

1. FOTONSKA RAKETA (5 poena) — Jaan Kalda, Oskar Vallhagen.

Razmotrimo jedno hipotetičko međuzvezdano putovanje svemirskim brodom na fotonjski pogon, početne mase mirovanja $M = 1 \times 10^5 \text{ kg}$. Gorivo na brodu (antimaterija) se anihilira istovetnom masom materije kako bi se stvorili fotoni koji daju reaktivnu silu. Materija koja je neophodna za anihilaciju se prikuplja iz vrlo retke plazme međuzvezdanog prostora (uzeti da je brzina ove međuzvezdane plazme jednaka nuli u sistemu referencije vezanom za Zemlju). Brzina svetlosti iznosi $c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$.

i) (1 poen) Koliko treba da iznosi početna brzina μ (kg/s) sagorevanja antimaterije tako da ubrzanje bude jednako ubrzanju slobodnog pada na Zemlji ($g = 9,81 \text{ m/s}^2$)?

ii) (3 poena) Motori svemirskog broda se isključe kada se njegova masa mirovanja smanji na vrednost $m_f = M/10$; koliko iznosi njegova krajnja brzina?

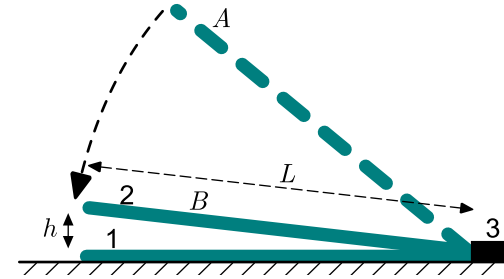
iii) (1 poen) Frekvencija emitovanih fotona se meri od strane posmatrača sa Zemlje. Koliko iznosi frekvencija poslednjih fotona (emitovanih neposredno pre isključivanja motora), a mereno sa Zemlje, ukoliko ta frekvencija u svemirskom brodu ostaje nepromenjena i jednaka f_0 ?

2. GAS I PROTOK FLUIDA (10 poena) — Jaan Kalda, Päivo Simson.

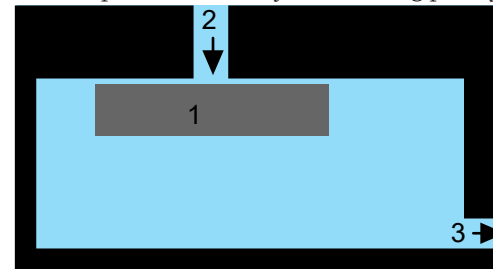
i) (1 poen) Ako pustite staklenu ploču da padne na drugu staklenu ploču, one se neće razbiti, već će se zaustaviti lagano. Kao što je prikazano na slici, ploča (označena sa '1') miruje na podu, dok druga ploča (označena sa '2') pada dok je graničnik na podu (označen sa '3') sprečava da prokliza. Padajuća ploča kreće iz pozicije **A** i u posmatranom trenutku nalazi se u poziciji **B**, na jako malom rastojanju $h = h_0$ od ploče koja miruje na podlozi. Trenutna ugaona brzina (pozicija **B**) padajuće ploče iznosi ω_0 . Čemu je jednaka brzina vazduha između ploča blizu leve ivice?

ii) (2,5 poena) Staklena ploča ima širinu $L \gg$

h_0 , debljinu $t \ll L$, gustinu ρ_g , i njena dužina (dimenzija koja se prostire ortogonalno na ravan crteža, tj. u dubinu) je mnogo veća od L . Kako ugaona brzina ploče zavisi od h tokom njenog daljeg kretanja ako je gustina vazduha ρ_a ? Zanimarite gravitacionu silu kao i viskoznost i kompresibilnost vazduha. Pretpostavite da tok vazduha svuda ostaje laminaran.



iii) (3 poena) Cilindrični kameni disk (obebežen sa '1' na slici) radijusa R , debljine h i gustine ρ_s pritisnut je uz plafon bazena napunjenog vodom gustine ρ_w . Neravnine na plafonu napravile su mali razmak debljine $t \ll R$ između plafona i površine diska (tanki vodeni džep). Voda teče kroz cev (obebežena sa '2'; odvodna cev obebežena sa '3' je daleko) poluprečnika $r \ll R$ koaksijalno sa diskom i ulazi u bazen. Videti strelice na slici. Radijus cevi mnogo je veći od razmaka između diska i plafona, tj. $r \gg t$. Koliko treba da bude maseni protok vode iz cevi μ (kg/s) tako da spreči disk da padne? Ubrzanje slobodnog pada je g .



iv) (0,5 poena) Parne turbine se naširoko koriste u elektranama. Po pojednostavljenom modelu, voda ključa na temperaturi $t_t = 180^\circ\text{C}$ i pritisku $p_t = 1 \times 10^6 \text{ Pa}$ (prave parne turbine mogu da rade na mnogo većim pritisima od ovog), i kreirana para teče kroz cilindrični kanal poprečnog preseka $A = 1 \text{ cm}^2$ u zidu; atmosferski pritisak iznosi $p_0 = 1 \times 10^5 \text{ Pa}$. Naći razliku entropije ΔS jednog mola pare i

jednog mola vode u tečnom stanju (molarne masa je $M = 18 \text{ g/mol}$, latentna toplota isparavanja na 100°C : $L = 2,3 \text{ MJ/kg}$) u izlaznom mlazu.

v) (3 poena) Naći maseni protok μ kreiranog mlaza, kao i relativnu masu tečne vode r koja se nalazi u njemu. Pretpostavite da je dok para ulazi i teče kroz kanal, ekspanzija vodene pare reverzibilna, tj. da toplotna provodnost može biti zanemarena i da uvek postoji ravnoteža između tečne i gasne faze. Koeficijent adijabate vodene pare je $\gamma = 4/3$.

3. ROTIRAJUĆA SVEMIRSKA STANICA (13 poena) — Jaan Kalda, Kaarel Hänni.

Svemirska stanica na geostacionarnoj orbiti ima cilindrični oblik dužine $L = 100 \text{ km}$ i poluprečnika $R = 1 \text{ km}$ ispunjena je vazduhom (molarne mase $M = 29 \text{ g/mol}$) na atmosferskom pritisku i temperature $T = 295 \text{ K}$, čiji cilindrični zidovi služe kao podloga ljudima koji žive unutra. Ona rotira oko svoje ose da bi kreirala normalnu gravitaciju od $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ na "podlozi".

i) (0,5 poena) Koliko iznosi period rotacije τ ?

ii) (2 poena) Lopta se baci iz jedne tačke na "podlozi" i uhvati $t = \tau/2$ kasnije i to u istoj toj tački. Kojom brzinom je bačena lopta? Zanimariti otpor vazduha.

iii) (2 poena) Sferni balon poluprečnika $r = 3 \text{ m}$ ispunjen je helijumom (molarne mase $M' = 4 \text{ g/mol}$) i koristi se za podizanje tereta nepoznate mase m . Teret je fiksiran za balon preko lakog kanapa dužine $L = 20 \text{ m}$ i sistem se podiže sve dok se ne zaustavi na visini $H = 500 \text{ m}$ od "podloge". Odrediti vrednost nepoznate mase m .

Kanap linijske masene gustine $\lambda = 1 \text{ kg/m}$ je fiksiran za "podlogu" u dve dijametralno suprotne tačke cilindra (tako da rastojanje između krajnjih tačaka kanapa iznosi $2R$). Neka **A**, **B**, i **C** redom označavaju te dve krajnje tačke i središnju tačku kanapa.

iv) (1,5 poena) Pretpostavljajući da visina tačke **C** iznad "podloge" iznosi h , odrediti $T_A - T_C$, razliku sila zatezanja u kanapu u tačkama **A** i **C**.

v) (1,5 poena) Pretpostavljajući da u tački **A**, kanap zaklapa sa "podlogom" ugao α , odredi-

ti odnos sila zatezanja T_A/T_C .

vi) (1,5 poena) Naći T_C ako je $h = 495 \text{ m}$, aproksimirajući profil kanapa parabolom.

vii) (2 poena) Metalni zidovi svemirske stanice nose ukupnu količinu naelektrisanja Q . Unutar stanice, nepomično lebdi jedna naelektrisana lopta iznad "podloge". Naći specifično naelektrisanje lopte, tj. odnos q/m . Zanimariti efekte naelektrisanja indukovanih na "podlozi" naelektrisanom loptom.

viii) (2 poena) Po Gausovoj teoremi je $\oint \vec{E} \cdot d\vec{A} = 0$, gde je integral uzet po zatvorenoj površi koja obuhvata zapreminu V bez naelektrisanja unutra. Kako bi ovu jednakost trebalo da izmeni posmatrač na svemirskoj stanici ako ne postoje druga naelektrisanja osim ukupnog naelektrisanja Q raspoređenog po obodu stanice?

4. RASTEGLJIVE RUKAVICE (8 poena) — Eero Uustalu.

Pribor Najmanje tri para velikih bezbojnih medicinskih polu-prozirnih rukavica od lateks gume; kolut prozirne i jake kancelarijske lepljive trake; par oštih makaza; najmanje četiri lista milimetarskog papira A4 ili većih dimenzija; tri lenjira; savitljiva merna traka dužine od najmanje jednog metra; univerzalni površinski marker za obeležavanje izuzetno finih tačaka. Gumene rukavice se mogu seći po potrebi na delove. Delovi rukavica se mogu pričvrstiti za vaš radni sto bilo direktno pomoću trake i/ili uz pomoć lenjira (kako bi se postiglo bolje učvršćivanje).

Lateks je jedan vrlo rastegljiv elastični materijal za koji se može pretpostaviti da njegova zapremina ostaje konstantna tokom istezanja, sve do tačke pucanja.

U svakom zadatku, skicirajte vašu eksperimentalnu postavku i objasnite korake koje ste preduzeli za postizanje najbolje moguće preciznosti, i tabelarno predstavite direktno izmerene podatke.

i) (1 poen) Odrediti maksimalno naprezanje ϵ_m trake lateks filma (tj. naprezanje pri kojem traka puca). Naprezanje se definiše kao relativna promena dužine, $\epsilon = (l - l_0)/l_0$, gde l i l_0 predstavljaju istegnutu i neistegnutu dužinu trake.

ii) (7 poena) Odrediti i skicirati relaciju između normalnog napona i naprezanja za lateks trake. Normalni napon se definiše kao sila za tezanja po površini poprečnog preseka. Izraziti normalni napon σ u relativnim jedinicama, normiran na maksimalan napon u tački pucanja.