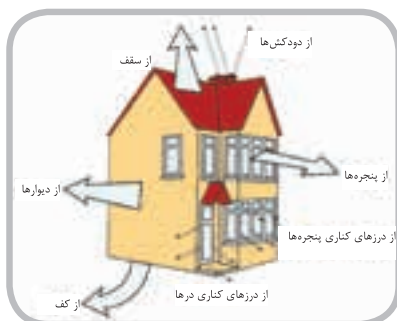


فصل اول در یک نگاه



انتقال گرما

- * گرما
- * دما
- * اندازه‌گیری دما
- * واحد سنجش گرما
- * گرمای ویژه
- * توان گرمایی
- * انتقال گرما
- * روشهای انتقال گرما
- * انتقال گرما از یک جدار
- * عایق کاری گرمایی (گرمابندی)

انتقال گرما

گرما (حرارت)

مولکول‌های اجسام دارای انرژی جنبشی و انرژی پتانسیل می‌باشند. گرما مجموع انرژی پتانسیل و انرژی جنبشی مولکول‌ها است. وقتی جسمی را گرم می‌کنیم انرژی پتانسیل و انرژی جنبشی مولکول‌های آن افزایش می‌یابد.

دما (درجه حرارت)

دما نشان‌دهنده سرعت مولکول‌های یک جسم است. دما با گرما تفاوت دارد. اگر گرمای یک جسم را به صفر کاهش دهیم، حرکت مولکول‌های آن جسم به صورت کامل متوقف می‌شود و دمای این جسم به صفر مطلق می‌رسد.

وقتی به جسمی گرما می‌دهیم، دمای آن افزایش می‌یابد و با گرفتن گرما از جسم دمای آن کاهش می‌یابد. دما را می‌توان میزان تراکم یا شدت گرمای یک جسم توصیف کرد. دما را به وسیله دماسنج (ترموتر) اندازه‌گیری می‌کنند. اساس کار دماسنج‌های شیشه‌ای انبساط مایعات در اثر گرما است.

دماسنج سلسیوس نقطه‌ی انجماد آب را با صفر درجه و نقطه‌ی جوش آب را با ۱۰۰ درجه نشان می‌دهد، بین نقطه‌ی جوش و نقطه‌ی انجماد آب ۱۰۰ قسمت مساوی می‌باشد که هر قسمت آن یک درجه‌ی سلسیوس (سانتی‌گراد) است.

دماسنج فارنهایت نقطه‌ی انجماد آب را با ۳۲ و نقطه‌ی جوش آب را با ۲۱۲ نشان می‌دهد، بین نقطه‌ی انجماد و جوش آب ۱۸۰ قسمت مساوی است که به هر قسمت یک درجه‌ی فارنهایت (°F) گویند.

صفر مطلق پایین‌ترین نقطه درجه‌بندی کلونین (K) است که معادل ۲۷۳/۱۵°C - است.

$$^{\circ}\text{K} = -273/15^{\circ}\text{C}$$

تبدیل دمای سلسیوس به درجه‌ی کلونین از رابطه‌ی $\text{K} = 273 + ^{\circ}\text{C}$ انجام می‌شود.

تمرین: نقطه‌ی جوش و انجماد آب چند درجه‌ی کلونین است؟

نقطه‌ی جوش آب ۱۰۰°C است برای تبدیل آن به درجه‌ی کلونین از رابطه‌ی $\text{K} = 273 + ^{\circ}\text{C}$ استفاده می‌کنیم.

$$t = 100^{\circ}\text{C} \quad \text{K} = 273 + 100 \quad \text{K} = 373^{\circ}$$

نقطه‌ی انجماد آب ۰°C است، در نتیجه خواهیم داشت:

$$t = 0^{\circ}\text{C} \quad \text{K} = 273 + 0 \quad \text{K} = 273^{\circ}$$

تمرین: ۱۰۰°C - برابر چند درجه کلونین است؟

$$t = -100^{\circ}\text{C} \quad \text{K} = 273 + (-100) \quad \text{K} = 273 - 100 \quad \text{K} = 173^{\circ}$$

تمرین: ۳۱۰ درجه کلونین چند درجه‌ی سانتی‌گراد است؟

$$t = 310^{\circ}\text{C} \quad \text{K} = 273 + ^{\circ}\text{C} \quad 310 = 273 + ^{\circ}\text{C}$$

$$310 - 273 = ^{\circ}\text{C} \quad 37 = ^{\circ}\text{C} \quad \text{C} = 37^{\circ}$$

۳۷ درجه‌ی سانتی‌گراد دمای طبیعی بدن انسان است.

تمرین: ۲۳۴ درجه کلونین چند درجه‌ی سانتی‌گراد است؟

$$t = 234^{\circ}\text{K} \quad \text{K} = 273 + ^{\circ}\text{C} \quad 234 = 273 + ^{\circ}\text{C}$$

$$234 - 273 = ^{\circ}\text{C} \quad \text{C} = 234 - 273 \quad \text{C} = -39^{\circ}$$

۳۹- درجه‌ی سانتی‌گراد نقطه‌ی انجماد جیوه است.

واحد سنجش گرما

گرما نوعی انرژی است در نتیجه واحد سنجش آن نیز واحد انرژی یعنی ژول (J) است. واحد بزرگ‌تر از ژول در سیستم SI کیلو ژول (kJ) است، هرکیلو ژول برابر ۱۰۰۰ ژول است.

$$1 \text{ kJ} = 1000 \text{ J}$$

(cal) کیلو کالری (kcal) است که برابر ۱۰۰۰ کالری می‌باشد.
 $1 \text{ kcal} = 1000 \text{ cal}$
 در محاسبات لازم است واحدهای مختلف گرما را به یکدیگر تبدیل کنیم. کالری از ژول بزرگتر است و میزان بزرگی آن $4/186$ برابر ژول است.
 $1 \text{ cal} = 4/186 \text{ J}$

تمرین: یک کیلو کالری برابر چند ژول است.
 $1 \text{ kcal} = ? \text{ J}$
 می‌دانیم که هر کیلو کالری برابر ۱۰۰۰ کالری است پس باید ۱۰۰۰ کالری را به ژول (J) تبدیل کنیم.
 $1 \text{ kcal} = 1000 \text{ cal}$ $1 \text{ cal} = 4/186 \text{ J}$
 $1000 \times 4/186 = 4186 \text{ J}$
 پس هر کیلو کالری برابر 4186 J می‌باشد.

$$1 \text{ kcal} = 4186 \text{ J}$$

تمرین: گرمای مورد نیاز برای افزایش دمای یک شمش فولادی به جرم 3000 kg از 30°C تا 200°C برابر 229500 kJ است، آن را برحسب کیلوکالری محاسبه کنید.
 $q = 229500 \text{ kJ}$ $229500 \text{ kJ} = ? \text{ kcal}$
 $1 \text{ cal} = 4/186 \text{ J}$ $1 \times 1000 \text{ cal} = 4/186 \times 1000 \text{ J}$
 $1 \text{ kcal} = 4/186 \text{ kJ}$

$$\frac{1 \text{ kcal}}{q} = \frac{4/186 \text{ kJ}}{229500 \text{ kJ}} \Rightarrow q = \frac{229500 \text{ kJ} \times 1 \text{ kcal}}{4/186 \text{ kJ}}$$

 $q = 54825/6 \text{ kcal}$

تمرین: گرمای مورد نیاز برای افزایش دمای یک شمش فولادی به جرم 500 kg از 30°C به 1050°C برابر 229500 kJ است، آن را برحسب کالری محاسبه کنید.
 $1 \text{ cal} = 4/186 \text{ J}$ $q = 229500 \text{ kJ}$ $229500 \text{ kJ} = ? \text{ cal}$
 $\text{kcal} = 4/186 \text{ kJ}$

$$\frac{1000 \text{ cal}}{q} = \frac{4/186 \text{ kJ}}{229500 \text{ kJ}}$$

$$q = \frac{229500 \text{ kJ} \times 1000 \text{ cal}}{4/186 \text{ kJ}} = 5482560 \text{ cal}$$

نکته: پیشوند کیلو به معنای هزار است و قبل از هر واحد اندازه‌گیری که قرار بگیرد، آن را ۱۰۰۰ برابر می‌کند مانند کیلوگرم که ۱۰۰۰ گرم است یا کیلومتر که ۱۰۰۰ متر است.

تمرین: 14 kJ چند ژول است؟

$$14 \text{ kJ} = ? \text{ J}$$

$$q = 14 \text{ kJ} \quad 1 \text{ kJ} = 1000 \text{ J} \quad q = 14 \times 1000 \text{ J}$$

$$q = 14000 \text{ J}$$

تمرین: 0.14 kJ چند ژول است؟

$$0.14 \text{ kJ} = ? \text{ J}$$

$$q = 0.14 \text{ kJ} \quad 1 \text{ kJ} = 1000 \text{ J}$$

$$0.14 = \frac{14}{100} \quad q = \frac{14}{100} \times 1000 \text{ J}$$

$$q = 140 \text{ J}$$

تمرین: 7000 J چند کیلو ژول است؟

$$7000 \text{ J} = ? \text{ kJ}$$

$$q = 7000 \text{ J} \quad 1 \text{ kJ} = 1000 \text{ J}$$

$$\frac{1 \text{ kJ}}{q} = \frac{1000 \text{ J}}{7000 \text{ J}} \quad q = \frac{7000 \text{ J} \times 1 \text{ kJ}}{1000 \text{ J}}$$

$$q = 7 \text{ kJ}$$

تمرین: 70 J چند کیلو ژول است؟

$$70 \text{ J} = ? \text{ kJ}$$

$$q = 70 \text{ J} \quad \frac{1 \text{ kJ}}{q} = \frac{1000 \text{ J}}{70 \text{ J}}$$

$$q = \frac{70 \times 1 \text{ kJ}}{1000 \text{ J}} = 0.07 \text{ kJ}$$

یکی دیگر از واحدهای سنجش گرما کالری است.

تعریف کالری: مقدار گرمایی که به یک گرم (gr) آب داده شود تا دمای آن 1°C افزایش یابد. واحد بزرگتر از کالری



مقایسه و نتیجه‌گیری: جواب این تمرین را با تمرین قبلی مقایسه کنید، نتیجه را بنویسید.
مقدار گرما و دما را در این دو تمرین با هم مقایسه کنید.

تمرین: برای افزایش دمای 20 kg شمش مس از 30°C به 300°C به چند ژول گرما نیاز داریم؟ (گرمای ویژه مس $385 \frac{\text{J}}{\text{kg}^\circ\text{C}}$ است)

$$q = m \times c \times (t_r - t_1)$$

$$t_1 = 30^\circ\text{C}$$

$$m = 20 \text{ kg} \quad c = 385 \frac{\text{J}}{\text{kg}^\circ\text{C}} \quad t_r = 300^\circ\text{C}$$

$$q = 20 \times 385 (300 - 30) = 20 \times 385 \times 270$$

$$q = 2079000 \text{ J}$$



یادآوری: $385 (300 - 30)$ و $385 \times (300 - 30)$ یکی است. زمانی که بین عدد و پرانتز علامتی وجود نداشته باشد مفهوم آن ضرب است یعنی آن عدد در مقدار داخل پرانتز باید ضرب شود.
 $10 (20 - 10) = 10 \times 10 = 100$
 $5 (20 - (-10)) = 5 (20 + 10) = 5 \times 30 = 150$

تمرین: برای افزایش دمای 20 kg شمش آلومینیوم 30°C به 300°C به چند کیلو ژول گرما نیاز داریم؟

$$c_{AL} = 897 \frac{\text{J}}{\text{kg}^\circ\text{C}}$$

چون واحد گرمای ویژه $\frac{\text{J}}{\text{kg}^\circ\text{C}}$ است، مقدار گرما بر حسب J به دست می‌آید و پس از به دست آوردن آن را به kJ تبدیل می‌کنیم.
 $q = m \cdot c \cdot \Delta t \quad m = 20 \text{ kg} \quad c = 897 \frac{\text{J}}{\text{kg}^\circ\text{C}}$

$$\Delta t = 300 - 30 = 270^\circ\text{C}$$

$$q = 20 \times 897 \times 270 = 4843800 \text{ J}$$

$$1 \text{ kJ} = 1000 \text{ J}$$

$$4843800 \div 1000 = \frac{4843800}{1000} = 4843.8 \text{ kJ}$$

با مقایسه این دو تمرین متوجه می‌شویم که مقدار گرمای لازم برای تغییر دمای 20 kg شمش آلومینیوم از 30°C به 300°C بیشتر از گرمای لازم برای شمش مسی 20 کیلوگرمی است و علت آن تفاوت در گرمای ویژه آلومینیوم و مس است.

گرمای ویژه

گرمای مورد نیاز برای تغییر دمای یک کیلوگرم از جسم به میزان 1°C را گرمای ویژه گویند.

واحد سنجش گرمای ویژه ژول بر کیلو گرم بر درجه‌ی

کلوین $\frac{\text{J}}{\text{kg}^\circ\text{K}}$ یا ژول بر کیلوگرم بر درجه‌ی سانتی‌گراد $\frac{\text{J}}{\text{kg}^\circ\text{C}}$ است.

گرمای ویژه را با حرف c نشان می‌دهند. مقدار گرمای

ویژه آب $4186 \frac{\text{J}}{\text{kg}^\circ\text{K}}$ است. بالا بودن گرمای ویژه‌ی آب باعث شده است که در انتقال گرما مورد استفاده قرار گیرد.

میزان گرمای لازم برای تغییر دمای یک جسم از رابطه‌ی زیر محاسبه می‌شود.

$$q = m \times c \times (t_r - t_1)$$

در این رابطه m جرم جسم بر حسب kg و c گرمای

ویژه بر حسب $\frac{\text{J}}{\text{kg}^\circ\text{C}}$ یا $\frac{\text{J}}{\text{kg}^\circ\text{K}}$ است.

t_r دمای نهایی جسم بر حسب $^\circ\text{C}$ یا $^\circ\text{K}$ است.

$(t_r - t_1)$ را اختلاف دما می‌گوییم و آن را با Δt (دلتا تی) نشان می‌دهیم.

در این رابطه q مقدار گرمای داده شده یا گرفته شده است که با قرار دادن واحدهای t_1, t_r, c, m در

رابطه، واحد q به دست می‌آید:

$$q = mc(t_r - t_1) = \cancel{\text{kg}} \times \frac{\text{J}}{\cancel{\text{kg}}^\circ\cancel{\text{K}}} \times \cancel{^\circ\text{K}}$$

$$q = \text{J}$$

واحد گرما (q) ژول بدست می‌آید.



نتیجه گیری:

کیلوگرم بر لیتر $\left(\frac{\text{kg}}{\text{lit}}\right)$ است یعنی یک لیتر آب یک کیلوگرم جرم دارد.

$$m = \rho \times v \quad \rho = 1 \frac{\text{kg}}{\text{lit}} \quad v = 1 \text{ lit} \quad m = 1 \frac{\text{kg}}{\text{lit}} \times 1 \text{ lit}$$

$$m = 1 \text{ kg} \quad q = 1 \times 4186 \times 45 = 188370 \text{ J}$$

تمرین: گرمای لازم برای گرم کردن ۱۰۰ لیتر آب از دمای 60°C به 70°C چند کیلو کالری است؟ (گرمای ویژه آب $4186 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}}$ است)

$$q = m \cdot c \cdot \Delta t \quad v = 100 \text{ lit} \Rightarrow m = 100 \cdot \text{kg} \quad 4186$$

$$c = 4186 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}}$$

$$t_f = 70^\circ\text{C} \quad t_i = 60^\circ\text{C} \quad q = 100 \times 4186 (70 - 60)$$

$$q = 100 \times 4186 \times 10 \quad q = 4186000 \text{ J}$$

مقدار گرما بر حسب کیلو کالری خواسته شده است پس باید z به kcal تبدیل شود. هر کیلو کالری 4186 ژول است پس خواهیم داشت:

$$1 \text{ kcal} \quad 4186 \text{ J} \Rightarrow q = \frac{4186000 \text{ J} \times 1 \text{ kcal}}{4186 \text{ J}}$$

$$q = 1000 \text{ kcal}$$

راه حل دوم: گرمای ویژه ی آب $1 \frac{\text{kcal}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}}$ می باشد پس خواهیم داشت:

$$q = 100 \cdot \text{kg} \times 1 \frac{\text{kcal}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}} \times (70 - 60)^\circ\text{C}$$

$$q = 100 \times 1 \times 10 = 1000 \text{ kcal}$$

۱- با افزایش گرمای ویژه، مقدار گرمای لازم برای افزایش دما نیز بیشتر می شود. گرمای ویژه ی سرب $126 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}}$ است یعنی برای اینکه دمای 1 kg سرب، 1°C افزایش یابد، نیاز به 126 ژول گرما است. گرمای ویژه آب $4186 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}}$ است یعنی برای این که دمای 1 kg آب، 1°C افزایش یابد نیاز به 4186 ژول گرما است.

در نتیجه آب از سرب در شرایط مساوی دیرتر گرم می شود.

۲- با افزایش گرمای ویژه، گرمایی که باید از جسم گرفته شود تا دمای آن کاهش یابد، بیشتر می شود.

گرمای ویژه شیشه $670 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}}$ است یعنی اگر بخواهیم دمای 1 kg شیشه 1°C کاهش یابد، می بایستی 670 ژول گرما از آن بگیریم. گرمای ویژه سنگ مرمر $880 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}}$ است یعنی اگر بخواهیم دمای 1 kg سنگ مرمر 1°C کاهش یابد، می بایستی 880 ژول گرما از آن بگیریم.

نتیجه گیری: شیشه در شرایط مساوی زودتر از سنگ مرمر سرد می شود.

تمرین: گرمای مورد نیاز برای گرم کردن یک لیتر آب از 15°C به 60°C را بر حسب ژول محاسبه کنید.

$$(c_{H_2O} = 4186 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}})$$

$$q = m \cdot c \cdot \Delta t \quad v = 1 \text{ Lit} \quad c = 4186 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}}$$

$$\Delta t = (t_f - t_i) = (60 - 15) = 45^\circ\text{C}$$

در این تمرین حجم آب داده شده است که می بایستی به وسیله ی آن جرم آب را حساب کنیم. اگر حجم را با v و جرم را با m نشان دهیم خواهیم داشت:

$$m = \rho \times v$$

در این رابطه ρ جرم مخصوص است که مقدار آن برابر یک

دمای آب 10°C افزایش می‌یابد و آب 40°C دمایش به 50°C می‌رسد.

$$\Delta t = t_p - t_1 \quad 10 = t_p - 40 \quad 10 + 40 = t_p \quad t_p = 50^{\circ}\text{C}$$

تمرین: در تمرین قبل دمای آب چند درجه‌ی کلون افزایش یافته است؟

$$t_p = 50^{\circ}\text{C} \quad t_1 = 40^{\circ}\text{C} \quad k = 273 + ^{\circ}\text{C}$$

$$t_p = 273 + 50 = 323^{\circ}\text{K} \quad t_1 = 273 + 40 = 313^{\circ}\text{K}$$

$$\Delta t = t_p + t_1 = 323^{\circ}\text{K} - 313^{\circ}\text{K} = 10^{\circ}\text{K}$$

نتیجه‌گیری: اختلاف دما (Δt) بر حسب $^{\circ}\text{C}$ و $^{\circ}\text{K}$ با هم برابر است:

$$\Delta t = 10^{\circ}\text{C} \Rightarrow \Delta t = 10^{\circ}\text{K}$$

به همین علت واحد گرمای ویژه $\frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot ^{\circ}\text{C}}$ و $\frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$ با هم یکسان است.

تمرین: به ۲۰ لیتر آب با دمای 40°C درجه‌ی سلسیوس 200 کیلو کالری گرما می‌دهیم، دمای آب چند درجه‌ی سلسیوس افزایش می‌یابد؟

$$(c_{\text{H}_2\text{O}} = 4186 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot ^{\circ}\text{C}})$$

$$q = m \cdot c \cdot \Delta t$$

$$m = 20 \text{ kg}$$

$$q = 200 \text{ kcal} \quad 200 \text{ kcal}$$


$$c = 4186 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot ^{\circ}\text{C}}$$

در این مثال واحد گرما kcal است که با توجه به واحد گرمای ویژه می‌بایستی واحد گرما را به ژول تبدیل کنیم.

$$1 \text{ kcal} = 4186 \text{ J} \quad 200 \text{ kcal} = ? \text{ J} \quad q = 200 \times 4186$$


$$200 \times 4186 = 20 \times 4186 \times \Delta t \quad \Delta t = \frac{200 \times 4186}{20 \times 4186}$$

$$\Delta t = 10^{\circ}\text{C}$$

تمرین: ۱۰۰ کیلو کالری بر ساعت چند وات است؟ 

$$\frac{1 \frac{\text{kcal}}{\text{hr}}}{100 \frac{\text{kcal}}{\text{hr}}} = 1/16 \text{ W} \Rightarrow H = \frac{100 \frac{\text{kcal}}{\text{hr}} \times 1/16 \text{ W}}{1 \frac{\text{kcal}}{\text{hr}}} = 100 \times 1/16 \text{ W}$$

$$H = 100 \times 1/16 \text{ W} \quad H = 116 \text{ W}$$

تمرین: ۱۰۰ وات چند کیلو کالری بر ساعت است؟ 


$$\frac{1 \frac{\text{kcal}}{\text{hr}}}{H} = \frac{1/16 \text{ W}}{100 \text{ W}} \Rightarrow H = \frac{100 \times 1}{1/16} = \frac{100}{1/16} = 86/2 \frac{\text{kcal}}{\text{hr}}$$

راه حل دوم: $1 \text{ W} = 0/86 \frac{\text{kcal}}{\text{hr}} \quad 100 \text{ W} = ? \frac{\text{kcal}}{\text{hr}}$

$$100 \times 0/86 \frac{\text{kcal}}{\text{hr}} = 100 \times \frac{86}{100} \frac{\text{kcal}}{\text{hr}} = 86 \frac{\text{kcal}}{\text{hr}}$$

اختلاف جزیی در دو راه حل به خاطر گرد کردن ضریب تبدیل ۰/۸۶ و ۱/۱۶ در قسمت قبل است. ضریب تبدیل‌های دقیق‌تر عبارت است از:

$$\frac{4186}{3600} = 1/62777 \quad \frac{3600}{4186} = 0/860095$$

تمرین: یک بلوک رادیاتور ۸۷۰۰۰ ژول گرما را در مدت زمان یک دقیقه به هوای اتاقی اضافه می‌کند. توان گرمایی (قدرت × حرارتی) این رادیاتور چند وات است؟ 

$$\text{توان گرمایی} = \frac{\text{گرما}}{\text{زمان}} = \frac{q}{t} \quad q = 87000 \text{ J} \quad H = ? \text{ W}$$

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

$$H = \frac{87000}{60} = 1450 \frac{\text{J}}{\text{s}} = 1450 \text{ W}$$

توان گرمایی

گرمای مبادله شده در واحد زمان را توان گرمایی گویند.

$$H = \frac{q}{t}$$

واحد سنجش گرما را ژول و واحد زمان را ثانیه در نظر

$$H = \frac{j}{s} = \text{W} \quad \text{می‌گیریم در نتیجه خواهیم داشت:}$$

اگر واحد گرما را کیلو کالری و واحد زمان را ساعت در

نظر بگیریم واحد توان گرمایی $\frac{\text{kcal}}{\text{hr}}$ می‌شود.

برای تبدیل وات به کیلو کالری بر ساعت به ترتیب زیر عمل

$$\text{W} = \frac{j}{s} = ? \frac{\text{kcal}}{\text{hr}} \quad \text{می‌کنیم:}$$

ابتدا ژول را به کیلو کالری تبدیل می‌کنیم.

$$1 \text{ kcal} = 4186 \text{ J} \quad 1 \text{ J} = \frac{1}{4186} \text{ kcal}$$

سپس ثانیه را به ساعت تبدیل می‌کنیم.

$$1 \text{ hr} = 3600 \text{ s} \quad 1 \text{ s} = \frac{1}{3600} \text{ hr}$$

در نتیجه خواهیم داشت:

$$\frac{j}{s} = \frac{\frac{1}{4186} \text{ kcal}}{\frac{1}{3600} \text{ hr}} = \frac{3600}{4186} \frac{\text{kcal}}{\text{hr}} = 0/86 \frac{\text{kcal}}{\text{hr}}$$

$$1 \text{ W} = 0/86 \frac{\text{kcal}}{\text{hr}}$$

برای تبدیل $\frac{\text{kcal}}{\text{hr}}$ به W به ترتیب زیر عمل می‌کنیم:

$$1 \frac{\text{kcal}}{\text{hr}} = ? \text{ W} = ? \frac{j}{s} \quad 1 \text{ kcal} = 4186 \text{ J}$$

$$1 \text{ hr} = 3600 \text{ s} \quad 1 \frac{\text{kcal}}{\text{hr}} = \frac{4186 \text{ J}}{3600 \text{ s}} = 1/16 \frac{j}{s}$$

$$1 \frac{\text{kcal}}{\text{hr}} = 1/16 \text{ W}$$

کیلو کالری بر ساعت از وات بزرگتر است و ۱/۱۶ برابر

وات است.

$$m = 1/2 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 36 \text{ m}^3 \quad m = 43/2 \text{ kg}$$

$$C_{\text{Air}} = 1004 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}}$$

$$t_r = 20^\circ\text{C} \quad t_1 = -5^\circ\text{C}$$

$$q = 43/2 \times 1004 (20 - (-5))$$

$$q = 43/2 \times 1004 \times 25 \quad q = 1084320 \text{ J}$$

$$H = \frac{q}{t} \quad H = 200 \text{ W} \quad 200 = \frac{1084320}{t}$$

$$200 \times t = 1084320 \quad t = \frac{1084320}{200} \quad t = 5421/6 \text{ S}$$

$$1 \text{ hr} = 3600 \text{ S} \quad 5421/6 \div 3600 = 1/5 \text{ hr}$$

انتقال گرما

انتقال گرما از جسمی به جسم دیگر زمانی انجام می‌گیرد که درجه حرارت دو جسم با هم برابر نباشد، مانند انتقال گرما از رادیاتور با دمای 60°C به هوای اتاق با دمای 10°C .

انتقال گرما از جسم با دمای زیاد به جسم با دمای کم صورت می‌گیرد، مانند انتقال گرما از خورشید به زمین، بخاری به هوای اتاق، شعله گاز به ظرف روی آن.

تمرین: ظرفیت گرمایی یک بلوک از رادیاتوری $1250 \frac{\text{kcal}}{\text{hr}}$ است، این رادیاتور در ۱۰ ساعت چه مقدار گرما به هوای اتاق منتقل می‌کند؟

$$H = \frac{q}{t} \quad H = 1250 \frac{\text{kcal}}{\text{hr}} \quad t = 10 \text{ hr} \quad q = ?$$

$$1250 = \frac{q}{10} \quad q = 1250 \frac{\text{kcal}}{\text{hr}} \times 10 \text{ hr} \quad q = 12500 \text{ kcal}$$

تمرین: زمان گرم کردن ۵۰ لیتر آب 18°C به 53°C توسط آب گرم‌کن با قدرت حرارتی 1000 W چند

ثانیه است؟ ($c_w = 4186 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}}$)

$$q = m.c(t_r - t_1)$$

$$m = 50 \text{ kg} \quad c = 4186 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}}$$

$$t_r = 53^\circ\text{C} \quad t_1 = 18^\circ\text{C}$$

$$q = 50 \times 4186 (53 - 18) = 50 \times 4186 \times 35 = 1000 \frac{\text{J}}{\text{s}}$$

$$q = 7325500 \text{ J} \quad H = \frac{q}{t} \quad H = 1000 \text{ W}$$

$$\frac{1000 \frac{\text{J}}{\text{s}}}{1} = \frac{7325500 \text{ J}}{t} \quad 1000 \frac{\text{J}}{\text{s}} \times t = 7325500 \text{ J}$$

$$t = \frac{7325500 \text{ J}}{1000 \frac{\text{J}}{\text{s}}} = 7325/5 \frac{\text{J} \times \text{s}}{\text{J}} = 7325/5 \text{ s}$$

تمرین: توان گرمایی رادیاتور اتاقی ۲۰۰ وات و حجم این اتاق 36 m^3 است. زمان لازم برای گرم شدن هوای این اتاق از -5°C به 20°C چند ساعت است؟ (جرم مخصوص

هوا $1/2 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ و گرمای ویژه هوا $1004 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}}$ می‌باشد).

$$q = m.c(t_r - t_1) \quad v = 36 \text{ m}^3 \quad m = \rho \times v$$

$$\rho = 1/2 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

تمرین: جهت انتقال گرما در دو ستون زیر را رسم کنید.



هوای ۲۰°C داخل اتاق	گوی مسی ۱۵۰°C درون آب
آب ۸۵°C درون ظرف	هوای اتاق ۱۸°C
بدنه ی ۹۰°C آب گرم کن	بخاری گازی ۷۵°C
هوای ۲°C بیرون اتاق	آب ۳۰°C درون آب گرم کن
هوای ۸°C داخل اتاق	هوای ۵°C- بیرون ساختمان
بدنه ی ۶۰°C رادیاتور	آب ۶۵°C داخل رادیاتور
بدن انسان	شعله ی مشعل گازی
بدنه ی دیگ چدنی	هوای ۲۰°C اتاق

روشهای انتقال گرما

انتقال گرما به سه روش هدایت، وزش (همرفت، جابجایی) و تابش انجام می پذیرد. در هر یک از سه روش باید اختلاف دما باشد تا انتقال گرما صورت گیرد. انتقال گرما در اجسام جامد به روش هدایت انجام می شود و در حقیقت انتقال انرژی جنبشی یک مولکول به مولکول مجاور است، مانند گرم شدن تمام یک میله آهنی که تنها یک طرف آن در آتش قرار دارد. میزان انتقال گرما به روش هدایت به عوامل زیر بستگی دارد:

۱. اختلاف دمای سطح گرم و سطح سرد
۲. سطح مقطع جسم
۳. ضخامت جسم
۴. قابلیت هدایت گرمایی
۵. زمان عبور گرما

* هر چه اختلاف دما (Δt) بیشتر شود میزان انتقال گرما نیز بیشتر می شود.

* هر چه سطح مقطع (مساحت) بیشتر شود میزان

انتقال گرما بیشتر می شود.

* هر چه ضخامت جسم بیشتر شود میزان هدایت گرما کمتر می شود. پس ضخامت جسم با میزان انتقال گرما رابطه ی معکوس دارد.

* هر چه قابلیت هدایت گرمایی بیشتر باشد انتقال گرما بیشتر صورت می گیرد.

* قابلیت هدایت گرمایی را با k نشان می دهند و واحد آن $\frac{w.m}{m^2.^{\circ}C}$ است.

* فلزات قابلیت هدایت گرمایی بیشتری نسبت به سایر مواد دارند. قابلیت هدایت گرمایی مس $\frac{w.m}{m^2.^{\circ}C}$ ۳۸۰، آهن

$\frac{w.m}{m^2.^{\circ}C}$ ۵۲، بتن $\frac{w.m}{m^2.^{\circ}C}$ ۱/۷، گچ $\frac{w.m}{m^2.^{\circ}C}$ ۰/۵ و پشم شیشه $\frac{w.m}{m^2.^{\circ}C}$ ۰/۰۵ است.

* اجسامی که هادی خوب الکتریسیته هستند، هادی مناسب گرما نیز می باشند.

* اجسامی را که قابلیت هدایت گرمایی کمی دارند عایق (گرمابند) گویند، مانند پلی یورتان، پشم سنگ، پشم شیشه، پلی استایرن (یونولیت).

انتقال گرما به روش وزش (همرفت) فقط در

مایعات و گازها صورت می‌گیرد.

انتقال گرما به روش وزش به دو نوع وزش طبیعی و وزش اجباری انجام می‌گیرد. گرم شدن هوای اتاق توسط رادیاتور یا بخاری به روش وزش طبیعی است. خشک کردن موها توسط سشوار انتقال گرما به روش وزش اجباری است.

مقدار گرمای انتقال یافته بین سطح جسم گرم و یک سیال مانند هوا یا آب از رابطه‌ی زیر که به رابطه‌ی نیوتن معروف است محاسبه می‌شود.

$$H = F \times A(t_s - t_m)$$

F : ضریب هدایت سطحی بر حسب $\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$
 A : مساحت سطح گرم بر حسب m^2

t_s : دمای سطح گرم بر حسب $^\circ C$

t_m : دمای متوسط سیال بر حسب $^\circ C$

H : گرمای منتقل شده به روش وزش بر حسب W

$$H = \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C} \times m^2 \times ^\circ C = W$$

تمرین: مقدار گرمای انتقال یافته از سطح بیرونی

دیواری به مساحت $12 m^2$ و دمای $10^\circ C$ به هوای بیرون با دمای $5^\circ C$ - چند وات است؟

(ضریب هدایت سطح خارجی دیوار $18 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$ است)

$$H = F \times A(t_s - t_m) \quad F = 18 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$$

$$A = 12 m^2 \quad t_s = 10^\circ C$$

$$t_m = -5^\circ C \quad H = ? W \quad H = 18 \times 12 (10 - (-5))$$

$$H = 18 \times 12 \times 15 \quad H = 3240 W$$

انتقال گرما به روش هدایت از رابطه زیر محاسبه

$$H = \frac{k}{x} \times A(t_r - t_1) \quad \text{می‌شود:}$$

k : قابلیت هدایت گرما بر حسب $\frac{W \cdot m}{m^2 \cdot ^\circ C}$

x : ضخامت جسم بر حسب m

A : مساحت جسم بر حسب m^2

t_r : دمای سطح گرم بر حسب $^\circ C$

t_1 : دمای سطح سرد بر حسب $^\circ C$

H : توان گرمایی بر حسب W

$$H = \frac{\frac{W \cdot m}{m^2 \cdot ^\circ C}}{m} \times m^2 \times ^\circ C$$

$$H = \frac{W \cdot m}{m \cdot m^2 \cdot ^\circ C} \times m^2 \times ^\circ C = W$$

گرما بر حسب وات به دست می‌آید.

تمرین: دمای سطح داخل دیگ آب گرم $95^\circ C$ و

دمای سطح خارجی آن $85^\circ C$ است، اگر ضخامت جداره

$2 cm$ و مساحت آن $2 m^2$ باشد، میزان انتقال گرما از سطح

داخل دیگ به سطح بیرون آن چند W است؟ (قابلیت

هدایت گرمایی چدن $50 \frac{W \cdot m}{m^2 \cdot ^\circ C}$ است)

$$H = \frac{k}{x} A(t_r - t_1) \quad H = ? W \quad k = 50 \frac{W \cdot m}{m^2 \cdot ^\circ C}$$

ضخامت باید بر حسب m باشد.

$$x = 2 cm \quad 1 m = 100 cm$$

$$x = 2 \div 100 = 0.02 m \quad A = 2 m^2$$

$$t_r = 95^\circ C \quad t_1 = 85^\circ C$$

$$H = \frac{50}{0.02} \times 2 (95 - 85) = \frac{5}{2} \times 2 \times 10 = \frac{50}{2} \times 2 \times 10$$

$$H = 5000 W$$

تمرین: مقدار گرمای انتقال یافته از دیوار اتاقی به طول ۵m و ارتفاع ۳m را محاسبه کنید. دمای داخل اتاق ۲۰°C و دمای هوای بیرون ۰°C است و ضریب کلی انتقال گرمای این دیوار $\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$ ۱/۶ می‌باشد.

$$H = U.A(t_i - t_o) \quad U = \frac{1}{6} \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$$

A = ارتفاع دیوار × طول دیوار

$$A = 5m \times 3m = 15m^2 \quad t_i = 20^\circ C \quad t_o = 0^\circ C$$

$$H = \frac{1}{6} \times 15(20 - 0) = \frac{1}{6} \times 15 \times 20 = \frac{1}{6} \times 300$$

$$H = 48.0W$$

تمرین: مقدار گرمایی که از طریق پنجره‌ای به طول ۲/۵m و ارتفاع ۱/۶m از داخل اتاق با دمای ۲۰°C به بیرون با دمای ۰°C منتقل می‌شود را محاسبه کنید.

$$U = \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C} \text{ پنجره}$$

$$H = U.A(t_i - t_o) \quad U = \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$$

$$A = 2/5m \times 1/6m = 4m^2$$

$$t_i = 20^\circ C \quad t_o = 0^\circ C$$

$$H = 6 \times 4(20 - 0) = 6 \times 4 \times 20 = 48.0W$$

با مقایسه دو تمرین قبل مشاهده می‌کنیم انتقال گرما از دیوار ۱۵ متر مربعی اتاق و انتقال گرما از پنجره ۴ مترمربعی همین اتاق با هم برابر و مساوی ۴۸۰ وات است. علت آن تفاوت زیاد در مقادیر ضریب کلی انتقال گرما (U) می‌باشد.

$$U \text{ پنجره} = \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C} \text{ و } U \text{ دیوار} = \frac{1}{6} \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C} \text{ است.}$$

نتیجه: با کم شدن ضریب کلی انتقال گرما (U) مقدار انتقال گرما و به عبارت دیگر مقدار تلفات گرما و هدر رفتن گرما کمتر می‌شود.

تمرین: از هوای داخل اتاقی ۱۳۶۰W گرما به سطح دیوار اتاق منتقل شده است، اگر سطح دیوار ۲۰m^۲، دمای هوای اتاق ۲۰°C و دمای سطح دیوار ۱۲°C باشد، ضریب هدایت سطح داخلی دیوار را بدست آورید.

$$H = F \times A(t_s - t_m) \quad H = 1360W$$

$$F = ? \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$$

$$A = 20m^2 \quad t_s = 20^\circ C \quad t_m = 12^\circ C$$

$$1360W = F \times 20m^2(20 - 12)^\circ C$$

$$1360W = F \times 20m^2 \times 8^\circ C$$

$$1360W = 160m^2 \cdot ^\circ C \times F$$

$$F = \frac{1360W}{160m^2 \cdot ^\circ C} = 8/5 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$$

انتقال گرما از یک جدار

در زمستان انتقال گرما از هوای داخل اتاق به هوای سرد بیرون در سه مرحله صورت می‌پذیرد.

۱- انتقال گرما به روش وزش از هوای گرم داخل به

سطح داخلی دیوار و مقدار آن از رابطه‌ی $H = F.A(t_i - t_o)$ قابل محاسبه است.

۲- انتقال گرما به روش هدایت از سطح داخلی

دیوار به سطح خارجی دیوار و مقدار آن از رابطه‌ی $H = \frac{k}{x} A(t_i - t_p)$ قابل محاسبه است.

۳- انتقال گرما به روش وزش از سطح خارجی دیوار به

هوای سرد بیرون و مقدار آن از رابطه‌ی $H = F.A(t_p - t_o)$ قابل محاسبه است.

برای آسان شدن محاسبات انتقال گرما از هوای گرم

داخل اتاق به هوای سرد خارج اتاق می‌توانیم از رابطه‌ی

$$H = U.A(t_i - t_o) \text{ استفاده کنیم.}$$

U: ضریب کلی انتقال گرمای دیوار برحسب $\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$

که مقدار آن بر اساس مصالح به کار رفته در دیوار، ضخامت دیوار و ضریب هدایت سطحی داخل و خارج است.

در ساختمان‌ها انتقال گرما به غیر از دیوارها می‌تواند

از طریق در، پنجره، سقف و کف نیز صورت گیرد.

$$\text{مقدار صرفه جویی} = 900 - 200 = 700 \text{ W}$$

$$\text{درصد صرفه جویی} = \frac{\text{مقدار صرفه جویی}}{\text{مقدار H بدون عایق}} \times 100$$

$$\text{درصد صرفه جویی} = \frac{700}{900} \times 100 = 77.8\%$$

درصد صرفه جویی در مصرف انرژی را با استفاده از ضریب کلی انتقال گرما (U) نیز می توانیم محاسبه کنیم.

$$U = 0.5 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C} \text{ دیوار با عایق}$$

$$U = 2.25 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C} \text{ دیوار بدون عایق}$$

$$\text{مقدار صرفه جویی} = 2.25 - 0.5 = 1.75 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C} \text{ با استفاده از عایق}$$

$$\text{درصد صرفه جویی} = \frac{\text{مقدار کاهش u بدون عایق}}{\text{u بدون عایق}} \times 100$$

$$\text{درصد صرفه جویی} = \frac{1.75}{2.25} \times 100 = 77.8\%$$

مشاهده می کنید که درصد صرفه جویی از هر دو روش 78 درصد به دست می آید.

تمرین: ضریب کلی انتقال گرمای پنجره با شیشه

یک جداره $5/6 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$ است، اگر به جای آن از پنجره

دو جداره که U آن $2/8 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$ می باشد استفاده

کنیم، صرفه جویی در انرژی چند درصد است؟

$$U = 2/8 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C} \text{ پنجره دو جداره}$$

$$U = 5/6 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C} \text{ پنجره یک جداره}$$

$$U = 5/6 - 2/8 = 2/8 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C} \text{ مقدار کاهش}$$

$$\text{درصد صرفه جویی} = \frac{\text{مقدار کاهش u پنجره یک جداره}}{\text{u پنجره یک جداره}} \times 100$$

تمرین: اگر پنجره ی تمرین قبل را از نوع دو جداره در نظر بگیریم مقدار انتقال گرما از پنجره به هوای بیرون را محاسبه کنید. ($U = 2/9 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$ پنجره دو جداره)

$$H = U.A.(t_i - t_o) \quad U = 2/9 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$$

$$A = 4 m^2 \quad \Delta t = 2$$

$$H = 2/9 \times 4 \times 20 = 232 W$$

مشاهده می کنید که با استفاده از پنجره دو جداره که منجر به کاهش U شده است میزان انتقال گرما نیز کاهش چشمگیری دارد که باعث صرفه جویی در مصرف انرژی می گردد.

تمرین: مقدار انتقال گرما از دیواری با مساحت $20 m^2$ را در صورتی که دمای داخل $18^\circ C$ و دمای خارج $-2^\circ C$ باشد، را محاسبه کنید. محاسبه را یک بار برای دیوار بدون عایق $U = 2/25 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$ و یک بار برای دیوار با عایق $U = 0.5 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$ انجام دهید.

$$H = U.A.(t_i - t_o) \quad A = 20 m^2$$

$$t_i = 18^\circ C \quad t_o = -2^\circ C$$

$$U = 2/25 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C} \text{ دیوار بدون عایق}$$

$$U = 0.5 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C} \text{ دیوار با عایق}$$

$$H = 2/25 \times 20 \times (18 - (-2))$$

$$H = 2/25 \times 20 \times 20 = 900 W$$

$$H = 0.5 \times 20 \times (18 - (-2))$$

$$H = 0.5 \times 20 \times 20 = 200 W$$

تمرین: میزان صرفه جویی در انرژی را با به کار بردن عایق در تمرین قبل محاسبه کنید.

$$H = 900 W \text{ بدون عایق}$$

$$H = 200 W \text{ با عایق}$$

تمرین: مقدار انتقال گرما در تمرین قبل، در صورتی که دمای داخل را از 24°C به 18°C کاهش دهیم چند وات می شود؟

$$H = U.A.(t_i - t_o) \quad U = 5/6 \frac{W}{m^2 \cdot ^{\circ}\text{C}} \quad A = 3/5 m^2$$

$$t_i = 18^{\circ}\text{C} \quad t_o = -6^{\circ}\text{C}$$

$$H = 5/6 \times 3/5 (18 - (-6)) \quad H = 470/4 W$$

مشاهده می کنید با کم کردن درجه حرارت داخل اتاق از 24°C به 18°C مقدار انتقال حرارت کاهش می یابد و در مصرف انرژی صرفه جویی می شود.

درصد صرفه جویی در تمرین قبل را به ترتیب زیر محاسبه می کنیم:

$$24^{\circ}\text{C} \text{ با دمای } H = 588 W$$

$$18^{\circ}\text{C} \text{ با دمای } H = 470/4 W$$

$$\text{مقدار کاهش انتقال گرما} = 588 - 470/4 = 117/6 W$$

$$\text{درصد صرفه جویی} = \frac{117/6}{588} \times 100 = 0/2 \times 100 = 20\%$$

نتیجه گیری: کاهش دمای هوای داخل ساختمان منجر به کاهش مصرف انرژی و به عبارت دیگر کاهش مصرف (گاز، گازوئیل، نفت سفید و برق) است که در نتیجه باعث کاهش هزینه و پول پرداختی شما می گردد. این کاهش دما هیچگونه تغییری نیز در شرایط راحتی شما در ساختمان ایجاد نمی کند. به ازای کاهش هر درجه دما صرفه جویی مصرف انرژی بسته به شرایط اقلیمی سرد و معتدل ایران بین ۳ تا ۵ درصد افزایش می یابد.

شما هنجروی گرمایی به عنوان یکی از نیروهای متخصص ایرانی می توانید الگوی دیگران در درست مصرف کردن انرژی باشید و آموخته های خود را به اعضای خانواده و دیگران منتقل کنید. کم کردن شعله بخاری به جای باز کردن در و پنجره، کاهش منطقی دمای آب گرم با تنظیم ترموستات آب گرم کن، پکیج یا دیگ ساده ترین و آسان ترین کار ممکن در صرفه جویی توسط شما است.

$$\text{درصد صرفه جویی} = \frac{2/8 \frac{W}{m^2 \cdot ^{\circ}\text{C}}}{5/6 \frac{W}{m^2 \cdot ^{\circ}\text{C}}} \times 100 = 0/5 \times 100 = 50\%$$

تمرین: مقدار انتقال گرما از هوای داخل اتاق با دمای 21°C به هوای بیرون با دمای -15°C را از طریق سقف اتاق محاسبه کنید. طول اتاق $4/5 m$ و عرض آن $4 m$ می باشد.

محاسبه انتقال گرما را در دو حالت انجام دهید: سقف بدون عایق با $U = 2/8 \frac{W}{m^2 \cdot ^{\circ}\text{C}}$ و سقف با عایق $U = 1 \frac{W}{m^2 \cdot ^{\circ}\text{C}}$

$$H = U.A.(t_i - t_o)$$

$$H = U.A.(t_i - t_o)$$

$$\text{سقف بدون عایق} = 2/8 (4/5 \times 4) (21 - (-15))$$

$$H = 2/8 \times 18 \times 36$$

$$\text{سقف بدون عایق } H = 1814/4 W$$

$$H = U.A.(t_i - t_o)$$

$$\text{سقف با عایق} = 1 (4/5 \times 4) (21 - (-15))$$

$$H = 1 \times 18 \times 36$$

$$\text{سقف با عایق } H = 648 W$$

میزان انتقال گرما از سقف بدون عایق و سقف عایق دار با هم مقایسه کنید و درصد صرفه جویی در مصرف انرژی را به دست آورید.

تمرین: انتقال گرما از پنجره ای به ابعاد $2/8 m \times 1/25 m$ را در صورتی که دمای داخل 24°C و دمای خارج -6°C و U پنجره $5/6 \frac{W}{m^2 \cdot ^{\circ}\text{C}}$ باشد را بر حسب وات محاسبه کنید.

$$H = U.A.(t_i - t_o) \quad U = 5/6 \frac{W}{m^2 \cdot ^{\circ}\text{C}}$$

$$A = 2/8 m \times 1/25 m = 3/5 m^2$$

$$t_i = 24^{\circ}\text{C} \quad t_o = -6^{\circ}\text{C}$$

$$H = 5/6 \times 3/5 (24 - (-6)) = 5/6 \times 3/5 \times 30 = 588 W$$