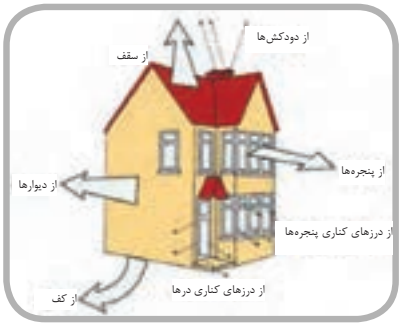
فصل اول
در یک نگاه



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 نشان‌دهنده‌ی 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 وسیله‌ی دماسنج (ترمومتر) 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 کلوین (K) است که معادل ۲۷۳/۱۵°C- است.

$$0°K = -273/15°C$$

تبدیل دمای سلسیوس به درجه‌ی کلوین از رابطه‌ی $K = 273 + °C$ انجام می‌شود.

تمرین: نقطه ی جوش و انجماد آب چند درجه‌ی کلوین است؟

نقطه‌ی جوش آب ۱۰۰°C است برای تبدیل آن به درجه‌ی کلوین از رابطه‌ی k=۲۷۳+°c استفاده می‌کنیم.

K=۲۷۳+۱۰۰ C=۲۷۳+°C t=۱۰۰°K K=۳۷۳°

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

K=۲۷۳+۰ K=۲۷۳+°C t=۰°C K=۲۷۳°

تمرین:۱۰۰°c- برابر چند درجه کلوین است؟

K=۲۷۳+(-۱۰۰) K=۲۷۳+°C t=-۱۰۰°C

K=۱۷۳° K=۲۷۳-۱۰۰

تمرین: ۳۱۰ درجه کلوین چند درجه‌ی سانتی‌گراد است؟

۳۱۰=۲۷۳+C K=۲۷۳+°C t=۳۱۰°C

C=۳۷° ۳۷=C ۳۱۰-۲۷۳=C

۳۷ درجه‌ی سانتی‌گراد دمای طبیعی بدن انسان است.

تمرین:۲۳۴درجه کلوین چند درجه‌ی سانتی‌گراد است؟

۲۳۴=۲۷۳+C K=۲۷۳+°C t=۲۳۴°K

C=-۳۹° C=۲۳۴-۲۷۳ ۲۳۴-۲۷۳=C

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 ۱۰۰۰ژول است. ۱kj=۱۰۰۰j

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: ۱۴ kj چند ژول است؟

$14Kj = ?j$

$q = 14kj \quad 1kj = 1000j \quad q = 14 \times 1000j$

$q = 14000j$

تمرین: ۰/۱۴ kj چند ژول است؟

$0/14kj = ?j$

$q = 0/14kj \qquad 1kj = 1000j$

$0/14 = \frac{14}{100} \qquad q = \frac{14}{100} \times 1000j$

$q = 140j$

تمرین: ۷۰۰۰ j چند کیلو ژول است؟

$7000j = ?kj$

$q = 7000j \qquad 1kj = 1000j$

$\frac{1kJ}{q} = \frac{1000J}{7000J} \qquad q = \frac{7J \times 1kJ}{1}$

$q = 7kJ$

تمرین: ۷۰ j چند کیلو ژول است؟

$70j = ?kj$

$q = 70j \qquad \frac{1kJ}{q} = \frac{1000J}{70J}$

$q = \frac{70 \times 1kJ}{1000J} = 0/07kJ$

یکی دیگر از واحدهای سنجش گرما کالری است.

تعریف کالری: مقدار گرمایی که به یک گرم (gr) آب داده شود تا دمای آن $1^{\circ}C$ افزایش یابد. واحد بزرگتر از کالری (cal)کیلو کالری (kcal) است که برابر ۱۰۰۰کالری می‌باشد. $1kcal = 1000cal$

در محاسبات لازم است واحدهای مختلف گرما را به یکدیگر تبدیل کنیم. کالری از ژول بزرگتر است و میزان بزرگی آن ۴/۱۸۶ برابر ژول است. $1cal = 4/186j$

تمرین: یک کیلو کالری برابر چند ژول است.

$1kcal = ?j$

می‌دانیم که هر کیلو کالری برابر ۱۰۰۰ کالری است پس باید ۱۰۰۰ کالری را به ژول (j) تبدیل کنیم.

$1kcal = 1000cal \qquad 1cal = 4/186j$

$1000 \times 4/186 = 4186j$

پس هر کیلو کالری برابر j ۴۱۸۶ می‌باشد.

$1kcal = 4186j$

تمرین: گرمای مورد نیاز برای افزایش دمای یک شمش فولادی به جرم kg ۳۰۰۰ از $30^{\circ}c$ تا $200^{\circ}c$ برابر ۲۲۹۵۰۰kj است، آن را برحسب کیلوکالری محاسبه کنید.

$q = 229500kj \qquad 229500kj = ?kcal$

$1cal = 4/186j \qquad 1 \times 1000cal = 4/186 \times 1000j$

$1kcal = 4/186kj$

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

$q = 54825/6kcal$

تمرین: گرمای مورد نیاز برای افزایش دمای یک شمش فولادی به جرم kg ۵۰۰ از $30^{\circ}c$ به $1050^{\circ}c$ برابر ۲۲۹۵۰۰kj است، آن را برحسب کالری محاسبه کنید.

$1cal = 4/186j \quad q = 229500kj \qquad 229500kj = ?cal$

$kcal = 4/186kJ$

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

$$q = \frac{229500\cancel{kJ} \times 1000cal}{4/186\cancel{kJ}} = 54825609cal$$

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.

گرمای ویژه

گرمای مورد نیاز برای تغییر دمای یک کیلوگرم از جسم به میزان $1^{\circ}c$ را گرمای ویژه گویند.

واحد سنجش گرمای ویژه ژول بر کیلو گرم بر درجه‌ی کلوین $\frac{j}{kg.^{\circ}K}$ یا ژول برکیلوگرم بر درجه‌ی سانتی‌گراد $\frac{j}{kg.^{\circ}C}$ است.

گرمای ویژه را با حرف c نشان می‌دهند.مقدار گرمای ویژه آب $\frac{j}{kg^{\circ}.K}$ ۴۱۸۶ 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. $q=m\times c\times(t_2-t_1)$

در این رابطه m جرم جسم برحسب kg و c گرمای ویژه بر حسب $\frac{j}{kg.^{\circ}C}$ یا $\frac{j}{kg^{\circ}.K}$ است.

t_2 دمای نهایی جسم برحسب °C یا °K است. (t_2-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_2وt_1،c،m در رابطه، واحد q به دست می‌آید:

$$q=mc(t_2-t_1)=\cancel{kg}\times\frac{j}{\cancel{kg}.^{\circ}\cancel{K}}\times^{\circ}\cancel{K}$$

واحد گرما (q) ژول بدست می‌آید. $q=j$

تمرین: برای افزایش دمای ۲۰ kg شمش مس از $30^{\circ}c$ به $300^{\circ}c$ به چند ژول گرما نیاز داریم؟ (گرمای ویژه مس $385\frac{j}{kg.^{\circ}C}$ است)

$q=m\times c\times(t_2-t_1)$

$t_1=30^{\circ}C$

$m=20kg \quad c=385\frac{j}{kg.^{\circ}C} \quad t_2=300^{\circ}C$

$q=20\times385(300-30)=20\times385\times270$

$q=2079000j$

یادآوری: $(30-300)385$ و $(30-300)\times385$ 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.

$10(20-10)=10\times10=100$

$5(20-(-10))=5(20+10)=5\times30=150$

تمرین: برای افزایش دمای ۲۰kg شمش آلومینیوم $30^{\circ}C$ به $300^{\circ}C$ به چند کیلو ژول گرما نیاز داریم؟

$c_{AL}=897\frac{j}{kg.^{\circ}C}$

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

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

$q=20\times897\times270=4843800j$

$1kj=1000j$

$4843800\div1000=\frac{4843800}{1000}=4843/8kj$

با مقایسه این دو تمرین متوجه می‌شویم که مقدار گرمای لازم برای تغییر دمای ۲۰kg شمش آلومینیوم از $30^{\circ}c$ به $300^{\circ}c$ بیشتر از گرمای لازم برای شمش مسی ۲۰ کیلوگرمی است و علت آن تفاوت درگرمای ویژه‌ی آلومینیوم و مس است.

نتیجه‌گیری:

۱- با افزایش گرمای ویژه، مقدار گرمای لازم برای افزایش دما نیز بیشتر می‌شود. گرمای ویژه‌ی سرب $۱۲۶\frac{j}{kg.^{\circ}C}$ است یعنی برای اینکه دمای ۱ kg سرب، $۱^{\circ}c$ افزایش یابد، نیاز به ۱۲۶j گرما است. گرمای ویژه آب $۴۱۸۶\frac{j}{kg.^{\circ}C}$ است یعنی برای این‌که دمای ۱ kg آب، $۱^{\circ}c$ افزایش یابد نیاز به ۴۱۸۶ j گرما است.

در نتیجه آب از سرب در شرایط مساوی دیرتر گرم می‌شود.

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

گرمای ویژه شیشه $۶۷۰\frac{j}{kg.^{\circ}C}$ است یعنی اگر بخواهیم دمای ۱ kg شیشه $۱^{\circ}c$ کاهش یابد، می‌بایستی ۶۷۰ j گرما از آن بگیریم. گرمای ویژه سنگ مرمر $۸۸۰\frac{j}{kg.^{\circ}C}$ است یعنی اگر بخواهیم دمای ۱ kg سنگ مرمر $۱^{\circ}C$کاهش یابد، می‌بایستی ۸۸۰j گرما از آن بگیریم.

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

تمرین: گرمای مورد نیاز برای گرم کردن یک لیتر آب از $۱۵^{\circ}C$ به $۶۰^{\circ}C$ را برحسب ژول محاسبه کنید.

$(c_{H_2O}=۴۱۸۶\frac{j}{kg.^{\circ}C})$

$q=m.c.\Delta t \quad v=۱Lit \quad c=۴۱۸۶\frac{j}{kg.^{\circ}C}$

$\Delta t=(t_۲-t_۱)=(۶۰-۱۵)=۴۵^{\circ}C$

در این تمرین حجم آب داده شده است که می‌بایستی به وسیله‌ی 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 کیلوگرم بر لیتر $(\frac{kg}{lit})$است یعنی یک لیتر آب یک کیلوگرم جرم دارد.

$m=\rho\times v \quad \rho=۱\frac{kg}{lit} \quad v=۱lit \quad m=۱\frac{kg}{lit}\times ۱lit$

$m=۱kg \quad q=۱\times ۴۱۸۶\times ۴۵=۱۸۸۳۷۰j$

تمرین: گرمای لازم برای گرم کردن ۱۰۰ لیتر آب از دمای $۶۰^{\circ}c$ به $۷۰^{\circ}c$ چند کیلو کالری است؟ (گرمای ویژه آب $۴۱۸۶\frac{j}{kg.^{\circ}C}$ است)

$q=m.c.\Delta t \quad v=۱۰۰lit \Rightarrow m=۱۰۰kg$

$c=۴۱۸۶\frac{j}{kg.^{\circ}C}$

$t_۲=۷۰^{\circ}C \quad t_۱=۶۰^{\circ}C \quad q=۱۰۰\times ۴۱۸۶(۷۰-۶۰)$

$q=۱۰۰\times ۴۱۸۶\times ۱۰ \quad q=۴۱۸۶۰۰۰j$

مقدار گرما بر حسب کیلو کالری خواسته شده است پس باید j به kcal تبدیل شود. هر کیلو کالری ۴۱۸۶ ژول است پس خواهیم داشت:

$$\begin{matrix}۱kcal & ۴۱۸۶j \\ q & ۴۱۸۶۰۰۰j\end{matrix} \Rightarrow q=\frac{۴۱۸۶۰۰۰j\times ۱kcal}{۴۱۸۶j}$$

$q=۱۰۰۰kcal$

راه حل دوم:گرمای ویژه‌ی آب $۱\frac{kcal}{kg.^{\circ}C}$می‌باشد پس خواهیم داشت:

$q=۱۰۰kg\times ۱\frac{kcal}{kg.^{\circ}C}\times(۷۰-۶۰)^{\circ}C$

$q==۱۰۰\times ۱\times ۱۰=۱۰۰۰kcal$

تمرین: به ۲۰ لیتر آب با دمای ۴۰ درجه‌ی سلسیوس ۲۰۰ کیلو کالری گرما می‌دهیم، دمای آب چند درجه‌ی سلسیوس افزایش می‌یابد؟

$(c_{H_2O} = ۴۱۸۶ \frac{j}{kg.°C})$

$q = ۲۰۰ kcal$ $\quad q = m.c.\Delta t$

$c = ۴۱۸۶ \frac{j}{kg.°C}$ $\quad m = ۲۰ kg$

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

$۱ kcal = ۴۱۸۶ j \quad ۲۰۰ kcal = ?j \quad q = ۲۰۰ \times ۴۱۸۶$

$۲۰۰ \times ۴۱۸۶ = ۲۰ \times ۴۱۸۶ \times \Delta t \quad \Delta t = \frac{۲۰۰ \times ۴۱۸۶}{۲۰ \times ۴۱۸۶}$

$\Delta t = ۱۰ °C$

دمای آب $۱۰°c$ افزایش می‌یابد و آب $۴۰°C$ دمایش به $۵۰°C$ می‌رسد.

$\Delta t = t_۲ - t_۱ \quad ۱۰ = t_۲ - ۴۰ \quad ۱۰ + ۴۰ = t_۲ \quad t_۲ = ۵۰ °C$

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

$t_۲ = ۵۰ °C \quad t_۱ = ۴۰ °C \quad k = ۲۷۳ + °C$

$t_۲ = ۲۷۳ + ۵۰ = ۳۲۳ °K \quad t_۱ = ۲۷۳ + ۴۰ = ۳۱۳ °K$

$\Delta t = t_۲ + t_۱ = ۳۲۳ °K - ۳۱۳ °K = ۱۰ °K$

نتیجه‌گیری: اختلاف دما (Δt) بر حسب $°C$ و $°K$ با هم برابر است:

$\Delta t = ۱۰ °C \Rightarrow \Delta t = ۱۰ °K$

به همین علت واحد گرمای ویژه $\frac{j}{kg.°C}$ و $\frac{j}{kg.°K}$ با هم یکسان است.

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 می‌گیریم در نتیجه خواهیم داشت: $H=\frac{j}{s}=w$

اگر واحد گرما را کیلو کالری و واحد زمان را ساعت در نظر بگیریم واحد توان گرمایی $\frac{kcal}{hr}$ می شود.

برای تبدیل وات به کیلو کالری بر ساعت به ترتیب زیر عمل می‌کنیم: $w=\frac{j}{s}=?\frac{kcal}{hr}$

ابتدا ژول را به کیلو کالری تبدیل می‌کنیم.

$$1kcal=4186j \qquad 1j=\frac{1}{4186}kcal$$

سپس ثانیه را به ساعت تبدیل می‌کنیم.

$$1hr=3600s \qquad 1s=\frac{1}{3600}hr$$

در نتیجه خواهیم داشت:

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

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

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

$$1kcal=4186j \qquad 1\frac{kcal}{hr}=?w=?\frac{j}{s}$$

$$1hr=3600\,s \qquad 1\frac{kcal}{hr}=\frac{4186j}{3600s}=1/16\frac{j}{s}$$

$$1\frac{kcal}{hr}=1/16w$$

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

تمرین: ۱۰۰کیلو کالری بر ساعت چند وات است؟

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

$$H=100\times 1/16w \qquad H=116w$$

تمرین: ۱۰۰ وات چند کیلو کالری بر ساعت است؟

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

راه حل دوم: $1w=0/86\frac{kcal}{hr} \qquad 100w=?\frac{kcal}{hr}$

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

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:

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

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؟

$$\text{توان گرمایی}=\frac{\text{گرما}}{\text{زمان}}=\frac{q}{t} \qquad q=87000j \qquad H=?w$$

$$t=1min \qquad 1min=60s \qquad t=60s$$

$$H=\frac{87000}{60}=1450\frac{j}{s}=1450w$$

تمرین: ظرفیت گرمایی یک بلوک از رادیاتوری $۱۲۵۰\frac{kcal}{hr}$ است، این رادیاتور در ۱۰ ساعت چه مقدار ۱۰۰۴ گرما به هوای اتاق منتقل می‌کند؟

$H=\frac{q}{t}$ $H=۱۲۵۰\frac{kcal}{hr}$ $t=۱۰hr$ $q=?$

$۱۲۵۰=\frac{q}{۱۰}$ $q=۱۲۵۰\frac{kcal}{\cancel{hr}}\times ۱۰\cancel{hr}$ $q=۱۲۵۰۰kcal$

تمرین: زمان گرم کردن ۵۰ لیتر آب $۱۸^{\circ}c$ به $۵۳^{\circ}c$ توسط آب‌گرم‌کن با قدرت حرارتی $۱۰۰۰w$ چند ثانیه است؟ $(c_w=۴۱۸۶\frac{j}{kg.^{\circ}c})$

$q=m.c(t_۲-t_۱)$

$m=۵۰kg$ $c=۴۱۸۶\frac{j}{kg.^{\circ}C}$ t ۵۳ C

$t_۲=۵۳^{\circ}C$ $t_۱=۱۸^{\circ}C$

$q=۵۰\times ۴۱۸۶(۵۳-۱۸)=۵۰\times ۴۱۸۶\times ۳۵=۱۰۰۰\frac{j}{s}$

$q=۷۳۲۵۵۰۰j$ $H=\frac{q}{t}$ $H=۱۰۰۰w$

$\frac{۱۰۰۰\frac{j}{s}}{۱}=\frac{۷۳۲۵۵۰۰j}{t}$ $۱۰۰۰\frac{j}{s}\times t=۷۳۲۵۵۰۰j$

$t=\frac{۷۳۲۵۵۰۰j}{۱۰۰۰\frac{j}{s}}=۷۳۲۵/۵\frac{j\times s}{j}=۷۳۲۵/۵s$

تمرین: توان گرمایی رادیاتور اتاقی ۲۰۰ وات و حجم این اتاق $۳۶m^۳$ است. زمان لازم برای گرم شدن هوای این اتاق از $-۵^{\circ}C$ به $۲۰^{\circ}C$ چند ساعت است؟ (جرم مخصوص هوا $۱/۲\frac{kg}{m^۳}$ و گرمای ویژه هوا $۱۰۰۴\frac{j}{kg.^{\circ}c}$ می‌باشد.)

$q=m.c(t_۲-t_۱)$ $v=۳۶m^۳$ $m=\rho\times v$

$\rho=۱/۲\frac{kg}{m^۳}$

$m=۱/۲\frac{kg}{\cancel{m^۳}}\times ۳۶\cancel{m^۳}$ $m=۴۳/۲kg$ C ۱۰۰۴

$C_{Air}=۱۰۰۴\frac{J}{kg.^{\circ}C}$

$t_۲=۲۰^{\circ}C$ $t_۱=-۵^{\circ}C$ = × − −

$q=۴۳/۲\times ۱۰۰۴(۲۰-(-۵))$

$q=۴۳/۲\times ۱۰۰۴\times ۲۵$ $q=۱۰۸۴۳۲۰J$

$H=\frac{q}{t}$ $H=۲۰۰W$ $۲۰۰=\frac{۱۰۸۴۳۲۰}{t}$

$۲۰۰\times t=۱۰۸۴۳۲۰$ $t=\frac{۱۰۸۴۳۲۰}{۲۰۰}$ $t=۵۴۲۱/۶S$

$۱hr=۳۶۰۰S$ $۵۴۲۱/۶\div ۳۶۰۰=۱/۵hr$

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 $۶۰^{\circ}c$ به هوای اتاق با دمای $۱۰^{\circ}c$.

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

گوی مسی ۱۵۰°c درون آب	هوای ۲۰°c داخل اتاق
هوای اتاق ۱۸°c	آب ۸۵°c درون ظرف
بخاری گازی ۷۵°c	بدنه‌ی ۹۰°c آب‌گرم‌کن
آب ۳۰°c درون آب‌گرم‌کن	هوای ۲°c بیرون اتاق
هوای ۵°c- بیرون ساختمان	هوای ۸°c داخل اتاق
آب ۶۵°c داخل رادیاتور	بدنه‌ی ۶۰°c رادیاتور
شعله‌ی مشعل گازی	بدن انسان
هوای ۲۰°c اتاق	بدنه‌ی دیگ چدنی

روشهای انتقال گرما

انتقال گرما به سه روش هدایت، وزش (همرفت، جابجایی) و تابش انجام می‌پذیرد. در هر یک از سه روش باید اختلاف دما باشد تا انتقال گرما صورت گیرد.

انتقال گرما در اجسام جامد به روش هدایت انجام می‌شود 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 می‌شود.
* هر چه سطح مقطع (مساحت) بیشتر شود میزان انتقال گرما بیشتر می‌شود.
* هر چه ضخامت جسم بیشتر شود میزان هدایت گرما کمتر می‌شود. پس ضخامت جسم با میزان انتقال گرما رابطه‌ی معکوس دارد.
* هر چه قابلیت هدایت گرمایی بیشتر باشد انتقال گرما بیشتر صورت می‌گیرد.
* قابلیت هدایت گرمایی را با k نشان می‌دهند و واحد آن $\frac{w.m}{m^{۲}.^{\circ}C}$ است.
* فلزات قابلیت هدایت گرمایی بیشتری نسبت به سایر مواد دارند. قابلیت هدایت گرمایی مس $۳۸۰\frac{w.m}{m^{۲}.^{\circ}C}$، آهن $۵۲\frac{w.m}{m^{۲}.^{\circ}C}$، بتن $۱/۷\frac{w.m}{m^{۲}.^{\circ}C}$، گچ $۰/۵\frac{w.m}{m^{۲}.^{\circ}C}$ و پشم شیشه $۰/۰۵\frac{w.m}{m^{۲}.^{\circ}C}$ است.
* اجسامی که هادی خوب الکتریسیته هستند، هادی مناسب گرما نیز می‌باشند.
* اجسامی را که قابلیت هدایت گرمایی کمی دارند عایق (گرمابند) گویند، مانند پلی‌یورتان، پشم سنگ، پشم شیشه، پلی‌استایرن (یونولیت).

انتقال گرما به روش هدایت از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$H=\frac{k}{x}\times A(t_2-t_1)$$

k: قابلیت هدایت گرما برحسب $\frac{w.m}{m^2.^\circ C}$

x: ضخامت جسم برحسب m

A: مساحت جسم برحسب m^2

t_2: دمای سطح گرم برحسب °c

t_1: دمای سطح سرد برحسب °c

H: توان گرمایی برحسب W

$$H=\frac{\frac{w.m}{m^2.^\circ C}}{\frac{m}{1}}\times m^2\times C^\circ$$

$$H=\frac{w.\cancel{m}}{\cancel{m}.\cancel{m^2}.\cancel{^\circ C}}\times\cancel{m^2}\times\cancel{^\circ C}=W$$

گرما برحسب وات به دست می‌آید.

تمرین: دمای سطح داخل دیگ آب گرم ۹۵°C و دمای سطح خارجی آن ۸۵°C است، اگر ضخامت جداره ۲cm و مساحت آن $2m^2$ باشد، میزان انتقال گرما از سطح داخل دیگ به سطح بیرون آن چند W است؟ (قابلیت هدایت گرمایی چدن $50\frac{w.m}{m^2.^\circ C}$ است)

$$H=\frac{k}{x}A(t_2-t_1)\qquad H=?W\qquad k=5\frac{w.m}{m^2.^\circ C}$$

ضخامت باید برحسب m باشد.

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

$$x=2\div100=0/02m\qquad A=2m^2$$

$$t_2=95^\circ C\qquad t_1=85^\circ C$$

$$H=\frac{5}{0/02}\times2(95-85)=\frac{5}{\frac{2}{100}}\times2\times10=\frac{500}{\cancel{2}}\times\cancel{2}\times10$$

$$H=5000W$$

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 زیرکه به رابطه‌ی نیوتن معروف است محاسبه می‌شود.

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

F: ضریب هدایت سطحی برحسب $\frac{w}{m^2.^\circ C}$

A: مساحت سطح گرم برحسب m^2

t_s: دمای سطح گرم برحسب °C

t_m: دمای متوسط سیال برحسب °C

H: گرمای منتقل شده به روش وزش برحسب w

$$H=\frac{w}{m^2.\cancel{^\circ C}}\times\cancel{m^2}\times\cancel{^\circ C}=W$$

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 $18\frac{w}{m^2.^\circ C}$ است)

$$H=F\times A(t_S-t_m)\qquad F=18\frac{w}{m^2.^\circ C}$$

$$A=12m^2\qquad t_S=10^\circ c$$

$$t_m=-5^\circ c\qquad H=?W\qquad H=18\times12(10-(-5))$$

$$H=18\times12\times15\qquad H=3240W$$

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

$$H = F \times A(t_S - t_m) \qquad H = ۱۳۶۰W$$

$$F = ?\frac{w}{m^۲.^\circ C}$$

$$A = ۲۰m^۲ \qquad t_S = ۲۰^\circ C \qquad t_m = ۱۲^\circ C$$

$$۱۳۶۰W = F \times ۲۰m^۲(۲۰ - ۱۲)^\circ C$$

$$۱۳۶۰W = F \times ۲۰m^۲ \times ۸^\circ C$$

$$۱۳۶۰W = ۱۶۰m^۲.^\circ C \times F$$

$$F = \frac{۱۳۶۰W}{۱۶۰m^۲.^\circ C} = ۸/۵\frac{w}{m^۲.^\circ C}$$

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 $H = \frac{k}{x}A(t_۱ - t_۲)$ قابل محاسبه است.

۳- انتقال گرما به روش وزش از سطح خارجی دیوار به هوای سرد بیرون و مقدار آن از رابطه‌ی $H = F.A(t_۲ - t_o)$ قابل محاسبه است.

برای آسان شدن محاسبات انتقال گرما از هوای گرم داخل اتاق به هوای سرد خارج اتاق می‌توانیم از رابطه‌ی $H = U.A(t_i - t_o)$ استفاده کنیم.

U: ضریب کلی انتقال گرمای دیوار برحسب $\frac{w}{m^۲.^\circ C}$ 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.

تمرین: مقدار گرمای انتقال یافته از دیوار اتاقی به طول ۵m و ارتفاع ۳m را محاسبه کنید. دمای داخل اتاق $۲۰^\circ C$ و دمای هوای بیرون $۰^\circ C$ است و ضریب کلی انتقال گرمای این دیوار $۱/۶\frac{w}{m^۲.^\circ C}$ می‌باشد.

$$H = U.A(t_i - t_o) \qquad U = ۱/۶\frac{w}{m^۲.^\circ C}$$

A=ارتفاع دیوار × طول دیوار

$$A = ۵m \times ۳m = ۱۵m^۲ \qquad t_i = ۲۰^\circ C \qquad t_o = ۰^\circ C$$

$$H = ۱/۶ \times ۱۵(۲۰ - ۰) = ۱/۶ \times ۱۵ \times ۲۰ = ۱/۶ \times ۳۰۰$$

$$H = ۴۸۰W$$

تمرین: مقدار گرمایی که از طریق پنجره‌ای به طول ۲/۵m و ارتفاع ۱/۶m از داخل اتاق با دمای $۲۰^\circ c$ به بیرون با دمای $۰^\circ C$ منتقل می شود را محاسبه کنید. (پنجره $U = ۶\frac{w}{m^۲.^\circ C}$)

$$H = U.A(t_i - t_o) \qquad U = ۶\frac{w}{m^۲.^\circ C}$$

$$A = ۲/۵m \times ۱/۶m = ۴m^۲$$

$$t_i = ۲۰^\circ C \qquad t_o = ۰^\circ C$$

$$H = ۶ \times ۴(۲۰ - ۰) = ۶ \times ۴ \times ۲۰ = ۴۸۰W$$

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 پنجره $۶\frac{w}{m^۲.^\circ C}$ و U دیوار $۱/۶\frac{w}{m^۲.^\circ C}$ 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 می شود.

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. ($U=۲/۹ \frac{w}{m^۲.^\circ C}$ پنجره دوجداره)

$$H = U.A(t_i - t_o) \qquad U = ۲/۹ \frac{w}{m^۲.^\circ C}$$

$$A = ۴m^۲ \qquad \Delta t = ۲$$

$$H = ۲/۹ \times ۴ \times ۲۰ \qquad H = ۲۳۲W$$

مشاهده می‌کنید که با استفاده از پنجره دو جداره که منجر به کاهش U شده است میزان انتقال گرما نیز کاهش چشمگیری دارد که باعث صرفه‌جویی در مصرف انرژی می‌گردد.

تمرین: مقدار انتقال گرما از دیواری با مساحت $۲۰m^۲$ را در صورتی که دمای داخل $۱۸^\circ c$ و دمای خارج $-۲^\circ c$ باشد، را محاسبه کنید. محاسبه را یک بار برای دیوار بدون عایق $U = ۲/۲۵ \frac{w}{m^۲.^\circ C}$ و یک بار برای دیوار با عایق $U = ۰/۵ \frac{w}{m^۲.^\circ C}$ انجام دهید.

$$H = U.A(t_i - t_o) \qquad A = ۲۰m^۲$$

$$t_i = ۱۸^\circ C \qquad t_o = -۲^\circ C$$

دیوار بدون عایق $U = ۲/۲۵ \frac{w}{m^۲.^\circ C}$

دیوار با عایق $U = ۰/۵ \frac{w}{m^۲.^\circ C}$

دیوار بدون عایق $H = ۲/۲۵ \times ۲۰ \left(۱۸ - (-۲)\right)$

$$H = ۲/۲۵ \times ۲۰ \times ۲۰ = ۹۰۰W$$

دیوار با عایق $H = ۰/۵ \times ۲۰ \left(۱۸ - (-۲)\right)$

$$H = ۰/۵ \times ۲۰ \times ۲۰ = ۲۰۰W$$

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

بدون عایق $H = ۹۰۰W$

با عایق $H = ۲۰۰W$

مقدار صرفه‌جویی $= ۹۰۰ - ۲۰۰ = ۷۰۰W$

$$\text{درصد صرفه‌جویی} = \frac{\text{مقدار صرفه جویی}}{\text{مقدار H بدون عایق}} \times ۱۰۰$$

$$\text{درصد صرفه‌جویی} = \frac{۷۰۰}{۹۰۰} \times ۱۰۰ = ۰/۷۸ \times ۱۰۰ = ٪۷۸$$

درصد صرفه‌جویی در مصرف انرژی را با استفاده از ضریب کلی انتقال گرما (U) نیز می‌توانیم محاسبه کنیم.

دیوار با عایق $U = ۰/۵ \frac{w}{m^۲.^\circ C}$

دیوار بدون عایق $U = ۲/۲۵ \frac{w}{m^۲.^\circ C}$

$$\text{مقدارصرفه‌جویی با استفاده ازعایق} = ۲/۲۵ - ۰/۵ = ۱/۷۵ \frac{w}{m^۲.^\circ C}$$

$$\text{درصد صرفه‌جویی} = \frac{\text{مقدار کاهش u}}{\text{بدون عایق u}} \times ۱۰۰$$

$$\text{درصد صرفه‌جویی} = \frac{۱/۷۵}{۲/۲۵} \times ۱۰۰ = ٪۷۸$$

مشاهده می‌کنید که درصد صرفه‌جویی از هر دو روش ۷۸ درصد به دست می‌آید.

تمرین: ضریب کلی انتقال گرمای پنجره با شیشه یک جداره $U = ۵/۶ \frac{w}{m^۲.^\circ C}$ است، اگر به جای آن از پنجره دو جداره که U آن $U = ۲/۸ \frac{w}{m^۲.^\circ C}$ می‌باشد استفاده کنیم، صرفه‌جویی در انرژی چند درصد است؟

پنجره دو جداره $U = ۲/۸ \frac{w}{m^۲.^\circ C}$

پنجره یک جداره $U = ۵/۶ \frac{w}{m^۲.^\circ C}$

$$\text{مقدار کاهش U} = ۵/۶ - ۲/۸ = ۲/۸ \frac{w}{m^۲.^\circ C}$$

$$\text{درصدصرفه‌جویی} = \frac{\text{مقدار کاهش u}}{\text{U پنجره یک جداره}} \times ۱۰۰$$

$$\text{درصدصرفه‌جویی} = \frac{۲/۸\frac{w}{m^۲.^\circ C}}{۵/۶\frac{w}{m^۲.^\circ C}} \times ۱۰۰ = ۰/۵ \times ۱۰۰ = ٪۵۰$$

تمرین: مقدار انتقال گرما از هوای داخل اتاق با دمای $۲۱^\circ c$ به هوای بیرون با دمای $-۱۵^\circ c$ را از طریق سقف اتاق محاسبه کنید. طول اتاق $۴/۵m$ و عرض آن $۴m$ می‌باشد. محاسبه انتقال گرما را در دو حالت انجام دهید: سقف بدون عایق با $U = ۲/۸\frac{w}{m^۲.^\circ C}$ و سقف با عایق $U = ۱\frac{w}{m^۲.^\circ C}$

سقف بدون عایق $H = U.A(t_i - t_o)$

سقف بدون عایق $= ۲/۸(۴/۵ \times ۴)\big(۲۱-(-۱۵)\big)$

$H = ۲/۸ \times ۱۸ \times ۳۶$

سقف بدون عایق $H = ۱۸۱۴/۴W$

سقف با عایق $H = U.A(t_i - t_o)$

سقف با عایق $= ۱(۴/۵ \times ۴)\big(۲۱-(-۱۵)\big)$

$H = ۱ \times ۱۸ \times ۳۶$

سقف با عایق $H = ۶۴۸W$

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

تمرین: انتقال گرما از پنجره‌ای به ابعاد $۲/۸m \times ۱/۲۵m$ را در صورتی که دمای داخل $۲۴^\circ c$ و دمای خارج $-۶^\circ c$ و U پنجره $۵/۶\frac{w}{m^۲.^\circ C}$ باشد را بر حسب وات محاسبه کنید.

$H = U.A(t_i - t_o)$ $\qquad U = ۵/۶\frac{w}{m^۲.^\circ C}$

$A = ۲/۸m \times ۱/۲۵m = ۳/۵m^۲$

$t_i = ۲۴^\circ C \qquad t_o = -۶^\circ C$

$H = ۵/۶ \times ۳/۵\big(۲۴-(-۶)\big) = ۵/۶ \times ۳/۵ \times ۳۰ = ۵۸۸W$

تمرین: مقدار انتقال گرما در تمرین قبل، در صورتی که دمای داخل را از $۲۴^\circ c$ به $۱۸^\circ c$ کاهش دهیم چند وات می‌شود؟

$H = U.A(t_i - t_o) \qquad U = ۵/۶\frac{w}{m^۲.^\circ C} \qquad A = ۳/۵m$

$t_i = ۱۸^\circ C \qquad t_o = -۶^\circ C$

$H = ۵/۶ \times ۳/۵\big(۱۸-(-۶)\big) \qquad H = ۴۷۰/۴W$

مشاهده می‌کنید با کم کردن درجه حرارت داخل اتاق از $۲۴^\circ c$ به $۱۸^\circ c$ مقدار انتقال حرارت کاهش می‌یابد و در مصرف انرژی صرفه‌جویی می شود.

درصد صرفه‌جویی در تمرین قبل را به ترتیب زیر محاسبه می‌کنیم:

با دمای $۲۴^\circ c$ $H = ۵۸۸W$

با دمای $۱۸^\circ c$ $H = ۴۷۰/۴W$

مقدار کاهش انتقال گرما $= ۵۸۸ - ۴۷۰/۴ = ۱۱۷/۶W$

$$\text{درصد صرفه‌جویی} = \frac{۱۱۷/۶}{۵۸۸} \times ۱۰۰ = ۰/۲ \times ۱۰۰ = ٪۲۰$$

نتیجه‌گیری: 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 می‌گردد. این کاهش دما هیچگونه تغییری نیز در شرایط راحتی شما در ساختمان ایجاد نمی‌کند. به ازای کاهش هر درجه‌ی دما صرفه‌جویی مصرف انرژی بسته به شرایط اقلیمی سرد و معتدل ایران بین ۳ تا ۵ درصد افزایش می یابد.

شما هنرجوی گرامی به عنوان یکی از نیروهای متخصص ایرانی می‌توانید الگوی دیگران در درست مصرف کردن انرژی باشید و آموخته‌های 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 آب‌گرم‌کن، پکیج یا دیگ ساده‌ترین و آسان‌ترین کار ممکن در صرفه‌جویی توسط شما است.