Delovni listi za Medicinsko biofiziko

Študijsko leto 2024-2025

Kazalo

Verzija: 1. 10. 2024

Popravki in komentarji se zbirajo na tem naslovu.

*Vsebine, označene z zvezdico, so podane kot primeri iz vsakdanjega življenja in zanimivosti za ilustracijo obravnavane snovi, niso pa mišljene kot izpitna snov.

1 Risanje in odčitavanje z grafov

Naloga 1: razbiranje vrednosti količin z grafov

Grafi so odličen pripomoček za nazorno prikazovanje odvisnosti med različnimi količinami, saj lahko z njih poleg samih vrednosti količin razberemo tudi informacije o njihovem spreminjanju. Matematični operaciji, ki sta s tem povezani, sta odvod in integral, ki sta v srednji šoli morda veljali za eni od najstrašnejših matematičnih operacij. Pri tej nalogi bomo spoznali, da je ta sloves neupravičen, saj imata obe zelo nazoren grafični pomen - odvod ni nič drugega kot naklon krivulje na grafu, integral pa je površina pod krivuljo.

Pri nalogi bomo obravnavali povezavo med spreminjanjem prostornine mehurja in prostorninskim pretokom v mehur. Ob tem se lahko spomnimo, da med obema veljata zvezi:

$$\Delta V = \Phi_V \Delta t \qquad \text{in} \qquad \Phi_V = \frac{\Delta V}{\Delta t}. \tag{1.1}$$

Prostorninski pretok opisuje, kolikšna prostornina tekočine se v določenem času pretoči; v našem primeru je to kar enako spremembi prostornine mehurja v določenem času. Strogo vzeto lahko zgornji enačbi uporabimo le, če je pretok konstanten. Če se pretok spreminja in je v vsakem trenutku drugačen, raje uporabimo zapis z odvodom in integralom:

$$\Delta V = \int \Phi_V \,\mathrm{d}t \qquad \text{in} \qquad \Phi_V = \frac{\mathrm{d}V}{\mathrm{d}t} \tag{1.2}$$

V nadaljevanju naloge bomo videli, kako si lahko zvezo med pretokom in prostornino nazorno prikažemo tudi grafično, brez uporabe zgornjih enačb.

Naloga 1.1

Graf prikazuje, kako se je prostornina mehurja pri nekem pacientu spreminjala s časom.

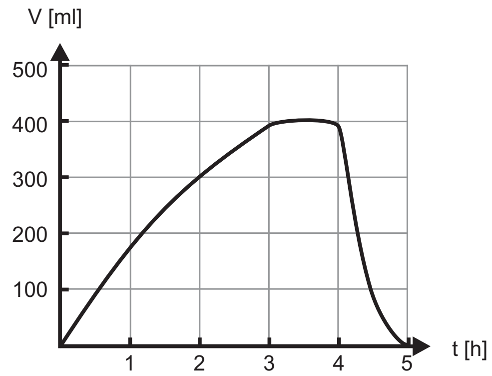
a) Kdaj se prostornina mehurja ni spreminjala?

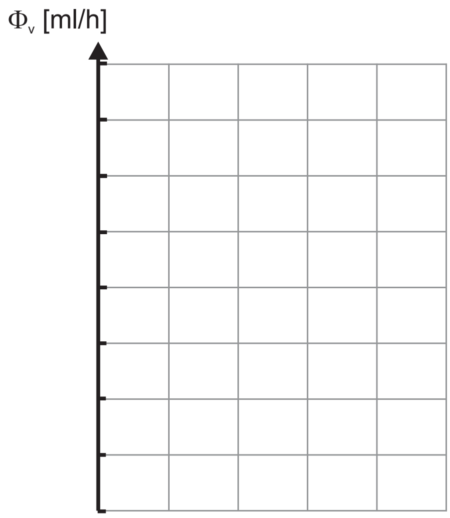
b) Ob katerem času se je mehur polnil najhitreje?

c) Ob katerem času je bil prostorninski pretok iz mehurja največji?

d) Kolikšen je prostorninski pretok ob času $t = 2\,\mathrm{h}$?

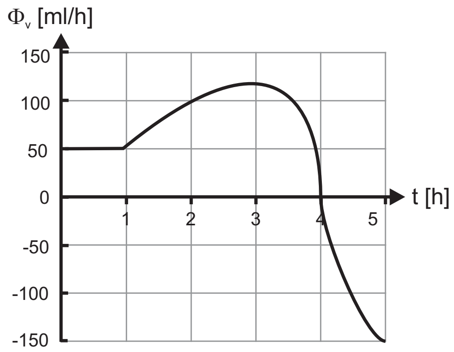
e) Na spodnji graf narišite, kako se je s časom spreminjal prostorninski pretok v mehur.

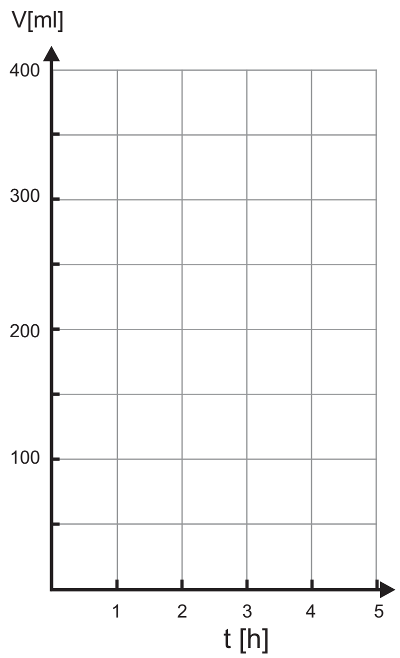




Naloga 1.2

Graf prikazuje, kolikšen je bil pri nekem drugem pacientu prostorninski pretok v mehur.





a) Ob katerem času v mehur nič ne priteka in nič ne odteka?

b) Ob katerem času je bil prostorninski tok v mehur največji?

c) Približno za koliko se je spremenila prostornina mehurja v prvih dveh urah?

d) Približno za koliko se je spremenila prostornina mehurja v prvih petih urah?

e) Na spodnji graf narišite, kako se je s časom spreminjala prostornina mehurja, če je bil le-ta na začetku prazen.

Naloga 2: analiza eksponentnih sprememb

V naravi (in v medicini) pogosto srečamo eksponentne spremembe, zato moramo znati z eksponentno funkcijo dobro rokovati. Pri tej vaji bomo eksponentno funkcijo risali v linearizirani obliki oz. na grafih z logaritemsko skalo ter take grafe analizirali.

Kot primer eksponentne rasti bomo analizirali začetno širjenje okužbe. Če število obolelih s časom narašča eksponentno, ga lahko z enačbo zapišemo kot:

$$N(t) = N_0 e^{kt} = N_0 2^{t/t_2} = N_0 10^{t/t_{10}} \tag{1.3}$$

Zapisi so ekvivalentni, razlikujejo se le v osnovi, s katero smo eksponentno funkcijo zapisali. N_0 je število obolelih ob začetku merjenja, tj. ob času 0. Konstanto k včasih imenujemo *hitrostna konstanta*, konstanto t_2 pa *podvojitveni čas*, saj označuje čas, v katerem se število obolelih podvoji. Čas, ko se število obolelih podeseteri, bi bil tako t_{10}.

Poiščite zvezo med hitrostno konstanto in podvojitvenim časom:

V tabeli so podatki za število obolelih z virusom 2019-nCov na Kitajskem, ki jih je zbirala univerza Johns Hopkins v ZDA, pri čemer so podatke začeli meriti 20. 1. 2020. Število obolelih vedno hitreje narašča in radi bi preverili, ali gre za eksponentno naraščanje.

t [dan]	N
0	278
2	547
4	916
6	2700
8	6000

a) Narišite diagram, ki prikazuje, kako število obolelih narašča s časom.

t [dan]	N
0	278
2	547
4	916
6	2700
8	6000

b) Narišite lineariziran diagram, s katerim preverite hipotezo, da število obolelih narašča eksponentno s časom.

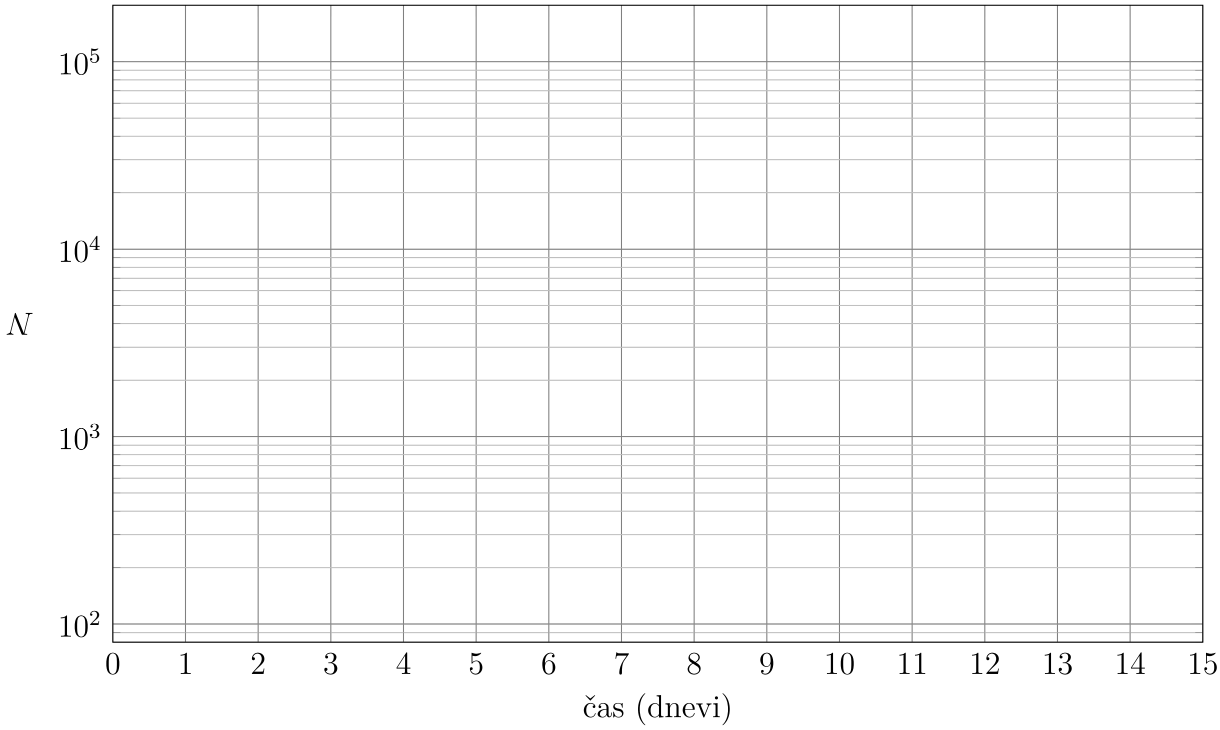
t [dan]	N	
0	278	
2	547	
4	916	
6	2700	
8	6000	

c) Iz lineariziranega diagrama določite hitrostno konstanto oz. podvojitveni čas števila obolelih.

d) Koliko obolelih lahko pričakujemo 12. dan po začetku štetja?

e) Odvisnost naraščanja števila obolelih od časa narišite še na grafu z logaritemsko skalo.

t [dan]	N
0	278
2	547
4	916
6	2700
8	6000



f) Koliko obolelih lahko pričakujemo 12. dan po začetku štetja?

g) Podvojitveni čas določite še z grafa z logaritemsko skalo. V kolikšnem času pa se število obolelih podeseteri?

2 Obremenitve skeleta in mišic

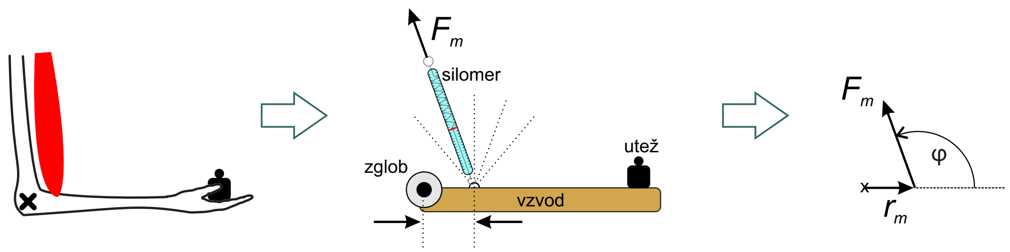
Ravnovesje sil in navorov

Naše telo si lahko s stališča mehanike predstavljamo kot zapleten sistem vzvodov (kosti), ki so med seboj povezani z zglobi (sklepi) in jih premikamo ter uravnovešamo s silami mišic. Pri tej vaji bomo ponovili zakone mehanike, ki nam pomagajo pri razumevanju obremenitev skeleta in mišic v telesu. Naučili se bomo, kako so te obremenitve odvisne od anatomskih posebnosti (dolžine kosti, njihove usmerjenosti in oblike, ter od položajev prijemališč mišic) ter da so lahko v nekaterih primerih te obremenitve tudi zelo velike.

Uporabili bomo preprost model podlakti: prečko (podlaket), ki je z zglobom (komolec) pritrjena na ogrodje, vlogo bicepsa pa bo imel silomer (dinamometer). Na eno stran prečke (v dlan) bomo postavili utež ter s silomera odčitali silo, s katero mora delovati biceps, da je roka v ravnovesju. Pri tem bomo lahko spreminjali smer delovanja mišice, prav tako pa bomo lahko na prečki izbirali med prijemališči mišice z različnimi oddaljenostmi od komolca.

Pozor: navor je odvisen od smeri sile, zato moramo biti pri računanju navora pazljivi, da kot smeri sile pravilno označimo! Kot ponavadi definiramo, kot je prikazano na spodnji sliki, in v takem primeru lahko navor sile mišice zapišemo z izrazom

$$M_m = F_m r_m \sin\varphi. \tag{2.1}$$

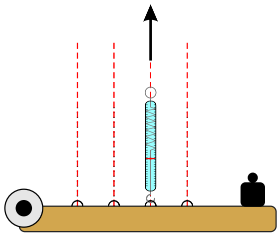


Slika 2.1: Shema preprostega modela podlakti, ki ga bomo uporabljali pri vaji.

Naloga 1: odvisnost sile od položaja prijemališča

Izmerite odvisnost sile od položaja prijemališča, če je sila navpična, podlaket pa vodoravna. Na označeno mesto (dlan) položite izbrano utež in na 4 prijemališčih izmerite silo mišice (F_m), ki je potrebna, da prečka miruje v vodoravnem položaju (prečka naj bo poravnana z rdečo črto). Silomer (sila mišice) naj deluje navpično navzgor.

Ko ocenjujete poravnanost prečke, naj bodo oči v višini prečke. V pomoč za določanje pravokotne smeri so na ozadju modela narisane zelene črte.



Za vsako prijemališče izmerite oddaljenost od komolca, tj. dolžino ročice mišice (r_m) ter podatek skupaj z izmerjeno velikostjo ravnovesne sile zapišite v tabelo. Izračunajte tudi navor, ki ga v tem primeru ustvarja mišica, ter silo v komolcu ($F_k = F_m - F_u$, pri čemer je F_u sila teže uteži). Odvisnost sile mišice od njene ročice prikažite še na grafu.

r_m [cm]	F_m [N]	M_m [ ]	F_k [N]

Z uteži prepišite njeno maso (m_u), izmerite dolžino ročice uteži (r_u) ter iz teh podatkov izračunajte navor, ki ga ustvarja utež.

Masa uteži: $m_u =$

Sila teže uteži: $F_u =$

Ročica uteži: $r_u =$

Navor uteži: $M_u =$

V razmislek:

a) V katerem primeru je sila mišice največja?

b) Je biceps lahko obremenjen s silo, ki je manjša od teže uteži?

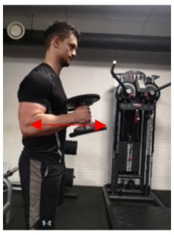
c) Bi lahko podlaket držali v ravnovesju, če bi bila ročica mišice enaka 0?

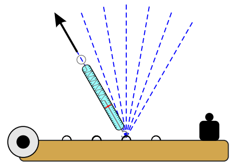
d) Zakaj v ravnovesju navor uteži ni natančno enak navoru mišice? Smo kaj pozabili?

e) Na podlagi zgornjega razmisleka določite maso prečke.

Naloga 2: odvisnost sile od smeri delovanja mišice

Izmerite silo mišice, če podlaket v vodoravnem položaju premikamo naprej in nazaj (glej sliko na desni)? Na dlani pustite isto utež, kot je bila pri nalogi 1. Merite na prijemališču 3, pri čemer spreminjate kot, pod katerim vlečete silomer. Pri različnih kotih izmerite silo, ki je potrebna, da je podlaket v ravnovesju. Merite pri kotih, ki so označeni z modro, in meritve zapisujte v tabelo. Najprej merite pri kotih, ko silomer vleče proti nadlakti. Če so vam šle meritve dobro od rok, merite še pri kotih v nasprotni smeri.





φ [°]	$\sin\varphi$	F_m [N]	M_m [ ]
90			
105			
120			
135			
150			
75			
60			
45			
30			

Narišite grafa odvisnosti sile in navora od kota.

V razmislek:

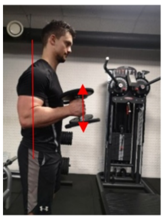
a) Pri katerem kotu je mišica najmanj oz. najbolj obremenjena?

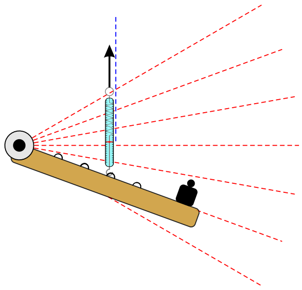
b) Kolikšna bi bila sila mišice pri kotih 0° in 180°?

c) Bi lahko roko v vodoravnem položaju držali iztegnjeno, če bi bila njena geometrija povsem enaka tisti pri preprostem modelu, ki smo ga uporabili pri vaji (enaka prijemališča mišic, enake ročice ...) Zakaj lahko roko kljub temu v ravnovesju držimo tudi iztegnjeno? Je "narastišče" mišice pri tem pomembno?

Naloga 3: meritve sile pri različnih naklonih podlakti

Izmerite silo mišice, če spreminjamo upogib komolca pri navpični nadlakti. Na dlani pustite isto utež, kot je bila pri nalogi 1. Merite na prijemališču 3, pri čemer naj bo silomer navpičen, spreminjajte pa naklon prečke (podlakti). Pri različnih kotih izmerite silo, ki je potrebna, da je podlaket v ravnovesju. Merite pri kotih podlakti, ki so označeni z rdečo barvo. Na grafih prikažite odvisnost sile in navora od kota.





φ [°]	$\sin\varphi$	F_m [N]	M_m [ ]
90			
105			
120			
75			
60			
45			
30			

V razmislek: Pri katerem kotu je mišica najmanj oz. najbolj obremenjena? Si znate ta rezultat razložiti?

3 Površinska napetost

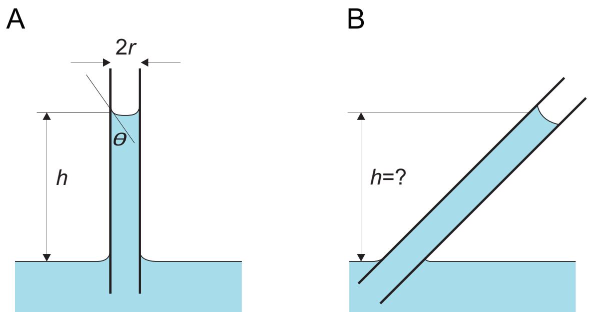
Površinska napetost je lastnost kapljevin, ki je pomembna za razumevanje nekaterih pojavov, kot je npr. spreminjanje tlaka v pljučnih mešičkih med dihanjem. Pri vaji se bomo posvetili dvema posledicama površinske napetosti: kapilarnemu dvigu v stekleni kapilari in podajnosti pljuč.

Naloga 1: merjenje površinske napetosti vode s kapilarnim dvigom

Površinska napetost med steklom in zrakom je večja od površinske napetosti med steklom in vodo, zato voda *moči* steklo. Če stekleno kapilaro navpično pomočimo v vodo, bodo sile zaradi površinskih napetosti vodo potegnile navzgor in voda bo deloma napolnila kapilaro (slika 3.1A). Ravnovesje se bo vzpostavilo, ko bo sila teže vode v kapilari nasprotno enaka sili površinskih napetosti, ki vodo vlečejo navzgor. V ravnovesju za višino kapilarnega dviga velja enačba

$$h = \frac{2\sigma \cos\theta}{r\rho g}\,, \tag{3.1}$$

kjer je σ površinska napetost vode, θ je kot močenja, r je polmer kapilare, ρ je gostota vode in g je težni pospešek. Voda zelo dobro moči steklo, zato je njen kontaktni kot zanemarljivo majhen ($\theta \approx 0°$).



Slika 3.1: A) Shematski prikaz kapilarnega dviga v navpični kapilari. Višina kapilarnega dviga (h) je razlika med zunanjo gladino in gladino v kapilari. B) Kako visok je kapilarni dvig v nagnjeni kapilari?

Površinsko napetost vode lahko torej določite z meritvijo višine kapilarnega dviga v kapilari z znanim polmerom in uporabo enačbe 3.1.

a) Stekleno čašo napolnite z vodo. Vzemite čisto stekleno kapilaro in jo pomočite globoko v čašo. Kapilaro nato dvignite navpično gor, vendar pazite, da je spodnji del kapilare vedno v stiku z vodo - kapilare ne vzemite iz vode. Počakajte, da se višina stolpca vode v kapilari (h) - med gladino vode v posodi in gladino vode v kapilari - ustali.

   Pozor: kot vsi površinski pojavi je tudi kapilarni dvig zelo občutljiv na prisotnost nečistoč, saj se le te pogosto nabirajo ravno na površinah. Vsaka najmanjša umazanija v kapilari ali v vodi lahko meritev pokvarita. Prav tako pazite, da v vodnem stolpcu v kapilari ni zračnih mehurčkov. Če pri poskusu naletite na težave zaradi nečistoč, kapilaro in vodo zavrzite ter poskus ponovite od začetka s svežo kapilaro in vodo.

b) Kapilaro držite v navpični legi (slika 3.1A) in opazujte, ali je h odvisen od tega, kako globoko je spodnji del kapilare potopljen v vodo. Opazujte še, kaj se zgodi, če kapilaro nagibamo, kot je prikazano na sliki 3.1B. Si znate obnašanje razložiti?

c) V navpično postavljeni kapilari s pomočjo merila izmerite višino kapilarnega dviga h pri treh različnih globinah spodnjega dela kapilare ter izračunajte povprečno višino kapilarnega dviga h_p. Postopek ponovite še s kapilaro z drugačnim polmerom r_k.

r_k [mm]	h_1 [mm]	h_2 [mm]	h_3 [mm]	h_p [mm]
0,3				
0,7				

d) Po meritvi kapilaro zavrzite v škatlo za ostre odpadke.

e) Z uporabo enačbe 3.1 izračunajte površinsko napetost vode:

   $\sigma =$

V razmislek

a) Zakaj višina kapilarnega dviga ni odvisna od dolžine kapilare pod gladino?

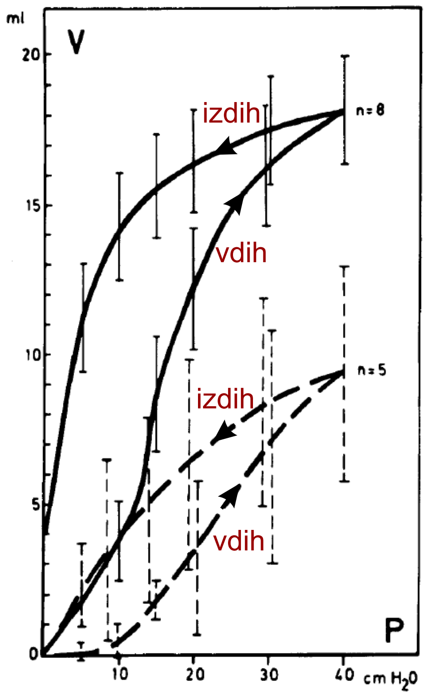
b) Kolikšen bi bil kapilarni dvig vode na vesoljski postaji v breztežnem stanju?

c) Kolikšna bi bila višina kapilarnega dviga v kapilari, katere radij bi bil primerljiv z radijem tanjših vodnih žil v ksilemu dreves ($r \approx 5\,\mu$m)?

d) Kaj bi se zgodilo, če bi kapilaro pomočili v kapljevino, ki stekla ne moči ($\theta > 90°$)?

Naloga 2: vpliv površinske napetosti na podajnost pljuč

Slika prikazuje odvisnost prostornine pljuč od tlaka (p), ki jih razpenja. Ena krivulja predstavlja normalna pljuča, druga pa pljuča brez surfaktanta.[1]



a) Katera krivulja predstavlja zdrava pljuča in katera pljuča brez surfaktanta?

b) Za oba primera ocenite podajnost pljuč morskega prašička ($C = \frac{\Delta V}{\Delta p}$) pri vdihu pri tlaku 20 cm H_2O.

[1] Meritve so bile narejena na morskih prašičkih (Lachmann et al. ”In vivo lung lavage as an experimental model of the respiratory distress syndrome.” *Acta anaesthesiologica Scandinavica.* 1980; 24.3:231-236).

4 Temperatura

Temperatura je eden glavnih fizikalnih parametrov v medicini, saj med drugim vpliva na obnašanje večine snovi in na potek biokemijskih reakcij, od nje pa so odvisni tudi mnogi fiziološki procesi. Meritev temperature je zaradi tega tudi ena od osnovnih kliničnih meritev.

Termometre v grobem delimo na stične in brezstične. Stične termometre moramo dovolj dolgo pustiti v stiku z merjencem, da se temperaturi merjenca in tipala termometra izenačita in da lahko temperaturo odčitamo na ustrezni skali. Merjenje temperature z brezstičnim termometrom pa vsaj navidezno poteka hitreje, saj njegov senzor zazna IR sevanje toplega telesa, ki ga prevede v ustrezno temperaturo; je pa pri tem pomembno, da smo pozorni na okoliščine merjenja, kot je na primer ta, da moramo nekaj časa počakati, da bomo izmerili pravo telesno temperaturo človeka, ki je od nekod prihitel in je zato še vroč in prepoten. Pri merjenju temperature, če se nam le-to zdi še tako enostavno, je treba poznati principe, po katerih uporabljeni termometer deluje, in upoštevati navodila za merjenje.

Pri tej vaji bomo spoznali principe merjenja temperature z različnimi termometri (klasični alkoholni, digitalni in brezkontaktni termometer ter termografsko kamero) ter razmislili o njihovih prednostih in slabostih.

V razmislek:

a) Z dlanjo oziroma prsti se dotaknite različnih delov telesa, pa površine mize in še kovinske noge stola. Ali lahko temperaturo dobro ocenimo z dotikom?

b) S pomočjo spodnje tabele razmislite o primernosti različnih tekočin za uporabo v tekočinskih termometrih. Tabela prikazuje vrednosti temperaturnega koeficienta prostorninskega raztezka (β), toplotne kapacitete (c) in toplotne prevodnosti (λ) za različne snovi pri sobni temperaturi. Za katere količine je dobro, da so čim večje in za katere, da so čim manjše za čim učinkovitejše merjenje temperature?

snov	voda	etanol	živo srebro	jeklo
β [10^{-3}/K]	0,2	2	0,18	0,013
c [kJ/kgK]	4,2	2,4	0,14	0,5
λ [W/mK]	0,7	0,2	8,3	16

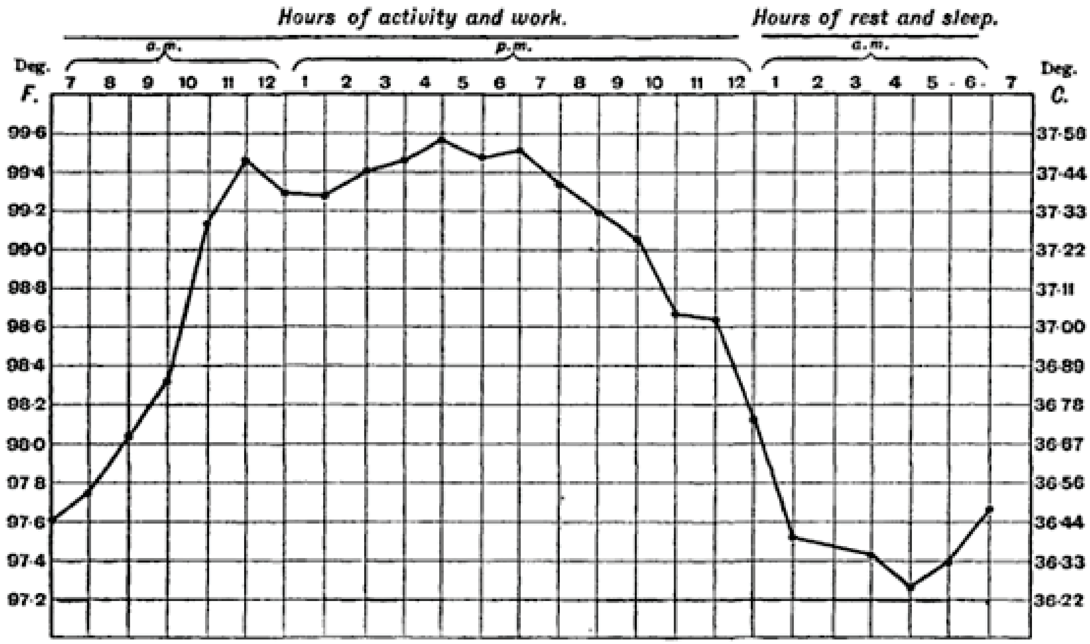
c) Kateri termometer bi uporabili za meritev temperature 1 ml vroče vode?

d) Za kateri termometer je pomemben parameter njegova toplotna kapaciteta? Naj bo le-ta čim večja ali čim manjša?

e) *Različni materiali različno absorbirajo sevanje toplih teles. Ali termokamera temperaturo lahko izmeri skozi steklo, plastično vrečko...?

Naloga 1: dnevno nihanje telesne temperature

Graf prikazuje normalno spreminjanje temperature človeka preko dneva, ki ustreza cirkadianemu ritmu odzivov telesa na sončno svetlobo. Temperaturo so merili ob vsaki polni uri (pike na grafu). Na levi strani je skala v Fahrenheitih, na desni pa v stopinjah Celzija.



a) Iz grafa odčitajte, kolikšna je normalna človeška temperatura (37 °C) v stopinjah Fahrenheita (°F)?

b) Kakšna je zveza med °C in °F?

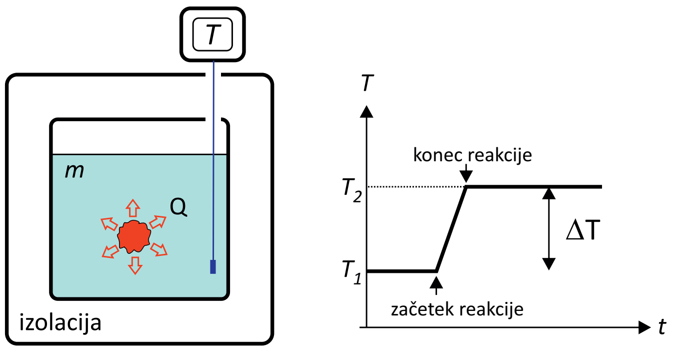
c) Koliko °F pa je 42 °C?

d) Poleg cirkadianega ritma na telesno temperaturo vplivajo tudi drugi dejavniki, kot so fizična aktivnost, intenzivna čustvena stanja, pri ženskah tudi potek menstrualnega cikla. Komentirajte, kako vsak od teh dejavnikov vpliva na temperaturo in kako bi jo v vsakem od teh primerov merili, da bi bil rezultat čimbolj objektiven?

5 Kalorimetrija

Prenos toplote je en od osnovnih načinov izmenjevanja energije. Zaradi prehajanja toplote se lahko telesa segrevajo oz. ohlajajo, lahko se jim spremeni agregatno stanje, do izmenjevanja toplote z okolico pa prihaja tudi pri biokemijskih reakcijah. Pri tej vaji bomo spoznali osnovne principe merjenja toplote – kalorimetrije – ter izmerili spremembo entalpije pri preprosti kemijski reakciji.

Izmenjevanje toplote bomo merili z napravo, imenovano kalorimeter, za kar bomo uporabili preprosto Dewarjevo posodo (termovko), napolnjeno z vodo. Notranjost kalorimetra lahko obravnavamo kot toplotno izoliran sistem pri konstantnem tlaku.



Toploto, ki se sprosti ob nekem procesu v kalorimetru, izmerimo tako, da merimo spremembo temperature v njem. Če npr. v kalorimetru sprožimo eksotermno reakcijo, ob kateri se sprosti toplota Q, se vsa sproščena toplota porabi za segrevanje vode v kalorimetru in njegovih notranjih sten. To toploto lahko določimo iz:

$$Q = m\,c\,\Delta T + C\Delta T, \tag{5.1}$$

kjer je m masa vode v kalorimetru, c je specifična toplota vode, ΔT je razlika med končno in začetno temperaturo vode ($\Delta T = T_2 - T_1$), C pa je toplotna kapaciteta kalorimetra, ki jo ponavadi izmerimo posebej. Pri tem smo predpostavili, da je kalorimeter dobro izoliran in se nič toplote ni izgubilo v okolico ter da ima tako na začetku kot na koncu eksperimenta voda enako temperaturo kot stene kalorimetra. Če je v kalorimetru potekla endotermna reakcija, ostaneta zgornji razmislek in enačba enaka, le da sta se kalorimeter in voda ohladila ($Q < 0$), saj se je toplota porabila za endotermni proces, pri tem pa se je temperatura v kalorimetru znižala ($\Delta T < 0$).

Sprememba entalpije pri raztapljanju soli

V izoliranem sistemu je pri konstantnem tlaku sprememba entalpije (ΔH) enaka nič, saj se med sistemom in okolico ne izmenja nič toplote. Ker pa je celotna sprememba entalpije sestavljena iz spremembe entalpije vode (skupaj s kalorimetrsko posodo) in spremembe entalpije reakcije v kalorimetru, lahko zapišemo

$$\Delta H = \Delta H_{\mathrm{vode}} + \Delta H_{\mathrm{r}} = 0, \tag{5.2}$$

in vidimo, da je ΔH_{vode} nasprotno enaka ΔH_{r}. S kalorimetrom lahko enostavno izmerimo spremembo entalpije pri kemijskih reakcijah, saj je sprememba entalpije kalorimetra in vode v njem pri danem tlaku kar enaka izmenjani toploti

$$\Delta H_{\mathrm{vode}} = Q\ . \tag{5.3}$$

Eksotermne reakcije toploto oddajajo, voda v kalorimetru oddano reakcijsko toploto prejme, zato se ji temperatura zviša, reaktantom pa se entalpija zniža. Endotermne reakcije toploto sprejemajo, zaradi česar se reaktantom entalpija poveča. Ta toplota pride iz kalorimetra, ki se zato ohladi.

Pri vaji bomo izmerili spremembo entalpije pri raztapljanju soli. Pri raztapljanju se energija (oz. toplota) porablja za trganje vezi kristalne mreže soli in trganje vodikovih vezi med molekulami vode, na drugi strani pa se sprošča ob hidrataciji raztopljenih ionov (vzpostavljajo se vezi med molekulami vode in ioni soli). Ker je za trganje vezi v kristalni mreži soli in med molekulami vode potrebno več energije, kot se je sprosti ob vzpostavljanju vezi med ioni soli in vode, je reakcija endotermna in entalpija se poveča, temperatura vode v kalorimetru pa se pri tem zniža.

Pri kemiji ponavadi podajamo spremembo entalpije na mol snovi (specifično spremembo entalpije, $\overline{\Delta H}$), ki jo dobimo, ko ustrezno količino delimo s številom molov:

$$\overline{\Delta H_{\mathrm{r}}} = \frac{\Delta H_{\mathrm{r}}}{n} = \frac{M}{m} \Delta H_{\mathrm{r}}\ , \tag{5.4}$$

kjer je n število molov raztopljene soli, m_{s} masa raztopljene soli, M_{s} pa njena molska masa.

Primer endotermne reakcije je raztapljanje kalijevega klorida (KCl) v vodi s pozitivno spremembo specifične entalpije, $\overline{\Delta H_{\mathrm{r}}} = 17{,}2$ kJ/mol, primer eksotermne reakcije pa raztapljanje natrijevega hidroksida (NaOH) v vodi z negativno spremembo specifične entalpije, $\overline{\Delta H_{\mathrm{r}}} = -44{,}5$ kJ/mol.

Naloga 1: meritev toplotne kapacitete kalorimetra in meritev specifične entalpije raztapljanja soli

Najprej bomo določili toplotno kapaciteto kalorimetra (C), ki jo potrebujemo za uporabo enačbe 5.1. To napravimo tako, da znani količini hladne vode v kalorimetru (m_{h}) z znano začetno temperaturo (T_{h}) dodamo znano količino vroče vode (m_{v}) z znano temperaturo (T_{v}) ter izmerimo končno zmesno temperaturo vode v kalorimetru (T_z). Če se nič toplote ne izgubi v okolico, lahko zapišemo, da je toplota, ki jo je sprejela hladna voda, enaka toploti, ki jo je oddala vroča voda:

$$(m_h\, c + C)(T_z - T_h) = m_v\, c\, (T_v - T_z)\ . \tag{5.5}$$

Toplotno kapaciteto kalorimetra C dobimo tako, da jo izrazimo iz zgornje enačbe, saj vrednosti vseh ostalih količin poznamo.

Ko poznate toplotno kapaciteto kalorimetra, lahko podatek skupaj z enačbo 5.1 uporabljate za merjenje toplote pri kemijskih reakcijah. Določili boste, ali je raztapljanje izbrane soli endo- ali eksotermna reakcija ter izmerili njeno specifično entalpijo raztapljanja.

Izvedba

Pripravite si:

- kalorimetrska posoda (termo lonček)
- dva termometra (opomba: digitalne termometre je treba med daljšo meritvijo večkrat ugasniti in prižgati)
- štoparica
- čaša s 100 ml vroče vode
- topljenec (KCl, citronska kislina v prahu, eritritol ali soda bikarbona)

Izbrani topljenec:

Masa topljenca: $m =$

Molska masa topljenca: $M =$

Specifična toplota topljenca: $c_p =$

V kalorimetrsko posodo nalijte 150 mL ($m_1 = 0{,}15\,\mathrm{kg}$) hladne vode iz vodovodne pipe in vanjo postavite termometer 1, termometer 2 pa postavite v čašo z vročo vodo (100 ml, $m_2 = 0{,}1\,\mathrm{kg}$). Temperatura vroče vode naj bo vsaj 35 °C.

Brez prekinitev merite temperaturo vode v kalorimetru (termometer 1) v intervalih na 30 s in vodo pri tem občasno pomešajte s sukanjem posode (termometer 1). To storite 7-krat (če pa se temperatura še ni ustalila, merite naprej, dokler se temperatura ne ustali). Izmerjene temperature beležite v tabelo. Po zadnji meritvi zabeležite še temperaturo vroče vode (termometer 2) in jo takoj zatem zlijte iz čaše v kalorimeter. Temperaturo si še naprej zapisujte na 30 sekund, merite 7-krat, oz. dokler se temperatura ne ustali. Po zadnji meritvi vsujte v kalorimeter izbrano snov in tudi tokrat merite 7-krat, oz. dokler se temperatura ne ustali, na 30 s.

Temperatura vode v kalorimetru:

t [s]	0	30	60	90	120	150	180
T [°C]							

Pozor: Zapišite temperaturo vroče vode, preden jo vlijete v kalorimeter: $T_{\mathrm{v}} =$

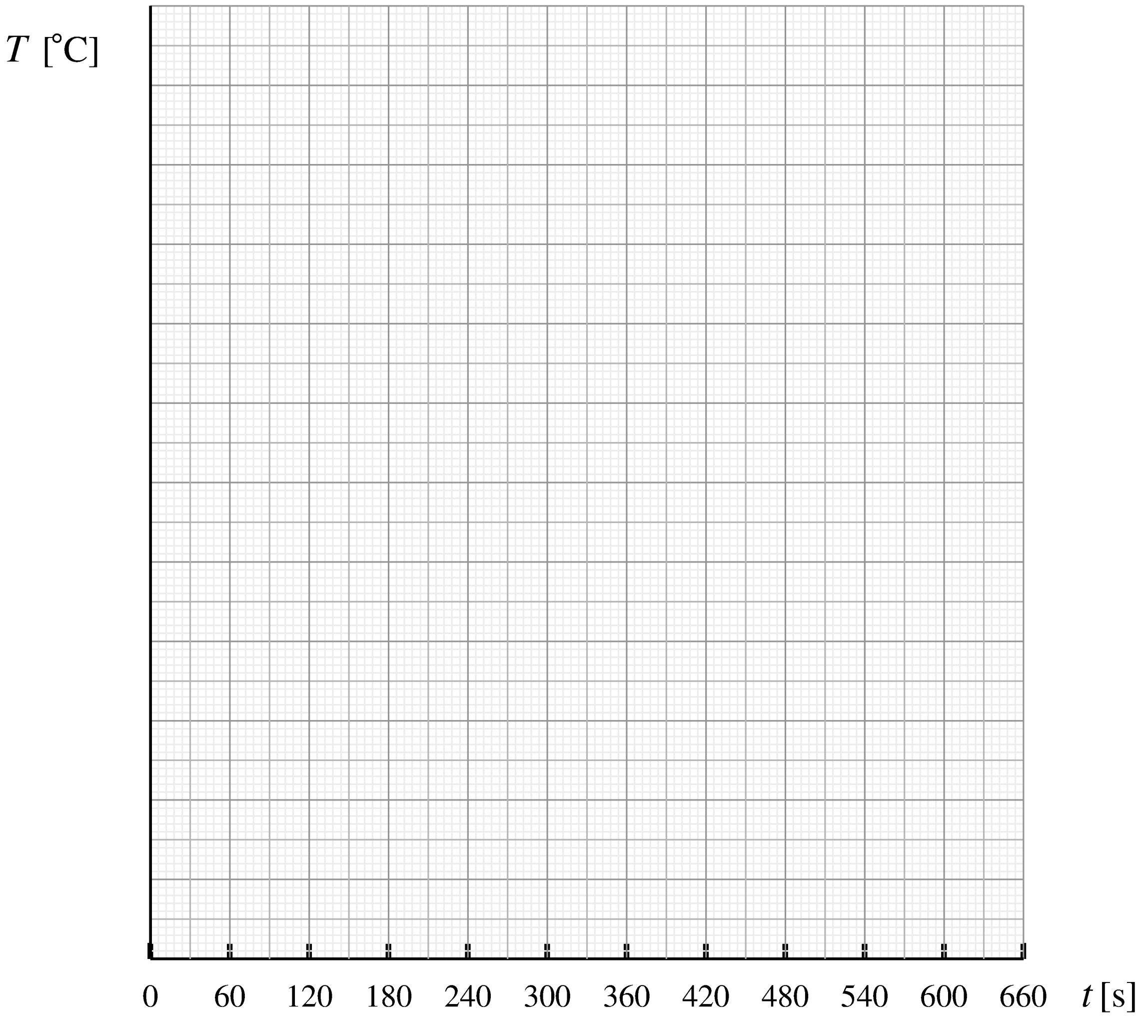
Temperatura vode v kalorimetru po dolitju vroče vode:

t [s]	210	240	270	300	330	360	390
T [°C]							

Temperatura vode v kalorimetru po dodatku topljenca:

t [s]	420	450	480	510	540	570	600
T [°C]							

Narišite graf odvisnosti temperature v kalorimetru od časa:



Na osnovi grafa določite temperaturo hladne vode v kalorimetru (T_{h}), zmesno temperaturo mešanice hladne in vroče vode (T_{z}) in končno temperaturo, ko se topljenec raztopi (T_{k}).

$T_{\mathrm{h}} =$

$T_{\mathrm{z}} =$

$T_{\mathrm{k}} =$

Z uporabo enačbe 5.5 izračunajte toplotno kapaciteto kalorimetra:

Toplotna kapaciteta kalorimetra: $C =$

Ko smo določili C, lahko z uporabo enačbe 5.1 določimo tudi toploto, ki jo je kalorimeter prejel (ali oddal) med topljenjem soli. S kombinacijo enačb 5.3 in 5.4 pa določimo specifično entalpijo topljenja, $\overline{\Delta H_\mathrm{r}}$. Pri tem ne pozabimo na prave predznake: če se je temperatura vode znižala, je voda toploto oddala reaktantom, ki se jim je entalpija zato povečala, kar pomeni, da je šlo za endotermno reakcijo.

Specifična entalpija topljenja: $\overline{\Delta H_\mathrm{r}} =$

V razmislek:

a) Kako to, da se po dolitju vroče vode in po dodatku izbranega topljenca sistem razmeroma počasi približuje novemu temperaturnemu ravnovesju?

b) Kako je na naše rezultate vplivalo dejstvo, da nismo uporabljali kalorimetra z idealno izolacijo? Smo izmerili preveliko ali premajhno specifično entalpijo topljenja?

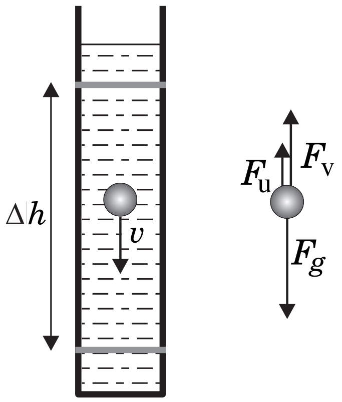
c) Ponavadi si lažje predstavljamo, da so spontane eksotermne reakcije: ko z iskrico zažgemo papir, bo spontano pogorel do konca. Kako pa je mogoče, da so spontane tudi endotermne reakcije, kot je raztapljanje soli v naši vaji? Kaj jih pri tem žene?

d) *V medicini se uporabljajo t. i. grelne in hladilne blazinice za enkratno uporabo (angl. *hot pack*, *cold pack*). V njih sta v ločenih predelkih dve snovi. Ko pred uporabo blazinico stisnemo, notranja pregrada poči, snovi se začneta mešati in med njima začne potekati reakcija. Bolj ko vrečko pregnetemo, hitreje poteka reakcija. V kateri blazinici (grelni/hladilni) mora potekati endotermna in v kateri eksotermna reakcija? Obstajajo tudi grelne blazinice, pri katerih se toplota sprošča z oksidacijo snovi ali polimeriziranjem-zmrzovanjem podhlajene tekočine, slednje so lahko tudi za večkratno uporabo.

6 Sedimentacija in krvni tlak

Naloga 1: sedimentacija kroglic v glicerolu

Merjenje hitrosti sedimentacije eritrocitov v krvni plazmi je ena najstarejših krvnih preiskav. Pri tej nalogi bomo proces sedimentacije opazovali na preprostem modelu: opazovali bomo sedimentacijo steklenih kroglic v viskozni tekočini.



Slika 6.1: Shematski prikaz padanja kroglice v viskozni tekočini. Tekočina je v merilnem valju, na katerem sta oznaki, med katerima izmerimo čas padanja kroglice. Kroglica med oznakama pada z enakomerno hitrostjo (v), pri čemer so sile teže (F_g), vzgona (F_v) ter upora (F_u) v ravnovesju: $F_g - F_v - F_u = 0$.

Slika 6.1 prikazuje sile, ki delujejo na kroglico, medtem ko tone v viskozni tekočini. Če je teža kroglice večja od sile vzgona, kroglica pada pospešeno. Ob tem na kroglico deluje sila upora, ki se v laminarnem režimu veča sorazmerno s hitrostjo gibanja (v)

$$F_u = 6\pi r\eta v\,, \tag{6.1}$$

kjer sta r polmer kroglice in η viskoznost tekočine. Po začetnem pospeševanju zato kroglica kmalu doseže končno hitrost padanja, pri kateri se sile uravnovesijo (slika 6.1). Ob upoštevanju izrazov za silo upora (en. 6.1) ter sili teže in vzgona $F_g = \rho_k \cdot 4\pi r^3/3 \cdot g$ in $F_v = \rho_0 \cdot 4\pi r^3/3 \cdot g$, kjer so ρ_k in ρ_0 gostota kroglice in tekočine ter g težni pospešek, dobimo, da je končna hitrost sorazmerna z r^2

$$v = \frac{2(\rho_k - \rho_0)gr^2}{9\eta}\,. \tag{6.2}$$

Vidimo, da je hitrost sedimentacije tem višja, čim večji radij ima kroglica. Pri vaji bomo opazovali sedimentacijo steklenih kroglic v glicerolu in preverili veljavnost zgoraj opisane teorije.

a) Izmerite premer kroglice in ga vpišite v tabelo. Kroglico spustite v tekočino in izmerite čas (t), v katerem pade kroglica od zgornje do spodnje oznake na merilnem valju (zgornja oznaka je izbrana tako, da se do nje hitrost kroglice že ustali). Kroglico spustite tako, da bo potovala čim bolj po sredini merilnega valja. Ko določate trenutek, v katerem kroglica pade mimo oznak na merilnem valju, glejte na kroglico v vodoravni smeri, da ne pride do napake pri meritvi zaradi paralakse. Če kroglica zaradi površinske napetosti ostane na gladini tekočine in ne potone, jo potopite s priloženo paličico. Ponovite postopek za vse štiri velikosti kroglic.

$2r$ [mm]	t [s]	v [mm/s]	r^2 [mm^2]

b) Izmerite razdaljo (h) med oznakama na valju, med katerima ste merili čas padanja kroglic. $h =$
Izračunajte hitrosti padanja kroglic, $v = h/t$, in jih dopišite v tabelo.

c) Narišite lineariziran diagram, s katerim preverite veljavnost enačbe 6.2. Enačbo lineariziramo tako, da rišemo hitrosti padanja v odvisnosti od kvadrata radija kroglice – če enačba velja, ležijo točke na diagramu na premici z naklonskim koeficientom $k = 2g(\rho_k - \rho_0)/(9\eta)$. Risanje grafa bo lažje, če najprej za vsako kroglico izračunate kvadrat njenega radija.

d) Iz diagrama določite koeficient premice k ter z njim izračunajte viskoznost tekočine. Gostoti tekočine v valju (ρ_0) in kroglic (ρ_k) sta podani pri vaji.

e) Za konec še preverite, ali je bilo gibanje kroglic zares v laminarnem režimu in smo pri računu hitrosti sedimentacije upravičeno uporabili linearni zakon upora (6.1). Spomnimo se, da lahko oceno režima gibanja naredimo z izračunom Reynoldsovega števila (Re), pri čemer laminarni režim velja za približno $Re < 0{,}5$, o turbulentem režimu pa govorimo pri $Re > 1000$. Izračunajte Reynoldsovo število (Re) za gibanje najhitrejše kroglice, pri čemer upoštevate gostoto in viskoznost dane tekočine, d pa je premer kroglice:

$$Re = \frac{v\rho_0 d}{\eta} =$$

V razmislek

a) Zakaj se pri nekaterih bolezenskih stanjih hitrost sedimentacije eritrocitov poveča?

Naloga 2: merjenje krvnega tlaka

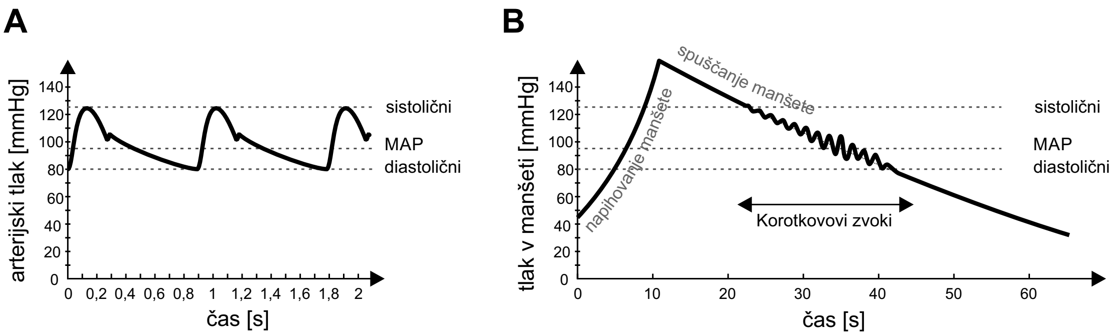
Pri tej nalogi si bomo izmerili krvni tlak z oscilometričnim merilcem tlaka in ob tem raziskali dva vpliva na rezultat meritve. Preden začnemo z meritvami, ponovimo nekaj teorije.

Krvni tlak je v glavnih arterijah človeka, ki leži v vodoravnem položaju, približno povsod enak. Ko človek vstane, se tlak v glavnih arterijah spremeni, saj tlak zaradi teže krvi narašča z globino in je zato večji v nogah kot v glavi. Razlika v tlakih med dvema nivojema je kar sorazmerna z razliko v višinah (Δh):

$$\Delta p = \rho g \Delta h \,, \tag{6.3}$$

kjer je ρ gostota krvi, g pa težni pospešek.

Ko se srce skrči, potisne kri v arterije in arterijski tlak naraste, nato pa pada do konca srčne periode (slika 6.2A). Arterijski krvni tlak zato niha med *sistoličnim* in *diastoličnim* tlakom. Ker je arterijski tlak dlje časa bliže diastoličnemu, je tudi srednja vrednost arterijskega tlaka (MAP - mean arterial pressure) bližje diastoličnemu tlaku; v prvem približku je na eni tretjini višine nihanja tlaka: $MAP \approx p_d + \frac{1}{3}(p_s - p_d)$.



Slika 6.2: A) Shematični prikaz tlaka v arteriji v odvisnosti od časa. B) Shematični prikaz spreminjanja tlaka v manšeti med meritvijo.

Krvni tlak največkrat merimo z merilcem tlaka z napihljivo manšeto. Pri tem postopku manšeto namestimo okrog nadlakti ali zapestja, in jo začnemo napihovati (slika 6.2B). Ko tlak v manšeti naraste preko sistoličnega tlaka, manšeta stisne arterijo in povsem prekine tok krvi skozi njo. Tlak v manšeti nato postopoma spuščamo in ko tlak v manšeti pade pod sistolični krvni tlak, lahko ta žilo delno razpre in skoznjo z brizgom požene kri. Med brizganjem je tok krvi turbulenten, kar lahko zaznamo s stetoskopom kot t. i. Korotkovove zvoke, avtomatski merilci pa to zaznajo kot nihanje tlaka v manšeti. Ko tlak v manšeti pade pod diastolični tlak, se arterija povsem odpre, tok krvi spet postane laminaren, zvoki in nihanje tlaka pa izginejo. Če je žila približno enako dolgo odprta kot zaprta (takrat je tlak v manšeti približno enak MAP), so amplitude največje, če pa je le kratek čas odprta ali zaprta, so amplitude nihanja tlaka majhne (sl. 6.2B). Avtomatski merilnik na osnovi oscilacij tlaka v manšeti izračuna vrednosti sistoličnega in diastoličnega tlaka z vnaprej določenim algoritmom, ki pa ni standardiziran in se lahko razlikuje med različnimi proizvajalci.

a) **Vpliv položaja manšete na rezultat meritve tlaka**

Oscilometrični merilec tlaka si namestite na zapestje. Namestitev manšete ne sme biti ne preohlapna, ne pretesna. Ko pritisnete gumb za pričetek merjenja, merilec samodejno izmeri sistolični in diastolični tlak. Meritev nekaj časa traja, ker se tlak v manšeti počasi spreminja. Med meritvijo mora roka mirovati, mišice pa naj bodo sproščene. Najprej izmerite vrednost tlaka, ko je manšeta v višini srca, nato pa še, ko roko dvignete in je manšeta približno v višine glave, ter ko roko spustite in je manšeta približno v višini bokov. Izmerke zapisujte v tabelo ter za vsak položaj manšete izračunajte še vrednost MAP in jo zapišite v zadnji stolpec. Če vam pri katerem položaju merilec ne bo mogel izmeriti tlaka, meritev ponovite pri manjši navpični oddaljenosti od srca.

položaj manšete	sistolični [mmHg]	diastolični [mmHg]	MAP [mmHg]
v višini srca			
v višini glave			
v višini boka			

Izmerite še razliko višin med različnimi položaji manšete in jih vpišite v spodnjo tabelo. Z uporabo enačbe 6.3 izračunajte teoretični razliki tlakov ter ju primerjajte z izmerjenima.

	Δh [mm]	teoretična razlika MAP [mmHg]	izmerjena razlika MAP [mmHg]
srce - glava			
srce - boki			

V razmislek

a) Zakaj se z oddaljenostjo od srca tlak v glavnih arterijah le malo zmanjša?

b) Ali je pomembno, kje merimo tlak?

c) *Kako ateroskleroza vpliva na vrednosti izmerjenega tlaka?

7 Električni tok v raztopinah

Pri tej vaji bomo spoznali osnovne značilnosti električnega toka v raztopinah, kar bo pomagalo pri razumevanju vpliva električnega toka na telo ter delovanja elektro-kirurškega noža in elektroforeze. Električnemu toku je posvečeno celotno 17. poglavje v učbeniku, teoretične osnove za vajo pa so na kratko povzete tudi v naslednjih odstavkih.

Raztopine prevajajo elektriko le v primeru, če so v njih prosti nosilci naboja – ioni. Specifična prevodnost raztopine (σ) je sorazmerna koncentraciji ionov ter njihovi gibljivosti (enačbi 17.6 in 17.7 na strani 220 v učbeniku). Za raztopino NaCl npr. velja

$$\sigma = \Sigma\sigma_i = F(Z_{\mathrm{Na}}\beta_{\mathrm{Na}}c_{\mathrm{Na}} + Z_{\mathrm{Cl}}\beta_{\mathrm{Cl}}c_{\mathrm{Cl}}) = F(Z_{\mathrm{Na}}\beta_{\mathrm{Na}} + Z_{\mathrm{Cl}}\beta_{\mathrm{Cl}})c_{\mathrm{NaCl}}\ , \tag{7.1}$$

pri čemer gibljivost iona (β) določa, kolikšno povprečno hitrost doseže v danem električnem polju,

$$\vec{v} = \beta\vec{E}\ . \tag{7.2}$$

Gibljivost iona je odvisna od sile upora, ki jo ion čuti med premikanjem po raztopini. Gibljivosti kationov so pozitivne – kationi potujejo v smeri polja, gibljivosti anionov pa negativne – anioni potujejo nasproti smeri polja. Ker je tudi valenca (Z) kationov pozitivna, valenca anionov pa negativna, so vsi členi v enačbi 7.1 pozitivni in se seštevajo. Konstanta F se imenuje Faradayeva konstanta in podaja naboj enega mola osnovnega naboja ($F = N_A e_0$).

Če se gibljivosti ionov v raztopini ne razlikujejo zelo, lahko meritev specifične prevodnosti raztopine služi kot groba ocena celotne koncentracije ionov v njej. Pri tem specifične prevodnosti raztopine ne moremo meriti neposredno, lahko pa jo določimo preko meritve njene upornosti.

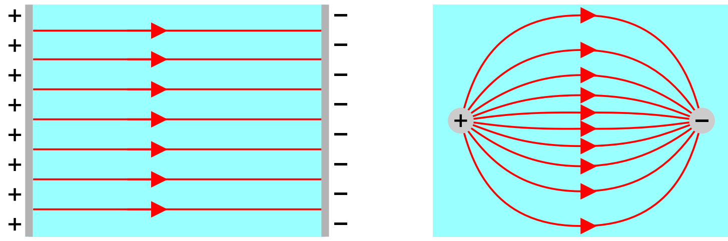
Električna upornost raztopine je odvisna od njene specifične prevodnosti, pa tudi od oblike tokovnic električnega toka. Če električni tok v raztopini ustvarjamo s ploščatima elektrodama (slika 7.1 levo), so tokovnice med njima homogene in je upornost raztopine kar

$$R = \frac{1}{\sigma}\frac{l}{S}\,. \tag{7.3}$$

kjer sta l in S dolžina in presek raztopine (enačba 17.4 v učbeniku). Če elektrodi nista ploščati, ampak npr. paličasti (slika 7.1 desno), je primer malo bolj zapleten in upora ne moremo izračunati s preprosto formulo, še vedno pa velja, da je pri dani obliki tokovnic električna upornost obratno sorazmerna specifični prevodnosti:

$$R = \frac{k}{\sigma}\,. \tag{7.4}$$

Pri tem je k koeficient, ki je odvisen od oblike tokovnic, z opombo, da zveza $k = l/S$ velja za homogeno polje.



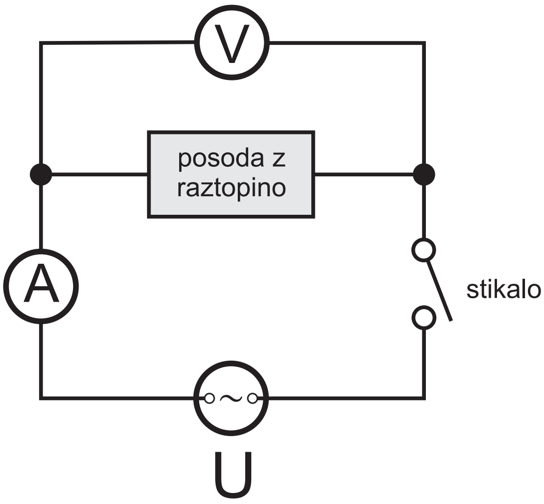
Slika 7.1: Shematični prikaz tokovnic električnega toka v raztopini v dveh primerih. Levo je prikazan primer, ko tok v raztopini teče med ploščatima elektrodama. Tokovnice med elektrodama so v tem primeru homogene. Desno je prikazan primer, ko tok teče med dvema paličastima elektrodama in oblika tokovnic v tem primeru približno ustreza obliki silnic pri dipolu, tako da je gostota toka večja v bližini elektrod. V splošnem velja, da če so elektrode priključene na izmenično napetost, tok teče po enakih tokovnicah, le da se mu izmenično spreminja smer.

Naloga 1: Določanje specifične prevodnosti raztopin

Pri tej nalogi bomo preverili, ali je specifična električna prevodnost raztopine res sorazmerna koncentraciji ionov v njej ter primerjali prevodnosti raztopin NaCl, KCl in pitne vode.

Specifično prevodnost raztopine lahko določimo, če izmerimo njeno upornost in jo primerjamo z upornostjo standardne raztopine z znano specifično prevodnostjo (σ_0). Meriti moramo v isti posodi in z enako količino elektrolita, da je potek tokovnic električnega toka v obeh primerih enak. Najprej izmerimo upornost standardne raztopine in iz podatka o njeni specifični prevodnosti določimo koeficient posode $k = \sigma_0 R_0$ (en. 7.4). Nato v enakih pogojih izmerimo še upornost neznane raztopine ter iz znanega koeficienta k izračunamo njeno specifično prevodnost. Pri naši nalogi bomo kot standardno raztopino uporabili 1 mM raztopino NaCl, za katero je znan podatek, da je njena specifična prevodnost enaka $\sigma_0 = 0{,}01$ S/m, kjer je enota S siemens, za katero velja $1\,\mathrm{S} = 1/\Omega$.

Električno upornost raztopine določimo tako, da izmerimo električni tok skozi raztopino ter padec napetosti na njej, nato pa za izračun upornosti uporabimo Ohmov zakon $R = U/I$. V posodo vedno natočimo raztopino do črte, ki je označena na posodi, da bo koeficient k pri vseh meritvah enak. Tok skozi raztopino in padec napetosti na njej izmerimo z dvema multimetroma, pri čemer enega vežemo zaporedno glede na posodo z raztopino in ga uporabimo kot ampermeter, drugega pa vzporedno v vlogi voltmetra (slika 7.2). Pri meritvi uporabljamo izmenični tok, saj enosmerni tok v raztopini povzroči elektrolizo.



Slika 7.2: Shematični prikaz vezave ampermetra in voltmetra v vezje z elektrolitsko raztopino.

Izvedba

Nastavite merilno območje voltmetra na 20 V izmenične napetosti in ampermetra na 20 mA izmeničnega toka. Določite upornosti vseh raztopin ter rezultate vpišite v tabelo. Po vsaki meritvi raztopino odlijte nazaj v tisto plastenko, iz katere ste jo vzeli. **Da se pri tem ne zmotite, plastenko pustite med meritvijo odprto.** Ko raztopino odlijete nazaj, merilno posodo pred naslednjo meritvijo obrišite do suhega. Napako zaradi kapljic raztopine, ki lahko kljub vsemu ostanejo na stenah posode, zmanjšamo, če merimo najprej z najmanj koncentrirano, nato pa jemljemo zapovrstjo vedno bolj koncentrirane raztopine. Merite torej v naslednjem vrstnem redu:

- štiri raztopine NaCl, od najmanjše do največje koncentracije
- raztopina KCl
- vodovodna voda

raztopina	I [mA]	U [V]	R [kΩ]	σ [1/Ω m]
1 mM NaCl				0,010
2,5 mM NaCl				
5 mM NaCl				
7,5 mM NaCl				
10 mM NaCl				
10 mM KCl				
voda				

Analiza meritev in diskusija:

a) Za vsako raztopino izračunajte upornost.

b) Iz podatka za σ 1 mM raztopine NaCl določite vrednost koeficienta k (enačba 7.4): $k =$

c) Razpredelnico dopolnite z izračuni specifične prevodnosti ostalih raztopin, pri čemer spet uporabite enačbo 7.4.

d) Na grafu narišite odvisnost specifične prevodnosti raztopin NaCl od koncentracije. Je odvisnost res sorazmerna?

e) Primerjajte specifični prevodnosti raztopin NaCl in KCl z enako koncentracijo. Katera je večja? Kateri ioni so bolj gibljivi – Na^+ ali K^+? Je rezultat pričakovan, glede na to, da je radij iona natrija manjši od radija iona kalija?

f) Kolikšna je koncentracija ionov v pitni vodi v približku, da so gibljivosti vseh ionov približno enake in so vsi ioni enovalentni?

V razmislek:

a) So bile raztopine pri vaji pripravljene z navadno ali destilirano vodo? Kako bi se spremenili rezultati meritev, če bi raztopine pripravili z drugo vodo?

b) V neki raztopini je mešanica ionov Na, K in Cl. Ali lahko koncentracije posameznih ionov v raztopini določimo le na osnovi meritve specifične prevodnosti raztopine?

c) Ali se specifična prevodnost vodne raztopine spremeni, če vodi dodamo sladkor (npr. glukozo)?

d) Kolikšno specifično prevodnost ima destilirana oziroma deionizirana voda?

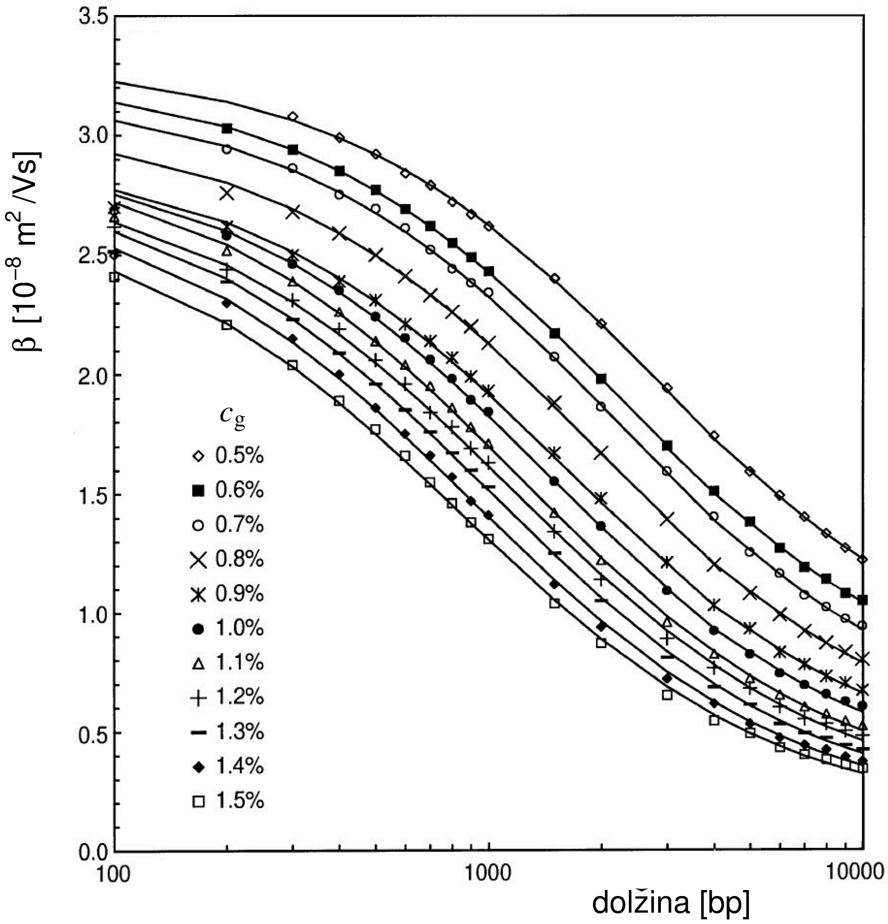
e) Kako se spremeni upornost raztopine, če je je v posodi z elektrodama več ali manj?

f) *Kako bi morali spremeniti vezavo, prikazano na sliki 7.2, da bi lahko izmerili specifično prevodnost destilirane vode?

Naloga 2: Elektroforeza

Z elektroforetskimi metodami med seboj ločujemo nabite makromolekule s pomočjo električnega polja. Različne molekule imajo namreč različne gibljivosti, zato v ustreznem mediju (raztopini, gelu ...) pod vplivom električnega polja potujejo z različnimi hitrostmi.

Spodnja slika prikazuje gibljivost molekul (β) DNK v agaroznem gelu v odvisnosti od dolžine DNK, podane v baznih parih (bp), za različne koncentracije tega gela.

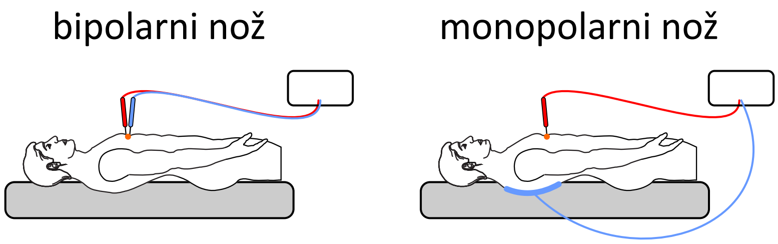


Izračunajte, v kolikšnem času bi se položaj odseka DNK z dolžino 100 bp za 5 mm odmaknil od položaja odseka DNK z dolžino 2000 bp, če bi uporabili 1,0 % agarozni gel, električno polje pa bi bilo enako 3 V/cm.

Naloga 3: Elektrokirurški nož

Eden glavnih fizikalnih učinkov električnega toka na telo je termični, saj se zaradi toka tkivo segreva. Elektrokirurški nož npr. deluje tako, da tkivo z visokim električnim tokom koagulira ali celo izpari. Frekvenca toka, ki jo uporabljajo pri elektrokirurških nožih, je zelo visoka, tudi več kot 200 kHz, saj so pri tako visokih frekvencah biološki učinki električnega toka na vzdraženje živcev in mišic majhni.

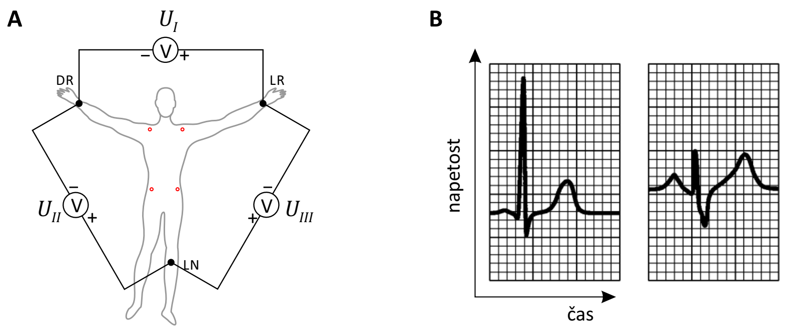
a) Komentirajte, zakaj pri monopolnem elektrokirurškem nožu tkivo koagulira le v bližini aktivne oziroma premične elektrode.



Slika 7.3: Shematični prikaz delovanja elektrokirurškega noža, pri katerem tkivo koaguliramo ali celo izparimo z električnim tokom. Električni tok teče skozi tkivo med elektrodama. Pri monopolarnem nožu ima ena od elektrod veliko površino in je nameščena pod pacienta.

8 EKG

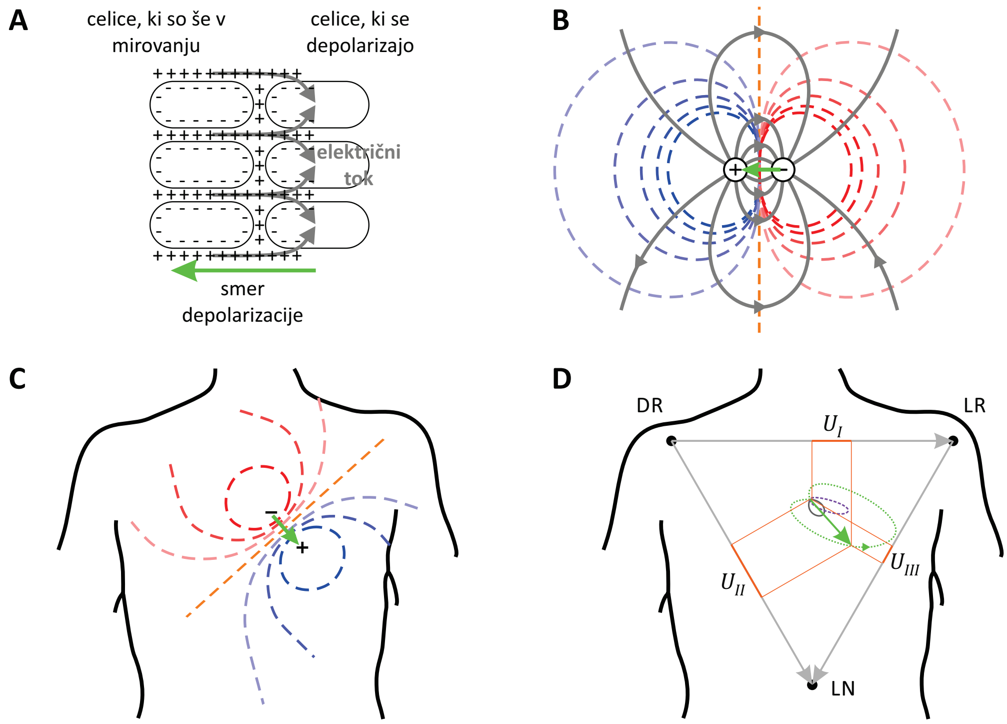
Pri preiskavi EKG na površino pacienta namestimo elektrode in nato merimo, kako se električna napetost med njimi spreminja s časom (slika 8.1). Pri najosnovnejši meritvi EKG merimo napetosti med rokama (t. i. *prvi standardni bipolarni odvod*), med desno roko in levo nogo (*drugi standardni bipolarni odvod*) ter med levo roko in levo nogo (*tretji standardni bipolarni odvod*). Iz nenormalnih potekov EKG lahko sklepamo na različna obolenja srca.



Slika 8.1: (A) Trije standardni bipolarni odvodi, pri katerih merimo časovno spreminjanje napetosti. Pri sodobnih napravah EKG ne merimo več na okončinah, ampak kar na trupu. Rdeče točke na sliki predstavljajo primere mest merjenja. (B) Primer časovnega poteka napetosti pri drugem standardnem bipolarnem odvodu pri zdravem (levo) in pri bolnem (desno) srcu.

Za razumevanje elektrokardiograma je ključno, da si znamo dobro predstavljati, kako je električni potencial na površini telesa odvisen od električne aktivnosti v srcu. Ko v srcu nastajajo akcijski potenciali, ki sprožajo krčenje srčnih mišic, steče po srčni mišici nasproti depolarizacijskemu valu majhen električni tok (slika 8.2A). Srce si lahko zato predstavljamo kot majhen električni dipol, katerega smer kaže v smeri trenutne depolarizacije mišic, okoli dipola pa se vzpostavi značilen dipolni električni potencial (slika 8.2B), ki se čuti tudi na površini telesa (slika 8.2C). Smer in velikost dipola sledita poteku periodičnega krčenja srčnih mišic, zato se tudi potencial na površini telesa - in s tem napetosti med različnimi točkami na telesu - periodično spreminja.

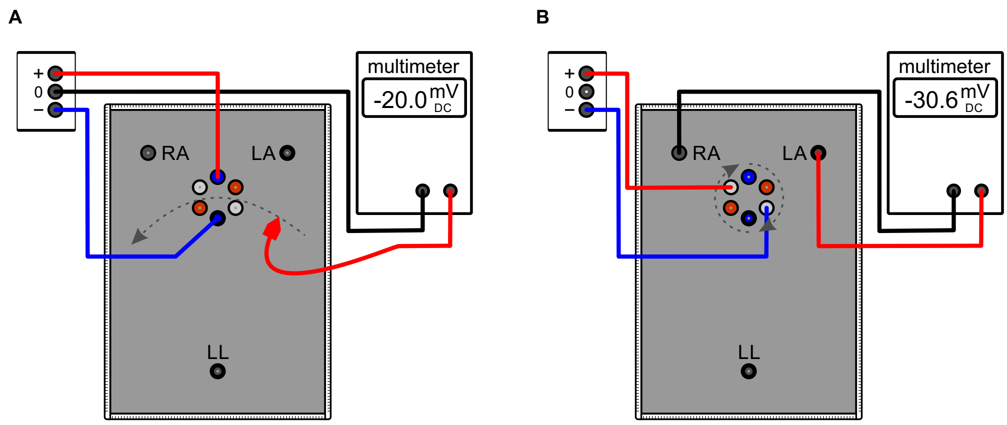
Pri interpretaciji EKG si lahko pomagamo s približkom Einthovenovega trikotnika, po katerem je srce na sredini enakostraničnega trikotnika, ki ga tvorijo položaji elektrod prvih standardnih odvodov. V tem približku je napetost med dvema elektrodama sorazmerna projekciji električnega dipola srca na veznico med elektrodama (slika 8.2D). V vsakem trenutku lahko zato na osnovi vrednosti treh standardnih bipolarnih odvodov sklepamo o velikosti in smeri električnega dipola srca, iz tega pa o smeri in jakosti depolarizacijskega vala v srcu.



Slika 8.2: (A) Med potovanjem depolarizacijskega vala po srčni mišici steče majhen električni tok v nasprotni smeri od smeri depolarizacije (označen s sivo barvo). (B) Od daleč si lahko zato srce predstavljamo kot električni tokovni dipol (označen z zeleno), ki kaže v smeri depolarizacijskega vala, električni tok pa teče vzdolž tokovnic, ki so vzporedne silnicam (označene so s sivo barvo). Okoli dipola se vzpostavi značilno dipolno električno polje, pri čemer je električni potencial tik pred valom pozitiven (označen je z modrimi ekvipotencialnimi črtami), za njim pa negativen (rdeče ekvipotencialne črte). (C) Električni potencial, ki ga ustvari srce, se pozna tudi na površini telesa. (D) V približku Einthovenovega trikotnika so vrednosti standardnih bipolarnih odvodov sorazmerne projekcijam dipola srca na veznice med elektrodami. Zanke prikazujejo, kako se med enim srčnim utripom spreminja njegov dipol: depolarizacija atrijev (val P, siva polna krivulja), depolarizacija ventriklov (kompleks QRS, zelena pikčasta krivulja) in repolarizacija ventriklov (val T, vijolična črtkana krivulja). Signal repolarizacije atrijev je skrit v kompleksu QRS, saj je signal depolarizacije ventriklov bistveno močnejši.

Model telesa za merjenje EKG

Kot dvodimenzionalen model človeškega telesa bomo uporabili prevodno gumijasto folijo. Šest kontaktov v sredini folije predstavlja srce, zunanji kontakti pa predstavljajo točke na človeškem telesu, med katerimi merimo EKG (leva roka-LR in desna roka-DR, leva noga-LN). Električni dipol srca v modelu ustvarimo tako, da par kontaktov priključimo na izvor enosmerne električne napetosti (slika 8.3), saj v tem primeru od pozitivnega do negativnega kontakta po foliji steče električni tok, v foliji pa se vzpostavili dipolno električno polje, podobno tistemu, ki ga v telesu ustvari dipol srca (slika 8.2). Smer dipola določimo z ustrezno izbiro para kontaktov (dipol kaže od $-$ proti $+$).



Slika 8.3: Model za merjenje EKG. Črna prevodna folija predstavlja človeško telo, trije pari kontaktov različnih barv v sredini ponazarjajo srce, zunanji kontakti pa točke na človeškem telesu (LR, DR in LN), med katerimi merimo EKG. Električni dipol srca nastavimo tako, da na par kontaktov v sredini priključimo izvor enosmerne napetosti. Voltmeter uporabimo za merjenje napetosti med dvema točkama na modelu. (A) Nastavitev, ki jo bomo v nalogi 1 uporabili za merjenje električnega potenciala na modelu telesa. Električni potencial izbrane točke na modelu izmerimo tako, da izmerimo napetost med točko in nevtralnim izhodom na izvoru. Na sliki je shematično prikazana meritev potenciala ekvipotencialne črte z vrednostjo potenciala -20 mV. V prikazanem primeru je izvor napetosti povezan tako, da električni dipol srca kaže v smer $\uparrow$. (B) Nastavitev, ki jo bomo v nalogi 2 uporabili pri simulaciji merjenja EKG. Z voltmetrom merimo standardne bipolarne odvode (na sliki je prikazana meritev prvega odvoda). Spreminjanje smeri dipola srca simuliramo s pretikanjem kontaktov. Na sliki je dipol obrnjen v smeri $\nwarrow$.

Naloga 1: meritev električnega potenciala v okolici dipola srca na modelu

Pri prvi nalogi boste z voltmetrom (multimetrom) merili električne potenciale na modelu telesa. Najprej boste izmerili potencial na polih dipola, nato pa še potencial, ki ga tak dipol ustvari v telesu.

a) Izvor napetosti priključite, kot je prikazano na sliki 8.3A. Dipol v tem primeru kaže v smer $\uparrow$. Pazite na polariteto izvora, saj le-ta določa smer dipola (po dogovoru je pozitivni priključek rdeč, negativni pa črn, dipol pa kaže od $-$ proti $+$).

b) Električni potencial boste določili z merjenjem napetosti glede na potencial 0 mV (nevtralni izhod) na izvoru. Negativni vhod voltmetra (oznaka COM ali $\perp$) zato priključite na potencial 0 na izvoru, v pozitivni vhod voltmetra pa priključite prosto vezno žico, s katero boste lahko nato izmerili potencial v izbrani točki na modelu. Vrednost potenciala v izbrani točki je tako kar enaka napetosti med to točko in potencialom 0 mV. Merilno območje voltmetra nastavite primerno merjeni napetosti (enosmerna napetost $-$ DCV).

c) S prosto vezno žico najprej izmerite vrednost potenciala na pozitivnem polu dipola srca in potenciala na negativnem polu dipola srca. Potenciala izmerite tako, da prosto vezno žico priključite v ustrezni konektor dipola srca.

$\varphi_+ =$ $\qquad\qquad\qquad\qquad$ $\varphi_- =$

Če je vse pravilno povezano, sta vrednosti potencialov polov dipola nasprotno enaki.

d) Sedaj določite še obliko ekvipotencialnih črt okoli merjenega dipola srca (v smeri $\uparrow$). Potek ekvipotencialne črte dipola določite tako, da s prosto vezno žico, ki je povezana s pozitivnim vhodom voltmetra, potujete po foliji in poiščete točke, ki so na istem potencialu. S pomočjo merila ob robu folije določite koordinate najmanj petih enakomerno razporejenih točk, s katerimi boste lahko približno določili to ekvipotencialno črto. Točke kar sproti vnesite na milimetrski papir, ki je priložen na koncu delovnega lista za ta teden. Skozi točke narišite ekvipotencialno krivuljo in ob njej označite velikost njenega potenciala. Na milimetrski papir vnesite tudi položaj rok in noge ter označite polariteto obeh polov dipola. Tako določite pet karakterističnih oblik ekvipotencialnih črt za merjeni dipol pri potencialih +400 mV, +200 mV, −400 mV in −200 mV ter pri potencialu 0 mV.

e) Kako se zavrti polje v telesu, če se dipol obrne? Na isti milimetrski papir brez merjenja dorišite še ekvipotencialne črte za primer, da je dipol srca obrnjen v smer $\nearrow$, in sicer za vrednosti potencialov $+400$ mV, -200 mV ter 0 mV. Črte za ta primer narišite z drugo barvo kot v prejšnji nalogi.

f) Iz slike ekvipotencialnih linij pri obeh položajih električnega dipola srca ocenite, kolikšna je vrednost standardnega bipolarnega odvoda I, če je dipol obrnjen v smeri $\uparrow$. Kako pa se spremeni vrednost standardnega bipolarnega odvoda II, če se dipol srca obrne iz smeri $\uparrow$ v smer $\nearrow$?

Naloga 2: meritev EKG na modelu

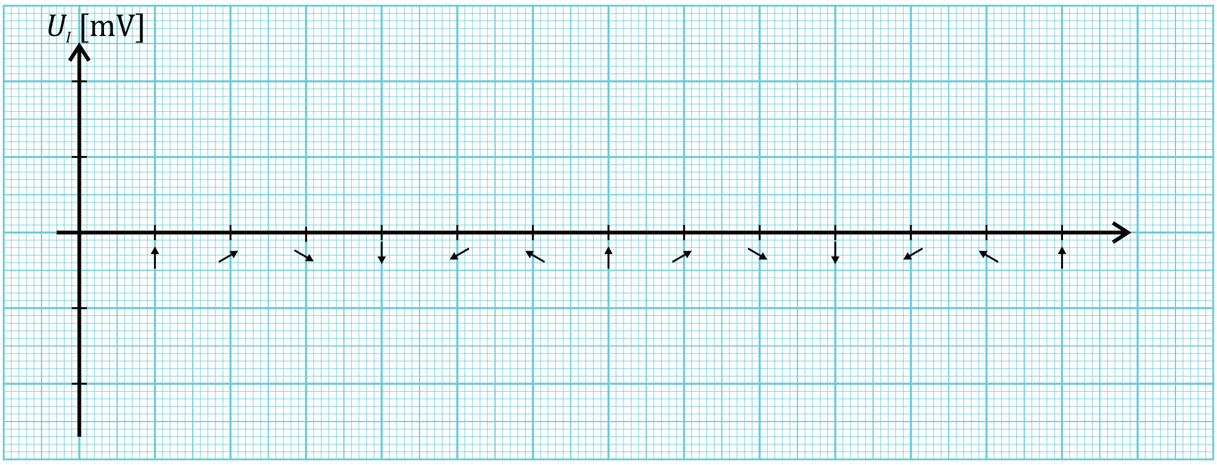
Pri tej nalogi bomo na modelu simulirali obračanje dipola med bitjem srca ter merili, kako se ob tem spreminjajo vrednosti treh standardnih bipolarnih odvodov. Dipolu pravega srca se v eni periodi spreminjata tako velikost kot smer, pri čemer dipol naredi tri obrate (slika 8.2D), ki jih nato na EKG vidimo kot tri različno visoke vrhove (slika 8.1B). V našem modelu bo velikost dipola stalna, spreminjali pa mu bomo le smer - izvor napetosti bomo zaporedoma preklapljali na pare konektorjev enakih barv v sredini folije. Ker pri modelu lahko preklapljamo le med šestimi smermi dipola ($\uparrow$, $\nearrow$, $\searrow$,$\downarrow$, $\swarrow$ in $\nwarrow$), izmerjeni EKG ne bo zvezna funkcija, pač pa bomo v eni srčni periodi za vsak standardni bipolarni odvod izmerili le šest napetosti.

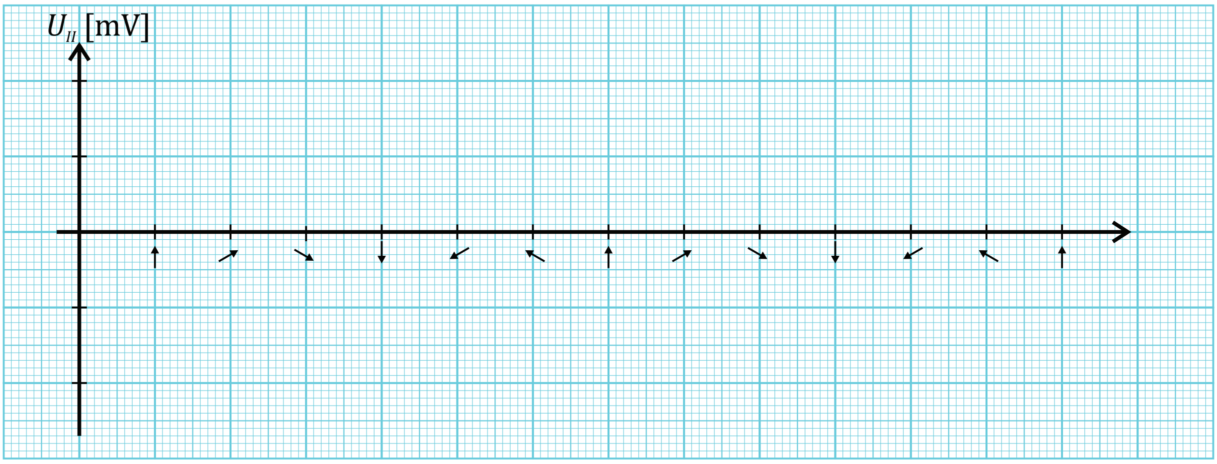
Standardni bipolarni odvod izmerite tako, da voltmeter priključite na ustrezni točke, ki predstavljata dve različni okončini (slika 8.3B). Pri tem bodite pozorni na polariteto voltmetra – po dogovoru ga moramo priključiti tako, kot je prikazano na sliki 8.1A (npr.: standardni bipolarni odvod I izmerite tako, da negativni vhod voltmetra priključite na desno roko, pozitivni vhod voltmetra pa na levo roko).

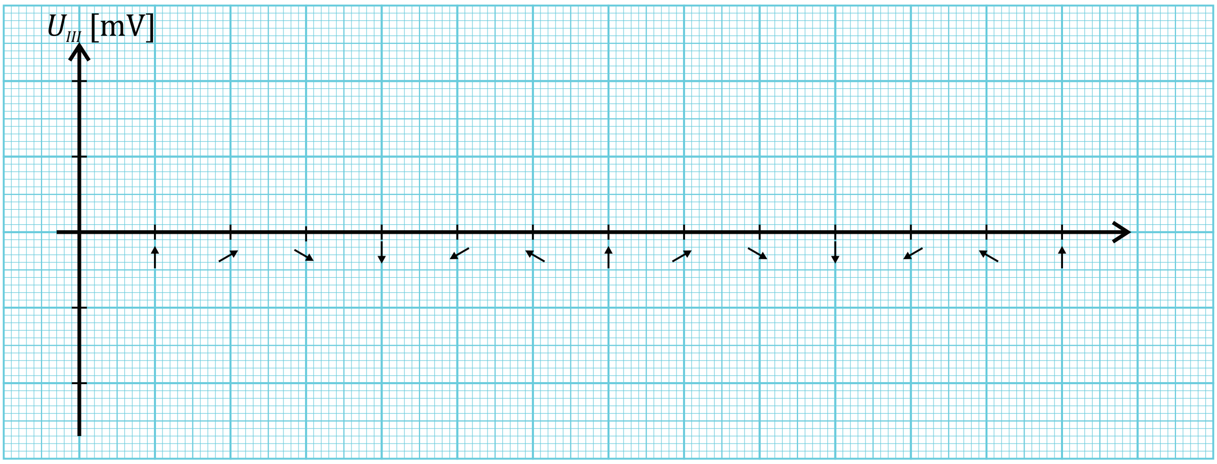
a) Izmerite standardne bipolarne odvode I, II in III pri šestih različnih orientacijah električnega dipola srca in izmerjene napetosti vnesite v spodnjo tabelo.

orientacija dipola	U_I [mV]	U_{II} [mV]	U_{III} [mV]
$\uparrow$			
$\nearrow$			
$\searrow$			
$\downarrow$			
$\swarrow$			
$\nwarrow$			

b) Narišite EKG, ki ste ga izmerili na modelu. Na abscisi so ekvidistantno nanešene orientacije dipola, na ordinato pa pri vsakem položaju nanesite izmerjeno napetost posameznega odvoda iz zgornje tabele.







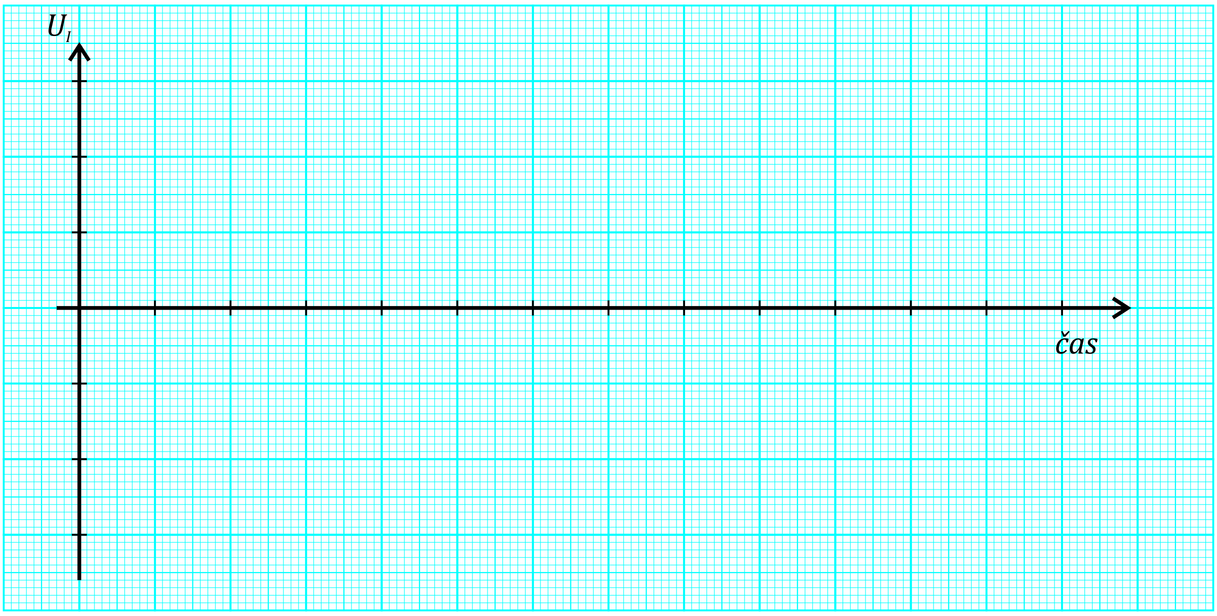
Če privzamete, da so orientacije dipola časovno enakomerno razporejene preko vse srčne periode, lahko abscisa predstavlja časovno os EKG, s črto povezane meritve posameznega bipolarnega standardnega odvoda pa predstavljajo njegov potek v eni srčni periodi. S črtkano črto nadaljujte potek še za naslednjo periodo!

c) Se zveza med orientacijo dipola in izmerjenimi standardnimi bipolarnimi odvodi približno ujema s približkom Einthovenovega trikotnika?

Naloga 3: meritev pravega EKG s prenosno napravo

Pri tej nalogi si boste s prenosno osebno EKG napravo izmerili standardni bipolarni odvod I. Za pravilno uporabo prenosne EKG naprave sledite navodilom, ki so priložena k napravi. Opozoriti velja, da pri vaji uporabljamo prenosno napravo za osebno uporabo, ki ni namenjena uporabi v kliniki, zato rezultat meritve ni nujno natančen!

a) Izmerite si standardni bipolarni odvod I, pri čemer pazite, da je polariteta elektrod pravilna. Izmerjeno časovno odvisnost skicirajte na milimetrski papir.



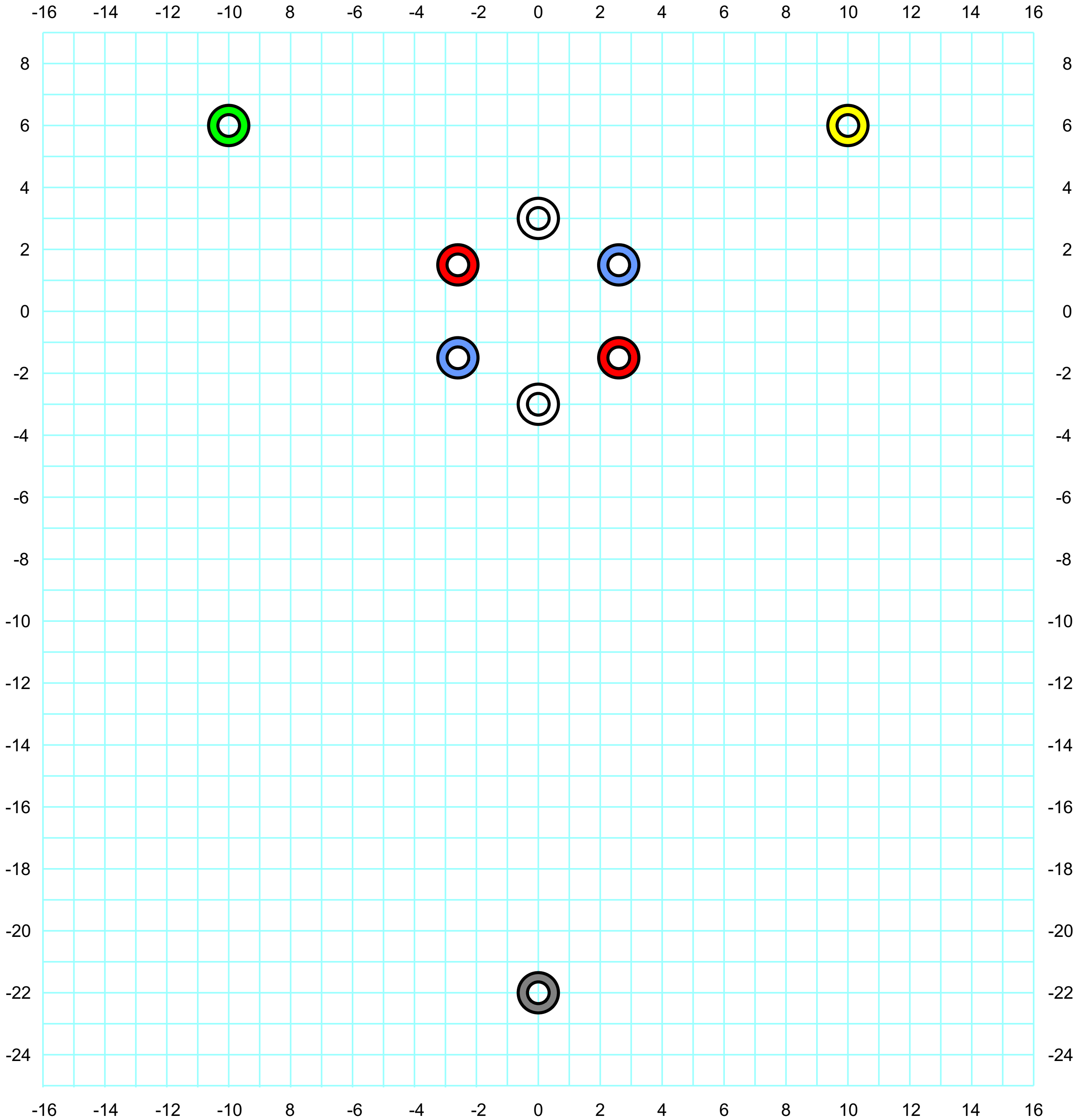
b) Zakaj pravi EKG ni enak sinusni krivulji, ki smo jo dobili na modelu? Na ta odgovor nas napeljujejo vprašanja, ki smo jih delno že odgovorili: v čem se razlikuje obnašanje dipola srca od tistega v modelu? Se velikost dipola v modelu spreminja? Kaj pa pri srcu? V kateri fazi velikost dipola srca najbolj naraste? Ali bi bilo mogoče, da bi bil v nekem trenutku dipol zelo velik, pa tega z meritvijo prvega, drugega ali tretjega odvoda sploh ne bi opazili?

c) Izmerite si še standardni bipolarni odvod I, če zamenjate levo in desno roko na elektrodah (kontaktih). Kako se je spremenil EKG v primerjavi s pravilnima položajema rok na elektrodah? Zakaj se EKG »postavi na glavo«, če zamenjamo elektrodi za levo in desno roko? Kako pa se spremeni EKG, če ga izmerimo pri različnih položajih rok glede na telo? Ali je EKG neodvisen od položaja (npr. sedeči ali stoječi položaj, iztegnjena ali skrčena roka...)?

d) *Če vam je ostalo še kaj časa, si EKG med levo in desno roko izmerite še potem, ko ste naredili 10 do 20 počepov. Kaj se je spremenilo v primerjavi z EKG, ki ste si ga izmerili v mirujočem stanju? Razložite, zakaj je prišlo do teh sprememb!

Dodatno gradivo:

Jure Derganc in Gregor Gomišček. Teaching the basic principles of electrocardiography experimentally. Adv Physiol Educ 45: 5–9, 2021; doi:10.1152/advan.00155.2020



-16 -14 -12 -10 8 -6 -4 -2 0 2 4 6 8 10 12 14 16
8 6 4 2 0 -2 -4 -6 -8 -10 -12 -14 -16 -18 -20 -22 -24

9 Ultrazvok

Zvočno valovanje s tako visokimi frekvencami, da jih človeški sluh ne zazna več, imenujemo ultrazvok. Pri vaji tega tedna bomo spoznali njegove značilnosti in si pogledali Dopplerjev pojav ter osnove slikanja z ultrazvokom.

Naloga 1: frekvenčni razpon slišnega zvoka

Preden se posvetimo ultrazvoku, bomo raziskali, kakšen frekvenčni razpon zvoka zaznavamo z ušesi.

- Katera je najnižja frekvenca, ki jo še slišite?

- Katera je najvišja frekvenca, ki jo še slišite?

- Pri kateri frekvenci se zdi zvok najglasnejši? Primerjajte to frekvenco z resonančno frekvenco vašega sluhovoda. Dolžina sluhovoda je približno 2,5 cm.

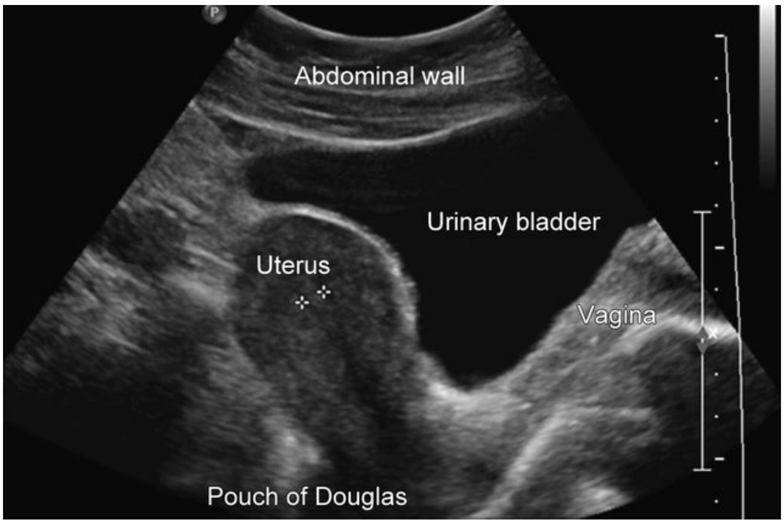
Naloga 2: opazovanje struktur v modelu s prenosno UZ napravo

a) Prenosno UZ napravo povežite z računalnikom in z zaslona razberite, pri kateri frekvenci deluje UZ naprava.

b) Sondo usmerite v model telesa, ki je sestavljen iz silikonskih diskov z različnimi debelinami, in opazujte sliko na zaslonu računalnika. Sliko skicirajte!

c) Zakaj so nekatere plasti na sliki temnejše, druge pa svetlejše?

Si znamo razložiti, zakaj je poln mehur na ultrazvočni sliki črn?



Slika 9.1: Slika 9.1: Transabdominalni ultrazvok maternice (iz članka DOI:10.5005/jp-journals-10009-1330).

d) Zamrznite sliko in z ukazom ”measure” izmerite debeline plasti. Z merilom izmerite še pravo debelino plasti.

plast	d_{UZ} [cm]	d_{prava} [cm]
1		
2		
3		

Naprava globino strukture izmeri iz časovnih zamikov, s katerimi odboji iz struktur pridejo nazaj na sondo, pri čemer razdalje izračuna ob predpostavki, da ultrazvok po vseh tkivih potuje s hitrostjo 1540 m/s. Z ultrazvočno napravo izmerjena debelina je torej sorazmerna s to vnaprej določeno hitrostjo. Če je dejanska hitrost v tkivu drugačna, naprava na sliki prikaže napačne razdalje.

Na podlagi ultrazvočnih meritev debeline diskov in meritev s priloženim merilom določite, kolikšna je hitrost UZ v silikonu.

e) Kakšne frekvence UZ naj uporabimo, če hočemo opazovati strukture, ki so globlje v telesu? *Do približno katere globine lahko slikamo s to napravo?

Naloga 3: Dopplerjev pojav

Pri tej nalogi bomo spoznali Dopplerjev pojav, do katerega pride, če se sprejemnik in izvor valovanja gibljeta eden glede na drugega. Če se izvor in sprejemnik približujeta, slednji zazna višjo frekvenco, in obratno.

$$\nu' = \nu \left(1 \pm \frac{v}{c}\right) \quad \text{oz.} \quad \frac{\Delta\nu}{\nu} = \pm\frac{v}{c}, \tag{9.1}$$

kjer je ν frekvenca, ki jo oddaja oddajnik, ν' frekvenca, ki jo zaznava sprejemnik, $\Delta\nu$ pa je njuna razlika, $\Delta\nu = \nu' - \nu$. Plusi v zgornjih enačbah veljajo za približevanje, minusi pa za oddaljevanje izvora in sprejemnika.

a) Vklopite ultrazvočni oddajnik na električnem vlakcu in ga usmerite proti ultrazvočnemu sprejemniku na začetku tračnic. Kolikšno frekvenco zazna sprejemnik, če vlakec miruje?

   $\nu =$

b) Vlakec vozite sem ter tja po tračnicah in na merilcu frekvence opazujte, kako je zaznana frekvenca odvisna od hitrosti in smeri vožnje vlakca. Pri tem morate biti pozorni na to, da meritev frekvence poteka nepretrgano vsaj dve sekundi. Med vožnjo se signal včasih izgubi, saj pride do interference med direktnim in odbitim delom snopa, kar lahko za trenutek zmede merilec frekvence.

c) Ali je sprememba frekvence res večja pri večji hitrosti vlakca? Ali je sprememba frekvence odvisna od oddaljenosti vlakca od sprejemnika?

d) Izmerite spremembo zaznane frekvence med približevanjem in oddaljevanjem vlakca, hkrati pa na 1 m dolgem odseku tračnic s štoparico določite dejansko hitrost vlakca. Meritev ponovite trikrat ter primerjajte hitrost vlakca, ki ste jo izmerili neposredno s štoparico ($v_{\text{neposredno}} = s/t$), s hitrostjo, določeno s pomočjo Dopplerjevega pojava (v_{Doppler}, enačba 9.1).

približevanje		oddaljevanje	
zaznana ν [Hz]	t [s]	zaznana ν [Hz]	t[s]

Izračunane hitrosti:

	približevanje	oddaljevanje
$v_{\text{neposredno}}$		
v_{Doppler}		

e) S prenosno klinično UZ sondo opazujte pretok krvi skozi arterijo na zapestju roke. Najprej v načinu *B* poiščite arterijo na zapestju (opazite jo kot temno liso, ki pulzira). Nato napravo preklopite v način *color*. Kakšne barve je arterija, če imate sondo obrnjeno proti toku krvi, in kakšne, če je sonda obrnjena v smer toka?

V razmislek:

a) Zakaj je treba pri UZ slikanju med sondo in telo nanesti gel?

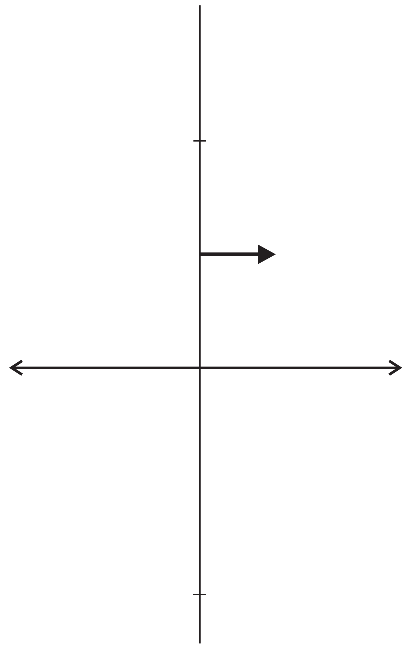
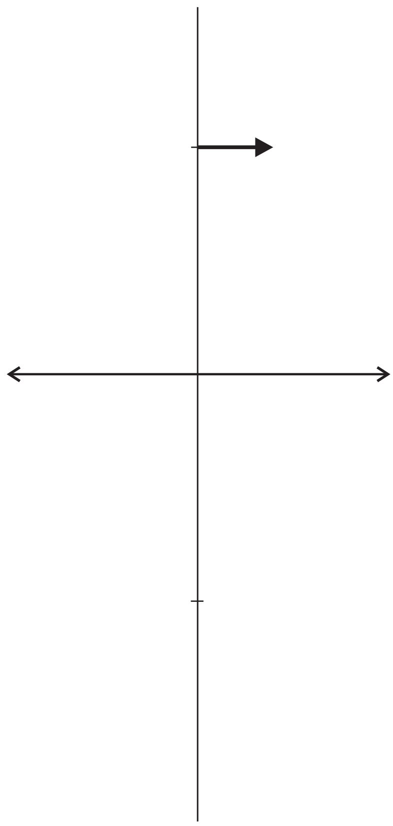
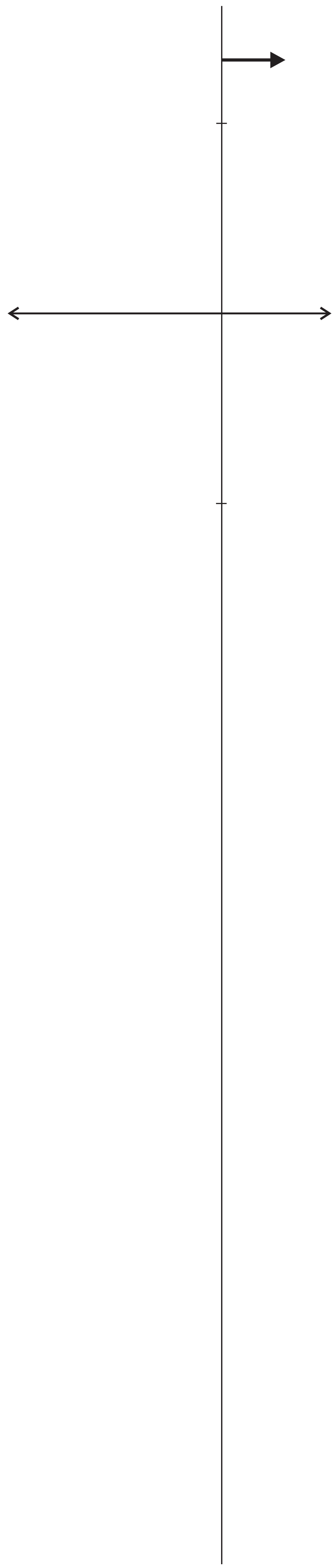
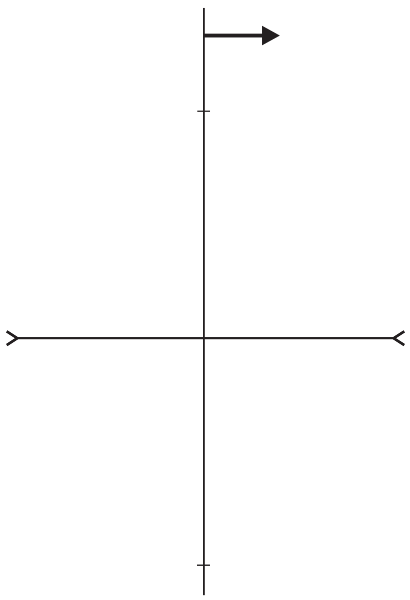
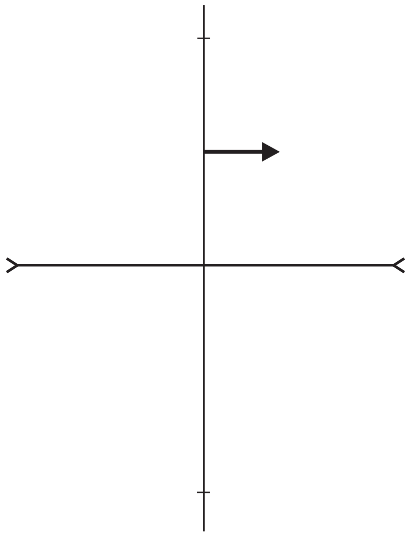
10 Optika

V vaji tega tedna obravnavamo zakonitosti optike in ugotavljamo, kako različne leče preslikajo predmet v sliko. Skozi praktične naloge bodo predstavljeni osnovni pojmi: gorišče leče, enačba leče, značilni žarki pri preslikavi, povečava, lomnost oziroma dioptrija, ter ločljivost leče. Spoznali bomo principe sestavljanja leč pri korekciji vida in v mikroskopu. Za razlago pojmov se naslonite na poglavje 25 (Optika) v učbeniku.

Naloga 1: določanje preslikave leče z risanjem značilnih žarkov

Preslikave leč bomo določali v okviru t. i. geometrijske optike, pri kateri zanemarimo vse uklonske pojave. Žarek predstavlja ozek snop svetlobe oziroma pot posameznega fotona. Poleg tega bomo predpostavili, da so leče tanke in sferične, kar pomeni, da je debelina leče majhna v primerjavi z ostalimi dimenzijami in da je ukrivljenost leče v vseh smereh enaka. Leča ima eno goriščno razdaljo (f) tudi v primeru, da sta krivinska radija na eni in drugi strani leče različna. Pri risanju privzamemo, da so leče neskončno velike, optična os pa je simetrijska os leče.

a) Preslikajte predmet (puščico) v primerih na naslednji strani z uporabo značilnih žarkov: središčnega, vzporednega in goriščnega. Pri oznakah se držimo dogovora, da je a razdalja od predmeta do leče in je vedno pozitivna, b pa je razdalja od leče do slike. Če je slika na drugi strani leče kot predmet, je b pozitiven, če pa je slika na isti strani kot predmet, je b negativen. A in B sta velikosti predmeta in slike.

b) Za prvi primer, kjer je predmet pred goriščem zbiralne leče, določite povečavo preslikave. Povečava je v tem primeru kar razmerje med velikostjo slike in velikostjo predmeta.

$$N = \frac{B}{A} = \tag{10.1}$$

c) Iz razmerij, ki jih pri preslikavi z lečo razberemo iz parov podobnih trikotnikov, sestavljenih iz značilnih žarkov, lahko izpeljemo še enačbo leče:

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{a} + \frac{1}{b} \tag{10.2}$$

Pri tem je $1/f$ lomnost leče, ki jo merimo v dioptrijah (D), pri čemer 1 D ustreza 1 m^{-1}. Za prvi primer preslikave na prejšnji strani določite lomnost leče.

$$\frac{1}{f} = \tag{10.3}$$

d) V srednjem primeru, ko je predmet v goriščni ravnini zbiralne leče, ta deluje kot povečevalno steklo oz. lupa. Za določitev povečave lupe primerjamo velikost slike, ki jo vidimo skozi lupo, in slike, kot bi jo videli s prostim očesom pri opazovanju z normalne zorne razdalje $x_0 = 25$ cm. V istem razmerju sta tudi tangensa zornih kotov pri opazovanju s prostim očesom in z lupo, na podlagi česar izpeljemo povečavo lupe (enačba 10.4), ki jo tudi izračunajte:

$$N_L = \frac{x_0}{f} = \tag{10.4}$$

e) Katera oseba je kratko- in katera daljnovidna? Upoštevati je treba, da razpršilne leče žarke razpršijo, zbiralne pa zberejo, in da pri kratkovidnih osebah nastane slika pred, pri daljnovidnih pa za mrežnico.

Sestavljanje leč

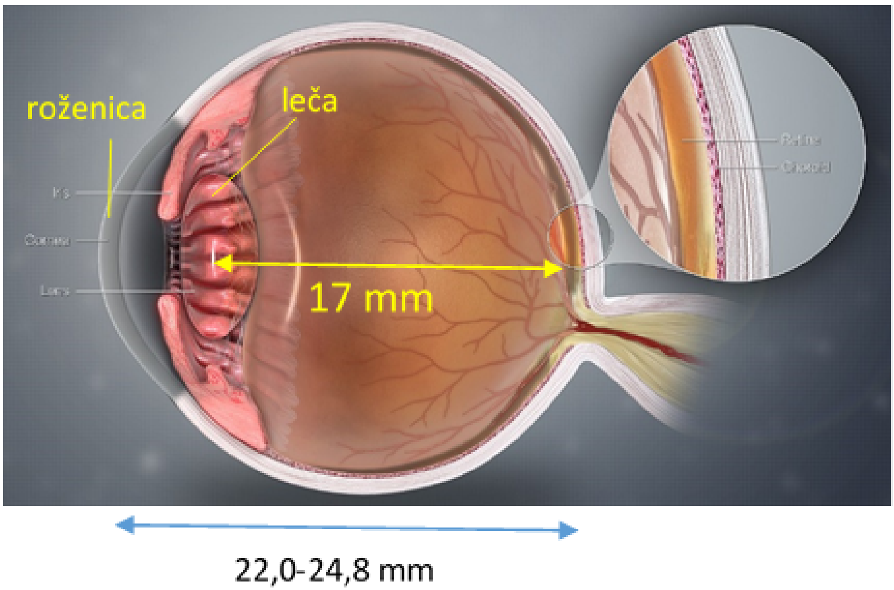
Kadar sta leči blizu skupaj, se njuni lomnosti ($1/f$) seštejeta:

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2} \,. \tag{10.5}$$

Če leči nista blizu skupaj, je enačba za skupno povečavo bolj zapletena. Pri izpeljavah enačb za preslikave sliko prve leče obravnavamo kot predmet za drugo lečo.

Naloga 2: določanje lomnosti očesa

Velikosti oči se pri odraslih le malo razlikujejo. Dolžina zrkla je med 22 in 24,8 mm. Razdalja od očesne leče do mrežnice je v povprečnem očesu 17 mm. Do loma svetlobe pride na roženici in na očesni leči. Lomnost roženice je pri povprečnem očesu 43 dioptrij, lomnost leče pa se spreminja z akomodacijo.



Skupno lomnost imenujemo lomnost očesa ($D_O = 1/f_O$). Ker sta roženica in leča tesno skupaj, lahko lomnost očesa izračunamo kot vsoto lomnosti roženice (D_R) in lomnosti očesne leče (D_{OL}):

$$D_O = D_R + D_{OL}, \tag{10.6}$$

$$\frac{1}{f_O} = \frac{1}{f_R} + \frac{1}{f_{OL}}. \tag{10.7}$$

a) Določite največjo in najmanjšo lomnost (dioptrijo) vašega očesa. Če nosite očala, boste lahko določili tudi dioptrijo očal.

Glejte z enim očesom, z drugim zamižite ali ga pokrijte z dlanjo. Tudi v primeru, da uporabljate očala, merite brez očal. Če uporabljate kontaktne leče, to zabeležite.

Izmerite najmanjšo in največjo razdaljo, pri kateri še vidite ostro. Ko vidite ostro, pomeni, da je slika nastala na mrežnici. Če je največja razdalja prevelika, da bi jo izmerili, v približku vzemite, da je neskončna. V obeh primerih določite lomnost očesa ($D_O = 1/f_O$) iz enačbe leče (10.2), kjer je a izmerjena razdalja, b pa razdalja od očesne leče do mrežnice, kar je za povprečno oko 17 mm. Dioptrijo očesne leče D_{OL} pa določite po enačbi za seštevanje lomnosti (10.7 oz. 10.6).

prosto oko	a [m]	b [m]	D_O	D_{OL}
največja razdalja		0,017		
najmanjša razdalja		0,017		

b) Meritev nato ponovite, le da pred očesom držite lečo. Če uporabljate očala, lahko uporabite kar ta. Iz enačbe (10.2) določite skupno lomnost izbrane leče in očesa D_{L+O}, lomnost same izbrane leče (D_L) pa dobite iz razlike med D_{L+O} in izmerjeno D_O, ki ste jo določili v zgornji tabeli.

oko + leča	a [m]	b [m]	D_{L+O}	D_L
največja razdalja		0,017		
najmanjša razdalja		0,017		

c) *Če imate čas, meritev ponovite še s ”papirno lečo,” ki jo uporablja tudi npr. camera obscura. V pogojih, ko je dovolj svetlobe, si lahko namreč namesto z lečami pri ostrenju pomagamo tako, da gledamo skozi majhne luknjice. ”Papirno lečo” naredimo iz koščka kartona, naluknjanega s šivanko ali šestilom. Ali v tem primeru velikost luknjic vpliva na ”dioptrijo” papirne leče?

Naloga 3: ocena ločljivosti očesa

a) Za oceno ločljivosti očesa boste uporabili sliko, na kateri so natisnjene različno velike in različno obrnjene črke E. Če nosite očala, opazujte z očali.

Z enim očesom glejte na razdalji, pri kateri nimate težav z izostritvijo slike. To storimo zato, da ni vpliva ostrine slike na ločljivost. Določite vrstico, v kateri še razločite, v katero smer so obrnjene črke E. Oddaljujte se od slike in določite razdaljo, pri kateri orientacije črke E ravno ne razločite več. Iz višine črke E (h) in razdalje, s katere ste opazovali (l), izračunajte kotno ločljivost vašega očesa α_m, tj. najmanjši kot, pod katerim še lahko razločimo dve točki:

$$\tan \alpha_m = \frac{h}{2l} \tag{10.8}$$

$$\alpha_m =$$

b) Izračunajmo še ločljivost očesa, tj. najmanjšo razdaljo med dvema točkama, pri kateri ti dve točki še lahko razločimo, če ju gledamo z normalne zorne razdalje ($x_0 = 25$ cm):

$$d_{x_0} = x_0 \cdot \tan \alpha_m = \tag{10.9}$$

V razmislek

a) Zakaj pripremo oči, ko ne vidimo ostre slike?

11 Radioaktivnost

Izotopi nekaterih elementov zaradi nestabilnosti razpadajo, pri tem pa oddajajo sevanje v obliki različnih visoko-energijskih osnovnih delcev in žarkov (fotonov). Pojav imenujemo radioaktivnost. Energija sevanja je dovolj velika, da lahko v snovi, skozi katero potuje, razbija atome in molekule ter s tem ustvarja ione in proste radikale. Nekatere vrste ionizirajočega sevanja brez težav prodirajo skozi biološko tkivo. Radioaktivnost je tako po eni strani pojav, ki je lahko škodljiv, po drugi strani pa omogoča mnoge postopke v medicini (obsevanje tumorjev, diagnostika, sterilizacija hrane in medicinske opreme...).

Pri vaji bomo z Geiger Mullerjevimi števci izmerili najprej sevanje okolice, nato pa sevanje iz vzorca kalijeve soli. Majhen delež kalija v naravi je v obliki nestabilnega izotopa $^{40}K_{19}$, zato pri meritvah snovi z veliko kalija lahko pričakujemo višje izmerjene vrednosti sevanja. Za primerjavo bomo merili sevanje mobilnega telefona. V zadnji nalogi bomo raziskali, kako se sevanje oziroma visoko-energijski delci absorbirajo v kovini.

Študenti se pred merjenji razdelijo v skupine, vsaka skupina dobi svoj Geiger Mullerjev števec. Privzamemo, da vsi števci delujejo enako.

Naloga 1: merjenje ozadja

a) Izmerite običajno sevanje v svoji okolici oziroma »aktivnost ozadja«. Merite število razpadov (N), ki jih zazna števec radioaktivnosti v 100 s. Zapišite rezultate meritev in izračunajte njihovo povprečje ($N_{\text{oz, povp}}$). Iz podatkov vseh skupin določite tudi odstopanje od povprečja ($\Delta N_{\text{oz, povp}}$).

N

N

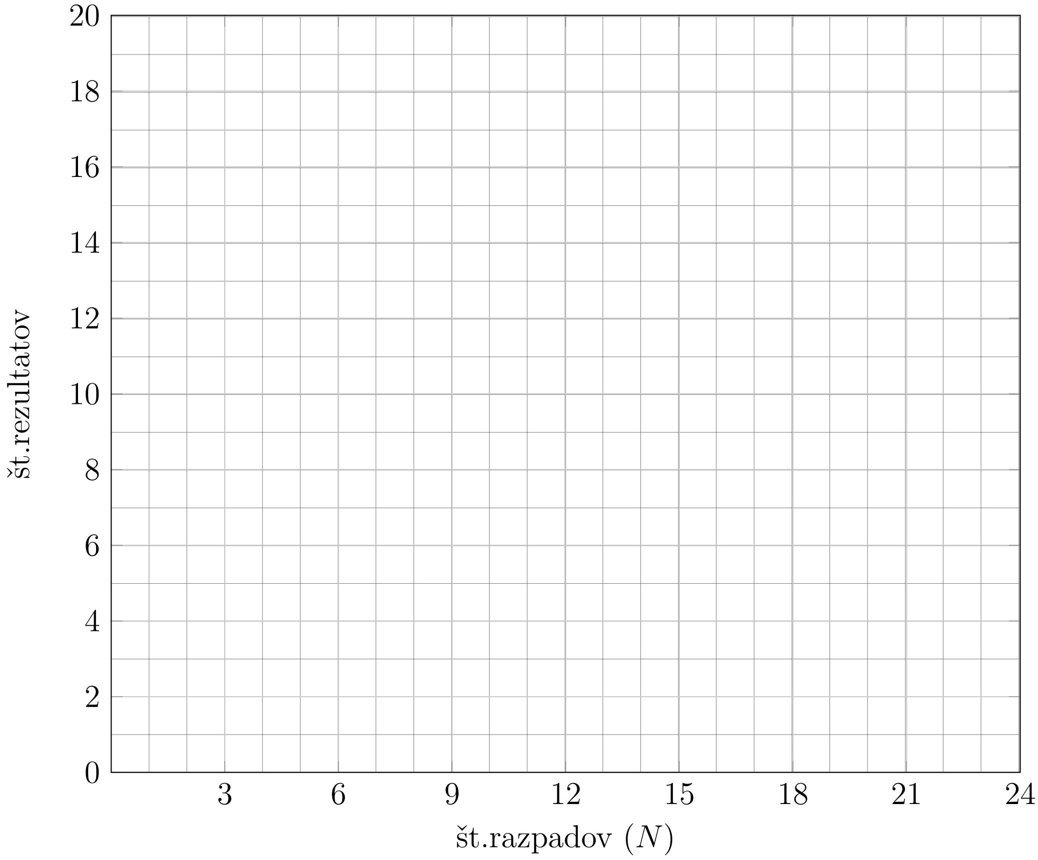
$N_{\text{oz, povp}} =$

$\Delta N_{\text{oz, povp}} =$

Naloga 2: merjenje aktivnosti vzorca kalijeve soli

a) Vsaka skupina dobi svoj vzorec kalijeve soli. Privzamemo, da so vzorci enaki. Geiger Mullerjev števec postavite na posodico s kalijevo soljo tako, da je med vzorcem soli in števcem samo tanka folija. Dvajsetkrat izmerite število razpadov vzorca kalijeve soli v 10 s in rezultate sproti vpisujte v stolpec tabele. Po opravljenih meritvah v sosednje stolpce zabeležite tudi rezultate meritev kolegov in vse rezultate vrišite v histogram na naslednji strani.

meritev	N_{ekipa1}	N_{ekipa2}	N_{ekipa3}	N_{ekipa4}	N_{ekipa5}	N_{ekipa6}
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						
11						
12						
13						
14						
15						
16						
17						
18						
19						
20						



b) Kakšno obliko ima krivulja, ki jo dobite ob koncu meritev z obrisom vseh dobljenih rezultatov, vrisanih v histogram?

c) Kakšno obliko bi imela krivulja, če bi imeli več vrisanih meritev in če vemo, da gre za naključne, med sabo neodvisne dogodke?

d) Izračunajte povprečje zaznanih razpadov v 10 s (N_{povp}).

$N_{\text{povp}} =$

e) Komentirajte raztresenost podatkov okrog povprečja in ocenite standardni odklon (σ) ter standardni odklon povprečne vrednosti (σ_s; $\sigma_s = \sigma/\sqrt{n}$, pri čemer je n število vseh meritev). Intervala $[N_{povp} - \sigma, N_{povp} + \sigma]$ in $[N_{povp} - \sigma_s, N_{povp} + \sigma_s]$ označite na histogramu.

$\sigma =$

$\sigma_s =$

f) Radioaktivnost oziroma aktivnost (A) vzorca določimo kot število zaznanih razpadov na enoto časa ($A = N/t$). Določite aktivnost samega vzorca kalijeve soli (A_{K}), in sicer tako, da od izmerjene celotne aktivnosti odštejte aktivnost ozadja.

$A_{izmerjena} =$

$A_{ozadje} =$

$A_K =$

Naloga 3: sevanje mobilnega telefona

a) V intervalih po 100 s merite sevanje v neposredni bližini mobilnega telefona. Vpišite še rezultate kolegov in določite povprečje zaznanih razpadov ($N_{tel,povp}$) ter odstopanje od povprečja ($\Delta N_{tel,povp}$). Rezultat meritev primerjajte s sevanjem ozadja.

N_{tel}

N_{tel}

$N_{tel,povp} =$

$\Delta N_{tel,povp} =$

b) Je sevanje mobilnega telefona ionizirajoče?

Naloga 4: merjenje absorpcije sevanja v snovi in določanje razpolovne debeline snovi za določeno vrsto sevanja

Ko pri razpadu $^{40}K_{19}$ izsevani delci prodirajo skozi snov, izgubljajo energijo, zato gostota energijskega toka delcev upada z razdaljo. Izmerjeni prepuščeni energijski tok fotonov γ je eksponentno odvisen od debeline snovi, opis upadanja gostote toka β^- delcev pa v splošnem ni enostavna funkcija; ker pa imajo β^- delci različne začetne energije, se izkaže, da je odvisnost njihovega energijskega toka od razdalje v nekaterih snoveh zelo podobna eksponentnemu padanju (slika 21.5 v učbeniku). Na podlagi tega vpeljemo razpolovno debelino snovi $x_{1/2}$, ki govori o razdalji, pri kateri se število izsevanih delcev v snopu zmanjša na polovico prvotnega.

a) Vsaka skupina naj izvede štiri meritve sevanja vzorca kalijeve soli (po 50 s), pri čemer vzorec pokrije z aluminijevo ploščico izbrane debeline.

d_{Al} [mm]	N_1	N_2	N_3	N_4	N_{povp}
0,1					
0,2					
0,3					
0,4					
0,5					
1					

b) Rezultate vseh skupin prikažite na diagramu izmerjenih razpadov (N_{povp}) v odvisnosti od debeline aluminijeve ploščice (d_{Al}). Z vodoravno črto prikažite sevanje ozadja, preračunanega na interval merjenja 50 s. Ne pozabite vrisati točke, ki ste jo izmerili v prejšnjem delu vaje, torej zaznanega povprečnega števila razpadov, ko med vzorcem soli in Geigerjevim števcem ni bilo nobene ploščice (debelina d = 0 mm)! Odčitajte z grafa razpolovno debelino aluminija, torej debelino, pri kateri aluminij absorbira ravno pol izsevanih delcev iz samega vzorca (ne pa iz ozadja).

$x_{1/2} =$

V razmislek

a) Ali se izmerjena aktivnost vzorca ujema z dejanskim številom razpadov v vzorcu?