یخچال ها وسیله ای هستند که با استفاده از کار، گرما را از منبعی دماپایین می گیرد و به منبعی دمابالا می دهند. در یخچال نیز مانند ماشین های گرمایی یک چرخه ترمودینامیکی طی می شود.

قانون دوم ترمودینامیک و یخچال ها

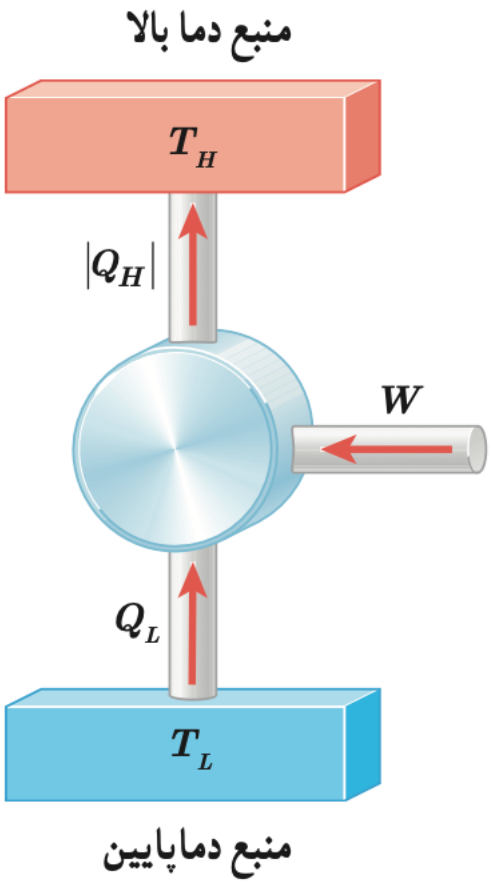
گرما همواره از جسمی با دمای بالا به جسمی با دمای پایین منتقل می شود ولی عکس این عمل به طور خودبه خود رخ نمی دهد. امکان ندارد که یک لیوان آب سرد در دمای اتاق به صورت خودبه خود سردتر شود. قانون دوم ترمودینامیک به بیان یخچالی را می توان به صورت زیر بیان کرد:

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

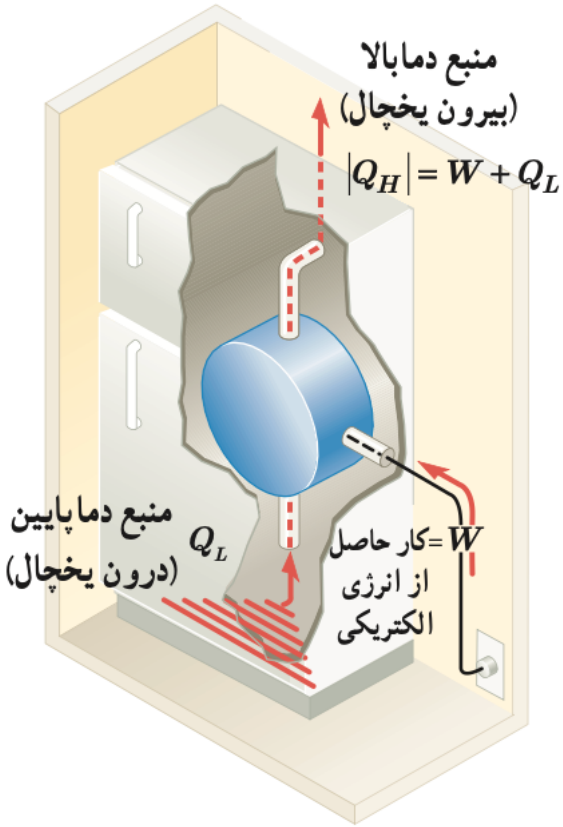
اما با انجام کار می توان گرما را از جسمی سرد به جسمی گرم منتقل کرد.

یخچال

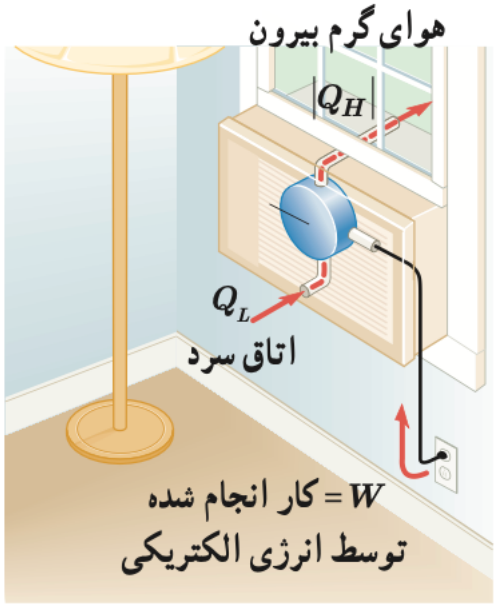
یخچال ها وسیله ای هستند که با استفاده از کار، گرما را از منبعی دماپایین می گیرد و به منبعی دمابالا می دهند. در یخچال نیز مانند ماشین های گرمایی یک چرخه ترمودینامیکی طی می شود. در این چرخه محیط روی دستگاه (ماده کاری) کار W را انجام می دهد. دستگاه گرمای Q_L را از منبع دماپایین می گیرد و گرمای $|Q_H|$ را به منبع دمابالا می دهد. به عبارت دیگر، یخچال وارون یک ماشین گرمایی عمل می کند. طرح واره ای از طرز کار یخچال را در شکل زیر مشاهده می کنید.



یخچال های خانگی، کولرهای گازی و تلمبه های گرمایی نمونه هایی از یخچال ها هستند. مثلا در یخچال خانگی انرژی الکتریکی سبب انحام کار توسط متراکم ساز (کمپرسور) می شود و گرما از هوا و مواد داخل آن گرفته می شود و به هوای بیرون داده می شود.



در کولر گازی هوای داخل اتاق منبع دماپایین و هوای بیرون از خانه منبع دمابالا می باشد که موتور کولر با انحام کار، گرما را از داخل اتاق به بیرون منتقل می کند.



ضریب عملکرد یخچال

در هر یخچال می خواهیم با صرف کمترین کار ممکن، بیشترین گرما را از منبع دماپایین بگیریم. بنابراین ضریب عملکرد یخچال (K) به صورت نسبت گرمای گرفته شده از منبع دماپایین به کاری که موتور انحام می دهد، تعریف می شود.

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

ضریب عملکرد، بدون یکا است.

هر چه ضریب عملکرد یخچال بیشتر باشد، استفاده از آن به صرفه تر است. ضریب عملکرد برای یخچال های خانگی در حدود ۵ و برای کولر های گازی درحدود ۲/۵ است.

با توجه به قانون اول ترمودینامیک می توان برای یک یخچال که چرخه ای آرمانی را طی می کند، نوشت.

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

$$|Q_H| = Q_L + W$$

علت قدر مطلق $|Q_H|$ به این دلیل است که این گرما از دستگاه خارج می شود و مقداری منفی دارد.

با توجه به رابطه بالا می توان ضریب عملکرد برای یخچالی که آرمانی است به صورت زیر محاسبه می شود.

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

مانند ماشین های گرمایی که بازده آن ها حد بالایی دارد، برای ضریب عنلکرد یخچال ها نیز حد بالایی وجود دارد. به این حد بالا، ضریب عملکرد یخچال کارنو گفته می شود و می توان اثبات کرد که از رابطه زیر بدست می آید.

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

در این رابطه T_L دمای منبع دماپایین و T_H دمای منبع دمابالا است.

مثال ها

مثال ۱: فرض کنید در هر چرخه یخچال فرضی، دستگاه ۸ کیلوژول گرما از منبع دماپایین بگیرد و کمپرسور ۲ کیلوژول کار روی دستگاه انحام دهد. با فرض آرمانی بودن، این یخچال چه مقدار گرما به محیط می دهد؟ و ضریب عملکرد آن چقدر است؟

پاسخ:

$$|Q_H| = Q_L + W = ۸ + ۲ = ۱۰\ Kj$$

$$K = \frac{Q_L}{W} = \frac{۸}{۲} = ۴$$

مثال ۲: توان یک یخچال ۱۰۰ وات است و ضریب عملکرد آن ۴ است. با فرض آرمانی بودن، چه مدت طول می کشد تا در این یخچال، ۱ کیلوگرم آب ۲۵ درجه سلسیوس به یخ صفر درجه سلسیوس تبدیل شود؟ و در این مدت چه مقدار گرما به هوای بیرون داده شده است؟

پاسخ: ابتدا گرمایی که آب از دست می دهد را حساب می کنیم و قرینه آن همان گرمایی است (Q_L)که از منبع دماپایین گرفته می شود.

$$Q = mC\Delta\theta - mL_F$$

$$Q = ۱ \times ۴۲۰۰(۰ - ۲۵) - ۱ \times ۳۳۵۰۰۰ = -۴۴۰۰۰۰\ J$$

$$Q_L = -Q = +۴۴۰۰۰۰\ J$$

$$K = \frac{Q_L}{W} \rightarrow W = \frac{Q_L}{K} = \frac{۴۴۰۰۰۰}{۴} = ۱۱۰۰۰۰\ J$$

$$t = \frac{W}{P} = \frac{۱۱۰۰۰۰}{۱۰۰} = ۱۱۰۰\ s$$

$$|Q_H| = Q_L + W = ۴۴۰۰۰۰ + ۱۱۰۰۰۰ = ۵۵۰۰۰۰\ Kj$$

مثال ۳: یک روش که گاهی برای سرد کردن آشپزخانه در یک روز گرم پیشنهاد می شود این است که در یخچال را باز بگذاریم. آیا واقعا این کار آشپزخانه را خنک می کند؟

پاسخ: یخچال همواره به گرمای آشپزخانه می افزاید، چه در آن باز و چه در آن بسته باشد. باز کردن در یخچال باعث می شود یخچال بیشتر کار کند و بنابراین گرمای بیشتری هم به آشپزخانه نسبت به موقعی می دهد که در یخچال بسته است.

مثال ۴: یک یخچال کارنو بین دماهای ۲۷ و ۱۲۷ درجه سلسیوس کار می کند. ضریب عملکرد آن چقدر است؟

پاسخ:

$$K_{\text{کارنو}} = \frac{T_L}{T_H - T_L} = \frac{۳۰۰}{۴۰۰ - ۳۰۰} = ۳$$

مثال ۵: یک یخچال کارنو بین دماهای T_H و T_L (به ترتیب دمای منبع های دمابالا و دماپایین بر حسب کلوین) کار می کند. اگر ضریب عملکرد یخچال برابر ۴ باشد، T_H چند درصد بیشتر از T_L است؟

پاسخ:

$$K_{\text{کارنو}} = \frac{T_L}{T_H - T_L} = ۴$$

$$۴T_H - ۴T_L = T_L \rightarrow T_H = \frac{۵}{۴}T_L = ۱.۲۵\ T_L$$

یعنی ۲۵ درصد از T_L بیشتر است.

Website: https://physicfa.ir

Aparat: https://aparat.com/physicfa

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

Telegram: https://t.me/physicfa