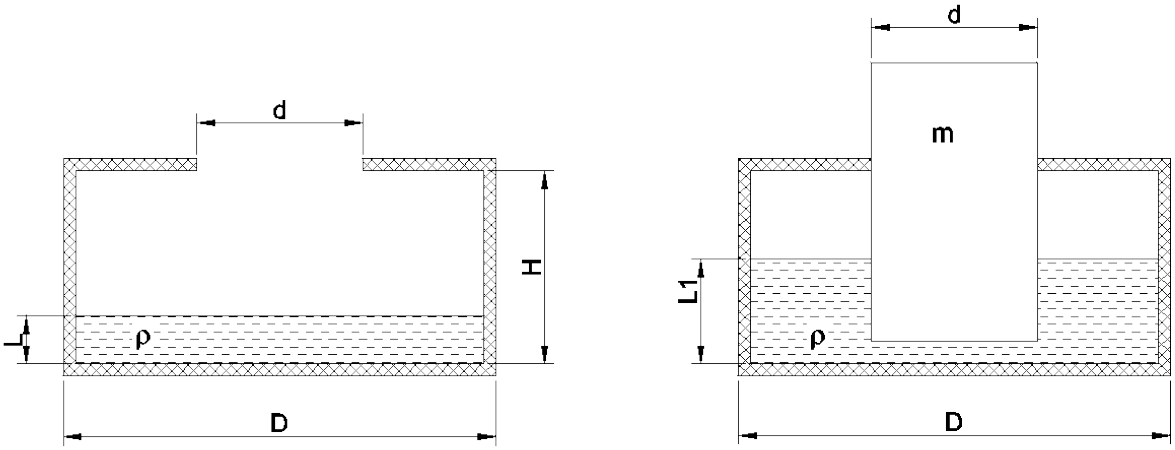
DRŽAVNO NATJECANJE MLADIH FIZIČARA

Brodarica, 25. - 28. travnja 2016.

Srednje škole – 2. skupina

1. zadatak (17 bodova)

U cilindričnoj posudi nalazi se tekućina gustoće $\rho = 1000\ kg/m^3$. Dno posude je promjera $D = 0.4$ m, a otvor na vrhu je promjera $d = 0.1$ m. U posudu se polako stavi klip. Trenje između klipa i posude zanemarite, pretpostavite savršeno brtvljenje i izotermnu promjene zraka prilikom spuštanja klipa. Konačni položaj mirnog i neopterećenog klipa prikazan je na desnoj slici. Izračunajte masu klipa. Atmosferski tlak iznosi 100 000 Pa, $H = 0.28$ m, $L = 0.14$ m, $L_1 = 0.15$ m.

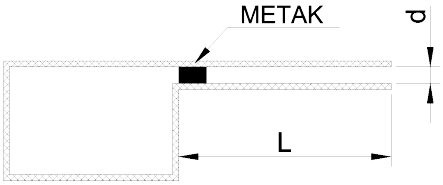


2. zadatak (20 bodova)

Kod zračnih pušaka se za ispaljivanje metka koristi zrak pod visokim tlakom koji se prilikom okidanja ostvari u spremniku iza metka te uzrokuje gibanje metka prema vani. Na slici je prikazana pojednostavljena skica zračne puške u trenutku ispaljivanja metka. Volumen spremnika iza metka, u kojem je stlačeni zrak pod tlakom 10 puta većim od atmosferskog, je $V_1 = 6\ cm^3$.

a) Izračunajte brzinu metka na izlazu iz cijevi

b) Pretpostavite da se duljina cijevi puške može mijenjati. Za koju duljinu bi se dobila najveća brzina metka? Svi ostali parametri se ne mijenjaju. Koliko iznosi maksimalna brzina?



Pretpostavite da je zrak idealni plin i da je tijekom ispaljivanja ekspanzija adijabatska. Zanemarite trenje. Duljina cijevi je $L = 0.48$ m. Promjer cijevi (kalibar) je 4.5 mm. Adijabatska konstanta za zrak iznosi 1.4. Masa metka je 0.8 g. Duljina metka u odnosu na duljinu cijevi je zanemariva. Atmosferski tlak iznosi 10^5 Pa.

DRŽAVNO NATJECANJE MLADIH FIZIČARA

Brodarica, 25. - 28. travnja 2016.

3. zadatak (15 bodova)

Elektronski top emitira tanak i vremenski stalan snop elektrona. Za ubrzavanje se koristi razlika potencijala 50 kV. Snop udara okomito na učvršćenu neutralnu metalnu kuglu u kojoj se elektroni zaustave. Središte kugle udaljeno je 0.5 m od topa. 100 sekundi nakon početka emitiranja elektrona, temperatura kugle poraste za Δt.

a) Odredite Δt ako je jakost struje snopa elektrona 0.3 μA

b) Odredite za koliko je porasla temperatura kugle 1 ns nakon uključivanja topa

Pretpostavite da se elektroni odvode s kugle preko uzemljenja i da pri tome nema izmjene topline. Cijeli sustav se nalazi u vakuumu. Polumjer kugle je 0.005 m, gustoća je 2700 kg/m^3, specifični toplinski kapacitet je 900 J/(kgK). Zanemarite relativističke učinke.

Naboj elektrona je $-1.6\cdot10^{-19}$C, a masa $9.1\cdot10^{-31}$ kg.

4. zadatak (18 bodova)

Između tri jednake paralelne metalne ploče stavi se dielektrik čija je dielektrična konstanta ε_r. Vanjske ploče spojene su na bateriju napona U. Razmak između susjednih ploča je D, duljina umetnutog dijela dielektrika je x, visina i širina ploča je L.

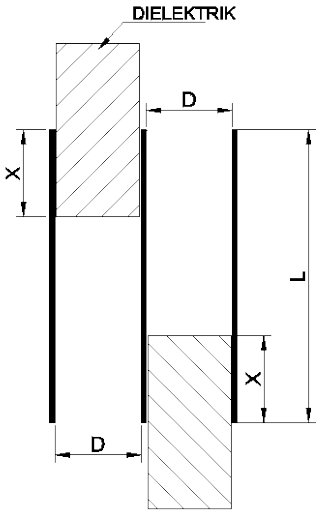
a) Odredite kapacitet sustava prikazanog na lijevoj slici

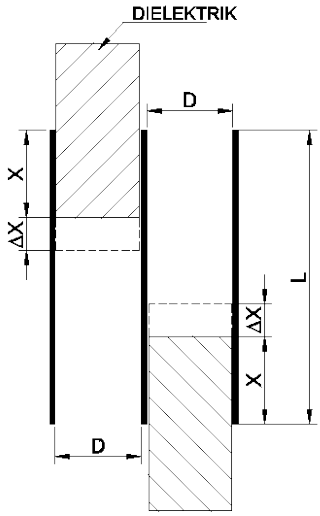
b) Ako se svaki dielektrik pomakne za Δx prema središtu (lijevi dielektrik se spusti, a desni podigne za Δx kao na desnoj slici), odredite kapacitet sustava

c) Odredite za koliko se promijenila energija sustava zbog pomicanja dielektrika za Δx. Vanjske ploče su cijelo vrijeme spojene na bateriju

d) Odredite za koliko bi se promijenila energija ovakvog sustava zbog pomicanja dielektrika za Δx ako se, prije pomicanja dielektrika, metalne ploče odspoje od baterije

Sve tražene vrijednosti izrazite pomoću zadanih veličina.





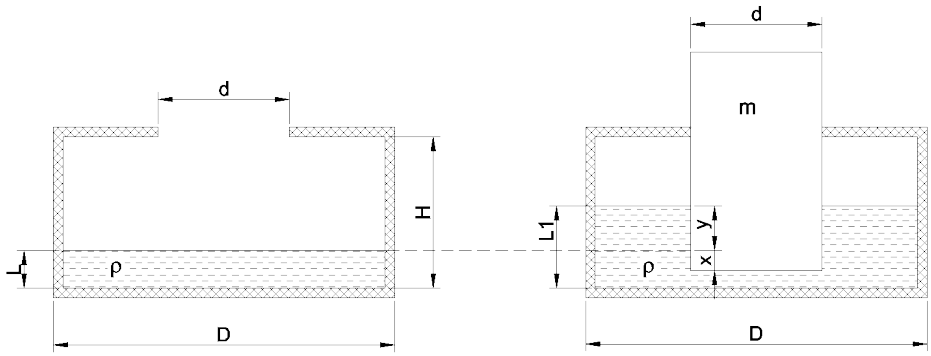
DRŽAVNO NATJECANJE MLADIH FIZIČARA

Brodarica, 25. – 28. travnja 2016.

Srednje škole – 2. skupina
Rješenja i smjernice za bodovanje

1. zadatak (17 bodova)

p_{at}=100 000 Pa, ρ = 1000 kg/m^3, D = 0.4 m, d = 0.1 m, H = 0.28 m, L = 0.14 m, L_1 = 0.15 m, g = 10 m/s^2



$$V_o = \frac{D^2\pi}{4}(H-L) \qquad (0.01758\ \text{m}^3)$$ **(2 boda)**

$$V_1 = \frac{(D^2-d^2)\pi}{4}(H-L_1) \qquad (0.01531\ \text{m}^3)$$ **(2 boda)**

Izotermna kompresija: $p_o V_o = p_1 V_1$ **(1 bod)**

$$p_1 = p_o \frac{D^2(H-L)}{(D^2-d^2)(H-L_1)} \qquad (114\ 871\ \text{Pa})$$ **(2 boda)**

$$\frac{d^2\pi}{4}x = \frac{(D^2-d^2)\pi}{4}y$$ **(2 boda)**

Za $y = L_1 - L = 0.01\,\text{m}$

dobije se: $x = 0.15\,\text{m}$ **(1 bod)**

Klip miruje pa vrijedi: $mg = S\Delta p$ **(2 boda)**

$$S\Delta p = \frac{d^2\pi}{4}\lfloor g\rho(y+x) + (p_1 - p_{at})\rfloor$$ **(3 boda)**

Masa klipa je $m = \frac{d^2\pi}{4}(\rho(y+x) + (p_1 - p_{at})/g)$ **(1 bod)**

$m = 12.930\,\text{kg}$ (13.156 kg za g = 9.81 m/s^2) **(1 bod)**

2. zadatak (20 bodova)

$V_1 = 6\cdot10^{-6}$ m^3, L = 0.48 m, d = 0.0045 m, γ = 1.4, m = 0.0008 kg, $p_{at} = 10^5$ Pa, $p_1 = 10^6$ Pa, R = 8.314 J/(mol·K)

a) Volumen plina(zraka) u trenutku izlaska metka iz cijevi:

(*) $$V_2 = V_1 + \frac{d^2\pi}{4}L \qquad (0.00001363\ \text{m}^3)$$ **(1 bod)**

Rad plina pri adijabatskom širenju ($Q = 0$):

$$W_{plina} = -\Delta U = -nC_V\Delta T$$ **(1 bod)**

Koristeći $\frac{p_1V_1}{T_1}=\frac{p_2V_2}{T_2}$ i $p_1V_1^{\gamma}=p_2V_2^{\gamma}$ za promjenu temperature se dobije:

$$\Delta T = T_2 - T_1 = \frac{p_2V_2 - p_1V_1}{nR}$$

$$= \frac{p_1V_1}{nR}\left((\frac{V_1}{V_2})^{\gamma-1} - 1 \right)$$ **(1 bod)**

Koristeći: $\gamma = \frac{C_p}{C_V}$ i $C_p = C_V + R \Rightarrow C_V = \frac{R}{\gamma - 1} = 20.785\,\frac{\text{J}}{\text{molK}}$ **(1 bod)**

$$W_{plin} = \frac{p_1V_1}{R}\left(1-(\frac{V_1}{V_2})^{\gamma-1}\right)C_V \qquad (W_{plin} = 4.197\text{ J})$$ **(1 bod)**

Rad vanjskog zraka: $W_{at} = p_{at}\Delta V = p_{at}(V_1 - V_2) = -p_{at}\frac{d^2\pi L}{4} \quad (W_{at} = -0.763\text{ J})$ **(2 boda)**

Promjena kinetičke energije metka jednaka je ukupnom obavljenom radu:

$$\Delta E_{kin} = \frac{mv^2}{2} - 0 = W_{plin} + W_{at}$$ **(3 boda)**

Brzina metka na izlazu: $v = \sqrt{\frac{2}{m}(W_{plin} + W_{at})} = 92.65\,\frac{\text{m}}{\text{s}}$ **(2 boda)**

b)Cijev ima smisla produživati dok se tlak plina ispred metka ne izjednači s atmosferskim:

$$p_2 = p_{at}$$ **(3 boda)**

$$V_2 = (\frac{p_1}{p_{at}})^{1/\gamma}V_1 = 0.000031\,1\text{ m}^3$$ **(1 bod)**

Na temelju (*): $L_{\max} = (V_2 - V_1)\frac{4}{d^2\pi} = 1.58\text{ m}$ **(2 boda)**

Brzina: $v = \sqrt{\frac{2}{m}(W_{plin} + W_{at})} = 108.66\,\frac{\text{m}}{\text{s}}$ **(2 boda)**

3. zadatak (15 bodova)

t = 100 s, R = 0.005 m, ρ = 2700 kg/m^3 , q = 1.6·10^{-19} C , U = 50 000 V , c = 900 J/(kgK) , I = 3·10^{-7} A, D = 0.5 m, m_e = 9.1·10^{-31} kg.

a)Za jedan elektron: $E_{kin} = qU \quad (E_{kin} = 50\text{ keV})$ **(1 bod)**

$$I = \frac{Nq}{t} \Rightarrow N = \frac{It}{q} \quad (N = 1.875\cdot 10^{14})$$ **(2 boda)**

Kinetička energija jednaka je toplini predanoj kugli: $mc\Delta t = NE_{kin}$ **(3 boda)**

$$m = \frac{4}{3}R^3\pi\rho \qquad (m = 0.001413\text{ kg})$$ **(1 bod)**

$$\Delta t = \frac{3It}{4R^3\pi\rho c}U$$ **(1 bod)**

$$\Delta t = 1.1795\text{K} \approx 1.18\text{K}$$ **(1 bod)**

b) Vrijeme gibanja elektrona od izlaska iz topa do udara u kuglu:

$$t = \frac{D-R}{v}$$ **(2 boda)**

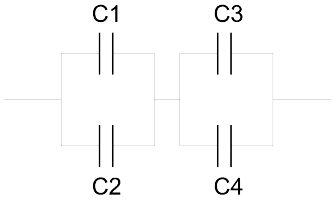
$$v = \sqrt{\frac{2E_{kin}}{m_e}} = 1.326 \cdot 10^8 \text{ m/s}$$ **(1 bod)**

$$t = \frac{D-R}{v} = 3.733 \text{ ns}$$ **(1 bod)**

Nakon 1 ns prvi elektron još nije udario o metu pa je povećanje temperature nula! **(2 boda)**

4. zadatak (18 bodova)

a)Ekvivalentna shema je:



(3 boda)

$$C_1 = \varepsilon_o \varepsilon_r \frac{xL}{D} = C_4 \ , \ C_2 = \varepsilon_o \frac{L(L-x)}{D} = C_3$$ **(2 boda)**

$$C_{12} = \varepsilon_o \frac{L}{D}(\varepsilon_r x + L - x) = C_{34}$$ **(1 bod)**

Ukupno: $$C \equiv C_{1234} = \frac{C_{12}C_{34}}{C_{12}+C_{34}} = \varepsilon_o \frac{L}{2D}(\varepsilon_r x + L - x)$$ **(2 boda)**

b) $$C_1 = \varepsilon_o \varepsilon_r \frac{(x+\Delta x)L}{D} = C_4 \ , \ C_2 = \varepsilon_o \frac{L(L-x-\Delta x)}{D} = C_3$$ **(1 bod)**

Istim postupkom kao u a) dobije se ukupni kapacitet:

$$C' = \varepsilon_o \frac{L}{2D}(\varepsilon_r x + \varepsilon_r \Delta x + L - x - \Delta x) = \varepsilon_o \frac{L}{2D}((x+\Delta x)(\varepsilon_r - 1) + L)$$ **(2boda)**

c) Napon je stalan pa je $$\Delta E = \frac{C'U^2}{2} - \frac{CU^2}{2}$$ **(1 bod)**

Uvrštavanjem izraza za C i C': $$\Delta E = \frac{U^2}{4}\frac{\varepsilon_o L}{D}\Delta x(\varepsilon_r - 1)$$ **(2 boda)**

d) Naboj je stalan pa je $$\Delta E = \frac{Q^2}{2C'} - \frac{Q^2}{2C}$$ **(1 bod)**

$$Q = CU = \varepsilon_o \frac{LU}{2D}(\varepsilon_r x + L - x)$$ **(1 bod)**

$$\Delta E = \frac{U^2}{4}\frac{\varepsilon_o L}{D}\frac{\Delta x(\varepsilon_r x + L - x)(1-\varepsilon_r)}{\varepsilon_r x + \varepsilon_r \Delta x + L - x - \Delta x}$$ **(2 boda)**

DRŽAVNO NATJECANJE IZ FIZIKE

Brodarica, 25.-28. travnja 2016.

Srednje škole – 2. skupina

Eksperimentalni zadatak

Određivanje gustoće ρ

Zadatak

- Odrediti gustoću ρ materijala od kojeg je napravljena žica

Pribor

- Žica čiju gustoću mjerimo
- Staklena čaša
- Epruveta
- Škarice
- Samoljepljiva traka
- Mjerna traka (ili milimetarski papir)
- Bočica s vodom 0.5 L (gustoća vode je 1000 kg/m^3)

U sklopu zadatka treba:

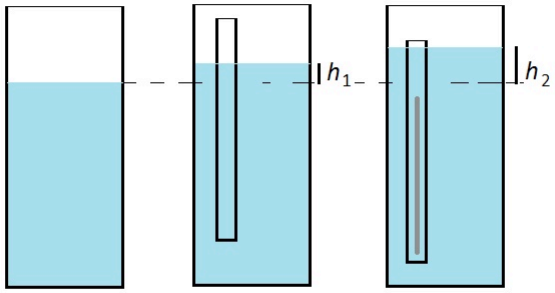
1. Objasniti fizikalne osnove (model) za rješenje zadatka i opisati precizno uz skice koje veličine i kako ćete mjeriti (16 bodova)
2. Napraviti najmanje 6 mjerenja i podatke prikazati tabelarno (10 bodova)
3. Provesti račun pogreške za ρ (4 boda)

Ukupno eksperimentalni zadatak 30 bodova

DRŽAVNO NATJECANJE IZ FIZIKE

Brodarica, 25.-28. travnja 2016.

Srednje škole – 3. Skupina, rješenja i smjernice za bodovanje eksperimentalnog zadatka



a) b) c) (**2 boda**)

Gustoća materijala ρ, od kojeg je napravljena žica, je omjer mase žice $m_ž$ i volumena žice $V_ž$: $\rho = \frac{m_ž}{V_ž}$ (**1 bod**). Volumen žice je $V_ž = r^2\pi l$ (**1 bod**) gdje je r polumjer presjeka žice, a l duljina žice. Mjernom trakom izmjerimo duljinu žice, a promjer žice preciznije odredimo tako da nekoliko namotaja žice gusto namotamo na olovku, ili plastično crijevo, izmjerenu širinu namotane žice i podijelimo s brojem namotaja (**1 bod**).

Masu žice odredit ćemo pomoću uzgona u vodi.

Na čašu samoljepljivom trakom zalijepimo mjernu traku. Nalijemo više od pola čaše vode i na mjernoj traci zabilježimo **početni nivo** vode (Slika a)). Zatim praznu epruvetu spustimo u čašu s vodom. Količina vode u čaši mora biti tolika da epruveta ne dodiruje dno čaše, nego da najniža točka epruvete bude nekolika centimetara iznad dna čaše. Sada je nivo vode u čaši podignut (Slika b)). Zabilježimo na mjernoj traci novi nivo vode i odredimo povećanje visine vode h_1 u odnosu na početni nivo vode. (**2 boda**)

Budući da epruveta tako pluta u vodi, uravnotežena je sila uzgona F_u i sila teža F_g pa vrijedi:

$F_u = F_g \;\Rightarrow\; m_e g = \rho_v g V_{ur} \Rightarrow m_e = \rho_v S_{čaše} h_1$ (**2 boda**)

gdje je m_e masa epruvete, ρ_v = 1000 kg/m^3 gustoća vode, $S_{čaše} = r_č^2\pi$ površina presjeka čaše ($r_č$ je radijus čaše).

Zatim u epruvetu stavimo komad žice duljine l. Epruveta će se malo dublje spustiti u vodu, dok se opet ne izjednači sila uzgona s novom silom težom, a voda u čaši će se zbog toga malo podignuti, pa izmjerimo povećanje visine h_2 u donosu na početni nivo (Slika c)). Mjerenja variramo tako da mijenjamo duljinu žice l. (**2 boda**)

U ravnotežnom stanju vrijedi: $m_ž + m_e = \rho_v S_{čaše} h_2$ (**1 bod**)

Na kraju dobijemo: $m_ž = \rho_v S_{čaše}(h_2 - h_1)$. (**2 bod**)

Gustoća žice je: $\rho = \frac{\rho_v S_{čaše}(h_2 - h_1)}{r^2\pi l} = \frac{\rho_v r_č^2 \pi (h_2 - h_1)}{r^2 \pi l} \;\Rightarrow\; \boxed{\rho = \rho_v \left(\frac{r_č}{r}\right)^2 \frac{h_2 - h_1}{l}}$ (**2 boda**)

Podatke prikažemo tabelarno

Tablica

Br. mjerenja	h_1 / m	h_2 / m	l / m	$r_č$ / m	r / m	ρ / kg/m^3	$\lvert\rho_i - \bar{\rho}\rvert$ / kg/m^3
1.							
2.							
3.							
4.							
5.							
6.							

(**10 bodova**)

Na kraju provedemo jednostavni račun pogreške.

Srednja vrijednost gustoće: $\bar{\rho} = \frac{\sum \rho_i}{n}$, n je broj mjerenja (**1 bod**)

Maksimalna apsolutna pogreška: $\lvert\Delta\rho\rvert_{max} = \lvert\rho_i - \bar{\rho}\rvert_{max}$ (**1 bod**)

Relativna pogreška: $\Delta r = \frac{\lvert\Delta\rho\rvert_{max}}{\bar{\rho}} \cdot 100\%$ (**1 bod**)

Rezultat: $\rho = \bar{\rho} \pm \lvert\Delta\rho\rvert_{max}$ (**1 bod**)