

## I zakon termodinamike

$$dU = dq + dw + dw_e \quad dH = dU + pdV$$

$$C_V = \left( \frac{\partial U}{\partial T} \right)_V$$

$$C_{P,m} - C_{V,m} = R$$
$$C_P - C_V = nR$$

$$C_P = \left( \frac{\partial H}{\partial T} \right)_P$$

$$dU = C_V dT + \left( \frac{\partial U}{\partial V} \right)_T dV = C_V dT + P_u dV \quad dH = C_P dT + \left( \frac{\partial H}{\partial P} \right)_T dP$$

## Izotermski procesi:

$$w = -nRT \ln \frac{V_2}{V_1} = -RT \ln \frac{P_1}{P_2}$$

Izotermski reverzibilni zapreminski rad gasa u I.G.S.

$$w = -p\Delta V$$

Izotermski reverzibilni zapreminski rad isparavanja,  $p$ -napon pare

## Adijabatski procesi:

$$w_{ad} = C_V (T_2 - T_1) = C_V T_1 \left( \frac{T_2}{T_1} - 1 \right) = C_V T_1 \left[ \left( \frac{V_1}{V_2} \right)^{\frac{nR}{C_V}} - 1 \right]$$

Adijabatski zapreminski rad

$$\frac{T_1}{T_2} = \left( \frac{V_2}{V_1} \right)^{R/C_V} \quad \left( \frac{T_2}{T_1} \right)^{\frac{C_V}{R}} = \frac{V_1}{V_2} \quad \left( \frac{T_2}{T_1} \right)^{\frac{C_P}{R}} = \frac{P_2}{P_1}$$

$$PV^{C_P/C_V} = PV^\gamma = \text{const.} \quad \frac{P_1}{P_2} = \left( \frac{V_2}{V_1} \right)^\gamma$$

Jednačina adijabate

$$\Delta H = \Delta U + P\Delta V = \Delta U + \Delta n_{gas} RT$$

$$\eta = \frac{-w}{q_2} = \frac{T_2 - T_1}{T_2} \quad \text{Efikasnost toplotne mašine}$$

$$dS \geq \frac{dq}{T} \quad dS \geq 0 \quad \text{II zakon termodinamike-  
Reverzibilni i ireverzibilni}$$

$$\Delta S_{sis} = \frac{q_{rev}}{T} = \sum_i \nu_i S_i \quad \Delta S_{ok} = -\frac{\Delta H}{T} \quad \Delta S_{tot} = \Delta S_{sis} + \Delta S_{ok} \quad \text{Ireverzibilni}$$

$$\Delta S_{tr} = \frac{\Delta H_{tr}}{T_{tr}} \quad \text{Fazni prelazi}$$

$$\Delta S = S_2 - S_1 = C_V \ln \frac{T_2}{T_1} + R \ln \frac{V_2}{V_1}$$

$$\Delta S = S_2 - S_1 = C_p \ln \frac{T_2}{T_1} - R \ln \frac{P_2}{P_1}$$

$$\left(\frac{\partial S}{\partial T}\right)_V = \frac{C_V}{T} \quad \text{odnosno} \quad C_V = T \left(\frac{\partial S}{\partial T}\right)_V$$

$$\Delta S = (S_2 - S_1)_V = \int_{T_1}^{T_2} C_V \frac{dT}{T} = \int_{T_1}^{T_2} C_V d \ln T$$

$$\left(\frac{\partial S}{\partial T}\right)_P = \frac{C_P}{T} \quad \text{odnosno} \quad C_P = T \left(\frac{\partial S}{\partial T}\right)_P$$

$$\Delta S = (S_2 - S_1)_P = \int_{T_1}^{T_2} C_P \frac{dT}{T} = \int_{T_1}^{T_2} C_P d \ln T$$

$$\left(\frac{\partial S}{\partial V}\right)_T = \left(\frac{\partial P}{\partial T}\right)_V \quad \left(\frac{\partial S}{\partial P}\right)_T = -\left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_P \quad \text{Maksvelove relacije}$$

$$\Delta S = S_2 - S_1 = \int \left(\frac{\partial P}{\partial T}\right)_V dV \quad \Delta S = S_2 - S_1 = -\int \left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_P dP$$

$$\Delta S_{meš} = S_2 - S_1 = -R \sum_{i=1}^n n_i \ln x_i$$

Entropija mešanja

$$P = T \left( \frac{\partial P}{\partial T} \right)_V - \left( \frac{\partial U}{\partial V} \right)_T$$

Termodinamičke jednačine stanja

$$V = T \left( \frac{\partial V}{\partial T} \right)_P + \left( \frac{\partial H}{\partial P} \right)_T$$

$$S = k \ln W$$

*k*-Bolcmanova konstanta,  
 $k=R/N_A=1,38 \cdot 10^{-23} \text{ J/K}$

# Helmholcova i Gipsova slobodna energija

$$dA = -PdV - SdT$$

$$\left(\frac{\partial P}{\partial T}\right)_V = \left(\frac{\partial S}{\partial V}\right)_T$$

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

$$G_{mm} = G_m^0 + RT \ln \frac{P}{P^0}$$

$$\Delta G = \Delta H + T \left(\frac{\partial \Delta G}{\partial T}\right)_p$$

$$\left(\frac{\partial(\Delta G/T)}{\partial T}\right)_p = -\frac{\Delta H}{T^2}$$

# PITANJA

1. U termodinamici, veličina čija vrednost zavisi samo od početnog i krajnjeg stanja sistema naziva se:

1. termodinamička količina
2. funkcija puta
3. funkcija stanja
4. adijabatska veličina
5. ekstenzivna veličina

2. Koji od sledećih setova sadrži samo ekstenzivne veličine:

1. mol, zapremina, pritisak
2. H, U, V
3. T, P, V
4. gustina, toplotni kapacitet, tačka ključanja
5. površinski napon, masa, specifična zapremina



3. Izraz za zapreminski rad je:

1.  $-P_{sp}dV$

2.  $P_{sp}dV$

3.  $PV$

4.  $-PV$

5.  $P(RT)$

4. Sistem X prolazi kroz sledeće promene:

$$X(P_1, V_1, T_1) \rightarrow W(P_2, V_2, T_1) \rightarrow Z(P_2, V_2, T_2) \rightarrow X(P_1, V_1, T_1)$$

Čitav proces se naziva:

1. Reverzibilni proces
2. Ciklični proces ili ciklus
3. Ciklični i reverzibilni proces
4. Izohorski proces
5. Adijabatski proces

5. Koja od sledećih je ekstenzivna veličina:

1. Temperatura
2. Energija
3. Pritisak
4. Odnos mase i zapremine
5. Gustina

6. Jedna litar-atmosfera (Latm) je približno jednaka:

1. 19,2 J

2. 101 J

3. 981 J

4. 8,314 J

7. Promena unutrašnje energije pri nekom procesu ne zavisi od:

1. količine supstance u sistemu
2. temperature
3. puta kojim se proces dešava
4. prirode supstance u sistemu

8. Unutrašnja energija određene količine gasa u idealnom gasnom stanju zavisi od:

1. temperature
2. pritiska
3. zapremine
4. svih ovih faktora

9. Matematički izraz za entalpiju sistema je:

1.  $U+PV$

2.  $U-PV$

3.  $P+\Delta U$

4.  $VdP$

10. Apsolutna vrednost  $U$  ne može da se odredi zbog:

1. ne posedovanja odgovarajuće aparature
2. molekuli su suviše mali da bi mogli da se izoluju
3. mnogi doprinosi energiji su neodređeni
4. kompleksne molekulske strukture



11.  $\Delta U$  je mera toplote razmenjene pri konstantnom:

1.  $V$
2.  $T, P$
3.  $T, V$
4.  $T, P, V$

12. Unutrašnja energija ne uključuje:

1. vibracionu energiju
2. nuklearnu energiju konstituenata atoma
3. energiju zbog gravitacionog dejstva
4. potencijalnu energiju
5. kinetičku energiju

13. Unutrašnja energija jednog mola gasa u idealnom gsnom stanju iznosi:

1.  $\frac{3}{2}(RT)$

2.  $kT/2$

3.  $RT/2$

4.  $3kT/2$

14. Korektan matematički izraz za I zakon termodinamike je:

1.  $\Delta H = \Delta U + P\Delta V$

2.  $q + w = \Delta U$

3.  $\Delta U = q - w$

4.  $q \pm w = \Delta U$

15. Koji od sledećih izraza daje toplotni kapacitet jednog mola gasa pri konstantnom pritisku.

1.  $dU/dT$

2.  $dH/dT$

3.  $dH/dP$

4.  $dH/dt$

5.  $dH_m/dT$

6.  $dU_m/dT$

16. Ako je sistem A u termalnoj ravnoteži sa B i B je u termalnoj ravnoteži sa C tada su:

1. temperature A i C jednake
2. toplotni sadržaji A i C jednaki
3. A i C u hemijskoj ravnoteži
4. ukupna energija A i C jednake

17. Šta je tačno za veličinu  $\left(\frac{\partial U}{\partial T}\right)_v$  :

1. to je funkcija stanja
2. predstavlja koeficijent ekspanzije
3. predstavlja toplotni kapacitet pri konstantnoj zapremini
4. predstavlja entalpiju

18. Razlika između molarnog toplotnog kapaciteta pri konstantnom pritisku i pri konstantnoj zapremini je jednaka:

1. Džul-Tomsonovom koeficijentu
2. molarnoj gasnoj konstanti
3. Avogadrovoj konstanti
4. Bolcmanovoj konstanti
5. molarnoj zapremini



19. Koja od sledećih tvrdnji ne predstavlja I zakon termodinamike:

1. energija univerzuma je konzervirana
2. nije moguće konstruisati perpetuum mobile I vrste
3. Energija sistema i okoline tokom hemijske ili fizičke promene ostaje konstantna
4. nemoguće je potpuno pretvoriti toplotu u rad

### ZADATAK 1.

Izračunati rad potreban da ptica mase 120g uzleti do visine od 50m od:

- a) Površine Zemlje
- b) Površine Meseca ( $g=1,6\text{ms}^{-2}$ ).

Rešenje:

a)  $w = -mgh = -0,12\text{kg} \cdot 9,81\text{m} / \text{s}^2 \cdot 50\text{m} = -58,86\text{J}$

b)  $w = -mgh = -0,12\text{kg} \cdot 1,6\text{m} / \text{s}^2 \cdot 50\text{m} = -9,6\text{J}$

## ZADATAK 2.

Hemijska reakcija se dešava u cilindru preseka  $100\text{cm}^2$ . Kao rezultat, klip se pomerio za  $20\text{cm}$  nasuprot pritiska od  $1\text{ atm}$ . Koliki je rad (u J)?

Rešenje:

$$w = -P\Delta V = -101325\text{Pa} \cdot 2000 \cdot 10^{-6}\text{m}^3 = -202,65\text{J}$$

### Zadatak 3.

U ciklusu 1 mol gasa u idealnom gasnom stanju vrši rad od 4186J.  
Koliko je q?

Rešenje:

$$w = -4186\text{J} \quad \Delta U = 0 \quad q = 4186\text{J}$$

Zadatak 4.

Rad (u J) koji izvrši gas u IGS pri širenju nasuprot pritisku od 1 atm i od 10 do 30 L je:

- a) 22000      b) -101325      c) -2026,5  
d) -20      e) 2028,8      f) 405,6

Rešenje:

$$w = -101325 \text{ Pa} (30 - 10) \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 = -2026,5 \text{ J}$$

### ZADATAK 5.

Jedan mol gasa prelazi iz stanja sa pritiskom  $P_0$  i zapreminom  $V_0$  u stanje sa duplo većom zapreminom i pritiskom. Na p-V dijagramu taj proces je predstavljen pravom linijom. Koliki rad izvrši gas u tom procesu?

a)  $P_0 V_0$

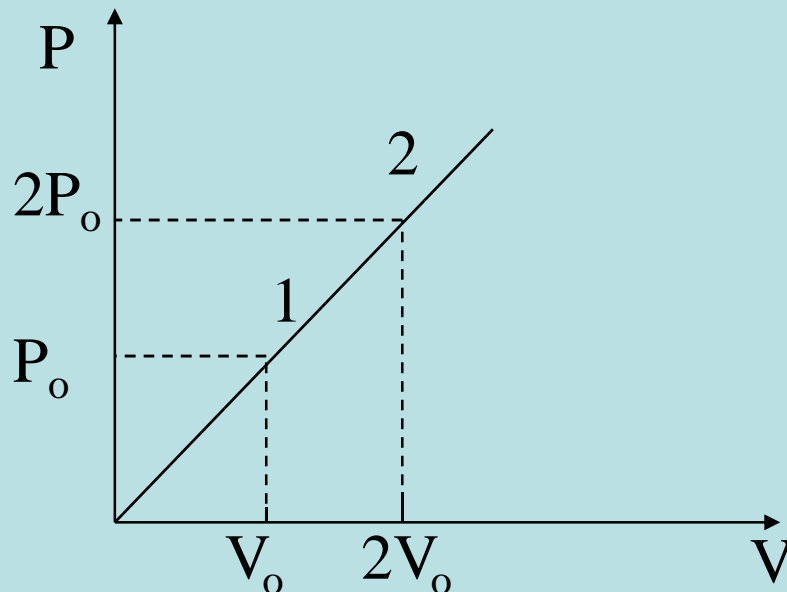
b)  $-P_0 V_0 / 2$

c)  $-3 P_0 V_0 / 2$

d)  $2 P_0 V_0$

e)  $-3 P_0 V_0$

f) ne znam



**Rešenje:**

$$w = \frac{(P_0 + 2P_0)}{2} V_0 = \frac{3}{2} P_0 V_0$$

## ZADATAK 6.

U termodinamičkom procesu promena unutrašnje energije sistema je  $\Delta U = -300 \text{ J}$ , sistem prima toplotu od  $100 \text{ J}$  i širi se nasuprot pritiska od  $1 \text{ bar}$ . Kolika je promena zapremine (L)?

a) 2

b) 3

c) 4

d) 5

e) 1

f) ne znam

## Rešenje:

$$\Delta U = q + w \quad w = -300 \text{ J} - 100 \text{ J} = -400 \text{ J}$$

$$w = -P\Delta V = -1 \cdot 10^5 \frac{\text{J}}{\text{m}^3} \Delta V = -400 \text{ J}$$

$$\Delta V = \frac{-400}{-100000} \text{ m}^3 = 4 \cdot 10^{-3} \cdot 10^3 \text{ dm}^3 = 4 \text{ L}$$

# Zadatak 7.

- Električni grejač snage 15W greje masu od 12g vode tokom jednog minuta. Ako je početna temperatura vode 35°C, kolika će biti krajnja temperatura vode (K)? Specifični toplotni kapacitet vode je 1 cal/step.g
- Rešenje:

Snaga grejača je:  $P = \Delta U / t$ . Energija koju grejač oslobađa je:  $\Delta U = P \cdot t = 15 \text{ J/s} \cdot 60 \text{ s} = 900 \text{ J}$

$$\Delta U_s = \frac{\Delta U}{m} = \frac{900 \text{ J}}{12 \text{ g}} = 75 \text{ J/g} \quad C_{vs} = 4,186 \text{ J/}^\circ \text{ Cg} \quad C_{vs} = \frac{\Delta U_s}{\Delta \theta}$$

$$\Delta \theta = \frac{\Delta U_s}{C_{vs}} = \frac{75 \text{ J/g}}{4,186 \text{ J/}^\circ \text{ Cg}} = 17,92 \text{ K} = 17,92^\circ \text{ C} \quad \theta_k = \theta_p + \Delta \theta = 35 + 17,92 = 52,92^\circ \text{ C}$$
$$T_k = 308,15 \text{ K} + 17,92 = 326,07 \text{ K}$$



# Zadatak 8.

- 1 mol vode isparava. Kolika je promena entalpije ako je pritisak 1 bar? Promena unutrašnje energije pri isparavanju je 40,7kJ/mol.

$$\Delta H = \Delta U + P\Delta V \quad \Delta V = V_p - V_t \quad V_p \gg V_t$$

$$V_p = \frac{RT}{P} = \frac{8,314 \text{ J / Kmol} \cdot 373 \text{ K}}{10^5 \text{ Pa}} = 0,031 \text{ m}^3 / \text{mol}$$

$$\Delta H_{isp} = 40700 \text{ J / mol} + 1 \cdot 10^5 \text{ Pa} \cdot 0,031 \text{ m}^3 / \text{mol} = 43,8 \text{ kJ / mol}$$

## ZADATAK 9.

Izračunati rad širenja pri elektrolizi 50 g vode pri konstantnom pritisku i temperaturi od 25°C.

**Rešenje:**



$$w = -P_{sp} \Delta V = -P_{sp} (V_k - V_p) \approx -P_{sp} V_k = -P_{sp} \frac{nRT}{P_{sp}} = -nRT$$

$$w = -1,5 \text{ mol} / \text{mol} \cdot \frac{50 \text{ g}}{18 \text{ g} / \text{mol}} \cdot 8,3145 \text{ J} / \text{Kmol} \cdot 298,15 \text{ K} =$$
$$= -10329 \text{ J} = -10 \text{ kJ}$$

# Zadatak 10. Domaći

- Koliko energije treba dovesti masi od 1,35kg vode da bi se zagrijala od 20°C do temperature ključanja. Pretpostaviti da je  $C_{vs}=4,186\text{J/gK}$ ?

## Zadatak 11.

Jedan mol gasa u IGS u početku na pritisku od 1 atm i 300K se reverzibilno zagreva do 400 K pri konstantnoj zapremini. Izračunati krajnji pritisak i promenu unutrašnje energije, toplotu i rad.

Rešenje:

$$P_2 = P_1 \cdot \frac{T_2}{T_1} = 101325 Pa \cdot \frac{400 K}{300 K} = 135100 Pa$$

$$w = 0 \quad q_V = n \int_{T_1}^{T_2} C_{vm} dT = 1 mol \cdot 1,5 \cdot 8,314 J / K mol \cdot 100 K = 1247,1 J$$

$$\Delta U = q_V = 1247,1 J$$

# Zadatak 12.

- Izračunati napon pare vode na 35°C ako se vodena para širi reverzibilno i izotermiski od zapremine 5 cm<sup>3</sup> do zapremine 100 cm<sup>3</sup> ako se pri tome vrši rad od 534 mJ.

Rešenje:

$$w = -p(V_2 - V_1) \quad w = -0,534 \text{ J} \quad p = 0,534 \text{ Nm} / 95 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3 = 5621 \text{ Pa}$$

## Pitanja

20. Za reakciju:  $\text{N}_2\text{O}_4(\text{g}) \rightarrow 2\text{NO}_2(\text{g})$

1.  $\Delta H = \Delta U$
2.  $\Delta H - \Delta U = -RT$
3.  $\Delta H - \Delta U = 2RT$
4.  $\Delta H - \Delta U = -2RT$
5.  $\Delta H - \Delta U = 0$
6.  $\Delta H - \Delta U = RT$

21. Za hemijsku reakciju, razlika  $\Delta H$  i  $\Delta U$  je:

1.  $nRT$

2.  $\Delta(PV)$

3.  $\Delta n_g RT$

4.  $RT$

22.  $\Delta H$  i  $\Delta U$  su jednaki za reakciju kada je

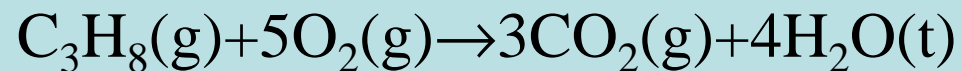
1. ukupan broj molekula reaktanata jednak ukupnom broju molekula produkata
2. Broj gasnih molekula produkata veći od broja gasnih molekula reaktanata
3. Broj gasnih molekula produkata manji od broja gasnih molekula reaktanata
- ④ 4. Broj gasnih molekula produkata jednak broju gasnih molekula reaktanata



### ZADATAK 13.

Izračunati  $\Delta U$  za reakciju sagorevanja 1,0 mola propana na  $25^\circ\text{C}$ , ako je  $\Delta H = -2219 \text{ kJ}$ .

**Rešenje:**



$$\Delta n_{\text{g}} = 3 - 5 = -3 \text{ mol}$$

$$\Delta U = \Delta H - \Delta n_{\text{g}} RT = -2219000 \text{ J} + 3 \cdot 8,3145 \cdot 298 = -2211,6 \text{ kJ}$$

## Zadatak 14.

Kada se 3 mola kiseonika zagreje pri konstantnom pritisku od 3,25atm, njihova temperatura poraste od 260 K do 285 K. Ako je  $C_{P,m} = 20,4 \text{ J/Kmol}$ , izračunati  $\Delta H$ ,  $q$  i  $\Delta U$ .

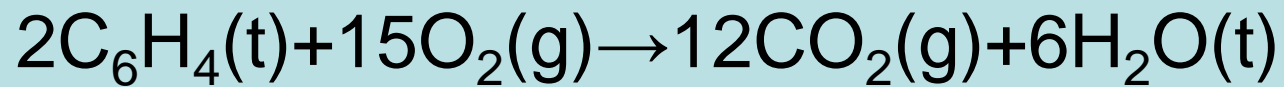
Rešenje:

$$\Delta H = q_P = nC_{pm} \cdot \Delta T = 3 \cdot 20,4 \text{ J / Kmol} (285 - 260) \text{ K} = 1530 \text{ J}$$

$$\Delta U = \Delta H - nR\Delta T = 1530 \text{ J} - 3 \text{ mol} \cdot 8,314 \text{ J / Kmol} \cdot 25 \text{ K} = 906,45 \text{ J}$$

## Zadatak 15.

- Za reakciju:



vrednost  $q_p - q_v$  će biti (na 25°C) :

- a) -7,436kJ
- b) +3,718kJ
- c) +7,436kJ
- d) -3,718kJ

$$q_p - q_v = \Delta n_g RT = -3 \text{ mol} \cdot 8,314 \text{ J / K mol} \cdot 298,15 \text{ K} = -7,436 \text{ kJ}$$

## ZADATAK 16.

Rad reverzibilnog izotermnog širenja jednog mola gasa u idealnom gasnom stanju od zapremine  $V_1$  do zapremine  $V_2$  je dat izrazom:

- a)  $-p(V_2 - V_1)$    b)  $-RT \ln \frac{P_2}{P_1}$    c)  $-RT \ln \frac{V_2}{V_1}$   
d)  $C_V(T_2 - T_1)$    e)  $C_V T_1 \left[ \left( \frac{V_1}{V_2} \right)^{\frac{R}{C_V}} - 1 \right]$    f) ne znam

## Zadatak 17.

Dva mola idealnog gasa podleže izotermalnoj reverzibilnoj ekspanziji od početne zapremine  $V_1$  do krajnje zapremine  $10V_1$  i vrši rad od 41860J. Ako je početni pritisak 100 bar kolika je početna zapremina (u L) i temperatura (u K)?

## Rešenje

$$w = nRT \ln V_2/V_1 = nRT \cdot 2,3 \quad P_1 V_1 = nRT = w/2,3 = 41860/2,3 = 18200 \text{ J}$$
$$V_1 = 18200/100 \cdot 10^5 = 1,82 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 = 1,82 \text{ L}$$
$$nRT = 18200 \text{ J}, \quad T = 18200/2 \cdot 8,314 = 1093 \text{ K}$$

## Zadatak 18.

Uzorak argona mase 6,56g zauzima zapreminu od 18,5dm<sup>3</sup> Na 305K.

a) Izračunati rad koji bi se izvršio kada se gas širi izotermiski nasuprot konstantnog spoljašnjeg pritiska od 7,7kPa dok mu se zapremina ne poveća za 2,5 dm<sup>3</sup>.

b) Izračunati rad koji bi se izvršio kada bi se ista ekspanzija vršila reverzibilno

Rešenje:

$$a) \quad w = -P_{sp} \Delta V = -7,7 \cdot 10^3 \text{ Pa} \cdot 2,5 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 = -19,25 \text{ J}$$

$$b) \quad w = -nRT \ln \frac{V_2}{V_1} = -\frac{6,56 \text{ g}}{40 \text{ g / mol}} \cdot 8,314 \text{ J / Kmol} \cdot 305 \text{ K} \cdot \ln \frac{21 \text{ dm}^3}{18,5 \text{ dm}^3} = \\ = -52,71 \text{ J}$$

## ZADATAK 19.

Rad reverzibilnog adijabatskog širenja jednog mola gasa u idealnom gasnom stanju od zapremine  $V_1$  pri temperaturi  $T_1$  do zapremine  $V_2$  pri temperaturi  $T_2$ , je dat izrazom:

- a)  $-P(V_2 - V_1)$    b)  $-P(V_1 - V_2)$    c)  $-RT \ln \frac{V_2}{V_1}$
- d)  $C_V(T_1 - T_2)$    **e)**  $C_V T_1 \left[ \left( \frac{V_1}{V_2} \right)^{\frac{R}{C_V}} - 1 \right]$    f)  $C_V T_2 \left[ \left( \frac{V_1}{V_2} \right)^{\frac{C_V}{R}} - 1 \right]$

## ZADATAK 20.

Jedan mol idealnog gasa na 300 K se širi adijabatski i reverzibilno od 20 bar do 1 bar. Koja je temperatura u krajnjem stanju gasa pretpostavljajući da je  $C_V = (3/2) R$ ?

a) 105,5

b) 90,5

c) 205,6

d) 99,6

e) 111,0

f) ne znam

### Rešenje:

$$C_P \ln \frac{T_2}{T_1} = R \ln \frac{P_2}{P_1} \quad C_P = C_V + R = \frac{5}{2} R$$

$$\frac{5}{2} R \ln \frac{T_2}{300} = R \ln \frac{1}{20} \quad T_2 = 90,5 K$$



## ZADATAK 21.

Izračunati krajnji pritisak argona (bar) posle reverzibilnog i adijabatskog širenja pri kome se zapremina poveća dva puta. Početni pritisak je iznosio 100 kPa a  $\gamma_{\text{Ar}}=5/3$ .

### Rešenje:

Iz jednačine adijabate se dobija:

$$P_2 = \left( \frac{V_1}{V_2} \right)^\gamma P_1 \quad P_2 = \left( \frac{1}{2} \right)^{\frac{5}{3}} 100 \text{ kPa} = 31,5 \text{ kPa} = 0,315 \text{ bar}$$

## ZADATAK 22.

Izračunati rad i promenu unutrašnje energije pri adijabatskom širenju 0,2 mol Ar od 0,5 do 1,0L. Početna temperatura je izosila 25°C, a molarni toplotni kapacitet Ar na konstantnoj zapremini iznosi 12,48 JK<sup>-1</sup>mol<sup>-1</sup>.

### Rešenje:

$$T_2 = \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{\frac{nR}{C_V}} T_1 = \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{\frac{R}{C_{Vm}}} T_1 = \left(\frac{0,5L}{1,0L}\right)^{0,666} \cdot 298,15K = 187,9K$$

$$w = 0,2mol \cdot 12,48JK^{-1}mol^{-1} \cdot (187,9 - 298,15)K = -275,18J$$

$$q = 0, \quad \Delta U = -275,18J$$

## ZADATAK 23. Domaći!

Dva mola idealnog gasa za koji je  $C_{v,m}=5R/2$  je reverzibilno zagrevan do 356K na konstantnoj zapremini. Početni pritisak i temperatura su bili  $P_1=111\text{kPa}$  i  $T_1=277\text{K}$ . Izračunati krajnji pritisak,  $\Delta U$ ,  $q$  i  $w$ .

**Rešenje:**

## Zadatak 24.

Jedan mol idealnog monoatomskog gasa u početku na 10 atm pritisku i temperaturi od 0°C širi se izotermiski nasuprot pritiska od 1 atm. Uslovi su takvi da je konačna zapremina 10 puta veća od početne, krajnji pritisak je jednak spoljašnjem pritisku.

- (a) Izračunati početnu i krajnju zapreminu
- (b) Izračunati  $q$ ,  $w$ ,  $\Delta U$  za proces.

Kako je  $V_1=2,24$  L to je  $V_2=22,4$  L

Ukupni proces je izotermiski pa je  $\Delta U=0$ .

Izvršeni rad je  $-P\Delta V=-1,013 \cdot 10^5 \text{N/m}^2 \times (0,0224-0,00224) \text{m}^3=$   
 $w=-2042,2\text{J}$ ,  $q=2042,2\text{J}$

## ZADATAK 25.

Na vrlo niskoj temperaturi toplotni kapacitet čvrstih supstancija se može uzeti da je proporcionalan sa  $T^3$ , pa se može pisati da je  $C_p = aT^3$ . Kolika je promena entalpije takve supstancije pri zagrevanju od 0 do temperature  $T$  (koja je bliska 0)?

**Rešenje:**

$$\Delta H = \int_0^T aT^3 dT = \frac{aT^4}{4}$$

## Zadatak 26.

- Gas se pokorava jednačini stanja:

$$PV = RT + \alpha(T)P$$

- a) Odrediti reverzibilni rad koji se vrši pri zagrevanju gasa od  $T_1$  do  $T_2$  pri konstantnom pritisku.
- b) Odrediti reverzibilni izotermiski rad pri širenju od  $V_1$  do  $V_2$ .

Rešenje

$$a) \quad PV_2 = RT_2 + \alpha(T_2)P$$

$$PV_1 = RT_1 + \alpha(T_1)P$$

$$w = -P(V_2 - V_1) = -R(T_2 - T_1) - P[\alpha(T_2) - \alpha(T_1)]$$

b)

$$w = -\int_{V_1}^{V_2} P dV = -\int_{V_1}^{V_2} \frac{RT}{V - \alpha(T)} dV = -RT \ln \frac{V_2 - \alpha(T)}{V_1 - \alpha(T)} = RT \ln \frac{V_1 - \alpha(T)}{V_2 - \alpha(T)}$$

## Zadatak 27.

Uzorak od 5mol ugljendioksida pri zapremini od 15dm<sup>3</sup> na 280K, podleže adijabatskoj ekspanziji nasuprot konstantnog pritiska od 78,5kPa dok mu se zapremina poveća za faktor 4. Izračunati q, w, ΔT, ΔU i ΔH (C<sub>Pm</sub>=37,11J/Kmol).

Rešenje:

$$q = 0 \quad w = -P\Delta V = -78,5 \cdot 10^3 \text{ Pa} \cdot (4 \cdot 15 - 15) \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$w = -3532,5 \text{ J} \quad w = C_V \cdot \Delta T \quad \Delta T = \frac{w}{C_V} = \frac{-3532,5 \text{ J}}{5 \text{ mol} \cdot (37,11 - 8,314) \text{ J / Kmol}}$$

$$\Delta T = -24,5 \text{ K} \quad \Delta U = q + w = -3532,5 \text{ J}$$

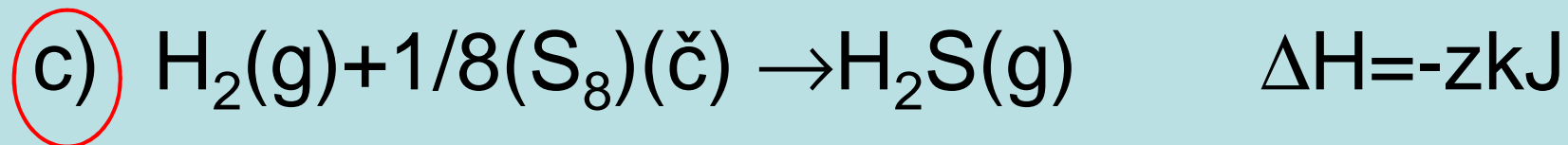
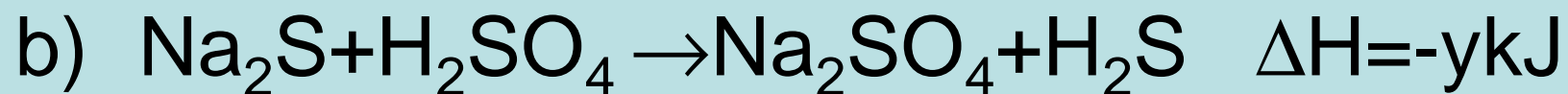
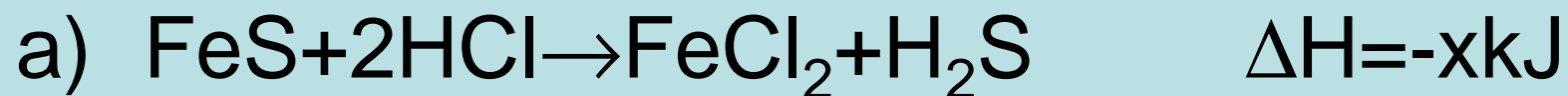
$$\Delta H = \Delta U + \Delta(PV) = \Delta U + P\Delta V = \Delta U + nR\Delta T$$

$$\Delta H = -3532,5 \text{ J} + 5 \text{ mol} \cdot 8,314 \text{ J / molK} \cdot (-24,5 \text{ K}) = -4551 \text{ J}$$



# Pitanja

24. Koja od sledećih jednačina predstavlja  $\Delta H_f$  gasovitog vodonik sulfida?



25. Hesov zakon konstantnosti zbira je baziran na:

a)  $E=mc^2$

b) zakonu o održanju mase

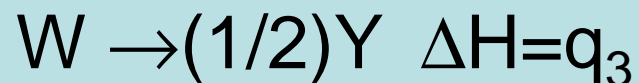
c) Prvom zakonu termodinamike

d) Drugom zakonu termodinamike

26. Ako je  $\Delta H_f$  vode  $-x\text{kJ/mol}$ , tada je  $x\text{kJ/mol}$  toplota razlaganja vode na gasoviti vodonik i kiseonik. Ovo tvrđenje se bazira na:

- a) Nultom zakonu termodinamike
- b) Drugom zakonu termodinamike
- c) Laplas-Lavoazejevom zakonu
- d) Helmholtcovom zakonu

27. Hipotetička reakcija  $X \rightarrow 2Y$  prolazi kroz sledeće korake:



Vrednost  $\Delta H$  reakcije je:

a)  $q_1 + q_2 + q_3$

b)  $2q_1 + 2q_2 + 3q_3$

c)  $2(q_1 + q_2 + 2q_3)$

d)  $2(q_1 + q_2 + q_3)$

28. Entalpija sagorevanja supstanci je uvek:

a)  $>0$

c)  $\leq 0$

b)  $\geq 0$

d)  $< 0$

29. Koji izraz odgovara Hesovom zakonu:

a)  $H=U+PV$

b)  $H=G+TS$

c) Za hemijsku reakciju koja se dešava kroz dva puta je:  $\Delta H(\text{I put}) = \Delta H(\text{II put})$

d) Za hemijsku reakciju koja se dešava kroz dva puta je:  $\Delta S(\text{I put}) = \Delta S(\text{II put})$

30. Izraz  $\left[ \frac{\partial(\Delta H)}{\partial T} \right]_P = \Delta C_P$  predstavlja drugi oblik:

- a) Džul-Tomsonovog koeficijenta
- b) Kirhofove jednačine
- c) Hesovog zakona
- d) Gips Helmholtcove jednačine

31. Energija veze  $H_2$  je  $436 \text{ kJ/mol}$ . Ovo znači da je:

a)  $436 \text{ kJ}$  toplote je potrebno da se raskine veza u molekulu  $H_2$  da bi nastala dva atoma vodonika

b)  $436 \text{ kJ}$  toplote je potrebno da disosuje  $6,02 \cdot 10^{23}$  molekula  $H_2$  do  $H$  atoma

c)  $436 \text{ kJ}$  toplote je potrebno da disosuje  $3,01 \cdot 10^{23}$  molekula  $H_2$  do  $6,02 \cdot 10^{23}$   $H$  atoma

d)  $436 \text{ kJ}$  električne energije je potrebno da disosuje  $6,02 \cdot 10^{23}$  molekula  $H_2$  do  $H^+$  i  $H^-$  jona

## Zadatak 28.

Jedan mol idealnog monoatomskeg gasa na početnim  $P_1=2$  atm i  $T_1=273,15$ K je preveden na pritisak  $P_2=4$ atm reverzibilnim putem definisanim sa  $P/V=\text{const}$ . Izračunati  $V_1$ ,  $V_2$  i  $T_2$ ,  $\Delta U$ ,  $\Delta H$ ,  $q$  i  $w$ .

Rešenje:

Iz jedn. id. g. stanja je  $V_1=11,2$  L. Pošto je  $P/V=\text{const}$ . to je  $V_2=22,4$  L.

Kombinovanjem  $P/V=\text{const}$ . sa  $PV=RT$  dobija se  $T/V^2=\text{const}$ . pa je  $T_2=4T_1=1092,6$ K

$\Delta U=C_V\Delta T=(3R/2)819=10,22$ kJ,  $\Delta H=C_P\Delta T=17,023$ kJ.

Da bi se dobilo  $w$  treba odrediti  $w=\int PdV$ . Iz početnih uslova,  $P/V=\text{const}=2/11,2=0,178$ atm/L pa je  $w=-0,178\int VdV=-0,089(V_2^2-V_1^2)$   
 $w=-3,39$ kJ

$q=\Delta U-w=13,61$ J.



## ZADATAK 29.

Toplotni kapacitet gasa u IGS varira sa temperaturom prema izrazu:

$$C_p (J / K) = 20,17 + 0,4001T (K)$$

za 1 mol. Izračunati  $q$ ,  $w$ ,  $\Delta U$  i  $\Delta H$  za jedan mola gasa kada temperatura raste od  $0^\circ\text{C}$  do  $100^\circ\text{C}$ .

- a) Na konstantnom pritisku.
- b) Na konstantnoj zapremini.

# Rešenje

a)  $P = \text{const.}$

$$q_P = \Delta H = \int_{273}^{373} C_P dT = \int_{273}^{373} (20,17 + 0,40020T) dT$$

$$\Delta H = q_P = 20,17(373 - 273) + 0,20005(373,15^2 - 273,15^2) = 14946,23 J$$

$$w = -P\Delta V = -nR\Delta T = -1 \text{ mol} \cdot 8,314 J / K \text{ mol} \cdot 100 K = -831,4 J$$

$$\Delta U = \Delta H - nR\Delta T = 14946,23 - 831,4 = 14114,83 J = 14,1 kJ$$

$V = \text{const.}$

$$w = 0 \quad \Delta U = \Delta H = 14,1 kJ = q_V$$

## Zadatak 30

Jedan mol gasa sa  $C_{V,m}=20,93\text{J/mol}$  step. u početku pri standardnim uslovima prolazi kroz sledeći reverzibilni ciklus:

A: izohorsko zagrevanje do dvostruke vrednosti početne temperature od stanja 1 do 2, B: adijabatsko širenje od 2 do 3 do početne temperature i C: izotermalnu kompresiju od 3 do 1. Izračunati  $q$ ,  $w$ ,  $\Delta U$  i  $\Delta H$  za korake A, B i C. Prikazati grafik  $V=f(T)$  za dati ciklus.

### Rešenje

Korak A:  $V=\text{const}$ .  $T=273,15\text{K}$ ,  $P=1\text{bar}$ ,  $w=0$ ,  $\Delta U=q_v = nC_{V,m} \Delta T = 1\text{mol} \cdot 20,93 \cdot (2T_1 - T_1) = 20,93 \cdot 273,15 = \underline{5717\text{J}} = q_v$

$\Delta H = \Delta U + nR\Delta T = 7987,97\text{J}$

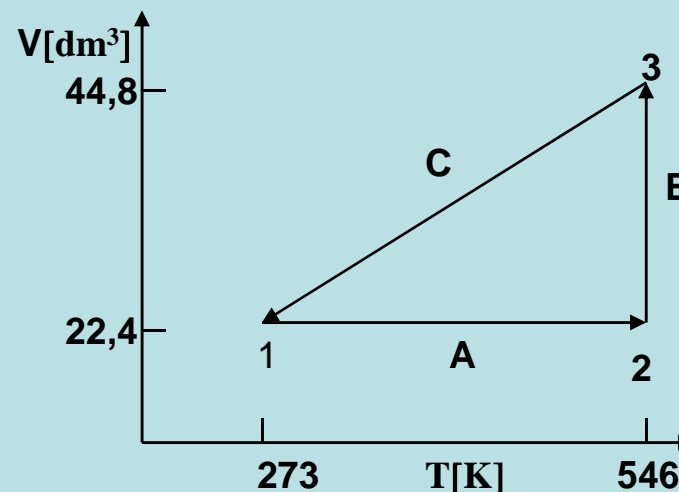
ii) Korak B:  $q=0$ ,  $\Delta U=w=C_V \Delta T = 20,93(T_1 - 2T_1) = \underline{-5717\text{J}}$ ,  
 $\Delta H = -7988\text{J}$ ,

iii) Korak C:  $\Delta U = \Delta H = 0$ ,  $T_2/T_3 = 2$ ,  $V_3/V_2 = (T_2/T_3)^{C_V/R}$ ,  $V_2 = V_1$   
 $w = RT_1 \ln V_3/V_1 = RT_1 \ln(T_2/T_3)^{C_V/R} = C_V T_1 \cdot 2,303 \log 2 =$   
 $20,93 \cdot 273,15 \cdot 2,303 \cdot \log 2 = 3962,74\text{J/mol}$ ,  $q = -3962,74\text{ J/mol}$

31. Jedan mola gasa u idealnom gasnom stanju prolazi kroz termodinamički ciklus koji se sastoji od reverzibilnih promena (koraka) A, B i C i stanja 1, 2 i 3 i koji je prikazan na slici. Popuni Tablice 1. i 2. za dati ciklus.

Tablica 1.

Stanje	P, Pa	V, m <sup>3</sup>	T, K
1	$1,013 \cdot 10^5$	$22,4 \cdot 10^{-3}$	273
2	$2,026 \cdot 10^5$	$22,4 \cdot 10^{-3}$	546
3	$1,013 \cdot 10^5$	$44,8 \cdot 10^{-3}$	546



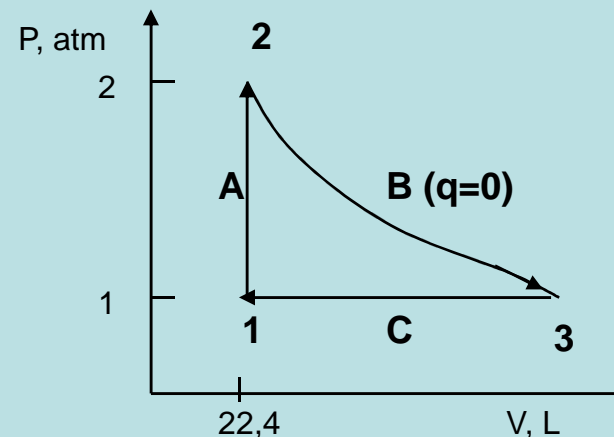
Tablica 2.

Korak	Ime procesa	q, J	w, J	$\Delta U, J$
A	izohorski	3404,58	0	3404,58
B	izotermiski	3146,50	-3146,50	0
C	izobarski	-5674,3	2269,12	-3404,58
	Ciklus	876,78	-877,38	0

32. Jedan mol monoatomskog gasa u idealnom gasnom stanju prolazi kroz ciklus koji se sastoji iz tri procesa, što je prikazano na slici. Ispuniti tablice 1 i 2.

Tablica 1.

Stanje	P, Pa	V, m <sup>3</sup> ·10 <sup>-3</sup>	T, K
1	101325	22,4	
2	202650		
3	101325		



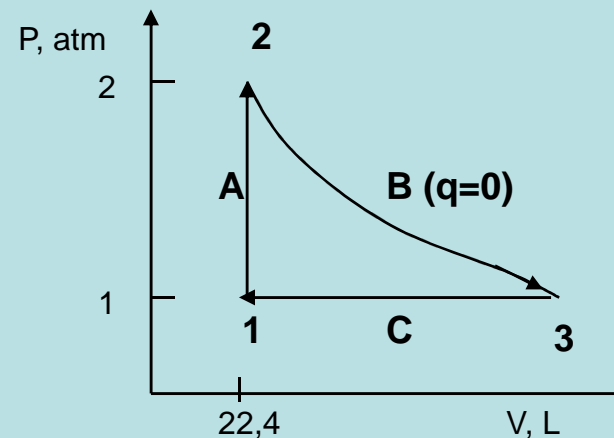
Tablica 2.

Proces	Tip procesa	q, J	w, J	$\Delta U, J$
A				
B				
C				
	<b>ciklus</b>			

## 32. Rešenje

Tablica 1.

Stanje	P, Pa	V, m <sup>3</sup> ·10 <sup>-3</sup>	T, K
1	101325	22,4	273
2	202650	22,4	546
3	101325	33,95	413,78



Tablica 2.

Proces	Tip procesa	q, J	w, J	$\Delta U, J$
A	izohorski	3404,6	0	3404,6
B	adijabatski	0	-1648,9	-1648,9
C	izobarski	-2926	1170,3	-1755,7
	ciklus	478,6	-478,6	0

Zadatak 33.

Stepen korisnog dejstva mašine koja hladnjaku preda jednu trećinu količine toplote uzete od grejača je:

a) 0,25

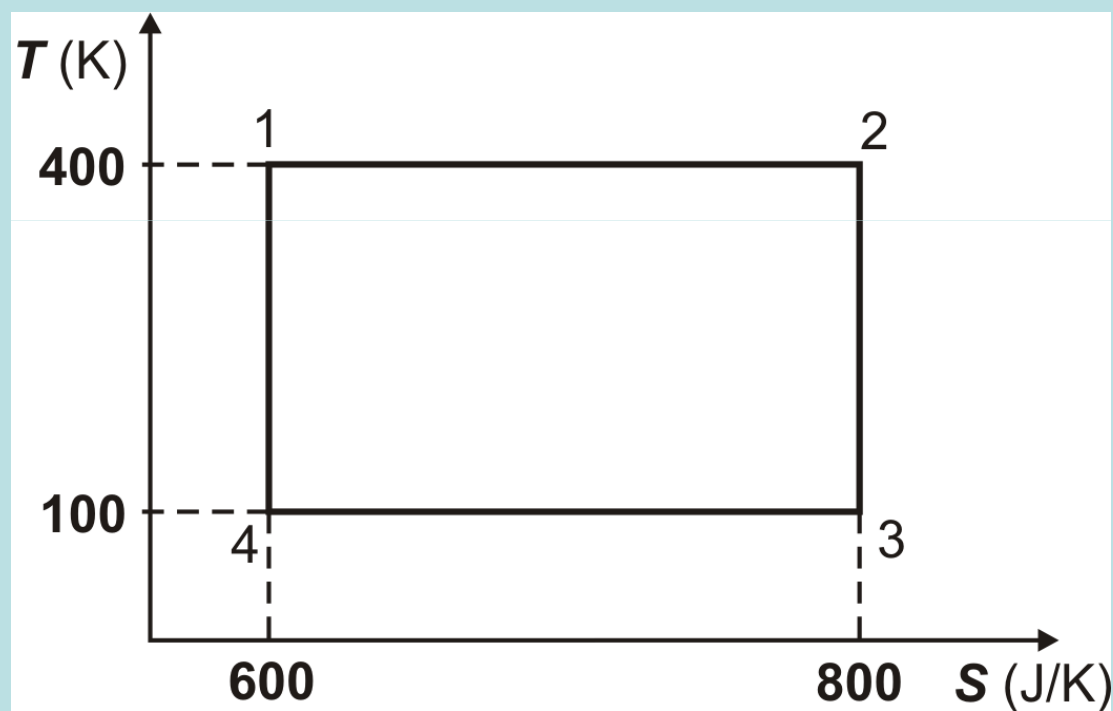
b) 0,35

c) 0,67

d) 0,5

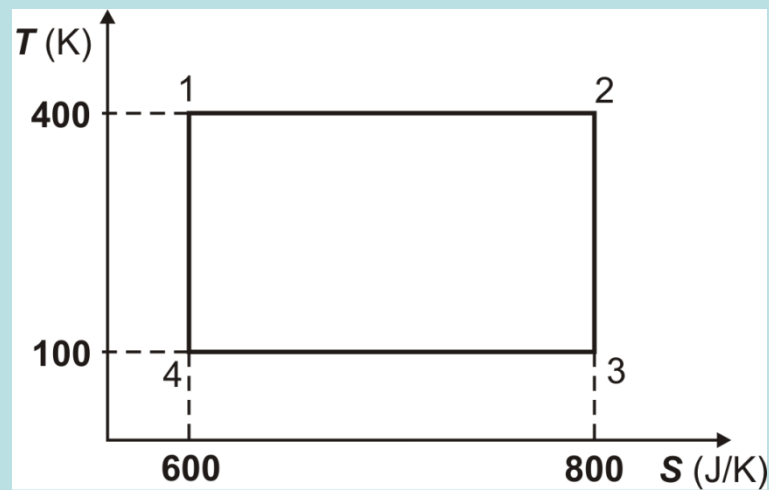
e) ne znam

34. На  $TS$  дијаграму приказан је Карноов циклус једне реверзибилне топлотне машине. Колике су вредности топлоте преузете са извора, топлоте предате утоку и рада? Колика је ефикасност те машине?





### 34. Решење:



$$q_2 = T_2(S_2 - S_1) = 400K(800 - 600)JK^{-1} = 80kJ$$

$$q_1 = T_1(S_1 - S_2) = 100K(600 - 800)JK^{-1} = -20kJ$$

$$w = -(q_1 + q_2) = -60kJ$$

$$\eta = -w/q_2 = (T_2 - T_1)/T_2 = (400K - 100K)/400K = 0,75$$

# 35. Zadatak

Toplotna mašina radi između 1200K i 500K.

- a) Kolika je maksimalna efikasnost mašine?
- b) Izračunati maksimalan rad izvršen za svaki 1kJ toplote uzete iz izvora.
- c) Koliko toplote se oslobađa u utok u reverzibilnom procesu za svakih 1kJ uzete toplote iz izvora?

# 35. Rešenje

a) 
$$\eta = \frac{T_2 - T_1}{T_2} = \frac{1200 - 500}{1200} = 0,583$$

b) 
$$|w| = \eta |q_2| = 0,583 \cdot 1kJ = 0,583kJ$$

c)

$$|w| = |q_2| - |q_1| \quad |q_1| = |q_2| - |w| = 1kJ - 0,583kJ = 0,417kJ$$

# Zadatak 36.

Izračunati entropiju topljenja ( $S$ ) u J/mol K za KCl čija je tačka topljenja  $770^{\circ}\text{C}$ . Promena entalpije topljenja  $26,8$  kJ/mol.

a) 34,8

b) 0,035

c) 25,7

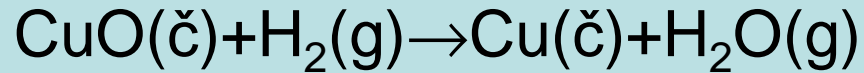
d) 0,026

e) 487,9

f) ne znam

## Zadatak 37

Za sledeću reakciju na 25°C:



vrednosti standardnih entropija su:

$S^0_{\text{CuO}\check{\text{c}}} = 42,63 \text{ J/Kmol}$ ,  $S^0_{\text{H}_2\text{g}} = 130,68 \text{ J/Kmol}$ ,  $S^0_{\text{Cu}\check{\text{c}}} = 33,15 \text{ J/Kmol}$   
i  $S^0_{\text{H}_2\text{Og}} = 188,83 \text{ J/Kmol}$ . Odrediti da li će se reakcija odigravati spontano sa aspekta sistema.

Rešenje:

Standardna promena entropije u reakciji je:

$$\Delta S^0 = S^0(\text{produkti}) - S^0(\text{reaktanti})$$

Za gornju reakciju promena standardne entropije je:

$$\begin{aligned} \Delta S^0 &= S^0_{\text{Cu}(c)} + S^0_{\text{H}_2\text{O}(g)} - S^0_{\text{CuO}(c)} - S^0_{\text{H}_2(g)} = (33,15 + 188,83 - 42,63 - 130,68) \text{ J / Kmol} = \\ &= 48,67 \text{ J / Kmol} \end{aligned}$$

Pošto je promena entropije za sistem pozitivna to je reakcija spontana sa aspekta sistema.

38. Grafit i dijamant su dve alotropske modifikacije ugljenika. Izračunati  $\Delta S_{\text{sis}}$ ,  $\Delta S_{\text{ok}}$  i  $\Delta S_{\text{tot}}$  za hemijsku reakciju u kojoj grafit i gasoviti vodonik grade metan:



Rešenje:

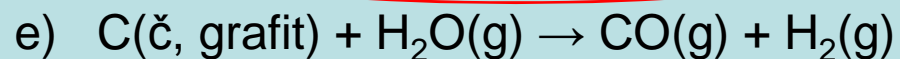
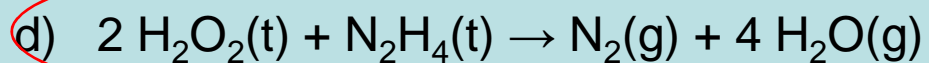
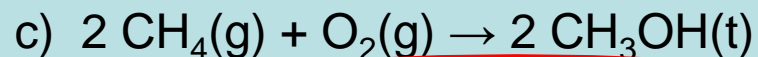
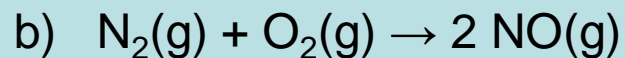
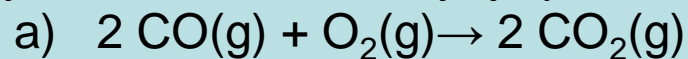
$$\Delta S_{\text{sis}} = 186,26 - 2 \times 130,684 - 5,74 = -80,848 \text{ J/Kmol}$$

$$\Delta S_{\text{ok}} = 74810 / 298 = 251 \text{ J/Kmol}$$

$$\Delta S_{\text{tot}} = -80,848 + 251 = 170,19 \text{ J/Kmol}$$

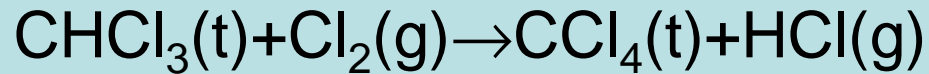
Zadatak 39.

Koja od sledećih reakcija je praćena najpozitivnijom promenom entropije?



Zadatak 40:

Za reakciju :



na 25<sup>0</sup>C standardne entropije su:

$$S^0_{298}(\text{CHCl}_3(\text{t})) = 203,02 \text{ J/Kmol}$$

$$S^0_{298}(\text{Cl}_2(\text{g})) = 223,07 \text{ J/Kmol}$$

$$S^0_{298}(\text{CCl}_4(\text{t})) = 214,53 \text{ J/Kmol}$$

$$S^0_{298}(\text{HCl}(\text{g})) = 186,91 \text{ J/Kmol}$$

a toplotni kapaciteti su:

$$C^0_p(\text{CHCl}_3(\text{t})) = 115,48 \text{ J/Kmol}$$

$$C^0_p(\text{Cl}_2(\text{g})) = 34,36 \text{ J/Kmol}$$

$$C^0_p(\text{CCl}_4(\text{t})) = 132,63 \text{ J/Kmol}$$

$$C^0_p(\text{HCl}(\text{g})) = 28,84 \text{ J/Kmol}$$

Odrediti standardnu promenu entropije reakcije na 50<sup>0</sup>C.



Rešenje:

$$\Delta S_T^0 = \sum_i n_i S_{T,i}^0 (\text{produkti}) - \sum_j n_j S_{T,j}^0 (\text{reaktanti})$$

$$\Delta S_{298}^0 = (214,53 + 186,91 - 203,2 - 223,07) J / Kmol = -24,65 J / Kmol$$

$$\Delta C_P^0 = \sum_i n_i C_{P,i}^0 (\text{produkti}) - \sum_i n_i C_{P,i}^0 (\text{reaktanti})$$

$$\Delta C_P^0 = (132,63 + 28,84 - 115,48 - 34,36) J / Kmol = 11,63 J / Kmol$$

$$\Delta S_{323}^0 = -24,83 + \int_{298}^{323} \frac{11,63}{T} dT = -24,83 + 11,63 \ln \frac{323}{298} = -23,71 J / Kmol$$

## Zadatak 41.

Izračunati promenu entropije kada se idealan gas čiji je  $C_{V,m} = 5R/2$  komprimuje do jedne trećine svoje početne zapremine i istovremeno zagreje do tri puta veće temperature od početne.

Rešenje:

$$C_{v,m} = \frac{5}{2}R, \quad T_2 = 3T_1, \quad V_2 = \frac{V_1}{3}$$

$$\Delta S = nC_{V,m} \ln \frac{T_2}{T_1} + nR \ln \frac{V_2}{V_1} = n \cdot \frac{5}{2}R \ln 3 + nR \ln \frac{1}{3} =$$

$$n \cdot \frac{5}{2}R \ln 3 - nR \ln 3 = \frac{3}{2}nR \ln 3 = 13,7nJ / K$$

Zadatak 42:

Koliki je porast entropije kada zagrevamo 1 mol hloroforma,  $\text{CHCl}_3$  od 240 do 330K, ako je  $C_{pm} = (91,47 + 7,5 \cdot 10^{-2}T)$  J/molK ?

Rešenje:

$$\begin{aligned}\Delta S &= S_{330} - S_{240} = \int_{240}^{330} C_p \frac{dT}{T} = 1 \text{ mol} \int_{240}^{330} (91,47 + 7,5 \cdot 10^{-2}T) \frac{dT}{T} = \\ &= [91,47 \ln T]_{240}^{330} + 7,5 \cdot 10^{-2} [T]_{240}^{330} = 29,13 + 6,75 = 35,88 \text{ J / K}\end{aligned}$$

Zadatak 43:

U sistemu se odigrava proces u kome se entropija menja za 5,51J/K. Za vreme procesa 1,5 kJ toplote dodato je sistemu na 350K. Da li je proces termodinamički reverzibilan?

Rešenje:

$$\Delta S_{sis} = \frac{q_{rev}}{T} \quad q_{rev} = \Delta S \cdot T = 1928,5J$$

$$q = 1500J \quad q_{rev} = 1928,5J \quad q \neq q_{rev}$$

Proces nije termodinamički reverzibilan-ireverzibilan je

## Zadatak 44:

Uzorak bakra ( $M=63,546\text{g/mol}$ ), mase  $2,75\text{kg}$  i toplotnog kapaciteta  $24,44\text{J/Kmol}$ , se hladi na konstantnom pritisku od  $330\text{K}$  do  $275\text{K}$ . Izračunati  
a) energiju koja se mora razmeniti u vidu toplote i  
b) promenu entropije sistema.

### Rešenje:

$$\begin{aligned} \text{a) } \Delta H = q_p = nC_{p,m}\Delta T &= \left( \frac{2,75 \cdot 10^3 \text{ g}}{63,546 \text{ g mol}^{-1}} \right) (24,44 \text{ JK}^{-1} \text{ mol}^{-1}) (-55 \text{ K}) = \\ &= -5,82 \cdot 10^4 \text{ J} = -58,2 \text{ kJ} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{b) } \Delta S &= \int_{T_1}^{T_2} \frac{C_p dT}{T} = nC_{p,m} \int_{T_1}^{T_2} \frac{dT}{T} = \\ &= 43,3 \text{ mol} (24,44 \text{ J / K mol}) \ln(275 / 330) = -1,928 \cdot 10^2 \text{ J / K} = -193 \text{ J / K} \end{aligned}$$

Zadatak 45:

Uzorak azota mase 35 g na 230 K i 21,1 atm širi se izotermalno do pritiska od 4,3atm. Izračunati promenu entropije gasa.

Rešenje:

$$\Delta S = nR \ln \frac{p_1}{p_2} = \left( \frac{35 \text{ g}}{28,014 \text{ g / mol}} \right) (8,314 \text{ J / K mol}) \ln \left( \frac{21,1}{4,3} \right) = 16,5 \text{ J / K}$$

Zadatak 46:

Uzorak idealnog gasa u početku na 270K, 1,20 atm i 11,0L komprimuje se izotermalno. Do koje zapremine treba da se komprimuje da bi se entropija smanjila za 3,0J/K

Rešenje:

$$n = \frac{PV}{RT} = \frac{1,2atm \cdot 11L}{0,082Latm / Kmol \cdot 270K} = 0,596mol$$

$$\frac{\Delta S}{nR} = \ln \frac{V_2}{V_1} \quad \exp\left(\frac{\Delta S}{nR}\right) = \frac{V_2}{V_1}$$

$$V_2 = V_1 \exp(\Delta S / nR) = (11L) \exp(-3,0JK^{-1} / (0,596mol)(8,314JK^{-1}mol^{-1})) = 11L \cdot 0,546 = 6L$$

### Zadatak 47:

Jedan mol čvrstog bakra se širi izotermiski od 200 bar do 1 bar. Izračunati promenu entropije sistema za proces u kome je

$$\alpha = \frac{1}{V} \left( \frac{\partial V}{\partial T} \right)_P = 1,66 \cdot 10^{-5} K^{-1}, \text{ a gustina } \rho = 8,96 \cdot 10^3 \text{ kgm}^{-3}.$$

Rešenje:

$$\Delta S(\text{sistem}) = - \int \left( \frac{\partial V}{\partial T} \right)_P dP = -\alpha V \int_{P_1}^{P_2} dP = -\alpha V (P_2 - P_1) =$$

$$-1,66 \cdot 10^{-5} K^{-1} \cdot 1 \text{ mol} \cdot \left( \frac{63,546 \cdot 10^{-3} \text{ kgmol}^{-1}}{8,96 \cdot 10^3 \text{ kgm}^{-3}} \right) (1 - 200) \text{ bar} = 2,34 \cdot 10^{-3} J / K$$



# Zadatak 48.

Dat je proces za koji je a)  $\Delta U=0$ , b)  $\Delta H=0$ , c)  $\Delta A=0$ , d)  $\Delta G=0$  i e)  $\Delta S=0$ . Objasniti u kojim procesima je ovo ispunjeno.

Rešenje:

- a) U izohorsko-adijabatskim
- b) U izobarsko-adijabatskim
- c) U izotermsko-izohorskim
- d) U izotermsko-izobarskim
- e) U adijabatskim.

Zadatak 49:

Jedan mol  $\text{CO}_2(\text{g})$  na 273 K se hladi do  $\text{CO}_2(\text{t})$  na 194,4 K. Hlađenje se vrši reverzibilno i ireverzibilno stavljanjem uzorka u tečni vodonik na 13,96 K. Izračunati promenu entropije za proces ako je standardna entalpija isparavanja  $23,1752 \text{ kJmol}^{-1}$  na 194,4 K i ako je  $C_p = 32,22 + (22,18 \cdot 10^{-3})T + (-23,47 \cdot 10^{-6})T^2$ .

Rešenje:

Može se razmatrati proces u dva koraka. Prvi je hlađenje gasa na konstantnom pritisku do tačke ključanja i drugi prevođenje u tečno stanje.

## Reverzibilan proces:

$$\begin{aligned}\Delta S_{sis} &= \int_{T_1}^{T_2} C_P \frac{dT}{T} + \frac{-\Delta H_{isp}^0}{T_{klj}} = \int_{273}^{194,4} \left[ \frac{32,22}{T} + (22,18 \cdot 10^{-3}) + (-23,47 \cdot 10^{-6})T \right] dT + \frac{-23175,2}{194,4} = \\ &= 32,22 \ln\left(\frac{194,4}{273}\right) + (22,18 \cdot 10^{-3})(194,4 - 273) + \frac{(-23,47 \cdot 10^{-6})}{2} ((194,4)^2 - (273)^2) + \frac{-23175,2}{194,4} = \\ &= -12,25 - 119,21 = -131,46 J / K \\ \Delta S_{ok} &= 131,47 J / K\end{aligned}$$

Stoga je ukupna promena entropije za reverzibilan proces:

$$\Delta S_{iz} = \Delta S_{sis} + \Delta S_{ok} = 0$$

Ako se promena vrši na ireverzibilan način toplota prenetu u okolini je:

$$\begin{aligned} -q &= -\left( \int_{273}^{194,4} C_p dT - \Delta H_{isp}^0 \right) = \\ &= -\left[ 32,22(194,4 - 273) + \frac{22,18 \cdot 10^{-3}}{2} ((194,4)^2 - (273)^2) - \frac{23,47 \cdot 10^{-6}}{3} ((194,4)^3 - (273)^3) - (23175,2 \text{ Jmol}) \right] = \\ &= 26,22 \text{ kJ} \end{aligned}$$

$$\Delta S_{ok} = \frac{q}{T} = \frac{26220 \text{ J}}{13,96 \text{ K}} = 1878 \text{ J / K}$$

$$\Delta S_{tot} = 1878 - 131,46 = 1746,5 \text{ J / K}$$

# Zadatak 50.

Jedan mol gasa u idealnom gasnom stanju u početku pri normalnim uslovima širi se izotermiski i ireverzibilno do 44,8 L, pod takvim uslovom da je rad  $w=418,6\text{J}$ . Izračunati  $\Delta S$  i  $\Delta G$  sistema.

Rešenje:

$$P_1=1\text{atm}, T_1=273,15\text{K}, V_1=22,4\text{L}$$

$$P_2=0,5\text{atm}, T_2=273,15\text{K}, V_2=44,8\text{L}$$

$$\Delta S = R \ln \frac{V_2}{V_1} = 5,76\text{J} / \text{K}$$

$$\Delta G = RT \ln \frac{P_2}{P_1} = -1574,1\text{J}$$

# Zadatak 51.

Jedan mol gasa u IGS u početku pri zapremini od 5L, pritisku  $P_1$  i temperaturi od 298K prolazi kroz sledeće reverzibilne promene:

A) izotermsku kompresiju do polovine početne zapremine, B) izohorsko hlađenje dok se pritisak ne vrati do početne vrednosti  $P_1$ , pri temperaturi  $T_3$

Izračunati  $P_1, P_2$  i  $T_3$  kao i  $q, w, \Delta U, \Delta H, \Delta S$  i  $\Delta G$  za korake A i B odvojeno.

# Rešenje:

$$a) T_1 = 298K, V_1 = 5L, P_1 = 4,96 \cdot 10^5 Pa$$

$$T_1 = T_2 = 298K, V_2 = V_1 / 2 = 2,5L, P_2 = 9,92 \cdot 10^5 Pa$$

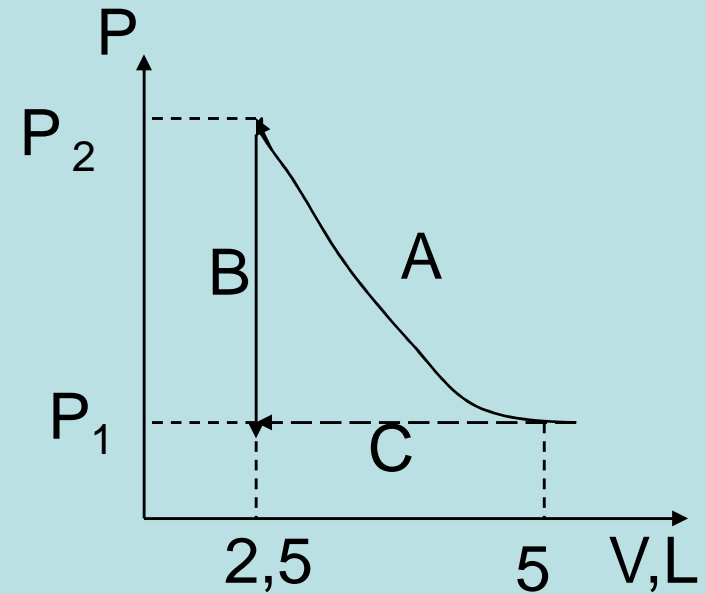
$$A) \Delta U = \Delta H = 0, \quad -q = w = -RT \ln \frac{V_2}{V_1} = 1717,32J$$

$$\Delta S = R \ln \frac{V_2}{V_1} = -5,76J / K, \Delta G = RT \ln \frac{P_2}{P_1} = 1717,32J$$

$$B) w = 0, \Delta U = C_v \Delta T = \frac{3}{2} R(149K - 298K) = -1858,18J$$

$$\Delta H = \frac{5}{2} R(T_3 - T_2) = -3097,0J, \Delta S = C_v \ln \frac{T_3}{T_1} = -8,64J / K$$

$$\Delta G = \Delta H - (T_3 S_3 - T_2 S_2)$$



## Zadatak 52.

Promena Gipsove energije za neki izobarski proces može da se prikaže izrazom:

$$\Delta G / J = -86,7 - 42,3(T / K) =$$

Izračuneti promenu entropije i entalpije za taj proces.

## Rešenje

Poznato je da je:

$$\Delta S = -\left(\frac{\partial \Delta G}{\partial T}\right)_p = -\frac{\partial}{\partial T}(-86,7 - 42,3T) = 42,3 J$$

$$\Delta H = \Delta G + T\Delta S = -86,7 - 42,3T + 42,3T = -86,7 J$$



## Zadatak 53.

Kada se dva mola gasa na 330 K i 3,5 atm izotermiski komprimuje, entropija opadne za 25,0J/K. Izračunati krajnji pritisak gasa i promenu Gipsove energije za kompresiju.

Rešenje:

$$\Delta S = nR \ln \frac{P_1}{P_2} \quad \frac{P_1}{P_2} = \exp\left(\frac{\Delta S}{nR}\right) \quad P_2 = P_1 \exp\left(-\frac{\Delta S}{nR}\right)$$

$$P_2 = 3,5455 \cdot 10^5 \text{ Pa} \exp\left(-\frac{-25 \text{ J / K}}{2 \text{ mol} \cdot 8,314 \text{ J / Kmol}}\right) = 1,595 \cdot 10^6 \text{ Pa}$$

$$\Delta G = nRT \ln \frac{P_2}{P_1} = 2 \cdot 8,314 \cdot 330 \ln \frac{1,594 \cdot 10^6}{3,5455 \cdot 10^5} = 8250 \text{ J}$$

$$\Delta G = -T\Delta S = -330 \text{ K} \cdot -25 \text{ J / K} = 8250 \text{ J}$$

## Zadatak 54.

Jedan mola idealnog monoatomskeg gasa se prevodi iz početnog stanja (22,4 L, 273 K, 1 atm,  $S=20$  cal/K) u krajnje stanje ( 11,2L, 2 atm, 303K). Izračunati  $\Delta U$ ,  $\Delta H$ ,  $\Delta S$  i  $\Delta G$  za ovu termodinamičku promenu.

## Rešenje:

- Označićemo stanja gasa:

- Početno:

Krajnje:

$$V=22,4L=22,4\cdot 10^{-3}m^3$$

$$V=12,4L=12,4\cdot 10^{-3}m^3$$

$$T=273\text{ K}$$

$$T=303\text{ K}$$

$$P=1\text{ atm}=1,013\cdot 10^5\text{ Pa}$$

$$P=2\text{ atm}=2,026\cdot 10^5\text{ Pa}$$

$$S=20\text{ cal/Kmol}=83,72\text{ J/Kmol}$$

Pošto je gas u idealnom gasnom stanju to je:

$$\Delta U=C_v\Delta T=(3R/2)\times 30=374,13\text{ J}$$

$$\Delta H=C_p\Delta T=(5R/2)\times 30=623,55\text{ J}$$

- Promena entropije i Gipsove funkcije će se odrediti razmatrajući promenu kroz dva stupnja:

- 1.  $0,0224\text{m}^3$  , 273 K,  $1,013 \cdot 10^5\text{Pa}$   $\rightarrow$   $0,0224\text{ m}^3$ , 303 K,  $1,013 \cdot 10^5\text{Pa}$

$$\Delta S_1 = C_p \ln T_2 / T_1 = (5R/2) \ln 1,11 = 2,167\text{J/K} \quad (S_{\text{krajnje}} = 2,169\text{J/K})$$

$$\Delta G_1 = \Delta H_1 - (T_2 S_2 - T_1 S_1) = 623,55 - (303 \times 85,887 - 273 \times 83,72) = -2544,651\text{ J}$$

- 2.  $0,0224\text{ m}^3$ , 303 K,  $1,013 \cdot 10^5\text{Pa}$   $\rightarrow$   $0,0112\text{ m}^3$ , 303 K;  $2,026 \cdot 10^5\text{Pa}$

$$\Delta S_2 = R \ln P_1 / P_2 = 8,314 \times 2,3 \log 0,5 = -5,763\text{J/K}$$

$$\Delta G_2 = RT \ln P_2 / P_1 = 1746,14\text{J}$$

Ukupne promene su:  $\Delta S = 2,167 - 5,763 = -3,596\text{J/K}$ ;

$$\Delta G = -2544,651 + 1746,14 = -798,511\text{J}$$