



## فیزیک ۳ (جلد اول)

ویژه دانش‌آموزان ممتاز رشته‌های ریاضی و تجربی



مؤلف: علیرضا شبانی



انتشارات خوشخوان

### فیزیک ۳ (جلد اول)

---

نام کتاب: فیزیک ۳ (جلد اول)

مؤلف: علیرضا شبانی

صفحه آرایشی: گروه فنی انتشارات هیمه (پاک‌نژاد ۹۴۰۶۶۴۴۰۶۶۴)

طراح جلد: سعیده ترقی‌جاء

چاپ اول: ۱۳۸۸

تیراژ: ۳۰۰۰ نسخه

شابک جلد اول: ۹۷۸-۶۰۰-۵۶۹۵-۳-۸

شابک دوره: ۹۷۸-۶۰۰-۵۶۹۵-۰۴-۵

---

# فهرست مطالب

۱۲۵	انرژی پتانسیل الکتریکی
۱۲۷	پتانسیل الکتریکی
۱۲۸	اختلاف پتانسیل الکتریکی
۱۳۲	مبدأ پتانسیل الکتریکی (زمین)
۱۳۲	مفهوم اختلاف پتانسیل در باتری
۱۳۳	توزیع بار در اجسام
۱۳۴	چگالی سطحی بار
۱۳۴	مولد وان دوگراف
۱۳۵	میدان الکتریکی یکنواخت
۱۳۸	خازن تخت
۱۳۸	اساس کار خازن
۱۳۹	مفهوم ظرفیت خازن
۱۴۲	پدیده فروشکست در خازن
۱۴۳	عوامل مؤثر بر ظرفیت یک خازن
۱۴۴	انرژی ذخیره شده در خازن
۱۴۶	انجام کار در خازن
۱۵۰	به هم بستن خازنها
۱۶۰	اتصال کوتاه
۱۶۹	پل وتستون
۱۷۱	پر کردن خازن با چند دی الکتریک

## فصل ۳ الکتریسیته جاری ۲۹۷

۲۹۹	جریان الکتریکی
۲۹۹	تعریف شدت جریان الکتریکی
۳۰۱	قانون اهم
۳۰۱	عوامل مؤثر بر مقاومت یک رسانا
۳۰۱	اثر دما بر مقاومت رساناهای فلزی
۳۰۵	اتصال سری مقاومت ها (به هم بستن متوالی)
۳۰۵	نکات اتصال سری
۳۰۵	محاسبه مقاومت معادل
۳۰۶	اتصال موازی مقاومت ها
۳۰۶	نکات اتصال موازی

## فصل ۱ ترمودینامیک ۱

۱	دستگاه و محیط
۲	معادله حالت گازهای کامل
۳	حالت دستگاه
۳	فرایندهای ترمودینامیکی
۴	مبادله انرژی بین دستگاه و محیط
۵	قانون اول ترمودینامیک
۷	انرژی درونی
۱۰	فرایندهای خاص
۱۲	نمودارهای فرایند هم حجم
۱۷	نمودارهای فرایند هم فشار
۲۱	تفاوت فرایندهای هم حجم و هم فشار
۲۲	فرایند هم دما
۲۳	نمودارهای فرایند هم دما
۳۳	ماشین های گرمایی
۳۷	چرخه کارنو (بیشترین بازده)
۴۱	یخچال
۴۳	بازده موتور یخچال
۴۵	قانون دوم ترمودینامیک

## فصل ۲ الکتریسیته ساکن ۹۹

۱۰۱	محاسبه برآیند دو بردار
۱۰۲	محاسبه برآیند دو بردار هم اندازه
۱۰۴	تجزیه یک بردار
۱۰۵	نشان دادن یک بردار برحسب بردارهای یکجه
۱۰۷	اصل اول الکترواستاتیک
۱۰۸	قانون کولن
۱۱۵	میدان الکتریکی
۱۱۶	خطوط میدان الکتریکی
۱۱۶	شدت میدان الکتریکی (اندازه میدان الکتریکی)
۱۲۲	نکات خطوط میدان الکتریکی

۳۲۹	رئوس‌تا (مقاومت متغیر)	۳۰۷	اتصال کوتاه
۳۳۰	حداکثر توان خروجی یک مولد	۳۰۷	اثرات اتصال کوتاه
۳۳۱	وسایل اندازه‌گیری	۳۱۱	انرژی الکتریکی مصرف شده در مقاومت
۳۳۱	آمپرسنج:	۳۱۱	کیلووات ساعت (KWh)
۳۳۳	ولت‌سنج	۳۱۲	توان مصرف شده در مقاومت (توان تلف شده یا توان گرمایی)
۳۳۶	اهم‌سنج	۳۱۵	توان اسمی و ولتاژ اسمی
۳۳۷	افت پتانسیل	۳۱۵	تعریف ولتاژ اسمی
۳۳۸	اختلاف پتانسیل بین دو نقطه از یک مدار	۳۱۵	تعریف توان اسمی
۳۴۱	پتانسیل یک نقطه از مدار	۳۱۷	جاوگیری از آسیب دیدن وسایل الکتریکی
۳۴۲	قانون جریان‌ها	۳۱۹	نور لامپ
۳۴۲	قانون ولتاژها	۳۲۰	مولد (باتری)
۳۴۲	روش حل مدارهای چند حلقه‌ای	۳۲۱	نیروی محرکه باتری
۳۴۵	مدارهای $RC$	۳۲۱	مقاومت درونی مولد
۳۴۵	اتصال سری مقاومت و خازن	۳۲۲	ساده‌ترین مدار الکتریکی
۳۴۵	اتصال موازی مقاومت و خازن	۳۲۴	راندمان یا بازده در یک مدار الکتریکی
۴۵۰	پاسخ سؤال‌های چهارگزینه‌ای	۳۲۸	چند باتری در مدار تک حلقه



مباحثی که در فیزیک سال سوم مطرح میشود از چند جنبه دارای اهمیت می باشد :

- ۱- پیش نیاز سال پیش دانشگاهی می باشد و دانش آموزانی که در سال سوم این مطالب را قوی کار کنند دارای یک پایه ی قوی در آینده خواهند بود.
- ۲- حداقل ۲۰ درصد سوالات کنکور هم در رشته های ریاضی و هم رشته تجربی از مطالب این کتاب می باشد.
- ۳- اکثر مفاهیم این کتاب قابل لمس و تجسم می باشد و می توان آنها را در زندگی روزمره مشاهده نمود.
- ۴- بسیاری از رشته های مهندسی از قبیل (عمران، مکانیک، پلیمر، شیمی، هوافضا و...) به صورت مستقیم از همین مفاهیم استفاده می کنند.
- ۵- قسمت قابل ملاحظه از سوالات المپیاد فیزیک از همین مفاهیم می باشد.
- ۶- بین مباحث دبیرستان به اعتقاد بسیاری از معلمان، پرکارترین کتاب فیزیک می باشد.

برای استفاده بیشتر از این کتاب باید چند نکته را همواره در نظر داشته باشیم :

اولاً : این کتاب یک کتاب کمک آموزشی می باشد یعنی دانش آموز ابتدا باید کتاب درسی خود را به صورت مفهومی مطالعه نموده و سپس از این کتاب برای تسلط بیشتر استفاده نماید. به همین علت ما در این کتاب به برخی از موضوعاتی که در کتاب درسی به صورت کامل و مشروح پرداخته شده است نگاهی گذرا داشته ایم. ثانیاً : برخی از مسائل این کتاب از سطح دبیرستان بالاتر می باشد و فقط دانش آموزان مستعد و علاقه مند به فیزیک می توانند به آن بپردازند و از حل آنها لذت ببرند. ثالثاً : توصیه می کنیم برای راحتی در حل مسائل آخر هر فصل ابتدا مسائل مقدماتی و مسائل حل شده ی کتاب را به صورت مفهومی کار کنید و سپس به حل مسائل آخر فصل بپردازید.

امیدوارم با تهیه و تألیف مطالب این کتاب توانسته باشیم قدمی کوچک در رشد علمی و آموزشی فرزندان میهن عزیزمان برداشته باشیم و عزیزانی که این کتاب را مطالعه می نمایند ما را از نظرات خود دریغود مطالب کتاب محروم نسازند. و در آخر از کلیه ی دوستانی که در ایجاد این مجموعه ما را یاری نموده اند صمیمانه تشکر می نمایم.

والسلام علی من التبع الهدی



## ترمودینامیک



این فصل در حقیقت ادامه فصل ششم کتاب فیزیک ۲ می‌باشد و لازم است قبل شروع به مطالعه این فصل نکاتی از فصل شش کتاب فیزیک ۲ یادآوری شود. در ابتدا چند تعریف را انجام می‌دهیم که تا آخر فصل از این تعاریف استفاده خواهیم کرد بنابراین توصیه می‌شود که این تعاریف را به خاطر بسپارید:

### تعریف ترمودینامیک

علمی است که درباره کار و گرما و شرایط تبدیل آن‌ها به یکدیگر صحبت می‌کند.

### تعریف کمیت میکروسکوپی

کمیتی هستند که به بررسی رفتار هر یک از مولکول‌های ماده می‌پردازند مانند سرعت هر مولکول و انرژی جنبشی هر مولکول

### تعریف کمیت ماکروسکوپی

کمیتی هستند که به بررسی وضعیت کلی ماده بدون توجه به اجزاء سازنده آن می‌پردازند مانند فشار، حجم و دمای ماده.



علم ترمودینامیک رفتار ماده را برحسب کمیت‌های ماکروسکوپی توصیف می‌کند.

## دستگاه و محیط



ماده‌ای را که می‌خواهیم وضعیت مربوط به آن را بررسی کنیم دستگاه می‌نامیم و آنچه در اطراف دستگاه قرار دارد و بر روی رفتار دستگاه اثر می‌گذارد محیط می‌نامیم.

به عنوان مثال هنگامی که می‌خواهیم تبخیر شدن مقداری آب را بررسی نماییم آب می‌شود دستگاه و هوای اطراف آن می‌شود محیط زیرا فشار هوا می‌تواند روی نقطه جوش آب تأثیر بگذارد.

بنابراین کلمه دستگاه را نباید با مجموعه‌ای از ماشین‌آلات در ذهن‌تان قیاس کنید بلکه در این فصل منظور از دستگاه یک ماده می‌باشد و در علم ترمودینامیک دستگاه‌ها معمولاً به حالت گاز یا مایع می‌باشند.

### تعریف گاز کامل (ایده‌آل)

چنانچه گاز به قدری رقیق باشد که بتوان از نیروهای بین مولکول‌های آن صرف‌نظر کرد به آن گاز، گاز کامل می‌گوییم.

### تعریف متغیرهای ترمودینامیکی

به کمیت‌های ماکروسکوپیکی مانند حجم، فشار و دما که حالت دستگاه را می‌توان برحسب آن‌ها توصیف کرد متغیرهای ترمودینامیکی می‌گویند.

## معادله حالت گازهای کامل



معادله‌ای است که نحوه ارتباط بین متغیرهای ترمودینامیکی آن دستگاه را مشخص می‌کند. اگر دستگاه گاز کامل باشد معادله حالت آن به صورت زیر خواهد بود.

$$\frac{PV}{T} = nR \quad \text{یا} \quad PV = nRT$$

$P$ : فشار گاز برحسب پاسکال (Pa) می‌باشد.

$V$ : حجم گاز برحسب مترمکعب ( $\text{m}^3$ ) می‌باشد.

$T$ : دمای گاز برحسب درجه کلوین ( $^\circ\text{K}$ ) می‌باشد.

$n$ : تعداد مول‌های یک گاز برحسب مول (mol) می‌باشد.

$R$ : ثابت عمومی گازهاست که برابر است با:  $R = 8,314 \left( \frac{\text{J}}{\text{mol}^\circ\text{K}} \right)$

✓ **نکته ۱.** برای به دست آوردن تعداد مول‌های یک گاز از رابطه زیر استفاده می‌کنیم.

$$n = \frac{m}{M} \rightarrow \begin{array}{l} \text{جرم گاز} \\ \text{جرم مولکولی گاز} \end{array}$$

به عنوان مثال می‌خواهیم ببینیم  $1^\circ\text{g}$  هیدروژن چند مول است:

$2 = \text{جرم مولکولی} \rightarrow H_2 \text{ مولکول هیدروژن}$

$$n = \frac{m}{M} = \frac{1^\circ}{2} = 0.5 (\text{mol})$$

✓ **نکته ۲.** رابطه بین درجه بندی کلوین (با علامت اختصاری  $T$ ) و سلسیوس (با علامت اختصاری  $\theta$ ) به صورت زیر می‌باشد:

$$T = \theta + 273$$

✓ نکته ۳. برای یک مقدار معین گاز کامل، عدد  $n$  ثابت خواهد بود و داریم:

$$\frac{PV}{T} = \text{عدد ثابت} \Rightarrow \boxed{\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2}}$$

✓ نکته ۴. معادله حالت گازهای کامل هنگامی برقرار است که گاز به حالت تعادل باشد یعنی فشار و دما در همه نقاط آن یکسان باشد.

### حالت دستگاه

اگر مقداری گاز را به عنوان دستگاه انتخاب کنیم برای مشخص کردن حالت دستگاه کافی است سه کمیت ماکروسکوپی فشار ( $P$ )، حجم ( $V$ ) و دما ( $T$ ) را برای آن گاز به دست آوریم. این سه کمیت حالت آن دستگاه را نشان می‌دهد.

$$(P, V, T) \Rightarrow \text{حالت دستگاه}$$

✓ نکته ۵. اگر دو متغیر از سه متغیر ترمودینامیکی، معلوم باشد حالت آن گاز معلوم است به عنوان مثال اگر  $P$  و  $V$  معلوم باشد با استفاده از رابطه  $\frac{PV}{T} = nR$ ، متغیر  $T$  نیز خود به خود معلوم است.

### فرایندهای ترمودینامیکی

هنگامی که دستگاه از یک حالت به حالت دیگر می‌رود، می‌گوییم «فرایند ترمودینامیکی» انجام شده است. حالت یک دستگاه گازی با  $P, V, T$  معلوم می‌شود بنابراین حالت دستگاه زمانی عوض می‌شود که این متغیرها عوض شوند.

$$\text{حالت ۱} \quad (P_1, V_1, T_1) \xrightarrow{\text{فرایند}} \text{حالت ۲} \quad (P_2, V_2, T_2)$$

توجه کنید که در یک فرایند ترمودینامیکی لازم نیست حتماً هر سه متغیر  $(P, V, T)$  تغییر کند بلکه می‌تواند یکی از آن‌ها ثابت بماند. لطفاً به دو نکته بعدی که بسیار مهم هستند توجه نمایید.

✓ نکته ۶. در هر فرایند ترمودینامیکی روی گاز کامل، حداقل دو متغیر ترمودینامیکی تغییر می‌کند.



✓ **نکته ۷.** در هر فرایند ترمودینامیکی روی گاز کامل، حداکثر یک متغیر ترمودینامیکی می‌تواند ثابت بماند. علت آن این است که اگر در یک فرایند، دو متغیر ثابت بماند و فقط یک متغیر تغییر کند آنگاه دیگر معادله حالت  $\frac{PV}{T} = nR$  برقرار نخواهد بود زیرا اگر مثلاً فقط فشار زیاد شود و حجم و دما ثابت بماند:

$$\frac{\uparrow PV}{T} = \underbrace{nR}_{\text{ثابت}}$$

آنگاه سمت چپ تساوی افزایش یافته در صورتی که سمت راست آن همچنان ثابت مانده است.

بنابراین در یک فرایند، یا هر سه متغیر تغییر می‌کند یا این که دو متغیر تغییر کرده و یکی ثابت می‌ماند.



در یک فرایند ترمودینامیکی دو کمیت کار و گرما بین دستگاه و محیط مبادله می‌شود (در حقیقت مبادله کار و گرما باعث تغییر حالت یک گاز می‌شود)



### مبادله انرژی بین دستگاه و محیط

مبادله انرژی بین دستگاه و محیط به دو طریق گرما و کار صورت می‌گیرد.  
الف) گرما:

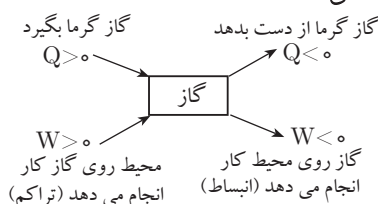
گرما انرژی است که به علت اختلاف دما بین دو جسم مبادله می‌شود. گرما هنگامی بین دستگاه و محیط مبادله می‌شود که این دو با هم اختلاف دما داشته باشند. بنابه قرار داد اگر دستگاه گرما بگیرد آن را با علامت مثبت و اگر دستگاه گرما از دست بدهد آن را با علامت منفی نشان می‌دهند.

ب) کار:

چنانچه در فرایند ترمودینامیکی حجم دستگاه تغییر کند می‌گوییم کار انجام شده است. در این حالت در آن واحد دو کار انجام می‌شود یکی کار محیط بر روی دستگاه ( $W$ ) و دیگری کار دستگاه بر روی محیط ( $W'$ ) این دو کار هم اندازه و قرینه‌ی همند.

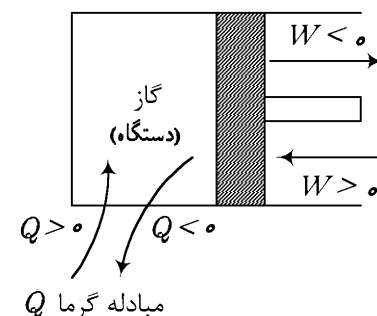
$$W = -W'$$

فعلاً هر جا که کلمه کار به تنهایی بکار رفت منظور کار محیط بر روی دستگاه است که با  $W$  نشان می‌دهیم کار نیز می‌تواند مثبت و منفی باشد که در شکل زیر نشان داده شده است. اساس شکل زیر این است که تمام انرژی‌هایی که گاز می‌گیرد مثبت و تمام انرژی‌هایی که گاز از دست می‌دهد منفی است.



برای روشن تر شدن مطالب بالا مثالی می زنیم.

یک مجموعه سیلندر و پیستونی را در نظر بگیرید که درون سیلندر مقدار گاز حبس شده است و ما می خواهیم رفتار گاز را بررسی کنیم بنابراین گاز حکم دستگاه را دارد (دقت کنید که به کل مجموعه سیلندر و پیستون دستگاه نمی گوئیم فقط گاز دستگاه است) و بدنه سیلندر و پیستون و هوای اطراف آن حکم محیط را دارد همان طور که گفتیم در هر فرایند کار و گرما بین دستگاه و محیط مبادله می شود. که در مجموعه سیلندر و پیستون مبادله گرما با گرم و سرد کردن بدنه سیلندر (و در نتیجه ی آن تغییر دمای گاز داخل سیلندر) انجام می شود و مبادله کار با حرکت پیستون انجام می شود (یعنی اگر پیستون حرکتی نداشته باشد حجم گاز تغییر نکرده و بین دستگاه و محیط کاری مبادله نخواهد شد)



شکل ۱ (با حرکت پیستون) مبادله کار  $W$

هنگامی که پیستون به سمت داخل می رود در حقیقت محیط آن را به سمت داخل می برد برای همین محیط روی گاز کار انجام می دهد و  $W > 0$  است اما هنگامی که پیستون به بیرون می آید این دفعه انبساط گاز است که باعث حرکت پیستون به سمت بیرون شده است برای همین گاز روی محیط کار انجام می دهد و  $W < 0$  است.

✓ **نکته ۸.** در تراکم گاز  $W > 0$  است و در انبساط گاز  $W < 0$  است.

## قانون اول ترمودینامیک



در یک گاز جمع جبری گرمای مبادله شده ( $Q$ ) و کاری که بر روی گاز انجام می شود ( $W$ ) برابر تغییرات انرژی درونی گاز است.

$$\Delta U = Q + W$$

$Q$ : گرمای مبادله شده

$W$ : کار محیط روی دستگاه

$\Delta U$ : تغییرات انرژی درونی

در این رابطه باید  $Q$  و  $W$  را به همراه علامت شان وارد کرد (که در بالا توضیح دادیم) این قانون در واقع بیان دیگری از قانون پایستگی انرژی است و بیان گر این موضوع است که کار و گرمای داده شده به یک دستگاه از بین نرفته و در نهایت به صورت انرژی درونی در می آید و سبب افزایش و یا کاهش انرژی درونی گاز می شود.



علامت کار در قانون اول ترمودینامیک همواره کار انجام شده بر روی دستگاه می باشد و اگر دستگاه گرما دریافت کند،  $Q$  مثبت و اگر گرما از دست بدهد،  $Q$  منفی است.

اگر یک دستگاه ترمودینامیکی  $25^\circ\text{J}$  گرما از محیط بگیرد و  $30^\circ\text{J}$  کار روی محیط انجام دهد انرژی درونی آن ... ژول ... می یابد؟

سراسری ریاضی ۷۶

(۴)  $5^\circ$ ، افزایش

(۳)  $5^\circ$ ، کاهش

(۲)  $55^\circ$ ، افزایش

(۱)  $55^\circ$ ، کاهش

حل: چون دستگاه گرما گرفته پس  $Q > 0$  است و داریم:

$$Q = +25^\circ\text{J}$$

مثال ۱

ولی چون دستگاه روی محیط کار انجام داده است بنابراین  $W < 0$  است و داریم:

$$W = -300 \text{ J}$$

$$\Delta U = Q + W = 250 - 300 = -50 \text{ J}$$

وقتی تغییرات انرژی درونی ( $\Delta U$ ) منفی می شود یعنی این که انرژی درونی به اندازه  $50 \text{ J}$  کاهش یافته است. (اگر تغییرات انرژی درونی مثبت باشد یعنی انرژی درونی افزایش یافته است) بنابراین گزینه ۳ صحیح است.

### تعریف فرایند ترمودینامیکی آرمانی

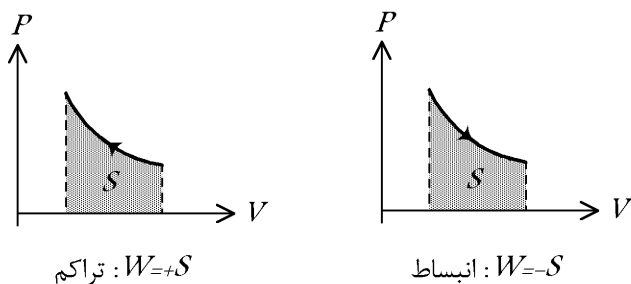
اگر فرایند ترمودینامیکی بسیار آهسته و کند انجام شود وضعیت دستگاه ترمودینامیکی در هر لحظه به حالت تعادل بسیار نزدیک خواهد بود به چنین فرایندی فرایند آرمانی می گوئیم.

### تذکر

در ترمودینامیک وضعیت دستگاه ترمودینامیکی را با استفاده از نمودارهای  $P - V$  و  $P - T$  و  $V - T$  در هر لحظه با یک نقطه نشان می دهیم. اگر فرایند آرمانی باشد نقاطی که وضعیت دستگاه را در حین فرایند نشان می دهند به قدری به یکدیگر نزدیک می شوند که یک خط پیوسته را تشکیل می دهند، در صورتی که اگر فرایند آرمانی نباشد مجموعه ای از نقاط منفصل را خواهیم داشت.

اکنون توجه شما را به یک نکته مهم که قادر به اثبات آن نیستیم جلب می کنیم.

✓ **نکته ۹.** مساحت سطح زیر نمودار  $P - V$  معرف قدرمطلق کار انجام شده روی دستگاه است و با توجه به نکته ی ۸، در حالت تراکم،  $W$  مثبت است و در حالت انبساط،  $W$  منفی است.



شکل ۲

توجه کنید که مساحت زیر نمودارهای  $P - T$  و  $V - T$  چیزی را نشان نمی دهد و فقط مساحت زیر نمودار  $P - V$  برابر کار انجام شده است.

شکل ۲ نمودار تحول یک گاز کامل را نشان می‌دهد. کار انجام شده توسط گاز روی محیط چند ژول است؟

- (۱)  $-۱۶۰۰$  (۲)  $۱۶۰۰$   
(۳)  $-۸۰۰$  (۴)  $۸۰۰$

حل: کافی است مساحت زیر نمودار را حساب کنیم البته دقت کنید که واحدها باید برحسب واحدهای اصلی باشد

$$1 \text{ atm} = 10^5 \text{ Pa}, \quad 1 \text{ Lit} = 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$S_{\text{دورزنه}} = \frac{\text{قاعده بزرگ} + \text{قاعده کوچک}}{2} \times \text{ارتفاع}$$

$$S = \frac{(1 \times 10^5 + 3 \times 10^5)}{2} \times 4 \times 10^{-3} = 800$$

چون فرایند انبساط است پس  $W < 0$  است.

$$W = -S = -800 \text{ J}$$

اما دقت کنید که سؤال گفته کار گاز روی محیط (یعنی  $W'$ ) چقدر است پس:

$$W' = -W = -(-800) = 800 \text{ J}$$

بنابراین گزینه ی ۴ صحیح است.

**نکته ۱۰.** دمای یک جسم معیاری از انرژی جنبشی مولکول‌هاست بنابراین با افزایش انرژی جنبشی مولکول‌ها دمای گاز افزایش می‌یابد.

به عنوان مثال هنگامی که در شکل ۵ پیستون به طرف چپ حرکت می‌کند، در اثر آن انرژی جنبشی مولکول‌ها افزایش می‌یابد و به همین علت دمای گاز بالا می‌رود.

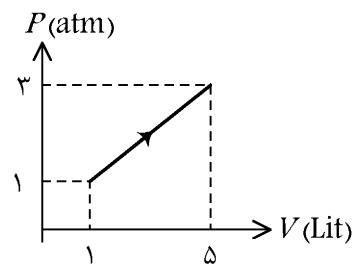
**نکته ۱۱.** فشار یک گاز معیاری از تعداد برخوردهای مولکول‌های گاز به جداره ی ظرف است بنابراین با افزایش تعداد برخوردها، فشار گاز زیاد می‌شود.

به عنوان مثال در شکل ۵ هنگامی که پیستون به طرف چپ حرکت می‌کند در اثر تراکم گاز، تعداد برخوردهای مولکول‌های آن با جداره ظرف زیاد شده و به همین دلیل می‌گوییم فشار گاز افزایش می‌یابد.

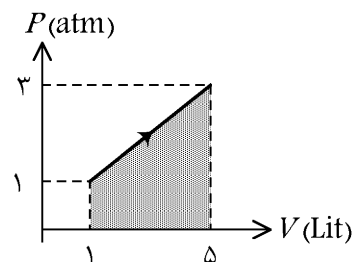
### انرژی درونی

به مجموع انرژی‌های جنبشی و پتانسیل تمامی مولکول‌های یک دستگاه، انرژی درونی آن دستگاه گفته می‌شود. و آن را با  $U$  نشان می‌دهیم.

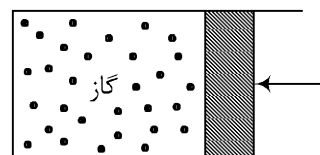
### مثال ۲



شکل ۳ شکل مثال ۲



شکل ۴ شکل مثال ۲



شکل ۵