

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

فیزیک حرارت
کاردانی
دانشگاه کسری رامسر

استاد:

محمد حلاجیان

فهرست

فصل اول : دما و دماسنجی

- سیستم و محیط.....۲
- کمیت‌های ماکروسکوپیکی و میکروسکوپیکی.....۳
- دما.....۴
- دماسنجی.....۴
- نقطه سه گانه آب.....۵
- دماسنج ها.....۶
- دماسنج گازی.....۸
- واحد اندازه گیری دما.....۹
- سنجش دو دماسنج مختلف.....۱۱

فصل دوم : گرما و تعادل گرمایی

- گرما.....۱۲
- روش های انتقال گرما.....۱۲
- اثر تغییر دما بر طول و حجم جسمها.....۱۳
- ظرفیت گرمایی.....۱۶
- ظرفیت گرمای ویژه.....۱۶
- فرمول گرما.....۱۶
- دمای تعادل.....۱۷
- گرماهای تبدیل.....۱۸

فصل اول: دما و دماسنجی

ترمودینامیک (ترمو: گرما، دینامیک: قدرت)

ترمودینامیک شاخه‌ای از فیزیک است که در آن تغییر برخی از خواص اجسام به علت تغییر دما را مورد مطالعه قرار می‌دهد و عبارت است از بررسی پدیده‌هایی که در آنها بین سیستم و محیط مبادله انرژی به صورت مبادله گرما (انرژی که به علت اختلاف دما بین دو جسم مبادله می‌شود) و کار (مقدار انرژی که توسط یک نیرو طی یک فاصله انتقال می‌یابد) صورت می‌گیرد. در دل این علم، قوانینی وجود دارند که می‌توانند نحوه انتقال انرژی در اتم‌ها، گردبادها و حتی سیاه‌چاله‌ها را توصیف کنند. قانون اول ترمودینامیک توضیح می‌دهد که چرا انرژی نمی‌تواند به وجود بیاید یا از بین برود. همچنین این قانون، تبدیل شدن انرژی به شکل‌های مختلف را توضیح می‌دهد. این در حالی است که قانون دوم ترمودینامیک، مسیر اتفاق افتادن یک فرآیند را پیش‌بینی می‌کند. قانون دوم، مکانیزم کارکرد کیهان را به ما نشان می‌دهد و یادآوری می‌کند که روزی دنیا به پایان خواهد رسید.

نکته: قوانین علم ترمودینامیک کلاسیک بر مشاهدات تجربی استوار بوده و قبل اثبات ریاضی نیستند. به عنوان مثال علم ترمودینامیک می‌گوید به علت اختلاف دمای یک لیوان چای با هوای اتاق تبادل انرژی صورت گرفته و در نهایت هم‌دما می‌شوند ولی در مورد زمان یا نحوه انتقال گرما اطلاعاتی نمی‌دهد.

سیستم

قسمتی از ماده که از محیط اطرافش جدا کرده ایم و به تحلیل وضعیت فیزیکی آن می‌پردازیم را سیستم (دستگاه) می‌نامند.

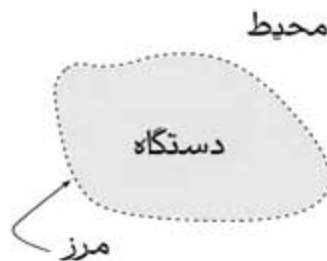
سیستم باز: به سیستمی باز گفته می‌شود که بتواند با محیط خود تبادل انرژی و ماده داشته باشند.

سیستم بسته: به سیستمی گفته می‌شود که با محیط خود تبادل ماده نداشته باشند. همانند: یک لیوان دارای هر ماده شیمیایی در ظرف سر بسته.

محیط

به هر چه که در خارج سیستم قرار دارد و بر آن تاثیر مستقیم دارد (یعنی می‌تواند با آن تبادل انرژی کند) محیط می‌گویند.

برای مثال، سیستم می تواند یک توپ و محیط می تواند هوا و زمین باشد. در سقوط آزاد می خواهیم بدانیم که هوا و زمین چگونه بر حرکت توپ اثر می گذارند.



کمیت‌های ماکروسکوپیکی و میکروسکوپیکی

وقتی یک سیستم انتخاب شد، قدم بعدی توصیف آن بر حسب کمیت‌هایی است که به رفتار سیستم یا برهمکنش‌های آن با محیط یا هر دو مربوط هستند. کمیت : به تمامی پدیده های قابل اندازه گیری موجود در طبیعت کمیت گفته می شود. به طور کلی در فیزیک دو نوع کمیت برای بررسی هر ماده وجود دارد: کمیت ماکروسکوپیکی و کمیت میکروسکوپیکی.

کمیت ماکروسکوپیکی (Macroscopic) :

کمیت هایی که قابل مشاهده و قابل احساس هستند و وضعیت ماده را در مقیاس بزرگ توصیف می کنند مانند فشار، گرما، حجم، دما و ... علم ترمودینامیک رفتار ماده را بر حسب کمیت های ماکروسکوپیکی مانند فشار، دما، گرما و گرمای ویژه توصیف می کند.

کمیت میکروسکوپیکی (Microscopic) :

کمیت‌هایی که قابل مشاهده یا قابل احساس نیستند و با محاسبات ریاضی بدست می آیند مانند سرعت یک ذره ، نیروی وارد بر یک ذره ، انرژی جنبشی و از نظر آماری یک سیستم متشکل از تعداد بسیار زیادی مولکول (N مولکول) است. کمیت‌هایی که جزئیات رفتار تک تک مولکول‌ها را برای بررسی یک پدیده مورد استفاده قرار می دهند، کمیت‌های میکروسکوپیکی نامیده می شود. به عنوان مثال، دمای یک لیوان آب که در دمای اتاق به تعادل گرمایی رسیده است، ثابت می ماند در حالی که مولکول های تشکیل دهنده ی آب پیوسته به اطراف حرکت می کنند و سرعت شان تغییر می کند.

دما

دما معیاری است که میزان سردی و گرمی اجسام را مشخص می کند. دما یکی از هفت کمیت اصلی در دستگاه بین‌المللی یکاها (SI) (طول، جرم، زمان، دما، شدت نور، شدت جریان الکتریکی، مقدار ماده) است. واحد (یکا) اندازه‌گیری دما در دستگاه SI کلوین (K) است ولی یکاهای دیگری مانند سلسیوس (C) و فارنهایت (F) نیز برای اندازه‌گیری دما به کار می‌روند که در ایران از سلسیوس یا سانتیگراد استفاده می‌شود.

تعبیر مولکولی دما

انرژی درونی هر جسم، مجموع انرژیهای مولکولهای تشکیل دهنده آن است. افزایش انرژی درونی هر جسم غالباً به صورت افزایش دمای آن جسم ظاهر می‌شود پس «دمای هر جسم متناسب است با انرژی جنبشی متوسط مولکولهای سازنده آن.»

دماسنجی:

اندازه‌گیری دما یکی از مهمترین مسائل چه در زندگی روزمره و چه در علوم است. بخاطر همین اهمیت در طول تاریخ روشهای مختلفی برای اندازه‌گیری دما ابداع شده است و به علت وجود نارسائیهایی در آنها همواره به تکامل آن اهتمام ورزیده شده است. راهها و روش های اندازه‌گیری دمای یک جسم را دماسنجی می‌نامیم.

روشهای اندازه‌گیری دما

بطور معمول به دو روش می‌توان دمای یک جسم را اندازه‌گیری کرد.

۱) استفاده از حس لامسه: این روش دقیق نیست و فقط می‌توانیم بگوییم جسم گرم یا سرد است. در بعضی مواقع هم دارای خطا می‌باشد.

۲) استفاده از دماسنج: توسط این روش می‌توان دمای دقیق یک جسم را اندازه‌گیری نمود.

بسیاری از خواص فیزیکی با تغییر دما تغییر می‌کنند. از جمله این خواص می‌توان از حجم یک مایع، طول یک میله، فشار یک گاز در حجم ثابت، حجم یک گاز در فشار ثابت، مقاومت الکتریکی یک سیم نام برد. هر یک از این خواص را می‌توان در ساختن یک دماسنج بکار برد. پس ابتدا باید یک ماده دماسنجی بخصوص با یک خاصیت دماسنجی خاصی از این ماده انتخاب کنیم. برای سنجش دما با استفاده از دماسنج دو روش وجود دارد. در روش اول دو دمای از پیش تعیین شده در نظر می‌گیریم و دمای مجهول را با احتساب مقادیر دماهای معلوم بدست می‌آوریم. به عنوان مثال دمای نقطه ذوب یخ را صفر درجه و دمای نقطه جوش متعارف آب را ۱۰۰ درجه سانتیگراد انتخاب می‌کنند و فاصله بین این دو نقطه را روی دماسنج به صد قسمت مساوی تقسیم

کرده و هر کدام را یک درجه سانتی‌گراد می‌نامند. این نوع مدرج کردن دماسنجها را روش صد تقسیمی می‌گویند که اصول دماسنجی معمولی را تشکیل می‌دهد.

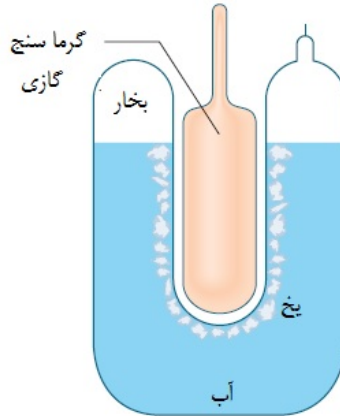
نقطه سه گانه آب

روش دوم که از سال ۱۹۵۴ به بعد معمول شد و امروزه نیز از آن استفاده می‌شود، روش جدیدی است. در این روش برای درجه بندی کردن دماسنج، نقطه استاندارد ثابتی (فقط یک دما) را مشخص می‌کنیم که در آن تمام دماسنجها برای دمای T مقدار یکسانی را نشان بدهند این نقطه ثابت را **نقطه سه گانه آب** انتخاب می‌کنیم که در آن یخ، آب و بخار آب باهم در حال تعادل هستند. این حالت فقط در فشار معینی حاصل می‌شود و یگانه است. این دمای منحصر به فرد که در همه جا قابل دسترسی است و البته مستقل از شرایط اقلیمی می‌باشد.

تعیین دمای نقطه سه گانه آب

اولین بار وسیله‌ای که برای تعیین نقطه سه گانه آب بکار رفت، ظرف شیشه‌ای U شکلی بود که در این ظرف ابتدا آبی با درجه خلوص بالا قرار داده می‌شود. سپس برای این که بخار به میزان معین در داخل ظرف تشکیل شود، آن را به یک پمپ تخلیه متصل می‌کنند. البته در غیاب پمپ نیز همیشه از طریق تبخیر سطحی، مقداری بخار در بالای آب وجود دارد. منتها بخار غیر اشباع بوده و دارای فشار مورد نظر نمی‌باشد. وقتی هوای داخل لوله تخلیه شود، عمل تبخیر تسریع می‌شود و در مدت اندکی به میزان زیاد بخار در ظرف بوجود می‌آید.

این عمل تا زمانی ادامه پیدا می‌کند که فشار بخار موجود در بالای آب به ۶۱۲ پاسکال برسد. پس از وصول این حالت عمل تخلیه قطع می‌شود. برای این که حالت سوم یعنی یخ در ظرف بسته فوق حاصل شود، قطعات یخی در شکم ظرف تعبیه می‌کنند. پس اگر به سیستم فرصت بدهیم، بتدریج لایه نازکی از یخ در جدار داخل آن تشکیل می‌شود. پس از آن که به میزان قابل ملاحظه‌ای، یخ در داخل ظرف تشکیل شد، قطعه یخ‌های بیرونی را کنار می‌گذاریم. تا زمانی که در داخل این ظرف یخ، آب و بخار آب وجود دارد و اندازه هیچ کدام فزونی نمی‌یابد، دمای داخل ظرف طبق تعریف دمای نقطه سه گانه است. فشار بخار آب در نقطه سه گانه ۴,۵۸ میلی‌متر جیوه است. دما در این نقطه ثابت استاندارد، به دلخواه مساوی با ۲۷۳,۱۵ درجه کلوین اختیار می‌شود.



شکل ۱، سلول نقطه ی سه گانه ی آب، که در آن آب بصورت بخار، مایع و جامد در یک تعادل گرمایی وجود دارد.

دماسنج ها:

دماسنج ها وسایلی می باشند که توسط آن دمای دقیق یک جسم اندازه گرفته می شود. دماسنج ها از نظر عملکرد و شکل عبارتند از:

(۱) دماسنج های جیوه ای و الکلی

(۲) دماسنج گازی

(۳) دماسنج ترموکوپل

(۴) دماسنج نوری

(۵) دماسنج دیجیتالی

دماسنج های جیوه ای و الکلی: رایج ترین نوع از دماسنج ها هستند. اساس کار این دماسنج ها بر انبساط مایعات قرار دارد. یکای دما در این دماسنج ها درجه سلسیوس می باشد.

ساختمان دماسنج های جیوه ای و الکلی: بطور معمول یک دماسنج جیوه ای یا الکلی از سه قسمت زیر تشکیل شده است.

(۱) لوله باریک: دیواره لوله باریک دماسنج ضخیم می سازند و آن را خالی از هوا می کنند.

(۲) مخزن دماسنج: برای اینکه مبادله گرما براحتی انجام شود جداره مخزن دماسنج را نازک می سازند.

(۳) ماده دماسنجی: از مایعات مختلف مانند (جیوه ، الکل ، ...) می توان استفاده کرد.



روش مدرج ساختن دماسنج جیوه ای: طی چهار مرحله دماسنج جیوه ای مدرج می شود.

- (۱) ابتدا مخزن دماسنج جیوه ای را درون مخلوط آب و یخ قرار می دهیم، مدتی صبر می کنیم تا جیوه درون لوله در یک نقطه ثابت شود. این نقطه را علامت می زنیم و نقطه صفر می نامیم.
- (۲) سپس مخزن دماسنج را درون بخار آب در حال جوش قرار می دهیم مدتی صبر کرده تا جیوه درون لوله بالا رود. هر جایی که ستون جیوه ثابت ماند را علامت زده نقطه صد می نامیم.
- (۳) در این مرحله بین نقطه صفر تا صد را به صد قسمت مساوی تقسیم کرده هر قسمت را یک درجه سلسیوس می نامیم.

(۴) این درجه بندی را می توانیم برای اعداد زیر صفر و اعداد بالای صد نیز ادامه دهیم در این صورت اعداد زیر صفر را دماهای منفی و اعداد بالای صفر را دماهای مثبت می نامیم.

گستره دماسنجی یک دماسنج: فاصله کمترین دما تا بیشترین دمایی که توسط یک دماسنج می توانیم اندازه بگیریم گستره دماسنجی آن دماسنج می گویند.

گستره دماسنجی دماسنج جیوه ای: کمترین دمایی که توسط دماسنج جیوه ای می توان اندازه گرفت دمای نقطه انجماد جیوه (۳۹- درجه سلسیوس) و بیشترین دما، دمای نقطه جوش جیوه (۳۵۷+ درجه سلسیوس) است. بنابراین گستره دماسنجی یک دماسنج جیوه ای از ۳۹- درجه سلسیوس الی ۳۵۷+ درجه سلسیوس می باشد.

گستره دماسنجی دماسنج الکلی: کمترین دمایی که توسط دماسنج الکلی می توان اندازه گرفت دمای نقطه انجماد الکل (۱۱۵- درجه سلسیوس) و بیشترین دما، دمای نقطه جوش الکلی (۷۹+ درجه سلسیوس) است. بنابراین گستره دماسنجی یک دماسنج الکلی از ۱۱۵- درجه سلسیوس الی ۷۹+ درجه سلسیوس می باشد.

دماسنج طبی: دماسنج طبی نوعی دماسنج جیوه ای است که برای اندازه گیری دمای بدنمان ساخته می شود، این دماسنج بین ۳۵+ درجه سلسیوس الی ۴۲+ درجه سلسیوس مدرج میشود. در زمان ساخت این دماسنج برآمدگی کوچکی جلو مخزن دماسنج ایجاد می کنند تا از برگشت سریع جیوه از لوله به درون مخزن جلوگیری کنند. در این صورت پزشک فرصت کافی برای خواندن دمای بدن را خواهد داشت.

دماسنج گازی

دماسنج استاندارد است که تمام دماسنجهای دیگر با آن مدرج می شوند و بر پایه خواص گرمایی گاز کار می کند.

دماسنج گازی حجم ثابت

این نوع دماسنج ها بر اساس فشار یک گاز در یک حجم ثابت کار می کنند و از یک حباب پر از گاز که با لوله ای به یک فشارسنج جیوه ای در تماس است تشکیل می شود، شکل ۲.

ارتفاع جیوه در شاخه سمت چپ لوله U شکل با بالا یا پائین بردن مخزن جیوه تنظیم می شود و سطح آن را همیشه در مقابل صفر خط کش مقیاس نگه داریم تا حجم گاز ثابت بماند. فشار حباب برابر با مجموع فشار ارتفاع h و فشار اتمسفر است. دمای نقطه سه گانه ی آب دقیقا برابر ۲۷۳/۱۵ کلوین است.

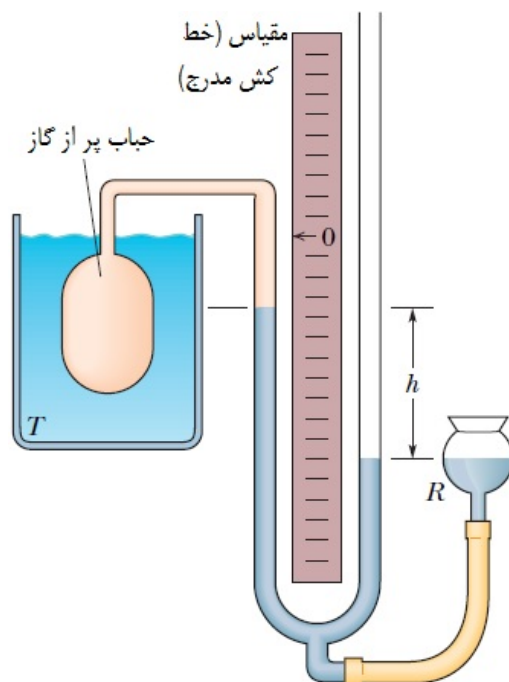
دستور اندازه گیری دما با استفاده از دماسنج گازی با حجم ثابت از رابطه زیر بدست می آید:

$$T = (273/15 \text{ K}) \left(\lim_{P_3 \rightarrow 0} \frac{P}{P_3} \right)$$

P_3 فشار گاز در نقطه سه گانه آب است. P فشار گاز در در حباب دمای T است که با توجه به دماسنج گازی از رابطه زیر بدست می آید:

$$P = P_0 + \rho gh$$

که در آن P_0 فشار جو و ρ چگالی جیوه موجود در فشارسنج و h اختلاف ارتفاع دو سطح جیوه است. قسمت حدی (گاز $\leftarrow 0$) در معادله بالا برای بهتر شدن نتایج اندازه گیری است زیرا هر چقدر مقدار گاز درون حباب کمتر شود (حجم گاز به سمت صفر میل کند) نتایج بهتر خواهد شد.



شکل ۲، دماسنج گازی حجم ثابت.

واحد اندازه گیری دما

کلوین: کلوین مقیاس بنیادی دما در علوم است که سایر مقیاسها بر حسب آن تعریف می‌شوند. واحد اندازه گیری در SI کلوین با نماد K است و یکای مطلق دما نامیده می‌شود زیرا نقطه صفر آن، صفر مطلق است و دمایی پایین تر از آن وجود ندارد و به عبارت دیگر، در صفر کلوین هیچ گرمایی وجود ندارد و ذرات ماده از حرکت (که نشان دهنده میزان انرژی گرمایی ذره است) بازمی‌ایستند. مقیاس کلوین بر حسب درجه بیان نمی‌شود و به همین دلیل با سایر واحدها تفاوت دارد. مقیاس آن همانند درجه سلیسیوس (درجه سانتیگراد) و تعداد واحد آن برابر با 100 ، بین نقطه انجماد ($273,15$ کلوین) و نقطه جوش آب ($373,15$ کلوین) می‌باشد. (سمبل درجه $[^{\circ}]$ برای مقیاس کلوین استفاده نمی‌شود).

سلیسیوس یا سانتیگراد: با نماد C° نشان داده می‌شود و متداول ترین یکای مورد استفاده در حال حاضر است. این یکا پیشتر با نام سانتیگراد شناخته می‌شد. مقیاس سلیسیوس بر اساس نقطه سه گانه آب می‌باشد. در این مقیاس نقطه ذوب آب برابر دمای صفر درجه و نقطه جوش آن برابر دمای صد درجه سانتیگراد تعریف شده است و فاصله بین این دو نقطه به صد قسمت مساوی تقسیم می‌شود. اگر T_c نشان دهنده دمای سلیسیوس و T_k نشان دهنده دمای کلوین باشد، در اینصورت داریم:

$$T_C = T_K - 273/15^\circ$$

فارنهایت: این مقیاس هنوز هم در بعضی از کشورهای انگلیسی‌زبان به کار می‌رود و در کارهای علمی استفاده نمی‌شود. فارنهایت با نماد F° ، یکای دیگری برای اندازه‌گیری دما است که با ۳۲ درجه فارنهایت در نقطه انجماد آب و ۲۱۲ درجه فارنهایت در نقطه جوش آب است و بین این دو نقطه به ۱۸۰ قسمت مساوی تقسیم می‌شود. ارتباط این مقیاس T_F با مقیاس سلسیوس T_C چنین است:

$$T_F = \frac{9}{5}T_C + 32^\circ$$

نکته ۱: تغییرات دما بر حسب کلون و سلسیوس یکسان است یعنی اگر دمای جسم را ۱۰ درجه سلسیوس افزایش دهیم در مقیاس کلون نیز دمای ۱۰ درجه افزایش خواهد یافت. پس:

$$\Delta T_K = \Delta T_C$$

نکته ۲: تغییرات دما بر حسب فارنهایت و سلسیوس یکسان نیست یعنی اگر دمای جسم را ۱۰ درجه سلسیوس افزایش دهیم در مقیاس فارنهایت دمای ۱۸ درجه افزایش خواهد یافت. زیرا:

$$\Delta T_F = \frac{9}{5} \Delta T_C$$

مثال: دمای جسمی بر حسب کلون ۴ برابر دمای آن بر حسب درجه سلسیوس است. دمای این جسم چند درجه سلسیوس است؟

$$T_K = 4T_C \Rightarrow T_C = T_K - 273.15 \Rightarrow T_C = 4T_C - 273.15 \Rightarrow 3T_C = 273.15 \Rightarrow T_C = 91.05(^{\circ}C)$$

مثال: دمای مقداری آب را از $4^{\circ}C$ به $49^{\circ}C$ رسانده‌ایم. این تغییر دما بر حسب فارنهایت و کلون کدام است؟

$$\Delta T_C = 49 - 4 = 45 \Rightarrow$$

$$\Delta T_K = \Delta T_C \Rightarrow \Delta T_K = 45 \quad \text{و} \quad \Delta T_F = \frac{9}{5} \Delta T_C \Rightarrow \Delta T_F = 1.8 \times 45 = 81$$

مثال: فرض کنید که دمای هوا ۷۷ درجه فارنهایت است. دمای هوا بر اساس بر حسب سلسیوس و کلون چقدر است؟

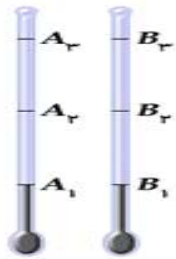
$$T_F = \frac{9}{5}T_C + 32 \Rightarrow 77 = \frac{9}{5}T_C + 32 \Rightarrow 1.8T_C = 45 \Rightarrow T_C = \frac{45}{1.8} = 25(^{\circ}C)$$

$$T_C = T_K - 273.15 \Rightarrow T_K = T_C + 273.15 \Rightarrow T_K = 25 + 273.15 = 298.15K$$

سنجش دو دماسنج مختلف

فرض کنید دو دماسنج مختلف در اختیار داشته باشیم. چگونه می توان رابطه مقدار دما را در این دو دماسنج به دست آورد؟

برای حل این مساله یک تناسب می نویسیم و در مخرج کسر بازه دماسنج را در نقاط معلوم می نویسیم و در صورت کسر تفاضل نقطه مجهول را با نقطه پایینی دماسنج بنابرین خواهیم داشت:



$$\frac{A_3 - A_1}{A_2 - A_1} = \frac{B_3 - B_1}{B_2 - B_1}$$

مثال: اگر دماسنجی دارای نقطه انجماد آب را ۲۰ و نقطه جوش آب را ۷۰ باشد، دمای ۳۰ درجه این دماسنج چند درجه سلسیوس است؟

بازه دماسنج معمولی ۱۰۰ است "نقطه بالای که ۱۰۰ است منهای نقطه پایینی که صفر است" پس در مخرج کسر اول قرار می گیرد. بازه دماسنج دوم ۵۰ بوده و در مخرج کسر دوم قرار می گیرد. در صورت کسر دوم تفاضل نقطه خط مجهول یعنی ۳۰ و نقطه پایینی یعنی ۲۰ را محاسبه می کنیم که برابر با ۱۰ است. در صورت کسر اول نیز $x-0$ را می نویسیم. با حل کسرها متوجه می شویم دمای مورد نظر ۲۰ درجه سانتی گراد است.

$$\frac{A_3 - A_1}{A_2 - A_1} = \frac{B_3 - B_1}{B_2 - B_1} \Rightarrow \frac{x - 0}{100 - 0} = \frac{30 - 20}{70 - 20} \Rightarrow x = \frac{1000}{50} = 20(^{\circ}C)$$

مثال: اگر دماسنجی نقطه جوش آب را $0^{\circ}65Z$ و نقطه انجماد آب را $0^{\circ}14Z$ نشان دهد، دمای $0^{\circ}98Z$ این دماسنج چند درجه سلسیوس است؟

$$\frac{A_3 - A_1}{A_2 - A_1} = \frac{B_3 - B_1}{B_2 - B_1} \Rightarrow \frac{x - 0}{100 - 0} = \frac{-98 - (-14)}{65 - (-14)} \Rightarrow \frac{x}{100} = \frac{-84}{79} = -106/3 (^{\circ}C)$$

مثال: دماسنجی نقطه جوش آب را ۵۲۱ و دمای نقطه انجماد آب را ۴۵۱ نشان می دهد. این دماسنج دمای انجماد الکل را در چه دمایی نشان میدهد؟ (دمای نقطه انجماد الکل ۱۱۵- درجه سلسیوس است.)

$$\frac{A_3 - A_1}{A_2 - A_1} = \frac{B_3 - B_1}{B_2 - B_1} \Rightarrow \frac{x - 451}{521 - 451} = \frac{-115 - 0}{100 - 0} \Rightarrow x - 451 = -80/5 \Rightarrow x = 451 - 80/5 = 370/5$$

مثال: دماسنجی دمای ذوب یخ را ۴۰- درجه و دمای جوش آب را ۸۰ درجه نشان می دهد. در این دماسنج دمای ۶۰- معادل چه عددی است؟

$$\frac{A_3 - A_1}{A_2 - A_1} = \frac{B_3 - B_1}{B_2 - B_1} \Rightarrow \frac{A_3 - (-40)}{80 - (-40)} = \frac{-60 - 0}{100 - 0} \Rightarrow A_3 + 40 = \frac{-60 \times 120}{100} \Rightarrow A_3 = -112$$

فصل دوم

گرما و تعادل گرمایی

گرما: شکلی از انرژی است که بدلیل اختلاف دما از جسم گرم به جسم سرد منتقل می شود. گرما را با Q نشان می دهند و در سیستم SI واحد اندازه گیری گرما (یکای آن) ژول (J) است. برای اندازه گیری گرما از واحدهای دیگری غیر از ژول استفاده می شود که متداول ترین آن ها کالری است. تعریف کالری: مقدار گرمای لازم برای رسانیدن یک گرم آب از ۱۴/۵ درجه سلسیوس به ۱۵/۵ درجه سلسیوس. یک کالری تقریباً برابر با ۴,۱۸۴ ژول می باشد. تعریف کیلو کالری: میدانیم که یک کیلوکالری مساوی است با ۱۰۰۰ کالری. به بیان دیگر یک کیلوکالری، مقدار گرمای مورد نیاز بابت افزایش یک درجه سانتیگرادی دمای یک کیلوگرم آب است.

روش های انتقال گرما: گرما می تواند به یکی از سه روش زیر بین دو جسم منتقل شود:

(۱) رسانش: این روش مختص جامدات است.

(۲) همرفتی: این روش مختص مایعات و گازها است.

(۳) تابشی: اجسام داغ و خورشید به این روش گرما را منتقل می کنند.

رسانش گرما: هرگاه در دو سر یک میله فلزی اختلاف دما ایجاد کنیم گرما در درون میله از قسمتی که دمای بالاتر دارد به قسمتی که دمای پایین تر دارد شارش می کند، که به آن رسانش گرما می گویند.

اجسام از نظر رسانش گرما: اجسام را از نظر رسانش گرما می توانیم به سه دسته تقسیم کنیم:

۱) اجسام رسانای گرما: اجسامی که گرما را براحتی از خود عبور می دهند. مانند: مس، آهن

۲) اجسام نیمه رسانای گرما: اجسامی می باشند که گرما را به کندی از خود عبور می دهند. مانند: شیشه، سنگ

۳) اجسام عایق گرما: اجسامی هستند که گرما را به سختی از خود عبور می دهند. مانند: چوب، پلاستیک

اثر تغییر دما بر طول و حجم جسمها

اکثر اجسام در اثر افزایش دما، منبسط می شوند. این انبساط به صورتهای زیر است:

۱ - انبساط جامدها: الف) طولی ب) سطحی ج) حجمی

۲ - انبساط مایعها

۳ - انبساط گازها (قانون گازها)

انبساط جامدها

الف) انبساط طولی: افزایش دما باعث افزایش طول جامدها می شود. انبساط طولی اجسام مختلف با هم متفاوت است و برای نشان دادن این تفاوت از کمیت ضریب انبساط طولی استفاده می شود.

ضریب انبساط طولی (آلفا) عبارتست از افزایش طول واحد طول از یک جسم جامد وقتی که دمای آن یک درجه کلوین (یا سانتی گراد) بالا رود.

$$\alpha = \frac{\Delta L}{L_1 \times \Delta T} = \frac{L_2 - L_1}{L_1(T_2 - T_1)}$$

یکای ضریب انبساط طولی $1/K$ یا $1/C^0$ می باشد.

اگر جسمی به طول L به اندازه ΔT گرم شود، مقدار افزایش طول آن از رابطه زیر به دست می آید:

$$\Delta L = \alpha \times L_1 \times \Delta T = \alpha \times L_1 \times (T_2 - T_1)$$

ب) انبساط سطحی: افزایش دما باعث افزایش سطح جامدها نیز می شود.

ضریب انبساط سطحی ($\delta=2\alpha$) عبارت است از افزایش مساحت واحد سطح یک جسم جامد وقتی که دمای آن یک درجه کلوین (یا سانتی گراد) بالا رود و مقدار آن حدود ۲ برابر ضریب انبساط طولی می باشد.

$$\delta = 2\alpha = \frac{\Delta A}{A_1 \times \Delta T} = \frac{A_2 - A_1}{A_1(T_2 - T_1)}$$

یکای ضریب انبساط سطحی نیز $1/K$ یا $1/C^0$ می باشد.

اگر جسمی به مساحت A_1 به اندازه ΔT گرم شود، مقدار افزایش سطح آن از رابطه زیر به دست می آید:

$$\Delta A = \delta \times A_1 \times \Delta T = 2\alpha \times A_1 \times (T_2 - T_1)$$

ج) انبساط حجمی: برای انبساط حجمی هم ضریب انبساط حجمی را تعریف می کنیم.

ضریب انبساط حجمی ($\beta = 3\alpha$) عبارت است از افزایش حجم واحد حجم ماده به ازای افزایش دمای یک

کلوین.

$$\beta = 3\alpha = \frac{\Delta V}{V_1 \times \Delta T} = \frac{V_2 - V_1}{V_1(T_2 - T_1)}$$

$$\Delta V = \beta \times V_1 \times \Delta T = 3\alpha \times V_1 \times (T_2 - T_1)$$

مثال: طول یک میله آهنی در دمای 35^0C یک متر است. اگر دمای میله به 65^0C برسد طول جدید آن

$1,000375$ متر می شود. ضریب انبساط طولی آهن بر حسب $1/K$ چقدر است؟

$$\Delta L = \alpha \times L_1 \times \Delta T \Rightarrow 0.000375 = \alpha \times 1 \times (65 - 35) = 30\alpha \Rightarrow \alpha = 0.0000125 = 1.25 \times 10^{-5}$$

مثال: دمای یک میله فلزی به ضریب انبساط طولی $1/500^0C$ را چند درجه سلسیوس بالا ببریم تا

افزایش طول آن $1/500$ طول اولیه اش شود؟

$$\Delta L = \alpha \times L_1 \times \Delta T \Rightarrow \frac{1}{500} = 0.002 = 2 \times 10^{-5} \times 1 \times \Delta T \Rightarrow \Delta T = \frac{2 \times 10^{-3}}{2 \times 10^{-5}} = \frac{0.002}{0.00005} = 100$$

مثال: دمای یک صفحه فلزی را 250 درجه سلسیوس افزایش می دهیم، مساحت آن 0.1 افزایش می یابد.

ضریب انبساط سطحی و طولی آن را حساب کنید؟

$$\Delta A = \delta \times A_1 \times \Delta T \Rightarrow 0.1A_1 = \delta \times A_1 \times 250 \Rightarrow \delta = \frac{0.1}{250} = 0.0004$$

$$\delta = 2\alpha \Rightarrow \alpha = \frac{\delta}{2} = 0.0002$$

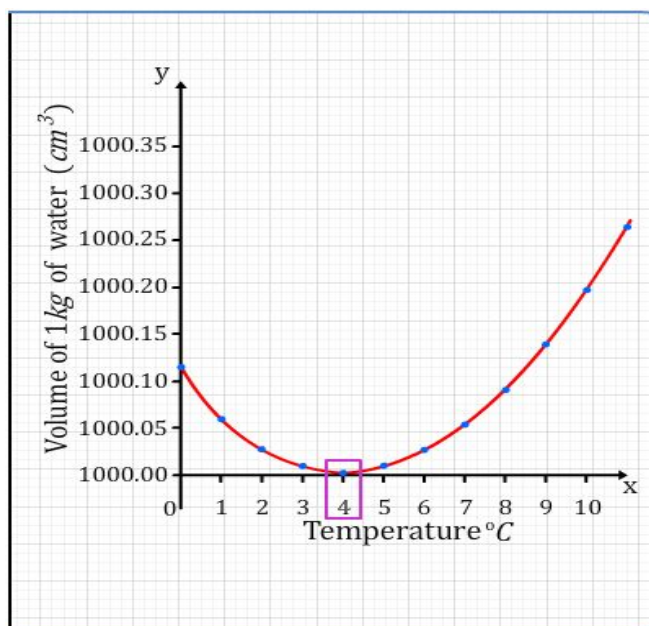
مثال: دمای یک لیتر از مایعی را به اندازه ۲۵ درجه سلسیوس بالا می بریم، افزایش حجم مایع ۶ سانتیمتر مکعب می شود. ضریب انبساط حجمی این مایع چند $\frac{1}{C^0}$ است؟ ($1L = 1000cm^3$)

$$\Delta V = \beta \times V_1 \times \Delta T \Rightarrow 6 = \beta \times 1000 \times 25 \Rightarrow \beta = 0.00024$$

مثال: مقداری آب ۵ درجه سلسیوس به تدریج سرد می شود تا دمایش به یک درجه سلسیوس برسد، در این عمل حجم آب چگونه تغییر می کند؟

جواب: ابتدا حجمش کم و سپس زیاد می شود.

نکته: انبساط و انقباض آب با دیگر مایع ها متفاوت است و در آن استثناء وجود دارد. به افزایش حجم آب در دمای صفر تا ۴ درجه سانتی گراد، انبساط غیر عادی می گویند. چرا که حجم سایر مایعات با سرد کردن کم می شود ولی در هنگام سرد کردن آب تا دمای ۴ درجه، حجم کاهش می یابد ولی در فاصله ۴ درجه تا ۰ درجه به سبب تشکیل پیوندهای هیدروژنی بین مولکولها و تشکیل شبکه بلوری، فاصله بین مولکولها زیادتر و منبسط شده و حجم افزایش می یابد.



آب در دمای ۴ درجه ی سانتی گراد (۳,۹۸)، کم ترین حجم و در دماهای بالاتر از ۴ درجه ی سانتی گراد مانند دیگر مایع ها منبسط می شود

ظرفیت گرمایی (C):

مقدار گرمای داده شده به یک جسم برای اینکه دمای آن یک درجه کلوین (یک درجه سلسیوس) افزایش یابد را، ظرفیت گرمایی یک جسم گویند. ظرفیت گرمایی به جنس و جرم آن بستگی دارد و یکای آن J/K است. ظرفیت گرمایی یک جسم نسبت مقدار گرمای جذب شده یا دفع شده توسط جسم و تغییر دمای ΔT پدید آمده در جسم است، یعنی

$$C = \frac{Q}{\Delta T} \Rightarrow Q = C\Delta T = C(T_f - T_i)$$

در اینجا T_i و T_f دماهای آغازی و پایانی جسم است.

به طور مثال اگر گفته شود ظرفیت گرمایی یک جسم ۲۰۰۰ J/K است، یعنی اگر به آن جسم ۲۰۰۰ ژول گرما بدهیم، دمای آن یک درجه کلوین افزایش می یابد.

گرمای ویژه (c): مقدار گرمایی که باید به یک کیلوگرم از جسمی بدهیم تا دمای آن یک درجه سلسیوس افزایش یابد، گرمای ویژه می گویند. گرمای ویژه را با (c) نشان می دهند و یکای آن ژول بر کیلوگرم درجه

$$c = \frac{Q}{m \times \Delta T} \quad \text{سلسیوس (} \frac{J}{Kg.C^0} \text{) است.}$$

فرمول گرما: گرمایی که یک جسم می گیرد یا از دست می دهد با جرم جسم (m)، گرمای ویژه جسم (c) و تغییرات دمای جسم (ΔT) متناسب است. فرمول گرما بصورت زیر نوشته می شود.

(تغییرات دمای جسم) \times (گرمای ویژه جسم) \times (جرم جسم) = گرما

$$Q = mc\Delta T = mc(T_f - T_i)$$

در فرمول گرما اگر علامت Q مثبت شود یعنی اینکه جسم گرما گرفته است، و اگر علامت Q منفی شود یعنی اینکه جسم گرما از دست داده است.

مثال: چه مقدار گرما لازم است تا دمای ۲ کیلوگرم آب ۲۰ درجه سلسیوس را به ۱۰۰ درجه سلسیوس برسانیم؟ گرمای ویژه آب ۴۲۰۰ ژول بر کیلوگرم درجه سلسیوس است.

$$Q = mc\Delta T = 2 \times 4200 \times (100 - 20) = 672000 \text{ J} = 6.72 \times 10^5 \text{ J}$$

مثال: ۱۸۰۰۰ ژول انرژی گرمایی دمای چند کیلوگرم آلومینیم را ۱۰ درجه سلسیوس افزایش می دهد؟ گرمای ویژه آلومینیم ۹۰۰ ژول بر کیلوگرم درجه سلسیوس است.

$$Q = mc\Delta T \Rightarrow 18000 = m \times 900 \times 10 \Rightarrow m = \frac{18000}{9000} = 2kg$$

گرمای ویژه آب: مقدار گرمایی که باید به یک کیلوگرم آب بدهیم تا دمای آب یک درجه سلسیوس افزایش یابد، گرمای ویژه آب می گویند. گرمای ویژه آب ۴۲۰۰ ژول بر کیلوگرم درجه سلسیوس است.

تبادل گرمایی: دو جسم وقتی در تماس کامل قرار گیرند گرما از جسم گرمتر به جسم سردتر منتقل می شود این انتقال گرما تا جایی ادامه دارد که دمای آنها یکسان شود در این صورت می گوییم دو جسم در تعادل گرمایی قرار دارند.

دمای تعادل: اگر دو یا چند جسم با دماهای مختلف در تماس با یکدیگر قرار گیرند، پس از مدتی همدمای می شوند. به این دما، دمای تعادل می گویند که می توان با استفاده از قانون پایستگی انرژی، آن را محاسبه کرد.

اگر دو جسم با دماهای مختلف در تماس با هم باشند و مجموعه با محیط اطراف تبادل گرما نداشته باشد یکی از دو جسم گرما می گیرد یعنی $(Q > 0)$ و جسم دیگر به همان اندازه گرما از دست می دهد یعنی $(Q < 0)$ که جمع این دو مقدار صفر می شود. در واقع گرمایی که یکی از دو جسم از دست می دهد را جسم دیگر می گیرد.

$$Q_1 + Q_2 = 0$$

و اگر چند جسم داشته باشیم که در تماس با یکدیگر باشند، خواهیم داشت:

$$Q_1 + Q_2 + Q_3 + \dots = 0$$

مثال: یک قطعه ۱۴۰ گرمی آلومینیوم را که دمای آن ۸۰ درجه سلسیوس است در ظرف عایقی که حاوی ۲۵۰ گرم آب در دمای ۲۲ درجه سلسیوس است، می اندازیم. دمای تعادل را حساب کنید. از تبادل گرما بین ظرف و آب چشم پوشی کنید. (گرمای ویژه آب را ۴۱۸۷ و آلومینیوم را ۹۰۰ ژول بر کیلوگرم درجه کلون در نظر بگیرید)

$$Q_{\text{آب}} + Q_{\text{آلومینیوم}} = 0 \rightarrow m_{\text{آب}} c_{\text{آب}} (\theta_e - \theta_{\text{آب}}) + m_{\text{آلومینیوم}} c_{\text{آلومینیوم}} (\theta_e - \theta_{\text{آلومینیوم}}) = 0$$

$$0,25 \times 4187 \times (\theta_e - 22) + 0,14 \times 900 \times (\theta_e - 80) = 0$$

$$1046,75 \theta_e - 23028,5 + 126 \theta_e - 10080 = 0 \rightarrow 1172,75 \theta_e = 33108,5$$

$$\theta_e = 28,23 \text{ } ^\circ\text{C}$$

مثال: m_1 گرم آب ۱۰ درجه سلسیوس را با m_2 گرم آب ۷۰ درجه سلسیوس مخلوط می کنیم تا ۲ کیلوگرم آب با دمای ۲۵ درجه سلسیوس داشته باشیم. در صورتی که تبادل گرما با ظرف و محیط نداشته باشیم، m_1 و m_2 چند گرم هستند؟

جواب: دمای تعادل ۲۵ درجه سلسیوس و جمع جرم دو جسم ۲ کیلوگرم است. یعنی:

$$m_1 + m_2 = 2000 \text{ g} \quad , \quad \theta_e = 25^\circ\text{C}$$

$$Q_1 + Q_2 = 0 \rightarrow m_1 c (\theta_e - \theta_1) + m_2 c (\theta_e - \theta_2) = 0$$

چون هر دو ماده آب هستند دارای گرمای ویژه یکسان هستند و c از معادله حذف می شود.

$$m_1(25 - 10) + m_2(25 - 70) = 0 \rightarrow 15m_1 - 45m_2 = 0 \rightarrow m_1 = 3m_2$$

$$m_1 + m_2 = 2000 \text{ g} \rightarrow 3m_2 + m_2 = 2000 \rightarrow 4m_2 = 2000$$

$$m_2 = 500 \text{ g} \quad , \quad m_1 = 1500 \text{ g}$$

مثال: m گرم از فلزی با دمای ۱۰۰ درجه سلسیوس را داخل $2m$ گرم آب با دمای ۵ درجه سلسیوس می اندازیم. دمای تعادل ۲۰ درجه سلسیوس می شود. ظرفیت گرمایی ویژه فلز چند برابر ظرفیت گرمایی ویژه آب است؟

$$Q_I = mc_I \Delta T = mc_I(20 - 100) = -80mc_I$$

$$Q_W = mc_W \Delta T = 2mc_W(20 - 5) = 30mc_W$$

$$Q_W + Q_I = 0 \Rightarrow Q_W = -Q_I \Rightarrow 80mc_I = 30mc_W \Rightarrow \frac{c_I}{c_W} = \frac{30}{80} = \frac{3}{8}$$

گرماهای تبدیل:

وقتی گرما وارد یک جسم جامد یا مایع می شود، الزاما دمای جسم همیشه افزایش پیدا نمی کند بلکه امکان دارد نمونه از یک حالت یا فاز (یعنی جامد، مایع یا گاز) به حالت دیگری تغییر پیدا کند. بنابر این با جذب گرما و بدون تغییر دما یخ ذوب می شود و آب می جوشد. در فرآیند های یخ زدن آب و چگالیدن بخار باز هم در یک دمای ثابت، گرما از سیستم دفع می شود.

مقدار گرمایی را که به ازای هر واحد جرم در حین یک تغییر حالت انتقال پیدا می کند گرمای تبدیل یا

گرمای نهان ویژه آن فرآیند می نامند (با نماد L) و یکای آن در SI، ژول بر کیلوگرم (J/kg) است. در این صورت کل گرمای انتقال یافته در یک تغییر حالت برابر است با:

$$Q = Lm$$

که در آن m جرم جسمی است که تغییر حالت می دهد.

گرمای ذوب Q_f :

گرمای انتقال یافته در حین ذوب شدن (تغییر حالت از جامد به مایع) یا یخ زدن (تغییر حالت از مایع به جامد) را گرمای نهان ذوب می نامند.

گرمایی که یک جسم جامد در نقطه ذوب خود می گیرد تا به مایع تبدیل شود گرمای نهان ذوب (Q_f) نام دارد.

مقدار گرمایی که باید به یک کیلوگرم از یک جسم جامد در دمای نقطه ذوب داده شود تا به مایع تبدیل شود گرمای نهان ویژه ذوب (L_f) نام دارد.

مقدار گرمایی که باید از یک کیلوگرم از یک مایع در دمای انجماد گرفته شود تا به جامد تبدیل شود گرمای نهان ویژه انجماد (L_f) نام دارد.

$$Q_f = mL_f$$

گرمای تبخیر Q_v :

گرمای انتقال یافته در حین جوشیدن (تغییر حالت از مایع به گاز) یا چگالیدن (تغییر حالت از گاز به مایع) را گرمای نهان تبخیر می نامند.

گرمایی که به یک مایع در نقطه جوش می دهیم تا بخار شود گرمای نهان تبخیر (Q_v) نام دارد.

مقدار گرمایی که باید به یک کیلوگرم از یک ماده در دمای نقطه جوش داده شود تا به بخار تبدیل شود گرمای نهان ویژه تبخیر (L_v) نام دارد.

مقدار گرمایی که باید از یک کیلوگرم از یک گاز در دمای میعان گرفته شود تا به مایع تبدیل شود گرمای نهان ویژه میعان (L_v) نام دارد.

$$Q_v = mL_v$$

نکته:

گرمایی که جسم می‌گیرد تا ذوب شود برابر گرمایی است که جسم از دست می‌دهد تا منجمد شود. بنابراین می‌توان گرمای نهان انجماد را نیز با همان فرمول بیان کرد. همچنین گرمای نهان جوش و گرمای نهان میعان هم یکی است. اما برای اینکه بین انجماد و ذوب یا بین تبخیر و میعان تفاوت قائل شویم یک قرار داده ساده فرض می‌کنیم. هنگامی که جسم گرما می‌گیرد آنرا با علامت مثبت (+) و وقتی گرما از دست می‌دهد آن را با علامت منفی (-) نشان دهیم بنابراین داریم:

با دادن گرمای Q دمای جسم جامد افزایش می‌یابد تا به نقطه ذوب θ_f برسد. از این به بعد با دادن گرمای Q_f جسم جامد در دمای ثابت θ_f به مایع تبدیل می‌شود (به عبارتی ذوب می‌شود)

$$Q_v = mL_v \quad \text{گرمای نهان تبخیر}$$

$$Q_v = -mL_v \quad \text{گرمای نهان میعان}$$

$$Q_f = mL_f \quad \text{گرمای نهان ذوب}$$

$$Q_f = -mL_f \quad \text{گرمای نهان انجماد}$$

مثال: گرمای نهان ذوب ۳ کیلوگرم یخ صفر درجه سلسیوس را محاسبه کنید. (گرمای نهان ویژه ذوب یخ ۳۳۴ kJ/kg است)

$$Q_f = mL_f = 3 \times 334 = 1002 \text{ kJ}$$

مثال: گرمای لازم برای ذوب 200g سرب در نقطه ذوب آن چقدر است؟ (گرمای نهان ویژه ذوب سرب ۲۳ kJ/kg است.)

$$Q_f = mL_f = 0.2 \text{ kg} \times 23 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} = 4.6 \text{ kJ}$$

مثال: یک قطعه یخ به جرم 200g در دمای 5°C موجود است. اگر گرمای نهان ویژه ذوب یخ

$3.4 \times 10^5 \text{ J/kg}$ و ظرفیت گرمایی ویژه آن $2.1 \times 10^3 \text{ J/kg}^\circ\text{C}$ باشد، انرژی گرمایی لازم برای ذوب آنرا حساب کنید.

جواب: یخ 5°C چون در نقطه ذوب خود یعنی 0°C قرار ندارد، برای ذوب شدن باید دو مرحله را طی کند. در مرحله اول که بدون تغییر حالت است، گرما می گیرد تا دمای آن از 5°C به نقطه ذوب 0°C برسد. در مرحله دوم که با تغییر حالت یعنی ذوب همراه است، یخ 0°C گرما می گیرد تا به آب 0°C تبدیل شود. در مرحله اول گرمای گرفته شده توسط یخ $Q_1 = mc\Delta T$ و در مرحله دوم $Q_2 = mL_f$ است:

آب 0°C → تغییر حالت → یخ 0°C → افزایش دما → یخ 5°C

پس کل گرمای دریافتی توسط یخ برابر خواهد بود با:

$$Q = Q_1 + Q_2 = mc\Delta T + mL_f = 0.2 \times 2.1 \times 10^3 + 0.2 \times 3.4 \times 10^5$$

$$= 2.1 \times 10^3 + 68 \times 10^3 = 70.1 \times 10^3 = 70100 \text{ j}$$