ارزش حرارتی سوخت‌ها را در شرایط متعارفی و استاندارد ۱ آتمسفر و ۲۵ درجه سانتیگراد اندازه‌گیری می‌کنند. بیشترین ارزش حرارتی را سوخت‌هایی دارا هستند که فقط از C و H تشکیل شده‌اند. ارزش حرارتی کربن خالص حدود ۸۱۰۰kcal/kg است.

## حل چند مسأله نمونه

**مسأله ۱:** درصورتی که درجه حرارت اوّلیه و ثانویه جسمی برحسب درجه سانتیگراد به ترتیب $\theta_{C1} = 400^\circ C$ و $\theta_{C2} = 720^\circ C$ باشد، اوّلاً مطلوب است :

الف) اختلاف این دو درجه حرارت برحسب تقسیم‌بندی سانتیگراد $(\Delta\theta_C = ?)$

ب) اختلاف آن دو برحسب تقسیم‌بندی کلوین $(\Delta T = ?)$

ج) اختلاف آن دو برحسب تقسیم‌بندی فارنهایت $(\Delta\theta_F = ?)$

ثانیاً روابطی به‌دست آورید که این اختلاف برای هر درجه حرارتی به کمک آن‌ها امکان‌پذیر باشد.

**حلّ:** اولاً قسمت الف :

$$\Delta\theta_C = \theta_{C2} - \theta_{C1} = 720 - 400 = 320^\circ C$$

قسمت ب : چون $T = \theta + 273$ بنابراین، می‌توان نوشت :

$$\Delta T = T_2 - T_1 = (720 + 273) - (400 + 273) = 320k$$

قسمت ج : ابتدا باید درجه حرارت‌های سانتیگراد اوّلیه و ثانویه جسم از روی فرمول $\frac{\theta_F - 32}{180} = \frac{\theta_C}{100}$ تبدیل به درجات حرارت فارنهایت شود، سپس اختلاف آن دو تعیین شود :

$$\frac{\theta_{F1} - 32}{180} = \frac{400}{100} \Rightarrow \theta_{F1} = \frac{400 \times 180}{100} + 32 = 752^\circ F$$

$$\frac{\theta_{F2} - 32}{180} = \frac{720}{100} \Rightarrow \theta_{F2} = \frac{720 \times 180}{100} + 32 = 1328^\circ F$$

اکنون می‌توان اختلاف آن‌ها را تعیین کرد :

$$\Delta\theta_F = \theta_{F2} - \theta_{F1} = 1328 - 752 = 576^\circ F$$

ثانیاً : چنانچه از حل قسمت اولاً معلوم می‌شود، اختلاف درجه حرارت‌های اوّلیه و ثانویه جسم برحسب تقسیم‌بندی سانتیگراد و تقسیم‌بندی کلوین تفاوتی ندارد و علت این امر را می‌توان از روی عملیات زیر و تعیین رابطه آن دو ملاحظه کرد :

$$\Delta\theta_C = \theta_{C2} - \theta_{C1}$$

$$\Delta T = T_2 - T_1 = (\theta_{C2} + 273) - (\theta_{C1} + 273) = \theta_{C2} - \theta_{C1}$$

در نتیجه می‌توان نتیجه گرفت : $\Delta\theta = \Delta T$

درمورد اختلاف درجه حرارت‌های فارنهایت برحسب تقسیم‌بندی سانتیگراد و کلوین باید چنین عمل کرد :

$$\frac{\theta_{F2} - 32}{180} - \frac{\theta_{F1} - 32}{180} = \frac{\theta_{C2} - \theta_{C1}}{100}$$

که پس از ساده کردن نتیجه می‌شود : $\Delta\theta_F = \frac{9}{5}\Delta\theta_c$ و چون $\Delta\theta = \Delta T$ بنابراین، به‌طور کلی می‌توان نوشت :

$$\Delta\theta_F = \frac{9}{5}\Delta\theta_C = \frac{9}{5}\Delta T$$

**مسأله ۲:** در یک کوره عملیات حرارتی، لازم است دمای یک میله فولادی به‌قطر ۲۰ میلیمتر و به طول ۲۰ سانتیمتر از $450^\circ C$ به $850^\circ C$ برسد. درصورتی که چگالی این فولاد $7/6 \frac{g}{cm^3}$ و گرمای ویژه متوسط آن در این فاصله دمایی $0/12 \frac{cal}{g.^\circ C}$ باشد، چه مقدار انرژی حرارتی برحسب کیلوکالری و کیلوژول توسط میله جذب خواهد شد؟ همچنین ظرفیت حرارتی آن را برحسب $\frac{kJ}{^\circ C}$ تعیین کنید.

**حلّ:** ابتدا به‌کمک حجم (استوانه) و چگالی میله، جرم آن را تعیین کنید.

طول میله $l = 20\,cm$ و قطر میله $d = 20\,mm = 2\,cm$

حجم میله فولادی $V = \frac{\pi d^2}{4} \times l \Rightarrow V = \frac{3/14 \times 2^2}{4} \times 20 = 62/8 cm^3$

جرم میله $m = \rho . V \Rightarrow m = 7/6 \times 62/8 = 477/28 g$

اکنون می‌توان مقدار انرژی حرارتی جذب شده توسط میله را محاسبه کرد :

افزایش دما $\theta_1 = 450^\circ C$ و $\theta_2 = 850^\circ C \Rightarrow \Delta\theta = \theta_2 - \theta_1 = 850 = 450 = 400^\circ C$

$$Q = m\bar{c}\Delta\theta \Rightarrow Q = 477/28 \times 0/12 \times 400 \Rightarrow$$

$$Q = 22909/44 cal \approx 23 kcal$$

$$Q = 22909/44 \times 4/1868 = 95917/24 J \approx 96 kJ$$

ظرفیت حرارتی میله را می‌توان از رابطه $A = \frac{Q}{\Delta\theta}$ به‌دست آورد :

$$A = \frac{۹۶}{۴۰۰} = ۰/۲۴ \frac{kJ}{^\circ C}$$

چون $Q = m\bar{c}\Delta\theta$ در نتیجه : $A = \frac{Q}{\Delta\theta} = \frac{m\bar{c}\Delta\theta}{\Delta\theta} = mc$ لذا بدیهی است که تعیین ظرفیت حرارتی از این طریق نیز جواب یکسانی خواهد داشت :

$$A = m\bar{c} \Rightarrow A = ۴۷۷/۲۸ \times ۰/۱۲ = ۵۷/۲۷ \frac{cal}{^\circ C} \Rightarrow$$

$$A = ۰/۰۵۷۲۷ \frac{kcal}{^\circ C} = ۰/۰۵۷۲۷ \times ۴/۱۸۶۸ \frac{kJ}{^\circ C} = ۰/۲۴ \frac{kJ}{^\circ C}$$

**مسأله ۳:** یک کوره بوته‌ای می‌تواند ۷۰ کیلوگرم از یک نوع چدن خاکستری را از درجه حرارت محیط ($۲۵^\circ C$) به درجه حرارت فوق ذوب ($۱۳۰۰^\circ C$) برساند. سوخت مصرفی برای این عمل ۸/۵ لیتر است. احتراق هر لیتر از این سوخت (نوعی مازوت) ۹۹۵۰ کیلوکالری گرما تولید می‌کند. مطلوب است :

الف) میزان مصرف سوخت برای هر کیلوگرم چدن مذکور برحسب سانتیمتر مکعب.

ب) راندمان حرارتی کوره.

گرمای ویژه چدن جامد بطورمتوسط $۰/۱۲ \frac{cal}{g.^\circ C}$، گرمای ویژه چدن مذاب به‌طور متوسط $۰/۱۶ \frac{cal}{g.^\circ C}$ گرمای نهان‌گداز چدن $۲۳ \frac{cal}{g}$ و نقطه ذوب آن $۱۱۵۰^\circ C$ است.

**حلّ:**

الف) چون مقدار کل مصرف سوخت برای ۷۰ کیلوگرم چدن ۸/۵ لیتر است بنابراین، سوخت مصرفی برای هر کیلوگرم چدن عبارتست از :

$$\frac{۸/۵}{۷۰} = ۰/۱۲۱ lit = ۱۲۱ cm^۳$$

ب) برای تعیین راندمان حرارتی کوره ابتدا باید حرارت لازم برای ذوب چدن تا درجه حرارت فوق ذوب $۱۳۰۰^\circ C$ محاسبه شود :

$$Q_۱ = m\bar{c}(\theta_m - \theta_i)$$

گرمای لازم برای ذوب چدن تا نقطه ذوب

$$Q_1 = ۷۰ \times ۰/۱۲(۱۱۵۰ - ۲۵) = ۹۴۵۰ \text{kcal}$$

$$Q_2 = m\lambda$$

گرمای نهان ذوب چدن

$$Q_2 = ۷۰ \times ۲۳ = ۱۶۱۰ \text{kcal}$$

$$Q_3 = m\overline{c'}(\theta_p - \theta_m)$$

گرمای لازم از نقطه ذوب تا نقطه فوق ذوب

$$Q_3 = ۷۰ \times ۰/۱۶(۱۳۰۰ - ۱۱۵۰) = ۱۶۸۰ \text{kcal}$$

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3$$

کلّ گرمای لازم

$$Q = ۹۴۵۰ + ۱۶۱۰ + ۱۶۸۰ = ۱۲۷۴۰ \text{kcal}$$

بنابراین، راندمان کوره (R) برابر خواهد بود با :

$$R = \frac{Q}{V.q_V} \times ۱۰۰$$

$$R = \frac{۱۲۷۴۰}{۸/۵ \times ۹۹۵۰} \times ۱۰۰$$

$$R = \frac{۱۲۷۴۰}{۸۴۵۷۵} \times ۱۰۰ = ٪۱۵$$

## تمرین‌ها

۱ــ ۱۳۵۰ درجه سانتیگراد چند درجه فارنهایت و چند درجه کلوین است؟

۲ــ درجه حرارت‌های ۴۰ و ۴۰ – درجه فارنهایت را به سانتیگراد تبدیل کنید.

۳ــ نقطه ذوب جیوه $-۳۸/۹^\circ C$ و نقطه جوش آب $۳۵۶/۷^\circ C$ است. فاصله دمایی این دو نقطه چند درجه سانتیگراد است؟

۴ــ اختلاف نقطه ذوب‌های دو نوع چدن سفید و خاکستری $۵۰^\circ C$ است. این اختلاف چند درجه فارنهایت و چند درجه کلوین خواهد بود؟

۵ــ نقطه ذوب آلومینیم $۹۳۳^\circ K$ و نقطه ذوب منیزیم $۱۲۰۴^\circ F$ می‌باشد. مطلوب است :

الف) کدام یک از آن‌ها دیر ذوب‌تر هستند؟ (نقطه ذوب کدام یک بیشتر است؟)

ب) اختلاف آن‌ها چند درجه سانتیگراد است؟

۶ــ در چه درجه حرارتی درجه حرارت فارنهایت و کلوین از لحاظ اندازه یکسان است؟ این درجه حرارت را برحسب سانتیگراد تعیین کنید.

۷ــ مطلوب است تعیین ظرفیت حرارتی یک قطعه فولاد به‌طوری که برای افزایش درجه حرارت آن از $۴۵۰^{\circ}C$ به $۶۰۰^{\circ}C$، $۱۲۰۰kcal$ انرژی حرارتی مصرف شده باشد. جواب را برحسب واحدهای $\frac{cal}{^{\circ}C}$، $\frac{J}{^{\circ}C}$ و $\frac{kJ}{K}$ به‌دست آورید $(۱cal \approx ۴/۱۹J)$.

۸ ــ در تغییر یک قطعه چدن سفید و شکننده به چدن چکش‌خوار (آنیل کردن چدن سفید)، چند مگاژول انرژی حرارتی مصرف می‌شود؟ درصورتی که جرم قطعه $۲۵۰kg$، گرمای ویژه متوسط چدن (سفید و چکش‌خوار) $۰/۱۳۶\frac{cal}{g.^{\circ}C}$ در فاصله دمایی آنیلینگ از صفر تا حداکثر $۹۷۰^{\circ}C$ باشد.

$(۱cal \approx ۴/۱۹J$ و $۱MJ = ۱۰^{۶}J$ مگاژول)

۹ــ جرم یک قطعه برنزی $۶۲/۵kg$ و گرمای ویژه متوسط آن در فاصله دمایی ۵۰۰ تا ۷۵۰ درجه سانتیگراد $۰/۰۸۸\frac{kcal}{kg^{\circ}C}$ می‌باشد. مطلوب است محاسبه :

الف) ظرفیت حرارتی برحسب $\frac{kcal}{^{\circ}C}$

ب) گرمای لازم برحسب kJ در این فاصله دمایی $(۱cal \approx ۴/۱۹J)$.

۱۰ــ یک قطعه آلومینیم به حجم $۵/۵dm^{۳}$ را از $۶۶۰^{\circ}C$ (نقطه انجماد آلومینیم) تا $۲۵^{\circ}C$ سرد کرده‌ایم. چه مقدار گرما برحسب کیلوکالری از دست داده است؟ (از انقباض آلومینیم صرفنظر می‌شود).

$\rho_{Al} = ۲/۷\frac{g}{cm^{۳}}$ و $\bar{c}_{Al} = ۰/۲۴\frac{cal}{g.^{\circ}C}$ (در فاصله دمایی ۲۵ تا $۶۶۰^{\circ}C$)

۱۱ــ برای ذوب کامل $۲۴kg$ سرب (در نقطه ذوب)، ۶۰۰ کیلوژول انرژی گرمایی لازم است. گرمای نهان‌گداز سرب را برحسب $\frac{kJ}{kg}$ و $\frac{kcal}{kg}$ تعیین کنید $(۱cal \approx ۴/۱۹J)$.

۱۲ــ گرمای نهان‌گداز (یا گرمای نهان‌ذوب) یخ و چدن خاکستری به ترتیب برابرند با

$\frac{J}{kg}$ $۱۰^{۵}\times۳/۳۵$ و $\frac{J}{kg}$ $۱۰^{۴}\times۹/۷$. مطلوب است تعیین انرژی حرارتی لازم برحسب kJ برای ذوب کامل ۱۰۰kg یخ و ۱۰۰kg چدن (در نقطه ذوب‌های آن‌ها).

۱۳ــ مطلوب است تعیین مقدار حرارت لازم برحسب کیلوکالری برای رسیدن به نقطه ذوب هر کیلوگرم فلزات و آلیاژهای داده شده :

الف) آلومینیم (نقطه ذوب $۶۶۰^{\circ}C$).

ب) نوعی چدن خاکستری (نقطه ذوب $۱۱۸۰^{\circ}C$)

ج) فولاد ساده کربنی (نقطه ذوب $۱۵۰۰^{\circ}C$)

درجه حرارت محیط $۲۵^{\circ}C$ و گرمای ویژه متوسط آلومینیم ۰/۲۴، چدن خاکستری ۰/۱۳۵ و فولاد ۰/۱۲ کالری بر گرم درجه سانتیگراد است.

۱۴ــ برای ذوب ۱۲۰kg چدن و رسانیدن درجه حرارت آن به $۱۴۲۰^{\circ}C$، چند کیلوکالری گرما لازم است؟ منحنی تغییرات درجه حرارت نسبت به گرمای داده شده را نیز رسم کنید.

گرمای ویژه چدن جامد به‌طور متوسط $\frac{cal}{g.^{\circ}C}$ ۰/۱۳۲، گرمای ویژه چدن مذاب به‌طور متوسط $\frac{cal}{g.^{\circ}C}$ ۰/۱۷، نقطه انجماد آن $۱۱۵۰^{\circ}C$، گرمای نهان‌گداز چدن $\frac{cal}{g}$ ۲۳ و دمای محیط $۲۰^{\circ}C$ است.

۱۵ــ یک قطعه فولاد ضدزنگ را که جرم آن ۹۲ گرم است، در کوره‌ای به دمای $\theta$ می‌بریم. پس از مدتی قطعه را از کوره خارج کرده و بلافاصله آن را در میان قطعات بزرگی از یخ صفر درجه سانتیگراد قرار می‌دهیم. در نتیجه ۱۵۸ گرم یخ ذوب می‌شود. دمای $\theta$ کوره را به‌دست آورید.

گرمای نهان ذوب یخ (گرمای نهان‌گداز) ۸۰ کالری بر گرم و گرمای ویژه متوسط این فولاد $\frac{cal}{g.^{\circ}C}$ ۰/۱۲۵ است.

۱۶ــ می‌خواهیم درجه حرارت فوق ذوب نامناسب ۱۸ کیلوگرم آلومینیم مذاب $۷۳۵^{\circ}C$ را، به فوق ذوب مناسب و مطلوب $۷۱۵^{\circ}C$ کاهش دهیم. چه مقدار آلومینیم جامد، تمیز و $۱۱۰^{\circ}C$ باید به آن اضافه شود؟

گرمای ویژه متوسط آلومینیم جامد و مذاب به‌طور تقریبی به ترتیب برابر $\frac{cal}{g.^{\circ}C}$ ۰/۲۴ و

$\frac{\text{cal}}{\text{g.}^\circ\text{C}}$ ۰/۲۶، گرمای نهان‌گداز آلومینیم $\frac{\text{cal}}{\text{g}}$ ۹۱ و نقطه ذوب آلومینیم $660^\circ\text{C}$ است.

**راهنمایی:** مقدار گرمایی که جسم گرم (۱۸ کیلوگرم آلومینیم فوق‌ذوب $730^\circ\text{C}$) ازدست می‌دهد، تا به دمای $715^\circ\text{C}$ (دمای تعادل) برسد، برابر است با مقدار گرمایی که m کیلوگرم قطعه جامد آلومینیمی می‌گیرد تا به‌این دمای تعادل برسد. با تشکیل یک معادله می‌توان مقدار مجهول m را محاسبه و تعیین کرد.

۱۷ــ احتراق هر کیلوگرم از نوعی مازوت مصرفی در یک کوره بوته‌ای ۹۸۰۰ کیلوکالری گرما ایجاد می‌کند. اگر بازده (راندمان) این کوره ۱۶/۵ درصد باشد، مقدار سوخت لازم برای ذوب ۸۰ کیلوگرم مس و رساندن درجه حرارت مذاب به ۱۲۰۰ درجه سانتیگراد را تعیین کنید.

درجه حرارت اوّلیه کوره $25^\circ\text{C}$، گرمای ویژه متوسط مس جامد $\frac{\text{cal}}{\text{g.}^\circ\text{C}}$ ۰/۰۹۳، گرمای ویژه متوسط مس مذاب $\frac{\text{cal}}{\text{g.}^\circ\text{C}}$ ۰/۱۱، گرمای نهان‌گداز مس $\frac{\text{cal}}{\text{g}}$ ۴۳ و نقطه ذوب مس $1083^\circ\text{C}$ است.

۱۸ــ برای ذوب مقداری چدن (تا نقطه فوق ذوب)، ۲۷۰۰۰ کیلوکالری گرما لازم است. چنانچه این عمل در یک کوره زمینی که با سوخت گازوئیل کار می‌کند، انجام گرفته باشد، و درصورتی که راندمان کوره ۱۶ درصد، چگالی و قدرت حرارتی گازوئیل به‌ترتیب برابر $0/85\,\text{kg/lit}$ و $9000\,\text{kcal/kg}$ باشد، چه مقدار سوخت برحسب لیتر لازم خواهد بود؟