**Mjerenje akceleracije kuglice niz padinu**

Smjernice za pripremu i provedbu eksperimenta i obradu podataka

Svrha ovog zadatka/vježbe je da doma i samostalno (bez moje neposredne pomoći) napravite mjerenja vremena i duljine puta kuglice koja se kotrlja niz neku nagnutu površinu (dasku, stol, …) te da pravilno obradite ta mjerenja (tablično, računski i grafički) i iz toga odredite ubrzanje te kuglice.

Naime, pretpostavka je da će se kuglica niz nagnutu površinu kretati **jednoliko ubrzano** i vaš posao će biti, u konačnici, odrediti koliko je u vašem eksperimentu to ubrzanje loptice bilo.

Savjetujem da ovaj dokument prvo pažljivo pročitate do kraja pa onda tek krenete s postavljanjem i provođenjem eksperimenta.

# Priprema eksperimenta

Koraci:

1. Pribavite neku ravnu tvrdu plohu dugačku minimalno 1.5 metar (idealno barem 2 metra)
	* Možete možda za to iskoristiti i stol koji imate doma, ako nemate dasku ili nešto drugo ravno i dovoljno dugačko (možda može poslužiti i daska za peglanje, ako nije mekana površina)
2. Nabavite neki predmet koji je što pravilnijeg oblika kugle (ili eventualno valjka), takav da se može pravilno, ravno, bez deformacija kotrljati niz kosinu (dakle da je dovoljno čvrst i krute površine, ne mekan kao npr. teniska loptica)
	* na primjer ping-pong loptica, pikula … Veličina i težina nisu važni.
3. Nabavite spravu za mjerenje udaljenosti do minimalno 2 metra (tzv. „metar“)
	* na primjer ja sam koristio metar na izvlačenje (možda je i krojački dobar izbor)
4. Nabavite spravu za mjerenje vremena (tzv. štopericu) preciznosti barem 0.1 sekundu
	* za ovo možete iskoristiti mobitel, skoro sigurno ima tu funkcionalnost
5. Osmislite neki način da plohu iz prvog koraka postavite tako da tvori kosinu s malim nagibom (ne većim od 10 cm na 2 metra)
	* na primjer može se iskoristiti neki predmet (visine nekoliko centimetara, na primjer komad drva ili knjiga) koji se može podmetnuti pod jednu stranu plohe

Slika 1 – skica postave eksperimenta

1. Fiksirajte nekako spravu za mjerenje duljine (metar) na nagnutu plohu tako da možete precizno (do na centimetar) odrediti početni položaj, odnosno duljinu kotrljanja predmeta niz kosinu
2. Stavite predmet (kuglicu) negdje na plohu i pustite ju da se kotrlja. Trebala bi se kretati (približno) ravno, odnosno paralelno s duljom stranicom plohe, do njenog kraja. Ako nije tako namještajte plohu dok ne bude tako. Zatim krenite s mjerenjima.

# Provedba eksperimenta i prikupljanje podataka

Zatim treba namjestiti predmet na 50 centimetara od ruba plohe i pustiti ga da se slobodno kotrlja do tog ruba plohe, pritom mjereći koliko vremena mu za to treba. To treba ponoviti (minimalno) 5 puta.

Dakle, na kraju ovog dijela eksperimenta trebali bi imati tablicu s mjerenjima koja bi trebala izgledati otprilike kao Tablica 1 ispod.

Tablica 1 - primjer tablice mjerenja vremena za duljinu kotrljanja od 50 cm

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **#** | $t$ [s] | $t-\overbar{t}$ [s] |
| 1 | 1.72 |  |
| ... | ... |  |

Nakon toga potrebno je predmet pustiti da se kotrlja različitu duljinu puta ($L$) do ruba plohe pritom mjereći vrijeme potrebno da prijeđe taj put. Potrebno je napraviti mjerenja vremena za barem 10 različitih duljina kotrljanja, s time da treba obratiti pozornost da su te duljine puta ravnomjerno raspoređene od najmanje do najveće i da razlika između dvije duljine nije manja od 10 centimetara. Također, najkraća duljina kotrljanja bi trebala biti takva da vrijeme kotrljanja nije manje od 1 sekunde.

Dakle, na kraju ovog dijela eksperimenta trebali bi imati tablicu s mjerenjima koja bi trebala izgledati otprilike kao Tablica 2 ispod.

Tablica 2 - primjer tablice mjerenih veličina

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **#** | $L$ [cm] | $t$ [s] | $t^{2}$[s2] |
| 1 | 50 | 1.72 |  |
| ... | ... | ... |  |
| 10 | 150 | 2.90 |  |

# Prikaz i obrada podataka

Podatke iz tablice 1 potrebno je obraditi na način da se prvo izračuna srednje vrijeme kotrljanja i zatim se zadnji stupac tablice popuni te se odredi ukupna statistička neodređenost ($Δ\_{stat}t$) kao maksimalno odstupanje. Nakon toga potrebno je zapisati i zaokružiti/naglasiti konačan rezultat mjerenja vremena potrebnog da se predmet otkotrlja 50 centimetara niz kosinu iz mirovanja (srednja vrijednost +- statističko odstupanje, pravilno zaokruženi).

Razmislite: čega je zapravo mjera statistička neodređenost koju ste odredili? Ako se kao uobičajena procijenjena (sistematska) neodređenost pri ručnom određivanju vremena štopericom uzima 0.1s, mjerite li vi preciznije ili manje precizno od toga? Napišite kratke odgovore na ova pitanja ispod rezultata mjerenja.

Podatke iz tablice 2 potrebno je obraditi na način da se prvo zadnji stupac tablice popuni na način da se kvadriraju (i zaokruže na isti broj značajnih znamenaka) izmjerena vremena iz stupca lijevo od njega.

Kada je tablica 2 popunjena do kraja potrebno je na milimetarskom papiru (možete ga kupiti, a možete ga i isprintati) nacrtati koordinatni sustav tako da mu je ishodište u donjem lijevom kutu te da se u njemu kao točke **(**$t^{2}$**,** $L$**)** mogu prikazati podatci iz drugog i četvrtog stupca tablice 2, dakle da „x“ os (apscisa) predstavlja vrijeme na kvadrat ($t^{2}$), a „y“ os da predstavlja udaljenost ($L$).

Kada je koordinatni sustav nacrtan i u njemu ucrtane točke/mjerenja **(**$t^{2}$**,** $L$**)** iz tablice 2, potrebno je ravnalom odrediti i nacrtati pravac koji na ta mjerenja/podatke/točke najbolje paše (*line of best fit*). To je onaj pravac za kojeg vrijedi da su naznačene točke/mjerenja u prosjeku podjednako ispod i iznad njega, odnosno onaj pravac za kojega kada bi zbrojili udaljenost od pravca svih točaka iznad pravca i oduzeli od toga zbroj svih udaljenosti od pravca točaka ispod pravca bi dobili 0. To nije potrebno mjeriti i računati da bude savršeno precizno, već treba „od oka“ nacrtati pravac za kojega je vidljivo da otprilike to vrijedi, dakle da su točke/mjerenja, u prosjeku, otprilike podjednako ispod, odnosno iznad.[[1]](#footnote-1)

Jednom kada je pravac pravilno nacrtan potrebno mu je odrediti nagib (uobičajeno se označava slovom **k**). Pripazite da smo u fizici, a ne matematici, što znači da će taj nagib koji odredite biti fizikalna veličina, a ne samo broj, dakle imat će mjerne jedinice koje ***morate*** zapisati.

Konačno, iz nagiba tog pravca potrebno je odrediti ubrzanje predmeta dok se kretao niz kosinu (uz pretpostavku da se kretao savršeno jednoliko ubrzanim gibanjem). Da bi to mogli napraviti morate napisati matematički izraz („formulu“) ovisnosti prijeđenog puta o vremenu pri jednoliko ubrzanom gibanju bez početne brzine i zatim povezati taj izraz s jednadžbom pravca, onog pravca kojega ste nacrtali na papiru. One imaju isti „oblik“ i morate usporedbom zaključiti što fizikalno predstavlja nagib tog pravca, odnosno koji matematički izraz povezuje nagib tog pravca i ubrzanje vašeg predmeta niz vašu kosinu.

Konačan rezultat izračunatog ubrzanja (akceleracija) zaokružite/istaknite, i nemojte zaboraviti napisati mjerne jedinice.

# Predaja rezultata provođenja eksperimenta

Na kraju mi morate predati samo **dvije** ili maksimalno tri **stranice** A4 papira (ne više od 2 lista):

1. jedna s „grafom“, odnosno s milimetarskom mrežom i koordinatnim sustavom i svemu ostalome što je bilo opisano da je potrebno nacrtati i odrediti grafički, i
2. ostale s ispunjenim tablicama 1 i 2 te svim potrebnim opisanim računima i zaokruženim/naglašenim konačnim rezultatima (vrijeme iz tablice 1, **obavezno** sa srednjom vrijednosti **i neodređenosti,** te nagib pravca i akceleracija kuglice)

Nužno je da na predanim papirima bude i neki **naslov** te barem gruba **skica** kosine (duljina, razlika visine, kut). Također na papirima treba biti zapisana i ukupna duljina kosine kao i razlika u visini između najniže i najviše točke kosine (iz toga se može izračunati nagib kosine).

Dodatno (ako smo radili sile):

Iz tih podataka o kosini tj. njenom nagibu izračunajte koliko bi teorijski trebala biti akceleracija, ako se zanemari trenje. Što ako se trenje ne zanemari? Možete probati negdje pronaći podatke o relevantnom koeficijentu (koji su materijali) i vrsti trenja (kotrljanje) pa izračunati kolika bi trebala biti akceleracija u teoriji s tako procijenjenom silom trenja, i kako se i koliko to slaže s vašim eksperimentalnim rezultatima. Komentirajte vaše rezultate u odnosu na te teorijske izračune.

Dobru zabavu želim i sretno!

prof. Rožić

1. Npr. očigledno je pravac krivo nacrtan ako su sve točke ispod pravca ili na njemu, ili iznad pravca ili na njemu [↑](#footnote-ref-1)