DRŽAVNO NATJECANJE IZ FIZIKE, PULA, 17.-20. travnja 2018

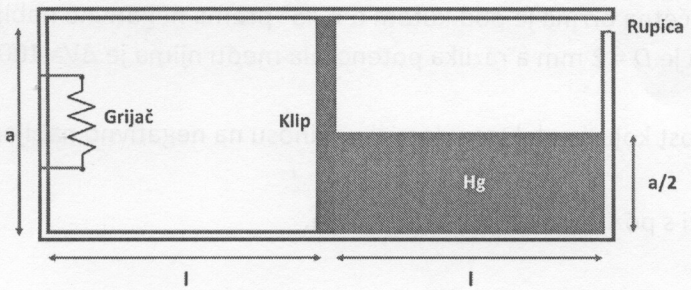
Zadaci - 2. skupina

VAŽNO: Tijekom ispita **ne smijete koristiti nikakav pisani materijal (knjige, bilježnice, formule...)**. Za pisanje koristite kemijsku olovku ili nalivpero. ***Pri ruci ne smijete imati mobitele ni druge elektroničke uređaje osim kalkulatora***.

1. zadatak (20 bodova)

Klip zanemarive debljine i mase, može se gibati bez trenja u cilindru kvadratnog presjeka u vodoravnome smjeru. Stjenke posude i klip izrađeni su tako da ne dozvoljavaju izmjenu topline kroz njih. Lijeva komora je ispunjena idealnim jednoatomnim plinom a desna komora je ispunjena živom do polovine visine. Desna komora je spojena s okolišem (atmosferski tlak) putem rupice na vrhu komore (vidi sliku).

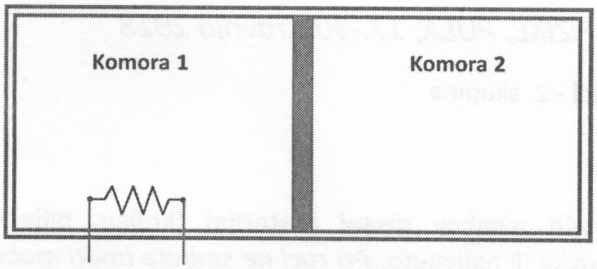
Duljina svake komore je l = 5,00 cm a visina a = 4,00 cm. Početna temperatura je 27°C. Plin se zagrije pomoću grijača u komori i klip istisne svu živu iz komore.



a. Znajući da je srednja vrijednost tlaka kojim živa djeluje na klip jednaka tlaku kojim živa djeluje na polovici svoje visine, nađite ovisnost tlaka plina o volumenu $p(V)$ u ravnoteži, prilikom promjene volumena V u komori u kojoj je grijač ($0 \leq V \leq V_{MAX}$).
b. Odredite temperaturu plina kada klip dođe do kraja posude.
c. Odredite rad plina u tom procesu.
d. Izračunajte toplinu prenijetu plinu putem grijača.

2. zadatak (15 bodova)

Zatvorena posuda podijeljena je u dvije komore sa klipom. Stjenke posude ne dopuštaju izmjenu topline s okolišem. Klip površine 500 cm^2 ne dopušta razmjenu topline između dvije komore i kliže se bez trenja (vidi sliku). Svaka komora sadrži V_0 = 40 L idealnog dvoatomnog plina pri tlaku p_0 = 1 atm i temperaturi T_0 = 0°C. Toplina se, pomoću grijača, predaje plinu u prvoj komori dok se početni tlak ne utrostruči u drugoj komori.



Kad je sustav u ravnoteži izračunajte:

a. Konačnu temperaturi u drugoj komori.
b. Konačnu temperaturu plina u prvoj komori.
c. Toplinu predanu plinu u prvoj komori.
d. Rad koji plin u prvoj komori obavi na plinu u drugoj.
e. Pomak klipa u odnosu na početni položaj.

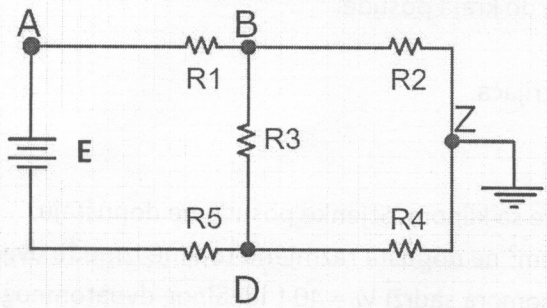
3. zadatak (15 bodova)

Elektron ulijeće brzinom $v_0 = 5{,}6\text{x}10^6$ m/s u prostor između dvije dugačke paralelne ploče, od kojih je gornja pozitivno nabijena a donja negativno. Elektron ulijeće točno na polovici udaljenosti između ploča, a početna brzina je pod kutom $\alpha = 45°$ prema negativno nabijenoj ploči. Udaljenost između ploča je $D = 2$ mm a razlika potencijala među njima je $\Delta V = 100$V. Odredite:

a. Kolika je najmanja udaljenost koju će elektron dostići u odnosu na negativno nabijenu ploču.
b. Gdje će se elektron sudariti s pozitivno nabijenom pločom.

4. zadatak (20 bodova)

Električni krug na slici spojen je u točki Z sa zemljom. Električne komponente od kojih se sastoji imaju sljedeće vrijednosti: E = 10V (unutarnji otpor je zanemariv), $R_1 = 80\ \Omega$, $R_2 = 40\ \Omega$, $R_3 = 20\ \Omega$, $R_4 = 120\ \Omega$, $R_5 = 30\ \Omega$. Izračunajte potencijal u točki A u odnosu na točki Z.



Vrijednosti konstanta:

$\rho_{Hg} = 13{,}6 \times 10^3$ kg/m^3; $P_{atm} = 1$ atm = 101300 Pa; $m_e = 9{,}10 \times 10^{-31}$ kg; $q_e = 1{,}60 \times 10^{-19}$ C

$g = 9{,}81$ m/s2; $R = 8{,}31$ J/K mol.

Rješenja i smjernice za bodovanje – 2. skupina

1. Zadatak (20 bodova)

Ako se klip pomakne za količinu *x* nivo žive će se dignuti na nivo *b.*

a. Za tlak na polovici visine vrijedi:

$p_{1/2} = \frac{1}{4}\rho g a$ **(1 bod)**

Sila kojem djeluje zrak je:

$F = F_z + F_{Hg} = p_{atm}a^2 + \frac{1}{8}\rho g a^3$ **(1 bod)**

Koristeći položaj klipa *x* može se izraziti ovisnost volumena plina o visini žive.

$V = a^2(1 + x) \Rightarrow x = \frac{V}{a^2} - 1$ **(1 bod)**

Ako je $x < 1/2$ živa ne izlazi kroz rupicu sto znaci da se njen volumen ne mijenja.

$\frac{1a^2}{2} = (1 - x)ab \Rightarrow b = \frac{1}{1-x}\frac{a}{2} = \frac{1}{2-V/V_0}\frac{a}{2}$ **(1 bod)**

Gdje $V_0 = a^2$ početni volumen plina. Da bi se odredio izraz za tlak koristi se isti postupak ali uzimaju ci u obzir da visina žive doći će samo do *b*.

$p(V) = p_{atm} + \frac{1}{8}\rho g a\left(\frac{1}{2-V/V_0}\right)^2$ **(2 boda)**

Ako je $x > 1/2$, odnosno $V > 3/2V_0$ živa počinje izlaziti kroz rupicu i tlak plina se održava konstantnim.

$p_1 = p_{atm} + \frac{1}{2}\rho g a$ **(2 boda)**

b. Konačna temperatura može se izračunati koristeći jednadžbu idealnog plina.

$\frac{p_0V_0}{T_0} = \frac{p_1V_1}{T_1}$ **(1 bod)**

$T_1 = T_0\frac{p_1V_1}{p_0V_0} = T_0\frac{p_{atm}+1/2\rho g a}{p_{atm}+1/8\rho g a}\frac{2V_0}{V_0} = 612\text{K} = 339°\text{C}$ **(2 boda)**

c. Rad plina je zbroj rada koji plin mora obaviti spram vanjskog tlaka i tlaka žive.

Vanjski tlak je konstantan i vrijedi:

$W = p_{atm}\,\Delta V = p_{atm}V_0$ **(1 bod)**

Rad uzrokovan tlakom žive jednak je promjeni potencijalne energije žive prilikom premještanja njezinog centra mase do gornje rupice.

$W_2 = mg\,\Delta h = \rho\frac{la^2}{2}g(a - a/4) = \frac{3}{8}\rho g a V_0$ **(2 boda)**

Dakle, ukupni rad je:

$W = \left(p_{atm} + \frac{3}{8}\rho g a\right)V_0 = 8{,}26\,J$ **(2 boda)**

d. Znajući da da je plin jednoatomni, promjena unutarnje energije je:

$\Delta U = nC_V\,\Delta T = \frac{3}{2}p_1V_1 - \frac{3}{2}p_0V_0 = \frac{3}{2}V_0\left(p_{\text{atm}} + \frac{7}{8}\rho g a\right) = 12{,}7\text{ J}$ **(2 boda)**

Iz prvog principa termodinamike vrijedi da je razmijenjena toplina:

$Q = \Delta U + W = 21{,}0\text{ kJ}$ **(2 boda)**

2. Zadatak (15 bodova)

a. Radi se o adjabtskoj promjeni s γ = 7/5, dakle vrijedi:

$p_0^{1-\gamma} T_0^{\gamma} = (3p_0)^{1-\gamma} T_B^{\gamma}$ **(2 boda)**

Iz čega slijedi:

$T_B = T_0 \left(\frac{1}{3}\right)^{\frac{1-\gamma}{\gamma}} = 273{,}15 \left(\frac{1}{3}\right)^{-\frac{2}{7}} = 373{,}9K$ **(2 boda)**

b. Primjenom jednadžbe idealnog plina:

$$T_A = \frac{p_A V_A}{nR} = \frac{3p_0(2V_0 - V_B)}{nR} = \frac{3T_0(2V_0 - V_0)}{V_0} = \frac{3T_0\left(2V_0 - \frac{nRT_B}{3p_0}\right)}{V_0} = 3T_0\left(2 - \frac{T_B}{3T_0}\right) = 1265K$$

(2 boda)

c. Primjenom prvog zakona termodinamike za obje komore.

$Q = W + \Delta U_1$

$0 = -W + \Delta U_2$ **(2 boda)**

Zbrajajući svaki dio jednadžbe dobiva se:

$Q = \Delta U_1 + \Delta U_2 = nc_V(T_A - T_0 + T_B - T_0) =$

$n\frac{5}{2}R(T_A + T_B - 2T_0) = \frac{5p_0V_0}{2T_0}(T_A + T_B - 2T_0) = 40{,}4\ kJ$ **(2 boda)**

d. Iz prvog zakona termodinamike slijedi nadalje:

$$W = Q - \Delta U_1 = Q - nc_V(T_A - T_0) = Q - \frac{5p_0V_0(T_A - T_0)}{2T_0} = Q - \frac{5}{2}p_0V_0\left(\frac{T_A}{T_0} - 1\right) = 3{,}70\ kJ$$

(2 boda)

e. Iz promjene volumena može se izračunati pomak klipa:

$s = \frac{V_A - V_0}{S} = \frac{V_0 - V_B}{S} = \frac{V_0 - \frac{nRT_B}{p_A}}{S} = 43{,}5\ \text{cm}$ **(3 boda)**

3. Zadatak (15 bodova)

Električno polje je usmjereno prema dole i njegova vrijednost je:

$E = \frac{\Delta V}{D}$ **(2 boda)**

Sila teže je zanemariva u odnos na električnu sili, dakle može se napisati:

$a_y = \frac{F_y}{m_e} = \frac{qE_y}{m_e} = +8{,}79 \times 10^{-15}\ m/s^2$ **(2 boda)**

a. U točki gdje je najmanja udaljenost od elektrona do nabijene ploče, brzina elektrona je nula. Dakle može se koristiti jednadžba gibanja:

$v_y^2 = v_{0y}^2 + 2a_y\Delta y$ **(2 boda)**

Gdje Δy je okomita udaljenost od početne točke.

$\Delta y = \frac{(v_o sin\alpha)^2}{2a_y} = -0{,}892\ mm$ **(2 boda)**

Najmanja udaljenost od donje ploče je:

$d = \frac{D}{2} + \Delta y = 0{,}108\ mm$ **(2 boda)**

b. Vrijeme potrebno elektronu da dostigne gornju ploče može se izračunati koristeći jednadžbu gibanja:

$\Delta y = v_{oy} t + \frac{1}{2} a_y t^2$ **(2 boda)**

Gdje se za Δy = 1 mm dobiva t = 1,06x10^{-9}s

Iz toga proizlazi daje horizontalna udaljenost od početne točke:

$\Delta x = v_{0x} t = 4{,}39\ mm$ **(3 boda)**

4. Zadatak (12 bodova)

U čvoru B vrijedi:

$I = I_2 + I_3$ **(1 bod)**

Međutim u D vrijedi:

$I = I_4 + I_3$ **(1 bod)**

Iz toga slijedi da:

$I_4 = I_2$ **(1 bod)**

Sto znaci da su otpornici R_2 i R_4 kao jedna grana otpornika u paralelu sa R_3.

Ekvivalentni strujni krug je:

$\frac{1}{R_{BD}} = \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_2 + R_4} \Rightarrow R_{BD} = 17{,}8\Omega$ **(2 boda)**

Slijedi da:

$I = \frac{E}{R_1 + R_{BD} + R_5} = 78{,}2\ mA$ **(2 boda)**

Nadalje vrijedi:

$V_B - V_D = R_3 I_3 = R_2 I_2 + R_4 I_4 = I_2 (R_2 + R_4)$ **(2 boda)**

Iz čega:

$I_3 = I_2 \frac{R_2 + R_4}{R_3}$ **(2 boda)**

Vrijedi:

$I = I_3 + I_2 = I_2 \frac{R_2 + R_3 + R_4}{R_3}$ **(2 boda)**

Odnosno:

$I_2 = I \frac{R_3}{R_2 + R_3 + R_4} = 8{,}68\ mA$ **(2 boda)**

$I_3 = I_2 \frac{R_2 + R_4}{R_3} = 69{,}6\ mA$ **(2 boda)**

Tada se mogu izračunati vrijednosti napona.

$V_B - V_T = V_B = R_2 I_2 = 0{,}347 V$ **(1 bod)**

$V_A - V_B = I R_1$ **(1 bod)**

Slijedi:

$V_A = I R_1 + V_B = 6{,}61 V$ **(1 bod)**

Eksperimentalni zadatak – 2. skupina

Električna otpornost materijala (ρ) i unutarnji otpor (r) izvora struje

Zadatak

- Odrediti električnu otpornost ρ materijala od kojeg je načinjena priložena žica te unutarnji otpor r izvora struje, **grafičkom metodom** (druge metode, npr. rješavanje sustava jednadžbi će se bodovati s manjim brojem bodova)

Pribor

- žica napravljena od materijala čiju električnu otpornost ρ treba odrediti
- baterija 4,5 V
- ampermetar (ako je priložen multimetar – smije se koristiti samo kao ampermetar)
- 3 žice za spajanje
- 4 krokodila
- milimetarski papir
- plastična cjevčica
- samoljepljiva traka
- ravnalo s mjernom skalom

U sklopu zadatka treba:

1. Nacrtati strujni krug pomoću kojeg će se vršiti mjerenja (2 boda)
2. Teorijski obrazložiti postupak mjerenja i određivanja električne otpornosti ρ materijala od kojeg je načinjena priložena žica te unutarnjeg otpora r izvora struje: opisati koje veličine ćete mjeriti i kako, izvesti odgovarajuće jednadžbe, obrazložiti kako ćete rezultate mjerenja prikazati grafički (**treba biti linearna funkcija**) da bi pomoću grafa odredili električnu otpornost ρ i unutarnji otpor r izvora struje (9 bodova)
3. Napraviti najmanje 10 mjerenja i rezultate prikazati tabelarno (5 bodova)
4. Rezultate prikazati grafički na milimetarskom papiru (**linearna funkcija**) (5 bodova)
5. Pomoću grafa odrediti električnu otpornost ρ materijala (6 bodova)
6. Pomoću grafa odrediti unutarnji opor r izvora struje (3 boda)

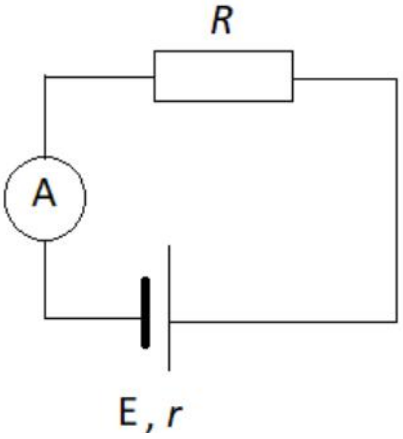
Ukupno eksperimentalni zadatak 30 bodova

Rješenje eksperimentalnog zadatka - 2. skupina

Električni otpor žice R određen je jednadžbom:

$$R = \rho \frac{l}{S} \qquad (1) \qquad (1 \text{ bod})$$

gdje je ρ električna otpornost materijala od kojeg je žica napravljena, l je duljina žice i S je površina njezinog presjeka. Napravimo strujni krug kao što je prikazano na crtežu.



Znači, na bateriju elektromotornog napona E = 4.5 V pomoću spojnih žica spojimo serijski žicu čiju električnu otpornost ρ mjerimo i ampermetar. Ta žica je u strujnog krugu naznačena kao otpor R. Za taj strujni možemo napisati drugi Kirchhoffov zakon:

$$\mathrm{E} = IR + Ir, \qquad (2) \quad (2 \text{ boda})$$

gdje je E elektromotorni napon izvora (baterije), I jakost električne struje, r unutarnji otpor izvora, a je R vanjski otpor kruga tj. otpor žice čiju otpornost mjerimo. U ovim razmatranjima zanemarujemo otpor spojnih žica.

Uvrštavanjem izraza (1) u jednadžbu (2) dobivamo:

$$\mathrm{E} = I\rho \frac{l}{S} + Ir \qquad (3) \quad (2 \text{ boda})$$

Dijeljenjem jednadžbe (3) s I dobivamo linearnu ovisnost veličine $\frac{\mathrm{E}}{I}$ o duljini žice l: (crtež – 2 boda)

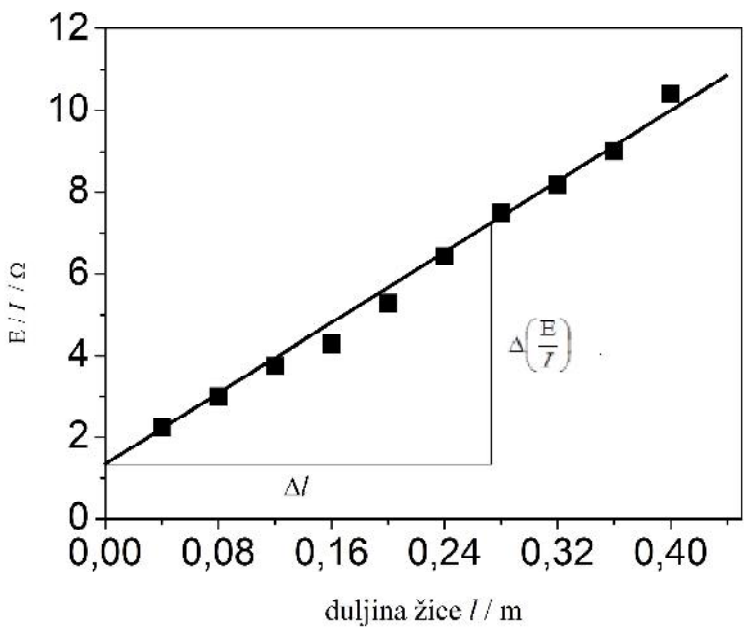
$$\frac{\mathrm{E}}{I} = \frac{\rho}{S} l + r \qquad (4) \qquad (2 \text{ boda})$$

Mjerenja vršimo tako da mijenjamo vanjski otpor mijenjajući duljinu l otporne žice i za svaku duljinu otporne žice ampermetrom izmjerimo jakost električne struje I u krugu. Da bismo grafičkom metodom odredili električnu otpornost ρ materijala od kojeg je otporna žica napravljena i unutarnji otpor izvora r pomoću izmjerenih podataka, grafički ćemo prikazati ovisnost $\frac{\mathrm{E}}{I}$ o l. (2 boda)

Napravimo 10 mjerenja, podatke prikažemo tabelarno i na milimetarskom papiru nacrtamo graf ovisnosti $\frac{\mathrm{E}}{I}$ o l.

Br. mj.	l / m	I / A	$\frac{\mathrm{E}}{I}$ / Ω
1.	0.04	2	2,25
2.	0.08	1.5	3
3.	0.12	1.2	3,75
4.	0.16	1.05	4,29
5.	0.20	0.85	5,29
6.	0.24	0.70	6,43
7.	0.28	0.6	7,5
8.	0.32	0.55	8,18
9.	0.36	0.5	9
10.	0.40	0.4	10,47

(5 bodova)



(5 bodova)

Nagib toga grafa je gdje je $\frac{\Delta\left(\frac{\mathrm{E}}{I}\right)}{\Delta l}$, a prema jednadžbi (4) taj nagib je $\frac{\rho}{S}$, pa izjednačavanjem dobivamo:

$$\rho = \frac{\Delta\left(\frac{\mathrm{E}}{I}\right)}{\Delta l} \cdot S = \frac{\Delta\left(\frac{\mathrm{E}}{I}\right)}{\Delta l} \cdot r_{\mathrm{S}}^{\,2}\pi$$

gdje je r_{S} radijus presjeka žice čiju otpornost određujemo. Da bi odredili radijus r_{S} namotamo $N = 10$ do 15 namotaja žice plastičnu cjevčicu (moramo paziti da namotaji budu složeni točno jedan do drugoga), zatim izmjerimo širinu takve zavojnice x. Sada je polumjer presjeka žice: $r_{\mathrm{S}} = \frac{x}{2N}$. (4 boda)

Pomoću grafa i izmjerenih podataka dobije se:

$$\frac{\Delta\left(\frac{\mathrm{E}}{I}\right)}{\Delta l} \approx 22\ \frac{\Omega}{m}, \qquad r_{\mathrm{S}} = 0{,}1\ \ \mathrm{mm} \ \Rightarrow \qquad \rho \approx 7{,}9 \cdot 10^{-7}\ \Omega\mathrm{m}$$ (2 boda)

Unutarnji otpor izvora: $r = 1.3\ \Omega$. (3 boda)