

حرارت

هدف‌های رفتاری: پس از پایان این فصل از فراگیر انتظار می‌رود:

- ۱- دما (درجه حرارت) را تعریف کند.
- ۲- تبدیلات مربوط به واحدهای درجه حرارت را انجام دهد.
- ۳- مقدار گرما (حرارت) را تعریف کند.
- ۴- گرمای ویژه، گرمای نهان گداز، گرمای نهان تبخیر را تعریف کند.
- ۵- رابطه مقدار گرما را بنویسد.
- ۶- مقدار گرمای لازم برای ذوب فلزات و احتراق سوخت‌ها را محاسبه کند.
- ۷- راندمان حرارتی کوره را محاسبه کند.

۹- حرارت

۹-۱- ماهیت حرارت

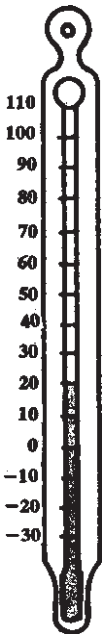
حرارت یا گرما شکل خاصی از انرژی است (انرژی به توانایی یا استعداد انجام کار می‌گویند). در حقیقت این انرژی به لرزش و جنبش اتم‌ها یا مولکول‌های تشکیل‌دهنده جسم مربوط است. در یک جسم، بر هر اتم یا ذره، از طرف مجموعه اتم‌ها و ذرات دیگر، نیروهای جاذبه و دافعه زیادی وارد می‌شود که ارتباط و استقرار آن‌ها، شکل و مجموعه اتمی جسم را مشخص و تعیین می‌کند. اگر بر اثر نیروی خارجی (اعمال حرارت، فشار، اصطکاک، ضربه و ...) دامنه نوسان‌ها و ارتعاشات درونی بین اتمی، افزایش یابد، نیروهای جاذبه و دافعه کاهش یافته و جسم ذوب می‌شود (اتم‌ها یا مجموعه‌ای از آن‌ها روی هم می‌لغزند). چنانچه تأثیر عوامل خارجی مذکور بیشتر شود، انرژی جنبشی و ارتعاشی ذرات افزایش یافته و جسم به حالت گاز درمی‌آید. بنابراین، «حرارت یا گرما بر اثر حرکت و جنبش نامنظم مولکول‌های جسم به وجود می‌آید».

۹-۲- درجه حرارت

وقتی تحرک و شدت ارتعاش اتم‌ها یا مولکول‌های یک جسم زیاد شود، گفته می‌شود که جسم گرم‌تر شده است. این حرکت گرمایی، در حقیقت مشخص‌کننده کمیّتی است که به آن درجه حرارت یا دما^۱ می‌گویند. دمای یک جسم مربوط است به انرژی متوسط حرکت گرمایی مولکول‌های آن. چنانچه دو جسم را که با درجه حرارت‌های مختلف گرم شده‌اند به هم تماس دهیم، نوعی انتقال انرژی یا مبادله گرما انجام می‌گیرد و آنکه گرم‌تر است سرد شده و دمای جسم دیگر را بالا می‌برد. چون اندازه‌گیری دامنه ارتعاشات مولکول‌ها به سهولت و در شرایط غیرآزمایشگاهی ممکن نیست از این رو اندازه‌گیری حرارت درونی یا بیرونی یک جسم به وسیله مقایسه آن با حرارت یک جسم مشخص و در شرایط معینی به عمل می‌آید که در مجموع می‌توان گفت که نسبت گرمایی آن دو جسم تعیین می‌شود. به عبارت دیگر تعیین درجه حرارت بر پایه مقایسه و تأثیرپذیری و یا بی‌اثر بودن ارتعاش مولکولی یک جسم بر جسم دیگر بیان می‌شود. لذا بر این اساس، گرمی و سردی، یک امر نسبی است که با درجه حرارت مشخص می‌شود.

۹-۳- اساس و نحوه اندازه‌گیری درجه حرارت

درجه حرارت عاملی است که احساس سردی یا گرمی را در انسان ایجاد می‌کند. ولی احساس انسان به طور دقیق قادر به تشخیص درجه حرارت اجسام نیست و به علاوه حدود درجه حرارت قابل اندازه‌گیری از این طریق، محدود است. از این رو باید متوسّل به تأثیر حرارت بر حساس‌ترین خاصیت اجسام شد. مهمترین این تأثیرات عبارتند از: انبساط حجمی مایعات (مخصوصاً جیوه و الکل)، انبساط طولی فلزات و آلیاژها، تغییر حالت اجسام (نقطه زینتر^۲ و خمیری شدن، نقطه ذوب، نقطه جوش و...)، ازدیاد فشار گازهای نزدیک به گاز ایده‌آل نظیر: هلیوم، نیدروژن و ازت، تغییرات مقاومت و جریان الکتریکی در فلزات، تغییر ولتاژ و نیروی محرکه الکتریکی، تغییرات رنگ و تشعشع اجسام گداخته و ملتهب.



شکل ۹-۱- اندازه‌گیری درجه حرارت در یک دماسنج جیوه‌ای

براساس یکی از تأثیرات و شرایط مذکور، دماسنج یا ترمومتر^۱، طراحی و ساخته می‌شود که در موارد مختلف اندازه‌گیری، قابل استفاده است. درجه‌بندی دماسنج‌ها یکسان نیست ولی آنچه مشخص است تعیین دو نقطه اصلی ثابت مانند ذوب یخ و نقطه جوش آب (هم‌سطح دریای آزاد که فشار هوا ۱ اتمسفر است.) به عنوان مقیاس و مبنای اصلی است. شکل ۱-۹ تأثیر حرارت بر انبساط جیوه را در طول لوله باریک یک دماسنج که مقطع آن در تمام قسمت‌ها یکسان است، نشان داده است.

۹-۴- واحدهای درجه حرارت

درجه حرارت با واحدها و مقیاس‌های دمایی مختلف و براساس درجه‌بندی دماسنج‌ها بیان می‌شود که متداولترین و مشهورترین آن‌ها عبارتند از:

۱-۴-۹ درجه‌بندی سلسیوس^۲: این درجه‌بندی صد قسمتی (سانتیگراد) است. در این مقیاس نقطه ذوب یخ برابر صفر، و نقطه جوش آب در شرایط یک اتمسفر فشار، برابر ۱۰۰° تعیین شده است. این درجه‌بندی و مقیاس، در اکثر کشورهای جهان از جمله ایران مورد استفاده است و با علامت °C مشخص می‌شود.

۲-۴-۹ درجه‌بندی فارنهایت^۳: در این مقیاس، دمای انجماد آب (که برابر است با نقطه ذوب یخ)، °C برابر ۳۲ درجه فارنهایت و نقطه جوش آب °C ۱۰۰ و معادل ۲۱۲ درجه فارنهایت در نظر گرفته شده است. در این صورت فاصله بین نقطه ذوب یخ و نقطه جوش آب ۱۸۰ قسمتی خواهد بود. زیرا:

$$212 - 32 = 180 \text{ درجه فارنهایت}$$

این واحد در کشورهای انگلیسی زبان متداول است و با علامت °F مشخص می‌شود.

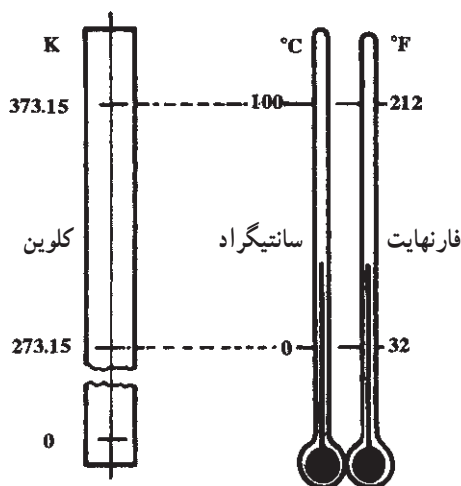
۳-۴-۹ درجه‌بندی کلونین^۴: واحد اندازه‌گیری درجه حرارت در سیستم SI، درجه کلونین است که آن را با علامت K مشخص می‌کنند. صفر این درجه‌بندی معادل ۲۷۳/۱۵- درجه سانتیگراد و فاصله درجات آن نیز به همان اندازه سانتیگراد است. این درجه حرارت پایین‌ترین حدّ دمای ممکن است (صفر مطلق). در این دما که برای تمام اجسام یکسان است، انرژی داخلی ماده به حداقل ممکن می‌رسد. شکل ۲-۹ مقایسه درجه‌بندی‌های کلونین، سانتیگراد و فارنهایت را نشان می‌دهد.

۱- Thermometer

۲- Anders Celcius

۳- Gabriel Fahrenheit

۴- William Thomson Kelvin



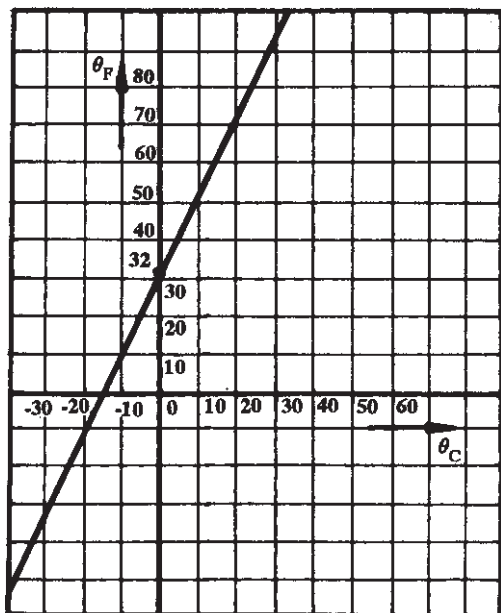
شکل ۲-۹- مقایسه درجه بندی های کلین، سانتیگراد و فارنهایت

۵-۹- رابطه تبدیل واحدهای درجه حرارت

به کمک این دو رابطه، می توان تمام واحدهای درجه حرارت را به یکدیگر تبدیل کرد :

$$\frac{\theta_F - 32}{180} = \frac{\theta_C}{100}$$

$$T_K = \theta_C + 273.15$$



که در آن ها θ_C درجه حرارت سانتیگراد، θ_F درجه حرارت فارنهایت (θ تپا حرف یونانی است) و T_K درجه حرارت کلین است. شکل ۳-۹ نمودار تغییرات تابع θ_F را نسبت به θ_C نشان می دهد. این نمودار، خطی است مستقیم که به کمک آن می توان درجه حرارت جسم را از سانتیگراد به فارنهایت (و بالعکس) تبدیل کرد.

شکل ۳-۹- نمودار تغییرات درجه حرارت فارنهایت نسبت به درجه حرارت سانتیگراد

مثال ۱: نقطه ذوب مس 1083°C است. نقطه ذوب آن را برحسب درجه فارنهایت و درجه کلون تعیین کنید.

$$\frac{\theta_F - 32}{180} = \frac{\theta_C}{100} \quad \text{حل:}$$

$$\frac{\theta_F - 32}{180} = \frac{1083}{100} \Rightarrow \theta_F - 32 = \frac{180 \times 1083}{100} = 1949/4 \Rightarrow$$

$$\theta_F = 1949/4 + 32 = 1981/4^{\circ}\text{F}$$

$$T_K = \theta_C + 273/15$$

$$T_K = 1083 + 273/15 = 1356/15\text{K}$$

مثال ۲: نقطه ذوب سرب $600/5$ درجه کلون و نقطه ذوب قلع $449/6$ درجه فارنهایت است. کدام یک از آن‌ها دیر ذوب‌تر هستند؟ (نقطه ذوب کدام یک بیشتر است؟)

حل:

$$T_K = \theta_C + 273/15$$

نقطه ذوب سرب

$$600/5 = \theta_C + 273/15 \Rightarrow \theta_C = 600/5 - 273/15 = 327/35^{\circ}\text{C}$$

$$\frac{\theta_F - 32}{180} = \frac{\theta_C}{100}$$

$$\frac{449/6 - 32}{180} = \frac{\theta_C}{100} \Rightarrow \theta_C = \frac{100(449/6 - 32)}{180} = 232^{\circ}\text{C} \quad \text{نقطه ذوب قلع}$$

چنانچه ملاحظه می‌شود، نقطه ذوب سرب بیشتر از نقطه ذوب قلع است که اختلاف آن‌ها برابر است با:

$$327/35 - 232 = 95/35^{\circ}\text{C}$$

۹-۶- تعریف مقدار حرارت

تجربیات و شواهد متعددی وجود دارد که ثابت می‌کند هرگاه جسمی (جامد، مایع یا گاز) گرم شود، سرعت و شدت حرکت مولکول‌های آن زیاد شده و باعث تغییری در جسم می‌شود. ممکن است

این تغییر، با افزایش دما، یا تغییر حالت‌های فیزیکی جسم ظاهر شود. مثلاً وقتی به یک قطعه فلز، مقداری حرارت داده می‌شود، درجه حرارتش بالا می‌رود و چنانچه همین قطعه در نقطه ذوب فلز گرم شود، دمایش ثابت مانده و در عوض تغییر حالت می‌دهد به طوری که از وضعیت جامد خارج شده و به مذاب تبدیل می‌شود (تغییر فاز). ولی به هر حال قطعه فلزی مقداری حرارت گرفته و انرژی داخلی یا درونی آن بالا رفته است. به عبارت دیگر جنبش اتم‌های فلز (انرژی مکانیکی) بیشتر شده است. بنابراین هرچه سرعت اتم‌ها یا مولکول‌ها و تعداد آن‌ها بیشتر باشد، این انرژی نیز بیشتر خواهد بود (به همین علت مقدار حرارت، با جرم جسم و ازدیاد دمای آن متناسب است). طبق تعریف می‌توان گفت که: «مقدار حرارت اندازه‌ای است از انرژی مکانیکی که می‌تواند باعث تغییرات دمایی یا حالت‌های فیزیکی مختلف در اجسام شده و انرژی داخلی آن‌ها را تغییر دهد».

مقدار حرارت نیز مانند انرژی مکانیکی دارای الگوی هندسی نبوده و برخلاف کمیت‌هایی نظیر طول و جرم، نمی‌توان از آن نمونه‌ای به عنوان واحد گرما ساخت و نگهداری کرد. مقدار حرارت را با حرف Q (یا H) نمایش می‌دهند.

۹-۷- واحدهای مقدار حرارت

چون حرارت نوعی انرژی است، لذا واحد آن نیز مانند واحد انرژی و کار در سیستم SI، ژول^۱ خواهد بود که عبارتست از کار نیروی یک نیوتن به اندازه یک متر. ولی قبل از آنکه مسلم شود حرارت، انرژی مکانیکی مولکول‌های جسم است، ۳ واحد برای اندازه‌گیری آن متداول بوده که امروزه نیز هنوز معمول و رایج است. این واحدها عبارتند از:

کالری (cal)، کیلوکالری (kcal) و بی‌تی‌یو (B.T.U)^۲

۹-۷-۱- تعریف مقدار کالری: یک کالری مقدار حرارتی است که می‌تواند

دمای یک گرم آب خالص را از 14°C به 15°C افزایش دهد. (مقدار گرمای لازم برای گرم کردن یک گرم آب به اندازه یک درجه سانتیگراد فقط در فاصله دمایی مذکور، برابر یک کالری است و هرچه این اختلاف در درجه حرارت‌های بالاتر انتخاب شود، کالری لازم کمی بیشتر خواهد بود).

^۱ Joule

^۲ علامت اختصاری British Thermal Unit (واحد حرارت بریتانیا)

۹-۷-۲ کیلوکالری: برابر ۱۰۰۰ کالری و به عبارت دیگر گرمای لازم برای افزایش یک درجه سانتیگراد (۱۴/۵°C تا ۱۵/۵°C) برای یک کیلوگرم آب خالص است.

۹-۷-۳ بی تی یو: مقدار حرارتی است که می تواند درجه حرارت یک پوند (۴۵۳/۵۹ گرم) آب خالص را از ۶۳°F به ۶۴°F برساند. هر بی تی یو ۲۵۲ کالری است.

بنابراین:

$$1 \text{ kcal} = 1000 \text{ cal} = \frac{1000}{252} \text{ B.T.U.} = 3/97 \text{ B.T.U.}$$

$$1 \text{ B.T.U.} \approx \frac{1}{4} \text{ kcal}$$

به طور تقریبی می توان نوشت:

در ایران واحد مقدار حرارت کالری (و همچنین ژول) تعیین شده است و واحد B.T.U در بعضی محاسبات صنعتی نظیر مسایل حرارتی مربوط به شومیز و تأسیسات حرارت مرکزی و پالایشگاه ها به کار می رود.

۹-۸ رابطه کالری و واحد مکانیکی کار و انرژی

همانطور که قبلاً گفته شد، گرما عبارتست از انرژی مکانیکی و جنبشی مولکول های جسم. ژول دانشمند انگلیسی با آزمایش های متعدد نشان داد که اگر انرژی یک کالری (مجموع انرژی های جنبشی مولکول های یک گرم آب در فاصله دمایی یک درجه سانتیگراد) توسط دستگاهی به کار تبدیل شود، این کار قادر خواهد بود یک وزنه ۴/۱۸۶۸ نیوتنی را به اندازه یک متر به طور قائم بالا ببرد و چون کار یک نیوتن به اندازه یک متر، ژول نامیده می شود، لذا می توان نوشت:

$$1 \text{ cal} \approx 4/19 \text{ J} \Rightarrow \text{ژول } 4/1868 = 1 \text{ کالری}$$

بنابراین کار معادل Q کالری چنین خواهد بود:

$$J = 4/1868 \text{ cal}$$

به کمک این رابطه می توان واحدهای مقدار گرما را بر حسب ژول (واحد مقدار حرارت در سیستم SI) تبدیل کرد.

$$1 \text{ kcal} = 1000 \text{ cal} = 4/1868 \times 1000 \text{ J} = 4186/8 \text{ J} \approx 4/19 \text{ kJ}$$

$$1 \text{ B.T.U.} \approx \frac{1}{4} \text{ kcal} \Rightarrow 1 \text{ B.T.U.} \approx \frac{4/19 \text{ kJ}}{4} \approx 1/05 \text{ kJ}$$

۹-۹- تعریف ظرفیت حرارتی

مقدار گرمای لازم برای افزایش یک درجه سانتیگراد از هر جسمی را ظرفیت حرارتی آن جسم نامیده و آن را با A نمایش می‌دهند. با این تعریف معلوم می‌شود که مقدار حرارت لازم برای آنکه درجه حرارت دو جسم با جرم‌های مساوی (ولی از دو جنس متفاوت) به یک اندازه افزوده شود، یکسان نیست. مثلاً برای آنکه 3° کیلوگرم آلومینیم از 20°C به 21°C برسد، حدود $6/5\text{ kcal}$ حرارت لازم دارد. درحالی که افزایش همین درجه حرارت برای 3° کیلوگرم آهن به $3/4\text{ kcal}$ حرارت نیازمند است. اگر Q مقدار گرمایی باشد که بتواند درجه حرارت جسم را به اندازه $\Delta\theta$ بالا ببرد، در این صورت می‌توان نوشت:

$$A = \frac{Q}{\Delta\theta}$$

$$\Delta\theta = \theta_2 - \theta_1$$

مثال: گرمای لازم برای بالا بردن درجه حرارت یک قطعه مسی از 25°C تا 40°C ، $13/9\text{ kcal}$ است. ظرفیت حرارتی آن را برحسب کالری بر درجه سانتیگراد و همچنین ژول بر درجه کلوین تعیین کنید.

$$Q = 13/9\text{ kcal} = 13900\text{ cal}$$

حل:

$$A = \frac{Q}{\Delta\theta} \Rightarrow A = \frac{13900}{40^\circ - 25^\circ} = 37/067 \frac{\text{cal}}{^\circ\text{C}}$$

چون اختلاف درجه حرارت کلوین و سانتیگراد برابر است ($\Delta T = \Delta\theta$) لذا:

$$A = \frac{13900 \times 4/19}{40 - 25} \frac{\text{J}}{\text{K}} = 155/3 \frac{\text{J}}{\text{K}}$$

۹-۱۰- تعریف گرمای ویژه

برای تعیین ظرفیت حرارتی اجسام، از ظرفیت حرارتی واحد جرم تحت عنوان «گرمای ویژه» استفاده می‌کنند و آن عبارت است از: مقدار حرارت لازم برای افزایش یک درجه سانتیگراد برای هر گرم (یا کیلوگرم) از جسم. گرمای ویژه اجسام در درجه حرارت‌های مختلف، برابر نیست. به‌طوری که اندازه آن را تحت فشار ثابت و یا حجم ثابت در درجه حرارت‌های مختلف، و حالت‌های فیزیکی متفاوت تعیین کرده و در جداولی درج کرده‌اند. گرمای ویژه را با حرف c نمایش می‌دهند. چون گرمای ویژه اجسام در درجه حرارت‌های مختلف متفاوت است، لذا در محاسبات و حل مسایل، متوسط (یا میانگین) آن را منظور می‌کنند. گرمای ویژه متوسط به صورت \bar{c} مشخص می‌شود.

۱-۹-۱ واحد گرمای ویژه: چون گرمای ویژه، مقدار حرارت لازم برای افزایش یک درجه سانتیگراد از جرمی به جرم واحد را مشخص می‌کند، لذا مقدار حرارت مورد نیاز برای افزایش درجه حرارت جرمی به اندازه $\Delta\theta$ و به جرم m ، برابر است با: $Q = mc\Delta\theta$ و با تعیین مقدار c خواهیم داشت: $c = \frac{Q}{m\Delta\theta}$ که به کمک آن می‌توان واحدهای گرمای ویژه را مشخص کرد که عبارتند از:

$$\frac{\text{cal}}{\text{g} \cdot ^\circ\text{C}} = \frac{\text{kcal}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}} \quad \text{و} \quad \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}} = \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}} \Rightarrow 1 \frac{\text{cal}}{\text{g} \cdot ^\circ\text{C}} = 4186/8 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$$

یادآوری می‌شود که فاصله درجات حرارتی سانتیگراد و کلونین یکسان است. به همین دلیل در محاسبات، برای مشخص کردن مقدار گرمای ویژه به کار بُردن واحد $\frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}}$ به جای $\frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$ (واحد گرمای ویژه در سیستم SI) معمول بوده و صحیح است.

در سیستم انگلیسی، واحد گرمای ویژه برحسب بی‌تی‌یو بر پوند درجه فارنهایت $(\frac{\text{B.T.U}}{\text{lb} \cdot ^\circ\text{C}})$

بیان می‌شود.

جدول ۹-۱ گرمای ویژه برخی از فلزات و آلیاژها را نشان می‌دهد (همچنین گرمای ویژه آب که در 25°C برابر واحد فرض، شده است).

جدول ۹-۱- گرمای ویژه پاره‌ای از مواد

فلز	گرمای ویژه $\text{cal/g} \cdot ^\circ\text{C}$	گرمای ویژه $\text{kJ/kg} \cdot \text{K}$	آلیاژ ^۱	گرمای ویژه $\text{cal/g} \cdot ^\circ\text{C}$	گرمای ویژه $\text{kJ/kg} \cdot \text{K}$
آلومینیم	۰/۲۱۷	۰/۹۰۸	چدن	۰/۱۱۶	۰/۴۸۵
آهن	۰/۱۱۳	۰/۴۷۳	فولاد	۰/۱۱۵	۰/۴۸۱
مس	۰/۰۹۳	۰/۳۹۰	برنج	۰/۰۹۴	۰/۳۹۳
منیزیم	۰/۲۳۴	۰/۹۸۰	برنز	۰/۰۸۲	۰/۳۴۳
سرب	۰/۰۳۱	۰/۱۳۰	سرب خشک	۰/۰۳۵	۰/۱۴۶
روی	۰/۰۹۱	۰/۳۸۱	دور آلومین	۰/۲۱۱	۰/۸۸۳
قلع	۰/۰۵۴	۰/۲۲۶	آب	۱	۴/۱۸۶

۱- در مورد آلیاژها ترکیب آن‌ها حائز اهمیت است و در هر مورد با نسبت‌های ترکیبی، گرمای ویژه تغییر می‌کند.

۹-۱۱- تعریف نقطه ذوب

درجه حرارتی است که در فشار یک اتمسفر، جسم تغییر شکل ساختمانی از حالت جامد به مایع می‌دهد. نقطه انجماد نیز با نقطه ذوب برابر بوده و آن درجه حرارتی است که می‌تواند در همین فشار تغییر شکل ساختمانی از حالت مایع به جامد ایجاد کند و در طول مدت ذوب یا انجماد، همواره درجه حرارت ثابت است.

۹-۱۲- تعریف گرمای نهان گداز

مقدار حرارتی است که واحد جرم جسم در نقطه ذوب و در فشار یک اتمسفر می‌گیرد، تا به حالت مایع درآید. گرمای نهان گداز را با حرف λ (لاندا) نمایش می‌دهند.

۹-۱۲-۱- واحد گرمای نهان گداز: اگر جرم جسمی m و گرمای نهان گداز آن λ باشد، بدیهی است که گرمای لازم برای ذوب آن (در نقطه ذوب)، $Q_\lambda = m \cdot \lambda$ خواهد بود. از این رابطه می‌توان λ را به دست آورده و واحدهای آن را بیان کرد:

$$\lambda = \frac{Q_\lambda}{m} \Rightarrow \lambda \text{ واحدهای } \lambda: \frac{\text{cal}}{\text{g}} = \frac{\text{kcal}}{\text{kg}} \text{ و } \frac{\text{J}}{\text{kg}} \text{ و } \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \text{ و } \frac{\text{B.T.U}}{\text{lb}}$$

برای تبدیل واحد $\frac{\text{cal}}{\text{g}}$ به واحد سیستم SI ($\frac{\text{J}}{\text{kg}}$) می‌توان از تساوی زیر استفاده کرد.

$$1 \frac{\text{cal}}{\text{g}} = 4/1868 \times 10^3 \frac{\text{J}}{\text{kg}} \approx 4/19 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

در جدول ۹-۲ گرمای نهان گداز تعدادی جسم جامد (در نقطه ذوب آن‌ها) درج شده است.

جدول ۹-۲- گرمای نهان گداز و نقطه ذوب پاره‌ای از مواد

جسم	نقطه ذوب $T_m [K]$	گرمای نهان گداز $\lambda [J/kg]$	جسم	نقطه ذوب $T_m [K]$	گرمای نهان گداز $\lambda [J/kg]$
آلومینیم	۹۳۲	$3/8 \times 10^5$	نقره	۱۲۳۳	$8/8 \times 10^4$
مس	۱۳۵۶	$1/8 \times 10^5$	فولاد	۱۶۷۳	$2/1 \times 10^5$
طلا	۱۳۳۷	$6/6 \times 10^4$	گوگرد	۳۸۵/۸	$5/5 \times 10^4$
آهن	۱۸۰۳	$2/7 \times 10^5$	قلع	۵۰۵	$5/8 \times 10^4$

چدن سفید	۱۴۷۳	$۱/۳ \times ۱۰^۵$	تنگستن	۳۶۸۳	$۲/۶ \times ۱۰^۴$
چدن خاکستری	۱۴۲۳	$۹/۷ \times ۱۰^۴$	یخ	۲۷۳	$۳/۳۵ \times ۱۰^۵$
سرب	۶۰۰	$۲/۵ \times ۱۰^۴$	روی	۶۹۲	$۱/۱۸ \times ۱۰^۵$
جیوه	۲۳۴	$۱/۲۵ \times ۱۰^۴$			

۱۳-۹- تعریف گرمای نهان تبخیر

مقدار حرارتی است که، واحد جرم جسم مذاب در نقطه جوش و در فشار یک اتمسفر می‌گیرد تا به حالت بخار درآید. این کمیت را با حرف L نشان می‌دهند.

لازم به توضیح است که نقطه ذوب، نقطه تبخیر، گرمای نهان گداز و گرمای نهان تبخیر با فشار محیط تبخیر می‌کند و این تغییرات درمورد نقطه تبخیر و گرمای نهان تبخیر بسیار زیاد است. در اکثر موارد گرمای نهان تبخیر اجسام، فلزات و آلیاژها حدود ۴ تا ۵ برابر گرمای نهان ذوب آنها است. به همین علت انرژی جنبشی گازها به مراتب بیشتر از مایعات و در نتیجه بیشتر از اجسام جامد است. از طرف دیگر شباهت ساختمانی مایعات به جامدات به مراتب بیشتر از شباهت ساختمانی مایعات به گازها است و به همین دلیل است که در مواردی ساختمان مایعات را تقریباً همان ساختمان جامدات می‌دانند.

۱-۱۳-۹- واحد گرمای نهان تبخیر: اگر جرم جسم مذابی در نقطه جوش، m و گرمای نهان تبخیر آن L باشد، در این صورت، گرمای لازم برای تبدیل مذاب به حالت بخار برابر است با:

$$Q_L = m.L$$

که با تعیین L می‌توان نوشت:

$$L = \frac{Q_L}{m}$$

چنانچه ملاحظه می‌شود این رابطه نظیر رابطه گرمای نهان گداز است. به همین دلیل واحدهای گرمای نهان تبخیر همان واحدهای نهان گداز خواهد بود.

۱۴-۹- رابطه مقدار گرما

در ریخته‌گری فقط ذوب کردن جسم کافی نیست و برای ایجاد سیالیت و روانی و همچنین جلوگیری از انجماد بی‌موقع فلز مذاب در راهگاه‌ها و محفظه قالب، باید درجه حرارت مذاب را نیز

معمولاً تا 8°C و در بعضی موارد تا 20°C بالاتر از نقطه ذوب رسانید. بنابراین، حرارت لازم در ریخته‌گری، علاوه بر حرارت مورد نیاز تا ذوب جسم به حرارت لازم برای افزایش تا فوق ذوب نیز نیاز دارد. این حرارت به جرم مذاب و گرمای ویژه آن در حالت مایع مستقیماً مربوط می‌شود. به این ترتیب مقدار حرارت لازم ریختن، برای یک قطعه به جرم m مجموع سه مقدار حرارت خواهد بود:

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3$$

که در آن، مقادیر Q_1 ، Q_2 ، Q_3 به ترتیب عبارتند از: گرمای لازم برای گرم شدن تا نقطه ذوب، گرمای نهان‌گداز و گرمای لازم برای گرم شدن تا نقطه فوق ذوب. مقدار هر کدام از حرارت‌های مذکور از رابطه‌های جداگانه‌ای محاسبه شده که با جمع آن‌ها می‌توان رابطه کلی و مقدار گرمای لازم برای ذوب فلز یا آلیاژ را تعیین کرد.

$$Q = mc(\theta_m - \theta_i) + m\lambda + mc'(\theta_p - \theta_m)$$

که در آن: θ_m نقطه ذوب، θ_i درجه حرارت محیط (معمولاً 25°C انتخاب می‌شود) و θ_p درجه حرارت فوق ذوب (یا درجه حرارت مناسب ریختن) و \bar{c} و \bar{c}' به ترتیب گرمای ویژه متوسط فلز یا آلیاژ جامد در فاصله‌های دمایی مذکور هستند.

توضیح: در صورتی که میل ترکیبی جسمی با اکسیژن زیاد باشد، تبخیر و گاهی ذوب آن جسم در مجاورت هوا به سهولت ممکن نیست. مثلاً تبخیر و حتی ذوب منیزیم خالص در محیط کارگاه و در تماس با هوا عملی نیست و به دلیل شدت اکسیداسیون، آن را در غیاب هوا و یا تحت پوشش گاز SO_2 ذوب می‌کنند. از طرف دیگر برخی از اجسام (مواد شیمیایی مرکب) اصولاً نمی‌توانند به حالت بخار در شرایط فشار محیط وجود داشته باشند. زیرا بر اثر افزایش درجه حرارت قبل از رسیدن به نقطه تبخیر، تجزیه شده و به عناصر متشکله خود تبدیل می‌شوند. مانند، آهن و اکسید جیوه که قبل از تبخیر، به کلسیم و اکسیژن و یا جیوه و اکسیژن تبدیل می‌شوند. موضوع اکسید شدن فلزات و عناصر و همچنین تصعید (تبخیر شدن مستقیم جسم جامد بر اثر حرارت بدون آنکه ذوب شود مانند گرافیت) یا تبخیر آن‌ها یکی از موضوع‌های بسیار مهم در زمینه ریخته‌گری و ذوب فلزات و آلیاژها است که همواره با شناخت کامل قوانین فیزیکی و شیمیایی حاکم بر شرایط ذوب آن‌ها، می‌توان چگونگی عملیات ذوب و ریخته‌گری آلیاژها را استنباط کرد.

مثال: برای ذوب ۷۵ کیلوگرم مس و رسانیدن درجه حرارت مذاب به 13°C فوق ذوب، چند کیلوژول و کیلوکالری حرارت مورد نیاز است؟ منحنی تغییرات درجه حرارت نسبت به گرما را

نیز رسم کنید.

درجه حرارت محیط $\theta_i = 25^\circ \text{C}$ ، گرمای ویژه متوسط مس جامد $\bar{c} = 400 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$ (در فاصله

دمایی محیط تا نقطه ذوب)، گرمای ویژه متوسط مذاب $\bar{c}' = 440 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$ (در فاصله دمایی نقطه ذوب تا

نقطه فوق ذوب) گرمای نهان گداز مس $\lambda = 1/8 \times 10^5 \frac{\text{J}}{\text{kg}}$ و نقطه ذوب مس $\theta_m = 1083^\circ \text{C}$ است.

حل: به کمک رابطه مقدار گرما می توان حرارت خواسته شده را محاسبه و تعیین کرد:

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3$$

$$Q = m\bar{c}(\theta_m - \theta_i) + m\lambda + m\bar{c}'(\theta_p - \theta_m)$$

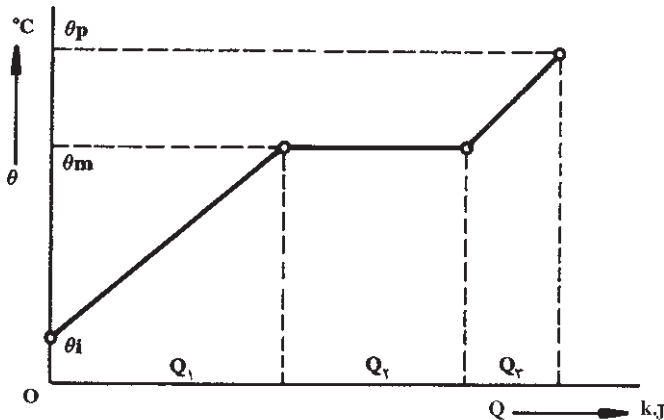
$$Q = 75 \times 400 \cdot (1083 - 25) + 75 \times 1/8 \times 10^5 + 75 \times 440 \times 130$$

$$Q = 3/174 \times 10^7 + 1/35 \times 10^7 + 4/29 \times 10^6 = 4/953 \times 10^7 \text{ J}$$

$$Q = 4953 \cdot \text{kJ} \Rightarrow$$

$$Q = \frac{4953}{4/1868} = 11830/4 \text{ kcal}$$

منحنی نمایش تغییرات درجه حرارت مس نسبت به گرمای داده شده مطابق شکل زیر می باشد.



۹-۱۵- قدرت حرارتی (ارزش گرمایی)

برای تعیین مقدار حرارتی که از احتراق سوخت ها آزاد می شود از قدرت حرارتی یا ارزش

گرمایی آن ها استفاده می کنند که عبارت است از: مقدار حرارتی که واحد جرم یا واحد حجم یک

سوخت هنگام احتراق کامل ایجاد می کند. برای سوخت های جامد و مایع، ارزش گرمایی را برحسب واحد جرم (cal/g) و یا kcal/kg) و برای سوخت های گازی برحسب واحد حجم (cal/lit) و یا kcal/m^۳) تعیین می کنند. در سیستم اندازه گیری بین المللی SI که واحد مقدار حرارت ژول است و هرکیلوکالری برابر ۴/۱۸۶۸ کیلوژول است، می توان نوشت:

$$۱ \frac{\text{kcal}}{\text{kg}} = ۴/۱۸۶۸ \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \Rightarrow ۱ \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} = \frac{۱}{۴/۱۸۶۸} \frac{\text{kcal}}{\text{kg}} \approx ۰/۲۴ \frac{\text{kcal}}{\text{kg}}$$

قدرت حرارتی سوخت ها را با روش کالریمتری تعیین می کنند که در محاسبات مربوط به راندمان کوره ها و مصرف مقدار سوخت، اهمیت زیادی دارند.

اگر M کیلوگرم سوخت هنگام احتراق کامل Q' کیلوکالری گرما آزاد کند و ارزش گرمایی آن q_m باشد در این صورت خواهیم داشت:

$$Q' = M \cdot q_m$$

برای سوخت های گازی، رابطه ارزش حرارتی چنین است:

$$Q' = V \cdot q_v$$

که در آن V حجم سوخت مصرفی برحسب مترمکعب و q_v ارزش گرمایی سوخت برحسب کیلوکالری بر مترمکعب (یا کالری بر لیتر) است. در سیستم بین المللی SI واحد q_v برابر است با: J/m^۳ که در این صورت:

$$۱ \frac{\text{kJ}}{\text{m}^۳} \approx ۰/۲۴ \frac{\text{kcal}}{\text{m}^۳}$$

۹-۱۶ راندمان حرارتی کوره

راندمان حرارتی کوره عبارت است از نسبت گرمای گرفته شده از کوره (گرمای مفید) به گرمای داده شده به کوره که با درصد بیان می گردد.

$$R = \frac{\text{گرمای گرفته شده (مفید)}}{\text{گرمای داده شده}} \times ۱۰۰$$

$$R = \frac{Q}{M \cdot q_m} \times ۱۰۰$$

$$R = \frac{Q}{V \cdot q_v} \times ۱۰۰$$

مثال: برای ذوب m = ۱۰۰ کیلوگرم آلومینیم و رساندن آن به ۵۵ درجه سانتیگراد فوق ذوب

($\theta_p - \theta_m = 55$) چه مقدار حرارت مورد نیاز است؟ چنانچه برای این مقدار آلومینیم از یک نوع سوخت با قدرت حرارتی $q_m = 9000 \text{ kcal/kg}$ استفاده شود و راندمان حرارتی کوره $R = 20$ درصد منظور شود، چه مقدار سوخت (M) لازم است؟

$$\theta_m = 66^\circ \text{C} \quad \text{نقطه ذوب آلومینیم}$$

$$\bar{C} = 0.24 \text{ kcal/kg}^\circ \text{C} \quad \text{گرمای ویژه متوسط آلومینیم جامد}$$

$$\bar{C}' = 0.27 \text{ kcal/kg}^\circ \text{C} \quad \text{گرمای ویژه متوسط آلومینیم مذاب}$$

$$\lambda = 92 \text{ kcal/kg} \quad \text{گرمای نهان گداز آلومینیم}$$

$$\theta_i = 25^\circ \text{C} \quad \text{درجه حرارت محیط}$$

حل: گرمای لازم، برای رسیدن دمای آلومینیم به نقطه ذوب (Q_1) برابر است با:

$$Q_1 = m\bar{C}(\theta_m - \theta_i)$$

$$Q_1 = 100 \times 0.24(660 - 25) = 15240 \text{ kcal}$$

$$Q_2 = m\lambda = 100 \times 92 = 9200 \text{ kcal} \quad \text{گرمای نهان گداز } 100 \text{ kg آلومینیم}$$

$$Q_3 = m\bar{C}'(\theta_p - \theta_m) \quad \text{گرمای لازم برای فوق ذوب}$$

$$Q_3 = 100 \times 0.27 \times 55 = 1485 \text{ kcal}$$

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3$$

$$Q = 15240 + 9200 + 1485 = 25925 \text{ kcal} \quad \text{کل گرمای لازم}$$

این گرما باید توسط سوخت تأمین شود که با توجه به راندمان کوره می توان نوشت:

$$\boxed{R = \frac{Q}{M \cdot q_m}} \Rightarrow M = \frac{Q}{R \cdot q_m} \Rightarrow M = \frac{25925}{\frac{20}{100} \times 9000} = 14.4 \text{ kg} \quad \text{جرم سوخت مصرفی}$$

چنانچه چگالی این سوخت $\rho = 0.85 \frac{\text{kg}}{\text{lit}}$ باشد حجم سوخت مصرفی چنین خواهد بود:

$$V = \frac{M}{\rho} \Rightarrow V = \frac{14.4}{0.85} = 16.94 \text{ lit} \approx 17 \text{ lit}$$

در جدول ۹-۳ ارزش گرمایی بعضی از سوخت ها درج شده است.

واحد ارزش گرمایی در سیستم انگلیسی برابر است با: بی تی یو بر پوند (Btu/lb) که معادل آن

برای واحدهای kcal/kg و kJ/kg چنین است:

$$1 \text{ Btu / lb} = 0.556 \text{ kcal / kg} = 2.326 \text{ kJ / kg}$$

جدول ۹-۳- ارزش حرارتی بعضی از سوخت‌ها (تقریبی)

kJ/kg ($1\text{cal} \approx 4/2\text{J}$)	kcal/kg	سوخت
۵۸۸۰-۱۰۰۸۰	۱۴۰۰-۲۴۰۰	جامد
۶۷۰۰	۱۶۰۰	چوب با رطوبت کمتر از ۵٪
۸۴۰۰	۲۰۰۰	تورب (زغال سنگ نارس)
۳۱۵۰۰-۳۷۸۰۰	۷۵۰۰-۹۰۰۰	لینیت (زغال سنگ قهوه‌ای)
۳۷۸۰۰	۹۰۰۰	زغال سنگ قیردار
۲۹۴۰۰	۷۰۰۰	آنتراسیت (زغال سنگ درخشان)
۳۱۵۰۰	۷۵۰۰	زغال چوب
۲۵۲۰۰	۶۰۰۰	کک
		پریکت (خاکه زغال سنگ و ۵٪ قطران)
		مایع
۴۴۵۰۰	۱۰۶۰۰	بنزین
۳۱۵۰۰	۹۰۰۰	گازوئیل (نفت گاز)
۳۹۵۰۰	۹۴۰۰	مازوت
۳۸۶۵۰	۹۲۰۰	نفت سفید
۲۵۲۰۰-۲۹۴۰۰	۶۰۰۰-۷۰۰۰	الکل‌ها
kJ / m ^۳	kcal / m ^۳	گاز
۱۳۰۰۰	۳۱۰۰	منوکسیدکربن CO
۱۱۰۰۰	۲۶۰۰	تیدروژن H ^۲
۴۰۰۰۰	۹۵۰۰	متان CH _۴
۷۰۵۰۰	۱۶۸۰۰	اتان C _۲ H _۶
۱۳۴۵۰۰	۳۲۰۰۰	پوتان C _۴ H _{۱۰}
۱۳۸۵۰۰	۳۳۰۰۰	بنزن C _۶ H _۶
۳۵۷۰۰	۸۵۰۰	گاز طبیعی
۱۶۸۰۰	۴۰۰۰	گاز کوره کک‌سازی