جلسه پنجم

ترمودینامیک و مکانیک آماری

محمدرضا مظفری
گروه فیزیک، دانشکده علوم پایه
دانشگاه قم
مهر ۹۹

مفاهیمی در فیزیک حرارت

مطالب و عناوین:

- مبانی آماری فیزیک حرارت
- ریاضیات مفید
- گرما
- احتمال
- دما و فاکتور بولتزمن
- توزیع ماکسول بولتزمن
- فشار
- اثر افیوژن مولکولی
- پویش آزاد متوسط و برخوردها
- انرژی و قانون اول ترمودینامیک
- فرایندهای همدما و بی‌دررو
- ماشین‌های حرارتی و قانون دوم ترمودینامیک
- آنتروپی

محمدرضا مظفری
گروه فیزیک، دانشکده علوم پایه، دانشگاه قم

گرما

احساس گرما

- با نشستن در کنار آتش در زمستان احساس می‌کنیم آتش ما را گرم می‌کند.
- با در دست گرفتن یک گلوله برفی احساس از دست دادن گرما از دست‌ها را داریم.

به نظر می‌رسد:

گرما نوعی **انرژی منتقل** شده از **اجسام گرم** به **اجسام سرد** باشد وقتی با آن‌ها **در تماس** باشد.

محمدرضا مظفری
گروه فیزیک، دانشکده علوم پایه، دانشگاه قم

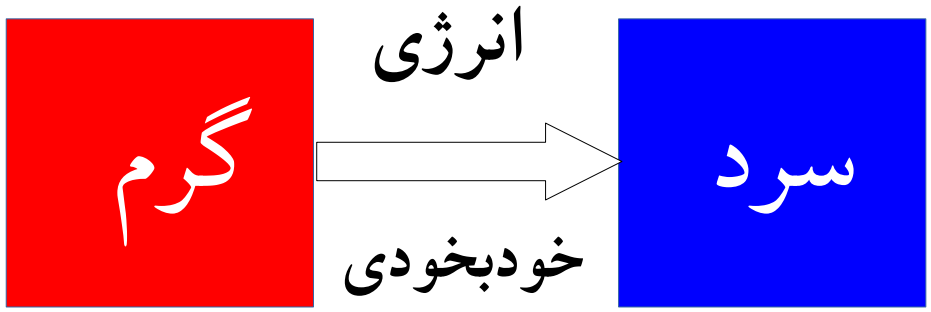
گرما

به نظر می‌رسد:

گرما نوعی **انرژی منتقل** شده از **اجسام** **گرم** به **اجسام** **سرد** باشد وقتی با آن‌ها **در تماس** باشد.

نقطه نظر:

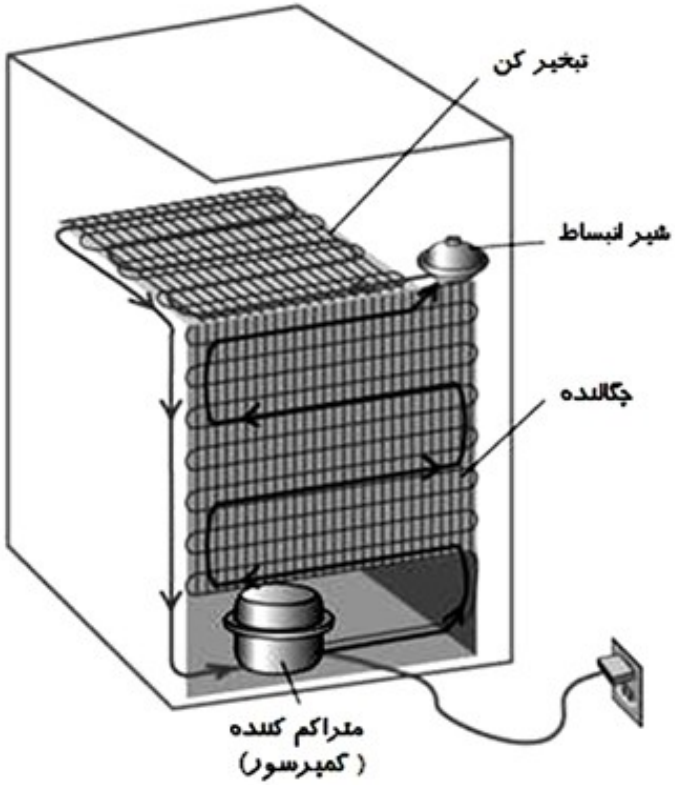
- وقتی دو جسم سرد و گرم با هم در تماس باشند، گرما بطور **خودبخودی** از جسم گرم به جسم سرد منتقل می‌شود.



گرما

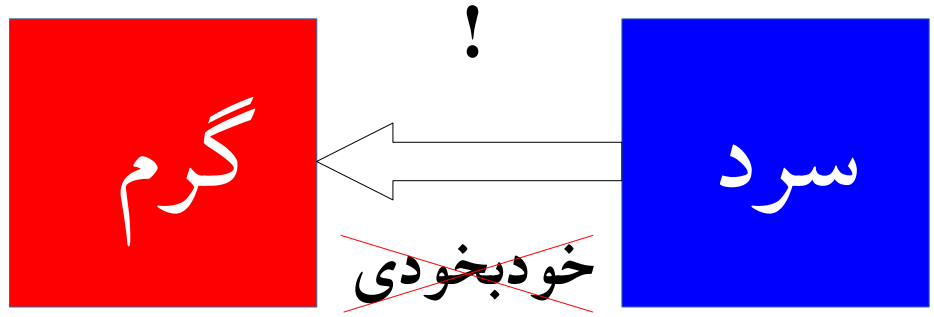
به نظر می‌رسد:

گرما نوعی **انرژی منتقل** شده از **اجسام گرم** به **اجسام سرد** باشد وقتی با آن‌ها **در تماس** باشد.



نقطه نظر:

- وضعیتهایی وجود دارد که گرما در جهت معکوس یعنی از جسم سرد به جسم گرم منتقل می‌شود.



گرما

به نظر می‌رسد:

گرما نوعی **انرژی منتقل** شده از **اجسام گرم** به **اجسام سرد** باشد وقتی با آن‌ها **در تماس** باشد.

نقطه نظر:

- بخش "**در انتقال**" از تعریف گرما خیلی مهم است. تصور کنید شما می‌توانید گرما به یک جسمی اضافه کنید. اما **شما نمی‌توانید ادعا کنید که جسم مربوطه شامل یک مقدار مشخص گرما است چون گرما انرژی در انتقال است.**

شما می توانید به اتومبیل تون سوخت اضافه کنید و کاملاً درست است که بگویید، ماشین "**مقدار مشخصی سوخت**" دارد. حتی یک وسیله اندازه گیری برای اندازه گیری آن دارید!

محمدرضا مظفری گروه فیزیک، دانشکده علوم پایه، دانشگاه قم

گرما

به نظر می‌رسد:

گرما نوعی **انرژی منتقل** شده از **اجسام گرم** به **اجسام سرد** باشد وقتی با آن‌ها **در تماس** باشد.

نقطه نظر:

- بخش "**در انتقال**" از تعریف گرما خیلی مهم است. تصور کنید شما می‌توانید گرما به یک جسمی اضافه کنید. اما **شما نمی‌توانید ادعا کنید که جسم مربوطه شامل یک مقدار مشخص گرما است چون گرما انرژی در انتقال است.**

گرم کردن دست‌ها در یک روز زمستانی را بررسی می‌کنیم که به دو روش می‌توان دمای دست ها را افزایش داد: (۱) **اضافه کردن دما، برای مثال دست ها در مقابل چیزی گرم مانند آتش بخاری قرار داد.** (۲) **مالیدن دستها به یکدیگر.** در هر دو حالت نهایتا دمای دستها افزایش یافته است و تفاوتی بین دستهای که گرم شده‌اند وجود ندارد.

محمدرضا مظفری گروه فیزیک، دانشکده علوم پایه، دانشگاه قم

گرما

به نظر می‌رسد:

گرما نوعی **انرژی منتقل** شده از **اجسام گرم** به **اجسام سرد** باشد وقتی با آن‌ها **در تماس** باشد.

گرما Q برحسب ژول J اندازه گیری می‌شود. نرخ گرم شدن یعنی

$$\text{توان} = \frac{\text{گرما}}{\text{زمان}} = \frac{Q}{t}$$

واحد وات W دارد، که یک وات برابر است با یک ژول بر ثانیه، $1\mathrm{W} = 1\mathrm{Js}^{-1}$.

گرما

به نظر می‌رسد:

گرما نوعی **انرژی منتقل** شده از **اجسام** گرم به **اجسام** سرد باشد وقتی با آن‌ها **در تماس** باشد.

$$\text{توان} = \frac{\text{گرما}}{\text{زمان}} = \frac{Q}{t}$$

مثال: اگر یک هیتر الکتریکی با توان مصرفی یک کیلووات (1kW) برای ده دقیقه روشن باشد، چه مقدار گرما تولید می‌شود؟

$$\text{توان} = \frac{\text{گرما}}{\text{زمان}} \Rightarrow 1\text{kW} = \frac{Q}{10 \times 60\text{s}} \Rightarrow Q = 600\text{kJ}$$

توان در هیتر بوسیله کار الکتریکی تأمین شده است. بنابراین تولید گرما بوسیله انجام کار امکان‌پذیر است. بعد به این سؤال بر می‌گردیم که **آیا می‌توان از گرما تولید کار کرد؟**

محمدرضا مظفری گروه فیزیک، دانشکده علوم پایه، دانشگاه قم

گرما

- توضیح دادیم که ممکن نیست مقدار مشخصی از گرما برای یک جسم وجود داشته باشد، چون گرما به عنوان "انرژی در حال انتقال" تعریف می شود.
- با کمی احساس ناخوشایند قصد داریم که به معرفی "ظرفیت گرمایی" بپردازیم چون استدلال کردیم اجسام ظرفیتی برای گرما ندارند.

مقدار گرمایی که نیاز است تامین شود تا دمای جسم به اندازه کوچک $\mathrm{d}T$ افزایش یابد. بصورت زیر نمایش داده می‌شود

$$C = \frac{\mathrm{d}Q}{\mathrm{d}T}$$

ظرفیت گرمایی به ما می گوید که چه مقدار گرما برای گرم کردن یک ذره لازم است و چیزی در مورد ظرفیت یک جسم برای ذخیره کردن گرما نیست.

گرما

$$C = \frac{\mathrm{d}Q}{\mathrm{d}T}$$

از نظر ابعادی ظرفیت گرمایی بصورت JK^{-1} مشخص می‌شود.

اگرچه اجسام ظرفیت گرمایی یکسانی دارند، اما می توان ظرفیت گرمایی هر جسم را **در واحد جرم** یا **در واحد حجم** نیز بیان کرد. ظرفیت گرمایی **در واحد جرم** که با c نمایش داده می‌شود، غالباً اتفاق می‌افتد را بعنوان **ظرفیت گرمایی ویژه** شناخته می‌شود.

مثال: ظرفیت گرمایی $0.125\mathrm{kg}$ آب برابر با $523\mathrm{JK}^{-1}$ اندازه‌گیری می‌شود. ظرفیت گرمایی آب را (الف) بر واحد جرم و (ب) بر واحد حجم بدست آورید.

محمدرضا مظفری گروه فیزیک، دانشکده علوم پایه، دانشگاه قم

گرما

$$C = \frac{\mathrm{d}Q}{\mathrm{d}T}$$

از نظر ابعادی ظرفیت گرمایی بصورت JK^{-1} مشخص می‌شود.

مثال: ظرفیت گرمایی $0.125\mathrm{kg}$ آب برابر با $523\mathrm{JK}^{-1}$ اندازه‌گیری می‌شود. ظرفیت گرمایی آب را (الف) بر واحد جرم و (ب) بر واحد حجم بدست آورید.

$$c = \frac{C}{m} = \frac{1}{m}\frac{\mathrm{d}Q}{\mathrm{d}T}$$

$$c = \frac{523\ \mathrm{J\ K^{-1}}}{0.125\mathrm{kg}} = 4.184 \times 10^3\ \mathrm{J\ K^{-1}kg^{-1}}$$

ظرفیت گرمایی ویژه آب می‌گویند

گرما

$$C = \frac{\mathrm{d}Q}{\mathrm{d}T}$$

از نظر ابعادی ظرفیت گرمایی بصورت JK^{-1} مشخص می‌شود.

مثال: ظرفیت گرمایی $0.125\mathrm{kg}$ آب برابر با $523\mathrm{JK}^{-1}$ اندازه‌گیری می‌شود. ظرفیت گرمایی آب را (الف) بر واحد جرم و (ب) بر واحد حجم بدست آورید.

$$\frac{C}{V} = \frac{\rho}{m}\frac{\mathrm{d}Q}{\mathrm{d}T} = \rho\, c, \quad \rho = 1000\ \mathrm{kg\ m^{-3}}$$

$$\frac{C}{V} = \rho\, c = 4.184 \times 10^{6}\mathrm{J\ K^{-1}m^{-3}}$$

گرما

$$C = \frac{\mathrm{d}Q}{\mathrm{d}T}$$

از نظر ابعادی ظرفیت گرمایی بصورت JK^{-1} مشخص می‌شود.

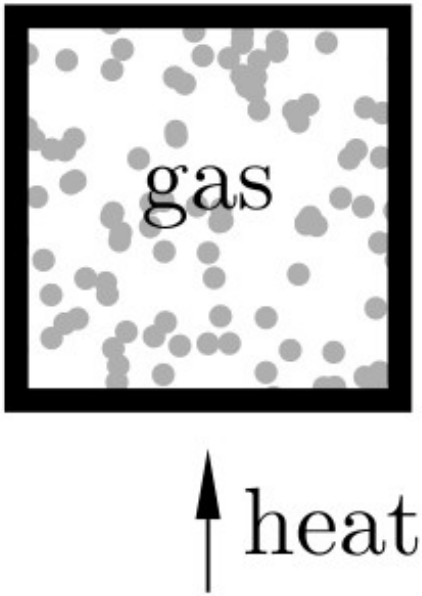
وقتی به ظرفیت گرمایی یک گاز فکر می‌کنیم پیچیدگی های بیشتری ظاهر می‌شوند. سوالی که مطرح می‌شود این است که طبق تعریف ظرفیت گرمایی، چه مقدار گرما باید به گازی اضافه شود تا دمای آن به اندازه یک درجه کلوین افزایش یابد؟ گرم کردن گاز را به دو روش می توان انجام داد.

- **حجم ثابت**
- **فشار ثابت**

گرما

$$C = \frac{\mathrm{d}Q}{\mathrm{d}T}$$

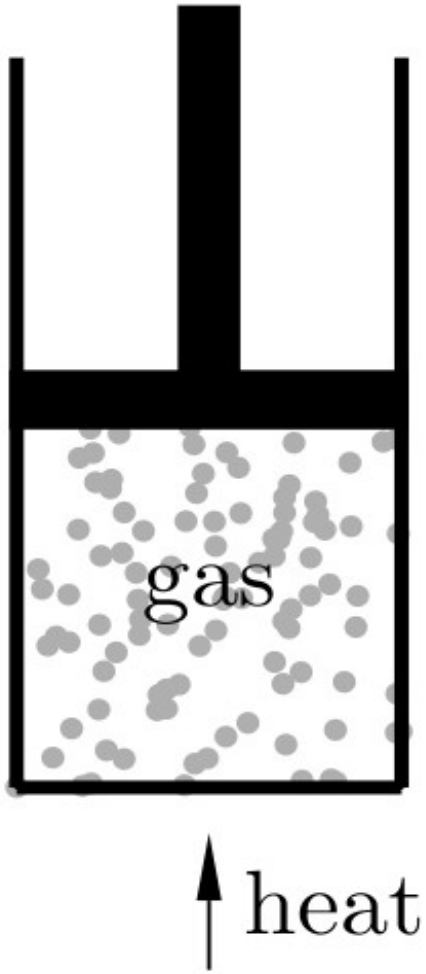
از نظر ابعادی ظرفیت گرمایی بصورت JK^{-1} مشخص می‌شود.



- **ظرفیت گرمایی در حجم ثابت**
- اگر یک مخزن بسته گاز را در معرض گرما قرار می‌دهیم. با افزایش دما گاز نمی‌تواند منبسط شود چون حجم ثابت شده است. بنابراین فشار افزایش پیدا می‌کند.

$$C_V = \left(\frac{\mathrm{d}Q}{\mathrm{d}T}\right)_V$$

گرما



$$C = \frac{\mathrm{d}Q}{\mathrm{d}T}$$

از نظر ابعادی ظرفیت گرمایی بصورت JK^{-1} مشخص می‌شود.

- **ظرفیت گرمایی در فشار ثابت**

  اگر گاز داخل سیلندری بوسیله پیستون در فشار ثابت نگداشته شود. با افزایش دما پیستون مجبور به جابجایی بطرف بالا می‌شود و حجم افزایش پیدا می‌کند در حالیکه فشارش ثابت باقی می‌ماند.

$$C_p = \left(\frac{\mathrm{d}Q}{\mathrm{d}T}\right)_p$$

محمدرضا مظفری گروه فیزیک، دانشکده علوم پایه، دانشگاه قم

گرما

$$C = \frac{\mathrm{d}Q}{\mathrm{d}T}$$

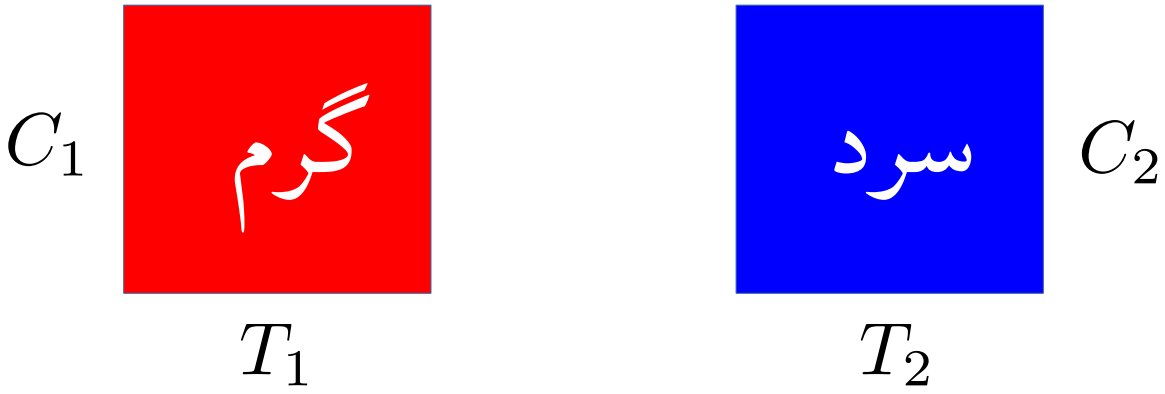
از نظر ابعادی ظرفیت گرمایی بصورت JK^{-1} مشخص می‌شود.

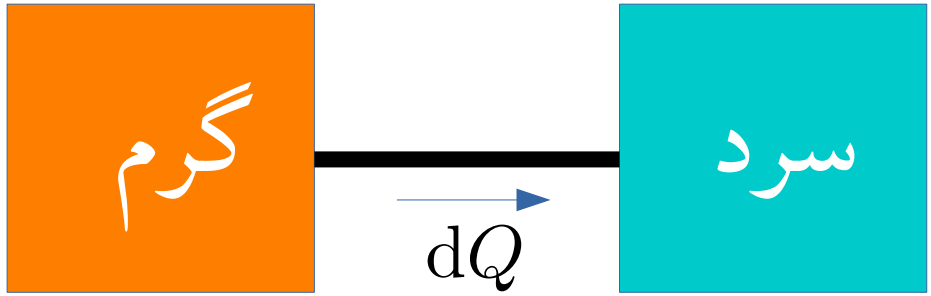
$$C_p > C_V$$

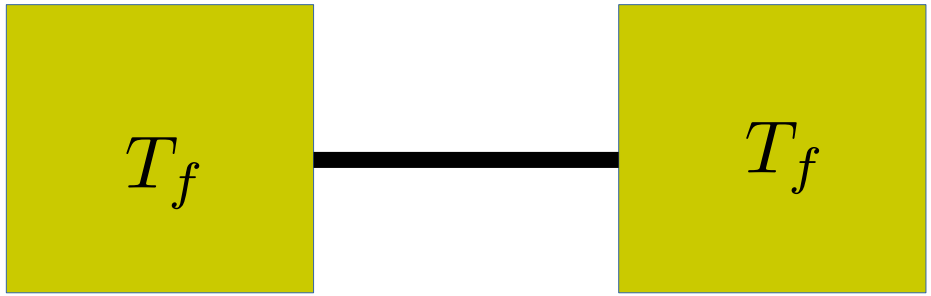
برای گرم کردن یک گاز در فشار ثابت به گرمای بیشتری، در مقایسه با گرم کردن گازی در حجم ثابت، نیاز است.

گرما

مثال



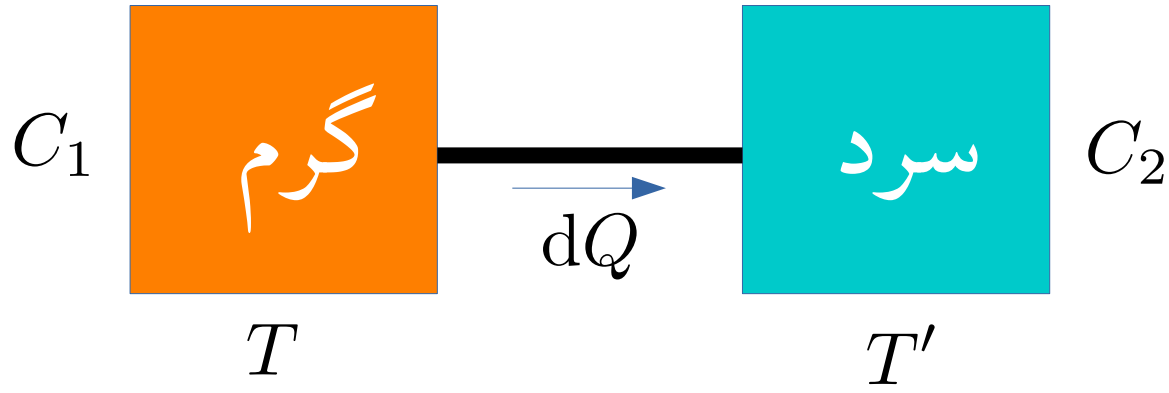




گرما

مثال

$$C = \frac{\mathrm{d}Q}{\mathrm{d}T} \Rightarrow \mathrm{d}Q = C\mathrm{d}T$$



$$\Delta Q_1 = C_1(T - T_1)$$

$$T_1 > T$$

$$\Delta Q_1 < 0$$

$$\Delta Q_2 = C_2(T' - T_2)$$

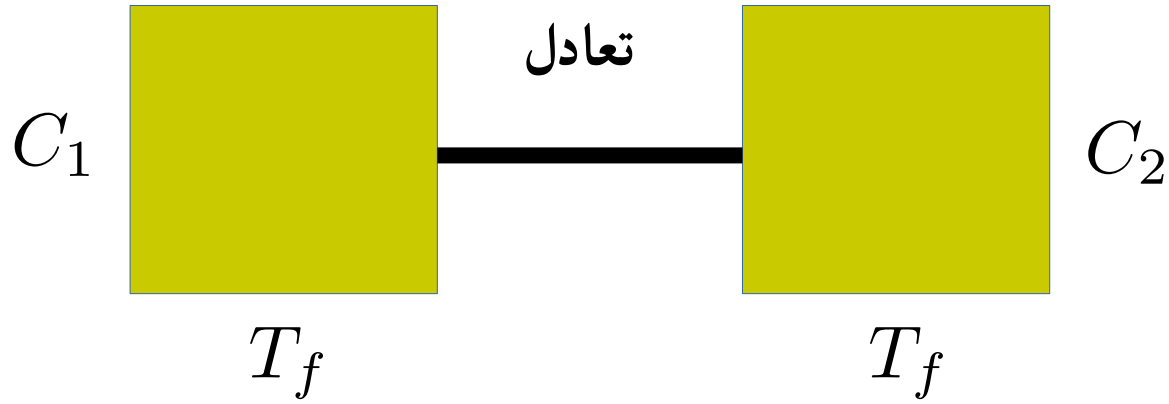
$$T_2 < T'$$

$$\Delta Q_2 > 0$$

گرما

مثال

$$C = \frac{\mathrm{d}Q}{\mathrm{d}T} \Rightarrow \mathrm{d}Q = C\mathrm{d}T$$



$$\Delta Q_1 = C_1(T_f - T_1) \qquad \Delta Q_2 = C_2(T_f - T_2)$$

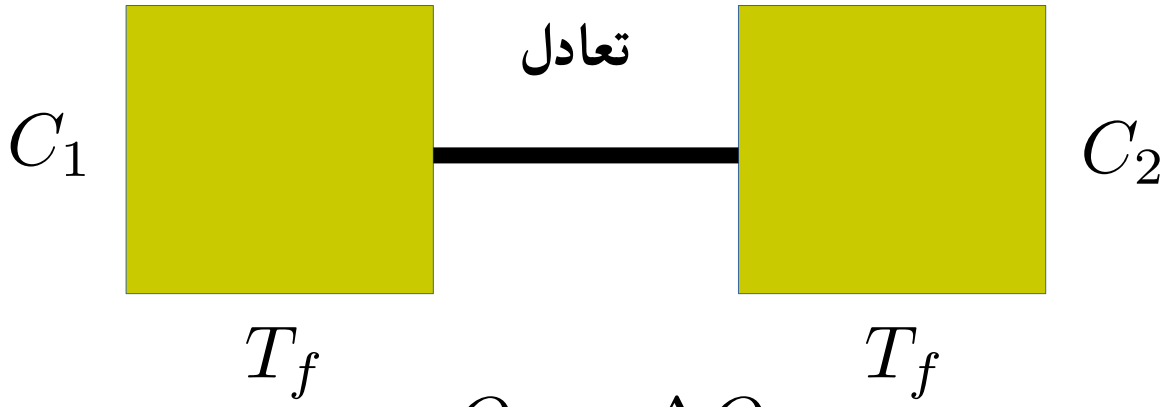
$$T_1 > T_f \qquad T_2 < T_f$$

$$\Delta Q_1 < 0 \Longrightarrow -Q_1 = \Delta Q_2 \Longleftarrow \Delta Q_2 > 0$$

گرما

مثال

$$C = \frac{\mathrm{d}Q}{\mathrm{d}T} \Rightarrow \mathrm{d}Q = C\mathrm{d}T$$



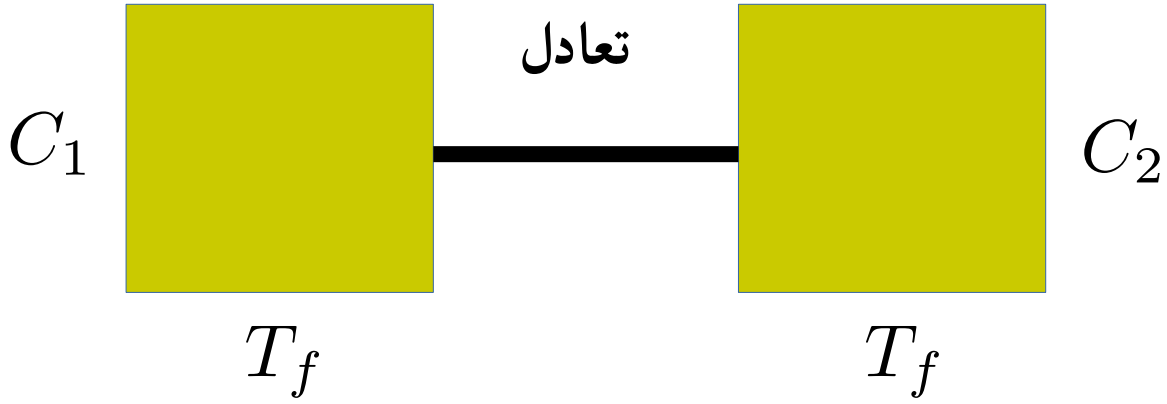
$$-Q_1 = \Delta Q_2$$

$$-C_1(T_f - T_1) = C_2(T_f - T_2)$$

$$(C_1 + C_2)T_f = C_1T_1 + C_2T_2 \Rightarrow T_f = \frac{C_1T_1 + C_2T_2}{C_1 + C_2}$$

گرما

مثال



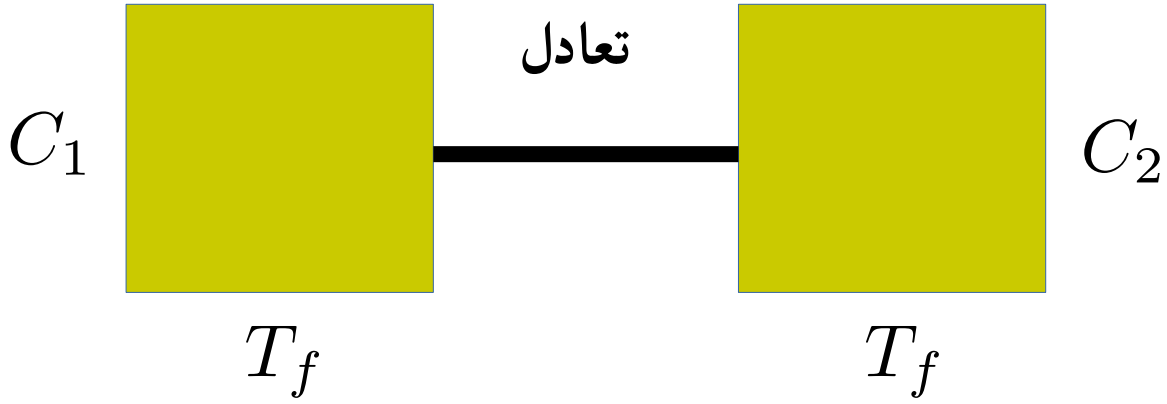
$$T_f = \frac{C_1 T_1 + C_2 T_2}{C_1 + C_2}$$

$$C_1 \gg C_2 : \quad T_f = \frac{T_1 + \frac{C_2}{C_1} T_2}{1 + \frac{C_2}{C_1}}$$

$$C_1/C_2 \gg 1 : \frac{1}{1 + \frac{C_2}{C_1}} = 1 - \frac{C_2}{C_1} + \cdots$$

گرما

مثال



$$T_f = \frac{C_1 T_1 + C_2 T_2}{C_1 + C_2}$$

$$C_1 \gg C_2 : \quad T_f = \left(T_1 + \frac{C_2}{C_1} T_2\right)\left(1 - \frac{C_2}{C_1} + \cdots\right)$$

$$C_1 \gg C_2 : \quad T_f = T_1 + \left(\frac{C_2}{C_1}\right)(T_2 - T_1) + \cdots$$