امروزه بیشتر انرژی مورد نیاز انسان از طریق ماشین های گرمایی به دست می آید. ماشین ها با استفاده از برخی فرایند های ترمودینامیکی، گرمای حاصل از سوخت را به کار تبدیل می کنند. از این ماشین ها در مواردی از قبیل لوکوموتیو، کشتی بخار، زیردریایی، خودرو، هواپیما و فضاپیما استفاده می شود.

ماشین های گرمایی

در ویدیو زیر با انواع ماشین های گرمایی یعنی برون سوز و درون سوز و نحوه عملکرد آن ها آشنا خواهید شد.

بازده ماشین های گرمایی

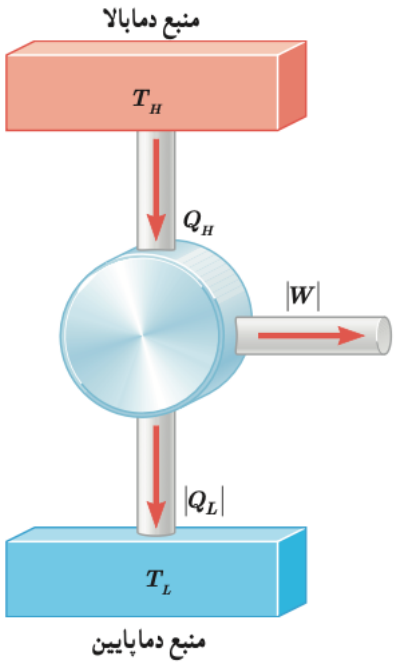
هدف از ساخت هر ماشین آن است که انرژی گرفته شده را تا بیشترین مقدار ممکن به انرژی مفید خروجی تبدیل کند. بنابراین بازده هر ماشین به صورت زیر تعریف می شود.

$$\eta = \frac{\text{انرژی مفید خروجی}}{\text{انرژی داده شده به ماشین}}$$

در ماشین های گرمایی، انرژی مفید خروجی همان $|W|$ و انرژی داده شده به ماشین، همان گرمای Q_H است. بنا براین برای بازده هر ماشین گرمایی خواهیم داشت.

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

در صورتی که همه فرایند ها در چرخه های ماشین های گرمایی آرمانی فرض شوند و به صورات ایستاوار طی شوند، در طی این چرخه ها مقداری گرما از یک منبع دمابالا با دمای (T_H) گرفته شده (Q_H)، مقداری کار انجام می شود ($|W|$) و مقداری گرما به یک منبع دماپایین با دمای (T_L) داده می شود (Q_L). طرز کار همه ماشین های گرمایی مانند طرح واره نشان داده شده در شکل زیر است.



با استفاده از قانون اول ترمودینامیک برای چرخه های ماشین گرمایی می توان رابطه زیر را نوشت.

$$\Delta U = Q_H + Q_L + W = 0$$

از آن جایی که علامت گرمای ورودی مثبت و علامت گرمای خروجی و کار منفی است، به این نتیجه مهم می رسیم.

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

پس برای ماشین های گرمایی آرمانی رابطه بازده به صورت زیر در می آید.

$$\eta = \frac{|W|}{Q_H} = \frac{Q_H - |Q_L|}{Q_H} = ۱ - \frac{|Q_L|}{Q_H}$$

بازده ماشین های گرمایی واقعی از بازده ماشین های آرمانی کمتر است. بازده واقعی ماشین های درون سوز بنزینی در حدود ۲۰ تا ۳۰ درصد، بازده ماشین های درون سوز دیزلی در حدود ۳۰ تا ۳۵ درصد، و بازده ماشین های برون سوز بخار ۳۰ تا ۴۰ درصد است.

مثال۱: یک ماشین گرمایی در هر چرخه ۵۰۰ ژول گرما از منبع گرم دریافت کرده و ۱۰۰ ژول کار انجام می دهد.

الف) بازده ماشین گرمایی چقدر است؟ ب) چه مقدار گرما در هر چرخه تلف می شود؟

پاسخ: طبق محاسبه زیر بازده این ماشین گرمایی ۲۰ درصد است.

$$\eta = \frac{|W|}{Q_H} = \frac{۱۰۰}{۵۰۰} = ۰.۲$$

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

$$|Q_L| = Q_H - |W| = ۵۰۰ - ۱۰۰ = ۴۰۰\,J$$

قانون دوم ترمودینامیک به بیان ماشین گرمایی

پس از توجه به مطالب بالا، این پرسش ایجاد می شود که آیا امکان تبدیل همه گرمای دریافتی به کار وجود دارد؟ در واقع هیچ یک از ماشین های گرمایی که تا کنون ساخته شده اند، نمی توانند همه گرمای دریافتی را به کار تبدیل کنند.

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

این عبارت قانون دوم ترمودینامیک به بیان ماشین گرمایی است. یعنی ممکن نیست بازده یک ماشین گرمایی برابر ۱ (۱۰۰ درصد) شود. دقت داشته باشید که بدست آوردن بازده ۱۰۰ درصد به دلیل ناتوانی بشر نیست. بلکه چنین چیزی امکان ندارد.

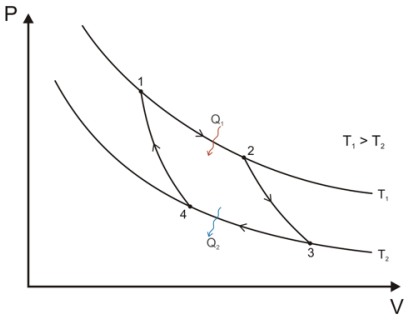
$$\eta < ۱ \quad و \quad Q_L \neq ۰$$

قضیه کارنو

سدی کارنو مهندس جوان فرانسوی در سال ۱۸۲۴ میلادی یک ماشین فرضی و آرمانی را طراحی کرد که بازده آن بیشینه و سازگار با قانون دوم ترمودینامیک است. او دریافت که بازده چنین ماشینی مستقل از ماده کاری است که چرخه ماشین را طی می کند. این ماشین فرضی را ماشین کارنو می نامند.

بنابه قضیه کارنو، بازده یک ماشین گرمایی که بین دو منبع با دما های (T_L) و (T_H) کار می کند هرگز نمی تواند بیشتر از ماشین کارنویی باشد که بین همین دو منبع کار می کند.

چرخه ماشین کارنو به صورت شکل زیر است. که از دو فرایند بی دررو و دو فرایند هم دما تشکیل شده است.



بازده ماشین کارنو از رابطه زیر بدست می آید.

$$\eta_{\text{کارنو}} = ۱ - \frac{T_L}{T_H} \quad , \eta \leq \eta_{\text{کارنو}}$$

مثال ۲: توربین بخار یک نیروگاه برق بین دماهای ۸۰۰ کلوین و ۳۰۰ کلوین کار می کند. بازده ماشین کارنویی که بین این دو دما کار می کند چقدر است؟

پاسخ:

$$\eta_{\text{کارنو}} = ۱ - \frac{T_L}{T_H} = ۱ - \frac{۳۰۰}{۸۰۰} = ۰.۶۲۵$$

مثال ۳: یک ماشین گرمایی کارنو بین دو منبع با دماهای ۳۰۰ کلوین و ۵۰۰ کلوین کار می کند. و در هر چرخه ۸۰۰۰ ژول گرما از منبع دمابالا دریافت می کند.

الف) بازده این ماشین چند درصد است؟

ب) در هر چرخه دستگاه چند ژول کار انحام می دهد و چه مقدار گرما به منبع دماپایین انتقال می یابد؟

پاسخ:

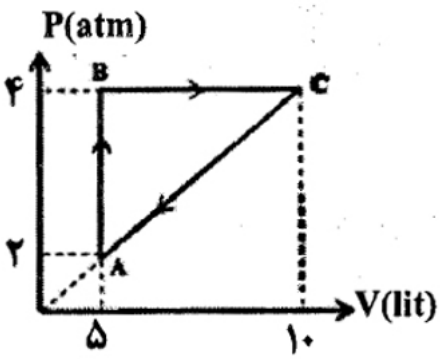
$$\eta_{\text{کارنو}} = ۱ - \frac{T_L}{T_H} = ۱ - \frac{۳۰۰}{۵۰۰} = ۰.۴ \equiv ۴۰٪$$

$$\eta = \frac{|W|}{Q_H} \rightarrow ۰.۴ = \frac{|W|}{۸۰۰۰} \rightarrow |W| = ۳۲۰۰\, J$$

$$|Q_L| = Q_H - |W| = ۸۰۰۰ - ۳۲۰۰ = ۴۸۰۰\, J$$

تمرین ها

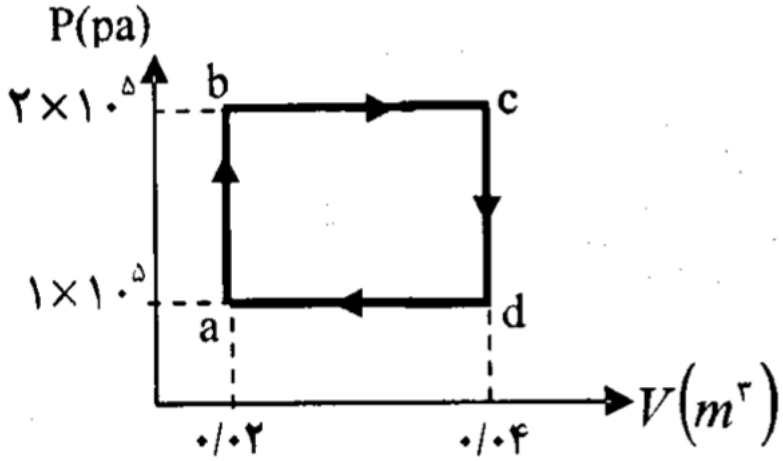
تمرین ۱: نمودار (P–V) مقابل مربوط به یک گاز تک اتمی است. بازده یک ماشین گرمایی کارنو که بین بالاترین و پایین ترین دمای این چرخه عمل می کند، چقدر است؟



پاسخ:

$$\eta_{\text{کارنو}} = ۱ - \frac{T_A}{T_C} = ۱ - \frac{\frac{P_A V_A}{nR}}{\frac{P_B V_B}{nR}} = ۱ - \frac{۲ \times ۵}{۴ \times ۱۰} = ۰.۷۵$$

تمرین ۲: یک مول از یک گاز تک اتمی در یک ماشین گرمایی، چرخه ای را مطابق شکل زیر می پیماید. بازده یک ماشین گرمایی کارنو که بین بالاترین و پایین ترین دمای این چرخه عمل می کند را محاسبه کنید.



پاسخ :

$$\eta_{\text{کارنو}} = ۱ - \frac{T_a}{T_c} = ۱ - \frac{\frac{P_a V_a}{nR}}{\frac{P_c V_c}{nR}} = ۱ - \frac{۱ \times ۰.۰۲}{۲ \times ۰.۰۴} = ۰.۷۵$$

تمرین ۳: کدام داده ها، ممکن است مربوط به ماشین گرمایی باشد که بین دماهای ۳۰۰ و ۴۰۰ کلوین کار می کند؟

۱) $Q_H = ۱۰\,kJ\ ,\ |Q_C| = ۸kJ\ ,\ |W| = ۲kJ$
۲) $Q_H = ۳kJ\ ,\ |Q_C| = ۲kJ\ ,\ |W| = ۱kJ$
۳) $Q_H = ۶kJ\ ,\ |Q_C| = ۴kJ\ ,\ |W| = ۱kJ$
۴) $Q_H = ۸kJ\ ,\ |Q_C| = ۷/۵kJ\ ,\ |W| = ۱/۵kJ$

پاسخ: گزینه های ۳ و ۴ قانون اول ترمودینامیک را نقض می کنند. بازده گزینه ۱ ، ۲۰ درصد و بازده گزینه ۲ ، ۳۳ درصد است. در صورتی که بازده کارنو بین دو دمای مورد نظر ۲۵ درصد است و بازده ماشین باید از بازده کارنو کوچکتر باشد. پس گزینه ۱ صحیح است.

Website: https://physicfa.ir

Aparat: https://aparat.com/physicfa

Youtube: https://youtube.com/c/physicfaa

Telegram: https://t.me/physicfa