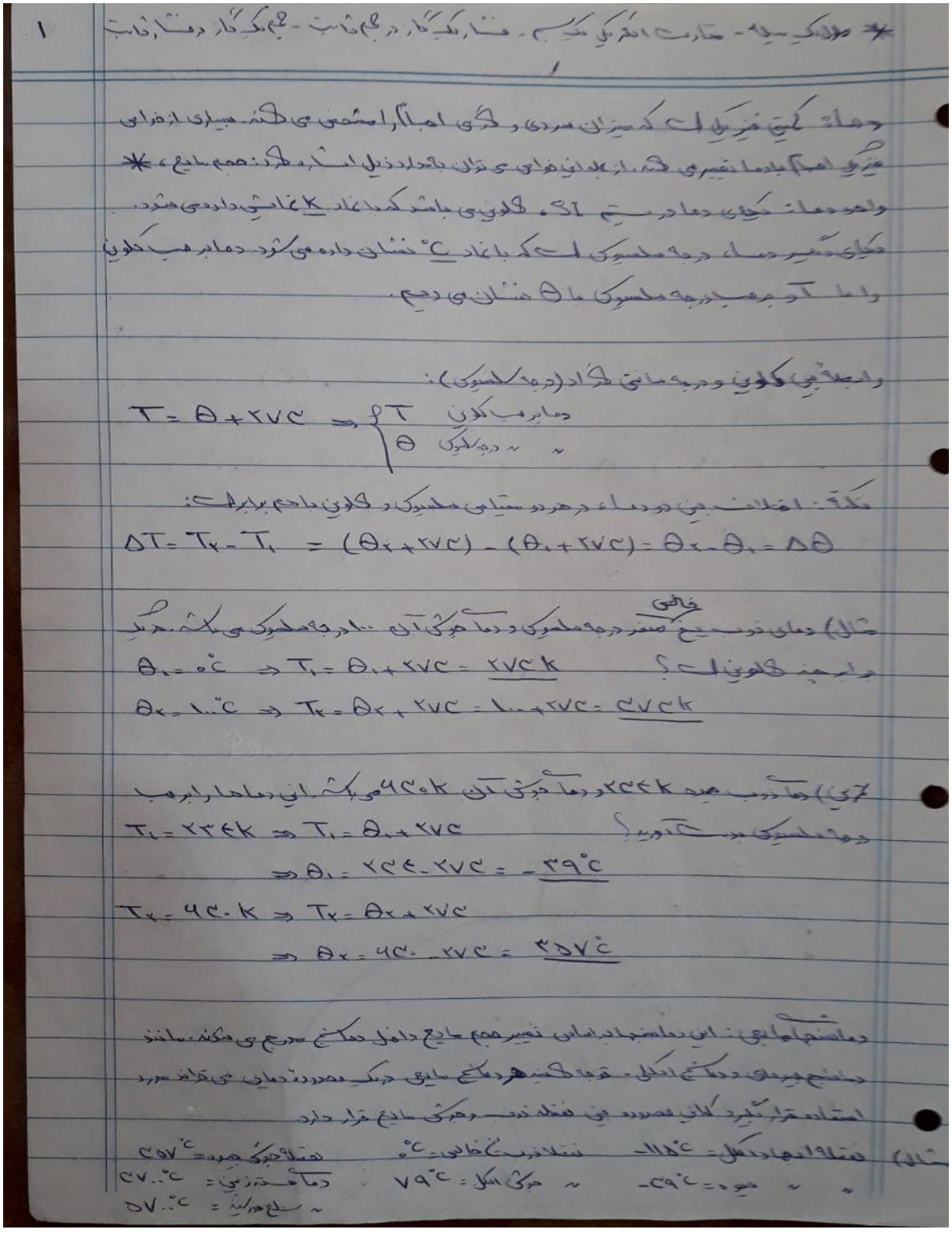
درس فیزیک حرارت



مثال) نحوه سرد شدن دماسنج در دماسنجی جیوه‌ای چگونه است؟

مثال) رابطه بین شکل ابتدا و انتهای جوشکاری آب با فشار هوا و فاز آن چیست؟

مثال) در دماسنج جیوه‌ای می‌توان دماها بین $-39^{\circ}C$ تا $357^{\circ}C$ که نقطه ذوب و جوش جیوه است را اندازه گیری کرد.

مثال) دماسنج پزشکی یک دماسنج جیوه‌ای برای اندازه گیری دمای بدن انسان می‌باشد و در نتیجه در گستره آن، عددهای انبساط جیوه از $35^{\circ}C$ تا $42^{\circ}C$ تقسیم‌بندی شده. نزدیک محل انتهای دماسنج مقداری تا جیوه باریک است تا به آرامی برگردد و پزشک فرصت کافی برای خواندن دما بدن انسان داشته باشد.

ظرفیت گرمایی ویژه: (C) مقدار انرژی گرمایی که باید به واحد جرم یک جسم ($1kg$) داده شود تا دمای آن به اندازه یک کلوین افزایش یابد (یا یک درجه سلسیوس) را ظرفیت گرمایی ویژه آن جسم گویند. واحد آن در SI به صورت $J/kg^{\circ}C$ (J/kgK) می‌باشد و واحد دیگر آن $cal/g^{\circ}C$ است.

$$1cal = 4.2J \Rightarrow 1cal/g^{\circ}C = 4200\ J/kg^{\circ}C$$

مثال) با توجه به ظرفیت گرمایی ویژه آب و مس $C_{آب} = 4200\frac{J}{kg^{\circ}C}$، $C_{مس} = 400\frac{J}{kg^{\circ}C}$ اگر $1kg$ آب و $1kg$ مس را در دمای یکسان $1^{\circ}C$ بیشتر کنیم مقدار گرمایی که باید به آب بدهیم چند برابر مس است؟

نکته:

ضابطه گرمای مبادله شده (بدون تغییر حالت): وقتی جسمی گرمایی مبادله می‌کند و دچار تغییر حالت فیزیکی نمی‌شود، مقدار گرمای مبادله شده به عوامل زیر بستگی دارد:

۱. به جرم جسم $Q \propto m$ ۲. به ظرفیت گرمایی ویژه جسم $Q \propto C$

۳. به تغییر دما (تغییر دما) $Q \propto \Delta T$

$$\Rightarrow Q = mC\Delta T \quad (Q = mC\Delta\theta)$$

J	kg	$\frac{J}{kg^{\circ}C}$ $(\frac{J}{kgK})$	$^{\circ}C(K)$
cal	g	$\frac{cal}{g^{\circ}C}$	$^{\circ}C$

مثال) $250g$ مس با دمای $50^{\circ}C$ در محیطی قرار می‌گیرد که دمای آن $10^{\circ}C$ است. چه مقدار انرژی باید گرما دهید جسم خنک شود تا دمای آن به $10^{\circ}C$ برسد؟ ($C_{مس} = 400\frac{J}{kg^{\circ}C}$)

$m = 250g$ $\theta_1 = 50^{\circ}C$ $\theta_2 = 10^{\circ}C$ $Q = mC\Delta\theta = 250 \times 10^{-3} \times 400 \times (10-50)$

$(\theta_2 - \theta_1) = -4000J$

↓ علامت منفی نشان می‌دهد که مس گرما از دست داده است.

~~($C_{\text{مس}} = 400\ J/kg.c$ ، $C_{\text{آب}} = 4200\ J/kg.c$)~~

مثال) مقدار گرمای معینی دمای یک قطعه مس را $48^\circ C$ افزایش می‌دهد. گرمای مقدار گرما را به آب هم‌جرم مس بدهیم دمای آن چقدر افزایش خواهد یافت؟

$\Delta\theta_{\text{مس}} = 48^\circ C \quad Q_{\text{مس}} = Q_{\text{آب}} \quad m_{\text{آب}} = m_{\text{مس}} \quad \Delta\theta_{\text{آب}} = ?$

$$\frac{Q_{\text{آب}}}{Q_{\text{مس}}} = \frac{m_{\text{آب}}}{m_{\text{مس}}} \times \frac{C_{\text{آب}}}{C_{\text{مس}}} \times \frac{\Delta\theta_{\text{آب}}}{\Delta\theta_{\text{مس}}} \Rightarrow 1 = 1 \times \frac{\overset{1,0}{\cancel{4}2}}{4} \times \frac{\Delta\theta_{\text{آب}}}{48}$$

$$48 = 10,5\,\Delta\theta_{\text{آب}} \Rightarrow \Delta\theta_{\text{آب}} = \frac{48}{10,5} = 8^\circ C$$

مثال) دو جسم که جنس هر کدام از آن‌ها $\frac{m_1}{m_2} = \frac{1}{2}$ و نسبت ظرفیت گرمایی ویژه آن‌ها $\frac{c_1}{c_2} = \frac{5}{3}$ است، گرمای یکسانی می‌گیرند. اگر جسمی که دمای اولیه آن زودتر بالا می‌رود به اندازه $15^\circ C$ افزایش دما پیدا کند، دمای جسم دیگر چند درجه سلسیوس تغییر خواهد کرد؟

$$\frac{m_1}{m_2} = \frac{1}{2} \quad \frac{c_1}{c_2} = \frac{5}{3} \quad Q_1 = Q_2$$

با توجه به قوانین ظرفیت گرمایی ویژه، جسمی که ظرفیت گرمایی ویژه کمتری دارد دمای زودتر بالا می‌رود پس بنابراین: $C_1 > C_2$ ، $\Delta\theta_1 = ?$ ، $\Delta\theta_2 = 15^\circ C$

$$C_1 = \frac{5}{3} C_2 \xrightarrow{C_1 > C_2} \Delta\theta_2 = 15^\circ C$$

$$\frac{Q_2}{Q_1} = \frac{m_2}{m_1} \times \frac{C_2}{C_1} \times \frac{\Delta\theta_2}{\Delta\theta_1} \Rightarrow 1 = 2 \times \frac{3}{5} \times \frac{15}{\Delta\theta_1} \Rightarrow \Delta\theta_1 = 18^\circ C$$

و بالعکس جسمی که ظرفیت گرمایی ویژه بیشتری دارد دمای کمتر تغییر خواهد کرد.

مثال) آبگرمکنی در هر دقیقه $4\,kcal$ گرما می‌دهد. اگر گرمای آن صد درصد به آب داخل آن منتقل شود، مدت زمان لازم تا دمای آب داخل منبع که $20\,kg$ جرم دارد از $10^\circ C$ به $70^\circ C$ برسد؟ ($C_{\text{آب}} = 1\ cal/g.c$)

مقدار انرژی مصرف شده در واحد زمان را توان یک دستگاه گویند لذا

$$P = \frac{W}{t} = \frac{4\,kcal}{1\,min} \Rightarrow P = \frac{4 \times 10^3}{40} = \frac{4000}{40} = 100\ \frac{cal}{s}$$

$W = Pt$ ⟹ $mc\Delta\theta = Pt$

W: انرژی (J / cal) ، P: توان (J/s / cal/s) ، t: زمان (s)

$$(20 \times 10^3)(1)(70 - 10) = 100\,t$$

$$18 \times 10^5 = 100\,t \Rightarrow t = 18 \times 10^3\ s$$

$$t = \frac{18 \times 10^3}{3600} = 5\,h$$

دمای تعادل: هرگاه دو یا چند جسم با دماهای مختلف را با هم تماس دهیم، گرما از بدنی که دمای بالاتری دارد به بدنی که دمای پایین‌تری دارد منتقل می‌شود. این تبادل انرژی تا زمانی ادامه می‌یابد که دو جسم هم دما شوند. این دما را دمای تعادل می‌گوییم.

محاسبه دمای تعادل: طبق قانون پایستگی انرژی، اندازه گرماهای گرفته شده با گرمای داده شده برابر است لذا می‌توان با یکسان گرفتن جبری گرماهای مبادله شده برابر صفر قرار داد.

(+) علامت — (-) علامت

گرمای گرفته شده = گرمای داده شده

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

$$m_1 c_1 (\theta - \theta_1) + m_2 c_2 (\theta - \theta_2) + \dots = 0$$

$$m_1 c_1 \theta - m_1 c_1 \theta_1 + m_2 c_2 \theta - m_2 c_2 \theta_2 = 0$$

$$\theta = \frac{m_1 c_1 \theta_1 + m_2 c_2 \theta_2 + \dots}{m_1 c_1 + m_2 c_2 + \dots}$$

اگر اجسامی که با هم در تماس هستند هم جنس باشند $\Leftarrow$

$$c_1 = c_2 = \dots$$

$$\Rightarrow \theta = \frac{m_1 \theta_1 + m_2 \theta_2 + \dots}{m_1 + m_2 + \dots}$$

اگر اجزای مایع هم جنس با هم در تماس باشند $\Leftarrow$

$$\rho_1 = \rho_2 = \dots \Rightarrow (\rho = \frac{m}{v})$$

$$\Rightarrow \theta = \frac{v_1 \theta_1 + v_2 \theta_2 + \dots}{v_1 + v_2}$$

اگر اجسامی که با هم در تماس هستند هم جنس و هم جرم باشند $\Leftarrow$

$$\begin{cases} c_1 = c_2 = \dots \\ m_1 = m_2 = \dots \end{cases} \Rightarrow \theta = \frac{\theta_1 + \theta_2 + \dots}{n} \quad (n = \text{تعداد اجسام})$$

مثال) ۲۵۰ گرم نیکل $120^\circ C$ را در ۲۰۰ گرم آب $12^\circ C$ می‌اندازیم دمای تعادل چند درجه سلسیوس می‌شود؟ ($c_{\text{نیکل}} = 0.1 \frac{cal}{g^\circ C}$ و $c_{\text{آب}} = 1 \frac{cal}{g^\circ C}$)

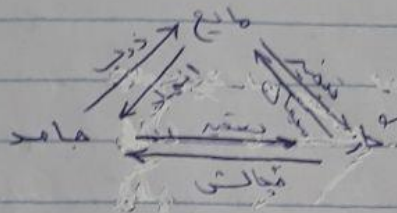
$$\theta = \frac{m_1 c_1 \theta_1 + m_2 c_2 \theta_2}{m_1 c_1 + m_2 c_2} = \frac{250 \times 0.1 \times 120 + 200 \times 1 \times 12}{250 \times 0.1 + 200 \times 1} = 24^\circ C$$

مثال) حداقل آب گرم با دمای $80^\circ C$ را با چند لیتر آب سرد با دمای $8^\circ C$ مخلوط کنیم تا دمای تعادل مخلوط $44^\circ C$ شود؟

$$\theta = \frac{v_1 \theta_1 + v_2 \theta_2}{v_1 + v_2}$$

$$44 = \frac{15 \times 80 + v_2 \times 8}{15 + v_2} \Rightarrow v_2 = 15\ lit$$

حالت‌های ماده: مواردی که در آن ماده وجود دارد در حالت جامد، مایع و گاز یافت می‌شود. تبدیل هر حالت به حالت دیگر نیز نام‌گذاری شده است.



ذوب و انجماد:

ویژگی‌های ذوب:

۱- عمل ذوب گرماگیر است (تبدیل جامد به مایع)

۲- هر جسم جامد در فشار ثابت در دمای معینی شروع به ذوب کردن و تبدیل به مایع می‌کند.

۳- تمام اجسام در اثر ذوب، افزایش حجم و یا بدون تغییر حجم مورد استثنا مانند یخ، جدول بیست و نوزده (کاهش حجم و یا بدون)

۴- در تمام مدت ذوب، دما ثابت می‌ماند.

۵- افزایش فشار باعث بالا رفتن دمای ذوب جسم می‌شود به جز چهار موردی که در اثر ذوب حجم آن‌ها کم می‌شود، تا اثر فشار بر روی افزایش یا به دمای ذوب تری‌پایین رفته و در دما کمتری ذوب می‌شود

گرمای نهان ویژه ذوب (L_f): $Q_f = mL_f$ (Q_f: انرژی گرمایی نهان ذوب (J)، m: جرم (kg)، L_f: گرمای نهان ویژه ذوب $\left(\frac{J}{kg}\right)$)

مقدار انرژی گرمایی که باید به واحد جرم یک جسم در دمای ثابت داده تا دمای تغییر دما از جامد به مایع تبدیل شود مانند تبدیل یخ $0^\circ C$ به آب $0^\circ C$.

مثال) وقتی گفته می‌شود گرمای نهان ویژه ذوب یخ $80\ \frac{cal}{g}$ است یعنی برای تبدیل یک گرم یخ $0^\circ C$ به آب $0^\circ C$ باید $80\ cal$ گرما به آن بدهیم.

انجماد: عکس انجماد، وارون عکس ذوب یعنی تبدیل مایع به جامد است. انرژی حرارتی جسم هنگام انجماد، همان مقدار گرمایی است که هنگام ذوب می‌گیرد. بنابراین گرمای نهان ویژه انجماد برابر منفی گرمای نهان ویژه ذوب خواهد بود.

$$L_{انجماد} = -L_f \Rightarrow Q_{انجماد} = mL_{انجماد} \Rightarrow Q_{انجماد} = -mL_f$$

تبخیر و میعان:

تبخیر: تبدیل مایع به بخار را تبخیر می‌گوییم. عمل تبخیر گرمای گرفته و به شکل‌های مختلف (جوشش و تبخیر سطحی) صورت می‌گیرد.

ویژگی‌های جوشش:

۱. اگر گرما به مایع داده شود دمای مایع در دمای معینی بدون تغییر تبدیل می‌شود این عمل را جوشش می‌گوییم.

۲. در حالت جوشش، دمای مایع خالص ثابت می‌ماند.

۳. افزایش فشار بر سطح مایع باعث بالا رفتن نقطه جوش آن مایع می‌شود یعنی مایع دیرتر شروع به جوشیدن می‌کند.

گرمای نهان تبخیر Q (J) انرژی گرمایی

$Q = mL_v$ ⟹ m (kg) جرم

L_v گرمای نهان ویژه تبخیر $\left(\frac{J}{kg}\right)$

مقدار انرژی گرمایی که باید به واحد جرم یک جسم داد تا بدون تغییر دما از مایع به بخار تبدیل شود را گرمای نهان ویژه تبخیر (L_v) می‌گویند.

Q_v آب $100^\circ C$ ⟵ Q_v بخار آب $100^\circ C$

مثال) وقتی گفته می‌شود گرمای نهان ویژه تبخیر آب $540 \frac{cal}{g}$ است یعنی برای تبدیل یک گرم آب $100^\circ C$ به بخار آب $100^\circ C$ باید 540 کالری گرما بدهیم.

ویژگی‌های تبخیر سطحی: ۱. مولکول‌های سطح مایع در برخورد با مولکول‌های همسایه مقدار انرژی لازم را جهت بخار شدن به دست می‌آورند و از سطح مایع فرار می‌کنند. این عمل را تبخیر سطحی می‌گوییم که در دمای معمولی اتفاق می‌افتد.

۲. افزایش سطح مایع، افزایش دما، افزایش جریان هوا باعث افزایش سرعت تبخیر سطحی می‌شود.

۳. افزایش فشار، رطوبت هوا باعث کاهش سرعت تبخیر سطحی می‌شود.

میعان:

فرآیند عکس تبخیر یعنی تبدیل بخار به مایع را میعان می‌گوییم. در این حین هر مقدار بخار به همان میزان گرما از دست می‌دهد تا تبخیر شود. برای گرمای نهان ویژه میعان، منفی گرمای نهان ویژه تبخیر است.

$L_{میعان} = -L_v \Rightarrow Q_{میعان} = mL_{میعان} \Rightarrow Q_{میعان} = -mL_v$

مثال) چند کالری گرما لازم است تا ۵g یخ $-10^\circ C$ تبدیل به آب $10^\circ C$ شود؟

($c_{آب} = 1 \frac{cal}{g^\circ C}$ ، $c_{یخ} = 0.5 \frac{cal}{g^\circ C}$ ، $L_f = 80 \frac{cal}{g}$)

$Q_{کل} = ?$ ، یخ $-10^\circ C$ ⟶ آب $10^\circ C$

یخ $-10^\circ C$ —(Q_1 گرما دهی)→ یخ $0^\circ C$ —(Q_f گرمای ذوب)→ آب $0^\circ C$ —(Q_2 گرما دهی)→ آب $10^\circ C$

$Q_{کل} = Q_1 + Q_f + Q_2$

$Q_1 = m_{یخ} c_{یخ} \Delta\theta_{یخ} = 5 \times 0.5 \times (0 - (-10)) = 25\ cal$

$Q_f = m_{یخ} L_f = 5 \times 80 = 400\ cal$

$Q_2 = m_{آب} c_{آب} \Delta\theta_{آب} = 5 \times 1 \times (10 - 0) = 50\ cal$

$Q_{کل} = 25 + 400 + 50 = 475\ cal$

مثال) چند کالری گرما باید از ۲g بخار آب $120^\circ C$ گرفته شود تا به آب $50^\circ C$ تبدیل شود؟ ($L_{v\,آب} = 540 \frac{cal}{g}$ و $c_{بخار\,آب} = 0.5 \frac{cal}{g^\circ C}$ و $c_{آب} = 1 \frac{cal}{g^\circ C}$)

$Q = ?$ ، بخار آب $120^\circ C$ ⟶ آب $50^\circ C$

بخار آب $120^\circ C$ —($Q_1 = -Q_3$ گرما دهی)→ بخار آب $100^\circ C$ —($Q_2 = -Q_v$ میعان / گرمای تبخیر)→ آب $100^\circ C$ —(Q_3 گرما دهی)→ آب $50^\circ C$

$Q_{کل} = Q_1 + Q_v + Q_3$

$Q_1 = m_{بخار\,آب} c_{بخار\,آب} \Delta\theta_{بخار\,آب} = 2 \times 0.5 \times (100 - 120) = -20\ cal$

$Q_{میعان} = -Q_v = -m L_v = -2 \times 540 = -1080\ cal$

$Q_3 = m_{آب} c_{آب} \Delta\theta_{آب} = 2 \times 1 \times (50 - 100) = -100\ cal$

$Q = -20 - 1080 - 100 = -1200\ cal$

مثال) برای تبدیل ۲g یخ $-20^\circ C$ به بخار آب $100^\circ C$ چند کالری گرما لازم است؟

$L_{F\,یخ} = 80 \frac{cal}{g}$ ، $c_{یخ} = 0.5 \frac{cal}{g^\circ C}$ ، $L_{v\,آب} = 540 \frac{cal}{g}$ ، $c_{آب} = 1 \frac{cal}{g^\circ C}$

یخ $-20^\circ C$ —(گرما دهی)→ یخ $0^\circ C$ —(گرمای ذوب)→ آب $0^\circ C$ —(گرما دهی)→ آب $100^\circ C$ —(گرمای تبخیر)→ بخار آب $100^\circ C$

$Q = Q_1 + Q_F + Q_2 + Q_v$

$Q = 200 + 1600 + 200 + 1080 = 3080\ cal$

$Q_1 = mc\Delta\theta = (2)(0.5)(0 - (-20)) = 200\ cal$

$Q_F = mL_F = (2)(80) = 1600\ cal$

$Q_2 = mc\Delta\theta = (2)(1)(100 - 0) = 200\ cal$

$Q_v = mL_v = (2)(540) = 1080\ cal$

موفق و موید باشید