

Emil Bermanec
Ines Filipić

Mentor: Melita Sambolek, prof. mentor
melita.sambolek@gmail.com

ANALIZA MJERENJA AKCELERACIJE SILE TEŽE (g) RAZLIČITIM METODAMA

U Čakovcu

28. veljače 2013.

Gimnazija Josipa Slavenskog Čakovec

Vladimira Nazora 34, 40 000 Čakovec

Sažetak

U fizici pri različitim izračunima vrlo često koristimo konstantu $g = 9,81 \text{ m/s}^2$. To nas je potaknulo na razmišljanje – kako se ona precizno određuje? Cilj našeg rada bio je pokušati izmjeriti akceleraciju slobodnog pada različitim metodama dostupnim u školskim uvjetima našeg fizikalnog kabineta te utvrditi koja metoda daje rezultate najbliže službenim mjerenjima što u Hrvatskoj iznosi $9,81 \text{ m/s}^2$.

Određivanje se temelji na što preciznijem mjerenju vremena i puta pri slobodnom padu tijela s neke poznate visine pri čemu se vrijeme i put određuje različitim metodama: mjerenje vremenskog intervala kronometrom, analiza snimki digitalnim fotoaparatom, zatim analiza zvučnog signala nastalog pri slobodnom padu kuglice pomoću računala i mjerenje pomoću elektromagnetskog tipkala i analize tragova na papirnoj trakici što je najčešća metoda mjerenja u školskim uvjetima u prvom razredu. Posljednja metoda temelji se na određivanju perioda jednostavnog njihala. Na temelju dobivenih podataka u svakom od mjerenja izračunava se konstanta g , uspoređuju se međusobno i sa službenim podatkom za Hrvatsku.

Rezultati mjerenja nisu potvrdili hipotezu da će najprecizniji rezultat dati metoda mjerenja pomoću kronometra. Najpreciznijom metodom pokazalo se mjerenje pomoću njihala gdje je $g = (9.58 \pm 0.90) \text{ ms}^{-2}$ s odstupanjem 2,34 % od službene vrijednosti g , te metoda analize fotografije slobodnog pada tijela gdje je rezultat $(10.13 \pm 0.35) \text{ ms}^{-2}$ s odstupanjem 3,26 %. Najveće odstupanje daje metoda određivanja pomoću zvučnog zapisa s odstupanjem 19,47% od službene vrijednosti konstante g .

Sadržaj

Sažetak.....	2
1. Uvod.....	4
1.1 Sila teža i slododni pad.....	5
1.2 Newtonov zakon gravitacije.....	6
1.3 Matematičko njihalo.....	7
2. Eksperimentalni dio.....	8
2.1 Metode rada.....	8
2.2 Mjerenje akceleracije sile teže pomoću kronometra.....	9
2.3 Mjerenje akceleracije sile teže analizom fotografije.....	10
2.4 Mjerenje akceleracije sile teže elektomagnetskim tipkalom.....	11
2.5 Mjerenje akceleracije sile teže pomoću računala.....	12
2.6 Mjerenje akceleracije sile teže pomoću njihala.....	13
3. Rezultati.....	15
4. Rasprava.....	18
5. Zaključak.....	20
6. Popis literature.....	21

1. Uvod

Ubrzanje sile teže, odnosno akceleracija slobodnog pada g u polju gravitacije na Zemlji je posljedica privlačenja Zemlje i tijela na njezinoj površini ili blizu površine. Akceleracija sile teže je konstanta koja se u fizici i ostalim srodnim znanostima koristi za rješavanje različitih problema i zadataka. Tijekom školovanja svi učenici se susreću u različitim zadacima s g kao konstantom te znaju da iznosi otprilike 10 , no često se naziva gravitacija i ne zna se koji je točan iznos g niti u kojim se mjernim jedinicama izražava. Pitanje je kako je zapravo izmjereno $g = 9.81 \text{ m/s}^2$ te na koje se sve načine može mjeriti u školskim uvjetima.

Kako je g različito od mjesta do mjesta, u Hrvatskoj je gravitacijska konstanta određena kod Zagrebačke katedrale i iznosi [1]:

$$g = 9,8067621 \text{ m/s}^2$$

Tu vrijednost zaokružujemo na $9,81 \text{ m/s}^2$ i koristimo kao konstantu za izračune na području Republike Hrvatske.

Cilj našeg rada je različitim metodama u školskim uvjetima odrediti akceleraciju sile teže te analizirati mjerenja i odrediti koja metoda daje rezultate najbliže poznatoj vrijednosti za prostor Hrvatske iz literature.

Prema podacima iz literature [4,5] akceleracija sile teže određuje se akcelerometrom. Uređaj se temelji na padanju tijela ovješeno na elastičnoj opruzi. Mehaničko gibanje pretvara se u električni signal koji očitavamo, na različite načine, tako da akcelerometri mogu biti piezoelektrični, kapacitivni, piezorezistentni ili pak noviji koji imaju *micro electro-mechanical systems (MEMS)*.

Važnost određivanja konstante g je velika ne samo u fizici, mikro akcelerometre imaju brojni uređaji na primjer u zrakoplovima, no danas ih imaju i neki mobilni uređaji.

Cilj našeg rada je određivanje akceleracije sile teže različitim metodama u školskim uvjetima te analiza mjerenja i određivanje metode koja daje rezultate najbliže poznatoj vrijednosti za prostor Hrvatske iz literature.

1.1. Newtonov zakon gravitacije

Newtonov zakon gravitacije je zakon koji opisuje pojavu međusobnog privlačenja dvaju točkastih tijela pri čemu je sva masa tijela zamišljena u jednoj točki. Ista sila privlači sva tijela na Zemlji k središtu Zemlje, privlači atome i molekule, djeluje između dvoje ljudi, a djeluje i na galaksije u svemiru.

Newtonov zakon opisuje da dva tijela djeluju jedno na drugo silom koja je proporcionalna umnošku njihovih masa, a obrnuto proporcionalna kvadratu njihove međusobne udaljenosti:

$$F = G_N \frac{m_1 m_2}{r^2} \quad (1)$$

pri čemu su m_1 i m_2 mase tijela, r^2 kvadrat udaljenosti za ta dva tijela, a G_N gravitacijska konstanta.

Gravitacijska konstanta G_N ima jednaku vrijednost za privlačenje između bilo kojih dvaju tijela, a odredio ju je eksperimentalno 1798. godine Lord Cavendish.

Primijeni li se izraz (1) na gravitacijsko privlačenje između Zemlje mase M_Z i tijela mase m koje je na njezinoj površini, dobije se da na tijelo mase m djeluje gravitacijska sila:

$$F_g = \frac{G_N m M_Z}{R_Z^2} \quad (2)$$

pri čemu je R_Z polumjer Zemljine kugle. Ta gravitacijska sila znači silu težu na to tijelo:

$$F_g = gm \quad (3)$$

gdje je g koeficijent proporcionalnosti i iznosi:

$$g = \frac{G_N M_Z}{R_Z^2} \quad (4)$$

1.1. Sila teža i slobodni pad

Sva tijela na Zemljinoj površini imaju težinu. Ona je posljedica djelovanja gravitacijske sile, tj. sile teže. Pod djelovanjem gravitacijske sile giba se jabuka koja pada s drveta te se kamen koji je bačen u vis vraća na Zemlju [2]. Ta sila djeluje i na većim udaljenostima pa se zbog nje Mjesec okreće oko Zemlje, a ostali planeti oko Sunca. Gravitacija djeluje između bilo koja dva tijela, između molekula i atoma koji se pod djelovanjem gravitacijske sile međusobno privlače. Gravitacijsko privlačenje Zemlje i nekog tijela na njezinoj površini zovemo sila teža i označavamo oznakom F_g .

Dio oko Zemlje na koji djeluje gravitacijska sila naziva se Zemljino gravitacijsko polje. Gravitacija je na različitim djelovima Zemlje različita. Budući Zemlja nije okrugla već je na polovima malo spljoštena, gravitacijska sila u blizini pola je najveća, a smanjuje se idući prema ekvatoru. Razlika je vidljiva i u većim gradovima. Gravitacijska konstanta određena kod Zagrebačke katedrale iznosi $9,8067621 \text{ m/s}^2$, dok u nekim drugim djelovima Zagreba iznosi $9,8068099 \text{ m/s}^2$ ili $9,8067327 \text{ m/s}^2$ [1]. Razlike su vrlo male, ali ipak postoje.

Slobodni je pad jednoliko ubrzano pravocrtno gibanje prema dolje okomito na površinu Zemlje koje je posljedica djelovanja sile teže. Kod slobodnog pada sva tijela imaju konstantnu akceleraciju uz uvjet da je otpor zraka zanemariv - akceleracija slobodnog pada g . Kao i za jednoliko ubrzano gibanje po pravcu vrijede formule:

$$v = g t \quad (5)$$

$$h = \frac{1}{2} g t^2 \quad (6)$$

$$v^2 = 2 g h \quad (7)$$

pri čemu je v brzina tijela, h visina s koje tijelo pada, t vrijeme trajanja slobodnog pada.

Kad tijela padaju zrakom, to nije slobodni pad zbog otpora zraka. U vakumu, otpora zraka nema pa bi svi predmeti padali jednakom akceleracijom [3].

1.3. Matematičko njihalo

Njihalo je kuglica mase m obješena o nerastezljivu nit duljine l . Na kuglicu djeluje sila teža F_g usmjerena vertikalno prema dolje. U ravnožežnom položaju kuglice nit djeluje na kuglicu silom F_N koja je jednakog iznosa kao i F_g , ali suprotnog smjera, odnosno, usmjerena je vertikalno gore. Ukupna sila na kuglicu tada je nula pa kuglica miruje.

Ako iz ravnotežnog položaja pomaknemo kuglicu pa je pustimo. Silu F_g rastavljamo na dvije komponente. Jednu koja je paralelna s niti i jednu okomitu na nit. Samo okomita komponenta utječe na gibanje kuglice jer je nit nerastezljiva pa paralelna komponenta nema utjecaja. Iznos okomite komponente približno je proporcionalan pomaku kuglice iz ravnotežnog položaja ako je kut odklona malen. To znači da na njihalo tada djeluje sila koja približno ima oblik harmonijske sile. Ta sila izaziva njihanje koje je slično harmonijskom gibanju.

Period jednog njihaja približno je određen izrazom:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}} \quad (8)$$

gdje l označava duljinu niti, a g akceleraciju sile teže.

2. Eksperimentalni dio

2.1 Metode rada

Kako bi se izračunala vrijednost g koristit će se nekoliko različitih metoda. Izvoditi će se mjerenja pomoću računala, fotografije, kronometra, pomoću elektromagnetskog tipkala i metodom njihala.

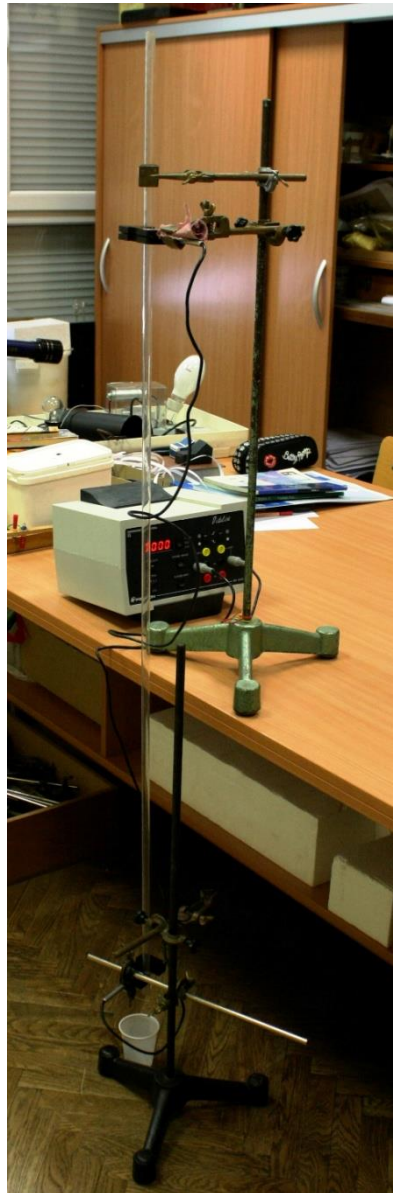
Sve se metode osim njihala temelje na slobodnom padu tijela što znači da se na različite načine određuje duljina puta i vrijeme potrebno tijelu da prevali određeni put pri slobodnom padu. Zatim se iz izraza () računa vrijednost konstante g . Za razliku o toga pri mjerenju s njhalom određuje se period matematičkog njihala i njegova duljina te se iz izraza (8) određuje g .

Od navedenih metoda mjerenja pretpostavlja se da će najpreciznija biti metoda mjerenja pomoću kronometra zatim metoda kojom se rezultat dobiva analizom prikupljene fotografije, pomoću tipkala te zatim slijedi metoda pomoću računala i njihala. Hipoteze su donešene na temelju proučavanja metoda pri čemu je važan faktor bio način na koji je najlakše odrediti vrijeme ili je ono već određeno ili zadano unaprijed te bi zbog tog razloga rezultat vrijednosti g trebao biti precizniji.

2.2 Mjerenje akceleracije sile teže pomoću kronometra

Za ovu metodu potreban je stalak, dvije fotoćelije, prozirna cijev, loptica i kronometar (slika 1.). Fotoćelije se učvrste na stalak i kroz staklenu cijev pušta se kuglica koja presijeca snop svjetlosti pri čemu uređaj bilježi vremenski interval potreban za prelazak puta od jednog do drugog snopa svjetlosti fotoćelija.

Cijev se koristi da bi kuglica pri padu prošla točno kroz snop svjetla budući je širina otvora fotoćelija svega nekoliko centimetara i vrlo teško ispustiti lopticu i namjestiti fotoćelije tako precizno da se pokus može izvesti bez cijevi. Potrebno je odrediti put mjerenjem udaljenosti između fotoćelija. Akceleracija g određuje se pomoću izraza (6).



Slika 1. Aparatura za određivanje g pomoću kronometra

2.3 Mjerenje akceleracije sile teže pomoću fotografije

Za ovo mjerenje potreban je fotoaparat kojem se može ručno mijenjati ekspozicija te kuglica koju ispuštamo s određene visine. Pri tome je važno odabrati boju kuglice tako da postoji što veći kontrast u odnosu na boju podloge kako bi se što bolje vidio pređeni put na snimci. Na podlogu je potrebno zalijepiti milimetarski papir da se može što preciznije očitati prijeđeni put. Fotoaparat se stavlja na stalak kako bi se dobila što bolja snimka te se pušta kuglicu i snima se njezin pad točno određenom ekspozicijom.

Ekspozicija je vrijeme otvora blende fotoaparata. To znači da je trag kuglice na snimci zabilježen baš unutar tog vremena kad je blenda otvorena jer samo tada ulazi svjetlo. Svakako je potrebno napraviti više snimki s različitim ekspozicijama da bi se ustanovilo za koje se vrijednosti dobiju snimke s tragovima koji su najjasniji. Pomoću dobivenih fotografija očitava se na milimetarskom papiru put koji je tijelo prešlo u određenom vremenskom intervalu dok je blenda fotoaparata otvorena.

Za snimanje smo koristili fotoaparat *Canon EOS 1000 D*.



Slika 2. Fotografija slobodnog pada loptice uz ekspoziciju 1/8 s

Da bi izračunali g potrebno je mjeriti udaljenost od mjesta ispuštanja kuglice do početka traga na fotografiji h_1 te od mjesta ispuštanja kuglice do kraja traga loptice vidljivog na fotografiji h_2 . Pri tome kod očitavanja treba pratiti uvijek gornji rub loptice. Iz izraza (6) slijedi da je:

$$t_{1,2} = \sqrt{\frac{2h_{1,2}}{g}} \quad (7)$$

Vrijeme ekspozicije, tj. osvjetljavanja filma je Δt i jednako je:

$$\Delta t = t_2 - t_1 \quad (8)$$

Iz jednadžbi (7) i (8) slijedi izraz za izračunavanje akceleracije sile teže g :

$$g = \frac{(\sqrt{2h_2} - \sqrt{2h_1})^2}{\Delta t^2} \quad (9)$$

2.4 Mjerenje akceleracije sile teže pomoću elektromagnetskog tipkala

Potreban pribor za izvođenje ovog mjerenja je stalak, elektromagnetsko tipkalo, indigo papir, papirna trakica na koju će tipkalo bilježiti put te kuglice koja će slobodno padati i vući trakicu prema dolje.

Na stalak pričvrstimo tipkalo te ga zarotiramo tako da papirna trakica može nesmetano prolaziti ispod batića tipkala (slika 3.). Na kraj trakice pričvrstimo kuglicu. Uključimo tipkalo i pustimo da kuglica padne. Tipkalo bilježi put koji je tijelo prešlo te vremenski interval koji se dobiva množenjem razmaka s vremenom potrebnim da batić načini dvije uzastopne točke. Vrijeme između dva uzastopna udara jest 0.02 s, budući batić udara 50 puta u sekundi. Iz zapisa na trakici određuje se put mjerenjem udaljenosti u intervalima od pet otkucaja batića tipkala, a vrijeme potrebno da trakica prijeđe taj put je 0.1 s.

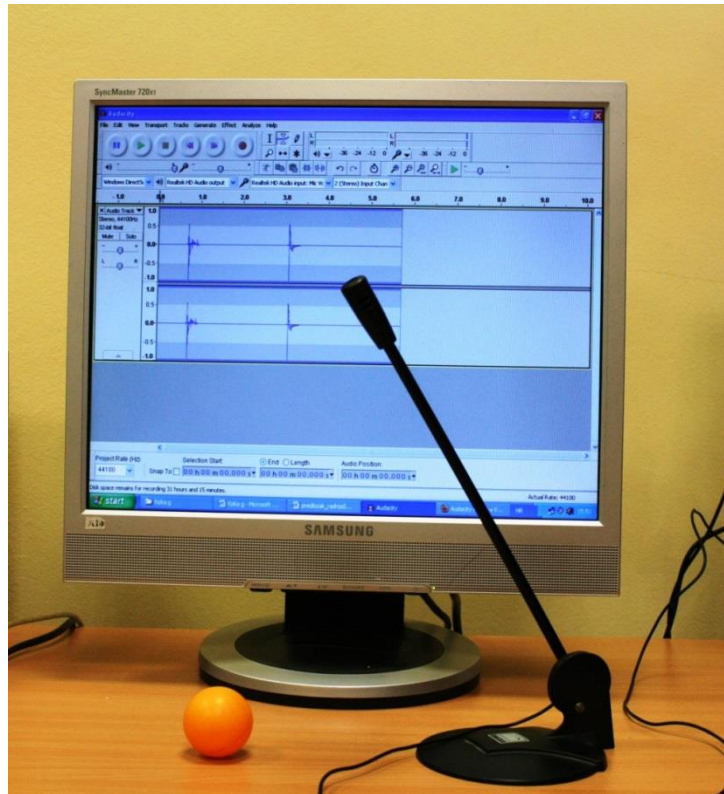


Slika 3. Elektromagnetsko tipkalo bilježi slobodni pad tijela

2.5 Mjerenje akceleracije sile teže pomoću računala i mikrofona

Da se provede ovo mjerenje potrebno je računalo, program *Audacity*, mikrofona te kuglica i metar (slika 4.). Mikrofon se uključi u računalo i postavi na neku podlogu, a kuglica se spušta s točno određene visine u trenutku kada se daje zvučni signal. Mikrofon bilježi zvučni signal za početak pada te trenutak kada kuglica dotakne podlogu.

U programu *Audacity* analizom tonskog zapisa može se odrediti vrijeme koje je prošlo od zvučnog signala za početak pada kuglice do zvučnog signala u trenutku udara u podlogu. Uz poznatu visinu s koje je kuglica ispuštena računa se g prema izrazu (6).



Slika 4. Mjerenje pomoću računala s mikrofonom i programa Audacity

2.6 Mjerenje akceleracije sile teže pomoću njihala

Potreban pribor za izvođenje mjerenja je stalak, kuglica koja se vješa na stalak te zaporni sat. Potrebno je na nit određene duljine ovjesiti kuglicu ne prevelikog volumena da otpor zraka bude zanemarivo malen. Kuglicu se zanjše tako da otklon niti bude do 30° te se mjeri vrijeme točno određenog broja njihaja.

Iz tih podataka određuje se period titranja za njihalo prema formuli:

$$T = \frac{t}{n} \quad (10)$$

gdje je n broj njihaja, a t ukupno vrijeme trajanja n njihaja.

Uvrštavanjem u jednadžbu (8) određuje se g . Da bi se precizno odredila duljina njihala, pomičnom mjerkom potrebno je izmjeriti promjer kuglice. Duljinu njihala čine duljina niti od ovjesa do mjesta gdje je učvršćena na kuglicu l_0 , zbrojeno s polumjerom kuglice r prema formuli:

$$l = l_0 + r \quad (11).$$



Slika 5. Jednostavno njihalo

3. Rezultati mjerenja

Rezultati mjerenja prikazani su u tablicama koje slijede. Za svaku je metodu napravljeno pet do deset mjerenja te je proveden račun pogreške.

Tablica 1. Podaci mjerenja i određivanja g pomoću kronometra koji bilježi vrijeme t slobodnog pada kuglice između dvije fotočelije na putu h

Broj mjerenja	Vrijeme/s	Put/m	Akceleracija/ $\frac{m}{s^2}$	Akceleracija sile teže/ $\frac{m}{s^2}$	Maksimalna pogreška/%
1	0.496	1.31	10.65	(10.8±0.38)	3.52
2	0.494		10.74		
3	0.493		10.78		
4	0.493		10.78		
5	0.484		11.18		
6	0.495		10.69		
7	0.494		10.74		
8	0.489		10.96		
9	0.496		10.65		
10	0.493		10.78		

Tablica 2. Podaci mjerenja i određivanja g analizom fotografije gdje je Δt ekspozicija, a h_1 i h_2 prijeđeni put loptice od mjesta ispuštanja do početka vidljivog traga odnosno do kraja vidljivog traga mjereni na slici

Broj mjerenja	Put 1	Put 2	Δt	Akceleracija/ $\frac{m}{s^2}$	Akceleracija sile teže/ $\frac{m}{s^2}$	Relativna pogreška/%
1	0,46	0,93	0.2	10,48	(10.13±0.35)	3.46
2	0,45	0,91		10,26		
3	0,40	0,83		9,93		
4	0,40	0,83		9,93		
5	0,35	0,76		10,05		
6	0,39	0,82		10,11		

Tablica 3. Podaci mjerenja i određivanja g elektromagnetskim tipkalom – podaci zapisa sa papirne trakice za različite intervale

Broj mjerenja	Put/m	Vrijeme/s	Akceleracija/ $\frac{m}{s^2}$	Akceleracija sile teže/ $\frac{m}{s^2}$	Relativna pogreška/%
1	0.51	0.1	10.2	(10.88±1.92)	17.65
2	0.64	0.1	12.8		
4	0.201	0.2	10.05		
5	0.224	0.2	11.2		
6	0.231	0.2	11.55		
7	0.452	0.3	10.04		
8	0.494	0.3	10.98		
9	0.492	0.3	10.93		
11	0.846	0.4	10.58		
12	0.838	0.4	10.48		

Tablica 4. Podaci mjerenja i određivanja g pomoću računala i mikrofona gdje je vrijeme padanja kuglice t određeno iz tonskog zapisa u programu Audacity

Broj mjerenja	Vrijeme t/s	Put h/m	Akceleracija/ $\frac{m}{s^2}$	Akceleracija sile teže/ $\frac{m}{s^2}$	Relativna pogreška/%
1	0.377	1	14.07	(11.72±2.68)	22.87
2	0.373		14.38		
3	0.424		11.12		
4	0.440		10.33		
5	0.444		10.15		
6	0.384		13.53		
7	0.432		10.72		
8	0.459		9.49		

Tablica 5. Podaci mjerenja i određivanja g pomoću njihala

Broj mjerenja	Broj njihaja n	Vrijeme z/s	Duljina niti/m	Akceleracija/ $\frac{m}{s^{-2}}$	Akceleracija sile teže/ $\frac{m}{s^{-2}}$	Maksimalna pogreška/%
1	10	16.56	0.67	9.64	(9.58±0.9)	9.39
2		16.66		9.52		
3		16.69		9.49		
4		16.63		9.56		
5		16.63		9.56		
6		16.65		9.53		
7		16.59		9.60		
8		16.57		9.62		
9		16.53		9.67		
10		16.59		9.60		

Rasprava

Rezultati mjerenja akceleracije sile teže različitim metodama kreću se u intervalu srednje vrijednosti od $9,58 \text{ ms}^{-1}$ do $11,72 \text{ ms}^{-1}$ pa su i odstupanja od srednje vrijednosti od svega 2,34 % do čak 19,47 % što je vidljivo u slijedećoj tablici:

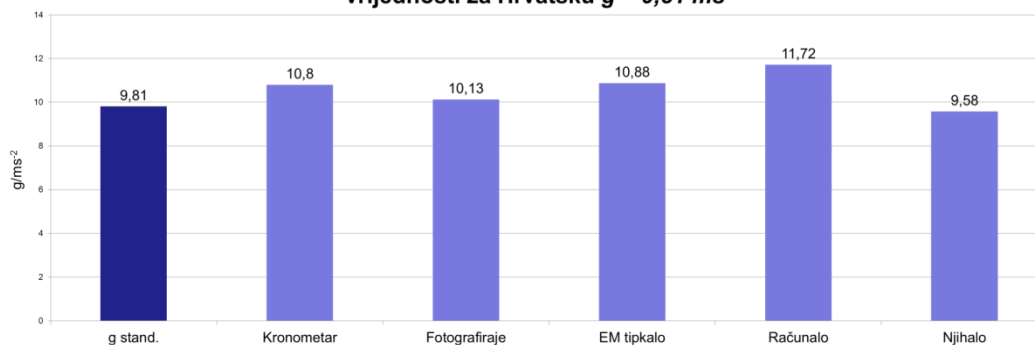
Tablica 6. Rezultati mjerenja akceleracije sile teže g različitim metodama te odstupanja rezultata od službene vrijednosti $9,81 \text{ ms}^{-2}$

Broj metode	Metoda mjerenja	Eksperimentalno $\text{g}/\frac{\text{m}}{\text{s}^{-2}}$	Odstupanje od $\text{g}=9,81/\%$
1	Kronometar	$(10,80 \pm 0,38)$	10.1
2	Analiza fotografije	$(10,13 \pm 0,35)$	3.26
3	Tipkalo	$(10,88 \pm 1,92)$	10.91
4	Računalo i mikrofon	$(11,72 \pm 2,68)$	19.47
5	Njhalo	$(9,58 \pm 0,90)$	2.34

Iz dobivenih rezultata vidljivo je da su metode koje najmanje odstupaju od g iz literature određivanje g njihalom i analizom fotografije. Mjerenja koja su dobivena metodama pomoću kronometra, tipkala i računala imaju odstupanja veća od 10% te su zbog toga manje pouzdana. Naša hipoteza da će najpreciznije biti mjerenje pomoću kronometra nije potvrđena.

Prije izvođenja samih pokusa pretpostavljeno je da će metode kod kojih se vrijeme mjeri neovisno ljudskom faktoru biti pouzdanije od onih u kojima se vrijeme dobiva pomoću zapornog sata pa na mjerenje može utjecati točno vrijeme uključivanja i isključivanja sata. Nakon izvođenja pokusa vidimo da to nije slučaj te da takve metode nisu pružile zadovoljavajuće rezultate.

Grafički prikaz usporedbe srednje vrijednosti rezultata mjerenja i službene vrijednosti za Hrvatsku $\text{g} = 9,81 \text{ ms}^{-2}$



Kod mjerenja njihalom pogreška se mogla dogoditi kod usklađivanja vremena puštanja loptice te početka i završetka mjerenja vremena i postoje male razlike od mjerenja do mjerenja što se vidi po relativnoj pogreški mjerenja, no ipak jednadžba (8) daje zadovoljavajuće rezultate za male kutove otklona i kuglicu malog volumena tako da otpor zraka bude zanemariv. Također smo mjerenja izvodili za nit duljine oko 70 cm jer za male duljine period je kraći pa je i pogreška mjerenja veća.

Sličan problem javlja se kod računala s mikrofonom zato što je teško uskladiti izgovoreni glas, ili riječ i puštanje loptice. Kod te metode boljim se pokazalo izgovaranje jednog bezvučnog glasa (npr. t), nego riječi start ili sad zbog dužine izgovora. Kod računala možemo uočiti najveće odstupanje (19.47%) od službenog g koje je bilo uvjetovano najviše problemom preciznog određivanja početka i kraja tonskog zapisa. Isti razlog uvjetuje i najveću pogrešku mjerenja.

Kod mjerenja pomoću kronometra pretpostavili smo da ćemo dobiti najprecizniji rezultat jer uređaj sam bilježi vrijeme za početak i kraj slobodnog padanja male kuglice. No ipak je najteže precizno izmjeriti udaljenost između ćelija, dakle put. Također kuglicu moramo ispuštati kroz cijev dovoljno usku da stane u otvor fotoćelije pa je vjerojatno i otpor zraka veći.

Analiza fotografije se pokazala kao veoma pouzdana metoda iako to nismo očekivali jer je jedini problem kod mjerenja traga kuglice na fotografiji odrediti gdje završava zapis budući pratimo gornji rub kuglice, a slika na tom dijelu nije oštra. No kada se poveća fotografija može se prilično dobro odrediti gdje završava oštri trag na donjem dijelu, a to je ujedno gornji rub kuglice. Kod fotografiranja je potrebno najprije učiniti nekoliko probnih fotografija i odrediti najpogodniju ekspoziciju, a da dobijemo na slici razmazani trag loptice. U našem slučaju to je $1/8$ s. Također na svakoj fotografiji se ne vidi cijeli trag tako da slobodni pad loptice treba puno puta ponavljati, a onda izdvojiti odgovarajuće fotografije. Važno je imati stalak za fotoaparat jer je puno lakše dobiti upotrebljive fotografije.

Određivanje pomoću tipkala i papirne trakice očekivano nije dalo precizan rezultat jer je dok batić udara papirnu trakicu praktički ju zaustavlja na trenutak tako da je trenje veliko. Tom se metodom mjeri g u školskim uvjetima u prvom razredu gimnazije, a budući učenici poznaju metodu mjerenja brza je i rezultat unutar 10 % je pri tome zadovoljavajući.

Zaključak

Ovim praktičnim radom pokazali smo da se mjerenje akceleracije sile teže može obaviti u školskim uvjetima na različite načine i uz relativno malo pribora. Odabrali smo pet metoda među kojima su dvije koje se u školama u pravilu izvode – mjerenje pomoću tipkala i pomoću njihala, te tri nestandardne i potpuno različite po određivanju vremenskog intervala – mjerenje uz pomoć kronometra, određivanje g pomoću fotografija slobodnog pada tijela te pomoću mikrofona i računala tj. zvučnog zapisa početka i kraja slobodnog pada tijela. Sve metode osim njihala koriste slobodni pad tijela pri čemu se mjeri vrijeme pada na nekom putu.

Nismo potvrdili pretpostavku da će najpreciznije biti mjerenje pomoću kronometra jer ljudski faktor ne utječe na preciznost mjerenja početka i kraja pri slobodnom padu. Pokazalo se da je najmanje odstupanje od službene vrijednosti za Hrvatsku $g = 9.81 \text{ ms}^{-2}$ pri mjerenju perioda njihala pri čemu je rezultat mjerenja $(9.58 \pm 0.90) \text{ ms}^{-2}$ uz pogrešku mjerenja 9.39 % i odstupanje od službene vrijednosti 2.34 %.

Ovo nisu sve metode mjerenja dostupne u učionici, ima još načina kako se može mjeriti g. Nama se svidjela metoda pomoću fotografije i k tome daje i vrlo dobre rezultate. No svakako bi bilo preporučljivo da učenici pokušaju odrediti g pomoću njihala, jer pribor imaju i kod kuće, a tada bi vjerojatno postalo jasnije što je g i kojim se mjernim jedinicama iskazuje.

Literatura

- [1] http://hr.wikipedia.org/wiki/Slobodni_pad
- [2] Lopac, V. (2007). Fizika 1. Zagreb, Školska knjiga
- [3] Labor, J. (2011). Fizika 1, Zagreb, Alfa
- [4] Patrick, Walter L., The History of the Accelerometer 1920's-1996 Prologue and Epilogue, 2006
- [5] The international system of units (SI) – United States Department of Commerce, NIST Special Publication 330, 2008, p. 57
- [6] Giancoli, Physics, 2004, Sixth Edition
- [7] Dimenzije i mjerne jedinice
http://www.riteh.uniri.hr/zav_katd_sluz/zvd_teh_term_energ/katedra3/Nastava/pogonski/pogonski%20i%20radni%20strojevi%2001.pdf