

Računske naloge pri predmetu Biofizika

1. oktober 2009

Avtorji nalog: Bojan Božič, Jure Derganc, Veronika Kralj-Iglič, Janja Majhenc in Primož Peterlin.

Zbira, ureja in rešuje: Jure Derganc.

Rešitve dopolnjujemo skozi vse leto in dopolnjene sproti objavljamo na internetu.

Zahtevnejše naloge so označene z *.

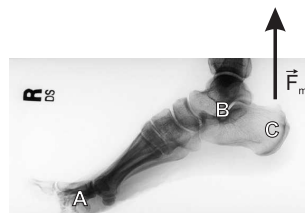
Uvodne naloge

1. Koliko gramov soli moramo raztopiti v litru vode, da dobimo fiziološko raztopino? Fiziološka raztopina je 150 mMol raztopina soli. En mol NaCl ima maso 58,4 g.
2. Ocenite število atomov v telesu študenta medicine, ki tehta 70 kg. Upoštevajte, da je telo sestavljeno predvsem iz vode z molsko maso $M = 18 \text{ kg/kmol}$ in da so v vsaki molekuli vode trije atomi. ($N_A = 6 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$)
3. V ZDA temperaturo merijo v stopinjah Fahrenheita. Med stopinjami Fahrenheita in stopinjami Celzija velja linearna odvisnost, pri čemer je ledišče (0°C) pri 32°F , vrelišče vode (100°C) pa pri 212°F . Koliko stopinj Fahrenheita ustreza temperaturama 37°C in 42°C ?
4. V ZDA telesno težo včasih merijo v funtih (lb) in unčah (oz). Odmerek nekega zdravila je 1 ml na kilogram telesne teže. Koliko ml zdravila naj dobi novorojenček, ki tehta 6 lb 11 oz? En funt je 453,6 gramov, ena unča pa 28,35 grama (v enem funtu je šestnajst unč).
5. Delitveni čas za celice v celični kulturi je 1,5 dni. V kolikem času se število celic v kulturi podeseteri, v kolikem postoteri in v kolikem potisočeri?
6. Absorpcijo svetlobe v raztopini lahko opišemo na več načinov. Včasih jo opišemo z enačbo $I = I_0 e^{-\mu x}$, drugič z enačbo $I = I_0 10^{-\epsilon c x}$, lahko pa tudi z enačbo $I = I_0 2^{-x/x_{1/2}}$. Pri tem je μ absorpcijski koeficient, ϵ ekstinkcijski koeficient, c koncentracija raztopine, $x_{1/2}$ razpolovna debelina, x pa je razdalja, ki jo svetloba prepotuje po raztopini.
 - (a) Kakšna je zveza med μ in ϵ ?
 - (b) Kakšna pa je zveza med μ in $x_{1/2}$?
7. * Eritrociti se v krvi neprestano obnavljajo - novi nastajajo v kostnem mozgu, stari pa se iz krvnega obtoka izločajo v vranici. Življenjska doba eritrocitov je približno 120 dni. Koliko eritrocitov nastane oz. se izloči vsako sekundo, da se jih v krvi vzdržuje konstantno število 25×10^{12} ?
8. Radij krogle je 5,2 cm. Ocenite napako, ki bi jo naredili pri izračunu njene površine in volumna, če bi radij zaokrožili na 5 cm? Izračunajte tako relativno kot absolutno napako.
9. Kolikšno relativno napako bomo prinesli v naše račune, če bomo namesto prave vrednosti težnega pospeška na Zemlji ($9,81 \text{ m/s}^2$) v računih uporabili približek 10 m/s^2 ?
10. Laboratorijska tehtnica ima natančnost 10 mg.
 - (a) Kolikšna je najmanjša masa, ki jo s tehtnico še lahko odtehtamo, če si želimo doseči vsaj 5 % natančnost?

- (b) * Pri postopku priprave zdravila potrebujemo 300 mM raztopino salicilne kisline, pri čemer mora biti natančnost koncentracije najmanj 5%. Kolikšna je najmanjša količina raztopine, ki jo še lahko pripravimo z laboratorijsko tehtnico, če lahko volumen vode merimo le na 100 μl natančno? Molska masa salicilne kisline je 138,1 g/mol.

Mehanika

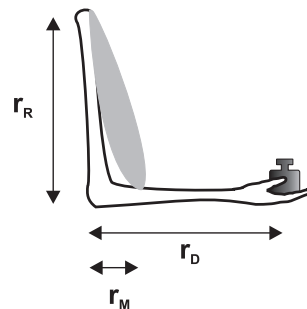
- Ko se s kolesom peljemo na ljubljanski grad, se navzgor vozimo s hitrostjo 5 km/h, z gradu pa po isti poti s hitrostjo 15 km/h. Kolikšna je povprečna hitrost našega kolesarjenja?
- Kamen, ki ga spustimo z mostu pri Klužah, pada do dna približno $3,5 \text{ s} \pm 0,5 \text{ s}$. Kolikšna je višina mostu? Kolikšno višino mostu naj upošteva "bungee" skakalec, da bo izvedel varen skok?
- Plavamo čez 5 m široko reko, ki teče s hitrostjo 2 m/s. Hitrost našega plavanja je 1 m/s.
 - Pod katerim kotom glede na tok reke moramo plavati, da bomo čim manj časa v vodi? Za koliko nas reka odnese s tokom, preden priplavamo na drugi breg?
 - * Pod katerim kotom glede na tok reke moramo plavati, da nas bo reka čim manj odnesla?
- Težki smo 60 kg. Ko skočimo iz čepečega položaja, pri katerem je težišče za 8 dm nižje kot takrat, kadar stojimo, se težišče dvigne glede na stoječi položaj še za 45 cm.
 - S kolikšno hitrostjo se odlepimo od tal?
 - Koliko časa traja odziv in s kolikšno silo med odzivom delujejo mišice, če predpostavimo, da se rezultanta sil med odzivanjem ne spremeni?
 - Kolikšna je največja moč, ki jo imajo mišice med odzivanjem?
- Energije za najmanj koliko tablic čokolade porabi 80 kg težek planinec pri vzponu na vrh Triglava? Med vznožjem in vrhom je višinska razlika 2100 m, v tablici čokolade pa je 550 kcal energije. Za opravljanje mehanskega dela porabimo le približno 20 % od s hrano pridobljene energije. (1 cal = 4,2 J)
- Avtomobil s hitrostjo 30 km/h se zaleti v betonski blok in ustavi, pri čemer se sprednji del avtomobila zmečka za 10 cm.
 - Ocenite, kolikšen pospešek (pojemek) čuti voznik avtomobila, če ga varnostni pas trdno drži v sedežu.
 - Kolikšno silo morajo pri tem prenesti varnostni pasovi, če je voznikova masa 80 kg?
- Ko skočimo na bolniško posteljo, ki je na kolesih, se popeljemo s hitrostjo 0,5 m/s. Kolikšna je vodoravna komponenta naše hitrosti med skokom? Naša masa je 70 kg, masa postelje pa je 100 kg.
- Na sliki je prikazan položaj stopala 80 kg tekega športnika pri stoji na prstih ene noge. Vodoravna razdalja med prsti (A) in gležnjem (B) je približno 13 cm, med gležnjem in prijemališčem mečne mišice (C) pa 3 cm.



- Izračunajte, s kolikšno silo F_m je pri stoji na prstih ene noge napeta mečna mišica? Primerjajte silo mečne mišice s silo teže športnika.

- (b) Kolikšna pa je navpična sila v gležnju?
- (c) Znan je podatek, da povprečna mišica zdrži približno 90 N sile na kvadratni centimeter preseka. Vsaj kolikšen mora biti presek mečne mišice v zgornjem primeru?
- (d) Komentirajte pomen velikosti pete pri stoji na prstih. Ali anatomske razlike med športniki lahko vplivajo na športne dosežke?

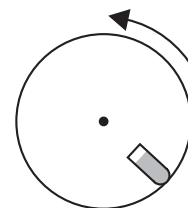
9. Ko v skrčeni roki držimo utež, si lahko v prvem približku predstavljamo, da vso težo držimo le z nadlaktnim bicepsom. Masa uteži je 10 kg, maso roke pa lahko zanemarimo. Razdalja med komolcem in ramo (r_R) je 30 cm, razdalja med komolcem in dlanjo (r_D) pa 40 cm.



- (a) S kolikšno silo je napeta mišica, če je razdalja med komolcem in prijemališčem mišice (r_M) 5 cm? Težo roke zanemarimo.
- (b) S kolikšno silo pa je napeta mišica, če je r_M le 3 cm?

10. Za uspešno vrtnanje mora biti obodna hitrost na površini zobnega svedra 20 m/s. S kolikšno frekvenco se mora vrteti sveder, če je njegov premer 1,5 mm?

11. V centrifugi centrifugiramo epruveto z vzorcem krvi (os vrtenja je navpična).

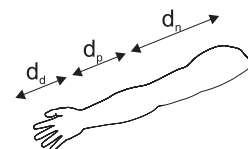


- (a) Kolikšen radialni pospešek čutijo krvne celice, če se centrifuga vrti s 500 obrati na minuto in je epruveta na radiju 23 cm?
- (b) Ko centrifugo izklopimo, se začne enakomerno ustavljati in se ustavlja 3 minute. Koliko obratov naredi pri tem?

12. Drsalka na ledu se vrti z iztegnjenimi rokami s frekvenco 0,7 Hz, njena vrtilna količina pa je 4,0 kgm²/s. Ko skrči roke, se njena frekvenca poveča na 1,3 Hz.

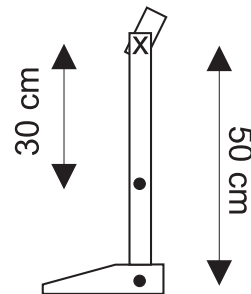
- (a) Kolikšen je njen vztrajnostni moment, ko ima roke skrčene?
- (b) Koliko dela opravi med krčenjem rok?
- (c) Nato se plesalka začne ustavljati s konstantnim navorom. S kolikšnim navorom se ustavlja, če se enakomerno pojemajoče ustavlja 10 s?

13. Dlan je dolga 18 cm in teška 0,6 kg, podlaket je dolg 29 cm in težek 1,8 kg, nadlaket pa je dolg 30 cm in težek 2,7 kg. Kako daleč od rame je težišče roke? Težišča posameznega dela roke je približno na njegovi sredini.



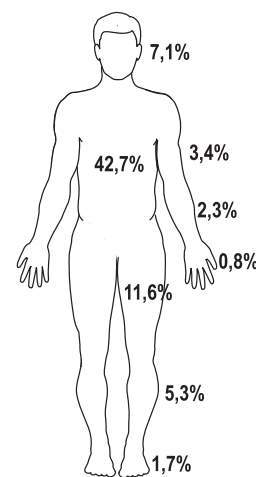
14. Pri nadkolenski protezi, ki nadomesti izgubo noge nad kolonom, je na mestu kolena zglob, spodnji del proteze pa prosto niha. Lastna frekvenca, s katero niha proteza, mora biti enaka frekvenci hoje.

- Za kolikšno frekvenco korakov je namenjena proteza na sliki? Težišče goleni je 30 cm pod kolonom, težišče stopala pa 50 cm pod kolonom. Masa golenskega dela proteze je 2 kg, masa stopala pa je 0,5 kg. Vztrajnostni moment celotne proteze je $0,3 \text{ kg m}^2$.
- Na koliko se spremeni frekvenca korakov, če obujemo 0,5 kg težek čevljev? V prvem približku težišče čevlja sovpada s težiščem stopala.
- Na koliko pa se spremeni frekvenca korakov, če kolenskemu zglobu dodamo še dušenje $\beta = 3 \text{ s}^{-1}$?



15. Kolikšna je razlika tlakov krvi (v milimetrih živega srebra) med stopali in glavo pri osebi višine 1,83 m? Kolikšna pa je razlika tlakov krvi (v milimetrih živega srebra) med srcem in glavo, če je razdalja srcem in glavo približno 40 cm. Gostota krvi je 1060 kg/m^3 , gostota živega srebra pa je 13550 kg/m^3

16. Po poškodbi lahko pacient koleno obremeni le s 50% svoje celotne teže. Predpišejo mu fizioterapijo v bazenu. Ali v bazenu lahko stoji na poškodovani nogi, če mu voda sega do pasu, roke pa ima v celoti nad gladino? Kaj pa če mu voda sega do polovice trupa? Pri računu si pomagajte s sliko, na kateri so prikazani deleži posameznih delov pri masi celotnega telesa. Upoštevajte, da na koleno pritiska le teža, ki je nad njim! V prvem približku je telo homogeno in ima gostoto 1030 kg/m^3 .



17. Povprečen pretok krvi po ožilju je 5 l/min .

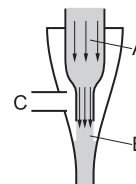
- Kolikšna je povprečna hitrost krvi v aorti? Premer aorte je 2,5 cm.
- Kolikšna pa je povprečna hitrost krvi v kapilarah, če je njihovo število $5 \cdot 10^9$, njihov premer pa približno $9 \mu\text{m}$?
- * Največji pretok krvi v aorti je 250 ml/s . Kolikšna je takrat hitrost krvi na sredini aorte, če je pretok laminaren?

18. Pri testu sedimentacije se meri hitrost, s katero eritrociti tonejo v krvni plazmi v mirujoči epruveti (v mm/h).

- Kolikšna je hitrost sedimentacije pri normalni krvi (v mm/h)? Viskoznost plazme pri normalni krvi je $0,0013 \text{ Ns/m}^2$, njena gostota pa 1025 kg/m^3 . V normalni krvi se eritrociti ne lepijo skupaj in jih lahko obravnavamo kot okrogla telesa s premerom $8 \mu\text{m}$. Gostota eritrocitov je 1125 kg/m^3 .
- Kako je hitrost sedimentacije odvisna od velikosti eritrocitov? Kako se spremeni hitrost sedimentacije, če se zaradi bolezenskega stanja eritrociti zlepijo v skupke, ki so prav tako okrogli, a imajo premer $15 \mu\text{m}$?
- Kako hitro pa tonejo eritrociti v krvni plazmi med centrifugiranjem iz naloge 11a?

19. Kako visoko lahko največ brizgne kri iz predrte arterije, v kateri je tlak 80 mm Hg? Gostota krvi je 1060 kg/m^3 , njena hitrost v arteriji pa $0,05 \text{ m/s}$. Gostota živega srebra pa je 13550 kg/m^3 .

20. Približno kolikšen podtlak ustvarja zračna črpalka na vodo s slike, če je volumski pretok vode skozi črpalko $0,2 \text{ l/s}$? Zračni tlak na ustju črpalke (točka C) je enak tlaku vode v črpalki (točka B). Ob vstopu v črpalko (točka A) je radij cevi $r_A = 4 \text{ mm}$, tlak vode pa je približno $p_A = 150 \text{ kPa}$. Radij curka vode v črpalki je $r_B = 2 \text{ mm}$. Višinsko razliko med A in B lahko zanemarite.



21. Žila je sestavljena iz dveh zaporednih delov, od katerih ima prvi dolžino 5 cm in premer 1 cm , drugi pa dolžino 1 cm in premer $0,5 \text{ cm}$.

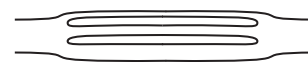


- (a) Kolikšna je viskozna upornost vsakega od delov, če skozi žilo teče kri z viskoznostjo $0,0027 \text{ Ns/m}^2$?
- (b) Kolikšen je pretok skozi žilo, če je med njenim začetkom in koncem razlika tlakov 100 Pa ?
- (c) Skicirajte, kako se vzdolž žile spreminja tlak, če je tlak na začetku žile enak 300 Pa !

22. Žila z radijem 1 mm in dolžino 1 cm se razdeli na 5 manjših žil z radijem $0,2 \text{ mm}$ in dolžino $0,2 \text{ cm}$. Kolikokrat je padec tlaka krvi v manjših žilah večji od padca tlaka v večji žili?

23. Za kolikokrat se spremeni volumski pretok krvi skozi žilo, če se radij žile poveča za 5% , tlak v žilah pa ostane enak?

24. Arterija se razdeli na tri manjše žile, ki se kasneje spet združijo. Manjše žile imajo radije 1 mm , 2 mm in 3 mm , dolge pa so 12 mm . Volumski pretok skozi arterijo je $0,2 \text{ l/min}$.



- (a) Kolikšen je padec tlaka na manjših žilah, če je viskoznost krvi $0,0027 \text{ Ns/m}^2$?
- (b) Kolikšen je volumski pretok krvi skozi vsako od manjših žil?

25. Bolnik potrebuje transfuzijo, zato mu bomo iz vrečke dovajali kri po cevki skozi iglo v veno, v kateri je tlak 8 mm Hg . Notranji polmer 4 cm dolge injekcijske igle je $0,2 \text{ mm}$. Kako visoko naj bo dvignjena vrečka nad iglo, da bo pretok krvi enak $2 \text{ cm}^3/\text{min}$? ($\eta = 0,0027 \text{ Ns/m}^2$, $\rho = 1060 \text{ kg/m}^3$)

26. Ocenite moč, s katero potiska srce kri po žilah! Tlak v arterijah je 96 mm Hg , v venah pa 8 mm Hg . V normalnem stanju potrebuje kri za en obtok povprečno 54 s . Celotna količina krvi je približno 5 l , gostota živega srebra pa je 13550 kg/m^3 .

27. Zdrava pljuča so sestavljena iz približno 300 milijonov majhnih pljučnih mešičkov (alveolov) z radijem približno $0,12 \text{ mm}$. Na notranji površini pljučnih mešičkov so surfaktanti (površinsko aktivne molekule), zaradi katerih je površinska napetost mešičkov približno petnajstkrat manjša kot pri fiziološki raztopini (površinska napetost fiziološke raztopine je približno $0,07 \text{ N/m}$, površine s surfaktanti pa približno $0,005 \text{ N/m}$).



- (a) Kolikšna sta skupna površina in volumen pljuč?

- (b) Kolikšno delo opravimo z napihovanjem mešičkov pri globokem vdihu, ko se radij mešičkov poveča na 0,15 mm?
- (c) Kolikšna je razlika tlakov med zrakom v mešičku in okoliško raztopino pri vdihu in kolikšna pri izdihu?
- (d) Proizvodnja surfaktantov v pljučih pri človeku ni končana pred zadnjim mesecem embrionalnega razvoja. Kakšne posledice ima to za nedonošenčke, ki se rodijo več kot en mesec prezgodaj?

Toplota

1. Po globokem vdihu ima nekdo v pljučih 4 litre zraka s temperaturo 37 °C in tlakom 10^5 Pa, v katerem so vodna para, N_2 , O_2 in CO_2 . Delni parni tlaki v alveolarnem zraku so takrat: $p_{H_2O} = 6,18 \cdot 10^3$ Pa, $p_{N_2} = 7,48 \cdot 10^4$ Pa, $p_{O_2} = 1,37 \cdot 10^4$ Pa. Izračunajte delni parni tlak CO_2 in skupno maso kisika v pljučih. ($M_{O_2} = 32$ kg kmol⁻¹, $R = 8,3 \cdot 10^3$ J kmol⁻¹ K⁻¹)
2. Ponesrečenec, ki ga rešilni avto pelje v 1,5 h oddaljen kraj, mora med prevozom dihati kisik iz jeklenke. Koliko jeklenk kisika z volumnom 20 l mora za na pot pripraviti reševalec, če je v polni jeklenki na začetku tlak 50 barov, ponesrečenec pa vsako minuto porabi približno 30 l kisika, ki je na normalnem zračnem tlaku 10^5 Pa?
3. Potapljač na 10 m globine izprazni polno jeklenko v pol ure. Kako hitro izprazni isto jeklenko na globini 30 m? Potapljač na obeh globinah diha približno enako hitro in pri vsakem vdihu vdihne enak volumen zraka. Temperatura vode na 10 m je 20°C, na 30 m pa 10°C. Potapljaške jeklenke imajo regulator, ki zagotavlja, da potapljač iz njih vedno diha zrak pod tlakom, ki je enak tlaku vode v okolici. Gostota vode je 1000 kg/m³.
4. Na najmanj kolikšno temperaturo moramo segreti zrak v odprtem balonu, da se bo začel dvigovati? Polmer kupole balona je 15 m, skupaj s košaro in posadko pa tehta 600 kg. Zunanja temperatura zraka je 17 °C, zunanji tlak je 10^5 Pa. Privzemite, da je zrak idealni plin z molsko maso 29 g/mol. ($R = 8300$ J kmol⁻¹ K⁻¹) .
5. Kisik O_2 segrejemo pri stalnem tlaku s temperature 0°C na 20°C. V plinu je 5×10^{25} molekul. ($N_A = 6 \times 10^{23}$ mol⁻¹, $M = 32$ kg kmol⁻¹, $R = 8300$ J kmol⁻¹ K⁻¹)
 - (a) Za kolikokrat se pri tem spremeni volumen?
 - (b) Kolikšna je sprememba notranje energije?
 - (c) Kolikšna je sprememba entalpije?
 - (d) Kolikšna je sprememba entropije?
 - (e) Kolikšen je koren povprečja kvadratov hitrosti molekul tega plina po spremembi temperature?
6. Pet litrov dušika N_2 se pri stalni temperaturi 20°C razpne na trikratni volumen. Začetni tlak je 2 bar.
 - (a) Kolikšen je končni tlak?
 - (b) Kolikšna je sprememba notranje energije?
 - (c) Koliko dela pri tem opravi plin?
 - (d) Kolikšna je sprememba entalpije?

- (e) Kolikšna je sprememba entropije?
7. Pri polnjenju jeklenke s kisikom se kisik adiabatno stiska s tlaka 1 bar na tlak 5 barov. Začetna temperatura kisika je 20°C , končen volumen stisnjenega kisika pa je 20 l. Molska masa kisika je 32 g/mol . ($R = 8300\text{ J kmol}^{-1}\text{ K}^{-1}$)
- (a) Kolikšen je začetni volumen kisika?
- (b) Koliko kilogramov kisika je v jeklenki?
- (c) Na kolikšno temperaturo se kisik ogreje med stiskanjem?
- (d) Koliko dela opravimo pri stiskanju?
8. Oblečeni se kopamo v vodi. Ko pridemo iz vode, je v namočeni obleki 1 l vode. Za koliko stopinj se ohladimo, če se obleka zelo hitro osuši zaradi suhega zraka? Težki smo 70 kg, toplotna kapaciteta telesa pa je nekaj manjša od toplotne kapacitete vode, $c = 3470\text{ J/kgK}$. Izparilna toplota vode je $q_i = 2400\text{ kJ/kg}$.
9. (a) Koliko ledu s temperaturo 0°C moramo dodati v 3 dl vrelega čaja, da ga shladimo na temperaturo 60°C ? Specifična talilna toplota ledu je 334 kJ/kg , specifična toplota vode pa $4200\text{ J kg}^{-1}\text{K}^{-1}$.
- (b) Za koliko se pri tem spremeni entropija čaju?
- (c) Za koliko se pri tem spremeni entropija ledu?
- (d) Za koliko se spremeni celotna entropija sistema led + čaj?
10. Epitelijska celica ima v izotonični raztopini (300 mOsm) volumen 200 fl. V hipotoničnem okolju se lahko celici volumen poveča največ za 1,5 krat preden počí. Kolikšna je najmanjša osmolarnost, pri kateri celica še ne počí?
11. Sredino cevke, ki ima obliko črke U, pregrajuje membrana, ki je prepustna za vodo ne pa tudi za sladkor. Na eni strani membrane je voda, v drugi pa 1 mM raztopina sladkorja pri 20°C . Cevka je postavljena navpično. Kolikšna je razlika gladin vode in raztopine sladkorja? Raztopina sladkorja ima približno enako gostoto kot voda. ($R = 8300\text{ J kmol}^{-1}\text{ K}^{-1}$)
12. Vpeta polprepustna membrana razmejuje dva predelka. V desnem sta dva litra vodne raztopine MgCl_2 s koncentracijo 2 mmol/l , v levem pa en liter vode. Membrana je prepustna samo za vodo. Koliko gramov saharoze z molekulsko maso $M = 342\text{ g/mol}$ moramo raztopiti v levem predelku, da membrana ne bo napeta.
13. Topnostni koeficient kisika za neko raztopino pri 15°C je $8,03 \cdot 10^{-9}\text{ mol l}^{-1}\text{ Pa}^{-1}$. Izračunajte, kolikšna masa kisika se raztopi v litru te raztopine pri 15°C , če je delni tlak kisika $2,1 \cdot 10^4\text{ Pa}$. ($M_{\text{O}_2} = 32\text{ kg kmol}^{-1}$)
14. V 1 kg vode pri 20°C se pri tlaku $1,01 \cdot 10^5\text{ Pa}$ raztopi 1,7 g CO_2 , pri 40°C pa pri istem tlaku le še 1 g CO_2 . Pri kolikšnem največjem tlaku CO_2 lahko polnimo steklenice pri 20°C , če naj te še prenesejo segrevanje na 40°C . Steklenica zdrži tlak do $2 \cdot 10^5\text{ Pa}$.
15. Med dihanjem hladnega in suhega zraka telo izgublja toploto, saj se zrak v pljučih segreje na telesno temperaturo ter se navlaži na 100% vlažnosti. Če pacientu preko umetnih pljuč dovajamo zrak, ki ima sobno temperaturo in vlažnost, ga lahko tako nevarno podhladimo. Ocenite, koliko toplote izgubljammo vsako sekundo zaradi dihanja! Predpostavimo, da pri dihanju naredimo 15 vdihov na minuto, vsak vdih ima volumen 1,5 l. Sobna temperatura zraka je 20°C , vlažnost 60%,

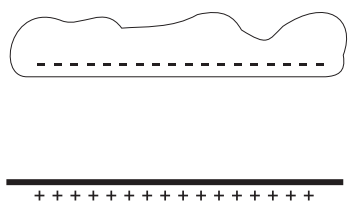
izdihan zrak pa ima temperaturo 38°C in vlažnost 100%. Pri 60% vlažnosti je pri 20°C v zraku 10,3 mg vode na liter, pri 100% vlažnosti in 38°C pa 45,75 mg vode na liter. Izparilna toplota vode pri 38°C je 2400 kJ/kg. Pri računu specifične toplote zraka lahko zrak obravnavamo kot idealni dvoatomni plin z molsko maso 29 kg/kmol.

16. * V kolikšnem času difundira molekula kisika v vodi 1 μm daleč? Kaj pa 1 mm daleč? Difuzijski koeficient za kisik v vodi pri 37°C je približno $3,1 \cdot 10^{-5} \text{ cm}^2/\text{s}$.
17. Plin prehaja z difuzijo iz ene posode v drugo skozi 5 mm debelo steno. Difuzijska konstanta za plin v steni je $2 \cdot 10^{-11} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$. V prvi posodi je gostota molekul $5 \cdot 10^{21} \text{ cm}^{-3}$, v drugi pa je gostota molekul $2 \cdot 10^{21} \text{ cm}^{-3}$. Koliko molekul pride v 1 minuti skozi presek 1 mm^2 v steni, če upoštevamo, da se koncentracija molekul v obeh posodah med tem ne spreminja?
18. V okrogli celici s polmerom 5 μm je koncentracija neke snovi $0,35 \text{ mol l}^{-1}$. Izračunajte ravnovesno koncentracijo, ki se vzpostavi, če to celico vržemo v $550 \mu\text{m}^3$ raztopine s koncentracijo $0,05 \text{ mol l}^{-1}$ in snov lahko prehaja skozi membrano celice.
19. Prepustnost celične membrane za neko snov je 10^{-4} m/s .
 - (a) Kolikšen je pretok te snovi v celico, če je koncentracija snovi v celici $0,1 \text{ mmol/l}$ in zunaj nje $0,2 \text{ mmol/l}$? Celica je okrogla in meri v polmeru 5 μm .
 - (b) Skicirajte, kako se s časom spreminja razlika koncentracij med zunanostjo in notranostjo celice, če se koncentracija zunaj celice se ne spreminja! Kako pa se s časom spreminja koncentracija snovi v celici?
 - (c) Izračunajte čas, v katerem naraste koncentracija v celici na $0,15 \text{ mmol/l}$.
20. V celici je koncentracija kalcijevih ionov približno 1 μM , zunaj nje pa približno 1 mM. Difuzijski tok teh ionov v celico celica izravnava z membranskimi ionskimi črpalkami, ki kalcij neprestano prečrpavajo iz celice. Površina membrane je $200 \mu\text{m}^2$, prepustnost membrane je 10^{-5} m s^{-1} , temperatura pa je 37°C . ($R = 8,3 \cdot 10^3 \text{ J kmol}^{-1} \text{ K}^{-1}$, $N_A = 6 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$)
 - (a) Kolikšen je difuzijski tok kalcijevih ionov v celico?
 - (b) * Kolikšna je skupna moč, ki jo potrebujejo ionske črpalke za izravnavanje difuzijskega toka kalcijevih ionov?
 - (c) Koliko molekul ATP se porabi vsako sekundo za izravnavanje difuzijskega toka? Pri hidrolizi enega mola ATP se sprosti 31 kJ energije.
21. Stene brunarice so debele 30 cm in imajo površino 20 m^2 , steklena okna pa so debela 3 mm in imajo površino 1 m^2 . Toplotna prevodnost sten je $0,5 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$, stekla pa $0,8 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$.
 - (a) Kolikšna je toplotna upornost sten in kolikšna toplotna upornost oken?
 - (b) Vsaj kako močno pečko potrebujemo v brunarici, da bomo pozimi pri zunanji temperaturi -10°C v njej lahko vzdrževali temperaturo $+20^{\circ}\text{C}$?
 - (c) Kateri del brunarice (stene ali okna) bolj potrebuje dodatno izolacijo?
22. V kako debelo odejo s toplotno prevodnostjo $\lambda = 1,8 \cdot 10^{-2} \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$ smemo zaviti ponesrečenca ($T = 37^{\circ}\text{C}$), da se ne bo pregrel, če je temperatura okolice 10°C . Telesna površina onesveščenca je $1,8 \text{ m}^2$, vpliv potenja zanemarimo, telo pa oddaja vsako sekundo 50 J toplote.

23. Preživeli brodolomci s Titanica so trdili, da so nesrečneži, ki so ostali brez rešilnih čolnov, v mrzli vodi zdržali pri življenju okrog 20 minut. Oцени toplotni upor, ki ga predstavljajo oblačila in ekstremitete, če veš, da smrt zaradi podhladitve nastopi, ko temperatura telesnega jedra pade na $28\text{ }^{\circ}\text{C}$. Temperatura Atlantskega oceana aprila je v tem delu okrog $4\text{ }^{\circ}\text{C}$, maso povprečnega potnika ocenimo na $m = 70\text{ kg}$, telesno jedro predstavlja $42,7\%$ celotne mase, povprečna specifična toplota tkiva pa je 3470 J/kg K . Koliko časa bi tak brodolomec zdržal poletu v Jadranskem morju ($T = 24\text{ }^{\circ}\text{C}$)? Komentiraj rezultat.

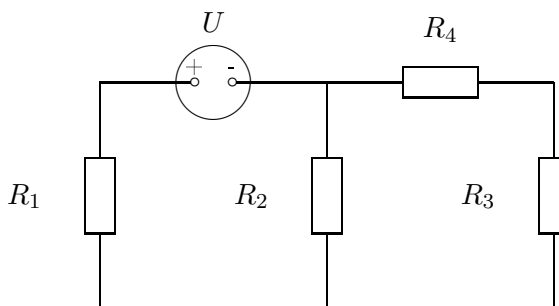
Elektrika in magnetizem

- V štirih ogliščih kvadrata so zaporedoma razporejeni naboji z vrednostmi $1, +3, -1$ in $1\ e_0$. Stranica kvadrata je dolga $0,3\text{ nm}$. ($e_0 = 1,6 \cdot 10^{-19}\text{ As}$, $\epsilon_0 = 8,6 \times 10^{-12}\text{ F/m}$)
 - e_0 • $-e_0$
 - e_0 • $3e_0$
 - Kolikšna je električna poljska jakost v sredini kvadrata?
 - Kolikšen je tam električni potencial?
- Ocenite, kolikšen je električni potencial na površini jedra zlata, katerega polmer je $6,6 \times 10^{-15}\text{ m}$? Vrstno število zlata je $Z = 79$. ($e_0 = 1,6 \cdot 10^{-19}\text{ As}$, $\epsilon_0 = 8,6 \times 10^{-12}\text{ F/m}$)
- V nevihtnem oblaku se nabere veliko negativnega naboja, tako da je napetost med njim in zemljo 10^9 V . Oblak je na višini 500 m .



 - Narišite potek silnic električnega polja in ekvipotencialnih črt med oblakom in zemljo.
 - Kolikšna je jakost električnega polja med oblakom in zemljo?
 - Na zemlji je napetost 0 V . Kolikšna je napetost na višini 125 m ?
 - Kolikšen naboj mora imeti prašen delec z maso $0,1\text{ g}$, ki je v zraku nad zemljo, da bo lebdel?
- * Oljna kapljica z radijem $3\ \mu\text{m}$ in gostoto $0,95 \cdot 10^3\text{ kg/m}^3$ pada med navpičnima ploščama, ki sta 1 cm narazen, s stalno končno hitrostjo $2,5 \cdot 10^{-3}\text{ m/s}$. Ko vzpostavimo med ploščama potencialno razliko $5,8 \cdot 10^3\text{ V}$, dobi kapljica dodatno stalno horizontalno hitrost $2,9 \cdot 10^{-3}\text{ m/s}$. Koliko osnovnih nabojev nosi kapljica? ($e_0 = 1,6 \cdot 10^{-19}\text{ As}$, $g = 9,81\text{ m/s}^2$)
- Plošči s površino 5 cm^2 potopimo $2,5\text{ cm}$ narazen, v raztopino KCl. Če je razlika potenciala med njima 50 V , teče skozi elektrolit tok $1,2\text{ mA}$. Kolikšna je specifična prevodnost elektrolita?
- Kolikšna sila je med ionoma Na^+ in Cl^- v vodi, ki sta oddaljena 2 nm ? Dielektrična konstanta vode ϵ je približno 80 . ($e_0 = 1,6 \cdot 10^{-19}\text{ As}$, $\epsilon_0 = 8,6 \times 10^{-12}\text{ F/m}$)
- Ko nas strese elektrika iz vtičnice, steče skozi telo v tla tok 16 mA , pri čemer imamo obute čevlje z električno upornostjo $13\text{ k}\Omega$. Kolikšen tok pa bi stekel po nas, če bi bosu stali na mokrih tleh?
- Ko je žarnica priključena na napetost 3 V , sveti z močjo 1 W . Kako močno sveti žarnica, ko jo priključimo na baterijo z gonilno napetostjo $4,5\text{ V}$ in notranjim uporom $2\ \Omega$?

9. Upore $R_1 = 100 \Omega$, $R_2 = 400 \Omega$, $R_3 = 100 \Omega$ in $R_4 = 300 \Omega$ priključimo na napetost $U = 240 \text{ V}$, kot kaže slika. Kolikšna je napetost na uporih R_2 in kolikšen tok teče skozi upora R_3 in R_4 ?

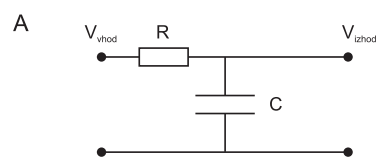


10. Dihanje lahko opazujemo z 90 cm dolgo prožno cevko, če jo napnemo okrog prsnega koša in napolnimo z nestisljivo prevodno mastjo. Za koliko se poveča padec napetosti na tej cevi, ki ima neraztegnjena upornost 1000Ω , če se ob vdihu raztegne na 100 cm? Prostornina cevi se ne spremeni in skozi njo teče ves čas enak tok 5 mA .
11. Skozi toplotno izolirano cev se pretoči vsako sekundo 1 liter vode. Za koliko se segreje voda v cevi, če je vanjo vgrajen grelec z upornostjo 10Ω , ki je priključen na napetost 220 V ? ($c_p = 4200 \text{ J}/(\text{kg K})$)
12. Ko strela udari v hrast, steče po njem tok 10000 A . Koliko toplote se pri tem sprosti v hrastu? Hrast je visok 7 m , ima premer 1 m , specifična električna upornost lesa pa je $2 \Omega\text{m}$. Strela traja približno desetstisočinko sekunde.
13. Proizvajalec zagotavlja, da nek mobilni telefon omogoča 70 ur pogovora. Približno kolikšno moč oddaja ta telefon med pogovorom, če ima njegova baterija 1000 mAh naboja, napetost pa $3,6 \text{ V}$? (Obnašanje baterije se bistveno razlikuje od obnašanja kondenzatorja. Ko se prazni kondenzator, napetost na njem pada. Ko pa praznimo dobro baterijo, napetost na njej ostane vseskozi enaka, vse dokler ni baterija povsem prazna.)
14. Na hišno električno napeljavo so priključeni: 100 W žarnica, 1800 W električna pečka in 350 W glasbeni ojačevalac.
- Ugotovite, ali so naprave na hišni napeljavi priključene vzporedno ali zaporedno? Ali bi bila drugačna vezava sploh smiselna?
 - Napeljava je priključena na 12 A varovalko. Ali bo varovalka pregorela, ko priključimo še 1200 W sušilec za lase?
15. Srčni defibrilator ima kapaciteto $14 \mu\text{F}$ in shrani 250 J energije.
- Kolikšna je največja napetost na defibrilatorju?
 - Ali bo ta defibrilator uspešno defibriliral srce, če je efektivna upornost telesa $10^4 \Omega$? (Če po telesu teče tok 1 mA , ga ravno še čutimo, 10 mA povzroči resno krčenje mišic, 70 mA pa fibrilacijo. Za defibrilacijo so potrebni vsaj $0,5 \text{ A}$ tokovi.)
16. Prazen kondenzator priključimo na enosmerno napetost. V kolikšnem času bo napetost na kondenzatorju enaka 25% maksimalne napetosti? V kolikšnem času pa bo na kondenzatorju 25% energije, ki jo pri dani napetosti lahko sprejme? ($C = 100 \mu\text{F}$, $R = 10^3 \Omega$)
17. Kondenzator s kapaciteto $0,22 \mu\text{F}$ nabijemo na 600 V . Kolikšna je napetost po 7 sekundah in za koliko se pri tem spremeni energija kondenzatorja, če ga praznimo preko upora $36 \text{ M}\Omega$?
18. Vrtljivemu kondenzatorju lahko z vrtenjem plošč spreminjamo kapaciteto od 100 pF do 5 pF . Pri maksimalni vrednosti kapacitete kondenzator nabijemo tako, da je potencialna razlika 50 V . Nato kondenzator odklopimo od električnega izvora. Kolikšna je potencialna razlika med ploščama in

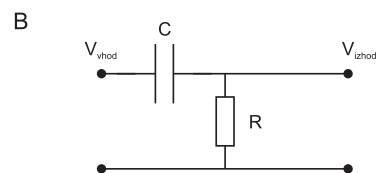
kolikšno delo moramo opraviti med vrtenjem plošč, če plošči zasučemo tako, da je kapaciteta minimalna?

19. (a) Najmanj kolikšna sila je potrebna, da držimo iglo kompasa za 30° izmaknjeno iz ravnovesne lege v zemeljskem magnetnem polju? Gostota Zemljinega magnetnega polja je $26 \mu\text{T}$, magnetni dipol igle je 54 J/T , njena dolžina pa je 3 cm , os vrtenja pa je na njeni sredini.
- (b) Kolikšna je ta sila v komori jedrske magnetne resonance, v kateri je gostota magnetnega polja 5 T ?
20. Elektron se začne gibati v električnem polju z jakostjo 10^{-6} V/m . Po $0,1 \text{ s}$ izključimo električno polje in vključimo magnetno polje z gostoto $0,3 \text{ mT}$ pravokotno na smer električnega polja.
 - (a) S kolikšno hitrostjo kroži elektron? ($m_{\text{el}} = 9,1 \times 10^{-31} \text{ kg}$, $e_0 = 1,6 \times 10^{-19} \text{ As}$)
 - (b) Kolikšen je polmer kroženja elektrona?

21. * Katero vezje s slike na desni deluje kot filter visokih frekvenc in katero kot filter nizkih frekvenc? (pomagajte si z enačbo za efektivno upornost (impedanco) kondenzatorja)



22. Med zunanostjo in notranostjo neke celice je napetostna razlika 100 mV . Koliko ionov Na^+ steče v eni milisekundi skozi vsak natrijev ionski kanal, ki vodi skozi celično steno? Računajte, kot da membrana prevaža le ione Na^+ , da ima 1 cm^2 površine membrane upor $5 \cdot 10^8 \Omega$ in da je v membrani 10^4 kanalov/ cm^2 .



23. Pretok krvi lahko merijo tako, da merijo napetost, ki se inducira nad žilno steno pravokotno na zunanje magnetno polje, v katerem je ta žila. Izračunajte hitrost, s katero teče kri po arteriji s premerom 1 cm , če se v zunanjem magnetnem polju $0,05 \text{ T}$ nad njo inducira napetost $0,1 \text{ mV}$?
24. V posebnih primerih lahko merimo magnetno polje, ki je posledica električnih tokov znotraj celic. Pri nekih algah so celice zelo dolge in imajo presek 1 mm^2 . Intracelularni tok doseže gostoto do $1 \mu\text{A}/\text{mm}^2$. Oцени magnetno polje, ki ga izmerimo z detektorjem, oddaljenim 5 cm od celice.

Valovanje in optika

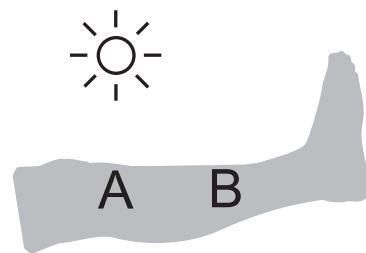
1. Najnižja frekvenca zvoka, ki jo zazna človeško uho, je približno 20 Hz , najvišja pa 20000 Hz . Kolikšni sta ustrezni valovni dolžini zvoka v zraku? Hitrost zvoka v zraku je približno 330 m/s .
2. Ultrazvok, ki ga uporabljajo pri ultrazvočnem slikanju, ima frekvenco okrog 4 MHz . Kolikšna je valovna dolžina tega ultrazvoka v tkivu, če je hitrost zvoka v tkivu 1500 m/s ?
3. Ultrazvočno slikanje temelji na zaznavi ultrazvočnih sunkov, ki se odbijejo od organov v telesu. Izračunajte, kako globoko v telesu je organ, od katerega odbiti sunek zaznamo po $100 \mu\text{s}$. Hitrost ultrazvoka v telesu je približno 1500 m/s .
4. Valovanje frekvence $500/\text{s}$ se širi s hitrostjo 350 m/s . Kako daleč narazen sta točki, ki nihata s fazno razliko 60° ?

5. * Ultrazvok s frekvenco 2 MHz potuje skozi materino telo in se odbije od stene srca nerojenega otroka. V seštevku vpadnega in odbitega valovanja je zaznati tudi frekvenco 160/min (t.i. *frekvenco utripanja*). Hitrost zvoka v materinem in otrokovem telesu je 1500 m/s. Kolikšna je hitrost gibanja stene otrokovega srca?
6. Z uklonsko mrežico s 1000 zarezi na milimeter opazujemo na 3 m oddaljenem zaslonu prvi red neonovega emisijskega spektra. Kolikšen je razmak med zelenima črtama z $\lambda = 533$ nm in $\lambda = 534$ nm? Svetloba pada pravokotno na mrežico, zaslon pa je mrežici vzporeden.
7. Letalo na višini 2,808 km povzroči na zemeljski površini hrup 50 dB. Izračunajte, kako glasno se zdi poslušalcu na zemlji to letalo med vzletom, ko leti na višini 100 metrov in delujejo njegovi motorji štirikrat močnejše kot med navadnim poletom. Izgube v zraku zanemari!
8. Zvočniki na koncertu popularne glasbe imajo moč 5000 W.
- (a) Kako blizu odra še lahko stojimo, ne da bi nas ob koncertu bolela ušesa (glasnost ~ 120 dB)?
- (b) Kolikšna je glasnost glasbe na oddaljenosti 5 km, če je absorpcijski koeficient za zvok v zraku $2 \cdot 10^{-3}/\text{m}$?

Lestvica glasnosti: 0 dB: meja slišnosti, 10 dB: šelestenje listja v gozdu, 20 dB: šepetanje, 60 dB: običajen govor na razdalji 1 m, 75 dB: šum na hrupni ulici, 90 dB: simfonični orkester igra forte, 100 dB: sirena na razdalji 30 m, 110 dB: pnevmatično kladivo, 120 dB: prag bolečine, 140 dB: reaktivno letalo na razdalji 30 m.

9. Pod mikroskopom opazujemo vzorec krvi. Vzorec osvetljujemo z majhno 100 W žarnico, ki je od vzorca oddaljena 5 cm. Koliko časa lahko opazujemo, preden temperatura vzorca naraste s 37°C na 38°C . Površina vzorca je 1 cm^2 , masa vzorca je 1g, specifična toplota krvi pa je $4200\text{ J kg}^{-1}\text{K}^{-1}$. V vzorcu se absorbira 10 % energije, ki pade nanj.

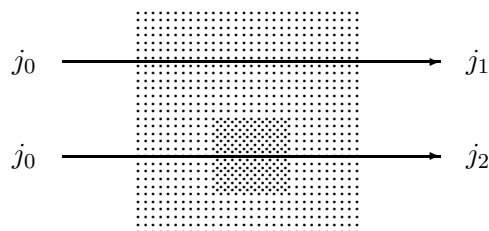
10. S 100 W infrardečo žarnico ogrevamo 5 cm oddaljeno poškodovano nogo.



- (a) Kolikšna energija pade vsako sekundo na 1 cm^2 kože, ki je tik pod žarnico (točka A)?
- (b) Kolikšna energija pa pada na 1 cm^2 kože, ki je 7 cm stran od točke A (točka B)?

11. Majhno svetilo visi 3 m nad mizo. Gustota svetlobnega toka na mizi točno pod svetilom je $0,5\text{ W/m}^2$. Med svetilo in mizo postavimo 1 m nad mizo lečo s premerom 10 cm tako, da nastane na mizi enakomerno osvetljena okrogla ploskev s premerom 1 cm. Kolikšna je gostota svetlobnega toka na tej ploskvi?

12. Z vzporednim snopom svetlobe posvetimo skozi telo z absorpcijskim koeficientom $\mu_1 = 1,72/\text{m}$, del žarkov pa mora prodreti skozi gostejši del tega telesa, kjer je absorpcijski koeficient $\mu_2 = 4,5/\text{m}$. Kako dolg je gostejši del, če je razmerje gostot svetlobnih tokov $j_2/j_1 = 0,9$?



13. Izračunajte energijo konformacijske spremembe, ki jo doživi molekula človeškega vidnega pigmenta rodopsina po absorpciji svetlobe, kadar absorbira fotone z valovno dolžino 498 nm. ($h = 6,6 \cdot 10^{-34}$ Js)
14. Minimalna frekvenca svetlobe, ki povzroča fotoefekt pri natriju, je $4,4 \cdot 10^{14}$ /s. Kolikšna kinetična energija izbitih elektronov, če natrij osvetlimo s svetlobo valovne dolžine 560 nm? ($h = 6,6 \cdot 10^{-34}$ Js)
15. Mejna valovna dolžina za fotoefekt v kaliju je 550 nm. Kolikšna je hitrost elektronov izbitih pri fotoefektu na kaliju, če nanj svetimo s svetlobo z valovno dolžino 400 nm? ($hc = 1240$ eV nm, $m_e c^2 = 511$ keV)
16. Pospeševalna napetost v rentgenski cevi je 150 kV.
 - (a) Kolikšna je minimalna valovna dolžina rentgenske svetlobe, ki jo oddaja ta cev ($hc = 1240$ eV nm)?
 - (b) Kolikšno moč seva ta rentgenska cev, če je njen izkoristek 1 %, njen katodni tok pa 20 mA?
 - (c) Kolikšen bo energijski tok 10 cm globoko v tkivu, katerega razpolovna debelina za te žarke je 15 cm? Predpostavite, da so žarki vzporedni.
17. * Na površini olja z lomnim količnikom $7/5$ je steklena planparalelna plošča z lomnim količnikom 1,46. Nad ploščo je zrak. Pod kolikšnim najmanjšim vpadnim kotom mora svetlobni žarek pasti na mejno ploskev olje-steklo (žarek prihaja iz olja), da se na mejni ploskvi steklo-zrak totalno odbije? Lomni količnik zraka je približno 1.
18. Goriščna razdalja objektiv nekega mikroskopa je 0,5 cm, goriščna razdalja okularja pa je 3 cm. Razdalja med lečama je 8 cm. Kam moraš postaviti predmet, da dobiš sliko v neskončnosti?
19. Objektiv in okular mikroskopa sta oddaljena za 20 cm, goriščna razdalja objektiv je 4 mm, goriščna razdalja okularja pa je 12,5 mm. Kolikšna je razdalja predmeta od objektiv in kolikšna je povečava mikroskopa?
20. Trideset centimetrov izpred tanke zbiralne leče z goriščno razdaljo 20 cm je svetel predmet. Za to lečo na isti osi je druga tanka zbiralna leča z goriščno razdaljo 4 cm, ki je postavljena tako, da se slika po preslikavi s prvo lečo nahaja med obema lečama. Izračunajte razdaljo med lečama, če je končna slika realna in enako velika kot predmet.
21. Kratkovidna oseba ne vidi ostro predmetov, ki so od nje oddaljeni več kot 50 cm. Očala s kolikšno lomnostjo leč (dioptrijo) bi težave odpravila?
22. Oko ne vidi jasno predmetov, ki so oddaljeni manj kot 60 cm. Ocenite lomnost leč očal, ki jih to oko potrebuje, da vidi jasno tudi to razdalje 25 cm.
23. S prostim očesom lahko na 2 m oddaljeni sliki ravno še ločimo detajle, ki so veliki 3 mm. Kako majhne detajle lahko ločimo na sliki, ki je od nas oddaljena za normalno zorno razdaljo ($x_0 = 25$ cm)?

Atomika

1. Koliko dela moramo opraviti, da ioniziramo vodikov atom, ki je v stanju, ki ga označujemo s kvantnim številom $n = 3$? Ionizacijska energija za vodikov atom je 13,6 eV.

2. Približno kolikokrat je valovna dolžina fotona, ki nastane pri preskoku elektrona v enoelektronskem atomu (ionu) iz energijskega stanja s kvantnim številom $n = 4$ na energijsko stanje s kvantnim številom $n = 3$, večja od valovne dolžine fotona, ki nastane pri preskoku elektrona iz energijskega stanja s kvantnim številom $n = 4$ na energijsko stanje s kvantnim številom $n = 2$?
3. Kolikšna je valovna dolžina svetlobe, ki jo izseva enkrat ioniziran He pri prehodu iz vzbujenega stanja s kvantnim številom $n = 3$ v osnovno stanje? ($h = 6,6 \cdot 10^{-34}$ Js, W_i vodik = 13,6 eV)
4. Ali lahko elektromagnetno sevanje mobilnih telefonov s frekvenco 1800 MHz ionizira molekulo DNK, katere ionizacijska energija je približno 4 eV?
5. Da se kisikova molekula razcepi v atome kisika, je potrebnih približno 5 eV energije. Izračunajte, kolikšno največjo valovno dolžino ima lahko foton, da še razcepi O_2 . ($h = 6,6 \cdot 10^{-34}$ Js)
6. V kolikšnem času razpade 10 % torija, katerega razpolovni čas je $1,4 \cdot 10^{10}$ let?
7. Bolniku vbrizgamo $5 \cdot 10^{-6}$ m³ krvi, zaznamovane z radioaktivnim P^{32} . Aktivnost je 10^4 Bq. Ko se kri dobro premeša, izmerimo v enako velikem vzorcu le še 10 Bq.
 - (a) Koliko krvi ima bolnik?
 - (b) Kolikšno aktivnost bi izmerili v takšnem vzorcu, ki ga odvezamo po 10 dneh, če je razpolovni čas P^{32} 14,3 dni in se medtem izloči 75 % fosforja?
8. Za obsevanje potrebujemo radioaktivni izvor z aktivnostjo vsaj 10^8 Bq. Kolikšna mora biti aktivnost izvora ob dobavi, če ga nameravamo uporabljati dva meseca? Razpolovni čas radioaktivnega izotopa v izvoru je 5 mesecev.
9. Koliko molov fosforja 32 (P^{32}) ima aktivnost 10^8 Bq? Razpolovni čas fosforja 32 je 14,3 dni. Po kolikšnem času pade število jeder fosforja 32 na eno četrtno?
10. Izračunajte aktivnost radija 226 (Ra^{226}) z maso 1 gram. Razpolovni čas Ra^{226} je 1620 let. ($N_L = 6,0 \cdot 10^{26}$ /kmol)
11. Specifična aktivnost odmrlega organizma je zaradi radioaktivnega C^{14} deset razpadov v minuti na gram snovi. Obenem pa je specifična aktivnost živega organizma dvanajst razpadov v minuti na gram snovi. Približno pred kolikšnim časom je organizem odmrli? Razpolovni čas C^{14} je 5570 let.
12. Pri zdravljenju hipertiroze (prevelikega delovanja ščitnice) pacient v obliki tablete poje radioaktivni izotop joda I-131, pri čemer se v ščitnico vgradi približno 50 % zaužitega joda, ostalo pa se z urinom hitro izloči iz telesa.
 - (a) Če je aktivnost joda v pacientu večja od 150 MBq, mora biti pacient v karanteni. Koliko dni mora biti v karanteni pacient, ki je prejel odmerek joda z aktivnostjo 500 MBq? Razpolovni čas I-131 je 8 dni.
 - (b) Jod I-131 ob razpadu oddaja delce β^- , katerih povprečna energija je 183 keV. Kolikšno dozo prejme ščitnica v prvih 7 dneh po zaužitju radioaktivnega joda? Masa ščitnice je 50 g. ($e_0 = 1,6 \cdot 10^{-19}$ As)
13. Med obsevanjem z izotopom Co^{60} je prejel nekdo na globini 1 cm pod kožo dozo 1 Gy. Poenostavljeno predpostavite, da pada doza z globino eksponentno in da je absorpcijski količnik za te žarke 3,1/m. Kolikšna je prejeta doza na globini 3 cm pod kožo?

14. Z vzporednim snopom žarkov γ smo obsevali pacienta, da je na globini 2 cm pod kožo dobil dozo 10 mGy. Kolikšno dozo je dobil 5 cm globoko v telesu, če je razpolovna debelina za žarke γ 22 cm? Predpostavite, da je tkivo homogeno.
15. Z β^- sevalcem, ki na vse strani seva elektrone z energijo 1,2 MeV, obsevamo površinski tumor. Aktivnost izvora je 50 MBq. Elektroni imajo v tkivu zelo kratek doseg, tako da je njihova absorpcija v tkivu 100%.
- (a) Ocenite absorbirano dozo, ki jo v eni uri prejme tumor, če je tumor tako blizu sevalca, da ga zadene 40% izsevanih žarkov. Masa tumorja je 30 g. $1 \text{ eV} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}$.
- (b) Ocenite še, kolikšen delež žarkov zadene tumor in izračunajte absorbirano dozo, če je tumor od sevalca oddaljen 10 cm. Površina tumorja je 2 cm^2 . Absorpcijo elektronov v zraku zanemarite.
16. Izračunajte, kolikšna energija se sprosti pri jedrski reakciji ${}_3\text{Li}^7 + {}_1\text{H}^1 \rightarrow {}_2\text{He}^4 + {}_2\text{He}^4$. ($m_{{}_3\text{Li}^7} = 7,016928 \text{ ME}$, $m_{{}_1\text{H}^1} = 1,007825 \text{ ME}$, $m_{{}_2\text{He}^4} = 4,002602 \text{ ME}$)

Rešitve

Uvodne naloge. **1:** 8,8 g. **2:** 7×10^{27} . **3:** $37^\circ\text{C} = 98,6^\circ\text{F}$; $42^\circ\text{C} = 107,6^\circ\text{F}$. **4:** 3 ml. **5:** $10 \times v$ 5 dneh, $100 \times v$ 10 dneh, $1000 \times v$ 15 dneh. **6:** $\mu = \epsilon c \ln 10$ oz. $\mu = \epsilon c / \log e$, b) $\mu = \ln 2 / x_{1/2}$. **7:** $2,4 \times 10^6$. **8:** Relativne napake: $\Delta r/r \approx 3,8\% \Rightarrow \Delta S/S \approx 2\Delta r/r \approx 7,6\%$, $\Delta V/V \approx 3\Delta r/r \approx 11\%$. Absolutne napake: $\Delta r = 0,2$ cm, $\Delta S \approx 26$ cm², $\Delta V \approx 65$ cm³. **9:** 2%. **10:** a) 200 mg, b) 6,8 ml.

Mehanika. Rešitve so izračunane s približkom za težni pospešek, $g \approx 10$ m/s². **1:** 7,5 km/h. **2:** $61(1 \pm 0,28)$ m = 61 m \pm 18 m. Skakalec naj upošteva višino 61 m – 18 m = 43 m. **3:** a) 90° , 10 m, b) 60° proti toku. **4:** a) 3 ms⁻¹, b) 0,53 s, 940 N, c) 2820 W. **5:** 3,6 tablice. **6:** a) 350 m/s² \approx 35 g, b) 28 kN. **7:** 1,21 m/s. **8:** a) 3,6 kN, b) 4,3 kN, c) 39 cm². **9:** a) 811 N. b) 1340 N. **10:** 4244 Hz. **11:** 630 m/s² \approx 63 g, b) 750 obratov. **12:** a) 0,5 kgm², b) 7,5 J, c) 0,4 Nm. **14:** a) 0,85 Hz, b) 0,81 Hz, c) 0,65 Hz. **15:** 143 mmHg; 31 mmHg. **16:** Do pasu ni dovolj. **17:** a) 17 cm/s, b) 0,26 mm/s, c) 102 cm/s. **18:** a) 10 mm/h, b) 35 mm/h, c) 620 mm/h. **19:** 1 m. **20:** 31 kPa. **21:** a) daljši del 550 kPas/m³, krajši del 1,76 MPas/m³, b) 2,6 l/min. **22:** 25 krat. **23:** 1,22 krat. **24:** a) 2,8 Pa, b) 2 ml/min; 33 ml/min; 165 ml/min. **25:** 64 cm. **26:** 1,1 W. **27:** a) 54 m²; 2,2 l, b) 0,15 J, c) Vdih 67 Pa, izdih 83 Pa.

Toplota. **1:** $5,32 \cdot 10^3$ Pa; 0,68 g. **2:** 3 jeklenke. **3:** 14 min. **4:** 28 °C. **5:** a) 1,07 krat, b) 34,6 kJ, c) 48,4 kJ, d) 171 J/K, e) 477 m/s. **6:** a) 0,67 bar, b) 0 J, c) 1099 J, d) 0 J, e) 3,7 J/K. **7:** a) 63 l, b) 83 g, c) 192 °C, d) 9,3 kJ. **8:** 10 °C. **9:** a) 85 g, b) - 143 J/K, c) 177 J/k, d) 34 J/K. **10:** 200 mOsm. **11:** 24 cm. **12:** 2,05 g. **13:** $5,39 \cdot 10^{-3}$ g. **14:** 118 kPa. **15:** 40 W ($P_{iz} = 32$ W; $P_{seg} = 7,6$ W). **16:** 0,16 ms; 160 s. **17:** $7,2 \cdot 10^{14}$. **18:** 196 mM. **19:** a) $3,1 \times 10^{-12}$ mmol/s, b) 12 ms. **20:** a) 2×10^{-15} mol/s, b) $3,6 \times 10^{-11}$ W, c) $6,9 \times 10^8$. **21:** a) 30 mK/W; 3,75 mK/W, b) 9 kW. **22:** 1,8 cm. **23:** 36 mK/W; 1 h in 14 min.

Elektrika in magnetizem. **1:** a) $E_x = 0$ V/m, $E_y = 9,3 \times 10^{10}$ V/m, b) $\varphi = 27,9$ V. **3:** b) 2×10^6 V/m, c) $2,5 \times 10^8$ V d) 5×10^{-10} As. **2:** $1,8 \times 10^7$ V. **4:** 13. **5:** $1,2 \cdot 10^{-3}/(\Omega\text{m})$. **6:** 0,74 pN. **7:** 293 mA. **8:** 1,5 W. **9:** 160 V; 0,4 A. **10:** 1,17 V. **11:** 1,15 K. **12:** 180 kJ. **13:** 51 mW. **14:** a) Vzporedno. b) Da. **15:** a) 6 kV, b) Da. **16:** 0,03 s; 0,07 s. **17:** 248 V; 0,033 J. **18:** 1000 V; 2,375 mJ. **19:** a) 0,047 N, b) 9 kN. **20:** a) 18 km/s, b) 0,3 mm. **21:** Vezje A prepušča nizke frekvence, vezje B pa visoke. **22:** 125. **23:** 0,2 m/s. **24:** 4 pT.

Valovanje in optika. **1:** a) 16,5 m, b) 1,65 cm. **2:** 0,375 mm. **3:** 7,5 cm. **4:** 11,7 cm. **5:** 2 mm/s. **6:** 4,96 mm **7:** 85 dB. **8:** a) 20 m, b) 29 dB. **9:** 132 s. **10:** a) 320 mJ, b) 62 mJ. **11:** 113 W/m². **12:** 3,79 cm. **13:** 2,5 eV. **14:** 0,39 eV. **15:** 550 km/s. **16:** a) $8,3 \cdot 10^{-12}$ m, b) 30 W, c) 19 W. **17:** $45,6^\circ$. **18:** 0,56 cm pred objektiv. **19:** 4,1 mm; \approx 960 kratna. **20:** 72 cm. **21:** -2D. **22:** 2,3 D. **23:** 375 μm .

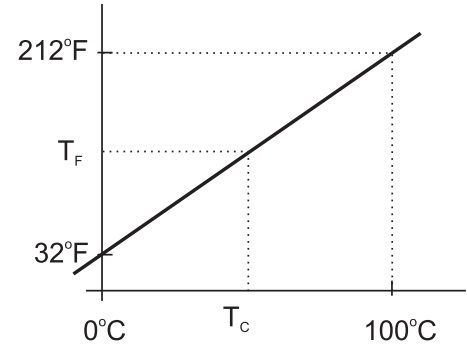
Atomika. **1:** 1,51 eV. **2:** 3,86 \times . **3:** 26 nm. **4:** Ne. **5:** 248 nm. **6:** $2,13 \cdot 10^9$ let. **7:** a) 5 l, b) 1,54 Bq. **8:** $1,32 \cdot 10^8$ Bq. **9:** $2,97 \cdot 10^{-10}$ molov; 28,6 dni. **10:** $3,6 \cdot 10^{10}$ Bq. **11:** 1465 let. **12:** a) 5 dni 22 ur, b) 6,6 Gy. **13:** 0,94 Gy. **14:** 9,1 mGy. **15:** a) 0,46 Gy, b) 0,16%, 1,8 mGy. **16:** 18 MeV.

Namigi

Uvodne naloge

1: Za 0,15 molarno raztopino soli moramo v litru vode raztopiti $\nu = 0,15$ mola soli. Spomnimo se še povezave med maso m , molsko maso M in številom molov snovi $\nu = m/M$. 2: Najprej izračunamo, koliko molov vode je v študentu, nato pa se spomnimo, da je v vsakem molu N_A molekul vode, v vsaki molekuli vode pa so trije atomi. Glej tudi namig k nalogi 1.

3: Sklepni račun (križni račun) deluje le v primeru, ko sta količini linearno odvisni in *obe hkrati enaki nič* (npr. če bi bilo 0°C enako kot 0°F), zato pri našem problemu ne pomaga. Ker je temperatura v Fahrenheitih T_F linearno odvisna od temperature v stopinjah Celzija T_C , ju povezuje enačba premice $T_F = k \times T_C + A$. Če si to odvisnost narišemo, hitro vidimo, da je vrednost konstante A enaka 32°F , vrednost naklona premice k pa je $k = \frac{212^\circ\text{F} - 32^\circ\text{F}}{100^\circ\text{C} - 0^\circ\text{C}} = 1,8^\circ\text{F}/^\circ\text{C}$. Enačba, po kateri pretvarjamo Celzije v Fahrenheite je torej $T_F = 1,8^\circ\text{F}/^\circ\text{C} \times T_C + 32^\circ\text{F}$.



4: Dojenček tehta $6 \times 453,6 \text{ g} + 11 \times 28,35 \text{ g} = 3033 \text{ g}$. 5: Po razmisleku ugotovimo, da naraščanje števila celic v celični kulturi opisuje enačba $N = N_0 2^{\frac{t}{t_2}}$, kjer je N_0 število celic na začetku, t_2 pa njihov delitveni čas (npr.: ko poteče dvakrat delitveni čas, $t = 2t_2$, bo število celic $2^{\frac{2t_2}{t_2}} = 2^2 = 4$ krat večje kot na začetku). Čas, v katerem se število podeseteri, izračunamo, ko v to enačbo vstavimo $N = 10N_0$:

$$10N_0 = N_0 2^{\frac{t}{t_2}} \Rightarrow 10 = 2^{\frac{t}{t_2}} \Rightarrow \log_{10} 10 = \frac{t}{t_2} \log_{10} 2 \Rightarrow t = t_2 \frac{\log_{10} 10}{\log_{10} 2} = t_2 \frac{1}{0,3} = 1,5 \text{ d} \times 3,3 = 5 \text{ d}.$$

Pri tem se je število celic na začetku N_0 pokrajšalo, pomagali pa smo si tudi z logaritmiranjem. Ali znamo sedaj na pamet izračunati čas, v katerem se število celic postoteri in potisočeri? 6: Uporabimo logaritmiranje s primerno osnovo. 7: Ker je življenjska doba eritrocitov 120 dni, se jih mora vsak dan obnoviti ena stodvajsetina, vsako sekundo pa torej $\frac{1}{120 \times 60 \times 60 \times 24}$. 8: Računanje z napakami je razloženo v uvodnem poglavju *Praktikuma iz biofizike*. Absolutna napaka pri radiju je $\Delta r = 5,2 \text{ cm} - 5 \text{ cm} = 0,2 \text{ cm}$, relativna pa torej $\Delta r/r = 0,2/5,2 \approx 3,8\%$. Površina je odvisna od r^2 , volumen pa od r^3 , zato bo relativna napaka v površini $\Delta S/S \approx 2\Delta r/r \approx 7,6\%$, v volumnu pa $\Delta V/V \approx 3\Delta r/r \approx 11\%$. Absolutna napaka v površini bo torej $\Delta S = \frac{\Delta S}{S} S = \frac{\Delta S}{S} 4\pi r^2 = 0,076 \times 4\pi \times (5,2 \text{ cm})^2 = 26 \text{ cm}^2$. 9: Glej namig k nalogi 8. 10: a) Laboratorijska tehtnica ima natančnost 10 mg, oz. absolutno napako pri merjenju $\Delta m = 10 \text{ mg}$. Če moramo nekaj izmeriti na 5% natančno, to pomeni, da mora biti relativna napaka meritve 5%, se pravi $\Delta m/m = 5\%$. Najmanjša masa, pri kateri to natančnost dosežemo, je torej $m = \frac{\Delta m}{\Delta m/m} = \frac{10 \text{ mg}}{0,05} = 200 \text{ mg}$. b) Razmislek je podoben kot pri a), le malo več računanja je potrebno.

Mehanika

1: Na prvi pogled bi rekli, da je povprečna hitrost kolesarjenja kar 10 km/h, a ni tako! Spomnimo se definicije povprečne hitrosti: to je celotna prevožena pot deljeno s celotnim porabljenim časom. 2: Kamen prosto pada, zato si lahko pomagamo z enačbo za prosti pad. Pri rezultatu upoštevamo napako v merjenju časa, $t = 3,5 \text{ s}$, $\Delta t = 0,5 \text{ s}$. Glej tudi namig k nalogi 8 iz uvoda. 3: a) Plavanje čez reko je gibanje v dveh dimenzijah: prečno na tok reke in vzporedno s tokom reke. Hitrost našega gibanja je *vektorska* vsota hitrosti plavanja in hitrosti reke. Kako bomo čimprej čez reko? Tako da bo naša prečna komponenta hitrosti čim večja, to pa bo v primeru, če plavamo kar pravokotno čez reko! Izračunamo čas

plavanja čez reko (širina reke deljeno s hitrostjo plavanja) in iz tega časa še razdaljo, za katero nas bo reka odnesla (čas plavanja krat hitrost reke). b) Poskusimo zapisati odvisnost razdalje h , za katero nas bo reka odnesla, od kota plavanja α . Ta razdalja bo najmanjša takrat ko bo odvod $\frac{dh}{d\alpha} = 0$ (t.j. izračunamo α pri katerem je odvod enak nič). Naloga je s tem rešena, le še izračunati jo je treba! **4:** Predstavljamo si lahko, da je vsa masa telesa zbrana v njegovem težišču. Težišče na poti iz čepečega položaja v stoječ položaj pospešuje, ko pa se od tal odlepi, leti po zakonih prostega pada. a) Ko se odlepimo od tal, ima težišče kinetično energijo $mv_0^2/2$. Ta energija se nato med letom spremeni v potencialno energijo mgh (h je v našem primeru 45 cm). b) Poznamo pot pospeševanja ($l = 80$ cm) in končno hitrost, ki jo s pospeševanjem doseže težišče (v_0). Čas in pospešek pospeševanja lahko izračunamo, če uporabimo enačbi za pot $l = at^2/2$ in končno hitrost $v_0 = at$. Iz pospeška lahko izračunamo rezultanto sil na težišče $F = ma$. V našem primeru je rezultanta vsota sile teže F_g (ki kaže navzdol) in sile mišic F_m (ki kaže navzgor), $F = F_m - F_g$, torej bo sila mišic enaka $F_m = ma + F_g$. c) Moč, ki je potrebna za pospeševanje, je produkt rezultante sil in trenutne hitrosti. Rezultanta sil je vseskozi enaka, hitrost pa je največja na koncu pospeševanja. Največja moč je torej kar $P = F \cdot v_0$. **5:** Med vzponom se 20% energijske vrednosti čokolade spremeni v potencialno energijo, $20\% E_{\text{čok}} = mgh$. Pri računu pazimo na enote (najbolje je energijo v čokoladi zapisati v joulih). **6:** Med mečkanjem avtomobila se težišče avtomobila enakomerno pojemajoče ustavlja. Bolj ko se avtomobil zmečka, daljša je pot ustavljanja. Poznamo torej pot ustavljanja in začetno hitrost. Glej namig k nalogi 4b. b) Masa 80 kg se je ustavljala s pospeškom, ki smo ga izračunali. Kolikšna sila ustavlja to maso? **7:** Se gibalna količina ohranja? Če se, uporabi zakon o ohranitvi gibalne količine! Kaj pa energija, se ta ohranja?

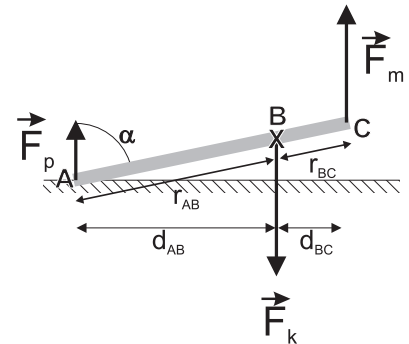
8: a) Pri računanju neznanih sil v mirujočih sistemih si pomagamo s pogojema za ravnovesje: vsoti vseh sil in vseh navorov na mirujoč sistem sta enaki nič (to velja tudi za enakomerno gibajoče se sisteme). Za začetek moramo torej narisati vse sile na stopalo! Sila mišice F_m je že narisana in deluje v peti navzgor. V prstih na stopalo navzgor deluje sila podlage F_p . Kako velika je ta sila? Sila podlage na prste je ravno nasprotno enaka sili, s katerimi prsti pritiskajo na podlago. Pri stoji na eni nogi prsti na podlago pritiskajo ravno s težo celotnega telesa! Sila podlage F_p je torej po velikosti enaka sili teže $F_g = mg$, v našem primeru je torej $F_p = 800$ N. To pa še niso vse sile na stopalo: obe sili kažeta navzgor in ker je stopalo pri miru, ju mora uravnovesiti neka sila, ki kaže navzdol. Po razmisleku ugotovimo, da je to sila kosti, ki deluje v gležnju navzdol F_k . Enačba za ravnovesje sil se torej glasi

$$F_p + F_m = F_k.$$

Rešitve naloge iz te enačbe ne moremo razbrati, saj je v njej znana le ena sila od treh (F_p). Zapisati moramo torej še enačbo za ravnovesje navorov. Navor vedno računamo glede na os navora. Čeprav si lahko pri mirujočih sistemih os navora izberemo kjerkoli, se ponavadi izkaže, da je najbolj primerno mesto v prijemališču tiste sile, ki je ni treba poznati. V takem primeru bo ročica te sile namreč enaka nič, zato bo tudi navor te sile enak nič in v enačbi za ravnovesje navorov ta neznan sila sploh ne bo nastopala! Po razmisleku ugotovimo, da je v našem primeru os navora najbolj postaviti v gleženj, tja, kjer prijemlje sila kosti. Enačba za ravnovesje navorov se torej glasi (v tej enačbi so vsi navori, ki hočejo sistem zavrteti v desno, na eni strani enačaja, navori, ki pa hočejo sistem zavrteti v levo, pa na drugi strani enačaja):

$$F_p r_{AB} \sin \alpha = F_m r_{BC} \sin \alpha,$$

kjer je α kot med silo in ročico. K navoru prispeva le dolžina ročice pravokotno na silo (ta dolžina je enaka $r \sin \alpha$). V našem primeru sta ti dolžini podani ($d_{AB} = r_{AB} \sin \alpha$ in $d_{BC} = r_{BC} \sin \alpha$), zato lahko



enačbo za ravnovesje navorov zapišemo kot

$$F_p d_{AB} = F_m d_{BC}$$

in iz nje razberemo rešitev za silo mišice:

$$F_m = F_p \times \frac{d_{AB}}{d_{BC}} = 800 \text{ N} \times \frac{13 \text{ cm}}{3 \text{ cm}} = 800 \text{ N} \times 4,3 = 3470 \text{ N}.$$

Vidimo, da je mišica napeta s precej večjo silo, kot je sila teže celotnega telesa! Čim krajša je peta (d_{BC}), tem bolj bo pri stoji na prstih mišica napeta! b) Ker sedaj poznamo tako F_p kot F_m , lahko silo v gležnju F_k izračunamo iz enačbe za ravnovesje sil. Vidimo, da je sila v kosti celo 5,4 krat večja od sile teže! c) En kvadratni centimeter prenese 90 N, naša mišica pa je napeta z 3470 N. Torej bo imela presek

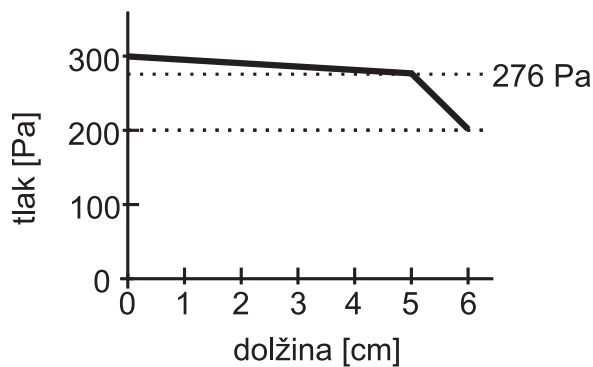
$$S = 1 \text{ cm}^2 \times \frac{3470 \text{ N}}{90 \text{ N}} = 39 \text{ cm}^2.$$

9: Glej namig k nalogi 8a. **10:** Spomnimo se zveze med kotno hitrostjo ω , obodno hitrostjo v in radijem kroženja r . Kotna hitrost je 2π krat frekvenca, $\omega = 2\pi\nu$. Pazimo na enote. **11:** Uporabimo zvezo med radialnim pospeškom, kotno hitrostjo in radijem kroženja. Ne pozabimo na zvezo med frekvenco kroženja in kotno hitrostjo ter na enote. b) Spomnimo se, da so enačbe pri kroženju enake tistim pri premem gibanju, le količine so druge (pri kroženju v enačbah gibanja namesto poti s uporabimo kot φ , namesto hitrosti v uporabimo kotno hitrost ω , $a \rightarrow \alpha$, $F \rightarrow M$, $m \rightarrow J$, $G \rightarrow \Gamma$...). Podan imamo čas enakomernega ustavljanja t , začetno hitrost $\omega_z = 2\pi\nu$, končna hitrost pa je $\omega_k = 0$. Če je pri premem gibanju pot pri enakomerno pospešenem ustavljanju $s = (v_z - v_k)t/2$, bo pri kroženju $\varphi = (\omega_z - \omega_k)t/2$, število obratov pa bo $N = \varphi/(2\pi)$. **12:** a) Ker med drsalko in ledom ni trenja, na vrtenje drsalke ne vpliva nobena zunanja sila. Med krčenjem rok se vrtilna količina torej ohranja, $\Gamma_1 = \Gamma_2 = 4 \text{ kgm}^2/\text{s}$. Spomnimo se še na definicijo vrtilne količine $\Gamma = \omega J$, kjer je ω kotna hitrost, J pa vztrajnostni moment. b) Ali se med krčenjem rok drsalke poveča kinetična energija? Od kod pride ta energija? c) Glej namig k nalogi 11b. **13:** Razdalja med težiščem sestavljenega togega telesa in neko točko se izračuna po formuli $d_t = \frac{\sum m_i r_i}{\sum m_i}$, kjer so m_i mase posameznih delov, r_i pa razdalje med težišči posameznih delov in to točko. V našem primeru so razdalje med ramo in težišči delov roke naslednje: $r_n = d_n/2 = 15 \text{ cm}$, $r_p = d_n + d_p/2 = 44,5 \text{ cm}$ in $r_d = d_n + d_p + d_d/2 = 68 \text{ cm}$. Razdalja med ramo in težiščem roke je torej $r_t = \frac{15 \text{ cm } 2,7 \text{ kg} + 44,5 \text{ cm } 1,8 \text{ kg} + 68 \text{ cm } 0,6 \text{ kg}}{5,1 \text{ kg}} = 32 \text{ cm}$. **14:** a) Proteza je nihajoče tego telo, za katera velja $\omega_0 = \sqrt{mgd_t/J}$, kjer je m celotna masa telesa, d_t razdalja med težiščem telesa in osjo nihanja, J pa vztrajnostni moment telesa okrog osi nihanja. Celotna masa je vsota mase golenskega dela in stopala, pri računanju težišča celotne proteze pa si lahko pomagamo z namigom k nalogi 13. Lastna frekvenca je $\nu_0 = \omega_0/(2\pi)$. b) Ko damo na stopalo čevlji, se protezi spremenijo vse tri lastnosti: celotna masa, težišče in vztrajnostni moment. Nov vztrajnostni moment bo kar vsota starega J in vztrajnostnega momenta čevlja. V približku točkastega telesa je vztrajnostni moment čevlja $J_{\check{c}} = m_{\check{c}} d_{\check{c}}^2 = 0,5 \text{ kg } (0,5 \text{ m})^2 = 0,125 \text{ kgm}^2$. c) Dušenje zmanjša lastno frekvenco nihala po formuli $\omega = \sqrt{\omega_0^2 - \beta^2}$. **15:** Hidrostatski tlak tekočine z gostoto ρ je na globini h enak ρgh . Če hočemo nek tlak p zapisati v milimetrih živega srebra, moramo preprosto izračunati, koliko milimetrov globine živega srebra ustvarja tlak p , $h_{\text{mmHg}} = p/(\rho_{\text{Hg}}g)$. V našem primeru je tlak krvi med glavo in nogami $p_k = \rho_k gh$. Če ga zapišemo v mmHg, dobimo

$$h_{\text{mmHg}} = \frac{p_k}{\rho_{\text{Hg}}g} = \frac{\rho_k gh}{\rho_{\text{Hg}}g} = \frac{\rho_k h}{\rho_{\text{Hg}}} = \frac{1060 \text{ kg/m}^3 \cdot 1830 \text{ mm}}{13550 \text{ kg/m}^3} = 143 \text{ mm}.$$

Iz zgornjih enačb tudi razberemo, da je 1 mmHg približno 130 Pa ($g = 9,81 \text{ m/s}^2$), 1 mmH₂O pa je približno 10 Pa. **16:** Pri stoji na eni nogi na koleno pritiska vsa teža, ki je nad njim, v našem primeru

je to $100\% - 5,3\% - 1,7\% = 93\%$ celotne teže. V vodi se ta teža razbremeni za silo vzgona, ki je enaka teži izpodrinjene vode. **17:** a) Spomnimo se zveze med povprečno hitrostjo tekočine \bar{v} , pretokom Φ_v in presekom žile S , $\Phi_v = S\bar{v}$. b) Upoštevamo, da celotni krvni pretok teče hkrati skozi N kapilar, torej skozi posamezno kapilaro teče le pretok Φ_v/N . c) Največja hitrost pri laminarnem toku je na sredini žile in je dvakrat večja od povprečne hitrosti. **18:** a) Zvezo za hitrost sedimentacije dobimo iz enačbe za ravnovesje sil na eritrocit, ki tone. Glej tudi navodila k praktikumski vaji. b) Če se celice zlepijo, se jim gostota ne spremeni, zato pa je premer skupka večji od premera posamezne celice. Hitrost sedimentacije je odvisna od kvadrata radija, zato je hitrost zlepjenih večja od hitrosti prostih za faktor $(15/8)^2$. c) V centrifugi celice ne čutijo le pospeška g ampak predvsem radialni pospešek a_r . **19:** Curek tekočine v zraku ne čuti velikega trenja, zato lahko višino brizga ocenimo s pomočjo Bernoullijeve enačbe, ki pravi, da je vsota $p + \frac{1}{2}\rho v^2 + \rho gh$ konstantna vseskozi vzdolž toka tekočine. V našem primeru bo torej ta vsota, izračunana tik preden kri zapusti žilo (v žili je tlak $p_1 = p_0 + 80$ mmHg, hitrost $v_1 = 0,05$ m/s, višina h_1), enaka vsoti, izračunani na vrhu brizga krvi (tam je tlak enak zunanjemu $p_2 = p_0$, hitrost krvi je $v_2 = 0$ m/s, višina pa je $h_2 = h_1 + \Delta h$). Pri tem smo upoštevali, da je tlak v žilah vedno podan glede na zunanji zračni tlak p_0 . Poznamo torej vse, kar potrebujemo za izračun višine brizga Δh . **20:** Ocenimo podtlaka izračunamo s pomočjo Bernoullijeve enačbe (glej namig k nalogi 19), pri čemer primerjamo tok vode v točki A, s tokom vode v točki B. Tlak vode v točki B bo enak podtlaku, ki ga ustvarja črpalka (v točki C). Hitrost vode lahko izračunamo iz danega pretoka in preseka toka. **21:** Glej tudi navodila k praktikumski vaji. a) Hagen-Poiseuillejev zakon pravi, da je viskozna upornost valjaste cevi (žile) $R = \frac{8L\eta}{\pi r^4}$, kjer je L dolžina cevi, r njen radij, η pa je viskoznost tekočine. Ko v to enačbo vstavimo dolžino prvega dela žile $L_1 = 5$ cm, njegov radij $r_1 = 0,5$ cm in viskoznost krvi $\eta = 0,0027$ Ns/m², dobimo rezultat $R_1 = 550$ kPas/m³. Za drugi del žile ($L_2 = 1$ cm, $r_2 = 0,25$ cm) dobimo $R_2 = 1,76$ MPas/m³. b) Razliko tlakov Δp in pretok skozi žilo Φ_v povezuje Ohmov zakon za pretok tekočin: $\Delta p = R\Phi_v$, kjer je R viskozna upornost. V našem primeru teče kri skozi oba dela žile zaporedno, zato je viskozna upornost celotne žile kar vsota posameznih upornosti $R = R_1 + R_2$. Pretok je torej $\Phi_v = \Delta p/R = 2,6$ l/min. c) Vzdolž vsakega dela žile pada tlak linearno (to vidimo tudi iz Ohmovega zakona)! Padec tlaka na prvem delu žile lahko izračunamo iz Ohmovega zakona za ta del $\Delta p_1 = R_1\Phi_v = 24$ Pa (pretok je enak skozi oba dela žile!). Podobno bi lahko izračunali tudi padec tlaka na drugem delu žile, a nam ga niti ni treba, saj je že podan celoten padec tlaka $\Delta p = 100$ Pa. Na začetku celotne žile je tlak torej 300 Pa, na koncu celotne žile pa za dano razliko tlakov Δp manjši, torej 200 Pa. Ker je padec na prvem delu žile enak 24 Pa, bo torej tlak na stičišču delov enak 276 Pa, Vmes se bo tlak spreminjal linearno.



22: Pretok skozi večjo žilo je enak celotnemu pretoku skozi manjše žile. Ko združimo Ohmova zakona za vsakega od delov (glej namig k nalogi 21), vidimo, da je razmerje padcev tlakov enako razmerju viskozne upornosti večje žile in skupne viskozne upornosti manjših žil. Skozi manjše žile teče kri vzporedno, zato skupno upornost manjših žil izračunamo s formulo za vzporedno vezavo: $\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots$ Posamezne upornosti izračunamo po Hagen-Poiseuilleju. **23:** Pomagamo si z Hagen-Poiseuillejevim zakonom! Glej namig k nalogi 21. **24:** Podobno, kot v nalogi 21, le da gre tu za vzporedne žile. **25:** Višje kot bo vrečka s krvjo, večji tlak bo poganjal kri skozi iglo. Med enim in drugim koncem igle je razlika tlakov $\Delta p = p_k - p_z$, kjer je p_z tlak v žili, p_k pa je tlak, ki ga ustvarja dvignjena vrečka s krvjo $p_k = \rho_k gh$. S h smo označili višino vrečke. Po drugi strani je razlika tlakov povezana s pretokom skozi iglo preko Ohmovega zakona za pretok tekočin $\Delta p = R\Phi_v$, kjer je R viskozna upornost igle, ki jo izračunamo po

Hagen-Poiseuilleju (glej nalogo 21). Razlika tlakov, ki bo ustvarila zahtevani pretok, je torej

$$\Delta p = \frac{8l\eta\Phi_v}{\pi r^4} = \frac{8 \times 0,04 \text{ m} \times 0,0027 \text{ Ns/m}^2 \times 2 \times 10^{-6} \text{ m}^3}{\pi(0,2 \times 10^{-4} \text{ m})^4 \times 60 \text{ s}} = 11,5 \text{ Pa.}$$

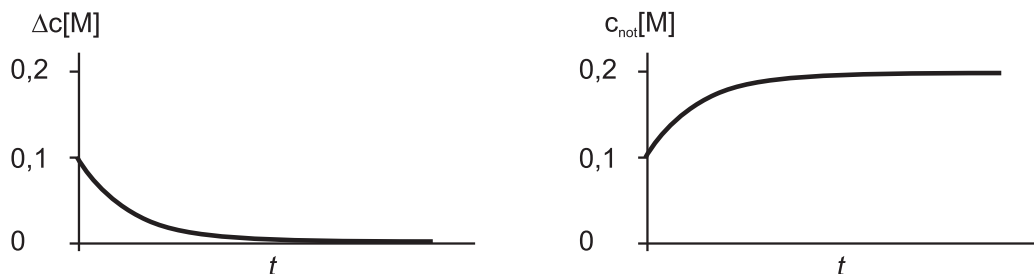
Višino vrečke nato izračunamo iz enačbe $\Delta p = p_k - p_z$. **26:** Ko razlika tlakov Δp prečrpa volumen V porabi delo $A = \Delta p V$. Če za to porabi čas t , je moč $P = A/t = \Delta p V/t = \Delta p \Phi_v$. **27:** b) Ko se mešičkom poveča radij, se jim poveča površina in s tem površinska energija. Delo je enako razliki površinskih energij. Pomagamo si tudi z navodili za praktikumsko vajo *Površinska napetost*. c) Predstavljamo si lahko, da si površinska napetost želi zmanjšati površino mešička oz. da ga neprestano stiska. Tlak v notranjosti mešička bo torej malo večji kot tlak zunaj njega. Mešički imajo eno površino, zato je zveza med površinsko napetostjo in razliko tlakov pri njih enaka $\Delta p = 2\sigma/r$ (milni mehurčki imajo dve površini, notranjo in zunanjo, zato pri njih velja $\Delta p = 2 \times 2\sigma/r = 4\sigma/r$).

Toplota

Ne pozabimo, da je snov iz toplote in termodinamike razložena v 2. poglavju osnutka za skripta iz biofizike!

1: Vsota delnih parnih tlakov vseh plinov je ravno skupni tlak $p_0 = 10^5$ Pa. Maso kisika m dobimo, ko v plinsko enačbo $pV = \nu RT$ vstavimo volumen pljuč in delni parni tlak kisika, ter upoštevamo zvezo med maso kisika, številom molov in molsko maso: $\nu = m/M$. **2:** Koliko litrov kisika dobimo, ko jeklenko izpraznimo na normalnem zračnem tlaku? Pomagamo si s plinsko enačbo, pri čemer upoštevamo, da je temperatura plina v jeklenki enaka kot zunaj nje. **3:** Razmislek je podoben, kot pri nalogi 2, le da se potapljaču z globino spreminjata okoliški tlak in temperatura. Spomnimo se tudi, da je tlak na gladini en bar potem pa z globino narašča na vsakih 10 m za en bar. Z uporabo plinske enačbe zapišemo razmerje med volumnom zraka, ki ga iz jeklenke potapljač dobi na globini 10 m in volumnom, ki ga dobi na 30 m. **4:** Balon bo lebdel, ko bo njegova teža ravno enaka sili vzgona (ta pa je enaka teži izpodrinjenega zraka). Teža določenega volumna zraka (se pravi njegova gostota) je po plinski enačbi odvisna od njegove temperature: $pV = \nu RT \Rightarrow \rho = \frac{M}{R} \frac{p}{T}$. Upoštevamo še, da je tlak v balonu enak kot izven njega (razmisli, zakaj je tako!). Do konca rešitve je tako potrebno opraviti le še neka računanja. **5:** a) Iz plinske enačbe vidimo, da se pri spremembah ob stalnem tlaku ohranja razmerje med volumnom in temperaturo, $V/T = \text{konst.}$ b) in c) Glej poglavji 2.3.4 in 2.3.5; $\Delta W_n = mc_v \Delta T$, $\Delta H = Q = mc_p \Delta T$. d) Glej poglavji 2.4.1 in 2.3.5; $\Delta S = mc_p \ln \frac{T_2}{T_1}$. e) Glej poglavje 2.1.1; $\frac{m\langle v^2 \rangle}{2} = \frac{3}{2} k_B T \Rightarrow \sqrt{\langle v^2 \rangle} = \frac{3k_B T}{m} = \frac{3RT}{M}$. **6:** a), b) in c) Glej poglavje 2.3.6; $pV = \text{konst.}$, $\Delta W_n = 0$, $A_{\text{opravljeno}} = p_1 V_1 \ln \frac{V_2}{V_1}$. d) Uvedba entalpije H je smiselna le pri stalnem tlaku (takrat velja $\Delta H = Q$), zato pri stalni temperaturi o entalpiji ponavadi sploh ne govorimo. Je pa res, da je entalpija funkcija stanja in jo zato lahko (če si to želimo) izračunamo v vsakem primeru s pomočjo njene definicije $H = W_n + pV$. Velja torej $\Delta H = H_2 - H_1 = W_{n2} + p_2 V_2 - W_{n1} - p_1 V_1 = \Delta W_n + p_2 V_2 - p_1 V_1 = 0$. e) Glej poglavje 2.4.1; $\Delta S = Q/T = A_{\text{opravljeno}}/T$. **7:** Glej poglavje 2.3.7; a) Pri adiabatnih spremembah idealnih plinov velja $pV^\kappa = \text{konst.}$, $p_1 V_1^\kappa = p_2 V_2^\kappa \Rightarrow V_2 = V_1 (p_1/p_2)^{1/\kappa}$. b) Iz plinske enačbe sledi $m = \frac{Mp_1 V_1}{RT_1}$, c) Pomagamo si lahko s plinsko enačbo. d) $Q = 0 \Rightarrow A = \Delta W_n = mc_v \Delta T$, c_v dobimo iz podatka, da je kisik dvoatomni plin. **8:** Voda iz obleke izpari, za kar dobi toploto iz našega telesa. Velja torej $m_v q_i = m_T c \Delta T$, oziroma $\Delta T = m_v q_i / m_T c$. **9:** a) Pomagamo si tudi z navodili za praktikumsko vajo. Masa vode, ki je v ledu, se najprej stali potem pa še segreje na končno temperaturo. Toplota za to pride iz vrelega čaja, ki se ohlaja na končno temperaturo. Velja torej $m_L q_t + m_L c \Delta T_L = m_\zeta c \Delta T_\zeta$. Iz te enačbe lahko izračunamo maso ledu m_L . b) Čaj se ohlaja in pri tem oddaja toploto. Entropija se mu bo zato zmanjšala: $\Delta S_\zeta = m_\zeta c \ln \frac{T_f}{T_i} = 0,3 \text{ kg} \cdot 4200 \text{ J/(kg K)} \ln \frac{333}{373} = -143 \text{ J/K}$. c) Masa ledu toploto prejema, zato se ji bo entropija povečala. Ker je led podvržen dvema procesoma (najprej taljenju in potem še segrevanju), bomo morali povečanje entropije izračunati za vsak proces posebej.

Taljenje: $\Delta S_1 = \frac{Q_t}{T_L} = \frac{q_t m_L}{T_L} = 106 \text{ J/K}$, kjer je T_L temperatura ledišča, $T_L = 273 \text{ K}$. Spremembo entropije pri segrevanju staljenega ledu izračunamo podobno kot pri nalogi b) : $\Delta S_2 = m_L c \ln \frac{T_k}{T_z} = m_L c \ln \frac{333}{273} = 71 \text{ J/K}$. Pri tem smo seveda upoštevali da je začetna temperatura za staljeni led drugačna kot pri čaju. Skupna sprememba entropije za led je torej $\Delta S_L = \Delta S_1 + \Delta S_2 = 177 \text{ J/K}$. d) Celotna sprememba entropije v sistemu je vsota sprememb za led in čaj, $\Delta S = 177 \text{ J/K} - 143 \text{ J/K} = 34 \text{ J/K}$. Celotna entropija sistema se je torej povečala, kar bi pričakovali že iz drugega zakona termodinamike. **10:** V hipotoničnem okolju v celico vdira voda toliko časa, dokler se osmolarnost v celici ne izenači z zunanjo. Za osmolarnost c velja $c = N/V$, kjer je N število raztopljenih osmotsko aktivnih delcev v volumnu V . Ko se celici volumen poveča za 1,5 krat, se bo osmolarnost v njej zmanjšala ravno za enak faktor. Zunanja osmolarnost torej ne sme biti manjša od $c_{\text{normalna}}/1,5$. **11:** Glej poglavje 2.5.7; V ravnovesju bo razlika hidrostatskih tlakov ob membrani enaka osmozemu tlaku $\rho g \Delta h = \pi = RT \sum c_i$. **12:** Glej poglavje 2.5.7; Membrana ne bo napeta, ko bosta osmozna tlaka na obeh straneh enaka. Spomnimo se tudi, da moramo pri osmozem tlaku upoštevati koncentracije vseh disociiranih raztopljenih delcev (en mol MgCl_2 v raztopini disociira na tri mole raztopljenih delcev). **13:** Glej poglavje 2.5.6; $c = \alpha p$. **14:** Podobno kot pri nalogi 13. Upoštevamo tudi, da se koncentracija plina v vodi v zaprti steklenici praktično ne spreminja več. **15:** Toploto izgubljam zaradi izparevanja vode iz zraka ter zaradi ogrevanja zraka. Na minuto vdihnemo $1,5 \times 15 = 22,5 \text{ l}$ zraka. V vsakem vdihanem litru zraka izpari $45,75 \text{ mg} - 10,3 \text{ mg} = 35,45 \text{ mg}$ vode, za kar je potrebno $Q = m_v q_i$ toplote. Za segrevanje zraka porabimo toploto $Q = m_z c_p \Delta T = m_z \frac{7}{2} \frac{R}{M} \Delta T = \frac{pV}{T} \frac{7}{2} \Delta T$. **16:** Povprečna prepotovana pot pri difuziji je $L = \sqrt{2Dt}$. **17:** Glej poglavje 2.7.1; $\Phi = SD \frac{\Delta c}{L}$. Pazimo na enote: ker nas zanima število molekul na minuto, nadomestimo razliko koncentracij Δc kar z razliko gostot molekul. **18:** V ravnovesju bo koncentracija v celici enaka kot zunaj nje. Koncentracija bo torej povsod enaka in jo lahko izračunamo kar kot število vseh delcev v sistemu deljeno s celotnim volumnom sistema. **19:** Glej poglavje 2.7.2; a) $\Phi = PS \Delta c$. b) $\Delta c(t) = \Delta c_0 e^{-t/\tau}$.



c) Čas v katerem koncentracija v celici naraste na 0,15 M je enak času, v katerem razlika koncentracij med notranjostjo in zunanostjo pade na 0,5 M. Uporabimo torej enačbo za spreminjanje razlike koncentracij s časom, pri čemer upoštevamo $\tau = V/(PS)$ (Glej poglavje 2.7.2). **20:** a) $\Phi = PS \Delta c$, b) Črpalke ione črpajo iz področja z manjšo koncentracijo na področje z večjo koncentracijo, se pravi s področja z manjšim kemijskim potencialom na področje z večjim kemijskim potencialom. Energija, ki jo porabimo za prečrpavanje ν molov snovi na višji kemijski potencial je kar $E = \Delta G = \nu \Delta \mu = \nu RT \ln c_2 - \nu RT \ln c_1 = \nu RT \ln \frac{c_2}{c_1}$. Moč je porabljena energija na čas, zato $P = \frac{E}{t} = \frac{\nu}{t} RT \ln \frac{c_2}{c_1} = \Phi RT \ln \frac{c_2}{c_1} = 3,6 \cdot 10^{-11} \text{ W}$. c) Črpalke vsako sekundo porabijo $3,6 \cdot 10^{-11} \text{ J}$ energije, torej $\frac{3,6 \cdot 10^{-11}}{31000}$ molov ATP. **21:** Glej poglavje 2.6.1. b) Moč pečke bo enaka toplotnemu toku, ki se izgublja iz brunarice. Pri računanju toplotnega toka razmislimo, ali toplota skozi okna in stene uhaja vzporedno ali zaporedno. c) Dodatno izolacijo potrebuje tisti del brunarice, skozi katerega izgubljam več toplote. **22:** Podobno, kot pri nalogi 21, je v stacionarnem stanju toplotni tok skozi odejo enak toploti, ki jo vsako sekundo odda telo, $P = Q/t$. **23:** Glej poglavje 2.6.2; $\Delta T(t) = \Delta T_0 e^{-t/\tau}$, kjer je $\tau = R_t C$.

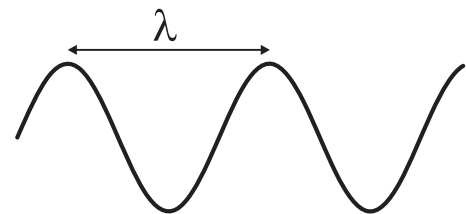
Elektrika in magnetizem. **1:** a) Električna poljska jakost je vektorska količina. Njeno vrednost v določeni točki prostora izračunamo tako, da vektorsko seštejemo prispevke vseh nabojev v prostoru, pri čemer je velikost posameznega prispevka $E = \frac{e}{4\pi\epsilon_0 r^2}$, kjer je r razdalja med izbranim nabojem in določeno točko. Smer vektorja je določena z zveznico od izbranega naboja do točke (pri pozitivnih nabojih kaže \vec{E} stran od naboja pri pozitivnih pa k njim). Vrednosti nabojev v tej nalogi so izbrane tako, da lahko vektorsko vsoto izračunamo tudi grafično. b) Električni potencial je skalarna količina. Njegovo vrednost v določeni točki prostora izračunamo tako, da seštejemo prispevke vseh nabojev, pri čemer je velikost posameznega prispevka $\varphi = \frac{e}{4\pi\epsilon_0 r}$. V nasprotju z nalogo a) torej tu ne bo potrebno seštevati vektorsko. **2:** Računamo lahko, kot da je celotni naboj jedra zbran v njegovem središču in uporabimo $\varphi = \frac{e}{4\pi\epsilon_0 r}$. **3:** a) Situacija pri nevihtnem oblaku je podobna kot pri ploščatem kondenzatorju, zato je tudi potek silnic in ekvipotencialnih črt podoben. Polje je med oblakom in zemljo homogeno, ob straneh pa se malo deformira. b) V homogenem polju velja $E = U/d$, kjer je d razdalja med oblakom in zemljo. c) V homogenem polju se napetost vzdolž silnic spreminja linearno. Na četrtini višine do oblaka bo torej tudi napetost ena četrtina celotne. d) Delec bo lebdel, če bo električna sila nasprotno enaka sili teže, $eE = mg$. **4:** Če se kapljica giblje s stalno hitrostjo, je rezultanta sil nanjo enaka 0, oziroma je sila, ki jo vleče enaka sili upora $F_u = 6\pi\eta r v$. Ko kapljica pada navpično, torej velja $F_u = F_g \Rightarrow 6\pi\eta r v_y = mg$. Ko vključimo električno polje, se kapljica zaradi njega začne gibati še v vodoravni smeri, kjer velja $F_u = F_e \Rightarrow 6\pi\eta r v_y = eE$. Jakost električnega polja E lahko izračunamo iz podatka o napetosti in razdalji med ploščama. Neznani produkt ηr izračunamo iz prve enačbe in ga vstavimo v drugo. **5:** Velja Ohmov zakon, kjer je upornost raztopine odvisna od njene specifične upornosti in geometrije: $U = RI = \frac{l}{S\sigma} I$. **6:** $F = \frac{e_1 e_2}{4\pi\epsilon_0 r^2}$. Kako pa je z enotami? Pomagamo si z znanimi zvezami $AsV=J$, enoto za farad F pa uganemo naprimer iz enačbe $e = CU$, $F = As/V$. **7:** Kolikšna je celotna upornost telesa in čevljev skupaj ($U = RI$, kjer je napetost v vtičnici $U = 220$ V)? Iz celotne upornosti nato izračunamo upornost telesa, nato pa s pomočjo Ohmovega zakona še tok skozi telo brez čevljev. **8:** Najprej izračunamo upornost žarnice R_Z (s pomočjo enačb $U = R_Z I$ in $P = UI$). Ko žarnico priključimo na baterijo z napetostjo U_0 in notranjim uporom R_0 , na žarnici celotna napetost U_0 temveč manjša, saj do padca napetosti pride že na notranjem upor. Gre torej za zaporedno vezavo pri kateri so v tokokrogu U_0 , R_Z in R_0 . Ko izračunamo celotno upornost tokokroga (pri zaporedni vezavi velja $R = R_0 + R_Z$), lahko izračunamo tok skozi tokokrog (iz $U = RI$), nato pa še napetost na žarnici $U_Z = R_Z I$. Moč je $P = UI$. **9:** Najtežje pri tej nalogi si je predstavljati, kje tok teče zaporedno in kje vzporedno. Za lažjo predstavbo si lahko sliko narišemo tudi malo drugače, pri čemer upoštevamo: R_4 in R_3 sta vezana zaporedno (izračunamo njuno skupno upornost $R_{s1} = R_4 + R_3$), vzporedno z njima je vezan R_2 (izračunamo še skupno upornost te vzporedne vezave, $1/R_{s2} = 1/R_{s1} + 1/R_2$), na vse skupaj pa je zaporedno vezan še R_1 (skupna upornost celotnega tokokroga je torej $R_1 + R_{s2}$). **10:** Ker se volumen cevke ne spreminja, se pri vdihu cevka podaljša in tudi stanjša, $V = LS$, kjer je L dolžina cevke, S pa njen presek. Kako se pri tem spremeni njena upornost? Spomnimo se, da je $R = \xi \frac{L}{S}$, iz upornosti in toka pa lahko izračunamo padeč napetosti. **11:** Če poznamo moč grelca ($P = UI$), lahko izračunamo, koliko toplote Q odda vsako sekundo, $Q = Pt$. Voda dobiva toploto iz grelca in se tako vsako sekundo segreje za $\Delta T = \frac{Q}{mc}$. **12:** Toplota, ki se sprosti zaradi električnega toka skozi snov je $Q = Pt = UIt = RI^2 t$. Izračunati moramo še upornost hrasta ($R = \xi \frac{L}{S}$). **13:** Moč električnih naprav je v primeru enosmernega toka kar $P = UI$. Napetost U je kar napetost baterije, tok I skozi mobilni telefon pa lahko izračunamo iz podatka o času, ki je potreben, da se izprazni celoten naboj, ki je shranjen v bateriji, $I = e/t$. **14:** a) Vtičnice so vezane vzporedno - le tako je lahko na vsaki 220 V ne glede na to, kaj je priključeno na ostale vtičnice. b) Varovalka je na vtičnice priključena zaporedno in bo pregorela, če bo skozi njo tekla tok, ki je večji od 12 A. **15:** a) Napetost izračunamo iz enačbe za energijo kondenzatorja $W = \frac{1}{2}CU^2$. b) $U = RI$. **16:** Med polnjenjem se napetost na kondenzatorju s časom spreminja kot $U = U_0(1 - e^{-t/\tau})$, kjer je $\tau = RC$. Energija kondenzatorja je sorazmerna kvadratu napetosti in se bo tako spreminjala kot $W \propto U^2$, oziroma $W = \frac{1}{2}CU_0^2(1 - e^{-t/\tau})^2$.

Glej tudi navodila k praktikumski vaji. **17:** Glej namig k nalogi 16. **18:** Ker smo kondenzator odkopili s tokokroga, se bo naboj na njem ohranjal. Velja torej, $e = C_1 U_1 = C_2 U_2$, oziroma $U_2 = U_1 \frac{C_1}{C_2}$. Ob spreminjanju kapacitete in napetosti se je spremenila tudi energija kondenzatorja $W = \frac{1}{2} C U^2$. Delo je enako razliki energij. **19:** Magnetno polje na iglo kompasa deluje z navorom $M = p_m B \sin \phi$, sila, s katero mi držimo iglo, pa z navorom $M = F r$, kjer je r dolžina ročice (v našem primeru je dolžina ročice kar polovica dolžine igle). V ravnovesju morata biti oba navora enaka. **20:** Sila v električnem polju $F = eE$ pospešuje elektron. Pospešek je $a = F/m$, končna hitrost v električnem polju pa bo tako at . Ko se električno polje izklopi in vklopi magnetno polje, začne na elektron delovati magnetna sila. Ta sila je vedno pravokotna na hitrost potovanja elektrona in zato ne more spreminjati velikosti hitrosti, pač pa povzroča kroženje. Magnetna sila $F_m = evB$ je ravno sila, ki povzroča radialni pospešek $a_r = v^2/r$. Torej velja $evB = mv^2/r$. **21:** Spomnimo se izraza za impedanco (efektivno upornost) kondenzatorja pri izmeničnem toku $R = \frac{1}{\omega C}$. Večja ko je frekvenca toka ω , manjša bo impedanca kondenzatorja. Za visoke frekvence kondenzator torej ne predstavlja praktično nobenega upora. Če na vhod vezja A priključimo visoko frekvenčno izmenično napetost, bo ves električni tok stekel skozi kondenzator in se na izhodu ne bo nič poznalo. Če pa na vhod vezja A priključimo napetost z majhno frekvenco, skozi kondenzator tok ne bo tekkel, in praktično vsa vhodna napetost se bo poznala tudi na izhodu. **22:** Tok teče skozi kanalčke vzporedno. Če je preko membrane tok I in je v membrani N kanalčkov, bo skozi vsakega tekkel tok I/N . Kolikšen tok teče skozi 1 cm^2 membrane ($U = RI$)? Kakšna je povezava med tokom in količino naboja, ki se pretoči v določenem času ($I = e/t$)? Kolikšen naboj ima en ion ($1,6 \times 10^{-19} \text{ As}$)? **23:** Tu pride do Hallovega pojava, pri katerem je magnetna sila na gibajoče se naboje $F_m = evB$ enaka električni sili, ki jo povzroča inducirani naboj, $F_i = E_i e = \frac{U_i}{d} e$. **24:** Jakost magnetnega polja okoli dolgih vodnikov pada z oddaljenostjo kot $B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r}$. Tok v celicah je $I = jS$.

Valovanje in optika

1: Spomnimo se zveze med valovno dolžino, frekvenco in hitrostjo valovanja, $\lambda = c/\nu$. **2:** Glej nalogo 1. **3:** V času t zvok prepotuje razdaljo $s = ct$. Ker v tem času zvok prepotuje do organa in nazaj, je s enak dvakratniku globine organa.

4: Narišimo si sinusno valovanje! Iz slike vidimo, da sta točki, ki nihata v fazi (t.j., s fazno razliko 360°), oddaljeni za eno valovno dolžino. Ker je fazna razlika 60° enaka eni šestini celotne faze, je tudi razdalja med točkama, ki nihata s to fazno razliko, enaka eni šestini valovne dolžine. Točki, ki nihata z nasprotno fazo (t.j., s fazno razliko 180°), pa sta na primer oddaljeni pol valovne dolžine. Valovno dolžino se izračuna enako kot pri nalogi 1.

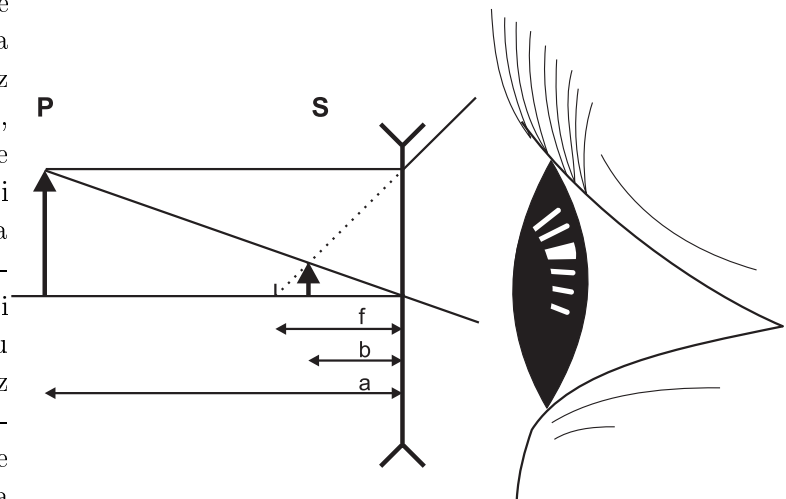


5: Pri odboju valovanja od gibajočega se tkiva pride do dvakratnega Dopplerjevega pojava (več o Dopplerjevem pojavu si lahko preberete v Praktikum iz biofizike). Če je hitrost gibanja tkiva v majhna v primerjavi s hitrostjo zvoka c , je relativna sprememba frekvence odbitega valovanja $\frac{\Delta\nu}{\nu}$ približno enaka dvakratniku $\frac{v}{c}$. Ko se vpadno valovanje (frekvenca ν) sešteje z odbitim valovanjem (frekvenca $\nu + \Delta\nu$), se v vsoti pojavi nizka frekvenca, ki ji pravimo frekvenca utripanja. Ko v izraz za vsoto dveh sinusov, $\sin \alpha + \sin \beta = 2 \sin \frac{\alpha + \beta}{2} \cos \frac{\alpha - \beta}{2}$, vstavimo $\alpha = 2\pi\nu t$ in $\beta = 2\pi(\nu + \Delta\nu)t$ razberemo, da je frekvenca utripanja enaka $\Delta\nu/2$. Iz tega izračunamo $\Delta\nu = 320/\text{min} = 5,3 \text{ Hz}$. Hitrost gibanja tkiva je torej $v = \frac{1}{2} \frac{\Delta\nu}{\nu} c = \frac{1}{2} \cdot \frac{5,3}{2 \times 10^6} \cdot 1500 \text{ m/s} = 2 \text{ mm/s}$. **6:** Svetloba z valovno dolžino λ se na uklonski mrežici uklanja pod kotom α , pri čemer velja $D \sin \alpha = \lambda$, kjer je D razdalja med sosednjima režama mrežice (v našem primeru je med sosednjima režama tisočinka milimetra, torej en mikrometer). Na zaslon, ki je od mrežice oddaljen za razdaljo l , bo tako svetloba padla na razdaljo $y = l \cdot \tan \alpha$ od pravokotnice. Razmak med črtama je razlika njunih odklonov y . **7:** Za glasnost (v dB) velja $I = 10 \log \frac{I}{I_0}$, kjer

je $j_0 = 10^{-12} \text{ W/m}^2$. Ker letalo zvok oddaja na vse strani, pada gostota energijskega toka zvoka z razdaljo r kot $j = \frac{P}{4\pi r^2}$, kjer je P moč izvora. Iz teh dveh enačb lahko izračunamo, kolikšna je moč izvora zvoka med letom na višini, $P_1 = j_0 4\pi r_1^2 10^{1/10}$. Pri vzletu je moč štirikrat večja, razdalja pa je $r_2 = 100 \text{ m}$. **8:** a) Glej enačbe pri nalogi 7. b) Tu se gostota energijskega toka zvoka manjša tako zaradi širjenja v prostor (s kvadratom oddaljenosti), kot tudi zaradi absorpcije (eksponentno z oddaljenostjo). Gostota toka se torej manjša po enačbi $j = \frac{P}{4\pi r^2} e^{-\mu r}$. **9:** Žarnica svetlobo oddaja na vse strani, tako da je gostota svetlobnega toka na razdalji r enaka $j = \frac{P}{4\pi r^2}$, kjer je P moč žarnice. Če vzorec osvetljujemo čas t , se v njem absorbira toplota $Q = P_v \cdot t = 0,1 \cdot S_v \cdot j \cdot t$, kjer je P_v moč svetlobe, ki pada na vzorec, S_v pa njegova površina. Vzorec se bo segrel za ΔT , ko absorbira toploto $Q = mc\Delta T$. **10:** a) Upoštevati moramo, da gostota svetlobnega toka pada s kvadratom razdalje (glej nalogo 9). b) Oddaljenost točke B od žarnice lahko izračunamo s pomočjo Pitagorovega izreka. Poleg tega je potrebno upoštevati, da na točko B svetloba pada pod kotom, zaradi česar se v koži absorbira ustrezno manjša moč, $P_{abs} = P \sin \alpha$. **11:** Žarnica oddaja svetlobo na vse strani, zato gostota njenega svetlobnega toka pada s kvadratom razdalje, $j = \frac{P}{4\pi x^2}$. Ker poznamo gostoto toka, ki pada na mizo ($j_1 = 0,5 \text{ W/m}^2$) in oddaljenost mize ($x_M = 3 \text{ m}$), lahko torej izračunamo moč žarnice, $P = j_1 4\pi x_M^2$. Med žarnico in mizo postavimo lečo. Najtežje pri tej nalogi je ugotoviti, kaj dogaja z gostoto svetlobnega toka na poti od žarnice do mize. Od žarnice do leče gostota svetlobnega toka pada s kvadratom razdalje. Na lečo tako pada $j_L = \frac{P}{4\pi x_L^2}$, kjer je x_L razdalja med žarnico in lečo. Leča nato vso svetlobo, ki pade nanjo, zbere ("zgosti") v majhni svetli okrogli ploskvi na mizi. Gostota svetlobnega toka na okrogli ploskvi je torej $j_2 = j_L \frac{S_L}{S_2}$, kjer sta S_L je površina leče ($S_L = \pi r_L^2$) in S_2 površina osvetljene ploskve ($S_2 = \pi r_2^2$). **12:** Gostota svetlobnega toka se na poti skozi snov zmanjšuje eksponentno. Na poti do gostejšega dela telesa se svetlobi gostota toka zmanjša za faktor $e^{-\mu_1 l_1}$, kjer je l_1 dolžina poti svetlobe do gostejšega telesa. Na poti skozi gostejši del telesa se ji gostota toka zmanjša še za faktor $e^{-\mu_2 d}$, kjer je d debelina gostejšega dela telesa. Na koncu se gostota toka zmanjša še za faktor $e^{-\mu_1 l_2}$, kjer je l_2 dolžina poti svetlobe na drugi strani telesa. V celoti se torej gostota svetlobnega toka na spodnji poti zmanjša za $j_2 = j_0 e^{-\mu_1 l_1} e^{-\mu_2 d} e^{-\mu_1 l_2}$. Na zgornji poti, kjer ni gostejšega dela telesa, pa se gostota toka zmanjša za $j_1 = j_0 e^{-\mu_1 l_1} e^{-\mu_1 d} e^{-\mu_1 l_2}$. Ko zapišemo razmerje j_2/j_1 , se v njem pokrajšata faktorja z l_1 in l_2 , iz ostanka pa lahko izračunamo d . **13:** Energija konformacijske spremembe je enaka energiji fotona, ta pa je $E = h\nu = hc/\lambda$. **14:** Svetloba z minimalno frekvenco je tista, katere fotoni imajo ravno še dovolj energije za izbitje elektrona. Iz minimalne frekvence svetlobe lahko torej izračunamo energijo, ki je potrebna za izbitje elektrona, t.j. izstopno delo, $A_i = h\nu_{min}$. Če ima svetloba večjo frekvenco od minimalne, gre presežek energije fotona v kinetično energijo elektrona: $W_k = h\nu - A_i$. **15:** Kinetično energijo izbitega elektrona izračunamo podobno kot pri nalogi 14, hitrost elektrona pa iz $W_k = \frac{1}{2} m_e v^2$. **16:** a) Elektroni, pospešeni v rentgenski cevi, imajo energijo $W_e = e_0 U = 150 \text{ keV}$. Če gre vsa energija elektrona v energijo fotona, izračunamo valovno dolžino izsevane svetlobe iz $W_e = W_\gamma = hc/\lambda$. b) Moč toka elektronov je $P = UI$, od tega pa gre le 1% v izsevano rentgensko svetlobo. c) Ko se rentgenska svetloba absorbira v tkivu, pada gostota njenega toka (in s tem tudi moč) z globino eksponentno: $P = P_0 e^{-\mu x} = P_0 2^{-x/x_{1/2}}$. **17:** Narišimo si pot žarka, ki se najprej lomi na prehodu iz zraka v steklo in nato še na prehodu iz stekla v olje. Zapišimo lomni zakon za vsakega od prehodov. Iz slike vidimo, da je izstopni kot v prvem prehodu enak vpadnemu kotu v drugem, $\beta_1 = \alpha_2$. Do totalnega odboja na prehodu v olje pride, če je $\beta_2 = 90^\circ$. Ko iz enačb izrazimo α_1 , ugotovimo, da rezultat sploh ni odvisen od lomnega količnika stekla! **18:** Mikroskop bo sliko predmeta preslikal v neskončnost v primeru, če bo objektiv predmet preslikal ravno v goriščno ravnino okularja (glej Praktikum iz biofizike). Ker je razdalja med objektivom in okularjem 8 cm, goriščna razdalja okularja pa 3 cm, mora slika objektiva torej nastati na razdalji $b = 5 \text{ cm}$ za objektivom. Razdaljo med predmetom in objektivom a nato izračunamo s pomočjo enačbe leče, $\frac{1}{f_{OB}} = \frac{1}{a} + \frac{1}{b}$. **19:** Podobno kot pri nalogi 18. Izraz za povečavo mikroskopa je naveden v Praktikum iz biofizike. **20:** Narišimo si

obe leči in predmet. Vidimo, da slika, ki jo preslika prva leča, predstavlja predmet za drugo lečo in je razdalja med lečama zato ravno $b_1 + a_2$. Za vsako lečo posebej velja enačba leče. Iz podatkov lahko tako izračunamo razdaljo med prvo lečo in sliko, ki nastane za njo (rezultat je $b_1 = 60$ cm). Izračunati moramo še a_2 . Pri tem si pomagamo s podatkom o velikosti slik. Velikost slike za prvo lečo B_1 je podana z razmerjem $\frac{A_1}{B_1} = \frac{a_1}{b_1}$. Velikost slike za drugo lečo B_2 mora biti enaka velikosti predmeta A_1 , hkrati pa je velikost slike prve leče enaka velikosti predmeta za drugo lečo ($B_1 = A_2$). Za drugo lečo tako velja razmerje $\frac{A_2}{B_2} = \frac{a_2}{b_2} = \frac{B_1}{A_1}$. Ko združimo razmerja za obe leči, dobimo $\frac{a_2}{b_2} = \frac{b_1}{a_1}$. Neznano razdaljo b_2 izrazimo s pomočjo enačbe leče za drugo lečo in tako izračunamo $a_2 = f_2(1 + b_1/a_1) = 12$ cm.

21: Oseba, ki ne vidi na daleč, je kratkovidna in torej potrebuje očala z negativno dioptrijo, t.j. očala z razpršilnimi lečami. Iz slike ugotovimo, da razpršilna leča oddaljene predmete zares preslika bližje, kjer jih lahko tudi kratkovidno oko dobro izostri. Navidezna velikost predmeta se pri tem ne spremeni, saj je zorni kot, pod katerim skozi lečo vidimo sliko predmeta enak zornemu kotu, pod katerim bi videli predmet brez leče. Očala bodo kratkovidni osebi pomagala, če bodo zelo oddaljene predmete preslikala ravno na razdaljo, na kateri ta oseba še vidi.



Zapišimo enačbo leče za ta primer: $\frac{1}{f} = \frac{1}{a} + \frac{1}{b}$. Ker je predmet zelo oddaljen ($a = \infty$), je njegova

obratna vrednost praktično nič, $\frac{1}{a} = 0$. Oddaljenost slike od leče b je v našem primeru enaka ravno največji razdalji, pri kateri oseba še vidi ostro. Po definiciji je b v našem primeru negativen, saj je slika na isti strani leče kot predmet. Po definiciji je obratna vrednost goriščne razdalje leče enaka lomnosti leče, ki jo merimo v dioptrijah, zato iz enačbe leče sledi $\frac{1}{f} = 0 + \frac{1}{b} = \frac{1}{-0,5 \text{ m}} = -2 \text{ m}^{-1} = -2 \text{ D}$.

Nalogo lahko rešimo še na drug način. Če imamo dve leči z goriščnima razdaljama f_1 in f_2 blizu skupaj, tako da je razdalja med njima manjša kot je povprečna goriščna razdalja leč, velja enačba

$$\frac{1}{f_s} = \frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2},$$

kjer je f_s skupna goriščna razdalja dveh leč. Ta enačba dobro velja tudi pri človeku, če lomnost leče očal le ni prevelika ali premajhna ($>10\text{D}$ ali $<-10\text{D}$).

Problem reševanja poenostavimo tako, kot da bi se svetloba v očesu lomila samo na očesni leči. Če se f_1 nanaša na goriščno razdaljo očesne leče in če se f_2 nanaša na goriščno razdaljo leče očal, lahko zapišemo enačbi leče (enačba 6.3 v Praktikum iz biofizike), ko človek gleda brez očal

$$\frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{1}{f_1}$$

in ko človek gleda z očali

$$\frac{1}{a_s} + \frac{1}{b} = \frac{1}{f_s},$$

pri čemer je a razdalja med predmetom in lečo, ko človek gleda brez očal, a_s je razdalja med predmetom in lečo, ko človek gleda z očali, in b je razdalja med očesno lečo in mrežnico. Če vstavimo enačbi leče v enačbo za skupno goriščno razdaljo, dobimo

$$\frac{1}{f_2} = \frac{1}{a_s} - \frac{1}{a}.$$

Pri naši nalogi je $a = 50$ cm in $a_s = \infty$, ker bi oseba rada videla ostro tudi zelo oddaljene predmete, zato za lomnost leče očal velja $1/f_2 = -2 \text{ m}^{-1} = -2 \text{ D}$. Potrebujemo razpršilno lečo.

22: Pri tej nalogi je razmislek podoben kot pri nalogi 21, le da oseba ne vidi na blizu. Uporabiti mora zbiralno lečo, ki bližnje predmete preslika tako, da so navidezno bolj daleč. **23:** Pomagajmo si s

podobnimi trikotniki, $A_1 : x_1 = A_0 : x_0$, kjer je A_1 ločljivost na razdalji $x_1 = 2$ m, A_0 pa ločljivost na normalni zorni razdalji x_0 .

Atomika

1: Spomnimo se, da so energije elektrona v atomih z enim elektronom podane z izrazom $W = -13,6 \text{ eV} \frac{Z^2}{n^2}$, kjer je Z vrstno število atoma. **2:** Glej nalogo 1. Upoštevamo tudi, da gre razlika energij elektrona v energijo fotona, ki je podana z izrazom $W_\gamma = h\nu = hc/\lambda$. **3:** Glej nalogo 2. **4:** Ko izračunamo energijo fotonov, ki jih oddaja mobilni telefon, ugotovimo, da je ta energija veliko manjša od ionizacijske. **5:** Uporabimo $W_\gamma = h\nu = hc/\lambda$. **6:** Število jeder se pri radioaktivnem razpadu manjša eksponentno, $N = N_0 e^{-\lambda t} = N_0 2^{-t/t_{1/2}}$. To enačbo logaritmiramo in upoštevamo, da je $N/N_0 = 0,9$. **7:** a) Glej 1. vajo v Praktikumumu iz biofizike. Ker se je aktivnost 1000 krat zmanjšala, se je torej radioaktivna snov 1000 krat razredčila in $V = 1000V_0 = 1000 \times 5 \times 10^{-6} \text{ m}^3 = 1000 \times 5 \text{ ml} = 5 \text{ l}$. b) Aktivnost celotnega fosforja bo po 10 dneh $A = A_0 2^{-t/t_{1/2}} = 10 \text{ Bq} 2^{-10/14,2} = 6,1 \text{ Bq}$. Ker se je med tem izločilo 75% radioaktivnega fosforja, bomo izmerili le še eno četrtino te aktivnosti. **8:** Glej nalogo 12a. **9:** Glej nalogo 12a. Upoštevamo tudi zvezo med številom radioaktivnih jeder in njihovo aktivnostjo, $A = \lambda N$. **10:** Glej nalogo 9. **11:** Zaradi jedrskega razpada se v odmrlem organizmu zmanjšuje vsebnost radioaktivnega izotopa ogljika in s tem tudi njegova aktivnost (glej nalogo 9). V času od odmrtnosti organizma se je aktivnost tako zmanjšala na $\frac{10}{12}$. **12:** a) Pacient mora biti v karanteni toliko dni, da bo aktivnost joda A padla na 150 MBq. Začetna aktivnost joda je

$$A_0 = 50\% \cdot 500 \text{ MBq} = 250 \text{ MBq} . \quad (1)$$

Aktivnost radioaktivne snovi se eksponentno zmanjšuje s časom (aktivnost je sorazmerna številu jeder):

$$A = A_0 2^{-\frac{t}{t_{1/2}}} . \quad (2)$$

Zgornjo enačbo na obeh straneh delimo z A_0 in logaritmiramo

$$\ln \frac{A}{A_0} = \ln 2^{-\frac{t}{t_{1/2}}} = -\frac{t}{t_{1/2}} \ln 2 \quad (3)$$

ter iz nje izrazimo t :

$$t = -t_{1/2} \frac{\ln \frac{A}{A_0}}{\ln 2} = -8 \text{ dni} \frac{\ln \frac{150 \text{ MBq}}{250 \text{ MBq}}}{\ln 2} = 5,9 \text{ dni} = 5 \text{ dni} 22 \text{ ur} . \quad (4)$$

b) Doza je absorbirana energija na maso tkiva:

$$D = \frac{W_{abs}}{m} . \quad (5)$$

Masa tkiva je $m = 50 \text{ g}$. Absorbirano energijo lahko izračunamo iz števila razpadlih jeder: če je število razpadlih jeder N_{raz} in se ob vsakem razpadu sprosti β^- delec z energijo $W_1 = 183 \text{ keV}$, hkrati pa se vsi nastali β^- delci tudi absorbirajo v ščitnici, je $W_{abs} = N_{raz} W_1$. Število razpadlih jeder je število jeder na začetku N_0 minus število jeder, ki še ostanejo po sedmih dneh:

$$N_{raz} = N_0 - N(t = 7 \text{ dni}) = N_0 - N_0 2^{-\frac{t}{t_{1/2}}} = N_0 \left(1 - 2^{-\frac{7 \text{ dni}}{8 \text{ dni}}}\right) = N_0 \left(1 - 2^{-\frac{7}{8}}\right) . \quad (6)$$

Število jeder na začetku izračunamo iz aktivnosti na začetku: $A = N\lambda$, kjer je $\lambda = \frac{\ln 2}{t_{1/2}}$, oz.

$$N_0 = A_0 \frac{t_{1/2}}{\ln 2} = 250 \times 10^6 \text{ s}^{-1} \frac{8 \times 24 \times 60 \times 60 \text{ s}}{\ln 2} = 2,5 \times 10^{14} . \quad (7)$$

Doza je torej

$$D = \frac{W_{abs}}{m} = \frac{E_1 N_0 (1 - 2^{-\frac{t}{\tau-1/2}})}{m} = \frac{183 \text{ keV } 2,5 \times 10^{14} (1 - 2^{-7/8})}{0,05 \text{ kg}} = \quad (8)$$

$$= \frac{4,15 \times 10^{20} \text{ eV}}{\text{kg}} = \frac{4,15 \times 10^{20} \text{ eV} \times 1,6 \times 10^{-19} \text{ J}}{\text{kg eV}} = 66 \frac{\text{J}}{\text{kg}} = 66 \text{ Gy} . \quad (9)$$

13: Doza je sorazmerna gostoti toka radioaktivnih žarkov, ta pa se z globino manjša eksponentno, $j = j_0 e^{-\mu x}$. Razmerje med dozo na globini 1 cm in dozo na globini 3 cm je torej $e^{-\mu \Delta x}$, kjer je $\Delta x = 2$ cm. **14:** Glej nalogo 13. **15:** a) Izvor vsako sekundo odda $50 \times 10^6 \beta^-$ delcev ($A = 50$ MBq). Doza je absorbirana energija na maso tkiva:

$$D = \frac{W_{abs}}{m} . \quad (10)$$

V eni uri izvor odda $N = 50 \times 10^6 \times 60 \times 60 = 1,8 \times 10^{11} \beta^-$ delcev. Od tega se jih v tumorju absorbira 40%, $N_{abs} = 0,4 \times N = 7,2 \times 10^{10}$. Absorbirana energija je $W_{abs} = N_{abs} E_1$, zato

$$D = \frac{W_{abs}}{m} = \frac{N_{abs} W_1}{m} = \frac{7,2 \times 10^{10} \times 1,2 \times 10^6 \text{ eV} \times 1,6 \times 10^{-19} \text{ J}}{0,03 \text{ kg eV}} = 0,46 \text{ Gy} , \quad (11)$$

pri čemer smo upoštevali, da je v tem primeru energija enega delca $W_1 = 1,2$ MeV.

b) Sevalec seva na vse strani, zato bo tumor tem manj obsevan, čim bolj bo oddaljen od sevalca. Nalogo rešimo tako, da izračunamo, kolikšen delež izsevanih žarkov zadene tumor (pri tem vemo, da se bodo vsi žarki, ki tumor zadenejo, v njem tudi absorbirali). Sevalec seva na vse strani (in torej obseva celotno kroglo okrog sebe), zato bo delež žarkov, ki zadenejo tumor s površino S_{tumor} :

$$x = \frac{S_{tumor}}{4\pi r^2} = \frac{2 \text{ cm}^2}{4\pi 100 \text{ cm}^2} = 0,0016. \quad (12)$$

V tumorju se torej absorbira le 0,16% vseh oddanih žarkov (pri nalogi (a) se je absorbiralo 40% vseh žarkov). Ker se torej v tem primeru absorbira $\frac{40\%}{0,16\%} = 251$ krat manj žarkov kot pri nalogi (a), bo tudi doza 251 krat manjša:

$$D = \frac{0,46 \text{ Gy}}{251} = 1,8 \text{ mGy} . \quad (13)$$

16: Sprosti se energija, ki sorazmerna razliki mas na koncu in na začetku reakcije. Koliko eV ustreza 1 ME najdete v poglavju 2.4 v skripti Atomsko jedro.