

DRŽAVNO NATJECANJE IZ FIZIKE – 6. svibnja 2025.

Srednje škole – 2. skupina

VAŽNO: Tijekom ispita ne smijete imati nikakav pisani materijal (knjige, bilježnice, formule...).

Za pisanje se koristite kemijskom olovkom ili nalivperom. Pri ruci ne smijete imati mobitel ni druge elektroničke uređaje osim kalkulatora.

Zadatak 1. (ukupno bodova: 19)

Promotrite pojednostavljeni model elektronskog topa s mogućnošću usmjeravanja snopa na slici. Top se sastoji od dvaju kvadratnih pločastih kondenzatora, kojima je razlika potencijala između ploča 12 V. Duljina stranica ploča je, koristeći se oznakama slike, $d = 5$ cm, što je ujedno i udaljenost ploča drugog kondenzatora, te $l = 3$ cm i mete koja se nalazi na nekoj udaljenosti x od drugog kondenzatora. Udaljenost ploča prvog kondenzatora, D , nije poznata.

Elektroni se spontano odvajaju od zagrijane žice za koju možete pretpostaviti da se nalazi u centru i zanemarivo blizu kvadratne anode prvog kondenzatora. Električno polje toga kondenzatora ubrzava emitirane elektrone do njihova izlaska iz kondenzatora kroz mali otvor u katodi, kroz koji možemo pretpostaviti da elektroni prolaze neometano. Potom elektroni ulaze u električno polje drugog kondenzatora te konačno izlaskom iz tog polja oni se slobodno gibaju do trenutka kada se sudare s metom.

(a)

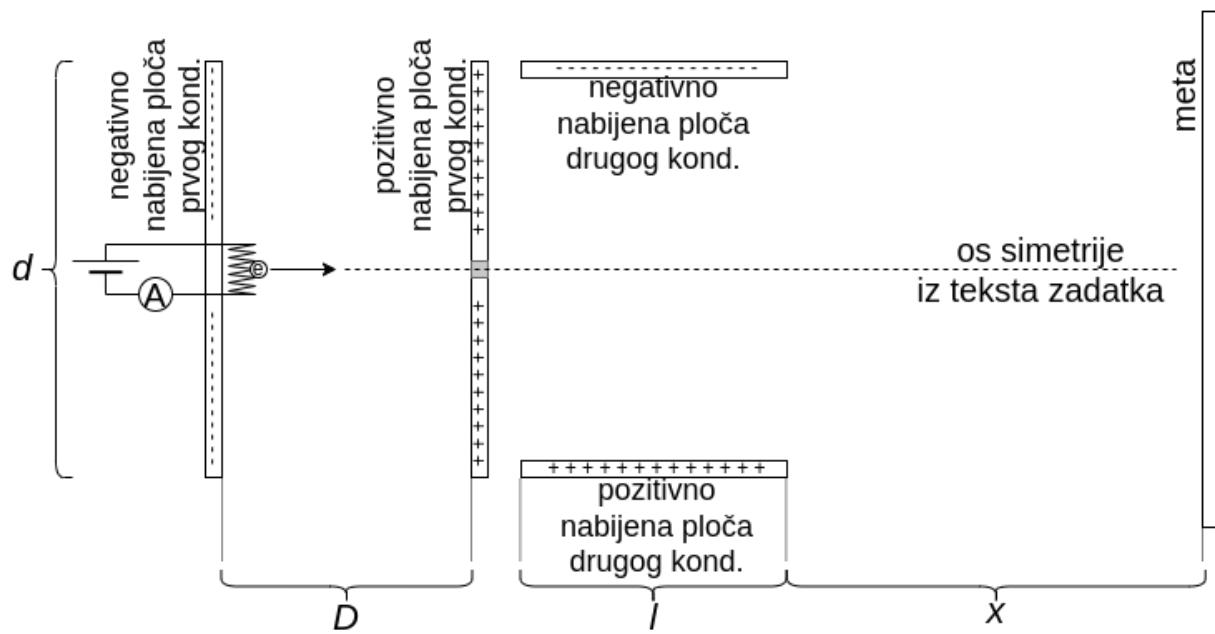
Promotrite gibanje jednog elektrona u ovom sustavu te odredite komponente brzine elektrona u trenutku kada se krene slobodno gibati i odredite pomak elektrona u tom trenutku od centralne osi simetrije, koja je prikazana isprekidanom crtom na slici. Potom, odredite vertikalni pomak elektrona od osi simetrije kao funkciju udaljenosti x kada on udari u metu.

Pretpostavite da je početna brzina elektrona zanemariva, da su električna polja kondenzatora savršeno homogena te da u potpunosti iščezavaju u prostoru koji se ne nalazi između njihovih ploča. Pretpostavite da je čitav postav u vakuumu te da je meta mnogo većih dimenzija od ostatka sustava tako da je elektroni uvijek pogode. Zanemarite gravitaciju.

(b)

Promotrite snop elektrona koji udara metu kao u prvom dijelu zadatka, pretpostavljajući pri tome da se elektroni gibaju posve neovisno jedan o drugome. Odredite koliko energije elektroni deponiraju u metu po jedinici vremena te koliko treba biti toplinski kapacitet mete ako se njezina temperatura poveća za 0.01 K svake sekunde od trenutka kada je elektroni počinju pogađati.

Pretpostavite da se sva kinetička energija elektrona pretvara u toplinu koju meta apsorbira pri udaru. Poznato je da elektroni koje žica emitira rezultiraju očitanjem struje od 2 miliampera na ampermetru A sa slike te da ta struja potječe isključivo od „nadomještanja” elektrona koji su otpušteni na žici.



Zadatak 2. (ukupno bodova: 17)

Zadan je sustav identičnih otpornika otpora $2\ \Omega$ postavljen u obliku oktaedra kao na slici.

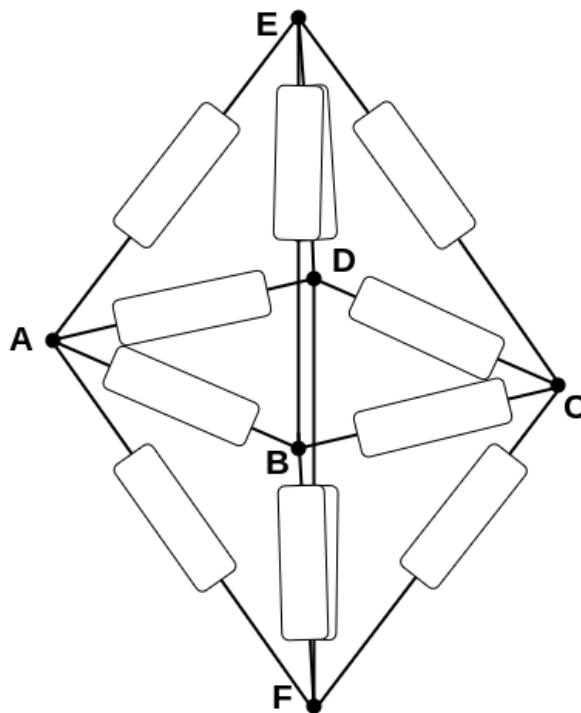
(a)

Ako u točku E spojimo jedan terminal, a u F spojimo drugi terminal naponskog izvora konstantnog napona 6 V , odredite ekvivalentni otpor sklopa.

(b)

Isti izvor napona spojimo na sljedeći način: na jedan terminal izvora spojimo (kao da spajamo paralelni sklop) točke A i C, dok na drugi spojimo točke E i F. Odredite ekvivalentni otpor.

Dodatno, odredite kolika je najveća ukupna snaga koju ovi sklopovi crpe iz izvora te kolika je najveća snaga koja se razvija na pojedinim otpornicima uzimajući u obzir oba sklopa. Pretpostavite da su sve spojne žice savršeni vodiči.



Zadatak 3. (ukupno bodova: 14)

Promotrite dvije posude ispunjene s po jednim kilogramom posebno pripremljenog termogela te dva beskonačno velika spremnika temperature 300 i 250 K. Poznato je da gel ima fazni prijelaz iz tekućine u krutinu (ili obratno) blizu sobne temperature. Oba su gela u početku u tekućem stanju te je temperatura jednog gela točno temperatura faznog prijelaza i iznosi 325 K, dok je temperatura drugog 350 K.

Odredite omjer maksimalnih ukupnih toplina koje topliji spremnik primi u sljedeća dva slučaja. Prvo, dopustimo da se posude međusobno i s toplijim spremnikom stave u izravan termalni kontakt bilo kojim redoslijedom. Potom, sustav vratimo u početno stanje te spojimo spremnike Carnotovim strojem koji konfiguriramo da radi kao toplinska pumpa.

U drugom slučaju isključivo se latentna toplota gela koristi za pogonjenje stroja. Pretpostavite da stroj prestaje s radom kada se sav gel ukruti. Odredite koliko vremena treba da Carnotov stroj prestane s radom ako on uzima 0.5 kJ topline od hladnijeg spremnika svake sekunde.

Latentna toplota skrućivanja gela jest 500 kJ/kg, dok je toplinski kapacitet njegove krute faze tri puta veći od kapaciteta njegove tekuće faze i iznosi 3 kJ/kgK. Zanemarite toplinski kapacitet posude u kojoj se gel nalazi. Zanemarite bilo kakav prijenos topline na okolinu te sve druge energijske gubitke.

Zadatak 4. (ukupno bodova: 20)

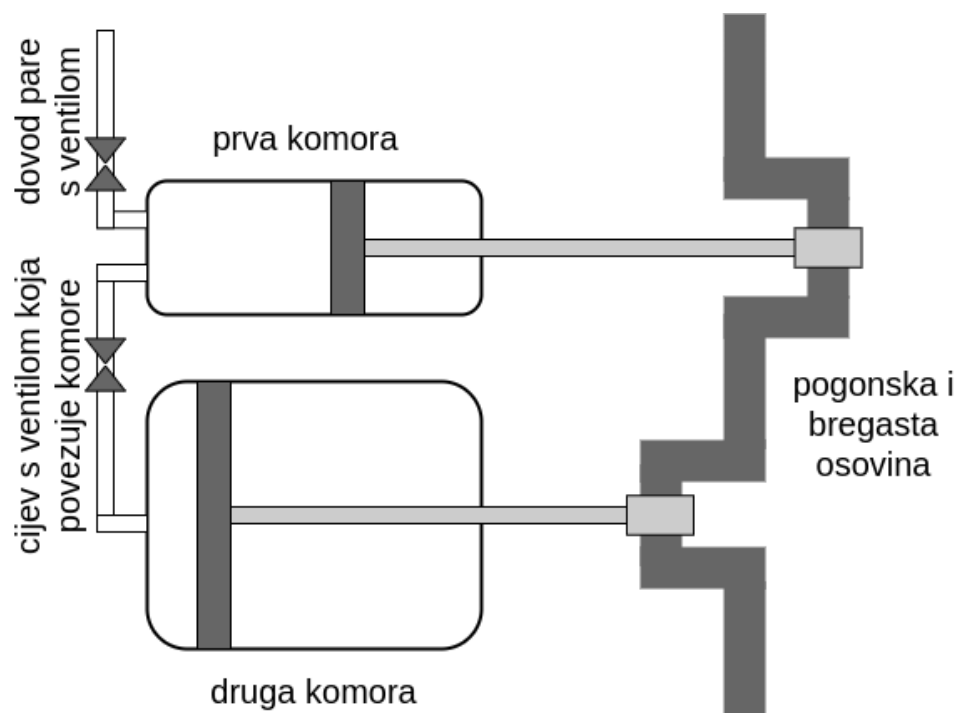
U povijesti razvoja parnih strojeva najnapredniji tipovi parnog stroja, koje je tek postupno za mijenila široka uporaba plinske turbine u 20. stoljeću, bili su takozvani višestruko-ekspandirajući parni strojevi. Ovdje ćemo promotriti pojednostavljen model jednog takvog stroja s dvije ekspanzijske komore čija je gruba skica prikazana na slici. Pri računu, jednostavnosti radi, pretpostavite da se para može opisati kao jednoatomni idealni plin, da su tlakovi u sustavu dovoljno veliki da ona nikada ne dođe do točke faznog prijelaza te da se sve ekspanzije događaju dovoljno brzo da se može uzeti da su to adijabatske promjene. Dodatno, pretpostavite da svi klipovi klize u komorama bez trenja te da su sve komore vakuumirane prije ubrizgavanja pare. Zanimarite gravitaciju i sve energijske gubitke. Zanimarite volumen spojnih cijevi sa skice.

U početku radnog ciklusa superzagrijana para temperature $120\text{ }^{\circ}\text{C}$ pod tlakom od 300 atmosfera ubrizgava se u prvu ekspanzijsku komoru. Ta je komora oblika cilindra radijusa 15 cm koja je na jednom kraju zatvorena pomičnim klipom oblika diska. U početnom trenutku klip je udaljen 10 cm od druge strane komore. Pretpostavite da se ubrizgavanje odvija u tako malom vremenskom intervalu da se klip „ne stigne” početi kretati prije negoli se ventil za ubrizgavanje zatvori. Nakon zatvaranja ventila para pomiče klip do trenutka kada sila na klip ne padne na 80 % početne.

Kada sila na prvi klip padne na tu vrijednost, otvara se ventil prema drugoj komori. Druga je komora isto cilindrična, s pomičnim klipom oblika diska radijusa 30 cm. Klip u drugoj komori u trenutku ubrizgavanja pare nalazi se 5 cm od suprotne stijenke te komore. Pretpostavite ponovno da klipovi miruju dok se para preraspodjeljuje između dviju, sada spojenih, komora.

Nakon što se raspodjela pare homogenizirala, počinje druga faza ekspanzije u kojoj se oba klipa kreću, prvi prema stijenci svoje komore, a drugi od stijenke svoje komore (pripazite, tijekom cijele druge faze komore su spojene!). Zahvaljujući tome da su oba klipa spojena na istu bregastu osovinu, iznos njihovih pomaka je jednak. Ova faza ekspanzije traje do trenutka kada se prvi klip nađe na udaljenosti od 5 cm od stijenke svoje komore.

Izračunajte omjer ukupnog rada koji se izvrši na klip u prvoj fazi ekspanzije (do trenutka otvaranja ventila prema drugoj komori) i ukupnog rada koji ovaj sustav izvrši na klipove, odnosno pogonsku osovinu koja ih spaja tijekom cijelog prethodno opisanog procesa. Možete li zaključiti zašto su se u parne strojeve počele dodavati dodatne ekspanzijske komore?



Fizikalne konstante:

ubrzanje sile teže blizu površine Zemlje:

$$g = 9.81 \text{ m/s}^2$$

atmosferski tlak, odnosno tlak koji odgovara jednoj atmosferi:

$$p_{\text{atm}} = 101300 \text{ Pa}$$

temperatura apsolutne nule:

$$T_0 = -273.15^\circ\text{C}$$

plinska konstanta:

$$R = 8.314 \text{ J/Kmol}$$

masa elektrona:

$$m_e = 9.1094 \times 10^{-31} \text{ kg}$$

elementarni naboj:

$$q_e = 1.6021 \times 10^{-19} \text{ C.}$$