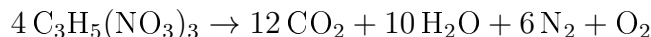


## Kolokvij Vol. 1

"Never was so much owed by so many to so few"  
– W. Churchill

### (I) Numerički zadaci:

1. *Sitan ali dinamitan.* Zatvorena sferična posuda volumena  $V$  puna je nitroglicerina. U datom trenutku nepažljivi tehničar grbavac Eegor šutne posudu i dođe do eksplozije, uz jednadžbu



- (a) Nađi ukupan oslobođen broj molova plinova,  $n$ , ako smo krenuli s  $n_0$  mol nitroglicerina. (2 boda)
- (b) Pri reakciji se oslobodi 1.53 MJ energije po molu nitroglicerina ( $n_0$ ). Ako plinovite produkte smatramo idealnim plinom, s unutrašnjom energijom  $U = 3nRT$ , napiši prvi zakon termodinamike – pretpostavivši da se volumen ne mijenja – i nađi temperaturu plina nakon eksplozije, ako je na početku bila 300 K. (3 boda)
- (c) smatrajući tekući nitroglicerina idealnim plinom, napiši jednadžbe stanja za tekućinu i za plin nakon eksplozije. Ako se volumen ne mijenja i ako je početni tlak tekućine jednak atmosferskom, nađi tlak plina nakon eksplozije. (4 boda)

*Ukupno: 9 bodova*

2. *Hod po žeravici.* Neodgovorna fakirica Mareh Baba sprema se na hod po žaru. To će joj omogućiti pojava znana kao Leidenfrostov efekt, kojom ćemo se baviti u ovom zadatku.

- (a) Pretpostavimo da su tabani fakirice ravne kvadratne ploče, svaka površine  $S = 200 \text{ cm}^2$ . Ako joj se tabani od treme znoje, skiciraj ovisnost temperature kapljice znoja o vremenu, od trenutka kad taban stane na žar dok čitava kapljica ne ispari. Koliko je vrelište znoja u odnosu na čistu vodu? (2 boda)
- (b) Kako znoj isparava, između kože i žara nastaje sloj vodene pare. Koliki mora biti tlak te pare da bi fakirica lebdjela na sloju, ako je njena masa  $m = 65 \text{ kg}$ ? kolika je gustoća pare, ako je ona na temperaturi vrelišta? (3 boda)
- (c) Pretpostavi da para istječe ispod stopala brzinom  $v$ . Napiši Bernoullijevu jednadžbu i nađi brzinu  $v$  u ovisnosti o gustoći pare  $\rho$  i razlici tlakova  $p - p_0$ , gdje je  $p$  tlak ispod stopala, a  $p_0$  vanjski tlak. (2 boda)
- (d) Ako je debljina sloja pare  $h = 0.5 \text{ mm}$ , nađi masu pare koja u sekundi istječe ispod stopala. (2 boda)

Naravno, ta masa se mora stalno nadoknađivati znojenjem ako Mareh Baba i dalje želi lebdjeti na pari, a želi jer je toplinska vodljivost pare mala.

- (e) Neka je žeravica na  $T_0 = 500^\circ\text{C}$ , a stopalo u početnom trenutku na  $37^\circ$ . Pretpostavi da je količina topline koja u jedinici vremena prijeđe sa žara na stopalo jednaka

$$dQ = \lambda S \frac{T_0 - T}{h} dt$$

uz  $\lambda = 0.016 \text{ W/m}\cdot\text{K}$  i  $T$  trenutnu temperaturu stopala. Ako je efektivna masa kože koja se grije  $m_{eff} = 50 \text{ g}$ , a toplinski kapacitet kože  $c = 1500 \text{ J/kg K}$ , napiši diferencijalnu jednadžbu za  $T(t)$ , riješi ju i izračunaj koliko je potrebno da se stopalo ugrije do  $60^\circ\text{C}$  (kada počinje osjet pečenja). (5 bodova)

*Ukupno: 14 bodova*

3. *Magnetski frižider.* Kako postići temperature ispod 1 mK? pomoću frižidera koji radi na adijabatsku magnetizaciju, i čijim funkcioniranjem se bavi ovaj zadatak. Najprije ćemo naći jednadžbu stanja paramagnetske soli, npr. cerij magnezij nitrata, koja se koristi u frižiderima.

(a) zamislite paramagnetsku sol kao hrpu elektrona sa spinovima koji su u vanjskom magnetskom polju  $B$  usmjereni ili u smjeru polja ili suprotno ('gore' ili 'dolje'). Po Boltzmannu, omjer broja spinova 'gore' i 'dolje' je

$$\frac{N_{\uparrow}}{N_{\downarrow}} = e^{\beta\mu_B B}$$

gdje je  $\mu_B$  Bohrov magneton, a  $\beta = 1/kT$ . Nađi magnetizaciju uzorka  $M = \mu_B(N_{\uparrow} - N_{\downarrow})$ , u ovisnosti o  $\beta$ , polju  $B$  i ukupnom broju spinova  $N = N_{\uparrow} + N_{\downarrow}$ . Iskoristi  $e^x \approx 1 + x$ . (4 boda)

(b) koristeći rezultat iz (a) nađi susceptibilnost  $\chi = M/B$  i odredi konstantu  $C$  u Curievom zakonu  $\chi(T) = C/T$ . (2 boda)

Našli smo dakle jednadžbu stanja za varijable magnetizaciju, polje i temperaturu, oblika  $M = C\frac{B}{T}$ . Sad možemo to iskoristiti da nešto i ohladimo.

(c) ako je smanjenje magnetizacije ekvivalentno povećanju tlaka, a povećanje magnetskog polja povećanju volumena, napiši prvi zakon termodinamike s varijablama  $M$  i  $B$  umjesto  $p$  i  $V$ , u diferencijalnom obliku. (2 boda)

(d) Koji član postaje nula ako imamo adijabatski proces? (1 bod)

(e) Ako je magnetska energija  $U = -MB$ , napiši potpuni diferencijal  $dU$  (uzmi  $U$  kao produkt funkcija  $M$  i  $B$ ), uvrsti ga u prvi zakon termodinamike i nađi vezu između  $M$ ,  $dM$ ,  $B$  i  $dB$ . Separiraj  $M$  i  $B$  i integriraj – rezultat je jednadžba adijabate u varijablama  $M$  i  $B$ ! (4 boda)

(f) Pomoću jednadžbe stanja izrazi  $M$  pomoću  $B$  i  $T$  da dobiješ jednadžbu adijabate u varijablama  $B$  i  $T$ . (2 boda)

(g) Klošar Jean-Jacques Soudich ispod mosta na Seni ima magnet od 16 T i hladi pivu. Ako je u pivi otopljena paramagnetska sol, a početna temperatura pive je 300 K, nađi njenu temperaturu nakon adijabatske demagnetizacije sa 16 T na 1 T. (2 boda)

*Ukupno: 17 bodova*

## (II) Konjceptualni zadaci:

1. Zašto je L. diCaprio umro od hipotermije u roku pet minuta kad je s Titanika pao u Atlantik, a K. Winslet (koja se popela na dasku) nije? (2 boda)
2. Što to curi s vanjske strane cijevi kroz koju prolazi tekući helij? (a cijev ne pušta) (2 boda)
3. Kako biste ohladili lubenicu (ispod temperature mora) na pustom otoku, ako imate samo ručnik, more i buru? objasni. (2 boda)
4. U vodi se otopi obična sol. Voda ispari, a sol kristalizira. Naravno, entropija kristala je manja od entropije otopine; što omogućuje drugom zakonu termodinamike da ipak vrijedi? (2 boda)
5. Zašto vatra ne može gorjeti u bestežinskom stanju? (2 boda)