

**DRŽAVNO NATJECANJE IZ FIZIKE – POREČ, 10.-13. travnja 2019.**

**Srednje škole – 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)**

Dva pozitivna točkasta naboja  $Q$  pričvršćeni su u točkama  $(a/2, a/2; 0)$  i  $(-a/2; a/2; 0)$ , a dva točkasta naboja  $-Q$  u točkama  $(-a/2; -a/2; 0)$  i  $(a/2; -a/2; 0)$ . Poznate su vrijednosti  $a > 0$  i elektrostatska energija ukupnog sustava naboja  $U_E$ .

- Odredite  $Q$  i predznak rada  $W$  potrebnog za stvaranje takve konfiguracije dovođenjem svih naboja iz beskonačnosti.
- Odredite rad  $W$  koji treba uložiti kako bi se jedan od četiri naboja doveo iz beskonačne udaljenosti u navedeni položaj, dok su preostala tri naboja na navedenim položajima.
- Da bi testni naboj  $q$  prešao iz točke  $A = (0; -a/2; 0)$  u točku  $B = (0; 0; 0)$ , uložen je rad  $W < 0$ . Odredite predznak i iznos naboja  $q$ .
- U određenom trenutku se naboj smješten u točki  $(a/2; a/2; 0)$  se oslobodi. Zanemarujući gravitacijsku silu odredite smjer njegove brzine odmah nakon tog trenutka.

**2. zadatak (15 bodova)**

Kapacitet kondenzatora kod kojeg je debljina dielektričnog materijala mnogo manja od dimenzija ploča kondenzatora ( $d^2 \ll S$ ) može se izračunati koristeći izraz za slučaj kondenzatora s paralelnim pločama. Neka je  $\epsilon_R$  dielektrična konstanta dielektričnog materijala i  $E_M$  maksimalno električno polje koje dielektrični materijal može podnijeti prije nego se uništi. Kondenzator je opisan s dvije karakteristične vrijednosti, kapacitetom  $C$  i maksimalnim naponom koji može podnijeti,  $V_{max}$ . Da ne bi došlo do zamjene oznake za volumen kondenzatora s naponom na kontaktima kondenzatora koristi će se oznaka  $Y$  za volumen dielektričnog materijala.

- Dokažite da volumen  $Y$  kondenzatora kapaciteta  $C$  i maksimalnog napona  $V_{max}$  ne može biti manji od jedne određene minimalne vrijednosti. Izrazite  $Y_{min}$  u ovisnosti o  $E_M$  i  $\epsilon_R$ .
- S kojim od navedenih materijala je moguća proizvodnja kondenzatora minimalnog volumena

| MATERIJAL        | $\epsilon_R$ | $E_{max}$ (kV/mm) |
|------------------|--------------|-------------------|
| Parafinski papir | 2.5          | 50                |
| Keramika         | 60           | 15                |
| Silikat          | 8            | 90                |
| Stiropor         | 2.6          | 50                |
| Porculan         | 6            | 25                |
| Epoksidna smola  | 4            | 35                |
| Teflon           | 2.2          | 20                |

- c) Koji od navedenih materijala omogućava proizvodnju kondenzatora kapaciteta  $4.4 \mu\text{F}$ , maksimalnog napona  $50 \text{ V}$  i ima oblik paralelopipeda dimenzija  $10 \times 10 \times 2 \text{ mm}^3$ .

### 3. zadatak (20 bodova)

Sustav koji se sastoji od idealnog dvotomnog plina izvodi reverzibilni termodinamički kružni proces u smjeru kazaljke na satu, gdje su:  $A \rightarrow B$  izobara,  $B \rightarrow C$  izohora,  $C \rightarrow A$  adijabata.

Uz pretpostavku da su poznati  $p_A$  i  $V_A$  i da vrijedi  $V_B = V_A/x$ , gdje je  $x > 1$ :

- Odredite  $p_C$  kao funkciju od  $p_A$  i  $x$ .
- Pronađite učinkovitost  $\eta$  kružnog procesa kao funkciju od  $x$ .
- Uzimajući u obzir da je funkcija  $\eta(x)$  monotono pada za  $x > 1$ , odredite vrijednost od  $x$  iz intervala  $2.5 < x < 3.5$ , s greškom manjom od  $0.05$ , za koju je učinkovitost  $\eta = 24\%$ .
- Odredite u kojim je stanjima, ili stanju, kružnog procesa entropija sustava maksimalna i u kojim je stanjima, ili stanju, kružnog procesa entropija sustava minimalna. Izračunajte vrijednost  $S_{\max} - S_{\min}$  kao funkciju od  $x$  i broja molova plina  $n$ .

### 4. zadatak (15 bodova)

Dušik se nalazi u cilindru volumena  $2 \text{ litre}$  s klipom zanemarive mase koji služi kao čep. U jednom trenutku blokiramo klip, te zagrijavamo plin na različite temperature i mjerimo tlak. Rezultati su prikazani u donjoj tablici:

| $T(^{\circ}\text{C})$ | $p(\text{Pa})$ |
|-----------------------|----------------|
| 10                    | 168100         |
| 20                    | 174000         |
| 50                    | 191800         |
| 100                   | 221500         |
| 150                   | 251200         |
| 250                   | 310600         |

- Skicirajte graf temperature plina kao funkcije tlaka u cilindru i odredite parametre krivulje koja najbolje opisuje podatke.
- Kolika je masa dušika unutar cilindra?

Neka se klip sada slobodno kreće duž osi cilindra i neka je sustav (cilindar + klip) okružen atmosferskim tlakom. Klip se nikako ne može odvojiti od cilindra. Osim u slučaju kada je izričito navedeno, zanemarujemo razmjenu topline između plina i vanjskog okoliša.

- Ako je temperatura plina u ravnoteži  $23^{\circ}\text{C}$ , koliki je volumen unutar cilindra (u litrama)? Cilindar je potopljen pod vodom,  $7 \text{ m}$  ispod površine. Temperatura plina u cilindru je  $23^{\circ}\text{C}$ .
- Koji je sad volumen plina, pod pretpostavkom da se temperatura ne mijenja?
- Ostavljajući cilindar pod vodom, koju količinu topline je potrebno oduzeti plinu, tako da njegov volumen postane  $2 \text{ litre}$ ?
- Koja bi trebala biti masa cilindra, ovisno o temperaturi plina  $T$ , kako bi se osiguralo da cilindar ostane u ravnoteži na toj dubini? Pod ravnotežom podrazumijevamo da se ne diže na površinu niti tone dolje. Materijal cilindra zauzima zanemariv volumen.

(Molarna masa dušika  $M(\text{N}) = 14 \text{ g/mol}$ , kemijska formula dušika je  $\text{N}_2$ ,  $c_{\text{dušik}} = 1,04 \text{ kJ kg}^{-1} \text{K}^{-1}$ ,  $\rho_{\text{voda}} = 1,0 \text{ g cm}^{-3}$ )

**Fizikalne konstante:**

$$R = 8,31 \text{ J/K mol}$$

$$P_{atm} = 1 \text{ atm} = 101300 \text{ Pa}$$

$$g = 9,81 \text{ m/s}^2$$