

Kolokvij Vol. 1

(I) Numerički zadaci:

1. *Sitan ali dinamitan.*

(a) Po reakciji $4\text{C}_3\text{H}_5(\text{NO}_3)_3 \rightarrow 12\text{CO}_2 + 10\text{H}_2\text{O} + 6\text{N}_2 + \text{O}_2$ vidimo da se za 4 mola nitroglicerina dobije $12 + 10 + 6 + 1$ molova plina (ukupno svih plinova). Ukupan broj molova za n_0 molova nitroglicerina je tada:

$$\frac{n}{n_0} = \frac{12}{4} + \frac{10}{4} + \frac{6}{4} + \frac{1}{4} = 7.25$$

(2 boda)

(b) Pri reakciji se oslobodi 1.53 MJ po molu, tj oslobodena energija po molu je

$$\frac{Q}{n_0} = 1.53 \text{ MJ}$$

Prvi zakon termodinamike nam daje:

$$dU = \delta Q - pdV$$

Ako promjene volumena nema:

$$\Delta U = Q$$

Promjena temperature je tada:

$$3nR\Delta T = Q$$

$$\Delta T = \frac{Q/n_0}{3(n/n_0)R} = 8461 \text{ K}$$

$$T = \Delta T + T_0 = 8761 \text{ K}$$

(3 boda)

(c) Tekućina (prije eksplozije):

$$p_0V = n_0RT_0$$

Plin (poslije eksplozije):

$$pV = nRT$$

Podijelimo li drugu jednadžbu s prvom:

$$\frac{p}{p_0} = \frac{n}{n_0} \frac{T}{T_0}$$

$$p = 211.7 \text{ bar}$$

(4 boda)

Ukupno: 9 bodova

2. *Hod po žeravici.*

(a) Temperatura kapljice znoja se povećava s vremenom od temperature tijela (37 °C) do temperature vrelišta T_v kada je konstanta sve dok cijela kapljica ne ispari. Nakon toga se para zagrijava. Vrelište znoja je više u odnosu na čistu vodu, jer sadrži otopljene soli koje povećavaju vrelište – koligativno svojstvo. (2 boda)

(b) Fakirica MB stoji sa dvije noge (površina je dakle $2S$!) na žeravici. Tlak mora biti takav da sila težine i tlaka pare budu jednake:

$$F_g = F_p$$

$$mg = p \cdot 2S$$

$$p = \frac{mg}{2S} = 15.9 \text{ kPa iznad atmosferskog tlaka}$$

Gustoća pare se nađe iz JSIP:

$$(p + p_0)V = nRT$$

$$(p + p_0) = \frac{m}{VM}RT$$

$M_{pare} = M_{vode} = 18 \text{ g/mol}$, pa je:

$$\rho = \frac{(p + p_0)M}{RT}$$

$$\rho = 0.67 \text{ kg/m}^3$$

(3 boda)

(c) Gledamo strujnicu na mjestu točno ispod stopala gdje para miruje i gdje je tlak $p_s = p + p_0$ i na mjestu izvan stopala gdje je brzina v a tlak atmosferski.

$$p_s = p_0 + \frac{1}{2}\rho v^2$$

$$v = \sqrt{\frac{2(p_s - p_0)}{\rho}}$$

Ne traži se, no možemo izračunati: $v = 218 \text{ m/s}$.

(2 boda)

(d) Masa pare koja istječe dana je s

$$Q = \rho v A$$

gdje je A efektivna površina kroz koju prolazi para. Ta površina je dana opsegom kvadrata/tabana i visinom h : $A = h \cdot 4\sqrt{S}$, \sqrt{S} je stranica kvadrata.

$$Q = \sqrt{2(p_s - p_0)} \rho A = 41 \text{ g/s}$$

(2 boda)

(e) Koža na stopalu se grije toplinom koju primi od žeravice:

$$dQ = m_{eff} c dT = \lambda S \frac{T_0 - T}{h} dt$$

$$\frac{dT}{T_0 - T} = \frac{\lambda S}{m h c} dt$$

Integriramo lijevu i desnu stranu:

$$\int_{T_s}^T \frac{dT}{T_0 - T} = \frac{\lambda S}{m h c} t$$

$$-\ln \frac{T_0 - T}{T_0 - T_s} = \frac{\lambda S t}{m h c}$$

Formula za temperaturu se nađe uz malo matematičkih akrobacija:

$$T(t) = T_0 - (T_0 - T_s)e^{-\frac{\lambda S t}{m h c}}$$

Vrijeme se nađe iz drugih akrobacija:

$$t = -\frac{m h c}{S \lambda} \ln \frac{T_0 - T_{60}}{T_0 - T_s} = 6 \text{ s}$$

(5 bodova)

Ukupno: 14 bodova

3. Magnetski frižider.

(a) Prvo ćemo iskoristiti $N = N_{\uparrow} + N_{\downarrow}$ i zamijeniti N_{\downarrow} s $N - N_{\uparrow}$:

$$N_{\uparrow} = e^{\beta \mu_B B} (N - N_{\uparrow})$$

$$N_{\uparrow} (1 + e^{\beta \mu_B B}) = N e^{\beta \mu_B B}$$

$$N_{\uparrow} = N \frac{e^{\beta \mu_B B}}{1 + e^{\beta \mu_B B}}$$

$$N_{\downarrow} = N \frac{1}{1 + e^{\beta \mu_B B}}$$

Sada je:

$$M = \mu N \frac{e^{\beta \mu_B B} - 1}{e^{\beta \mu_B B} + 1}$$

Iskoristimo $e^x \approx 1 + x$:

$$M = \mu N \frac{\beta \mu_B B}{2 + \beta \mu_B B} \approx \frac{N \mu_B^2 B}{2kT}$$

(4 boda)

(b) Susceptibilnost je sada:

$$\chi = M/B = \frac{N \mu_B^2}{2kT}$$

Konstanta C se dobije usporedbom:

$$C = \frac{N \mu_B^2}{2k}$$

(2 boda)

(c) $p \leftrightarrow -M$, $V \leftrightarrow B$, pa imamo:

$$dW = MdB, \quad dU = \delta Q + MdB$$

(2 boda)

(d) Za adijabatski proces vrijedi $\delta Q = 0$.

(1 bod)

(e)

$$dU = -MdB - BdM$$

Prvi zakon TD (adijabatski):

$$dU = dW \Rightarrow -MdB - BdM = MdB$$

$$2MdB = -BdM$$

Separacijom varijabli dobivamo:

$$\frac{dM}{M} = -2\frac{dB}{B}$$

Integriramo uz neke početne uvjete M_0, B_0 :

$$\int_{M_0}^M \frac{dM}{M} = -2 \int_{B_0}^B \frac{dB}{B}$$

$$\ln \frac{M}{M_0} = -2 \ln \frac{B}{B_0} = \ln \left(\frac{B_0}{B} \right)^2$$

Kada se riješimo logaritama dobijemo jednadžbu adijabate:

$$MB^2 = M_0B_0^2 = \text{const}$$

(4 boda)

(f) Kada u jednadžbu adijabate uvrstimo jednadžbu stanja:

$$MB^2 = \frac{N\mu_B^2}{2k} \cdot \frac{B^3}{T} = \text{const}$$

dobijemo adijabatsku jednadžbu po T i B :

$$\frac{B^3}{T} = \text{const}$$

(2 boda)

(g) Sada iskoristimo rezultat pod (f), adijabatskom demagnetizacijom dobijemo: $B_0 = 16$ T, $B_1 = 1$ T, $T_0 = 300$ K, $T_1 = ?$.

$$\frac{B_0^3}{T_0} = \frac{B_1^3}{T_1}$$

$$T = \frac{B_1^3}{B_0^3} T_0 = 73 \text{ mK}$$

J. J. Soudich će imati ledenu pivu.

(2 boda)

Ukupno: 17 bodova

(II) Konjceptualni zadaci:

1. Tijelo u dodiru s vodom brže gubi toplinu nego u dodiru sa zrakom jer je toplinski kapacitet vode puno veći od zraka. (2 boda)

2. Cijev kroz koju prolazi tekući helij se jako ohladi zbog čega se na vanjskoj stijenci kondenzira zrak – curi tekući zrak (*2 boda*)
3. Ručnik namočimo morem i njime omotamo lubenicu. Bura koja puše pojačava isparavanje. Isparavanjem se odvodi toplina pa se ručnik s lubenicom hladi. (*2 boda*)
4. Voda koja ispari ima veću entropiju od tekuće pa je ukupna razlika entropije pozitivna. (*2 boda*)
5. Vatra za gorenje treba kisik – u gravitacijskom polju vruća vatra ide prema gore te uvlači kisik od dole – na taj način nikada ne ostaje bez kisika. U bestežinskom stanju vatra gori u svim smjerovima pa brzo ostane bez kisika. (*2 boda*)