

ترمودینامیک

۱- گاز ایده‌آلی در دمای 45°C با سرعت $10 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ وارد یک شیبپور عایق‌کاری شده، می‌شود و در دمای $^{\circ}\text{C}$ آن را ترک می‌کند. سرعت گاز

خروجی چند متر بر ثانیه است؟ ($C_p = 1 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$)

- (۱) ۳۰ (۲) ۱۰۰ (۳) ۲۰۰ (۴) ۳۰۰

۲- کدام یک از خواص زیر متمرکز یا شدتی (Intensive) هستند؟

- (۱) انرژی داخلی (۲) دما (۳) فشار (۴) گزینه‌های ۲ و ۳

۳- کدام عبارت صحیح نمی‌باشد؟

- (۱) تنها در فرایندهای برگشت‌پذیر کار انجام شده معادل سطح زیر نمودار P-V است.
(۲) برای انجام کار کافی است بر مرز سیستم نیروی خارجی اثر کند و مرز سیستم حرکت کند.
(۳) آنتالپی سیال در فرایند اختناق ثابت نمی‌ماند.

(۴) برای یک سیستم بسته در فرایند پلی‌تروپیک در گاز ایده‌آل و همراه با انتقال گرما داریم $q = \frac{k-n}{1-n} C_v \Delta T$ (ثابت $p v^n =$ فرایند برگشت‌پذیر مکانیکی است).

۴- فرایند تراکم برگشت‌پذیر گازی در داخل سیلندر و پیستون در فشار ثابت مفروض است. مقدار انتقال حرارت بر واحد جرم به شرطی که گاز

داخل سیلندر ایده‌آل باشد، کدام است؟ ($\gamma = \frac{C_p}{C_v}$)

- (۱) $q = \frac{kR}{2(1-\gamma)} (T_2 - T_1)$ (۲) $q = \frac{R}{2(1-\gamma)} (T_2 - T_1)$ (۳) $q = \frac{\gamma R}{\gamma - 1} (T_2 - T_1)$ (۴) $q = \frac{R}{\gamma - 1} (T_2 - T_1)$

۵- برای یک گاز واقعی در فشارهای بسیار کم، کدام مورد درباره گرمای ویژه در فشار ثابت صحیح نیست؟

- (۱) با افزایش تعداد اتم‌های مولکول گاز، وابستگی C_p به دما بیشتر خواهد شد.
(۲) C_p گازهای تک اتمی تقریباً ثابت است.
(۳) برای گازهای با تعداد اتم یکسان، C_p مستقل از جرم مولکولی گاز است.
(۴) C_p گازهای چند اتمی با افزایش دما، افزایش می‌یابد.

۶- کدام مورد صحیح است؟

- (۱) از مزایای چند مرحله‌ای ساختن کمپرسور، نزدیک کردن کار، به کار ایزوترمال است.

(۲) برای یک کمپرسور چند مرحله‌ای داریم: $P_1 = C_R^n P_e$

(۳) با افزایش مراحل کمپرسور، حجم دستگاه افزایش می‌یابد.

(۴) در یک کمپرسور دو مرحله‌ای برای یافتن فشار میانی به شرطی که کل کار معرفی حداقل شود، داریم $P_1 = \sqrt[n]{P_1 P_e}$

۷- برای یک گاز ایده‌آل، $C_p = aT + R$ می‌باشد. شیب نمودار T-S در حجم ثابت، کدام گزینه می‌باشد؟

- (۱) $\frac{R}{a}$ (۲) $\frac{a}{R}$ (۳) $\frac{C_v}{R}$ (۴) $\frac{1}{a}$

۸- شیر متصل به یک مخزن خالی را باز می‌کنیم تا سیال وارد مخزن شود. پس از برابر شدن فشار داخل مخزن و فشار خط لوله، شیر را می‌بندیم. در صورتی که دمای سیال داخل مخزن، دو برابر دمای سیال داخل لوله باشد و بازگشت‌ناپذیری صفر باشد، حرارت منتقل شده چقدر خواهد بود؟

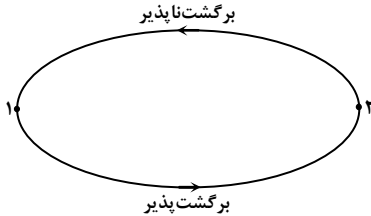
($C_p = 1 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$, $T_0 = 300\text{K}$)

- (۱) $210 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$ (۲) $-210 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$ (۳) $600 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$ (۴) $-600 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$

۹- در صورتی که دما و فشار یک گاز ایده‌آل هر دو m برابر شوند، تغییر آنتروپی چقدر است؟ ($C_{V_0} = R$)

۱) $R \ln m$ ۲) $-R \ln m$ ۳) $R \ln m$ ۴) $2R \ln m$

۱۰- سیستمی به صورت هم‌دما و برگشت‌پذیر در دمای 127°C از نقطه یک به دو می‌رسد، به طوری که در طی این فرآیند 1000 kJ گرما دریافت می‌کند. چنانچه در مسیر برگشت از حالت ثانویه به اولیه، سیستم به صورت برگشت‌ناپذیر عمل کند، در مورد تغییر آنتروپی مسیر برگشت کدام گزینه صحیح است؟



۱) $\Delta S = -\int_1^2 \frac{dQ}{T}$ مسیر برگشت

۲) $\Delta S < \int_1^2 \frac{dQ}{T}$ مسیر برگشت

۳) $\Delta S = 2/\Delta \frac{\text{kJ}}{\text{K}}$ مسیر برگشت

۴) نمی‌توان اظهار نظر کرد چون فرآیند برگشت‌ناپذیر است.

۱۱- یک سیستم در یک فرآیند برگشت‌پذیر بین دو نقطه ۱ و ۲ جابجا می‌شود؛ (مسیر I). این سیستم بین همان دو نقطه به شکل برگشت‌ناپذیر جابجا می‌شود؛ (مسیر II). کدام یک از روابط زیر در مورد تغییر آنتروپی این دو مسیر درست می‌باشد؟

۱) $\Delta S_I > \Delta S_{II}$ ۲) $\Delta S_I < \Delta S_{II}$ ۳) $\Delta S_I + \Delta S_{II} = 0$ ۴) $\Delta S_I = \Delta S_{II}$

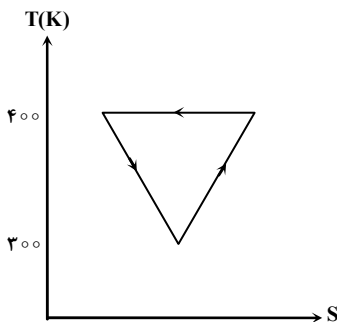
۱۲- ضریب عملکرد برای سیکل تبریدی در شکل زیر چقدر است؟

۱) $\beta = 3$

۲) $\beta = 7$

۳) $\beta = 1/7$

۴) چون مقدار ΔS مشخص نیست، محاسبه β امکان‌پذیر نمی‌باشد.



۱۳- به چه دلیل در صنعت نفت و گاز، کمپرسورها را چند مرحله‌ای می‌سازند؟

- ۱) نزدیک کردن فرآیند تراکم به فرآیند ایزوترم
- ۲) افزایش راندمان کمپرسور به دلیل افزایش کار تولیدی
- ۳) کاهش دمای خروجی
- ۴) همه موارد

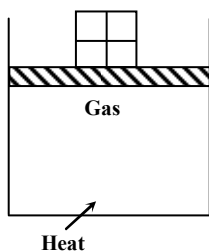
۱۴- یک جسم فلزی به جرم 5 kg و دمای اولیه 327°C در محیطی به دمای 27°C خنک می‌شود. اگر ظرفیت گرمایی قطعه فلزی $5 \frac{\text{kJ}}{\text{kg.K}}$

باشد، تغییرات آنتروپی سیستم و محیط چقدر است؟

۱) $\Delta S = -175 \frac{\text{kJ}}{\text{K}}$ ۲) $\Delta S = 250 \frac{\text{kJ}}{\text{K}}$ ۳) $\Delta S = 75 \frac{\text{kJ}}{\text{K}}$ ۴) $\Delta S = 425 \frac{\text{kJ}}{\text{K}}$

۱۵- سیستم شکل زیر را در نظر بگیرید که دارای حجم اولیه 4 m^3 و فشار 200 kPa می‌باشد. به گاز ایده‌آل زیر پیستون حرارت داده می‌شود تا به

حجم نهایی 1 m^3 برسد. اگر در حین حرارت دادن به سیستم، وزنه‌ها به شکلی برداشته شوند که $PV^{1/3} = \text{Cte}$ باشد تا به حجم نهایی مورد نظر برسیم، مقدار کار انبساطی تولید شده چقدر است؟



۱) $10/2\text{ kJ}$

۲) $6/4\text{ kJ}$

۳) $7/3\text{ kJ}$

۴) $4/3\text{ kJ}$

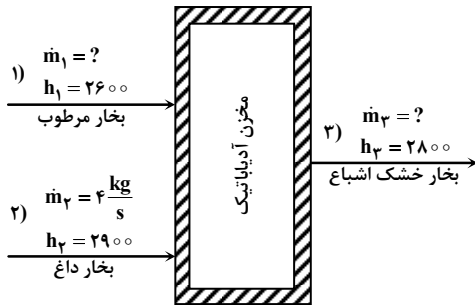
۱۶- آنتروپی گازی از رابطه $S = P^{\gamma} + PT$ پیروی می کند. $P \left(\frac{\partial A}{\partial T} \right)$ برابر کدام گزینه است؟

(۱) $-3P^{\gamma} - 2PT$ (۲) $3P^{\gamma} + 2PT$ (۳) $-P^{\gamma}$ (۴) P^{γ}

۱۷- اگر معادله حالت گازی از رابطه $Z = 1 + B'P$ تبعیت کند، کار تحول ایزوترمال برگشت پذیر است. واحد جرم کدام است؟

(۱) $RTL \ln \frac{V_2}{V_1}$ (۲) $RTB'PL \ln \frac{V_2}{V_1}$ (۳) $RTB'PL \ln \frac{P_1}{P_2}$ (۴) $RTL \ln \frac{P_1}{P_2}$

۱۸- جریانی از بخار داغ با شدت $4 \frac{kg}{s}$ و جریان دیگری از بخار مرطوب وارد یک مخزن اختلاط آدیاباتیک شده و جریان بخار آب خشک از مخلوط کننده خارج می شود. شدت جرمی جریان بخار مرطوب و بخار آب خشک اشباع به ترتیب چقدر خواهد بود؟



(۱) $\dot{m}_3 = 4 \frac{kg}{s}$ و $\dot{m}_1 = 2 \frac{kg}{s}$

(۲) $\dot{m}_3 = 10 \frac{kg}{s}$ و $\dot{m}_1 = 6 \frac{kg}{s}$

(۳) $\dot{m}_3 = 8 \frac{kg}{s}$ و $\dot{m}_1 = 4 \frac{kg}{s}$

(۴) $\dot{m}_3 = 6 \frac{kg}{s}$ و $\dot{m}_1 = 2 \frac{kg}{s}$

۱۹- کدام عبارت در مورد یک ماشین گرمایی (Heat Engine) برگشت پذیر، طبق اصل کارنو (Carnot) صحیح می باشد؟

- (۱) نوع سیال به کار رفته بر راندمان ماشین مؤثر است.
- (۲) راندمان به نوع سیال به کار رفته بستگی نداشته و فقط تابع دمای دو منبع گرم و سرد می باشد.
- (۳) استفاده از بخار داغ نسبت به سیالات دیگر ارجحیت دارد.
- (۴) با کاهش تلفات انرژی می توان راندمان را به ۱۰۰ درصد نزدیک کرد.

۲۰- چه وقت از رابطه $dh = C_p dT$ در محاسبه تغییرات آنتالپی می توان استفاده نمود؟

- (۱) در فرآیندهای فشار ثابت و گاز ایده آل
- (۲) در فرآیندهای حجم ثابت و گاز ایده آل
- (۳) در فرآیندهای فشار ثابت و سیالات تراکم ناپذیر
- (۴) در فرآیندهای حجم ثابت و سیالات تراکم ناپذیر

ترمودینامیک

۱ - گزینه «۴»

این سؤال قانون اول ترمودینامیک را برای فرآیندهای جاری در حالت فرآیند حالت پایدار - جریان پایدار یعنی - (SSSF) Steady State مطرح می‌کند. سیستم‌های SSSF سیستم‌هایی هستند که در آنها هم جرم ورودی داریم و هم جرم خروجی ولی تغییرات جرم درون سیستم با زمان مشاهده نمی‌شود. در این حالت به جای انرژی داخلی در قانون اول سیستم‌های بسته، آنتالپی قرار می‌گیرد. به عبارت دیگر در سیستم‌های SSSF شرایط در تمام نقاط نسبت به زمان ثابت است.

$$q + \sum \dot{m}_i \left(h_i + \frac{V_i^2}{2} + gZ_i \right) = W + \sum \dot{m}_e \left(h_e + \frac{V_e^2}{2} + gZ_e \right)$$

i جریان ورودی / e جریان خروجی

$$\sum \dot{m}_i = \sum \dot{m}_e \quad \text{معادله پیوستگی}$$

در این مسأله:

۱) $q = 0$

۲) $W = 0$

۳) $\dot{m}_e = \dot{m}_i \Rightarrow m_e = m_i = m$ چون فقط یک جریان ورودی و یک جریان خروجی داریم.

۴) $Z_e = Z_i \rightarrow$ اختلاف ارتفاع نداریم.

$$\Rightarrow h_i + \frac{V_i^2}{2} = h_e + \frac{V_e^2}{2} \Rightarrow \frac{V_e^2}{2} = (h_i - h_e) + \frac{V_i^2}{2} \Rightarrow V_e^2 = 2C_p(T_i - T_e) + V_i^2$$

$$\Rightarrow V_e^2 = 2 \times 1000 \times (45 - 0) + (10)^2 \Rightarrow V_e = 300.2 \frac{m}{s}$$

نکات:

۱- واحد C_p حتماً باید $\frac{J}{kg.K}$ باشد.

۲- در گاز ایده آل $\Delta H = C_p \Delta T$

۳- $\Delta T)_K = \Delta T)_C$

۴- Δ بیانگر اختلاف خروجی با ورودی برای هر کمیت است.

* قانون اول ترمودینامیک درباره سیستم‌های SSSF و USUF بسیار مهم است.

۲- گزینه «۴»

برخی از مفاهیم اساسی ترمودینامیکی عبارتند از: خاصیت (متمركز - غیرمتمركز)، توابع حالت، توابع مسیر که در این سؤال به مفهوم خاصیت پرداخته شده است.

خاصیت

هرگونه مشخصه قابل مشاهده یا قابل اندازه‌گیری یک سیستم را خاصیت آن می‌گوییم. مثلاً برای یک سیستم ترمودینامیکی، ρ, P, T و ... خاصیت‌های آن محسوب می‌شوند. در ترمودینامیک دو نوع خاصیت داریم:

۱- خاصیت متمركز یا شدتی (Intensive): خواص متمركز مستقل از مقدار ماده است. مثل: دما، فشار، حجم ویژه، انرژی داخلی ویژه

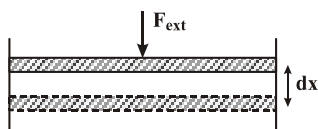
۲- خاصیت غیرمتمركز یا مقداری (Extensive): خواص غیرمتمركز بستگی به مقدار ماده دارد. مثل: حجم، جرم، انرژی داخلی، آنتالپی

نکات

۱- انرژی داخلی ویژه \leftarrow Intensive

۲- انرژی داخلی \leftarrow Extensive (انرژی مولکول‌های سازنده ماده)

۳- گزینه «۳»



$$\left. \begin{aligned} w &= \int F_{ext} \cdot dt \\ P_{ext} &= \frac{F_{ext}}{A} \end{aligned} \right\} \Rightarrow w = \int P_{ext} A dx$$

مطابق متن درس داریم:

که A سطح پیستون و dx میزان جابجایی مرز سیستم می‌باشد.

P_{ext} فشار مطلق خارجی و همواره مثبت است و تنها در فرایند شبه تعادلی معادل فشار گاز داخل است. بنابراین می‌توان نوشت $w = \int P dv$

بنابراین گزینه‌های ۱ و ۲ صحیح هستند. در فرایند اختناق $h_i = h_e$ بوده و این به معنی ثابت بودن آنتالپی است.

برای یک سیستم بسته در فرایند پلی تروپیک همراه با انتقال گرما داریم:

$$w = \frac{R(T_f - T_i)}{1-n} = \frac{P_f V_f - P_i V_i}{1-n} = \frac{k-1}{1-n} \Delta u, n \neq 1, \Delta u = q - w \Rightarrow$$

$$q = \Delta u \left(\frac{k-1}{1-n} + \frac{1-n}{1-n} \right) \Rightarrow q = \frac{k-n}{1-n} C_v \Delta T$$

۴- گزینه «۳»

پنج فرآیند مهم برای گاز ایده آل عبارتند از:

۱- فرآیند حجم ثابت (ایزومتر)

۲- فرآیند فشار ثابت (ایزوبار)

۳- فرآیند همدم (ایزوترم)

۴- فرآیند آدیاباتیک

۵- فرآیند پلی تروپیک

به دلیل آن که انرژی داخلی یک گاز ایده آل فقط تابعی از دماست لذا آنتالپی و ظرفیت گرمایی در فشار ثابت نیز فقط تابعی از دما می باشد.

$$Q = \Delta H = n \int C_p dT \quad (n \text{ تعداد مولها})$$

بنابراین در فرآیندهای فشار متغیر، تغییر آنتالپی دیگر برابر Q نخواهد بود.

از طرفی در یک فرآیند برگشت پذیر و فشار ثابت (چه انبساط و چه تراکم) کار برابر است با:

$$W = \int_{V_i}^{V_f} P dV = P(V_f - V_i)$$

$$\Delta u = Q - W \Rightarrow Q = (u_f - u_i) + P(V_f - V_i)$$

$$\left. \begin{aligned} Q &= C_p \Delta T = C_p (T_f - T_i) \\ C_p &= \frac{R\gamma}{\gamma-1} \end{aligned} \right\} \Rightarrow Q = \frac{R\gamma}{\gamma-1} (T_f - T_i)$$

نکته: کاربرد در کنکور

می دانیم:

$$\left\{ \begin{aligned} C_p - C_v &= R \\ \frac{C_p}{C_v} &= \gamma \end{aligned} \right. \xrightarrow{\text{دو معادله دو مجهول}} C_p = \frac{R\gamma}{\gamma-1} \text{ و } C_v = \frac{R}{\gamma-1}$$

چون گاز ایده آل است رابطه $C_p - C_v = R$ برقرار است ولی اگر این رابطه برقرار بود لزوماً گاز ایده آل نیست.

۵ - گزینه «۳»

دو نوع ظرفیت گرمایی داریم:

۱- ظرفیت گرمایی در حجم ثابت C_V

۲- ظرفیت گرمایی در فشار ثابت C_P

مقدار گرمایی که برای ایجاد یک تغییر حالت مشخص در یک سیستم باید اضافه شود بستگی به چگونگی انجام فرآیند دارد. تنها برای یک فرآیند برگشت پذیر با مسیر مشخص ممکن است این مقدار گرما با یک خاصیت سیستم مرتبط شود.

گزینه ۱ درست ← با افزایش جرم مولکولی گاز، وابستگی C_P به دما افزایش می یابد.

گزینه ۲ درست ← یک گاز یک اتمی مثل $Ne-He-Ar$ که از اتم های منفرد تشکیل می شود فاقد انرژی ارتعاشی است و لذا تغییرات ظرفیت گرمایی در محدوده وسیعی از درجه حرارت ناچیز است.

گزینه ۴ درست ← یک گاز دو اتمی مثل O_2-H_2 یک مدار ارتعاشی دارد و میزان ظرفیت گرمایی آن نسبت به درجه حرارت افزایش خواهد یافت. در یک گاز چند اتمی مثل H_2O-CO_2 افزایش ظرفیت گرمایی نسبت به درجه حرارت بیشتر خواهد شد و این ناشی از مدارهای ارتعاشی اضافی مولکول های چند اتمی است.

* مفروضات دانشجوی و تشخیص درست مفاهیم و افعال به کار رفته در گزینه ها باعث انتخاب صحیح گزینه درست می شود.

۶ - گزینه «۱»

مطابق متن درس داریم:

از مزایای چند مرحله ای ساختن کمپرسور عبارتند از:

(۱) نزدیک کردن کار به کار ایزوترمال

(۲) حداقل کردن کار مصرفی

(۳) کم کردن هزینه خرید

(۴) بالا بردن راندمان کمپرسور

همچنین فشار میانی به شرط حداقل شدن کل کار برابر ریشه دوم حاصلضرب فشار اولیه و نهایی بوده و نیز رابطه میان فشار اولیه و نهایی با نسبت

$$\text{تراکم } (C_R) \text{ مطابق } C_R^n = \frac{P_c}{P} \text{ است.}$$

۷- گزینه «۴»

محاسبه تغییرات آنتروپی در ۲ حالت:

$$۱) S = S(T, P) \rightarrow dS = \left(\frac{\partial S}{\partial T}\right)_P dT + \left(\frac{\partial S}{\partial P}\right)_T dP, dh = TdS + VdP$$

$$\left(\frac{\partial h}{\partial T}\right)_P = T\left(\frac{\partial S}{\partial T}\right)_P + \circ \Rightarrow \left(\frac{\partial S}{\partial T}\right)_P = \frac{C_P}{T}$$

شیب خط مماس بر منحنی S-T روی خط فشار ثابت برابر است با $\frac{C_P}{T}$.

$$\left(\frac{\partial S}{\partial P}\right)_T = -\left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_P \Rightarrow dS = \frac{C_P}{T} dT - \left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_P dP$$

$$۲) S = S(T, V) \rightarrow dS = \left(\frac{\partial S}{\partial T}\right)_V dT + \left(\frac{\partial S}{\partial V}\right)_T dV, du = TdS - PdV$$

$$\left(\frac{\partial u}{\partial T}\right)_V = T\left(\frac{\partial S}{\partial T}\right)_V + \circ \Rightarrow \left(\frac{\partial S}{\partial T}\right)_V = \frac{C_V}{T}$$

شیب خط مماس بر منحنی S-T روی خط حجم ثابت برابر است با $\frac{C_V}{T}$.

$$\left(\frac{\partial S}{\partial V}\right)_T = \left(\frac{\partial P}{\partial T}\right)_V \Rightarrow \begin{cases} dS = \frac{C_V}{T} dT + \left(\frac{\partial P}{\partial T}\right)_V dV \xrightarrow{\text{ثابت } V} \left(\frac{\partial T}{\partial S}\right)_V = \frac{T}{C_V} \\ C_P - C_V = R \\ C_P = aT + R \end{cases} \Rightarrow C_V = aT \Rightarrow \left(\frac{\partial T}{\partial S}\right)_V = \frac{T}{aT} = \frac{1}{a}$$

$\left(\frac{\partial T}{\partial S}\right)_V$: شیب نمودار T-S در حجم ثابت می باشد.

* در ذهن داشتن روابط ماکسول برای آنتروپی و تعریف درست مفاهیم که براساس آن مشتق گیری صحیح انجام شود نکته اصلی این سؤال می باشد چرا که در صورت عدم به یاد داشتن روابط ماکسول، دانشجو باید قادر باشد در مدت زمان محدود این روابط را اثبات کرده و بدست آورد.

۸- گزینه «۱»

فرآیند حالت یکنواخت - جریان یکنواخت (Uniform State - Uniform Flow) در فرآیندهای USUF می توانیم هم ورود و هم خروج جرم را داشته باشیم و در ضمن درون سیستم هم تغییرات جرم با زمان مشاهده می شود. در این فرآیند حتی می توانیم ورود یا خروج جرم را به تنهایی داشته باشیم. فرض های اصلی در این فرآیند عبارتند از:

۱- حالت جرم در حجم کنترل می تواند در طول زمان تغییر یابد ولی در هر لحظه حالت در تمامی حجم کنترل به صورت یکنواخت می باشد.

۲- حالت جرم عبورکننده از هر ناحیه روی سطح کنترل در طول زمان ثابت است اگرچه ممکن است دبی جرمی نسبت به زمان تغییر کند.

$$I = T_o (\sum m_e S_e - \sum m_i S_i + m_r S_r - m_l S_l) - \dot{Q}_{C.V}$$

در یک فرآیند USUF بازگشت ناپذیری برابر است با:

در این مسأله یک جریان ورودی داریم و خروجی نداریم. در ابتدا نیز مخزن خالی بوده است.

$$m_e = \circ, m_l = \circ, m_r = m_i \Rightarrow I = T_o (S_r - S_i) - Q_{C.V}$$

$$\Rightarrow S_r - S_i = C_P \ln \frac{T_r}{T_i}$$

$$I = C_P T_o \ln \frac{T_r}{T_i} - Q_{C.V} \xrightarrow{I=\circ} Q_{C.V} = 1 \times 3 \times 10^3 \times \ln 2 = 210 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

حرارت انتقال یافته

* دقت دانشجو در محاسبه و مفهوم + یا - بودن حرارت انتقال یافته یا حرارت ورودی به سیستم و رعایت دیمانسیون پارامترها نکته مهم در این تست می باشد.

۹- گزینه «۳»

در سؤال شماره ۵۲ روابط dS را اثبات کردیم:

$$\left\{ \begin{array}{l} dS = \frac{C_P}{T} dT - \left(\frac{\partial V}{\partial T} \right)_P dP \\ dS = \frac{C_V}{T} dT + \left(\frac{\partial P}{\partial T} \right)_V dV \end{array} \right\} \xrightarrow{\text{اگر گاز ایده‌آل باشد}} V = \frac{RT}{P} \Rightarrow \left\{ \begin{array}{l} dS = \frac{C_P}{T} dT - \frac{R}{P} dP \\ dS = \frac{C_V}{T} dT + \frac{R}{V} dV \end{array} \right.$$

نکته: تغییر آنتروپی گاز ایده‌آل در یک فرآیند ایزوثرم به جنس گاز بستگی ندارد، چون:

$$T_1 = T_2 \Rightarrow \ln \frac{T_2}{T_1} = 0$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \Delta S = C_P \ln \frac{T_2}{T_1} - R \ln \frac{P_2}{P_1} \\ \Delta S = C_V \ln \frac{T_2}{T_1} + R \ln \frac{V_2}{V_1} \end{array} \right.$$

در این مسأله:

$$\left\{ \begin{array}{l} \Delta S = C_{P_0} \ln \frac{T_2}{T_1} - R \ln \frac{P_2}{P_1} \\ C_{P_0} - C_{V_0} = R \xrightarrow{C_{V_0} = R} \begin{array}{l} C_{P_0} = 2R \\ P_2 = mP_1 \end{array} \end{array} \right\} \Rightarrow \Delta S = 2R \ln m - R \ln m \Rightarrow \Delta S = R \ln m$$

۱۰- گزینه «۱»

بهترین بیان از قانون دوم ترمودینامیک: اصل افزایش آنتروپی برای سیستم بسته / فرآیندهایی قابل انجام هستند که مجموع تغییرات آنتروپی سیستم و محیط بزرگتر یا مساوی صفر باشد. این اصل را اصل افزایش آنتروپی می‌نامیم یعنی یک فرآیند همواره در جهتی شکل می‌گیرد که مجموع تغییرات آنتروپی سیستم و محیط بزرگتر مساوی صفر باشد.

فرض: $(T_o > T)$

$$\left\{ \begin{array}{l} \Delta S_{\text{sys}} \geq \frac{Q}{T} \\ \Delta S_{\text{surr}} = -\frac{Q}{T_o} \text{ به محیط گرما داده شده} \end{array} \right\} \Rightarrow \Delta S_{\text{sys}} + \Delta S_{\text{surr}} \geq Q \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_o} \right) \Rightarrow \Delta S_{\text{sys}} + \Delta S_{\text{surr}} \geq 0$$

مساوی ← برگشت‌پذیر

بزرگ‌تر ← برگشت‌ناپذیر

در این مسأله:

$$\Delta S_{\text{کل}} = \Delta S_{\text{برگشت}} + \Delta S_{\text{رفت}} = 0$$

$$\Delta S_{\text{رفت}} = -\Delta S_{\text{برگشت}} \Rightarrow \Delta S_{\text{برگشت}} = -\int_1^2 \frac{dQ}{T} = \frac{-1000}{400} = -2.5 \frac{\text{kJ}}{\text{K}}$$

$$(T = 127 + 273 = 400^\circ \text{K})$$

و چون مسیر برگشت، بازگشتناپذیر است، پس: $\Delta S > \int_2^1 \frac{dQ}{T}$. به عبارت روشن‌تر تغییر آنتروپی از حالت ۲ به حالت ۱، بزرگتر از میزان انتگرال

از نقطه ۲ به ۱ است، چرا که فرآیند ۲ به ۱ بازگشتناپذیر است. از آنجایی که سیال یک چرخه را طی می‌کند (از ۱ به ۲ و از ۲ به ۱) و تغییر آنتروپی در یک چرخه صفر است (چرا که آنتروپی تابع حالت است و حالات ابتدایی و نهایی در چرخه یکسان است)؛ پس باید تغییر آنتروپی در مسیر برگشت از لحاظ اندازه برابر تغییر آنتروپی مسیر رفت باشد ولی از لحاظ جهت مخالف آن باشد.

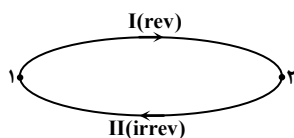
* مفهوم ΔS_{sys} و ΔS_{surr} و کران‌های بالا و پایین انتگرال که تغییر در آنها منجر به تغییر در علامت مقدار بدست آمده می‌شود، هدف اصلی این تست است.

۱۱- گزینه «۴»

گزینه ۱ و ۳ اصلاً نمی‌توانند درست باشند چون تغییر آنتروپی یک فرآیند برگشتناپذیر در مقایسه با فرآیند برگشت‌پذیر بیشتر است، پس احتمالاً گزینه ۲ درست خواهد بود اما باید دقت کرد که گزینه ۲ هم غلط است. چون در این مسأله حالت اولیه و ثانویه عین هم می‌باشد. (برعکس مسأله سیلندر و پیستون که حالت اولیه یکسان است ولی حالت ثانویه یکسان نیست و در آن مسأله گزینه ۲ درست است).

نکته مهم در مفهوم ΔS :

این جمله که می‌گویند ΔS مسیر بازگشتناپذیر از ΔS مسیر بازگشت‌پذیر بیشتر است فقط در صورتی درست است که نقطه شروع و پایان دو فرآیند یکسان نباشد که در این صورت فرآیند بازگشتناپذیر آنتروپی را افزایش می‌دهد.



شرایط ثانویه یکسان نباشد $\Delta S_I < \Delta S_{II}$ گزینه ۲.

شرایط ثانویه یکسان باشد $\Delta S_I = \Delta S_{II}$ گزینه ۴.

۱۲- گزینه «۲»

منحنی T-S در سیکل تبریدی کارنو:

۱- سیکل‌های توانی ← گرمایش تولید می‌کنند ← در جهت عقربه‌های ساعت

۲- سیکل‌های تبریدی ← سرمایش تولید می‌کنند ← در خلاف جهت عقربه‌های ساعت

نکته مهم در محاسبات:

$$Q_L = W_C - Q_H = \text{اختلاف دو مساحت‌ها} \left\{ \begin{array}{l} W_C = \text{مساحت سیکل بسته} = \text{کار کمپرسور} \\ Q_H = \text{بزرگ‌ترین مساحت زیر نمودار} \end{array} \right.$$

$$\beta = \frac{Q_L}{W_C} = \frac{Q_L}{Q_H - Q_L} = \frac{T_L}{T_H - T_L} \rightarrow \text{برای سیکل کارنو}$$

$$\left. \begin{array}{l} \text{ارتفاع} \times \text{عرض} = \Delta S \times (400 - 300) = 100 \Delta S \\ \text{مساحت مثلث متساوی‌الاضلاع} = W_C = \frac{1}{2} \times \text{ارتفاع} \times \text{عرض} = \frac{1}{2} \times 100 \Delta S = 50 \Delta S \\ Q_H = \text{مساحت مستطیل} = \text{بزرگ‌ترین مساحت زیر نمودار} = 400 \times \Delta S \end{array} \right\} \Rightarrow Q_L = Q_H - W_C = 400 \Delta S - 50 \Delta S$$

$$\Rightarrow Q_L = -350 \Delta S$$

$$\beta = \frac{-350 \Delta S}{50 \Delta S} = -7 \Rightarrow |\beta| = |-7| = 7$$

توجه: این نوع سؤالات بیشتر در مهندسی مکانیک مطرح می‌شود البته تعریف دقیق Q_H , W_C و Q_L در علامت و مقدار درست جواب بدست آمده بی‌تأثیر نیست.

۱۳- گزینه «۴»

چرا کمپرسورها را چند مرحله‌ای می‌سازیم؟

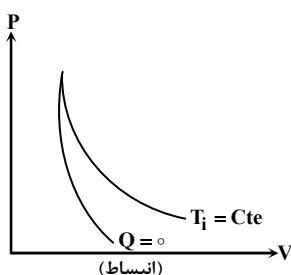
۱- با چند مرحله‌ای ساختن کمپرسورها می‌خواهیم فرآیند تراکم را به فرآیند ایزوثرم نزدیک کنیم چون فرآیندهای تراکم ایزوثرم کار مصرفی کمتری در مقایسه با آدیاباتیک مصرف و کار تولیدی بیشتری، تولید می‌کنند.

۲- افزایش راندمان کمپرسور به دلیل کم شدن کار مصرفی

۳- کاهش هزینه خرید دستگاه

۴- کاهش حجم دستگاه مورد نیاز

۵- کاهش دمای خروجی



نکته

برای توربین‌ها نیز قوانین فوق برقرار است فقط در توربین، گازها منبسط می‌شوند و همچنین بین مراحل از گرم‌کن استفاده می‌کنیم. زیرا در اثر انبساط دما کاهش یافته و لذا در هر مرحله باید گاز را تا دمای ورودی (T_i) آن گرم کنیم. در حالی که در اثر تراکم در کمپرسورها دما افزایش یافته و لذا در هر مرحله باید گاز را تا دمای ورودی آن (T_i) سرد کنیم.

* تفاوت بین فرآیندهای متداول گازی که در توربین و کمپرسور و نحوه عملیات فرآیندی آنها تأثیرگذار است باید در پاسخ این سؤال در نظر گرفته شود.

۱۴- گزینه «۳»

محاسبه تغییر آنتروپی مایعات و جامدات

۱- برای مایعات و جامدات تغییرات حجم در مقابل دما بسیار ناچیز است.

۲- برای مایعات و جامدات، C_p و C_v تقریباً با هم برابر هستند.

نتیجه دو عامل بالا برابر است با: ظرفیت گرمایی $C_p = C_v = C$

$$\left. \begin{aligned} ds &= C_p \frac{dT}{T} - \left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_p dp \\ ۱) \Rightarrow \left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_p &= 0 \\ ۲) \Rightarrow C_p &\approx C_v = C \end{aligned} \right\} \Rightarrow dS = C \frac{dT}{T} \Rightarrow \Delta S = CLn \frac{T_2}{T_1} \left(\frac{kJ}{kg \cdot K} \right)$$

(تغییرات آنتروپی به ازای واحد جرم)

$$\Delta S = mCLn \frac{T_2}{T_1} \left(\frac{kJ}{K} \right) \Rightarrow \Delta S = mCLn \frac{T_2}{T_1} \left(\frac{kJ}{K} \right)$$

در این مسأله:

چون محیط خیلی از سیستم بزرگتر است در نتیجه هر چقدر سیستم به محیط گرما دهد، دما به محیط برمیگردد ولی دمای محیط تغییر نخواهد کرد. (کره داغ در دریا دمای آب را تغییر نمی‌دهد).

$$m = 5 \text{ kg} \quad T_1 = 327^\circ \text{C} \quad T_2 = 27^\circ \text{C} \quad C = 5 \frac{kJ}{kg \cdot K}$$

نکته: دما باید مطلق باشد (بر حسب K).

$$\Delta S_{sys} = mCLn \frac{T_2}{T_1} = 5 \text{ kg} \times 5 \frac{kJ}{kg \cdot K} Ln \frac{27 + 273}{327 + 273}$$

$$\Delta S_{sys} = 25 \text{ kJ} Ln \frac{300}{600} = 25 \text{ kJ} (-0.693) \Rightarrow \Delta S_{sys} = -17.3 \text{ kJ/K}$$

میزان حرارتی که جسم فلزی از دست می‌دهد توسط محیط جذب می‌شود.

$$Q = mC\Delta T = 5 \text{ kg} \times 5 \frac{kJ}{kg \cdot K} (27 - 327) = 25 \text{ kJ} (-300)$$

این Q به محیط داده می‌شود لذا علامت (-) دارد به طوری که محیط این گرما را از سیستم می‌گیرد لذا در محیط Q مثبت خواهد بود.

$$\Delta S_{محیط} = \frac{Q}{T_o} = \frac{+25 \text{ kJ}}{300 \text{ K}} = +0.083 \text{ kJ/K}$$

مجموع تغییرات آنتروپی سیستم و محیط را تغییر خالص آنتروپی یا تولید آنتروپی می‌نامیم:

$$\Delta S_{net} = S_G (\text{Entropy Generation}) = \Delta S_{sys} + \Delta S_{surr} = 25 - 17.3 = +7.7 \text{ kJ/K}$$

$$S_G > 0 \text{ فرآیند برگشتناپذیر}$$

$$S_G = 0 \text{ فرآیند برگشت پذیر}$$

۱۵- گزینه «۴»

محاسبه کار در فرآیندهای پلی تروپیک

$$PV^n = Cte = C$$

$$W = \int_1^2 PdV = \int_1^2 CV^{-n}dV = C \left[\frac{V^{-n+1}}{-n+1} \right]_1^2 = C \left(\frac{V_2^{1-n} - V_1^{1-n}}{1-n} \right) = \frac{P_2 V_2 - P_1 V_1}{1-n} = \frac{P_1 V_1 - P_2 V_2}{n-1}$$

$$\Rightarrow W = \frac{P_1 V_1 - P_2 V_2}{n-1} = \frac{R(T_1 - T_2)}{n-1} \text{ فرآیندهای برگشت پذیر که توأم با انتقال حرارت هستند.}$$

روابط مهم

$$\frac{P_1}{P_2} = \left(\frac{V_2}{V_1} \right)^n \quad \frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{n-1}{n}} \quad \frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{V_1}{V_2} \right)^{n-1}$$

در این مسأله:

$$\frac{P_2}{P_1} = \left(\frac{V_1}{V_2} \right)^n \Rightarrow P_2 = 200 \left(\frac{0.04}{0.1} \right)^{1/3} = 108.6 \text{ kPa} \Rightarrow W = \frac{P_2 V_2 - P_1 V_1}{1-n} = \frac{108.6/6 \times 0.1 - 200 \times 0.04}{1 - \frac{1}{3}} \Rightarrow W = 4.29 \text{ kJ}$$

* روابط P و V و T در فرآیندهای پلی تروپیک بسیار مهم است.

۱۶- گزینه «۴»

$$dA = -PdV - SdT \Rightarrow \left(\frac{\partial A}{\partial T} \right)_P = -P \left(\frac{\partial V}{\partial T} \right)_P - S$$

طبق روابط ماکسول:

$$\left(\frac{\partial V}{\partial T} \right)_P = - \left(\frac{\partial S}{\partial P} \right)_T \Rightarrow \left(\frac{\partial A}{\partial T} \right)_P = P \frac{\partial S}{\partial P} - S$$

$$\Rightarrow \left(\frac{\partial A}{\partial T} \right)_P = P(\alpha P + T) - (P\alpha + PT) = P\alpha$$

۱۷- گزینه «۴»

کار در فرایند برگشت پذیر مطابق روبرو خواهد بود:

$$\left. \begin{aligned} W &= \int PdV \\ \frac{PV}{RT} &= 1 + B'P \Rightarrow P \left[\frac{V}{RT} - B' \right] = 1 \end{aligned} \right\} \Rightarrow w = \int \frac{dV}{\frac{V}{RT} - B'}$$

$$W = RT \int \frac{dv}{V - B'RT} \Rightarrow W = RT \ln \frac{V_2 - B'RT}{V_1 - B'RT} \quad (1)$$

$$\frac{PV}{RT} = 1 + B'P \Rightarrow P\left(\frac{V}{RT} - B'\right) = 1 \Rightarrow P = \frac{RT}{V - B'RT} \Rightarrow \begin{cases} P_1 = \frac{RT}{V_1 - B'RT} \\ P_2 = \frac{RT}{V_2 - B'RT} \end{cases} \Rightarrow \frac{P_1}{P_2} = \frac{V_2 - B'RT}{V_1 - B'RT} \quad (2)$$

با توجه به (۱) و (۲) داریم:

$$w = RT \ln \frac{P_1}{P_2}$$

۱۸- گزینه «۴»

$$\begin{cases} \dot{m}_1 + \dot{m}_2 = \dot{m}_3 \\ \dot{m}_1 h_1 + \dot{m}_2 h_2 = \dot{m}_3 h_3 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} \dot{m}_1 + 4 = \dot{m}_3 \\ (\dot{m}_1 \times 2600) + (4 \times 2900) = (\dot{m}_3 \times 2800) \end{cases}$$

$$\Rightarrow 2600\dot{m}_1 + 11600 = 2800(4 + \dot{m}_1) \Rightarrow -2600\dot{m}_1 + 2800\dot{m}_1 = 11600 - 11200 \Rightarrow 200\dot{m}_1 = 400 \Rightarrow \dot{m}_1 = 2 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

$$\dot{m}_1 + 4 = \dot{m}_3 \Rightarrow 2 + 4 \Rightarrow \dot{m}_3 = 6 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

نکته تستی: باید رابطه $\dot{m}_1 + \dot{m}_2 = \dot{m}_3$ در همه گزینه‌ها برقرار باشد که گزینه‌های ۲ و ۳ و ۴ دارای این شرایط هستند و لذا باید حل کامل با دقت انجام شود.

۱۹- گزینه «۲»

چرخه کارنو (Carnot Cycle)

چون چرخه موتور گرمایی کارنو برگشت‌پذیر است، هر فرآیند می‌تواند برگشت‌پذیر باشد که در این حالت موتور می‌تواند یخچال شود. نکته مهم آن است که چرخه کارنو بدون توجه به نوع سیال عامل همواره چهار فرآیند یکسان دارد که این فرآیندها عبارتند از:

- ۱- فرآیند همدمای برگشت‌پذیر که در آن گرما به منبع دما بالا انتقال یافته و یا از آن گرفته می‌شود.
- ۲- فرآیند آدیاباتیک برگشت‌پذیر که در آن دمای سیال عامل از دمای بالا به دمای پایین کاهش می‌یابد.
- ۳- فرآیند آدیاباتیک برگشت‌پذیری که در آن دمای سیال عامل از دمای پایین به دمای بالا افزایش می‌یابد.
- ۴- فرآیند همدمای برگشت‌پذیر که در آن گرما از منبع دما پایین گرفته شده یا به آن انتقال می‌یابد.

$$\text{در سیکل کارنو: } \frac{Q_H}{Q_L} = \frac{T_H}{T_L}$$

$\eta = \eta_c \leftarrow$ سیکل برگشت‌پذیر، ایده‌آل و یا کارنو است.

$\eta > \eta_c \leftarrow$ سیکل غیرممکن است.

$\eta < \eta_c \leftarrow$ سیکل امکان‌پذیر، بازگشت‌ناپذیر و یا واقعی است.

$$\eta = \frac{w}{Q_H} = \frac{Q_H - Q_L}{Q_H} = 1 - \frac{Q_L}{Q_H} \Rightarrow \eta_c = 1 - \frac{T_L}{T_H}$$

$$\beta = \frac{Q_L}{W} = \frac{Q_L}{Q_H - Q_L} = \frac{1}{\frac{Q_H}{Q_L} - 1} \Rightarrow \beta_c = \frac{1}{\frac{T_H}{T_L} - 1}$$

نکات

- ۱- تحلیل β شبیه η است.
 - ۲- غیرممکن است موتور گرمایی بسازیم که بین دو منبع معلوم عمل کند و کارآمدتر از موتور برگشت‌پذیری باشد که بین همان دو منبع عمل کند.
 - ۳- تمام موتورهایی که براساس چرخه کارنو بین دو منبع دما ثابت معلوم عمل می‌کنند، بازده یکسانی دارند.
 - ۴- کارایی سیکل کارنو مستقل از نوع سیال عامل می‌باشد.
- * مفهوم و تشخیص سیکل کارنو در کنکور اهمیت زیادی دارد.

۲۰- گزینه «۱»

محاسبه تعریف آنتالپی dh

$$h = h(T, P) \Rightarrow dh = \left(\frac{\partial h}{\partial T}\right)_P dT + \left(\frac{\partial h}{\partial P}\right)_T dP$$

C_p و C_v یک ماده تابع مسیر نیست چون آنتالپی و انرژی داخلی تابع مسیر نیستند بلکه تابع حالت طبق تعریف یا نقطه‌ای هستند.

$$\text{طبق تعریف: } C_p = \left(\frac{\partial h}{\partial T}\right)_P$$

$$dh = TdS + VdP \xrightarrow{\div \partial P} \left(\frac{\partial h}{\partial P}\right)_T = T\left(\frac{\partial S}{\partial P}\right)_T + V$$

در آزمایشگاه تغییر آنتروپی را نمی‌توان اندازه گرفت پس باید تغییر حجم را با دما اندازه بگیریم یعنی آنتروپی که یک کمیت غیر قابل اندازه‌گیری است با سه کمیت T و P و V قابل اندازه‌گیری محاسبه شود به این ترتیب ۲ رابطه مهم داریم:

$$\begin{cases} \left(\frac{\partial S}{\partial P}\right)_T = -\left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_P \\ \left(\frac{\partial S}{\partial V}\right)_T = -\left(\frac{\partial P}{\partial T}\right)_V \end{cases} \Rightarrow \left(\frac{\partial h}{\partial P}\right)_T = V - T\left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_P \Rightarrow dh = C_p dT + \left[V - T\left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_P \right] dP$$

$$۱- \text{در فرآیندهای فشار ثابت } P = Cte \Rightarrow dP = 0 \Rightarrow dh = C_p dT$$

$$۲- \text{در گاز ایده‌آل } V = \frac{RT}{P} \Rightarrow dh = C_p dT + \left[V - T \times \frac{R}{P} \right] dP \Rightarrow dh = C_p dT$$