجه‌ی سلسیوس چند لیتر است؟ (سراسری ریاضی - ۷۸)

$5/6$ (۴) $2/8$ (۳) $0/56$ (۲) $0/28$ (۱)

۱۰- 20 گرم گاز کامل در فشار 4 اتمسفر در محفظه‌ای به حجم 30 لیتر قرار دارد. در دمای ثابت 10 گرم از گاز را خارج کرده و حجم محفظه را نیز نصف می‌کنیم. فشار آن چند اتمسفر می‌شود؟ (سراسری ریاضی - ۸۵)

۸ (۴) ۶ (۳) ۴ (۲) ۲ (۱)

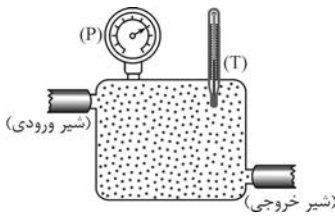


۱۱- در شکل مقابل، حجم، فشار و دمای مطلق اکسیژن موجود در زیر پیستون، هر کدام نصف شده است. جرم گاز چند برابر شده است؟ (سراسری ریاضی - ۸۱، با انرژی تغییر)

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

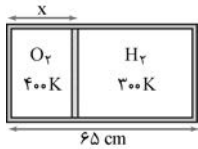
۱۲- دو ظرف با حجم مساوی، یکی محتوی گاز هیدروژن و دیگری محتوی گاز اکسیژن در دمای یکسان می‌باشند. اگر جرم هیدروژن و اکسیژن برابر باشد، فشار هیدروژن چند برابر فشار اکسیژن است؟ (آزاد ریاضی - ۷۰)

16 (۴) 8 (۳) 1 (۲) $\frac{1}{8}$ (۱)



۱۳- در محفظه‌ی شکل مقابل، به تعداد دو برابر عدد آوگادرو مولکول اکسیژن وجود دارد. شیر خروجی را باز و تمام اکسیژن موجود در محفظه را تخلیه می‌کنیم. سپس، شیر ورودی را به کپسول گاز هیدروژن وصل می‌کنیم و تا لحظه‌ی رسیدن فشار و دمای محفظه به مقادیر اولیه، آن را باز نگاه می‌داریم. جرم گاز هیدروژن موجود در محفظه چند گرم خواهد بود؟

- (۱) ۲ (۲) ۴ (۳) ۸ (۴) ۱۶



۱۴- مطابق شکل، داخل یک استوانه، به وسیله‌ی پیستون عایقی که می‌تواند در طول آن جابه‌جا شود، به دو بخش تقسیم شده است. در یک قسمت، اکسیژن در دمای $T_1 = 400\text{ K}$ و در قسمت دیگر هیدروژن در دمای $T_2 = 300\text{ K}$ قرار دارد و پیستون در حال تعادل است. جرم دو گاز، برابر و طول استوانه ۶۵ سانتی‌متر است. موضع پیستون نسبت به انتهای بخش اکسیژن دار استوانه (x) عبارت است از:

- (۱) ۵ cm (۲) ۱۲ cm (۳) ۹ cm (۴) ۱۰ cm

۱۵- دمای هوای یک اتاق در زمستان 7°C و در تابستان 27°C است. اگر فشار هوا یکسان و هوا یک گاز کامل فرض شود، جرم هوایی که اتاق را پر می‌کند، در زمستان چند برابر تابستان است؟

- (۱) $\frac{7}{27}$ (۲) $\frac{27}{7}$ (۳) $\frac{14}{15}$ (۴) $\frac{15}{14}$

۱۶- درون ظرفی به حجم $44/8$ لیتر، ۸ گرم هیدروژن و ۲۸ گرم نیتروژن در دمای صفر درجه‌ی سلسیوس وجود دارد. فشار مخلوط این دو گاز چند اتمسفر است؟

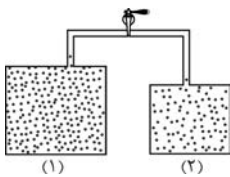
- (۱) ۵ (۲) $4/5$ (۳) $2/5$ (۴) ۹

۱۷- ظرفی حاوی ۴ g گاز هیدروژن و ۱۶ g گاز اکسیژن است. فشار ناشی از گاز هیدروژن چه کسری از فشار کل وارد بر دیواره‌ی ظرف است؟

- (۱) $\frac{1}{5}$ (۲) $\frac{1}{4}$ (۳) $\frac{3}{4}$ (۴) $\frac{4}{5}$

۱۸- مخلوطی از ۲ مول گاز A و یک مول گاز B در محفظه‌ای تحت فشار P و دمای T موجود است. اگر در دمای ثابت T تمام گاز B را به‌وسیله‌ای از محفظه خارج کنیم، فشار گاز A در محفظه برابر خواهد بود با:

- (۱) $\frac{P}{3}$ (۲) $\frac{2P}{3}$ (۳) $\frac{3P}{4}$ (۴) P



۱۹- مطابق شکل، دو مخزن گاز هم‌دما با یک لوله به هم ربط دارند. در مخزن اول ۳ لیتر گاز با فشار ۲ اتمسفر و در دومی ۲ لیتر گاز با فشار ۱ اتمسفر وجود دارد. پس از باز کردن شیر رابط و رسیدن به حالت تعادل، فشار گاز چند اتمسفر است؟ از حجم لوله‌ی رابط صرف‌نظر می‌شود.

(سراسری تهری - ۷۱، با انرژی تغییر)

- (۱) $1/6$ (۲) $1/5$ (۳) $1/4$ (۴) $1/2$

۲۰- در یک استوانه ۴۰ لیتر گاز با فشار ۵ جو وجود دارد. شیر آن را باز می‌کنیم تا فشار داخل آن به ۳ جو برسد. اگر دما ثابت بماند، گاز خارج شده در همان دما و فشار یک جو چند لیتر حجم دارد؟

- (۱) $\frac{200}{3}$ (۲) ۸۰ (۳) ۱۲۰ (۴) ۲۰۰

۲۱- در محفظه‌ای به حجم ۲ lit، مقداری گاز اکسیژن در دمای 7°C و فشار $1/4\text{ atm}$ موجود است. چگالی گاز در این شرایط، تقریباً چند کیلوگرم بر مترمکعب است؟ ($R = 8\text{ J/mol.K}$)

- (۱) $0/8$ (۲) ۲ (۳) ۸۰۰ (۴) ۲۰۰۰

۲۲- چگالی گاز کاملی در دمای صفر درجه‌ی سلسیوس و فشار یک جو برابر $1/4$ کیلوگرم بر مترمکعب است. چگالی این گاز در فشار ۲ جو و دمای 273°C درجه‌ی سلسیوس چند کیلوگرم بر مترمکعب است؟

(سراسری تهری - ۸۳)

- (۱) $0/35$ (۲) $0/7$ (۳) $1/4$ (۴) $2/8$

مبانی ترمودینامیک

واحد ۲

مفاهیم اولیه‌ی ترمودینامیک

۲۳- کدام یک از کمیت‌های زیر صرفاً یک کمیت ماکروسکوپیک است؟

- (۱) مکان (۲) سرعت (۳) دما (۴) جرم

۲۴- کدام یک از کمیت‌های زیر را می‌توان برای توصیف میکروسکوپیک یک ماده به کار برد؟

- (۱) فشار (۲) گرما (۳) چگالی (۴) انرژی جنبشی

۲۵- کدام یک از کمیت‌های زیر برای یک دستگاه، یک متغیر ترمودینامیکی به حساب نمی‌آید؟

- (۱) جرم مولکولی (۲) دما (۳) فشار (۴) حجم

۲۶- نمودار $P-V$ در چهار فرایند ترمودینامیکی برای مقدار معینی از یک گاز کامل در شکل‌های زیر رسم شده است. در کدام فرایند، دمای گاز

همواره افزایش می‌یابد؟



تبادل انرژی از طریق گرما

۲۷- کدام یک از محیط‌های زیر را برای میله‌ای به جرم 100 g و دمای 60°C ، نمی‌توان به عنوان منبع گرما در نظر گرفت؟

- (۱) مخلوطی از 1 kg آب و 1 kg یخ 0°C (۲) هوای اتاق
(۳) 2 kg آب 100°C (۴) گزینه‌های ۱ و ۲

۲۸- قطعه‌ای از سرب به جرم 100 g و دمای 60°C را داخل استخر پر از آبی می‌اندازیم. قطعه تا لحظه‌ای که به تعادل گرمایی با آب استخر می‌رسد،

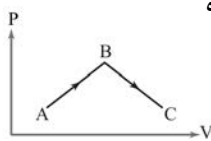
600 J گرما را از دست می‌دهد. دمای اولیه‌ی آب استخر تقریباً چند درجه‌ی سلسیوس بوده است؟ گرمای ویژه‌ی سرب $120\text{ J/kg}\cdot^\circ\text{C}$ است.

- (۱) صفر (۲) 10 (۳) 35 (۴) قابل تعیین نیست.

تبادل انرژی از طریق کار

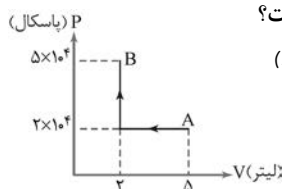
۲۹- مطابق شکل مقابل، دستگاهی دو فرایند ترمودینامیکی متفاوت را طی می‌کند. کاری که محیط بر روی دستگاه

در فرایندهای AB و BC انجام می‌دهد، به ترتیب چه علامتی دارد؟



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

۳۰- فرایند آرمانی یک گاز کامل از A تا B به شکل مقابل است. در این فرایند، گاز چند ژول کار دریافت کرده است؟



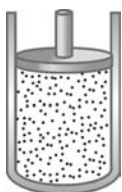
(آزار ریاضی - ۸۰)

- (۱) 60 (۲) صفر (۳) 30 (۴) 90

۳۱- در شکل روبه‌رو، گازی تحت فشار $1/5 \times 10^5\text{ Pa}$ در داخل استوانه‌ای قرار دارد که دهانه‌ی آن با پیستونی به

اصطکاک ناچیز و سطح مقطع 3 m^2 بسته شده است. اگر پیستون به آرامی 2 cm به سمت پایین جابه‌جا

شود، کار انجام شده بر روی گاز چند ژول است؟ (فشار گاز در طول فرایند، ثابت و فشار هوا 10^5 Pa است.)



- (۱) 60 (۲) 90 (۳) -60 (۴) -90

۳۲- اگر در تست ۳۱، پیستون و گاز را به عنوان دستگاه تعریف کنیم، کار انجام شده بر روی دستگاه چند ژول خواهد بود؟

- (۱) 60 (۲) 90 (۳) -60 (۴) -90



انرژی درونی - قانون اول ترمودینامیک

۳۳- مقدار معینی گاز کامل را در دمای ثابت متراکم می‌کنیم تا فشار آن ۴ برابر شود. انرژی درونی مولکول‌های گاز چند برابر می‌شود؟

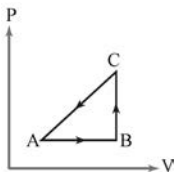
- (۱) ۴ (۲) ۲ (۳) ۱ (۴) $\frac{1}{4}$ (سراسری ریاضی - ۸۰)

۳۴- ۶ لیتر گاز کامل در دمای 300 K و فشار 80 میلی‌متر جیوه موجود است. حجم گاز را به ۸ لیتر و فشار آن را به 60 میلی‌متر جیوه می‌رسانیم. انرژی درونی گاز نسبت به حالت اول چگونه تغییر می‌کند؟

- (۱) $\frac{4}{3}$ برابر می‌شود. (۲) $\frac{3}{4}$ برابر می‌شود. (۳) $\frac{16}{9}$ برابر می‌شود. (۴) تغییر نمی‌کند.

۳۵- دمای n مول گاز کامل تک‌اتمی 91°C است. اگر دمای گاز را بر حسب درجه‌ی سلسیوس ۴ برابر کنیم، انرژی درونی گاز 600 J افزایش می‌یابد. انرژی درونی گاز قبل از افزایش دما چند ژول بوده است؟

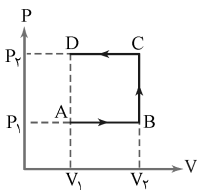
- (۱) ۶۰۰ (۲) ۲۰۰ (۳) ۸۰۰ (۴) ۴۰۰ (آزمایشی آموزش و پرورش شهر تهران - ۸۸)



۳۶- گاز کاملی، مطابق شکل مقابل، چرخه‌ای را طی کرده است. اگر انرژی درونی گاز در نقاط نشان داده شده،

(آزمایشی سنجش ریاضی - ۸۶)

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

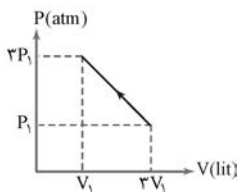


۳۷- مطابق شکل، گاز کاملی سه فرایند AB، BC و CD را طی می‌کند. وقتی گاز از حالت A به حالت D می‌رود،

(سراسری ریاضی - ۸۶)

کدام گزینه‌ی زیر درست است؟

- (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.



۳۸- فرایند آرمانی گاز کاملی به شکل مقابل است. اگر کار و گرمای دریافت شده به وسیله‌ی گاز W و Q باشد، کدام

(آزاد ریاضی - ۸۱، نوبت صبح)

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

۳۹- مایعی درون ظرفی که عایق گرما است، با یک هم‌زن به هم زده می‌شود و در اثر این کار، دمای آن بالا می‌رود. این مایع:

(سراسری تهرانی - ۶۲)

- (۱) از خارج کار دریافت می‌دارد.
(۲) از خارج گرما دریافت می‌دارد.
(۳) کار به خارج می‌دهد و گرما می‌دهد.
(۴) کار و گرما از خارج می‌گیرد.

۴۰- شمعی در یک اتاقک عایق‌بندی شده در حال سوختن است. اگر اتاقک (هوا و شمع) را به عنوان یک دستگاه در نظر بگیریم، گرمای مبادله

شده بین دستگاه و محیط و تغییر انرژی درونی دستگاه است. (برگرفته از کتاب «راه‌یافتی مهندسی به ترمودینامیک»، نوشته‌ی «سنیل» و «پولز»)

- (۱) صفر - صفر (۲) صفر - مخالف صفر (۳) مخالف صفر - صفر (۴) مخالف صفر - مخالف صفر

۴۱- در تست ۴۰، اگر هوای داخل اتاقک را به عنوان دستگاه انتخاب کنیم، کدام‌یک از گزینه‌های بالا صحیح است؟

- (۱) ۱ (۲) ۲ (۳) ۳ (۴) ۴

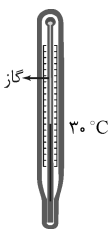
۴۲- دماسنجی، به شکل مقابل، در آزمایشگاهی قرار دارد و مقداری گاز رقیق در لوله‌ی موئین آن محبوس شده است.

اگر دماسنج را در تماس با جسمی به دمای 60°C قرار دهیم و گاز داخل آن را به عنوان یک دستگاه در نظر بگیریم،

کدام گزینه در مورد علامت کار انجام شده بر روی دستگاه (W) و تغییر انرژی درونی آن (ΔU) تا رسیدن دماسنج

به تعادل گرمایی با جسم صحیح است؟

- (۱) $\Delta U > 0, W > 0$ (۲) $\Delta U < 0, W > 0$
(۳) $\Delta U > 0, W < 0$ (۴) $\Delta U < 0, W < 0$

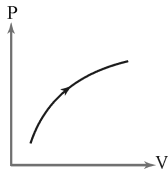


۴۳- اگر یک دستگاه ترمودینامیکی 250 ژول گرما از محیط بگیرد و 300 ژول کار روی محیط انجام دهد، انرژی درونی آن ژول می‌یابد.

(سراسری ریاضی - ۷۶)

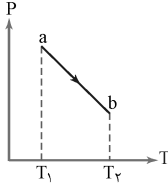
- (۱) ۵۵۰، کاهش (۲) ۵۰، کاهش (۳) ۵۰، افزایش (۴) ۵۵۰، افزایش

۴۴- نمودار $P-V$ گاز کاملی به شکل مقابل است. کدام یک از اطلاعات زیر صحیح است؟



- (۱) گاز مقداری گرما گرفته است.
- (۲) گاز مقداری گرما از دست داده است.
- (۳) انرژی درونی گاز ممکن است ثابت مانده باشد.
- (۴) انرژی درونی گاز کاهش یافته است.

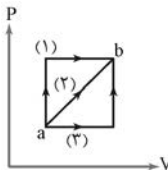
۴۵- نمودار $P-T$ یک مول گاز کامل، مطابق شکل مقابل است. کدام عبارت در خصوص فرایند ab درست است؟



(سراسری ریاضی - ۸۸)

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

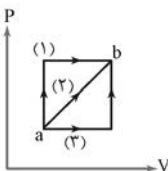
۴۶- مطابق شکل روبه‌رو، گازی را طی سه فرایند ۱، ۲ و ۳ از حالت a به b برده‌ایم. اندازه‌های کار انجام شده و گرمای



مبادله شده، به ترتیب (از راست به چپ) در کدام فرایند بیشتر است؟

- | | |
|----------|----------|
| (۱)، (۱) | (۲)، (۱) |
| (۱)، (۲) | (۳)، (۲) |

۴۷- مطابق شکل مقابل، اگر دستگاهی از مسیر ۱ از حالت a به b برده شود، 500 J گرما دریافت می‌کند و 200 J کار



انجام می‌دهد و اگر دستگاه از مسیر ۳ از حالت a به b برسد، 400 J گرما دریافت می‌کند. کار انجام شده توسط

دستگاه زمانی که از مسیر ۲ از a تا b منبسط می‌شود، چند ژول است؟

- | | | | |
|---------|---------|----------|----------|
| (۱) ۱۰۰ | (۲) ۱۵۰ | (۳) -۱۰۰ | (۴) -۱۵۰ |
|---------|---------|----------|----------|

۴۸- در تست ۴۷، گرمای دریافت شده توسط دستگاه در مسیر ۲ چند ژول است؟

- | | | | |
|---------|---------|---------|---------|
| (۱) ۲۵۰ | (۲) ۳۵۰ | (۳) ۴۵۰ | (۴) ۵۵۰ |
|---------|---------|---------|---------|

انواع فرایندهای ترمودینامیکی

واحد ۳

فرایند هم حجم

۴۹- اگر R ثابت گازها بر حسب $J/mol.K$ 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) $\frac{2}{3}R$ | (۳) $\frac{5}{2}R$ | (۴) $\frac{7}{2}R$ |
|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|

۱ معادله‌ی حالت گازهای کامل

این فصل از کتاب درسی با فصل‌های ۵ و ۶ کتاب فیزیک (۲) و آزمایشگاه ارتباط تنگاتنگی دارد و در واقع، ادامه‌ی همان مباحث است که ظاهری کاربردی‌تر (در صنعت) به خود می‌گیرد. از آن‌جا که به قول مورخان «گذشته، چراغ راه آینده است»، از شما می‌خواهم که (در صورت فراموشی) با فصل‌های یاد شده از کتاب فیزیک (۲) تجدید دیدار کنید و سپس برگردید همین‌جا!

در کتاب فیزیک (۲) دیدیم که کمیت‌های فشار، حجم و دمای یک گاز، مستقل از هم نیستند و تغییر در یکی باعث می‌شود که یک یا هر دو کمیت دیگر نیز تغییر کنند. رابطه‌ی این سه کمیت برای یک «گاز کامل» بسیار ساده است. (در پرانتز بگویم که منظور از گاز کامل، گاز رقیقی است که بتوان از برهم‌کنش بین ذرات آن صرف‌نظر کرد).^۱ برای یک گاز معین، نسبت $\frac{PV}{T}$ مقدار ثابتی است که فقط به تعداد مول‌های گاز (n) بستگی دارد:

$$\frac{PV}{T} \propto n$$

$$R = 8/314 \text{ J/mol.K}$$

ثابت تناسب رابطه‌ی بالا «ثابت جهانی گازها» نام دارد و مقدار آن برابر است با:

$$\frac{PV}{T} = nR \rightarrow \boxed{PV = nRT} \quad (\text{رابطه‌ی ۱})$$

با این حساب، تناسب بالا را می‌توان به شکل تساوی مقابل درآورد.

به رابطه‌ی ۱ که ارتباط کمیت‌های P، V و T را در یک گاز کامل به ما نشان می‌دهد، «معادله‌ی حالت گاز کامل» می‌گوییم.

رابطه‌ی ۱ در فرم مقایسه‌ای آن (برای دو گاز مختلف) به شکل زیر نوشته می‌شود:

توجه ۱

$$\frac{PV}{nT} = R \rightarrow \boxed{\frac{P_1 V_1}{n_1 T_1} = \frac{P_2 V_2}{n_2 T_2}} \quad (\text{رابطه‌ی ۲})$$

در صورتی که با تغییر شرایط یک گاز، مقدار آن تغییر نکند ($n_1 = n_2$)، رابطه‌ی ۲ به شکل $\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2}$

توجه ۲

درمی‌آید. (قیافش براتون آشنا نیست؟)

در هنگام استفاده از رابطه‌ی ۲، هیچ محدودیتی در انتخاب واحدهای معمول P، V و n ندارید؛ به شرطی که در هر دو طرف رابطه از واحدهای مشابهی استفاده کنید (مثلاً P_1 و P_2 هر دو برحسب اتمسفر، یا هر دو برحسب سانتی‌متر جیوه قابل جای‌گذاری هستند). دستتان کاملاً باز است؛ اما در مورد دما خیلی باید حواستان را جمع کنید!

توجه ۳

در هنگام به‌کارگیری معادله‌ی حالت گازهای کامل، دماها باید برحسب کلوین جای‌گذاری شوند.

خطر

در شرایط متعارفی (فشار $1/013$ اتمسفر و دمای صفر درجه‌ی سلسیوس)، حجم یک مول گاز کامل به‌صورت

نمونه

زیر محاسبه می‌شود.

$$\begin{cases} n = 1 \text{ mol} \\ P = 1/013 \text{ atm} = 1/013 \times 10^5 \text{ Pa} \\ T = 0 + 273 = 273 \text{ K} \end{cases} \quad \begin{aligned} PV = nRT &\rightarrow 1/013 \times 10^5 \times V = 1 \times 8/314 \times 273 \\ V = 22/4 \times 10^{-3} \text{ m}^3 &\rightarrow V = 22/4 \text{ lit} \end{aligned}$$

(توجه دارید که هر مترمکعب، برابر ۱۰۰۰ لیتر است.)

$$PV = nRT$$

حالا کافی است اطلاعات عددی تست ۱ را در رابطه‌ی ۱ جای‌گذاری کنیم.

$$10^5 \times V = 80 \times 8/3 \times 300 \rightarrow V = 1/992 \text{ m}^3 \xrightarrow{(1 \text{ m}^3 = 10^3 \text{ lit})} V = 1992 \text{ lit}$$

(فواهشاً گزینه‌ها را با هم مقایسه کنید! تا آفر کتاب با این نوع گزینه‌پینی در تست‌های دانشگاه آزاد، به دفعات برفور فواید کردا اگر از مقر طراح این تست‌ها مطلع شوم، مطمئن باشید همه‌تون رو باهبر می‌کنم! تا اون وقت سعی کنید آرامش فورتونو فقط کنید!!)



۱ - به‌عبارت دقیق‌تر، گازی را کامل می‌گوییم که ذرات آن فقط در هنگام برخورد، برهم‌کنش دارند.

۲- گزینه‌ی «۳» برای حل ادامه‌ی تست‌های این بخش، به یادآوری مبانی ساده‌ای از درس شیمی نیازمندیم.

یادآوری یک مول از هر ماده به مقداری از آن ماده گفته می‌شود که حاوی عدد آووگادرو ذره ($N_a = 6/022 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$) از آن ماده باشد. جرم مولی یک ماده برابر جرم ۱ mol از آن ماده است.

نمونه وقتی می‌گوییم جرم مولی گاز هلیوم ۴ g/mol است، یعنی هر مول آن، ۴ g جرم دارد؛ به عبارتی، جرم $6/022 \times 10^{23}$ اتم هلیوم برابر ۴ g است.

اگر جرم یک ماده را با m و جرم مولی آن را با M و تعداد ذرات (اتم‌ها یا مولکول‌های) تشکیل‌دهنده‌ی آن را با N نشان دهیم، روابط زیر برقرار است.

$$n = \frac{m}{M}, \quad n = \frac{N}{N_a}$$

شیمی‌دان‌های عزیز قطعاً می‌دانند که هیدروژن یک گاز دواتمی است که جرم هر مول آن ۲ g است؛ بنابراین، تعداد مول‌های ۱۰ g گاز هیدروژن برابر است با:

$$n = \frac{m}{M} = \frac{10}{2} = 5 \text{ mol}$$

$$PV = nRT$$

قسمت شیمیایی تست تموم شد! حالا نوبت قسمت فیزیکی آن است.

$$P \times (30 \times 10^{-3}) = 5 \times 8/3 \times (27 + 273) \rightarrow P = 415000 \text{ Pa}$$

$$PV = nRT$$

اول تعداد مول‌های گاز را حساب می‌کنیم؛ بعد جرم آن را.

$$6 \times 10^5 \times (8/3 \times 10^{-3}) = n \times 8/3 \times (27 + 273) \rightarrow n = 2 \text{ mol}$$

$$n = \frac{m}{M} \rightarrow m = nM = 2 \times 4 \rightarrow m = 8 \text{ g}$$

اشتباهی که طراح این تست مرتکب شده، این است که به جای واژه‌ی «جرم مولی» از «جرم مولکولی» استفاده کرده و این دو را به یک معنی گرفته است. با توجه به این که کتاب درسی (و بسیاری از کتاب‌های کمک‌درسی) نیز این اشتباه را مرتکب شده‌اند، لازم می‌دانم تفاوت این دو را - برای خوانندگان مشتاق - بیان کنم.

نقدی بر کتاب درسی

بنا به تعریف، $\frac{1}{12}$ جرم اتم کربن ۱۲ (ایزوتوپی از کربن با عدد جرمی ۱۲) را «یکای جرم اتمی» می‌نامند و با «u» نشان می‌دهند. جرم مولکولی برابر مجموع جرم اتم‌های تشکیل‌دهنده‌ی یک مولکول است و برحسب یکای جرم اتمی بیان می‌شود. (به‌آسانی معلوم می‌شود که $1 \text{ u} = 1/66 \times 10^{-24}$ است.)

نمونه جرم مولکولی هیدروژن ۲ u است؛ یعنی جرم یک مولکول هیدروژن (H_2)، ۲ برابر یکای جرم اتمی است که این مقدار برحسب گرم برابر است با:

$$2 \text{ u} = 2/32 \times 10^{-24} \text{ g}$$

حالا شما این مقدار را با جرم مولی هیدروژن ($M = 2 \text{ g/mol}$) مقایسه کنید؛ فیللی با هم تفاوت ندارند!

بنابراین، جرم مولی (برحسب g/mol) با جرم مولکولی (برحسب u) یک مقدار دارند؛ ولی این به مفهوم یکی بودن این دو کمیت نیست؛ چرا؟ به همان دلایل بالا!

تست زیر دست شما رو گاز می‌گیره! (اگر به گزینه‌ی ۴ رسیدید، بدانید که راه را درست رفته‌اید!)

تست: کپسولی به حجم ۸۳ lit محتوی مقداری گاز دی‌اکسیدکربن است. اگر فشار گاز داخل کپسول از ۱۰^۵ kPa بیشتر شود، کپسول منفجر می‌شود. با در نظر گرفتن شرایط ایمنی، حداکثر چند کیلوگرم گاز دی‌اکسیدکربن را می‌توان در دمای ۱۲۷ °C داخل کپسول جای داد؟ (جرم مولی کربن ۱۲ g/mol و جرم مولی گاز اکسیژن ۳۲ g/mol و $R = 8/3 \text{ J/mol.K}$ است.)

$$110 \text{ (۴)}$$

$$11 \text{ (۳)}$$

$$\frac{100}{11} \text{ (۲)}$$

$$\frac{10}{11} \text{ (۱)}$$



۱ - عدد آووگادرو، برخلاف اسمش، صرفاً یک عدد نیست؛ بلکه کمیتی است با واحد «بر مول (mol^{-1})». بنابراین، مفهوم $N_a = 6/022 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$ این است که در هر مول از

یک ماده $6/022 \times 10^{23}$ ذره وجود دارد. (البته برای وضوح بیشتر، گاهی گفته می‌شود $\frac{6/022 \times 10^{23}}{\text{مول}}$ اتم (یا مولکول) است که این نوع از بیان نیز صحیح است.)



۴- گزینه‌ی «۱» جرم مولی یک گاز جزو شناسنامه‌ی آن گاز است و از طریق آن می‌توان گاز را شناسایی کرد. با توجه به این که هر

$PV = nRT$ اتمسفر (atm) برابر 10^5 Pa است، داریم:

$$10 \times 10^5 \times (83 \times 10^{-3}) = n \times 8.314 \times (273 + 27) \rightarrow 83 \times 10^3 = n \times 8.314 \times 300 \rightarrow n = 40 \text{ mol}$$

$$n = \frac{m}{M} \rightarrow 40 = \frac{80}{M} \rightarrow M = 2 \text{ g/mol}$$

به‌جز هیدروژن، جرم مولی کدام‌یک از گازهای مطرح شده در گزینه‌ها 2 g/mol است؟!

۵- گزینه‌ی «۴» با توجه به این که $1 \text{ cm}^3 = 10^{-6} \text{ m}^3$ است، داریم:

$$PV = nRT \rightarrow (10^{-12} \times 10^5) \times (8 \times 10^{-6}) = n \times 8.314 \times (273 + 27) \rightarrow 8 \times 10^{-13} = n \times 8.314 \times 300 \rightarrow n = \frac{1}{3} \times 10^{-15} \text{ mol}$$

$$n = \frac{N}{N_a} \rightarrow N = nN_a = \frac{1}{3} \times 10^{-15} \times 6 \times 10^{23} \rightarrow N = 2 \times 10^8$$

۶- گزینه‌ی «۲» تعداد مول‌های هوای استنشاق شده در هر بار تنفس برابر است با:

$$n = \frac{N}{N_a} = \frac{1/2 \times 10^{22}}{6 \times 10^{23}} = 2 \times 10^{-2} \text{ mol}$$

$PV = nRT \rightarrow 10^5 \times V = 2 \times 10^{-2} \times 8.314 \times (273 + 27) \rightarrow V = 48 \times 10^{-5} \text{ m}^3 = 48 \times 10^{-2} \text{ lit}$ و حجم هوای تنفس شده در هر بار:

بنابراین، حجم هوای تنفس شده در هر دقیقه (V') برابر است با:

۷- گزینه‌ی «۴» کلید حل این تست در درک این واقعیت است که جرم گاز پس از میعان تغییر نمی‌کند.

$$PV = nRT = \left(\frac{m}{M}\right)RT \rightarrow 10^5 \times (10/5 \times 10^{-3}) = \left(\frac{m}{2}\right) \times 8.314 \times 300 \rightarrow m = 1/75 \text{ g} = 1/75 \times 10^{-3} \text{ kg}$$

اگر حجم گاز هلیوم را در حالت مایع با V' نشان دهیم، داریم:

۸- گزینه‌ی «۳» با توجه به این که تمام گاز داخل کپسول برای پر کردن بادکنک‌ها به مصرف می‌رسد، مول‌های گاز داخل کپسول برابر

مجموع مول‌های گاز داخل بادکنک‌ها خواهد بود. بنابراین، اگر تعداد مول‌های گاز داخل کپسول را با n_1 و تعداد مول‌های گاز داخل هر بادکنک را با n_2 و تعداد بادکنک‌های پر شده را با x نمایش دهیم، می‌توانیم بنویسیم:

$$n_1 = xn_2 \rightarrow \frac{P_1 V_1}{RT_1} = x \left(\frac{P_2 V_2}{RT_2} \right) \rightarrow x = \left(\frac{P_1}{P_2} \right) \times \left(\frac{V_1}{V_2} \right) \times \left(\frac{T_2}{T_1} \right) = \left(\frac{1}{1/5} \right) \times \left(\frac{10/5}{3} \right) \times \left(\frac{273}{300} \right) \rightarrow x = 3$$

۹- گزینه‌ی «۳» این تست را می‌توانیم با استفاده‌ی مستقیم از رابطه‌ی ۱ حل کنیم؛ منتها چون عدد R تا سه رقم اعشار دارد، محاسبات

آن ما را بدبخت می‌کند!! بهترین کار این است که کمیت‌های مربوط به گاز در شرایط موجود را با کمیت‌های مربوط به آن در شرایط متعارفی مقایسه کنیم؛ توسط کدام رابطه؟ رابطه‌ی ۲.

شرایط متعارفی: $n_1 = 1 \text{ mol}$, $T_1 = 273 \text{ K}$, $P_1 = 1 \text{ atm}$, $V_1 = 22/4 \text{ lit}$

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{شرایط موجود: } \left\{ \begin{array}{l} n_2 = \frac{m}{M} \xrightarrow{(M_{O_2} = 32 \text{ g/mol})} n_2 = \frac{\lambda}{32} = \frac{1}{4} \text{ mol} \\ T_2 = \theta_2 + 273 = 273 + 273 = 2 \times 273 \text{ K} \\ P_2 = 4 \text{ atm} \end{array} \right. \end{array} \right. \quad \left\{ \begin{array}{l} \frac{P_1 V_1}{n_1 T_1} = \frac{P_2 V_2}{n_2 T_2} \\ \frac{1 \times 22/4}{1 \times 273} = \frac{4 \times V_2}{\frac{1}{4} \times (2 \times 273)} \\ \Rightarrow V_2 = 2/8 \text{ lit} \end{array} \right.$$

چرا V_2 برحسب لیتر به‌دست آمد؟ چون V_1 برحسب لیتر عددگذاری شد.

۱۰- گزینه‌ی «۲» (راه حل اول): کمیت‌های وابسته به گاز را قبل از تغییر شرایط با زیرنویس ۱ و پس از آن با زیرنویس ۲ نشان می‌دهیم. با

استفاده از رابطه‌ی ۲ خواهیم داشت:

$$\frac{P_1 V_1}{n_1 T_1} = \frac{P_2 V_2}{n_2 T_2} \xrightarrow{(n = \frac{m}{M})} \frac{P_1 V_1}{m_1 T_1} = \frac{P_2 V_2}{m_2 T_2} \xrightarrow{(T_1 = T_2)} \frac{P_1 V_1}{m_1} = \frac{P_2 V_2}{m_2}$$

$$\Rightarrow \frac{P_2}{P_1} = \left(\frac{m_2}{m_1} \right) \times \left(\frac{V_1}{V_2} \right) \rightarrow \frac{P_2}{4} = \left(\frac{1}{3} \right) \times \left(\frac{V_1}{\frac{1}{3} V_1} \right) \rightarrow \frac{P_2}{4} = 1 \rightarrow P_2 = 4 \text{ atm}$$

(راه حل دوم) (استفاده از تناسب): با استفاده از روش تناسب، سریع‌تر می‌توان به جواب رسید. طبق معادله‌ی حالت گاز کامل، با تغییر کمیت‌های گاز،

حاصل $\frac{PV}{nT}$ تغییر نمی‌کند. (به‌طور مثال، اگر با ثابت ماندن n و T ، P دو برابر شود، V $\frac{1}{2}$ برابر می‌شود تا نسبت $\frac{PV}{nT}$ ثابت بماند). بنابراین،

می‌توان گفت:

بنابراین، در این تست که تعداد مول‌ها، نصف، حجم گاز، نصف و دمای آن تغییر نکرده، می‌توانیم بنویسیم:

$$\frac{(P \text{ نسبت تغییرات}) \times \frac{1}{2}}{\frac{1}{3} \times 1} = 1 \rightarrow P \text{ نسبت تغییرات} = 1 \rightarrow \frac{P_2}{P_1} = 1 \rightarrow P_2 = P_1 \rightarrow P_2 = 4 \text{ atm}$$

البته می‌توان برای سادگی، مطالب فوق را به شکل مقابل نشان داد:

$$\frac{PV}{nT} = \text{ثابت} \Rightarrow (P \rightarrow \text{برابر}) \Rightarrow \left(\frac{1}{n} \rightarrow \text{برابر} \right) \Rightarrow \left(\frac{1}{T} \rightarrow \text{برابر} \right)$$

۱۱- گزینه‌ی «۱» (۱۰ مل اول: همانند راه حل اول ارائه شده در پاسخ تست ۱۰، می‌نویسیم:

$$\frac{P_1 V_1}{n_1 T_1} = \frac{P_2 V_2}{n_2 T_2} \xrightarrow{(n = \frac{m}{M})} \frac{P_1 V_1}{m_1 T_1} = \frac{P_2 V_2}{m_2 T_2} \rightarrow \frac{m_2}{m_1} = \left(\frac{P_2}{P_1} \right) \times \left(\frac{V_2}{V_1} \right) \times \left(\frac{T_1}{T_2} \right) = \left(\frac{1}{3} \right) \times \left(\frac{1}{2} \right) \times \left(\frac{1}{2} \right) \rightarrow \frac{m_2}{m_1} = \frac{1}{6}$$

۱۰ مل دوم: مشابه راه حل دوم مطرح شده در پاسخ تست ۱۰، می‌نویسیم:

$$\frac{PV}{nT} = \text{ثابت} \Rightarrow \left(\frac{1}{n} \rightarrow \text{برابر} \right) \xrightarrow{(n = \frac{m}{M})} \left(m \rightarrow \text{برابر} \right)$$

۱۲- گزینه‌ی «۴» از تمام داروندار جدول تناوبی می‌خواهم دو موضوع را به خاطر داشته باشید! یکی جرم مولی گاز هیدروژن (۲ g/mol) و دیگری جرم مولی گاز اکسیژن (۳۲ g/mol)؛ جرم مولی سایر عناصر را طرح‌ها در اختیار شما خواهند گذاشت.

اگر مشخصات وابسته به گازهای هیدروژن و اکسیژن را به ترتیب با زیرنویس‌های ۱ و ۲ نشان دهیم، خواهیم داشت:

$$n = \frac{m}{M} \xrightarrow{(m_1 = m_2)} \frac{n_1}{n_2} = \frac{M_2}{M_1} = \frac{32}{2} = 16$$

$$\frac{P_1 V_1}{n_1 T_1} = \frac{P_2 V_2}{n_2 T_2} \xrightarrow{(V_1 = V_2)} \frac{P_1}{P_2} = \frac{n_1}{n_2} \rightarrow \frac{P_1}{P_2} = 16$$

۱۳- گزینه‌ی «۲» P که تغییر نکرده؛ T که تغییر نکرده؛ V (حجم محفظه) هم که تغییر نکرده، پس قاعدتاً n هم نباید تغییر کند؛ یعنی ۲ mol گاز اکسیژن جای خود را به ۲ mol گاز هیدروژن داده است. (توجه کنید که هر مول از یک ماده شامل N_A ذره از آن ماده است.)

$$n = \frac{m}{M} \rightarrow 2 = \frac{m}{2} \rightarrow m = 4 \text{ g}$$

۱۴- گزینه‌ی «۱» اول این‌که: اگر کمیت‌های مربوط به گازهای اکسیژن و هیدروژن را به ترتیب با زیرنویس‌های ۱ و ۲ نشان دهیم، داریم:

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

دوم این‌که: چون پیستون در حال تعادل است، فشار گازها در دو سمت آن برابر است ($P_1 = P_2$)؛ بنابراین، می‌توان تساوی بالا را به شکل زیر

$$\frac{V_1}{n_1 T_1} = \frac{V_2}{n_2 T_2} \rightarrow \frac{V_1}{V_2} = \left(\frac{n_1}{n_2} \right) \times \left(\frac{T_1}{T_2} \right)$$

بازآرایی کرد:

$$n = \frac{m}{M} \xrightarrow{(m_1 = m_2)} \frac{n_1}{n_2} = \frac{M_2}{M_1}$$

سوم این‌که: چون جرم گازها در دو طرف پیستون برابر است، داریم:

$$\frac{V_1}{V_2} = \left(\frac{M_2}{M_1} \right) \times \left(\frac{T_1}{T_2} \right) = \left(\frac{2}{32} \right) \times \left(\frac{400}{300} \right) = \frac{1}{16} \times \frac{4}{3} = \frac{1}{12}$$

چهارم این‌که: حجم استوانه برابر حاصل ضرب مساحت قاعده در ارتفاع آن است؛ در نتیجه، می‌توان گفت:

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{Ax}{A(65-x)}$$

$$\frac{1}{12} = \frac{x}{65-x} \rightarrow 12x = 65 - x \rightarrow 13x = 65 \rightarrow x = 5 \text{ cm}$$

به اندازه‌ای که از تست توقع می‌رفت (المپیار و ...، سفت نبود؛ بود!)

۱۵- گزینه‌ی «۴» چاره‌ی حل این تست نیز به دست رابطه‌ی ۲ است. اگر جرم هوای داخل اتاق را در زمستان با m_1 و در تابستان با m_2

$$\frac{P_1 V_1}{n_1 T_1} = \frac{P_2 V_2}{n_2 T_2} \xrightarrow{(P_1 = P_2)} \frac{V_1}{n_1 T_1} = \frac{V_2}{n_2 T_2} \rightarrow \left(\frac{m_1}{M} \right) T_1 = \left(\frac{m_2}{M} \right) T_2 \rightarrow \frac{m_1}{m_2} = \frac{T_2}{T_1} = \frac{273 + 27}{273 + 7} = \frac{300}{280} \rightarrow \frac{m_1}{m_2} = \frac{15}{14}$$

نشان دهیم، داریم:



۱۶- گزینه‌ی «۳» وقتی دو یا چند گاز را با هم مخلوط می‌کنیم، ممکن است حجم، فشار یا دمای گازها تغییر کند، اما ...

تعداد مول‌های آمیزه‌ای از گازها برابر مجموع تعداد مول‌های گازها قبل از اختلاط با یکدیگر است. با توجه به قانون پایستگی جرم، غیر از این هم توقع نمی‌ره! (البته فرض بر این است که در اثر اختلاط گازها، تغییر شیمیایی رخ نمی‌دهد).

تعداد مول‌های گاز هیدروژن به‌کار رفته در مخلوط برابر است با:

$$n_1 = \frac{m_1}{M_1} = \frac{8}{2} = 4 \text{ mol}$$

هم‌چنین، تعداد مول‌های گاز نیتروژن به‌کار رفته در مخلوط برابر است با:

$$n_2 = \frac{m_2}{M_2} = \frac{28}{28} = 1 \text{ mol}$$

(در پاسخ تست ۱۲، به شما اطمینان دادم که فقط کافیست جرم مولی هیدروژن و اکسیژن را به‌خاطر داشته باشید؛ همین الان می‌زنم زیر حرفم! جرم مولی گاز نیتروژن را هم باید به‌حافظه بسپارید! 28 g/mol یارت نره! جرم مولی گازهای دیگری را هم باید بلد باشیم؟ آینه معلوم می‌کنه!!!)

خب؛ تعداد مول‌های مخلوط گازها برابر مجموع تعداد مول‌های تک‌تک گازهاست؛ یعنی:

$$n = n_1 + n_2 = 4 + 1 = 5 \text{ mol}$$

حالا شرایط داده شده را با شرایط متعارفی ($V' = 22/4 \text{ lit}$, $T' = 273 \text{ K}$, $P' = 1 \text{ atm}$, $n' = 1 \text{ mol}$) مقایسه می‌کنیم.

$$\frac{PV}{nT} = \frac{P'V'}{n'T'} \rightarrow \frac{P \times 44/8}{5 \times (0 + 273)} = \frac{1 \times 22/4}{1 \times 273} \rightarrow P = 2/5 \text{ atm}$$

۱۷- گزینه‌ی «۴» تعداد مول‌های گاز هیدروژن:

$$n_1 = \frac{m_1}{M_1} = \frac{4}{2} = 2 \text{ mol}$$

تعداد مول‌های گاز اکسیژن:

$$n_2 = \frac{m_2}{M_2} = \frac{16}{32} = \frac{1}{2} \text{ mol}$$

تعداد مول‌های مخلوط گازها:

$$n = n_1 + n_2 = 2 + \frac{1}{2} = \frac{5}{2} \text{ mol}$$

$$\frac{P_1 V_1}{n_1 T_1} = \frac{PV}{nT} \xrightarrow{(V_1=V)} \frac{P_1}{n_1} = \frac{P}{n} \rightarrow \frac{P_1}{P} = \frac{n_1}{n} \rightarrow \frac{P_1}{P} = \frac{2}{5} \rightarrow \frac{P_1}{P} = \frac{4}{5}$$

۱۸- گزینه‌ی «۲» با این‌که زمان طرح این تست به پیش از انقراض نسل دایناسورها برمی‌گردد!، اما از حق نگذریم تست خوبی است که مشابه آن را در تست‌های جدید نیافتیم.

تعداد مول‌های مخلوط گازها برابر است با:

$$n = n_A + n_B = 2 + 1 = 3 \text{ mol}$$

مقایسه‌ی معادله‌ی حالت گاز مخلوط و گاز A نتیجه می‌دهد:

$$\frac{PV}{nT} = \frac{P_A V}{n_A T} \rightarrow P_A = \left(\frac{n_A}{n}\right)P \rightarrow P_A = \frac{2}{3}P$$

۱۹- گزینه‌ی «۱» پس از باز کردن شیر رابط، گازها مخلوط می‌شوند و گاز مخلوط تمام حجم مخزن‌های ۱ و ۲ را اشغال می‌کند.

$$V = V_1 + V_2 = 3 + 2 = 5 \text{ lit}$$

با توجه به ثابت ماندن دما، داریم:

$$n = n_1 + n_2 \rightarrow \frac{PV}{RT} = \frac{P_1 V_1}{RT} + \frac{P_2 V_2}{RT}$$

$$\Rightarrow PV = P_1 V_1 + P_2 V_2 \rightarrow P \times 5 = 2 \times 3 + 1 \times 2 \rightarrow P = 1/6 \text{ atm}$$

(دقت کنید که در این‌جا هم نیاز به تبدیل واحد نداریم؛ آن‌چه اهمیت دارد، یکسانی واحدهای کمیت‌های مشابه در طرفین تساوی است.)

۲۰- گزینه‌ی «۲» مجموع تعداد مول‌های گاز باقی‌مانده (n_1) و گاز خارج شده (n_2) برابر تعداد مول‌های گاز اولیه (n) است. (به عبارتی،

گاز اولیه مخلوطی از گازهای خارج شده و باقی‌مانده فرض می‌شود.)

$$n = n_1 + n_2$$

$$\frac{PV}{RT} = \frac{P_1 V_1}{RT} + \frac{P_2 V_2}{RT} \rightarrow PV = P_1 V_1 + P_2 V_2 \rightarrow 5 \times 40 = 3 \times 40 + 1 \times V_2 \rightarrow V_2 = 80 \text{ lit}$$

۲۱- گزینه‌ی «۲» آن‌چه باید برای حل این تست بدانیم، در متن زیر آورده شده است.

چگالی گاز کامل

همان‌طور که می‌دانید چگالی یک ماده به‌صورت نسبت جرم به حجم آن ماده تعریف می‌شود:

$$\rho = \frac{m}{V}$$

با ترکیب رابطه‌ی فوق با معادله‌ی حالت گازها، به‌دست خواهیم آورد:

$$\left\{ \begin{array}{l} PV = \left(\frac{m}{M}\right)RT \\ V = \frac{m}{\rho} \end{array} \right. \Rightarrow P\left(\frac{m}{\rho}\right) = \left(\frac{m}{M}\right)RT \rightarrow \rho = \frac{PM}{RT} \quad (\text{رابطه‌ی ۳})$$

طبق رابطه‌ی ۳، چگالی یک گاز کامل با فشار آن نسبت مستقیم و با دمای مطلق آن نسبت عکس دارد.

نتیجه

ابتدا داده‌های تست را در گوشه‌ای نوشته و همه‌ی یکاها را به SI تبدیل می‌کنیم.

حالا به کمک رابطه‌ی ۳ می‌نویسیم:

$$\left\{ \begin{array}{l} R = 8 \text{ J/mol.K} \\ V = 2 \text{ lit} = 2 \times 10^{-3} \text{ m}^3 \\ T = 27 + 273 = 300 \text{ K} \\ P = 1/4 \text{ atm} = 1/4 \times 10^5 \text{ Pa} \\ M = 32 \text{ g/mol} = 32 \times 10^{-3} \text{ kg/mol} \end{array} \right. \quad \rho = \frac{PM}{RT}$$

$$\rho = \frac{(1/4 \times 10^5) \times (32 \times 10^{-3})}{8 \times 300} \rightarrow \rho = 2 \text{ kg/m}^3$$

(همان‌طور که شیر که در این تست، میم‌گاز نقش هویج را بازی می‌کرد!!)

۲۲- گزینه‌ی «۳» چگالی گاز را در دمای $\theta_1 = 0^\circ \text{C}$ با ρ_1 و در دمای $\theta_2 = 273^\circ \text{C}$ با ρ_2 نشان می‌دهیم. با توجه به این که ρ با P نسبت

مستقیم و با T نسبت عکس دارد، داریم:

$$\frac{\rho_2}{\rho_1} = \frac{P_2}{P_1} \times \frac{T_1}{T_2}$$

$$\frac{\rho_2}{1/4} = \frac{1}{1} \times \frac{0 + 273}{273 + 273} = 1 \rightarrow \rho_2 = 1/4 \text{ kg/m}^3$$

۲۳- گزینه‌ی «۳» اگر متن زیر را بخوانید، شما هم به درستی گزینه‌ی ۳ اعتقاد پیدا می‌کنید!

۲ زبان ترمودینامیک

«ترمودینامیک» علمی است که به مطالعه‌ی فرایندهایی می‌پردازد که در آن‌ها انرژی به صورت گرما یا کار منتقل می‌شود.^۱

برای ورود به مبحث ترمودینامیک، باید با یک سری اصطلاح اولیه که ابزار درک مفاهیم اصلی آن هستند، آشنا شوید.

وقتی در مورد ویژگی‌ها و نوع عمل کرد ذرات تشکیل‌دهنده‌ی یک ماده صحبت می‌کنیم، اصطلاحاً می‌گوییم که در حال توصیف

رفتار میکروسکوپی ماده هستیم. به کمیت‌هایی که رفتار ذرات سازنده‌ی ماده را توصیف می‌کنند، کمیت‌های

«میکروسکوپی» می‌گوییم. در مقابل، به کمیت‌هایی که وضعیت کل دستگاه (نه تک‌تک ذرات آن) را توصیف می‌کنند،

«کمیت‌های ماکروسکوپی» می‌گوییم و زمانی که در مورد کمیت‌های ماکروسکوپی یک ماده صحبت می‌کنیم، اصطلاحاً آن ماده را

توصیف ماکروسکوپی می‌کنیم.^۲

توجه کمیت‌های ماکروسکوپی کم‌وبیش توسط حواس ما دریافت می‌شوند و مستقیماً قابل اندازه‌گیری هستند (درست برخلاف کمیت‌های میکروسکوپی).

نمونه دما نمونه‌ای عالی از یک کمیت ماکروسکوپی است؛ قابل احساس است؛ قابل اندازه‌گیری (توسط دماسنج) است و برای مجموعه‌ای از ذرات (کل ماده) تعریف می‌شود (دما برای یک ذره تعریف نمی‌شود).^۳

شاخه‌ای از علم ترمودینامیک که در کتاب درسی شما مورد بررسی قرار گرفته، «ترمودینامیک کلاسیک» نام دارد؛ در این شاخه از علم ترمودینامیک فقط با کمیت‌های ماکروسکوپیکی مثل دما، فشار و حجم سروکار داریم و خدا رو شکر وارد دنیای غیر قابل احساس میکروسکوپی نمی‌شویم!

ما معمولاً در بررسی‌های علمی، مقداری از ماده (و به‌طور صحیح‌تر، ناحیه‌ای از فضا) را از محیط اطرافش جدا می‌کنیم و مورد مطالعه قرار می‌دهیم؛ این قسمت برگزیده «دستگاه» و هر آن‌چه در اطراف دستگاه قرار دارد و می‌تواند بر وضعیت آن مؤثر باشد، «محیط» می‌نامیم. سطح واقعی یا فرضی‌ای که دستگاه را از محیط جدا می‌کند، «مرز دستگاه» نام دارد. (توجه کنید که ضخامت مرز دستگاه صفر است و شامل جرم یا حجمی از ماده نیست.)



1 - در واقع، واژه‌ی ترمودینامیک (thermodynamics) از کلمات یونانی thermo (به معنی حرارت) و dynamics (به معنی قوا) گرفته شده است.

2 - ماکرو (macro) پیشوندی است به معنی «بزرگ» و میکرو (micro) پیشوندی است به معنی «کوچک».

3 - وقتی می‌گوییم دمای یک جسم ثابت است، برداشت می‌شود که انرژی جنبشی متوسط مولکول‌های آن ثابت است (نه انرژی جنبشی هر مولکول)؛ به این مفهوم که یک کمیت ماکروسکوپی (مثل دما) رفتار متوسط مولکول‌های یک ماده را بیان می‌کند (نه رفتار تک‌تک مولکول‌های سازنده‌ی آن ماده را).

نمونه

فرض کنید مطابق شکل ۱، مقدار معینی از یک گاز در داخل استوانه‌ای که با یک پیستون متحرک مسدود شده، قرار دارد و می‌خواهیم تغییرات فشار، حجم یا دمای گاز درون استوانه را بررسی کنیم؛ چون توجه خود را بر روی گاز متمرکز کرده‌ایم، دستگاه ما همان گاز درون استوانه می‌باشد. در ضمن، سطوح داخلی استوانه و پیستون مرز دستگاه را شکل داده‌اند؛ هر آن چه بر رفتار گاز مؤثر است (مانند شعله که با حرارتش دمای گاز را بالا می‌برد)، جزو محیط محسوب می‌شود.



شکل ۱: یک دستگاه ساده با مرزهای مشخص.

کمیت‌هایی که برای شناسایی و توصیف ماکروسکوپی یک دستگاه به‌کار می‌روند، «متغیرهای

ترمودینامیکی» نام دارند و مجموعه‌ی این کمیت‌ها، حالت (وضعیت) دستگاه را مشخص می‌کنند. متغیرهای ترمودینامیکی مستقل از هم نیستند و وقتی مقدار یک متغیر ترمودینامیکی را تغییر می‌دهیم، حالت دستگاه تغییر می‌کند. نمونه‌ی زیر تصویر روشن‌تری از این صحبت‌ها ارائه می‌دهد.

نمونه

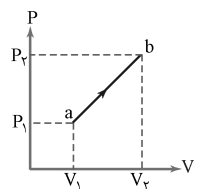
در دستگاه نشان داده شده در شکل ۱، فشار، دما، حجم و تعداد مول‌های گاز جزو متغیرهای ترمودینامیکی دستگاه هستند که طبق رابطه‌ی ۱ به هم وابسته‌اند. دما و حجم دستگاه در اثر جذب گرما تغییر می‌کند؛ به این مفهوم که حالت دستگاه تغییر می‌کند.

اگر متغیرهای ترمودینامیکی یک دستگاه ثابت باشند، می‌گوییم دستگاه در حالت تعادل است و اگر حالت دستگاه تغییر کند، می‌گوییم دستگاه، تحول یافته و یک «فرایند ترمودینامیکی» انجام شده است.

یک فرایند ترمودینامیکی را می‌توان در دستگاه مختصات $P-V$ یا $V-T$ یا $P-T$ نشان داد. برای یک دستگاه بسته (دستگاهی که جرم آن ثابت باشد)، هر نقطه‌ای بر روی این نمودار معرف یک حالت منحصر به فرد از دستگاه است.

نمونه

فرض کنید مقدار معینی از یک گاز کامل ابتدا در وضعیت $a (P_1, V_1, T_1)$ باشد و در اثر جذب گرما منبسط شده و به وضعیت $b (P_2, V_2, T_2)$ رسیده است. نمودار $P-V$ چنین فرایندی ممکن است به شکل ۲ باشد.



شکل ۲: نمونه‌ای از یک فرایند ترمودینامیکی انبساطی.

در این نمودار، ab یک فرایند ترمودینامیکی است که دستگاه را از حالت a به b برده است. (سوی پیکان جهت مسیر فرایند را نشان می‌دهد). مطمئناً در این فرایند دمای گاز افزایش یافته است؛ چرا که طبق معادله‌ی حالت گازهای کامل داریم:

$$\begin{cases} T_1 = \frac{P_1 V_1}{nR} \\ T_2 = \frac{P_2 V_2}{nR} \end{cases} \Rightarrow \frac{T_2}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{P_1 V_1} \xrightarrow{(P_2 > P_1), (V_2 > V_1)} T_2 > T_1$$

علم ترمودینامیک به بررسی وضعیت یک دستگاه در حالت تعادل می‌پردازد و در صورتی که دستگاه در حالت تعادل نباشد، نمی‌توان وضعیت دستگاه را معلوم کرد. به‌طور مثال، وقتی به گاز داخل یک محفظه گرما می‌دهیم، تعادل گاز به هم می‌خورد و دمای گاز در نقاط نزدیک به منبع گرما بالاتر می‌رود و در نتیجه، فشار و دمای گاز در نقاط مختلف فرق خواهد کرد و نمی‌توان یک حالت مشخص را به دستگاه نسبت داد. به همین دلیل، برای این که بتوانیم مسیر یک فرایند را (تازه آن هم به‌صورت تقریبی) تشخیص دهیم، فرایند باید تا حد امکان آهسته انجام شود؛ طوری که دستگاه همواره بسیار نزدیک به حالت تعادل باشد (بنابراین، فرایند گرمادهی باید بسیار کند و تدریجی باشد تا دستگاه به آرامی حالت خود را تغییر دهد). چنین فرایندی را اصطلاحاً «شبه

تعادلی» یا «آرمانی» می‌نامند.

جواب صحیح تست ۲۳ را دریافت کردید؛ اما چرا سایر گزینه‌ها قابل قبول نیستند؟ چون کمیت‌های به‌کار رفته در این گزینه‌ها را نمی‌توان صرفاً عضو یک گروه از کمیت‌های ماکروسکوپی یا میکروسکوپی دانست. این کمیت‌ها را می‌توان هم برای ذرات سازنده‌ی یک جسم به‌کار برد، هم برای خود آن جسم (سرعت یک جسم، سرعت ذرات یک جسم؛ هر دو مفهومند).

۲۴- گزینه‌ی «۴» انرژی جنبشی هم برای توصیف ماکروسکوپی یک دستگاه به‌کار می‌رود، هم برای توصیف میکروسکوپی.

۲۵- گزینه‌ی «۱» اولاً جرم مولکولی یک کمیت میکروسکوپی است و متغیرهای ترمودینامیکی کمیت‌هایی ماکروسکوپی‌اند. ثانیاً وقتی حالت یک دستگاه معین تغییر می‌کند، می‌توانیم مطمئن باشیم که جرم مولکولی آن (که جزو خواص ذاتی دستگاه است) تغییر نمی‌کند؛ بنابراین، با استفاده از جرم مولکولی دستگاه، نمی‌توان حالت آن را شناسایی کرد.

۲۶- گزینه‌ی «۳» طبق رابطه‌ی $T = \frac{PV}{nR}$ ، اگر در یک فرایند، برای مقدار معینی گاز کامل، حاصل‌ضرب P در V افزایش یافته باشد، دمای گاز افزایش می‌یابد. با این توضیح، یکایک گزینه‌ها را زیر نظر می‌گیریم!

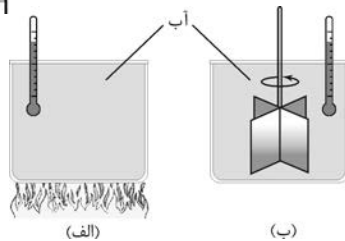
گزینه‌های «۱» و «۲»: در گزینه‌ی ۱، P افزایش، V کاهش و در گزینه‌ی ۲، P کاهش، V افزایش یافته است؛ به‌طوری که نمی‌توان تعیین کرد که آیا در پایان فرایند، دمای گاز افزایش یافته، کاهش یافته یا نه، اصلاً ثابت مانده است.
گزینه‌ی «۳»: هم P افزایش یافته، هم V ؛ جانا سخن از جواب ما می‌رانی!!



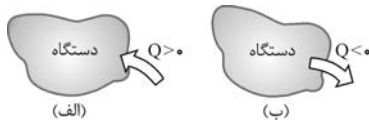
گزینه‌ی «۴»: P ثابت؛ V کم بشه، T کم می‌شه!

۲۷- گزینه‌ی «۳» مقن زیر را تا ته بفوانیر تا معلوم شور پراگزینه‌ی ۱۳

۳ تبادله انرژی از طریق گرما



شکل ۳: الف) انرژی از طریق گرما به آب منتقل می‌شود. ب) انرژی از طریق انجام کار به آب منتقل می‌شود.



شکل ۴: الف) زمانی $Q > 0$ است که گرما وارد دستگاه شود. ب) زمانی $Q < 0$ است که گرما از دست بدهد.

انرژی به‌صورت گرما یا کار می‌تواند مرز دستگاه را قطع کند و به آن وارد یا از آن خارج شود. در شکل ۳- الف، نمونه‌ای از انتقال انرژی از طریق گرما و در شکل ۳- ب، نمونه‌ای از انتقال انرژی در اثر انجام کار (به گردش درآوردن پره) را می‌بینید.

گرما انرژی‌ای است که صرفاً به علت اختلاف دما بین دو جسم مبادله می‌شود؛

بنابراین، لازمه‌ی مبادله‌ی گرما بین دستگاه و محیط، اختلاف دمای بین آن‌هاست. طبیعی است که در هنگام مبادله‌ی گرما بین دستگاه و محیط، یکی گرما می‌گیرد و دیگری گرما از دست می‌دهد. علامت گرما طبق قرارداد نشان داده شده در شکل ۴ معلوم می‌شود. اگر دمای محیط بالاتر از دمای دستگاه باشد، گرما از محیط به دستگاه منتقل می‌شود و علامت گرما مثبت لحاظ می‌شود (شکل ۴- الف). هم‌چنین اگر دمای دستگاه بالاتر از دمای محیط باشد، گرما از دستگاه به محیط منتقل می‌شود و علامت آن منفی در نظر گرفته می‌شود (شکل ۴- ب). با این حساب، علامت مثبت Q نشان‌دهنده‌ی افزایش انرژی دستگاه و علامت منفی Q نشان‌دهنده‌ی کاهش انرژی آن است.

توجه: منظور از منبع گرما، جسمی است که دمای آن در اثر تبادل گرما تغییر محسوسی نکند. بعضی‌ها تا

اسم منبع گرما می‌یاد، یاد شعله می‌افتند. (البته فور شعله؛ نه فیلمش!) این تصویری محدود - و با عرض معذرت از کسانی که چنین عقیده‌ای دارند - ساده‌لوحانه از منبع گرماست! به نمونه‌های زیر توجه کنید.

نمونه ۱: اگر یک فنجان قهوه‌ی داغ (بابا، باکلاس!) را در محوطه‌ی اتاق قرار دهیم، قهوه سرد می‌شود و پس از مدتی به دمای اتاق می‌رسد. هوای اتاق ظرفیت گرمایی بالایی دارد و دمای آن در اثر جذب گرما، چندان تغییر نمی‌کند؛ بنابراین، هوای اتاق برای فنجان قهوه یک منبع گرما محسوب می‌شود.

نمونه ۲: از مخلوط آب و یخ 0°C ، تا زمانی که نه تمام یخ آب شود و نه تمام آب منجمد شود، می‌توان به‌عنوان منبع گرما استفاده کرد. در این صورت، اگر مخلوط مقداری گرما بگیرد، بخشی از یخ آن ذوب می‌شود؛ ولی دمای مخلوط همان 0°C باقی می‌ماند و اگر مخلوط مقداری گرما از دست بدهد، بخشی از آب منجمد می‌شود؛ ولی باز هم دمای مخلوط تغییر نمی‌کند.

۲۸- گزینه‌ی «۲» آب استخر برای قطعه‌ی سربی حکم یک منبع گرما را دارد و در نتیجه، دمای آب استخر در اثر هم‌نشینی با قطعه‌ی سربی، تقریباً تغییر نمی‌کند و قطعه آن قدر گرما از دست می‌دهد تا با آب استخر هم‌دما شود. با این حساب، کافی است دمای نهایی قطعه (θ_2) را مشخص کنیم.



$$Q = mc(\theta_p - \theta_1)$$

همان طور که می‌دانید گرمای لازم برای تغییر دمای جسمی از θ_1 تا θ_p با رابطه‌ی مقابل داده می‌شود:

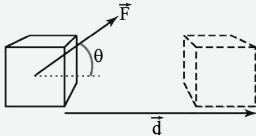
چون جسم گرما از دست داده است، علامت Q منفی است و داریم:

$$\begin{cases} Q = -600 \text{ J} \\ m = 100 \text{ g} = \frac{100}{1000} \text{ kg} = 0.1 \text{ kg} \end{cases} \Rightarrow -600 = 0.1 \times 120 \times (\theta_p - 60) \rightarrow \theta_p - 60 = -50 \rightarrow \theta_p = 10^\circ \text{C}$$

۲۹- گزینه‌ی «۴» پاسخ را به بعد از خواندن متن زیر ماکول می‌کنم.

۴ تبادلی انرژی از طریق کار

اگر عبور انرژی از مرز یک دستگاه به صورت گرما نباشد، حتماً به صورت کار خواهد بود. آن‌هایی را که می‌گویند: «چیست کار؟» به مطالعه‌ی متن زیر فرامی‌خوانم!



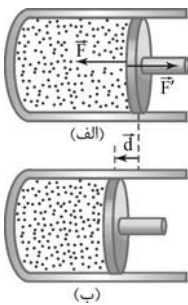
شکل ۵: کار نیروی \vec{F} در جابه‌جایی \vec{d} برابر $W = Fd \cos \theta$ است

یادآوری طبق تعریف، اگر نیروی F به جسمی وارد شود و آن را به اندازه‌ی d جابه‌جا کند، کار نیروی F بر روی جسم از رابطه‌ی $W = Fd \cos \theta$ به دست می‌آید که منظور از θ زاویه‌ی بین بردارهای نیرو و جابه‌جایی است (شکل ۵).

توجه با توجه به علامت $\cos \theta$ ، کار می‌تواند مثبت، منفی یا صفر باشد. اگر زاویه‌ی بین نیرو و جابه‌جایی حاده باشد ($\cos \theta > 0$)، علامت کار، مثبت ($W > 0$) و اگر زاویه‌ی بین نیرو و جابه‌جایی منفرجه باشد ($\cos \theta < 0$)، علامت کار، منفی ($W < 0$) و اگر نیرو در راستای عمود بر جابه‌جایی باشد ($\cos \theta = 0$)، کار انجام شده برابر صفر است ($W = 0$).

نتیجه کار نیروهای محرک (مانند نیروی \vec{F} در شکل ۵)، مثبت و کار نیروهای مقاوم در برابر حرکت، منفی است.

بنابراین، برای تبادل کار بین دستگاه و محیط لازم است اولاً نیرویی به دستگاه وارد شود و ثانیاً مرز دستگاه جابه‌جا شود. ما اصولاً در صحبت‌هایمان از دو نوع کار اسم می‌بریم. کاری که محیط بر روی دستگاه انجام می‌دهد (W) و کاری که دستگاه بر روی محیط انجام می‌دهد (W'). این دو چه فرقی باهم دارند؟ ببینیم!



شکل ۶: کاری که پیستون بر روی گاز در حین تراکم انجام می‌دهد، مثبت و کاری که گاز در این حالت، روی پیستون انجام می‌دهد، منفی است.

نمونه مجدداً به دستگاه معروف خودمان باز می‌گردیم؛ گازی که مطابق شکل ۶، داخل استوانه‌ای با پیستونی متحرک حبس شده است. فرض کنید پیستون را به آهستگی به سمت چپ حرکت داده و گاز را متراکم می‌کنیم. نیرویی را که محیط (در این جا، پیستون) به دستگاه (گاز) وارد می‌کند، با \vec{F} و عکس‌العمل آن که از جانب دستگاه به محیط وارد می‌شود، با \vec{F}' نشان می‌دهیم. چون این دو نیرو کنش و واکنشند، از قانون سوم نیوتون پیروی می‌کنند؛ یعنی هم‌اندازه‌اند ($F = F'$) و در خلاف جهت یکدیگرند.

از آن جا که نیروی \vec{F} در جهت جابه‌جایی دستگاه (\vec{d}) است، زاویه‌ی بین آن‌ها صفر است ($\theta = 0$)؛ لذا کاری که نیروی \vec{F} در جابه‌جایی دستگاه انجام می‌دهد، مثبت و مقدار آن برابر است با:

$$W = Fd \cos 0 \xrightarrow{(\cos 0 = 1)} W = Fd$$

نیروی \vec{F}' در خلاف جهت جابه‌جایی دستگاه بر پیستون اثر می‌کند ($\theta = 180^\circ$)؛ لذا علامت

$$W' = F'd \cos 180^\circ \xrightarrow{(\cos 180^\circ = -1)} W' = -F'd$$

کار نیروی \vec{F}' در جابه‌جا کردن دستگاه منفی است و مقدار آن برابر است با: $W' = -W$

کار دستگاه بر روی محیط برابر منفی کاری است که محیط روی دستگاه انجام می‌دهد. **نتیجه ۱**

کاری که محیط بر روی دستگاه انجام می‌دهد، در هنگام تراکم، مثبت و در هنگام انبساط، منفی است. **نتیجه ۲**

از این به بعد، هر موقع واژه‌ی «کار» را به تنهایی به کار بردیم، منظور، کار محیط بر روی دستگاه است که با **توجه ۱**

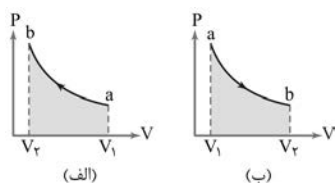
نماد « W » نشان داده می‌شود.

توجه ۲

علامت کار نشان می‌دهد انرژی به کدام سمت منتقل می‌شود. اگر $W > 0$ باشد، انرژی به دستگاه وارد و اگر $W < 0$ باشد، انرژی از دستگاه خارج می‌شود. (چرا؟)

نکته

اندازه‌ی کار انجام شده در یک فرایند ترمودینامیکی برابر مساحت زیر نمودار $P-V$ در آن فرایند است.^۱

نمونه


در نمودارهای نشان داده شده در شکل ۷، اندازه‌ی کار انجام شده در فرایند ab برابر مساحت زیر نمودار (S) است:

$$|W| = S$$

در شکل ۷-الف که حجم گاز کاهش یافته، علامت W مثبت است:

$$V_2 < V_1 \rightarrow \Delta V < 0 \rightarrow W > 0$$

شکل ۷: مساحت زیر نمودار $P-V$ ، معرف اندازه‌ی کار انجام شده بر روی دستگاه است ($|W| = S$).

در شکل ۷-ب که حجم گاز افزایش یافته، علامت W منفی است:

$$V_2 > V_1 \rightarrow \Delta V > 0 \rightarrow W < 0$$

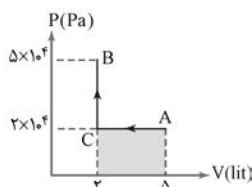
نتیجه

علم ترمودینامیک به بررسی انتقال انرژی از طریق کار و گرما می‌پردازد. خیلی مهم است که تفاوت این دو کمیت را دقیقاً بدانیم. در جدول ۱، این دو کمیت را به‌طور آموزنده‌ای با هم مقایسه کرده‌ایم؛ توجه بفرمایید.

کار (W)	گرما (Q)	نوع برهم‌کنش
مکانیکی	گرمایی	
نیروی که نقطه اثرش را جابه‌جا کند.	وجود اختلاف دما	شرط وقوع
حرکت ماکروسکوپی مرز دستگاه	برخوردهای میکروسکوپی مولکول‌ها	فرایند انتقال
دستگاه متراکم شده و انرژی مکانیکی از محیط به دستگاه منتقل می‌شود.	دمای محیط بالاتر از دستگاه است و انرژی گرمایی از محیط به دستگاه منتقل می‌شود.	علامت مثبت
دستگاه منبسط شده و انرژی مکانیکی از دستگاه به محیط منتقل می‌شود.	دمای محیط کمتر از دستگاه است و انرژی گرمایی از دستگاه به محیط منتقل می‌شود.	علامت منفی
زمانی دستگاه در تعادل مکانیکی است که نیروی خالصی از طرف محیط به آن وارد نشود.	زمانی دستگاه در تعادل گرمایی است که هم‌دما با محیط باشد.	تعادل

جدول ۱: مقایسه‌ی کمیت‌های گرما و کار.

و اما تست ۲۹؛ حجم دستگاه هم در فرایند AB افزایش یافته، هم در فرایند BC ؛ بنابراین، کار محیط بر روی دستگاه در هر دو فرایند، منفی است.

۳۰- گزینه‌ی ۱ کار انجام شده برابر مجموع مساحت‌های زیر نمودارهای AC و CB است.


$$S_{AC} = P_A |\Delta V_{AC}|$$

سطح زیر نمودار AC برابر است با:

$$|\Delta V_{AC}| = |V_C - V_A| = |2 - 5| = 3 \text{ lit} = 3 \times 10^{-3} \text{ m}^3 \rightarrow S_{AC} = (2 \times 10^4) \times (3 \times 10^{-3}) = 60 \text{ J}$$

$$S_{CB} = 0$$

سطح زیر پاره‌خط CB هم که صفر است:

$$W = S_{\text{کل}} = S_{AC} + S_{CB} = 60 + 0 \rightarrow W = 60 \text{ J}$$

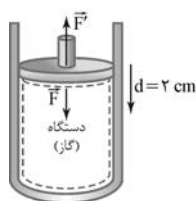
بنابراین، با توجه به تراکمی بودن فرایند AC ، داریم:

۳۱- گزینه‌ی ۲ مطابق آنچه در شکل روبه‌رو نشان داده شده، در این جا دستگاه مورد نظر ما گاز

داخل استوانه (در فشار $1/5 \times 10^5 \text{ Pa}$) است. اندازه‌ی نیرویی که گاز به پیستون وارد می‌کند (F')، به این ترتیب

$$P = \frac{F'}{A} \rightarrow F' = PA = 1/5 \times 10^5 \times 0/03 = 4500 \text{ N}$$

محاسبه می‌شود:



۱ - اثبات این مطلب به ریاضیات پیشرفته‌ای نیاز دارد که در حد کتاب درسی فیزیک ۳ نیست.



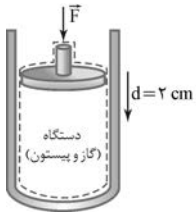
$$F = F' = 4500 \text{ N}$$

اندازه‌ی نیرویی که پیستون به گاز وارد می‌کند (F)، نیز برابر همین مقدار است. (چرا؟)

چون نیروی \vec{F} در جهت جابه‌جایی قشر فوقانی دستگاه است، کار آن مثبت و اندازه‌ی آن برابر است با:

$$W = Fd \cos 0 = 4500 \times 0.02 \rightarrow W = 90 \text{ J}$$

(فشار هوا فقط برای انحراف افکار عمومی مطرح شده بود!)



۳۲- **گزینه‌ی ۱** در این‌جا دستگاه، شامل پیستون و گاز است که مرزبندی آن با محیط در شکل مقابل نشان

داده شده است. نیرویی که باعث حرکت مرز متحرک دستگاه به سمت پایین می‌شود، ناشی از فشار هواست؛ لذا هوا نقش محیط را دارد و اگر فشار آن را با P_0 نمایش دهیم، نیرویی که به دستگاه وارد می‌کند، برابر است با:

$$F = P_0 A = 10^5 \times 0.03 = 3000 \text{ N}$$

$$W = Fd \cos 0 = 3000 \times 0.02 \rightarrow W = 60 \text{ J}$$

و کار انجام شده توسط این نیرو:

تست‌های ۳۱ و ۳۲ دو پیام آموزشی مهم به همراه دارند که رومی رو اول می‌گم!!! دومیش اینه که صحبت از کار به تنهایی

توجه

و بدون آن‌که مرز دستگاه دقیقاً مشخص شده باشد، مبهم و اشتباه است؛ اولیش هم یاد م رفت!!!

۳۳- **گزینه‌ی ۳** لطفاً به درس‌نامه‌ی پنجم این فصل توجه بفرمایید.

انرژی درونی

منظور از «انرژی درونی»، انرژی یک جسم در قواره‌ی میکروسکوپی است؛ به عبارت واضح‌تر، به مجموع انرژی‌های میکروسکوپی ذرات تشکیل‌دهنده‌ی یک جسم انرژی درونی گفته می‌شود و از نماد «U» برای نمایش آن استفاده می‌کنیم. بدیهی است که انرژی درونی یک جسم به مقدار ماده‌ی موجود در جسم و انرژی متوسط ذرات تشکیل‌دهنده‌اش بستگی دارد.

در فیزیک پیش‌رفته‌تر ثابت می‌شود که انرژی درونی گاز کامل با تعداد مول‌های آن و دمای مطلق گاز

ذکته

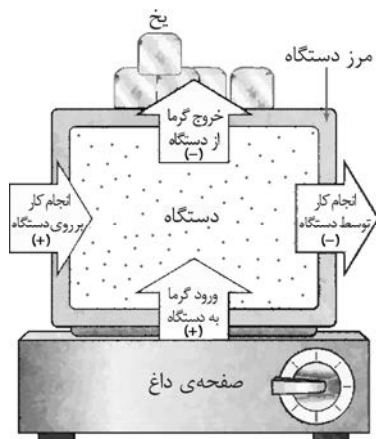
نسبت مستقیم دارد.

طبق قانون اول ترمودینامیک، تغییر انرژی درونی یک دستگاه برابر جمع جبری کار انجام شده بر روی دستگاه و گرمای

$$\Delta U = Q + W$$

(رابطه‌ی ۴)

مبادله شده با آن است؛ یعنی:



شکل ۸: مدل انرژی در ترمودینامیک.

علامت کار و گرما رو هم که دیکه فور شما استارید! فقط من باب تذکر و محکم‌کاری بگم که اگر انرژی از محیط وارد دستگاه شود (چه به صورت گرما، چه به صورت کار)، علامت آن مثبت است و انرژی درونی دستگاه را افزایش می‌دهد و اگر انرژی از دستگاه خارج شود (چه به صورت گرما، چه به صورت کار) علامت آن منفی است و انرژی درونی دستگاه کاهش می‌یابد.

شکل ۸ به «مدل انرژی در ترمودینامیک» مشهور است و مطالب فوق را به شکل نمادین نشان می‌دهد. (اگر دستگاه را با یک بانک همانندسازی کنیم، انرژی درونی دستگاه حکم دارایی بانک را خواهد داشت! همان‌طور که ورود پول به یک بانک دارایی آن را افزایش می‌دهد، انتقال انرژی به دستگاه انرژی درونی آن را افزایش می‌دهد. خروج پول از بانک نیز همانند کاهش انرژی درونی دستگاه می‌باشد.)

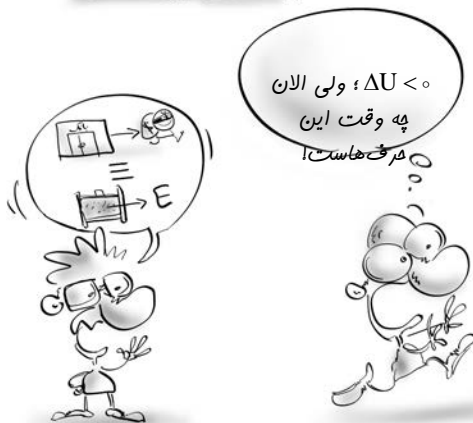
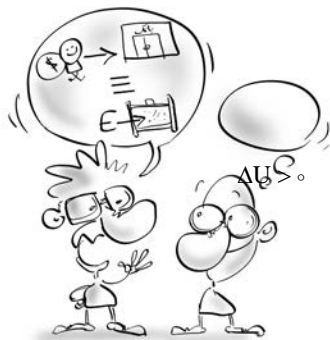
۱- این بیان از قانون اول ترمودینامیک در مورد دستگاه‌های ثابت (دستگاه‌های بسته‌ای که سرعت و ارتفاعشان در طول فرایند، ثابت است) برقرار است. اگر در اثر تغییر سرعت یا

$$\Delta E = Q + W$$

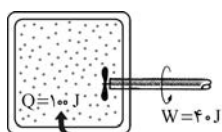
تغییر ارتفاع دستگاه، انرژی مکانیکی آن تغییر کند، آن‌گاه قانون اول ترمودینامیک به صورت روبه‌رو درمی‌آید:

$$\Delta E = \Delta U + \Delta E_K + \Delta E_P$$

که منظور از ΔE مجموع تغییرات انرژی درونی (ΔU)، انرژی جنبشی (ΔE_K) و انرژی پتانسیل (ΔE_P) دستگاه است:



«همان‌طور که با ورود یا خروج پول از بانک، دارایی بانک زیاد یا کم می‌شود، با ورود یا خروج انرژی از دستگاه، انرژی درونی آن زیاد یا کم می‌شود»



نمونه فرض کنید دستگاه رسم شده در شکل مقابل، ۱۰۰ J گرما (از منبع گرم) دریافت کند و در عین حال یک چرخ پره‌دار با چرخش خود ۴۰ J کار روی دستگاه انجام دهد. در این صورت، انرژی درونی دستگاه ۱۴۰ J افزایش می‌یابد.

$$\Delta U = Q + W = 100 + 40 = 140 \text{ J}$$

انرژی درونی تابع دمای مطلق گاز است و اگر دمای گاز تغییر نکند، انرژی درونی هم تغییر نمی‌کند. با این اوصاف، جواب صحیح تست ۳۳ می‌شود
گزینه‌ی ۳. (۱...! چه قدر ۱۳)

$$\frac{P_1 V_1}{n_1 T_1} = \frac{P_2 V_2}{n_2 T_2} \rightarrow \frac{1 \times 6}{1 \times T_1} = \frac{6 \times 8}{1 \times T_2} \xrightarrow{(n_2 = n_1)} \frac{T_2}{T_1} = 1 \xrightarrow{(U \propto T)} \frac{U_2}{U_1} = 1$$

۳۴- گزینه‌ی «۴»

$$T_1 = \theta_1 + 273 = 91 + 3 \times 91 = 4 \times 91 \text{ K}$$

۳۵- گزینه‌ی «۳» با محاسباتی از نوع دیگر آشنا شوید!

$$T_2 = \theta_2 + 273 = 4 \times 91 + 3 \times 91 = 7 \times 91 \text{ K}$$

$$\frac{U_2}{U_1} = \frac{T_2}{T_1} \rightarrow \frac{U_2 - U_1}{U_1} = \frac{T_2 - T_1}{T_1} \rightarrow \frac{600}{U_1} = \frac{7 \times 91 - 4 \times 91}{4 \times 91} \rightarrow \frac{600}{U_1} = \frac{3}{4} \rightarrow U_1 = 800 \text{ J}$$

۳۶- گزینه‌ی «۲» انرژی درونی گاز در نقطه‌ای بیشتر است که دمای بالاتری داشته باشد. با توجه به شکل نمایش یافته در صورت تست و با توجه به معادله‌ی حالت گازهای کامل، داریم:

$$T \propto PV \begin{cases} P_A = P_B, V_B > V_A \rightarrow T_B > T_A \\ V_B = V_C, P_C > P_B \rightarrow T_C > T_B \end{cases} \rightarrow T_C > T_B > T_A \rightarrow U_C > U_B > U_A$$

۳۷- گزینه‌ی «۳» نقطه‌ی D در فشار و دمای بالاتری نسبت به نقطه‌ی A قرار دارد؛ لذا انرژی درونی گاز افزایش یافته است.

$$T_1 = \frac{P_1 \times (3V_1)}{nR}, T_2 = \frac{(3P_1) \times V_1}{nR}$$

۳۸- گزینه‌ی «۴» دمای گاز در ابتدا و انتهای فرایند یکسان است.

$$T_2 = T_1 \rightarrow U_2 = U_1 \rightarrow \Delta U = 0 \rightarrow W + Q = 0$$

بنابراین، انرژی درونی گاز در پایان فرایند تغییر نمی‌کند.



۳۹- گزینه‌ی «۱» آب از طریق هم‌زن کار مکانیکی دریافت می‌کند و از این طریق، دما و انرژی درونی‌اش افزایش می‌یابد.

$$\Delta U = Q + W \xrightarrow{(Q=0)} \Delta U = W \xrightarrow{(W>0)} \Delta U > 0$$



۴۰- گزینه‌ی «۱» گاه اول: دیواره‌های داخلی اتاقک، مرز دستگاه را تشکیل می‌دهند که در شکل مقابل با خط چین

نشان داده شده است. انرژی (چه به صورت گرمایی، چه به صورت کار) زمانی بین دستگاه و محیط مبادله می‌شود که مرز

دستگاه را قطع کند (به عبارتی، هر دوی این انرژی‌ها پدیده‌های مرزی‌اند). در این جا، چون دستگاه عایق‌بندی شده، گرما از

مرز آن عبور نمی‌کند ($Q=0$).

گاه دوم: حتماً با من بر سر این موضوع موافقتی که هیچ‌گونه انرژی‌ای به صورت کار به دستگاه منتقل یا از آن خارج نمی‌شود ($W=0$)؛ پس طبق

قانون اول ترمودینامیک، انرژی درونی دستگاه تغییر نمی‌کند ($\Delta U=0$). شاید بعضی‌ها با خود (یا با دیگری!) بگویند: «مگه دمای هوا بالا نمی‌ره؟ پس

چرا انرژی درونی زیاد نمی‌شه؟» در پاسخ می‌گوییم: در این جا، دستگاه ما که فقط شامل هوا نیست؛ شامل هوا و شمع است و به همان اندازه که از

انرژی شیمیایی شمع (در اثر سوختن) کاسته می‌شود، به انرژی درونی هوا اضافه می‌شود؛ طوری که انرژی درونی مجموعه‌ی آن‌ها ثابت می‌ماند.



۴۱- گزینه‌ی «۴» این یکی تست ساده‌ای است و فکر کنیم اکثران به صورت حسی به پاسخ صحیح دست یافته باشید!

در این جا، دستگاه شامل هوای داخل اتاق است و شمع، محیط دستگاه را تشکیل می‌دهد. گرما از شمع به هوا منتقل

می‌شود ($Q > 0$) و انرژی درونی آن را افزایش می‌دهد ($\Delta U > 0$). (دو تست اخیر نیز همانند تست‌های ۳۱ و ۳۲، اهمیت

مرزبندی دقیق دستگاه و محیط را برای تحلیل ترمودینامیکی دستگاه نشان می‌دهند.)

۴۲- گزینه‌ی «۱» چون دماسنج در محیطی با دمای بالاتر قرار می‌گیرد، گرما از محیط به دستگاه منتقل می‌شود ($Q > 0$). از طرفی، چون

جیوه در داخل لوله منبسط می‌شود و فضای اشغال شده توسط گاز را تنگ می‌کند، کار انجام شده توسط محیط بر روی دستگاه مثبت

است ($W > 0$). وقتی، هم Q مثبت، هم W ، هم ΔU هم مثبته دیگه!

۴۳- گزینه‌ی «۲» فکر کنم تمام موهوبات زنده‌ی دنیا (به جز تیره‌ی گیاهان و سفت‌پوستان) بتوانند این تست را حل کنند! دستگاه 300 J کار مثبت بر

روی محیط انجام داده است ($W' = 300\text{ J}$). محیط به همین اندازه کار منفی بر روی دستگاه انجام می‌دهد ($W = -300\text{ J}$)؛ پس: $\Delta U = Q + W$

$$\Delta U = 250\text{ J} - 300\text{ J} \rightarrow \Delta U = -50\text{ J} \quad (\text{دریافتی؛ } 300\text{ J} \text{ پرداختی؛ یعنی } 50\text{ J} \text{ ضرر!})$$

۴۴- گزینه‌ی «۱» بنابر معادله‌ی حالت گازهای کامل، دمای مطلق گاز با حاصل ضرب فشار در حجم آن (PV) نسبت مستقیم دارد و چون

این حاصل ضرب در طول فرایند رو به افزایش است، دمای گاز و در نتیجه، انرژی درونی آن روند صعودی دارد ($\Delta U > 0$). از سوی دیگر، چون حجم

گاز افزایش یافته ($\Delta V > 0$)، کار محیط بر روی آن منفی است ($W < 0$). اگر این دو نتیجه را به قانون اول ترمودینامیک پیوست کنیم، معلوم

$$\Delta U = Q + W \xrightarrow{(\Delta U > 0, W < 0)} Q > 0$$

می‌شود که چرا گاز گرما گرفته است.

۴۵- گزینه‌ی «۱» در نگاه اول، نمی‌توان دست روی گزینه‌ی خاصی گذاشت و همه‌ی گزینه‌ها محترمند!

گزینه‌ی «۱»: بنابر شکل، دمای گاز افزایش و فشار آن کاهش یافته است؛ بنابراین، طبق معادله‌ی حالت گازهای کامل، حتماً حجم گاز

افزایش یافته و همین گزینه صحیح است.



$$PV = nRT \rightarrow \frac{P_b V_b}{P_a V_a} = \frac{T_b}{T_a} \rightarrow \frac{V_b}{V_a} = \left(\frac{P_a}{P_b}\right) \left(\frac{T_b}{T_a}\right) \xrightarrow{(P_a > P_b, T_b > T_a)} V_b > V_a$$

گزینه‌ی «۲»: انرژی درونی گاز متناسب با دمای مطلق آن است و چون دمای گاز افزایش یافته، انرژی درونی‌اش نیز افزایش می‌یابد ($\Delta U > 0$).

گزینه‌ی «۴»: چون حجم گاز افزایش یافته است، کار انجام شده بر روی گاز منفی است: $\Delta V > 0 \rightarrow W < 0$

گزینه‌ی «۳»: نتایج به دست آمده در گزینه‌های ۲ و ۴ را کنار قانون اول ترمودینامیک قرار دهید تا ثابت شود که گاز مقداری گرما گرفته است.

$$\Delta U = Q + W \xrightarrow{(\Delta U > 0, W < 0)} Q > 0$$

۴۶- گزینه‌ی «۱» در هر سه فرایند، دمای گاز از T_a به T_b افزایش یافته است؛ بنابراین:

$$(\Delta T_1 = \Delta T_2 = \Delta T_3 = T_b - T_a) > 0 \xrightarrow{(U \propto T)} (\Delta U_1 = \Delta U_2 = \Delta U_3) > 0$$

با توجه به شکل صورت تست، چون سطح زیر نمودار در فرایند ۱ از همه بیشتر و در فرایند ۳ از همه کم‌تر است، اندازه‌ی کار انجام شده در فرایند ۱ بیشتر از دو فرایند دیگر و در فرایند ۳ کم‌تر از سایر فرایندهاست.

$$S_1 > S_2 > S_3 \rightarrow |W_1| > |W_2| > |W_3|$$

اکثر دانش‌آموزان تا این‌جا کار جلو می‌آیند؛ ولی بعد از این، دچار یک خطای جان‌گداز می‌شوند! و با توجه به این‌که مجموع W و Q (یعنی ΔU) در هر سه فرایند، یکسان و $|W_1| > |W_2| > |W_3|$ کوچک‌تر است، پاسخ مثبت به نامساوی $Q_1 > Q_2 > Q_3$ می‌دهند! این استدلال ظاهر معقول و موجهی دارد! پس اشکال کار در کجاست؟ اشکال کار، غفلت از علامت W است. هر سه فرایندها انبساطی‌اند و در نتیجه، در هر سه $W < 0$ است. برای این‌که علامت W را برجسته کنیم، می‌توانیم قانون اول را، برای هر سه فرایند، به شکل زیر بنویسیم:

$$\Delta U = Q + W \xrightarrow{(W < 0)} \Delta U = Q - |W|$$

حالا راحت‌تر می‌توانیم Q ها را مقایسه کنیم.

$$(\Delta U_1 = \Delta U_2 = \Delta U_3) > 0 \rightarrow Q_1 - |W_1| = Q_2 - |W_2| = Q_3 - |W_3| \xrightarrow{(|W_1| > |W_2| > |W_3|)} Q_1 > Q_2 > Q_3$$

نتیجه ۱ کار انجام شده توسط یک دستگاه - علاوه بر حالت‌های اولیه و نهایی دستگاه - به مسیر فرایند نیز بستگی دارد؛

گرما نیز همین‌طور. (به همین دلیل گفته می‌شود که کار و گرما تابع مسیرند.)

نتیجه ۲ انرژی درونی فقط به حالت دستگاه ربط دارد و تغییرات آن تنها وابسته به حالت‌های اولیه و ثانویه‌ی

دستگاه و مستقل از مسیر فرایند است. (اصطلاحاً می‌گوییم انرژی درونی تابع حالت دستگاه است، نه تابع مسیری که دستگاه را به حالتی دیگر می‌رساند.)

۴۷- گزینه‌ی «۲» با توجه به توضیحاتی که در پاسخ تست ۴۶ دادیم، داریم:

$$\Delta U_1 = \Delta U_2$$

$$Q_1 + W_1 = Q_2 + W_2 \rightarrow 500 - 200 = 400 + W_2 \rightarrow W_2 = -100 \text{ J}$$

با توجه به شکل صورت تست، مساحت زیر نمودار ۲، میانگین مساحت‌های زیر نمودارهای ۱ و ۳ است. (چرا؟) بنابراین، می‌توان نوشت:

$$S_2 = \frac{S_1 + S_3}{2} \rightarrow |W_2| = \frac{|W_1| + |W_3|}{2} = \frac{200 + 100}{2} = 150 \text{ J} \xrightarrow{(W_2 < 0)} W_2 = -150 \text{ J}$$

W_2 کار انجام شده توسط محیط در مسیر ۲ است؛ کار انجام شده توسط دستگاه، منفی این مقدار است.

$$W_2' = -W_2 \rightarrow W_2' = 150 \text{ J}$$

$$\Delta U_1 = \Delta U_2$$

۴۸- گزینه‌ی «۳» انرژی درونی در هر سه فرایند، به یک میزان تغییر می‌کند؛ بنابراین:

$$500 - 200 = Q_2 - 150 \rightarrow Q_2 = 450 \text{ J}$$

۴۹- گزینه‌ی «۲» لطفاً درس‌نامه‌ی زیر را بخوانید.

۶ فرایند هم‌حجم

یک دستگاه می‌تواند تحت فرایندهای مختلفی، از یک حالت به حالت دیگر برود. در این بین، تعدادی فرایند خاص هستند که بیشتر مورد توجه قرار می‌گیرند. یکی از آن‌ها «فرایند هم‌حجم» است که مشخصات آن در زیر فهرست شده است.

۱- فرایند هم‌حجم فرایندی است که در آن، حجم دستگاه ثابت نگه داشته می‌شود ($\Delta V = 0$).

۲- اگر دستگاهی شامل مقداری گاز کامل در حجم ثابت باشد، فشار و دمای مطلق آن متناسب با هم، کم یا زیاد می‌شوند.

$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2} \xrightarrow{(V_1 = V_2)} \frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2} \rightarrow \frac{P_2}{P_1} = \frac{T_2}{T_1} \rightarrow P \propto T$$

فرض کنید مقداری گاز را، مطابق شکل ۹، در مخزنی با ضریب انبساط ناچیز به دام

نمونه

انداخته‌ایم. اگر گاز را گرم کنیم، دما و فشار گاز در حجم ثابت افزایش می‌یابند. (پی‌هرمودین؟ از اون سورافه گاز می‌یار بیرون؟ این یک برش از پاره‌ی دستگاه است که ببینیم توش چه فیره‌ی رنگه از این سؤال‌ها نکن؛ دکتر...!)

شکل ۱۰، نمودارهای $P-V$ ، $P-T$ و $V-T$ گازی را نشان می‌دهد که در حجم

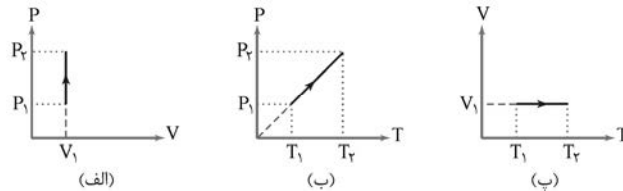
توجه ۱

ثابت V_1 گرما گرفته و دمای آن از T_1 تا T_2 و فشار آن از P_1 تا P_2 افزایش یافته است.



شکل ۹، نوعی فرایند هم‌حجم که با افزایش دمای گاز همراه است.





شکل ۱۰: وقتی گاز در حجم ثابت گرم می‌شود، فشار و دمای مطلق آن (متناسب با یکدیگر) افزایش می‌یابند.

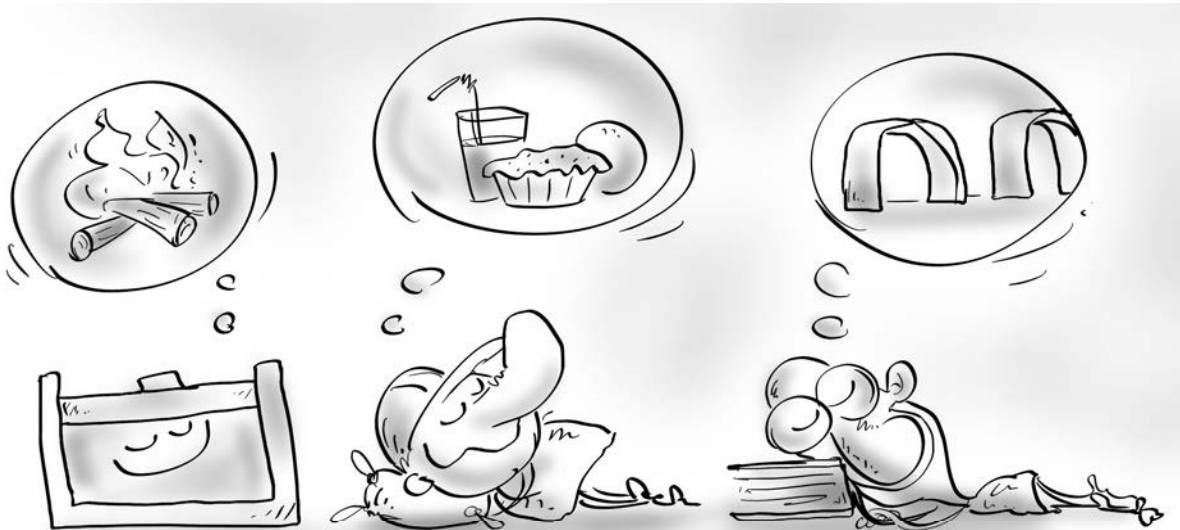
توجه ۲ اگر در فرایند هم‌حجم، دستگاه گرما از دست بدهد، نمودارها باز هم شبیه به شکل ۱۰ خواهند بود؛ ولی جهت فرایند در همه‌ی آن‌ها برعکس می‌شود.

۳- شرط لازم برای انجام کار، جابه‌جایی است. از آن‌جا که در فرایند هم‌حجم، جابه‌جایی‌ای (برای دستگاه) صورت نمی‌گیرد، کاری انجام نمی‌شود ($W = 0$).

۴- در فرایند هم‌حجم، انرژی درونی دستگاه به اندازه‌ی گرمای داده شده به آن (Q_V) تغییر می‌کند.

$$\Delta U = Q + W \xrightarrow[\substack{(Q=Q_V) \\ (W=0)}]{\quad} \Delta U = Q_V$$

به قول فوژم (۱): مهم آنکه ثابت باشه، کاری انجام نمی‌شه تغییرات انرژی، برابر گرما می‌شه!



«وقتی حرکتی انجام نشه، کاری هم انجام نمی‌شه!»

۵- گرمای ویژه‌ی یک گاز به فرایندی بستگی دارد که گاز می‌پیماید. گرمای ویژه‌ی یک گاز در حجم ثابت (c_V) برابر مقدار گرمایی است که یکای جرم گاز در حجم ثابت دریافت می‌کند تا دمای آن یک کلوین (یا 1°C) افزایش یابد. این تعریف از رابطه‌ی ۵ قابل استخراج است.

$$Q_V = mc_V \Delta T \quad (\text{رابطه‌ی ۵})$$

اگر رابطه‌ی $n = \frac{m}{M}$ را با رابطه‌ی فوق ترکیب کنیم، به دست خواهیم آورد:

$$Q = nMc_V \Delta T$$

عبارت « Mc_V » را با « C_{MV} » نشان می‌دهیم و به تعبیر کتاب درسی، آن را «ظرفیت گرمایی مولی در حجم ثابت» و به تعبیر دقیق‌تر، «گرمای ویژه‌ی مولی در حجم ثابت»^۱ می‌نامیم!

$$Q_V = nC_{MV} \Delta T \quad (\text{رابطه‌ی ۶})$$

مطابق رابطه‌ی ۶، گرمای ویژه‌ی مولی گاز در حجم ثابت، مقدار گرمایی است که دمای 1 mol گاز را در حجم ثابت، 1 K تغییر می‌دهد.



۱ - و به قول فرنگی‌ها (!): molar specific heat at constant volume.

توجه

نکته‌ی جالب توجه این جاست که C_{MV} به جنس گاز بستگی ندارد؛ به تعداد اتم‌های ذرات تشکیل‌دهنده‌ی آن بستگی دارد. می‌توان نشان داد که مقدار تقریبی این کمیت برای گازهای تک‌اتمی (مثل He) برابر با $\frac{3}{2}R$ و برای دواتمی‌ها (مثل O_2) برابر با $\frac{5}{2}R$ و بنابه فرمایش کتاب درسی (۱) برای چنداتمی‌ها (مثل CO_2 یا NH_3) برابر با $\frac{7}{2}R$ است.^۱

نتیجه

$$\Delta U_V = nC_{MV}\Delta T$$

با توجه به این که $\Delta U = Q$ می‌باشد، رابطه‌ی مقابل برقرار است. (رابطه‌ی ۷)

در تست ۴۹، طراح سؤال C_{MV} گازهای تک‌اتمی را می‌خواهد؛ منتها آن را با اِشوه مطرح کرده است!!

۱ - $\frac{3}{2}R$ تقریباً می‌شود $2.9 J/mol.K$. طبق آنچه در منابع معتبر آمده است، گرمای ویژه مولی در حجم ثابت برای گاز H_2S ، $26 J/mol.K$ ، برای CO_2 ، $29 J/mol.K$ و برای C_2H_6 ، حدود $40 J/mol.K$ است! بعید می‌دانم مؤلفین کتاب درسی این سه مقدار را یکی بدانند! (البته C_{MV} گازهای تک‌اتمی یا دواتمی نیز با هم تفاوت‌های جزئی دارند.)