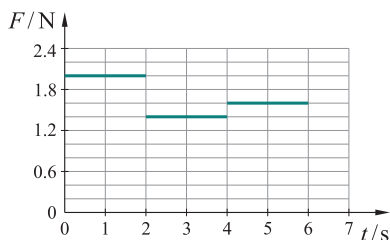


1. Tlakomjer je uređaj koji mjeri razliku čovjekovog krvnog tlaka i atmosferskog tlaka. Pacijentu, koji mirno leži na krevetu visine 0.8 m izmjeri se najveća razlika tlakova od 80 mmHg (milimetara stupca žive). Pacijent treba primiti jednu dozu otopine glukoze, koja se nalazi u boci od pola litre. Maseni udio glukoze u toj otopini je 20 %. Pri izradi otopine, dodavanje glukoze u tekućinu ne mijenja volumen otopine. Odredi najmanju visinu iznad poda na koju treba postaviti dno boce za infuziju kako bi otopina uvijek ulazila u čovjekovu venu. Gustoća žive iznosi $13\,600 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$, a gustoća vode $1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$.

2. Drvena homogena greda duljine 2.5 metra i mase 10 kg postavljena je vodoravno na oslonac koji se nalazi 0.5 metara od njezina lijevog kraja. Na udaljenosti 1.5 metara od lijevog kraja grede postavljen je uteg težine 100 N. Kako bi uravnotežio gredu, Nikola počne vući gredu prema gore silom od 50 N pomoću užeta, kojega je zavezao oko grede na udaljenosti 2 m od lijevog kraja grede. Što će se dogoditi s gredom u tom slučaju: hoće li biti u ravnoteži? Ako neće, hoće li se duži kraj grede pomaknuti prema gore ili prema dolje? Nikola na raspolaganju ima dodatni uteg od 5 kg. Gdje bi ga trebao postaviti da bi uravnotežio gredu? Pritom ne mijenja položaj oslonca, prvog utega, položaj užeta i silu povlačenja.

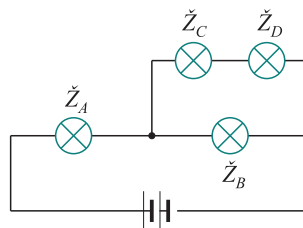
3. Petra počne djelovati različitim horizontalnim silama na kutiju u različitim vremenskim trenucima, kao što je prikazano na grafu. Ako je kutija, mase 400 g, početno mirovala, a u vremenskom intervalu od 2 s do 4 s se gibala jednoliko pravocrtno, odredite brzine kutije na kraju svakog od tri vremenska intervala. Sile kojima Petra djeluje na kutiju neprestano su u smjeru gibanja kutije.



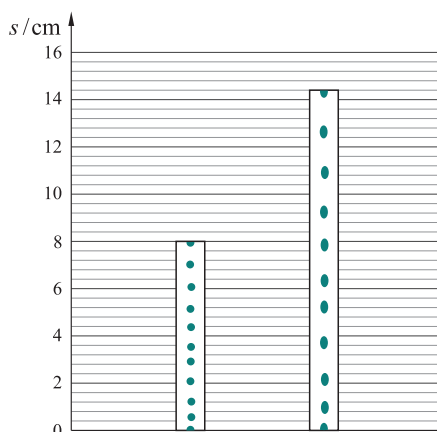
4. Strujni krug sastavljen je kao na shemi. Jakost struje kroz žaruljicu najjačeg sjaja iznosi 1.08 A. Napon na krajevima žaruljice C iznosi 3.6 V. Snaga žaruljice B dok svijetli iznosi 5.18 W.

- Odredi napon svake od baterija.
- Odredi napon na žaruljici A ako bi se ove dvije baterije spojile paralelno.

Pretpostavi da su baterije idealne, a da žaruljice imaju stalan otpor. Baterije su međusobno jednake, kao i žaruljice.



5. Na satu fizike, učenici su pomoću elektromagnetskog tipkala snimali jednoliko ubrzano gibanje autića privezanog za papirnatu traku. Svaki je učenik dobio svoju trakicu, koju je razrezao na 5 dijelova. Svaki je izrezani dio sadržavao jednaki broj točkica koje je tipkalo ostavilo. Za domaću zadaću trebali su analizirati trakicu. Kada je Lana došla kući, njezine su se sestre odlučile našaliti s njom pa su uzele tri trakice, ostavivši samo treću i petu po redu u njezinoj bilježnici. Uz pomoć dvije trakice i informacije da tipkalo unutar jedne sekunde 50 puta označi trakicu, pomozite Lani odrediti:



- akceleraciju gibanja autića
- srednju brzinu gibanja autića
- ukupni put koji je autić prošao gibajući se.

Napomena. U svim zadacima, gdje je potrebno, uzmi $g = 10 \text{ N/kg}$.

Osnovne škole – eksperimentalni zadatci

1. Pomoću njihala (utega kojega ste privezali za jedan kraj konca) odredite faktor trenja između lučice i površine stola.

- Detaljno opišite pokus koji ćete izvesti. Gdje treba postaviti lučicu kako bi prijenos energije bio najveći?
- Napravite tri mjerenja i odredite srednju vrijednost faktora trenja. Podatke prikažite tablično.
- Navedite barem dva moguća izvora pogrešaka u Vašem mjerenju.

Napomena. Pretpostavite da se tijekom sudara lučici prenese 80 % energije.

Uputa. Na vrh svoje kutije s priborom selotejpom pričvrstite marker. Konac s utegom privežite za slobodni kraj markera. Položaj njihala dok mirno visi naziva se ravnotežni položaj. Pripazite da uteg, dok prolazi ravnotežnim položajem, ne dodiruje podlogu.

2. Na raspolaganju imate lopticu za stolni tenis.

- Detaljno opišite kako ćete odrediti volumen loptice. Odredite volumen loptice.
- Detaljno opišite kako ćete odrediti masu loptice uz pomoć čaše s vodom i ravnala, bez korištenja dinamometra. Odredite masu loptice.
- Na temelju Vaših mjerenja odredite gustoću loptice.

Napomena. Za preciznije određivanje volumena možete se poslužiti milimetarskim papirom. Za gustoću vode uzmite 1000 kg/m^3 .

3. Veličina obrnuto proporcionalna otporu naziva se električna vodljivost: $G = \frac{1}{R}$. Istražite kako električna vodljivost slane otopine ovisi o temperaturi te otopine.

- Shemom prikažite strujni krug koji ćete koristiti za mjerenje. Slanu otopinu u shemi prikažite kao otpornik.
- Provedite tri mjerenja koja ćete prikazati u odgovarajućoj tablici i grafu. Na što trebate paziti prilikom mjerenja struje i napona?

c) Napišite svoj zaključak.

Nemojte koristiti ohmmetar!

Upute. Umiješajte svu sol u čašu sa 150 mL vode. Pobrinite se da se sol u potpunosti rastopi. Elektrode žice (njezine krajeve) u potpunosti uronite u otopinu. Žice maknite iz otopine dok se otopina grije. Nemojte dodirivati otopinu dok je spojena u strujni krug. Vodu zagrijavajte barem 90 s.

Napomena. U svim zadacima, gdje je potrebno, uzmi $g = 10 \text{ N/kg}$.

Srednje škole – zadatci

1. skupina

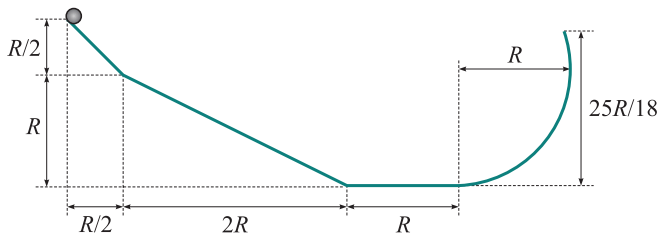
1. Vagon s čovjekom ukupne mase $m = 101.937 \text{ kg}$ giba se u Dalmalandu po kružnom toboganu *Big Blue* skiciranome na slici desno. Zanemarite sile otpora i aproksimirajte da kružnica tobogana leži u vertikalnoj ravni. Nacrtajte sile kojima vagon pritišće tobogan u najvišoj i najnižoj točki kružne putanje te odredite kako se te sile odnose. Komentirajte kako bi sile otpora utjecale na taj odnos.



2. Čelična kuglica mase $m = 5 \text{ g}$ ispuštena je iznad duge ravne čelične letve položene koso s obzirom na tlo. Kuglica se tri puta elastično odbije od letve. Zanemarite sile otpora. Kako se odnose udaljenosti između točaka sudara?

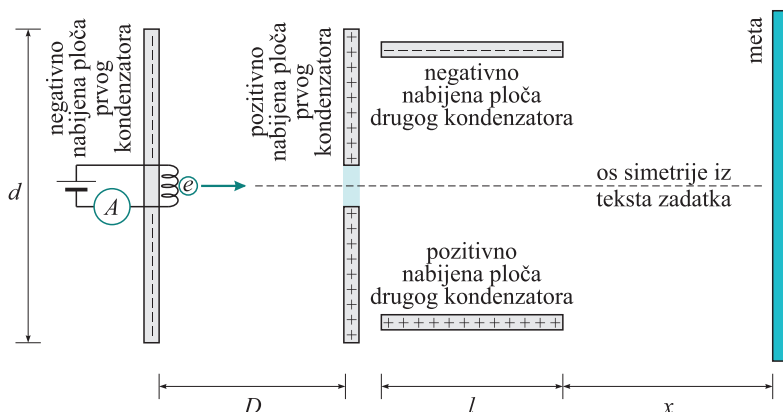
3. LISA, planirani svemirski detektor gravitacijskih valova, sastoji se od tri jednaka svemirska satelita A , B i C , međusobno udaljena 5 Gm , koji u svojoj ravni, nagnutoj za 60° u odnosu na ravninu orbite Zemlje, efektivno tijekom jedne zvjezdane godine ($365 \text{ d } 6 \text{ h } 9 \text{ min } 9.76 \text{ s} = 365.256363 \text{ d}$) naprave puni krug oko vlastitoga geometrijskog središta (točke jednako udaljene od A , B i C) koje zaostaje 50 Gm za orbitom Zemlje u prosjeku udaljene 149.6 Gm od Sunca, čiji je promjer 1.39 Gm . U odabranom trenutku i postavljenom koordinatnom sustavu u ravni satelita ABC , prikažite vektorski (s jasno naznačenim kutovima s $\overline{AB}$, $\overline{BC}$ ili $\overline{AC}$) te izrazite algebarski: brzinu gibanja satelita $\vec{v}_B$, relativne brzine gibanja satelita $\vec{v}_{AB}$ (A u odnosu na B) i $\vec{v}_{CB}$ (C u odnosu na B). U kojem su odnosu $\vec{v}_{AB}$ i $\vec{v}_{BA}$?

4. Tijelo zanemarivih dimenzija pušteno je iz mirovanja s najvišeg vrha kosine te se giba niz neprekinute ravne podloge različitih nagiba koje na kraju prelaze u kružni luk radijusa $R = 1 \text{ m}$ kao što je prikazano na slici. Zanemarite otpor zraka i trenje. Odredite maksimalnu visinu do koje dolazi kuglica nakon ulaska u kružni dio putanje.



2. skupina

1. 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, $d = 5\text{ cm}$, što je ujedno i udaljenost ploča drugog kondenzatora, te $l = 3\text{ cm}$ 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 pogadati.

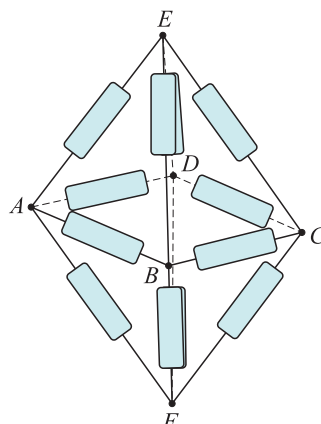
Pretpostavite da se sva kinetička energija elektrona pretvara u toplinu koju meta apsorбира pri udaru. Poznato je da elektroni koje žica emitira rezultiraju očitanjem struje od 2 mA na ampermetru A sa slike te da ta struja potječe isključivo od “nadomještanja” elektrona koji su otpušteni na žici.

2. 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.



3. Promotrite dvije posude ispunjene s po jednim

kilogramom posebno pripremljenog termogela te dva beskonačno velika spremnika temperature 300 K 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 toplina 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.

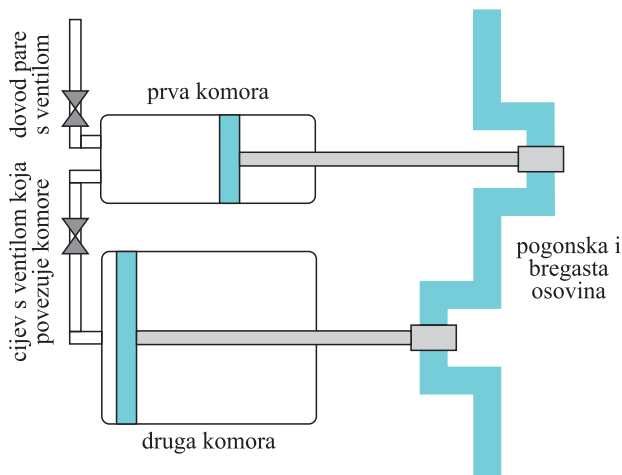
Latentna toplina skrućivanja gela jest 500 kJ/kg , dok je toplinski kapacitet njegove krute faze tri puta veći od kapaciteta njegove tekuće faze i iznosi 3 kJ/kJ/kgK . Zanimajte toplinski kapacitet posude u kojoj se gel nalazi. Zanimajte bilo kakav prijenos topline na okolinu te sve druge energijske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

4. 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. Zanimajte gravitaciju i sve energijske gubitke. Zanimajte volumen spojnih cijevi sa skice.

U početku radnog ciklusa superzagrijana para temperature 120°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 nego li 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

drugoј 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 (pri pazite, 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?

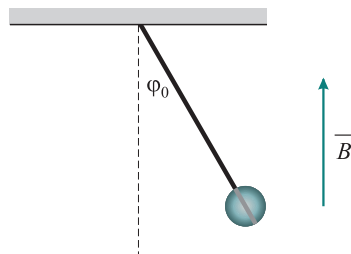
Fizikalne konstante: ubrzanje sile teže blizu površine Zemlje: $g = 9.81 \text{ m/s}^2$; atmosferski tlak, odnosno tlak koji odgovara jednoj atmosferi: $p_{\text{atm}} = 101\,300 \text{ Pa}$; temperatura apsolutne nule: $T_0 = -273.15^\circ\text{C}$; plinska konstanta: $R = 8.314 \text{ J/Kmol}$; masa elektrona: $m_e = 9.1094 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$; elementarni naboj: $q_e = 1.6021 \cdot 10^{-19} \text{ C}$.

3. skupina

1. Homogena kugla mase $M_k = 20 \text{ g}$ i polumjera $r = 5 \text{ cm}$ visi na krutoj homogenoj šipki mase $m = 100 \text{ g}$ i duljine $L = 20 \text{ cm}$ zanemarujuće debljine. Oko opsega kugle (vidi sliku) namotano je 100 paralelnih, gusto namotanih zavoja bakrene žice mase $m_z = 30 \text{ g}$. Krajevi žice su spojeni tako da čine zatvorenu petlju. Kugla i šipka načinjeni su od izolatora.

Šipka je za strop pričvršćena tako da se može slobodno njihati u vertikalnom magnetskom polju jakosti 2 T . Ukupni otpor 100 zavoja bakrene žice iznosi $4 \, \Omega$.

Šipku otklonimo za mali kut $\varphi_0 = 5^\circ$ i pustimo da njiše.



a) Odredite period njihala.

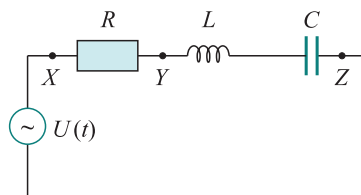
b) Odredite srednju struju koja se inducira u bakrenoj žici u periodu od trenutka kada smo šipku otklonili i pustili da njiše do trenutka kada je šipka po prvi puta postigla najveću brzinu.

c) Odredite srednju struju koja se inducira u bakrenoj žici u periodu od trenutka kada smo šipku otklonili i pustili da njiše do trenutka $t = T/8$, gdje je T perioda njihala.

Primijenite aproksimaciju malih kutova $\sin \alpha \approx \alpha$.

2. Trčite konstantnom brzinom 7.2 km/h uz rub ceste, te vas sustižu kola hitne pomoći s upaljenom sirenom. Pred vama se nalazi vertikalno brdo i ulaz u tunel. Osim što čujete zvuk sirene kola hitne pomoći frekvencije f_1 , čujete i zvuk jeke sirene zbog odbijanja zvuka o brdo ispred vas, no nešto drugačije frekvencije f_2 . Zbog bliskih frekvencija zvuka sirene f_1 i f_2 čujete udare frekvencije $f_u = |f_1 - f_2| = 8$ Hz. Prije ulaska u tunel, kola hitne pomoći vas preteknu i tada se udari više ne čuju, no čujete dva tona (zvuka) sirene čije se frekvencije razlikuju za 100 Hz. Pretpostavite da se vi i kola hitne pomoći gibate cijelo vrijeme konstantnom brzinom. Brzina zvuka u zraku iznosi 340 m/s. Odredite brzinu kola hitne pomoći i frekvenciju zvuka sirene koju biste čuli da mirujete i vi i kola hitne pomoći.

3. Serijski RLC krug se može koristiti kao uskopojasni propusan ili nepropusan elektronički filter. Elektronički filtri su sklopovi koji na izlaz sklopa propuštaju samo ulazne napone točno određenih frekvencija, i to tako da za takve frekvencije izlazni napon bude gotovo jednak ulaznom naponu. Ulazni napon je izvor izmjeničnog napona, na donjoj slici označen sa $U(t)$, a izlazni napon se može mjeriti na krajevima RLC elemenata sklopa između točaka X i Y ili Y i Z kako je prikazano na slici dolje.



Induktivitet zavojnice iznosi 300 mH, a omski otpor 60Ω . Amplituda ulaznog napona iznosi 120 V.

a) Odredite ovisnost pada efektivnog napona između točaka X i Y , odnosno između točaka Y i Z u odnosu na efektivni ulazni napon U_{eff} .

b) Uskopojasni propusni elektronički filter na izlaz propušta samo ulazne napone točno određene frekvencije f_0 , a ulazne napone ostalih frekvencija prigušuje. Na osnovu relacije izvedene pod a), odredite i obrazložite između kojih točaka (X i Y ili Y i Z) trebate mjeriti izlazni napon da bi serijski RLC krug djelovao kao uskopojasni propusni elektronički filter? Ukoliko želite propustiti korisnu frekvenciju signala od 1.5 kHz, koliki mora biti kapacitet kondenzatora?

c) Uskopojasni nepropusni (zaustavni) filter na izlazu maksimalno prigušuje samo ulazni napon točno određene frekvencije f_0 , dok ulazne napone ostalih frekvencija propušta gotovo nepromijenjeno. Takav se filter koristi kada iz korisnog signala želimo ukloniti signal šuma poput šuma gradske mreže pri frekvenciji 50 Hz. Na osnovu relacije izvedene pod a), odredite i obrazložite između kojih točaka (X i Y ili Y i Z) trebate mjeriti izlazni napon da bi serijski RLC krug djelovao kao uskopojasni nepropusni (zaustavni) elektronički filter? Ukoliko želite ukloniti signal šuma gradske mreže, koliki mora biti kapacitet kondenzatora?

d) Prikažite grafički ovisnost izlaznog efektivnog napona o frekvenciji pod b) i c) tako da izračunate izlazne efektivne napone U_{XY} odnosno U_{YZ} za $f = f_0$, $f = 5f_0$ i $f = \frac{1}{5}f_0$.

Napomena. Pod b) i c) pokažite koliko iznose izlazni naponi pri frekvencijama jednakim, puno manjim i puno većim od f_0 .

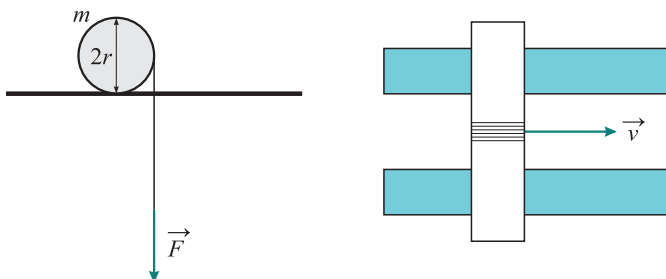
4. Homogeni puni valjak mase m i radijusa r miruje na dvije dugačke paralelne daske. Oko valjka namotana je nerastezljiva nit zanemarive mase čiji slobodan kraj potežemo konstantnom silom F vertikalno prema dolje zbog čega se valjak započinje kotrljati.

a) Odredite najveću silu F kojom možemo potezati nit u ovisnosti o koeficijentu trenja i masi valjka m prije nego što valjak počne proklizavati.

b) Odredite najveće ubrzanje središta valjka u ovisnosti o koeficijentu trenja za koji valjak još neće proklizati.

c) Za koje vrijednosti koeficijenta trenja je moguće kotrljanje valjka bez proklizavanja, bez obzira na silu kojom potežemo nit?

Na donjoj slici je prikazan sustav sa strane i odozgo.



4. skupina

1. Foton se raspršuje na slobodnom elektronu pod kutom θ .

a) Nađite izraz za energiju upadnog fotona u ovisnosti o kutu θ (uz $\theta \neq 0$) i kinetičkoj energiji T koju elektron dobije pri raspršenju. U traženom izrazu ne smije preostati ovisnost o energiji ili količini gibanja fotona nakon raspršenja. Izvrijednite izraz za slučaj $\theta = 120^\circ$ i $T = 0.45$ MeV.

b) Je li izvrijednjena energija fotona dovoljna za stvaranje para elektron-pozitron?

c) Koliki je radijus kružne putanje raspršenog elektrona iz zadatka a) u magnetskom polju jakosti $B = 0.12$ T ako pretpostavimo da se on giba okomito na smjer polja? U ovom dijelu zadatka količinu gibanja elektrona i njegovu kinetičku energiju povežite nerelativistički.

2. U Bohrovu modelu atoma elektronima su dopuštene kružne orbite takve da za radijuse r_n i količine gibanja p_n vrijedi $r_n p_n = n \hbar$, $n \in \mathbb{N}$. Osim za vodikov atom, ovaj je model prilično dobra aproksimacija i za ione s jednim elektronom.

a) Koristeći se Newtonovim zakonima i gornjim uvjetom kvantizacije, pokažite da je energija n -tog stanja iona s atomskim brojem Z i jednim elektronom dana s

$$E_n = -\frac{m_e e^4}{2(4\pi\epsilon_0)^2 \hbar^2} \frac{Z^2}{n^2}.$$

Uputa. Prvo nađite dopuštene radijuse r_n i brzine v_n .

b) Zračenje iona litija ($Z = 3$) s jednim elektronom okomito upada na difrakcijsku rešetku širine 6.6 mm. Emisijska linija koja odgovara prijelazu iz stanja $n = 100$ u osnovno stanje blizu je razlučivosti (u smislu Rayleighova kriterija) na kutu difrakcije θ . Nađite θ .

Uputa. Promotrite razliku inverza valnih duljina za dva susjedna prijelaza u osnovno stanje, λ_n i λ_{n+1} , uz $n \gg 1$. Također uzmite da za $\delta\lambda = \lambda_n - \lambda_{n+1}$ vrijedi $\delta\lambda/\lambda_n \ll 1$. Koristan izraz: $(1+x)^n \approx 1+nx$ ako $x \ll 1$.

3. a) Ion helija 4 u mirovanju emitira foton koji odgovara prijelazu ovog iona iz drugog pobuđenog stanja u osnovno stanje. Koliku brzinu pritom dobije ovaj ion? Računajte nerelativistički. Za mase protona i neutrona uzmite u .

b) Optička melasa jest tehnika optičkog hlađenja atoma (ili iona). Duž osi kojom se gibaju atomi su obasjani laserskom svjetlošću iz oba smjera. Frekvencija lasera postavljena je tako da pobuđuje elektronski prijelaz u određeno više stanje za atome koji putuju prema laseru. Važno je uočiti da ovi atomi percipiraju uvećanu frekvenciju u odnosu na njezinu stvarnu vrijednost (zašto?). Oni će apsorbirati fotone iz lasera i pritom dobiti izvjesnu brzinu u smjeru suprotnom početnoj brzini.

Recimo da na ovaj način želimo usporiti (ohladiti) ion helija brzine $v = 10^5 \text{ ms}^{-1}$ koji se nalazi u osnovnom stanju. Kolika mora biti (linearna) frekvencija lasera prema kojemu putuje da bi on apsorbirao foton koji ga pobuđuje u treće pobuđeno stanje? Radi jednostavnosti, računajte nerelativistički! Kolika je brzina iona nakon apsorpcije 1000 ovakvih fotona? Promatrajte svaki foton kao ekvivalentan prethodnome, tj. zanemarite promjenu u percipiranoj frekvenciji uslijed apsorpcije pojedinog fotona.

c) Neka su frekvencije obaju lasera na osi postavljene na vrijednost koju ste pronašli u zadatku b). Koliku će frekvenciju ion iz zadatka b) percipirati za laser od kojeg se udaljava? Usporedite razliku percipiranih frekvencija za laser kojemu se približava i laser od kojega se udaljava s prosječnom širinom linije elektronskih stanja od 100 MHz. Pridonosi li laser od kojega se ion udaljava njegovu hlađenju? Zašto? Za potrebe ovog pitanja pretpostavite da je prijelaz iz b) jedini u spektru ovog iona.

d) Nakon nekog vremena od apsorpcije fotona iz b), ion će se relaksirati u osnovno stanje i, u skladu sa zadatkom a), dobiti izvjesnu brzinu kao posljedicu emisije fotona. Bez računa kratko komentirajte zašto ovaj proces ne onemogućava hlađenje opisanom metodom.

4. Uzmimo da tipična nuklearna elektrana ima iskoristivost $1/3$ te proizvodi električnu snagu 1000 MW. Do fisije urana dolazi tako što jezgra ^{235}U apsorbira spori neutron.

a) Napišite jednadžbu reakcije pri kojoj fisijom urana nastaje jezgra ^{140}Xe , još jedna jezgra te dva brza neutrona kinetičke energije 1 MeV. Zanemarujući početnu brzinu apsorbiranog neutrona, izračunajte energiju oslobođenu u jednoj reakciji. Za mase uzmite $m(^{235}\text{U}) = 235.04 u$, $m(^{140}\text{Xe}) = 139.92 u$ te $m(X) = 93.92 u$, gdje je X druga jezgra nastala u ovoj reakciji. Za masu neutrona uzmite u . Vrijeme poluraspada mnogo je dulje od godine dana.

b) Nakon apsorpcije sporog neutrona, a prije raspada na gore opisan način, jezgra ^{235}U mijenja se i postaje pobuđena. Kolika je energija pobuđenja novonastale jezgre ako je njezina masa u osnovnom stanju jednaka $236.033 u$? Koja je to jezgra?

c) Jezgra ^{140}Xe nije stabilna, već se uzastopnim β^- -raspadima prevodi do određenog izotopa Ce. Napišite jednadžbe ovih raspada. Nakon fisije svake jezgre ^{235}U oslobađa se još ukupno 15 MeV energije pri nizu ovih β^- -raspada. Dok je fisiju urana moguće kontrolirati i zaustaviti ubacivanjem kontrolnih šipki koje apsorbiraju neutrone, ove β^- -raspade nije moguće zaustaviti. Kolika se ukupna snaga oslobađa nakon zaustavljanja fisije urana?

d) Kolika se masa urana godišnje potroši u ovoj elektrani?

Neke konstante i korisne veličine: $h = 6.63 \cdot 10^{-34} \text{ Js}$ (Planckova konstanta); $c = 3 \cdot 10^8 \text{ ms}^{-1}$ (brzina svjetlosti u vakuumu); $u = 1.66 \cdot 10^{-27} \text{ kg} = 931.5 \text{ MeV}/c^2$ (unificirana atomska jedinica mase); $m_e = 9.11 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$ (masa elektrona); $e = 1.6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ (elementarni naboj); $\epsilon_0 = 8.854 \cdot 10^{12} \text{ A}^2\text{s}^4\text{kg}^{-1}\text{m}^{-3}$ (permitivnost vakuumu); $E_1^{(\text{H})} = -13.6 \text{ eV}$ (energija osnovnog stanja vodika).

1. skupina – Određivanje kinetičkog trenja između niti i loptice

Pribor: uteg poznate mase m_1 pričvršćen na jednom kraju niti, loptica mase m_2 kroz koju prolazi nit, metar, zaporni sat (štoperica), kolotura.

Zadatak.

1. Prebacite nit preko koloture i postavite kraj niti za koji je pričvršćen uteg u gornji položaj, a ostatak niti i lopticu postavite na pod. Nakon toga pustite uteg i lopticu u gibanje.
2. Nacrtajte dijagram sila posebno za uteg i posebno za lopticu za vrijeme gibanja.
3. Izvedite izraz za silu kinetičkog trenja između niti i kuglice. Izraz treba sadržavati samo poznate veličine i mjerene podatke.
4. Napravite 10 mjerenja, odredite srednje vrijednosti i odstupanja od srednje vrijednosti za silu kinetičkog trenja između niti i kuglice.

Napomene.

1. Zanimajte trenje u koloturi, masu niti i otpor zraka.
2. Nemojte pričvršćivati nit za lopticu, kuglica se treba slobodno gibati niz nit.

2. skupina – Mjerenje gustoće tijela

Zadatak. Koristeći se samo dostupnim priborom potrebno je izmjeriti gustoću komada drva i komada metala. Gustoća vode koja se koristi u eksperimentalnom zadatku iznosi 1000 kg/m^3 .

Pribor: dvije papirnate čaše, jedna manja plastična čašica, medicinska šprica, ravvalo, kemijska olovka, tanki konopac, posuda s vodom, papirnati ubrusi za eventualno brisanje radne površine.

Tijekom rješavanja zadatka potrebno je:

1. Izmjeriti volumen uronjenog dijela drva i tekstualno opisati kako je izmjeren volumen uronjenog dijela tijela.
2. Izmjeriti volumen cijelog komada drva i tekstualno opisati kako je izmjeren volumen cijelog komada drva.
3. Izmjeriti volumen komada metala i tekstualno opisati kako je izmjeren volumen komada metala.
4. Izmjeriti masu komada drva i tekstualno opisati kako je izmjerena masa komada drva.
5. Izmjeriti masu komada metala i tekstualno opisati kako je izmjerena masa komada metala.
6. Izračunati gustoću drva.
7. Izračunati gustoću metala.

3. skupina

Zadatak. Odredite konstantu elastičnosti ovještene slinky opruge.

Pribor: slinky (opruga), mjerna traka, stezaljke, letvice, milimetarski papir (4 lista), vaga, flomaster.

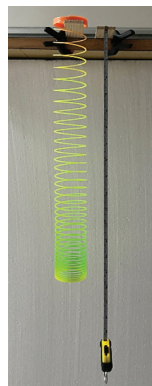
1. dio

Opruga *slinky* privukla je pažnju od trenutka kad se 1943. godine pojavila na tržištu kao igračka. Zanimljiva je i fizičarima. Istraživale su se fizikalne zakonitosti i modeli okomito ovješene opruge u ravnotežnim stanjima, pri oscilacijama, rasprostiranju valova duž opruge, “hodanju” opruge niz stepenice, što i zašto se to događa kad okomito ovješena *slinky* pustimo da slobodno pada. . .

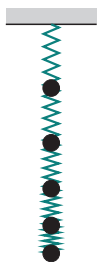
Na slici je prikazan eksperimentalni postav.

Dana opruga ima oko 40 namotaja.

a) Ovjesite slinky oprugu te opišite i obrazložite svoja opažanja.



2. dio



Na slici lijevo prikazan je teorijski model opruge *slinky*. *Slinky* od n namotaja predložen je nizom od n opruga, gdje svaka od opruga nosi masu m_i .

- b) Ovjesite slinky vertikalno, kao što je prikazano na slici. Mijenjajte broj namotaja koji je ovješena i izmjerite duljinu ovješene dijela opruge. Sva svoja mjerenja uvijek prezentirajte i tablično! Prikažite grafičku ovisnost duljine opruge o broju namotaja koji su ovješeni. O kakvom se grafičkom prikazu se ovdje radi?
- c) Iz dobivenih mjerenja grafički prikažite ovisnost s pomoću koje ćete odrediti konstantu elastičnosti slinky opruge.
- d) S pomoću dobivenog grafičkog prikaza i razmatranja koje uključuje spomenuti teorijski model, odredite konstantu elastičnosti slinky opruge.
- e) Prema spomenutom teorijskom modelu izrazite ukupno produljenje slinky opruge u ovisnosti o broju namotaja.
- f) Ovo ukupno produljenje odgovara duljini opruge. Izrazite duljinu opruge o masi opruge i konstanti elastičnosti opruge.
- g) Grafički prikažite ovisnost duljine opruge o kvadratu broja namotaja. Iz dobivenog grafa odredite konstantu elastičnosti opruge.

3. dio

- h) Prema teorijskom modelu za slinky oprugu, period titranja opruge ovisi o akceleraciji sile teže i duljini vertikalno ovještene opruge:

$$T = \sqrt{\alpha \cdot \frac{l}{g}}.$$

Ispod korijena skriven je broj koji trebate eksperimentalno odrediti. Opišite koja ćete mjerenja provesti i kako ćete na osnovi mjerenja odrediti broj α . Prikažite mjerenja tablično i grafički! Odredite α .

- i) Međutim, u duljini vertikalno ovještene opruge skrivena je ovisnost o masi i konstanti opruge. S pomoću prethodnog izraza za period titranja *slinky* opruge i eksperimentalno određenog broja α izrazite period oscilacija pomoću mase opruge i konstante elastičnosti opruge. Iz tog izraza i mjerenih podataka odredite konstantu elastičnosti

opruge.

Usporedite dobiveni izraz s poznatim izrazom za period titranja harmonijskog oscilatora.

Obrazložite usporedbu.

4. skupina

Pribor: 2 žele bombona, 5 pribadača, konac, stiropor, milimetarski papir, kutomjer, papirnata maramica.

Zadatak.

S pomoću navedenog pribora odredite brzinu svjetlosti kroz žele smjesu tako da:

- a) koristeći se kutomjerom kao priborom za crtanje nacrtate skicu prolaska zrake svjetlosti kroz žele smjesu s označenim svim veličinama bitnima za daljnji rad;
- b) riječima i algebarskim izrazima opišete teorijsku osnovu eksperimentalnog postupka;
- c) navedete korake u radu: postavljanje eksperimentalnog seta i mjerenje;
- d) tablično prikazete rezultate za pet mjerenja;
- e) pet milimetarskih papira sa zapisom rada priložite uz ovaj izvještaj;
- f) provedete račun pogreške koji uključuje srednju vrijednost dobivene brzine svjetlosti, pojedinačno odstupanje od srednje vrijednosti, zapis točnog rezultata i maksimalnu relativnu pogrešku;
- g) prema stečenom eksperimentalnom iskustvu navedete što je utjecalo na preciznost rezultata;
- h) analizirate eksperimentalni rezultat tako da usporedite dobivenu vrijednost s poznatom vrijednošću za brzinu svjetlosti i ukratko komentirate rezultat;
- i) zaključno ponovite prema kojemu je algebarskom izrazu i fizikalnoj zakonitosti moguće odrediti brzinu svjetlosti u ovom eksperimentu.

Emil Tafra