

۱- انرژی درونی

به مجموع انرژی ذرات تشکیل دهنده ی ماده انرژی درونی گفته می شود. این انرژی غالباً به صورت گرما ظاهر می شود. باید توجه داشته باشید که انرژی شیمیایی یا ... نیز در ذرات مواد است ولی به آن ها انرژی درونی گفته نمی شود. وقتی توپی در حال حرکت بعد از مدتی متوقف می شود، انرژی جنبشی آن به انرژی درونی تبدیل شده است. وقتی دست های خود را مالش می دهید بعد از مدت کوتاهی احساس گرما می کنید. علت این امر این است که انرژی شما به انرژی درونی تبدیل شده است. اگر به دو ذره با انرژی متفاوت نگاه کنید، مشاهده می کنید که ذره ی دارای انرژی درونی بیشتر، دارای جنب و جوش بیشتری است.

معادله ی حالت گازهای کامل

-۲

برای مقدار معینی گاز کامل (گاز رقیق، با فشار کم که فاصله ی مولکول های آن زیاد است) داریم $PV = nRT$ که در آن P فشار گاز بر حسب پاسکال، V حجم گاز بر حسب مترمکعب، n تعداد مول های گاز، R ثابت عمومی گازها بر حسب ژول بر مول کلوین و T دمای مطلق گاز بر حسب کلوین است. ثابت عمومی گازها برابر $R = 8.314 \text{ J/molK}$ است و تعداد مول های گاز از تقسیم جرم گاز (m) بر جرم مولکولی گاز (M) به دست می آید. مقایسه ی دو گاز کامل در شرایط دلخواه :

$$\begin{cases} PV = nRT \Rightarrow R = \frac{PV}{nT} \\ P'V' = n'RT' \Rightarrow R = \frac{P'V'}{n'T'} \end{cases} \Rightarrow \frac{PV}{nT} = \frac{P'V'}{n'T'}$$

مقایسه ی یک گاز کامل در دو حالت دلخواه :

$$\begin{cases} PV = nRT \Rightarrow nR = \frac{PV}{T} \\ P'V' = nRT' \Rightarrow nR = \frac{P'V'}{T'} \end{cases} \Rightarrow \frac{PV}{T} = \frac{P'V'}{T'}$$

مای درس

گروه آموزشی عصر

www.v-dars.ir



-۳

مخلوط گازهای کامل

فرض کنیم گاز کامل (۱) با فشار P_1 ، حجم V_1 و دمای T_1 با گاز کامل (۲) با فشار P_2 ، حجم V_2 و دمای T_2 مخلوط شوند و یک گاز با فشار P ، حجم V و دمای T تشکیل دهند. تعداد مول‌های گاز حاصل برابر مجموع تعداد مول‌های دو گاز است.

$$\begin{cases} n = n_1 + n_2 \\ n = \frac{PV}{RT} \text{ و } n_1 = \frac{P_1 V_1}{RT_1} \text{ و } n_2 = \frac{P_2 V_2}{RT_2} \Rightarrow \frac{PV}{RT} = \frac{P_1 V_1}{RT_1} + \frac{P_2 V_2}{RT_2} \end{cases}$$

$$\Rightarrow \frac{PV}{T} = \frac{P_1 V_1}{T_1} + \frac{P_2 V_2}{T_2}$$

مخلوط گازهای کامل در دمای ثابت :

$$\Rightarrow PV = P_1 V_1 + P_2 V_2$$

مخلوط گازهای کامل در فشار ثابت :

$$\Rightarrow \frac{V}{T} = \frac{V_1}{T_1} + \frac{V_2}{T_2}$$

انرژی درونی گاز کامل

-۴

انرژی درونی مقدار مشخص از یک گاز فقط تابع دمای مطلق آن است. تغییر انرژی درونی گازهای کامل با تغییر دمای مطلق آن‌ها متناسب است و می‌توان نشان داد $\Delta U = n C_{MV} \Delta T$.

$$\begin{cases} \text{گاز کامل تک اتمی } C_{MV} = \frac{3}{2}R \Rightarrow \Delta U = \frac{3}{2}nR\Delta T \\ \text{گاز کامل دو اتمی } C_{MV} = \frac{5}{2}R \Rightarrow \Delta U = \frac{5}{2}nR\Delta T \\ \text{گاز کامل سه اتمی } C_{MV} = \frac{7}{2}R \Rightarrow \Delta U = \frac{7}{2}nR\Delta T \end{cases}$$

گروه آموزشی عصر

www.my-dars.ir



۵- محاسبه‌ی تغییر انرژی درونی گازهای کامل در نمودار P - V
فرض کنید فشار و حجم یک گاز کامل که گرمای ویژه‌ی مولی آن در حجم ثابت برابر C_{MV} است، از مقدارهای P_1 و V_1 به مقدارهای P_2 و V_2 تغییر کرده است.

$$\left\{ \begin{array}{l} \Delta U = nC_{MV}(T_2 - T_1) \\ T_1 = \frac{P_1 V_1}{nR} \\ T_2 = \frac{P_2 V_2}{nR} \end{array} \right. \Rightarrow \Delta U = nC_{MV} \left(\frac{P_2 V_2}{nR} - \frac{P_1 V_1}{nR} \right)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{گاز کامل تک اتمی } C_{MV} = \frac{3}{2}R \Rightarrow \Delta U = \frac{3}{2}(P_2 V_2 - P_1 V_1) \\ \text{گاز کامل دو اتمی } C_{MV} = \frac{5}{2}R \Rightarrow \Delta U = \frac{5}{2}(P_2 V_2 - P_1 V_1) \\ \text{گاز کامل سه اتمی } C_{MV} = \frac{7}{2}R \Rightarrow \Delta U = \frac{7}{2}(P_2 V_2 - P_1 V_1) \end{array} \right.$$

قانون اول ترمودینامیک

۶- تغییر انرژی درونی یک دستگاه برابر مجموع کار انجام شده توسط محیط روی دستگاه و گرمای مبادله شده توسط دستگاه است.

$$\Delta U = W + Q$$

$$\left\{ \begin{array}{l} W > 0 \Rightarrow \text{اگر حجم دستگاه کاهش یابد} \\ W < 0 \Rightarrow \text{اگر حجم دستگاه افزایش یابد} \end{array} \right. \left\{ \begin{array}{l} Q > 0 \Rightarrow \text{اگر دستگاه گرما بگیرد} \\ Q < 0 \Rightarrow \text{اگر دستگاه گرما بدهد} \end{array} \right.$$

وقتی حجم کاهش می‌یابد، روی سیستم کار انجام شده است. و زمان افزایش حجم، دستگاه کار انجام می‌دهد. در اصل قانون اول ترمودینامیک بیان دیگری از قانون پایستگی انرژی است.



۷- فرآیند هم حجم: در این فرآیند، حجم همواره ثابت است.

(۱) در این فرآیند فشار گاز متناسب با دمای مطلق آن تغییر می کند $(P \propto T)$.

(۲) در این فرآیند کار انجام شده روی گاز صفر است $(W = 0)$.

(۳) در این فرآیند تغییر انرژی درونی گاز با گرمای مبادله شده توسط آن برابر است $(\Delta U = Q)$.

(۴) گرمای مبادله شده در این فرآیند از رابطه ی $Q = nC_{MV}\Delta T$ به دست می آید.

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{گاز کامل تک اتمی } C_{MV} = \frac{3}{2}R \\ \text{گاز کامل دو اتمی } C_{MV} = \frac{5}{2}R \\ \text{گاز کامل سه اتمی } C_{MV} = \frac{7}{2}R \end{array} \right.$$

۸- فرآیند هم فشار: در این فرآیند، فشار همواره ثابت است.

(۱) در این فرآیند حجم گاز متناسب با دمای مطلق آن تغییر می کند $(V \propto T)$.

(۲) در این فرآیند کار انجام شده روی گاز از رابطه ی $W = -P(V_2 - V_1)$ به دست می آید.

(۳) گرمای مبادله شده در این فرآیند از رابطه ی $Q = nC_{MP}\Delta T$ به دست می آید.

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{گاز کامل تک اتمی } C_{MP} = \frac{5}{2}R \\ \text{گاز کامل دو اتمی } C_{MP} = \frac{7}{2}R \\ \text{گاز کامل سه اتمی } C_{MP} = \frac{9}{2}R \end{array} \right.$$

۹- فرآیند هم دما: در این فرآیند، دما همواره ثابت است.

(۱) در این فرآیند فشار و حجم گاز متناسب با عکس یکدیگر تغییر می کنند $(P \propto \frac{1}{V} \text{ و } V \propto \frac{1}{P})$.

(۲) در این فرآیند تغییر انرژی درونی گاز صفر است $(\Delta U = 0)$.

(۳) در این فرآیند گرمای مبادله شده توسط گاز و کار انجام شده روی آن قرینه هستند $(W + Q = 0)$.

۱۰- فرآیند بی دررو: در این فرآیند، گاز گرما مبادله نمی کند.

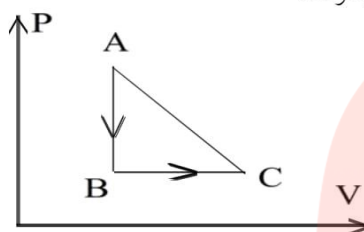
(۱) در این فرآیند تغییر انرژی درونی گاز با کار انجام شده روی آن برابر است $(\Delta U = W)$.

(۲) در انبساط بی دررو انرژی درونی و دمای گاز کاهش می یابند و در تراکم بی دررو انرژی درونی و دمای گاز افزایش می یابند.

چرخه ترمودینامیکی

-۱۱

چرخه ی ترمودینامیکی فرآیندی است که طی آن دستگاه به حالت اولیه ی خود باز می گردد.



تغییر انرژی درونی ، کار و گرما در چرخه

-۱۲

- (۱) در چرخه دستگاه به حالت اولیه خود بازمی گردد و تغییر دما و تغییر انرژی درونی دستگاه صفر هستند.
- (۲) در این فرآیند گرمای مبادله شده توسط گاز و کار انجام شده روی آن قرینه هستند ($W + Q = 0$).

محاسبه ی کار انجام شده روی دستگاه در چرخه

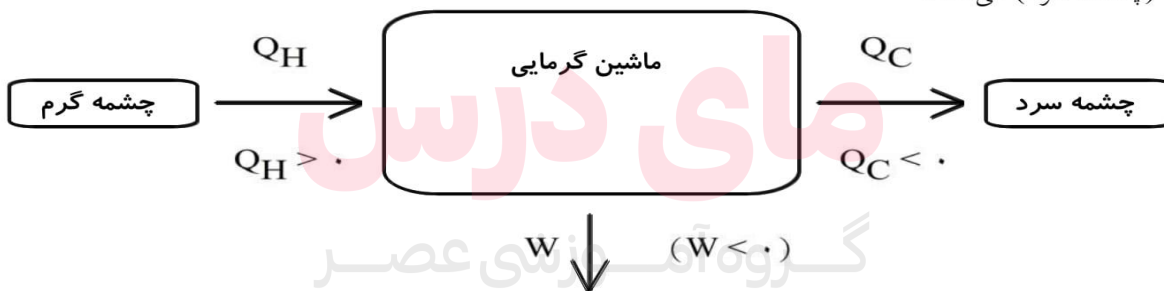
-۱۳

با استفاده از مساحت داخل چرخه در نمودار $P - V$ می توان کار انجام شده روی دستگاه را در چرخه به دست آورد.
 (مساحت داخل چرخه) $\Rightarrow W = +$ اگر جهت مسیر چرخه در نمودار $P - V$ پادساعت گرد باشد.
 (مساحت داخل چرخه) $\Rightarrow W = -$ اگر جهت مسیر چرخه در نمودار $P - V$ ساعت گرد باشد.

ماشین گرمایی

-۱۴

ماشین گرمایی در طی یک چرخه ی ترمودینامیکی که جهت آن در نمودار $P - V$ ساعت گرد است، مقداری گرما را از یک محیط با دمای بالا (چشمه ی گرم) می گیرد و پس از انجام کار روی محیط بقیه ی گرما را به یک محیط با دمای پایین (چشمه سرد) می دهد.



طبق قانون اول ترمودینامیک :

$$Q + W = 0 \Rightarrow Q_H + Q_C + W = 0 \Rightarrow Q_H = (-Q_C) + (-W) \Rightarrow Q_H = |Q_C| + |W|$$

ماشین گرمایی و قانون دوم ترمودینامیک

-۱۵

بر اساس قانون دوم ترمودینامیک ممکن نیست دستگاه چرخه ای را بپیماید که در حین آن مقداری گرما را از چشمه ی گرم جذب و تمام آن را به کار تبدیل کند.

$$\Rightarrow Q_H > |W| \text{ و } |Q_C| \neq 0$$

قانون دوم ترمودینامیک و بازده ماشین گرمایی

-۱۶

طبق قانون دوم ترمودینامیک، بازدهی یک ماشین گرمایی همواره از یک کوچک تر است.

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{قانون دوم ترمودینامیک} \\ \Rightarrow |W| < Q_H \\ \Rightarrow \eta < 1 \\ \eta = \frac{|W|}{Q_H} \end{array} \right.$$

چرخه ی کارنو

-۱۷

یک فرایند ترمودینامیکی است که در طی آن ماده ی کاری دستگاه به ترتیب فرایندهای (۱) انبساط هم‌دما، (۲) انبساط بی‌دررو، (۳) تراکم هم‌دما و (۴) تراکم بی‌دررو را طی می‌کند و به حالت اولیه اش باز می‌گردد. نمودار P - V این فرایند به صورت شکل زیر است.



بیشترین بازده یک ماشین گرمایی

-۱۸

بیشترین بازدهی یک ماشین گرمایی که دمای چشمه‌های گرم و سرد آن به ترتیب برابر T_H و T_C است، در شرایطی ایجاد می‌شود که ماده کاری ماشین گرمایی چرخه ی کارنو را طی کرده باشد و مقدار آن از رابطه ی زیر به دست می‌آید.

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

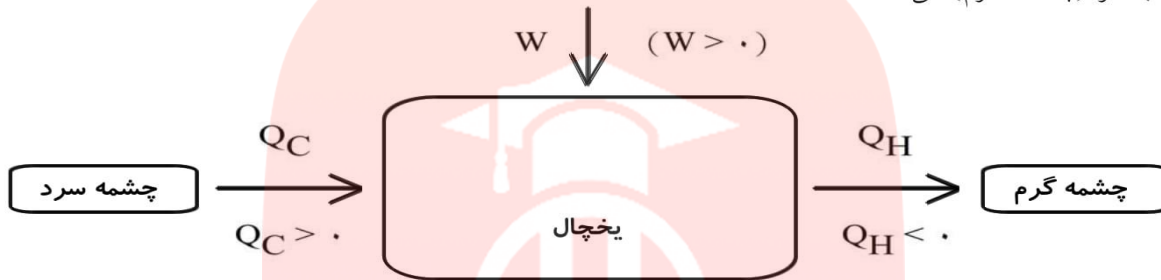
مای داری

گروه آموزشی عصر
www.my-dars.ir

-۱۹

یخچال

یخچال در طی یک چرخه ی ترمودینامیکی که جهت آن در نمودار $P - V$ پادساعت گرد است، با گرفتن کار مقداری گرما را از یک محیط با دمای پایین (چشمه ی سرد) می گیرد و آن را به همراه کاری که از محیط می گیرد به یک محیط با دمای بالاتر (چشمه گرم) می دهد.



طبق قانون اول ترمودینامیک :

$$Q + W = 0 \Rightarrow Q_H + Q_C + W = 0 \Rightarrow (-Q_H) = Q_C + W \Rightarrow |Q_H| = Q_C + W$$

-۲۰

قانون دوم ترمودینامیک و یخچال

بر اساس قانون دوم ترمودینامیک ممکن نیست دستگاه چرخه ای را ببینیم که در حین آن بدون دریافت کار و به خودی خود مقداری گرما را از چشمه ی سرد جذب و آن را به چشمه ی گرم بدهد. $\Rightarrow |Q_H| > Q_C$ و $W \neq 0$ قانون دوم ترمودینامیک در یخچال

-۲۱

ضریب عملکرد یخچال

هر چه قدر یک یخچال کار کمتری دریافت کند و گرمای بیش تری از چشمه ی سرد بگیرد عملکرد بهتری دارد. ضریب عملکرد یخچال به صورت زیر تعریف می شود.

$$K = \frac{Q_C}{W} = \frac{|Q_H|}{W} - 1 \quad (\text{ضریب عملکرد})$$

-۲۲

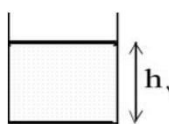
ماشین گرمایی و یخچال با چرخه ی مشترک

اگر یک ماشین گرمایی و یک یخچال در نمودار $P - V$ دارای چرخه های مشترکی باشند که تنها جهت آن ها متفاوت است، رابطه ی بازدهی ماشین گرمایی و ضریب عملکرد یخچال به این صورت به دست می آید.

$$\begin{cases} \eta = \frac{|W|}{Q_H} \\ K = \frac{Q_C}{W} \end{cases} \Rightarrow \eta = \frac{1}{K + 1}$$



۲۳- ۵- قانون گازهای کامل:



اگر مقداری گاز درون یک ظرف در زیر یک پیستون محبوس باشد (مطابق شکل)، با افزایش فشار توسط پیستون گاز متراکم شده (حجم کم می شود) و دمای آن افزایش می یابد و اگر دمای گاز را زیاد کنیم، گاز منبسط شده و حجم گاز زیاد می شود و یا اگر درون یک ظرف در بسته مقداری گاز موجود باشد با افزایش دمای گاز، فشار گاز درون ظرف افزایش می یابد. با آزمایش های متعدد می توان دریافت که دما، فشار و حجم یک گاز با هم در ارتباط هستند و مستقل از هم نمی باشند. گاز کامل: گاز بسیار رقیق که از قانون گازهای کامل پیروی می کند را می گویند.

قانون گازهای کامل: برای یک جرم ثابت از یک گاز کامل نسبت $\frac{PV}{T}$ که در آن P فشار گاز، V حجم گاز و T دمای مطلق گاز (دما بر حسب کلوین) است یک مقدار ثابت است. بنابراین اگر این سه پارامتر یا بعضی از آنها هم تغییر کند می توان برای دو وضعیت گاز کامل نوشت:

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

باید توجه داشت که یکاهای حجم و فشار لازم نیست در SI باشد و کفایت در دو طرف از یک واحد استفاده شود ولی دما حتماً باید بر حسب کلوین باشد.

مثال: درون یک ظرف در بسته مقداری گاز کامل در دمای 27°C وجود دارد. اگر دمای گاز را به 127°C برسانیم، فشار گاز چند برابر می شود؟

حل: چون ظرف در بسته است، بنابراین حجم ثابت است. ($V_2 = V_1$)

$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2} \Rightarrow \frac{P_2}{P_1} = \frac{T_2}{T_1} = \frac{127+273}{27+273} = \frac{400}{300} = \frac{4}{3}$$

مثال: در دمای ثابت حجم گاز کاملی را یک لیتر کاهش می دهیم. در نتیجه ی این عمل فشار گاز دو برابر می شود. حجم اولیه ی گاز چقدر بوده است؟
حل:

$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2} \Rightarrow P_1 V_1 = P_2 V_2 \Rightarrow P_1 V_1 = (2P_1)(V_2) \Rightarrow V_1 = 2(V_2 - 1) \Rightarrow V_1 = 2 \text{ lit}$$

نکته: اگر وزن یک پیستون و مساحت آن باشد و بتواند بدون اصطکاک درون ظرف حرکت کند، در حالت تعادل فشار گاز درون ظرف در سه حالت زیر به صورت زیر قابل دستیابی است. (فشار هوای بیرون است.) P_1 اگر ظرف به صورت افقی باشد، فشار گاز همان بوده و اگر ظرف به صورت قائم به طوریکه پیستون بالا باشد فشار

گاز درون ظرف بوده و اگر ظرف به صورت قائم به طوریکه پیستون پایین باشد فشار گاز درون ظرف برابر

$$P_1 - \frac{W}{A} \text{ است.}$$

۲۴- ظرفیت گرمایی مولی در حجم ثابت مقدار گرمایی که یک مول گاز می‌گیرد تا در حجم ثابت دمایش یک کلوین افزایش یابد، ظرفیت گرمایی مولی در حجم ثابت نام دارد و آن را با C_{MV} نشان می‌دهند.

گرمای ویژه ی مولی برای گازهای تک اتمی تقریباً برابر $\frac{3}{2}R$ ، برای گازهای دو اتمی $\frac{5}{2}R$ و برای گازهای چند اتمی (سه اتمی بیش‌تر) $\frac{7}{2}R$ است.

۲۵- گرمای ویژه ی گاز در حجم ثابت گرمای ویژه ی گاز در حجم ثابت برابر است با مقدار گرمایی که در حجم ثابت یکای جرم آن داده می‌شود تا دمای آن یک کلوین بالا رود.

۲۶- ظرفیت گرمایی مولی در فشار ثابت ظرفیت گرمایی مولی در فشار ثابت مقدار گرمایی است که به یک مول گاز در فشار ثابت داده می‌شود تا دمای آن یک کلوین بالا رود.

ظرفیت گرمایی مولی را با C_{MP} نشان می‌دهند. این مقدار برای گازهای تک اتمی تقریباً $\frac{5}{2}R$ برای گازهای دو اتمی تقریباً $\frac{7}{2}R$ و برای گازهای چند اتمی (سه اتمی و بیش‌تر) $\frac{9}{2}R$ است.

۲۷- گرمای ویژه ی گاز در فشار ثابت گرمای ویژه ی یک گاز در فشار ثابت برابر است با مقدار گرمایی که در فشار ثابت به یکای جرم آن داده می‌شود تا دمای آن یک کلوین بالا رود.

۲۸- نکته: C_{MP} همواره از C_{MV} بزرگ‌تر است زیرا در فرآیند هم حجم تمامی گرمای گرفته شده توسط گاز صرف افزایش دمای گاز و یا انرژی درونی آن می‌گردد در حالی که در فرآیند هم فشار قسمتی از گرمای گرفته شده صرف افزایش دما و قسمتی صرف افزایش حجم (انجام کار توسط سیستم) می‌شود. در نتیجه برای افزایش دمای یکسان در فرآیند هم فشار به گرمای بیش‌تری نیاز داریم. رابطه ی بین C_{MP} و C_{MV} به شکل زیر است:

$$C_{MP} - C_{MV} = R$$

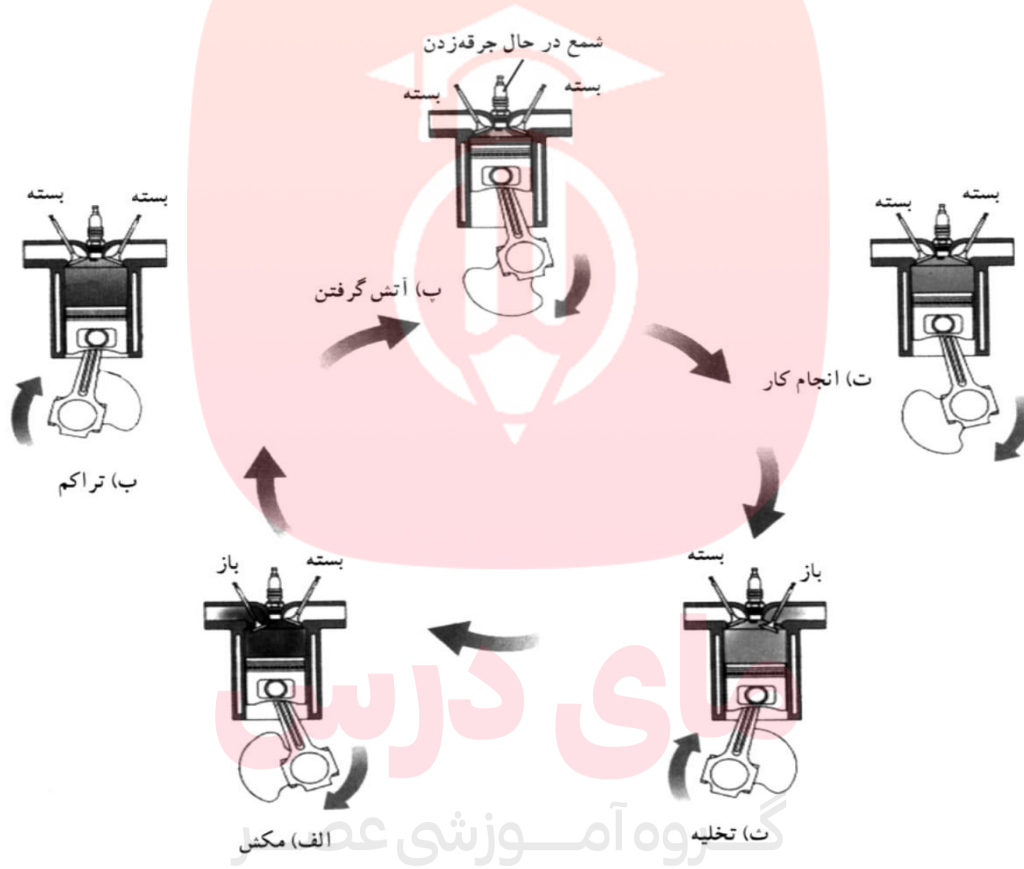
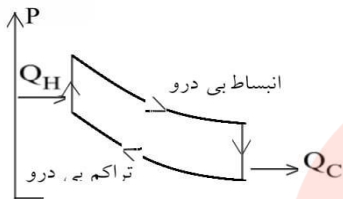
www.my-dars.ir



جزوه ی فیزیک - مفاهیم و تعاریف ترمودینامیک

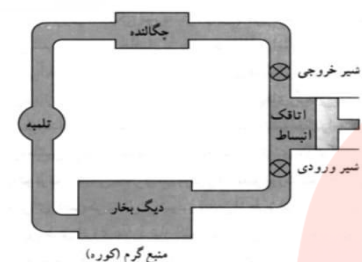
۲۹- ماشین‌های گرمایی درون سوز

در این نوع ماشین فرآیند احتراق (تبدیل انرژی) در درون سیستم گازی انجام می‌گیرد. موتور خودروها و موتور سیکلت‌ها و از نوع موتورهای درون سوز می‌باشند. در این ماشین‌ها، سیستم گازی چرخه‌ای را موسوم به چرخه‌ی اتوپی می‌کند.



مراحل مختلف در چرخه‌ی موتورهای درون سوز

www.my-dars.ir



بخش‌های اصلی ماشین بخار عبارت‌اند از: دیگ بخار، اتاقک انبساط، چگالنده، تلمبه، شیرهای ورودی و خروجی و لوله‌های رابط

۳۰- ماشین بخار

این ماشین از انواع ماشین‌های برون سوز است. ماده‌ی کاری این ماشین آب و بخار آب است. مراحل کارایی ماشین به شرح زیر است:

۱- آب در دیگ بخار گرم شده، فشار و حجم آن تا حد معینی افزایش می‌یابد.

۲- شیر ورودی باز شده، بخار وارد اتاقک انبساط می‌شود. این فرآیند با سرعت انجام شده، متشابه یک فرآیند بی‌دررو است.

۳- بازگشت پیستون به وضعیت اولیه و انتقال بخار به چگالنده در این انتقال بخار به آب تبدیل می‌شود.

۴- تلمبه آب حاصل از میعان را به دیگ بخار برمی‌گرداند.

مای درس

