ŽUPANIJSKO NATJECANJE IZ FIZIKE – 2020

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 (10 bodova)

Kuglasto šuplje kućište izrađeno od željeza lebdi u potpunosti potopljeno u vodi. Vanjski polumjer je R = 0,3m, gustoća željeza je ρ_{Fe} = 7870 kg/m^3. Odredite unutarnji polumjer r. Ukoliko se u vodu u kojoj se nalazi kućište uspe sol, u količini da kućište sad pluta na površini tako da se središte kugle nalazi točno na razini površine vode, kolika je sad gustoća vode s dodanom soli (sol se u potpunosti otopi u vodi).

2. zadatak (10 bodova)

Da bi se sagradili temelji mosta, građevinska dizalica spušta kockasti betonski blok gustoće ρ_b = 2300 kg/m^3 u rijeku, duljina brida kocke je 3m; pokretna protuteža manje mase osigurava da je težište sustava točno na osi dizalice (kao što bi bilo bez opterećenja i protuteže). Kada je blok potpuno uronjen, za koliko se udaljenost protuteže od osi dizalice mora (u postocima) varirati, tako da se ravnoteža cjelokupnog sustava ne promjeni.

Izračunajte rad potreban da se betonski blok izvadi iz vode, ako se u početnom trenutku gornja ploha kocke nalazila u visini razine vode, a na kraju se donja ploha kocke nalazila u visini razine vode.

3. zadatak (12 bodova)

Toplinski stroj izvodi kružni proces u p-V ravnini tako da prolazi kroz sljedeća stanja:

Stanje A (p_0,V_0); stanje B ($3p_0,V_0$); stanje C ($3p_0,2V_0$); stanje D ($2p_0,2V_0$); stanje E ($2p_0,3V_0$); stanje F ($p_0,3V_0$); i opet se vraća u stanje A (p_0,V_0).

Nacrtajte na grafu p-V procese koji se sastoje od kvazistacionarnih procesa. Radni plin motora sastoji se od n molova savršenog jednoatomskog plina.

Odredite i obrazložite:

a. U kojim procesima plin obavlja rad i u kojima se rad obavlja na plinu.

b. U kojim se procesima plin zagrijava, a u kojima se hladi.

c. Pri kojim se procesima povećava unutarnja energija plina, a pri kojima se smanjuje.

d. U kojim procesima plin apsorbira toplinu, a u kojima ju otpušta.

e. Izračunajte učinkovitost stroja.

f. Ako se uzme u obzir da je p_0=p_{atm} i V_0= 0.03 m^3, n= 1 mol, izračunajte najnižu temperaturu T_n i najvišu temperaturu T_v koju dosegne plin tijekom ciklusa i utvrdite u kojim stanjima sustav dostiže te vrijednosti. Odredite učinkovitost motora koji provodi Carnotov ciklus između tih dviju temperatura.

4. zadatak (8 bodova)

Voda izlazi iz cijevi i pod kutem od 45 stupnjeva udara na okomiti zid brzinom od 20 m/s. Nakon udara, voda klizi duž zida. Izračunajte tlak kojim mlaz vode djeluje na područje zida koje udara.

5. zadatak (10 bodova)

Izumitelj tvrdi da je konstruirao četiri toplinska stroja od kojih svaki radi između dva izvora topline na 400 i 300 K. Podaci svakog toplinskog stroja, za svaki radni ciklus, su sljedeći: stroj a): Q_1 = 200 J; Q_2 = −175 J; W = 40 J; stroj b): Q_1 = 500 J; Q_2 = −200 J; W = 400 J; stroj c): Q_1 = 600 J; Q_2 = −200 J; W = 400 J; stroj d): Q_1 = 100 J; Q_2 = -90 J; W = 10 J. Odredite koji su od ovih strojeva mogući, a koji su nemogući. Detaljno obrazložite vaše odgovore.

Uzmite u obzir sljedeće vrijednosti za fizikalne konstante, ako nije drugačije navedeno u zadatku:

R = 8,31 J/K mol

ρ_{voda} = 1000 kg/m^3

P_{atm}= 1 atm = 101300 Pa

g = 9,81 m/s^2

Srednje škole – 2. grupa
Rješenja i smjernice za bodovanje

Upute za bodovanje: Ovdje je prikazan jedan način rješavanja zadataka. Ako učenici riješe zadatak drugačijim, a fizikalno ispravnim načinom, treba im dati puni broj bodova predviđen za taj zadatak. Ako učenici ne napišu posebno svaki ovdje predviđeni korak, a vidljivo je da su ga napravili, treba im dati bodove kao da su ga napisali.

1. Zadatak (10 bodova)

Šuplje kućište lebdi blizu površine gotovo u potpunosti uronjena. Sila uzgona F_A uravnotežuje težinu P kućišta:

$$F_U = P$$

Sila uzgona, jednaka je težini volumena ististnute tekućine. Volumen istisnute vode jednak je vanjskom volumenu šuplje kugle, dakle:

$$F_A = \rho_{Voda} V_{\text{vanjski}}\, g = \rho_{Voda} \cdot \frac{4}{3} \cdot \pi R^3 g$$ **(2 boda)**

Težina P željezne šuplje kugle jednaka je:

$$P = m_{Fe} g = \rho_{Fe}(V_{\text{vanjski}} - V_{\text{šupljine}})g = \rho_{Fe}\frac{4}{3}\pi(R^3 - r^3)g$$ **(2 boda)**

Uvrštavanjem izraza dobivenih za F_U i P:

$$\rho_{Voda}\frac{4}{3}\pi R^3 g = \rho_{Fe}\frac{4}{3}\pi(R^3 - r^3)g$$ **(2 boda)**

Slijedi:

$$r = R\sqrt[3]{\frac{\rho_{Fe} - \rho_{voda}}{\rho_{Fe}}} = 0.287\text{m}$$ **(2 boda)**

Kad se doda sol u vodu vrijedi:

$$\rho_{Voda+sol}\frac{V_{\text{vanjski}}}{2} g = \rho_{Voda+sol}\frac{2}{3}\pi R^3 g = \rho_{Fe}\frac{4}{3}\pi(R^3 - r^3)g$$

$$\rho_{Voda+sol} = 2\rho_{Fe}\left(1 - \frac{r^3}{R^3}\right) = 1959\ kg/m^3$$ **(2 boda)**

2. Zadatak (10 bodova)

Neka je M masa bloka i m mase protuteže, A, a na odgovarajućim razmacima od okomite osi dizalice; za ono što je rečeno, s obzirom na to da je težište konstrukcije bez opterećenja i protuteže već na osi dizalice, kada je blok izvan vode, dovoljno je da je MgA = mga iz kojeg je a = MA/m.

Kad je blok potpuno uronjen u vodu, na njega utječe i sila uzgona stoga se mora približiti protuteža količine Δa. Ravnoteža sada daje odnos:

$$(Mg - F)A = mg(a - \Delta a) \Rightarrow FA = mg\Delta a$$ **(2 boda)**

Slijedi:

$$\Delta a = \frac{FA}{mg}$$ **(2 boda)**

Dakle dobije se:

$$\frac{\Delta a}{a} = \frac{FA}{mg}\frac{m}{MA} = \frac{(Mg\rho_v/\rho_b)A}{MgA} = \frac{\rho_v}{\rho_b} = 0.435 = 43.5\%$$ **(2 bod)**

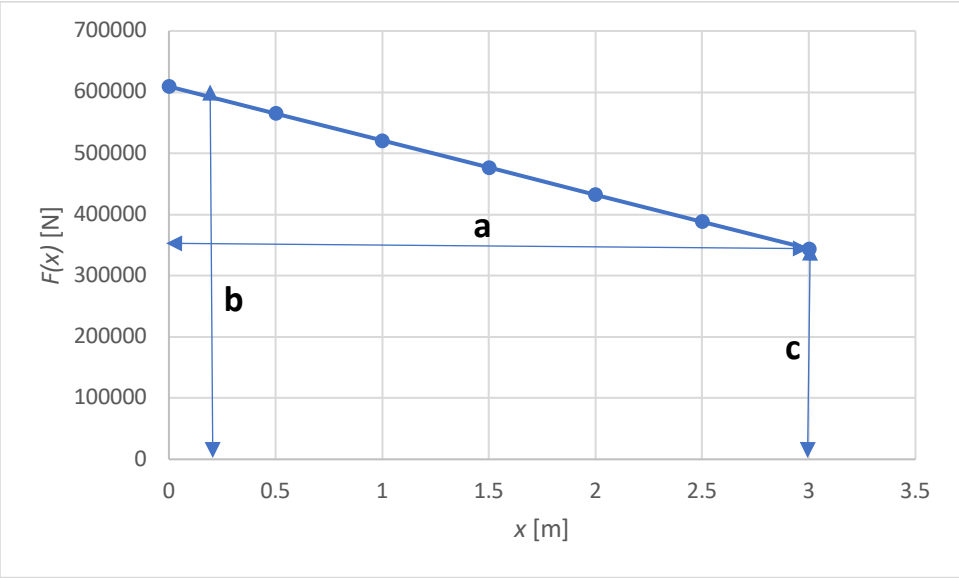
Ako je *l* duljina brida kocke i izrazimo masu kocke kao *m = ρSl*g možemo pisati za 0 ≤ x ≤ 3m (gdje x je uronjena dubina), sila koja djeluje na kocku jednaka je razlici težine i sile uzgona:

$$F(x) = F_g - F_u = mg - \rho_v g V_{uronjen} = \rho_b V_b g - \rho_v g x l^2 = \rho_b l^3 g - \rho_v g x l^2$$

$$F(x) = \rho_b l^2 g \left[l - \frac{x\rho_v}{\rho_b}\right] \quad 0 \le x \le 3m$$

$$F(x) = 203067 kg/s^2\,[3 - 0{,}435x]\mathrm{m} \quad 0 \le x \le 3m$$ **(2 bod)**

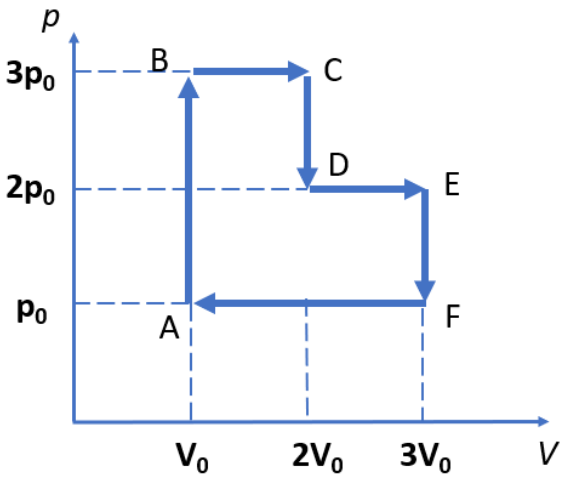
Ako prikažemo ovisnost na grafu, dobijemo slijedeće



Iz površine ispod grafa možemo izračunati rad potreban za izvaditi kockasti blok iz vode.

$$L = \frac{a*(b-c)}{2} + a*c = 397503\,J + 1032595\,J = 1{,}43 \times 10^6\,J$$ **(2 bod)**

3. Zadatak (15 bodova)



(2 boda)

a. Plin prenosi energiju u okoliš u obliku rada u ekspanzijama, dok ga prima u kompresijama. Posljedično, obavlja rad u BC i DE pretvorbama i apsorbira ih u FA kompresiji. U konstantnim pretvorbama volumena nema izmjene energije u obliku rada. **(1 bod)**

b. Iz jednadžbe stanja idealnog plina lako je zaključiti da je temperatura pri konstantnom volumenu izravno proporcionalna tlaku, dok je pri konstantnom tlaku izravno proporcionalna volumenu. Kao rezultat toga, temperatura raste u izohonom AB i u izobarnoj ekspanziji BC, smanjuje se u izohornom CD-u, opet se povećava u drugoj izobarnoj ekspanziji DE i ponovo smanjuje u izohornom EF i u izobarnoj kompresiji FA. **(1 bod)**

c. Jedna od karakteristika koja razlikuje sustave koji se sastoje od idealnih plinova je činjenica da unutarnja energija ovisi samo o temperaturi. Posljedično, unutarnja energija se povećava kada temperatura raste i obrnuto. **(1 bod)**

d. U izohornim pretvorbama Q = *ncV ΔT*, u izobarnm pretvorbama *Q = ncpΔT*. Iz toga slijedi da je Q pozitivan (što odgovara prijenosu energije iz okoline u sustav) u pretvorbama u kojima je ΔT pozitivan: AB, BC, DE i negativan u ostala tri. **(1 bod)**

e. Učinkovitost ciklusa dana je $\eta = \frac{L}{Q_{ADS}}$ gdje Q_{ADS} je toplina što sustav preuzme od okoliša. Rad je površina određena ciklusom $L = 3p_0V_0$. **(2 boda)**

Adsorbirana toplina je:

$$Q_{\text{ads}} = Q_{\text{AB}} + Q_{\text{BC}} + Q_{\text{DE}} = nc_V\Delta T_{\text{AB}} + nc_p\Delta T_{\text{BC}} + nc_p\Delta T_{\text{DE}} =$$
$$= \frac{3}{2}nR\Delta T_{\text{AB}} + \frac{5}{2}nR\Delta T_{\text{BC}} + \frac{5}{2}nR\Delta T_{\text{DE}}$$

Iz jednadžbe za idealne plinove za pretvorbu s konstantnim volumenom vrijedi *VΔp = nRΔT, za konstantan tlak ΔVp =nRΔT. Dakle:*

$Q_{\text{ads}} = \frac{3}{2}V_0 \cdot 2p_0 + \frac{5}{2}3p_0V_0 + \frac{5}{2}2p_0V_0 = \frac{31}{2}p_0V_0$

Slijedi:

$\eta = \frac{L}{Q_{ADS}} = 6/31 = 19\%$ **(2 boda)**

f. Iz prethodnog razmatranja zaključuje se da je najniža temperatura u stanju A i vrijedi

$T_A = p_0 V_0/nR = 365.7$ K

Najviša temperatura postiže se u stanjima C i E i vrijedi $T_C = T_E = 6\, p_0 V_0/nR = 6T_A = 2194$ *K.*

Slijedi:

$\eta = 1 - \frac{T_A}{6T_A} = 1 - 1/6 = 83\%$ **(2 boda)**

4. Zadatak (8 bodova)

Jednadžba što veže promjenu količine gibanja i sile je slijedeća

$$\vec{F} = \frac{\Delta\vec{q}}{\Delta t}$$

Nas interesira komponenta u smjeru okomice zida, na koju djeluje tlak vode

$F_n = \frac{\Delta q_n}{\Delta t}$ **(2 boda)**

Promjena količine gibanja uzrokovan količinom m mase vode u vremenskom intervalu Δt je

$\Delta q_n = (\rho a v \Delta t) v \cos\theta \qquad (a = \text{ poprečni presjek mlaza })$ **(2 boda)**

Slijedi da je okomita komponenta sile na zid:

$F_n = \rho a v^2 \cos\theta$ **(2 boda)**

Površina na koju mlaz djeluje na zidu je $\left(\Delta S = \frac{a}{\cos\theta}\right)$, dakle slijedi za tlak:

$p = \frac{F_n}{\Delta S} = \frac{\rho a v^2 \cos^2\theta}{a}$

$p = \varrho v^2 \cos^2\theta = 2.83 \times 10^5 Pa$ **(2 boda)**

5. Zadatak (10 bodova)

Idealan motor koji radi između dva navedena izvora topline ima učinkovitost jednaku:

$\eta = 1 - \frac{T_2}{T_1} = 0.25$ **(2 boda)**

Slučaj a) Za svaki ciklus postoji neto prijenos topline jednak 25 J u usporedbi s radom od 40 J. Stoga je prekršen prvi zakon (i ako učinkovitost ovog motora je $\eta = 1 - \frac{175}{200} = 0.125$, kompatibilno s idealnom učinkovitošću).

(2 boda)

Slučaj b) Za svaki ciklus postoji neto prijenos topline jednak 300 J u usporedbi s radom od 400 J. Stoga je prekršen prvi zakon (učinkovitost je $\eta = 1 - \frac{200}{500} = 0.6$ nespojiva s idealnom učinkovitost).

(2 boda)

Slučaj c) Učinkovitost ovog motora je $\eta = 1 - \frac{200}{600} = 0.667$, nespojiva s idealnom učinkovitost; za svaki ciklus postoji neto prijenos topline jednak 400 J u usporedbi s radom od 400 J. Stoga je prekršen drugi zakon.

(2 boda)

Slučaj d) Učinkovitost ovog motora je $\eta = 1 - \frac{100}{90} = 0.10$, kompatibilno je s idealnom učinkovitost; za svaki ciklus postoji neto prijenos topline od 10 J u usporedbi s radom od 10 J. Niti jedan zakon nije narušen.

(2 boda)