

DRŽAVNO NATJECANJE IZ FIZIKE 2000. – 2. GRUPA

Zadatak 1 (15 bodova)

Glaska vertikalna cijev ima dva različita poprečna preseka: plodina poprečnog preseka gornjeg dijela cijevi je  $S_1 = 30 \text{ cm}^2$ , a doseg  $S_2 = 10 \text{ cm}^2$ . U ova dijela cijevi se nalazi klip koji bez troška može kritički unutar cijevi, a klipovi su mehanički vezani nezavisećivo, niti dolje  $l = 1 \text{ m}$  i zatvaraju smotinu od  $a = 0.1 \text{ mol}$  idealnog plina. Utiskan mass klipova i slijet je  $m = 5 \text{ kg}$ . Cijev je s obzirom na otvorenost, vanjski tlak zraka iznosi  $p_0 = 10^5 \text{ Pa}$ , temperatura iznosi  $t_0 = 20^\circ\text{C}$ .

- Nadite ravnotežni položaj klipova (tj. udaljenost  $x$  sa sticu), te tlak plina u prostoru između klipova.
- Što se i zašto događa ako položaj zaprijevamo plin?
- Cja koliko treba zaprijeti plinu da bi se cijeli unutar klipova podigao za  $\Delta x = 10 \text{ cm}^2$ ?
- Iznad koje temperature se klipovi više ne podižu? Što se u tom trenutku podigne dogadati s tlakom plina između klipova s daljnjim povećanjem temperature?
- Ubožanje sile teže iznosi  $g = 9.81 \text{ m/s}^2$ , a univerzalna plinska konstanta  $R = 8.314 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$ .

Zadatak 2 (15 bodova)

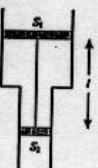
Broj sudara čestica idealnog plina u jedinicama ravne površine u jedinicima vremena dan je formulom

$$b = \frac{n}{4} \langle v \rangle$$

gdje je  $n$  koncentracija čestica idealnog plina, a  $\langle v \rangle = \sqrt{\frac{8kT}{\pi m}}$  je prosječna brzina čestica plina ( $k = 1.38 \times 10^{-23} \text{ J K}^{-1}$  je Boltzmannova konstanta,  $T$  je spoljna temperatura, a  $m$  je masa jedne čestice plina).

U zatvorenoj posudi nalazi se voda i njena različita para. Sustav je u topljinskoj ravnoteži (tj. broj molekula vode koje s površine vode izlaze u paru jednako je broju molekula koje iz parne fazne u vodi), a temperaturna izmjeri  $100^\circ\text{C}$  i tlak u posudi iznosi  $p = 101325 \text{ Pa}$ . Ako od svih molekula vode u paru koje izlaze s vodom površina, njih  $q = 3.6\%$  se nalazi u vodi, odredite masu svih molekula vode koje izlaze s jednom kvadratnom centimetarskom površinom vode u jednoj sekundi i vitez u paru, koje unutar posude smotri idealnim plinom. Molekularna masa jedne molekule vode iznosi  $M = 18 \text{ g/mol}$ , a Avogadroov broj  $N_A = 6.022 \times 10^{23} \text{ čestica/mol}$ .

a) Što se i zašto događa s sabojom na kondenzatoru tijekom ulijevanja ulja?



- b) Nadite ovimost saboja (Q) na plodini kondenzatora za  $t > 0$ , te maksimalnu i neizmjenjivu masu ulja na plodini kondenzatora. Grafički prikazite  $Q(t)$  ovimost.

c) Što pokazuje ampermetar tijekom ulijevanja ulja?

Dielektrična konstanta uljoma iznosi  $\epsilon_0 = 8.85 \times 10^{-12} \text{ F/m}$ .

Zadatak 4 (25 bodova)

Na plodici  $A_1$  i  $A_2$  bakrene plodice, duljine  $d = 1 \text{ mm}$ , širine  $l = 1 \text{ cm}$  i duljine  $x = 2 \text{ cm}$ , priključena je izvor stalnog električnog napona  $U$ , tako da je pozitivan pol izvora napona priključen na plodinu  $A_1$ , a negativan pol na plodinu  $A_2$ .

a) Koliki je smjer struje uz gore navedeni polaritet priključenog napona?

b) Koliki mora biti napon  $U$  da bi kroz plodnicu tečala struja jakosti  $I = 10 \text{ A}$ , ako otpornost plodice iznosi  $\rho = 17 \text{ m}\Omega\text{m}$ ? Koliki je tada napon  $U$  koji mijeri voltmeter  $V_1$  priključen na plodice  $A_1$  i  $A_2$ ?

c) Pretpostavite da su nositelji električne struje elektroni saboja  $e = -1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$ . Koji je smjer gibanja elektrona?

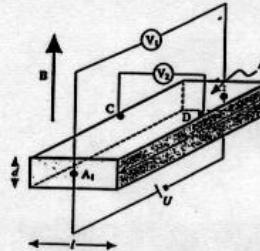
d) Voltmetar  $V_2$  mijeri napon u točkama  $C$  i  $D$ , koje su točno nasuprot jedna drugoj. Koliki je napon  $U_{CD}$  koji mijeri voltmeter  $V_2$  uz uvjet iz b) dijelu zadatka?

e) Plodica se stavi u jednostavno vanjsko magnetsko polje  $B$  između  $V_1$  i  $V_2$  koje je ekonomicno na najveću plodinu plodice i usmjereno kao na sticu. Nakon kratkog vremena voltmeter  $V_2$  počinje stalni napon  $U_{CD} = 4.9 \times 10^{-7} \text{ V}$ , s time da je negativan polaritet u točki  $D$ . Zato se javlja taj napon? (Taj se efekt naziva Hallov efekt.)

f) Izračunajte brzinu elektrona u plodici koristeći se podacima iz c) dijelu zadatka.

g) Odredite koncentraciju vodljivih elektrona u bakru uz veličinu zadane u b), c) i e) dijelu zadatka.

h) Ako je gustoća bakra  $\tau = 8900 \text{ kg/m}^3$ , molarna masa bakra  $A_{Co} = 63.54 \text{ g/mol}$  i Avogadroov broj  $N_A = 6.022 \times 10^{23} \text{ čestica/mol}$ , izračunajte koliki bi u tom slučaju bio prosječan broj vodljivih elektrona (tj. onih koji sudjeluju u vodenju električne struje) po atomu bakra.



Zadatak 3 (15 bodova)

Plodice plodastog kondenzatora imaju oblik kvadratne stranice  $a = 20 \text{ cm}$ , i razmaknute su da  $d = 3 \text{ mm}$ . Kondenzator je vertikalno smješten u duboku cilindričnu posudu promjera  $D = 30 \text{ cm}$  tako da jednom svojom stranicom leži na horizontalnom osnovu posude. Plodice su priključene na izvor stalnog istosmjernog napona od  $U = 100 \text{ V}$ , a u surži s izvornim naponom je priključen ampermetar. U posudi se u trenutku  $t = 0$  počinje ulijevati ulje s relativnom dielektričkom konstantom  $\epsilon_r = 2.2$  brzinom od  $r = 1 \text{ mm/s}$ .

a) Što se i zašto događa s sabojom na kondenzatoru tijekom ulijevanja ulja?

DRŽAVNO NATJECANJE IZ FIZIKE 2000. - 2. grupa

Eksperimentalni zadatak

ODREĐIVANJE UNUTRAŠNJEOTPORA IZVORA STRUJE

Pribor:

- baterija 4,5 V
- 4 otpornika ( $33 \Omega$ ,  $47 \Omega$ ,  $68 \Omega$ ,  $1 \Omega$ )
- voltmetar
- 5 žica za spajanje
- 8 krokodilki
- milimetarski papir

Zadatak:

Odredi unutarnji otpor izvora struje

- Objasni postupak, nacrtaj potrebni strujni krug i izvedi potrebne relacije za izvršenje zadatka (10 bodova)
- Napraviti najmanje 7 mjerjenja te rezultate mjerjenja prikazati tabelarno i grafički (I-U karakteristiku) (8 bodova)
- Grafički prikazati ovisnost snage o jakosti struje (3 boda)
- Izračunati maksimalnu snagu uz pretpostavku da je unutrašnji otpor stalan (uzeti prosječnu vrijednost unutrašnjeg otpora) (5 bodova)
- Diskutirati rezultate mjerjenja i provesti račun oporeške za unutrašnji otpor

**DN-2000-9.**  
**Rezultati zadatka 2. grupe (2000) i smjernice za bodovanje**

**Zadatak 1 (15 bodova)**

a) U ravnotežnom položaju rezultanta svih sila koje djeluju na klipove je nula. (1)

Sile prema dolje su  $p_0S_1$ ,  $p_1S_2$ , napetost niti  $T$  i težina sustava  $mg$ , a sile prema gore su  $p_0S_2$ ,  $p_1S_1$  i napetost niti  $T$ , gdje je  $p_1$  tlak u prostoru između klipova. (1)

$$\text{Odatle je } p_1 = p_0 + \frac{mg}{\Delta S} = 124525 \text{ Pa, gdje je } \Delta S = S_1 - S_2, \text{ i tlak je konstantan.} \quad (2)$$

Iz jednadžbe stanja idealnog plina, volumen prostora između klipova je

$$V_0 = \frac{nRT_0}{p_1} = 1.957 \times 10^{-3} \text{ m}^3 \quad (1)$$

$$V_0 = xS_1 + (l - x)S_2 = lS_2 + \Delta Sx \quad (1)$$

$$\Rightarrow x = \frac{V_0 - lS_2}{\Delta S} = 0.4786 \text{ m} \quad (1)$$

b) Zagrijavanjem plina sustav se podiže jer je promjena izobarna.

$$c) T_1 = \frac{V_1}{V_0} T_0 = \frac{(x + \Delta x)S_1 + (l - (x + \Delta x))S_2}{V_0} T_0 = \left(1 + \frac{\Delta x \Delta S}{V_0}\right) T_0 \quad (1)$$

$$T_1 = 323.109 \text{ K} \quad (1)$$

$$\text{Plin treba zagrijati za } \Delta T = T_1 - T_0 = 29.959 \text{ K} \quad (1)$$

d) Klipovi se više ne podižu za  $x = l$ .

$$V_2 = S_1 l = \frac{nRT_2}{p_1} \quad (1)$$

$$\Rightarrow T_2 = \frac{p_1 S_1 l}{nR} = 449.33 \text{ K} \quad (1)$$

Za  $T > T_2$  klipovi se više ne podižu i tlak počinje rasti zbog izohorne promjene. (1)

**Zadatak 2 (15 bodova)**

Iz jednadžbe stanja idealnog plina  $pV = \mu RT$  ( $\mu$  je množina plina) (1)

$$\text{dobiva se } n = \frac{p}{kT}. \quad (2)$$

$$\text{Masa svih molekula } B_1 \text{ koje udaraju u površinu ploštine } A \text{ u } 1 \text{ s je } B_1 = b m_0 A. \quad (3)$$

$$\text{Masa svih molekula } B \text{ koje ulaze u vodu površine } A \text{ u } 1 \text{ s je } B = \eta B_1. \quad (3)$$

$$\Rightarrow \frac{B}{A} = \eta p \sqrt{\frac{M_V}{2\pi R T}} \text{ (gdje je } R = kN_A). \quad (3)$$

$$\frac{B}{A} = 3.505 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2 \text{ s}}. \quad (1)$$

$$B = 0.3505 \times 10^{-3} \text{ kg/s} = 0.3505 \text{ g/s.} \quad (2)$$

**Zadatak 3 (15 bodova)**

a) Tijekom ulijevanja ulja, obloge kondenzatora su ekvipotencijalne plohe, pa je ukupni kapacitet  $C$  jednak paralelnom spoju kondenzatora: onoga u zraku ( $C_1$ ) i onoga u ulju visine stupca ulja  $x$  ( $C_2$ ). (2)

$$C_1 = \epsilon_0 \frac{a(a-x)}{d} \quad (1)$$

$$C_2 = \epsilon_0 \epsilon_r \frac{ax}{d} \quad (1)$$

$$C = C_1 + C_2 = \frac{\epsilon_0 a}{d} (a + x(\epsilon_r - 1)) \quad (1)$$

Naboj  $Q = CU$ , a kako je  $U = \text{const}$ . i razina ulja  $x$  raste, naboju  $Q$  na pločama raste do trenutka kada je cijeli kondenzator uronjen u ulje. (1)

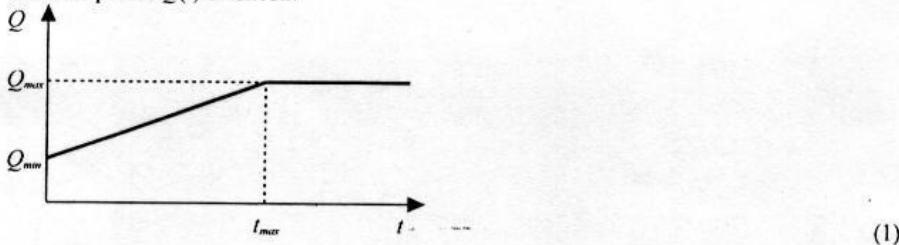
b) Površina dna posude je  $S = \left(\frac{D}{2}\right)^2 \pi$ . (1)

Razina ulja se u vremenu mijenja po relaciji  $xS = rt$ . (1)

$$C(t) = \frac{\epsilon_0 a}{d} \left( a + (\epsilon_r - 1) \frac{4rt}{D^2 \pi} \right) = 1.18 \times 10^{-10} + 1.669 \times 10^{-13} t \text{ [F]} \quad (1)$$

$$Q(t) = UC(t) = 1.18 \times 10^{-8} + 1.669 \times 10^{-11} t \text{ [C]} \quad (1)$$

Grafički prikaz  $Q(t)$  ovisnosti:



Minimalan naboj:  $t = 0, Q_{\min} = 1.18 \times 10^{-8} \text{ C}$  (1)

Maksimalan naboj (na dva načina):

1) ulje je ispunilo cijeli kondenzator,  $C_{\max} = \epsilon_0 \epsilon_r \frac{a^2}{d}, Q_{\max} = UC_{\max} = 2.596 \times 10^{-8} \text{ C}$  (1)

2) izračunati vrijeme potrebno da razina ulja bude jednaka  $a$ :

$$t_{\max} = \frac{Sa}{r} = \frac{D^2 \pi a}{4r} = 848.23 \text{ s, uvršteno u formulu za } Q(t) \text{ daje } Q_{\max} = 2.596 \times 10^{-8} \text{ C} \quad (1^*)$$

c) Promjena naboja u vremenu je struja,  $I = \frac{\Delta Q}{\Delta t}$  (1)

Naboj se mijenja linearno u vremenu, struja se može dobiti na dva načina:

1)  $I = \frac{Q_{\max} - Q_{\min}}{t_{\max} - 0} = 1.669 \times 10^{-11} \text{ A}$  (1)

2)  $I = \frac{Q(t_2) - Q(t_1)}{t_2 - t_1} = \frac{1.669 \times 10^{-11} (t_2 - t_1)}{t_2 - t_1} = 1.669 \times 10^{-11} \text{ A}$  (1\*)

Sa zvjezdicom su označeni bodovi za alternativan način rješavanja zadatka.

#### Zadatak 4 (25 bodova)

a) Smjer struje je od  $A_1$  prema  $A_2$ . (1)

b)  $U = U_1 = IR = I\rho \frac{x}{dl} = 3.4 \times 10^{-4} \text{ V}$  (2)

Napon  $U$  jednak je naponu  $U_1$  koji pokazuje voltmeter  $V_1$ . (1)

c) Smjer gibanja elektrona je od  $A_2$  prema  $A_1$ . (1)

d)  $U_{CD} = 0$  (1)

e) Lorentzova sila na elektrone otklanja elektrone prema strani D,  $\mathbf{F} = -|e|\mathbf{v} \times \mathbf{B}$ . (4)

U ravnoteži se uspostavlja električno polje  $E = vB$ . (2)

$$U_{CD} = El = vBl \quad (2)$$

$$f) v = \frac{U_{CD}}{Bl} = 4.9 \times 10^{-5} \text{ m/s} \quad (2)$$

g) Gustoća struje u pločici je  $j = n|e|v$ , gdje je  $n$  gustoća vodljivih elektrona. (2)

$$I = jld \quad (1)$$

$$\Rightarrow n = \frac{IB}{|e|U_{CD}d} = 1.276 \times 10^{29} \text{ elektrona/m}^3 \quad (2)$$

h) Broj atoma bakra u pločici je  $N_{Cu}$ ,  $\mu$  je množina bakra,  $m$  je masa pločice, a  $V_0$  volumen pločice:

$$N_{Cu} = \mu N_A = \frac{m}{A_{Cu}} N_A = \frac{\tau V_0}{A_{Cu}} N_A \quad (1)$$

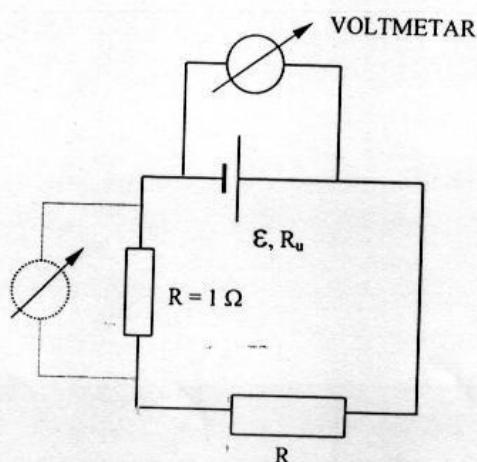
$$n_{Cu} = \frac{N_{Cu}}{V_0} = \frac{\tau}{A_{Cu}} N_A = 8.43 \times 10^{28} \text{ atoma bakra/m}^3 \quad (2)$$

Prosječan broj vodljivih elektrona po atomu bakra je  $\frac{n}{n_{Cu}} = 1.5136$ . (1)

**DRŽAVNO NATJECANJE IZ FIZIKE 2000. - 2. grupa**  
**Rješenje eksperimentalnog zadatka**

**ODREDIVANJE UNUTRAŠNJEJG OTPORA IZVORA STRUJE**

Strujni krug je potrebno pomoću danog pribora naparaviti kao što je prikazano na slici:



$R$  je otpor u strujnom krugu koji se može mijenjati slaganjem različitih kombinacija serijskog i paralelnog spajanja danih otpornika iz pribora ( $33 \Omega$ ,  $47 \Omega$ ,  $68 \Omega$ ). Na taj način možemo mijenjati uvjete u strujnom krugu kako bi dobili više različitih mjerjenja. Pomoću voltmetra, kako prikazuje slika mjerit ćemo pad napona  $U$  na vanjskom otpisu, a mjeranjem pada napona na otporu od  $1 \Omega$  (na slici prikazano isprekidanim linijama) pomoću voltmetra možemo odrediti jakost el. struje  $I$  u krugu.

Primjenjujući drugi Kirchhoffov zakon možemo pisati:

$$E = I \cdot R_u + U \quad (1)$$

gdje je  $E$  elektromotorni napon izvora, a  $R_u$  unutrašnji otpor izvora.  
 Iz ove jednadžbe dobivamo za unutrašnji otpor izvora struje:

$$R_u = \frac{E - U}{I} \quad (2)$$

Snagu koju izvor razvija u vanjskom dijelu kruga odredit ćemo prema izrazu:

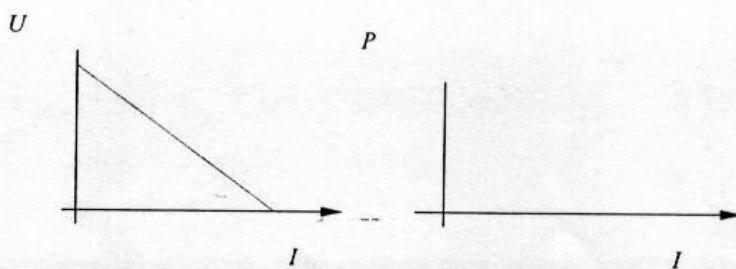
$$P = U \cdot I \quad (3)$$

Prije svakog novog mjerjenja potrebno je izmjeriti i vrijednost elektromotornog napona  $E$  jer se baterija tokom mjerjenja troši.  
(10 bodova)

Napravimo 7 različitih mjerjenja i rezultate prikažemo u tabeli:

Br. mjerjenja	$E$ (V)	$U$ (V)	$I$ (A)	$R_u$ ( $\Omega$ )	$\Delta R_u$ ( $\Omega$ )	$P$ (W)

Ovisnost napona  $U$  i snage  $P$  o jakosti struje  $I$  prikazat ćemo na grafovima:



Uz pretpostavku da je unutarnji otpor stalan, maksimalnu snagu možemo izračunati kombiniranjem izraza (1) i (3). Naime iz te dvije formule dobije se da je snaga u vanskrom dijelu kruga kvadratna funkcija jakosti struje:

$$P = I(E - I \cdot R_u).$$

Određivanjem tjemena parabole dobije se da je maksimalna snaga:

$$P_{\max} = \frac{E^2}{4 \cdot R_u} \quad (4) \quad (5 \text{ bodova})$$

Diskusija i račun pogreške za unutrašnji otpor (4 boda)