بسم الله الرحمن الرحيم

فصل پنجم – بخش اول

دما، گرما و قانون اول ترمودینامیک

ترمودینامیک (Thermodynamics):

شاخه ای از فیزیک علم فیزیک که پیرامون موارد زیر بحث می نماید:

- ✓ گرما و دما
- ✓ کار و انرژی
- ✓ کمیت های ماکروسکوپیک مانند انرژی درونی، آنتروپی و فشار

این شاخه از علم، برای موضوعات گسترده ای در علوم و مهندسی کاربرد دارد.

قوانین ترمودینامیک، مشخصات برای انتقال گرما و کار را در فرآیندهای ترمودینامیکی شرح می دهد

Laws

The **zeroth law** of thermodynamics, which underlies the definition of temperature.

The **first law** of thermodynamics, which mandates conservation of energy, and states in particular that heat is a form of energy.

The **second law** of thermodynamics, which states that the entropy of the universe always increases, or (equivalently) that perpetual motion machines are impossible.

The **third law** of thermodynamics, which concerns the entropy of an object at absolute zero temperature, and implies that it is impossible to cool a system all the way to exactly absolute zero.

گرما و دما : دو مفهوم مهم ترمودینامکی

گرما؛ انرژی ردو بدل شده میان اجزا یا مولکولهای یک سیستم یا سیستم های متصل به همدیگر می باشد

دما؛ بیانگر متوسط انرژی جنبشی مولکولهای درون یک سیستم می باشد

با انتقال گرما بین یک جسم و محیط اطراف، دمای جسم دچار تغییر می شود

با تغییر دمای یک جسم ویژگیهای جسم تغییر می کند.

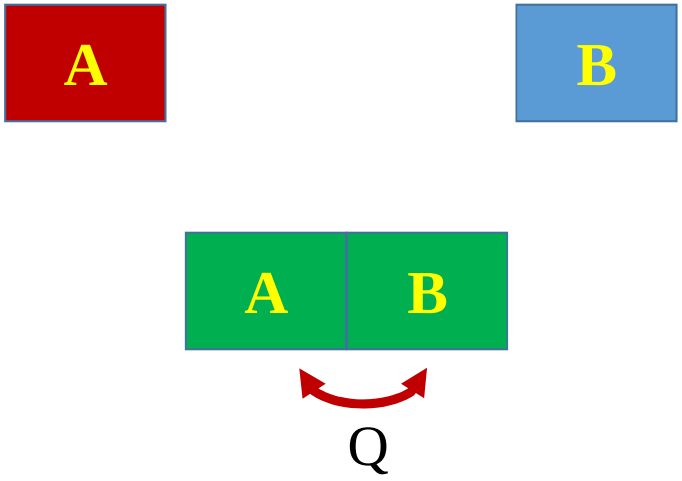
- تغییر حجم
- تغییر طول
- تغییر مقاومت الکتریکی
- تغییر رنگ

تغییر ویژگیهای فیزیکی ملاک تشخیص تغییر دما

قانون صفرم ترمودینامیک:

اگر دو جسم A و B هر یک با جسم سوم C درتعادل گرمایی باشند آنگاه A و B نیز باهم در تعادل گرمایی هستند.

دو جسم در تعادل گرمایی، با هم همدما هستند.



$T_A \neq T_B$

$T_A = T_B$ تعادل گرمایی

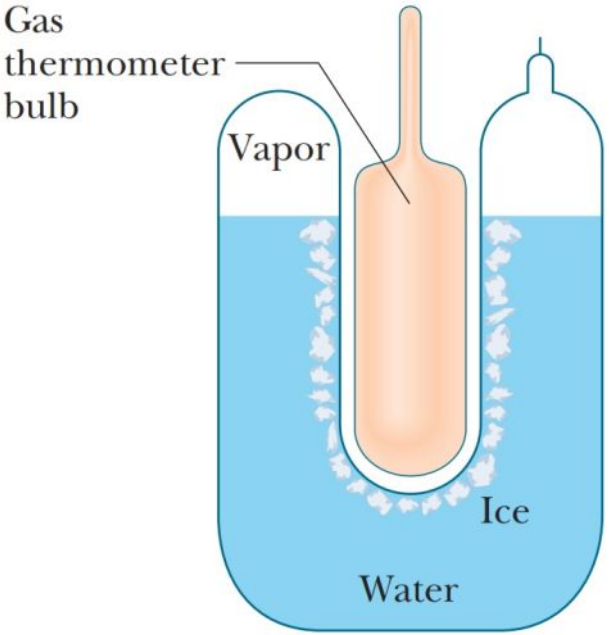
اندازه گیری دما:

برای اندازه گیری دما نیازمند:
ابزار استاندارد
مقیاس و صفر استاندارد برای مقایسه دما با آن هستیم

الف) نقطه استاندارد: نقطه سه گانه آب

ب) ابزار استاندار: دماسنج گازی در حجم ثابت

نقطه و مقیاس دمایی استاندارد:



تعریف نقطه سه گانه آب:
در فشار و دمای خاصی که هر سه حالت آب یعنی گاز (بخار آب)، مایع و جامد (یخ) را در حالت تعادل داریم

دمای متناظر با نقطه سه گانه آب T_3

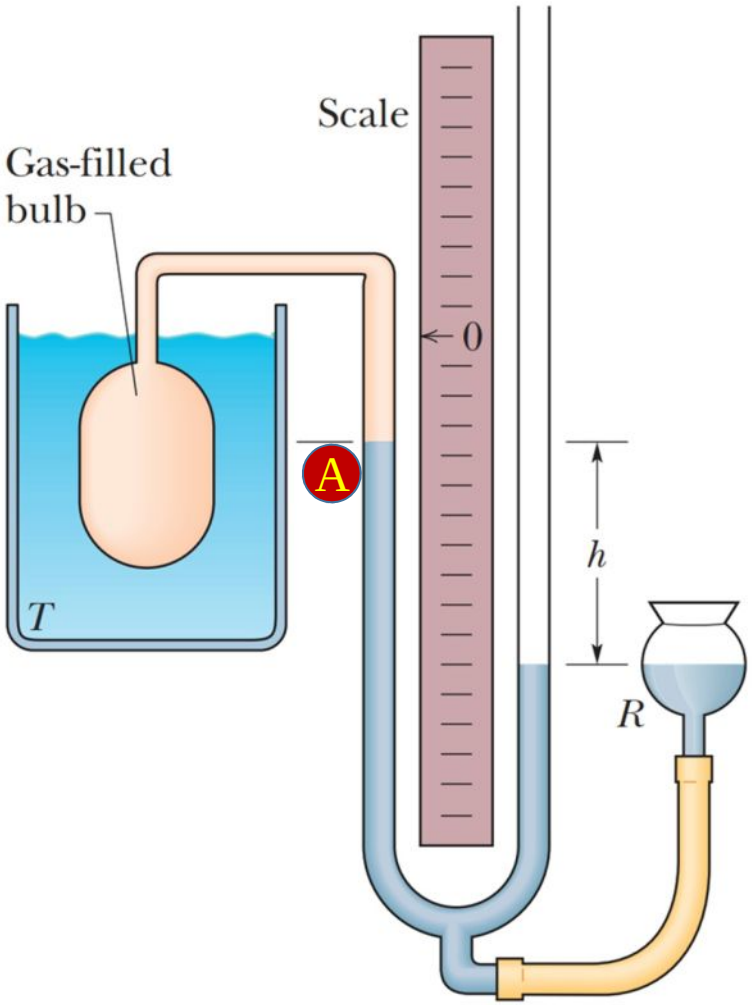
$$T_3 = 273.16\ K$$

صفر مطلق

$T_3 = 273.16$

$$\text{مقیاس دماسنجی} = \frac{1}{273.16} \times (\text{فاصله بین صفر مطلق تا دمای نقطه سه گانه آب})$$

دماسنج گازی با حجم ثابت:



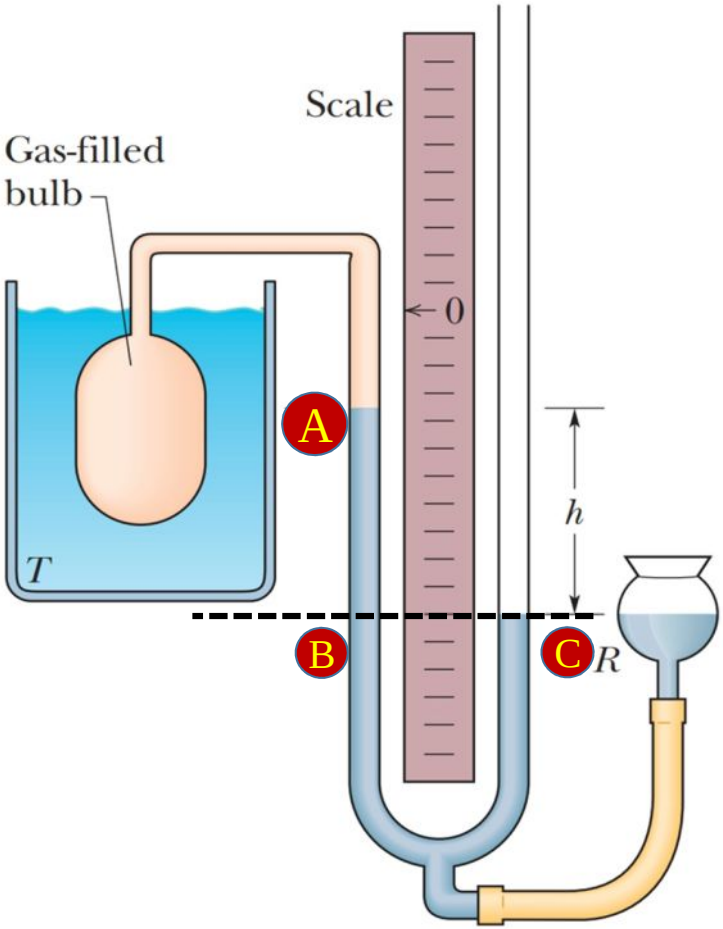
بیان اندازه دما براساس انازه گیری فشاز گاز در حجم ثابت

ابزاری برای کالیبره نمودن بقیه دماسنج ها

همواره سطح جیوه در نقطه A ثابت نگهداشته می شود

با تغییر دمای گاز، فشار درون آن افزایش یافته و حجم آن تغییر می کند که سبب جابه جایی سطح جیوه از نقطه A می شود لذا با با جابه جاکردن لوله متحرک، سطح جیوه به نقطه A بازگردانده می شود. در این وضعیت فشار قرائت می شود.

ارتباط دما و فشار گاز :



$$P_{gas} = P_0 - \rho g h$$

$$T = C\ P$$

تعیین C به کمک دمای نقطه سه گانه آب در دماسنج گازی:

قرار دادن حباب گاز در شرایط نقه سه گانه آب

$$T_3 = C\ P_3 \qquad \rightarrow \qquad C = \frac{T_3}{P_3}$$

$$T = \frac{T_3}{P_3} P = 273.16\ K(\frac{P}{P_3})$$

نکات:

$$T = 273.16\ K(\frac{P}{P_3})$$

۱- مشخص کردن فشار گاز در نقطه سه گانه:

با قرار دادن حباب گاز در نقطه سه گانه؛ فشار برای نقطه سه گانه با اندازه گیری h_3 بدست می آید

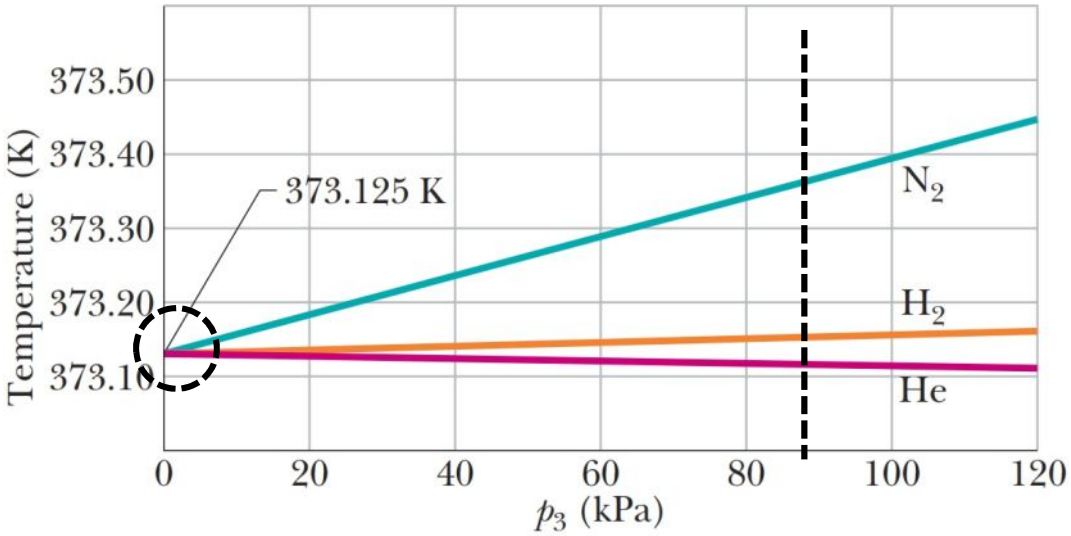
$$P_3 = P_0 - \rho g h_3$$

۲- برای اندازه گیری دمای جسمی، آن را در مجاورت حباب گاز قرار داده تا تعادل گرمای برقرار شود (با فرض عدم اتلاف). با اندازه گیری اختلاف ارتفاع در دو طرف ستون جیوه، h بدست می آید و بنابراین فشار و دمای جسم بدست می آید

$$P(h) = P_0 - \rho g h \qquad T = 273.16\ K(\frac{P}{P_3})$$

۳- بالا بردن دقت: کاهش حساسیت به نوع گاز

- دمای اندازه گیری شده توسط این دماسنج در فشارهای بالای گاز به شدت به نوع گاز وابسته است
- در فشار بالا دماسنج گازی ساخته شده با استفاده از گازهای مختلف مقادیر متفاوتی نشان می دهد
- با کاهش مقدار گاز درون حباب (کاهش فشار) دمای خوانده شده توسط گازهای مختلف یکسان است



$$T = (273.16\ K)\lim_{P\to 0}\left(\frac{P}{P_3}\right)$$

مقیاس های دمایی:

۱- مقیاس سلیسیوس یا سانتی گراد (θ)

مبناء: دمای ذوب یخ صفر درجه سانتی گراد– دمای جوش آب ۱۰۰ درجه سانتی گراد

۲- مقیاس فارنهایت (F)

مبناء: نقطه انجماد مخلوط یخ و نمک صفر فارنهایت – دمای بدن ۱۰۰ درجه فارنهایت

$$F = \frac{9}{5}\theta + 32 \qquad \theta = \frac{5}{9}(F - 32)$$

۳- مقیاس کلوین (T)

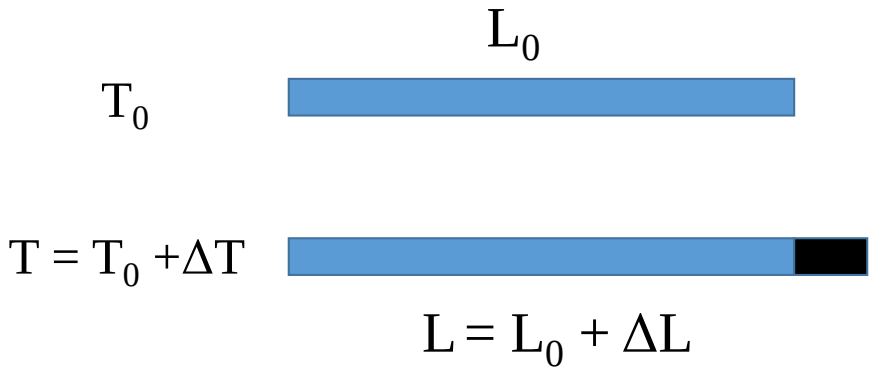
مبناء: کمترین دمای ممکن صفر کلوین – دمای ذوب یخ ۲۷۳/۱۵ کلوین

$$T = \theta + 273.15$$

انبساط گرمایی

در اثر افزایش دما، جنبش اتمها افزایش یافته و لذا منجر به افزایش فاصله بین ذرات تشکیل دهنده جسم می گردد. بنابراین حجم یا طول جسم افزایش می یابد

انبساط خطی



طول اولیه میله L_0 در دمای T_0

طول ثانویه میله L در دمای T

$$\Delta L = \alpha L_0 \Delta T$$

$$\Delta L = L - L_0$$

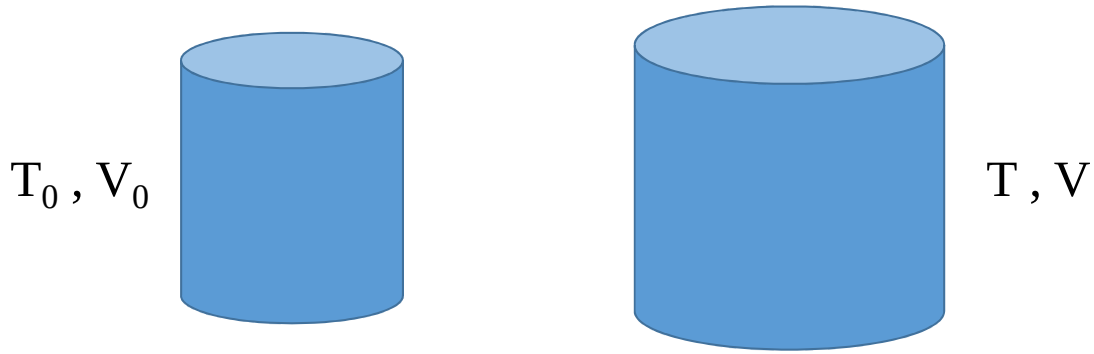
$$\Delta T = T - T_0$$

α ضریب انبساط خطی

- جنس جسم
- دما (تغییرات جزیی)

انبساط حجمی

انبساط جسم در هر سه بعد، منجر به افزایش حجم جسم می شود



$$\Delta V = \beta V_0 \Delta T$$

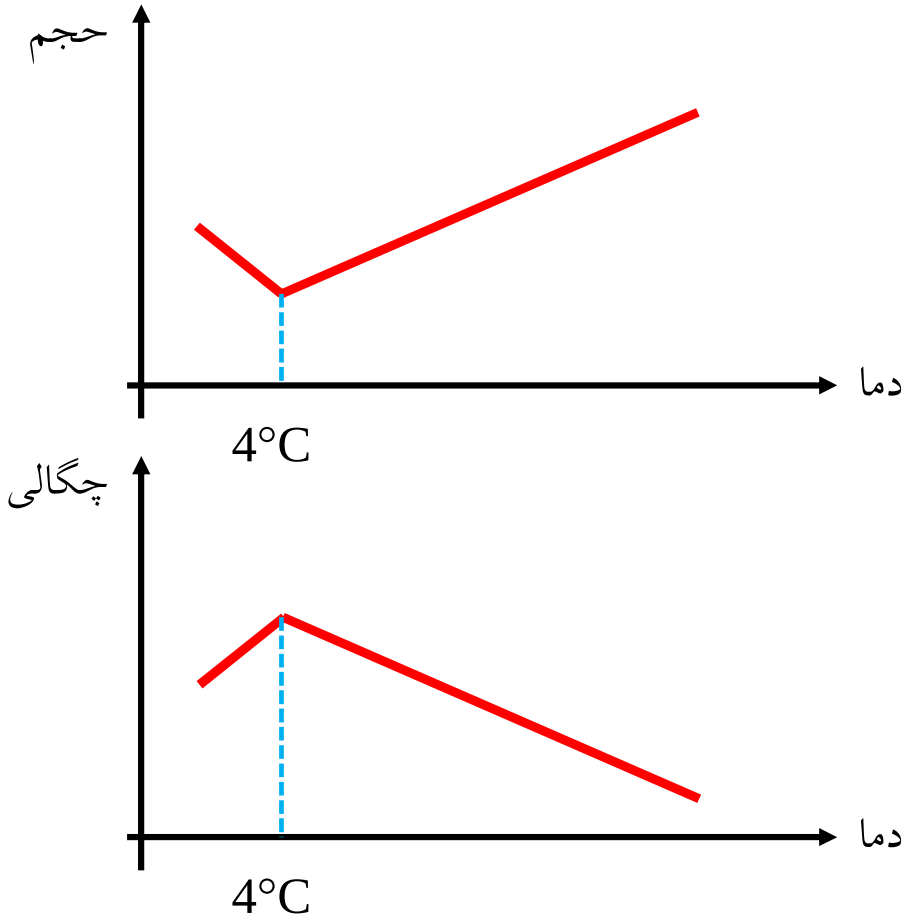
$$\Delta V = V - V_0$$

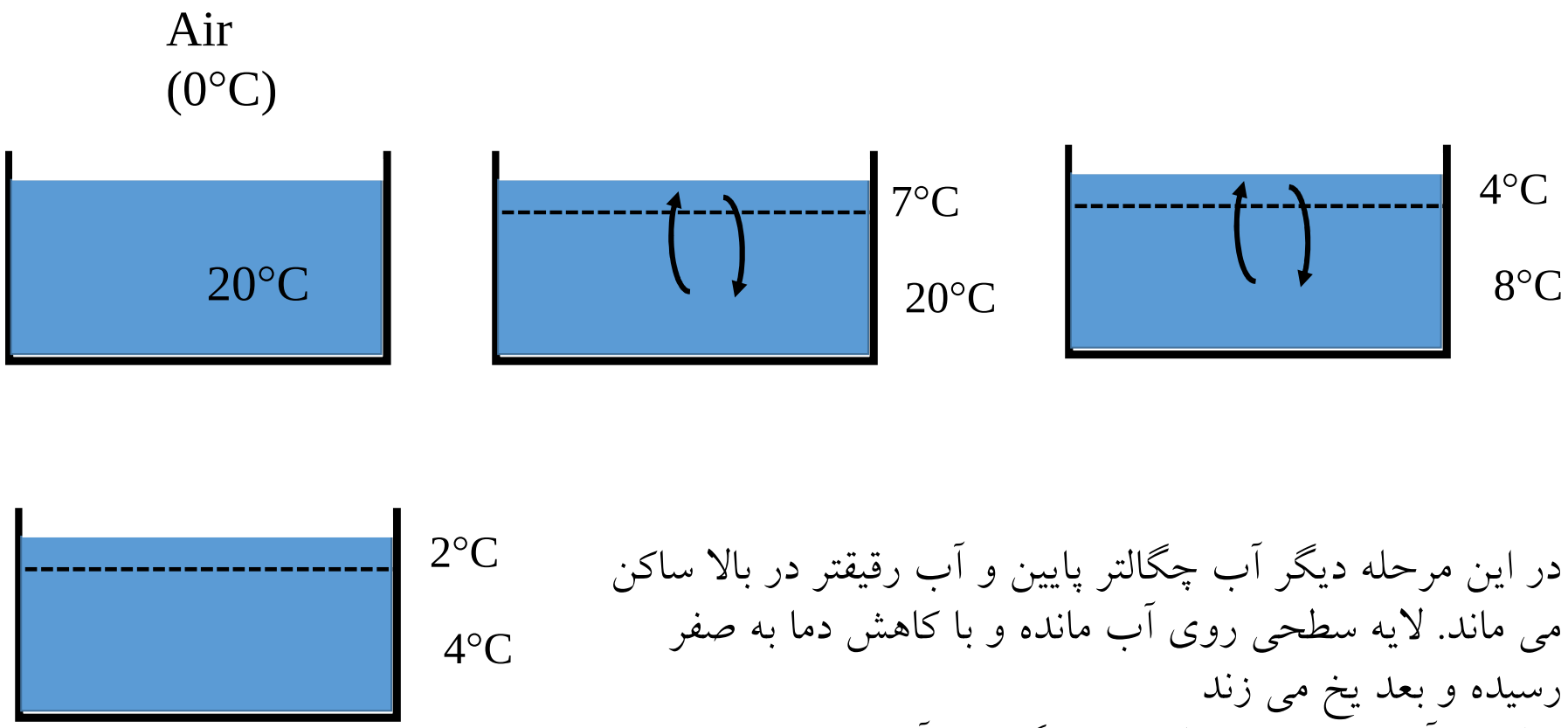
$$\Delta T = T - T_0$$

β ضریب انبساط حجمی

$$\beta = 3\alpha$$

تغییرات حجم آب با تغییر دما و تاثیر آن بر کیفیت انجماد آب





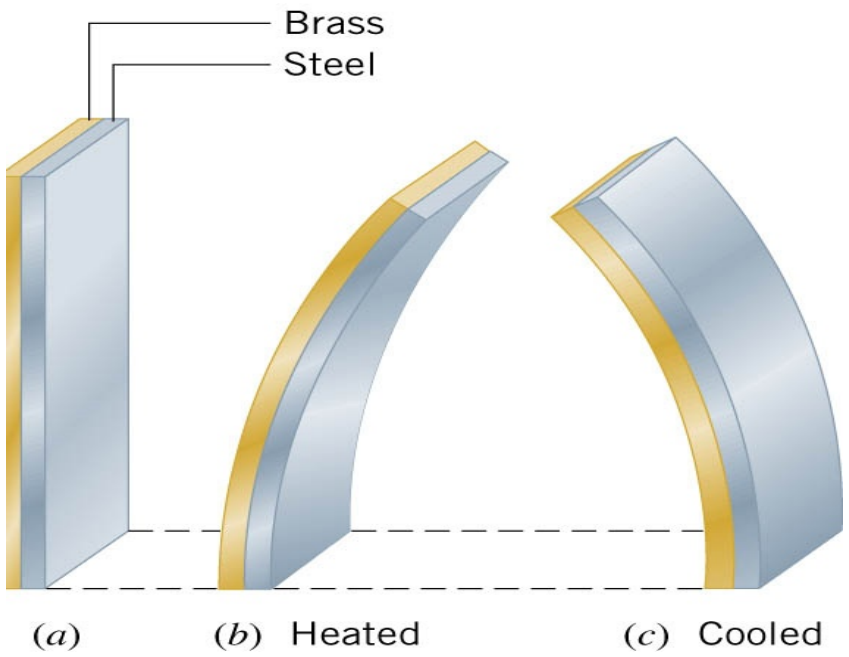
در این مرحله دیگر آب چگالتر پایین و آب رقیقتر در بالا ساکن می ماند. لایه سطحی روی آب مانده و با کاهش دما به صفر رسیده و بعد یخ می زند

بدلیل فرآیند رسانش از طریق یخ، گرما از آب زیرین به هوا منتقل شده و ضخامت یخ افزایش می یابد

مثال:
طول یک پل استیل 2 km است. اگر دما هنگام ساخت پل 21°C باشد، نقاط انبساط طولی لازم برای جلوگیری از خمشدگی پل چقدر باید باشد

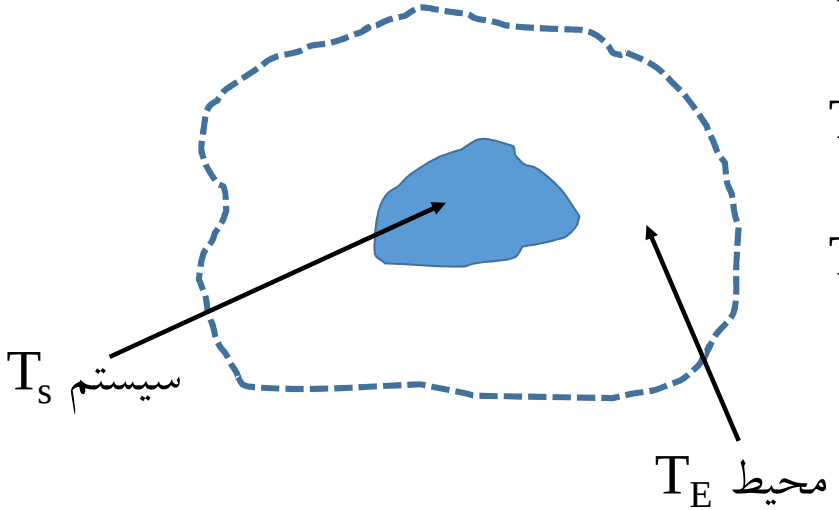
Bimetallic Strip (thermostat)

- Made from two strips of metal that have different coefficients of linear expansion
- One side expands more than the other causing the strip to bend
- Used in automatic switches in appliances and thermostats
- Applications: heating on or off in a room, oven thermos, kettle



جذب گرما (۱)

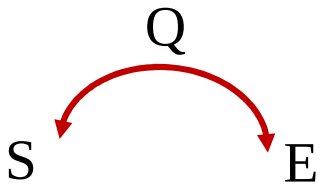
یک سیستم شامل ماده ای (جامد یا مایع و یا گاز) بدلیل تفاوت دمایی، می تواند با محیط اطراف گرما رد و بدل نماید و بدون تغییر فاز دمای آن تغییر نماید. و سرانجام دمای سیستم و محیط به تعادل می رسد



$T_S < T_E \rightarrow$ سیستم گرما می گیرد $\quad Q > 0$

$T_S > T_E \rightarrow$ سیستم گرما از دست می دهد $\quad Q < 0$

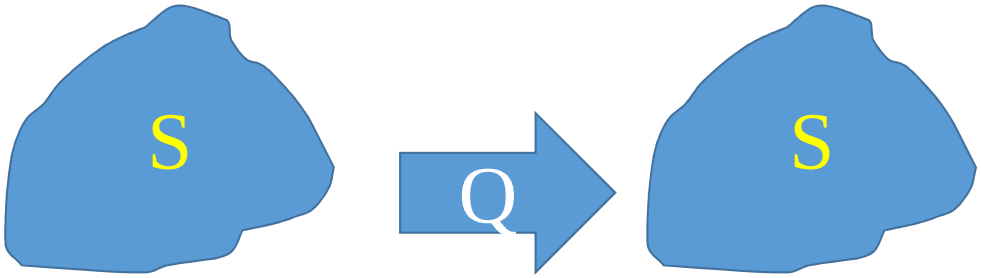
$T_S = T_E \rightarrow$ گرمای خالصی ردوبدل نمی کند $\quad Q = 0$



$Q \rightarrow$ j , cal

1 cal = 4.1868 j

جذب گرما (۲)– گرمای تبادلی در حالت تک فاز



$$\Delta T = T_f - T_i$$

تغییر دمای سیستم در اثر انتقال گرما با محیط در حالت تک فاز

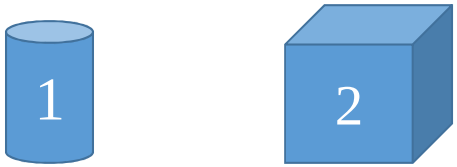
$$Q = C\Delta T = C(T_f - T_i)$$

ظرفیت گرمایی (C)

$^{j}/_{K}$ یا $^{cal}/_{K}$

جذب گرما (۳)– ظرفیت گرمایی (C) :

ظرفیت جسم در ارتباط با جذب گرما به ازای دمای تغییر یافته
مقاومت جسم در برابر تغییر دما به ازای گرمای جذب شده



$$if \quad Q_1 = Q_2 \quad , \quad C_1 > C_2 \qquad \rightarrow \quad \Delta T_1 < \Delta T_2$$

ظرفیت گرمایی وابسته به:

- جرم جسم m
- جنس جسم c (ظرفیت گرمایی ویژه)

ظرفیت گرمایی ویژه = ظرفیت گرمای در واحد جرم

جذب گرما (۴)– ظرفیت گرمایی ویژه (c) :

مقدار گرمای لازم که باید به یک گرم ماده داده شود تا دمای آن به اندازه یک درجه افزایش یابد

$$Q = mc\Delta T$$

ظرفیت گرمایی ویژه $c = \frac{Q}{m\Delta T} = \left(\frac{cal}{g^oC}\right) = \left(\frac{J}{kg^oC}\right)$

ظرفیت گرمایی ویژه مولی $c_M = \frac{c}{M}$

شرایط اندازه گیری ظرفیت گرمایی ویژه بر مقدار آن تاثیر گذار است.

در جامدات و مایعات $c_V \approx c_p$

در گازها $c_V \neq c_p$

c_V تحت شرایط حجم ثابت

c_p تحت شرایط فشار ثابت

Substance	Specific Heat		Molar Specific Heat
	cal / g · K	J / kg · K	J / mol · K
Elemental Solids			
Lead	0.0305	128	26.5
Tungsten	0.0321	134	24.8
Silver	0.0564	236	25.5
Copper	0.0923	386	24.5
Aluminum	0.215	900	24.4
Other Solids			
Brass	0.092	380	
Granite	0.19	790	
Glass	0.20	840	
Ice (−10°C)	0.530	2220	
Liquids			
Mercury	0.033	140	
Ethyl alcohol	0.58	2430	
Seawater	0.93	3900	
Water	1.00	4187	

Example:

Compare the amount of heat energy required to raise the temperature of 1 kg of water and 1 kg of iron 20 °C?

$$Q = mC\Delta T$$

For Water

$$Q = (1000g)(1cal/g^oC)(20^oC) = 20{,}000cal$$

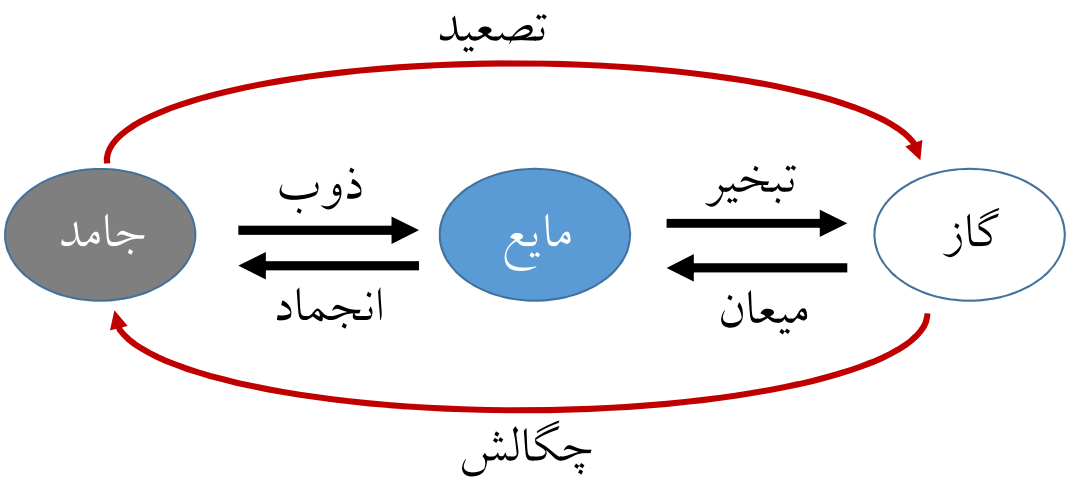
For Iron

$$Q = (1000g)(0.107cal/g^oC)(20^oC) = 2140cal$$

جذب گرما (۵)– گرمای تبادلی در حالت تغییر فاز

انتقال گرما می تواند همراه باشد با :

- ✓ تغییر دما در حالت تک فاز
- ✓ بدون تغییر دما حین تغییر فاز



گرمای تبدیل (گرمای نهان):

مقدار گرمای لازم برای تغییر حالت یک نمونه

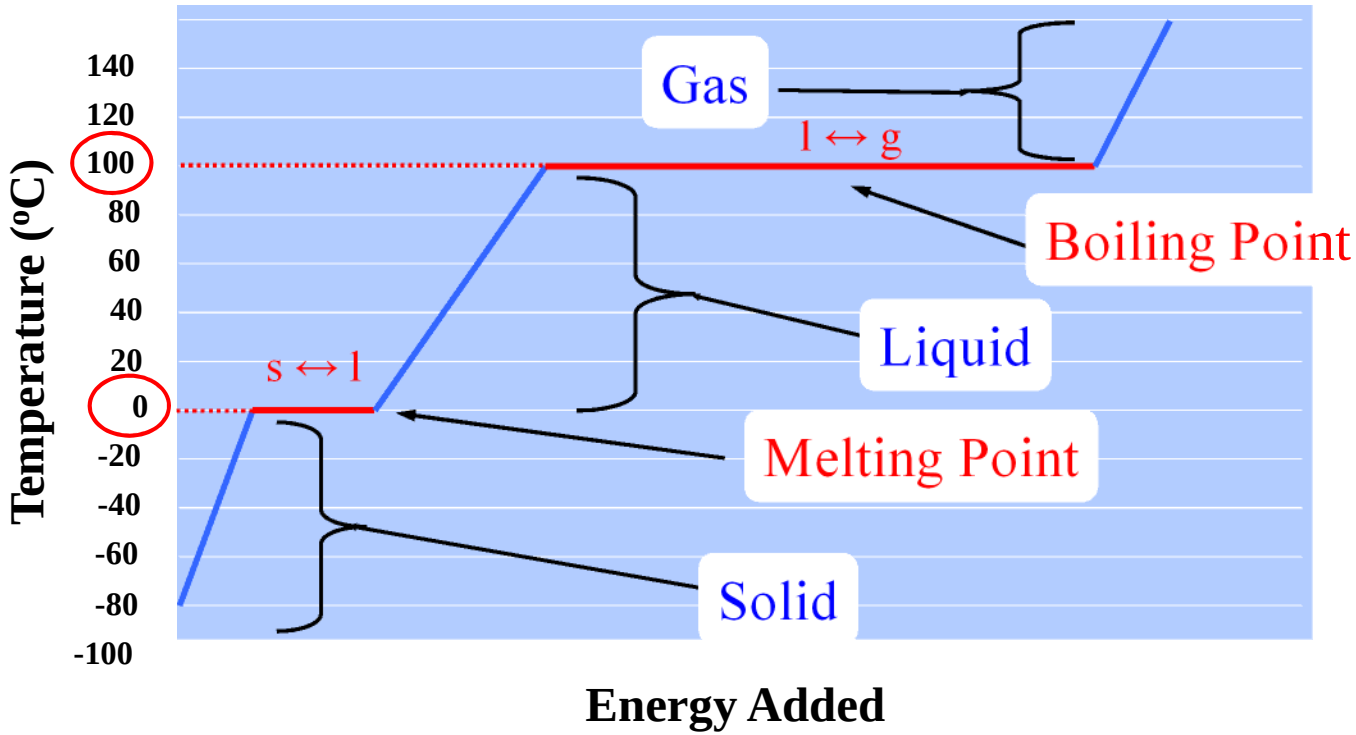
L_F : گرمای نهان ذوب یا انجماد

L_V : گرمای نهان تبخیر یا میعان

$$Q = mL$$

	Melting		Boiling	
Substance	Melting Point (K)	Heat of Fusion L_F (kJ/kg)	Boiling Point (K)	Heat of Vaporization L_V (kJ/kg)
Hydrogen	14.0	58.0	20.3	455
Oxygen	54.8	13.9	90.2	213
Mercury	234	11.4	630	296
Water	273	333	373	2256
Lead	601	23.2	2017	858
Silver	1235	105	2323	2336
Copper	1356	207	2868	4730

Heating Curve of water



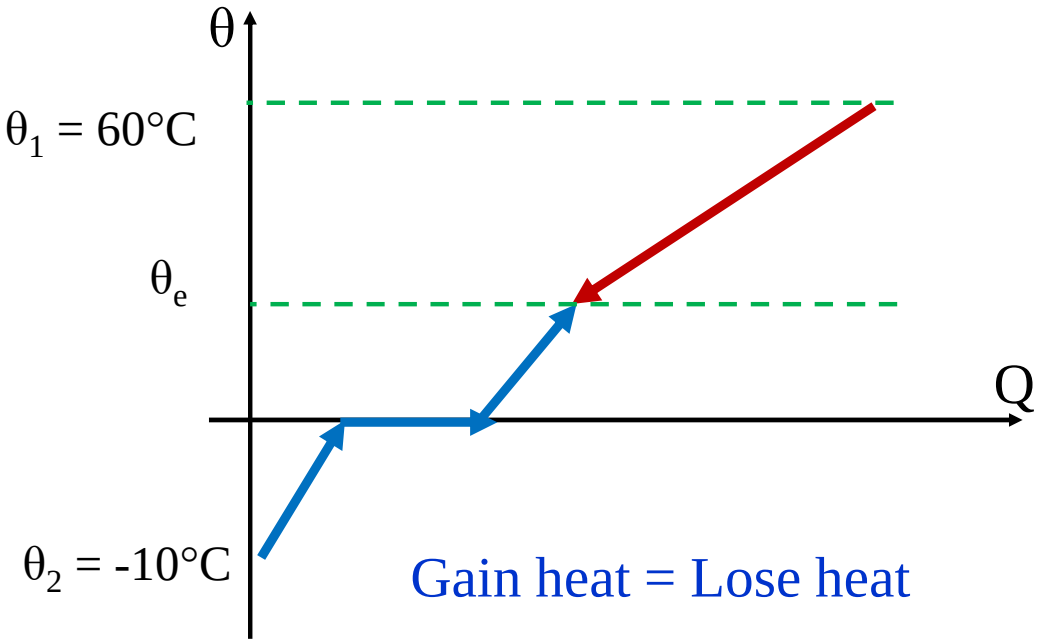
مثال) قطعه فلزی به جرم $m_1 = 100\ g$ که تا دمای $\theta_1 = 400°C$ گرم شده درون ظرفی حاوی $m_2 =$ $200\ g$ آب انداخته می شود. دمای اولیه ظرف و آب $\theta_2 = 12°C$ است. اگر قطعه فلزی، آب و ظرف بسته یک سیستم بسته را تشکیل دهند. ارزش گرمایی ظرف (گرمای ویژه) برابر با A استدمای تعادل θ_e را حساب کنید

$$c_w = 1\ cal/g.^\circ C \quad , \quad c_{cu} = 0.09\ cal/g.^\circ C \quad , \quad C_C = 50\ cal/k$$

Lose heat = Gain heat

$$m_1\ c_{cu}\ (\theta_1 - \theta_e) = m_2\ c_w\ (\theta_e - \theta_2) + A\ (\theta_e - \theta_2)$$

مثال) چه مقدار یخ -10°C را باید به 300 cc آب 60°C اضافه نمود تا درنهایت آب 15°C داشته باشیم.



Gain heat = Lose heat

$$m_2\, c_{ice}\, (\theta_2 - 0) + m_2\, L_F + m_2\, c_w\, (\theta_e - 0) = m_1\, c_w\, (60 - \theta_e)$$