

به نام خدا

سازمان آموزش و پرورش استان اصفهان

مدیریت آموزش و پرورش شهرستان کاشان

دیرستان حاج عباس کریم

فیزیک سال دهم ریاضی

فصل پنجم (ترمودینامیک)

تهیه کننده: محمد انصاری تبار

# موضوعات این فصل :

(مخصوص رشته ریاضی)

چرخه ترمودینامیکی

معادله حالت، فرآیندهای ترمودینامیک

ماشین های گرمایی

تبادل انرژی، قانون اول ترمودینامیک

بازده، قانون دوم ترمودینامیک

فرایند هم حجم

یخچال

فرایند هم فشار

فرایند هم دما و بی دررو

# موضوع: معادله حالت، فرآیندهای ترمودینامیک



برگشت

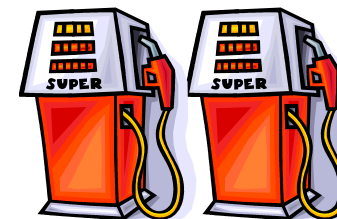
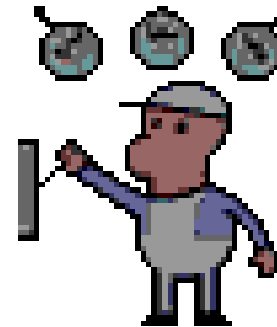
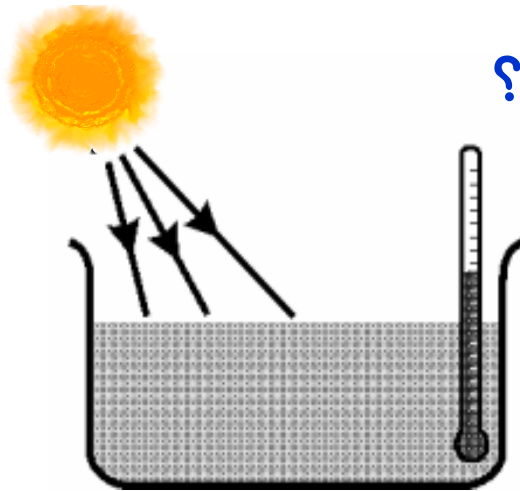
قبلی

بعدی

خروج

پرسش:

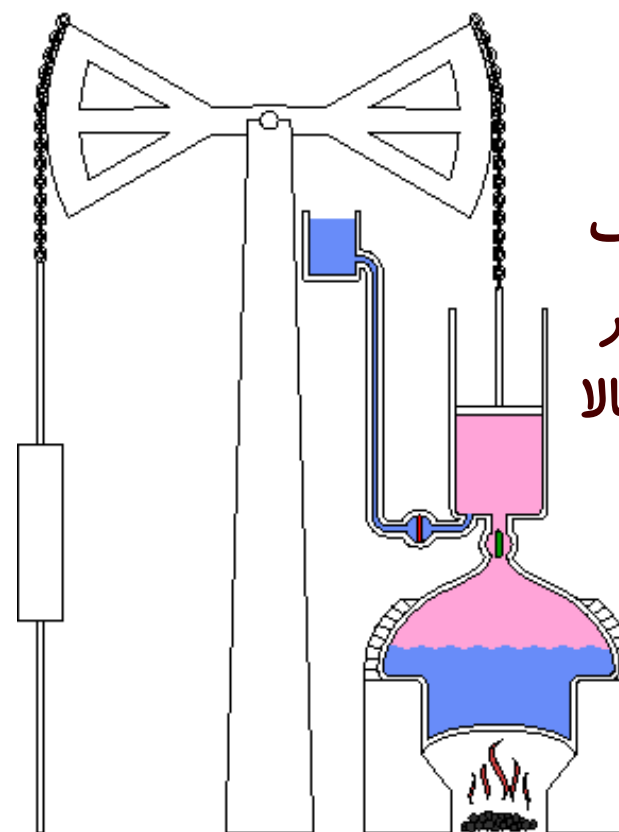
در شکلهای زیر چه نوع تبدیل انرژی صورت می گیرد؟





## ترمودینامیک

شاخه‌ای از علم فیزیک که رابطه بین گرما و کار و تبدیل گرما به کار مکانیکی را مورد مطالعه قرار می‌دهد، ترمودینامیک نام دارد.



فشار هواپیستون رابه طرف پایین برده و در طرف دیگر دسته ی تلمبه پیستون رابالا می کشد.

ماشین نیوکامن

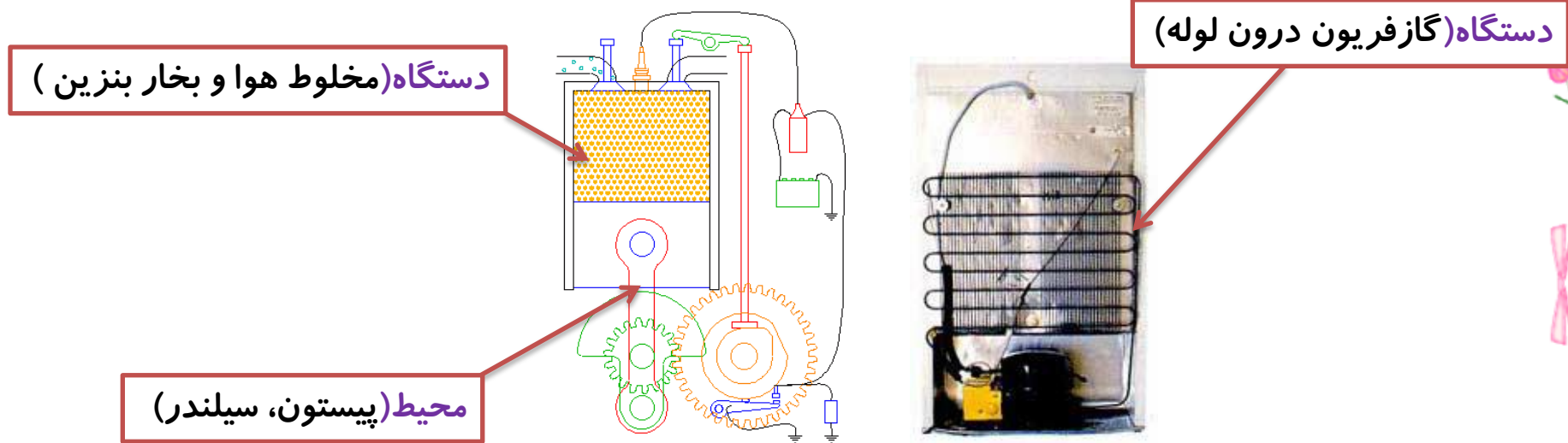
وزن پیستون دسته ی تلمبه رابه بالا کشیده و بخار آب وارد استوانه می شود

**دستگاه :**

ماده خاصی که معمولا به شکل گاز یا مایع است و با محیط پیرامون خود مبادله گرما و کار می کند و در فرایندهای ترمودینامیکی شرکت می کند «**دستگاه**» می گوئیم.

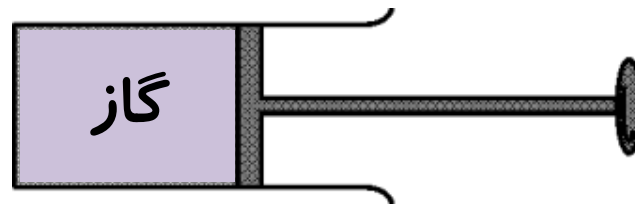
**محیط :**

اجسام پیرامون دستگاه را که می توانند با آن تبادل انرژی داشته باشند، **محیط** می نامیم.



## پرسش:

مطابق شکل ، در درون یک سیلندر (استوانه) مقدار معینی گاز قرار دارد. می توان توسط یک پیستون گاز را متراکم یا منبسط کرد، در این شکل دستگاه و محیط را مشخص کنید.



پاسخ

در این مثال **گاز** درون سیلندر، **دستگاه** نام دارد. **پیستون**، **سیلندر** و **مکانی** که سیلندر در آن واقع است **محیط** نامیده می شوند.

پرسش:

مطابق شکل ، آبی که در یک کتری برقی قرار دارد. در این کتری دستگاه و محیط را مشخص کنید



پاسخ

آب درون کتری را می توان **دستگاه** ترمودینامیکی در نظر گرفت در این صورت **کتری و سیم گرمکن آن**، اجزای **محیط** هستند.

## انواع کمیت‌های ترمودینامیکی

کمیت‌های ماکروسکوپیک (مشاهده پذیر):

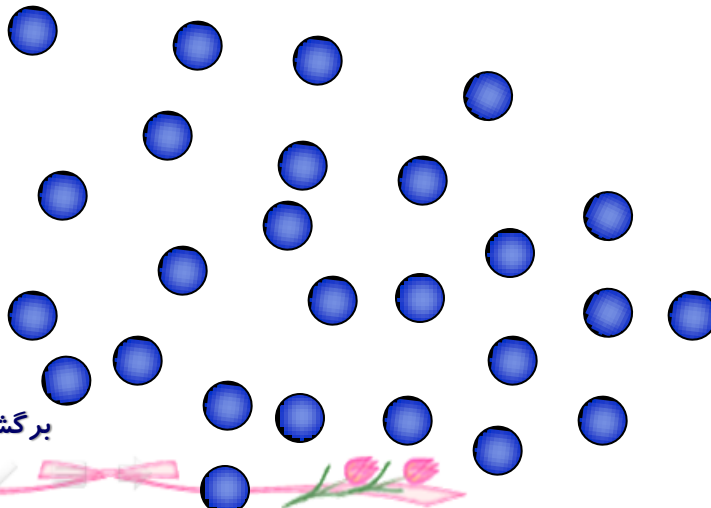
کمیت‌هایی که وضعیت ماده را در **مقیاس بزرگ** توصیف می‌کنند بدون آنکه درگیر جزئیات رفتار تک تک مولکول‌های گاز شود.

مانند: فشار، حجم، دما، گرما، گرماي ویژه و ...

کمیت‌های میکروسکوپیک:

کمیت‌هایی که به جزئیات **رفتار تک تک مولکول‌ها** مربوط می‌شوند.

مانند: سرعت، مکان، شتاب و نیروی بین ذرات.



برگشت

خروج

## متغیرهای ترمودینامیکی:

کمیت های ماکروسکوپی مانند: فشار، دمای مطلق و حجم که حالت تعادل با آنها توصیف می شوند، متغیرهای ترمودینامیکی نامیده می شوند.

**نکته:**

دستگاه موقعی در حالت تعادل ترمودینامیکی است که متغیرهای ترمودینامیکی آن به طور خودبه خودی تغییر نکند.

متغیرهای ترمودینامیکی از یکدیگر **مستقل نیستند**.



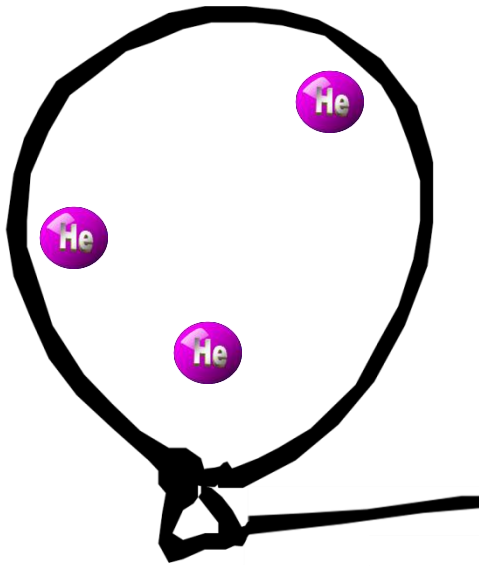
## حالات دستگاه :

۱- حالت تعادل :

متغیرهای ترمودینامیکی گاز (دما، فشار و حجم) مقدارهای ثابت و مشخصی دارند و به طور خود به خود تغییر نمی کنند.

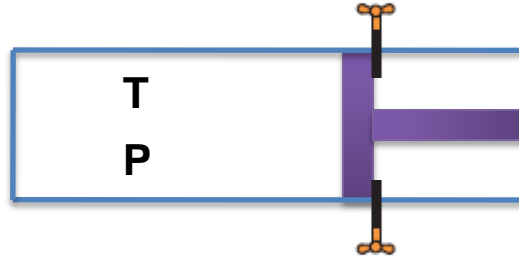
۲- حالت ناپایدار :

در تمام گاز متغیرهای ترمودینامیکی (دما، فشار و حجم) یکسان نباشد و حالت گاز ثابت و پایدار نباشد.



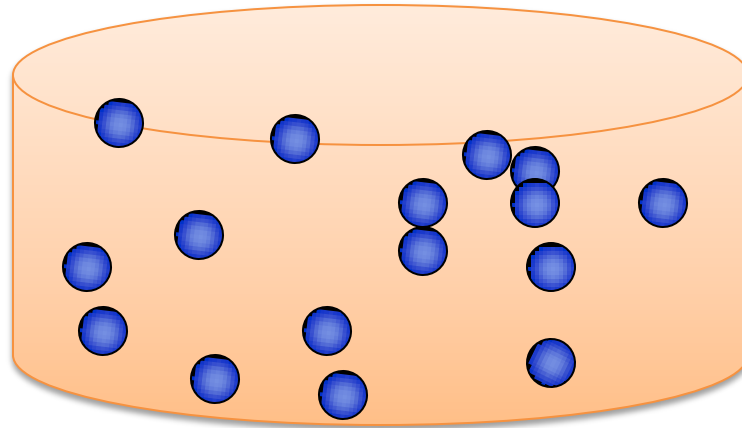
پرسش:

اگر دما و فشار در داخل گاز شکل زیر در نقاط مختلف متفاوت باشند، چه رخ می دهد؟



پاسخ

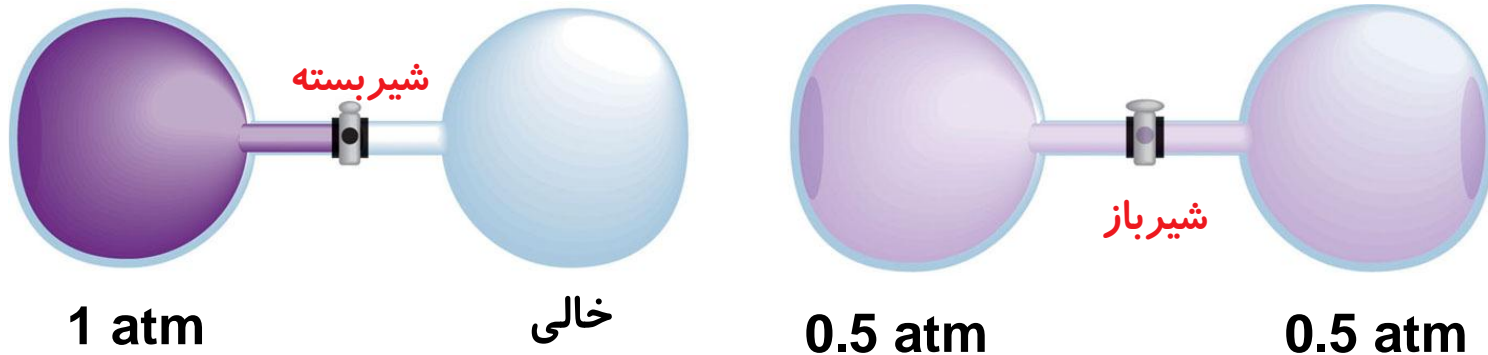
مولکول ها یا اتم ها از مکان هایی که فشار یا دما بیشتر است به جاهایی که فشار یا دما کمتر است آنقدر جابه جا می شوند تا گاز به حالت تعادل برسد .



نکته:

منظور از توصیف حالت دستگاه این است که فشار، دما و حجم آن مشخص باشد

مثلاً؛ در یک سیلندر شکل زیر مقداری گاز با فشار  $1 \text{ atm}$  و حجم  $5 \text{ L}$  و دمای  $300 \text{ K}$  حالت دستگاه را بیان می کند



## معادله‌ی حالت

رابطه‌ی بین متغیرهای ترمودینامیکی، معادله‌ی حالت دستگانه نامیده می‌شود.  
(رابطه بین سه کمیت  $T$ ،  $V$ ،  $P$ )

اگر گاز آرمانی (کامل) باشد، معادله‌ی حالت آن ساده و مستقل از نوع گاز است  
و با قانون گاز کامل معادله  $PV=nRT$  داده می‌شود.

بر حسب (pa)

مول (mol)

بر حسب ( $m^3$ )

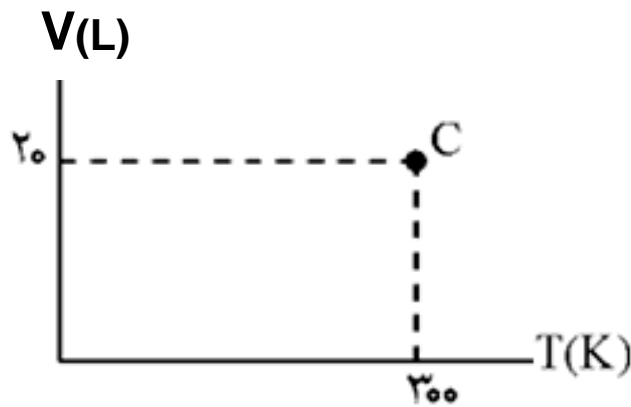
$\frac{J}{mol \cdot K}$

بر حسب (k)

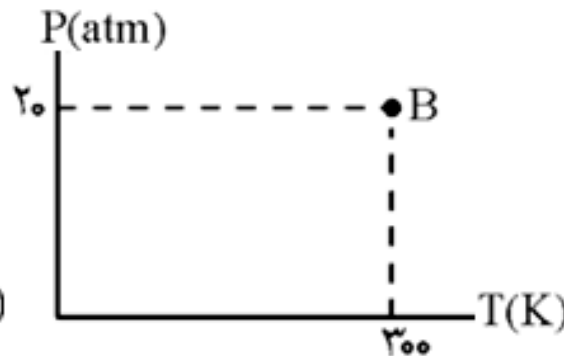
نکته:

برای نمایش حالت گاز باید از سه محور عمود برهم  $P$ ،  $V$  و  $T$  استفاده کرد، ولی حل مسأله‌ها با نمایش حالت در صفحه‌ی مختصات ساده‌تر می‌شود.

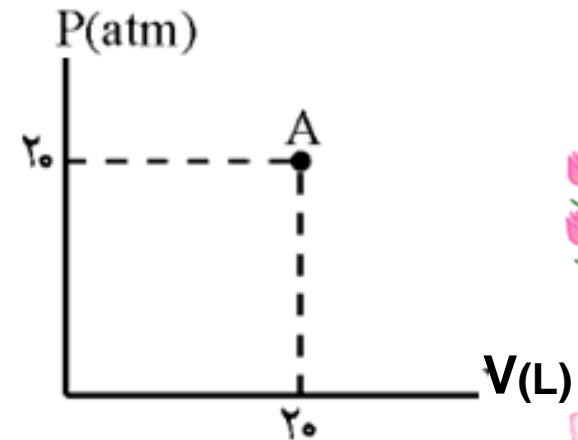
$$\begin{cases} P = 2 \cdot \text{atm} \\ V = 2 \cdot \text{L} \\ T = 300 \cdot \text{K} \end{cases}$$



$$\mathbf{C} \left| \begin{array}{l} T = 300 \cdot \text{K} \\ V = 2 \cdot \text{L} \end{array} \right.$$



$$\mathbf{B} \left| \begin{array}{l} T = 300 \cdot \text{K} \\ P = 2 \cdot \text{atm} \end{array} \right.$$



$$\mathbf{A} \left| \begin{array}{l} V = 2 \cdot \text{L} \\ P = 2 \cdot \text{atm} \end{array} \right.$$

## توجه داشته باشید

هنگامی که دو کمیت از معادله حالت معلوم باشند، می‌گوییم که حالت دستگاه مشخص است.



نکته:

از رابطه قانون گازهای کامل می‌توان کمیت سوم را که مجهول است پیدا کرد.

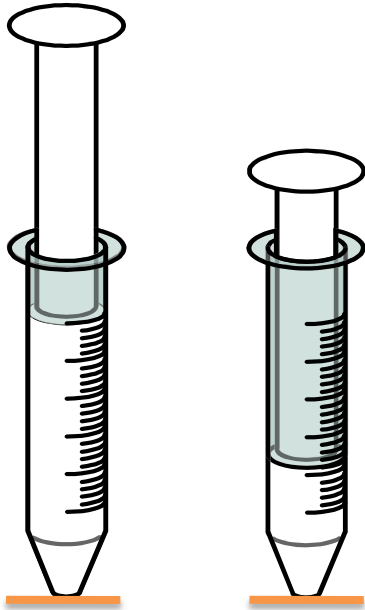
$$PV = nRT$$



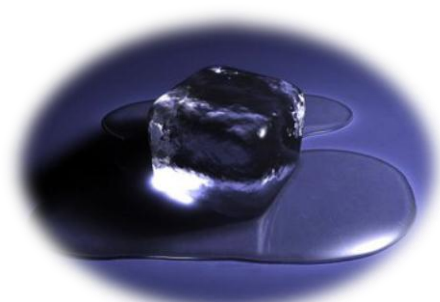
## فرآیندهای ترمودینامیکی

به تحول‌هایی که در آنها دستگاه از یک حالت تعادل  $(P_1, V_1, T_1)$  به حالت تعادل دیگر  $(P_2, V_2, T_2)$  می‌رود.

برای مثال وقتی هوای درون سرنگی را متراکم کنیم، می‌گوییم گاز یک فرآیند ترمودینامیکی را پیموده است.



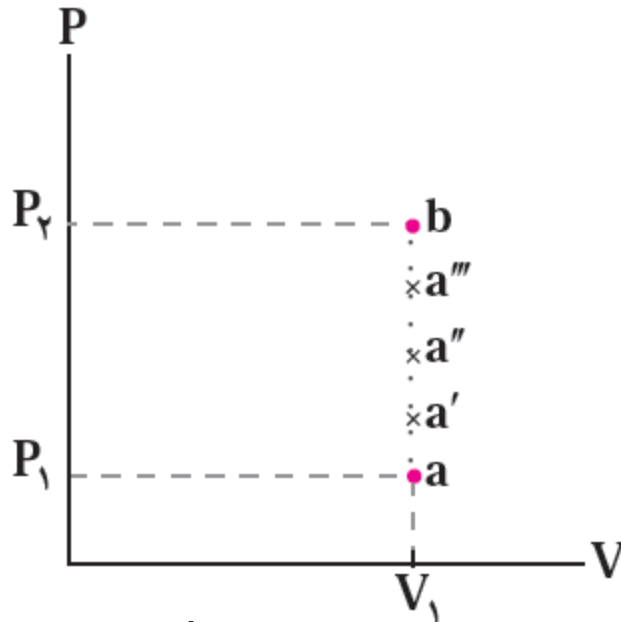
برگشت



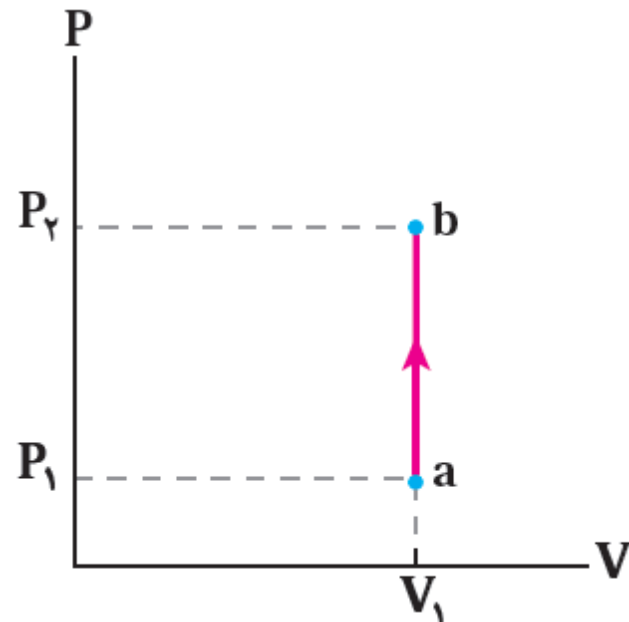
خروج

## فرایند ایستاوار:

هر گاه در طول فرایند، دستگاه همواره بسیار نزدیک به حالت تعادل بوده (و گرمای داده شده به دستگاه در هر مرحله بسیار کوچک باشد) و سریع به تعادل برسد. چنین فرایندی را **فرایند ایستاوار** می نامند.

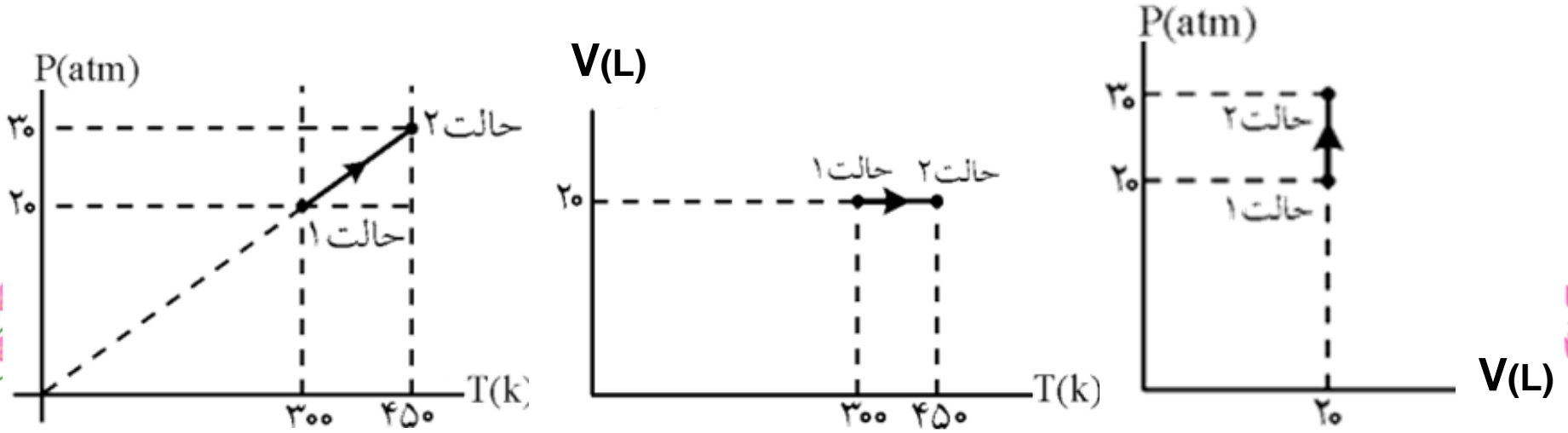


اگر حالت‌های بین  $a$  و  $b$  غیر تعادلی باشند، برای این فرایند نمی توان نمودار رسم کرد.



## نمودارهای مختلف فرآیند آرمانی:

در فرآیندهای ترمودینامیکی یک دستگاه از یک حالت ابتدایی (i) به یک حالت نهایی (f) می‌رود می‌توان همه مراحل فرآیند را در نمودارهای (P-V) یا (P-T) یا (V-T) نمایش داد.



نکته:

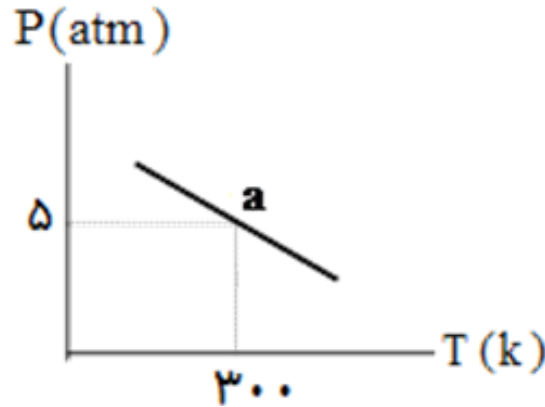
از رابطه زیر می‌توان یکی از کمیت‌های مجهول در نقاط (i) یا (f) را پیدا کرد.

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

تمرین:

حجم  $1.0 \text{ mol}$  گاز کامل را که نمودار  $P-T$  آن داده شده است در نقطه

$a$  چند لیتر است.  $(R = \frac{25}{3} \frac{\text{J}}{\text{mol.k}})$



پاسخ

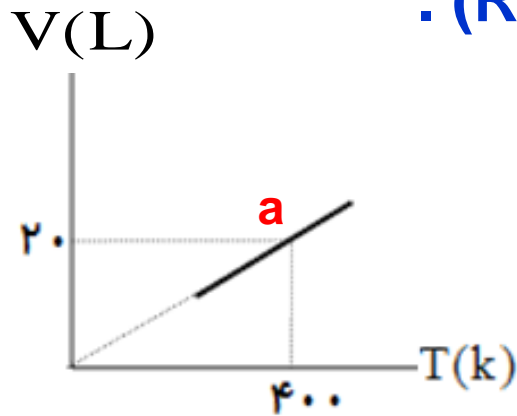
$$V = 5.0 \text{ L}$$

تمرین:

نمودار  $T-V$  برای  $2 \text{ mol}$  گاز کامل تک اتمی داده شده است فشار آن در نقطه  $a$  چند اتمسفر است. ( $R \approx 8 \text{ J/mol k}$ ).

پاسخ

$$P = 3/2 \text{ atm}$$



تمرین:

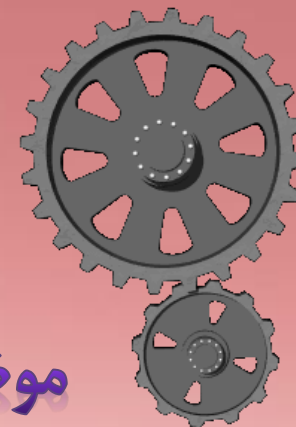
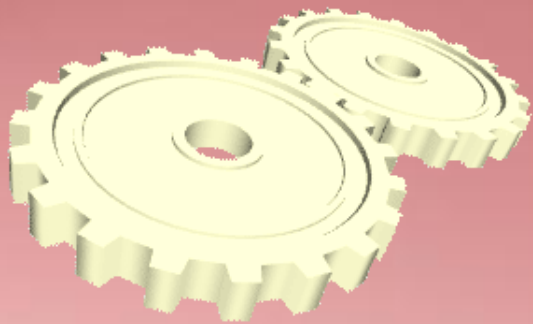
حجم نیم مول گاز کامل  $5L$  و فشار آن  $2atm$  است در فشار ثابت دمای آن را از  $250K$  به  $400K$  می‌رسانیم. نمودارهای  $(P-V)$ ،  $(P-T)$  و  $(V-T)$  را رسم کنید.  
( $R \approx 8 J/mol k$ )



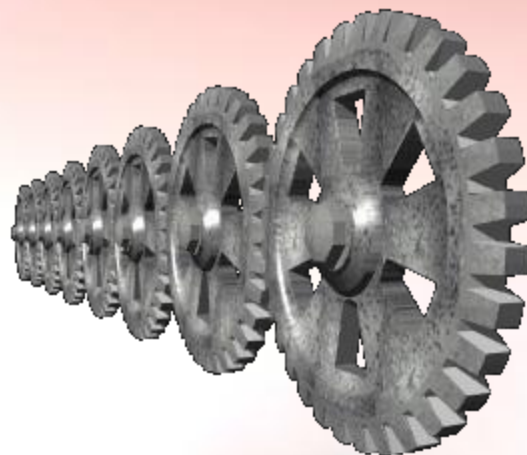


تمرین:

در یک کپسول ۱۰ لیتری، اکسیژن با فشار  $4 \cdot \text{atm}$  و دمای  $200 \text{ K}$  موجود است. دمای گاز را به آرامی به  $400 \text{ K}$  می‌رسانیم، نمودار این تحول را در صفحه‌های  $P-V$ ،  $P-T$  و  $V-T$  نشان دهید. انبساط کپسول ناچیز است.



## موضوع: تبادل انرژی، قانون اول ترمودینامیک



برگشت

قبلی

بعدی

خروج

## انواع تبادل انرژی بین محیط و دستگاه:

گرما: نوعی انرژی است که به علت اختلاف دما بین دستگاه و محیط مبادله می شود

$$Q = m c \Delta\theta$$

گرمایی را که دستگاه می گیرد با علامت مثبت نشان می دهیم

بنا به قرارداد:

گرمایی که دستگاه از دست می دهد با علامت منفی نشان می دهیم

کار: عبارتست از حاصلضرب نیرو در جابجایی پیستون در کسینوس زاویه بین نیرو و جابجایی

$$W = F \times d \times \cos\theta$$

سه نکته مهم در مورد علامت کار که نباید فراموش شود.

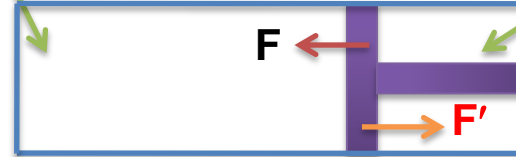
۱- در شکل زیر، نیرویی را که پیستون به گاز وارد می کند با  $F$  و نیرویی را که گاز به پیستون اثر می دهد با  $F'$  نشان داده ایم.

**توجه:** چه پیستون ثابت بماند و چه به سمت راست یا چپ حرکت کند، جهت این نیروها تغییر نمی کند.

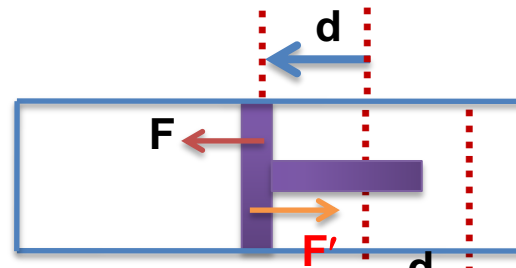
دستگاه

محیط

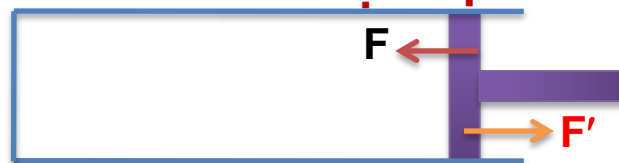
پیستون ثابت



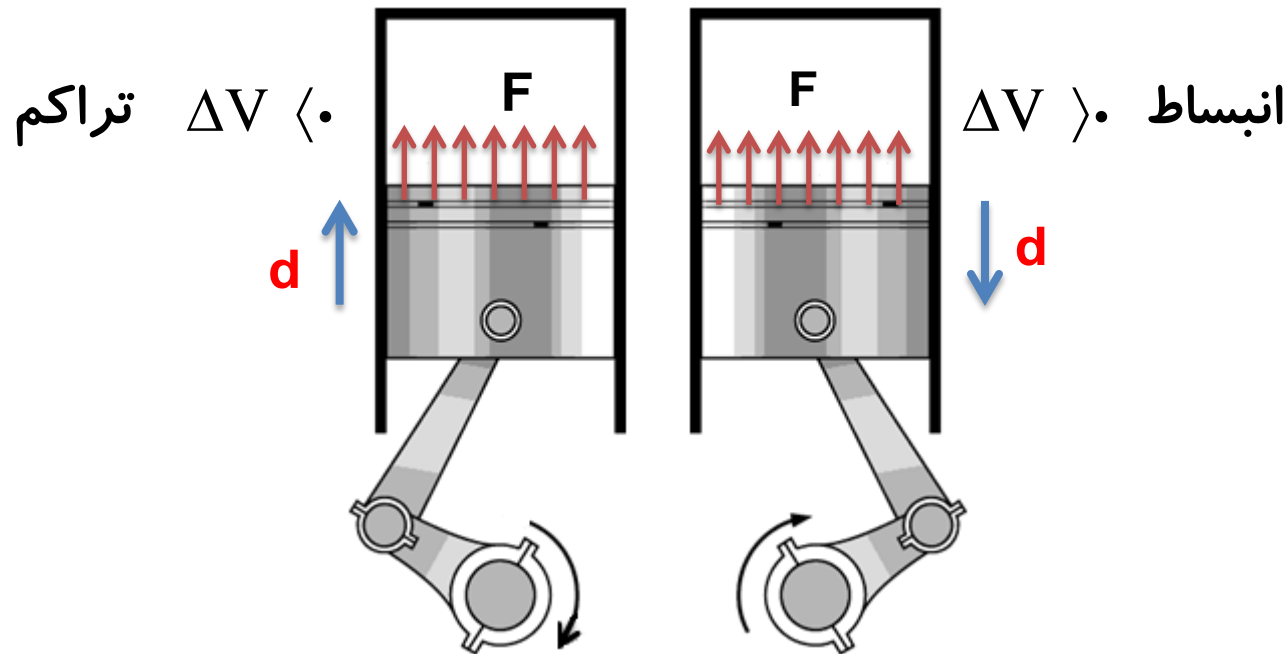
پیستون در حال تراکم



پیستون در حال انبساط



۲- کاری را که محیط روی دستگاه انجام می دهد با  $W$  نشان می دهیم در واقع کاری است که نیروی  $F$  روی گاز انجام می دهد

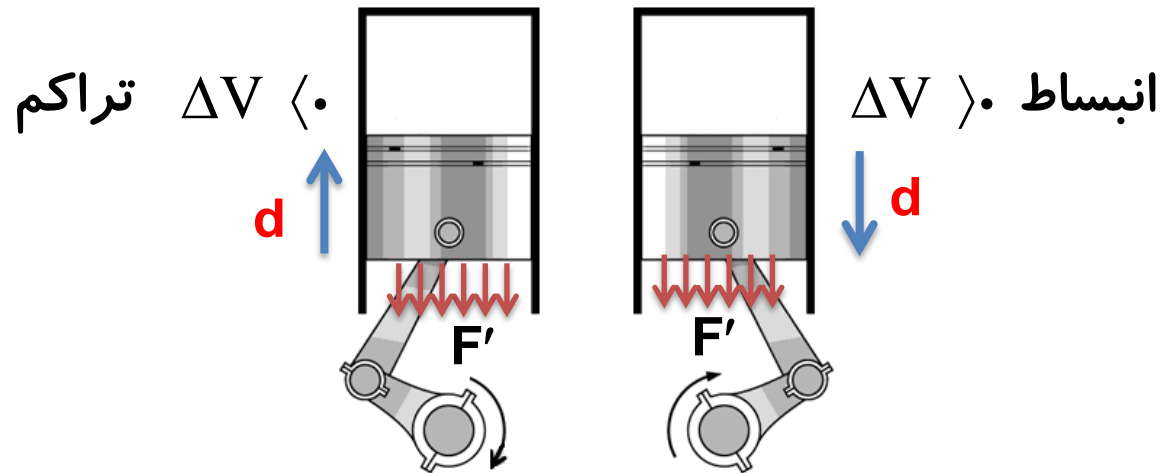


کارپیستون بر روی گاز  $W$  { انقباض  $\Delta V \rangle . \rightarrow W \langle .$   
 تراکم  $\Delta V \langle . \rightarrow W \rangle .$

۳- همزمان با کاری را که محیط روی دستگاه انجام می دهد  $W$ ، دستگاه هم روی محیط کار انجام می دهد که آن را با نماد  $W'$  نشان می دهیم.

با توجه به عمل و عکس العمل بودن نیروهایی که محیط و دستگاه به هم وارد می کنند می فهمیم که همیشه  $W = -W'$  است

منفی کار گاز روی پیستون = کار پیستون روی گاز



$$W' \left\{ \begin{array}{l} \text{انبساط} \rightarrow \Delta V > 0 \rightarrow W' > 0 \\ \text{تراکم} \rightarrow \Delta V < 0 \rightarrow W' < 0 \end{array} \right.$$



## منبع گرمایی :

جسمی است که **جرم** آن در مقابل جرم دستگاهی که با آن تبادل گرما دارد، چنان **بزرگ** است که می تواند مقدار زیادی گرما بگیرد، یا از دست بدهد، **بی** آنکه **تغییر دمای** محسوسی بکند.

مثلاً: **هوای اتاق** برای یک فنجان چای داغ ، منبع گرما در نظر گرفته می شود.

سوزن را حرارت دهیم و به داخل یک استخر بزرگ حاوی آب بیاندازیم، **آب استخر** منبع گرمایی برای سوزن محسوب می شود.



## انرژی درونی:

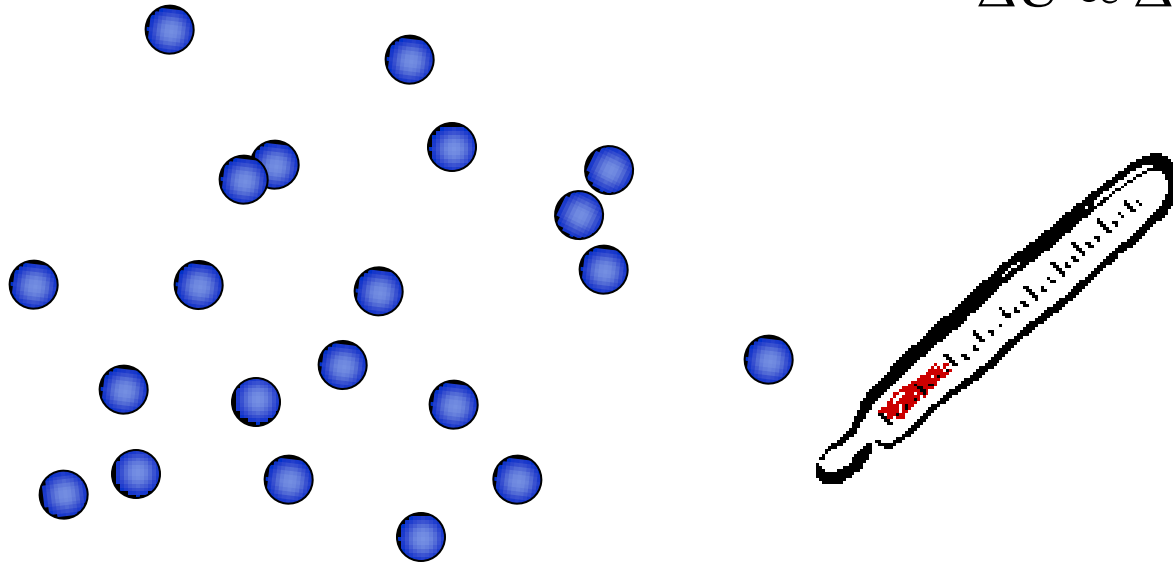
به مجموع انرژی‌های جنبشی و پتانسیل مولکولهای یک دستگاه انرژی درونی آن نامیده می‌شود.

## چند نکته مهم:

تغییر انرژی درونی گاز کامل فقط تابع دمای مطلق گاز است .  $\Delta U \propto \Delta T$

طبق معادله حالت چون  $T$  دمای مطلق یک گاز متناسب با  $PV$  (حاصل ضرب فشار گاز در

حجم گاز) است. پس  $\Delta U \propto \Delta(PV)$

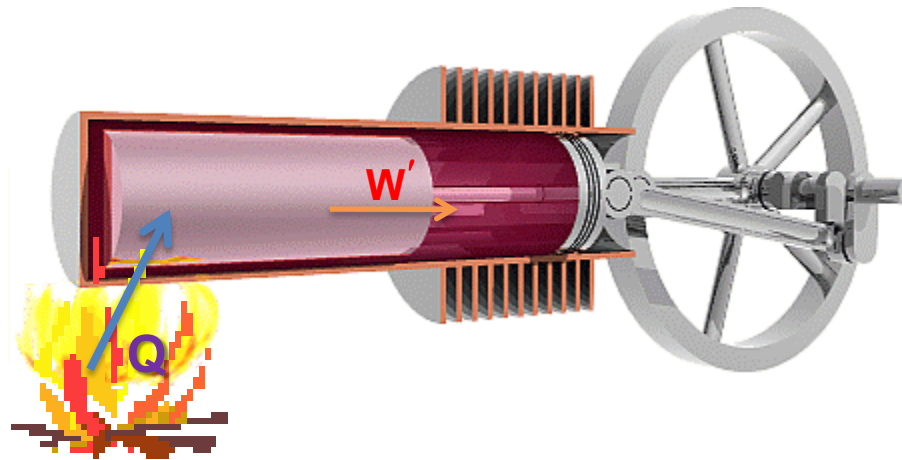


## اصل پایستگی انرژی برای هردستگاه:

(کار انجام شده توسط دستگاه) + (افزایش انرژی درونی دستگاه) = (گرمای افزوده شده به دستگاه)

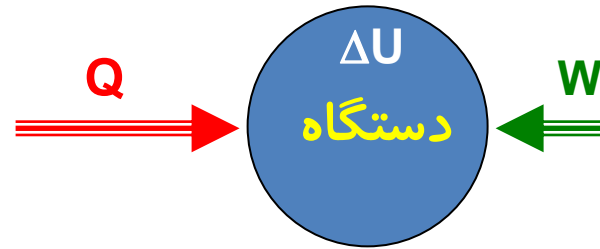
$$Q = \Delta U + W'$$

$$Q - W' = \Delta U \quad \xrightarrow{W = -W'} \quad Q + W = \Delta U$$



## قانون اول ترمودینامیک :

تغییر انرژی درونی دستگاه برابر است با مجموع گرمایی که دستگاه دریافت می کند و کاری که بر روی آن انجام می شود.



$$\Delta U = Q + W$$

تغییر انرژی درونی دستگاه

کار انجام شده بر روی دستگاه

گرمایی که دستگاه می گیرد

نکته:

کار انجام شده و گرمای مبادله شده در فرآیندهای ترمودینامیکی یک دستگاه، به ... نوع فرآیندها ... در مسیر بستگی دارد

$$\Delta U = Q + W$$

اگر دستگاه گرما بگیرد.  $Q > 0$

اگر دستگاه گرما از دست بدهد.  $Q < 0$

محیط روی دستگاه کار انجام دهد (تراکم)  $W > 0$

دستگاه روی محیط کار انجام دهد (انبساط)  $W < 0$

اگر دمای دستگاه تغییر نکند، انرژی درونی تغییر نمی کند.  $\Delta U = 0$

اگر دمای دستگاه افزایش یابد، انرژی درونی افزایش می یابد.  $\Delta U > 0$

اگر دمای دستگاه کاهش یابد، انرژی درونی کاهش می یابد.  $\Delta U < 0$

تمرین:

در یک فرآیند، دستگاه ۵۰۰ ژول کار انجام می‌دهد و ۴۰۰ ژول گرما دریافت می‌کند. تغییر انرژی درونی دستگاه چند ژول است؟

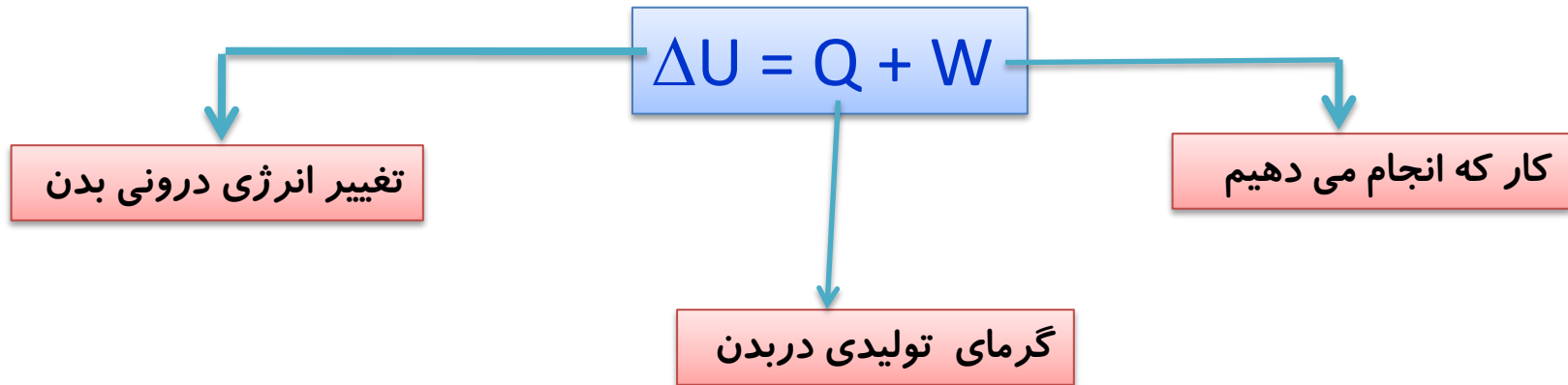
پاسخ

$$\Delta U = -100 \text{ J}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} W' = 500 \text{ J} \quad \rightarrow \quad W = -500 \text{ J} \\ Q = 400 \text{ J} \quad \quad \Delta U = Q + W \quad \rightarrow \quad \Delta U = 400 + (-500) = -100 \text{ J} \\ \Delta U = ? \end{array} \right.$$

## سوخت و ساز بدن و قانون اول ترمودینامیک:

انرژی درونی بدن ما از انرژی شیمیایی ذخیره شده در مواد غذایی تامین می شود. با انجام فعالیت های مختلف، انرژی درونی بدن طبق قانون اول ترمودینامیک به کار و گرما تبدیل می شود.



## آهنگ سوخت و ساز بدن

آهنگ تبدیل انرژی شیمیایی مواد غذایی به انرژی درونی بدن را **آهنگ سوخت و ساز بدن** می نامند.

نکته:

این آهنگ بر حسب کیلو کالری بر ساعت یا بر حسب وات بیان می شود.

آهنگ سوخت و ساز بدن برای شخصی با جرم متوسط ۶۵kg		
آهنگ تقریبی سوخت و ساز		نوع فعالیت
Watt	kcal/h	
۷۰	۶۰	خوابیدن
۱۱۵	۱۰۰	نشستن
۲۳۰	۲۰۰	فعالیت‌های سبک (خوردن، لباس پوشیدن و ...)
۴۶۰	۴۰۰	فعالیت‌های متوسط (تنیس، راه رفتن و ...)
۱۱۵۰	۱۰۰۰	دویدن (۱۵ km/h)
۱۲۷۰	۱۱۰۰	دوچرخه سواری سرعت



# موضوع : فرایند هم حجم

## انواع فرایندهای ترمودینامیکی :

$$V_1 = V_2 \quad \text{فرایند هم حجم}$$

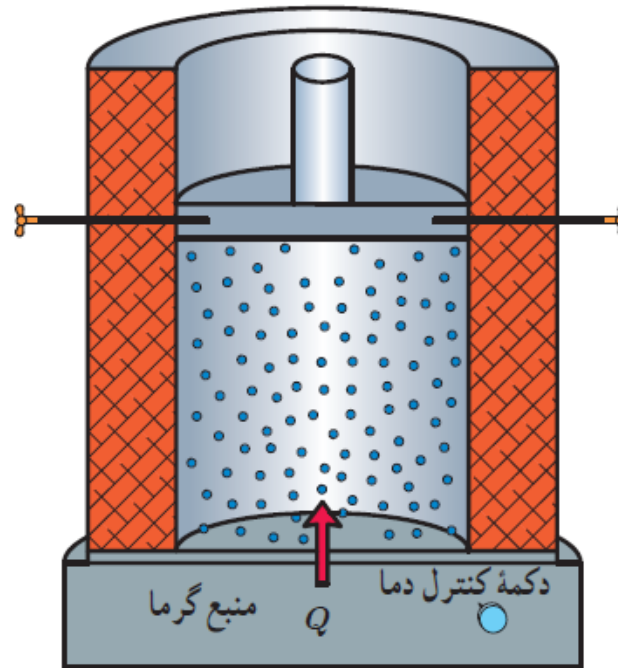
$$P_1 = P_2 \quad \text{فرایند هم فشار}$$

$$T_1 = T_2 \quad \text{فرایند هم دما}$$

$$Q = 0 \quad \text{فرایند بی دررو}$$

# ۱- فرآیند هم حجم

تحویلی از یک گاز که در طول آن **حجم گاز ثابت** است را فرآیند هم حجم می‌نامند.

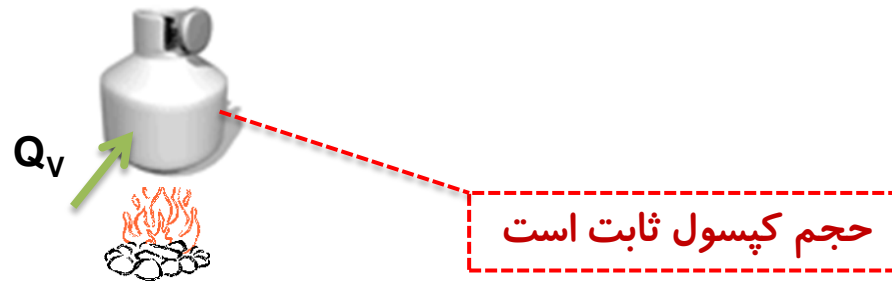


$$\Delta V = 0$$

منبع گرمایی بادمای قابل تنظیم

نمونه ای از یک فرآیند هم حجم :

گرم کردن یک کپسول هوای دربسته که امکان تغییر حجم ندارد.



نکته:

در یک فرآیند هم حجم ، گاز در حین گرفتن گرمای  $Q_v$  از چشمه، دما و فشارش افزایش می یابد.

پرسش:

داخل دیگ زودپزی کمی آب می ریزیم و در آن را می بندیم و روی شعله چراغ می گذاریم. تا قبل از آن که بخار از طریق **سوپاپ خارج** شود، تعیین کنید کدامیک از متغیرهای ترمودینامیکی بخار آب در دیگ زودپز تغییر می کند و چگونه؟



پاسخ

دما و فشار هر دو افزایش می یابند، اما حجم ثابت می ماند.  
( انبساط ظرف را نادیده می گیریم )

پرسش:

هرگاه دیگ زودپز حاوی بخار آب را از روی شعله برداریم و مانع خروج بخار شویم و اجازه دهیم تا به تدریج خنک شود، چه فرایندی صورت می گیرد؟

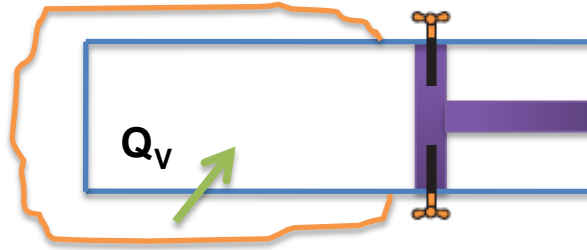
پاسخ

فرآیند هم حجم (گرماده) است در این فرایند هم حجم، دما و فشار، هر دو کاهش می یابند.

## کار انجام شده در فرآیند هم حجم

در این فرآیند کار انجام شده صفر، فقط بین دستگاه و محیط گرمابادله می شود.

$$W = 0 \quad J$$

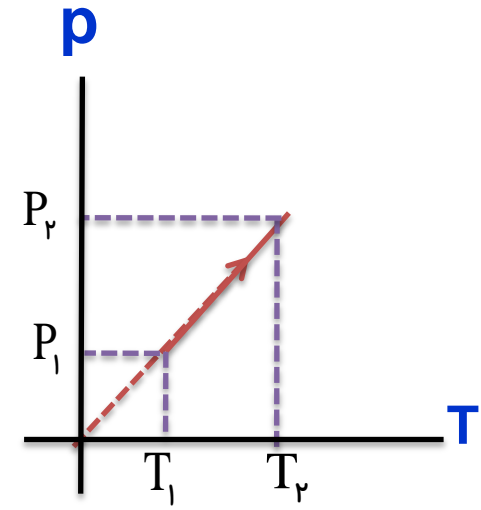
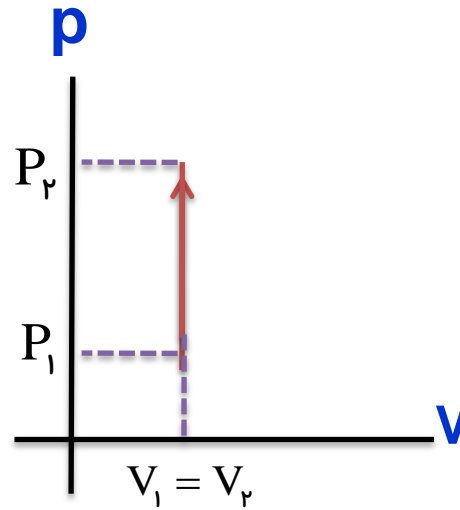
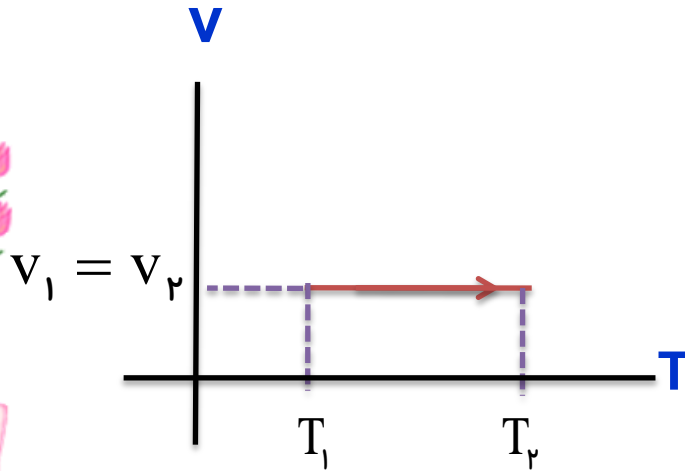


منبع گرمایی بادمای قابل تنظیم

# نمودارهای مختلف فرآیندهای هم حجم که دستگاه گرما می گیرد.



منبع گرمایی بادمای قابل تنظیم



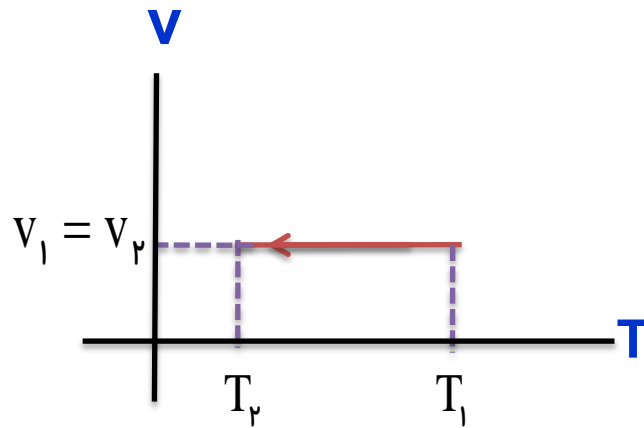
$$PV = nRT \Rightarrow P = \left(\frac{nR}{V}\right)T \Rightarrow P \propto T$$



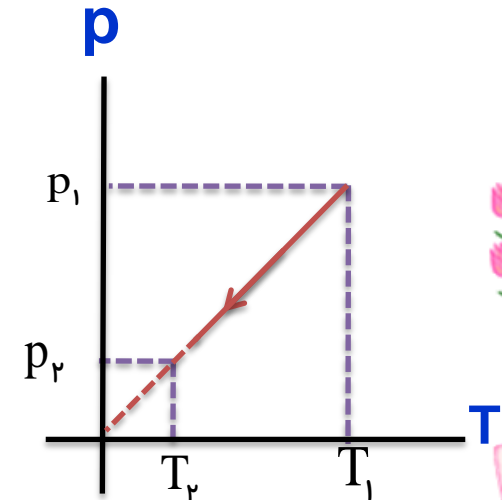
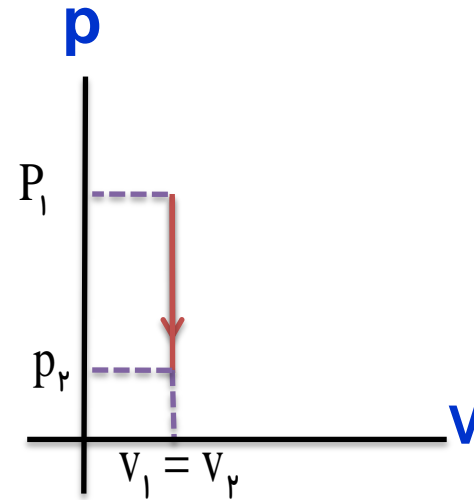
# نمودارهای مختلف فرآیند هم حجم که دستگاه گرما از دست می دهد.



منبع گرمایی بادمای قابل تنظیم



برگشت



خروج

پرسش ۵-۱:

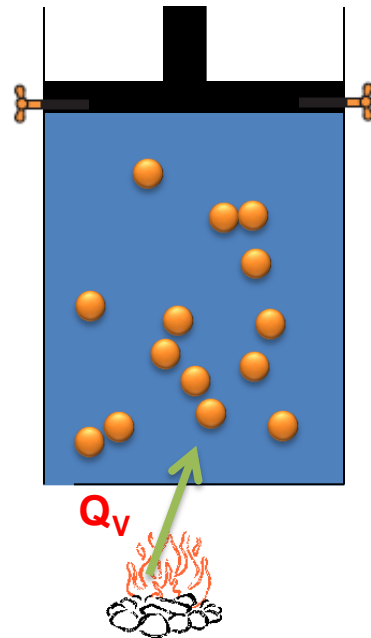
روی قوطی های اسپری، هشدار داده شده است که از انداختن آن در آتش خودداری کنید. علت این توصیه را براساس فرایندهم حجم توضیح دهید.

پاسخ:

با افزایش دما، جنبش مولکول های گاز درون قوطی بسیار زیاد می شود و فشار وارد از طرف گاز به دیواره های آن افزایش می یابد و این افزایش فشار اگر از حد معینی بیشتر شود، می تواند موجب ترکیدن قوطی شود.

## گرمایی ویژه مولی یک گاز در حجم ثابت: $C_v$

مقدار گرمایی است که در حجم ثابت به یک مول گاز داده می شود تا دمای آن یک کلوین بالا رود

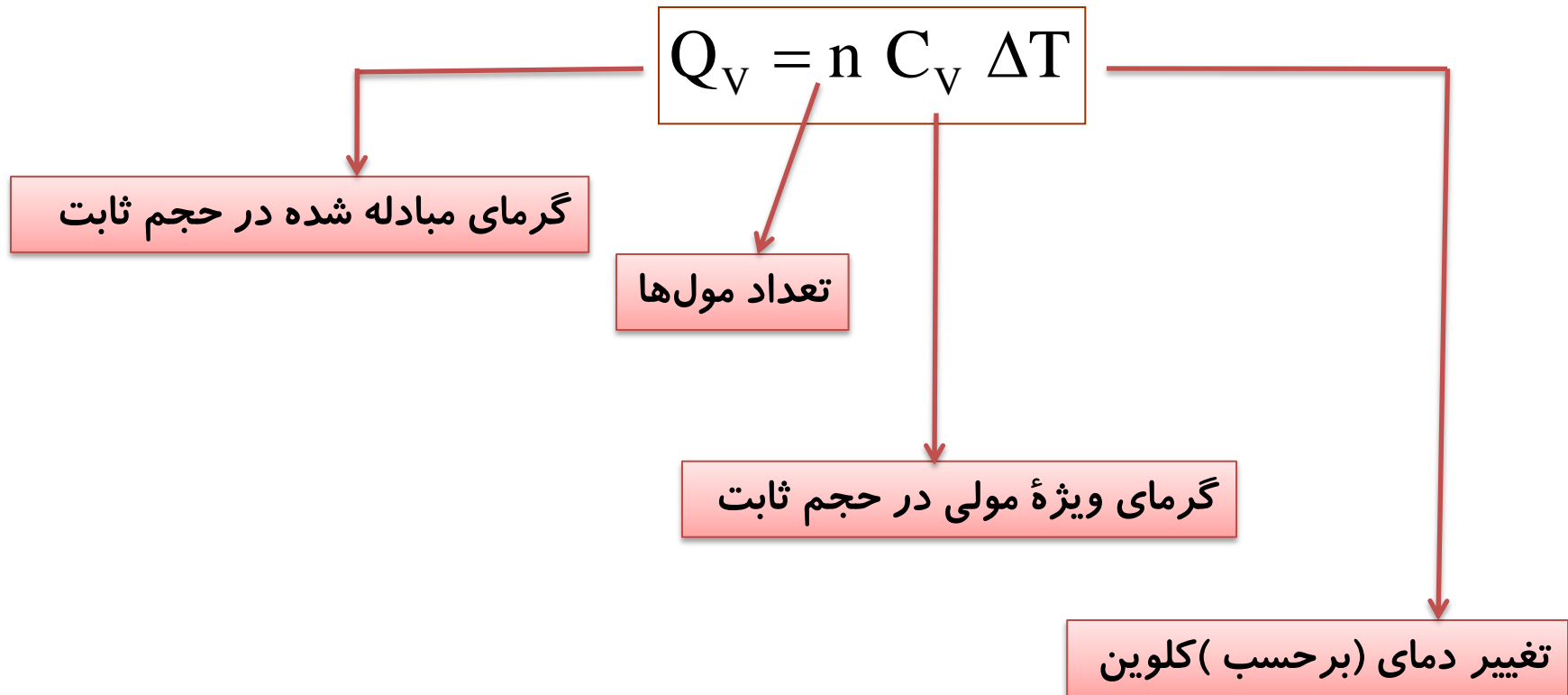


$$V_1 = V_2$$

$$n = 1 \text{ mol}$$

$$\Delta T = 1 \text{ K}$$

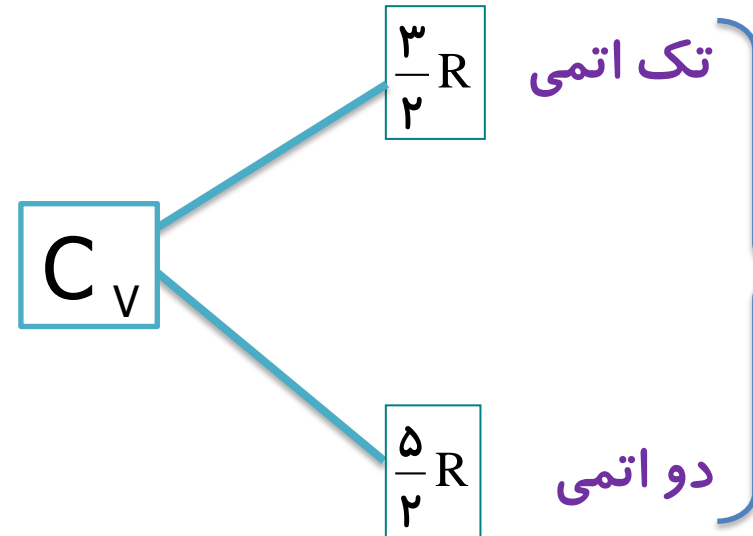
# فرمول گرمای مبادله شده در فرآیند هم حجم : $Q_V$



نکته:

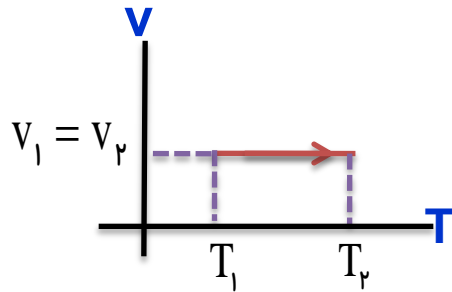
با تقریب خوبی می توان نشان داد که گرمای ویژه مولی در حجم ثابت به جنس گاز بستگی ندارد برای گازهای کامل:

گاز	$C_v$
Ar	۱۲/۵
He	۱۲/۵
Ne	۱۲/۵
هوا	۲۰/۸
CO	۲۰/۷
H <sub>۲</sub>	۲۰/۴
HCl	۲۱/۴
N <sub>۲</sub>	۲۰/۸
NO	۲۰/۹
O <sub>۲</sub>	۲۱/۲
Cl <sub>۲</sub>	۲۴/۸
CO <sub>۲</sub>	۲۸/۵
CS <sub>۲</sub>	۴۰/۹
H <sub>۲</sub> S	۲۵/۴
N <sub>۲</sub> O	۲۸/۵
SO <sub>۲</sub>	۳۱/۳



تمرین ۵-۱:

دمای  $n$  مول گاز با گرمای ویژه مولی در حجم ثابت  $C_V$ ، در یک فرایند هم حجم از  $T_1$  به  $T_2$  رسیده است. الف) تغییر انرژی درونی گاز در این فرایند را بیابید. ب) اگر این گاز، گاز آرمانی و تک اتمی باشد، تغییر انرژی درونی آن به چه صورتی نوشته می شود؟



پاسخ:

در یک فرایند هم حجم  $W = 0$  است.

$$\Delta U = Q_V + W \xrightarrow{Q_V = n C_V \Delta T} \Delta U = n C_V \Delta T$$

(الف)

$$\Delta U = n C_V \Delta T \xrightarrow{C_V = \frac{3}{2} R} \Delta U = \frac{3}{2} n R \Delta T$$

(ب)

نکته:

وقتی  $P$  و  $V$  در مساله داده باشند، تغییر انرژی درونی گاز را می توان از رابطه زیر بدست آورد

$$\Delta U = \frac{3}{2} \Delta(PV) = \frac{3}{2} V \Delta P$$

تمرین:

چه مقدار گرما لازم است تا دمای ۲ مول گاز اکسیژن در حجم ثابت به اندازه ده درجه سلسیوس افزایش یابد؟ (R ≈ 8 J/mol k).

پاسخ

$$Q_V = 40.0 \text{ J}$$

$$Q_V = ?$$

$$n = 2 \text{ mol}$$

$$\Delta\theta = 10^\circ\text{C} \rightarrow \Delta T = 10 \text{ K}$$

$$C_V = \frac{5}{2} R \rightarrow C_V = \frac{5}{2} \times 8 = 20 \text{ J/mol.K}$$

$$Q_V = n C_V \Delta T$$

$$Q_V = 2 \times 20 \times 10$$

$$Q_V = 400 \text{ J}$$

تمرین:

در یک فرآیند هم حجم به ۱ مول گاز کامل تک اتمی،  $J$  ۱۵۰۰ گرما می دهیم  
افزایش دمای آن را محاسبه کنید. ( $R \approx 8 \text{ J/mol.k}$ )

پاسخ

$$\Delta T = 125 \text{ K}$$

$$n = 1 \text{ mol}$$

$$C_v = \frac{3}{2} R \quad \rightarrow \quad C_v = \frac{3}{2} \times 8 = 12 \text{ J/mol.k}$$

$$Q_v = 1500 \text{ J}$$

$$\Delta T = ?$$

$$Q_v = n \cdot C_v \cdot \Delta T$$

$$\Delta T = \frac{Q_v}{n \cdot C_v}$$

$$\Delta T = \frac{1500}{1 \times 12} = 125 \text{ K}$$



تمرین:

دمای مقدار معینی گاز تک اتمی را در حجم ثابت ۵۰ کلوین سرد می‌کنیم. در این فرآیند ۴۰۰ J گرما از گاز خارج می‌شود. الف) کار انجام شده بر روی گاز چقدر است؟ ب) تغییر انرژی درونی گاز چند ژول است؟

پاسخ

$$W = 0$$

$$\Delta U = -400 \text{ J}$$

الف)

$$\left\{ \begin{array}{l} V_1 = V_2 \\ \Delta T = -50 \text{ K} \\ Q = -400 \text{ J} \\ W = ? \\ \Delta U = ? \end{array} \right.$$

کار انجام شده در فرآیند هم حجم همیشه صفر است.  $W = 0$

ب)

$$\Delta U = Q + W \rightarrow \Delta U = -400 + 0 = -400 \text{ J}$$

تمرین:

۱۱۴ ژول گرما در حجم ثابت به ۲ / ۰ مول از گازی داده شده و دمای گاز را ۲۰°C بالا برده است. ظرفیت گرمایی مولی در حجم ثابت این گاز چقدر است؟

پاسخ

$$C_v = 28/5 \text{ J/mol.k}$$

تست:

در یک فرآیند هم حجم ۲۰۰ ژول به انرژی درونی دستگاه افزوده شده است. در این حالت کدام گزینه در مورد گرمای مبادله شده توسط دستگاه صحیح می‌باشد؟

- (۱) دستگاه ۲۰۰ ج گرمای گرفته است.  
 (۲) دستگاه ۲۰۰ ج گرما از دست داده است.  
 (۳) بین دستگاه و محیط گرمایی مبادله نشده است.  
 (۴) دستگاه ۱۰۰ ج گرما از دست داده است.

پاسخ

گزینه ۱ صحیح است.

$$\left\{ \begin{array}{l} W = 0 \text{ J} \\ \Delta U = 200 \text{ J} \\ Q = ? \end{array} \right. \quad \Delta U = Q + W \quad \rightarrow \quad 200 = Q + 0 \quad \rightarrow \quad Q = 200 \text{ J}$$

تست:

۹۶ ژول گرما در حجم ثابت به  $2/0$  مول گاز هلیوم داده می شود. دمای آن چقدر بالا می رود؟ ( $R \approx 8 \text{ J/mol k}$ )

۴۰ (۴)

۳۰ (۳)

۲۰ (۲)

۱۰ (۱)

پاسخ

گزینه ۴ صحیح است.

# موضوع: فرایند هم فشار



پرسش:

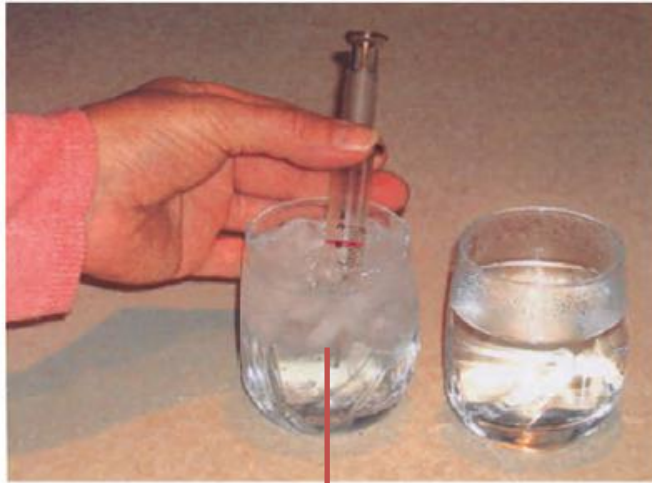
بادکنک کوچکی را بادمی کنیم و یک بار داخل سطل آب سرد و بار دیگر (در عمق یکسان) آب گرم قرار دهیم کدام یک از متغیرهای ترمودینامیکی تغییری کند و نوع فرآیند چیست؟

پاسخ

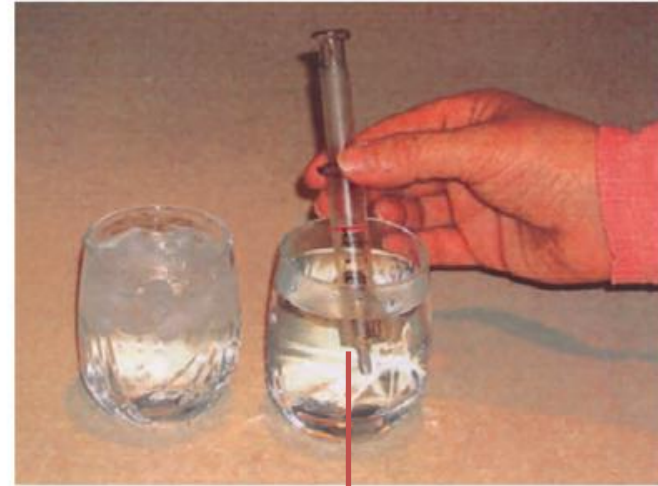
دما و حجم بادکنک تغییری یابند، نوع فرآیند: هم فشار (چون عمق تغییر نکرده) است.

پرسش:

سرنگ مسدودی که پیستون آن آزادانه حرکت می کند، رایکبار داخل آب داغ و بار دیگر داخل لیوان آب یخ، قرار دهید نوع فرآیند هر حالت رامعین کنید؟ (با فرض اینکه اصطکاک بین پیستون و استوانه ناچیز باشد)



تراکم هم فشار



انبساط هم فشار

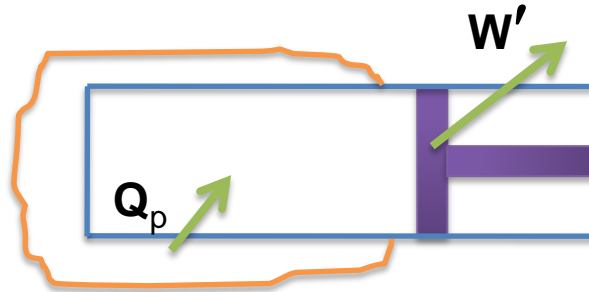
پاسخ

## فرآیند هم فشار

تحولی را که در طی آن فشار گاز ثابت بماند، فرآیند هم فشار می نامند.

در این فرآیند دستگاه با دریافت گرما از چشمه گرم منبسط می شود و با از دست دادن گرما متراکم می گردد.

(با فرض اینکه اصطکاک بین پیستون و استوانه ناچیز باشد)

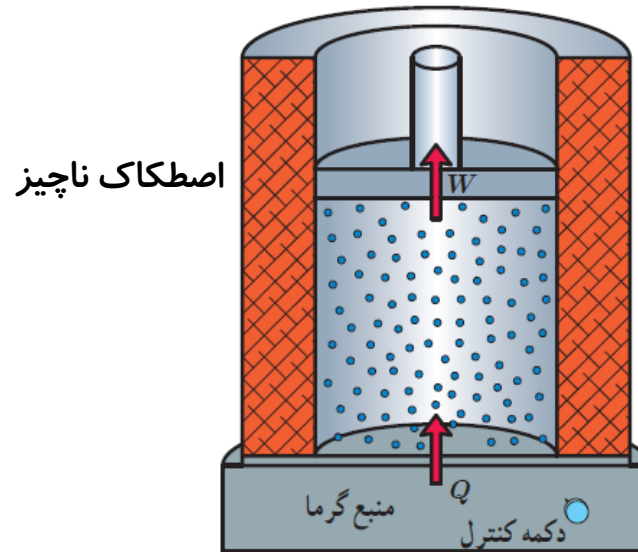


منبع گرمایی با دمای قابل تنظیم



## شرایط ایجاد فرآیند هم فشار

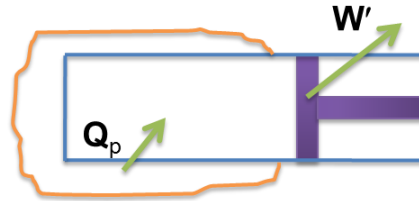
- ۱- باید اصطکاک پیستون و استوانه ناچیز باشد .
- ۲- مبادله گرما بین منبع گرم و دستگاه خیلی آهسته صورت گیرد تا هم دستگاه در هر لحظه نزدیک به وضعیت تعادل باشد و هم پیستون خیلی آرام حرکت کند



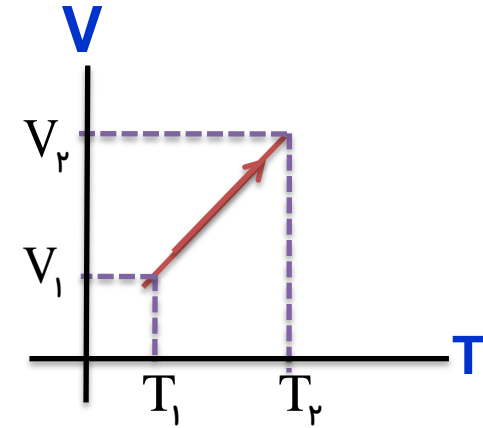
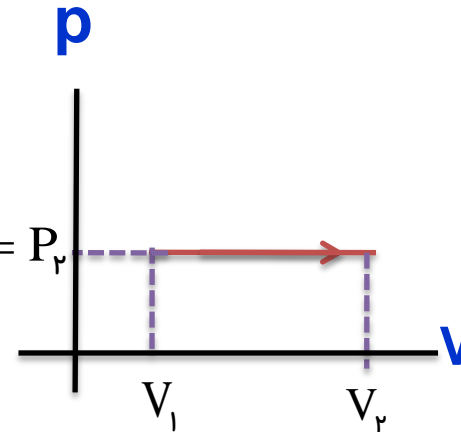
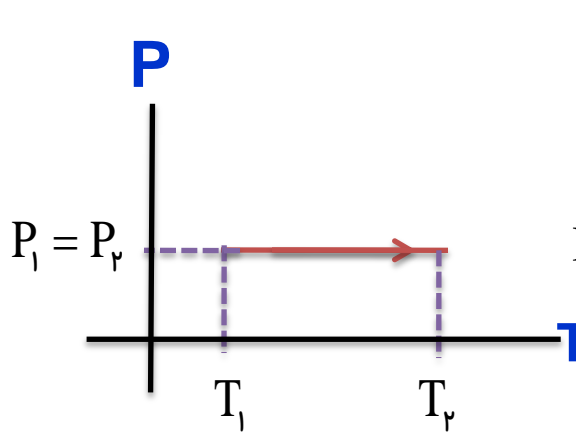
منبع گرمایی با دمای قابل تنظیم

## رسم نمودارهای فرآیند هم فشار: (انبساط)

در فرآیند انبساط هم فشار، اگر دستگاه گرمای  $Q_p$  را بگیرد. کار  $W'$  را انجام می دهد



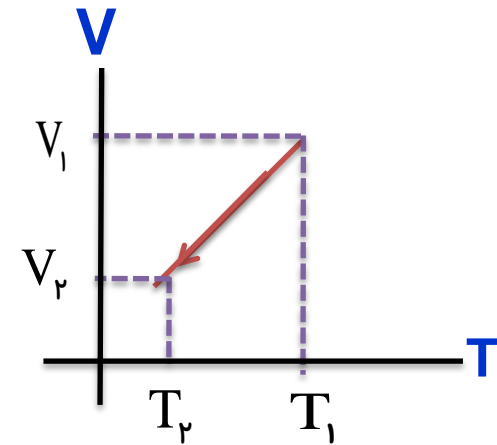
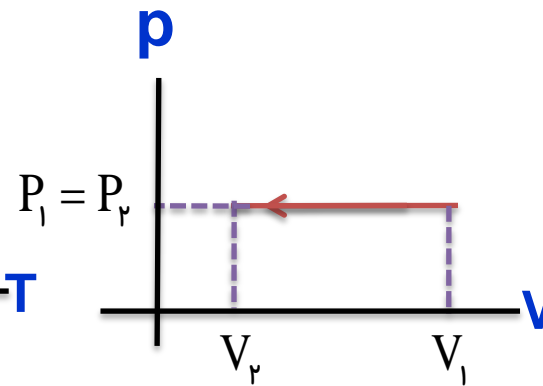
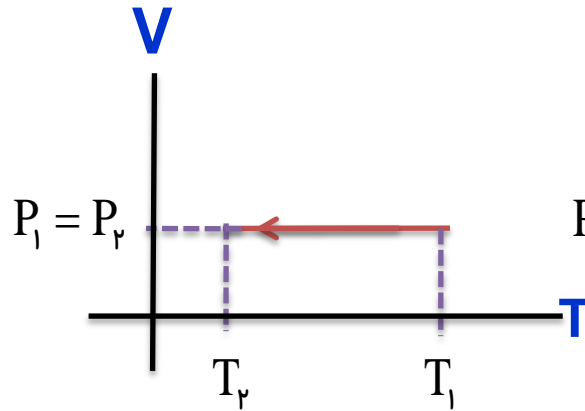
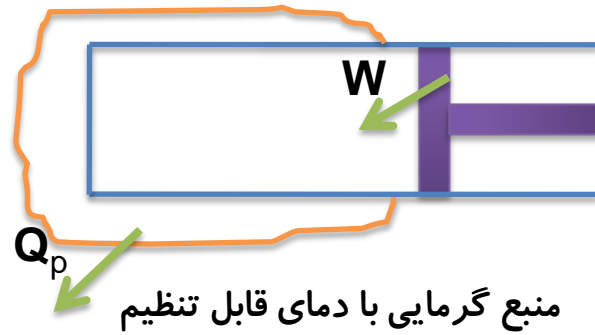
منبع گرمایی با دمای قابل تنظیم



$$PV = nRT \Rightarrow V = \left(\frac{nR}{P}\right)T \Rightarrow V \propto T$$

## رسم نمودارهای فرآیند هم فشار: ( تراکم )

در تراکم هم فشار، محیط کار  $W$  انجام داده و دستگاه گرمای  $Q_p$  را از دست می دهد.



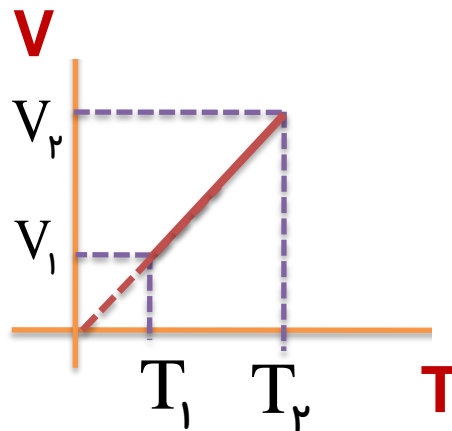
تمرین ۲-۵:

نشان دهید نمودار  $V-T$  برای فرایند هم فشار یک گاز آرمانی، خط راستی است که امتداد آن از مبدأ مختصات می‌گذرد.

پاسخ:

$$PV = nRT \Rightarrow V = \left(\frac{nR}{P}\right)T \Rightarrow V \propto T$$

چون  $\left(\frac{nR}{P}\right)$  مقداری ثابت است رابطه فوق معادله خط راستی است که امتداد آن از مبدأ مختصات می‌گذرد



## محاسبه کار در یک تحول انبساطی (هم فشار):

کاری که دستگاه (گاز) بر روی محیط (پیستون) انجام می‌دهد (انبساط گاز)  $W'$

$$W' = F' \cdot d \cos \theta$$

$$W' = + F' d$$

$$F' = PA$$

$$W' = P \cdot Ad$$

$$Ad = \Delta V$$

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

$$W = F \cdot d \cos 180^\circ$$

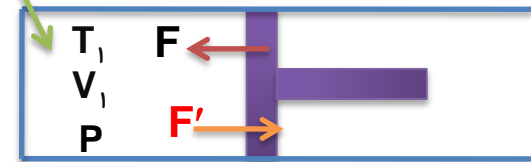
$$F = PA$$

$$W = -P \cdot Ad$$

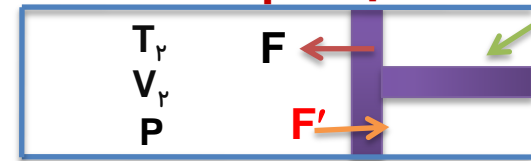
$$Ad = \Delta V$$

$$W = -P \cdot \Delta V$$

دستگاه



محیط



کار پیستون بر روی گاز

تمرین ۳-۵:

نشان دهید رابطه  $w = -p\Delta v$  که برای یک انبساط هم فشار به دست آمده، برای یک تراکم هم فشار نیز برقرار است.

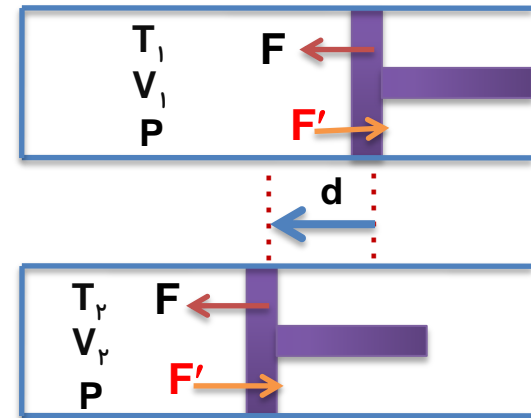
پاسخ:

کاری که دستگاه روی محیط انجام می‌دهد (تراکم گاز)

$$W' = F'.d \cos 180^\circ$$

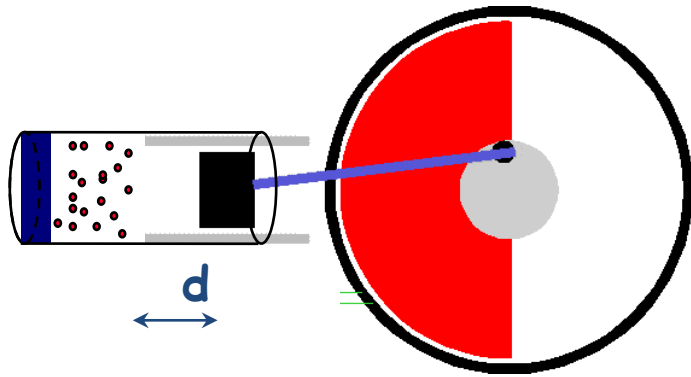
$$\left. \begin{array}{l} W' = -F'd \\ F' = PA \end{array} \right\} \left. \begin{array}{l} W' = -P.Ad \\ Ad = V_1 - V_2 = -\Delta V \end{array} \right\} W' = +P.\Delta V$$

$$\left. \begin{array}{l} W = F.d \cos 0^\circ \\ F = PA \end{array} \right\} \left. \begin{array}{l} W = P.Ad \\ Ad = V_1 - V_2 = -\Delta V \end{array} \right\} W = -P.\Delta V$$



کارپیستون بر روی گاز

## کار انجام شده در فرآیند هم فشار



کاری انجام شده بر روی دستگاه  $W = -P \cdot \Delta V$

کاری انجام شده بر روی محیط  $W' = P \cdot \Delta V$



اگر گاز در حال تراکم است پس  $\Delta V < 0$  در نتیجه  $W > 0$  می شود یعنی کار بر روی دستگاه مثبت و بر روی محیط منفی است.



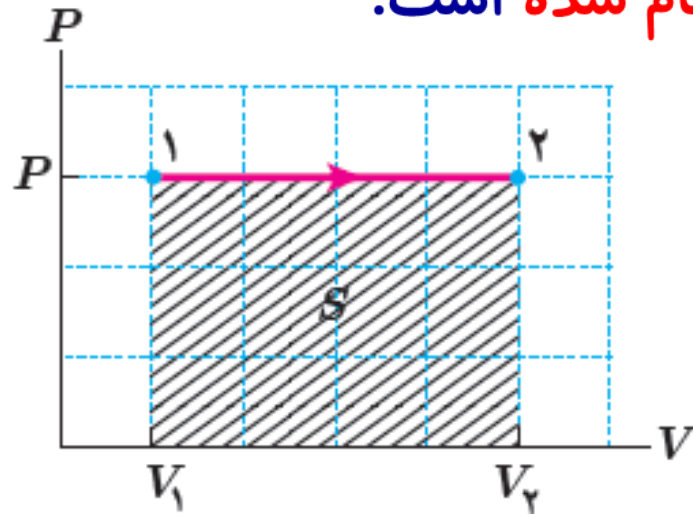
اگر گاز در حال انبساط است پس  $\Delta V > 0$  در نتیجه  $W < 0$  می شود یعنی کار بر روی گاز منفی و بر روی محیط مثبت است.

نکته مهم:

طبق معادله ی حالت می توان کار را از رابطه زیر نیز بدست آورد.  $W = -nR\Delta T$

فعالیت ۵-۱:

با توجه به نمودار شکل روبه رو، نشان دهید در فرایند هم فشار، مساحت سطح زیر نمودار  $P-V$  برابر با قدر مطلق کار انجام شده است.



پاسخ:

حاصل ضرب  $P\Delta V$  در واقع مساحت زیر نمودار ( $P-V$  مساحت ناحیه هاشور خورده) است.

$$\left. \begin{array}{l} W = -P \cdot \Delta V \\ S = P \cdot \Delta V \end{array} \right\} S = |W| = |-P \cdot \Delta V| \quad \text{قدر مطلق کار محیط روی دستگاه}$$

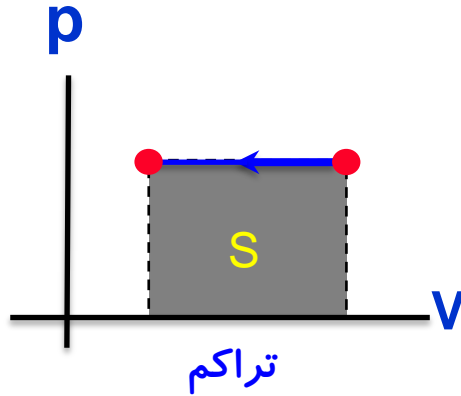


## محاسبه ی کار به کمک نمودار:

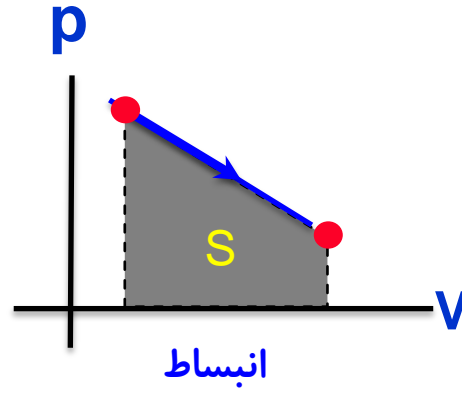
سطح زیر نمودار (P-V) برابر قدر مطلق کار مبادله شده بین دستگاه و محیط است

کار انجام شده بر روی گاز در تراکم ( $W > 0$ ) و در انبساط ( $W < 0$ )

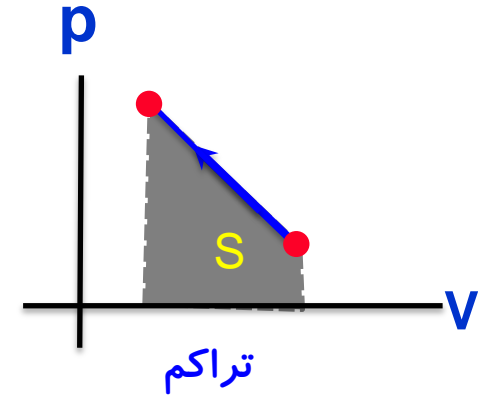
$$|W| = S = |-P \cdot \Delta V|$$



$$W = +S$$



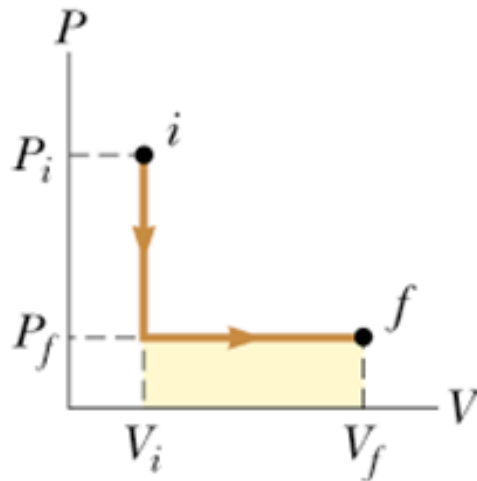
$$W = -S$$



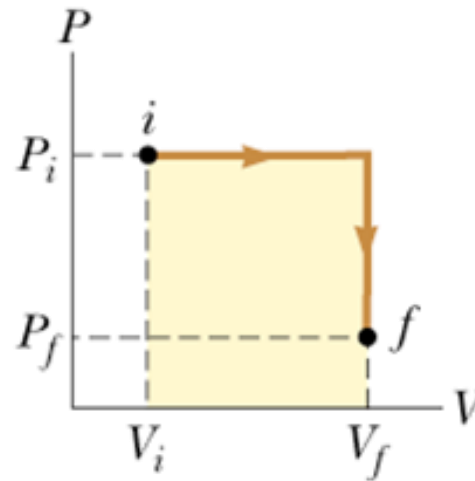
$$W = +S$$

پرسش:

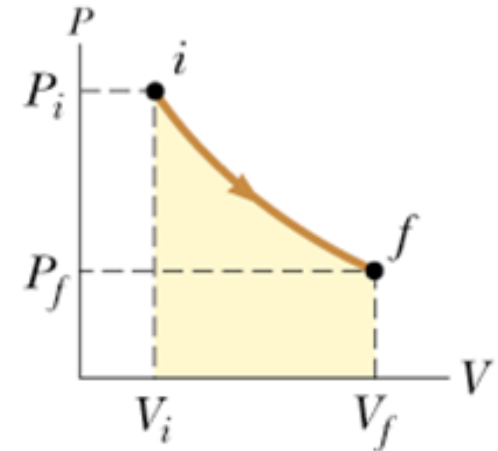
قدر مطلق کار انجام شده در کدام نمودار بیشتر است؟



(a)



(b)



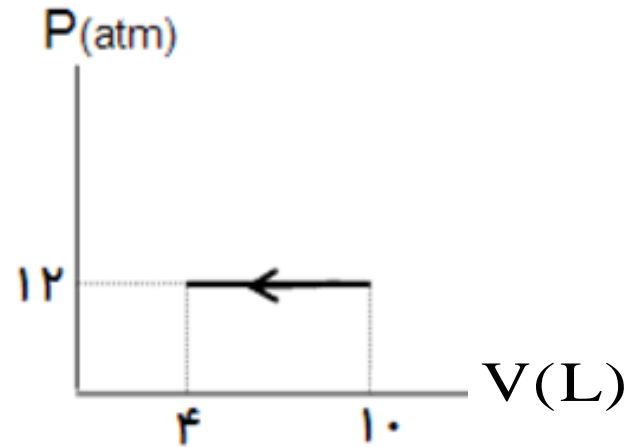
(c)

پاسخ:

هر کدام که مساحت زیر نمودارش (مساحت ناحیه رنگی) بیشتر باشد. **شکل b**

تمرین:

نمودارهای P-V برای گاز کامل سه اتمی ( $\text{CO}_2$ ) داده شده است، کار انجام شده روی گاز (دستگاه) را حساب کنید

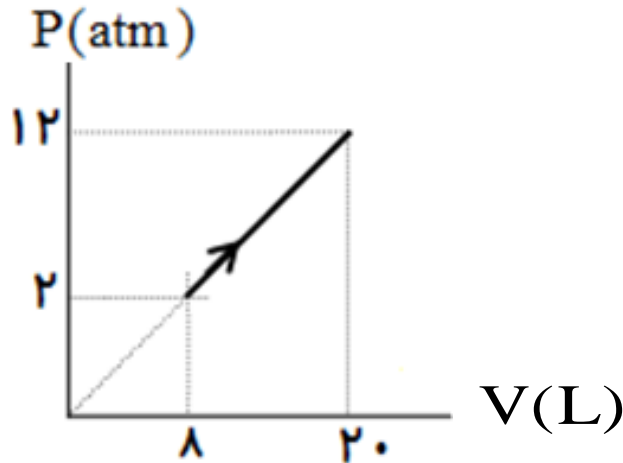


پاسخ

$$w = 7200 \text{ J}$$

تمرین:

نمودار  $P-V$  برای گاز کامل تک اتمی داده شده است، کار انجام شده بر روی دستگاه را حساب کنید



پاسخ

$$w = -8400 \text{ J}$$

تست:

گاز در فشار ثابت  $1.0 \times 10^3 \text{ pa}$  از حجم  $3$  لیتر به  $7$  لیتر می‌رسد. کار انجام شده توسط گاز برابر است با:

$$-4 \text{ (4)}$$

$$+2 \text{ (3)}$$

$$-2 \text{ (2)}$$

$$+4 \text{ (1)}$$

پاسخ

$$P = 1.0 \times 10^3 \text{ pa}$$

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

گزینه ۱ صحیح است.

$$V_1 = 3 \text{ L}$$

$$W' = 1.0 \times 10^3 \times (7 - 3) \times 1.0 \times 10^{-3}$$

$$V_2 = 7 \text{ L}$$

$$W' = 4 \text{ J}$$

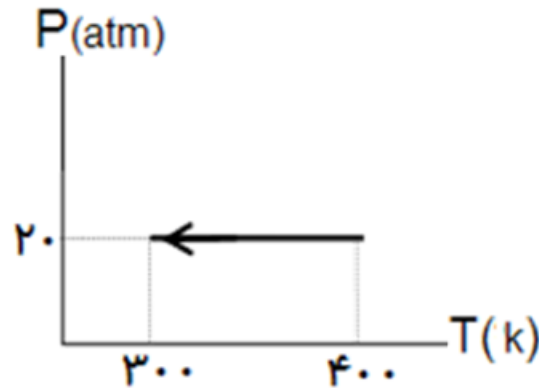
$$W' = ?$$

تمرین:

نمودار  $P - T$  برای  $5$  مول گاز کامل تک اتمی داده شده است، کار انجام شده روی دستگاه را به دست آورید

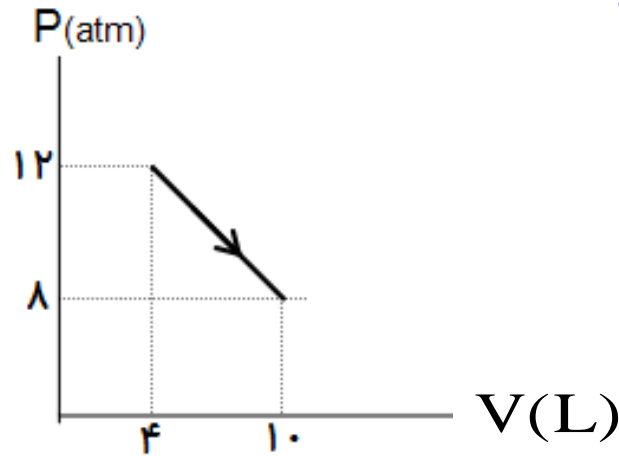
پاسخ

$$W = 400 \text{ J}$$



تمرین:

نمودارهای  $P - V$  برای گاز کامل دو اتمی داده شده است، کار انجام شده روی دستگاه را حساب کنید

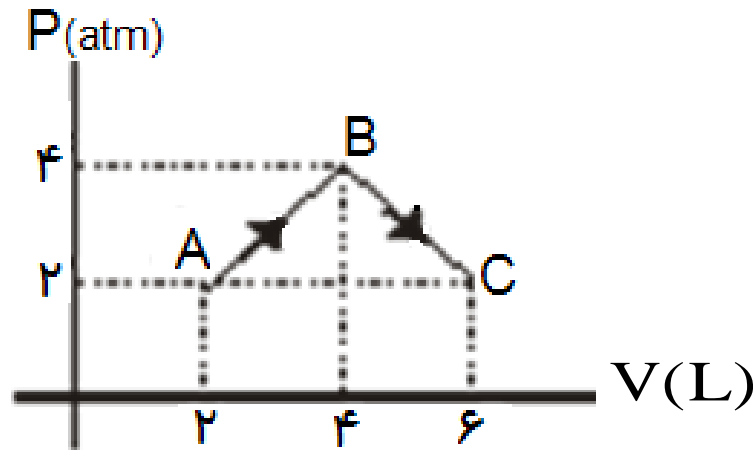


پاسخ

$$w = -6000 \text{ J}$$

تمرین:

در نمودار مقابل که مربوط به یک مول گاز تک اتمی است کار انجام شده برای انتقال گاز از حالت تعادل A به C برابر است با:



پاسخ

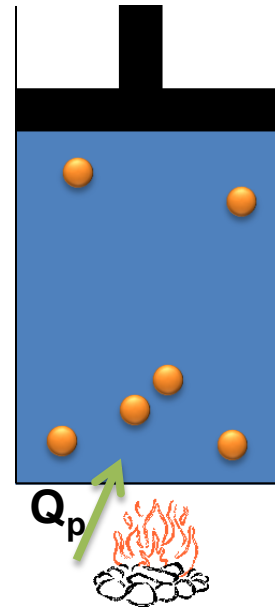
$$W = -1200 \text{ J}$$



# گرمای ویژه مولی در فشار ثابت: $(C_p)$

مقدار گرمایی است که در فشار ثابت به یک مول گاز داده می شود، تا دمای آن یک کلوین بالا رود

اصطکاک ناچیز



$$P_1 = P_2$$

$$n = 1 \text{ mol}$$

$$\Delta T = 1 \text{ k}$$

# فرمول گرما در تحول هم فشار: $Q_P$

$$Q_P = n C_P \Delta T$$

گرمای مبادله شده در فشار ثابت

تعداد مولها

گرمای ویژه مولی در فشار ثابت

تغییر دمای (بر حسب) کلوین

نکته:

با تقریب خوبی می توان نشان داد، که گرمای ویژه مولی در فشار ثابت به جنس گاز بستگی ندارد برای گازهای کامل:

$$C_p = C_v + R$$

 $C_p$ 

$$\frac{5}{2} R$$

تک اتمی

$$\frac{7}{2} R$$

دو اتمی

جدول ۵-۲ گرمای ویژه مولی چند گاز در فشار ثابت بر حسب  $J/mol \cdot K$

گاز	$C_p$
Ar	۲۰/۸
He	۲۰/۸
Ne	۲۰/۸
هوا	۲۹/۱
CO	۲۹/۱
H <sub>۲</sub>	۲۸/۸
HCl	۲۹/۱
N <sub>۲</sub>	۲۹/۱
NO	۲۹/۸
O <sub>۲</sub>	۲۹/۴
Cl <sub>۲</sub>	۳۳/۹

پرسش:

چرا مقدار گرمای ویژه مولی در فشار ثابت از مقدار گرمای ویژه مولی در حجم ثابت بیشتر است؟

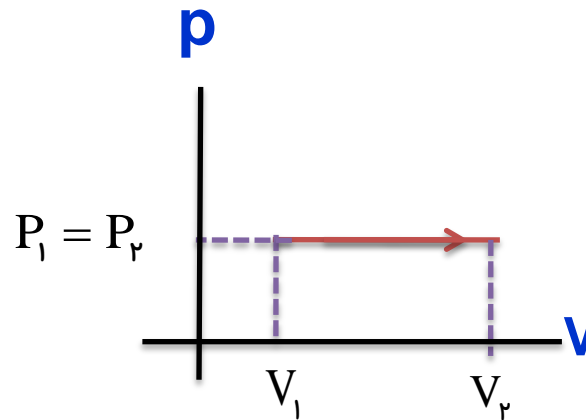
$$C_p > C_v$$

پاسخ

زیرا در فرآیندهم حجم، گرمای داده شده، فقط باعث افزایش دمای گاز (انرژی درونی گاز) می‌گردد. در صورتی که در فرآیندهم فشار، گرمای داده شده، علاوه بر افزایش دمای گاز (انرژی درونی گاز)، باعث انجام کار ( $W'$ ) نیز می‌شود

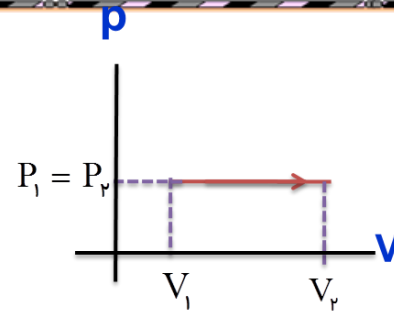
تمرین:

در یک فرآیند هم فشار، دمای مطلق مقدار معینی از یک گاز کامل تک اتمی از  $T_1$  به  $T_2$  می‌رسد. کار و گرمای داده شده به گاز و تغییر انرژی درونی آن از چه رابطه‌هایی محاسبه می‌شود؟



پاسخ

محاسبه کار هم فشار



از طرفین دلتا می گیریم

$$\left. \begin{array}{l} T_1 \Rightarrow T_2 \\ W = ? \end{array} \right\} \begin{array}{l} PV = nRT \xrightarrow{\text{از طرفین دلتا می گیریم}} P\Delta V = nR\Delta T \\ W = -P\Delta V \end{array} \left. \right\} W = -nR\Delta T$$

محاسبه گرما هم فشار

$$\left. \begin{array}{l} Q_P = ? \\ C_P = \frac{5}{2}R \end{array} \right\} \begin{array}{l} Q_P = nC_P\Delta T \xrightarrow{\quad} Q_P = \frac{5}{2}nR\Delta T \end{array}$$

محاسبه تغییر انرژی درونی

$$\Delta U = Q + W \left\{ \begin{array}{l} W = -nR\Delta T \\ Q_P = \frac{5}{2}nR\Delta T \end{array} \right. \xrightarrow{\quad} \Delta U = \frac{5}{2}nR\Delta T - \frac{2}{2}nR\Delta T = \frac{3}{2}nR\Delta T$$

تمرین:

با صرف  $1600 \text{ J}$  گرما، دمای چند مول گاز تک اتمی را می توان در فشار ثابت،  $80 \text{ K}$  افزایش داد؟ ( $R \approx 8 \text{ J/mol.k}$ )

پاسخ

$$n = 1 \text{ mol}$$

$$Q_P = 1600 \text{ J}$$

$$n = ? \text{ mol}$$

$$C_P = \frac{5}{2} R \quad \rightarrow \quad C_P = \frac{5}{2} \times 8 = 20 \text{ J/mol.k}$$

$$\Delta T = 80 \text{ K}$$

$$Q_P = n C_P \Delta T$$

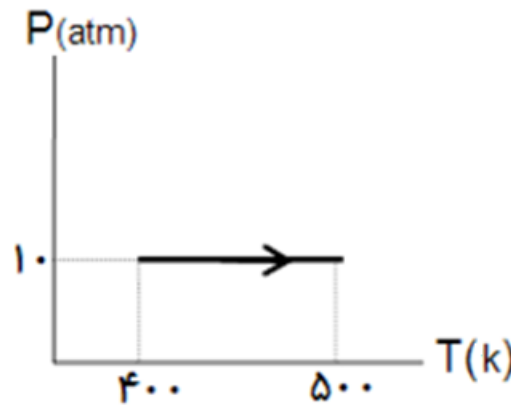
$$n = \frac{Q_P}{C_P \cdot \Delta T}$$

$$n = \frac{1600}{20 \times 80} = 1 \text{ mol}$$

تمرین:

نمودار  $P-T$  برای یک مول گاز کامل تک اتمی داده شده است. کار انجام شده بر روی گاز، گرما و تغییر انرژی درونی را به دست آورید

پاسخ



$$W = -80.0 \text{ J}$$

$$Q = 200.0 \text{ J}$$

$$\Delta U = 120.0 \text{ J}$$



تمرین:

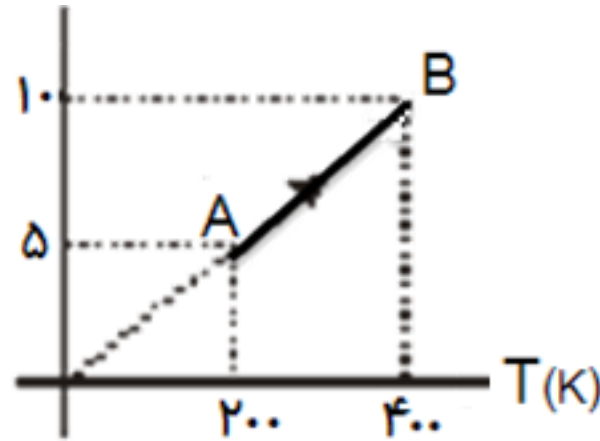
سه مول گاز کاملی را در فشار ثابت از  $27^{\circ}\text{C}$  تا  $127^{\circ}\text{C}$  گرم می‌کنیم. کاری را که گاز انجام می‌دهد را بدست آورید.

پاسخ

$$W' = 2400 \text{ J}$$

تمرین:

نمودار شکل مقابل برای یک مول گاز کامل رسم شده است. اگر فشار گاز در نقطه  $A$ ،  $P_A$  و در نقطه  $B$ ،  $P_B$  باشد،  $P_B - P_A$  را بدست آورید؟

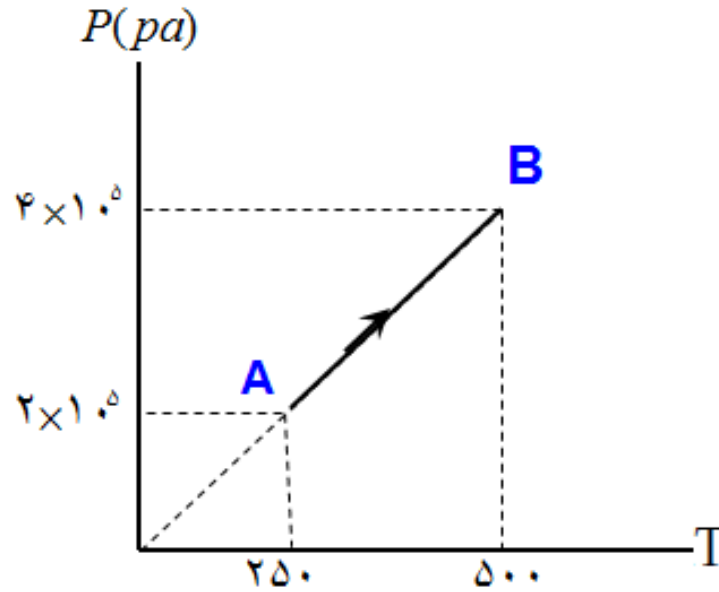
$$V(L)$$


پاسخ

صفر

تمرین:

اگر نمودار P-T برای یک مول گاز کامل به شکل زیر باشد کار انجام شده توسط گاز از A تا B چند ژول است؟

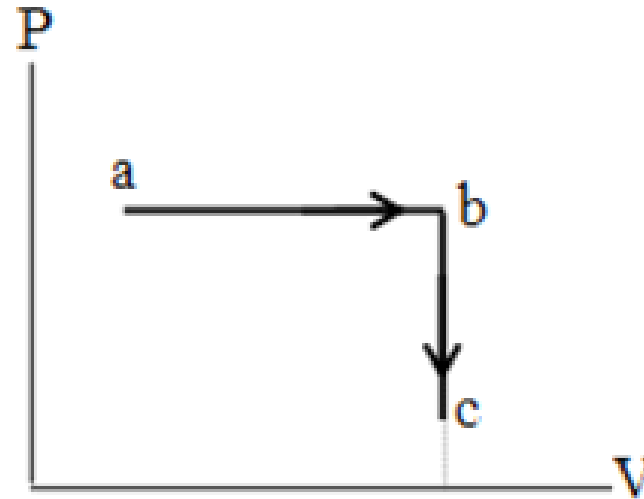


پاسخ

$$W' = 0 \text{ J}$$

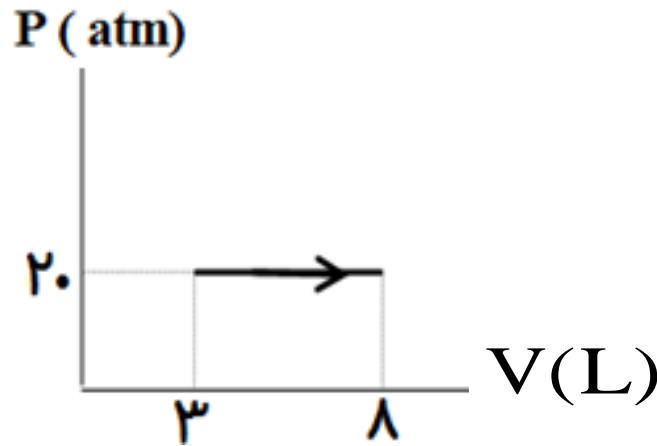
تمرین:

نمودار  $P-V$  برای گاز کاملی داده شده است. نمودار  $P-T$  و  $V-T$  را رسم کنید.



تمرین:

نمودار  $P-V$  برای یک مول گاز کامل تک اتمی داده شده است کار انجام شده و تغییر انرژی درونی را برای این فرآیند حساب کنید. ( $R \approx 8 \text{ J/molK}$ )



پاسخ

$$W = -1000 \text{ J}$$

$$Q = 2500 \text{ J}$$

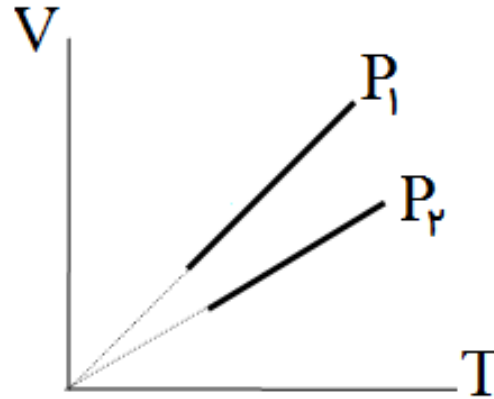
$$\Delta U = 1500 \text{ J}$$

تمرین:

حجم گاز کاملی را یک بار در فشار ثابت  $P_1$  و بار دیگر در فشار ثابت  $P_2$  افزایش می دهیم، نمودار  $(V-T)$  این دو فرآیند مطابق شکل زیر است  $P_2$  و  $P_1$  را مقایسه کنید.

پاسخ

$$P_2 > P_1$$



$$PV = nRT$$

$$V = \frac{nR}{P} T$$

$$m = \frac{nR}{P}$$

$$m_1 > m_2 \Rightarrow \frac{\cancel{n} \cancel{R}}{P_1} > \frac{\cancel{n} \cancel{R}}{P_2} \Rightarrow \frac{1}{P_1} > \frac{1}{P_2} \Rightarrow P_2 > P_1$$

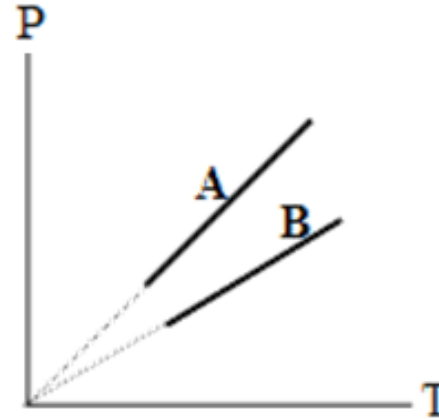
شیب نمودار  $V-T$  در فرآیند هم فشار با فشار گاز نسبت وارون دارد

تمرین:

نمودار (P-T) برای دو گاز کامل تک اتمی که تعداد مول‌هایشان برابر است داده شده است، حجم کدام گاز بیشتر است

پاسخ

$$V_B > V_A$$



$$PV = nRT$$

$$P = \frac{nR}{V} T$$

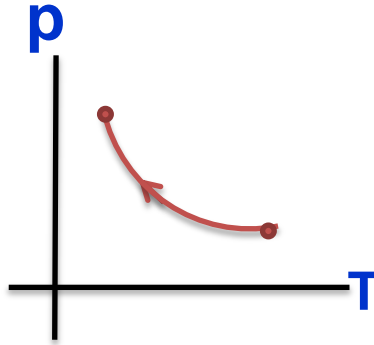
$$m = \frac{nR}{V}$$

$$m_A > m_B \rightarrow \frac{\cancel{n} R}{V_A} > \frac{\cancel{n} R}{V_B} \rightarrow \frac{1}{V_A} > \frac{1}{V_B} \rightarrow V_B > V_A$$

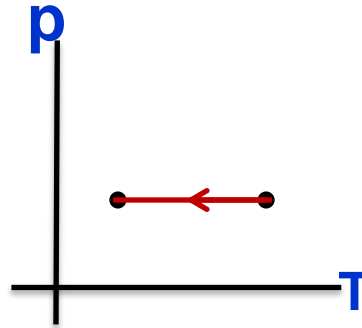
شیب نمودار P-T در فرآیند هم حجم با حجم گاز نسبت وارون دارد.

پرسش:

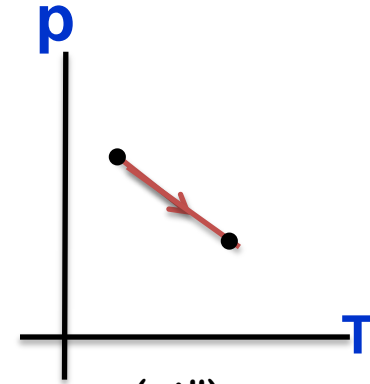
در فرآیندهای زیر، حجم گاز چگونه تغییر می کند.



(ج)



(ب)

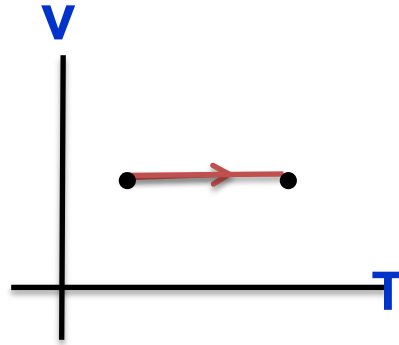


(الف)

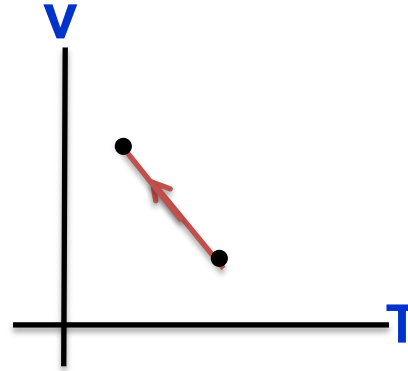


پرسش:

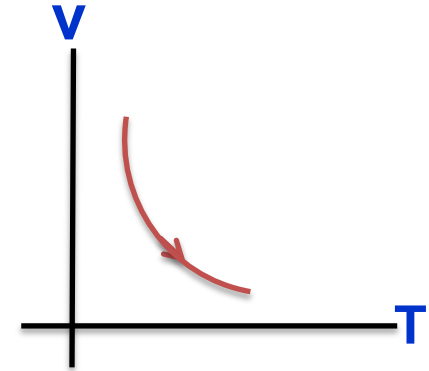
در فرآیندهای زیر، فشار گاز چگونه تغییر می کند.



(ج)



(ب)



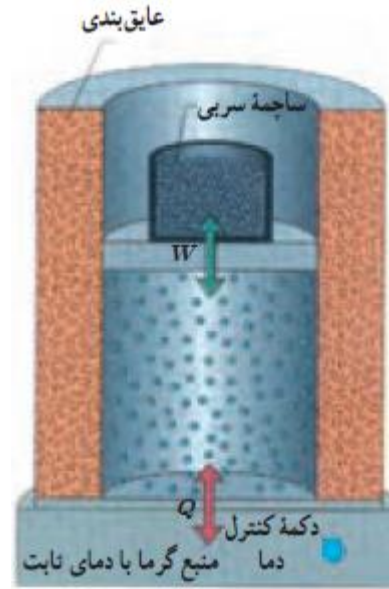
(الف)

# موضوع: فرایند هم دما و بی دررو



پرسش:

استوانه ای در تماس با منبع گرمایی با دمای ثابت قرار دارد. با افزودن **تدریجی** گلوله های سربی، کدامیک از متغیرهای ترمودینامیکی تغییر می کند و نوع فرآیند چیست؟



پاسخ

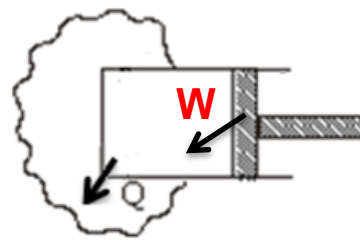
اضافه کردن گلوله های سربی باعث افزایش فشار  $P \uparrow$  روی پیستون شده، در نتیجه گاز متراکم (حجم کم  $V \downarrow$ ) و دچار افزایش دما می شود که با دادن گرما به منبع دوباره به دمای اولیه می رسد. نوع فرآیند: **تراکم هم دما** است.

# فرآیند هم دم

دمای دستگاه در حین این فرآیند ثابت می ماند.

در فرآیند هم دم با وجود ثابت ماندن دما، بین محیط و دستگاه گرما مبادله می شود .  
برای گاز آرمانی که انرژی درونی آن فقط تابعی از دماست، تغییر انرژی درونی صفر است

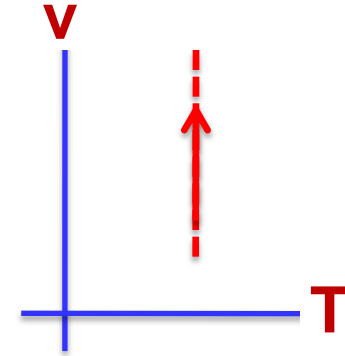
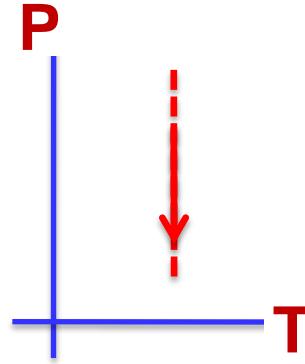
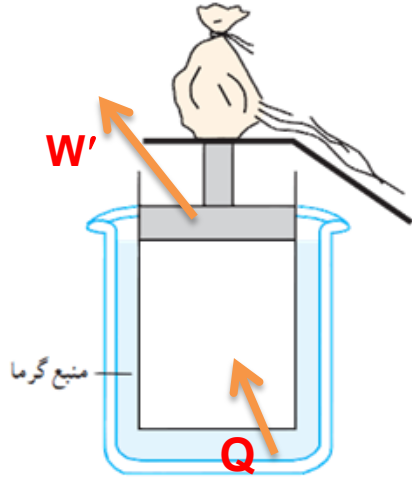
$$\cancel{\Delta U} = Q + W \rightarrow Q = -W \xrightarrow[\text{در تراکم}]{W > 0} Q < 0 \text{ در تراکم هم دم، گاز گرما از دست می دهد}$$



منبع گرما با دمای ثابت

تمرین ۴-۵:

مشابه آنچه که برای تراکم هم دما شرح دادیم، انبساط هم دمای گاز کامل را شرح دهید و علامت های  $Q$  و  $W$  را برای چنین فرایندی تعیین و نمودارهای  $P-T$  و  $V-T$  را برای آن رسم کنید.



پاسخ:

استوانه ای که پیستون آن آزادانه حرکت می کند را طوری در مقداری آب گرم قرار می دهیم که پیستون بتواند عمودی جابه جا شود. کیسه را سوراخ می کنیم تا شن آن به آرامی خارج شود. با کاهش وزن روی پیستون، گاز منبسط و دچار افت دما می شود که با گرفتن گرما از منبع دوباره به دمای اولیه می رسد

$$\cancel{\Delta U} = Q + W \rightarrow Q = -W \xrightarrow{W < 0} Q > 0$$

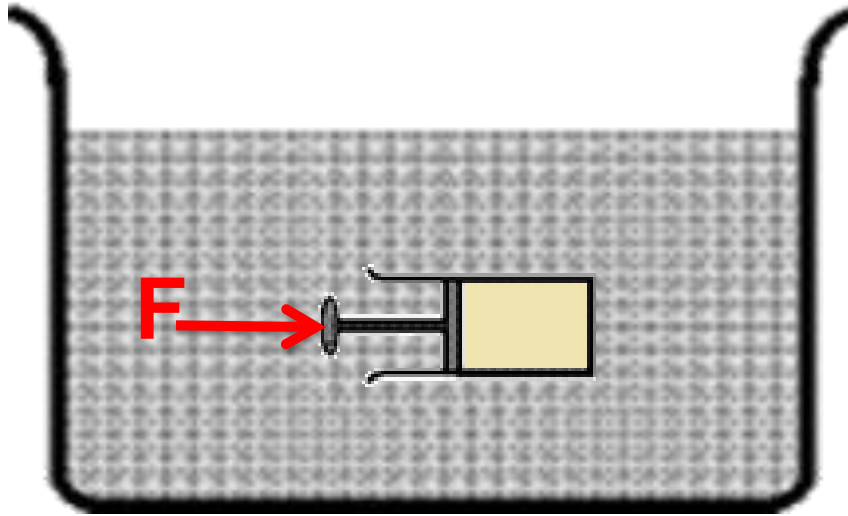
گاز منبسط و دچار افت دما می شود

فعالیت ۵-۲:

انتهای یک سرنگ حاوی هوا را مسدود و آن را وارد حجم بزرگی از آب کنید. پس از مدتی، پیستون سرنگ را به آرامی بفشارید. هوای درون سرنگ چه فرایندی را طی می کند؟

پاسخ:

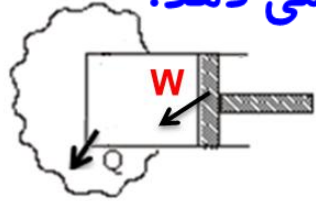
تراکم هم دما



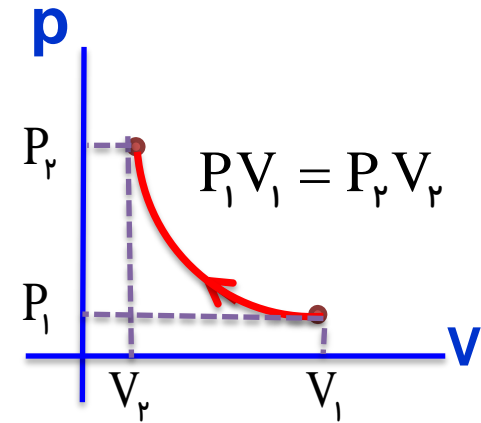
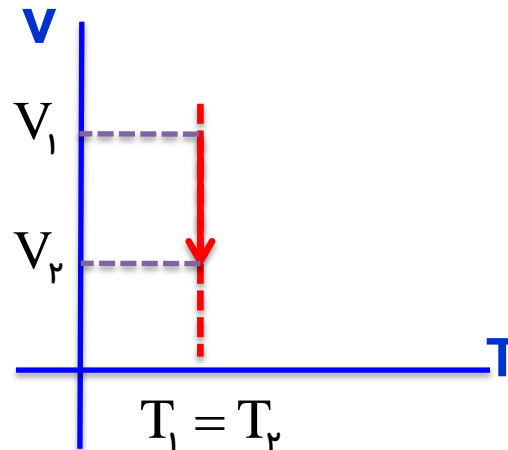
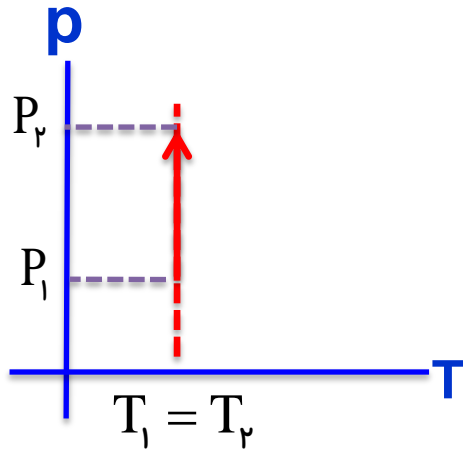
با فشردن کُند و آرام پیستون، فشار هوای درون سرنگ افزایش و حجم آن کاهش می یابد. در هر مرحله کوچک این فرایند، دما در ابتدا کمی زیاد می شود، ولی این افزایش دما با دادن گرما به آب جبران می شود تا اینکه هوا دوباره با آب هم دما شود. در **فرایند هم دما**، گاز با محیط تبادل گرما می کند بی آنکه دمایش تغییر کند.

## رسم نمودارهای فرآیندها: ( تراکم )

در یک فرآیندها، با انجام کار  $W$ ، دستگاه گرمای  $Q$  را از دست می دهد.



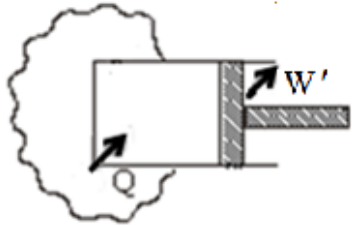
منبع گرما با دمای ثابت



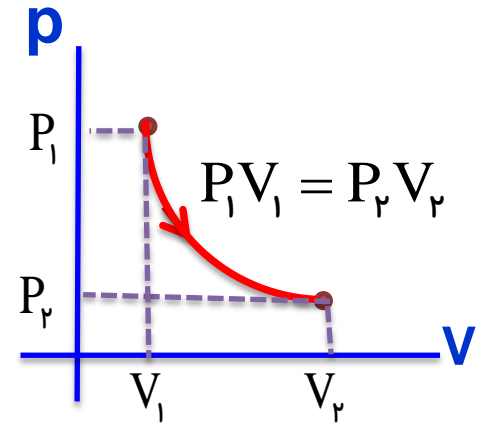
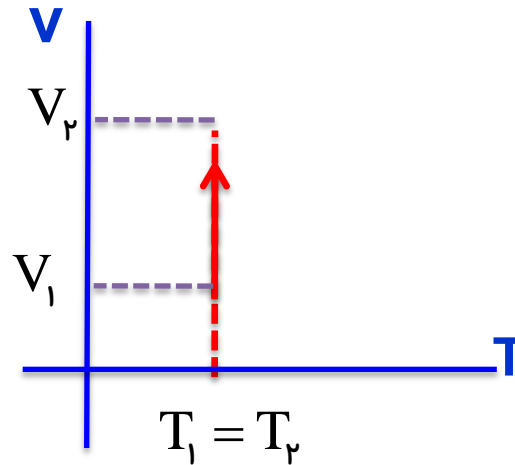
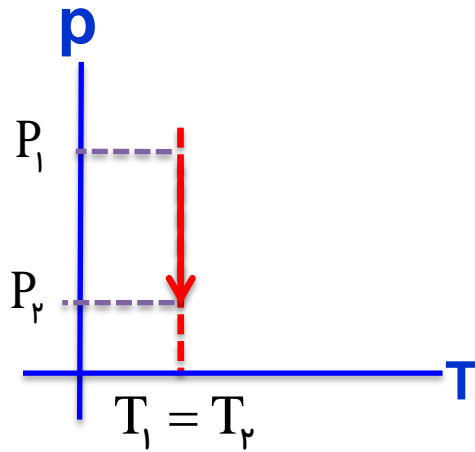
$$PV = nRT \Rightarrow P = \frac{nRT}{V} \Rightarrow P \propto \frac{1}{V}$$

## رسم نمودارهای فرآیندها (انبساط):

در یک فرآیندها، اگر گاز گرمای  $Q$  را بگیرد کار  $W'$  را روی محیط انجام می دهد



منبع گرما با دمای ثابت

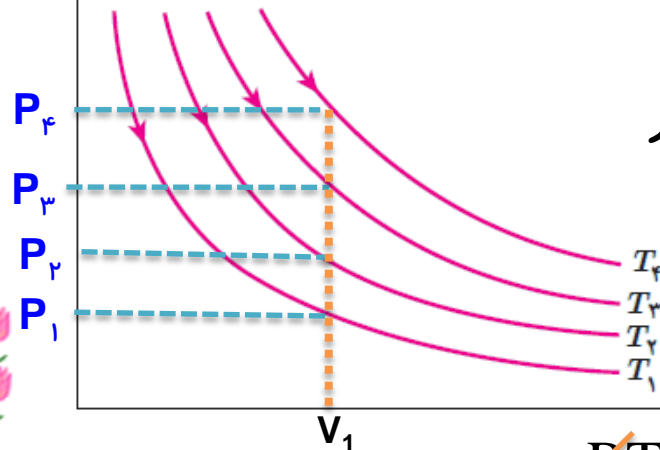




## تمرین ۵-۵:

در شکل روبه رو، نمودار  $P-V$  مربوط به انبساط هم دمای یک گاز آرمانی در دماهای مختلف رسم شده است. الف) نشان دهید:  $T_4 > T_3 > T_2 > T_1$  (راهنمایی: خطی عمود بر محور  $V$  یا عمود بر محور  $P$  رسم کنید، به گونه ای که هر چهار نمودار را قطع کند و سپس قانون گازهای آرمانی را برای نقطه های برخورد با منحنی ها به کار ببندید) ب) در یک تغییر حجم معین، اندازه کار انجام شده در کدام فرایند بیشتر است؟

پاسخ:



الف) ابتدا یک فرآیند هم حجم رسم می کنیم سپس از مقایسه ی فشار هر نمودار، دمای هر نمودار را مقایسه می کنیم

$$PV = nRT \rightarrow P = \frac{nRT}{V}$$

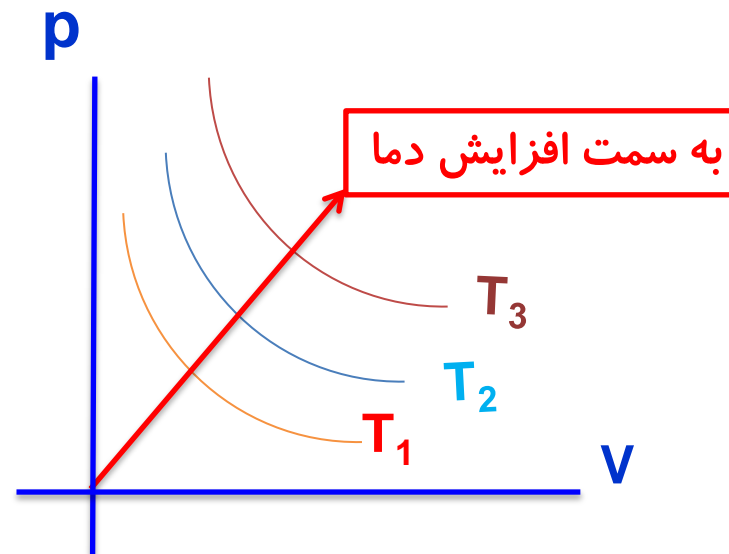
$$P_4 > P_3 > P_2 > P_1 \rightarrow \left. \begin{array}{l} \frac{nRT_4}{V_4} > \frac{nRT_3}{V_3} > \frac{nRT_2}{V_2} > \frac{nRT_1}{V_1} \\ V_4 = V_3 = V_2 = V_1 \end{array} \right\} T_4 > T_3 > T_2 > T_1$$

ب) قدر مطلق کار برابر مساحت زیر نمودار  $P-V$  است. چون مساحت زیر منحنی  $T_1$  از همه کمتر و مساحت زیر منحنی  $T_4$  از همه بیشتر است، بنابراین داریم:

$$|W_4| > |W_3| > |W_2| > |W_1|$$

نکته:

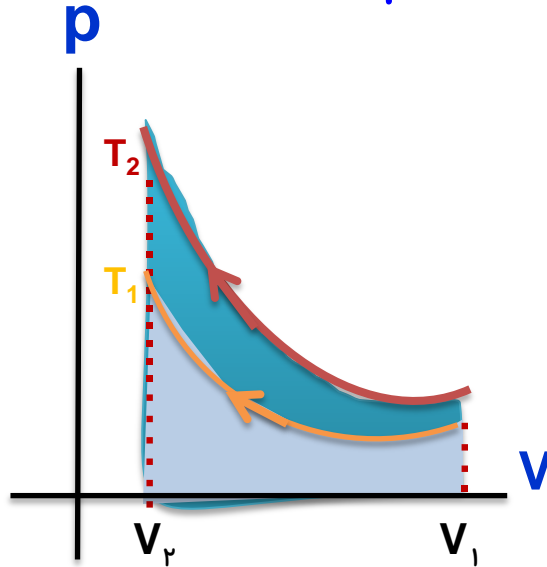
به طور کلی نمودارهای فرآیند هم دم به صورت زیر است.



$$T_3 > T_2 > T_1$$

پرسش:

نشان دهید در فرآیند هم دم، هرچه دمای گاز بیش تر باشد، برای مترکم کردن آن تا یک اندازه ی معین باید کار بیشتری انجام داد.



پاسخ

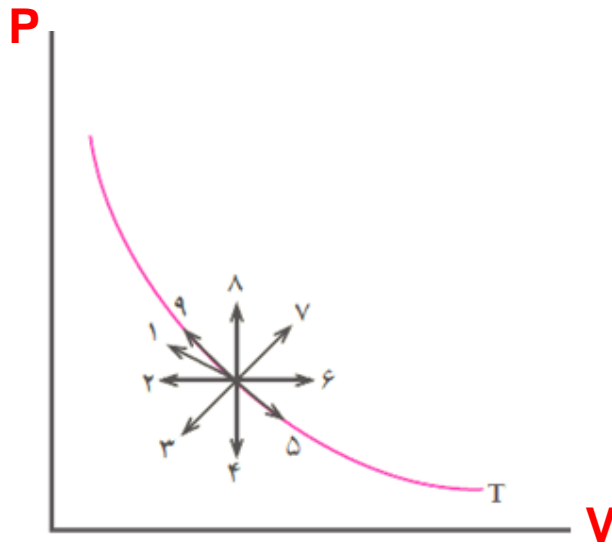
سطح زیر نمودار  $P-V$  معرف قدرمطلق کار انجام شده است و با توجه به نمودارهای هم دم، دیدیم هرچه دما بالاتر باشد، نمودار هم بالاتر قرار می گیرد و سطح زیر آن بیشتر است.

پرسش:

شکل زیر حالت اولیه ی گازی کامل و منحنی هم دمای عبوری از آن حالت را نشان می دهد.

الف) کدام یک از مسیرهای نشان داده شده به کاهش دمای گازی انجامد؟

ب) در کدام مسیرها تغییر دما صفر است؟



پاسخ

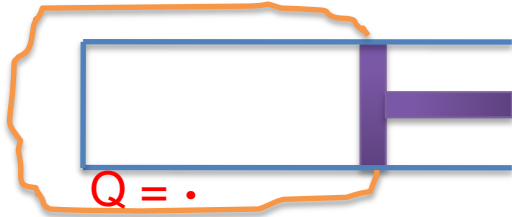
الف) مسیرهای ۱، ۲، ۳ و ۴

ب) ۵ و ۹

## فرآیند بی دررو

در این فرآیند دین دستگاه و محیط گرما مبادله نمی شود

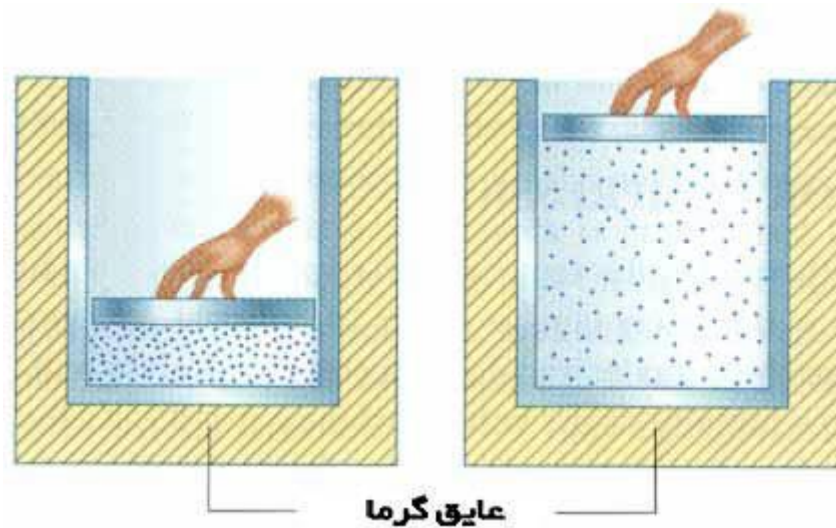
برای انجام فرآیند بی دررو



عایق بندی

۱- باید دستگاه را عایق بندی کنیم و عمل تراکم یا انبساط را به آهستگی انجام دهیم.

۲- گاز چنان با سرعت مترکم یا منبسط شود که فرصت مبادله گرما با محیط را پیدا نکند. بنابراین در فرآیند بی دررو  $Q = 0$  است



برگشت

عایق گرما

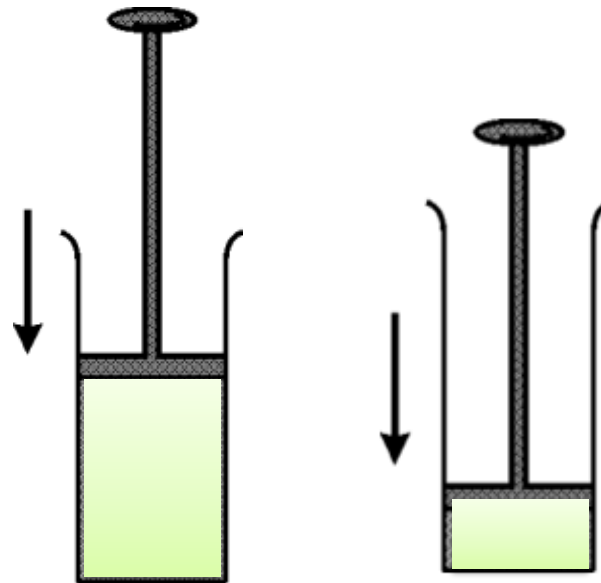
خروج

پرسش:

یک فرآیند بی دررو را نام ببرید؟

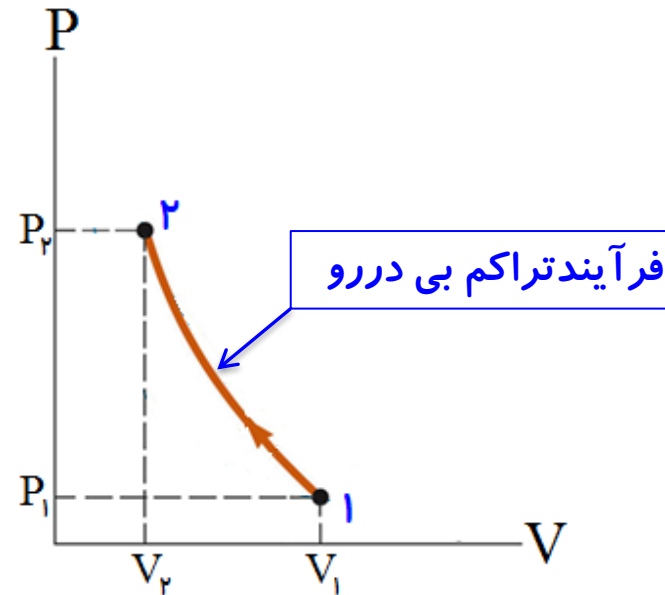
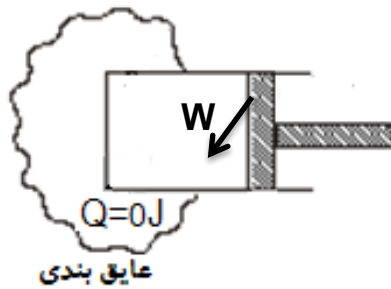
پاسخ

دهانه‌ی تلمبه‌ی دوچرخه مسدود شده است و پیستون به سرعت به پایین رانده می‌شود.



نکته:

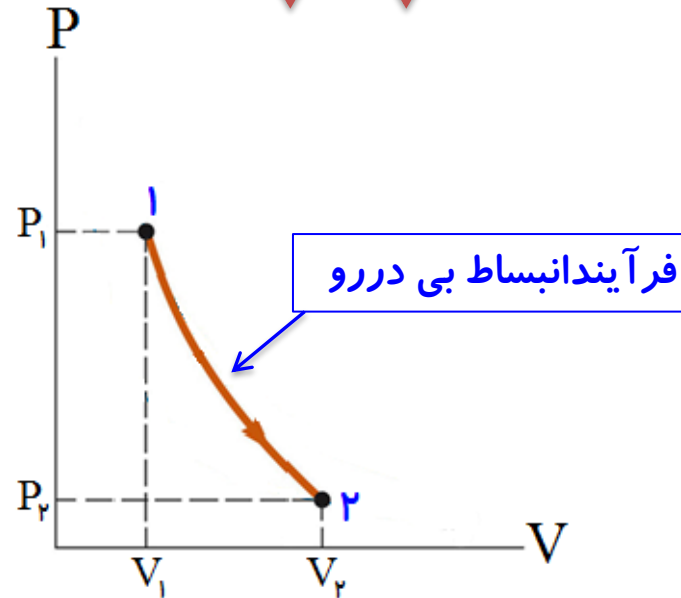
در فرآیند تراکم بی دررو که با انجام کار  $W$  بر روی گاز، **حجم**  $v$  آن کاهش پیدا کرده **فشار و دما** افزایش  $p$   $T$  می یابند.



$$\Delta U = \cancel{Q} + W \Rightarrow W > 0 \Rightarrow \Delta U > 0 \Rightarrow \Delta T > 0$$

نکته:

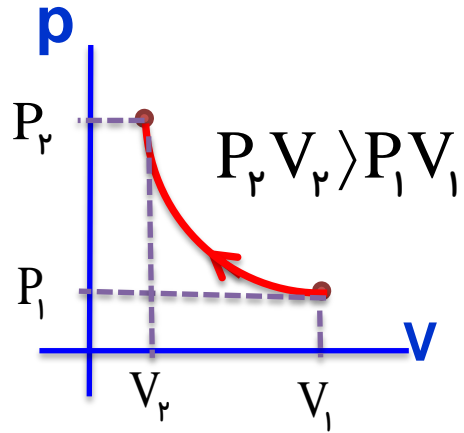
در فرآیند انبساط بی دررو که با انجام کار  $W$  بر روی گاز، **حجم آن افزایش  $v$  پیدا کرده فشار و دما کاهش  $p$  و  $T$  می یابند.**



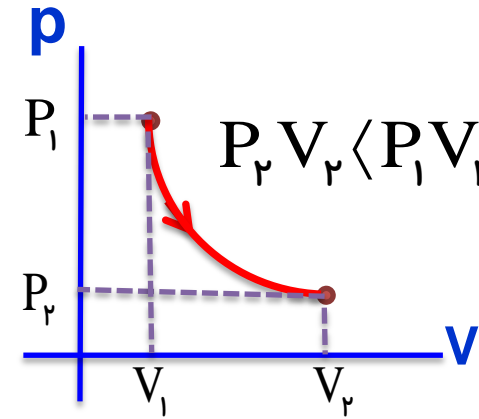
$$\Delta U = \cancel{Q} + W \Rightarrow W < \cdot \Rightarrow \Delta U < \cdot \Rightarrow \Delta T < \cdot$$



# نمودار فرآیند بی دررو



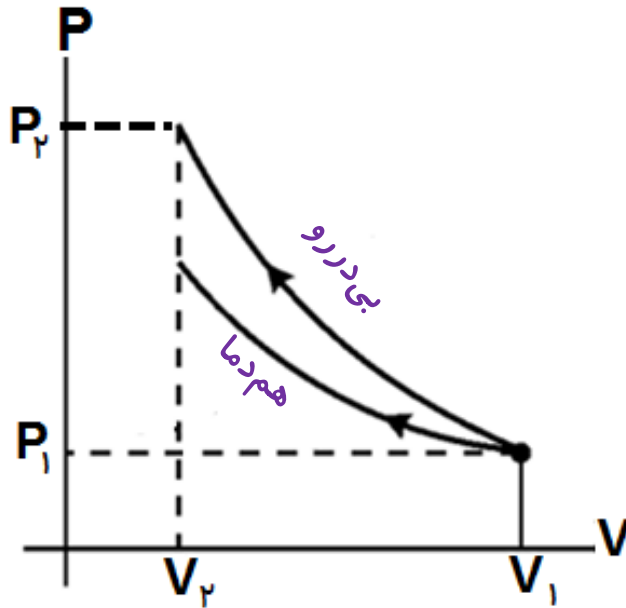
تراکم بی دررو



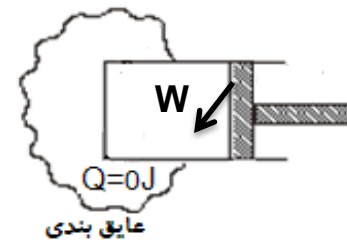
انبساط بی دررو

## مقایسه تراکم بی دررو و هم دما

در تراکم گاز، فشار و دمای گاز افزایش می یابد. در فرآیند هم دما، برای ثابت نگه داشتن دمای گاز باید از آن گرما گرفت ولی در فرآیند بی دررو، از گاز گرما گرفته نمی شود و از این رو در انتهای مسیر، فشار و دمای گاز در فرآیند بی دررو بیش از فرآیند هم دما است.

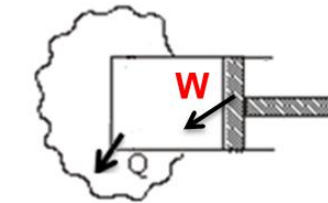


$\uparrow p$   $\downarrow v$



تراکم هم دما

$\uparrow T$   $\uparrow p$   $\downarrow v$



تراکم بی دررو

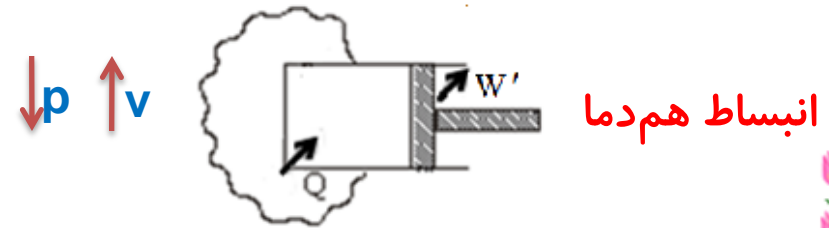
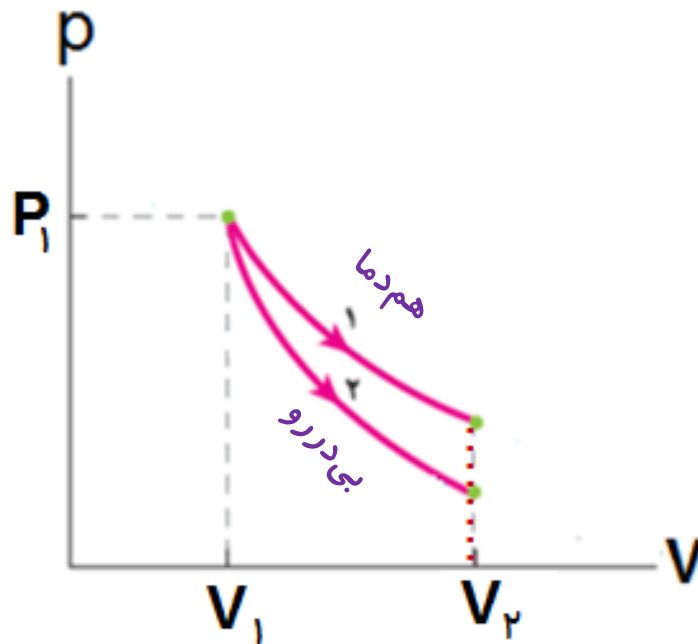
منبع گرما با دمای ثابت

نکته:

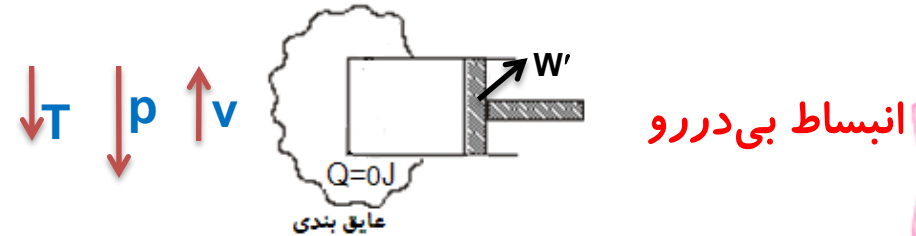
شیب نمودار در فرآیند بی دررو بیشتر از شیب نمودار هم دما است.  $\Delta P_{\text{بی دررو}} > \Delta P_{\text{هم دما}}$

## مقایسه انبساط بی‌دررو و هم‌دما

در انبساط گازها، فشار و دمای گاز کاهش می‌یابد. در فرآیندهم‌دما برای ثابت نگه داشتن دما باید به گاز، گرما دهیم. ولی چون در انبساط بی‌دررو، گاز هیچ‌گونه گرمایی دریافت نمی‌کند، در انتهای مسیر، فشار و دمای گاز در فرآیند بی‌دررو پایین‌تر از فشار و دمای گاز در فرآیندهم‌دما خواهد بود.



منبع گرما با دمای ثابت



عایق بندی

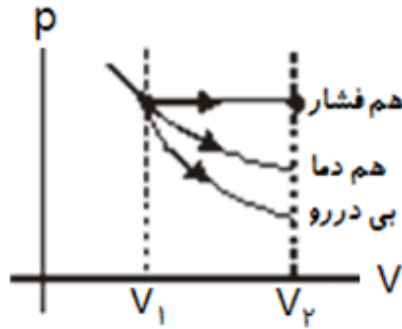
نکته:

$$|\Delta P|_{\text{هم دما}} > |\Delta P|_{\text{بی دررو}}$$

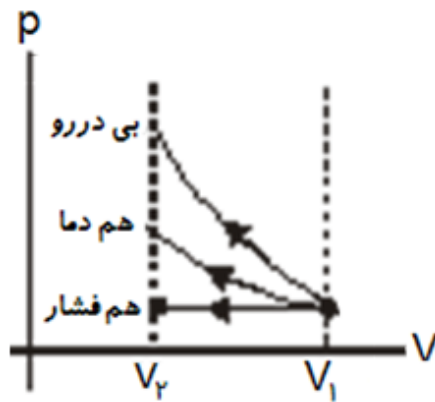
خروج

برگشت

## مقایسه کار انجام شده روی دستگاه در سه فرآیند هم فشار، هم دما و بی دررو



در انبساط یکسان قدر مطلق کار انجام شده روی دستگاه در فرآیند هم فشار از بقیه فرآیندها بیشتر و قدر مطلق تغییرات فشار و دما در فرآیند بی دررو از بقیه بیشتر است.



در تراکم یکسان، مقدار کار انجام شده روی دستگاه، در فرآیند بی دررو از بقیه فرآیندها بیشتر و فشار و دما نهایی گاز نیز در فرآیند بی دررو از بقیه فرآیندها بیشتر است.

فعالیت ۳-۵:

وقتی یک نوشابه خیلی سرد را از یخچال بیرون می آوریم و در آن را بلافاصله باز می کنیم، مشاهده می شود که مه رقیقی در اطراف دهانه نوشابه ایجاد می شود. این پدیده را توجیه کنید.



پاسخ:

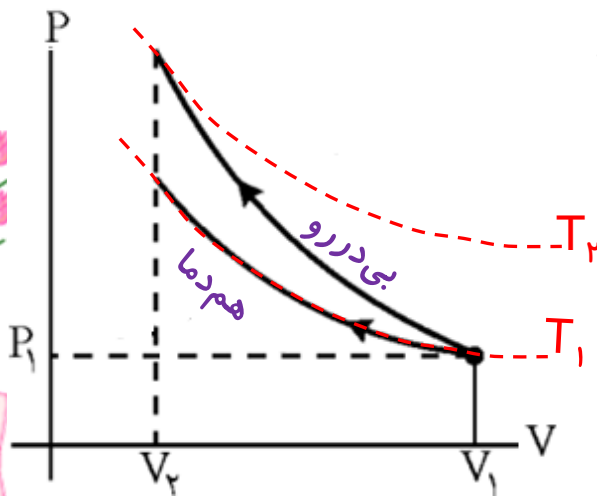
وقتی در نوشابه باز می شود، گاز محبوس **چنان سریع منبسط** می شود که فرایند را می توان تقریباً **انبساط بی دررو** در نظر گرفت. بنابراین، تنها راه انتقال انرژی ممکن برای انبساط گاز، ناشی از تغییر انرژی درونی خود گاز است. بنابراین، با کاهش انرژی درونی گاز و سردتر شدن آن، بخار آب موجود در گاز در حال انبساط به صورت قطرات آب (هاله رقیقی) در آید. (در صورتی که دمای مایع نزدیک نقطه انجماد باشد فشار زیاد داخل نوشابه بعد از باز شدن در نوشابه ناگهان تافشار جو کاهش می یابد و این به بالا رفتن نقطه انجماد مایع می انجامد. مایع که دمای آن اکنون زیر نقطه انجماد جدید قرار دارد، شروع به یخ زدن می کند.)

$$\Delta U = \cancel{Q} + W \rightarrow W < 0 \rightarrow \Delta U < 0 \rightarrow \Delta T < 0$$

تمرین ۵-۶:

گاز طی دو فرایند هم دما و بی دررو که از حجم و فشار یکسانی شروع می شوند، به حجم یکسانی **تراکم** یابد، نمودارهای این دو فرایند را در یک صفحه  $P-V$  رسم و با هم مقایسه کنید. در کدام فرایند مقدار کار بیشتر است؟

پاسخ:



ابتدا دو منحنی هم دما  $T_1$  و  $T_2$  را رسم می کنیم. در تراکم هم دما، دما تغییر نمی کند بنابراین دمای گاز در مسیر  $(T_1)$  ثابت باقی می ماند. ولی در تراکم بی دررو، چون دمای گاز افزایش می یابد گاز از مسیر  $(T_1)$  خارج و به دمایی بالاتر در مسیر  $(T_2)$  می رود

چون سطح زیر نمودار مربوط به **تراکم بی دررو** بیشتر است،  $W$  برای این فرایند مقدار بیشتری دارد

پرسش ۲-۵:

سرنگ آتش زنه استوانه کوچکی است مجهز به پیستونی که کاملاً بر سطح داخلی استوانه منطبق است. در فضای محبوس داخل سرنگ، فقط هوا و تکه کاغذ کوچکی قرار دارد. با راندن سریع پیستون به داخل، و تراکم بی درروی هوای محبوس، تکه کاغذ مشتعل می شود. معمولاً از کاغذ نیتروسولوز در این آزمایش استفاده می شود که نقطه اشتعال بسیار پایینی دارد. چرا کاغذ در این فرایند آتش می گیرد؟

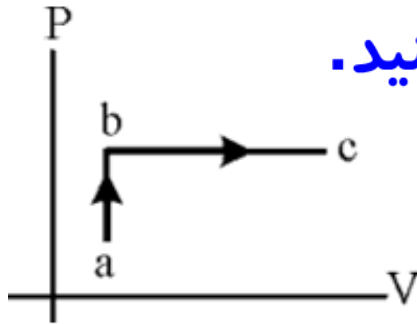


پاسخ:

می دانیم **در تراکمی بی دررو دمای هوا افزایش** می یابد بنابراین اگر تراکم سرنگ سریع و مقدار آن زیاد باشد دمای هوای داخل سرنگ به حدی افزایش می یابد که باعث اشتعال کاغذ درون سرنگ می شود. (چون نقطه اشتعال کاغذ نیتروسولوز بسیار پایین است، با اندک افزایش دمایی مشتعل می شود)

تمرین:

نمودار P-V برای مقدار معینی از یک گاز کامل به صورت شکل مقابل است. نمودارهای V-T و P-T را برای مسیرهای ab و bc رسم کنید.



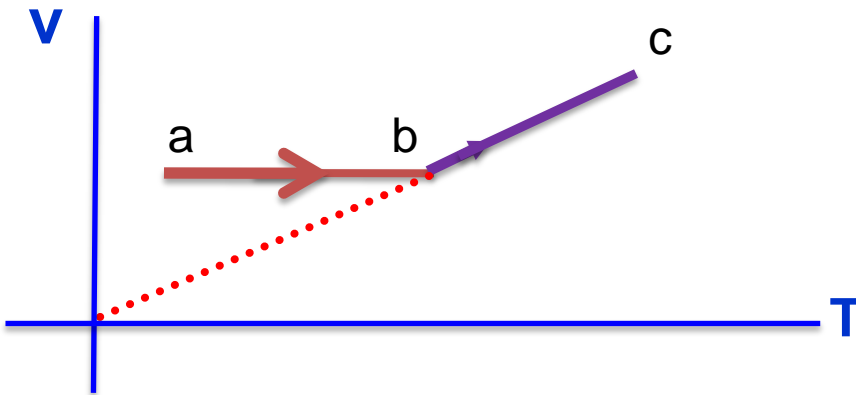
پاسخ

نمودار: V-T

در فرآیند ab حجم ثابت بوده و فشار افزایش یافته است. از این جا معلوم می شود که دمای گاز افزایش یافته است

در فرآیند bc، گاز با فشار ثابت افزایش حجم داشته است. با توجه به رابطه  $PV=nRT$  و  $V = \left(\frac{nR}{P}\right)T$  ،

امتداد نمودار bc باید از مبدأ مختصات بگذرد.



برگشت

خروج

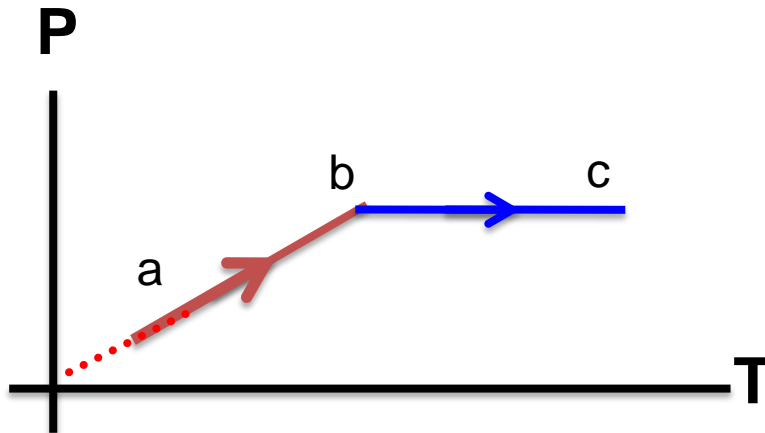


## نمودار P-T:

در فرآیند ab، V ثابت است و داریم:

$$PV = nRT \Rightarrow P = \left(\frac{nR}{V}\right)T \Rightarrow P \propto T$$

چون فشار افزایش یافته بنابراین دما نیز افزایش یافته است. در فرآیند bc فشار ثابت مانده است و حجم افزایش یافته است، بنابراین دمای گاز نیز افزایش یافته است.



نکته:

تغییر انرژی درونی دستگاه به ... نوع فرآیندها ... بستگی ندارد.

تغییر انرژی درونی دستگاه ( $\Delta U$ ) با جرم ثابت فقط بستگی به تغییر دمای مطلق ( $\Delta T$ ) دستگاه دارد

$$\Delta U \propto \Delta T$$

$$\Delta U = \frac{3}{2} nR\Delta T = \frac{3}{2} (P_2 V_2 - P_1 V_1)$$

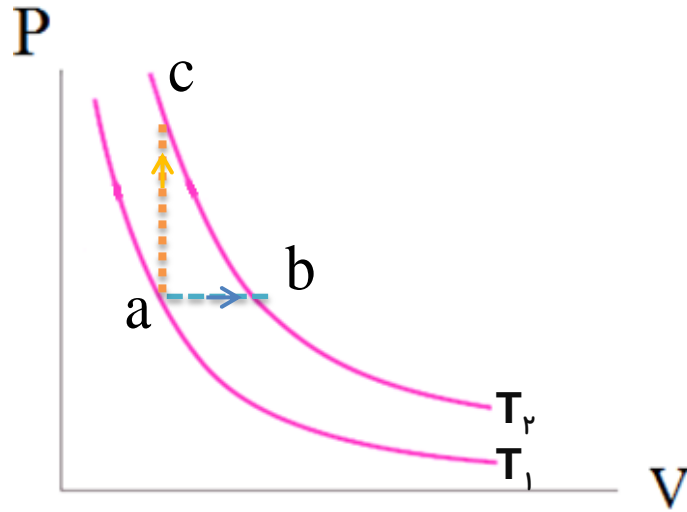
برای گاز تک اتمی

$$\Delta U = \frac{5}{2} nR\Delta T = \frac{5}{2} (P_2 V_2 - P_1 V_1)$$

برای گاز دو اتمی

تمرین:

با استفاده از فرایندهای هم حجم و هم فشار نشان دهید  $C_p - C_v = R$



پاسخ

$$\Delta T_{ab} = \Delta T_{ac} \Rightarrow \Delta U_{ab} = \Delta U_{ac} \Rightarrow Q_{ab} + W_{ab} = Q_{ac} + W_{ac} \Rightarrow nC_p \Delta T - P \Delta V = nC_v \Delta T$$

$$P \Delta V = nR \Delta T$$

$$\cancel{nC_p \Delta T} - \cancel{nR \Delta T} = \cancel{nC_v \Delta T} \Rightarrow C_p - R = C_v \Rightarrow C_p - C_v = R$$

تمرین:

مقدار معینی از یک گاز کامل در یک فرآیند بی‌دررو  $100$  ژول کار انجام می‌دهد  
تغییر انرژی درونی گاز چند ژول است؟

پاسخ

$$Q = 100 \text{ J}$$

$$\Delta U = -100 \text{ J}$$

$$W' = 100 \text{ J} \rightarrow W = -100 \text{ J}$$

$$\Delta U = ? \quad \Delta U = Q + W \rightarrow \Delta U = 100 - 100 = 0 \text{ J}$$

تمرین:

در یک فرآیند هم‌دما، حجم مقدار معینی از یک گاز کامل از  $V_1$  به  $V_2$  می‌رسد. تغییر انرژی درونی گاز برابر با چه مقداری است؟

پاسخ

تغییرات انرژی درونی در یک دستگاه فقط تابع تغییر دمای مطلق دستگاه است. در این جا چون  $\Delta T = 0$ ، بنابراین  $\Delta U = 0$

# موضوع: چرخه ترمودینامیکی

برگشت

قبلی

بعدی

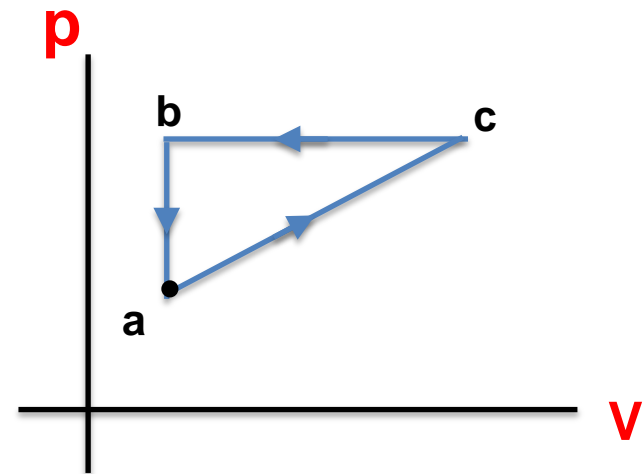
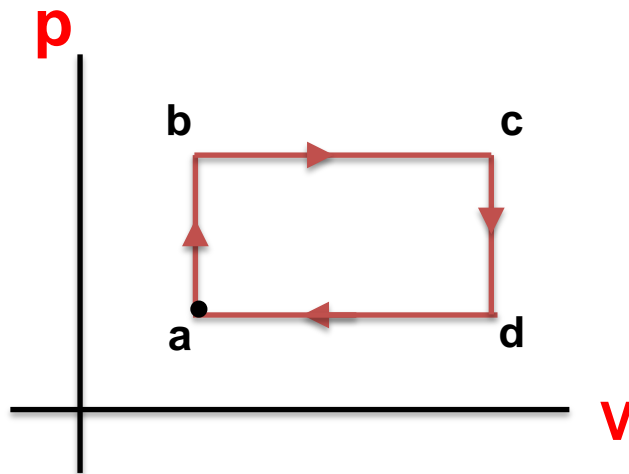
خروج

# چرخه ترمودینامیکی

مجموعه چند فرایند مختلف که دستگاه پس از طی کردن فرایندها به حالت اولیه خود باز می گردد.

مشخصه اصلی یک چرخه:

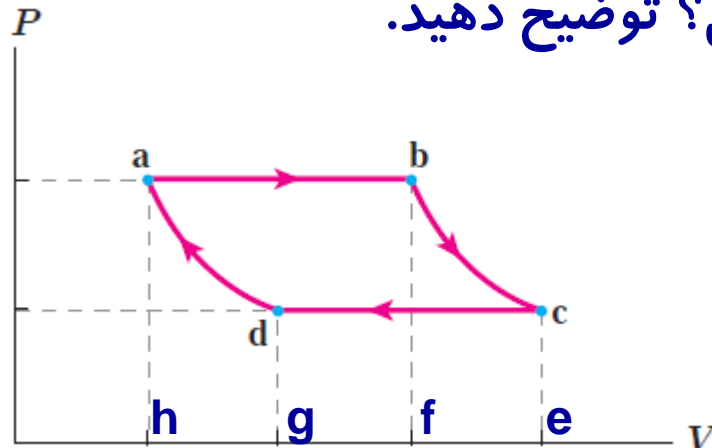
بی تغییر ماندن انرژی درونی کل در آن است.  $(\Delta T=0)$   $\Delta U = 0$  J



فعالیت ۴-۵:

شکل روبه روی یک چرخه ترمودینامیکی فرضی را نشان می دهد.  
 الف) کار انجام شده روی دستگاه در هر فرایند را بر حسب سطح زیر نمودار آن بیان کنید.  
 ب) نشان دهید مقدار کار کل انجام شده روی دستگاه برابر با مساحت داخل چرخه است.  
 پ) کار کل انجام شده روی دستگاه مثبت است یا منفی؟ توضیح دهید.

پاسخ:



$$|W_{ab}| = S_{abfh} \xrightarrow{\text{انبساط}} W_{ab} = -S_{abfh}$$

(الف)

$$|W_{bc}| = S_{bcef} \xrightarrow{\text{انبساط}} W_{bc} = -S_{bcef}$$

$$|W_{cd}| = S_{cdge} \xrightarrow{\text{تراکم}} W_{cd} = +S_{cdge}$$

$$|W_{da}| = S_{dahg} \xrightarrow{\text{تراکم}} W_{da} = +S_{dahg}$$

ب) کار انجام شده در چرخه برابر جمع جبری کارهای انجام شده در هر چهار فرایند است.

$$W_T = W_{ab} + W_{bc} + W_{cd} + W_{da} = -S_{abfh} - S_{bcef} + S_{cdge} + S_{dahg} = -S_{abceha} + S_{cdahec} = -S_{abcd} = -S_{\text{چرخه}}$$

پ) چون مساحت زیر نمودار در فرایند انبساط بزرگتر از مساحت نمودار در فرایند تراکم است بنابراین کار کل

انجام شده روی دستگاه در این چرخه، منفی است.  $W_T = -S_{\text{چرخه}}$



قدر مطلق کار انجام شده در چرخه:

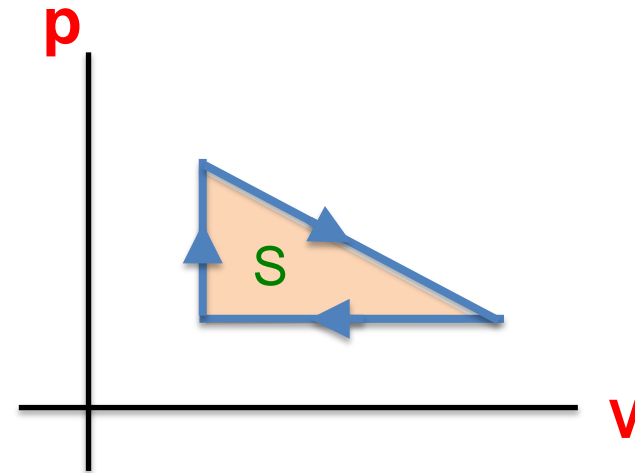
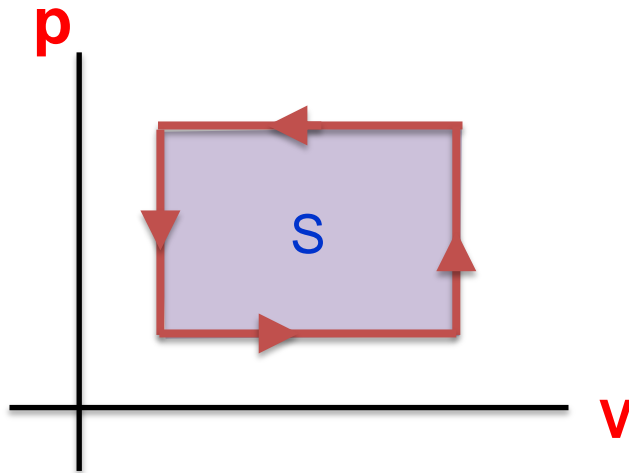
$$W = S$$

داخلی چرخه

برابر سطح محصور بین فرآیندهاست.

گرمای مبادله شده در چرخه:

$$\Delta U_{\text{(چرخه)}} = \bullet \longrightarrow Q_{\text{چرخه}} + W_{\text{چرخه}} = \bullet \longrightarrow Q_{\text{چرخه}} = -W_{\text{چرخه}}$$

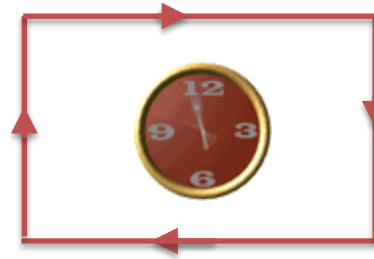


نکته:

اگر جهت چرخه ساعتگرد باشد، لذا کل کار انجام شده روی دستگاه در چرخه منفی و در کل چرخه، گاز گرما دریافت می کند یعنی:

$$Q_{\text{چرخه}} = -W_{\text{چرخه}}$$

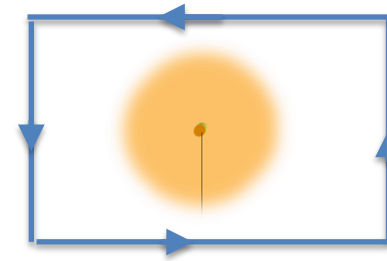
$W_{\text{چرخه}} < \bullet \xrightarrow{\text{چرخه}} Q_{\text{چرخه}} > \bullet$



اگر جهت چرخه پادساعتگرد باشد، کل کار انجام شده روی دستگاه در چرخه مثبت و در کل چرخه، گاز گرما از دست می دهد یعنی:

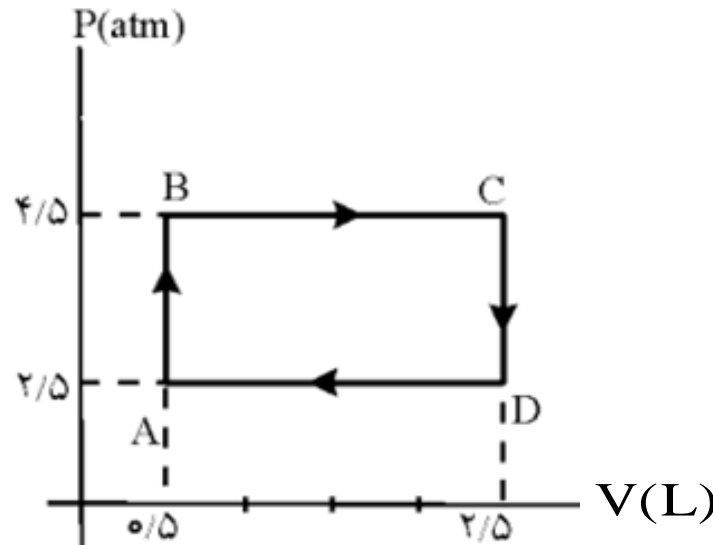
$$Q_{\text{چرخه}} = -W_{\text{چرخه}}$$

$W_{\text{چرخه}} > \bullet \xrightarrow{\text{چرخه}} Q_{\text{چرخه}} < \bullet$



تمرین:

در شکل زیر، یک مول گاز کامل تک اتمی چرخه‌ای را طی می‌کند. کار انجام شده بر روی دستگاه و گرمایی که گاز در کل چرخه مبادله می‌کند، چقدر است

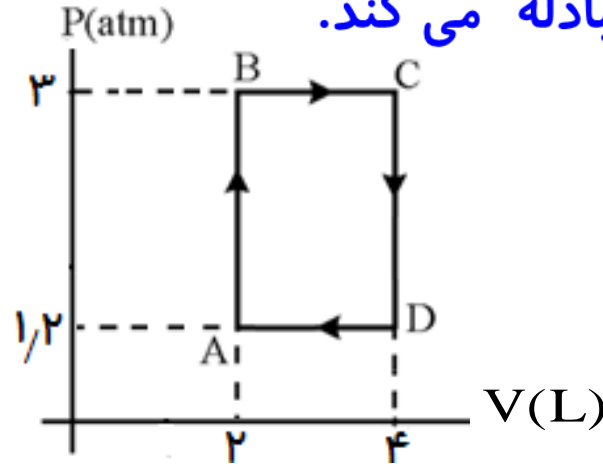


پاسخ

$$W_{\text{چرخه}} = -4 \times 10^2 \text{ J}$$

تمرین:

بر روی  $0.2$  مول از یک گاز کامل تک اتمی فرآیندهای هم حجم و هم فشار مطابق شکل زیر انجام می شود (مطلوبست: الف) کار انجام شده بر روی گاز در این چرخه (ب) گرمایی که گاز در چرخه مبادله می کند.



پاسخ

$$W_{\text{چرخه}} = -360 \text{ J}$$

$$Q_{\text{چرخه}} = +360 \text{ J}$$

تست:

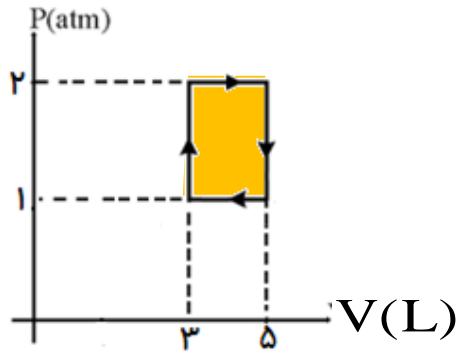
در فرآیند شکل مقابل کل کار انجام شده روی دستگاه چند ژول است؟

۴) -۴۰۰

۳) ۴۰۰

۲) -۲۰۰

۱) ۲۰۰



پاسخ

چون چرخه ساعتگرد است لذا کار بر روی دستگاه منفی است، و اندازه کار برابر سطح محصور بین فرآیندها، یعنی مساحت مستطیل است.

$$W = -S \rightarrow W = -(5 - 3) \times 10^{-3} \times (2 - 1) \times 10^5 = -2 \times 1 \times 10^2 = -200 \text{ J}$$

گزینه ۲ صحیح است.

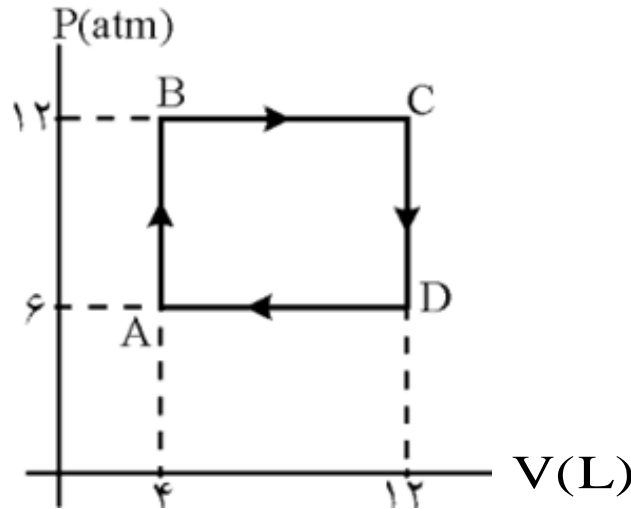
خروج

تمرین:

یک مول گاز کامل تک اتمی، چرخه‌ای را مطابق شکل زیر طی می‌کند، مطلوب است:

الف) دمای گاز در نقطه‌های A، B، C و D

ب) گرمای مبادله شده در مسیرهای AB و BC.



پاسخ

$$T_A = 300 \text{ K}$$

$$T_B = 600 \text{ K}$$

$$T_C = 1800 \text{ K}$$

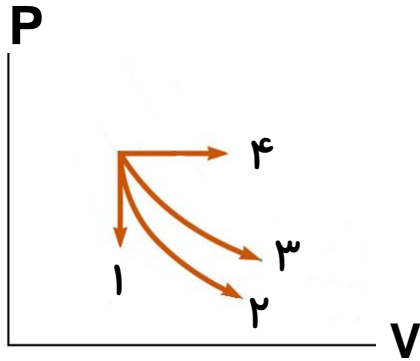
$$T_D = 900 \text{ K}$$

$$Q_{AB} = 3600 \text{ J}$$

$$Q_{BC} = 2400 \text{ J}$$

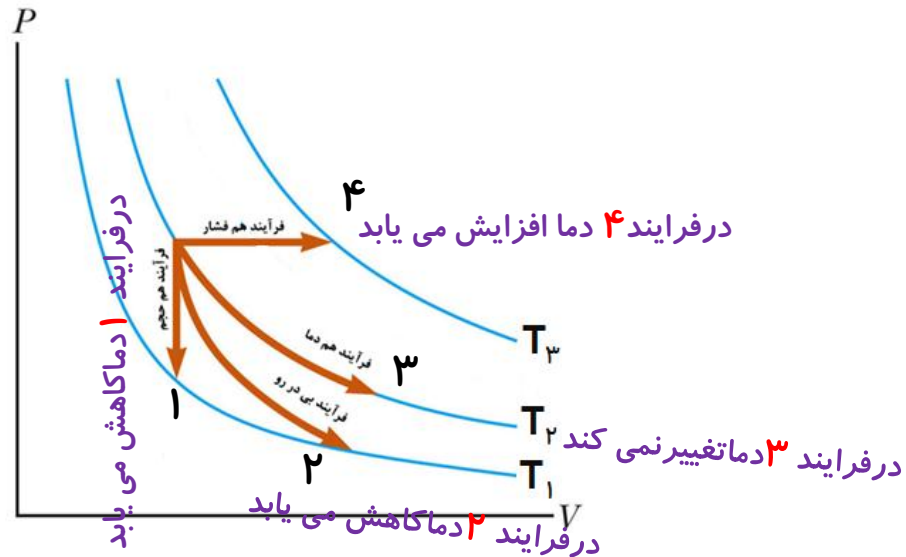
پرسش:

در چهار فرایند شکل زیر مشخص کنید. نوع فرایند و دمای کدام فرایند افزایش، کاهش یا ثابت می ماند.



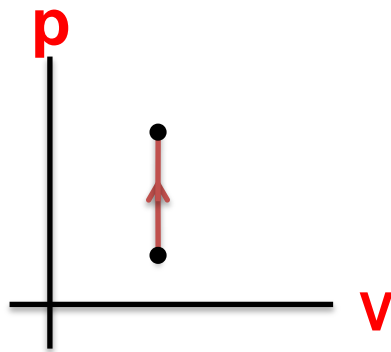
پاسخ

باتوجه به منحنی های هم دما می توان فرآیندهای مختلف ترمودینامیکی را با یکدیگر مقایسه نمود.

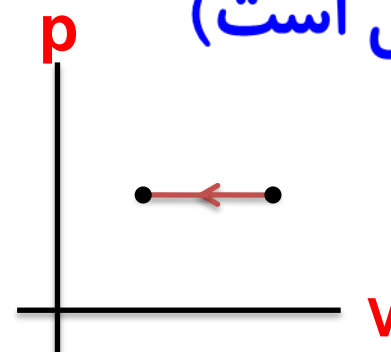


پرسش:

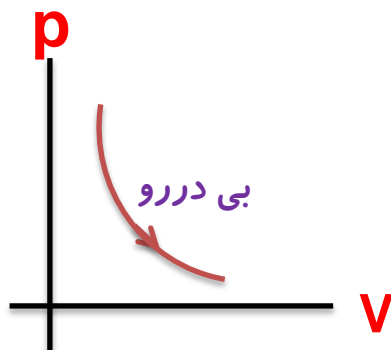
در فرآیندهای زیر، علامت  $\Delta T$ ،  $\Delta U$ ،  $Q$  و  $W$  را مشخص کنید  
(گاز تک اتمی است)



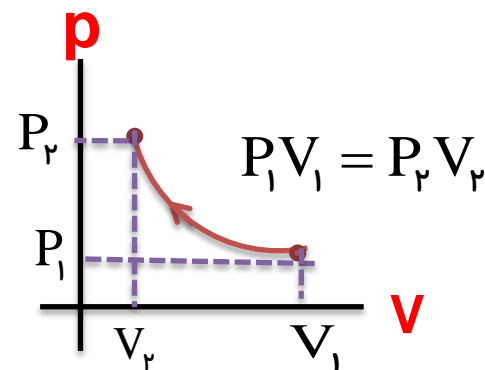
(ب)



(الف)



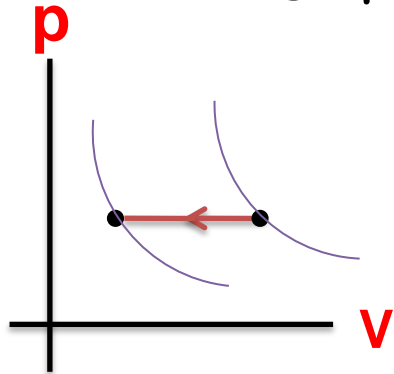
(د)



(ج)



با رسم منحنی های هم دما برای یک گاز تک اتمی معلوم می شود:



(الف)

(۱) دما رو به کاهش است لذا:  $\Delta T < 0$

(۲) چون دما کاهش یافته لذا:  $\Delta U < 0$

(۳) با توجه به رابطه  $Q_p = nC_p\Delta T$  لذا:  $Q < 0$

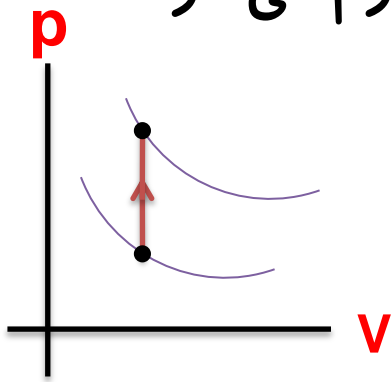
(۴) چون فرآیند تراکم است لذا:  $W > 0$

$$\Delta U = \frac{3}{2} nR\Delta T$$

$$Q_p = n \cdot C_p \cdot \Delta T$$

$$W = -P \cdot \Delta V$$

با رسم منحنی های هم دما برای یک گاز تک اتمی معلوم می شود:



(ب)

(۱) دما رو به افزایش است لذا:  $\Delta T > 0$

(۲) چون دما افزایش یافته لذا:  $\Delta U > 0$

(۳) با توجه به رابطه  $Q_V = nC_V\Delta T$  لذا:  $Q > 0$

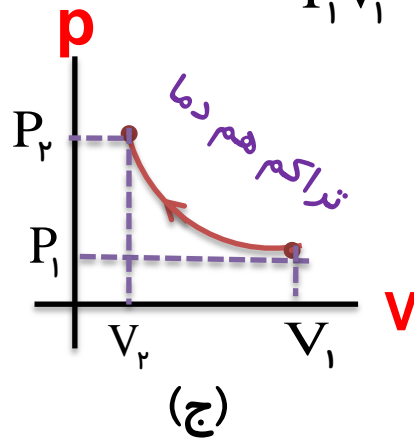
(۴) چون فرآیند هم حجم است لذا:  $W = 0$

$$\Delta U = \frac{3}{2} nR\Delta T$$

$$Q_V = n \cdot C_V \cdot \Delta T$$

$$W = -P \cdot \Delta V$$

منحنی رسم شده بر منحنی هم دما منطبق است:  $P_1 V_1 = P_2 V_2$



(۱) دما ثابت است لذا:  $\Delta T = 0$

(۲) چون دما ثابت است لذا:  $\Delta U = 0$

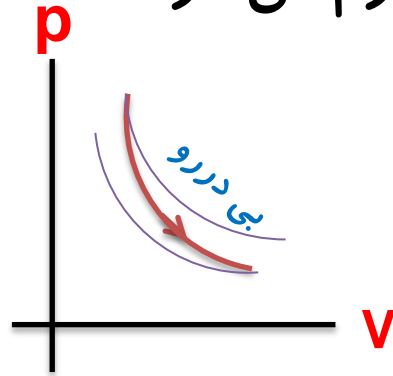
(۳) چون فرآیند تراکم است لذا:  $W > 0$

(۴) در فرآیند هم دما  $Q = -W$  لذا  $Q < 0$

$$\Delta U = \frac{3}{2} nR\Delta T$$

$$Q = -W$$

با رسم منحنی های هم دما برای یک گاز تک اتمی معلوم می شود:



(د)

(۱) چون دما رو به کاهش است لذا:  $\Delta T < 0$

(۲) چون دما کاهش یافته لذا:  $\Delta U < 0$

(۳) چون فرآیند انبساط است لذا:  $W < 0$

(۴) چون فرآیند بی دررو است لذا  $Q = 0$

$$\Delta U = \frac{3}{2} nR\Delta T$$

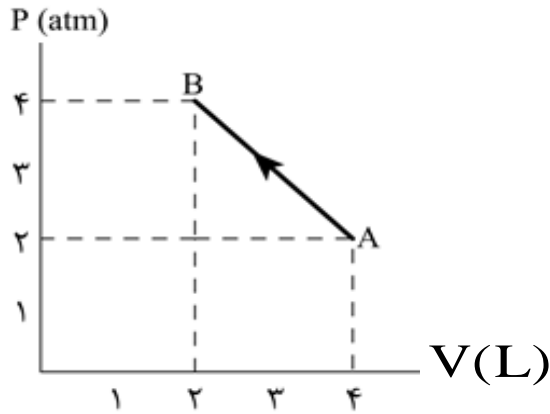
$$Q = 0$$

$$W = -P \cdot \Delta V$$

$$\Delta U = W$$

**تست:**

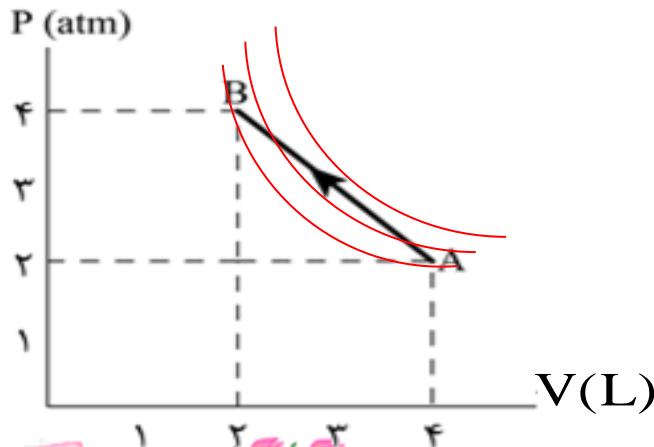
گاز کاملی طی یک فرآیند از حالت A به B می‌رود. در این فرآیند دمای گاز چگونه تغییر کرده است؟



- ۱) ابتدا کاهش و سپس افزایش می‌یابد.
- ۲) دائماً کاهش می‌یابد.
- ۳) ابتدا افزایش و سپس کاهش می‌یابد.
- ۴) دائماً افزایش می‌یابد.

پاسخ

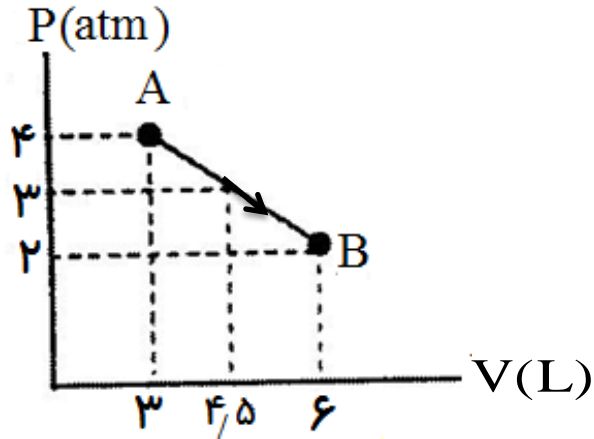
نمودار داده شده را به صورت زیر رسم کرده و منحنی‌های تک دمای آن را نشان می‌دهیم ملاحظه می‌گردد که ابتدا از A به سمت منحنی‌های تک دمای بالاتر و سپس به سمت منحنی‌های تک دمای پایین تر می‌رویم.



گزینه ۳ صحیح است.

تست:

شکل زیر نمودار  $P-V$  مربوط به یک مول گاز تک اتمی می باشد تغییرات دمای گاز در فرآیند  $AB$  از نقطه  $A$  تا نقطه  $B$  چگونه است؟



- (۱) همواره کاهش می یابد .
- (۲) ثابت می ماند.
- (۳) ابتدا افزایش و سپس کاهش می یابد.
- (۴) ابتدا کاهش و سپس افزایش می یابد.

پاسخ

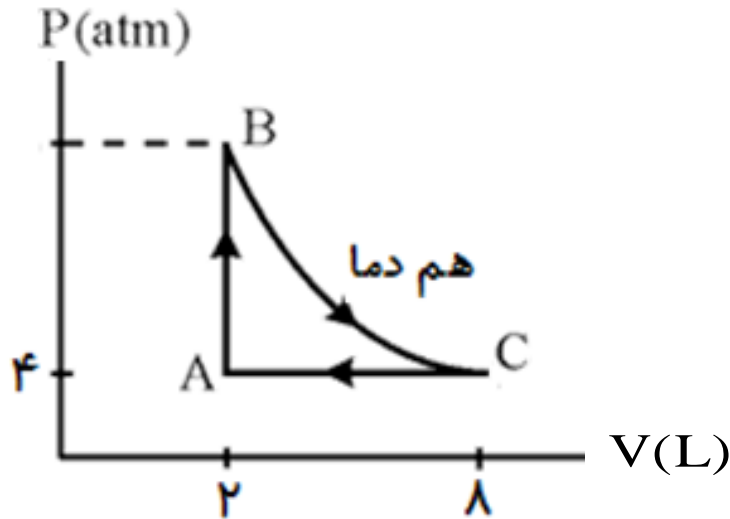
گزینه ۳ صحیح است.

## خلاصه ای از قانون اول ترمودینامیک برای چهار حالت زیر:

فرآیند هم حجم	$W = 0$	$\Delta U = Q$
فرآیند بی دررو	$Q = 0$	$\Delta U = W$
فرآیند هم دما	$\Delta U = 0$	$Q = -W$
چرخه	$\Delta U = 0$	$Q = -W$

تمرین:

یک مول گاز کاملی که تک اتمی است چرخه‌ای مطابق شکل زیر را طی می‌کند. دمای گاز در ابتدای تحول هم دما (B) چند درجه کلوین است؟ ( $R \approx 8 \text{ J/mol K}$ )



پاسخ

$$T_B = 400 \text{ K}$$

$$P_c V_c = nRT_c \Rightarrow T_c = \frac{P_c V_c}{nR} \Rightarrow T_c = \frac{4 \times 1.0^5 \times 8 \times 1.0^{-3}}{1 \times 8} = 400 \text{ K}$$

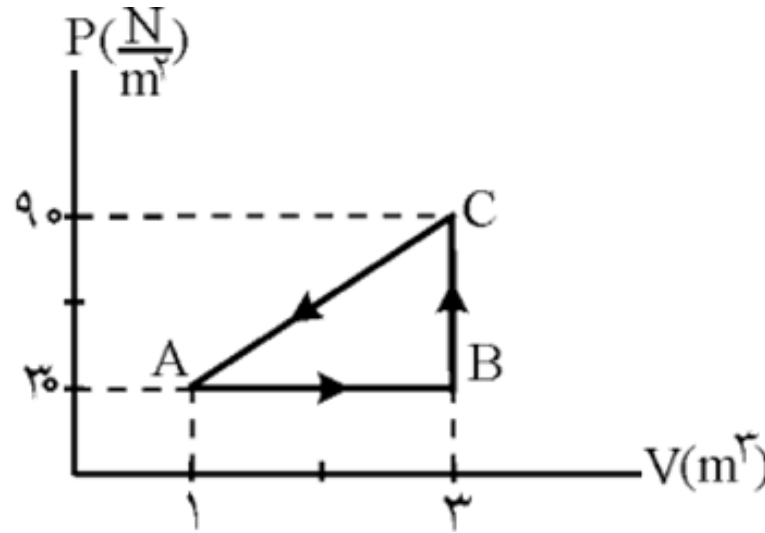
}  $T_B = 400 \text{ K}$

**روی منحنی هم دما قرار دارند.  $T_B = T_C$**



تمرین:

مطابق شکل روبه‌رو، مقدار معینی از یک گاز، چرخه‌ی ABCA را می‌پیماید. کار انجام شده بر روی گاز در این چرخه برابر با چه مقداری است؟ در این چرخه دستگاہ گرما می‌گیرد یا گرما ازدست می‌دهد؟ مقدار این گرمای گرفته شده یا ازدست داده شده چند ژول است؟



پاسخ

$$W = + 60 \text{ J}$$

$$Q = - 60 \text{ J}$$

تست:

در یک فرآیند ترمودینامیکی دستگاه ۲۰۰ J کار انجام داده و ۶۰۰ J گرما جذب می کند. اگر انرژی درونی دستگاه در ابتدا ۸۰۰ J باشد، در پایان فرآیند انرژی درونی آن چند ژول است؟

پاسخ

گزینه ۴ صحیح است.

$$W' = 200 \text{ J} \quad \rightarrow \quad W = -200 \text{ J}$$

$$Q = 600 \text{ J}$$

$$\Delta U = Q + W \quad \rightarrow \quad \Delta U = -200 + 600 = 400 \text{ J}$$

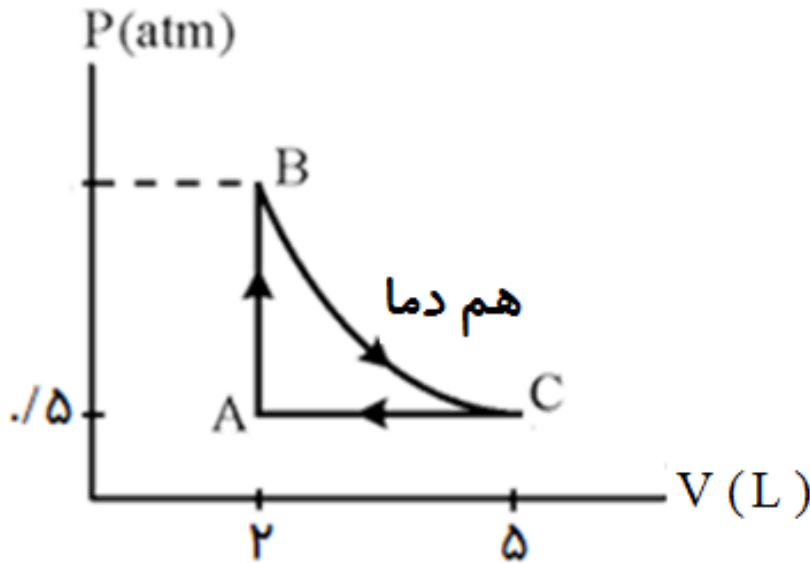
$$U_1 = 800 \text{ J}$$

$$U_2 - U_1 = 400 \text{ J} \quad \rightarrow \quad U_2 - 800 = 400 \text{ J} \quad \rightarrow \quad U_2 = 1200 \text{ J}$$

$$U_2 = ?$$

تست:

مطابق نمودار مقابل، گاز کاملی یک چرخه را طی کرده است. اگر تغییر انرژی درونی دستگاه در فرآیند AB، ۲۰۰ ژول باشد، گرمای مبادله شده در فرآیند CA کدام است؟



(۱) ۳۵۰ J گرما از دست داده است.

(۲) ۳۵۰ J گرما دریافت می‌کند.

(۳) ۵۰ J گرما از دست می‌دهد.

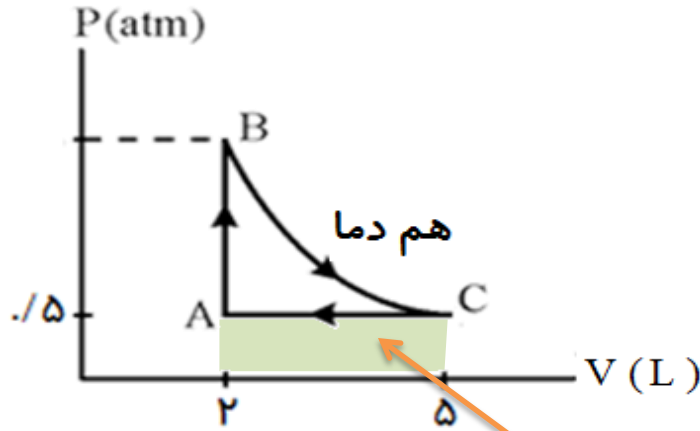
(۴) ۵۰ J گرما دریافت می‌کند.

پاسخ

گزینه ۱ صحیح است.

پاسخ

گزینه ۱ صحیح است.



$$W_{CA} = S_{CA} = 0.5 \times 3 \times 100 = 150 \text{ J}$$

$$\Delta U = 0 \quad \rightarrow \quad \Delta U_{AB} + \Delta U_{BC} + \Delta U_{CA} = 0$$

$$\Delta U_{BC} = 0 \quad \rightarrow \quad 200 + 0 + Q_{CA} + W_{CA} = 0$$

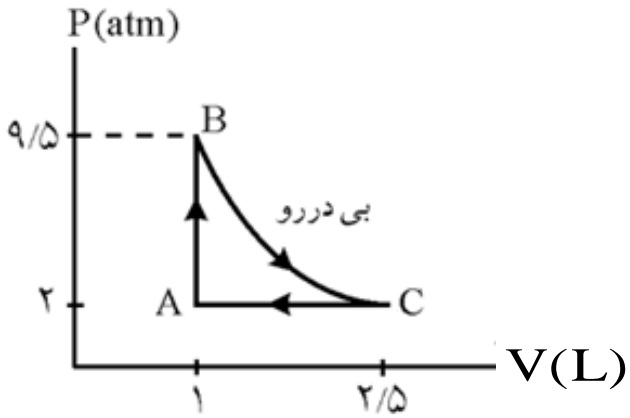
$$200 + Q_{CA} + 150 = 0$$

$$Q_{CA} = -350 \text{ J}$$

$$\Delta U_{AB} = 200 \text{ J}$$

تست:

یک گاز کامل چرخه مقابل را طی می کند. اگر این گاز در هر چرخه ۳۵۰ ژول گرما دریافت کند، در این حالت کار انجام شده در فرآیند بی دررو کدام است؟



(۱)  $+650 \text{ J}$

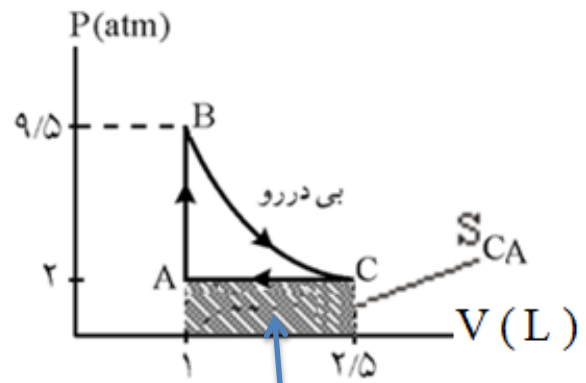
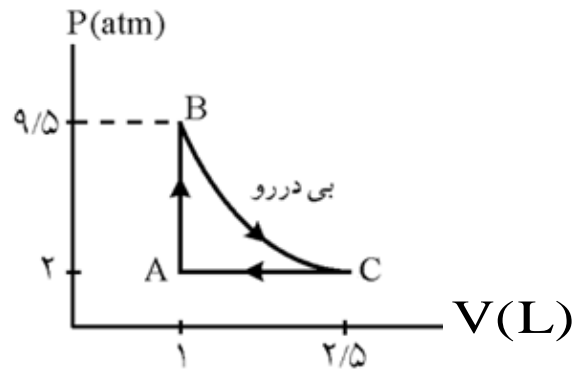
(۲)  $+50 \text{ J}$

(۳)  $-650 \text{ J}$

(۴)  $-50 \text{ J}$

پاسخ

پاسخ



گزینه ۳ صحیح است.

$$\Delta U_{\text{چرخه}} = 0$$

$$Q_{\text{چرخه}} = 350 \text{ J}$$

$$W_{BC} = ?$$

$$Q_{\text{چرخه}} + W_{\text{چرخه}} = 0$$

$$350 + (W_{AB} + W_{BC} + W_{CA}) = 0$$

$$350 + 0 + W_{BC} + S_{CA} = 0$$

$$350 + W_{BC} + 2 \times 1/5 \times 1 \cdot 2 = 0$$

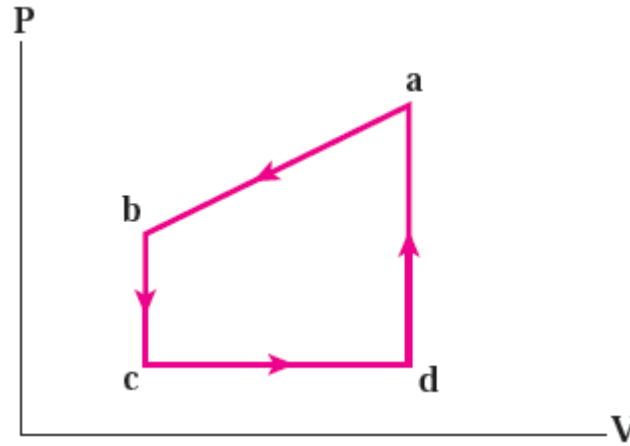
$$W_{BC} = -650 \text{ J}$$

تمرین:

شکل روبه رو چرخه‌گازی را نشان می‌دهد. تغییر انرژی درونی گاز وقتی در مسیر  $abc$  از  $a$  به  $c$  می‌رود برابر  $200\text{ J}$  - است. وقتی گاز از  $c$  به  $d$  می‌رود  $180\text{ J}$ ، و وقتی از  $d$  به  $a$  برود،  $80\text{ J}$  گرما می‌گیرد. وقتی گاز از  $c$  به  $d$  برود، چقدر کار انجام می‌دهد؟

پاسخ

$$W_{cd} = -6\text{ J}$$



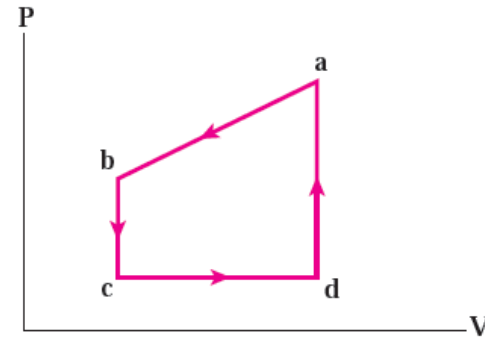
$$\Delta U_{abc} = -200\text{ J}$$

$$Q_{cd} = 180\text{ J}$$

$$Q_{da} = 80\text{ J}$$

$$W_{cd} = ?$$

پاسخ



$$\left\{ \begin{array}{l} \Delta U_{abc} = -200 \text{ J} \\ Q_{cd} = 180 \text{ J} \\ Q_{da} = 80 \text{ J} \\ W_{cd} = ? \end{array} \right.$$

$$\Delta U = 0 \xrightarrow{\text{چرخه}} \Delta U_{abc} + \Delta U_{cd} + \Delta U_{da} = 0$$

$$-200 + (W_{cd} + Q_{cd}) + (W_{da} + Q_{da}) = 0$$

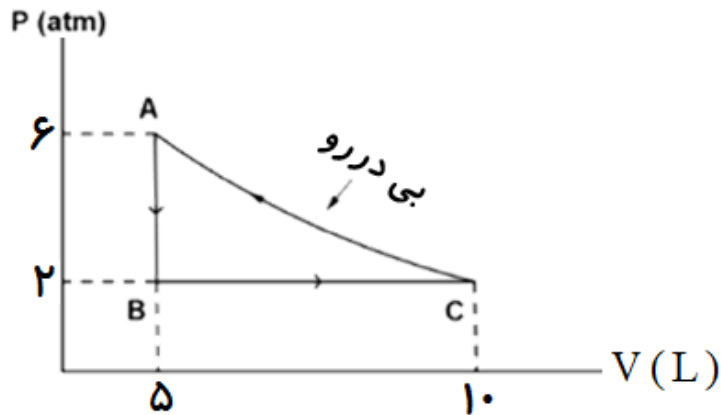
$$-200 + (W_{cd} + 180) + (0 + 80) = 0$$

$$W_{cd} = -60 \text{ J}$$



تست:

۵. مول گاز تک اتمی، چرخه‌ی زیر را طی می‌کند. کار روی گاز در فرآیند بی‌دررو چند ژول است؟



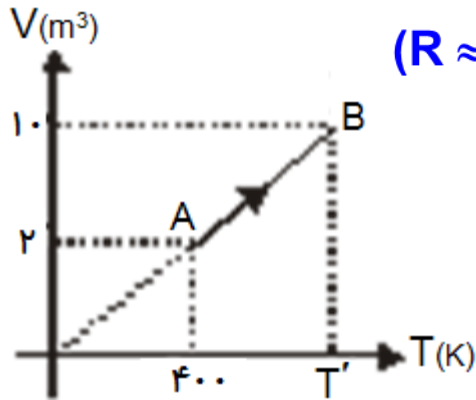
- (۱) +۱۵۰۰ J
- (۲) +۵۰۰ J
- (۳) +۱۰۰۰ J
- (۴) -۵۰۰ J

پاسخ

گزینه ۱ صحیح است.

تست:

نمودار V-T از یک مول گاز کاملی به صورت زیر است. کار انجام شده بر روی



گاز در تحول آن از A به B چند ژول است؟ ( $R \approx 8 \text{ J/molK}$ )

- (۱) -۶۴۰۰
- (۲) -۱۲۸۰۰
- (۳) +۶۴۰۰
- (۴) +۱۲۸۰۰

پاسخ

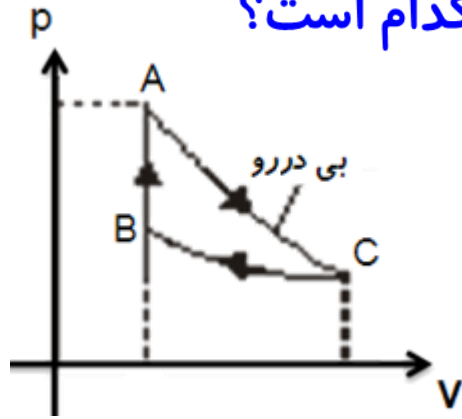
چون نمودار V-T به صورت خط راستی است که از مبدا عبور کرده لذا معرف **نمودار انبساط هم فشار** بوده، که اگر مختصات نقطه A را در معادله حالت گاز قرار دهیم، مقدار فشار حاصل می گردد:

$$P_A V_A = nRT_A \Rightarrow P_A \times 2 = 1 \times 8 \times 400 \Rightarrow P_A = 160 \cdot \text{pa}$$

$$W = -P \cdot \Delta V \Rightarrow W = -160 \cdot (10 - 2) = -1280 \cdot \text{J} \quad \text{گزینه ۲ صحیح است.}$$

تست:

چرخه ای شامل سه فرآیند بی دررو، همدم و هم حجم است. اگر در فرآیند بی دررو ۲۰ J کار انجام شده باشد، گرمای مبادله شده در فرآیند هم حجم کدام است؟



(۱) ۲۰ J گرما از دست داده است.

(۲) ۲۰ J گرما دریافت می کند.

(۳) ۸۰ J گرما از دست داده است.

(۴) ۸۰ J گرما دریافت می کند.

پاسخ

چون چرخه ساعتگرد است، لذا کار روی دستگاه منفی و دستگاه در کل چرخه گرما گرفته است.

$$\Delta U_{\text{چرخه}} = 0 \Rightarrow \Delta U_{AC} + \Delta U_{CB} + \Delta U_{BA} = 0$$

$$Q_{AC} + W_{AC} + 0 + Q_{BA} + W_{BA} = 0$$

$$-20 + Q_{BA} = 0$$

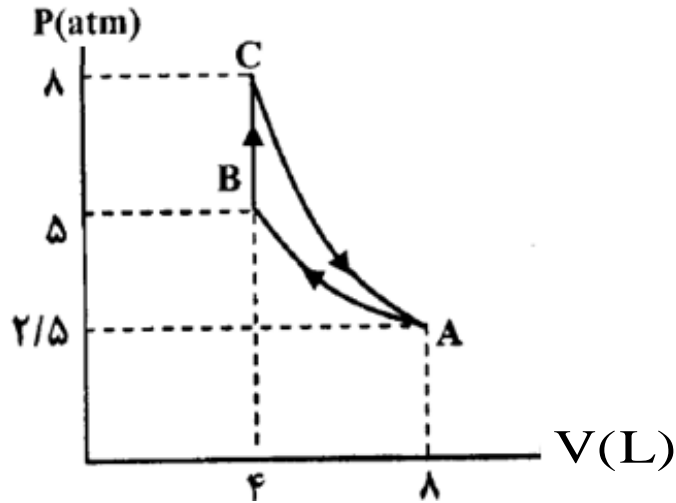
$$Q_{BA} = +20 \text{ J}$$

تمرین:

۲ مول گاز کامل تک اتمی، چرخه ای را مطابق شکل روبه رو طی می کند.

الف) در فرآیند **CA** تغییر انرژی درونی گاز چند ژول است؟

ب) در فرآیند **BC**، گرمای مبادله شده بین گاز و محیط را بر حسب ژول به دست آورید.



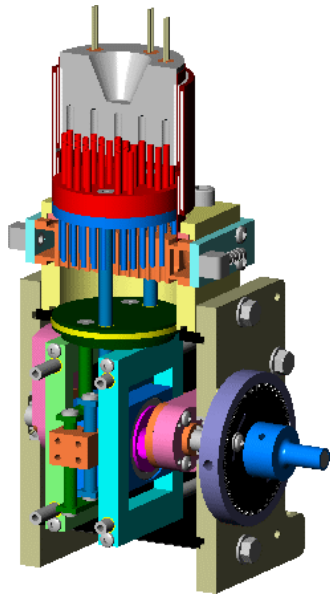
$$C_V = \frac{3}{2}R \quad R \approx 8 \frac{\text{J}}{\text{mol}\cdot\text{K}}$$

پاسخ

$$\Delta U_{CA} = -180 \cdot \text{J}$$

$$Q_{BC} = 180 \cdot \text{J}$$

## موضوع: ماشین گرمایی



برگشت



قبلی



بعدی

خروج

## ماشین گرمایی

وسیله ای است که با استفاده از فرایندهای ترمودینامیکی گرمای حاصل از سوخت را به کار تبدیل می کند.

هر ماشین گرمایی یک چرخه‌ی معین را تکرار می کند.



پرسش:

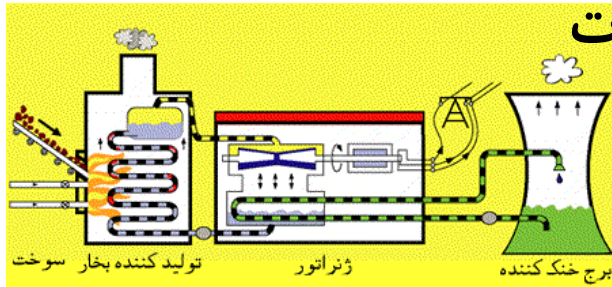
ماشین های گرمایی بسته به این که انرژی خود را از منبعی در داخل یا خارج از خود بگیرند به چند دسته تقسیم می شوند؟

پاسخ

**ماشین گرمایی برون سوز :**

دستگاه بادو منبع با دمای بالا و دمای پایین در تماس است و گرما از منبع گرمتر در بیرون دستگاه به آن داده شده و کار خالصی توسط دستگاه در طی چرخه انجام می شود.

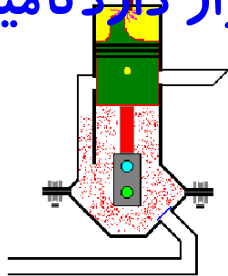
مانند: ماشین نیوکامن، ماشین استرلینگ و ماشین بخاروات



**ماشین گرمایی درون سوز :**

گرمادر اثر آتش گرفتن ماده سوختی (دستگاه) که در داخل سیلندر قرار دارد تأمین می شود.

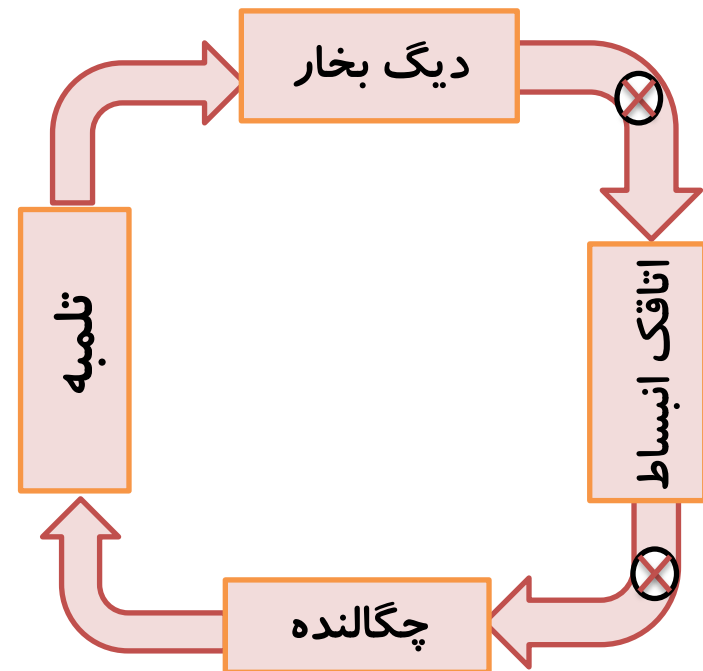
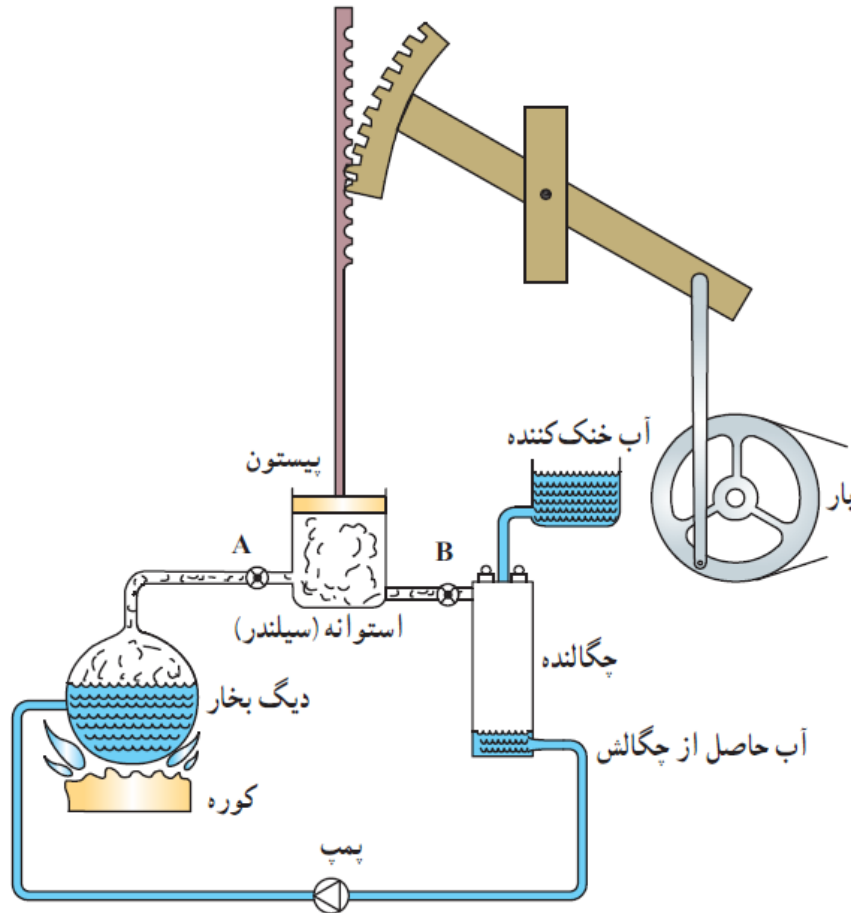
مانند: موتورهای بنزینی و دیزلی



برگشت

خروج

تحلیل دقیق چرخه یک ماشین بخار دشوار است. اما با برخی ساده سازی ها می توان به تحلیل این ماشین ها پرداخت و به چرخه ای آرمانی موسوم به چرخه رانکین رسید.





## نکات مهم در چرخه ی ماشین بخار :

(۱) دستگاهی که چرخه را می پیماید، آب است

(۲) کوره، منبع دمای بالا و گرمای  $Q_H$  را به دستگاه (آب) می دهد

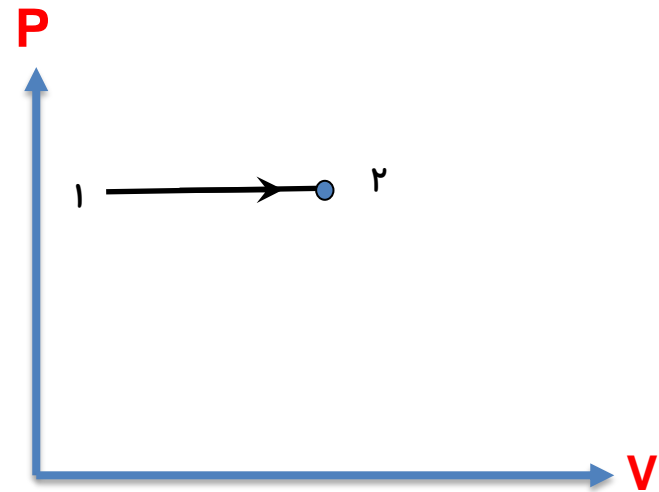
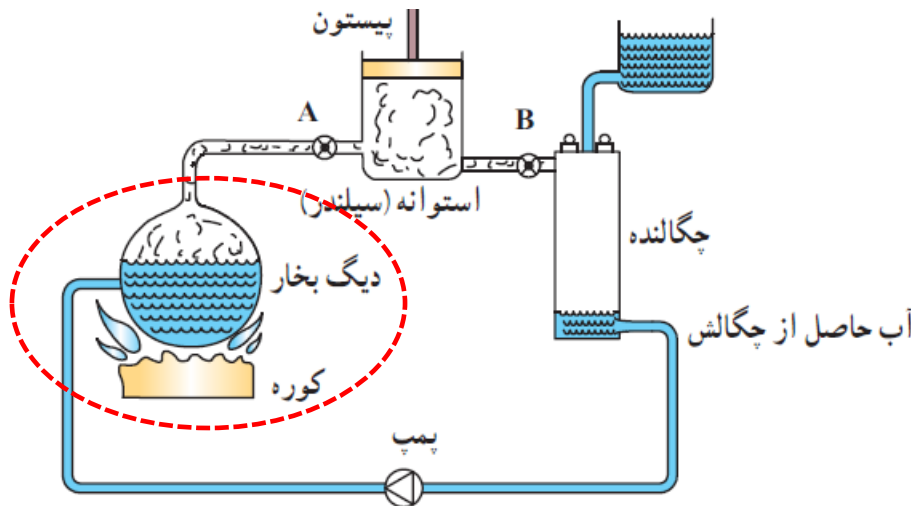
(۳) دستگاه روی محیط کار انجام می دهد و باعث انبساط دستگاه می شود

(۴) منبع دمای پایین چگالنده ولوله های آب سرد است و گرمای  $Q_L$  را از دستگاه می گیرد.

فرآیندهایی که آب در ماشین بخاروات طی می کند، به چهار مرحله اصلی تقسیم می کنیم :

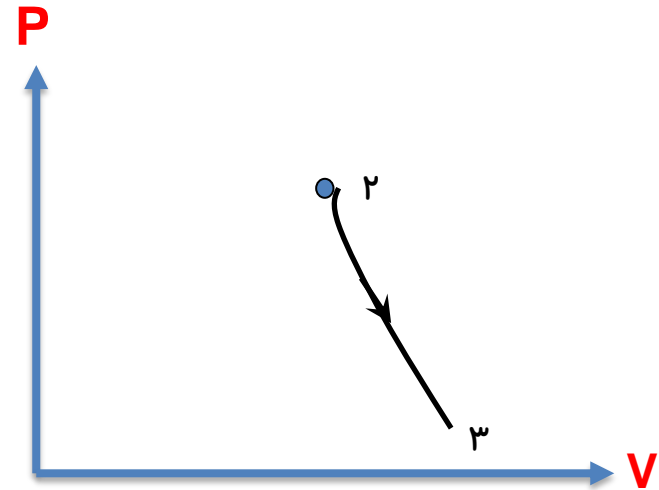
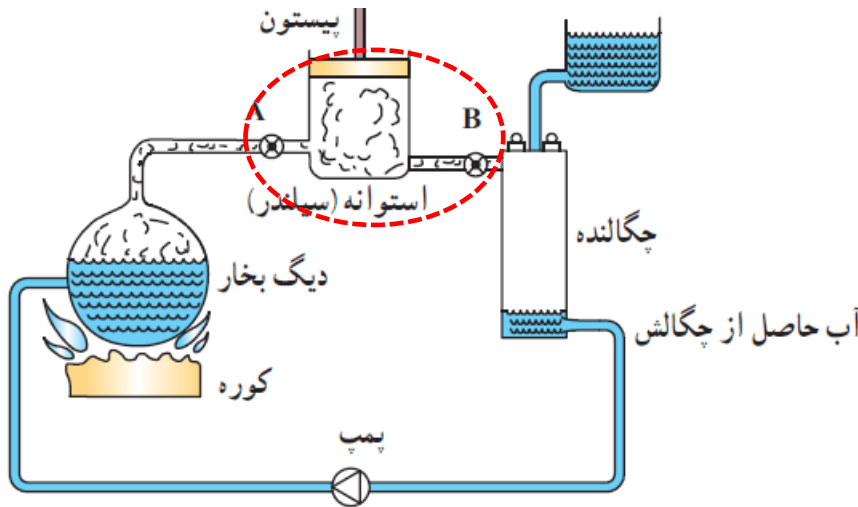
الف) مرحله ی اول:

در این مرحله آب درون دیگ بخار در فشار ثابت از کوره گرما می گیرد و به بخار تبدیل می شود .



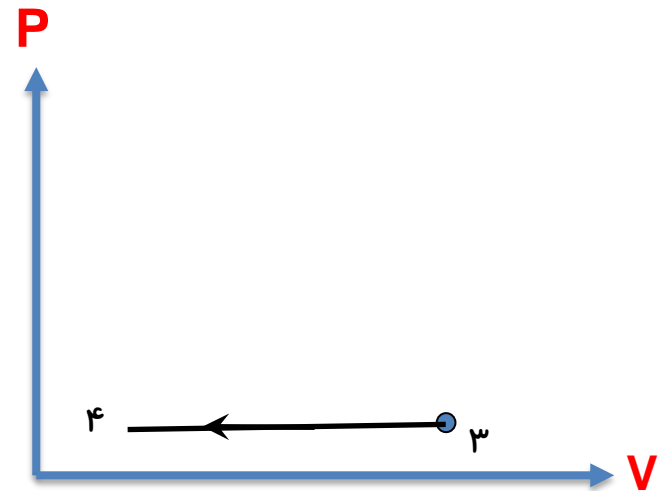
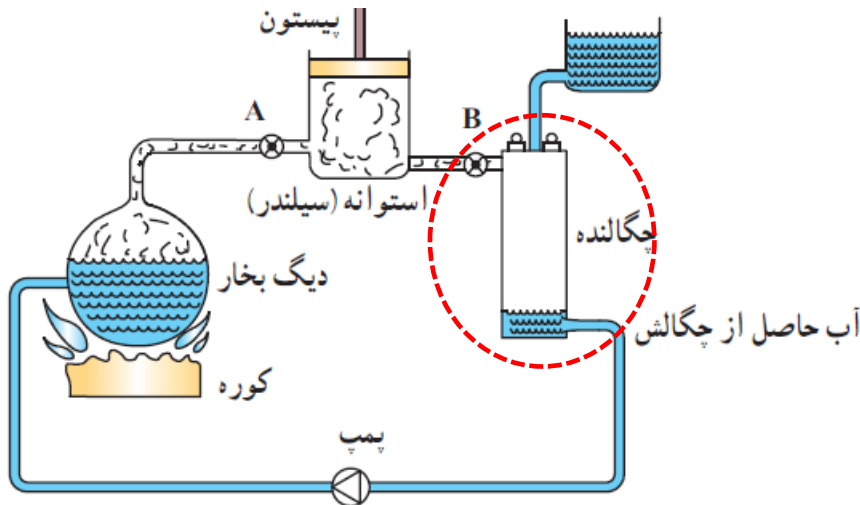
## ب) مرحله ی دوم:

شیرورودی بازمی شود. بخار آب که دما و فشار آن بسیار زیاد است وارد اتاقک انبساط می شود و دما و فشار آن کاهش می یابد در این مرحله **بخار آب بر روی محیط کار** انجام می دهد. (چون این انبساط بسیار سریع است این **فرآیند را بی دررو** می توان در نظر گرفت.)



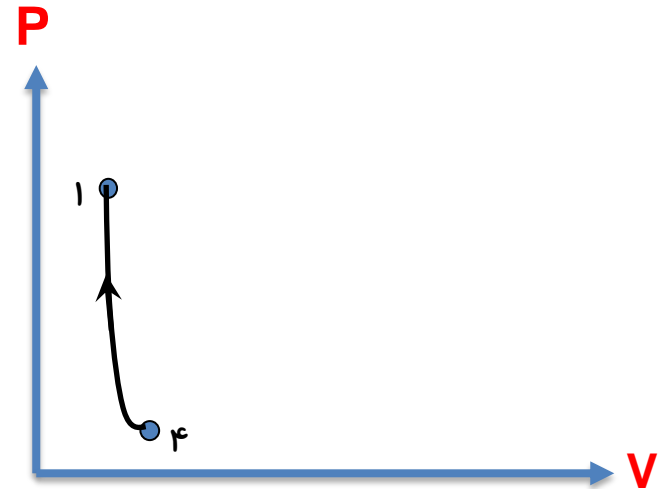
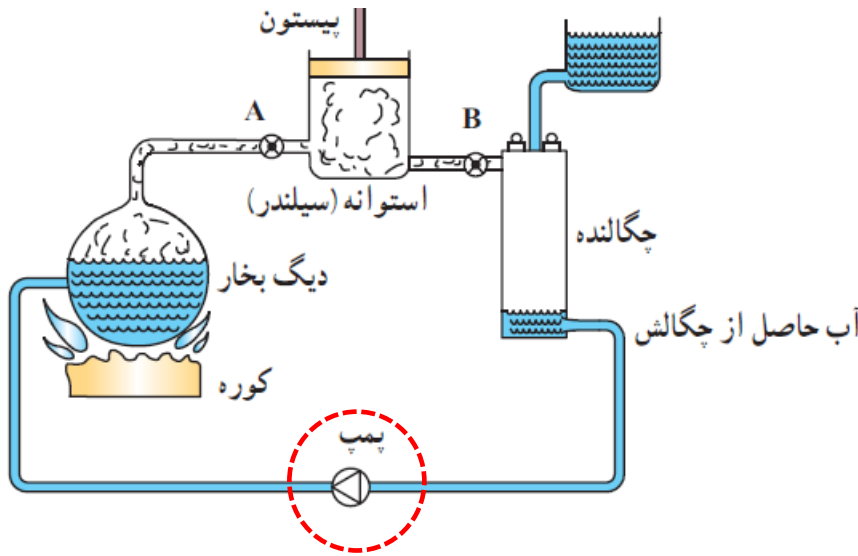
ج) مرحله ی سوم:

در چگالنده بخار آب در فشار ثابت گرما ازدست می دهد و به مایع تبدیل می شود. در این فرآیند دما و حجم بخار آب کاهش می یابد.

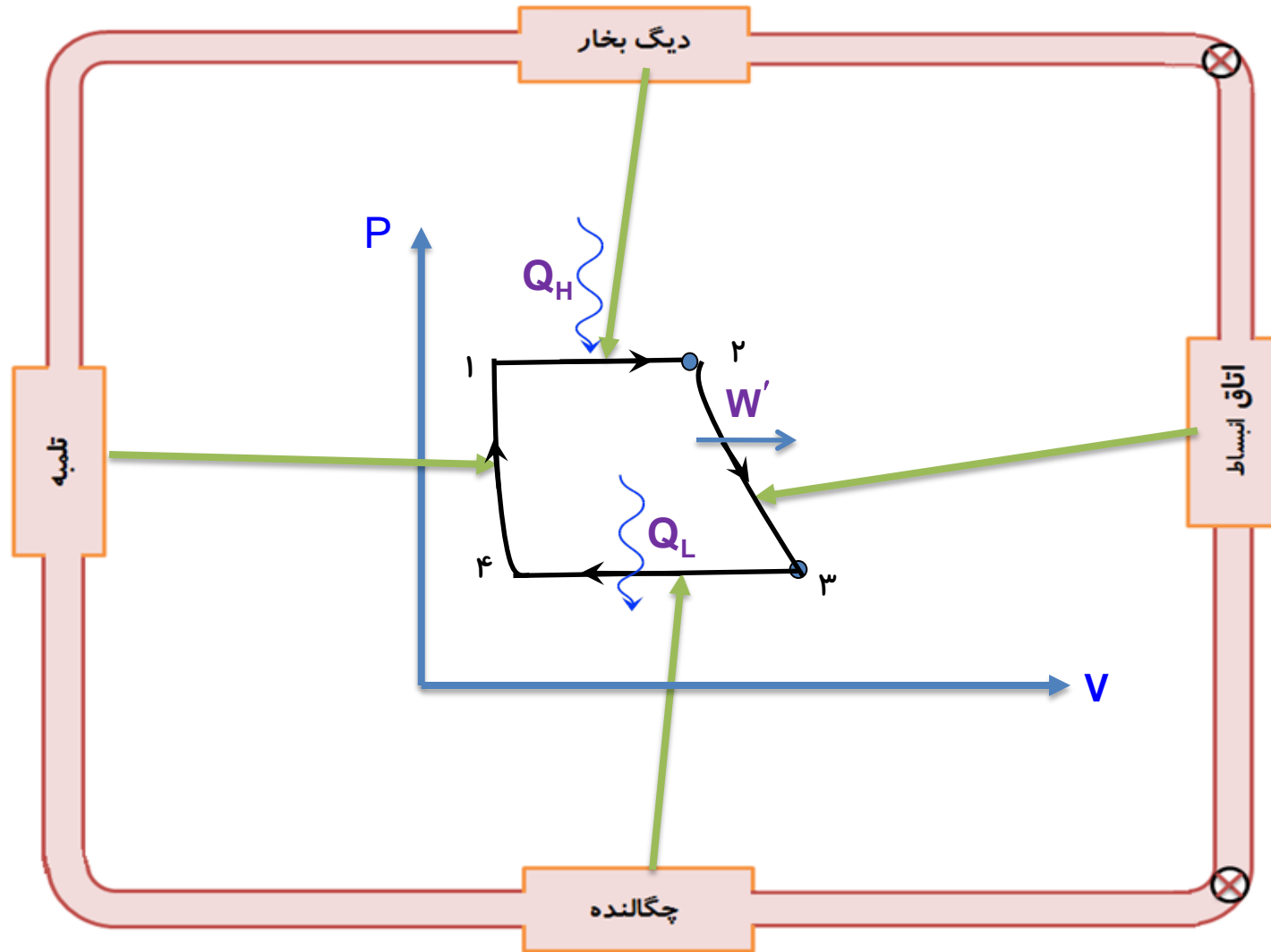


## د) مرحله ی چهارم:

تلمبه (پمپ)، آب حاصل از میعان را به دیگ بخار برمی گرداند و فشار آن را به طور **بی دررو** به فشار اولیه می رساند (فقط تغییرات کوچکی در دما و حجم مایع رخ می دهد)



# چرخه رانکین



برگشت

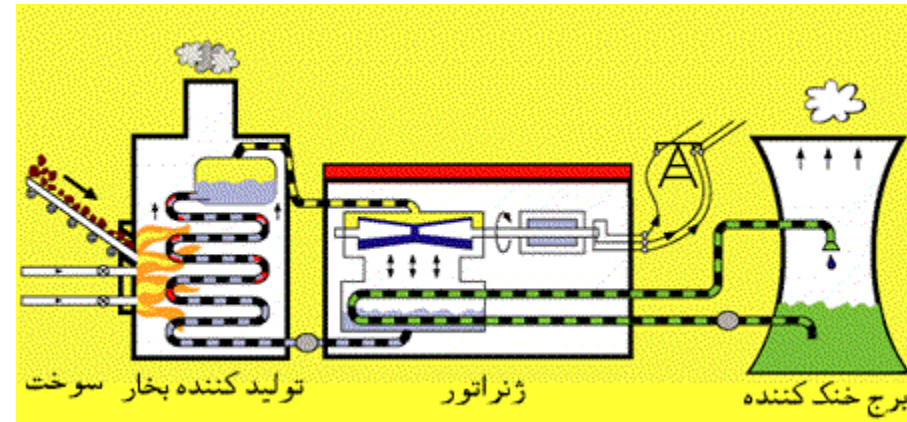
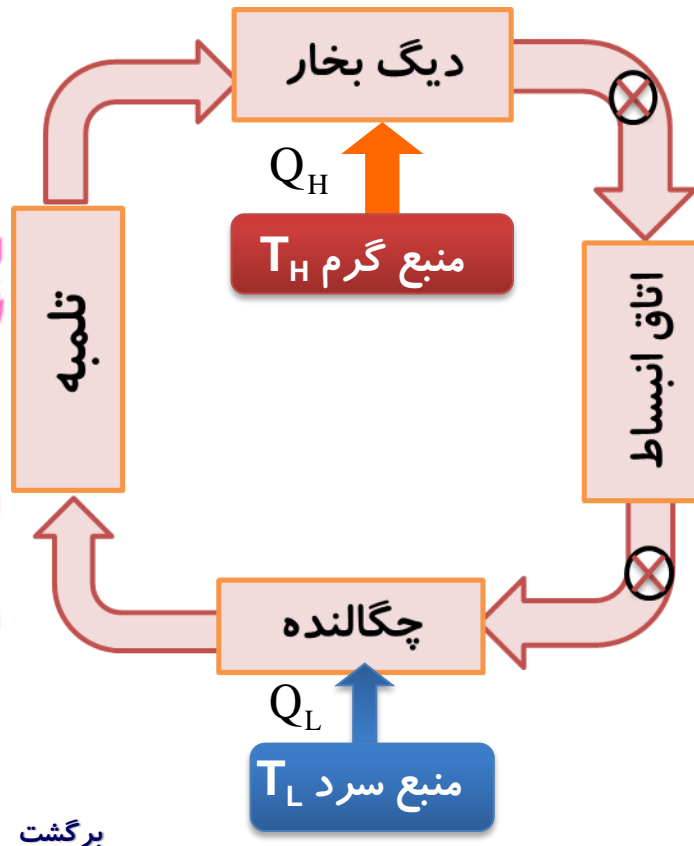
قبلی

بعدی

خروج

## چند نکته:

- ۱- در حین کار با ماشین بخار این چرخه دائما تکرار می شود .
- ۲- دستگاه در این چرخه به طور عمده با دو منبع گرما ( کوره و چگالنده ) تبادل گرمایی کند.
- ۳- کوره را که در دمای بالاتری قرار دارد منبع گرم و چگالنده را منبع سرد می نامیم



## ماشین گرمایی رابرت استرلینگ

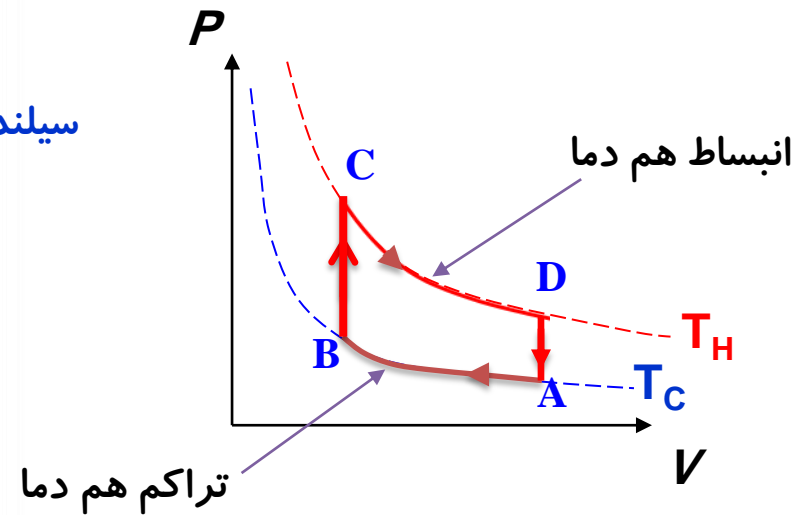
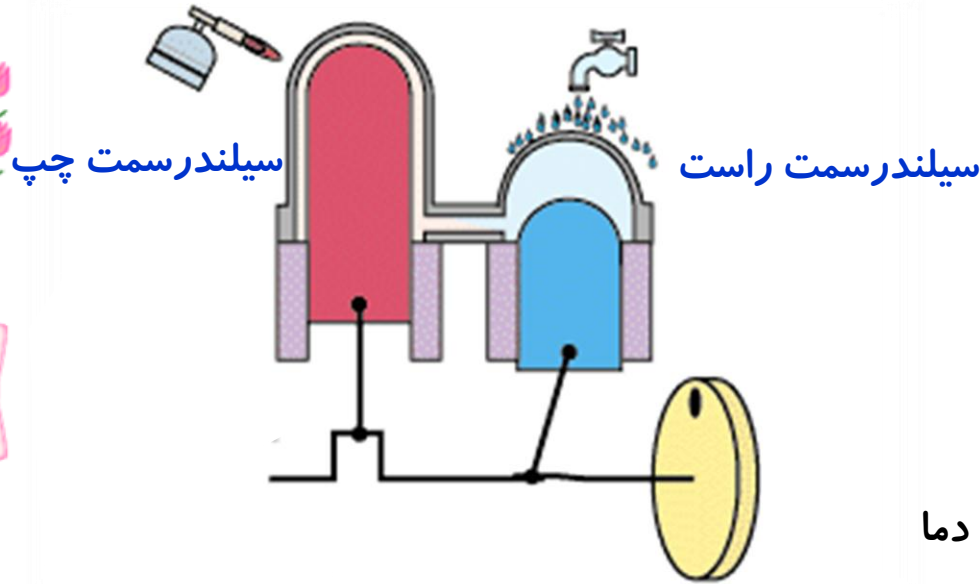
از A تا B - (تراکم هم دما) پیستون سمت راست تانیمه بالا آمده و گاز سرد شده بنابراین باعث خروج گرمای  $Q_L$  می شود

از B تا C - (هم حجم) پیستون سمت راست کامل بالا آمده تا گاز سرد این ناحیه وارد سیلندر سمت چپ شود

از C تا D - (انبساط هم دما) گاز سیلندر سمت چپ مقداری گرمای گیرد و منبسط می شود و پیستون سمت راست ساکن

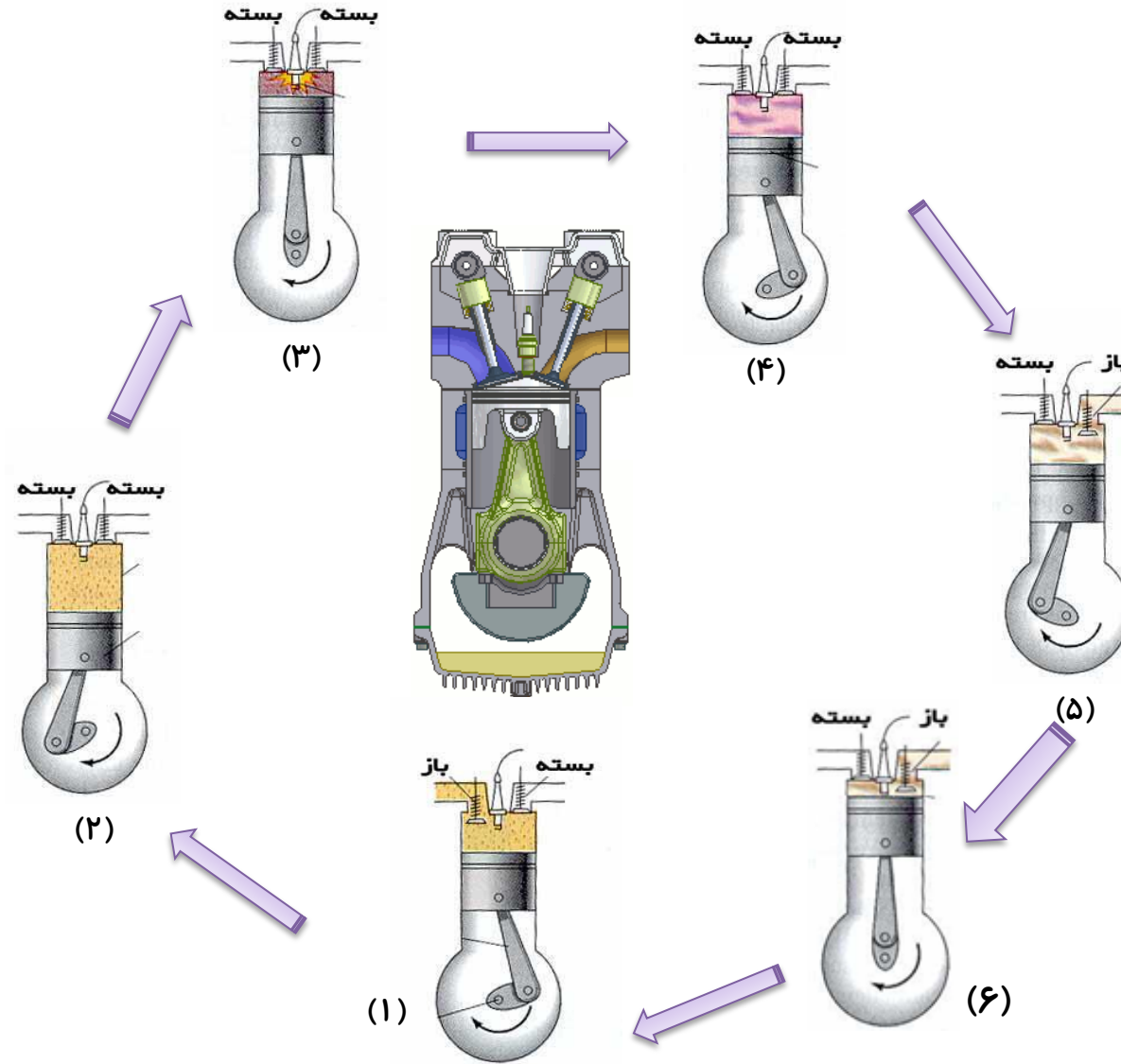
می ماند.

از D تا A - (هم حجم) هر دو پیستون در جهت مخالف حرکت می کنند.





# مرحله‌های کار ماشین گرمایی درون سوز



۱- ضربه مکش

۲- ضربه تراکم

۳- آتش گرفتن

۴- ضربه قدرت

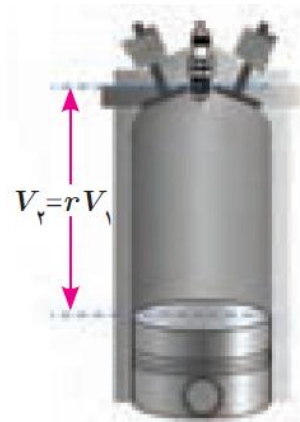
۵- تخلیه

۶- ضربه خروج گاز

نسبت تراکم:  $\gamma$ 

به نسبت بیشترین حجم دستگاه به کمترین حجم دستگاه، نسبت تراکم گویند.

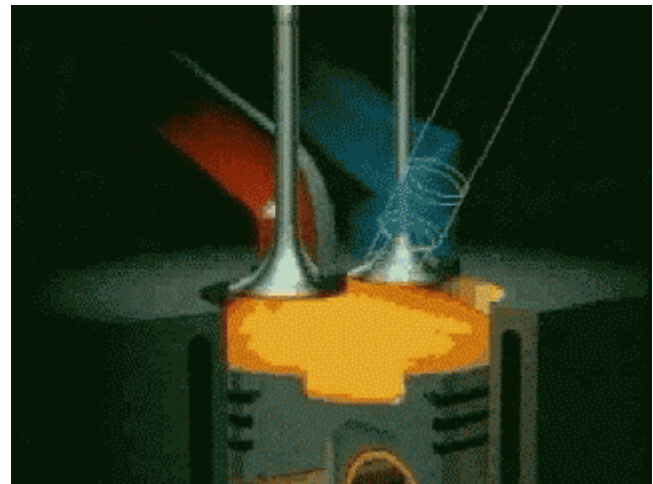
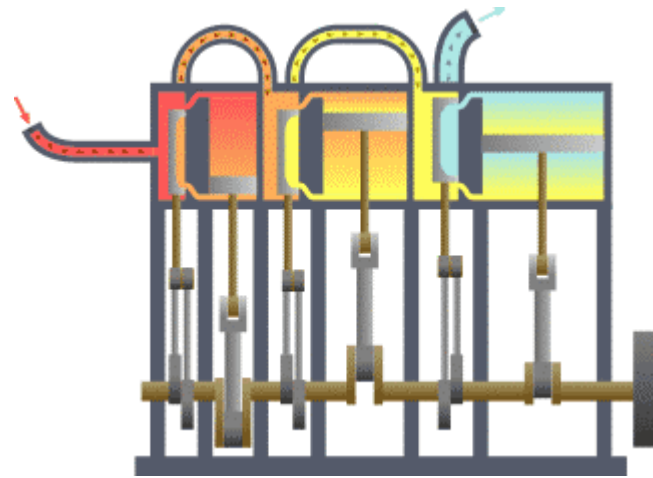
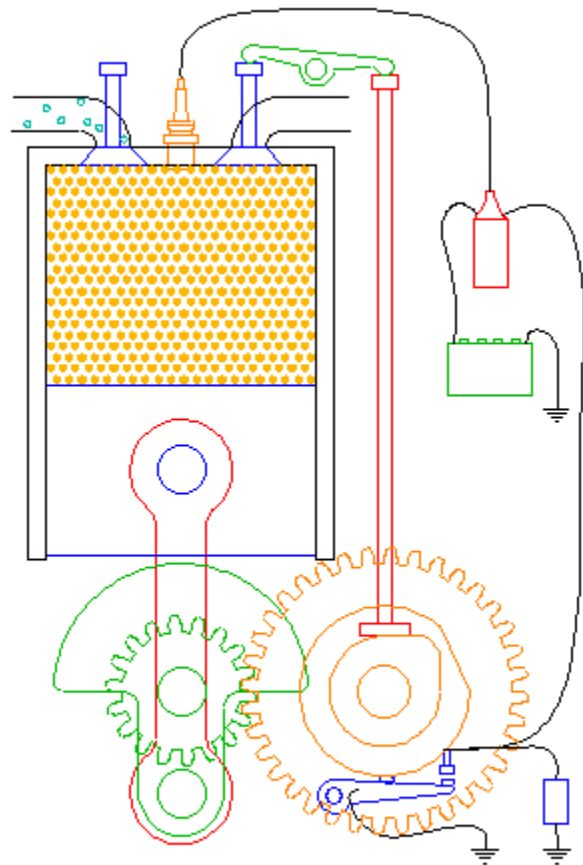
$$\gamma = \frac{V_{\max}}{V_{\min}} = \frac{\gamma V}{V}$$



مرحله ی شروع تراکم

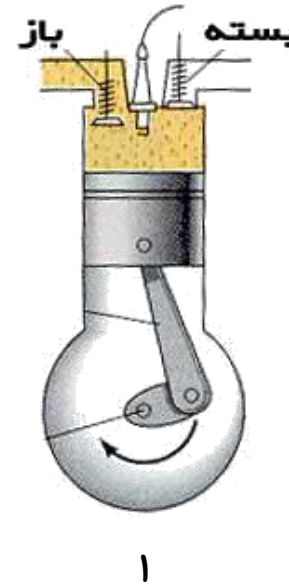
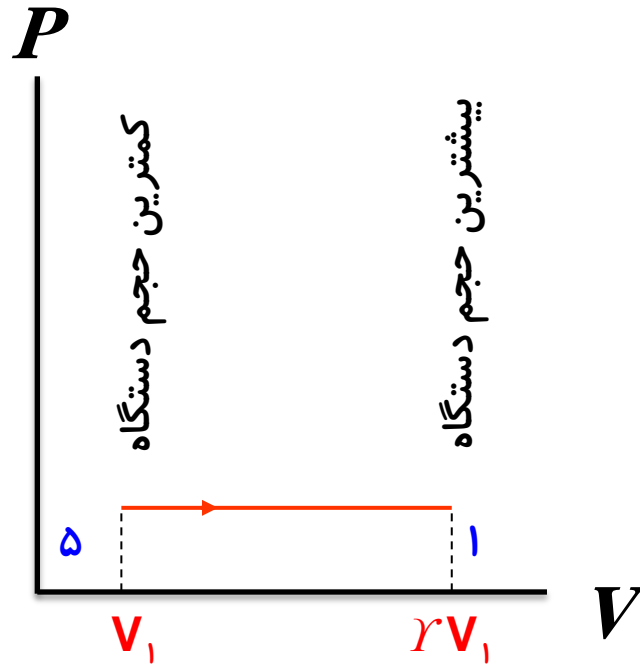


مرحله ی آتش گرفتن



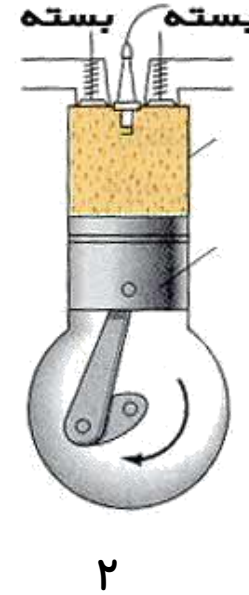
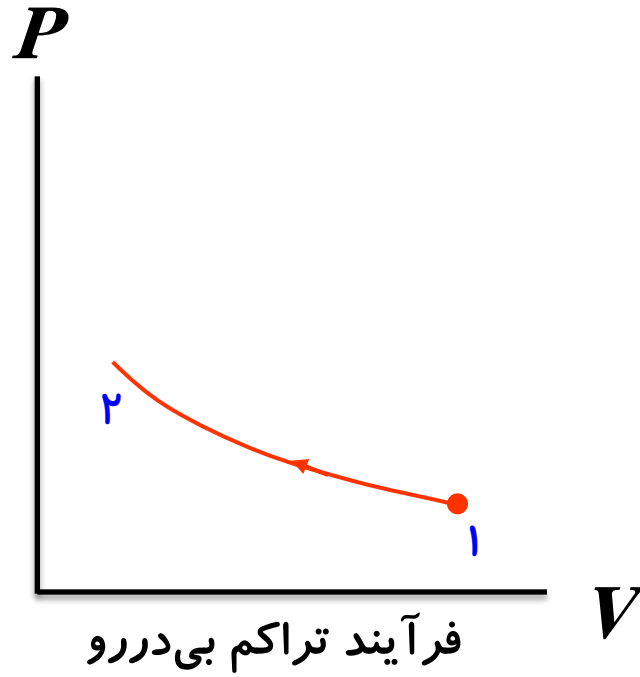
## ۱- ضربه مکش

با پایین آمدن پیستون مخلوط بنزین و هوا از طریق دریچه ورودی وارد استوانه می شوند. وقتی پیستون به پایین ترین وضعیت خود رسید، این دریچه بسته می شود.



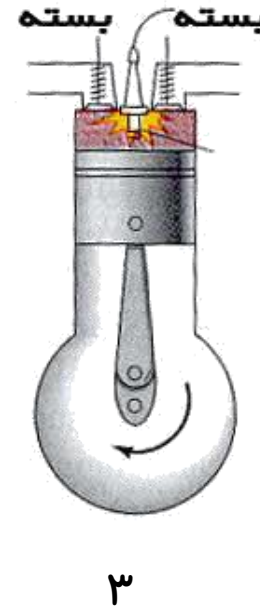
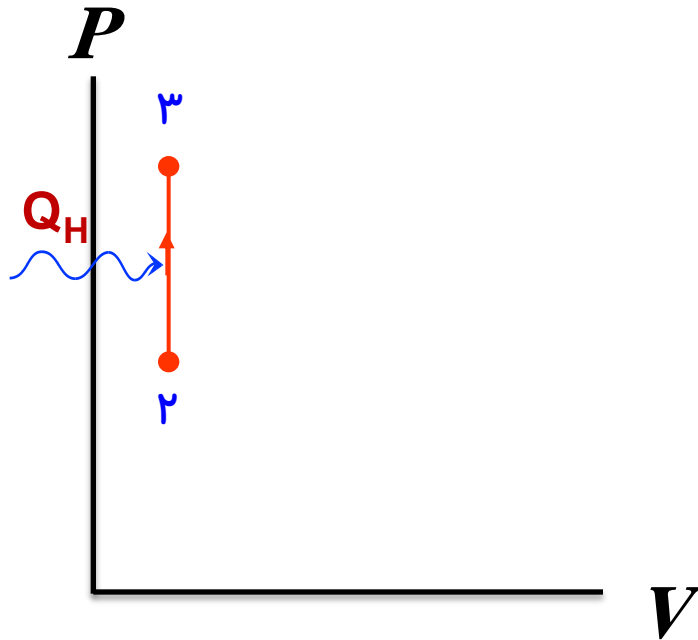
## ۲- ضربه تراکم

پیستون بالا می آید و مخلوط رام تراکم می کند و به حجم اولیه می رساند در این وضعیت دمای مخلوط بسیار بالا می رود



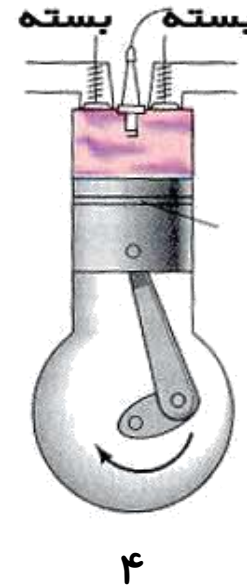
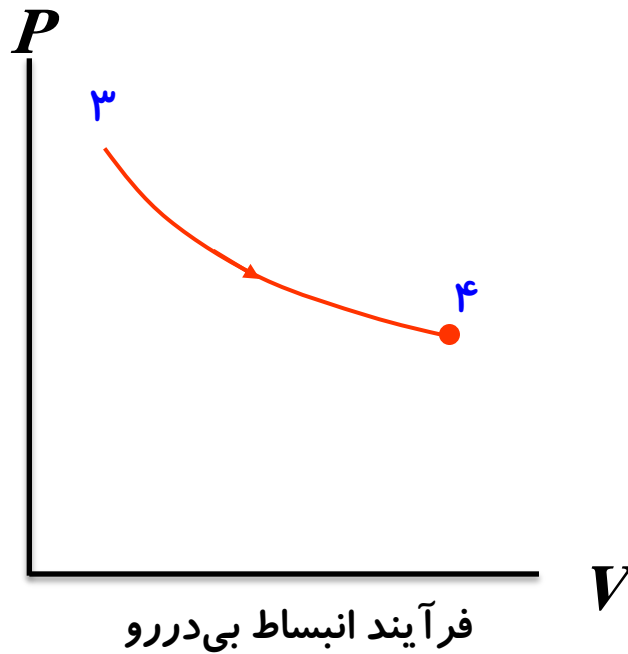
### ۳- آتش گرفتن

هنگامی که پیستون به بالاترین وضعیت خود رسید، شمع جرقه می زند مخلوط آتش می گیرد و دما و فشار آن تا مقدار زیادی بالا می رود.



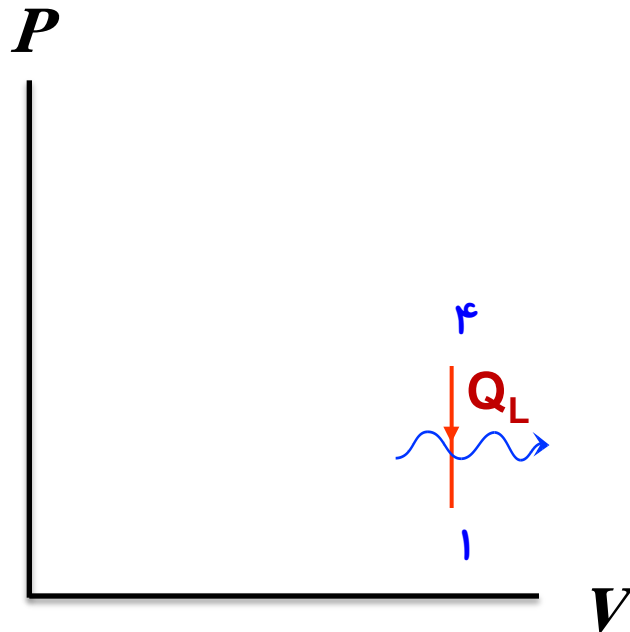
## ۴- ضربه قدرت

در این مرحله در اثر فشار زیاد دستگاہ منبسط می شود و پیستون را به طرف پایین می راند. کاری که دستگاہ بر روی محیط انجام می دهد در این مرحله حاصل می شود.



## ۵- تخلیه

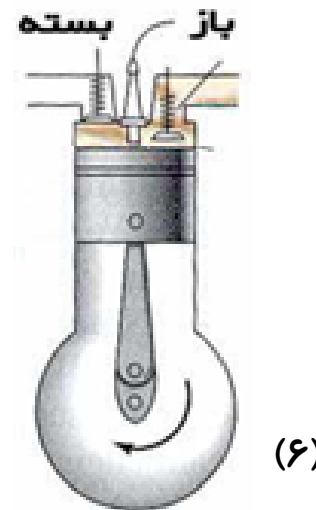
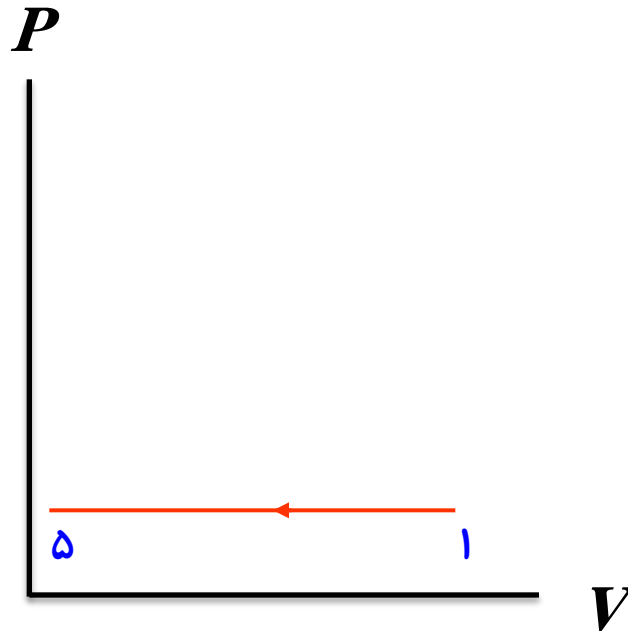
در حالی که پیستون در پایین ترین وضعیت حجمی قرار دارد، سوپاپ دریچه خروجی باز می شود و قسمتی از محصولات احتراق به صورت دود از دریچه خروجی خارج می شود. این ترتیب مقدارزیادی **گرما به بیرون رانده می شود**.





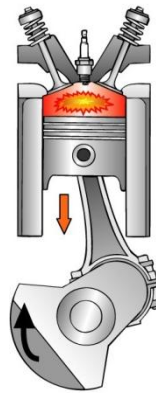
## ۶- ضربه خروج گاز

پیستون بالا می آید و بقیه محصولات احتراق را بیرون می راند و حجم فضای بالای پیستون از بیشترین به مقدار اولیه کمترین می رسد.



# چرخه اوتو

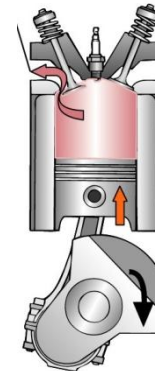
بررسی موتورهای گرمایی درون سوز بنزینی، به وسیله ی چرخه های به نام چرخه ی اوتو انجام می پذیرد.



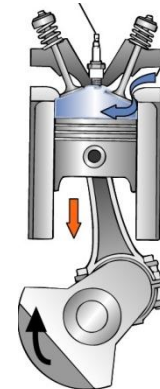
Power



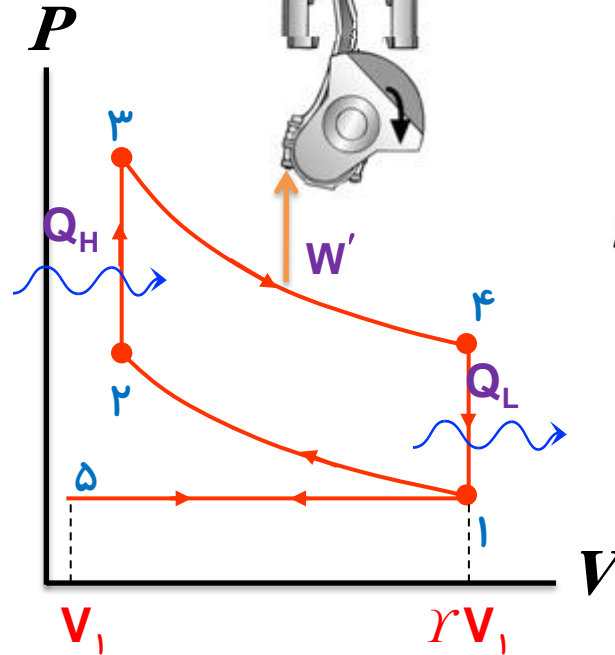
Compression



Exhaust

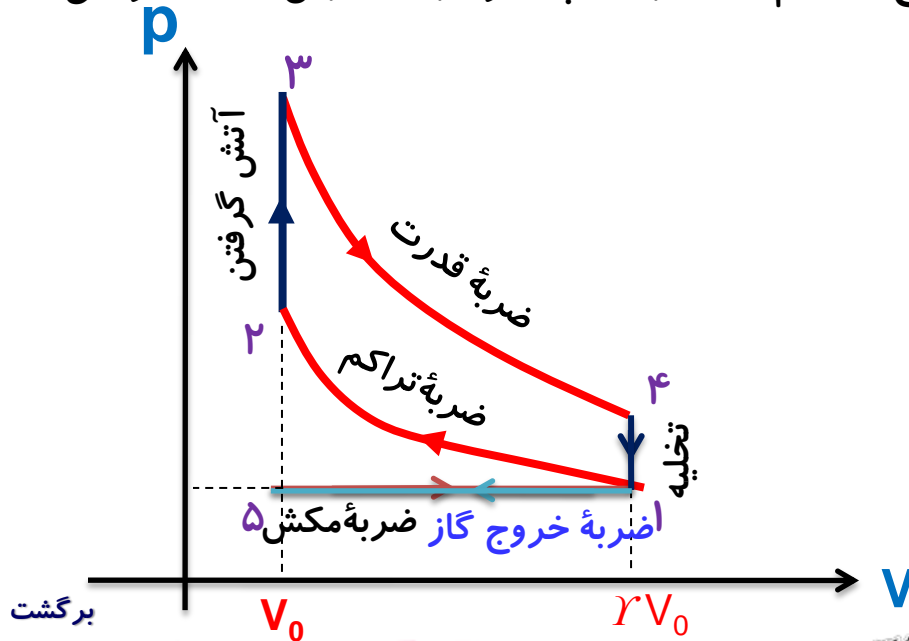


Induction



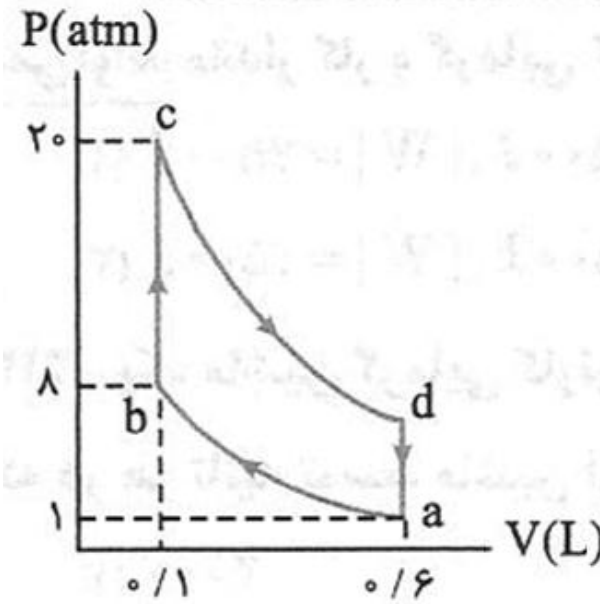
## چرخه ی اتو:

- از ۱ تا ۵ - (انبساط هم فشار) دستگاه منبسط شده مخلوط بنزین و هوا از طریق دریچه ورودی وارد استوانه می شوند.
- از ۱ تا ۲ - (فراآیند تراکم بی دررو) دستگاه متراکم می شود و فشار و حجم آن به وضعیت اولیه برگردانده می شود.
- از ۲ تا ۳ - (فراآیند هم حجم) دستگاه مقداری گرما می گیرد و دما و فشار آن به مقدار زیادی بالا می رود.
- از ۳ تا ۴ - (فراآیند انبساط بی دررو) دستگاه منبسط می شود و پیستون را به طرف پایین می راند.
- از ۴ تا ۱ - (فراآیند هم حجم) دستگاه مقداری گرما از دست می دهد و دما و فشار آن کاهش می یابد.
- از ۱ تا ۵ - (انبساط هم فشار) بقیه محصولات احتراق خارج و حجم فضای بالای پیستون به کمترین مقدار خود می رسد.



تمرین:

در شکل زیر، نمودار P-V یک چرخه اتو را نشان می دهد. نسبت تراکم در این چرخه را پیدا کنید.



$$\gamma = \frac{V_{\max}}{V_{\min}} = \frac{6}{1} = 6$$

$$V_{\max} = 6L$$

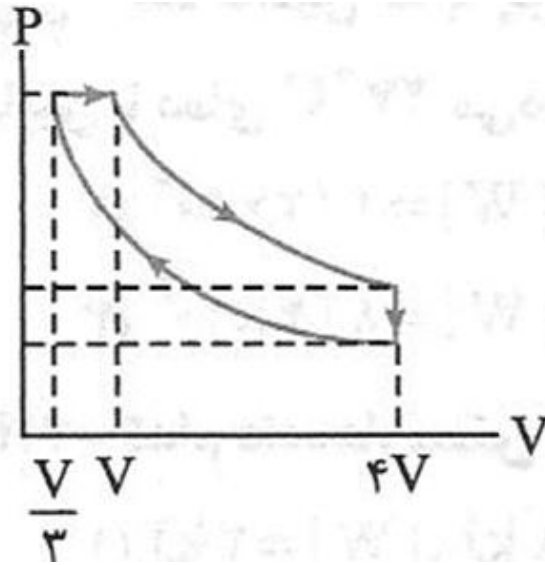
$$V_{\min} = 1L$$

$$\gamma = ?$$

پاسخ:

تمرین:

در شکل زیر، نمودار P-V یک ماشین گرمایی را نشان می دهد. نسبت تراکم در این ماشین را پیدا کنید.



$$\gamma = \frac{V_{\max}}{V_{\min}} = \frac{4V}{\frac{V}{3}} = 12$$

پاسخ:

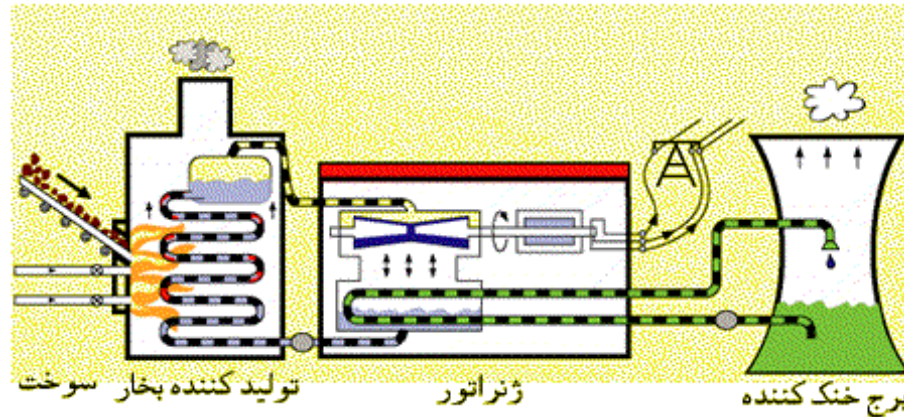
$$V_{\max} = 4V$$

$$V_{\min} = \frac{V}{3}$$

$$\gamma = ?$$

فعالیت ۵-۵:

در مورد ماشینهای بخاری که امروزه در نیروگاه های گرمایی (حرارتی) استفاده می شوند و نحوه کارکرد آنها تحقیق کنید و نتیجه تحقیق را در کلاس ارائه نمایید.



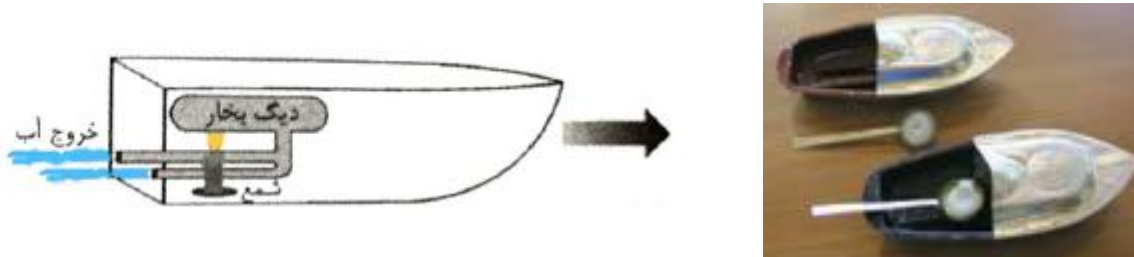
پاسخ:

اساس کار کلیه نیروگاه های حرارتی گرم کردن آب و تبدیل آن به بخار آب با فشار بالا و در پی آن چرخاندن یک توربین بخار است که ژنراتور را به راه می اندازد. بخار آب پس از عبور از توربین، در یک چگالنده به آب تبدیل می گردد. سپس این آب به دیگ بخار برگردانده می شود و در آنجا به بخار داغ پُر فشار تبدیل گردیده و مجدداً به طرف توربین می رود و این چرخه دوباره تکرار می گردد (منبع انرژی یک نیروگاه سوخت های فسیلی یا انرژی هسته ای، انرژی زمین گرمایی و انرژی خورشیدی می تواند باشد).

فعالیت ۵-۶:

قایق پوت پوت، نوعی قایق اسباب بازی است که اساس کار آن مانند ماشین های برون سوز است. در مورد این قایق های اسباب بازی تحقیق کرده و سعی کنید آن را بسازید.

پاسخ:



قایق پوت-پوت یک ماشین بخار ساده برون سوز است که چرخه ای را می پیماید تا قایق حرکت کند. لوله فلزی قایق که دو انتهای آن درون آب قرار گرفته را از آب پرمی کنیم (هواگیری) با گرم کردن قسمت پیچه ای شکل لوله، آب داغ به بخار پرفشار تبدیل می شود که از دو انتهای سرد لوله (که مانند چگالنده عمل می کند) با سرعت زیاد خارج شده و عکس العمل نیرویی که بخار به آب وارد می کند باعث جهش رو به جلو قایق می شود. بخار سرد و منبسط شده بعد از پیمودن یک فرایند انبساط بی دررو، کم فشار شده و باعث مکش آب به درون لوله می شود، آب در قسمت پیچه ای شکل گرم می شود و این چرخه ادامه میابد (هنگام مکش آب به درون لوله یک نیروی کوچک در خلاف جهت حرکت به قایق وارد می شود که تاثیر چندانی در حرکت رو به جلو قایق ندارد).



موضوع :

بازده، قانون دوم ترمودینامیک (به بیان ماشین گرمایی)



برگشت

قبلی

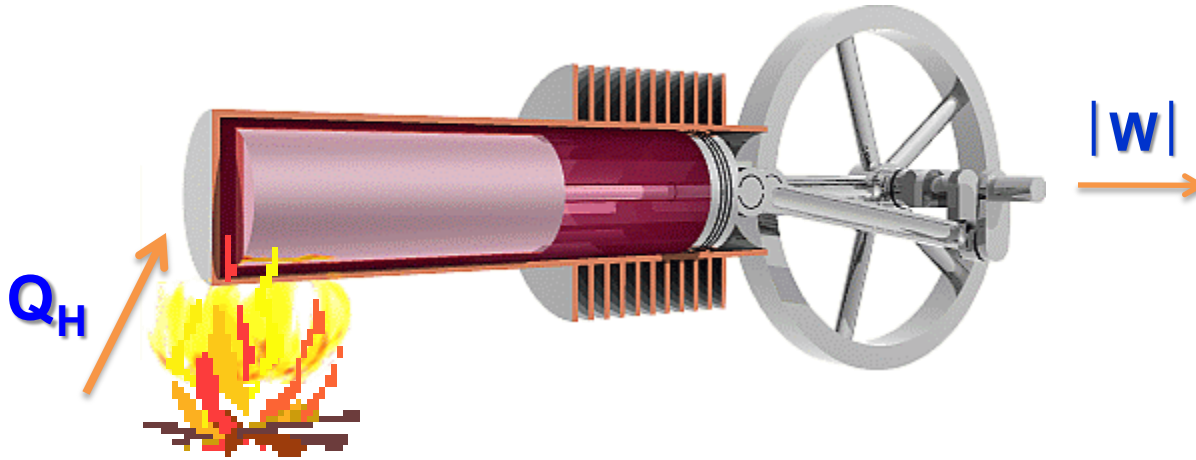
بعدی

خروج



بازده ماشین گرمایی:  $\eta$  (اتا)

نسبت کاربردست آمده  $|W|$  به مقدار گرمای گرفته شده  $Q_H$  از چشمه ی گرمایی را بازده ماشین گرمایی گویند.



$$\eta = \frac{|W|}{Q_H}$$

مفهوم بازده ماشین گرمایی:

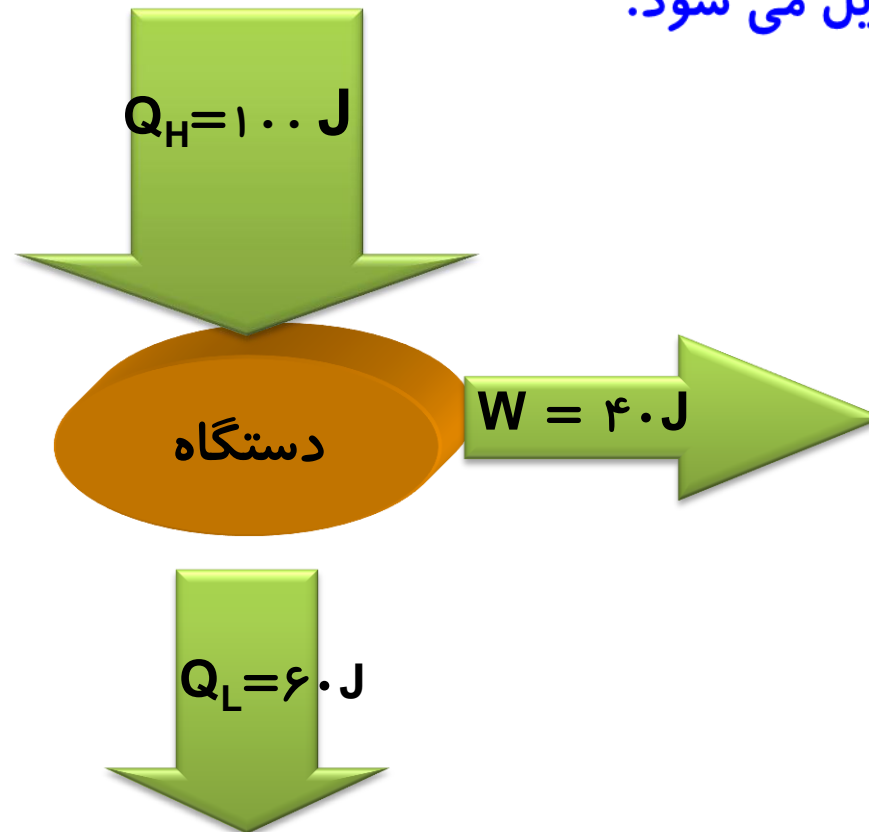
نشان می دهد که چه کسری از گرمای حاصل از سوخت به انرژی مفید خروجی تبدیل می شود.

پرسش:

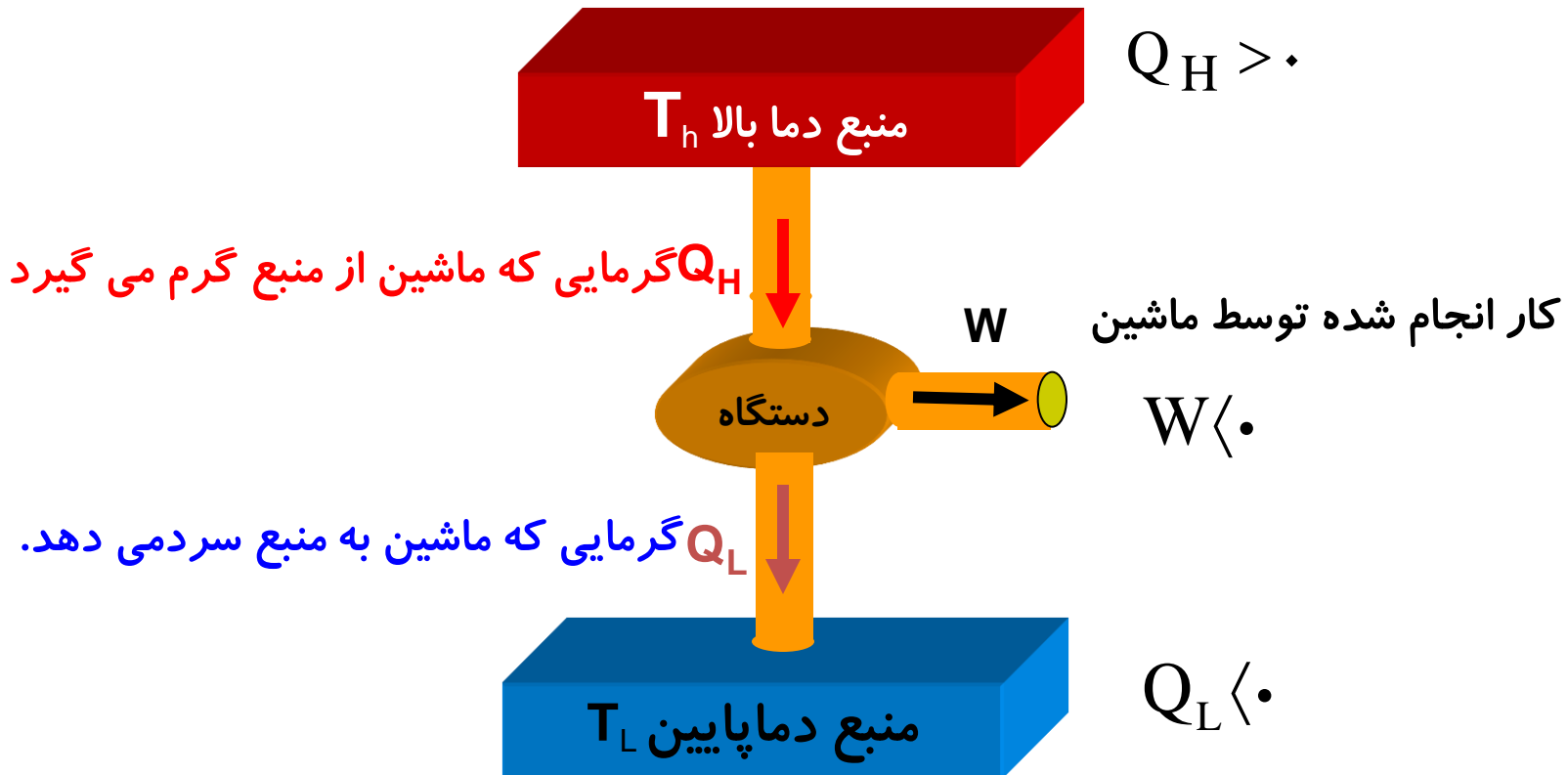
بازده واقعی ماشین گرمایی  $\eta = 40\%$  است یعنی چه؟

پاسخ

یعنی از  $100\text{ J}$  گرمای دریافت شده توسط ماشین گرمایی فقط  $40\text{ J}$  آن را به انرژی مفید خروجی تبدیل می شود.



## علامت کار و گرمای مبادله شده در ماشین گرمایی



## قانون اول ترمودینامیک برای ماشین گرمایی

چون ماشین یک چرخه را طی می کند،  $\Delta U = 0$  است .

$$\Delta U = Q + W \begin{cases} \Delta U = 0 \\ Q = Q_H - |Q_L| \\ W = -|W| \end{cases} \rightarrow 0 = Q_H - |Q_L| - |W| \rightarrow Q_H = |W| + |Q_L|$$

## رابطه ی بازده ماشین گرمایی با قانون اول ترمودینامیک :

بازدهی ماشین گرمایی همواره کوچک تر از یک است زیرا  $|W| < Q_H$  است.

$$\left\{ \begin{array}{l} |W| = Q_H - |Q_L| \\ \eta = \frac{|W|}{Q_H} \end{array} \right. \quad \rightarrow \quad \eta = \frac{Q_H - |Q_L|}{Q_H} \quad \rightarrow \quad \eta = 1 - \frac{|Q_L|}{Q_H}$$

## نکته:

بازده ماشین های گرمایی واقعی از بازده ماشین های آرمانی کمتر است.  
بازده تقریبی ماشین های گرمایی به صورت زیر است:

بازده ماشین های درون سوز بنزینی: در حدود ۲۰ تا ۳۰ درصد

بازده ماشین های درون سوز دیزلی: در حدود ۳۰ تا ۳۵ درصد

بازده ماشین های برون سوز بخار: در حدود ۳۰ تا ۴۰ درصد

پرسش:

## روشهای افزایش بازده ماشین گرمایی را بنویسید.

پاسخ

- ۱- اصطکاک میان پیستون و سیلندر را کاهش دهیم .
- ۲- با عایق بندی مناسب، می توانیم تا حد امکان از اتلاف گرمای کوره جلوگیری کنیم.
- ۳- دمای منبع گرم را افزایش و دمای منبع سرد را کاهش دهیم .

تمرین:

یک ماشین گرمایی در هر چرخه  $10000 \text{ J}$  گرما از منبع گرم دریافت می کند و  $4000 \text{ J}$  گرما به منبع سرد می دهد. الف) در هر چرخه چه مقدار کار بر روی محیط انجام می شود؟  
ب) بازده این ماشین چقدر است؟

پاسخ

$$\eta = .6$$

$$Q_H = |W| + |Q_L| \Rightarrow |W| = 10000 - 4000 = 6000 \text{ J}$$

$$\eta = \frac{|W|}{Q_H} \Rightarrow \eta = \frac{6000}{10000} = .6 = 60\%$$

$$Q_H = 10000 \text{ J}$$

$$|Q_L| = 4000 \text{ J}$$

$$W = ?$$

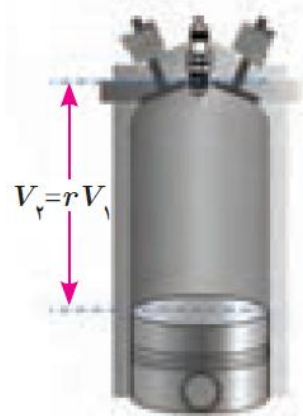
$$\eta = ?$$



## چند نکته:

در عمل ممکن نیست در ماشین های بنزینی معمولی به نسبت تراکم بالاتر از ۱۰ و برای ماشینهای بنزینی مدرن تا حدود ۱۴ دست یافت زیرا مخلوط سوخت و هوا چنان گرم می شود که پیش از جرقه زدن شمع، آتش می گیرد

نسبت تراکم در ماشین دیزل حتی تا مقدار ۲۳ می رسد و هوا تا حدود  $600^{\circ}\text{C}$  گرم می شود. در پایان تراکم (بی دررو)، سوخت مایع به درون سیلندر پاشیده می شود.

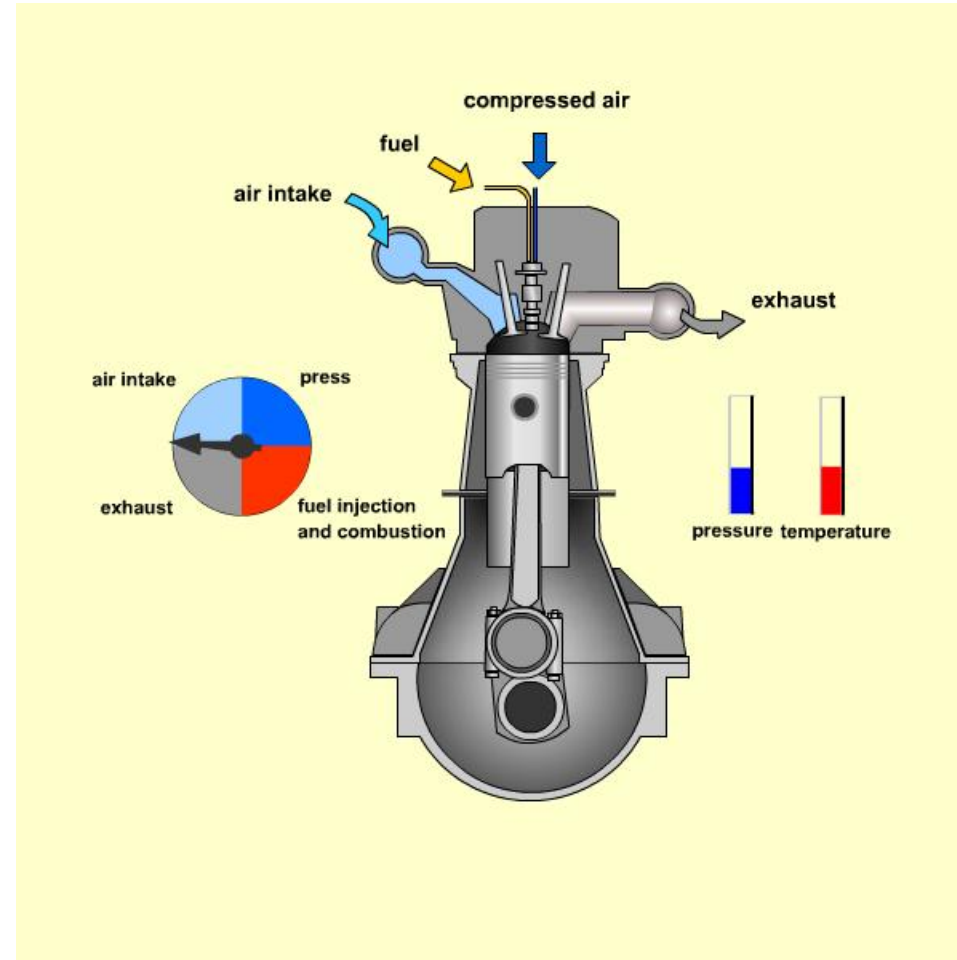


مرحله ی شروع تراکم

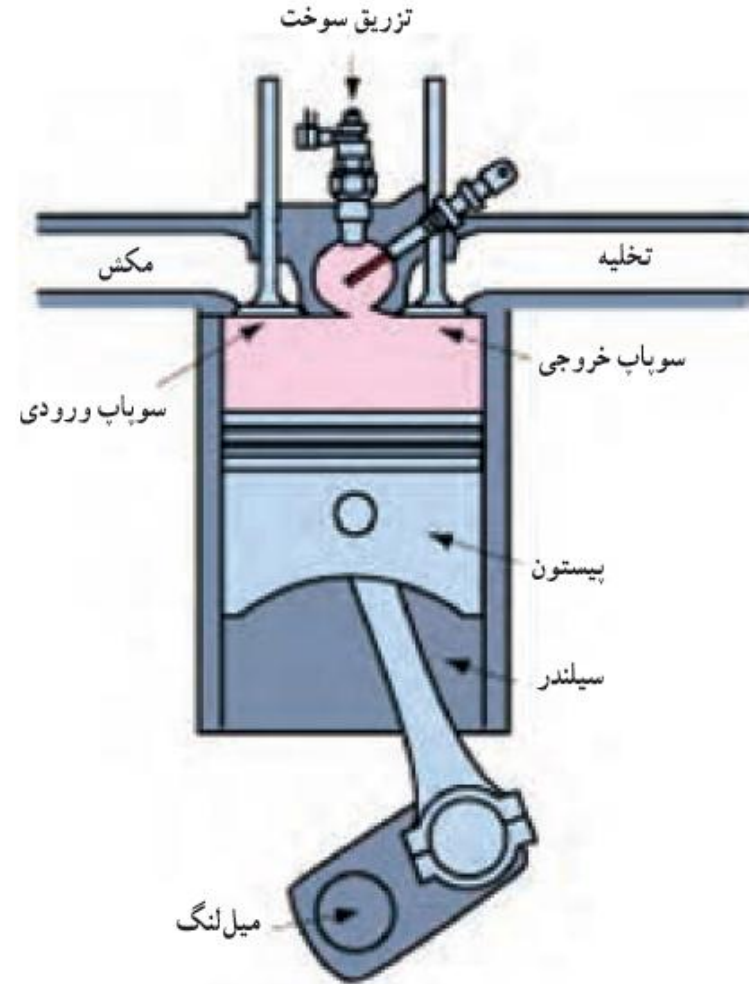
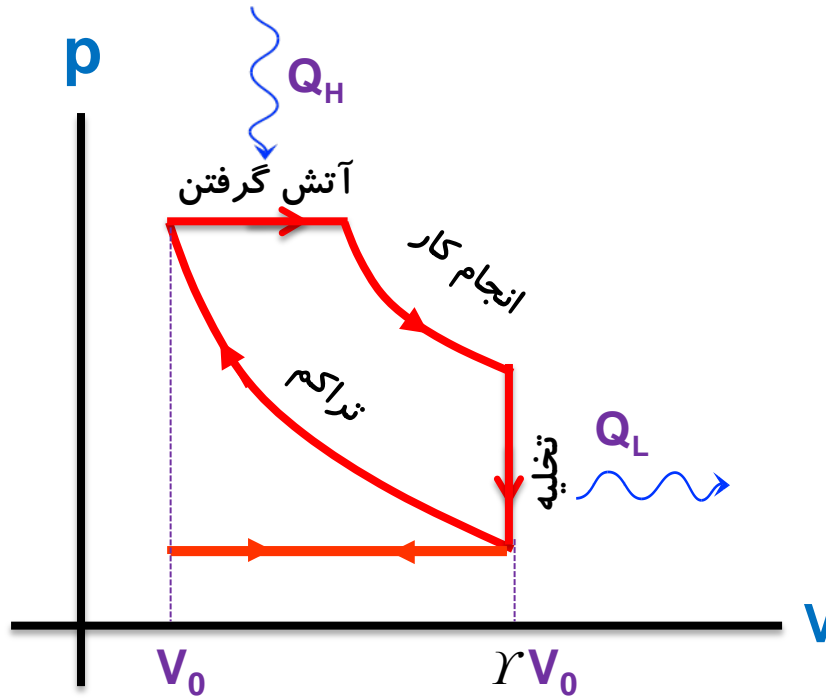


مرحله ی آتش گرفتن

## انیمیشن چرخه ی کریستین کارل دیزل:



# چرخه ی کریستین کارل دیزل:



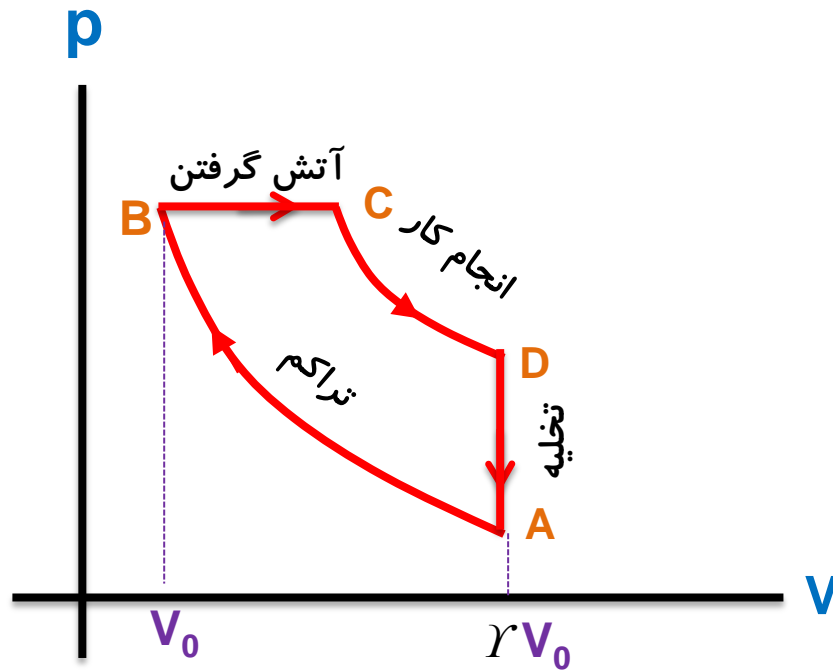
## چرخه ی دیزل:

از A تا B - (فرآیند تراکم بی دررو) فقط هوا متراکم می شود تا اینکه دما به قدر کافی بالا رود. در این مرحله سوختی در سیلندر نیست.

از B تا C - (فرآیند هم فشار) میزان پاشیده شدن گازوئیل طوری تنظیم می شود که در حین احتراق پیستون به سمت خارج حرکت کند

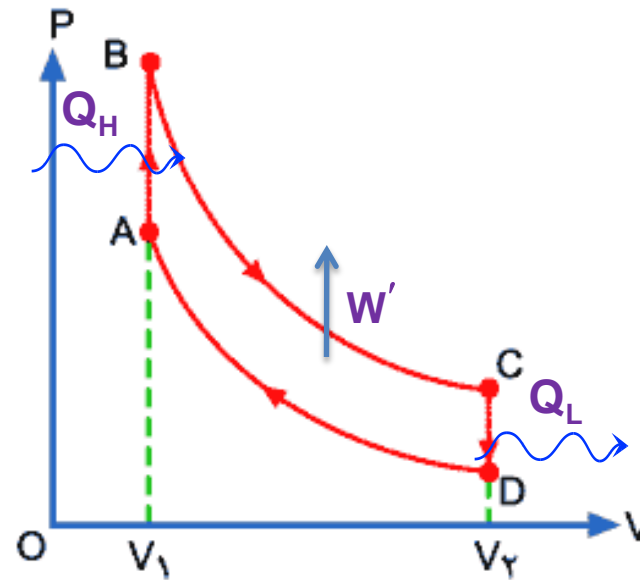
از C تا D - (فرآیند انبساط بی دررو) ضربه قدرت

از D تا A - (فرآیند هم حجم) خروج گاز از دریچه



نکته:

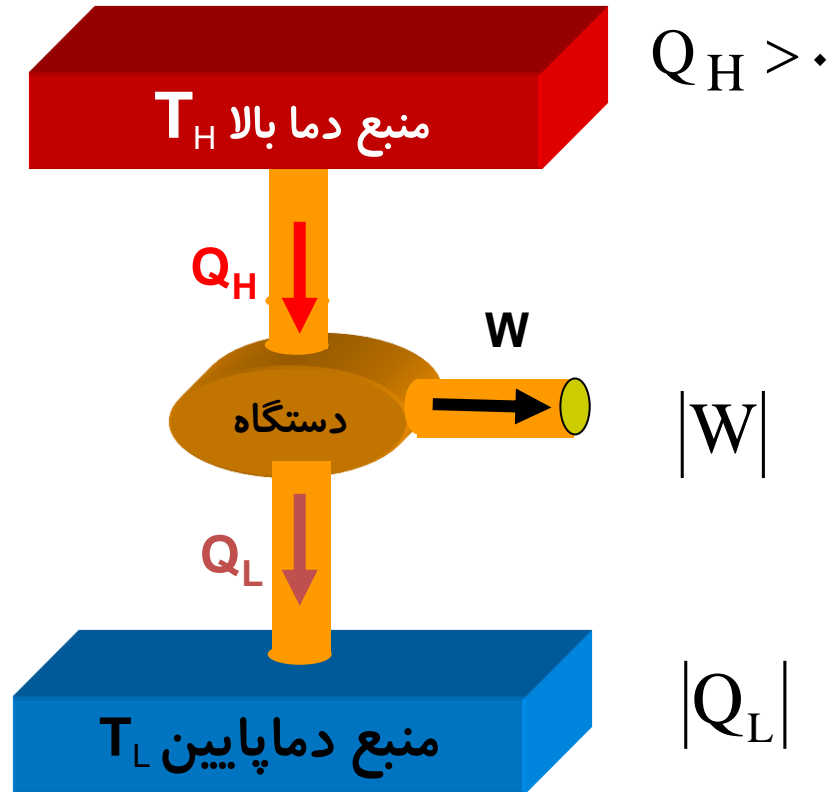
چرخه‌ی ماشین‌های گرمایی در نمودار  $P-V$  ، ساعتگرد است



نکته:

هر ماشین گرمایی بخشی از انرژی گرمایی دریافتی از منبع گرم را به کار تبدیل می کند و بقیه را به منبع سرد پس می دهد.

ماشین گرمایی نمی تواند تمام انرژی گرمایی دریافتی را به کار تبدیل کند.



## قانون دوم ترمودینامیک (به بیان ماشین گرمایی)

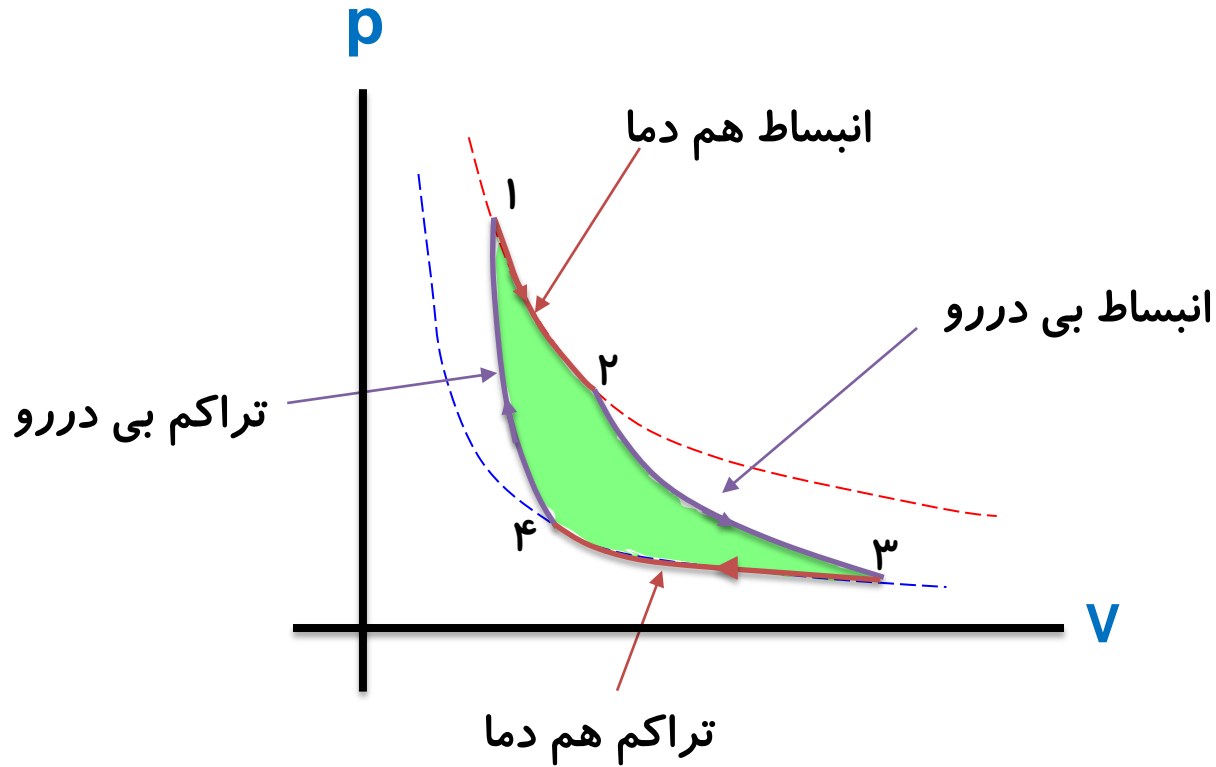
ممکن نیست دستگاه چرخه ای را ببینیم که در طی آن مقداری گرما را از منبع دما بالا جذب و تمام آن را به کار تبدیل کند.

یعنی ممکن نیست بازده یک ماشین گرمایی برابر یک (۱۰۰ درصد) شود.

$$\eta = \frac{|W|}{Q_H} \rightarrow \eta \neq 1 \quad \text{یا} \quad Q_L \neq 0$$

## چرخه‌ی کارنو

چرخه‌ی کارنو از دو فرآیند هم‌دما و دو فرآیند بی‌دررو تشکیل شده است.  
قدر مطلق کار انجام شده توسط دستگاه سطح داخل منحنی می‌باشد.





## چرخه‌ی کارنو

آقای کارنو یک ماشین گرمایی فرضی طراحی کرد که بازده آن بیشینه است. این ماشین فرضی را **ماشین کارنو** و چرخه‌ای را که ماشین بر اساس آن کار می‌کند **چرخه کارنو** می‌نامند.

$$\eta = 1 - \frac{|Q_L|}{Q_H}$$

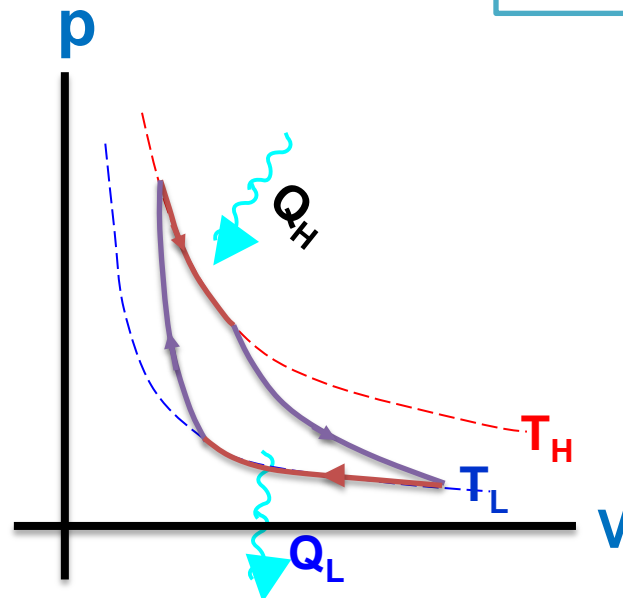


$$\eta_{\max} = 1 - \frac{T_L}{T_H}$$

$$\eta \leq \eta_{\text{کارنو}}$$

دمای مطلق منبع دما پایین

دمای مطلق منبع دما بالا

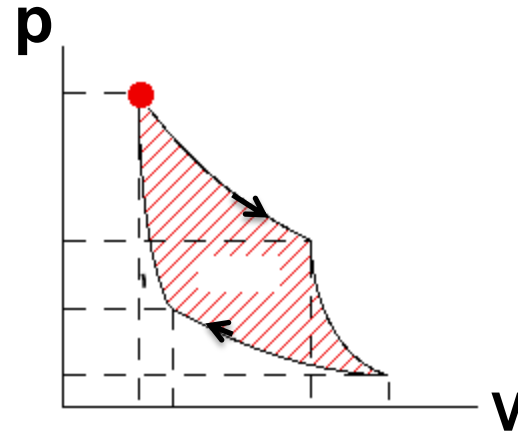
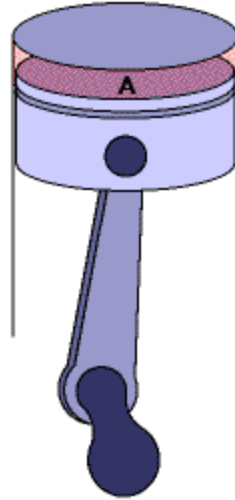


پرسش:

این چرخه چه نام دارد و از چه فرایندهایی تشکیل شده است؟

پاسخ

چرخه‌ی کارنو از دو فرآیند هم‌دما و دو فرآیند بی‌دررو تشکیل شده است.



تمرین:

مخترعی مدعی است ماشینی ساخته که بین نقطه های جوش و انجماد آب کار می کند و بازده آن ۷۰ درصد است. آیا ادعای این مخترع می تواند درست باشد؟ توضیح دهید.

پاسخ

خیر

$$\theta_H = 100^\circ\text{C} \Rightarrow T_H = 100 + 273 = 373\text{K}$$

$$\theta_L = 0^\circ\text{C} \Rightarrow T_L = 273 + 0 = 273\text{K}$$

$$\eta_{\max} = ? \Rightarrow \eta_{\max} = 1 - \frac{T_L}{T_H} \Rightarrow \eta_{\max} = 1 - \frac{273}{373} \Rightarrow \eta_{\max} = 1 - 0.73 \Rightarrow \eta_{\max} = 0.27$$

بنابراین، بازده ماشین کارنو ۲۷٪ است و ادعای مخترع درست نیست؛ زیرا بازده ماشین او از بیشترین بازده (ماشین فرضی کارنو) بیشتر است.

تست:

در یک ماشین گرمایی، ماده کاری با دمای مطلق  $1575\text{K}$  وارد ماشین می‌گردد. اگر دمای آن در چگالنده  $42^\circ\text{C}$  باشد، بیشترین بازده ممکنه این ماشین چقدر است؟

۰ / ۲ (۴)

۰ / ۴ (۳)

۰ / ۸۳ (۲)

۰ / ۸۰ (۱)

پاسخ

گزینه ۱ صحیح است.

$$T_H = 1575\text{K}$$

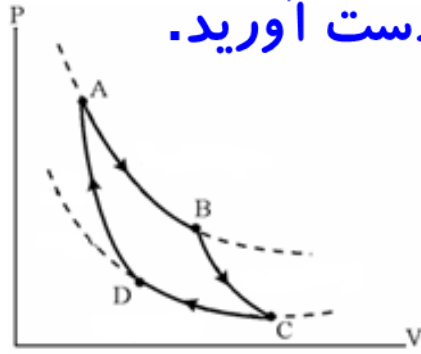
$$\theta_L = 42^\circ\text{C} \rightarrow T_L = 273 + 42 = 315\text{K}$$

$$\eta_{\max} = ? \rightarrow \eta_{\max} = 1 - \frac{T_L}{T_H} \rightarrow \eta_{\max} = 1 - \frac{315}{1575} \rightarrow \eta_{\max} = 1 - \frac{1}{5} \rightarrow \eta_{\max} = 1 - .2$$

$$\eta_{\max} = .80$$

تمرین:

اختلاف دمای بین دو منبع سرد و گرم در یک ماشین کارنو  $360^{\circ}\text{C}$  و بازده این ماشین  $60\%$  است. دمای منبع های سرد و گرم این ماشین را بر حسب کلوین به دست آورید.



پاسخ

$$T_H = 600 \text{ K}$$

$$T_L = 240 \text{ K}$$

$$\left. \begin{array}{l} \Delta T = 360 \text{ K} \quad \eta_{\max} = 1 - \frac{T_L}{T_H} \rightarrow .6 = 1 - \frac{T_L}{T_H} \rightarrow \frac{T_L}{T_H} = .4 \rightarrow T_L = .4 T_H \\ \eta_{\max} = .6 \end{array} \right\} \begin{array}{l} T_H - T_L = 360 \end{array}$$

$$T_H = ?$$

$$T_H - .4 T_H = 360 \rightarrow .6 T_H = 360 \rightarrow T_H = 600 \text{ K} \rightarrow$$

$$T_L = ?$$

$$T_L = .4 \times 600 = 240 \text{ K}$$

تمرین:

یک ماشین گرمایی در هر چرخه،  $4000 \text{ J}$  گرما را از منبع گرم دریافت و  $1500 \text{ J}$  کار روی محیط انجام می‌دهد. الف) این ماشین در هر چرخه چند ژول گرما به منبع سرد می‌دهد؟ ب) بازدهی گرمایی این ماشین را حساب کنید.

پاسخ

$$|Q_L| = 2500 \text{ J}$$

$$\eta = . / 375$$

(الف)

$$Q_H = 4000 \text{ J}$$

$$|W| = 1500 \text{ J}$$

$$|Q_L| = ?$$

$$\eta = ?$$

$$|W| = Q_H - |Q_L| \rightarrow |Q_L| = 4000 - 1500 = 2500 \text{ J}$$

(ب)

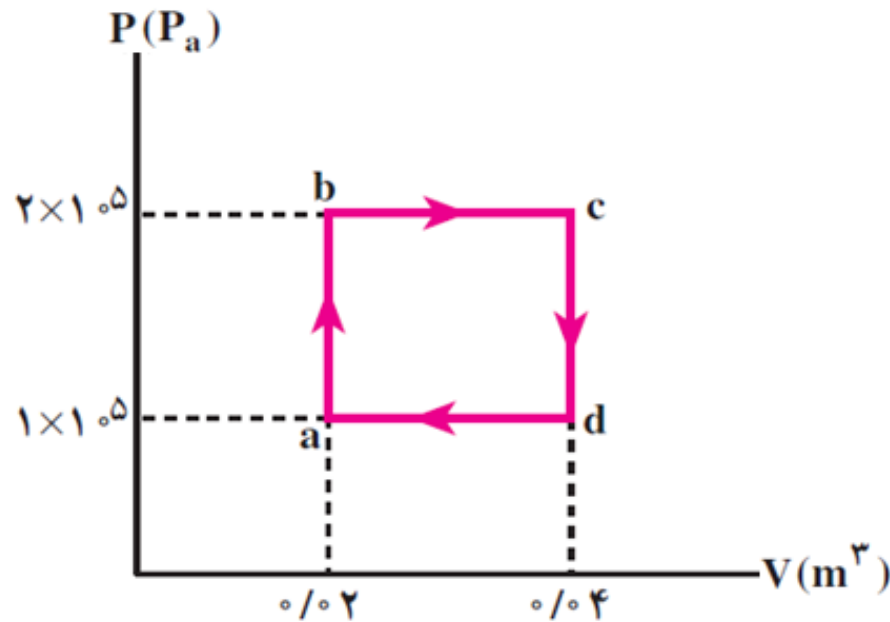
$$\eta = \frac{|W|}{Q_H} \rightarrow \eta = \frac{1500}{4000} = . / 375 = 37/5 \%$$

تمرین:

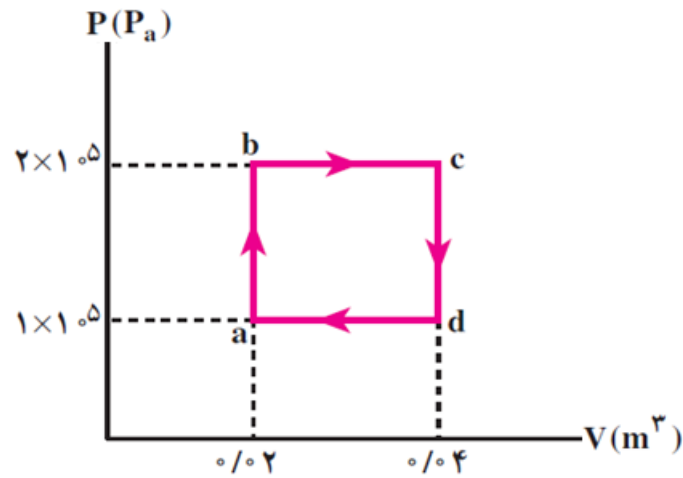
بازدهی یک ماشین گرمایی کارنو که بین بالاترین و پایین ترین دمای چرخه

عمل می کند، چقدر است؟ (یک مول گاز تک اتمی)  $R \approx 8 \text{ J/mol.k}$

پاسخ

 $\eta = 75\%$ 

پاسخ: بالاترین دمای این چرخه مربوط به حالت c و پایین ترین آن مربوط به a است:



$$T_H = \frac{P_c V_c}{nR} = \frac{2 \times 10^5 \times . / .04}{1 \times 8} = 1000 \text{ K}$$

$$T_L = \frac{P_a V_a}{nR} = \frac{1 \times 10^5 \times . / .02}{1 \times 8} = 250 \text{ K}$$

$$\eta_{\max} = 1 - \frac{T_L}{T_H} = 1 - \frac{250}{1000} = . / 75 = 75\%$$



تمرین:

بازده یک ماشین گرمایی ۲۰٪ است. در هر چرخه چند کیلوژول گرما به منبع با دمای پایین می‌دهد، در صورتی که در هر چرخه ۱۰۰ کیلوژول گرما از منبع با دمای بالا کند؟

پاسخ

$$|Q_L| = 80 \text{ KJ}$$

$$\eta = .2$$

$$\eta = \frac{|W|}{Q_H} \rightarrow |W| = .2 \times 100 = 20 \text{ KJ}$$

$$|Q_L| = ?$$

$$|W| = Q_H - |Q_L| \rightarrow |Q_L| = 100 - 20 = 80 \text{ KJ}$$

$$Q_H = 100 \text{ KJ}$$

تست:

ماشین گرمایی که در هر چرخه ۹ KJ و ۶ KJ به ترتیب کار می‌دهد و گرما تلف می‌کند. بازده گرمایی آن کدام است؟

۱۴) ۳۴٪

۱۳) ۶۶٪

۱۲) ۴۰٪

۱) ۶۰٪

پاسخ

گزینه ۱ صحیح است.

$$\begin{cases} |W| = 9 \text{ KJ} \\ |Q_L| = 6 \text{ KJ} \\ \eta = ? \end{cases}$$

$$|W| = Q_H - |Q_L| \rightarrow 9 = Q_H - 6 \rightarrow Q_H = 15 \text{ KJ}$$

$$\eta = \frac{|W|}{Q_H} \rightarrow \eta = \frac{9}{15} \approx \frac{9}{15} = 60\%$$

تست:

اگر در یک ماشین گرمایی بین دو چشمه با دماهای  $200\text{K}$  و  $500\text{K}$  کار کند، بیشترین بازده آن چند درصد است؟

۲۰ (۴)

۸۰ (۳)

۶۰ (۲)

۴۰ (۱)

پاسخ

گزینه ۲ صحیح است.

بیشترین بازده مربوط به زمانی است که با چرخه کارنو کار می‌کند:

$$\left\{ \begin{array}{l} T_L = 200 \text{ k} \\ T_H = 500 \text{ k} \\ \eta_{\max} = ? \end{array} \right. \quad \eta_{\max} = 1 - \frac{T_L}{T_H} \Rightarrow \eta_{\max} = 1 - \frac{200}{500} \Rightarrow \eta_{\max} = 1 - .4 = .6 = 60\%$$

# موضوع: یخچال



برگشت

قبلی

بعدی

خروج

پرسش:

## اشکال تصویر زیر چیست؟

پاسخ

انتقال گرما، خودبه خود از جسم سرد به جسم گرم انجام نمی گیرد، مگر این که بر روی دستگاه مورد نظر کاری صورت پذیرد



پرسش:

آیا امکان دارد یک لیوان آب در اتاق خود به خود سردتر شود؟  
چگونه این کار امکان پذیر می شود؟

پاسخ

گرما خود به خود از آب به اتاق منتقل نمی شود ولی وقتی که آب را درون یخچال قرار می دهیم یخچال با صرف انرژی، مقداری گرما را از آب می گیرد و به هوای اتاق منتقل می کند.



## بیان قانون دوم ترمودینامیک (به بیان یخچالی)

ممکن نیست گرما به طور خودبه خود از جسم با دمای پایین تر به جسم با دمای بالاتر منتقل شود.  $W \neq 0$ .



# ساختمان یخچال

## سردسازی به وسیله دستگاه (گاز فریون)

شیر خفقانشی

مایع پر فشار هنگام عبور از شیر به شدت سرد می شود

قسمت یخ ساز

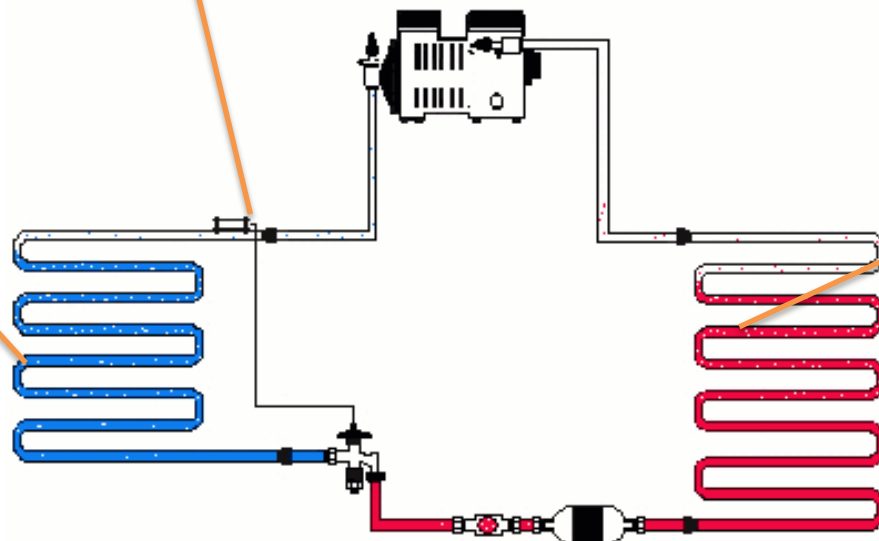
فریون مایع سرد گرمای گیرد و به بخار تبدیل می شود

شبکه پشت یخچال

فریون مایع داغ گرما از دست می دهد

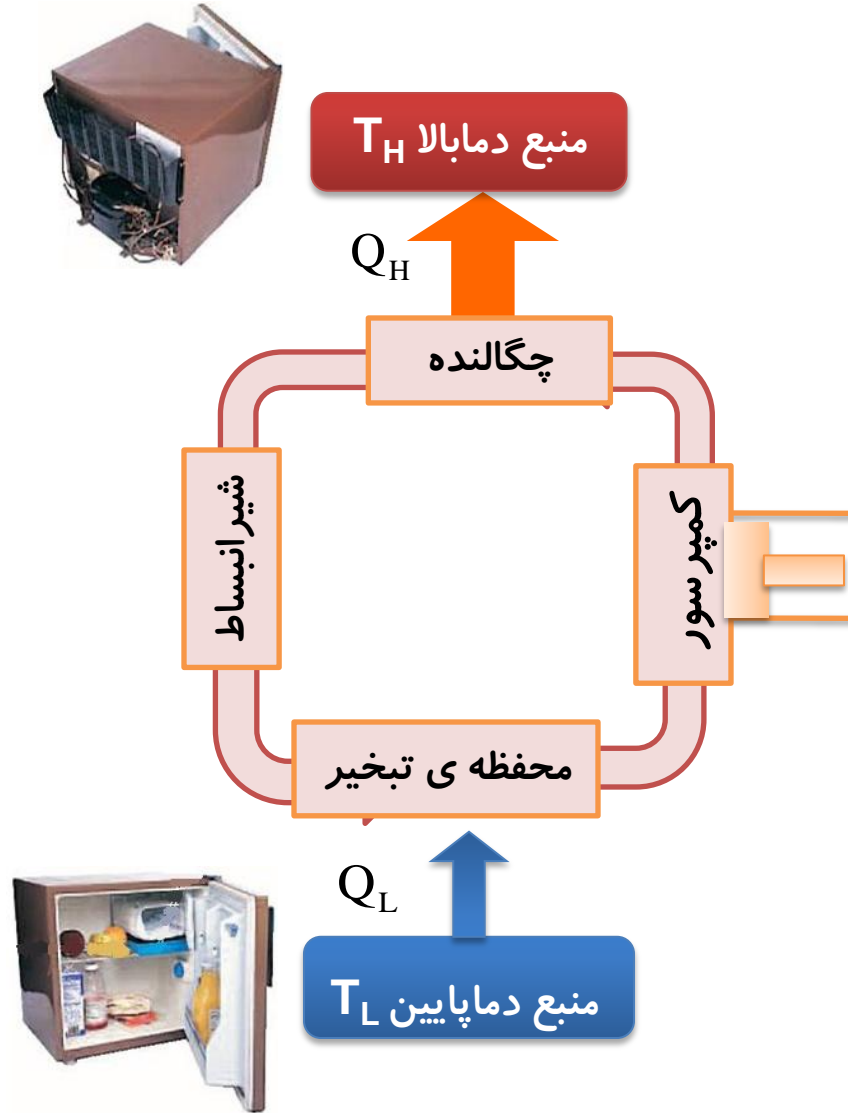
گاز را فشرده و تبدیل به مایع داغ می کند

موتور یخچال



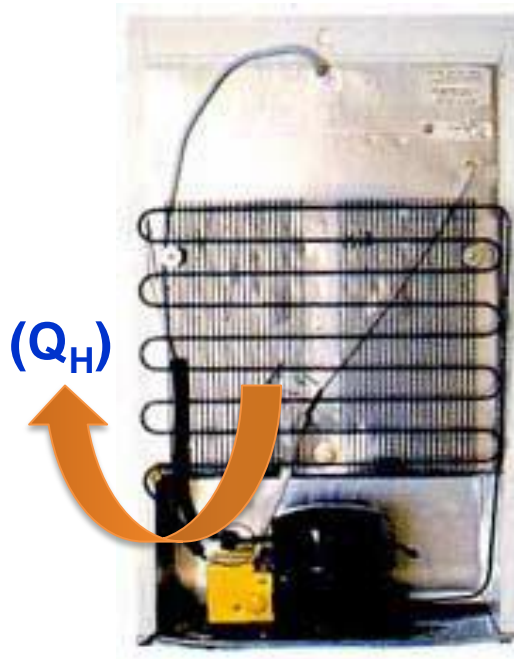


# سازو کار یخچال



## اصول کار یخچال

این است که باید از جسمی که درون آن گذاشته ایم مقداری گرما بگیرد ( $Q_L$ ) و سپس با انجام مقداری کار  $W$  (که همان کار موتور یخچال است) مقدار گرمای گرفته شده را به منبع دما بالا بدهد ( $Q_H$ ).

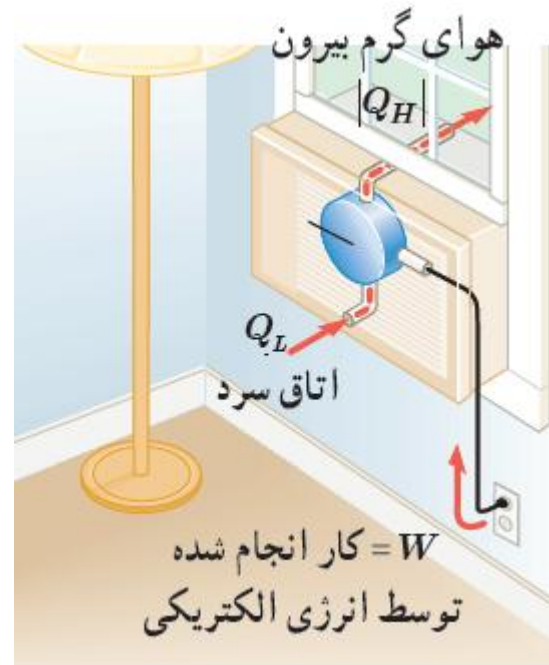


( $Q_L$ )



## طرز کار کولر گازی

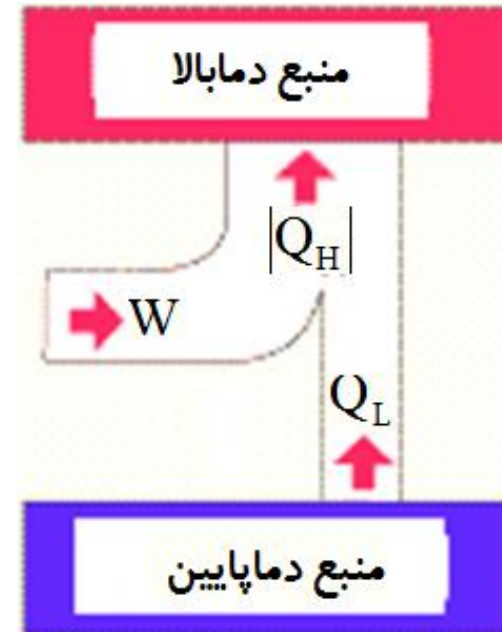
مانند یخچال است. در کولر گازی منبع دما پایین **هوای اتاق** و منبع دما بالا **هوای بیرون** است. کولر با انجام کار، گرما را از داخل اتاق می گیرد و به هوای بیرون می دهد.



## تعریف ضریب عملکرد یخچال K

نسبت گرمای گرفته شده از منبع دما پایین  $Q_L$  به کاری که موتور یخچال  $W$  انجام می دهد.

$$k = \frac{Q_L}{W}$$

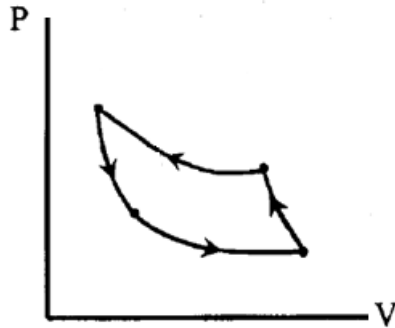


## چند نکته مهم:

۱- هرچه ضریب عملکرد یخچال  $K$  بیشتر باشد استفاده از آن مقرون به صرفه تر است.

۲- ضریب عملکرد یک یخچال خانگی در حدود ۵ و برای کولرهای گازی در حدود  $2/5$  است.

۳- چرخه یخچال در نمودار  $P-V$  پادساعتگرد است



پرسش:

## از نظر اقتصادی بهترین یخچال، چه یخچالی است؟

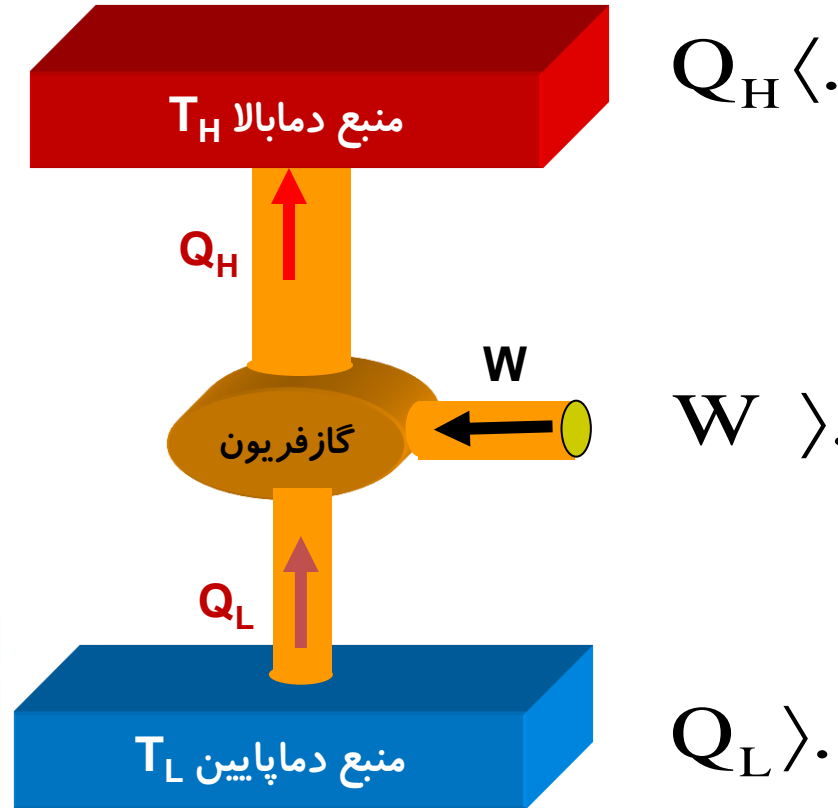
پاسخ

یخچالی است که با انجام **کار کمتر** (مصرف برق کمتر) **گرمای** بیشتری را از درون یخچال (منبع دما پایین می گیرد) به بیرون یخچال (منبع دما بالا) منتقل کند.



## علامت کار و گرمای مبادله شده در یخچال

**یخچال:** نوعی ماشین گرمایی است که در جهت وارون کار می کند.



## قانون اول ترمودینامیک برای یخچال

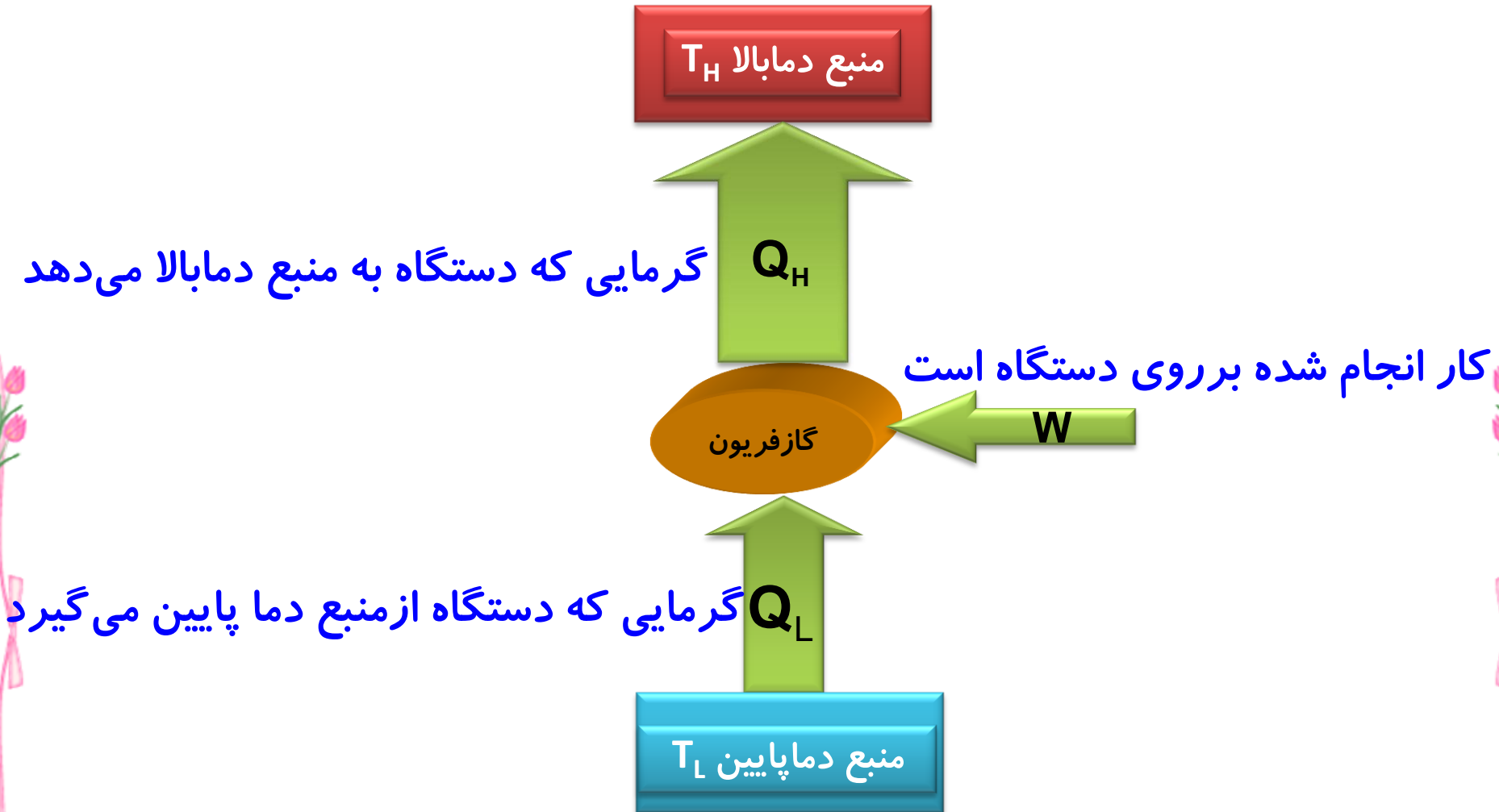
چون یخچال یک چرخه را تکرار می کند، در هر چرخه  $\Delta U = 0$  است، داریم:

$$\Delta U = Q + W \quad \left\{ \begin{array}{l} \Delta U = 0 \\ Q = Q_L - |Q_H| \end{array} \right. \quad \rightarrow \quad 0 = Q_L - |Q_H| + W \quad \rightarrow \quad |Q_H| = Q_L + W$$



# فرمول قانون اول ترمودینامیک برای یخچال

$$|Q_H| = Q_L + W$$



## رابطه ضریب عملکرد یخچالهای آرمانی با قانون اول ترمودینامیک

$$|Q_H| = Q_L + W \quad \rightarrow \quad W = |Q_H| - Q_L \quad \left. \begin{array}{l} k = \frac{Q_L}{W} \\ k = \frac{Q_L}{|Q_H| - Q_L} \end{array} \right\}$$

## ضریب عملکرد یخچال کارنو

بیشترین ضریب عملکرد یخچال را ضریب عملکرد یخچال کارنو می گویند که از رابطه زیر به دست می آید.

$$k_{\text{کارنو}} = \frac{T_L}{T_H - T_L}$$

دمای مطلق منبع دما پایین

دمای مطلق منبع دما بالا

نکته:

ضریب عملکرد هر یخچال دیگری نمی تواند از ضریب عملکرد یخچال کارنو بیشتر باشد

$$k \leq k_{\text{کارنو}}$$

پرسش ۳-۵:

با فرض آنکه بتوان ضریب عملکرد یک یخچال را با ضریب عملکرد یخچال کارنو توصیف کرد، به گمان شما یک کولر گازی در آب و هوای معتدل بهتر کار می کند، یا در آب و هوای گرم؟

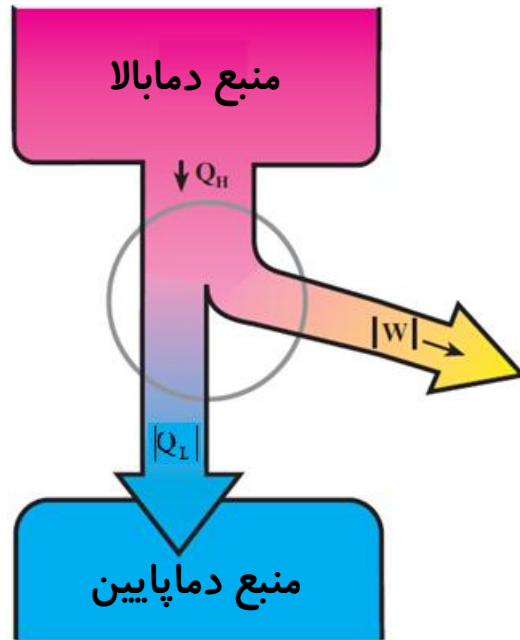
پاسخ:

باتوجه به رابطه ضریب عملکرد یخچال کارنو  $K = \frac{T_L}{T_H - T_L}$  هرچه دمای دو منبع گرما به یکدیگر نزدیکتر باشد (یعنی هرچه  $T_H - T_L$  کوچک تر باشد) مقدار  $K$  بیشتر است. بنابراین نتیجه می گیریم کولر گازی در آب و هوای معتدل که اختلاف دمای دو منبع در آن کمتر از اختلاف دمای درون و بیرون خانه در هوای گرم است، بهتر عمل می کند.

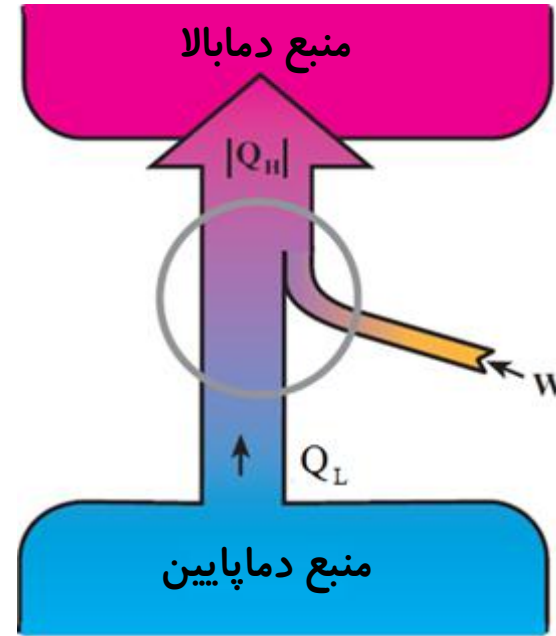
پرسش:

## فرق ماشین گرمایی با یخچال چیست؟

پاسخ



$$Q_H = |Q_L| + |W|$$

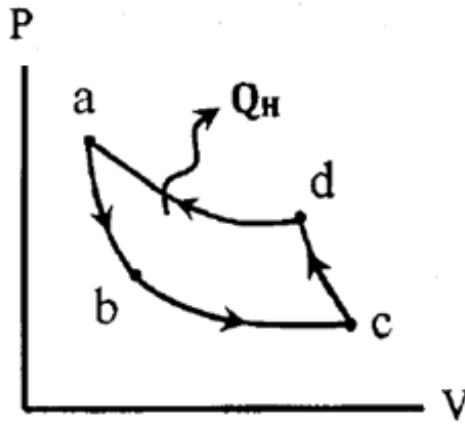


$$|Q_H| = Q_L + W$$

تمرین:

شکل زیر نمودار P-V ی چرخه ای که دستگاه در یک یخچال فرضی طی می کند نشان می دهد. (الف) اگر مساحت داخل چرخه ۲ kJ باشد و گرمایی که در هر چرخه دستگاه به محیط می دهد ۸ kJ باشد، دستگاه در هر چرخه چه مقدار گرما از منبع سرد می گیرد؟

(ب) ضریب عملکرد یخچال را محاسبه کنید.



پاسخ

bc

$$|Q_c| = 6 \text{ KJ}$$

$$k = 3$$

$$W = 2 \text{ KJ}$$

$$|Q_H| = 8 \text{ KJ}$$

$$Q_L = ?$$

$$k = ?$$

$$|Q_H| = Q_L + W \rightarrow 8 = |Q_L| + 2 \rightarrow |Q_L| = 6 \text{ KJ}$$

$$k = \frac{Q_L}{W} \rightarrow k = \frac{6}{2} = 3$$

پرسش:

چگونه می توان نشان داد که دو بیان ماشین گرمایی و یخچالی قانون دوم ترمودینامیک معادل یکدیگرند؟

پاسخ

اگر قانون دوم به بیان یخچالی نقض شود (یعنی گرما به طور خودبه خود از منبع دما پایین به منبع دما بالا منتقل شود) قانون دوم به بیان ماشین گرمایی نیز نقض می شود (یعنی می توان ماشینی ساخت که در یک چرخه تمام گرما را به کار تبدیل کند) و بر عکس .



پرسش:

آیا می توان با باز گذاشتن در یخچال در آشپزخانه، هوای آشپزخانه را خنک کرد؟

پاسخ

خیر یخچال گرمای  $Q_L$  را از فضای اتاق با مصرف انرژی الکتریکی  $W$  می گیرد و گرمای  $Q_H = Q_L + W$  را به محیط یعنی اتاق می دهد و چون  $Q_H$  بزرگتر از  $Q_L$  است اتاق گرمتر می شود





## فرمولهای یخچال

$$\begin{cases} k = \frac{Q_L}{W} \\ W = Pt \end{cases}$$



$$k = \frac{Q_L}{Pt}$$

$$\begin{cases} k = \frac{Q_L}{W} \\ |Q_H| = Q_L + W \end{cases}$$



$$k = \frac{Q_L}{|Q_H| - Q_L}$$

پرسش:

## چگونه می توان ضریب عملکرد یخچال را افزایش داد؟

پاسخ

اگر دمای منبع دما پایین کم باشد با انجام کار  $W$  کمتری می توان  $Q_H$  را به منبع دما بالا داد.

$$k = \frac{Q_L}{W}$$

۱- پشت یخچال پنکه ای مخصوص برای خنک کردن موتور گذاشت.

۳- یخچال را کنار اجاق گاز قرار ندهیم.

۲- فاصله ی یخچال تا دیوار حداقل  $20\text{ cm}$  باشد.

۴- نوار در یخچال (عایق بندی) مناسب باشد تا یخچال با انجام کار کمتری، بتواند مواد غذایی را خنک نگه دارد.

## قانون های ترمودینامیک

### به بیان ماشین گرمایی

$$Q_H = |Q_L| + |W| \text{ : قانون اول ترمودینامیک}$$

$$Q_L \neq 0 \text{ یا } \eta \neq 1 \text{ : قانون دوم ترمودینامیک}$$

ممکن نیست دستگاه چرخه ای را ببینیم که در طی آن مقداری گرما را از منبع دمابالا جذب و تمام آن را به کار تبدیل کند.

### به بیان یخچال

$$|Q_H| = Q_L + W \text{ : قانون اول ترمودینامیک}$$

$$W \neq 0 \text{ : قانون دوم ترمودینامیک}$$

ممکن نیست گرما به طور خودبه خود از جسم با دمای پایین تر به جسم با دمای بالاتر منتقل شود.

تمرین:

یک یخچال با موتور الکتریکی به توان  $1/1 \text{ kW}$ ، در مدت  $100$  ثانیه، مقدار  $5 \text{ kg}$  آب  $25^\circ \text{C}$  را به یخ صفر درجه تبدیل می کند. ضریب عملکرد یخچال را به دست آورید.

$$L_F = 335 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}, \quad c = 4200 \frac{\text{J}}{\text{kg.K}}$$

پاسخ

$$k = 2$$

پاسخ

گرمایی که گاز فریون باید از آب بگیرد، برابر است با:

یخ  $0^{\circ}\text{C} \Rightarrow$  آب  $0^{\circ}\text{C} \Rightarrow$  آب  $25^{\circ}\text{C}$

$$P = 110 \cdot \text{W}$$

$$t = 1 \cdot \text{s}$$

$$m = . / 5 \text{ kg}$$

$$\theta_1 = 25^{\circ}\text{C}$$

$$\theta_2 = 0^{\circ}\text{C}$$

$$k = ?$$

$$C = 4200 \cdot \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$$

$$L_F = 335 \times 10^3 \cdot \frac{\text{J}}{\text{kg}}$$

$$Q_L = |mc\Delta\theta| + |mL_F|$$

$$Q_L = |. / 5 \times 4200 \times (0 - 25)| + |. / 5 \times 335 \times 10^3| = 2 / 2 \times 10^5 \text{ J}$$

$$W = Pt \rightarrow W = 110 \cdot 100 = 1 / 1 \times 10^5 \text{ J}$$

$$k = \frac{Q_L}{W} \rightarrow k = \frac{2 / 2 \times 10^5}{1 / 1 \times 10^5} = 2$$

تست:

توان موتور یک یخچال ۱۰۰ وات و ضریب عملکرد آن ۲ است. چند ثانیه طول می کشد تا این یخچال از مقداری آب ۲۰۰ KJ گرما بگیرد؟

۱۰<sup>۴</sup> (۴)

۱۰<sup>۳</sup> (۳)

۱۰ (۲)

۱ (۱)

پاسخ

گزینه ۳ صحیح است.

$$\left. \begin{array}{l} P = 100 \text{ W} \\ k = 2 \\ t = ? \\ Q_L = 200 \text{ KJ} \end{array} \right\} \left. \begin{array}{l} k = \frac{Q_L}{W} \\ W = Pt \end{array} \right\} k = \frac{Q_L}{Pt} \rightarrow t = \frac{Q_L}{Pk} \rightarrow t = \frac{200 \times 10^3}{100 \times 2} \rightarrow t = 10^3 \text{ S}$$

تست:

ضریب عملکرد یک یخچال ۴ است و در هر ساعت ۱ kg آب بدمای  $20^{\circ}\text{C}$  را به یخ  $10^{\circ}\text{C}$  تبدیل می کند. مقدار انرژی الکتریکی مصرف شده در هر ساعت چند کیلوژول است؟  
(یخ  $2 \text{ KJ/kg}^{\circ}\text{C}$  و آب  $4 \text{ KJ/Kg}^{\circ}\text{C}$  و  $L_f = 340 \text{ KJ/kg}$ )

۱۱۰ (۴)

۵۵ (۳)

۲۲۰ (۲)

۱ (۱)

پاسخ

گزینه ۴ صحیح است.

یخ  $10^{\circ}\text{C}$   $\Rightarrow$  یخ  $0^{\circ}\text{C}$   $\Rightarrow$  آب  $0^{\circ}\text{C}$   $\Rightarrow$  آب  $20^{\circ}\text{C}$

$$Q_L = |mc\Delta\theta|_{\text{آب}} + |mL_F| + |mc\Delta\theta|_{\text{یخ}}$$

$$Q_L = |1 \times 4 \times 20| + |1 \times 340| + |1 \times 2 \times 10|$$

$$Q_L = 80 + 340 + 20 = 440 \text{ KJ}$$

$$k = \frac{Q_L}{W} \rightarrow 4 = \frac{440}{W} \rightarrow W = \frac{440}{4} = 110 \text{ KJ}$$

تست:

در یک یخچال می خواهیم  $m$  گرم یخ صفر درجه را به یخ  $10^\circ\text{C}$  - تبدیل کنیم. اگر مقدار کاری که به دستگاه وارد می شود ۵۰۰ ژول و مقدار گرمایی که به محیط بیرون یخچال داده می شود ۱ KJ باشد، جرم یخ چند گرم است؟ (گرمای ویژه یخ  $2 \frac{\text{KJ}}{\text{kg}\cdot\text{c}}$  است.)

۳۰ (۴)

۱۵ (۳)

۲۵ (۲)

۵ (۱)

پاسخ

گزینه ۲ صحیح است.

$$W = 500 \text{ J}$$

$$\Delta\theta = -10^\circ\text{C}$$

$$Q_H = 1000 \text{ J}$$

$$m = ?$$

$$c = 2000 \frac{\text{J}}{\text{kg}\cdot\text{c}}$$

$$|Q_H| = Q_L + W \rightarrow 1000 = Q_L + 500 \rightarrow Q_L = 500 \text{ J}$$

$$Q_L = |mc\Delta\theta| \rightarrow m = \left| \frac{Q_L}{c\Delta\theta} \right| \rightarrow m = \left| \frac{500}{2000 \times (-10)} \right| \rightarrow$$

$$m = 0.025 \text{ kg} = 25 \text{ g}$$



تمرین:

ضریب عملکرد یک یخچال ۵ است. اگر پس از ۵ دقیقه، مقدار  $18 \times 10^5$  ژول گرما از محفظه‌ی یخساز گرفته شود، توان موتور یخچال چند کیلووات است؟

پاسخ

$$P = 1/2 \text{kw}$$

$$k = 5$$

$$t = 5 \text{ min} = 300 \text{ s}$$

$$Q_L = 18 \times 10^5 \text{ J}$$

$$P = ? \text{ kw}$$

$$k = \frac{Q_L}{W}$$

$$W = Pt$$

$$k = \frac{Q_L}{Pt} \rightarrow P = \frac{Q_L}{kt} \rightarrow$$

$$P = \frac{18 \times 10^5}{5 \times 300} \rightarrow P = 1/2 \times 10^3 \text{ w} = 1/2 \text{ kw}$$

تست:

ضریب عملکرد یخچالی ۳ و توان موتور آن ۲۵۰ وات است. این یخچال در چه مدت ۲۵۰ گرم آب صفر درجه سلسیوس را به یخ صفر درجه سلسیوس تبدیل می کند؟

$$L_F = ۳۳۶ \frac{\text{kJ}}{\text{Kg}}$$

۳۳۶ (۴)

۱۱۲ (۳)

۱۱۴ (۲)

۵۶ (۱)

پاسخ

گزینه ۳ صحیح است.

$$k = ۳$$

$$P = ۲۵۰ \cdot W$$

$$t = ?$$

$$m = . / ۲۵ \cdot \text{kg}$$

$$\text{یخ } ۰^\circ\text{C} \Rightarrow \text{آب } ۰^\circ\text{C}$$

$$L_F = ۳۳۶ \times ۱۰^۳ \frac{\text{J}}{\text{Kg}}$$

$$k = \frac{Q_L}{W} \begin{cases} Q_L = mL_F \\ W = Pt \end{cases} \rightarrow k = \frac{mL_F}{Pt} \rightarrow t = \frac{mL_F}{Pk}$$

$$t = \frac{./ ۲۵ \times ۳۳۶ \times ۱۰^۳}{۲۵۰ \times ۳} \rightarrow t = ۱۱۲ \text{ s}$$

تست:

توان یخچالی  $W = 50$  و ضریب عملکرد ۱ است. اگر گرمای نهان ذوب یخ  $300 \text{ KJ/Kg}$  باشد چه مقدار یخ در یک ساعت تولید می کند؟

۶۰۰ (۴)

۵۰۰ (۳)

۴۰۰ (۲)

۲۰۰ (۱)

پاسخ

گزینه ۴ صحیح است.

$$P = 50 \text{ W}$$

$$k = 1$$

$$L_F = 300 \cdot \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}}$$

$$m = ?$$

$$t = 1 \text{ h} = 3600 \text{ s}$$

$$k = \frac{Q_L}{W} \begin{cases} Q_L = mL_F \\ W = Pt \end{cases}$$

$$\rightarrow k = \frac{mL_F}{Pt} \rightarrow m = \frac{Pkt}{L_F}$$

$$m = \frac{50 \times 1 \times 3600}{300,000} \rightarrow m = 0.6 \text{ kg} = 600 \text{ g}$$

تست:

در یک یخچال ضریب عملکرد ۶ می باشد و کاری به اندازه  $1000 \text{ J}$  اروی دستگاه انجام می شود. گرمای داده شده به چشمه گرم چند ژول است؟

۷۵۰ (۴)

۵۰۰۰ (۳)

۷۰۰۰ (۲)

۶۴۰۰ (۱)

پاسخ

گزینه ۲ صحیح است.

$$\left\{ \begin{array}{l} k = 6 \\ W = 1000 \text{ J} \\ Q_H = ? \end{array} \right. \quad k = \frac{Q_L}{W} \rightarrow 6 = \frac{Q_L}{1000} \rightarrow Q_L = 6 \times 1000 = 6000 \text{ J}$$

$$|Q_H| = Q_L + W \rightarrow |Q_H| = 6000 + 1000 = 7000 \text{ J}$$

تست:

یک یخچال که مطابق یخچال کارنو کار می کند در هر دقیقه تکه یخی به جرم ۱۰ گرم و دمای  $0^{\circ}\text{C}$  تولید می کند. دمای آب وارده به یخچال  $0^{\circ}\text{C}$  و دمای هوای اتاق  $27^{\circ}\text{C}$  است. اگر گرمای نهان ذوب یخ  $300 \text{ KJ/Kg}$  باشد، چه توان الکتریکی ورودی مورد نیاز است؟

۱۰۰ (۴)

۵۰ (۳)

۱۵۰ (۲)

۲۵ (۱)

پاسخ

گزینه ۳ صحیح است.

$$t = 1 \text{ min} = 60 \text{ s}$$

$$m = 10 \text{ g} = 10^{-2} \text{ kg}$$

$$\theta = 0^{\circ}\text{C}$$

$$T_H = 2 \times 273 \text{ K}$$

$$L_F = 300 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}}$$

$$P = ?$$

$$Q_L = mL_F \rightarrow Q_L = 10^{-2} \times 300 \times 10^3 = 3000 \text{ J}$$

$$\frac{Q_L}{Q_H} = \frac{T_L}{T_H} \rightarrow \frac{3000}{Q_H} = \frac{273}{2 \times 273} \rightarrow Q_H = 6000 \text{ J}$$

$$P = \frac{W}{t} \rightarrow P = \frac{Q_H - Q_L}{t} \rightarrow P = \frac{6000 - 3000}{60} = 50 \text{ W}$$

تست:

یخچالی با ضریب عملکرد ۵، در مدت ۲۰ ثانیه، ۱۰ KJ گرما از چشمه سردی می گیرد. توان موتور این یخچال چند کیلووات است؟

۱۰ (۴)

۰/۱ (۳)

۱ (۲)

۱۰۰ (۱)

پاسخ

گزینه ۳ صحیح است.

$$k = 5$$

$$t = 20 \text{ s}$$

$$Q_C = 10 \text{ KJ}$$

$$P = ?$$

$$k = \frac{Q_L}{W}$$

$$W = Pt$$

$$k = \frac{Q_L}{Pt}$$

$$\rightarrow P = \frac{Q_L}{kt}$$

$$\rightarrow P = \frac{10}{5 \times 20}$$

$$p = 0.1 \text{ kw}$$

## روابط و فرمولهای این فصل

۹- بازده چرخه‌ی کارنو:

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

۱۰- قانون اول ترمودینامیک (به بیان ماشین گرمایی):

$$Q_H = |Q_L| + |W|$$

۱۱- قانون اول ترمودینامیک (به بیان یخچالی):

$$|Q_H| = Q_L + W$$

۱۲- قانون دوم ترمودینامیک (به بیان ماشین گرمایی):

$$\eta \neq 1 \quad Q_L \neq 0$$

۱۳- قانون دوم ترمودینامیک (به بیان یخچالی):

$$k = \frac{Q_L}{W} = \frac{Q_L}{Pt} \quad \text{۱۴- ضریب عملکرد یخچال:}$$

$$k_{\text{کارنو}} = \frac{T_L}{T_H - T_L} \quad \text{۱۵- ضریب عملکرد یخچال کارنو:}$$

۱- معادله حالت گاز کامل:  $PV = nRT$ 

$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2} \quad \text{۲- معادله نسبی گاز کامل:}$$

۳- کار انجام شده بر روی دستگاه  $W = -P \cdot \Delta V$ ۴- گرمادر فرآیند هم حجم:  $Q_V = nC_V \Delta T$ ۵- گرمادر فرآیند هم فشار:  $Q_p = nC_p \Delta T$ ۶- قانون اول ترمودینامیک:  $\Delta U = Q + W$ 

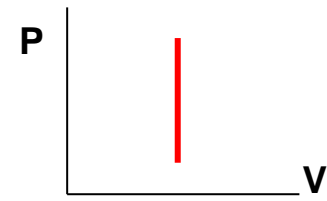
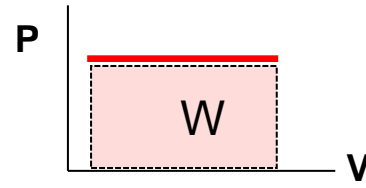
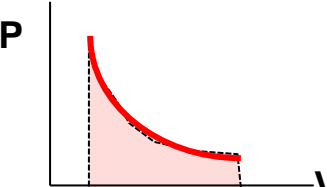
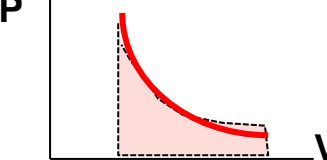
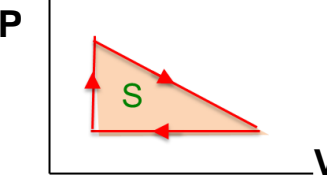
$$\eta = \frac{|W|}{Q_H}$$

$$\eta = 1 - \frac{|Q_L|}{Q_H}$$

۷- بازده ماشین گرمایی:

۸- تغییرانرژی درونی گاز تک اتمی در تمام فرایندها:

$$\Delta U = \frac{3}{2} nR \Delta T = \frac{3}{2} (P_2 V_2 - P_1 V_1)$$

فرایند	محاسبه کار، گرما و انرژی درونی گاز تک اتمی	سطح زیر نمودار $P-V$
هم حجم	$\begin{cases} W = 0 \\ Q_v = nC_v\Delta T \\ \Delta U = \frac{3}{2}nR\Delta T = \frac{3}{2}V\Delta P \end{cases}$	
هم فشار	$\begin{cases} W = -P\Delta V \\ Q_p = nC_p\Delta T \\ \Delta U = \frac{3}{2}nR\Delta T = \frac{3}{2}P\Delta V \end{cases}$	
هم دما	$\begin{cases}  W  = S \\ Q = -W \\ \Delta U = 0 \end{cases}$	
بی دررو	$\begin{cases}  W  = S \\ Q = 0 \\ \Delta U = W = \frac{3}{2}\Delta(PV) \end{cases}$	
چرخه	$\begin{cases}  W  = S \\ Q = -W \\ \Delta U = 0 \end{cases}$	



## شناسنامه ترمودینامیک

نام کمیت	علامت	یکا (SI)
فشار گاز	P	pa (پاسکال)
حجم گاز	V	m <sup>3</sup> (مترمکعب)
مقدار گاز	n	mol (مول)
ثابت گازها	R	J/mol k (ژول برمول کلوین)
دمای گاز	T	k (کلوین)
گرمای مبادله شده بین دستگاه ومحیط	Q	J (ژول)
گرمایی ویژه مولی در حجم ثابت	C <sub>v</sub>	J/mol k (ژول برمول کلوین)
گرمایی ویژه مولی در فشار ثابت	C <sub>p</sub>	J/mol k (ژول برمول کلوین)
بازده	η	-

چفت تبار

تهیه کننده : محمد انصاری تبار

ارتباط تلگرامی : @ansari132

تاریخ تنظیم : فروردین ۱۳۹۶

موفق و پیروز باشید



برگشت

قبلی

بعدی

خروج

1397