

Univerza v Ljubljani
Zdravstvena fakulteta



Tabela 11.1: Fizične vrednosti nekaterih količinov lepaja in trega

Izvirni material	Količina lepaja (v mikronjih)	Količina trega (pri gibanju)
peko - peko	0,77	0,57
steko - steko	0,94	0,40
guma - beton (suh)	1,0	0,8
guma - beton (močan)	0,80	0,25
les - les	0,4	0,2
del - del	0,1	0,03
sklepni in zbirni delci	0,01	0,01

Trdni snovi	Gostota [10 ³ kg/m ³]
hrastov les kol (0 °C)	0,7 - 0,9 0,917
polivinil	1,4
kost	1,8 - 2,0
beton	2
steklo	2,2 - 2,9
aluminij	2,70
železo	7,88
medenina	8,6
baker	8,93
srebro	10,5
svinec	11,35
zlato	19,31
platina	21,4

Kapjevine	Gostota [10 ³ kg/m ³]
bencin	0,68
etilni alkohol	0,79
strojno olje	0,9
voda (4 °C)	1,00
morska voda	≈ 1,025
kri	1,06
glicerol	1,26
živo srebro	13,55

Plini (1 bar)	Gostota [kg/m ³]
Zrak	1,29
Helij	0,179
Oglikov dioksid	1,98

FIZIKALNI PRAKTIKUM

France Sevšek

FIZIKALNI PRAKTIKUM

France Sevšek



UNIVERZA V LJUBLJANI
ZDRAVSTVENA FAKULTETA
LJUBLJANA, 2017

NASLOV: FIZIKALNI PRAKTIKUM - (prva elektronska izdaja)

AVTOR: dr. France Sevšek

STROKOVNI PREGLED:

dr. Gregor Gomišček

OBLIKOVANJE: dr. France Sevšek

©France Sevšek 2017

Delo je avtorsko zaščiteno. Vsaka uporaba zunaj meja avtorskih pravic je brez pisnega soglasja avtorja nedopustna in kazniva. To velja posebno za fotokopiranje, razmnoževanje, prevajanje, mikropreslikave in za vstavljanje, prenos in predelavo v elektronske sisteme.

CIP - Kataložni zapis o publikaciji
Narodna in univerzitetna knjižnica, Ljubljana

53(075.8)(076.5)

SEVŠEK, France

Fizikalni praktikum / France Sevšek. - 1. elektronska izd. - El. knjiga. -
Ljubljana : 2017

Način dostopa (URL):

<http://manus.zf.uni-lj.si/fizika/Praktikum>

ISBN xxx-xxx-xxxx-xx-x

Ljubljana, november 2017

V11.21- 171106/1

Ime in priimek:

Smer študija:

Študijsko leto:

Skupina:

Drugi člani skupine:

1.
2.
3.
4.
5.
6.

Urnik laboratorijskih vaj

[illegible]

SPLOŠNA NAVODILA ZA VAJE

To je laboratorijski dnevnik za praktikumske vaje iz biofizike na Zdravstveni fakulteti Univerze v Ljubljani. Vsako poglavje predstavlja eno vajo. Te so označene s števkami od 1 do 10 in so sestavljene iz več nalog. Za vsako je najprej na kratko opisan postopek dela, nato pa sledi prostor za zapisovanje meritev, računov in opazovanj.

- Na vaje prihajaj redno in brez zamujanja.
- Vsak dan opraviš eno vajo. Narediti moraš vse vaje, ki so na programu.
- Vsaj eno vajo moraš javno predstaviti kolegom. Ta predstavitev naj bo kratka, vendar naj pove bistvo vaje in opozori druge na težave in posebnosti, s katerimi se bodo srečali pri izvedbi te vaje.
- Vaje delaš v skupini, vendar moraš o delu v tem zvezku voditi svoj dnevnik.
- Na vajo se pripravi doma. Preberi navodila in ustrezno poglavje v učbeniku. Za večino vaj je to učbenik Biomehanika (F. Sevšek, Visoka šola za zdravstvo, 2004), na katerega se navodila za vaje pogosto sklicujejo. Morebitne nejasnosti odpravi z dodatno literaturo.
- Če česa še vedno ne razumeš, se posvetuj s kolegi ali vprašaj vodjo vaj.
- V dnevnik na začetku vaje vpiši datum.
- Po navodilih opravi meritve. Rezultate sproti vpisuj v dnevnik. Piši s kemičnim svinčnikom. Zapiši tudi vse podatke o merskih napravah (npr. tip, natančnost itd.). Zapiši tudi druge opombe, svoja opazovanja ter komentiraj potek dela.
- Če je kaj pokvarjeno, to takoj sporoči vodji vaj. Javi tudi vsako okvaro, ki nastane med izvedbo vaje.
- Ko vajo končaš, očisti in pospravi vse pripomočke.
- Vse potrebne grafe nariši s svinčnikom na pripravljen milimetrski papir v tem zvezku. Opremi jih s podnapisi, iz katerih naj bo razvidno, kaj grafi predstavljajo. Koordinatne osi grafov naj bodo pregledno označene s količino in enoto.
- Izračunaj vse, kar vaja zahteva.
- Vse račune piši v ta zvezek. Opremi jih s kratkimi komentarji. Dnevnik naj bo urejen tako pregledno, da bo mogoče iz njega tudi še pozneje razbrati vsebino in potek vaj.
- Ko končaš delo, pokaži dnevnik vodji vaj, da ti ga podpiše.

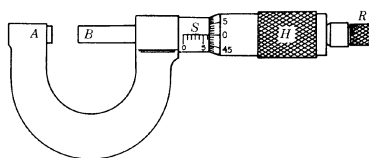
Kazalo

1 OSNOVNE MERITVE	7
2 ANALIZA MERITEV	19
3 OSNOVE STATISTIKE	29
4 TOPLOTA	49
5 ELASTIČNOST	63
6 ELEKTRIČNE MERITVE	79
7 TEKOČINE	95
8 OPTIKA	109
9 DIGITALNA FOTOGRAFIJA	119
10 SVETLOBA	133
1 Vprašanja za ponavljanje snovi	143
2 Tabele	157

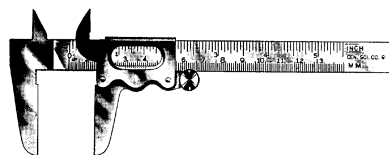
Vaja 1

OSNOVNE MERITVE

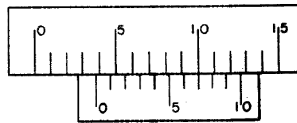
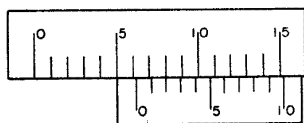
Datum:



Slika 1.1: Mikrometrski merilnik služi natančnemu merjenju majhnih debelin. Predmet damo med čeljusti A in B ter z vrtenjem glave (H) previdno približamo merjencu gibljivo čeljust. Z vijakom R nato čeljusti pritismo ob merjenec.



Slika 1.2: Kljunasto merilo. Z njim lahko merimo zunanje dimenzije majhnih predmetov (med spodnjima čeljustima) ali notranje premere odprtin (gornji čeljusti). Na premičnem delu je skala nonija za natančnejše odčitavanje izmerjenih vrednosti.



Slika 1.3: Dva primera odčitavanja na skali nonija. Nonij je gibljiva skala (spodnja skala na sliki), na kateri je dolžina desetih delcev ravno enaka devetim delcem na glavni skali (na sliki zgoraj). Na levi sliki je ničelna oznaka skale nonija med 6 in 7 delci glavne skale. Vidimo tudi, da se z oznako na glavni skali najboljše ujema druga črtica nonija. Merilnik torej kaže vrednost 6,2. Podobno razberemo vrednost 3,7 s skale na desni sliki.

1. Preberi poglavje o meritvah v učbeniku Biomehanika.

Posebno pozornost posveti merskim napakam. Pri vseh nadaljnjih meritvah in računih vedno oceni napako (in jo napiši) ter ustrezno zaokroži merske in računske rezultate.

2. Meritev premera in gostote žice ter kovinske folije

Gostota pove, kolikšna je masa (m) dane prostornine (V) snovi

$$\rho = \frac{m}{V}.$$

- Izmeri dolžino danega kosa žice. Nato z mikrometrskim merilnikom (slika 1.1) na nekaj različnih mestih izmeri premer žice na 1/100 mm natančno. Ničlo merilnika določiš tako, da na skali odčitaš razdaljo, ki jo kaže merilnik, kadar med čeljustima ni merjenca. Žico stehtaj na laboratorijski tehtnici (slika 3.1) in izračunaj gostoto kovine. Ali lahko ugotoviš, katera kovina je to? (Pomagaj si s tabelo 1.1 na strani 11.)

Izmerjeni premer žice ($2r$) je

Povprečni premer žice ($2r$) je $\pm$

Dolžina žice (ℓ) je

Masa žice je

Prostornina žice: $V = \pi r^2 \ell$

$$V = \dots\dots\dots$$

Gostota žice: $\rho = \frac{m}{V}$

$$\rho = \dots\dots\dots$$

Iz izračunane gostote določi, iz katere kovine je žica.

Oceni, kako natančne so tvoje meritve in kolikšna je natančnost izračunane gostote žice. Pri tem upoštevaj, da je relativna napaka meritve enaka kvocientu med absolutno napako in povprečno vrednostjo.

Ocenjena absolutna napaka premera žice

Relativna napaka premera žice

Ocenjena absolutna napaka dolžine žice

Relativna napaka dolžine žice

Ocenjena absolutna napaka mase žice

Relativna napaka mase žice

Iz relativnih napak izračunaj relativno in absolutno napako gostote žice. Upoštevaj, da se relativna napaka gostote žice izračuna iz relativnih napak izmerjenih količin.

Relativna napaka gostote žice

Absolutna napaka gostote žice

- Meritev ponovi tudi s kosom tanke kovinske folije.

Debelina folije je

Dolžina folije je

Širina folije je

Masa folije je

Prostornina folije:

$$V = \dots\dots\dots$$

Gostota folije:

$$\rho = \frac{m}{V} = \dots\dots\dots$$

Iz izračunane gostote določi, iz katere kovine je folija?

Opombe:

3. Meritev prostornine telesa s tekočino

Predmet stehtaj in ga nato potopi v vodo v menzuri. Odčitaj, za koliko se je dvignila gladina vode in s tem prostornino predmeta. Izračunaj njegovo gostoto.

Masa predmeta:

Prostornina predmeta:

Gostota predmeta:

Iz katere snovi je najverjetneje narejen predmet?

.....

4. Meritev gostote snovi s pomočjo sile vzgona

- V učbeniku preberi poglavje o vzgonu.
- S pomočjo vzgona izmeri gostoto dane tekočine.

Dani predmet obesi na vzmetno tehtnico in ga potopi v vodo v menzuri. Izmeri, za koliko se zmanjša njegova teža, ko ga potopiš v tekočino – to je sila vzgona. Sila vzgona pa je enaka teži tekočine, ki jo potopljeno telo izpodrine (Arhimedov zakon, $F_{vzgon} = \rho_{tekočina} \cdot V \cdot g$). Prostornino izpodrinjene tekočine določi iz dviga gladine tekočine v menzuri. Iz sile vzgona izračunaj gostoto tekočine.

Teža predmeta v zraku (F_g):

Teža predmeta v tekočini (F_t):

Prostornina predmeta (V):

Sila vzgona ($F_{vzgon} = F_g - F_t$):

Gostota tekočine:

Katera tekočina je to?

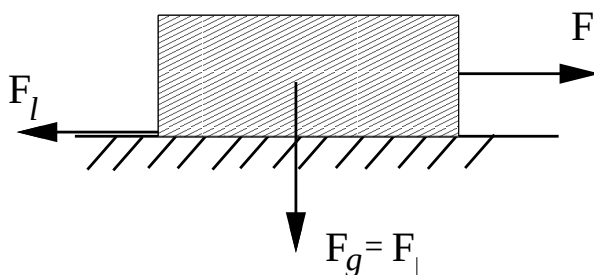
.....

- Premisli, ali bi lahko Arhimed enako kot za zlato krono določil tudi čistost srebrne krone. Pomagaj si s tabelo 1.1.

Tabela 1.1: Gostota nekaterih snovi pri $20\text{ }^{\circ}\text{C}$

Trdne snovi	Gostota [10^3 kg/m^3]	Kapljevine	Gostota [10^3 kg/m^3]
hrastov les	0,7 – 0,9	bencin	0,68
led ($0\text{ }^{\circ}\text{C}$)	0,917	etilni alkohol	0,79
polivinil	1,4	strojno olje	0,9
kost	1,8 – 2,0	voda ($4\text{ }^{\circ}\text{C}$)	1,00
beton	2	morska voda	$\approx 1,025$
steklo	2,2 – 2,9	kri	1,06
aluminij	2,70	glicerol	1,26
železo	7,88	živo srebro	13,55
medenina	8,6		
baker	8,93	Plini	Gostota
srebro	10,5	(1 bar)	[kg/m^3]
svinec	11,35	Zrak	1,29
zlato	19,31	Helij	0,179
platina	21,4	Ogljikov dioksid	1,98

5. Merjenje koeficienta lepenja



Slika 1.4: Klado na ravni podlagi vlečemo s silo F . Ko se klada premakne deluje na klado največja sila lepenja F_ℓ . Sila teže klade (F_g) pritiska pravokotno na podlago.

Klado, ki miruje na ravni podlagi pričnemo vleči, kot je prikazano na sliki 1.4. Silo vlečenja F povečujemo toliko časa, da se telo premakne. Tik pred tem je sila največja. To silo imenujemo sila lepenja (F_ℓ). Lepenje (besedo izgovarajmo *lepêenje*, podobno kot lebdenje ali sedenje) je torej sila trenja pri mirujočem predmetu.

Največja sila lepenja je odvisna od vrste obeh stičnih ploskev in od sile, ki ti dve ploskvi pritiska drugo ob drugo. To je sila, ki je pravokotna na obe ploskvi in jo zato označimo kot $F_\perp$. Če lastnosti obeh ploskev popišemo s količnikom lepenja (k_ℓ), je največja sila lepenja (F_ℓ):

$$F_\ell = k_\ell F_\perp. \quad (1.1)$$

Kadar telo miruje na vodoravni površini, kot na primer na sliki 1.4, je pravokotna sila ($F_\perp$) kar sila teže (F_g).

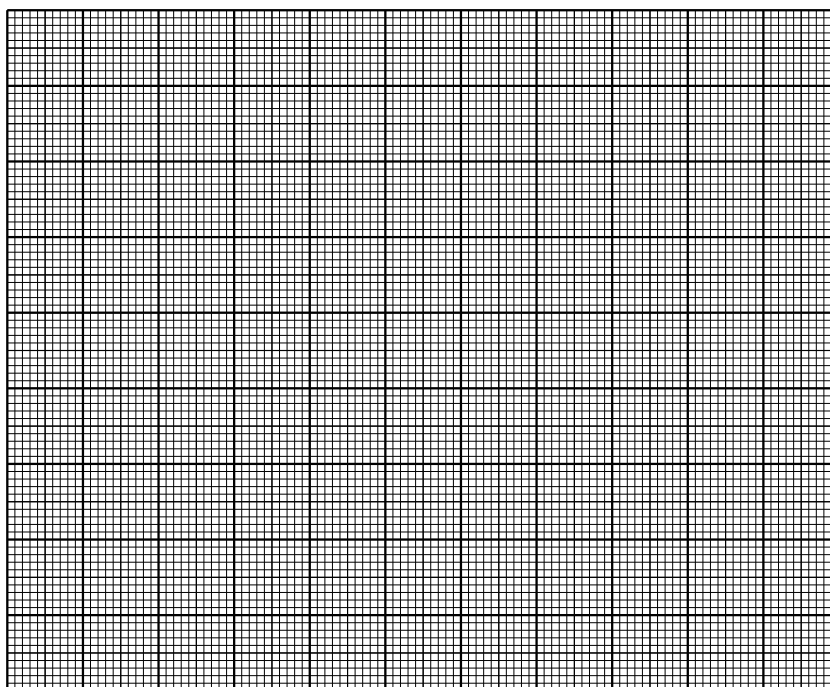
- Na ravno podlago položi klado. Prični jo zelo počasi vleči s silomerom. V trenutku, ko se klada odlepi od podlage, odčitaj vrednost na silomeru in jo vpiši v tabelo. Nato na klado položi utež in ponovi postopek merjenja. Meritev opravi s štirimi različnimi utežmi. Rezultate merjenja vnese v tabelo, pri tem je m skupna masa klade in uteži na njej.



Slika 1.5: Klado na ravni podlagi premaknemo s silo F .

m [kg]	$F_{\perp}$ [N]	F_{ℓ} [N]

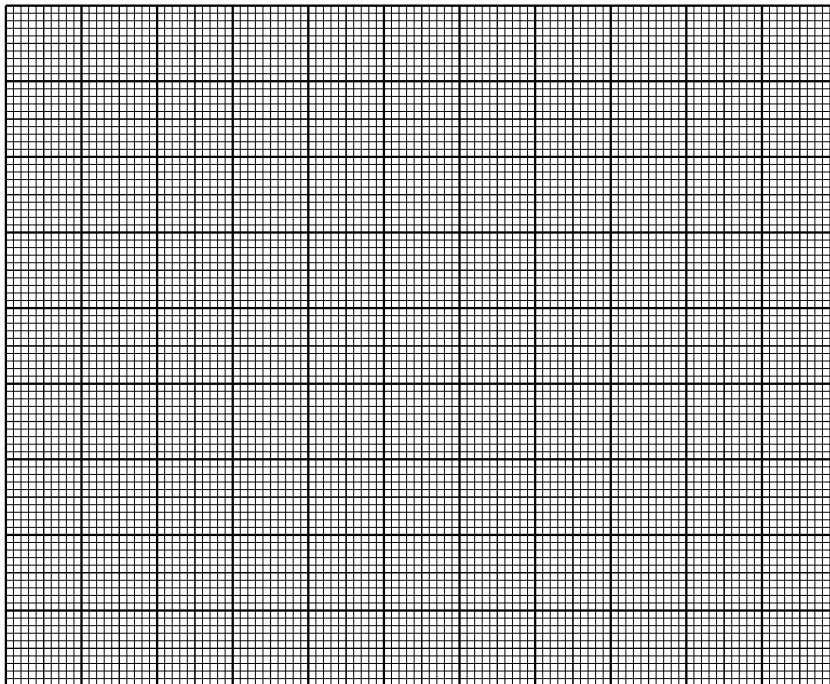
- Nariši odvisnost sile lepenja (F_{ℓ}) od pravokotne sile ($F_{\perp}$). Skozi točke nariši premico, ki se tem točkam najbolj prilega. Določi smerni koeficient te premice, ki je kar enak koeficientu lepenja (k_{ℓ}).



$k_{\ell} = \dots\dots\dots$

- Klado obrni za 90^0 okrog osi vlečenja in ponovi meritev.

m [kg]	$F_{\perp}$ [N]	F_{ℓ} [N]



$k_{\ell} = \dots\dots\dots$

- Silo lepenja primerjaj s silo lepenja, ki si jo dobil, ko je bila klada v stiku s podlago z največjo površino.

Kolikšna je razlika?

- Koeficient lepenja lahko izmerimo tudi tako, da klado položimo na klanec. Naklonski kot klanca φ povečujemo toliko časa, da prične klada drseti. To je mejni kot φ_m .

Velja:

$$k_\ell = \operatorname{tg} \varphi_m. \quad (1.2)$$

Postopek meritev mejnega kota ponovi štirikrat in vsakokrat izračunaj koeficient lepenja.

$\varphi_m [^\circ]$	k_ℓ

Izračunaj povprečno vrednost koeficienta lepenja in napako

$$k_\ell = \dots \pm \dots$$

- Primerjaj vrednost koeficienta lepenja, ki si jo dobil z meritvijo na klanecu, z rezultatom meritve z vlečenjem po ravni podlagi.

Tabela 1.2: Približne vrednosti nekaterih količnikov lepenja in trenja

Vrsta drsnih ploskev	Količnik lepenja (v mirovanju)	Količnik trenja (pri gibanju)
jeklo – jeklo	0,74	0,57
steklo – steklo	0,94	0,40
guma – beton (suh)	1,0	0,8
guma – beton (moker)	0,30	0,25
les – les	0,4	0,2
led – led	0,1	0,03
sklepi s sinovialno tekočino	0,01	0,01

- Primerjaj izmerjene vrednosti koeficienta lepenja s podatki v tabeli 1.2.
- Izračunaj silo, s katero pritiska klada pravokotno na klanec pri izmerjenem mejnem kotu.

6. Dodatna vprašanja

- (a) Imaš bakreno palico valjaste oblike. Njen premer je 2,3 cm, dolžina pa 112,3 cm.

Kolikšna je prostornina te palice?

Kolikšna je njena masa?

Kolikšna je natančnost tvojih meritev? Pazi, da rezultat pravilno zaokrožiš.

- (b) Maso pacienta lahko zapišeš kot 82 kg ali pa 82,0 kg. Pojasni razliko.

- (c) Višino pacienta si izmeril kot 182 cm. Kolikšni sta absolutna in relativna napaka?

- (d) Indeks telesne mase izračunaš tako, da deliš maso s kvadratom telesne višine. Izračunaj, kolikšen je ta indeks, če je masa človeka 63 kg in njegova višina 176,5 cm. Pazi, da rezultat pravilno zaokrožiš in ne pozabi na enote!

Ta indeks se najpogosteje podaja v enotah kg/m^2 , zato zapiši rezultat tudi v teh enotah.

(e) Pojasni, kaj je vzgon.

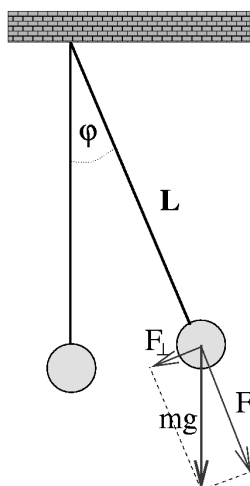
(f) Imaš železno kocko s stranico 10 cm. Kolikšni sta njena masa in teža?

(g) Železno kocko s stranico 10 cm položiš v vodo. Za koliko se bosta spremenili njeni teža in masa?

Vaja 2

ANALIZA MERITEV

Datum:



Slika 2.1: Matematično nihalo. Dokler so odmiki iz ravnovesne lege majhni, je nihanje uteži na vrvi harmonsko. Tedaj je frekvenca nihanja (ν) odvisna le od dolžine vrvice (L) in težnostnega pospeška (g): $\nu = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{g}{L}}$.

V tej vaji si bomo ogledali, kako lahko s pomočjo meritev ugotovimo splošno zvezo med količinami. Za primer bomo vzeli matematično nihalo. To je zelo majno telo, obešeno na dolgi, lahki vrvi. Ko telo odmaknemo iz ravnovesne lege in spustimo, zaniha. Z opazovanjem lahko ugotovimo, da je čas enega nihaja (nihajni čas, T) takega nihala odvisen od dolžine vrvice (L). Kakšna pa je ta odvisnost, bomo poskusili ugotoviti z meritvami.

1. V učbeniku preberi poglavje o nihanju.

Seznani se z osnovnimi pojmi, kaj so nihajni čas, frekvenca, amplituda nihanja. Nato natančno preberi poglavje o matematičnem nihalu. Ali razumeš odvisnost frekvence nihanja od dolžine vrvice nihala?

Zapiši, kako je odvisen nihajni čas matematičnega nihala od dolžine vrvice.

2. Ponovitev računanja

- Ponovi osnovne lastnosti logaritmov.

Z $\log$ bomo označevali desetiške logaritme, z $\ln$ pa naravne. V čem je razlika med njimi?

Izračunaj:

$$\log 10 = \dots\dots\dots$$

$$\log 1000 = \dots\dots\dots$$

$$\log 0,01 = \dots\dots\dots$$

$$\log x^n = \dots\dots\dots$$

$$\log \sqrt{x} = \dots\dots\dots$$

- Kaj pomenijo zapisi:

$$10^{-1} = \dots\dots\dots$$

$$2^{-3} = \dots\dots\dots$$

$$4^{\frac{1}{2}} = \dots\dots\dots$$

$$2^{-\frac{1}{3}} = \dots\dots\dots$$

3. Analiza nihanja matematičnega nihala

Zelo splošno lahko zapišemo odvisnost nihajnega časa od dolžine vrvice kot

$$T = bL^k, \quad (2.1)$$

kjer sta b in k še neznani konstanti.

Če levo in desno stran te enačbe logaritmiramo, dobimo

$$\log T = \log b + k \log L. \quad (2.2)$$

Če to enačbo primerjamo z enačbo premice: $y = kx + n$ ter imenujemo $\log T = y$ in $\log L = x$, vidimo, da je gornja enačba ravno enačba premice s smernim koeficientom k in konstanto $n = \log b$:

$$y = \log b + kx. \quad (2.3)$$

Če torej narišemo logaritme izmerjenih nihajnih časov ($\log T$) kot funkcijo logaritma dolžine vrvice nihala ($\log L$), dobimo premico, iz katere lahko določimo parametra b in k .

Kakšne vrednosti pa pričakujemo za koeficienta b in k ?

Če je nihajoče telo res zelo majhno in so odmiki veliko manjši od dolžine vrvic, iz teorije nihanja že poznamo zvezo:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{L}{g}}, \quad (2.4)$$

kjer je g težnostni pospešek.

Logaritmiranje te enačbe nam da

$$\log T = \log \frac{2\pi}{\sqrt{g}} + \log \sqrt{L}. \quad (2.5)$$

Če upoštevamo še, da je $\log \sqrt{L} = \frac{1}{2} \log L$, dobimo končno

$$\log T = \log \frac{2\pi}{\sqrt{g}} + \frac{1}{2} \log L. \quad (2.6)$$

Primerjajmo sedaj ta izraz z enačbo 2.2! Ugotovimo, da sta naši konstanti

$$b = \frac{2\pi}{\sqrt{g}}, \quad k = \frac{1}{2}. \quad (2.7)$$

4. Meritev nihajnih časov

- Izmeri nihajni čas nihala pri štirih različnih dolžinah vrvic. Tega najlažje izmeriš tako, da nihalo zanihaš in meriš čas večjega števila nihajev (npr. deset ali dvajset) in nato izračunaš čas enega nihaja. Vsako meritev trikrat ponovi.

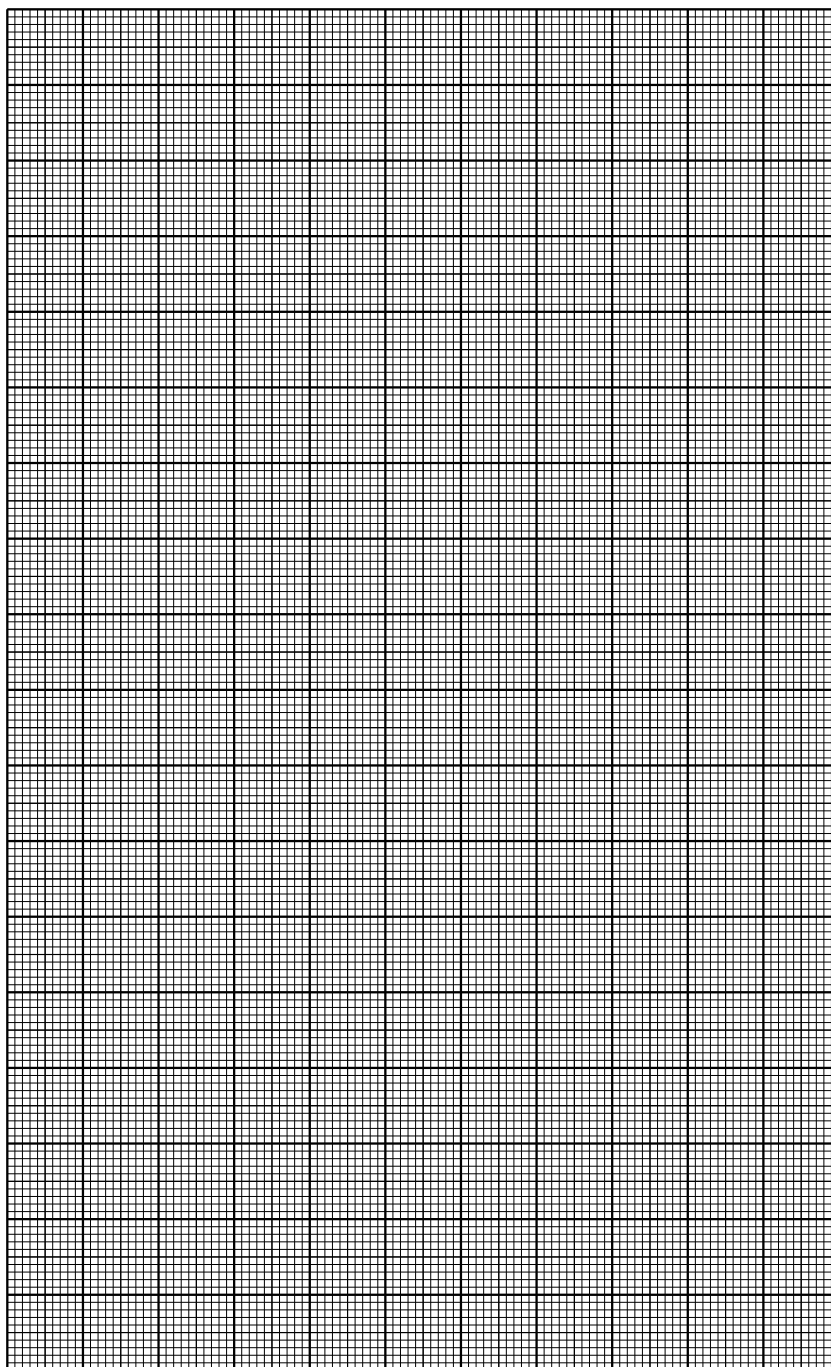
	Dolžina vrvic(L) [cm]	1. nihajni čas [s]	2. nihajni čas [s]	3. nihajni čas [s]	Povprečni nihanjski čas [s]
1					
2					
3					
4					

- Izračunaj logaritme dolžine vrvic in nihajnega časa.

	Dolžina vrvice (L) [cm]	Povprečni nihanjski čas (T) [s]	$\log(L)$	$\log(T)$
1				
2				
3				
4				

- Na milimetrski papir nariši odvisnost logaritma nihajnega časa od logaritma dolžine vrvic. Iz takega 'log-log' grafa določi smerni koeficient (k) in sečišče premice z ordinatno osjo (n). Iz tega lahko dobimo funkcijsko odvisnost med nihajnim časom in dolžino vrvic, tj. konstanti b in k . Pogled na enačbo 2.2 nam namreč pove, da je $n = \log b$.

Nasvet: Za lažjo določitev presečišča premice z ordinatno osjo (y) nariši abscisno os (x) na sredini diagrama.



Rezultat:

$n = \dots\dots\dots$

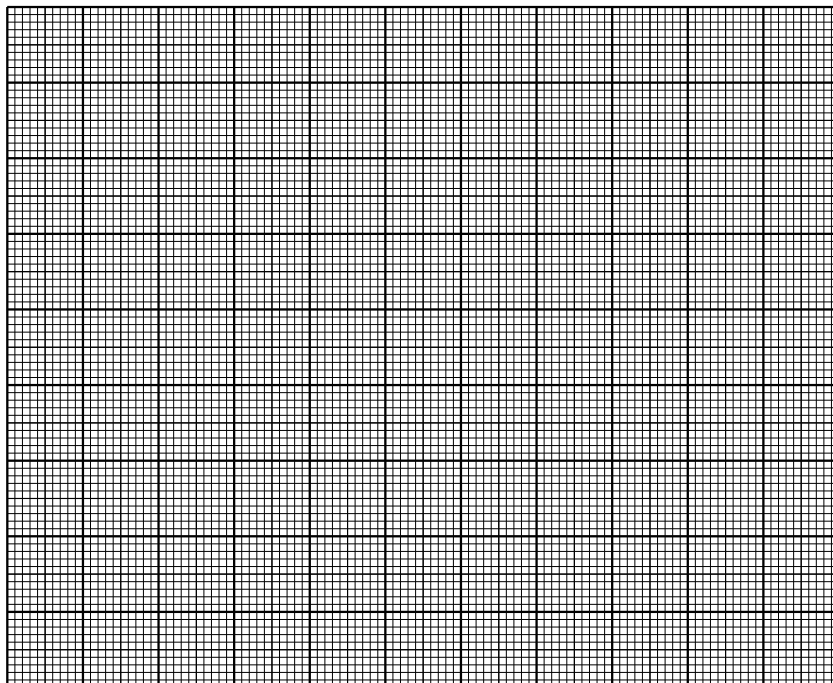
$k = \dots\dots\dots$

$b = \dots\dots\dots$

Opombe:

- Iz dobljene konstante b po enačbi 2.7 določi težnostni pospešek (g). Primerjaj to vrednost s poznanim težnostnim pospeškom v Ljubljani.
- Primerjaj pričakovano vrednost eksponenta ($k = \frac{1}{2}$) z rezultatom svoje meritve.
- Težnostni pospešek lahko iz svojih meritev še natančneje določiš, če privzameš, da velja zveza 2.4 in je torej eksponent dolžine (k) točno $\frac{1}{2}$, kot napoveduje teorija.
Izračunaj in nariši odvisnost nihajnega časa (T) od kvadratnega korena dolžine vrvice. Določi smerni koeficient dobljene premice in iz njega težnostni pospešek.

	Dolžina vrvice (L) [cm]	Povprečni nihanjni čas (T) [s]	$\sqrt{L}$
1			
2			
3			
4			



Zapiši enačbo 2.4. Primerjaj jo s svojo sliko. Kaj je smerni koeficient narisane premice?

Rezultat:

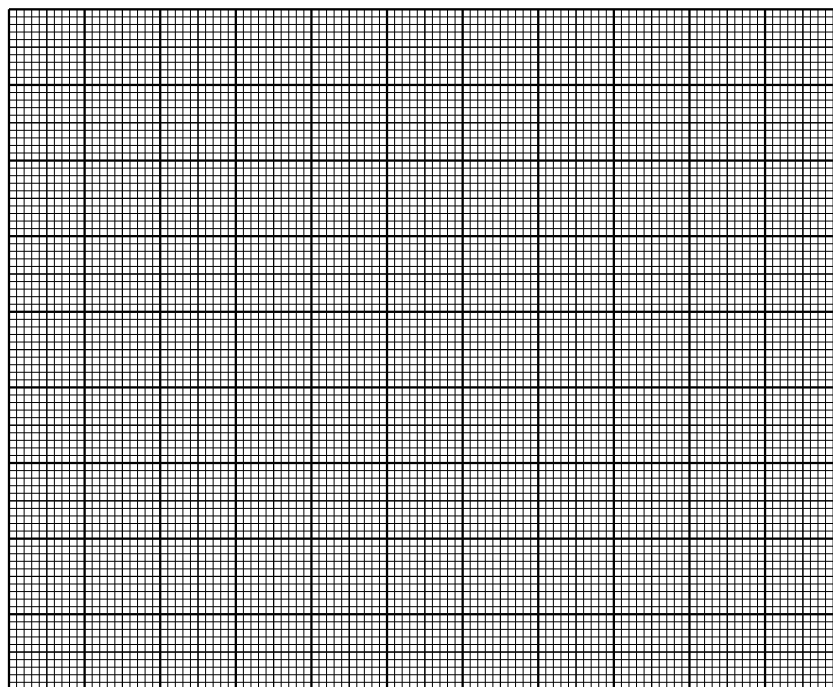
$$g = \dots\dots\dots$$

Opombe:

5. Primerjava meritev in računov

Po enačbi za matematično nihalo izračunaj nihajne čase za izmerjene dolžine vrvice in jih primerjaj s svojimi meritvami. Zakaj misliš, da pride do razlik? Nariši tudi odvisnost izračunanih in izmerjenih nihajnih časov od dolžine vrvice.

	Dolžina vrvice (L) [cm]	Povprečni izmerjeni nihanjski čas (T) [s]	Izračunani nihanjski čas [s]
1			
2			
3			
4			



Opombe:

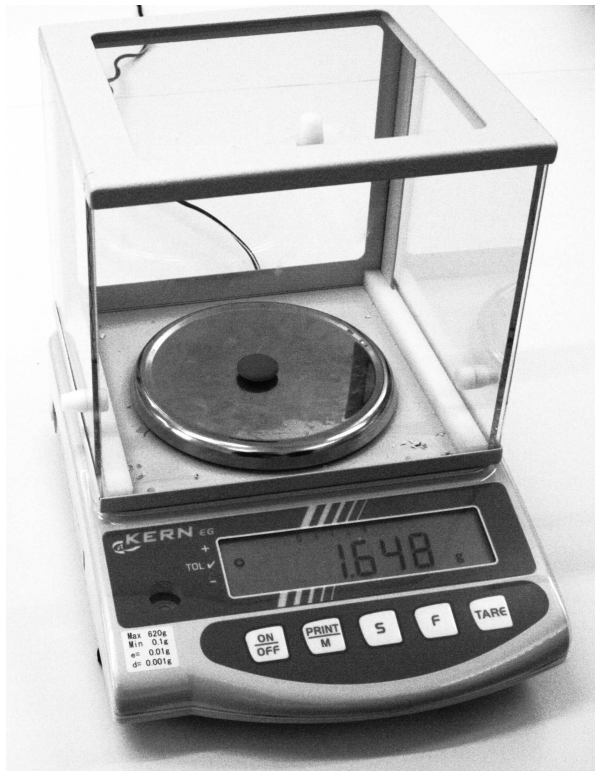
6. Dodatna vprašanja

- (a) Po enačbi za matematično nihalo izračunaj nihajni čas in frekvenco nihanja uteži, ki visi na 1 m dolgi vrvici.
- (b) Ali bi bila frekvenca takega nihala na vrhu Mount Everesta kaj drugačna kot v Ljubljani? Zakaj?
- (c) Skiciraj primer vzmetnega nihala.
- (d) Od česa je odvisen nihajni čas vzmetnega nihala?
- (e) Nihalo zaniha petdesetkrat v sekundi. Kolikšen je nihajni čas takega nihala?
- (f) Kako bi se spremenili frekvenci matematičnega in vzmetnega nihala, če bi ju nesli na Luno?

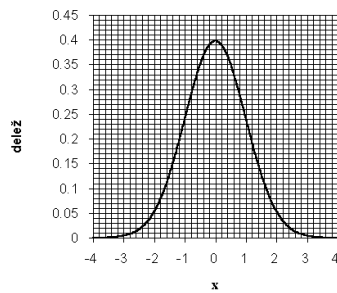
Vaja 3

OSNOVE STATISTIKE

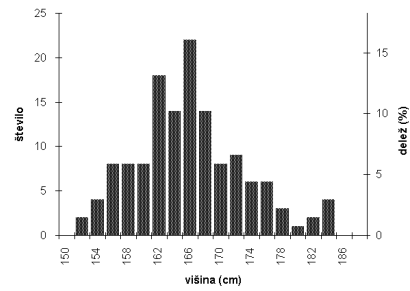
Datum:



Slika 3.1: Laboratorijska tehtnica. Vključiš jo s pritiskom na levi gumb (ON/OFF), malo počakaš in nato nastaviš ničlo s pritiskom na rdeči desni gumb (TARE). Nato položiš predmet na tehtnico in prebereš na zaslonu maso v gramih.



Slika 3.2: Gaussova ali normalna porazdelitev za povprečno vrednost $\bar{x} = 0$ in $\sigma = 1$



Slika 3.3: Primer frekvenčne porazdelitve, podane v obliki histograma. Graf prikazuje porazdelitev študentov po višini.

1. Preberi v učbeniku poglavje o statistiki.
2. Osnove statistike si bomo ogledali na primeru analize mase in velikosti bonbonov.

V trgovini kupi zavitek majhnih bonbonov enake oblike in velikosti. Potrebuješ vsaj 50 bonbonov. Bonbone prešteješ, stehtaj in izmeri njihove premere. Rezultate vneseš v tabelo. Za tehtanje uporabi električno tehtnico (slika 3.1), premere pa izmeri s kljunastim merilom na 0,1 mm natančno (slika 1.2).

[illegible]

[illegible]

[illegible]

Opombe:

3. Analiza mase bombonov

- Najprej analiziraj porazdelitev mase. Izračunaj povprečno maso, odklon vsake meritve od povprečne vrednosti, standardni odklon in standardno napako (napako povprečne vrednosti).

Rezultat:

Število vseh bombonov je

Povprečna masa bombonov je

Standardni odklon mase bombonov je

Standardna napaka mase bombonov je

Opombe:

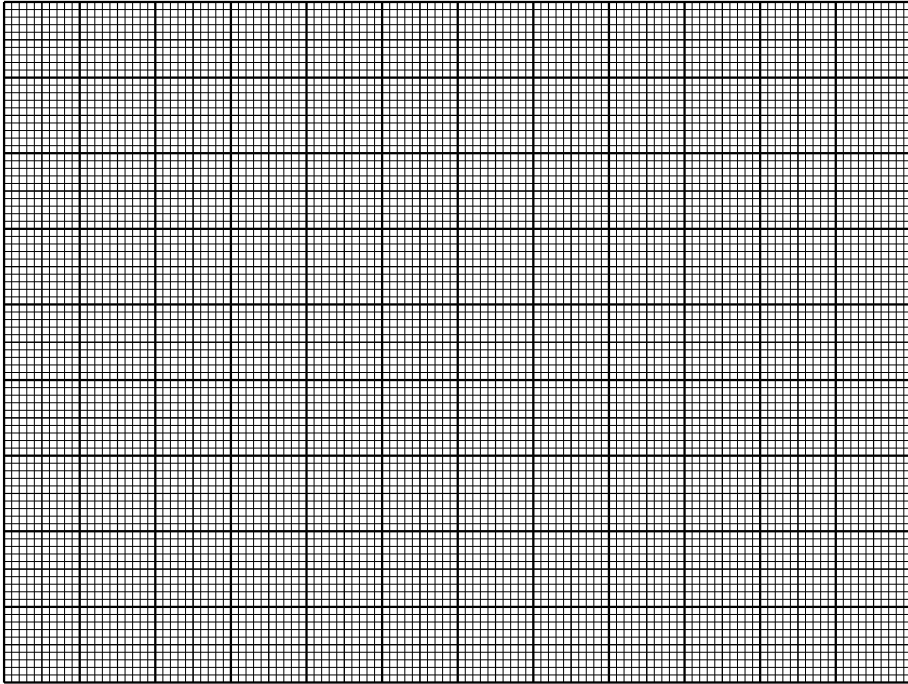
- Narisali bomo frekvenčno porazdelitev mase bombonov.

Poišči največjo in najmanjšo maso. Interval med njima razdeli na približno deset enakih delov. Nato preštej, koliko meritev pride na vsak interval. Določi deleže meritev v posameznem intervalu. Te izračunaš tako, da deliš število meritev v posameznem intervalu s celotnim številom meritev. Če to pomnožiš s 100, dobiš delež meritev v posameznem intervalu, izražen v odstotkih.

	Interval mase		Število meritev	Delež %
	Začetek [g]	Konec [g]		

Opombe:

- Nariši frekvenčno porazdelitev meritev mase kot histogram.



- Ali je to enostavna simetrična Gaussova porazdelitev?
- Oцени iz tabele, kolikšen je delež vseh meritev, ki so znotraj intervala, ki ga določa standardni odklon mase bonbonov?

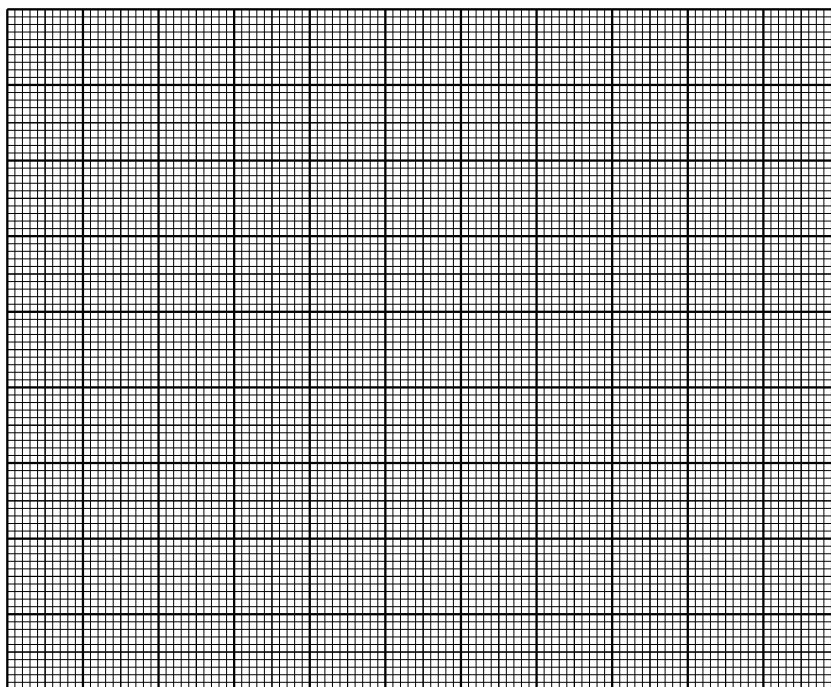
- Narisali bomo še kumulativno frekvenčno porazdelitev mase bonbonov. To je porazdelitev števila bonbonov, ki imajo maso večjo od izbrane.

Celoten interval meritev razdeli na dvajset do trideset enakomernih delov. Vnesi začetne vrednosti teh intervalov v tabelo. Nato preštej, koliko je vseh bonbonov, katerih masa je večja od teh vrednosti. Izračunaj ustrezne deleže in nariši porazdelitev.

[illegible]

	Masa [g]	Število meritev z večjo maso	Delež %

Opombe:



Opombe:

4. Analiza premerov bombonov

- Podobno kot maso, bomo analizirali tudi porazdelitev premerov bombonov.

Izračunaj povprečen premer, odklon vsake meritve od povprečne vrednosti, standardni odklon in standardno napako (napako povprečne vrednosti).

Rezultat:

Število vseh bombonov je

Povprečen premer bombonov je

Standardni odklon premera bombonov je

Standardna napaka premera bombonov je

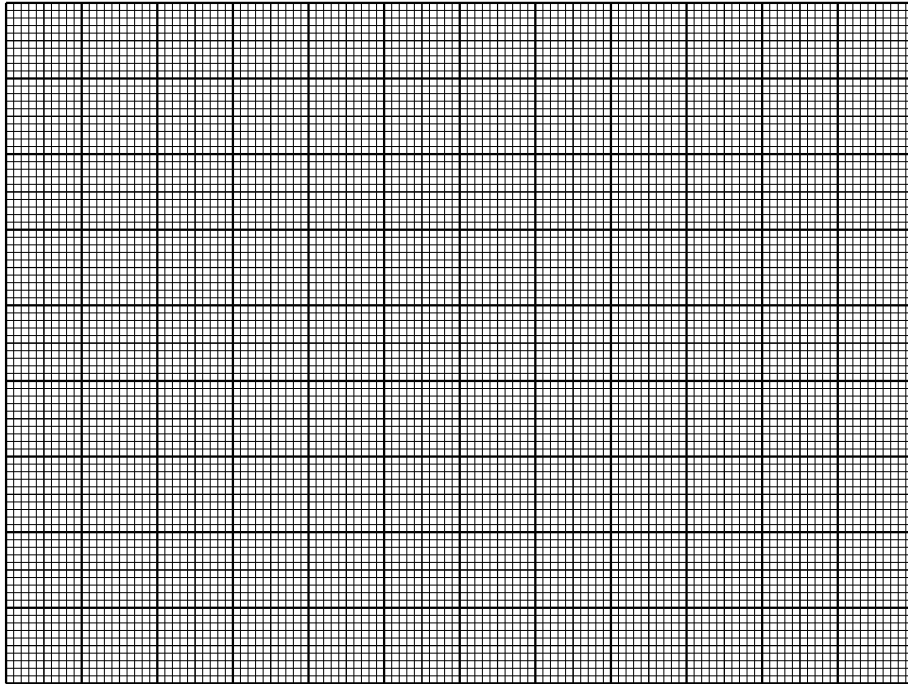
Opombe:

- Podobno kot zgoraj, bomo narisali frekvenčno porazdelitev premera bonbonov.

	Interval premera		Število meritev	Delež %
	Začetek [mm]	Konec [mm]		

Opombe:

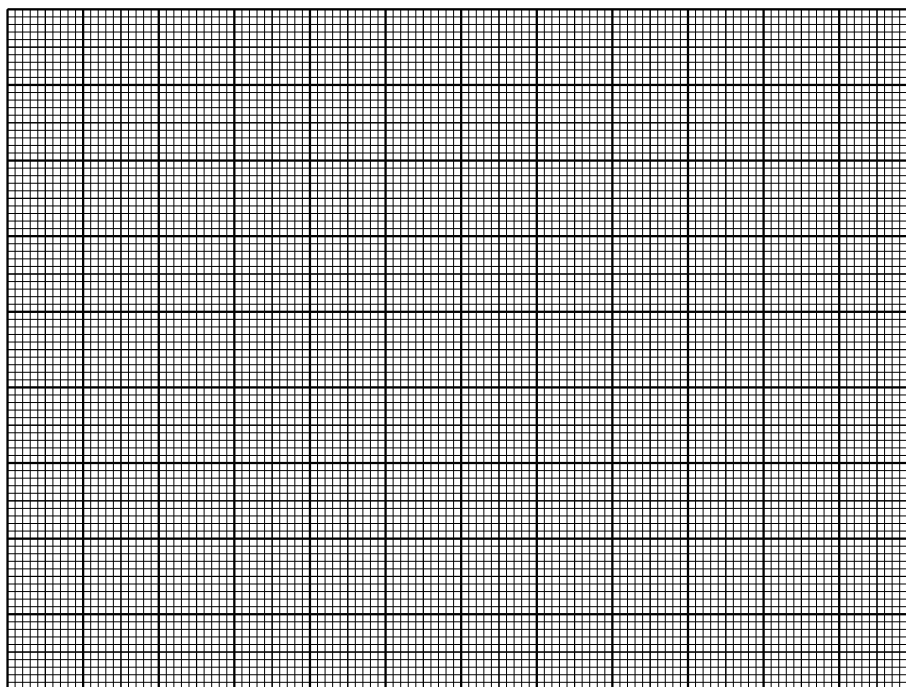
- Nariši še frekvenčno porazdelitev meritev premera kot histogram.



- Ali je to enostavna Gaussova porazdelitev?
- Oцени iz tabele, kolikšen je delež vseh meritev, ki so znotraj intervala, ki ga določa standardni odklon premera bonbonov?

	Premer [mm]	Število meritev z večjim premerom	Delež %

Opombe:



Opombe:

5. Dodatna vprašanja

- (a) Kako izračunamo povprečno vrednost merjenih rezultatov?
- (b) Kaj sta standardni odklon in standardna napaka meritve?
- (c) Kaj pomenijo naslednji zapisi? Napiši vse člene v navedenih vsotah.

$$\sum_{i=1}^4 m_i =$$

$$\sum_{j=1}^2 a_j^2 =$$

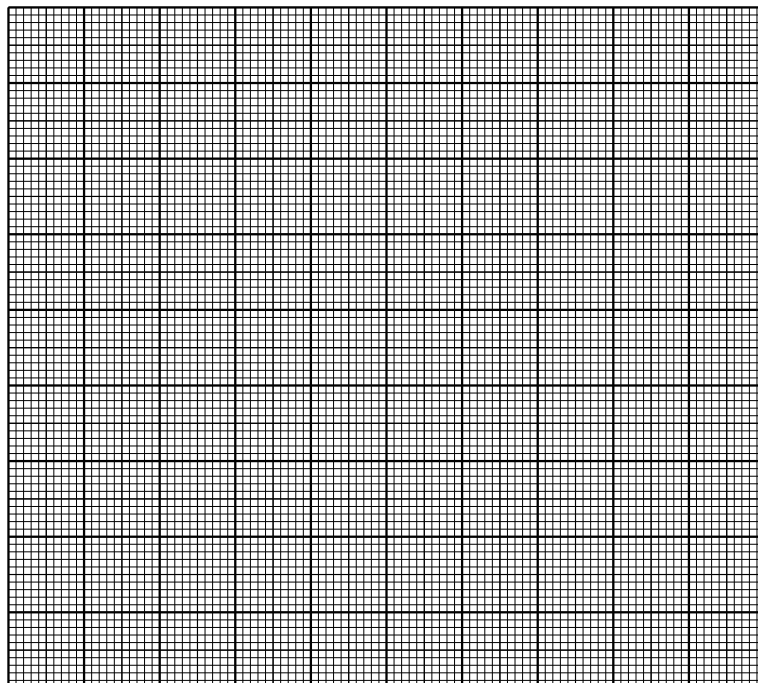
- (d) Izmeril si vrednosti:
 $m_i = 2, 1, 6, 7, 3$.
Izračunaj povprečno vrednost in standardni odklon.

Za to meritev izračunaj vrednosti vsot:

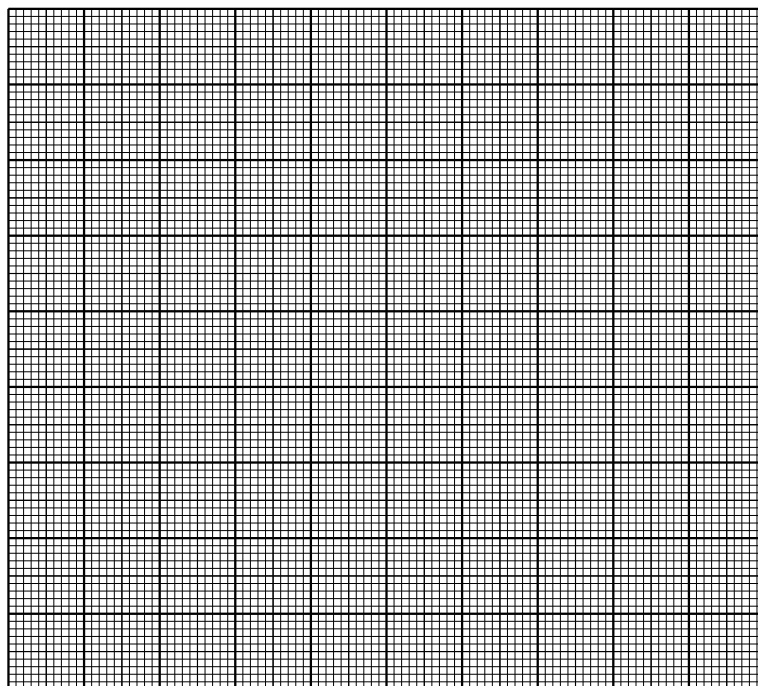
$$\sum_{i=1}^4 m_i =$$

$$\sum_{i=1}^2 2m_i^2 =$$

(e) Nariši funkcijo $y = 3x^2 - 2$.



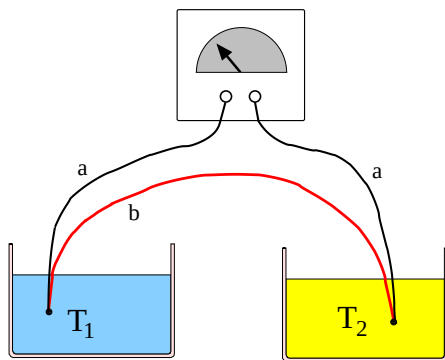
(f) Nariši funkcijo $y = 4 - 2x$.



Vaja 4

TOPLOTA

Datum:



Slika 4.1: Termočlen je sestavljen iz dveh stikov različnih kovin (a in b). Z njim lahko merimo razliki temperatur obeh stikov ($T_1 - T_2$).

1. V učbeniku preberi poglavje o temperaturi in toploti.
2. Merjenje temperature
 - Naštej vrste termometrov.

- Na sliki 4.1 je prikazan termičlen. Opiši, kako deluje!

- Zapiši v stopinjah Kelvina:

$$0\text{ }^{\circ}\text{C} = \dots\dots\dots K$$

$$100\text{ }^{\circ}\text{C} = \dots\dots\dots K$$

$$20\text{ }^{\circ}\text{C} = \dots\dots\dots K$$

$$-20\text{ }^{\circ}\text{C} = \dots\dots\dots K$$

- Zapiši v stopinjah Celzija:

$$77\text{ }K = \dots\dots\dots\text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$300\text{ }K = \dots\dots\dots\text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$0\text{ }K = \dots\dots\dots\text{ }^{\circ}\text{C}$$

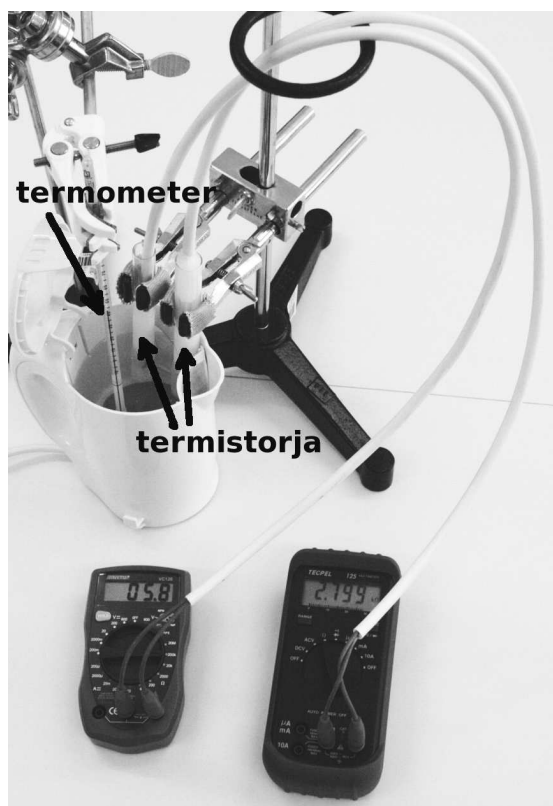
$$400\text{ }K = \dots\dots\dots\text{ }^{\circ}\text{C}$$

3. Umeritev termistorja

Električni upor, ki ga uporabljamo za merjenje temperature, imenujemo **termistor**. Vemo, da se električna upornost vseh snovi spreminja s temperaturo. Kadar so spremembe temperature majhne, lahko odvisnost upornosti R od spremembe temperature $(T - T_0)$ zapišemo kot

$$\frac{R - R_0}{R_0} = \alpha (T - T_0), \quad (4.1)$$

kjer je R_0 upornost pri izbrani začetni temperaturi T_0 in α temperaturni koeficient upora. Pri kovinah je temperaturni koeficient α pozitiven, pri polprevodnikih in elektrolitih pa je negativen. To pomeni, da se pri kovinah s povečevanjem temperature električna upornost povečuje, pri polprevodnikih in elektrolitih pa zmanjšuje. Obstajajo pa tudi snovi, pri



Slika 4.2: Umeritev dveh termistorjev hkrati - merimo upornost termistorja v odvisnosti od temperature.

katerih je koeficient α zelo majhen in se zato njihova električna upornost s temperaturo zelo malo spreminja. Taki sta na primer zlitini imenovani konstantan in manganin.

Vsak električni upor, ki ima primerno velik temperaturni koeficient lahko seveda uporabljamo kot termistor – z njim lahko merimo temperaturo.

Če želimo s termistorjem izmeriti temperaturo, ga moramo najprej umeriti.

- Hladno vodo iz vodovodne pipe nalij v električni kuhalnik.
- Termistor priključi na merilnik upornosti in ga potopi v vodo. V vodo potopi tudi tekočinski termometer.
- Električni kuhalnik priključi na električno napetost.
- Ko voda doseže temperaturo $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ odčitaj električno upornost. Postopek ponovi vsakih $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ in rezultate vpiši v tabelo. Meritev končaj pri temperaturi vode $70\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- Meritev ponovi še z drugim termistorjem.

Prvi temistor:

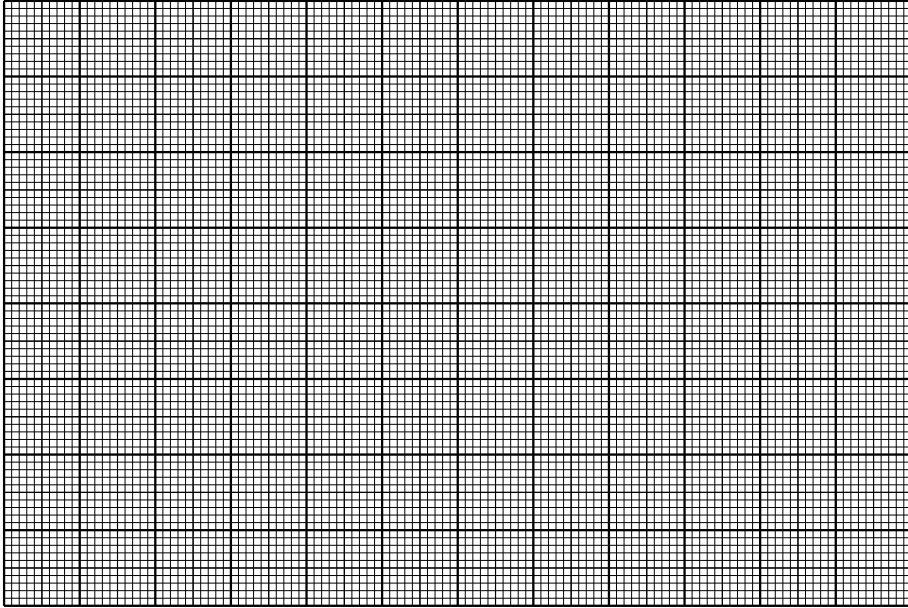
Temperatura [$^{\circ}\text{C}$]	Upornost R [$k\Omega$]	$\frac{R-R_0}{R_0}$	$T - T_0$ [$^{\circ}\text{C}$]
$T_0 = 25$	$R_0 =$		
30			
35			
40			
45			
50			
55			
60			
65			
70			

Drugi termistor:

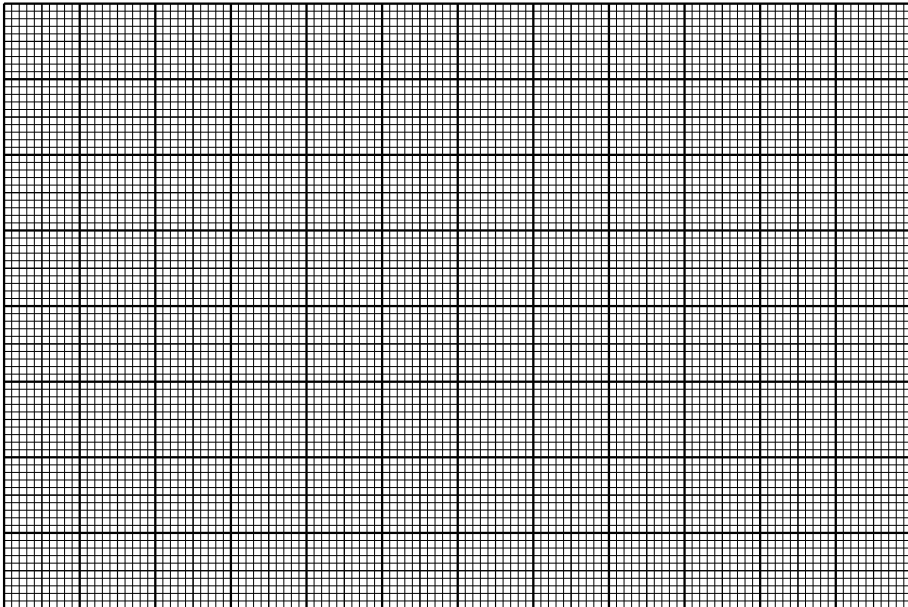
Temperatura [$^{\circ}C$]	Upornost R [$k\Omega$]	$\frac{R-R_0}{R_0}$	$T - T_0$ [$^{\circ}C$]
$T_0 = 25$	$R_0 =$		
30			
35			
40			
45			
50			
55			
60			
65			
70			

- Nariši umeritveni krivulji obeh termistorjev, to je odvisnosti relativne spremembe upornosti ($\frac{R-R_0}{R_0}$) od razlike temperatur ($T - T_0$).

Prvi termistor:



Drugi termistor:



- Iz grafov določi smerna koeficienta premice za prvi in drugi termistor, ki sta po enačbi 4.1 kar enaka temperaturnima koeficientoma upornosti α .

$$\alpha_1 = \dots\dots\dots$$

$$\alpha_2 = \dots\dots\dots$$

Ne pozabi na enote!

4. Temperatura zmesi

- Izračunaj, koliko toplote odda 500 *ml* vode, ki se ohladi za 10 °C.

- Izračunaj, za koliko stopinj bi v prejšnjem primeru oddana toplota segrela 100 *ml* vode.

- Izračunaj, kolikšna bo temperatura vode, ki jo dobimo, če 500 *ml* vode s temperaturo 20 °C dolijemo 200 *ml* vode pri 60 °C.

5. Meritev zmesne temperature vode

- V toplotno izolirano posodo nalij 400 *ml* vode iz vodovoda in počakaj, da se temperatura ustali.

Temperatura vode je

- Izračunaj, koliko vode pri 50 °C moraš doliti, da bo skupna temperatura 30 °C.

Potrebna količina vode je

- Z mešanjem vroče in mrzle vode pripravi v čaši vodo s temperaturo 50 °C.
- Odmeri izračunano količino vode pri 50 °C in jo dolij v toplotno izolirano posodo. Vodo dobro premešaj in izmeri njeno temperaturo.

Temperatura zmesi je

- Ali se ta ujema z izračunano? Zakaj bi lahko prišlo do razlike?

6. Specifična toplota

Toplota (Q), potrebna, da segrejemo predmet z maso m za razliko temperatur ΔT , je odvisna od specifične toplote snovi (c):

$$Q = mc\Delta T.$$

- Izračunaj, kolikšna bo končna temperatura vode, ki jo dobimo, če 500 ml vode pri 15 °C dodamo na 50 °C segreto bakreno utež z maso 100 g. Vse potrebne podatke poišči v učbeniku Biomehanika (Tabela 13.3, stran 212).

Končna temperatura vode bo

7. Meritev specifične toplote kovinskega predmeta

- Na laboratorijski tehcnici stehtaj kovinski predmet, katerega specifično toploto želiš izmeriti.

Masa predmeta je

- Kovinski predmet položi v posodo z vodo in jo segrevaj na kuhalniku, dokler voda ne zavre. Pri tem pazi, da se kovina ne dotika sten posode. Pusti vodo vreti nekaj časa, da se temperaturi kovinskega predmeta in vode izenačita. Izmeri temperaturo vode.

Temperatura vrele vode je

- Medtem v toplotno izolirano posodo nalij 300 ml vode iz vodovoda. Natančno izmeri njeno temperaturo.

Temperatura vode iz vodovoda je

- Kovinski predmet v vreli vodi primi s prijemalko in ga položi v toplotno izolirano posodo. Dobro premešaj in počakaj, da se temperatura ustali. Odčitaj končno temperaturo vode.

Končna temperatura vode je

- Izračunaj specifično toploto kovinskega predmeta.

Specifična toplota kovine je

- Rezultat primerjaj s podatki v učbeniku.

8. Toplotna prevodnost

Gostota toplotnega toka skozi steno posode z debelino ℓ je odvisna od toplotne prevodnosti λ in razlike temperatur med notranjostjo in zunanostjo ΔT (glej: Biomehanika, stran 219):

$$j = \frac{Q}{t \cdot S} = \lambda \frac{\Delta T}{\ell}.$$

- Izračunaj, kolikšna bi bila gostota toplotnega toka skozi 0,3 cm debelo stekleno steno posode v obliki kocke s stranicami 10 cm, če je zunanja temperatura za 30 °C nižja od notranje. Potrebne podatke poišči v učbeniku Biomehanika (Tabela 13.7, stran 220).

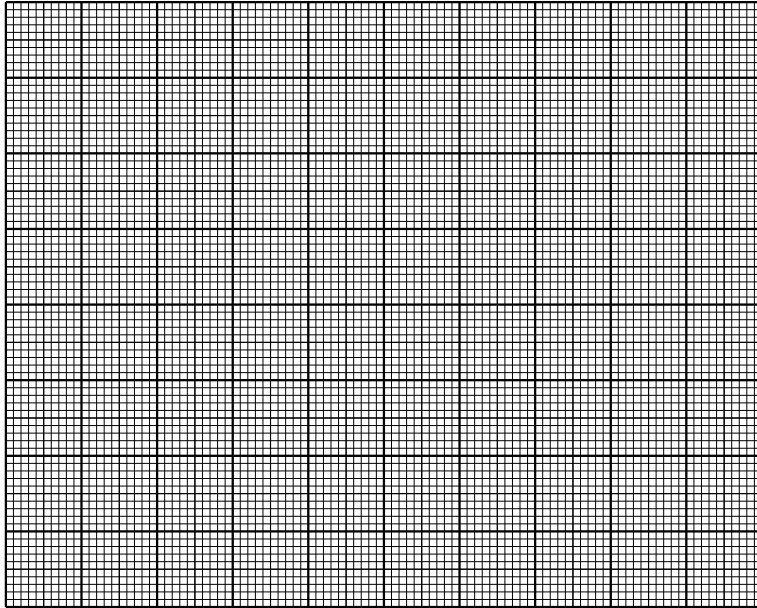
- Če bi bila v prejšnjem primeru v posodi voda, oceni, koliko bi se ta ohladila v prvi sekundi.

9. Meritev toplotne prevodnosti sten posode

- Plastično kroglo napolni z vodo pri temperaturi približno 60°C . Med mešanjem vsakih pet minut izmeri, kako se spreminja temperatura vode v sredini krogle.

[illegible]

- Nariši, kako se s časom voda v krogli ohlaja. Vriši premico, ki se najboljše prilega izmerjenim točkam.



- Izmeri temperaturo zraka v laboratoriju.

$$T_z = \dots\dots\dots$$

- Izlij vodo iz plastične krogle v merilni valj in izmeri njeno prostornino.

$$\text{Prostornina vode} = \dots\dots\dots$$

- Izmeri premer ($2r$) in debelino stene (ℓ) plastične krogle.

$$2r = \dots\dots\dots$$

$$\ell = \dots\dots\dots$$

- Izračunaj površino krogle (S) in z računom preveri njeno prostornino (V).

$$S = \dots\dots\dots$$

$$V = \dots\dots\dots$$

- Iz premice na grafu določi, za koliko stopinj (ΔT_1) se je voda ohladila v prvi minuti.

$$\Delta T_1 = \dots\dots\dots$$

- Izračunaj, koliko toplote ($Q = mc\Delta T_1$) je pri ohlajanju oddala voda v prvi minuti.

$$Q = \dots\dots\dots$$

- Izračunaj še, kolikšen je bil na začetku toplotni tok ($P = Q/t$) in gostota toplotnega toka ($j = \frac{P}{S}$) skozi steno krogle.

$$P = \dots\dots\dots$$

$$j = \dots\dots\dots$$

- Iz toplotnega toka, razlike temperatur med vodo in zrakom in velikosti posode izračunaj toplotno prevodnost (λ) stene krogle.

$$\lambda = \dots\dots\dots$$

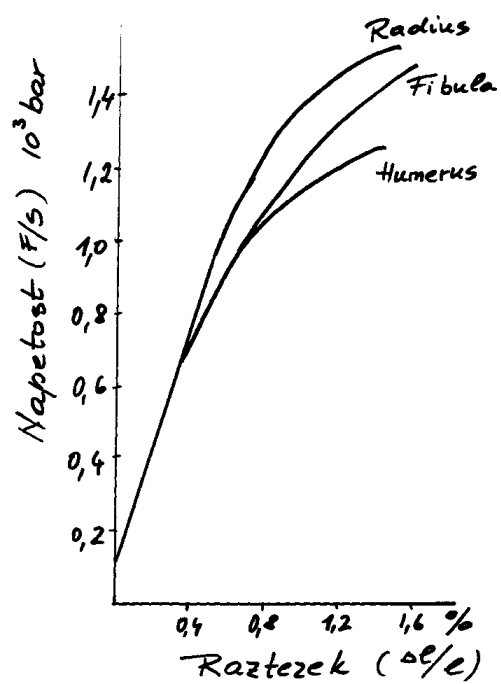
- Rezultat primerjaj s podatki v tabeli.

Vaja 5

ELASTIČNOST

Datum:

Slika 5.1: Odvisnost napetosti od raztezka za nekatere kosti



1. Preberi v učbeniku poglavje o elastičnosti in deformacijah.

2. Odgovori na vprašanja:

- Kaj je Hookov zakon?

- Kakšna je zveza med napetostjo in relativnim raztezkom pri obremenjevanju žice? Napiši enačbo in skiciraj graf.

- Kaj je modul elastičnosti?

3. Raztezek vzmeti

Navpično pritrjeno vzmet obremenjuj tako, da nanjo obešaš različne uteži.

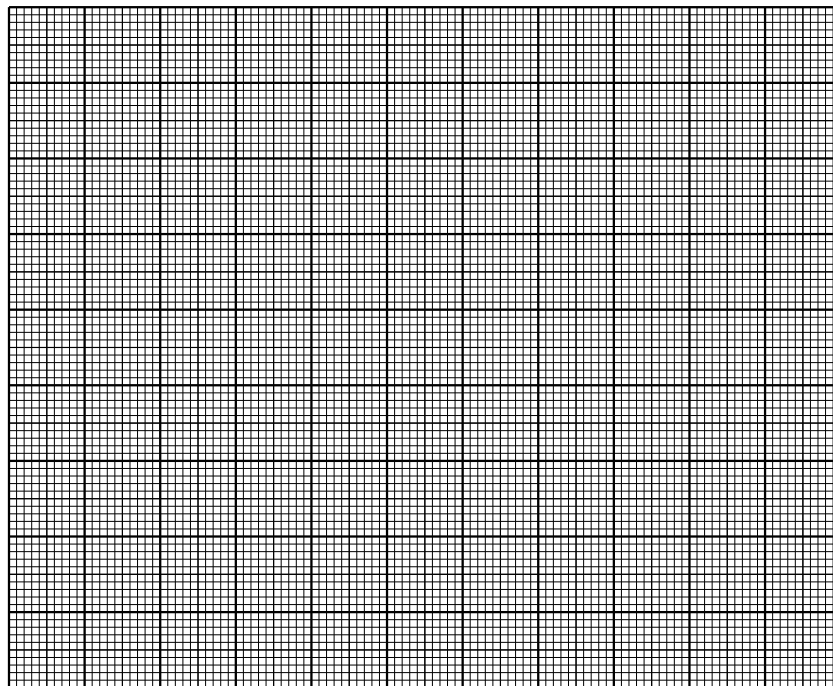
Masa uteži [g]	Teža uteži [N]	Raztezek vzmeti [mm]	

Opombe:

Nariši odvisnost sile (teže uteži) od raztezka vzmeti. Iz grafa določi konstanto vzmeti (α), kot jo določa Hookov zakon:

$$F = \alpha \Delta \ell, \quad (5.1)$$

kjer je F sila, $\Delta \ell$ raztezek in α razteznostni koeficient žice.



Konstanta vzmeti: $\alpha = \dots\dots\dots$

(Pazi na enote pri določanju konstante vzmeti!)

4. Nihanje vzmeti

Preberi v učbeniku poglavje o nihanju. Seznani se z osnovnimi pojmi, kaj so nihajni čas, frekvenca, amplituda nihanja. Nato natančno preberi poglavje o vzmetnem nihalu.

- Ali razumeš odvisnost frekvence nihanja od konstante vzmeti?

$$\nu = \sqrt{\frac{\alpha}{m}}$$

Nihajni čas pa je tedaj

$$T = \frac{1}{\nu} = 2\pi \sqrt{\frac{m}{\alpha}} = \frac{2\pi}{\sqrt{\alpha}} \sqrt{m}.$$

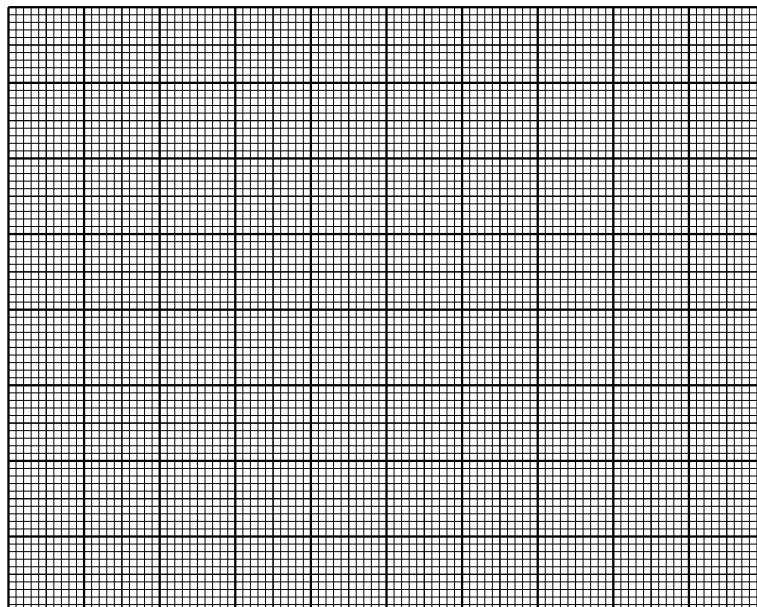
Vidimo, da je nihajni čas sorazmeren kvadratnemu korenu mase uteži. Sorazmernostna konstanta pa je enaka $\frac{2\pi}{\sqrt{\alpha}}$. Če torej narišemo graf odvisnosti nihajnega časa (T) kot funkcijo $\sqrt{m}$, dobimo premico s smernim koeficientom $\frac{2\pi}{\sqrt{\alpha}}$.

- Na vzmet obesi utež, jo odmakni iz ravnovesne lege navzdol in spusti, da zaniha. S stoparico določi nihajni čas vzmeti. To najlažje storiš tako, da meriš čas večjega števila nihajev (npr. deset ali dvajset) in nato izračunaš čas enega nihaja.

Poskus ponovi z nekaj različnimi utežmi. Izračunaj vrednosti kvadratnih korenov mase uteži. Nato nariši odvisnost nihajnega časa od kvadratnega korena mase uteži.

Masa uteži [g]	Nihajni čas [s]	$\sqrt{m}$ [$\sqrt{g}$]	Opombe

Opombe:



- Konstanto vzmeti izračunaj iz smernega koeficienta premice, ki si ga določil iz grafa. Primerjaj rezultat s koeficientom vzmeti, kot si ga izmeril v prejšnji nalogi!

Smerni koeficient premice je

Konstanta vzmeti: $\alpha =$

5. Raztezek žice

Dolgo kovinsko žico obremeni s silo teže uteži, ki jih obešaš nanjo - pri tem pazi, da njihova skupna masa ne preseže 2,5 kg. Zapiši vrednosti raztezkov ($\Delta\ell$) pri različnih obremenitvah. Poskus večkrat ponovi. Iz dane dolžine žice (ℓ) in njenega premera izračunaj odvisnost napetosti (F/S) od relativnega razteзка ($\frac{\Delta\ell}{\ell}$). To odvisnost nariši na milimetrski papir in iz smernega koeficienta premice določi modul elastičnosti (E). Pri tem ti bo v pomoč zveza:

$$\frac{F}{S} = E \frac{\Delta\ell}{\ell}.$$

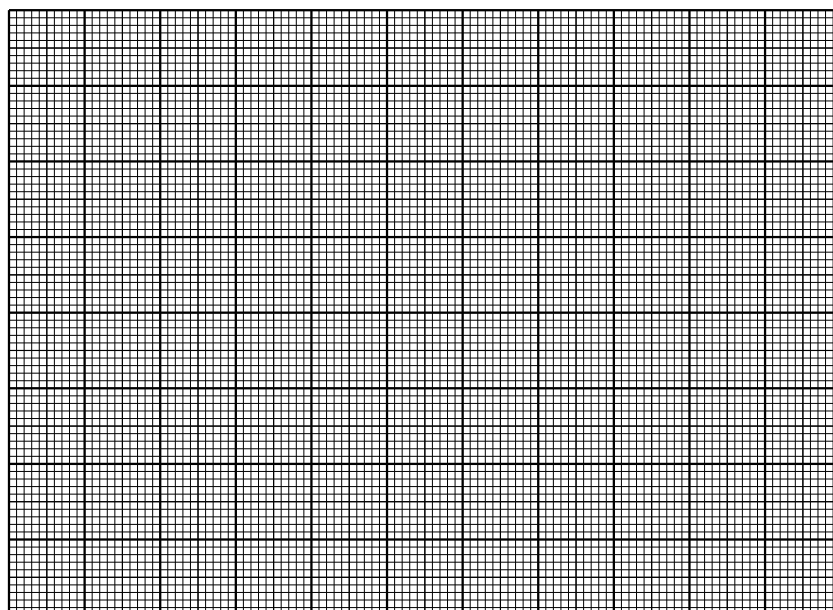
Dolžina žice: $\ell = \dots\dots\dots = \dots\dots\dots \text{ cm}$

Premer žice: $2R = \dots\dots\dots$

Presek žice: $S = \pi R^2 = \dots\dots\dots = \dots\dots\dots m^2$

Masa uteži	Raztezek žice $\Delta\ell$	Teža uteži F	Napetost $\frac{F}{S}$	Relativni raztezek
[kg]	[cm]	[N]	$[\frac{N}{m^2}]$	$\frac{\Delta\ell}{\ell}$

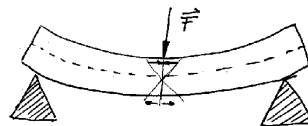
Opombe:



Smerni koeficient premice, ki je enak modulu elastičnosti je:

$E = \dots\dots\dots$

Slika 5.2: Shematičen prikaz upogiba v sredini obremenjene palice. Največji upogib palice (y_s) je na sredini.



Slika 5.3: Meritev upogiba v sredini obremenjene palice.



6. Upogib palic, narejenih iz različnih snovi

- V učbeniku si natančno ogledaj poglavje o upogibu. Vidimo, da je upogib palice v sredini (y_s) sorazmeren sili (F):

$$y_s = \frac{\ell^3}{48EI} F, \quad (5.2)$$

kjer so ℓ dolžina palice med podpornima točkama, E modul elastičnosti in I ploskovni vztrajnostni moment. Ploskovni vztrajnostni moment palice s pravokotnim presekom je

$$I = \frac{a^3 b}{12}, \quad (5.3)$$

kjer je a debelina palice, to je tista stranica, s katero vzporedno deluje sila F .

- Palico pravokotnega preseka položi na stojalo in jo v sredini obremeni s silo teže različnih uteži. Z merilno uro meri velikost upogiba palice.

Material, iz katerega je palica:

Dolžina palice med podpornima točkama: ℓ cm

Debelina palice: a =

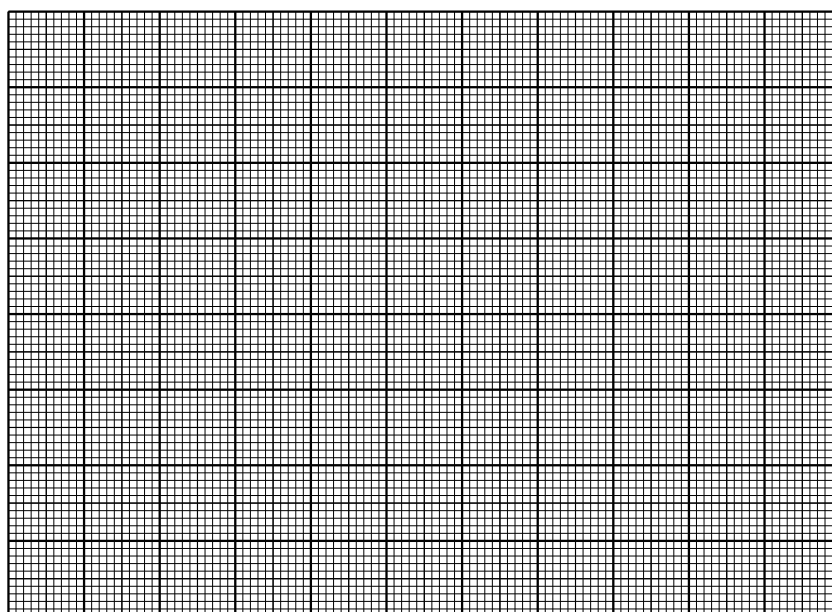
Širina palice: b =

Ploskovni vztrajnostni moment palice:

$$I = \frac{a^3 b}{12} = = m^4$$

Masa uteži (m) [kg]	Upogib palice na sredini (y_s) [mm]	Teža uteži (F) [N]

- Nariši izmerjeno odvisnost upogiba palice na sredini (y_s) od sile (F).



- Iz grafa določi smerni koeficient premice, ki gre najboljše skozi merske točke. Ker je dobljeni smerni koeficient $\frac{\ell^3}{48IE}$, lahko iz njega določimo modul elastičnosti.

Smerni koeficient premice je

Modul elastičnosti: $E =$

7. Meritev ponovi še z dvema drugima palicama.

- **Druga palica**

Material, iz katerega je palica:

Dolžina palice med podpornima točkama: ℓ cm

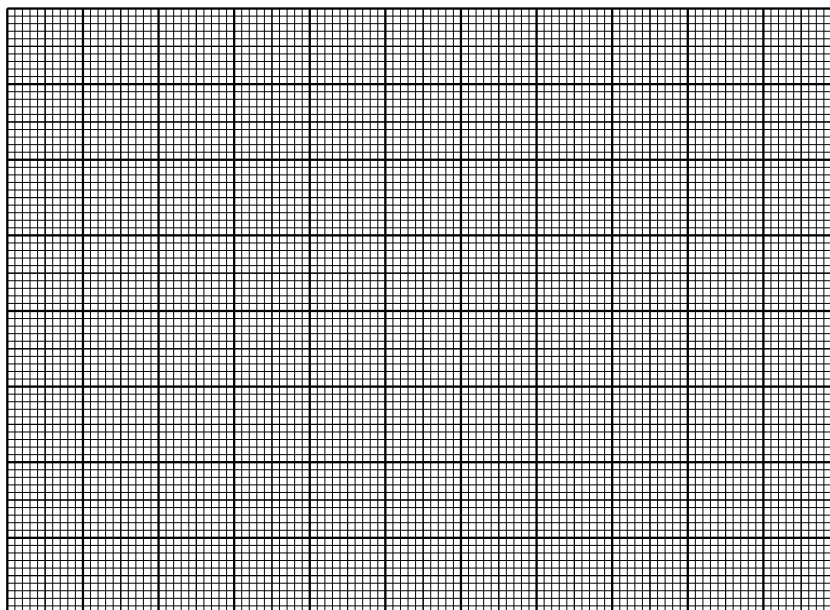
Debelina palice: $a =$

Širina palice: $b =$

Ploskovni vztrajnostni moment palice:

$$I = \frac{a^3b}{12} = \dots\dots\dots = \dots\dots\dots m^4$$

Masa uteži (m) [kg]	Upogib palice na sredini (y_s) [mm]	Teža uteži (F) [N]



Smerni koeficient premice je

Modul elastičnosti: $E =$

- Tretja palica

Material, iz katerega je palica:

Dolžina palice med podpornima točkama: ℓ cm

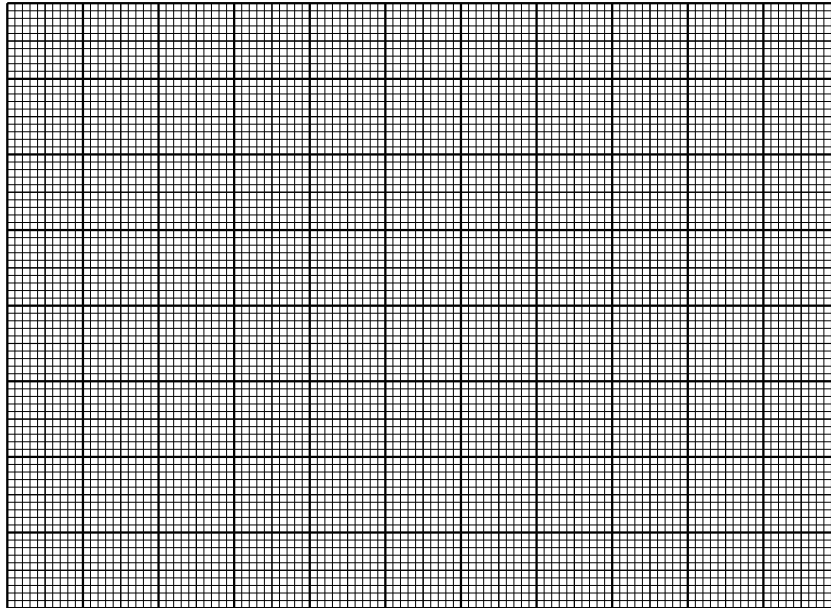
Debelina palice: a =

Širina palice: b =

Ploskovni vztrajnostni moment palice:

$$I = \frac{a^3 b}{12} = \dots\dots\dots = \dots\dots\dots m^4$$

Masa uteži (m) [kg]	Upogib palice na sredini (y_s) [mm]	Teža uteži (F) [N]



Smerni koeficient premice je

Modul elastičnosti: $E =$

8. Upogib kosti

Enako kot v prejšnjem primeru določi modul elastičnosti kosti (E) z meritvijo upogiba pri obremenitvi v sredini. Za izračun vztrajnostnega momenta kosti uporabi izmerjene povprečne vrednosti širine in debeline kosti.

- Dolžina kosti med podpornima točkama: ℓ cm

Povprečna debelina kosti: $a =$

Povprečna širina kosti: $b =$

Ploskovni vztrajnostni moment kosti:

$$I = \frac{a^3 b}{12} = \dots\dots\dots = \dots\dots\dots m^4$$

Masa uteži (m) [kg]	Upogib kosti na sredini (y_s) [mm]	Teža uteži (F) [N]

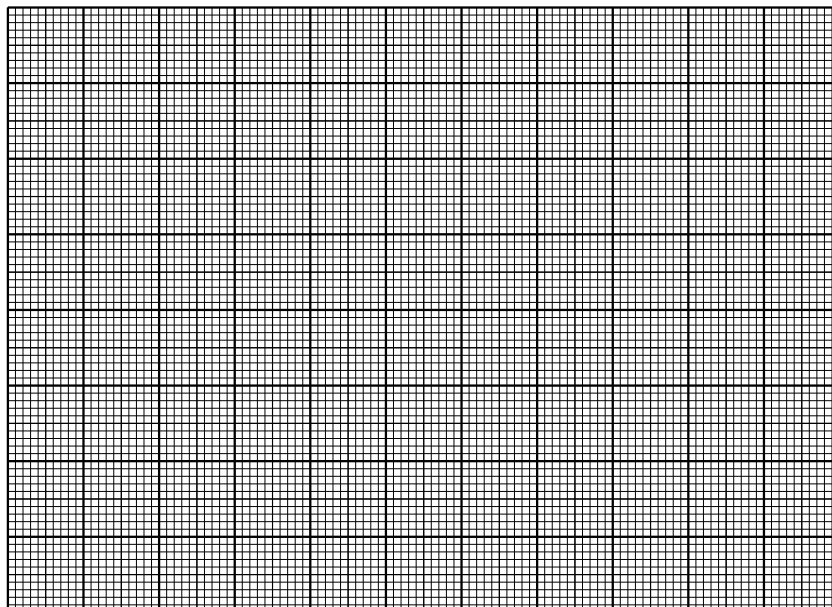


Tabela 5.1: Lastnosti nekaterih človeških kosti pri nategu

Kost	Natezna trdnost [$10^8 N/m^2$]	Modul elastičnosti [$10^{10} N/m^2$]	Upogibna trdnost [$10^8 N/m^2$]
stegnenica	1,21	1,72	2,08
golenica	1,40	1,80	2,13
mečnica	1,46	1,85	2,16
nadlahtnica	1,22	1,71	2,11
koželjnica	1,49	1,85	
podlahtnica	1,48	1,84	

Smerni koeficient premice je

Modul elastičnosti: $E =$

- Dobljene rezultate primerjaj z vrednostmi za nekatere človeške kosti (tabela 5.1). Zakaj pride do razlik?

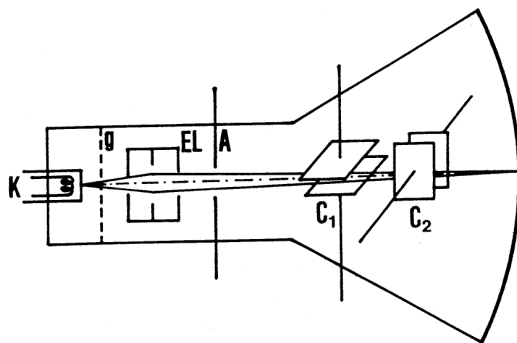
9. Dodatna vprašanja

- (a) Premisli, koliko bi se upognila palica, če bi jo zavrtel za 90^0 okoli njene vzdolžne osi, tako da bi se širina in debelina palice zamenjali.
- (b) Oцени, koliko bi se največ lahko upognila golenica, če bi jo obremenili v sredini! Oцени dimenzije golenice in uporabi enačbo za upogib palice (5.2). Za izračun potrebni konstanti sta podani v tabeli 5.1.
- (c) Kakšna je torzijska obremenitev?

Vaja 6

ELEKTRIČNE MERITVE

Datum:



Slika 6.1: Shematski prikaz delovanja katodne cevi, ki je osnovni sestavni del mnogih starejših prikazovalnih naprav, kot na primer osciloskopa, televizorja in računalniškega zaslona.

1. Ohmov zakon – odvisnost električnega toka skozi upor od napetosti

Električni tok, ki teče skozi upor, je premo sorazmeren električni napetosti. To spoznanje zapišemo

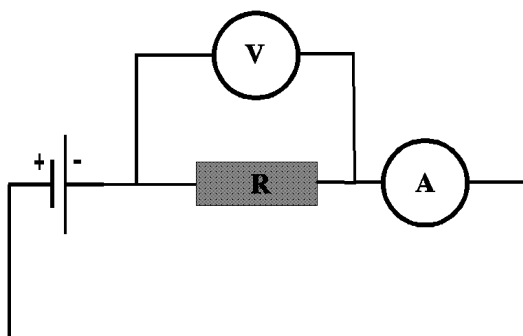
$$I = \sigma \cdot U, \quad (6.1)$$

kjer smo z I označili električni tok, z U pa napetost. Sorazmernostni faktor σ je električna prevodnost. To zvezo imenujemo **Ohmov zakon** in jo po navadi zapišemo kot

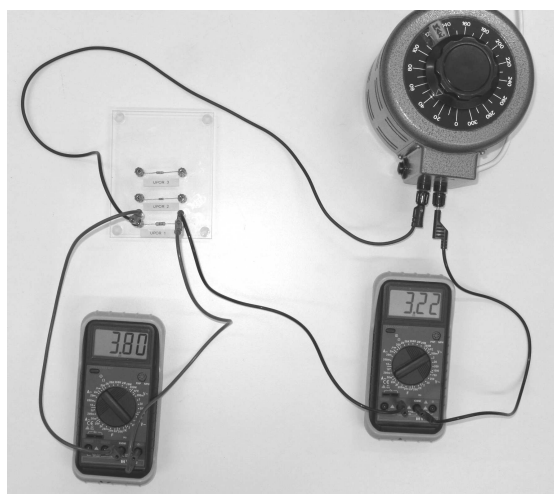
$$U = R \cdot I, \quad (6.2)$$

kjer je R upornost, ki je obratna vrednost prevodnosti ($R = \frac{1}{\sigma}$). Če merimo napetost v voltih (V), tok v amperih (A), je enota za upornost $\frac{V}{A}$, imenujemo jo *ohm* in označimo z Ω .

Električni tok merimo z ampermetrom. V tokokrog ga vedno priključimo zaporedno. Njegova notranja upornost mora biti čim manjša, da le malo zmoti meritev. Električno napetost med dvema točkama tokokroga pa merimo z voltmetrom, ki ga priključimo vzporedno. Njegova notranja upornost mora biti zato čim večja, da skozenj teče le majhen del celotnega toka.



Slika 6.2: Shema vezave za meritev odvisnosti električnega toka skozi upor od napetosti. V in A označujeta voltmeter in ampermeter, z R pa smo označili upor.



Slika 6.3: Merjenje odvisnosti električnega toka skozi upor od napetosti

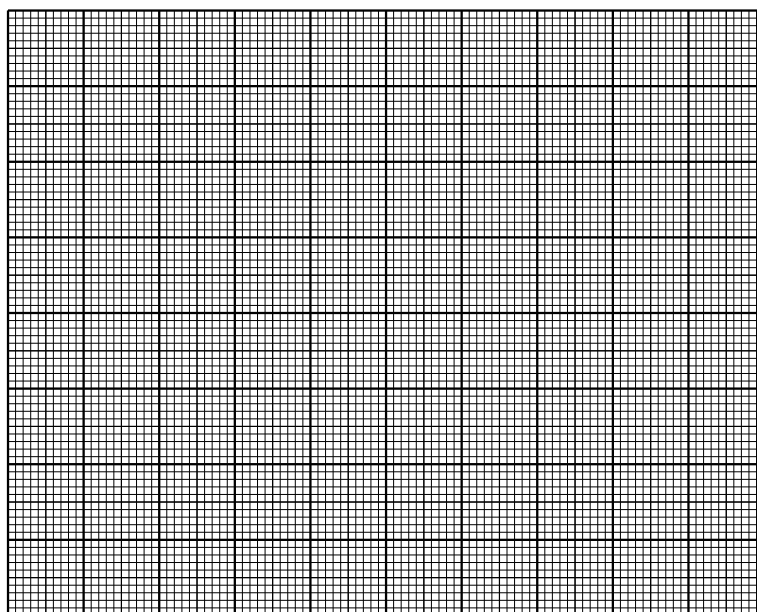
- Izmerili bomo, kako je električni tok skozi upor odvisen od napetosti. Na izvor električne napetosti bomo priključili upor, ampermeter in voltmeter, kot je prikazano na sliki 6.2. Ta vezava je primerna predvsem za meritev majhnih upornosti, tj. upornosti, ki so veliko manjše od notranje upornosti voltmetra. Pri tej vezavi namreč ampermeter meri skupni tok, ki je vsota toka, ki teče skozi upor, in toka skozi voltmeter.

Poišči potrebne sestavne dele vezave: upore, ampermeter, voltmeter in spremenljivi vir napetosti (regulacijski transformator) ter sestavi električno vezje po shemi 6.2. Pri tem si lahko pomagaš tudi s sliko 6.3.

- Izmeri, kako se spreminja električni tok skozi upor. Z regulacijskim transformatorjem spreminjaj napetost in meri električni tok.

Napetost [V]	Tok [mA]	

- Nariši odvisnost električne napetosti od toka.



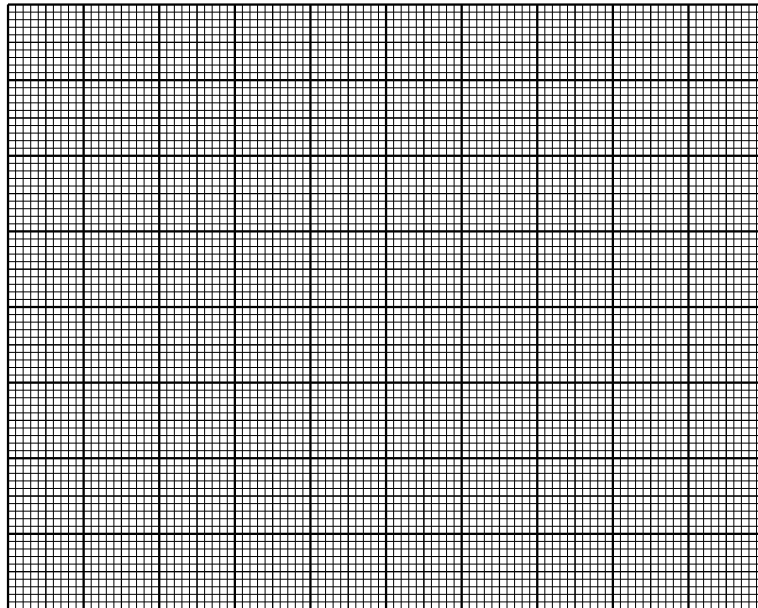
Ta odvisnost je linearna, graf je premica. Določi smerni koeficient dobljene premice, ki je kar enak upornosti.

Upornost je

- Meritev ponovi še z dvema drugima uporoma.

Drugi upor

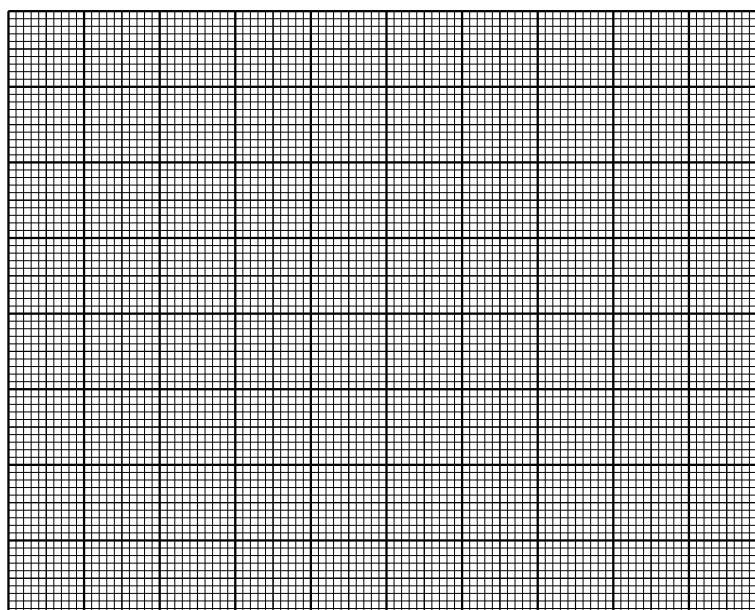
Napetost [V]	Tok [mA]	



Upornost je

Tretji upor

Napetost [V]	Tok [mA]	



Upornost je

- Upornosti vseh treh uporov izmeri tudi z merilnikom uporov, ohmmetrom. Primerjaj rezultate. Zakaj pride do razlik?

	Upornost, izračunana iz grafa	Upornost, izmerjena z ohmmetrom
1		
2		
3		

Opombe:

2. Električna moč in delo

Kadar teče skozi upor električni tok, se upor segreje. Oddaja delo v obliki toplote. Moč pa je opravljeno delo v določenem času. Za električno moč (P) velja, da je enaka produktu toka in napetosti:

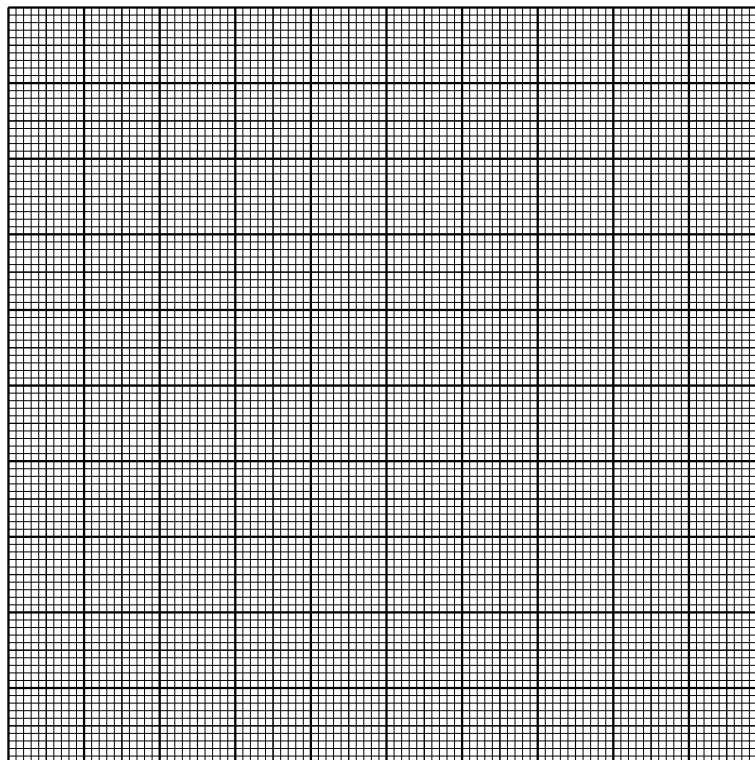
$$P = U \cdot I. \quad (6.3)$$

Zato je $1 \text{ W} = 1 \text{ V} \cdot \text{A}$.

Električno delo pogosto merimo v kilovatnih urah (kWh). To je delo, ki ga opravi naprava z močjo 1000 W v eni uri.

- Za prvo meritev nariši, kako se moč, ki se porablja na upor, spreminja v odvisnosti od napetosti.

V tabeli na strani 81 za vsako meritev izračunaj moč. Vpiši jo v tretji stolpec tabele in nariši graf.



- Kakšna odvisnost je to?

- Kako lahko izraziš električno moč z napetostjo in upornostjo?
- Oцени, koliko kilovatnih ur porabi luč v tvoji sobi v enem večeru. V ta namen oceni, koliko časa je povprečno na dan prižgana luč in kolikšna je moč žarnice. Ugotovi, kolikšna je cena elektrike in izračunaj, koliko to stane.

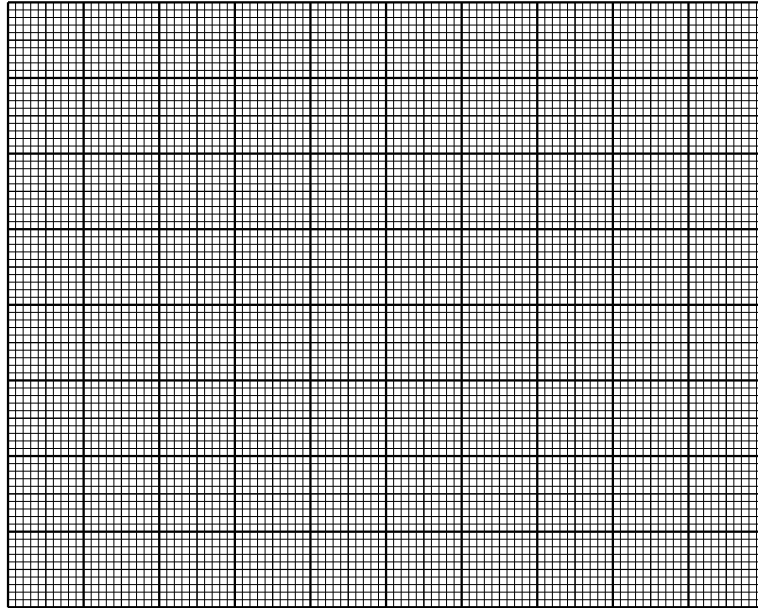
3. Osciloskop – meritev časovne odvisnosti električne napetosti

Časovno odvisnost električne napetosti lahko merimo z osciloskopom. Glavni sestavni del klasičnega osciloskopa je katodna cev, ki je shematsko prikazana na sliki 6.1 (stran 79). Katodo (K) segrevamo z izmeničnim tokom, tako da začnejo iz nje izletavati elektroni. Te privlači pozitivna anoda (A), priključena na zelo visoko napetost (nekaj tisoč voltov). Elektroni se zato pospešijo do velike hitrosti. Elektronska leča (EL) jih zbere v ozek curek, ki gre skozi majhno odprtinno v anodi in dalje skozi dva kondenzatorja. Curek elektronov končno pride do zaslona, ki je premazan s svetlečo snovjo. Točko, kjer curek elektronov zadene zaslon, vidimo kot svetlečo piko. Kondenzator C_1 odklanja curek elektronov v navpični smeri (y), kondenzator C_2 pa ga odklanja levo ali desno – v vodoravni smeri (x). Osciloskop je narejen tako, da lahko na kondenzator C_1 priključimo merjeno napetost, na C_2 pa po navadi napetost žagaste oblike, ki odklanja elektronski curek enakomerno od leve proti desni strani zaslona.

- Seznani se z delovanjem osciloskopa. Ugotovi pomen posameznih gumbov.

Skiciraj čelno ploščo osciloskopa in napiši pomen za naše meritve najpomembnejših gumbov.

- Na vhod osciloscopa priključi napetost, ki jo dobiš iz signalnega generatorja.
Opazuj, kako se s časom spreminja napetost. Približno nariši, kaj vidiš na zaslonu osciloscopa. Izmeri največjo napetost (amplitudo) in nihajni čas. Izračunaj frekvenco nihanja napetosti.



Nastavitev občutljivosti osciloscopa v navpični smeri (y) je

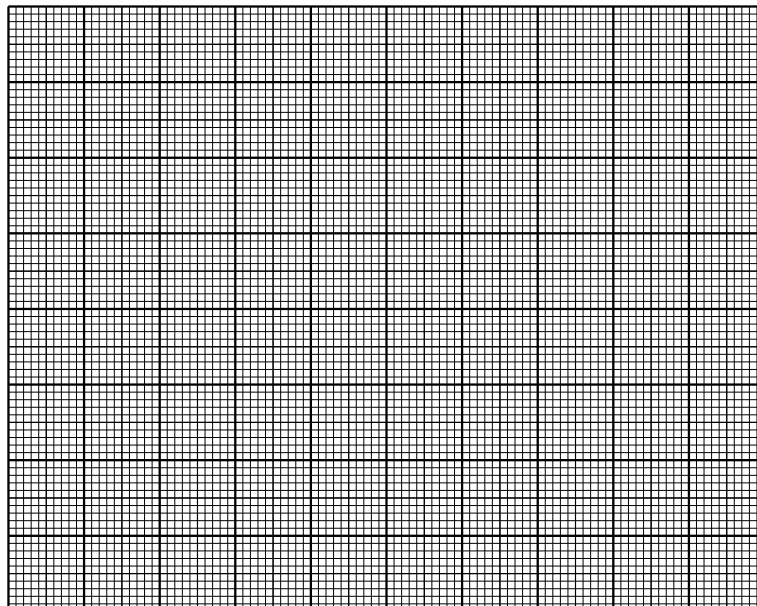
Nastavitev občutljivosti osciloscopa v vodoravni smeri (x) je

Amplituda opazovane napetosti je

Nihajni čas napetosti je

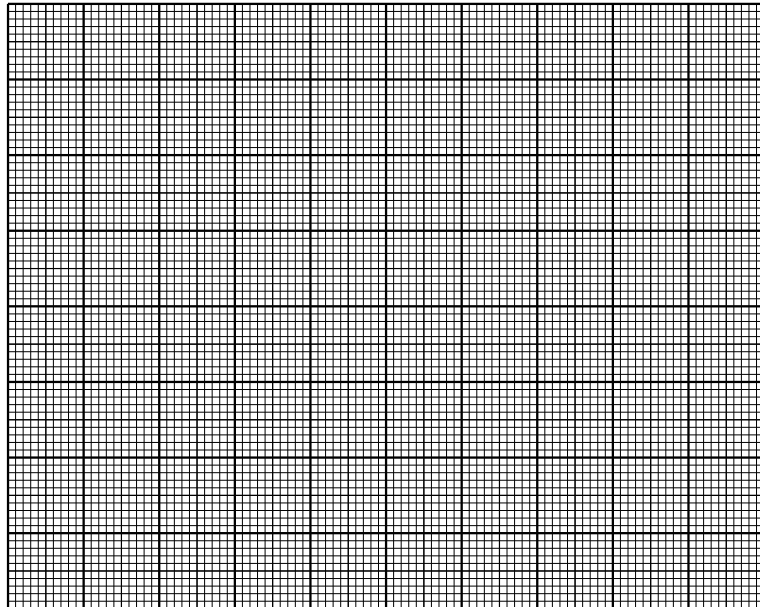
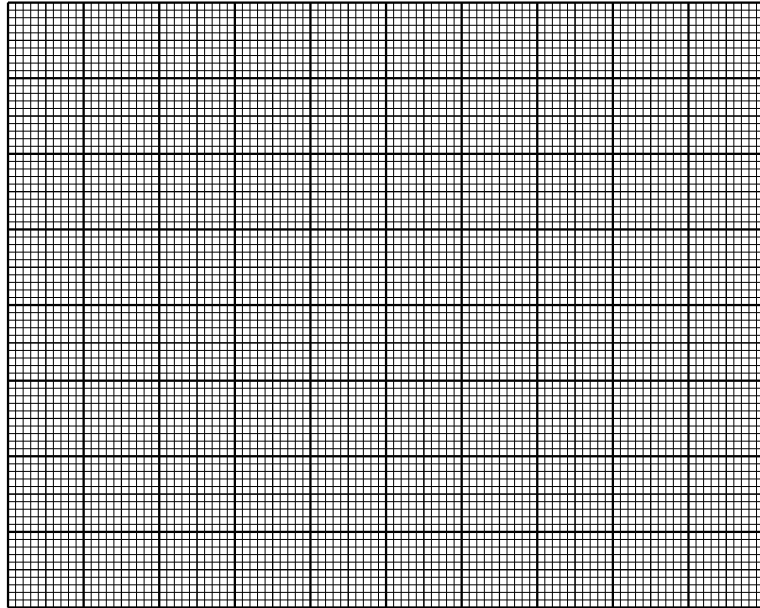
Frekvenca nihanja napetosti je

- Z osciloskopom si oglej, kakšne so časovne odvisnosti napetosti signalov, ki jih dobimo iz signalnega generatorja. Nariši oblike signalov in primerjaj njihove amplitude in frekvence.

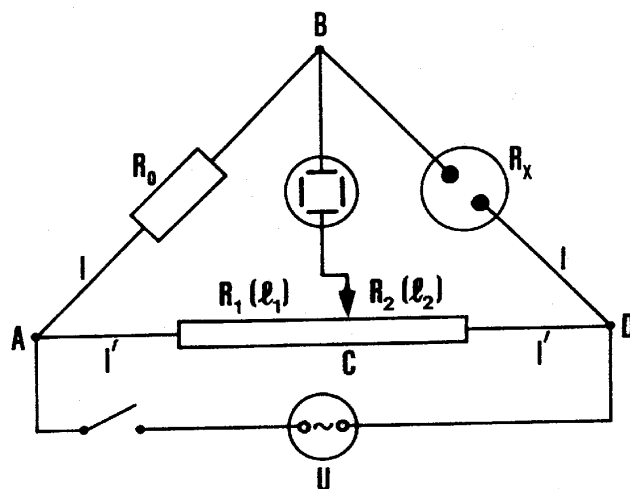


- Spreminjaj amplitudo in frekvenco napetosti signalnega generatorja. Kaj vidiš na zaslonu osciloskopa? Na oba grafa nariši začetno obliko signala. Nato na zgornji graf nariši primer signala s spremenjeno amplitudo ter primer signala s spremenjeno frekvenco na spodnji graf.

Ali lahko pojasniš dobljene krivulje?



Razlaga:



Slika 6.4: Shema vezja za natančno merjenje upornosti (Wheatstonov most). Upornost raztopine (R_x) določimo s primerjavo s poznanim uporom (R_0). Izmenično napetost med točkama B in C merimo z osciloskopom. Vezje priključimo na izmenično napetost (U), da se ob elektrodah v raztopini ne nabirajo in izločajo ioni.

4. Električna prevodnost elektrolitske raztopine

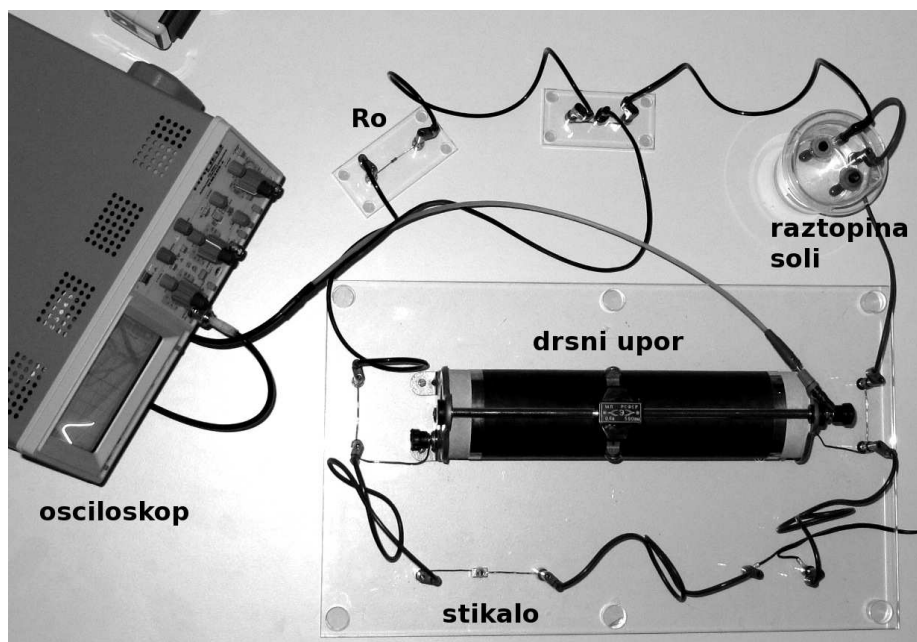
Ko raztopimo sol v vodi, se njene molekule razcepijo, pravimo, da disociirajo v nabite ione. Število osnovnih nabojev, ki jih nosi posamezen ion, imenujemo valenca. Ker so molekule soli električno nevtralne, nastane pri disociaciji vedno enako število pozitivnih (kationov) in negativnih (anionov) ionov. V raztopini kuhinjske soli (NaCl) imamo tako na primer natrijeve katione (Na^+) in klorove anione (Cl^-). Kadar damo v tako elektrolitsko raztopino elektrodi, priključeni na električno napetost, nastane v raztopini električno polje ($\vec{E}$). Na ione z valenco Z deluje zato sila

$$\vec{F} = Ze_0\vec{E}, \quad (6.4)$$

kjer je $e_0 = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ As}$ osnovni naboj.

Kationi, ki imajo pozitiven naboj in zato tudi pozitivno valenco, se gibljejo v smeri električnega polja proti negativni elektrodi. To elektrodo zato imenujemo katoda. Anioni pa se gibljejo v obratni smeri. V raztopini zato nastane električni tok. Ker je ta posledica gibanja ionov, ga imenujemo ionski tok.

Čeprav je električna sila na ione konstantna, pa se ioni gibljejo pospešeno le zelo kratek čas. Njihovo gibanje namreč zavira sila upora, ki je odvisna od velikosti in oblike ionov ter viskoznosti tekočine. Odvisna pa je tudi od hitrosti gibanja ionov. Čim večja je, tem večja je tudi sila upora. Ko hitrost narašča, narašča tudi sila upora, dokler nista sili nasprotno enaki. Od takrat pa je gibanje ionov enakomerno. To je podobno gibanju kroglice v viskozni tekočini, ki smo ga spoznali pri vaji 7 na strani 104.



Slika 6.5: Merjenje prevodnosti elektrolitske raztopine

Končna hitrost ionov je sorazmerna električnemu polju, sorazmernostni koeficient pa imenujemo gibljivost ionov. Skozi raztopino teče električni tok, ki je enak količini pretočenega naboja v danem času. Večji kot bosta gibljivost ionov in njihova koncentracija, večji tok bo pri dani napetosti tekel skozi raztopino. Zato bo taka raztopina bolj prevajala električni tok, njena prevodnost torej bo večja, upornost pa manjša (glej enačbo 6.2).

- Izmeri odvisnost prevodnosti vodne raztopine kuhinjske soli (NaCl) od koncentracije.

Sestavi električno vezje po shemi 6.4. Pri tem si lahko pomagaš tudi s sliko 6.5. Raztopino kuhinjske soli vlij v posodico z elektrodama. Vezje priključi na izvor izmenične napetosti (U). Jeziček drsnega upora (C) premakni tako, da v vezju med B in C ne bo napetosti – amplituda izmenične napetosti, ki jo opazuješ na zaslonu osciloskopa, je tedaj nič. Drsni upor si tako razdelil na dva dela z upornostjo R_1 in R_2 . Razmerje teh dveh upornosti pa je ravno enako razmerju med poznano upornostjo R_0 in upornostjo elektrolitske raztopine R_x . Zato je

$$R_x = R_0 \frac{R_2}{R_1} = R_0 \frac{\ell_2}{\ell_1}, \quad (6.5)$$

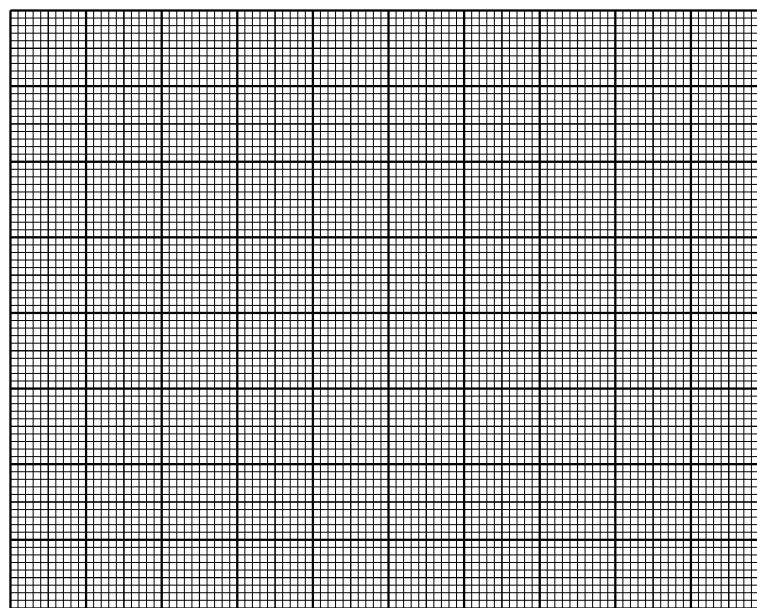
kjer smo upoštevali, da sta upornosti R_1 in R_2 kar sorazmerni dolžinama drsnika ℓ_1 in ℓ_2 .

Izmeri upornosti raztopin kuhinjske soli različnih koncentracij. Pri tem pazi, da vedno vliješ v posodico enako količino raztopine. Nariši,

kako se spreminja električna prevodnost raztopine ($\frac{1}{R_x}$) v odvisnosti od koncentracije.

Upornost R_0 je

Koncentracija %	ℓ_1 [mm]	ℓ_2 [mm]	Upornost (R_x) [k Ω]	Prevodnost ($1/R_x$) [1/k Ω]



5. Dodatna vprašanja

- (a) Ali veš, kolikšna je pri nas omrežna napetost in kolikšna je njena frekvenca?

- (b) Zakaj raje uporabljamo izmenično napetost, kot istosmerno?

- (c) Kolikšne so tipične velikosti tokov, ki jih srečujemo v gospodinjskih napravah?

- (d) Ugotovi, kolikšne so napetosti posameznih vrst baterij.

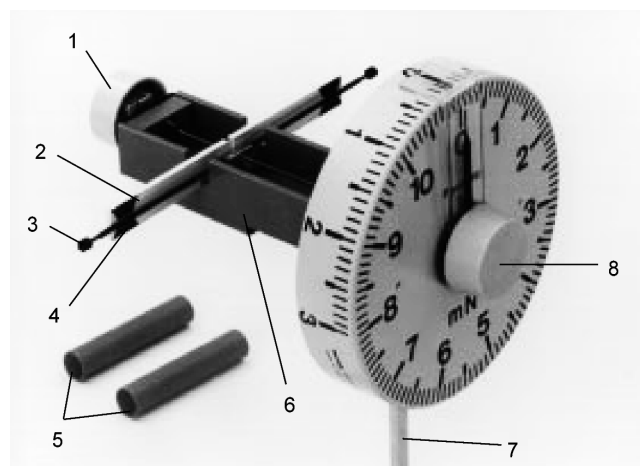
- (e) Premisli, zakaj uporabljamo varovalke v električni napeljavi in kako delujejo.

- (f) Ugotovi, kakšne tipe varovalk uporabljamo v gospodinjstvu.

Vaja 7

TEKOČINE

Datum:



Slika 7.1: Torzijska tehtnica za merjenje površinske napetosti tekočin. Omogoča merjenje sil do 0,01 N z natančnostjo 0,1 mN.

1. V učbeniku preberi poglavje o tekočinah.

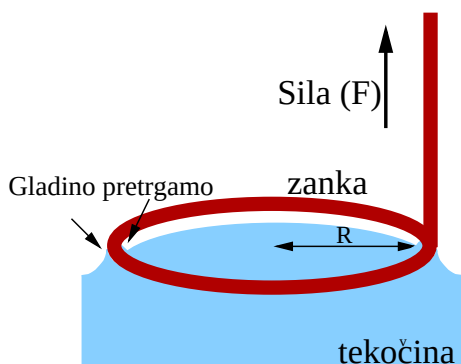
- (a) Zakaj nastane površinska napetost?
- (b) Kaj je viskoznost?
- (c) Kakšna je razlika med gostoto in viskoznostjo tekočine?

2. Meritev površinske napetosti vode s torzijsko tehtnico

Torzijska tehtnica, kot je prikazana na sliki 7.1, je naprava za merjenje zelo majhnih sil. Z vrtenjem gumba (8) v smeri urinega kazalca povečujemo torzijsko silo na kovinski trak v napravi. Nanj je pritrjena prečka (4), na njej pa visi zanka.

Z vodo napolni stekleno posodico (kristalizirko) in jo postavi na mizico pod zanko. Nastavi višino posodice tako, da se bo zanka dotikala površine vode. Nato z gumbom na čelni plošči (8) postavi kazalec torzijske tehtnice na ničlo.

Vijak na zadnji strani (1) malo zasukaj, da bo prečka (4) vodoravna - pri tem so ti v pomoč oznake na nosilcu (2). Nato z vijakom (8) na torzijski tehtnici povečuj silo, s katero vlečeš zanko iz vode. Opazuj zanko! Ko doseže ta sila določeno mejno vrednost, se zanka odtrga od gladine.



Slika 7.2: Ko izvlečemo zanko iz tekočine, povečamo površino tekočine in pri določeni sili pretrgamo gladino znotraj in zunaj zanke.

Tako smo izmerili silo, ki je potrebna, da odtrgamo zanko od gladine tekočine. Ta sila pa je sorazmerna površinski napetosti (σ). Površinsko napetost izračunamo tako, da delimo silo (F) z dolžino črte, po kateri smo pretrgali površino. Ker zanka pretrga gladino tekočine na svoji notranji in na zunanji strani (slika 7.2), je dolžina črte pretrganja približno enaka dvojnemu obsegu zanke. Zato je

$$\sigma = \frac{F}{2\ell}, \quad (7.1)$$

kjer je ℓ obseg zanke ($\ell = 2\pi R$).

- Meritev sile odtrganja večkrat ponovi. V tabelo vpiši izmerjeno silo v delcih, ki jih prebereš na skali torzijske tehtnice. Silo nato pretvori v normalne enote (newton), tako kot je to napisano na tehtnici.

Sila [delci]	Sila [N]

- Iz meritev izračunaj povprečno vrednost sile in oceni absolutno napako meritve. Porazdelitev meritev in s tem njihovo natančnost podaja standardni odklon (SO) meritev, ki ga po navadi uporabimo kot oceno absolutne napake. Standardni odklon lahko pri majhnem številu ponovitev oceniš tako, da bo dve tretjini meritev znotraj intervala: povprečje $\pm$ SO.

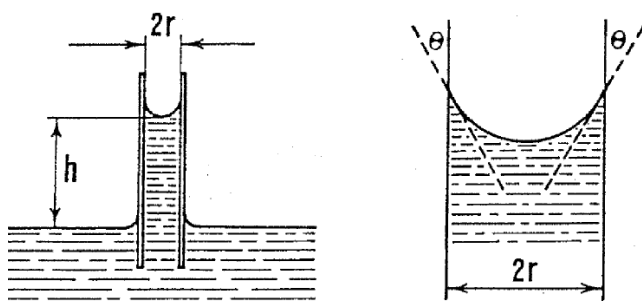
Povprečna sila je N $\pm$ N
(absolutna napaka)

Izračunaj tudi relativno napako. Dobiš jo tako, da absolutno napako sile deliš z izračunano povprečno silo.

Povprečna sila je N ($1 \pm$ )
(relativna napaka)

- Izmeri premer zanke in izračunaj njen obseg. Oceni tudi natančnost te meritve.

Premer zanke je mm $\pm$ mm =
= mm ($1 \pm$ )



Slika 7.3: Če pomočimo tanko cevko (kapilaro) v tekočino, se gladina v njej zaradi površinske napetosti dvigne.

- S pomočjo enačbe 7.1 in izmerjene povprečne sile odtrganja izračunaj površinsko napetost vode. Oceni napako! Ker dobimo površinsko napetost z deljenjem dveh količin, od katerih ima vsaka določeno napako, je relativna napaka rezultata kar enaka vsoti relativnih napak obeh merjenih količin (sila in premer zanke).

Površinska napetost vode je

Relativna napaka je

Iz relativne napake izračunaj še absolutno napako izmerjene površinske napetosti vode ter ustrezno zaokroži rezultat.

Površinska napetost vode je $\pm$

3. Meritev površinske napetosti vode s kapilarnim dvigom

- Z alkoholom dobro speri in posuši tanko stekleno cevko (kapilaro). Pomoči jo v posodico z destilirano vodo in izmeri, za koliko se je dvignila gladina vode v kapilari nad gladino vode v posodi (slika 7.3). Meritev tega kapilarnega dviga večkrat ponovi, določi povprečno vrednost dviga in oceni napako.

	Dvig gladine (h) [mm]
1	
2	
3	
4	

Povprečen dvig gladine je mm $\pm$ mm

Relativna napaka je

- Višina kapilarnega dviga tekočine (h) je odvisna od površinske napetosti tekočine (σ), polmera kapilare (r), gostote tekočine (ρ), težnostnega pospeška (g) ter mejnega kota med tekočino in stekleno steno kapilare (θ) (slika 7.3).

Velikost kapilarnega dviga (h) dobimo kot

$$h = \frac{2\sigma \cos \theta}{\rho g r}. \quad (7.2)$$

Mejni kot med vodo in steklom je zelo majhen ($\theta \approx 0$), zato lahko v gornji enačbi privzamemo kar $\cos \theta \approx 1$.

Premer kapilare je podan pri vaji in je mm.

Polmer kapilare: $r =$ mm.

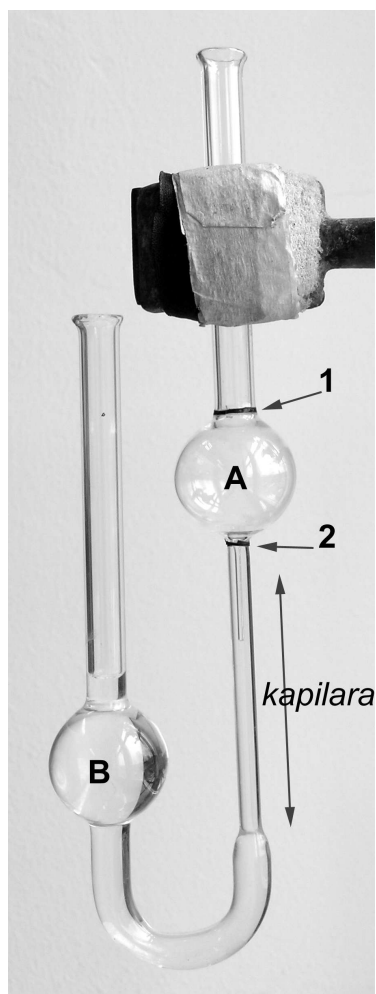
- Iz enačbe 7.2 izračunaj površinsko napetost vode (σ) in oceni napako. Ker je napaka rezultata predvsem posledica napak pri merjenju višine kapilarnega dviga, je namreč relativna napaka površinske napetosti kar enaka relativni napaki višine. Izračunaj še absolutno napako in ustrezno zaokroži rezultat.

Rezultat:

Površinska napetost vode je $\pm$

Opombe:

4. Primerjaj vrednosti površinske napetosti vode, ki si ju dobil s torzijsko tehtnico in s kapilarnim dvigom. Katera meritev je bolj natančna (ima manjšo napako)? Komentiraj razlike.



Slika 7.4: Kapilarni viskozimeter za merjenje viskoznosti tekočin

5. Meritev koeficienta viskoznosti alkohola s kapilarnim viskozimetrom

Kapilarni viskozimeter (slika 7.4) je steklena posoda z dvema med seboj povezanimi bučkama. Cevka pod višjo bučko (A) je na dolžini ℓ zožena – je kapilara. Ko napolnimo vrhnjo bučko s tekočino, začne ta počasi iztekati skozi kapilaro, dokler se gladini tekočine v obeh krakih posode ne izenačita. Hitrost iztekanja lahko uporabimo za merjenje viskoznosti tekočine. Navadno merimo čas, ki je potreben, da se zgornja bučka sprazni. Ker tekočina izteka zaradi svoje teže, je čas iztekanja (t) obratno sorazmeren gostoti tekočine (ρ). Iztekanje pa zavira viskoznost, zato bo čas iztekanja premo sorazmeren viskoznosti (η) tekočine (tj. večja kot je viskoznost, več časa potrebuje tekočina, da izteče). To zapišemo kot:

$$t = \alpha \frac{\eta}{\rho}. \quad (7.3)$$

Sorazmernostni faktor α je odvisen od oblike viskozimetra. Najbolj pre-



Slika 7.5: Za pipetiranje uporabljamo gumijasto sesalko. Če s prsti pritiskamo na mesto (A) lahko iz nje iztisnemo zrak. Nato s pritiskanjem na (S) napolnimo pipeto, ki jo izpraznimo s pritiskom na (E).

prosto ga določimo tako, da viskozimeter umerimo s tekočino, katere viskoznost poznamo.

Če poznamo gostoto tekočine, lahko torej njeno viskoznost izmerimo tako, da izmerimo čas, ko se zgornja bučka sprazni, saj iz enačbe 7.3 velja:

$$\eta = t \frac{\rho}{\alpha}. \quad (7.4)$$

• Umeritev viskozimetra z destilirano vodo

Viskozimeter bomo umerili z destilirano vodo in tako določili koeficient α . Viskoznost vode pri 18°C je namreč $1,1 \cdot 10^{-3} \text{ Nsm}^{-2}$, prav tako pa poznamo tudi njeno gostoto ($\rho = 10^3 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$).

V viskozimeter vlij s pipeto 16 ml destilirane vode. Navodilo za pipetiranje si oglej na sliki 7.5.

Nato z gumijasto cevko izsesavaj zrak iz zgornje bučke, da se tekočina v njej dvigne nad gornje znamenje (1). Odstrani gumijasto cevko in gladina tekočine se začne nižati. Opazuj praznjenje bučke ter natančno izmeri čas, v katerem se zniža gladina tekočine od zgornjega znamenja (1) na bučki do spodnjega (2). Meritev večkrat ponovi ter izračunaj povprečen čas in relativno napako.

	Čas praznjenja (t) [s]
1	
2	
3	

Povprečen čas praznjenja je s $\pm$ s

Relativna napaka je

- Izračunaj konstanto α viskozimetra. Pri tem uporabi enačbo 7.3.

$\alpha =$

- Kolikšna je relativna napaka konstante α ?

Zakaj?

6. Meritev viskoznosti alkohola

- Izlij vodo iz viskozimetra in ga dobro osuši. Nato ponovi meritev z alkoholom. Pazi, da vliješ v viskozimeter vedno točno enako količino tekočine. Večkrat izmeri čas iztekanja, izračunaj povprečno vrednost in relativno napako.

	Čas praznjenja (t) [s]
1	
2	
3	

Povprečen čas praznjenja je s $\pm$ s

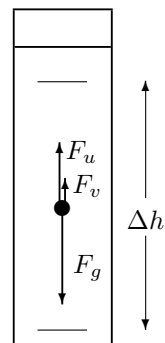
Relativna napaka je

- Izračunaj viskoznost alkohola. Gostoto alkohola preberi iz tabele 1.1 na strani 11. Izračunaj napako in pravilno zaokroži rezultat. Pri tem upoštevaj, da je relativna napaka produkta ali kvocienta merjenih količin enaka vsoti njihovih relativnih napak.

Rezultat:

Viskoznost alkohola je $\pm$

Slika 7.6: Določanje koeficienta viskoznosti z merjenjem hitrosti padanja kroglice v tekočini



7. Merjenje viskoznosti tekočine s časom padanja kroglice

Kroglico spustimo v tekočino, katere viskoznost želimo določiti (slika 7.6). Na začetku se kroglica giblje pospešeno, a s hitrostjo narašča tudi sila upora tekočine, ki zavira gibanje, zato se kmalu vzpostavi ravnovesje. Od tedaj se kroglica giblje enakomerno. Vsota vseh sil, ki delujejo na kroglico, je enaka nič. Te sile pa so: teža (F_g), vzgon (F_v) in sila zaradi upora tekočine (F_u).

$$F_g = \frac{4}{3}\pi r^3 \rho_s g, \quad F_v = \frac{4}{3}\pi r^3 \rho_0 g, \quad F_u = 6\pi r \eta v, \quad (7.5)$$

kjer je ρ_s gostota snovi, iz katere je kroglica, ρ_0 gostota tekočine, r polmer kroglice, η koeficient viskoznosti tekočine in v hitrost padanja kroglice. Za upor viskozne tekočine smo uporabili Stokesov linearni zakon upora.

Iz pogoja za ravnovesje sil dobimo enačbo za viskoznost

$$\eta = \frac{2r^2 g(\rho_s - \rho_0)}{9v}. \quad (7.6)$$

Hitrost padanja kroglice določimo tako, da merimo čas t , v katerem pade kroglica za razdaljo Δh (slika 7.6):

$$v = \frac{\Delta h}{\Delta t}. \quad (7.7)$$

- Izmeri premer steklene kroglice in jo stehtaj na laboratorijski tehtnici. Nato jo spusti v steklen valj, napolnjen z glicerolom. Izmeri, koliko časa pada kroglice od zgornje do spodnje oznake na valju. Meritev ponovi s tremi kroglicami in rezultate sproti vpisuj v tabelo.

Kroglica št.	Premer (2r) [mm]	Masa (m) [mg]	Čas padanja (Δt) [s]

- Izmeri razdaljo (Δh) med oznakama na steklenem valju.

$$\Delta h = \dots\dots\dots \text{ m}$$

- Za vsako kroglico izračunaj hitrost padanja ($\frac{\Delta h}{\Delta t}$) in gostoto (ρ_s):

$$\rho_s = \frac{m}{V}, \quad (7.8)$$

kjer je m masa kroglice in V njena prostornina.

Prostornina krogle je:

$$V = \frac{4}{3}\pi r^3. \quad (7.9)$$

Kroglica št.	Hitrost [m/s]	Prostornina [m^3]	Gostota [kg/m^3]

- Gostoto glicerola preberi iz tabele 1.1 na strani 11.

$$\rho_0 = \dots\dots\dots kg/m^3$$

- Za vsako kroglico po enačbi 7.6 izračunaj razliko gostot $\rho_s - \rho_0$ in viskoznost.

Kroglica št.	$\rho_s - \rho_0$ [kg/m^3]	Viskoznost (η) [$10^{-3} Nsm^{-2}$]

- Meritev viskoznosti s padanjem kroglice je na prvi pogled zelo preprosta in natančna. Vendar pa skriva kar nekaj težav. Enačba 7.6 velja seveda za kroglico, ki nemoteno pada v mirujoči tekočini. V našem primeru pa so stene steklene posode blizu kroglice in zato zavirajo njeno padanje. Lahko bi sicer vzeli veliko večjo posodo s tekočino, a je zelo verjetno, da bi tedaj zaradi temperaturnih razlik nastali v tekočini konvekcijski tokovi, ki bi še bolj spremenili gibanje kroglice. Zato smo se raje odločili za ozko stekleno posodo, vendar bomo morali zato v končnem rezultatu upoštevati še vpliv bližine njenih sten.

Za valjasto posodo namreč velja, da je pravi koeficient viskoznosti (η_{pr}) odvisen od razmerja med premerom kroglice ($2r$) in premerom valja s tekočino (d)

$$\eta_{pr} = \eta \frac{1}{1 + 2,4 \left(\frac{2r}{d} \right)}, \quad (7.10)$$

kjer je η koeficient viskoznosti, ki smo ga izračunali iz enačbe 7.6.

Izmeri premer steklene posode z glicerolom in po enačbi 7.10 izračunaj za vsako kroglico korekcijski faktor in pravo viskoznost. Izračunane vrednosti koeficienta viskoznosti η so seveda tiste, ki si jih dobil v prejšnji tabeli.

Premer steklenega valja: $d = \dots\dots\dots$ mm

št.	Viskoznost (η) [$10^{-3} Nsm^{-2}$]	$\frac{1}{1+2,4 \left(\frac{2r}{d} \right)}$	Prava viskoznost (η_{pr}) [$10^{-3} Nsm^{-2}$]

- Izračunaj povprečno vrednost viskoznosti (η_{pr}), oceni napako in pravilno zaokroži rezultat.

Rezultat:

Viskoznost glicerola je $\dots\dots\dots \pm \dots\dots\dots$

Opombe:

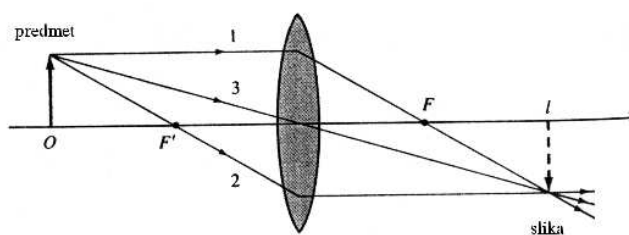
- Primerjaj dobljene vrednosti koeficienta viskoznosti (η_{pr}) z vrednostmi η , ki smo jih dobili brez upoštevanja velikosti posode. Glede na ocenjeno napako ugotovi, ali so bili popravki zaradi velikosti posode sploh potrebni.

- (f) V zraku padajo predmeti enakomerno pospešeno le, dokler je njihova hitrost majhna. Kako pa se giblje predmet, ki ga spustimo z velike višine? Zakaj?
- (g) Uporabi enačbo 7.6 in izračunaj, kolikšna je končna hitrost kroglice, ki pada v zraku. Viskoznost zraka preberi iz tabele v učbeniku.
- (h) Izračunaj še končno hitrost kroglice, ki pada v vodi.

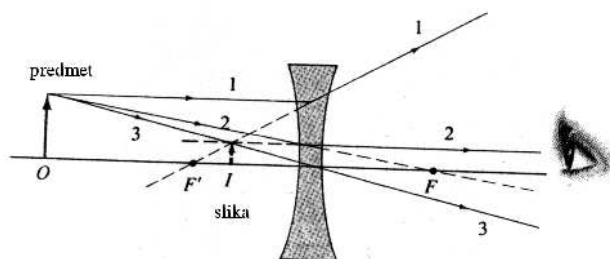
Vaja 8

OPTIKA

Datum:



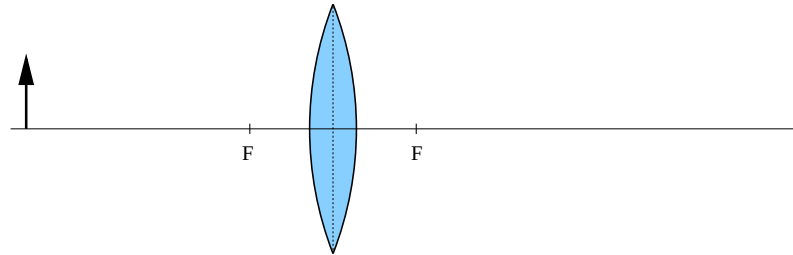
Slika 8.1: Potek karakterističnih žarkov in preslikava z zbiralno lečo. Kadar stoji predmet dlje od gorišča, je slika obrnjena in realna.



Slika 8.2: Potek karakterističnih žarkov in preslikava z razpršilno lečo. Slika predmeta je pokončna in navidezna.

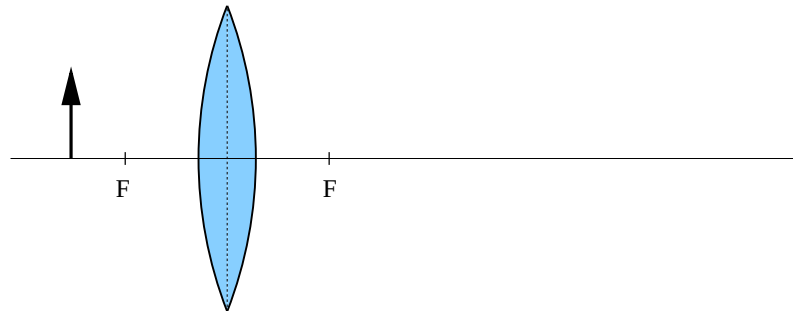
1. **Ponovi osnove geometrijske optike.** Primer preslikave z zbiralno (konveksno) in razpršilno (konkavno) lečo prikazujeta sliki 8.1 in 8.2.

- Nariši, kje nastane slika predmeta (puščica) v naslednjih primerih, v katerih F označuje gorišče leče.



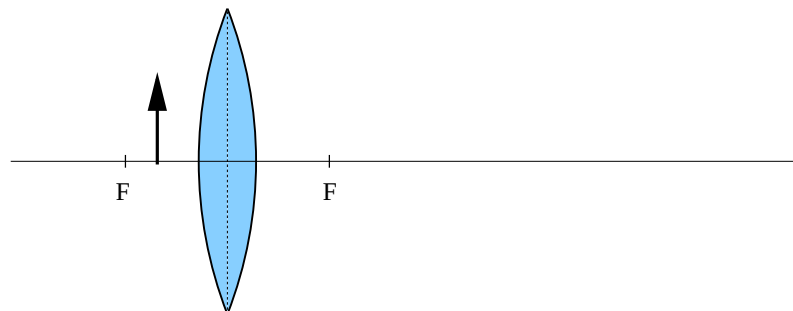
Slika je

Povečava je



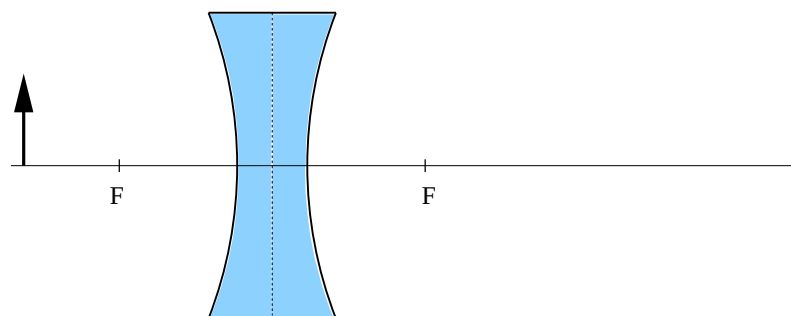
Slika je

Povečava je



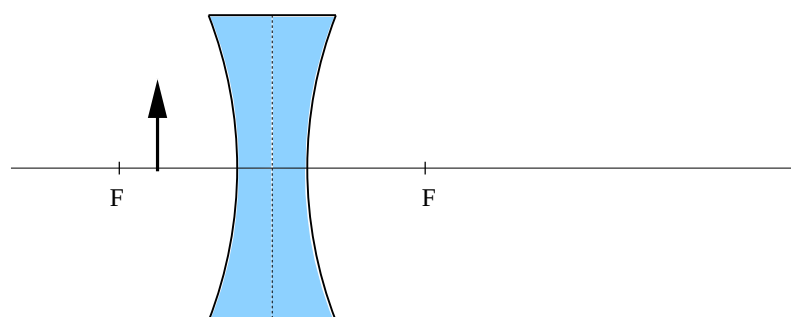
Slika je

Povečava je



Slika je

Povečava je



Slika je

Povečava je

- Pri vseh gornjih slikah napiši, kakšna je slika (realna ali navidezna ter pokončna ali obrnjena).
- Pri vseh slikah določi tudi povečavo leče. Izmeri velikost slike in velikost predmeta. Povečavo dobiš tako, da deliš velikost slike z velikostjo predmeta.
- Ugotovi, kako je oddaljenost slike od leče odvisna od položaja predmeta pred njo.

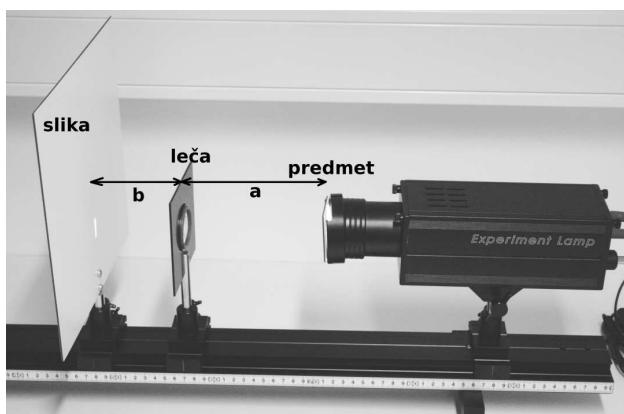
2. Enačba leče

Za vse leče velja enačba

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{a} + \frac{1}{b}, \quad (8.1)$$

kjer je a razdalja od predmeta do leče, b razdalja od leče do slike in f goriščna razdalja leče, tj. razdalja od gorišča do leče. Po dogovoru je goriščna razdalja zbiralne leče pozitivna, razpršilne pa negativna. Kadar je razdalja b negativna, nastane slika pred lečo, tj. na isti strani, kot je predmet, in je navidezna.

- Izračunaj, kje nastane slika predmeta, ki je 1 m oddaljen od leče z goriščno razdaljo 10 cm.
- Izračunaj, kje nastane slika predmeta, ki je 2 cm oddaljen od zbiralne leče z goriščno razdaljo 10 cm.
- Izračunaj, kolikšna je goriščna razdalja zbiralne leče, ki ustvari sliko 100 m oddaljenega drevesa 5 cm za lečo.



Slika 8.3: Goriščno razdaljo zbiralne leče lahko natančno določimo na optični klopi.

3. Določi goriščni razdalji dveh zbiralnih leč.

- Najprej približno oceni goriščno razdaljo, in sicer tako, da z lečo preslikaš zelo oddaljen predmet (npr. sosednjo stavbo na belo tablo v laboratoriju). Slika zelo oddaljenega predmeta nastane v goriščni ravnini zbiralne leče.

Goriščna razdalja prve leče je približno

Goriščna razdalja druge leče je približno

- Določi goriščni razdalji obeh leč na optični klopi (slika 8.3). Postavi predmet pred lečo in premikaj zaslon tako dolgo, da na njem vidiš ostro sliko predmeta. Izmeri razdalji a in b ter po enačbi 8.1 izračunaj goriščno razdaljo. Meritev ponovi za štiri različne oddaljenosti predmeta od slike. Izračunaj povprečno vrednost goriščne razdalje in oceni napako meritve.

Prva leča:

Oddaljenost predmeta (a) [cm]	Oddaljenost slike (b) [cm]	Goriščna razdalja (f) [cm]

Povprečna goriščna razdalja je $\pm$

Druga leča:

Oddaljenost predmeta (a) [cm]	Oddaljenost slike (b) [cm]	Goriščna razdalja (f) [cm]

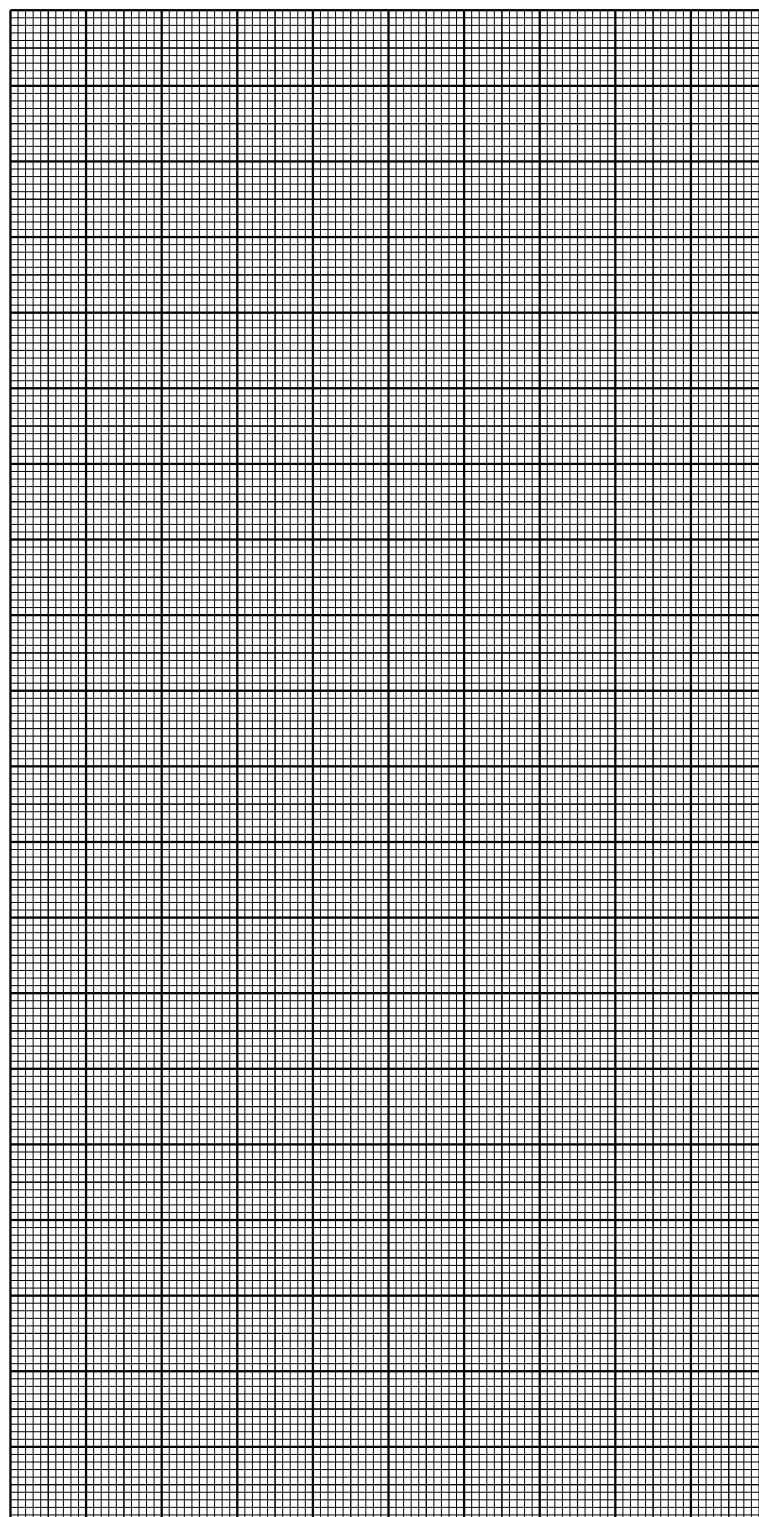
Povprečna goriščna razdalja je $\pm$

- Primerjaj na optični klopi izmerjeni goriščni razdalji s tistima, ki si ju določil s preslikavo oddaljenega predmeta. Kolikšna je razlika?

4. Diaprojektor

- Na optični klopi sestavi diaprojektor v skladu z ustrezno postavitvijo leče in predmeta (glej sheme na strani 110) in ga preizkusi. Za objektiv uporabi lečo, ki si ji izmeril manjšo goriščno razdaljo. Ali je slika predmeta res povečana in ostra?
- Nariši v primernem merilu shemo sestavljenega diaprojektorja.

Nasvet: Risanje bo lažje, če zvezek obrneš za 90 stopinj in lečo postaviš v zgornji levi kot milimetrskega papirja.



- Na shemi nariši gorišče leče ter s pomočjo karakterističnih žarkov določi sliko predmeta. Preveri, ali se lega in višina te slike ujemata s sliko na optični klopi sestavljenega diaproyektorja. Če ne, razmisli, zakaj pride do razlike.

5. Oko

- S pomočjo literature ugotovi, kako je sestavljeno človeško oko in kako deluje. Nariši ga in označi njegove glavne dele ter na kratko opiši njegovo delovanje.

- Kaj je kratkovidnost? S kakšnimi lečami jo odpravimo?

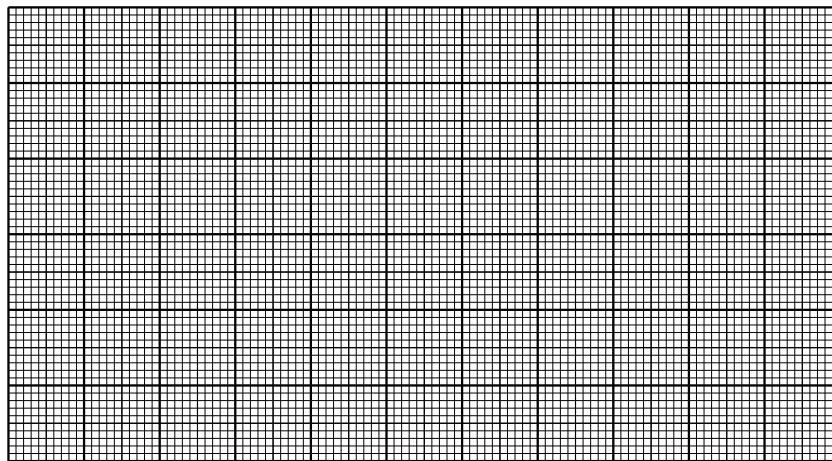
- Kaj je daljnovidnost? S kakšnimi lečami jo odpravimo?

- Zakaj starejši ljudje pogosto potrebujejo očala?

6. Dodatna vprašanja

- (a) Predmet stoji štiri metre pred razpršilno lečo z goriščno razdaljo 150 cm. Kje nastane slika in kakšna je?

- (b) Nariši v pravem merilu, kako v prejšnjem primeru nastane slika.



- (c) V učbeniku si oglej, kako deluje mikroskop. Nariši njegovo shemo.

- (d) Kolikšne so goriščne razdalje objektivov fotografskih aparatov?

- (e) Kaj je zoom?
- (f) Predmet stoji 4 metre pred konkavnim zrcalom z goriščno razdaljo 1 m? Nariši in izračunaj, kje nastane slika.
- (g) Nariši, kako nastane slika v ravnem zrcalu.

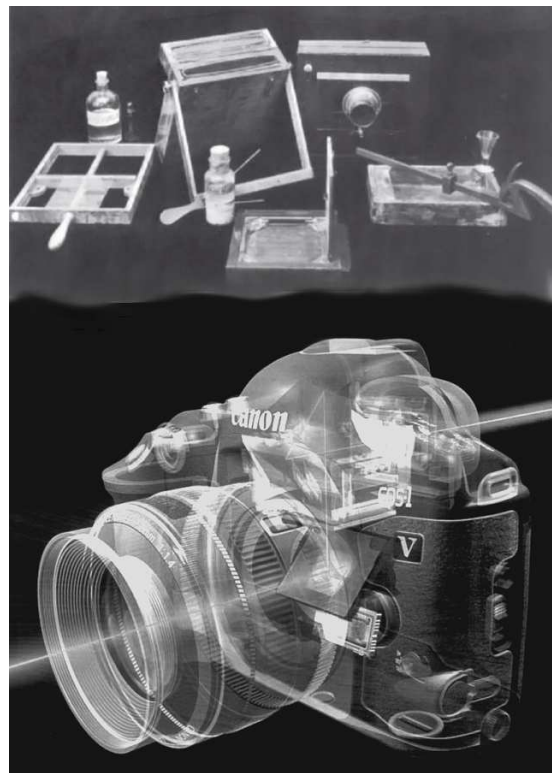
- (h) Ali lahko ugotoviš, kako je deloval eden prvih fotoaparatov, ki je prikazan na sliki.



Vaja 9

DIGITALNA FOTOGRAFIJA

Datum:



Slika 9.1: Delovni pripomočki fotografa iz 19. stoletja (zgoraj) in sodobni foto-aparat za digitalno fotografijo

¹Avtor te vaje je dr. Andrej Lebar.

1. Uvod

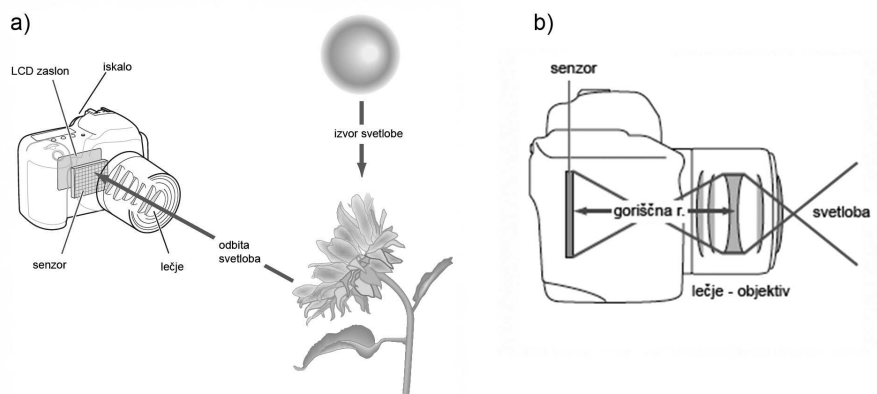
V sodobnem svetu se hote ali nehote vse pogosteje znajdemo 'v objektivu' takšne ali drugačne elektronske kamere, zato je prav, da se poučimo o nastanku digitalne slike, nekaterih operacijah, ki jih lahko opravimo na sliki in načinih njenega shranjevanja. Ena od glavnih prednosti digitalne fotografije je, da je cena fotografij tako rekoč zanemarljiva, če seveda ne računamo stroškov nakupa opreme. Ravno cena posamezne zajete fotografije spodbuja uporabnike k eksperimentiranju, tako z motivi kot tudi z nastavitvami digitalne kamere.

Preden boš opravljal to vajo, si v spletni enciklopediji www.wikipedia.org oglej poglavje o digitalnih fotoaparatih.

2. Digitalni fotoaparat

Digitalni fotoaparat se od klasičnega razlikuje po tem, da je za objektivom namesto filmskega traku slikovni senzor, kakršnega vidimo na sliki 9.5.

Slika nastane, ko svetloba pade na opazovani predmet in se na njem difuzno odbije. Del te svetlobe se odbije v smeri fotoaparata in v njegov objektiv, kot prikazuje slika 9.2a. Za objektivom je slikovni senzor (slika 9.2b), ki svetlobo spremeni v ustrezno matriko številskih vrednosti. Računalnik v fotoaparatu matriko slike shrani na izmenljive spominske kartice. Štiri najpogostejše vrste spominskih kartic vidimo na sliki 9.4, in sicer xD, SD, CF in MS.



Slika 9.2: Lečje v objektivu fotoaparata zbere svetlobo, ki se difuzno odbije od opazovanega predmeta (a). V digitalnem fotoaparatu nastane slika na slikovnem senzorju(b). [2]

- Odgovori na naslednja vprašanja o uporabljenem aparatu. Pomagaš si lahko s podatki, ki so zapisani na ohišju fotoaparata in s priloženimi navodili.

Znamka in tip fotografskega aparata:

.....

Kakšne vrste je spominska kartica uporabljenega digitalnega fotoaparata? (Pomembno je, da veš, da SD, MMC, xD in MS kartice iz fotoaparata običajno vzamemo tako, da jih najprej rahlo potisnemo nekoliko bolj v ležišče, dokler ne zaslišimo šibkega klika, nakar jih vzmet po navadi potisne iz ležišča.)

.....

Število uporabljenih točk na slikovnem tipalu (v milijonih elementov):

.....

Največja goriščna razdalja objektiva [mm]:

.....

Najmanjša goriščna razdalja objektiva [mm]:

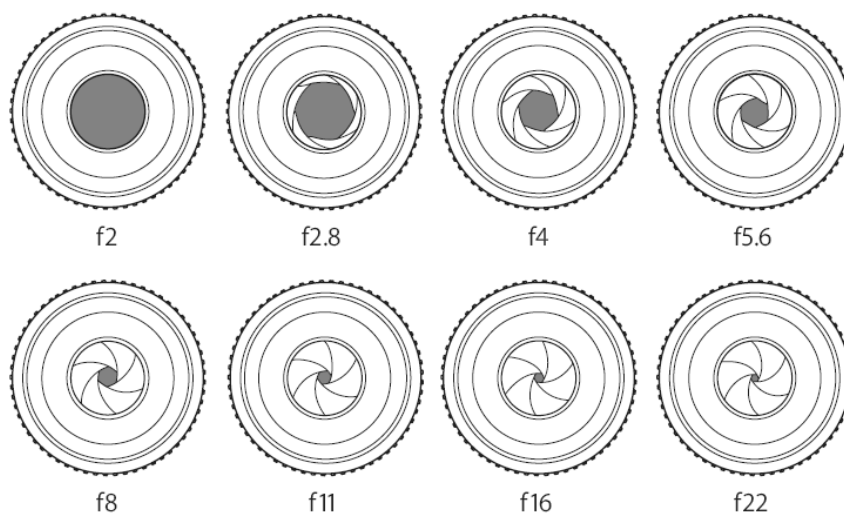
.....

Izračunaj razmerje med največjo in najmanjšo goriščno razdaljo objektiva:

.....

Vrednost najbolj odprte zaslonke pri najmanjši in največji goriščni razdalji (glej sl. 9.3) :

.....



Slika 9.3: Shematični prikaz odprtosti zaslone. Odprtost se izraža s številom f , ki pomeni razmerje med goriščno razdaljo objektiva in njegovo vstopno odprtino [5].

- Najprej preglej priložena navodila. Spoznaj digitalni fotoaparat, ki je na voljo pri vajah. Preveri, ali je vanj vstavljena spominska kartica, nato gumb za izbiro načina delovanja nastavi na **P**, vključi aparat in posnemi nekaj slik svoje neposredne okolice. Preklopi izbirnik na predvajanje in si oglej rezultate. Če se hočeš prepričati o ostrini posnetka, ga povečaj s pritiskanjem na gumb W/T.

Odgovori na naslednja vprašanja o fotoaparatu:

Najmanjša razdalja, pri kateri aparat še izostri sliko pri najmanjši goriščni razdalji je:

.....

Najmanjša razdalja, pri kateri fotoaparat še izostri sliko pri največji goriščni razdalji je:

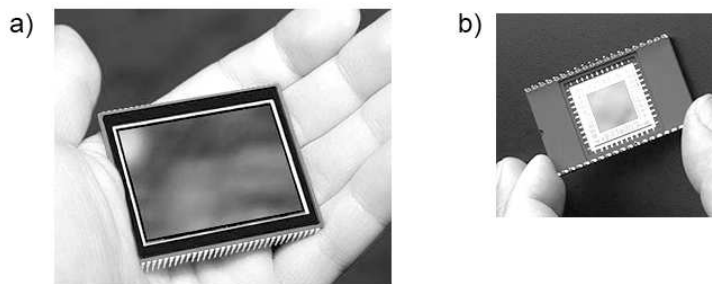
.....

Nastavi fotografski aparat na makro nastavitev in izmeri najmanjšo razdaljo, pri kateri aparat sliko še izostri pri najmanjši goriščni razdalji:

.....



Slika 9.4: Spominske kartice za shranjevanje digitalnih fotografij.

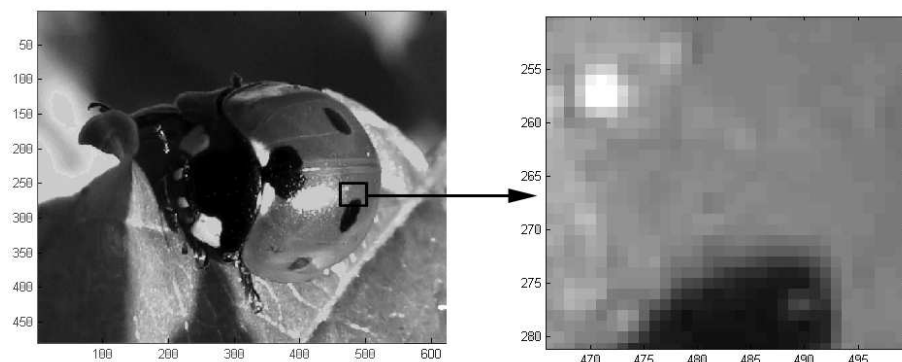


Slika 9.5: Slikovni senzor prihodnosti z 39 milijoni slikovnih elementov (a) in sodobni slikovni senzor (b).

3. Digitalna slika

Sivinska digitalna slika je matrična forma števil z vrednostmi med 0 in 256, pri čemer vrednost 0 ustreza povsem črnim delom slike, 256 pa povsem belim. Številske vrednosti so sorazmerne svetlobnemu toku, ki vpada na senzor, pri čemer je treba upoštevati še dejstvo, da senzorji niso enakomerno občutljivi niti za vse valovne dolžine vidne svetlobe. Na sliki 9.5 vidimo skupaj sodobni senzor in senzor, ki se bo uveljavil v prihodnosti. Ima kar 39 milijonov slikovnih elementov, kar je približno štirikrat več kot jih imajo sodobni fotoaparati z 8 milijoni slikovnih elementov.

Število slikovnih elementov na senzorju je pomembno, ker med drugim določa, kako majhne objekte bomo še ločili med seboj, in dopustno povečavo. Na sliki 9.6 vidimo sliko pikapolonice. Del izvirne slike, ki je v okvirju, smo na desni sliki močno povečali (približno petnajstkrat). Vidimo, da je povečana slika zelo kockasta. Vsak kvadratega ustreza enemu slikovnemu elementu na slikovnem senzorju in ima po vsej površini enako vrednost.

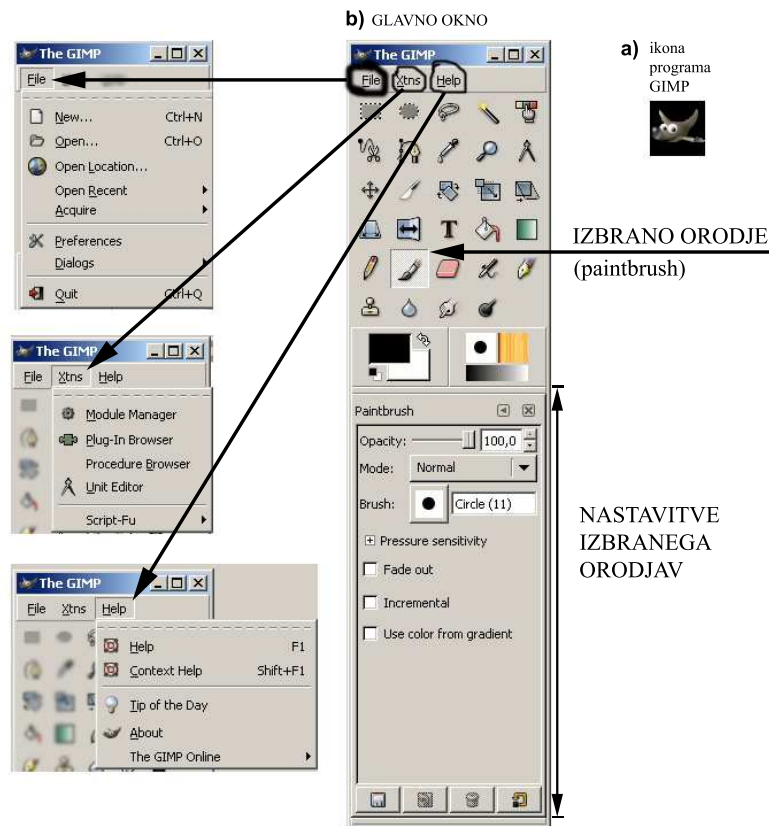


Slika 9.6: Digitalna slika na levi in povečan izrez na desni. Na povečavi vidimo posamezne elemente slike.

- Iz nastavitvenih dialogov fotoaparata ugotovi, katere dimenzije slike je mogoče nastaviti na fotoaparatu, ki ga imaš na voljo.

velikost slike v vodoravni smeri	×	velikost slike v navpični smeri	razmerje med številom vrstic in stolpcev
640	×	480	4:3
	×		
	×		
	×		
	×		
	×		
	×		

Izračunaj, kolikšna bo dimenzija največje slike, ki jo bomo dobili s senzorjem velikosti 39 M, če bo razmerje enako, kot si ga izračunal zgoraj?

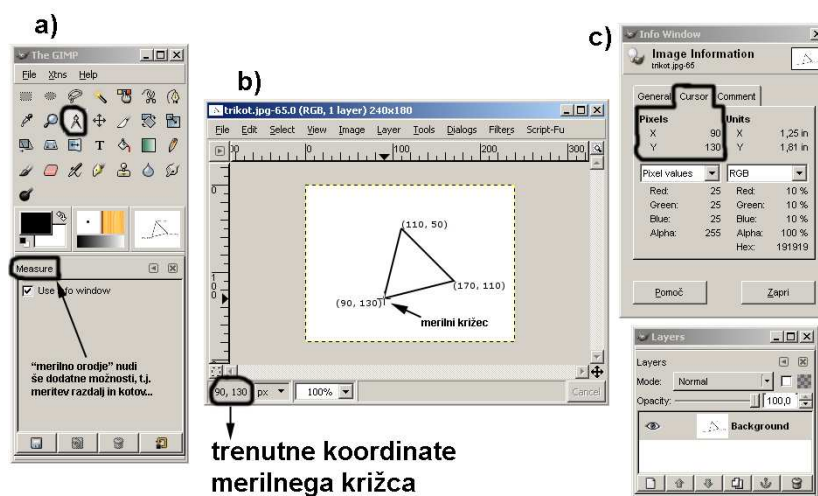


Slika 9.7: Ko poženemo program GIMP, se odpre glavno okno, v katerem so mogoče tri izbire. S puščicami so označene razširjene možnosti.

4. Računalniški program za obdelavo slike GIMP

Ko smo sliko zajeli z digitalnim fotoaparatom, je ta zapisana kot datoteka na spominski kartici. Datoteko slike lahko neposredno uporabimo v različnih programih, kot so na primer programi za razpoznavanje in štetje krvnih celic, programi za načrtovanje terapij in baze podatkov. Mnogo pogosteje pa želimo sliko spraviti na papir. Pri tem si želimo, da bi bila slika čim lepša, zato je morda treba popraviti kontrast, osvetlitev ali izrez. Pri tem delu si pomagamo z računalniškimi programi za pregledovanje in obdelavo slike. Primer preprostejših programov so npr. Irfan View, PaintShopPro in ACDsee, ali zahtevnejša Adobe Photoshop in GIMP (**G**nu **I**mage **M**anipulation **P**rogram). Slednji je vsakomur brezplačno dostopen na spletu (<http://www.gimp.org/>) in je že v običajni namestitvi operacijskega sistema Linux.

Program najpogosteje poženemo tako, da dvakrat kliknemo na ikono programa GIMP na namizju (slika 9.7a). Odpre se glavno okno programa,



Slika 9.8: Glavno okno programa GIMP (a); odprta slika trikot.jpg (b); okno s podatki ter okno za prikaz slikovnih plasti (c).

kot ga vidimo na sliki 9.7b. Glavno okno omogoča tri izbire: *File*, *Xtns* in *Help*. Te nam prikažejo ikone z orodji, ki so na voljo za obdelavo delov slike.

Sliko odpremo tako, da kliknemo najprej na *File* in nato na *Open*. Odpre se običajno okno z izbirami imenikov in seznamom datotek v izbranem imeniku. Skrajno desno je okno v katerem vidimo predogled slike (preview). Izbiri slike potrdimo s klikom na gumb *odpri* (open) spodaj desno. Slika se z računalniškega diska naloži v računalnikov spomin, ki jo prikaže v posebnem oknu, katerega primer vidimo na sliki 9.8b. Iz naslovne vrstice na tej sliki razberemo, da je sliki ime *trikot.jpg*, da je to 65. odprta slika, odkar smo pognali program GIMP in (RGB, 1 layer) 240×180 pove, da je to barvna slika (**R**ed **G**reen **B**lue) z eno plastjo (layer) dimenzije 240×180 slikovnih elementov.

Na sliki 9.8b je preprosta slika trikotnika, ki smo mu označili koordinate oglišč. V nadaljevanju vaje bomo morali določiti nekatera značilna mesta na človekovem telesu, zato si oglejmo priročno orodje, ki je na voljo in ga lahko uporabimo v ta namen. V spodnji (statusni) vrstici razberemo, da je trenutni položaj merilnega križca na sliki na koordinatah (90, 130). Enota "px" označuje, da merimo koordinate v slikovnih elementih, vendar imamo možnost enote nastaviti tudi na milimetre ali centimetre, vendar te enote veljajo le, če je slika umerjena. Okence v katerem piše 100 % označuje povečavo slike in nima vpliva na vrednost izmerjenih koordinat; pogosto je smiselno za meritve nastaviti povečavo na večkratnik osnovne povečave, zato da lahko natančneje postavimo merilni križec. Vrednosti koordinat v dveh merjenih točkah prepisemo in nato po Pitagorovem izreku določimo razdaljo med njima.

GIMP pa ponuja tudi bližnjico. Orodje, ki je izbrano na sliki 9.8a je na-

menjeno merjenju razdalje med dvema točkama. V orodjarni je označeno s simbolom za šestilo. Uporabimo ga tako, da merilni križec postavimo v oknu slike na prvo merjeno točko, pritisnemo tipko na miški in povlečemo križec do druge merjene točke, nakar tipko na miški spustimo. Takoj, ko s pritiskom na miškino tipko izberemo prvo točko se odpre novo okno, v katerem sproti opazujemo izmerjeno vrednost razdalje in kota.

- Zapiši Pitagorov izrek:

.....

- Razdaljo med točkama $T_1(x_1, y_1)$ in $T_2(x_2, y_2)$ izračunamo

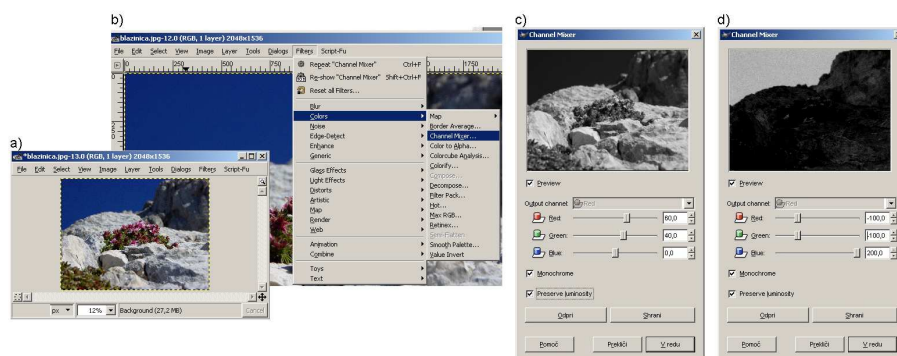
$$d = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2}.$$

- Zaženi program GIMP, odpri sliko trikot.jpg in izmeri dolžino krakov trikotnika, tako da odčitavaš koordinate in izračunaš njihovo dolžino. Račun preveri z merilnim orodjem programa GIMP. Zaenkrat zane-mari enote in uporablaj kar slikovni element kot enoto dolžine. V spodnji prostor tabeliraj meritve in izračune.

.....

Včasih želimo digitalno barvno sliko spremeniti v sivinsko, vendar bi radi nekatere barve ojačali, druge pa oslabili. V programu GIMP je orodje, s katerim bomo lahko to enostavno naredili. Odpri sliko blazinica.jpg. Slika je tipičen primer slike s precej močnim barvnim kontrastom (slika 9.9a). V vrstici z izbirami nad sliko izbiramo tako, kot je prikazano na sliki 9.9b: najprej **Filters**, nato **Colors** in **Channel Mixer**. V oknu **Channel Mixer** lahko nadzorujemo vpliv izbrane barve na sivinsko sliko. Na sliki 9.9c smo oslabili vpliv modre barve, zato je na sivinski sliki nebo črno. Ravno nasprotno smo na sliki 9.9d vpliv modre močno močno ojačali in tako dobili nebo svetlo, preostali del slike pa bistveno temnejši kot prej.

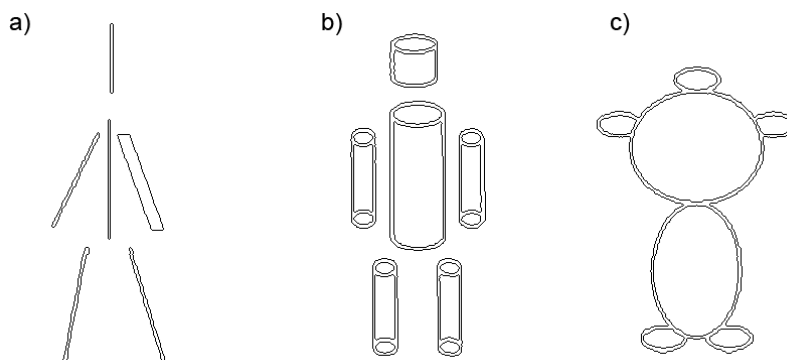
- Preizkusi delovanje postopka na sliki blazinica.jpg, nato pa še na sliki, ki jo posnameš na vajah.



Slika 9.9: Koraki pretvorbe barvne slike v sivinsko, kjer lahko nadzorujemo prispevek vsake od osnovnih barv posebej.

5. Meritev razmerij človeškega telesa

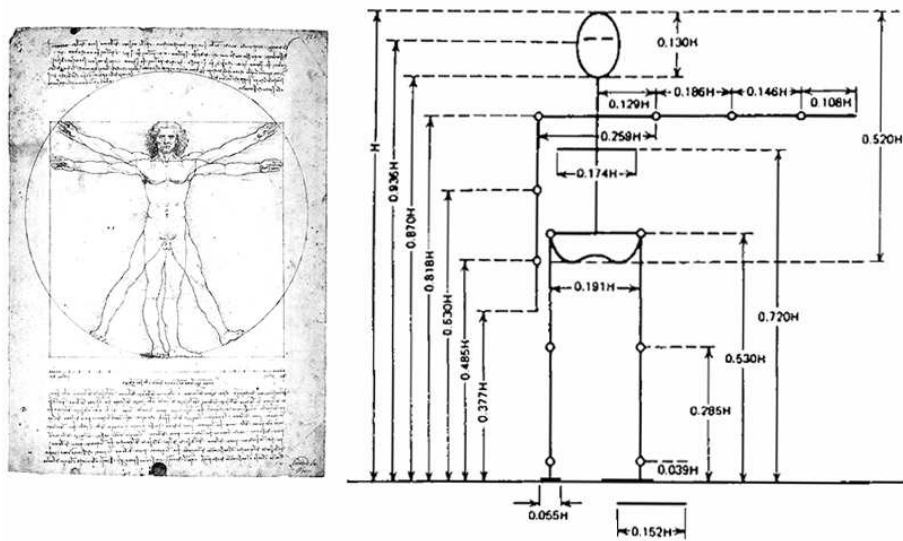
Pri raziskavah človekovega gibanja si pomagamo s preprostimi modeli. Kot primer si na sliki 9.10 oglejmo tri preproste modele človekovega telesa, ki jih uporabljajo pri razpoznavanju oseb na podlagi njihove hoje [4]. Posamezne segmente modelov je treba za vsakega posameznika določiti posebej.



Slika 9.10: Paličasti, cilindrični in kroglasti model telesa, ki se uporabljajo pri modeliranju hoje [4].

Da ne bi bilo treba vedno znova meriti dolžin vseh segmentov telesa, uporabljamo antropometrične tabele (slika 9.11), v katerih so navedena razmerja med dolžinami segmentov in človekovo višino H .

V povprečju so pri ljudeh razmerja med dolžinami segmentov telesa in višino telesa H res takšna, kot jih lahko preberemo s shematične slike človeškega telesa (sl. 9.11), vendar iz izkušenj vemo, da že majhne razlike v teh razmerjih vodijo k znatnim razlikam v človekovih sposobnostih za nekatere gibe.



Slika 9.11: Razmerja med dolžinami delov telesa, kot jih je narisal Leonardo da Vinci, in moderna antropometrična slika (desno) [1, 3].

Z meritvami bomo preverili, kako dobro se model razmerij s slike 9.11 obnese na primeru članov skupine, ki vajo opravljajo. Na sliki 9.11 so shematično prikazana razmerja med človekovo višino H in nekaterimi segmenti, kot jih najdemo v literaturi [1, 3]:

- polovična širina ramenskega obroča: $d_0 = 0,129H$,
- dolžina nadlahti: $d_n = 0,186H$,
- dolžina podlahti: $d_p = 0,146H$,
- radij glave: $r_{glave} = 0,065H$,
- širina trupa med rameni (biakromialna širina): $t_{irina} = 0,174H$,
- globina trupa anteriorno-posteriorno: $t_{globina} = 0,089H$ in
- višina temena glave od ramen: $v_{glava} = 0,182H$.

- Izmeri naslednja razmerja med dolžino segmentov in višino telesa. Meritve opravi dvakrat, in sicer izmeri dolžine segmentov na digitalni sliki izbrane osebe in še s tračnim merilom.

Merjenje segmentov telesa s tračnim merilom ni zapleteno, le natančen je treba biti pri določanju meja. Merjenje na sliki pa zahteva nekoliko iznajdljivosti. Na sliki 9.12 smo osebi meje segmentov označili s prozornim označevalcem besedila in ga slikali ob osvetlitvi z ultravijolično svetlobo. Sled označevalca postane pri teh pogojih močno vidna, kontrast med svetlostjo telesa in oznak pa izjemen. Pri vajah bomo uporabili barvaste samolepljive lističe, ki jih bomo v programu za obdelavo slik napravili bolj vidne od drugega dela slike, tako kot smo se naučili v prejšnjem poglavju.

- Vsak od članov skupine naj si na meje telesnih segmentov nalepi barvaste samolepilne nalepke. Paziti je treba, da se nalepke barvno



Slika 9.12: Črno-bela fotografija testne osebe. Nekatera ključna mesta smo označili s prozornim označevalcem teksta, ki postane močno viden v ultra vijolični svetlobi. Položaj temena smo označili naknadno v programu GIMP.

dovolj razlikujejo od barve obleke. Sliko s fotoaparata prenesi v računalnik in jo obdelaj tako, da bodo oznake dobro vidne. Nato s programom GIMP izmeri koordinate označenih točk in rezultate vnese v tabelo.

- Višina osebe, izmerjena s tračnim metrom:

.....

- Višina osebe, izmerjena na sliki, izražena v točkovnih elementih:

.....

- Tabela rezultatov:

oznaka segmenta	sl. x_1	sl. y_1	sl. x_2	sl. y_2	dolžina segmenta	razmerje z višino H_{sl}	meritev s trakom [cm]	razmerje z višino H
H								
$2d_0$								
d_n								
d_p								
r_{glave}								
t_{sirina}								
$t_{globina}$								
v_{glava}								

6. Priprava predstavitve

Zamislite si, kakšne slike bi potrebovali za predstavitev svoje dejavnosti na eni strani brošure ali na spletni strani. Pripravite idejno skico na listu papirja velikosti A4, naredite potrebne slike in jih obdelajte v programu GIMP. Datoteke slik shranite v svoj imenik na disku računalnika. Pri delu si pomagajte z navodili za delo s programom GIMP.

7. Literatura

1. Winter D. A., Biomechanics and motor control of human movement, ed. 2, Wiley-Interscience Publication, University of Waterloo, 1990.
2. Aperture Digital Photography Fundamentals, 2005 Apple Computer, Inc.
3. Klopčar N., Lenarčič J., Dosegljivi delovni prostor človeške roke, uporaba v rehabilitaciji, Delovno poročilo IJS DP 8800, Odsek za avtomatiko, biokibernetiko in robotiko, Institut Jožef Stefan, Ljubljana, Slovenja, junij 2003.
4. Nixon M. S., Carter J. N., Cunado D., Huang P. S., Stevenage S. V., Automatic Gait Recognition in Biometrics: Person al Identification in Networked Society, edited by Anil K. Jain, E. Lansing, Ruud Bolle and Sharath Pankanti, Kluwer Academic Publishers, 2002.
5. <http://en.wikipedia.org/wiki/F-number>.

Vaja 10

SVETLOBA

Datum:

Tabela 10.1: Valovne dolžine vidne svetlobe

Barva	Valovna dolžina [nm]
vijolična	400 do 440
modra	440 do 480
zelena	480 do 560
rumena	560 do 590
oranžna	590 do 630
redeča	630 do 700

1. Vesolje

- Preberi poglavje o svetlobi in vesolju v učbeniku.
- Zvečer si oglej zvezdno nebo. Poišči zvezdo Severnico in ozvezdja, povezana z legendo o Perzeju. Katera so to?

- V katero smer se gibljejo zvezde in zakaj Severnica miruje?
- Kako je sestavljeno naše osončje? Po vrsti naštej planete, kot so oddaljeni od Sonca.

2. Valovanje

- Katere so osnovne količine, ki določajo valovanje, in kaj pomenijo?
- Kaj pomeni enačba $c = \lambda\nu$?
- Nariši primer valovanja in na sliki označi valovno dolžino.

- Kakšno je transversalno valovanje in kakšno longitudinalno?
- Naštej nekaj vrst valovanj in napiši, kakšne vrste so.

3. Interferenca valovanja

- Kaj je interferenca valovanja?
- Kaj dobimo, če prideta hkrati na isto mesto dve valovanji z enako amplitudo, a fazno premaknjeni za 180° ? Nariši primer!

4. Spekter vidne svetlobe

Napiši, katerim barvam ustrezajo valovne dolžine svetlobe. Pomagaj si s tabelo 10.1.

	Spekter vidne svetlobe																	
$\lambda[\text{nm}]$	380	400	420	440	460	480	500	520	540	560	580	600	620	640	660	680	700	720
barva																		

5. Uklonska mrežica

Uklonska mrežica je zelo gosta mrežica – reže v njej so primerljive z valovno dolžino svetlobe, zato se na njej svetloba uklanja. Pravzaprav po navadi uklonska mrežica sploh ni mrežica, ampak kos filma, na katerem so v zelo majhnih razdaljah narisane črtice.

Kadar gre svetloba skozi mrežico z režami, med katerimi je razdalja (d) le malo večja od valovne dolžine svetlobe, opazimo za mrežico uklonsko sliko. Svetle pege (uklonski maksimum) dobimo v smereh, za katere velja

$$d \sin \theta = n\lambda, \quad (10.1)$$

kjer je uklonski red $n = 0, 1, 2, 3 \dots$

- Skozi uklonsko mrežico si ogledaj spekter sončne svetlobe in svetlobe, ki jo seva žarnica.

Nariši, kaj vidiš.

Ali lahko to pojasniš?

6. S He-Ne laserjem določi razdaljo med režami uklonske mrežice

Helij-neonov laser deluje tako, da vzbudimo atome helija v metastabilno stanje z energijo 20,61 eV. Ti atomi lahko pri trkih oddajo energijo atomom neona, katerih tretje vzbujeno stanje ima skoraj enako energijo (20,66 eV

- razliko prispeva kinetična energija He). Drugo vzbujeno stanje neona je le $\Delta E = 1,96 \text{ eV}$ niže. Pri prehodu v to stanje atomi sevajo svetlobo z valovno dolžino 632.8 nm. Valovna dolžina (λ) je namreč enaka $hc/\Delta E$, kjer je $h = 6.63 \cdot 10^{-34} \text{ Js}$ Planckova konstanta in c hitrost svetlobe. Izsevana svetloba spodbudi še vse druge atome neona, da se vrnejo v drugo, nižje stanje. Pri tem vsi atomi usklajeno in hkrati oddajo svetlobo.

- S He-Ne laserjem posveti skozi uklonsko mrežico in na zaslonu določi lego prvega uklonskega maksimuma.

Izmeri:

Oddaljenost zaslona od mrežice je

Razdalja med levo in srednjo piko je

Razdalja med desno in srednjo piko je

Izračunaj povprečno oddaljenost prvega uklonskega maksimuma od sredine:

.....

Izračunaj kot θ . Nato po enačbi 10.1 za prvi uklonski maksimum ($n=1$) določi razdaljo med režami mrežice.

Kot θ je

Razdalja med režami mrežice je

7. Z uklonsko mrežico določi valovno dolžino svetlobe, ki jo seva natrijev atom

Na plinskem gorilniku razžari nekaj kuhinjske soli (NaCl) in z uklonsko mrežico opazuj sevano svetlobo.

- Kakšen je spekter te svetlobe?
- Iz lege uklonskega maksimuma in poznane razdalje med režami mrežice določi valovno dolžino natrijeve svetlobe.

Valovna dolžina natrijeve svetlobe je nm.

8. Fotoefekt

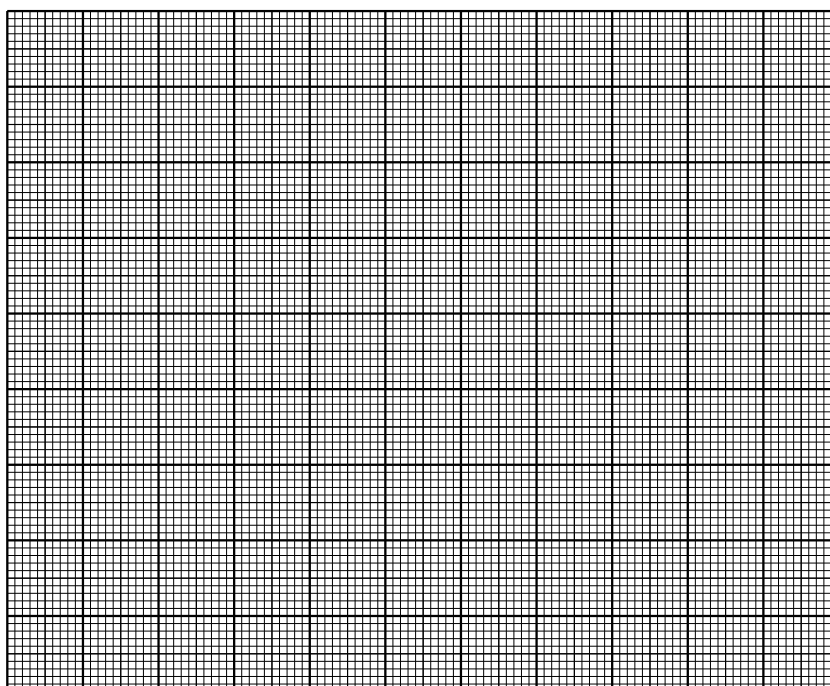
Ugotovi, ali je tok skozi fotodiodo res linearno odvisen od gostote svetlobnega toka, ki pada nanjo.

- Na optično klop postavi fotodiodo in izvor svetlobe. Izmeri električni tok skozi fotodiodo pri različnih oddaljenostih (r) od izvora svetlobe.

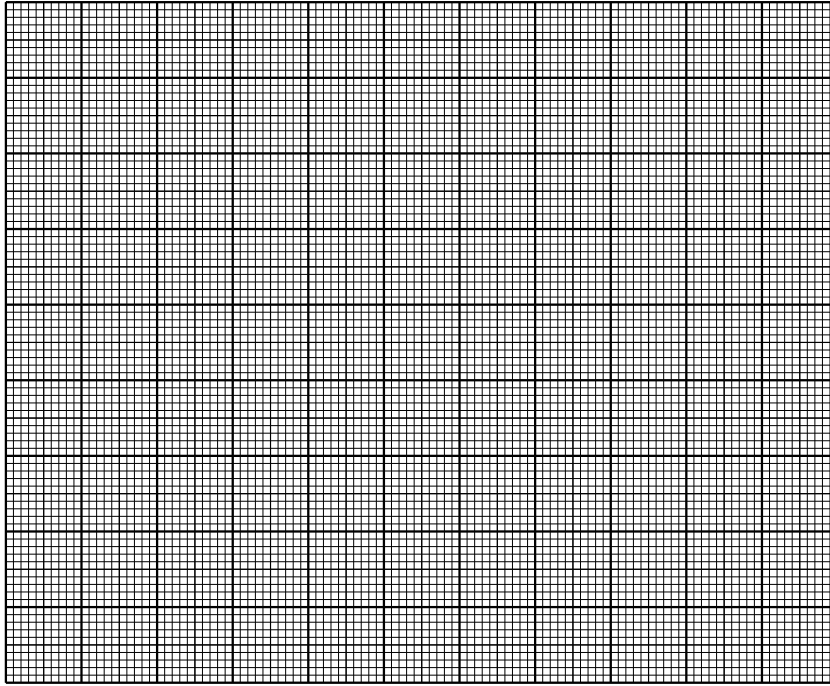
	Oddaljenost (r) [cm]	Električni tok [mV]	$1/r^2$ [cm ⁻²]

Opombe:

- Nariši odvisnost električnega toka skozi fotodiodo od oddaljenosti od svetila.



- Ker vemo, da gostota svetlobnega toka pada s kvadratom oddaljenosti, nariši še odvisnost izmerjenega električnega toka od $1/r^2$.



- Pojasni sliko.

9. Dodatna vprašanja

(a) S pomočjo tabele 10.1 dopolni naslednjo razpredelnico:

Frekvence vidne svetlobe

Barva	Frekvenca [s^{-1}]
vijolična	
modra	
zelena	
rumena	
oranžna	
redeča	

(b) Kako imenujemo svetlobo, katere valovna dolžina je manjša kot pri vijolični svetlobi?

(c) Kako imenujemo svetlobo, katere valovna dolžina je večja kot pri rdeči svetlobi?

(d) Kolikšne so valovne dolžine radijskih valov?

(e) Pojasni, kako nastane Lunin mrk. Skiciraj!

(f) Izračunaj, koliko časa potrebuje svetloba za pot od Sonca do Zemlje, če je razdalja med njima 149 597 870 km.

Dodatek 1

Vprašanja za ponavljanje snovi

1. Statistika

- Povprečna vrednost
- Standardni odklon
- Standardna napaka
- Frekvenčna porazdelitev meritev
- Kako določimo smerni koeficient iz izmerjene odvisnosti?

2. Funkcije

- Linearna funkcija, smerni koeficient
- Kvadratna funkcija
- Eksponentna funkcija

3. Odvodi

- Kaj so odvodi funkcij?
- Kako izračunamo odvode elementarnih funkcij? Navedi nekaj primerov.
- Trenutna in povprečna hitrost gibanja

4. Integrali

- Kaj so integrali funkcij?
- Kako izračunamo integrale elementarnih funkcij? Navedi nekaj primerov.
- Pot, hitrost in pospešek pri premem gibanju

5. Enote

- Katere so osnovne enote v sistemu SI?
- Naštej nekaj izpeljanih enot.
- Kako poimenujemo večje ali manjše enote od osnovnih?

6. Natančnost meritev in zaokrožanje rezultatov

- Kako pri rezultatu navedemo natančnost meritve?
- Kako zaokrožimo rezultat pri množenju ali deljenju števil?
- Kako zaokrožimo rezultat pri seštevanju ali odštevanju števil?

7. Premo gibanje

- Kaj so pot, hitrost in pospešek?
- Enakomerno gibanje
- Enakomerno pospešeno gibanje

8. Prosti pad

- Zakaj telesa padajo?
- Kakšno gibanje je to?
- Kako se hitrost in pot spreminjata s časom?

9. Navpični met navzgor

- Kakšno gibanje je to?
- Kako se hitrost in pot spreminjata s časom?

10. Poševni met

- Kakšno gibanje je to?
- Kako se hitrost in pot spreminjata s časom?

11. Vodoravni met

- Kakšno gibanje je to?
- Kako se hitrost in pot spreminjata s časom?

12. Sestavljeno gibanje

- Kako se giblje ladja na reki?
- Vodoravni met

13. Kroženje

- Kakšno gibanje je to?
- Katere količine določajo kroženje?
- Enakomerno kroženje
- Kakšen je pospešek pri enakomernem kroženju?

14. Kroženje – primer vožnje z vrtiljakom
 - Opiši, kakšne sile delujejo na potnika, ki se vozi v vrtiljakom.
15. Kroženje – gibanje satelitov okoli Zemlje
 - Opiši, kakšne sile delujejo na satelit, ki kroži okoli Zemlje.
16. Nihanje
 - Kakšno gibanje je to?
 - Katere količine določajo nihanje?
 - Opiši nekaj vrst nihajl.
 - Dušeno nihanje
17. Vzmetno nihalo
 - Kakšno nihalo je to?
 - Od česa je odvisna frekvenca takega nihala?
 - Kako se spreminja energija vzmetnega nihala?
18. Matematično nihalo
 - Kakšno nihalo je to?
 - Od česa je odvisna frekvenca takega nihala?
 - Kako se spreminja energija matematičnega nihala?
19. Fizično nihalo
 - Kakšno nihalo je to?
 - Od česa je odvisna frekvenca takega nihala?
 - Kako se spreminja energija nihala?
20. Torzijsko nihalo
 - Kakšno nihalo je to?
 - Od česa je odvisna frekvenca takega nihala?
21. Sile
 - Kaj je sila?
 - Sestavljanje in razstavljanje sil
 - Diagram prostega telesa
 - Pogoji za mirovanje telesa
22. Navor
 - Kaj je navor?
 - Pogoji za mirovanje telesa
 - Nariši in pojasni vzvod prvega tipa (ravnotežni).

23. Vzvodi

- Kaj so vzvodi?
- Za kaj jih uporabljamo?
- Tipi vzvodov

24. Vzvodi

- Nariši primer vzvoda in pojasni njegovo delovanje.
- Navedi nekaj primerov vzvodov v človeškem telesu.

25. Škripci

- Kaj so škripci?
- Za kaj škripce uporabljamo?
- Enostaven škripec
- Skiciraj in pojasni primer sestavljenega škripca.

26. Sila na glavo stegenice

- Kakšne sile delujejo na glavo stegenice pri sonožni stoji?
- Skiciraj sile na glavo stegenice pri enonožni stoji.

27. Obremenitev hrbtenice pri predklonu

- Skiciraj sile, ki delujejo na peto ledveno vretence pri predklonu
- Kaj to pomeni za dviganje bremen?

28. Sile na podlaket

- Skiciraj sile, ki delujejo podlaket, kadar je ta vodoravno
- Kako se te sile spremenijo, kadar držimo v roki breme?

29. Deformacije pri nategu ali tlaku

- Hookov zakon
- Modul elastičnosti
- Skiciraj odvisnost napetosti od raztezka za žico.
- Kako lahko izmerite modul elastičnosti žice?

30. Deformacije pri upogibu

- Kakšna je deformacija v sredini obremenjene palice?
- Kaj je ploskovni vztrajnostni moment?
- Kako lahko določimo modul elastičnosti iz upogiba palice?

31. Torzijske deformacije

- Kakšna je torzijska obremenitev?
- Navedi primer torzijskega zloma kosti

32. Trdnost snovi

- Kaj je natezna (tlačna, torzijska) trdnost?
- Skiciraj odvisnost napetosti od raztezka za kost.

33. Newtonovi zakoni

- Prvi Newtonov zakon
- Drugi Newtonov zakon
- Tretji Newtonov zakon

34. Gravitacija

- Zakaj telesa padajo?
- Zakaj Zemlja kroži okoli Sonca?
- Od česa je odvisna velikost gravitacijske sile?

35. Planeti in sateliti

- Zakaj krožijo planeti okoli Sonca?
- Kako je zgrajeno naše osončje?
- Kaj je ubežna hitrost?

36. Težišče

- Zakaj nastane teža telesa?
- Kako lahko določimo težišče predmeta?
- Kje je težišče stola, na katerem sediš?

37. Težišče

- Kaj je težišče?
- Kje je težišče človeškega telesa in kako se spremeni pri različnih gibih?
- Stabilometrija - merjenje gibanja težišča človeškega telesa.

38. Sile na klancu

- Nariši sile, ki delujejo na telo na klancu.
- Če naklon klanca povečujemo, telo zdrsne. Zakaj?
- Od česa je odvisna sila lepenja?

39. Trenje

- Zakaj nastaneta lepenje in trenje?
- Od česa je odvisna velikost sile lepenja?
- Pojasni razliko med trenjem in lepenjem.

40. Delo, energija, moč

- Pojasni, kaj so delo, energija in moč.
- V katerih enotah jih merimo?
- Kolikšno delo opravimo, če stopimo na 40 cm visoko stopnico?

41. Mehanska energija

- Kinetična energija
- Potencialna energija
- Kako se energija spreminja pri prostem padu?
- Energija matematičnega nihala

42. Gibalna količina

- Kaj je gibalna količina?
- Kako je z gibalno količino pri prožnem (neprožnem) trku?

43. Trki

- Vrste trkov
- Katere količine se ohranjajo pri različnih trkih?
- Navedi kakšen primer neprožnega trka.

44. Vrtenje

- Kaj je vrtenje?
- S katerimi količinami ga opišemo?
- Kaj je vztrajnostni moment?

45. Vrtenje – vrtilna količina

- Kaj je vrtenje?
- Kaj je vrtilna količina?
- Kako se spremeni hitrost vrtenja drsalca, ki razširi roke?
- Ali poznaš še kakšen podoben primer?

46. Vrtenje – energija

- Kaj je vrtenje?
- Kako izračunamo kinetično energijo pri vrtenju?
- Kako deluje igrača jo-jo?

47. Tekočine – Pascalov princip

- V katero smer delujejo sile tekočine na steno posode?
- Kaj je tlak?
- Kaj je Pascalov princip?
- Primer praktične uporabe Pascalovega principa.

48. Tekočine – hidrostatični tlak

- Kaj je gostota snovi?
- Kako nastane hidrostatični tlak? Od česa je odvisen?
- Ali je hidrostatični tlak v podvodni votlini drugačen kot zunaj nje? Zakaj?
- Kolikšen tlak deluje na potapljača 10 m pod vodno gladino?
- Vezne posode

49. Zračni tlak

- Kako nastane zračni tlak?
- Kako se spreminja z nadmorsko višino?
- Kako delujejo višinomeri?
- Kako je zračni tlak odvisen od vlažnosti zraka?
- Opiši merilnike zračnega tlaka.

50. Tekočine – vzgon

- Kaj je vzgon?
- Od česa je odvisen?
- Zakaj nekatera telesa plavajo v tekočini, druga pa ne?
- Kako lahko izmerimo gostoto tekočine?

51. Tekočine – površinska napetost

- Kaj je površinska napetost?
- Opiši en način merjenja površinske napetosti.
- Ali lahko šivanka plava na vodi? Zakaj?
- Kje v vsakdanjem življenju opaziš kapilarni dvig tekočine?

52. Tekočine – kapljice in mehurčki

- Opiši sile v milnem menurčku.
- Od česa je odvisna velikost zračnega mehurčka v vodi?
- Od česa je odvisna velikost kapljic, ki jih naredimo s kapalko?

53. Tekočine – gibanje

- Kakšen je laminarni in kakšen turbulentni tok tekočine?
- Reynoldsovo število.

54. Tekočine – gibanje

- Napiši in pojasni Bernoullijevo enačbo.
- Navedi nekaj primerov praktične uporabe Bernoullijeve enačbe.

55. Tekočine – gibanje

- Kako se spremeni hitrost tekočine, če se cev zoži?
- Navedi nekaj primerov, kjer lahko ta pojav opazujemo.
- Kaj je Venturijeva cev?

56. Tekočine – viskoznost

- Kaj je viskoznost?
- Opiši en način merjenja viskoznosti.

57. Tekočine – Poiseuillev zakon

- Kako teče viskozna tekočina po cevi?
- Kako je odvisen pretok tekočine od tlaka?
- Kako se spremeni pretok krvi v žili, če se njen premer zmanjša na polovico?

58. Tekočine – upor pri gibanju

- Od česa je odvisna sila upora na telo, ki se giblje v viskozni tekočini?
- Stokesova enačba
- Kaj je končna hitrost predmeta, ki pada v tekočini?

59. Valovanje

- Osnovne količine pri valovanju
- Odboj valovanja
- Lom valovanja
- Interferenca

60. Zvok

- Kako nastane zvok?
- Zaznava zvoka
- Gibanje zvoka po sredstvu

61. Zvok – struna

- Osnovno nihanje strune
- Od česa je odvisna višina tona strune?

62. Zvok – piščal

- Osnovno nihanje na enem koncu zaprte piščali
- Od česa je odvisna višina tona piščali?
- Kolikšna je lastna frekvenca sluhovoda? Zakaj je to pomembno?

63. Zvok – Quinckejeva piščal

- Kako smo s Quinckejevo piščaljo izmerili hitrost zvoka v zraku?
- Od česa je odvisna hitrost zvoka?

64. Zvok – glasnost, jakost

- Kaj je glasnost?
- Od česa je odvisna glasnost zvoka?
- Kolikšna je lastna frekvenca sluhovoda? Zakaj je to pomembno?
- Kaj je meja slišnosti?

65. Ultrazvok

- Kaj je ultrazvok?
- Kako nastane?
- Za kaj ga uporabljamo?

66. Temperatura

- Kaj je temperatura?
- V katerih enotah merimo temperaturo?
- Naprave in načini merjenja temperature.

67. Temperatura – raztezanje snovi

- Raztezanje snovi s temperaturo – linearno, prostorsko.
- Delovanje regulatorja na bimetalni trak.

68. Plini

- Plinska enačba – zveza med tlakom, prostornino in temperaturo
- Kaj so idealni plini
- Kaj je molska masa

69. Toplota

- Kaj je toplota?
- V katerih enotah jo merimo?
- Specifična toplota.

70. Toplota

- Kaj sta temperatura in toplota?
- V katerih enotah ju merimo?
- Kaj je specifična toplota?
- Kaj dobimo, če zmešamo dve tekočini z različno temperaturo?

71. Toplota – fazni prehodi, latentna toplota

- Kaj je fazni prehod?
- Kaj se dogaja pri taljenju in izparevanju?
- Talilna in izparilna toplota
- Kaj dobimo, če zmešamo led in vodo?

72. Toplota – toplotna prevodnost

- Načini prevajanja toplote
- Kaj je gostota toplotnega toka
- Od česa je odvisna gostota toplotnega toka skozi snov

73. Svetloba – lastnosti

- Kaj je svetloba?
- Odboj svetlobe
- Barva svetlobe
- Hitrost svetlobe

74. Svetloba - odboj

- Kje pride do odboja svetlobe?
- Lastnosti odboja svetlobe
- Difuzni in zrcalni odboj svetlobe

75. Svetloba - lom

- Kako se spreminja hitrost svetlobe v različnih snoveh?
- Kje pride do loma svetlobe?
- Lomni zakon
- Kaj je lomni količnik?

76. Optika – zrcala

- Odboj svetlobe
- Ravno zrcalo. Kako nastane slika?
- Konkavna in konveksna zrcala
- Goriščna razdalja zrcala
- Nariši, kako preslika konkavno zrcalo predmet, ki stoji pred njim.

77. Leče

- Kakšne vrste leč poznaš?
- Kaj je goriščna razdalja leče?
- Kako lahko določimo goriščno razdaljo leče?
- Opiši nekaj napak leč.

78. Oko

- Kako je zgrajeno človeško oko in kako deluje?
- Kratkovidnost
- Daljnovidnost

79. Geometrijska optika

- Nariši, kako zbiralna in razpršilna leča preslikata predmet, ki stoji pred goriščem.
- Nariši, kako zbiralna in razpršilna leča preslikata predmet, ki stoji med lečo in njenim goriščem.
- Kako deluje fotoaparat?

80. Optika – fotografija

- Kako deluje fotoaparat?
- Nariši, kako nastane slika na filmu.
- Kakšne vrste objektivov poznaš?
- Kaj je zoom?

81. Optika – mikroskop

- Kako deluje mikroskop?
- Povečava mikroskopa
- Različne mikroskopske tehnike

82. Električna

- Sila med dvema nabojema
- Električno polje
- Električni potencial in električna napetost

83. Električno polje

- Električno polje okoli električnega naboja
- Sila na naboj v električnem polju
- Kaj so ekvipotencialne ploskve?

84. Električna vezava

- Vzporedna in zaporedna vezava elementov
- Tok in napetost skozi vzporedno in zaporedno vezane upore

85. Električni tok

- Električni tok
- Tok skozi upor, Ohmov zakon
- Delo in moč

86. Električna napetost

- Električna napetost in tok.
- Kako ju merimo - naprave, vezava, enote?

87. Električna – izmenična napetost

- Kaj je izmenična napetost?
- Povprečna napetost in tok skozi upor
- Efektivna napetost in tok

88. Električni naboj

- Sila na električni naboj v električnem polju.
- Kako delujta osciloskop in televizor?

89. Električna varovalka

- Kakšna je pri nas omrežna napetost?
- Več naprav hkrati priključimo na električno omrežje. Kakšna je vezava in kako to vpliva na električno napetost in tok?
- Zakaj uporabljamo varovalke in kako delujejo?
- Kakšne baterije poznaš?

90. Magnetizem

- Magnetno polje - enote
- Sila na električni naboj v magnetnem polju.
- Sila na vodnik v magnetnem polju.

91. Magnetizem

- Sila na vodnik v magnetnem polju.
- Indukcija
- Transformator

92. Vesolje

- Nastanek in razvoj vesolja
- Hubblova konstanta
- Dopplerjev pojav

93. Vesolje – naše osončje

- Kako je zgrajeno naše osončje?
- Zakaj in kako krožijo planeti okoli Sonca?
- Ozvezdja

94. Atomika

- Kako je sestavljen vodikov atom?
- Kvantna števila
- Periodni sistem elementov

95. Osnovni delci

- Leptoni in kvarki
- Barioni

96. Jedro

- Kako so sestavljena jedra atomov?
- Kaj so izotopi?

97. Jedro – žarki

- Kaj so žarki α , β in γ ?

98. Jedrski razpad

- Razpad jedra
- Verižna reakcija
- Jedrski reaktor

99. Rentgenski žarki

- Kaj so rentgenski žarki?
- Kako nastanejo?
- Uporaba rentgenskih žarkov.

Zahvala

Podlaga tega fizikalnega praktikuma so laboratorijske vaje iz fizike na Inštitutu za biofiziko Medicinske fakultete v Ljubljani. Nastale so na podlagi prizadevnega dela več generacij asistentov in profesorjev ter ob pomoči tehničnega osebja – vsem veljata zahvala in priznanje za njihovo delo. Zahvaljujem se dr. Gregorju Gomiščku, dr. Klemenu Bohincu in dr. Andreju Iršiču za strokovni pregled tega dela. Dr. Gregorju Gomiščku in dr. Klemenu Bohincu se zahvaljujem tudi za sodelovanje pri organizaciji in pripravi vaj ter številne pripombe. Posebna zahvala gre dr. Andreju Lebarju, ki je pripravil vajo o digitalni fotografiji in Tomažu Lampetu, ki je s svojo spretnostjo in navdušenjem poskrbel, da te vaje v našem laboratoriju sploh obstajajo. Seveda pa gre zahvala tudi vsem dosedanjim študentom, ki so s svojim delom, vprašanji in pripombami bistveno prispevali, da so te vaje take, kot so.

Zahvaljujem se vsem, ki so prispevali slike in ilustracije za ta učbenik, ter tistim, ki so dovolili objavo svojih slik. Za nekatere ilustracije ni bilo mogoče ugotoviti izvirnega vira, zato prosim vse, ki bi ga poznali, naj mi to sporoče. Večina slik v tem učbeniku je delo avtorja, nekatere pa so prirejene po drugih virih. Slike 6.1, 6.4, 7.3, so povzete po navodilih za vaje iz biofizike Medicinske fakultete več različnih avtorjev med leti 1988 in 1997.

Dodatek 2

Tabele

Tabela 2.1: Osnovne enote SI

Količina	Enota	Oznaka
dolžina	meter	m
čas	sekunda	s
masa	kilogram	kg
električni tok	amper	A
temperatura	kelvin	K
množina snovi	mol	mol
svetilnost	kandela	cd

Tabela 2.2: Nekatere predpone za mnogokratnike osnovnih enot

Predpona	Oznaka	Vrednost
tera	T	10^{12}
giga	G	10^9
mega	M	10^6
kilo	k	10^3
mili	m	10^{-3}
mikro	μ	10^{-6}
nano	n	10^{-9}
piko	p	10^{-12}
femto	f	10^{-15}

Tabela 2.3: Grška abeceda

A	α	alfa	I	ι	jota	P	ρ	rho
B	β	beta	K	κ	kapa	Σ	$\sigma\varsigma$	sigma
Γ	γ	gama	Λ	λ	lambda	T	τ	tau
Δ	δ	delta	M	μ	mi	Υ	υ	ipsilon
E	ϵ	epsilon	N	ν	ni	Φ	φ	fi
Z	ζ	zeta	Ξ	ξ	ksi	X	χ	hi
H	η	eta	O	o	omikron	Ψ	ψ	psi
Θ	ϑ	theta	Π	π	pi	Ω	ω	omega

Moji zapiski:

