

# Novi koncepti upotrebe mobitela kao fizikalnih laboratorija

---

Mihalj, Marija-Klara

Master's thesis / Diplomski rad

2023

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Science / Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:217:471743>

Rights / Prava: [In copyright](#) / [Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2025-02-05**



Repository / Repozitorij:

[Repository of the Faculty of Science - University of Zagreb](#)



**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU**  
**PRIRODOSLOVNO–MATEMATIČKI FAKULTET**  
**MATEMATIČKI ODSJEK**

Marija-Klara Mihalj

**NOVI KONCEPTI UPOTREBE MOBITELA KAO FIZIKALNIH  
LABORATORIJA**

Diplomski rad

Voditelj rada:  
Dalibor Paar

Zagreb, 2023.

Ovaj diplomski rad obranjen je dana \_\_\_\_\_ pred ispitnim povjerenstvom  
u sastavu:

1. \_\_\_\_\_, predsjednik
2. \_\_\_\_\_, član
3. \_\_\_\_\_, član

Povjerenstvo je rad ocijenilo ocjenom \_\_\_\_\_.

Potpisi članova povjerenstva:

1. \_\_\_\_\_
2. \_\_\_\_\_
3. \_\_\_\_\_

*Ovaj rad ne bi bio moguć bez potpore moje obitelji i prijatelja. Zahvaljujem se najprije roditeljima i sestrama koji su bili uz mene kroz sve godine studiranja. Hvala im što su mi uvijek pružali podršku i utjehu.*

*Zahvaljujem se svojim prijateljima koji su sa mnom od prvog dana studiranja.*

*Na kraju se zahvaljujem mentoru bez kojeg ovaj diplomski rad ne bi bio moguć. Hvala na svakom savjetu i pomoći.*

*Zahvaljujem se i svim profesorima i profesoricama koji su me oblikovali u osobu kakva sam danas.*

## Sadržaj

|   |    |
|---|----|
| <b>Sažetak</b> .....                                    | 5  |
| <b>Summary</b> .....                                    | 6  |
| <b>1. Uvod</b> .....                                    | 7  |
| <b>2. Suvremeni pristup učenju</b> .....                | 9  |
| <b>2.1. Istraživački usmjerena nastava fizike</b> ..... | 9  |
| <b>2.2. Simulacije u nastavi fizike</b> .....           | 11 |
| <b>2.3. Aplikacije u nastavi fizike</b> .....           | 13 |
| <b>3. Phyphox</b> .....                                 | 17 |
| <b>4. Primjena mobitela u proučavanju gibanja</b> ..... | 20 |
| <b>4.1. Slobodan pad</b> .....                          | 20 |
| <b>4.2. Centripetalno ubrzanje</b> .....                | 28 |
| <b>4.3. Zakon očuvanja energije</b> .....               | 43 |
| <b>5. Zaključak</b> .....                               | 50 |
| <b>Literatura</b> .....                                 | 51 |
| <b>Životopis</b> .....                                  | 52 |

## Sažetak

U nastavi fizike i šire u prirodoslovlju pokusi imaju vrlo važnu ulogu. Pokusima se učenici praktično upoznaju s prirodnim pojavama i procesima, odnosno načinima kako priroda funkcionira. Kvantitativnim mjerenjima uče kako znanstvenici dolaze i provjeravaju teorijske modele kojima opisujemo prirodu. Nastava fizike tu treba poticati učenike na primjenu znanstvenih metoda na različite probleme koji se javljaju u svakodnevnom životu. Današnji mobiteli s brojnim sensorima imaju potencijal šire implementacije fizikalnih pokusa u nastavu fizike kao vrlo napredni laboratoriji. U radu su dani konkretni primjeri simulacija i aplikacija koje se mogu iskoristiti za učeničko istraživanje. Pomoću mobitela učenici mogu samostalno osmisliti i dizajnirati fizikalne pokuse, izvesti ih, a ono što je posebna prednost je što se to sve ne mora odvijati u okviru nastavnog sata. Time učenici postaju aktivni u svom procesu učenja i znanstvenog zaključivanja.

## Summary

Marija-Klara Mihalj

New Concepts of Using Mobile Phones as Physical Laboratories

Experiments play a very important role in the teaching of physics and in science more broadly. Through experiments, students practically learn about natural phenomena and processes, how nature works. Through quantitative measurements, they learn how scientists come up with and verify the theoretical models we use to describe nature. The teaching of physics should encourage students to apply scientific methods to various problems that arise in everyday life. Today's smartphones with numerous sensors have the potential of wider implementation of physical experiments in physics teaching as very advanced laboratories. The paper gives concrete examples of simulations and applications that can be used for student research. Using mobile phones, students can independently devise and design physical experiments, perform them, and what is a special advantage is that all this does not have to take place within the framework of the lesson. Thus, students become active in their learning process and scientific reasoning.

## 1. Uvod

Tema ovog diplomskog rada povezana je s tehničkim napretkom koji se javlja u svim sferama modernog života. Djeca i mladi odrastaju uz prisustvo tehnologije te je ona dio njihove svakodnevnice. Od malih nogu su upoznati s korištenjem mobitela, laptopa, tableta i drugih digitalnih uređaja. Utjecaj tehnologije na školstvo je također neizbježna pojava. Pojavom svih novih mogućnosti koje tehnologija pruža, školstvo se više ne bi trebalo oslanjati samo na stare metode poučavanja nego se okrenuti prema napretku. Velika većina djece u školskoj dobi posjeduje pametne telefone te sve više vremena provode na njima. Bitno je mladima osigurati uvjete u kojima će shvatiti da tehnologija, posebice pametni telefoni nisu rezervirani samo za društvene mreže i igranje te da mogu biti dio obrazovnog procesa. Tako se postavlja pitanje korištenja pametnih telefona u nastavi te mogu li ih nastavnici uključiti u obrazovni proces. To ne znači da digitalne tehnologije moraju biti obavezan dio nastave, no kako ćemo u ovom radu istaknuti, ima smisla u odabranim temama iskoristiti mogućnosti digitalnih uređaja koji su danas svima dostupni, a vrlo malo se koriste u svrhu obrazovanja.

Mogućnosti upotrebe pametnih telefona u nastavi su brojne. Pametni telefoni se mogu primijeniti u različitim područjima od osnovne škole do fakulteta pri čemu mogu značajno olakšati postizanje ciljeve učenja [\[10\]](#) . Mogu se koristiti u najjednostavnije svrhe, primjerice za zapisivanje nekih bilješki, fotografiranje ili snimanje videa. No osim toga, učenici mogu pomoću njih prikupljati podatke, organizirati ih, provjeravati razne informacije i slično. Zadnjih godina se razvijaju i sustavi za komunikaciju nastavnika s učenicima putem interneta i pametnih telefona koji potiču grupno kritičko razmišljanje, timski rad i stvaraju poticajno kompetitivno okruženje koje je zanimljivo novim „digitalnim“ generacijama učenika.

Ovaj rad će se konkretno fokusirati na nastavu fizike. Puno škola nije dovoljno opremljeno za izvođenje pokusa u nastavi fizike koji su ključni za razumijevanje osnovnih koncepata i pojava. Pokusi i istraživanja su izuzetno bitni jer su oni temelj za razumijevanje fizikalnih pojava, ali i za pobuđivanje interesa za fiziku i općenito za STEM područja. Mobiteli u nastavi fizike mogu poslužiti kao mali laboratoriji koji se mogu komplementarno nadopunjavati s priručnom i nastavnom opremom za izvođenje pokusa. Mogućnosti primjene mobitela u nastavi fizike praktički su neiscrpne, a mnogi primjeri dostupni su u novijoj literaturi [5], [6], [7], [10].

Aplikacije za pametne telefone pogodne za nastavu fizike možemo podijeliti u dvije kategorije. Prvo su simulacije fizikalnih pojava gdje se često na zoran način uz unos vrijednosti pojedinih fizikalnih varijabli može simulirati fizikalni proces. Druga je upotreba mobitela kao mjernog instrumenta ili kompletnog laboratorija u proučavanju stvarnih fizikalnih pojava. Pri tome se koriste brojni senzori koje danas imaju praktički svi pametni telefoni. Na taj način proučavajući stvarne fizičke pojave, učenici mogu ispitivati ovisnosti



fizikalnih veličina, vršiti mjerenja, dobiti određene rezultate iz kojih će izvući zaključke, grafički prikazati ovisnosti veličina... Dakle, mobiteli zapravo zamjenjuju kompleksnu i složenu opremu te olakšavaju izvođenje pokusa.

Treba se složiti s obrazovnim stručnjacima u svijetu da digitalne tehnologije ne trebaju biti u središtu nastavnog procesa. Prilikom primjene mobitela u nastavi treba paziti da oni ne ometaju učenika i njegovu koncentraciju. Upravo zbog toga se neki nastavnici protive korištenju pametnih telefona, pa i tehnologije općenito. Također, često su pametni telefoni zabranjeni u školama jer se smatra da oni smanjuju međusobnu komunikaciju učenika „oči u oči“. Ono što želimo istaknuti u ovom radu je da nastavnike treba upoznati sa mogućnostima primjene digitalnih tehnologija u nastavi te u konačnici mobilne telefone mogu koristiti u vremenski definiranim okvirima u kontroliranom okruženju slično kao što pojedine pokuse u nastavi fizike izvode u okviru pripadnih tematika [6]. Ako škola ima čvrst stav prema korištenju mobitela u školi, nastavnik može potaknuti upotrebu mobitela kod kuće u okviru samostalnog rada učenika u svrhu razumijevanja pojedine nastavne cjeline.

Osim toga pametni telefon može biti dio demonstracijskog pokusa kojeg izvodi nastavnik u razredu. Tada on ima istu ulogu kao bilo koji instrument koji koristimo u pokusima iz fizike, no prednost su njegove značajne mogućnosti i činjenica da je dostupan svakom nastavniku.

Ovaj rad će nastavnicima pokušati približiti korištenje mobitela u nastavi fizike na konkretnim primjerima.

## 2. Suvremeni pristup učenju

### 2.1. Istraživački usmjerena nastava fizike

Društvo 21. stoljeća je pod snažnim utjecajem brzog razvoja tehnologije u svim sferama života, od ekonomije, gospodarstva, poduzetništva pa tako i u školstvu. Budući da se suvremeni život prilagodio razvoju tehnologije i onome što taj razvoj nudi, isto bi se trebalo primijeniti i u nastavnom programu. Stoga je bitno koju će metodu poučavanja nastavnik izabrati te koji će oblik rada primjenjivati u svom poučavanju. Obično kada se ljudi prisjete svojih školskih dana i nastavnika, prisjete se tradicionalnih metoda poučavanja u kojima je nastavnik „prenositelj znanja“, nastava se održava frontalno te su učenici, a kasnije i studenti, slušaoci koji su uglavnom pasivni u cijelom procesu učenja. Zbog toga je potrebno osuvremeniti nastavne metode koje se primjenjuju, kako kod drugih predmeta, tako i u nastavi fizike. U Hrvatskoj je u razdoblju od 2006. do 2018. provedeno međunarodno PISA istraživanje (prema [3]). PISA je kratica za Programme for International Student Assessment. Istraživanje se provodi na populaciji petnaestogodišnjaka te omogućava praćenje i procjenu obrazovnih ishoda u glavnim predmetnim područjima te pripremljenost učenika za daljnje obrazovanje ili zapošljavanje (u većini zemalja u dobi od petnaest godina se završava obavezno školovanje). Rezultati PISA istraživanja imaju visok stupanj pouzdanosti te se pomoću njih mogu dobiti jasni uvidi u ishode obrazovanja pojedinih zemalja svijeta. Iako je plasman Hrvatske u svim ciklusima istraživanja bio otprilike na polja ljestvice postojao je blagi negativan trend (NCVVO 2019.) Budući da se prirodoslovna pismenost koju istražuje PISA odnosi na fiziku, kemiju i biologiju može se zaključiti da u nastavi prirodoslovnih predmeta nema dovoljno naglaska na konceptualnom zaključivanju i razumijevanju učenika te je eksperimentalno istraživanje slabo zastupljeno. Kako bi se to promijenilo, nastava fizike bi trebala biti usmjerena na razvijanje prirodoslovne pismenosti koja podrazumijeva razvijanje kompetencija poput osmišljavanja znanstvenog istraživanja, vrednovanja rezultata, kritičkog razmišljanja, interpretacije znanstvenih podataka, znanstvenog objašnjavanja pojava i slično.

Oblik nastave fizike u kojoj se to nastoji ostvariti naziva se istraživački usmjerena nastava fizike. Ona je u Hrvatskoj propisana novim kurikulumom fizike (prema [2]). Istraživački usmjerena nastava, kao što i sam naziv govori, je nastava koja se provodi kroz vođena učenička istraživanja. „Glavni razlozi korištenja istraživački usmjerene nastave fizike su razvijanje istraživačkih vještina i znanstvenog zaključivanja učenika te razvijanje njihovog razumijevanja rezultata i procesa znanosti, što ne možemo u dovoljnoj mjeri postići drugim načinima poučavanja“ (prema [4]).

Bitno je razlikovati istraživački usmjerenu nastavu od čiste istraživačke nastave u kojoj učenici nemaju vođenja te su prepušteni gotovo samostalnom istraživanju. Problem kod potpuno istraživačke nastave je što učenici često nemaju razvijene istraživačke

sposobnosti i istraživački pristup problemima. Tu može biti problem i s motivacijom učenika tijekom samostalnog rada.

Ključna razlika u odnosu na tradicionalnu nastavu fizike je da se od učenika očekuje aktivno sudjelovanje na nastavi, a ne da budu samo pasivni slušaoci.

Kod istraživački usmjerene nastave naglasak je na interaktivnosti između učenika međusobno, ali i između učenika i nastavnika. Nastavnik ima ulogu vođe, daje učenicima usmjerenja i pruža im daljnje samostalno istraživanje. Nastavnik stvara okruženje za istraživanje, razmjenjivanje ideja, komunikaciju, prikupljanje podataka, diskusiju, postavljanje pitanja te traženje odgovora na njih.

Kod nekih nastavnika postoji suzdržanost što se tiče primjene istraživački usmjerene nastave. Često se smatra da je ovaj oblik nastave prezahtjevan te da se ne može provoditi zbog premalog broja sati i zbog prevelikog opsega gradiva. Zbog toga je potrebno naglasiti da se takav oblik nastave može primijeniti i samo na dio nastavnih tema koje nastavnik smatra da su ključne te kod kojih možda učenici imaju problema s konceptualnim razumijevanjem gdje bi im takav oblik nastave pomogao u postizanju i ostvarivanju nastavnih ishoda. Može se javiti i strah kako se istraživanjem neće postići željeni rezultat, no i to može biti temelj za daljnju diskusiju i razvijanje znanstvenog zaključivanja i razmišljanja kod učenika.

Također, i kod roditelja se može naići na otpor kada je ovakav tip nastave u pitanju ako ih se dovoljno ne informira o ciljevima i metodama. Najčešća pogrešna ideja je ta da učenici sve moraju sami otkriti i da nastavnik pri tome ništa ne radi. To je naravno neizvedivo jer učenici nemaju predispozicije za takva samostalna istraživanja. Nastavnik ima ulogu vođe te učenicima maksimalno osigurava samostalno zaključivanje i istraživanje, dakle učenici su aktivni u svom procesu učenja. Bitno je da učenici ne dobiju gotove rezultate, nego da fiziku shvate kao znanstvenu disciplinu u kojoj je glavni proces istraživanje.

Važnu ulogu u istraživački usmjerenoj nastavi fizike imaju pokusi. Učenici preko njih dolaze do vlastitog iskustva o različitim fizikalnim pojavama, donose vlastite zaključke, motiviraju ih za daljnje istraživanje te razvijaju razne vještine kao što su mjerenja, osmišljanje pokusa, analiza podataka i slično.

Istina je da se u praksi premalo izvode pokusi. Razlozi tomu su neopremljenost škole, nedostatak vremena, previše nastavnog sadržaja, naglasak na rješavanju numeričkih zadataka itd. Iako se ti problemi ne mogu tako jednostavno riješiti postoje ipak neka moguća rješenja. Pored pokusa se mogu koristiti razne simulacije. Simulacije mogu biti vrlo korisne jer ih učenici mogu koristiti i na satu i kod kuće te pružaju provođenje istraživanja i kod tema koje inače nisu pogodne za izvođenje pravih pokusa, kao što je na primjer to nuklearna fizika.

Međutim, isključivo korištenje simulacija bez stvarnih pokusa nije prikladno za usvajanje pojedinih fizikalnih koncepata. Naime, simulacije mogu približno prikazivati pojedine

prirodne procese, ali i potpuno pogrešno. Učenik ne može razlučiti što odgovara stvarnosti, a što je pogrešno. U kontekstu interneta i mnoštva lažiranih pokusa i simulacija na društvenim mrežama, to ima još veći značaj. Zato je izuzetno važno da se učenik sam uvjeri u pojedine prirodne pojave izvođenjem pokusa. Tome mogu pomoći aplikacije kojima pametni telefon postaje mjerni instrument kojim učenik može kvantitativno proučavati stvarnu prirodnu pojavu poput gibanja pod utjecajem sile teže, titranja utega na opruzi, magnetskog polja u okolini magneta ili valova zvuka. Senzori i mogućnosti pametnih telefona omogućavaju mjerenja u brojnim područjima fizike kao dio istraživački usmjerene nastave.

## **2.2. Simulacije u nastavi fizike**

Simulacije koje se mogu koristiti na računalima i na pametnim telefonima omogućuju učeničko istraživanje. Kao i kod fizikalnih pokusa, nastavnik treba voditi učenike kroz istraživanje tako da im postavi istraživačko pitanje te postavlja potpitanja tijekom izvođenja. Učenici koriste simulaciju kako bi istraživali fizičke pojave i odgovorili na istraživačko pitanje. Kod korištenja simulacija bitno je da nastavnik učenicima daje jasne upute na koji način se simulacija upotrebljava te i on sam mora biti upoznat u sve prednosti i nedostatke korištene simulacije.

Jedan od poznatijih paketa simulacija je PhET<sup>1</sup>. PhET projekt osnovan je 2002. godine na Sveučilištu „Colorado Boulder“. Osnovao ga je nobelovac Carl Edwin Wieman. PhET simulacije su dodatak nastavi te služe za lakše postizanje nastavnih ishoda iz fizike, matematike, kemije, biologije i geografije, pri čemu će ovdje biti naglasak na fizici. Ono što je bitno naglasiti je da su simulacije besplatne i dostupne na 121 jeziku, uključujući i hrvatski zbog čega su prikladne i za učenike osnove i srednje škole. Simulacije učenicima pomažu vizualizirati fizičke pojave, pogotovo one koje inače ne mogu vidjeti golim okom. Simulacije su interaktivne, učenici samostalno moraju pomaknuti neke objekte, upaliti/ugasiti neke kontrole, samostalno reguliraju uvjete i slično. Osim što se simulacije mogu koristiti u školi na nastavi, učenicima se mogu zadati zadaci koje će riješiti kod kuće. Uz to, simulacije omogućuju učenicima razvoj znanstvenog zaključivanja, ali mogu biti i vrlo zabavne za učenike koji će na zabavan i zanimljiv način otkrivati fizikalne pojave. Na taj način su i motiviraniji za učenje i istraživanje.

PhET simulacije namijenjene nastavi fizike podijeljene su kategorije: Gibanje; Zvuk i valovi; Rad, Energija i snaga; Toplina i temperatura; Kvantni fenomeni; Svjetlost i radijacija; Elektricitet; Magnetizam; Strujni krugovi. To nastavnicima, a i učenicima, osigurava lakše snalaženje. Također, moguće je izabrati simulacije koje odgovaraju određenoj dobi djece. Tako još postoji dodatna podjela simulacija na simulacije koje su prikladne za učenike u osnovnoj školi od prvog do petog razreda, za učenike od šestog do osmog razreda, za učenike srednje škole te za studente na sveučilištima.

---

<sup>1</sup> <https://phet.colorado.edu/hr/>

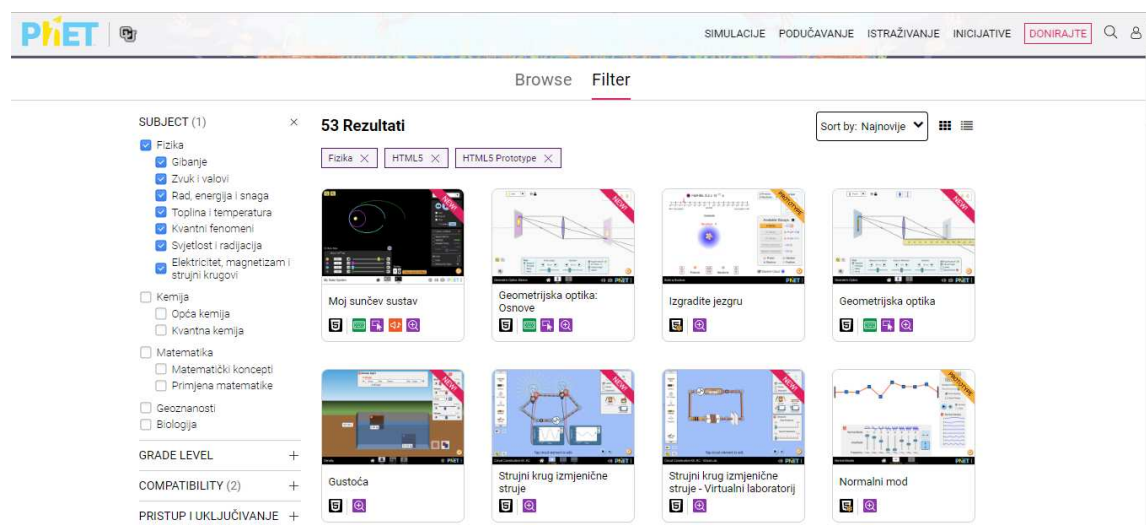
Učenci mogu vrlo jednostavno pronaći simulacije za bilo koji dio nastavnog sadržaja što je naravno vrlo poželjno i efikasno za samu nastavu. Na slici 1 nalazi se prikaz sučelja PhET-a.



Slika 1 Sučelje PhET-a

Kao što se može vidjeti, stranica PhET-a je kreirana tako da osigura jednostavno pretraživanje i brzo pronalaženje onog što je potrebno.

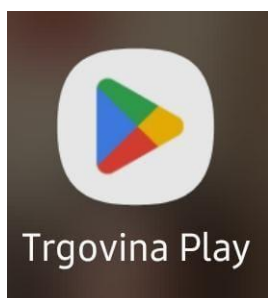
Na slici 2 prikazane su neke simulacije koje se mogu pronaći u sklopu PhET simulacija.



Slika 2 Neke simulacije u sklopu PhET-a

### 2.3. Aplikacije u nastavi fizike

Aplikacije na pametnim telefonima mogu imati veliku ulogu u nastavi fizike. One se jednostavno preuzimaju, ne zahtijevaju skupu opremu (svi pametni telefoni ih mogu pokrenuti), jednostavne su za korištenje jer se do svih potrebnih informacija dolazi gotovo odmah. Osim toga, u nastavi fizike mogu uvelike uštedjeti vrijeme. One mogu biti istraživački instrument u izvedbi pokusa, simulirati prirodnu pojavu, a mogu se iskoristiti i za ispitivanje znanja ili za ponavljanje nastavnog sadržaja. U današnje vrijeme je veliki broj aplikacija besplatan i svima dostupan. Najpoznatiji programi za preuzimanje aplikacija su Trgovina Play za Android operacijski sustav te AppStore za iOS. U navedenim programima postoji kategorija Obrazovanje u kojima se mogu izabrati brojne aplikacije koje mogu



Slika 3 Trgovina Play za Android



Slika 4 AppStore za iOS

pomoći učenicima, ali i nastavnicima. Na slikama 3 i 4<sup>2</sup> nalaze se prikazi navedenih programa.

Pomoću pametnih telefona i aplikacija učenici imaju visoko opremljene laboratorije u svojim rukama za koje većina škola u stvarnosti nema sredstava. Neke varijable koje učenici mogu mjeriti pomoću svojih pametnih telefona su azimut, kut nagiba, dimenzije, brzina, ubrzanje, magnetsko polje, zvuk, spektar frekvencija, osvjetljenje, GPS koordinate i dr. pri čemu mogućnosti povećavaju dvije ili više kamera visokih rezolucija koje se također mogu primjenjivati u istraživačke svrhe. Dakle možemo reći da su dio svakog pametnog telefona sljedeći instrumenti: kompas, luksmetar, kolorimetar, pedometar, inklinometar, akcelerometar, mikroskop, magnetometar, žiroskop, GPS, teodolit i dr. Aplikacije koriste senzore koje pametni telefoni imaju i primjenjuju ih u prikupljanju podataka pomoću kojih učenici dolaze do različitih spoznaja i zaključaka. Točnost mjerenja će ovisiti o kvaliteti samog uređaja, točnije o kvaliteti njegovih senzora, no za edukativne primjene prikladan je praktički svaki mobitel.

---

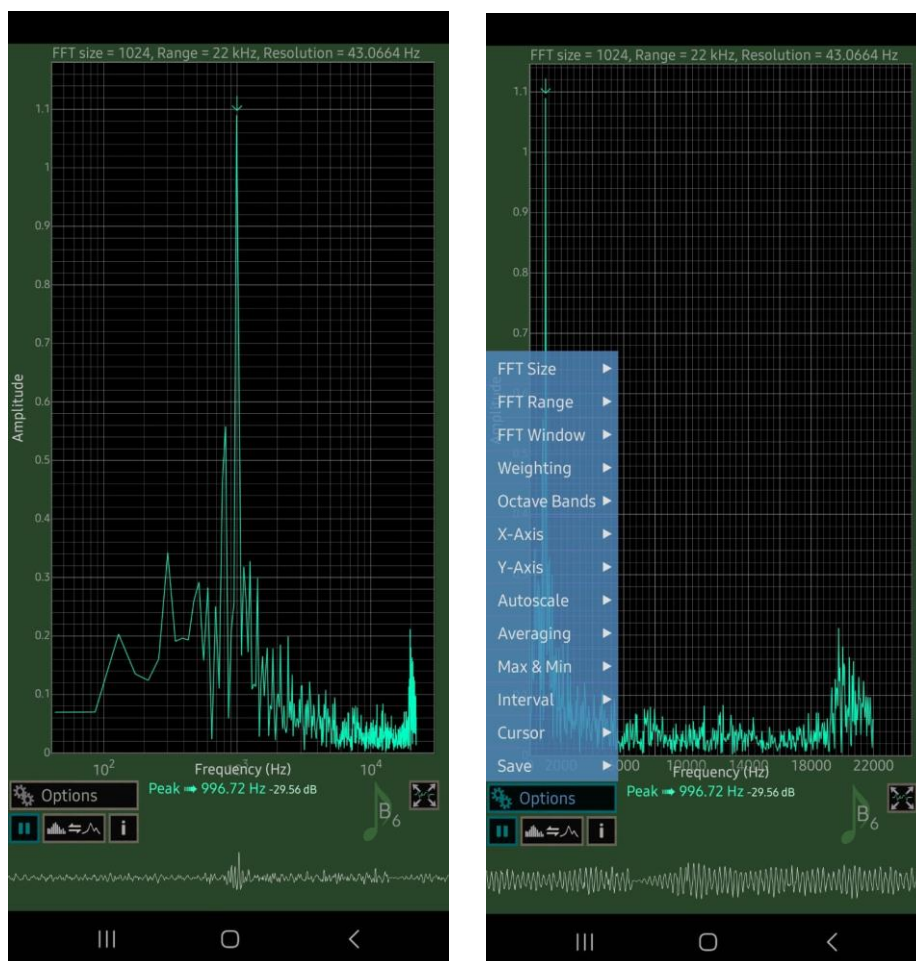
<sup>2</sup> <https://logos-world.net/app-store-logo/>

Primjer aplikacija prikladnih za mjerenja fizikalnih pojava su: za Android Smart Measure i Distance and Height Calculator, a za iOS Easy Measure, Height and Distance. Učenici znaju da se udaljenosti mogu mjeriti pomoću ravnala ili raznih traka za mjerenje, no nekada to nije najpraktičnije. Pomoću aplikacija učenici mogu na brz i jednostavan način odrediti udaljenost i visinu nekog objekta koji se nalazi u njihovom okruženju. Na slici 5 nalazi se primjer aplikacije Distance and Height Calculator. Aplikacija nudi vrlo jednostavne upute mjerenja te se na vrlo brz i jednostavan način dobiju tražene veličine. Učenici mogu samostalno odabrati predmete čiju će udaljenost i visinu mjeriti ili mogu svi mjeriti zadane veličine za isti predmet što je dobra podloga za daljnju razrednu diskusiju oko rezultata koje su dobili.



Slika 5 Prikaz rezultata dobivenih mjerenjem aplikacijom Distance & Height

Iduće što učenici mogu istraživati je zvuk. Pomoću aplikacija kao što je Spectrum Analyzer za Android i iAnalyzer Lite za iOS učenici mogu analizirati zvukove oko sebe. Na slici 6 nalazi se prikaz aplikacije Spectrum Analyzer pri čemu se na  $x$  osi nalazi frekvencija (lijevo logaritamska a desno linearna skala), a na  $y$  osi amplituda. U donjem lijevom kutu se nalaze opcije unutar kojih je jedna od njih upravljanje varijablama koje se nalaze na pojedinim osima grafa.



Slika 6 Prikaz aplikacije Spectrum Analyzer

Jedan od standardnih senzora kojeg imaju pametni telefoni je akcelerometar. Akcelerometar je napravljen od malih silikonskih dijelova koji se gibaju prilikom promijene orijentacije uređaja. Puno aplikacija koristi informacije koje ovaj senzor prikuplja. One omogućavaju učenicima mjerenje linearnog ubrzanja te usporedbu različitih oblika gibanja poput jednolikog pravocrtnog gibanja, jednolikog ubrzanog gibanja te rotacije koja podrazumijeva centripetalno ubrzanje. Primjeri nekih aplikacija koje koriste



akcelerometar za Android su Physics Toolbox Accelerometer, Accelerometer Monitor, a za iOS Sparkvue i Regression Calculator.

Na slici 7 se nalazi izgled aplikacije Physics Toolbox Accelerometer prilikom nejednolike vrtnje oko svoje osi.



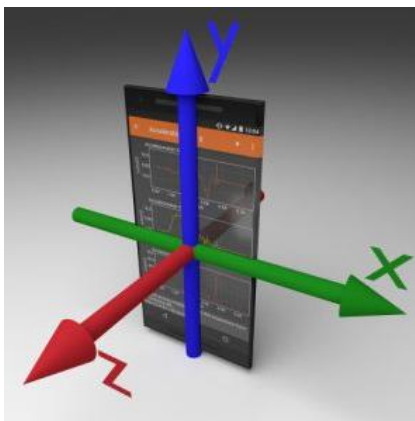
Slika 7 Prikaz aplikacije Physics Toolbox Accelerometer

Aplikacija mjeri ubrzanje u  $x$ ,  $y$  i  $z$  smjeru. Prije samog mjerenja bitno je s učenicima prokomentirati gdje se nalaze pojedine osi na njihovim pametnim telefonima.

### 3. Phyphox

Iako su sve navedene aplikacije, kojih ima još jako puno, učinkovite i korisne, još jednostavnije bi bilo imati sve te mogućnosti na jednom mjestu. Upravo za to može poslužiti aplikacija Phyphox. Aplikacija je dostupna i za Androide i za iOS. Phyphox je aplikacija koja nam omogućuje korištenje akcelerometra, žiroskopa, magnetometra, senzora za svjetlost, GPS-a, mikrofona i još mnogo drugih senzora. Osim aplikacije postoji i web stranica<sup>3</sup>. Nastavnici se na stranici mogu upoznati sa svim mogućnostima aplikacije te pronaći neke osnovne upute. Također, na web stranici postoje već neki snimljeni pokusi. Ti pokusi mogu poslužiti kao ideja za njihovo izvođenje na nastavi ili kod kuće.

Prije samog korištenja aplikacije bitno je poznavati kako izgleda koordinatni sustav naših pametnih telefona.  $Z$  os okomita je na ekran mobitela i pokazuje u smjeru prema nama kada uspravno gledamo u ekran mobitela. Kada mobitel držimo u njegovom zadanom položaju (uspravno vertikalno, ekran prema nama)  $x$  os pokazuje u desnu stranu. Tada  $y$  os pokazuje prema gore. Prikaz navedenog koordinatnog sustava nalazi se na slici 8 (preuzeto sa <https://phyphox.org/>.)



Slika 8 Koordinatni sustav pametnog telefona

---

<sup>3</sup> <https://phyphox.org/>

Na slici 9 prikazan je izgled aplikacije.



Slika 9 Izgled aplikacije Phypox

Ono što čini aplikaciju vrlo preglednom i jednostavnom je što je izbornik podijeljen na nekoliko sekcija unutar kojih se mogu birati različiti alati za pojedine pokuse. Prva sekcija se naziva Raw Sensors. Unutar nje se nalazi popis alata koji koriste osnovne senzore mobitela, poput akcelerometra, magnetometra, senzora za svjetlost i slično.

Iduća sekcija je Acoustics. Tu su ponuđeni alati vezani za zvuk. Odnose se na mjerenja amplituda, frekvencija, daju nam mogućnost promatrati spektar zvuka, proučavanje Dopplerovog efekta i slično.

Treća sekcija obuhvaća alat za mjerenje pljeska te alat za određivanje brzine dizala. To su alati koji se mogu primijeniti u svakodnevnom životu.

Četvrta sekcija obuhvaća mehaniku. Unutar nje su alati koji nam omogućavaju promatranje i istraživanje sudara, elastičnog i neelastičnog, centripetalnog ubrzanja, njihala, kotrljanja te istraživanje opruge.

Zatim slijedi sekcija s različitim štopericama koje mogu biti akustične, štoperice za pokret, optička itd.

Na kraju se nalazi sekcija koja se naziva Tools, dakle Alati. Među njima je npr. mjerenje nagiba i magnetsko ravnalo.

Vidimo da aplikacija Phythox pokriva pokuse iz velikog opsega nastavnog sadržaja iz fizike. Pokusi pomoću aplikacije mogu se koristiti za opservacijske pokuse na početku nastavnog sata, kao uvod u nastavni sadržaj, ali i za istraživačke pokuse u glavnom dijelu sata. Osim toga, nakon što se učenici upoznaju s aplikacijom, mogu koristiti aplikaciju i kod kuće za kućne pokuse. Moguće je da svi pametni telefoni nemaju senzore koji su potrebni za izvođenje određenih pokusa. Zato treba imati u planu i alternativni način izvođenja pokusa, npr. izvođenje pokusa u parovima ili grupama ili frontalno izvesti pokus.

## 4. Primjena mobitela u proučavanju gibanja

U ovom dijelu rada ćemo se fokusirati na konkretne primjere primjene pametnih telefona u izvođenju pokusa koji su ukomponirani u nastavni sat. Pri tome ćemo u svim pokusima koristiti aplikaciju Phyphox. Nastavne jedinice koje se pritom obrađuju pripadaju prvom razredu srednje škole (četverogodišnje učenje fizike).

### 4.1. Slobodni pad

#### **NASTAVNA PRIPREMA**

**NASTAVNA JEDINICA:** Slobodni pad

**PREDVIĐENI BROJ SATI:** 1 školski sat

#### **ISHODI I NJIHOVO VREDNOVANJE**

Odgojno obrazovni ishodi:

##### **FIZ SŠ B.1.3. Primjenjuje II. Newtonov zakon**

Razrada ishoda:

Određuje iznos sile teže i opisuje slobodni pad

##### **FIZ B.1.8. Rješava fizičke probleme**

Razrada ishoda:

- Vizualizira problemsku situaciju
- Identificira ciljeve rješavanja problema
- Izbire potrebne informacije i primjenjiva fizička načela
- Konstruira plan rješavanja problema
- Kvalitativno zaključuje primjenjujući fizičke koncepte i zakone
- Vrednuje fizičke situacije
- Vrednuje rješenje i rezultat

##### **FIZ B.1.9. Istražuje fizičke pojave**

Razrada ishoda:

- Istražuje pojavu izvodeći učenički pokus

Međupredmetne teme:

- **uku A.4/5.2. Primjena strategija učenja i rješavanje problema**  
Učenik se koristi različitim strategijama učenja i samostalno ih primjenjuje u ostvarivanju ciljeva učenja i rješavanju problema u svim područjima učenja
- **uku A.4/5.3. Kreativno mišljenje**  
Učenik kreativno djeluje u različitim područjima učenja.

- **uku A.4/5.4. Kritičko mišljenje**  
Učenik samostalno kritički promišlja i vrednuje ideje.
- **uku B.4/5.1. Planiranje**  
Učenik samostalno određuje ciljeve učenja, odabire pristup učenju te planira učenje.
- **osr A.5.4. Upravlja svojim obrazovnim i profesionalnim putem.**

## ORGANIZACIJA NASTAVNOG SATA

**Tip nastavnog sata:** usvajanje novih nastavnih sadržaja

**Vrsta nastave:** istraživački usmjerena nastava

**Nastavne metode:**

- demonstracija pokusa
- učeničko izvođenje pokusa/mjerenja u skupinama
- razredna rasprava
- metoda usmenog izlaganja
- metoda pisanja i crtanja
- metoda rješavanja konceptualnih pitanja

**Oblik rada:** frontalni, u skupinama

**Nastavna sredstva i pomagala:** ploča, pisalo i brisalo za ploču, projektor, pametni telefoni, balon, uteg, igla

## TIJEK NASTAVNOG SATA

### UVODNI DIO (10 min)

Za početak slijedi opservacijski pokus. Nastavnik ga izvodi frontalno. U jednu ruku nastavnik uzme gumicu, knjigu ili neki sličan predmet, a u drugu zgužvani komad papira. Učenicima se postavi pitanje: Što će se dogoditi kada ispustim istovremeno oba predmeta? - *Učenici zapisuju svoje pretpostavke. Nastavnik prozove nekoliko učenika da pročita svoje odgovore.*

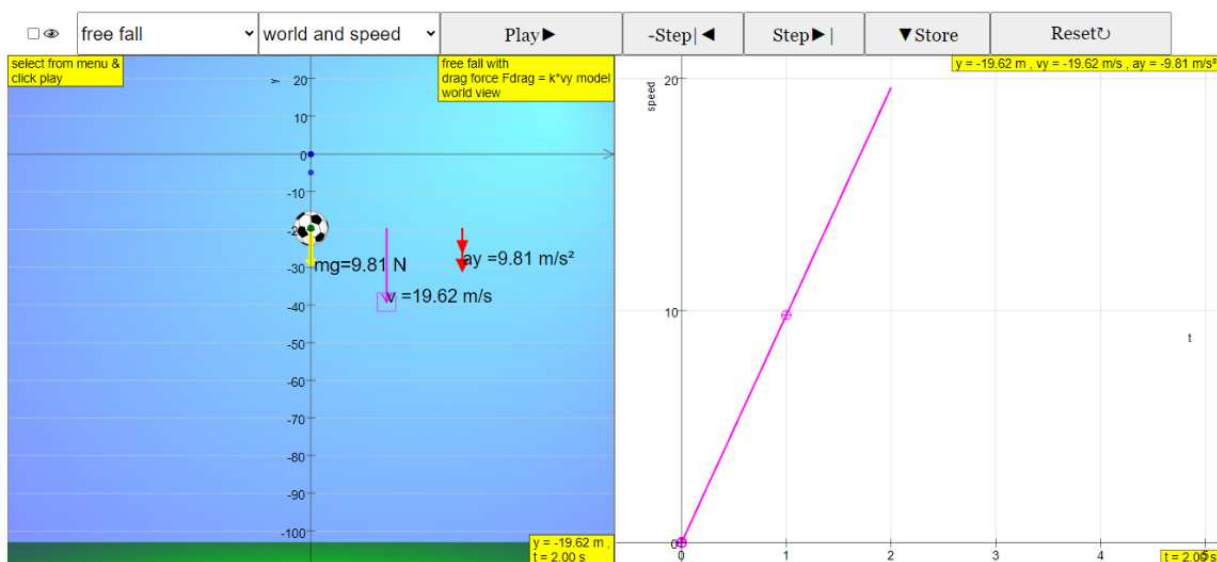
Kako će se odnositi vrijeme potrebno da padne zgužvani komad papira i vrijeme potrebno da padne gumica/knjiga? -*Učenici zapisuju svoja predviđanja te ih nekoliko njih prezentira ostatku razreda.*

Nakon toga nastavnik provede pokus i provodi se razredna diskusija. Uspoređuju se učenička predviđanja i ono što se zapravo dogodilo.

Nastavlja se razredna diskusija. Nastavnik postavlja pitanja: Kako su se gibali predmeti? Jesmo li im mi dali početnu brzinu? – *Učenici zaključuju da predmeti nisu imali početnu brzinu te da ih je nastavnik samo ispustio da padnu.*

Nastavnik učenicima prikaže simulaciju<sup>4</sup> i daje im uputu da promatraju što se događa s brzinom lopte koja pada. Na slici 10 prikazan je izgled simulacije.

*Učenici poistovjećuju situaciju padanja lopte na simulaciji s opservacijskim pokusom na početku sata i zaključuju da se brzina gibanja lopte jednoliko povećava u vremenu.*



Slika 10 Prikaz simulacije

Dolazi se do zaključka da je ovo gibanje jednoliko ubrzano gibanje bez početne brzine.

Slijedi definicija: Jednoliko ubrzano gibanje tijela ispuštenog bez početne brzine blizu Zemljine površine nazivamo slobodni pad.

Naslov: Slobodni pad

Još se s učenicima prokomentira da se mi ne nalazimo u idealnim uvjetima, tj. da postoji otpor zraka koji djeluje na predmete koji padaju. Otpor zraka će utjecati na vrijeme padanja te će ovisiti o obliku tijela (učenicima se može demonstrirati padanje ravnog papira i gumice).

Pri tome treba provjeriti razumiju li učenici koncept otpora zraka. Što je otpor zraka? Odgovor je da je to sila. Što uzrokuje tu silu? Ona je zapravo zbroj mikroskopskih sila koje se javljaju između tijela i molekula zraka. Ako učenici brzo zamahnu rukom, mogu osjetiti tu silu. Dodatno možemo postaviti pitanje ako je otpor zraka sila, koji je smjer djelovanja

4

[https://iwant2study.org/lookangejss/02\\_newtonianmechanics\\_2kinematics/ejss\\_model\\_freefall01/freefall01\\_Simulation.xhtml](https://iwant2study.org/lookangejss/02_newtonianmechanics_2kinematics/ejss_model_freefall01/freefall01_Simulation.xhtml)

te sile. Sila otpora uvijek djeluje suprotno od smjera gibanja. Dakle rezultat djelovanja te sile je usporavanje, tj. negativno ubrzanje. Na papir djeluje veća sila otpora zraka nego na gumicu. Zato papir pada dulje istu razliku visina nego gumica.

Što biste onda pretpostavili da vrijedi za vakuum? – *Učenici zaključuju da tamo nema otpora zraka te bi sva tijela jednako padala u vakuumu.*

### **SREDIŠNJI DIO (30 min)**

S učenicima se prisjetimo kakvo je to jednoliko ubrzano gibanje. Prisjećaju se da su osnovnoj školi naučili da je to gibanje stalnim ubrzanjem. Da bi se tijelo gibalo stalnim ubrzanjem potrebna je konstantna sila koja će djelovati na to tijelo. Ubrzanje tijela je proporcionalno sili koja djeluje na to tijelo i obrnuto proporcionalna masi tijela, odnosno vrijedi  $a = \frac{F}{m}$ . Slobodni pad je uzrokovan djelovanjem sile teže.

Ukratko se još s učenicima prisjetimo izraza koje su koristili kod jednoliko ubrzanog gibanja, a koje će vrijediti i za slobodan pad:

$$v = v_0 + a \cdot t$$
$$s = v_0 \cdot t + \frac{a \cdot t^2}{2}$$
$$v^2 = v_0^2 + 2 \cdot a \cdot s$$

Uvedemo da ćemo umjesto  $s$  pisati  $h$  (visina s koje tijelo pada) i u slučajevima koje ćemo mi istraživati će vrijediti  $v_0 = 0 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ .

Sada se postavlja pitanje:

IP: Koliko je ubrzanje tijela koje slobodno pada blizu površine Zemlje?

- *Učenici zapisuju svoje pretpostavke i nekoliko njih ih prezentira ostatku razreda.*

Slijedi istraživački pokus. Pribor potreban za izvođenje pokusa: Pametni telefon, aplikacija Phyphox, stalak, balon, igla, metar ili vrpca za mjerenje. Nastavnik učenicima daje upute što imaju od pribora, diskutira se čemu što služi te dijeli učenike u četveročlane skupine.

Opis izvođenja pokusa:

Za početak učenici trebaju napuhati balon i na kraju balona zavezati uteg. Masa utega je proizvoljna. Dobro je da grupe rade s različitim masama kako bi se kasnije mogla provesti razredna diskusija. Balon s utegom se postavlja na nosač na proizvoljnu visinu. Visinu učenici mjere od poda do mjesta gdje je početak utega. Visinu mjere pomoću metra ili vrpce. Ukoliko nema dovoljno nosača učenici mogu balon držati mirno u ruci na nekoj visini, no ako je ikako moguće preporuča se korištenje nosača i stalaka zbog preciznijeg izvođenja pokusa.



Svaka skupina učenika na pametnom telefonu treba pokrenuti aplikaciju Phyphox unutar koje izabiru alat Acoustic Stopwatch. Prikaz sučelja Acoustic Stopwatch-a prikazano je na slici 11.



Slika 11 Sučelje alata Acoustic Stopwatch

Prilikom pokretanja aplikacije nije potrebno nikakvo dodatno podešavanje. Moguće je postaviti prag osjetljivosti na neku drugu vrijednost, no neka ona uvijek bude između nule i jedinice.

Alat mjeri vrijeme između dva zvuka: pucanja balona što uzrokuje slobodan pad utega i udarca utega o pod. Učenici dobiju uputu da prilikom mjerenja svoje mobitele približe što više svojem postavu kako bi mobitel očitao njihove zvukove, a ne zvukove drugih skupina. Alternativno, skupine redom izvode pokus, jedna po jedna kako ne bi došlo do toga da aplikacija prepozna zvuk proizveden od druge skupine što može dovesti do krivog izmjerenog vremena. Ukoliko nastavnik ima dovoljno opreme ispod stalka se može dodatno staviti podloga (primjerice neki metal ili lim) koji je zvučno osjetljivija od školskog poda (često drveta).

Učenici vrše mjerenja za više različitih visina (minimalno 4). Zapisuju visine i dobiveno vrijeme u tablicu. Iz izraza  $h = \frac{at^2}{2}$  možemo izraziti ubrzanje  $a = \frac{2h}{t^2}$ .

Iz izmjerenih visina i vremena računaju ubrzanje slobodnog pada.

Slika 12 prikazuje uteg zavezan za balon i izvođenje pokusa. Budući da nisam imala stalak, balon sam podigla u ruci i provela pokus na isti način kako sam opisala.



Slika 12 Postav i izvođenje pokusa

Na slici 13 prikazano je vrijeme slobodnog pada utega s visine od 1.5 m.



Slika 13 Vrijeme slobodnog pada s visine od 1.5 m

U Tablici 1 prikazani su dobiveni podaci (mjerene visine i vremena te pripadno ubrzanje slobodnog pada).

|                                  |       |       |       |       |       |       |       |
|----------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| $h(m)$                           | 1     | 1.1   | 1.2   | 1.3   | 1.4   | 1.5   | 1.6   |
| $t(s)$                           | 0.462 | 0.477 | 0.503 | 0.526 | 0.545 | 0.552 | 0.569 |
| $g \left( \frac{m}{s^2} \right)$ | 9.37  | 9.67  | 9.49  | 9.40  | 9.43  | 9.85  | 9.88  |

Tablica 1 Rezultati mjerenja ubrzanja slobodnog pada

Nakon provedenog pokusa slijedi razredna diskusija. Učenici prezentiraju dobivene rezultate. Uočavaju da se svi rezultati kreću između vrijednosti  $9 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$  i  $10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ .

Rekli smo da je slobodan pad uzrokovan djelovanjem sile teže i da je to jednoliko ubrzano gibanje tijela. Učenicima kažemo da ubrzanje tijela koje slobodno pada blizu Zemlje iznosi približno  $9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ .

To ubrzanje označavamo sa slovom  $g$  i nazivamo ju ubrzanjem slobodnog pada. Iz toga možemo zapisati izraz za silu teže:  $F_g = m \cdot g$ , gdje je  $m$  masa tijela.

Vidimo da se rezultati pokusa dobro slažu s poznatom vrijednosti ubrzanja. Pogreške pri mjerenju su dobra baza za razrednu diskusiju. Pogreške se mogu javiti prilikom pucanja balona jer aplikacija treba ipak malo vremena da prepozna zvuk pucanja balona. Također, utjecaj ima i to koliko je balon napuhan i koliko je velik. Neki baloni će napraviti veću buku pa i tu aplikacija može drugačije reagirati kada čuje pucanj.

Prisjećajući se što ste naučili u osmom razredu možemo dobiti i da za slobodni pad vrijedi:

$$a = \frac{F}{m} = \frac{m \cdot g}{m} = g, \text{ što smo i eksperimentalno pokazali.}$$

U zadacima se za vrijednost ubrzanja slobodnog pada često uzima i vrijednost  $10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ .

Vrijednost ubrzanja slobodnog pada varira u odnosu na kojem mjestu se nalazimo.

To se događa jer Zemlja nije savršena kugla, nego je spljoštena na polovima. Tako na polovima vrijednost ubrzanja slobodnog pada iznosi  $9.83 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ , a na ekvatoru  $9.78 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ .

Za područje Hrvatske ubrzanje slobodnog pada iznosi  $9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ .

U stvarnosti, ubrzanje sile teže nije konstanto već se malo mijenja uslijed pomaka različitih masa u strukturi Zemlje. Na primjer velike mase koje se pomiču i na dnevnoj razini su oceani koji se dižu i spuštaju uslijed djelovanja gravitacijske sile Mjeseca i Sunca u procesu koji zovemo plima i oseka.

### **ZAVRŠNI DIO (5 min)**

Na kraju sata slijedi provjera učeničkog razumijevanja uz konceptualna pitanja. Projicira se PowerPoint prezentacija s konceptualnim pitanjem. Učenici čitaju zadatak i nakon kratkog vremena podižu kartice ABCD odgovarajuće boje. Analiziramo zastupljenost pojedinih odgovora. Dobiju još minutu da razmisle. Ponovno podižu kartice. Na taj način se dobiva uvid u njihovo razmišljanje. Prozove se nekoliko učenika da kažu svoj odgovor i objasne ga. Nakon toga daje se konačan odgovor i objašnjenje kako bi svi čuli.

1. Ubrzanje tijela koje slobodno pada uz zanemariv otpor zraka:

a) jednako je umnošku sile i mase tijela

b) proporcionalno je masi tijela

c) neovisno je o masi tijela

d) obrnuto je proporcionalno masi tijela

Točan odgovor je pod c). Slobodni pad uzrokuje sila teža  $F_g = mg$ .

Prema drugom Newtonovom zakonu dobivamo  $a = \frac{F_g}{m} = \frac{mg}{m} = g$ .

Vidimo da je ubrzanje slobodnog pada neovisno o masi, tj. konstantno.

2. (Vidi [\[8\]](#), 68.stranica) Dvije jednake lopte A i B puštene su s različitim visina. Ako lopta B treba dva puta više vremena da padne na tlo od lopte A tada za omjer visina  $\frac{h_A}{h_B}$  s kojih su ispuštene, uz zanemarivanje otpora zraka, vrijedi:

a)  $1:\sqrt{2}$

b) 1: 2

c) 1: 8

d) 1: 4

Točan odgovor je pod d). Računamo omjer  $\frac{h_A}{h_B}$ . Iz zadatka znamo da vrijedi  $t_B = 2 \cdot t_A$ .

$$\text{Slijedi: } \frac{h_A}{h_B} = \frac{\frac{gt_A^2}{2}}{\frac{gt_B^2}{2}} = \frac{t_A^2}{(2 \cdot t_A)^2} = \frac{1}{4}.$$

## **4.2. Centripetalno ubrzanje**

### **NASTAVNA PRIPREMA**

**NASTAVNA JEDINICA:** Jednoliko kružno gibanje

**PREDVIĐENI BROJ SATI:** 1 školski sat

### **ISHODI I NJIHOVO VREDNOVANJE**

Odgojno obrazovni ishodi:

#### **FIZ SŠ C.1.6. Analizira kružno gibanje**

Razrada ishoda:

- Analizira kružno gibanje kao jednoliko ubrzano gibanje
- Objašnjava i primjenjuje centripetalnu silu i centripetalno ubrzanje

#### **FIZ C.1.8. Rješava fizičke probleme**

Razrada ishoda:

- Vizualizira problemsku situaciju
- Identificira ciljeve rješavanja problema
- Izabire potrebne informacije i primjenjiva fizička načela
- Konstruira plan rješavanja problema
- Kvalitativno zaključuje primjenjujući fizičke koncepte i zakone
- Vrednuje fizičke situacije
- Vrednuje rješenje i rezultat

#### **FIZ C.1.9. Istražuje fizičke pojave**

Razrada ishoda:

- Istražuje pojavu izvodeći učenički pokus

Međupredmetne teme:

- **uku A.4/5.2. Primjena strategija učenja i rješavanje problema**

Učenik se koristi različitim strategijama učenja i samostalno ih primjenjuje u ostvarivanju ciljeva učenja i rješavanju problema u svim područjima učenja

- **uku A.4/5.3. Kreativno mišljenje**

Učenik kreativno djeluje u različitim područjima učenja.

- **uku A.4/5.4. Kritičko mišljenje**

Učenik samostalno kritički promišlja i vrednuje ideje.

- **uku B.4/5.1. Planiranje**

Učenik samostalno određuje ciljeve učenja, odabire pristup učenju te planira učenje.

- **osr A.5.4. Upravlja svojim obrazovnim i profesionalnim putem.**

## ORGANIZACIJA NASTAVNOG SATA

**Tip nastavnog sata:** usvajanje novih nastavnih sadržaja

**Vrsta nastave:** istraživački usmjerena nastava

**Nastavne metode:**

- demonstracija pokusa
- učeničko izvođenje pokusa/mjerenja
- razredna rasprava
- metoda usmenog izlaganja
  
- metoda pisanja i crtanja
- metoda rješavanja konceptualnih pitanja

**Oblik rada:** frontalni, u skupinama

**Nastavna sredstva i pomagala:** ploča, pisalo i brisalo za ploču, projektor, pametni telefoni

## TIJEK NASTAVNOG SATA

### UVODNI DIO (10 min)

Na početku slijedi opservacijski pokus kojeg ćemo prikazati pomoću video zapisa. Za početak učenicima pustimo prvu sekundu video<sup>5</sup>. Na slici 11 se nalazi isječak iz videa gdje vidimo da je žena pustila kuglu da se kotrlja, a muškarac čeka sa strane. U tom trenutku zaustavimo video.



Slika 14 Trenutak kada zaustavimo video

<sup>5</sup> [https://www.youtube.com/watch?v=ijJOCfOmBLA&ab\\_channel=ISLEPhysics](https://www.youtube.com/watch?v=ijJOCfOmBLA&ab_channel=ISLEPhysics)

Zatim učenici dobiju zadatak da nacrtaju kako treba udarati kuglu da bi se ona gibala u krug. Nakon nekog vremena učenici skiciraju svoje ideje na ploču. Nakon nekoliko ideja pustimo video i ponovno zaustavimo oko dvanaeste sekunde. Provodi se razredna diskusija. Učenicima se postavljaju pitanja što su vidjeli i slaže li se to s njihovim pretpostavkama. Dolazi se do zaključka da je muškarac u video djelovao silom prema središtu i da se tada kugla gibala kružno.

Je li ta sila bila stalna sila? – *Učenici zaključuju da to nije bila stalna, konstantna sila i da je ovaj video aproksimacija jednolikog kružnog gibanja. Za pravo jednoliko kružno gibanje treba neprestano djelovati sila prema središtu konstantnog iznosa.*

Koncept centripetalne sile nije jednostavan za razumjeti jer se radi o sili koja neprestano mijenja smjer. Kružno gibanje proizlazi iz činjenice da je sila vektor što se detaljnije može razumjeti na razini srednje škole. Učenici mogu skicirati u kojem smjeru sila djeluje u pojedinom trenutku kružne putanje. To nije teško, silu uvijek treba usmjeriti prema centru kružnice.

Postavlja se pitanje: Što će se dogoditi s kuglom kada na nju prestane djelovati sila? – *Učenici zapisuju pretpostavke i prezentiraju ostatku razreda.* Nakon učeničkih odgovora video se pušta do kraja te se provodi razredna diskusija. Zaključuje se da kada sila prestane djelovati na tijelo koje se kružno giba ono tangencijalno izleti s putanje.

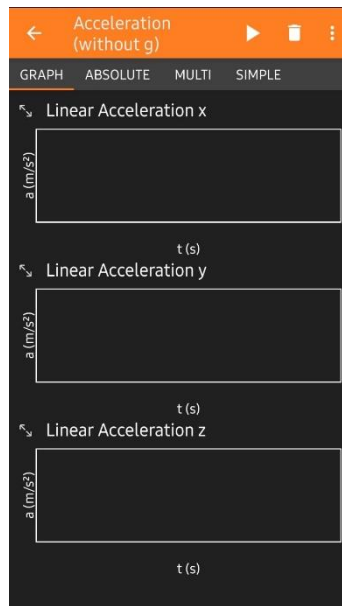
Dakle, glavne ideje do kojih se trebalo doći: Za jednoliko kružno gibanje potrebna je sila koja mora biti usmjerena prema središtu, tj. ukupna sila koja djeluje na tijelo je različita od nule i djeluje prema središtu putanje. Kada sila prestane djelovati na tijelo koje se kružno giba, tijelo tangencijalno izleti s putanje. – *Učenici ukratko zapisuju sve zaključke i naslov.*

Naslov: Jednoliko kružno gibanje

### **SREDIŠNJI DIO (30 min)**

IP: Postoji li ubrzanje tijela pri jednolikom kružnom gibanju?

Učenici zapisuju svoje pretpostavke i neki od njih ih prezentiraju ostatku razreda. Česta učenička miskoncepcija je da kružno gibanje nije ubrzano gibanje te da tijelo nema ubrzanje. To zaključuju jer smatraju da nema promjene brzine, no zaboravljaju da je brzina vektorska veličina te da iako se ne mijenja iznos brzine, mijenja se njezin smjer. Da bi se učenici uvjerali u postojanje ubrzanja kod kružnog gibanja provodi se sljedeći istraživački pokus. Za ovaj istraživački pokus jedini potreban pribor je mobitel s aplikacijom Phyphox. Unutar aplikacije koristit ćemo alat Acceleration without g. Ovaj alat prikuplja podatke pomoću linearnog akcelerometra i mjeri ubrzanje uređaja. Pri tome ne uzima u obzir ubrzanje slobodnog pada. Na taj način kada uređaj miruje, alat će mjeriti da su ubrzanja u  $x$ ,  $y$  i  $z$  smjeru jednake nuli. Na slici 15 prikazano je sučelje alata Acceleration without g unutar aplikacije Phyphox.



Slika 15 Sučelje alata Acceleration without g

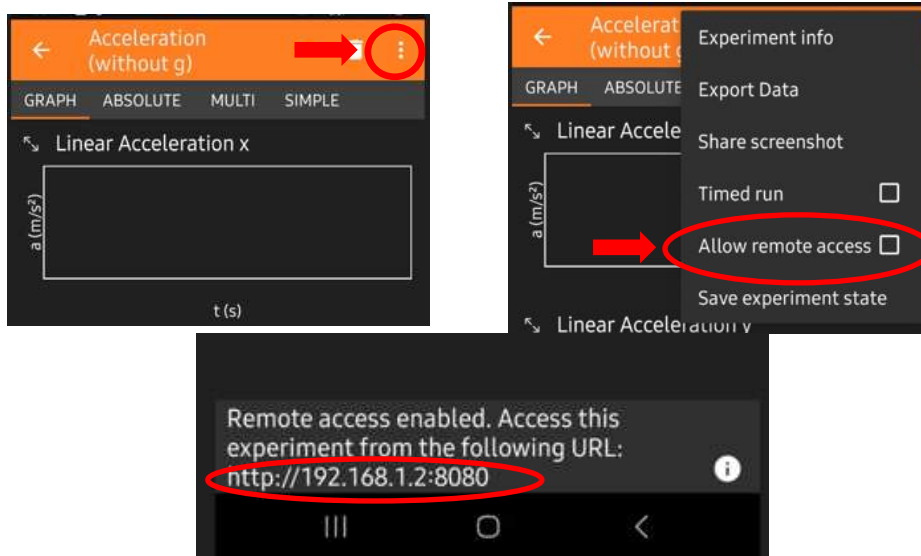
Kao što se može vidjeti sa slike 15, aplikacijom dobijemo tri grafa:  $a_x - t$  graf,  $a_y - t$  graf i  $a_z - t$  graf, pri čemu su  $a_x, a_y, a_z$  redom ubrzanja u  $x, y, z$  smjeru.

Prije izvođenja pokusa s učenicima treba prokomentirati koordinatne osi vezane uz njihov pametni telefon (ranije opisano u radu u odlomku 3. Phypox).

Učenici individualno izvode pokus. Prije izvođenja pokusa potrebno je pripremiti učionicu. Svakom učeniku potrebno je osigurati dovoljno mjesta pa je najbolje razmaknuti klupe i stolce uz rub tako da je veći dio učionice prazan prostor. Učenici imaju zadatak uspravno držati svoje pametne telefone u ispruženim rukama ispred sebe. Nakon pokretanja alata Acceleration without g učenici se trebaju pokušati vrtjeti oko svoje osi stalnom brzinom. Pri tome trebaju biti oprezni da se međusobno ne sudare i da im se ne zavrti.

Napomena za nastavnike: Ukoliko učenici imaju školske tablete aplikaciju s mobitela moguće je povezati na druge uređaje, pa tako i na tablet. Povezivanje je vrlo jednostavno. U gornjem desnom kutu mobitela nalaze se tri vertikalne točkice koje je potrebno dotaknuti. Od ponuđenih opcija izabere se Allow experiment state te se potom klikne na OK. Na dnu ekrana mobitela pokazat će se web adresa koja se upiše u web preglednik na tabletu. Nakon što se adresa unese, i na laptopu i na mobitelu će se prikazati sučelje istog alata Phypox-a te će sva mjerenja i grafovi biti vidljivi i na tabletu. To povezivanje omogućuje učenicima lakše analiziranje podataka jer su mjerenja vidljiva na većem ekranu. Opisani postupak prikazan je i na slici 16.

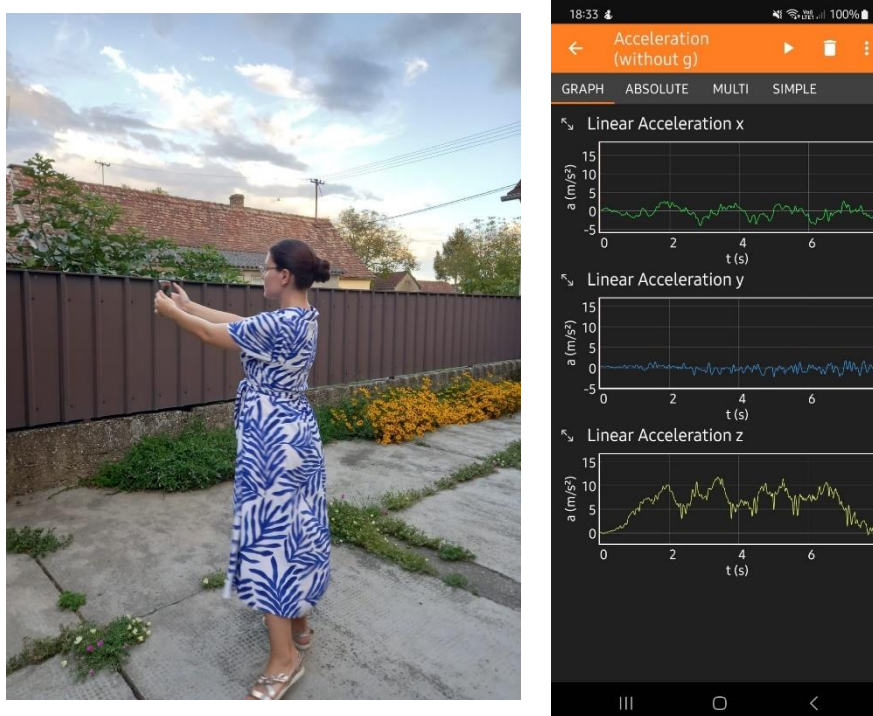




Slika 16 Postupak povezivanja mobitela i tableta/računala/laptopa (općenito nekog drugog uređaja)

Učenci zatim izvode eksperiment.

Izvođenje pokusa i dobiveni rezultati prikazani su na slici 17.



Slika 17 Izvođenje pokusa i dobiveni rezultati

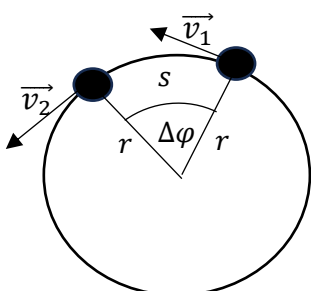
Naravno da je na ovaj način jako teško postići jednoliko kruženje, no iz grafova se najviše primjećuje mjerenje ubrzanja u z smjeru. U y smjeru ga gotovo ni nema, dok se u x smjeru mjeri ubrzanje koje se javlja zbog toga što ljudsko tijelo ne može biti u potpunosti

mirno i koliko god pazili dolazi do malih pokreta ruku prilikom vrtnje. No, učenicima objasnimo sve te utjecaje na dobivene grafove te mogu vidjeti da je ubrzanje u  $x$  smjeru u odnosu na onu u  $z$  smjeru zanemarivo i da se kreće oko nule. Analiza ovakvih mjerenja je važna u obrazovnom smislu budući da u realnom životu u mjerenjima fizikalnih varijabli imamo različite smetnje i druge utjecaje koje treba odvojiti od signala koji nas zanima. Zato je važno razumjeti što mjerimo i što pridonosi pogreškama mjerenja i drugim signalima koji ometaju mjerenje varijable koja nas zanima.

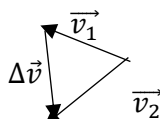
Slijedi razredna diskusija. Učenici iznose svoja zapažanja i zaključke. Uočavaju da postoji ubrzanje u  $z$  smjeru, odnosno ubrzanje koje je usmjereno prema njima, prema središtu rotacije. Učenici zapisuju odgovor na istraživačko pitanje: Pri jednolikom kružnom gibanju tijela postoji ubrzanje. Dakle, za jednoliko kružno gibanje potrebna je rezultantna sila koja djeluje prema središtu zakrivljenosti i uzrokuje ubrzanje tijela koja je u smjeru te sile, odnosno također prema središtu zakrivljenosti.

Umjesto da učenicima damo gotovu formulu za iznos ubrzanja pri jednolikom kružnom gibanju možemo provesti interaktivni izvod. Učenicima podijelimo nastavne listiće s uputama koje oni rješavaju i tako dolaze do izraza za iznos ubrzanja.

Primjer nastavnog listića i rješenja: Tijelo se giba jednoliko pravocrtno po kružnici polumjera  $r$ , brzinom  $v$ .

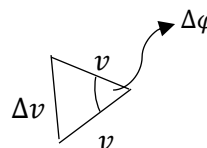


1. Konstruirajte vektor promjene brzine. – Učenici konstruiraju  $\Delta \vec{v}$  i zaključuju da je usmjeren prema središtu.



2. Konstruirajte trokut brzina i označite duljine stranica.

- Učenici zaključuju da su iznosi vektora  $\vec{v}_1$  i  $\vec{v}_2$  jednake  $v$ .



3. Koristite aproksimaciju da je duljina kružnog luka  $s$  jednaka tetivi tog kružnog luka. Uočite dva slična trokuta. – Učenici uočavaju dva jednakostranična trokuta koja su slična: trokut iz 2. zadatka i trokut čije su dvije stranice duljine  $r$ , a treća stranica duljine  $s$ .

Napišite omjere njihovih stranica. Učenici zapisuju:  $\frac{\Delta v}{s} = \frac{v}{r}$

Iz dobivenog omjera izrazite  $\Delta v$ .  $\Rightarrow \Delta v = v \cdot \frac{s}{r}$

4. Odredite iznos ubrzanja primjenjuju njegovu definiciju.

Učenici znaju da je ubrzanje promjena brzine u vremenu, odnosno zapisuju  $a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$ .

Uvrštavanjem izraza iz 3. zadatka dobivaju:

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v}{r} \cdot \frac{s}{\Delta t}$$

Izraz  $\frac{s}{\Delta t}$  predstavlja brzinu  $v$  pa iz toga slijedi konačan izraz za ubrzanje jednolikog kružnog gibanja:

$$a = \frac{v^2}{r}$$

S učenicima komentiramo da ubrzanje koje tijelo ima pri jednolikom kružnom gibanju nazivamo i centripetalno ubrzanje.

Da bi tijelo jednoliko kružilo rezultanta svih sila koje djeluju na tijelo mora biti usmjerena prema središtu. Ta rezultatna sila ima ulogu takozvane centripetalne sile i daje tijelu centripetalno ubrzanje. Dakle, treba naglasiti da centripetalna sila nije neka nova sila, nego je to uloga koju neka sila ima. Izraz za centripetalnu silu dobijemo primjenom drugog Newtonovog zakona na kružno gibanje:  $F_{cp} = m \cdot a = \frac{mv^2}{r}$ .

Budući da je to rezultatna sila, ona neće biti na dijagramu sila. Primjeri nekih sila koje imaju ulogu centripetalne: gravitacijska sila između Zemlje i npr. satelita, sila trenja u zavoju itd.

Napomena za nastavnike: Učenici često smatraju da je centripetalna sila neka nova sila, posebna te da je to jedna od sila koje djeluju na tijelo koje jednoliko kruži. Uz to, ne gledaju na jednoliko kružno gibanje kao na ubrzano gibanje. Još jedna od čestih problema je taj što znaju da je iznos brzine kod jednolikog kružnog gibanja stalan pa je to u kontradikciji s postojanjem ubrzanja. Ono što je bitno naglasiti je da su brzina i ubrzanje vektorske veličine. Iako se iznos brzine ne mijenja, stalno se mijenja njezin smjer.

#### ZAVRŠNI DIO (5 min)

Na kraju sata slijedi provjera učeničkog razumijevanja uz konceptualna pitanja. Projicira se PowerPoint prezentacija s konceptualnim pitanjem. Učenici čitaju zadatak i nakon kratkog vremena podižu kartice ABCD odgovarajuće boje. Analiziramo zastupljenost pojedinih odgovora. Dobiju još minutu da razmisle. Ponovno podižu kartice. Na taj način se dobiva uvid u njihovo razmišljanje. Prozove se nekoliko učenika da kažu svoj odgovor i objasne ga. Nakon toga daje se konačan odgovor i objašnjenje kako bi svi čuli.

1. Ako se tijelo giba jednoliko po kružnici, rezultatna sila na tijelo:

a) djeluje radijalno prema središtu kružnice

b) djeluje radijalno od središta kružnice

c) djeluje tangencijalno na kružnicu

d) Iznosi 0 N

Točan odgovor je pod c).

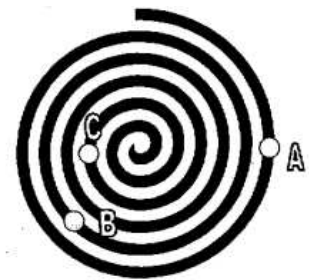
2. (Vidi [8], stranica 112) Auto se giba stalnom brzinom po spiralnoj putanji (crtež – pogled odozgo). Iznosi sile  $F_A$ ,  $F_B$  i  $F_C$  koje djeluju na auto u točkama A, B i C su:

a)  $F_A = F_B = F_C$

b)  $F_A < F_B = F_C$

c)  $F_A = F_B < F_C$

d)  $F_A < F_B < F_C$



Točan odgovor je pod d). Promatramo rezultantnu silu koja ima ulogu centripetalne sile i usmjerena je prema središtu. Centripetalna sila i udaljenost od središta su obrnuto proporcionalne veličine. Najbliže središtu je točka C (ima najmanju udaljenost), zatim B pa A koja je najdalje od središta (ima najveću udaljenost). Zato je najveća sila  $F_C$ , a najmanja  $F_A$ .

Slijedi još jedna nastavna priprema vezana za centripetalno ubrzanje.

### **NASTAVNA PRIPREMA**

**NASTAVNA JEDINICA:** Jednoliko kružno gibanje

**PREDVIĐENI BROJ SATI:** 1 školski sat

### **ISHODI I NJIHOVO VREDNOVANJE**

Odgojno obrazovni ishodi:

#### **FIZ SŠ C.1.6. Analizira kružno gibanje**

Razrada ishoda:

- Analizira kružno gibanje kao jednoliko ubrzano gibanje
- Objašnjava i primjenjuje centripetalnu silu i centripetalno ubrzanje

#### **FIZ C.1.8. Rješava fizičke probleme**

Razrada ishoda:

- Vizualizira problemsku situaciju
- Identificira ciljeve rješavanja problema
- Izabire potrebne informacije i primjenjiva fizička načela
- Konstruira plan rješavanja problema
- Kvalitativno zaključuje primjenjujući fizičke koncepte i zakone
- Vrednuje fizičke situacije
- Vrednuje rješenje i rezultat

#### **FIZ C.1.9. Istražuje fizičke pojave**

Razrada ishoda:

- Istražuje pojavu izvodeći učenički pokus

Međupredmetne teme:

- **uku A.4/5.2. Primjena strategija učenja i rješavanje problema**  
Učenik se koristi različitim strategijama učenja i samostalno ih primjenjuje u ostvarivanju ciljeva učenja i rješavanju problema u svim područjima učenja
- **uku A.4/5.3. Kreativno mišljenje**  
Učenik kreativno djeluje u različitim područjima učenja.
- **uku A.4/5.4. Kritičko mišljenje**  
Učenik samostalno kritički promišlja i vrednuje ideje.

- **uku B.4/5.1. Planiranje**

Učenik samostalno određuje ciljeve učenja, odabire pristup učenju te planira učenje.

- **osr A.5.4. Upravlja svojim obrazovnim i profesionalnim putem.**

## **ORGANIZACIJA NASTAVNOG SATA**

**Tip nastavnog sata:** usvajanje novih nastavnih sadržaja

**Vrsta nastave:** istraživački usmjerena nastava

**Nastavne metode:**

- demonstracija pokusa
- učeničko izvođenje pokusa/mjerenja u skupinama
- razredna rasprava
- metoda usmenog izlaganja
  
- metoda pisanja i crtanja
- metoda rješavanja konceptualnih pitanja
- metoda rješavanja zadataka

**Oblik rada:** frontalni, u skupinama

**Nastavna sredstva i pomagala:** ploča, pisalo i brisalo za ploču, projektor, pametni telefoni, krpe ili ručnici, plastična okrugla posuda

## **TIJEK NASTAVNOG SATA**

### **UVODNI DIO (10 min)**

Prethodni sat učenici su se upoznali sa centripetalnim ubrzanjem i centripetalnom silom. Sat započnemo kratkim ponavljanjem.

Kakvo gibanje je jednoliko kružno gibanje? *Jednoliko kružno gibanje je ubrzano gibanje.*

Što mora vrijediti da bi tijelo jednoliko kružilo? *Da bi tijelo jednoliko kružilo potrebno je da ukupna sila na to tijelo bude različita od 0. Ta sila djeluje prema središtu putanje.*

Što se dogodi kada sila prestane djelovati? *Tijelo tangencijalno izleti s putanje. Zašto izleti baš tangencijalno, a ne u nekom drugom smjeru? Tijelo izleti van jer centripetalna sila prestane djelovati i tijelo ima samo brzinu čiji je smjer tangencijalan na kružnicu.*

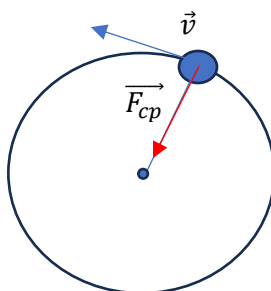
Što tijelo još ima ako postoji stalna sila koja djeluje na njega? *Tijelo ima ubrzanje. Ubrzanje je također usmjereno prema središtu. Na temelju kojeg zakona fizike smo to zaključili? Na temelju drugog Newtonovog zakona.*

Kako glasi izraz za centripetalno ubrzanje?  $a = \frac{v^2}{r}$ .

S učenicima komentiramo da  $v$  predstavlja brzinu kojom se tijelo giba kružnom putanjom. Tu brzinu nazivamo obodna (linearna, tangencijalna) brzina. (Učenici zapisuju u bilježnicu).

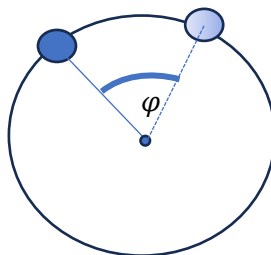
Što bi se dogodilo sa satelitom u orbiti oko Zemlje da njegova brzina nije tangencijalno usmjerena?

Učenicima zadamo zadatak da skiciraju tijelo koje se giba po nekoj kružnoj putanji polumjera  $r$  i naznačiti vektor centripetalne sile. Zatim trebaju skicirati vektor brzine. Primjer skice prikazan je na slici 18.



Slika 18 Skica kružnog gibanja

Osim obodne brzine, kod kružnog gibanja još možemo računati i kutnu brzinu. Učenicima sada zadamo zadatak da skiciraju položaj svog tijela koje jednoliko kruži u nekoj kasnijem trenutku. Primjer skice prikazan je na slici 19.



Slika 19 Skica kružnog gibanja 2

Kako biste opisali pomak tijela? Učenici kroz razgovor s nastavnikom zaključuju da je tijelo u nekom vremenskom intervalu  $\Delta t$  prebrisalo kut  $\Delta\varphi$ .

Sada možemo definirati kutnu brzinu kao količnik kuta i vremenskog intervala  $t$

$$\omega = \frac{\Delta\varphi}{\Delta t}$$

Mjerna jedinica za kutnu brzinu je radijan po sekundi  $\left(\frac{\text{rad}}{\text{s}}\right)$ .

Vrijeme potrebno da tijelo napravi puni krug nazivamo period i označavamo ga s  $T$ . Mjerna jedinica su sekunde (s).

Broj okretaja u sekundi označava frekvenciju,  $f$ . Vrijedi  $f = \frac{1}{T}$ .

Mjerna jedinica za frekvenciju je  $s^{-1}$ , odnosno Hz (Herz). – Učenici sve zapisuju u svoje bilježnice.

Kutnu brzinu još možemo zapisati kao  $\omega = \frac{2\pi}{T}$  jer tijelo za vrijeme jednog perioda opiše jedan cijeli krug, odnosno  $2\pi$  radijana.

Još možemo kutnu brzinu povezati s frekvencijom pa vrijedi  $\omega = 2\pi \cdot f$ .

Znamo da je centripetalno ubrzanje povezano s obodnom brzinom, tj. da vrijedi  $a = \frac{v^2}{r}$ .

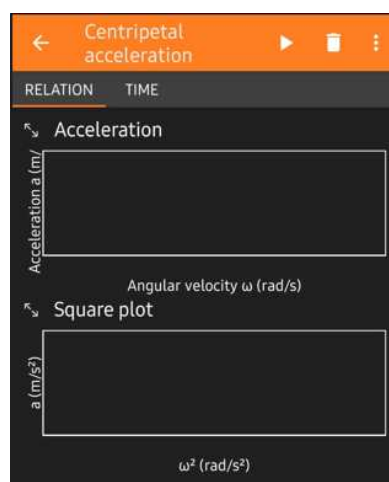
Sada ćemo istražiti kako su povezana centripetalno ubrzanje i kutna brzina.

### SREDIŠNJI DIO (30 min)

IP: Kako su povezana centripetalno ubrzanje i kutna brzina?

Učenici najprije zapišu svoje pretpostavke i nekoliko njih ih iznosi ostatku razreda.

Nakon toga slijedi istraživački pokus. Nastavnik učenike podijeli u četveročlane skupine. Svakoj skupini potreban je mobitel s aplikacijom Phyphox, dvije okrugle plastične posude takve da jedna stane u drugu i krpe ili ručnici. Umjesto plastičnih posuda, moguće je koristiti i sušilo za salatu, no malo ljudi to ima pa su dvije posude sasvim u redu za izvođenje pokusa. Učenici u aplikaciji Phyphox trebaju pokrenuti alat Centripetal Acceleration. Alat nam služi za vizualizaciju centripetalnog ubrzanja kao funkciju kutne brzine. Izgled sučelja navedenog alata nalazi se na slici 20.



Slika 20 Sučelje alata Centripetal Acceleration



Navedeni alat koristi žiroskop za računanje kutne brzine i akcelerometar za mjerenje ubrzanja.

Napomena na nastavnike: Pametni telefoni se ponovno mogu povezati s tabletom ili laptopom kako bi učenici bolje vidjeli dobivene grafove i izvukli iz njih informacije.

Učenicima se za početak postavljaju pitanja:

Koje veličine promatramo? *Promatramo ovisnost centripetalnog ubrzanja o kutnoj brzini.*

Koje veličine mijenjamo? *Mijenjat ćemo kutnu brzinu.*

Što mislite da trebamo držati konstantnim? *Trebamo držati stalan radijus kruženja.*

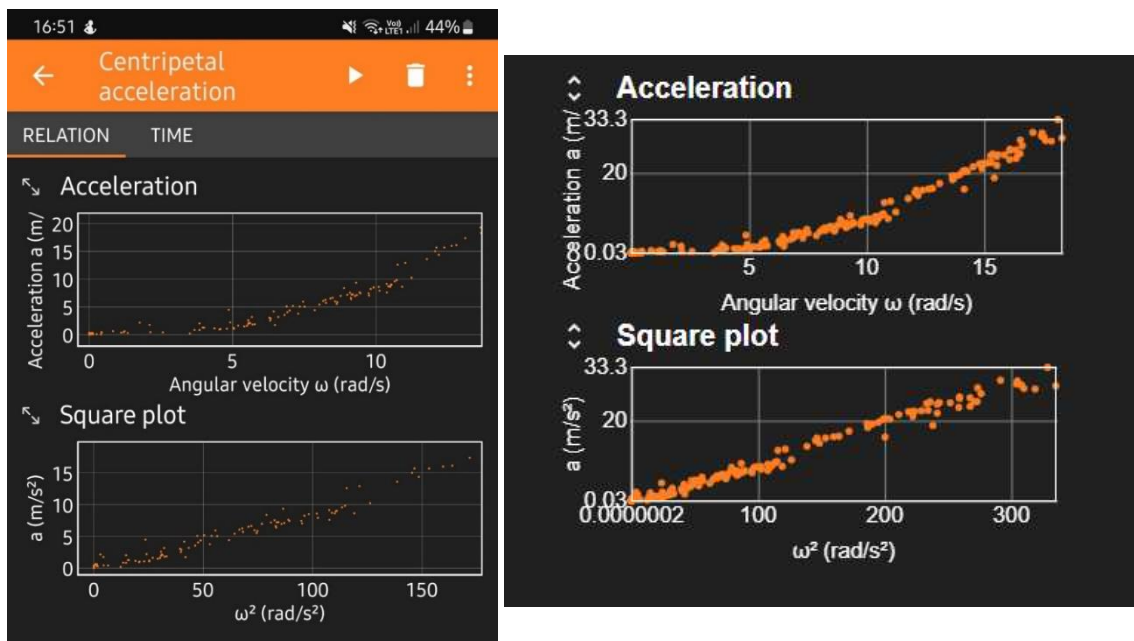
Opis izvođenja pokusa:

Svaka skupina učenika postavi mobitel u manju plastičnu posudu. Pomoću ručnika ili krpa osiguraju mobitel uz vanjski rub posude. Bitno je učenicima naglasiti da paze na svoje mobitele, da ih dobro osiguraju kako ne bi došlo do nekih oštećenja i da održavaju stalan radijus. Prije samog mjerenja trebaju izmjeriti radijus i zapisati ga. Nakon postavljanja mobitela učenici trebaju pokrenuti aplikaciju. Naglasimo im da mijenjaju kutnu brzinu od nule pa jednoliko do neke „razumne“ maksimalne brzine. Učenici potom izvode pokus. Nakon što pokrenu aplikaciju više ništa ne diraju. Prilikom vrtnje mobitela iscrtavaju im se dva grafa:  $a - \omega$  i  $a - \omega^2$ . Iz dobivenih grafova učenici trebaju zaključiti kakva je ovisnost centripetalnog ubrzanja i kutne brzine. Učenici svoje rezultate zapisuju i crtaju u bilježnicu te zapisuju zaključke svojim riječima.

Vlastito izvođenje pokusa i izgled postava prikazano je na slici 21, a na slici 22 nalaze se dobiveni rezultati (i s mobitela i s laptopa kojeg sam povezala na mobitel).



Slika 21 Izvođenje pokusa i postav



Slika 22  $a - \omega$  i  $a - \omega^2$  grafovi

Pokus je uspješno proveden te se dobiveni rezultati slažu s teorijskom pozadinom.

Napomena za nastavnike: Dobiveni podaci mogu se izvesti u Excel. To učenicima daje mogućnost dodatne analize podataka iz kojih ponovno dobiju grafove.

Slijedi razredna diskusija. Jedan od učenika crta na ploču dobivene grafove te se oni zajednički analiziraju.

Kako izgleda dobivenu  $a - \omega$  graf? – Učenici zaključuju da izgleda kao parabola. To znači da u ovom slučaju nisu dobili linearnu ovisnost pa samim time ni proporcionalnost.

Kako izgleda dobivenu  $a - \omega^2$  graf? - Učenici zaključuju da su dobili pravac. To im govori da su centripetalno ubrzanje i kvadrat kutne brzine linearno ovisne veličine. Osim toga, dobiveni pravac prolazi kroz ishodište. Iz toga učenici zaključuju da su također i proporcionalne, odnosno da ukoliko se jedna od njih poveća određen broj puta, druga će se povećati taj isti broj puta.

Još nas zanima konstanta proporcionalnosti. Učenicima zadamo zadatak da izaberu dobiveni  $a - \omega^2$  graf. Klikom na njega, graf se prikaže preko cijelog ekrana mobitela. Zatim trebaju izabrati opciju *Pick data* koja se nalazi na dnu aplikacije. Klikom na neku od točaka koje su dobili na grafu mogu očitati njezine koordinate, odnosno mogu saznati iznos kutne brzine i ubrzanja. Za nekoliko izabranih točaka trebaju izračunati omjer ubrzanja i kvadrata kutne brzine. Zatim trebaju dobivene rezultate usporediti s prije izmjerenim radijusom.

Iz dobivenih podataka, učenici zaključuju da je konstanta proporcionalnosti upravo radijus.

Kako biste to onda mogli zapisati? – Učenici zapisuju jednakost  $\frac{a}{\omega^2} = r$ .

Kažemo im da je ipak uobičajenije pisati  $a = r \cdot \omega^2$ . Tako smo dobili međuovisnost centripetalnog ubrzanja i kutne brzine.

Algebarski to možemo povezati i na sljedeći način. Učenicima zapišemo izraz koji povezuje kutnu i obodnu brzinu,  $v = r \cdot \omega$ .

Sada imaju zadataka napisani izraz uvrstiti u izraz  $a = \frac{v^2}{r}$ . Dobiju:

$$a = \frac{v^2}{r} = \frac{(r \cdot \omega)^2}{r} = r \cdot \omega^2.$$

### ZAVRŠNI DIO (5 min)

Na kraju sata slijedi provjera učeničkog razumijevanja uz konceptualna pitanja. Projicira se PowerPoint prezentacija s konceptualnim pitanjem. Učenici čitaju zadatak i nakon kratkog vremena podižu kartice ABCD odgovarajuće boje. Analiziramo zastupljenost pojedinih odgovora. Dobiju još minutu da razmisle. Ponovno podižu kartice. Na taj način se dobiva uvid u njihovo razmišljanje. Prozove se nekoliko učenika da kažu svoj odgovor i objasne ga. Nakon toga daje se konačan odgovor i objašnjenje kako bi svi čuli.

1. Lana i Luka se nalaze na vrtuljku koji se okreće stalnom kutnom brzinom oko svoje osi koja prolazi njegovim središtem. Lana se nalazi na obodu vrtuljka, a Luka na polovici udaljenosti između Lane i osi rotacije. Što vrijedi za njihove obodne i kutne brzine?

- a) Oni imaju jednake obodne brzine  $v$  i jednake kutne brzine  $\omega$ .
- b) Oni imaju jednake obodne brzine  $v$  i različite kutne brzine  $\omega$ .
- c) Oni imaju različite obodne brzine  $v$  i jednake kutne brzine  $\omega$ .
- d) Oni imaju različite obodne brzine  $v$  i različite kutne brzine  $\omega$ .

Točan odgovor je pod c). Cijeli vrtuljak se okreće istom stalnom kutnom brzinom bez obzira gdje se nalazili. Ukoliko imamo stalnu kutnu brzinu, osoba koja se nalazi dalje od središta vrtnje (veći radijus) imat će i veću obodnu brzinu od osobe koja se nalazi bliže središtu vrtnje (manji radijus).

### **4.3. Zakon očuvanja energije**

#### **NASTAVNA PRIPREMA**

**NASTAVNA JEDINICA:** Energija

**PREDVIĐENI BROJ SATI:** 1 školski sat

#### **ISHODI I NJIHOVO VREDNOVANJE**

Odgojno obrazovni ishodi:

##### **FIZ SŠ D.1.5. Primjenjuje zakon očuvanja gibanja**

Razrada ishoda:

- Tumači i matematički opisuje kinetičku, elastičnu, potencijalnu i gravitacijsku potencijalnu energiju.
- Primjenjuje zakon očuvanja energije.

##### **FIZ D.1.8. Rješava fizičke probleme**

Razrada ishoda:

- Vizualizira problemsku situaciju
- Identificira ciljeve rješavanja problema
- Izabire potrebne informacije i primjenjiva fizička načela
- Konstruira plan rješavanja problema
- Kvalitativno zaključuje primjenjujući fizičke koncepte i zakone
- Vrednuje fizičke situacije
- Vrednuje rješenje i rezultat

##### **FIZ D.1.9. Istražuje fizičke pojave**

Razrada ishoda:

- Istražuje pojavu izvodeći učenički pokus

Međupredmetne teme:

- **uku A.4/5.2. Primjena strategija učenja i rješavanje problema**  
Učenik se koristi različitim strategijama učenja i samostalno ih primjenjuje u ostvarivanju ciljeva učenja i rješavanju problema u svim područjima učenja
- **uku A.4/5.3. Kreativno mišljenje**  
Učenik kreativno djeluje u različitim područjima učenja.
- **uku A.4/5.4. Kritičko mišljenje**  
Učenik samostalno kritički promišlja i vrednuje ideje.

- **uku B.4/5.1. Planiranje**

Učenik samostalno određuje ciljeve učenja, odabire pristup učenju te planira učenje.

- **osr A.5.4. Upravlja svojim obrazovnim i profesionalnim putem.**

## **ORGANIZACIJA NASTAVNOG SATA**

**Tip nastavnog sata:** usvajanje novih nastavnih sadržaja

**Vrsta nastave:** istraživački usmjerena nastava

**Nastavne metode:**

- demonstracija pokusa
- učeničko izvođenje pokusa/mjerenja u skupinama
- razredna rasprava
- metoda usmenog izlaganja
  
- metoda pisanja i crtanja
- metoda rješavanja konceptualnih pitanja

**Oblik rada:** frontalni, u skupinama

**Nastavna sredstva i pomagala:** ploča, pisalo i brisalo za ploču, projektor, pametni telefoni, lopta

## **TIJEK NASTAVNOG SATA**

### **UVODNI DIO (10 min)**

Na početku sata izvodi se opservacijski pokus. Nastavnik frontalno izvodi pokus. U rukama digne loptu na neku visinu. Učenicima postavlja pitanje što će se dogoditi kada loptu pusti da padne na stol. Učenici zapisuju svoje pretpostavke i iznose ih ostatku razreda.

Kada pustimo loptu, ima li ona neku početnu brzinu? Kako biste onda nazvali gibanje od početne visine lopte do trenutka udara u stol? – *Učenici zaključuju da lopta slobodno pada, tj. da smo ju pustili bez početne brzine.*

Koje energije postoje u slučaju slobodnog padanja lopte?

Dolazi se do zaključka da lopta na početku ima gravitacijsku potencijalnu energiju i početna brzina joj je nula. Kada ju pustimo, ona dobiva brzinu što znači da ima i kinetičku energiju. Dakle, gravitacijska potencijalna energija se pretvara u kinetičku.

Koncept energije učenicima može biti težak za razumijevanje zbog svoje matematičke apstraktnosti. Ovdje možda nije loše provjeriti razumijevanje koncepta gravitacijske potencijalne energije. Kako mi znamo da lopta koju držimo iznad stola i miruje ima tu

energiju? Koje je porijeklo te energije? To je gravitacijska sila između lopte i Zemlje. Što dokazuje da ta energija postoji, a da nije samo naša teorijska pretpostavka? Dokaz je upravo ovaj pokus gdje se ta početna energija pretvara u kinetičku koju jasno možemo detektirati mjerenjem brzine lopte.

Što vrijedi za ukupnu energiju zatvorenog sustava? *Učenici se prisjećaju zakona očuvanja energije koji kaže da je ukupna energija u zatvorenom sustavu očuvana.*

Do koje visine će se lopta opet popeti kada odskoči od stol? Zašto? *Učenici zapisuju svoje odgovore i usmeno ih iznose. Moguće je da neki od njih imaju ideju da će se lopta vratiti na početnu visinu jer će se kinetička energija opet cijela pretvoriti u gravitacijsku potencijalnu energiju. Bitno je uzeti u obzir sve njihove odgovore. Učenici možda daju primjere različitih lopti, primjerice neke lopte koje su nešto bolje odskoče skoro do početne vrijednosti, dok medicinka gotovo neće ni odskočiti. Dakle, neće se sve lopte jednako ponašati.*

Primjer još jednog pokusa koji se može provesti da se to i pokaže je pokus s dvije lopte koje su na prvi pogled identične. Ono po čemu se razlikuju je to što je jedna od njih napunjena pijeskom što učenici ne mogu vidjeti gledajući sa strane. Kada bismo ispustili te dvije lopte s istih visina očito se neće jednako ponašati.

S učenicima se kroz navedena pitanja provjerava njihovo intuitivno razmišljanje. Sada nastavnik izvede pokus. Pusti loptu s neke visine koja potom pada na stol i odskoče te se penje na neku drugu visinu koja je manja od početne i tako sve dok se posve ne zaustavi. Učenicima zadamo zadatak da pokušaju svojim riječima u bilježnicu objasniti što se dogodilo kada je lopta odskočila i zašto. Nakon nekog vremena nekoliko učenika prezentira svoje odgovore ostatku razreda.

### **SREDIŠNJI DIO (30 min)**

IP: Što se događa s visinom lopte koja slobodno pada nakon što odskoči? Što se događa s energijom lopte koja slobodno pada nakon što odskoči?

Učenici zapisuju svoje pretpostavke te ih iznose usmeno ostatku razreda. Odgovor na istraživačko pitanje učenici će tražiti pomoću istraživačkog pokusa.

Opis pokusa: Učenici će raditi u četveročlanim skupinama. Svakoj skupini je potrebna lopta, metar ili mjerljiva vrpca te pametni telefon s aplikacijom Phyphox. Alat kojeg će koristiti u aplikaciji Phyphox naziva se (In)elastic collision. Sučelje navedenog alata prikazano je na slici 23.

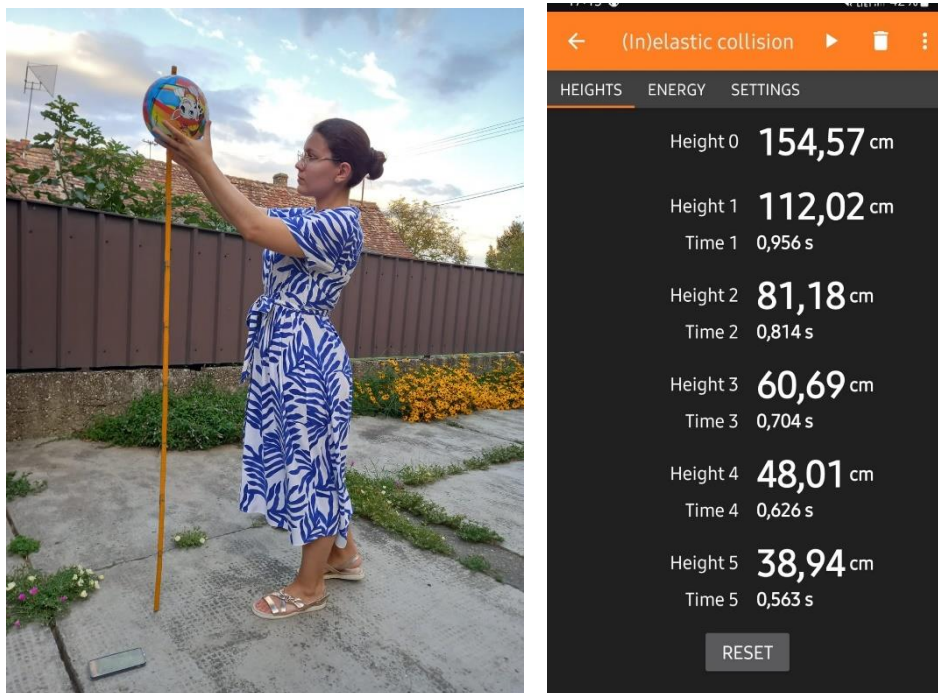


Slika 23 Sučelje alata (In)elastic collision

Navedeni alat radi slično kao eksperiment koji koristi zvučnu štopericu. Alat detektira zvuk koji lopta napravi prilikom udara o pod te mjeri koliko kinetičke energije je lopti ostalu u odnosu na početnu. Uz to možemo dobiti početnu visinu na kojoj se lopta nalazila, no preporuča se mjerenje visine metrom zbog točnijih rezultata.

Pokus se izvodi tako da se pametni telefon postavi na pod. Upali se (In)elastic collision te se ostavi na prikazu Heights (Visine). Jedan učenik digne loptu na proizvoljnu visinu, a ostali izmjere početnu visinu. Zatim se lopta pusti s izabrane visine tako da pada blizu pametnog telefona, prilikom čega treba paziti da ne padne direktno na njega. Preporuča se korištenje nekih lakših lopti kako ne bi došlo do oštećenja mobitela. Aplikacija će potom prikazati idućih pet visina do kojih se lopta popne nakon odskakanja.

Na slici 24 prikazano je izvođenje pokusa i dobiveni rezultati.



Slika 24 Izvođenje pokusa i dobivene visine na koje se lopta popne nakon što odskoči od poda

Učenici izvode pokus i zapisuju svoja opažanja te odgovaraju na pitanja: Je li se lopta popela na početnu visinu? Zašto? Svojim riječima objasnite što se dogodilo s loptom kada je ona odskočila. Zašto?

Učenici iznose svoje zaključke. Prvo što su zaključili je da je nakon svakog odskoka, visina na koju se lopta popne je manja od prethodne. Postavljamo im pitanje zašto misle da je to tako. Učenici iznesu svoje pretpostavke i o njima se ukratko diskutira.

Visina na koju se lopta popne svaki put nakon što se odbije o pod je posljedica sve manje energije koju lopta ima.

Koju energiju lopta dobiva na početku kada ju podignemo na neku visinu? – *Učenici znaju da dobiva gravitacijsku potencijalnu energiju.*

Što se događa s njezinom energijom kada ju pustimo da pada s neke visine? – *Tada lopta dobiva brzinu i gravitacijska potencijalna energija se pretvara u kinetičku energiju.*

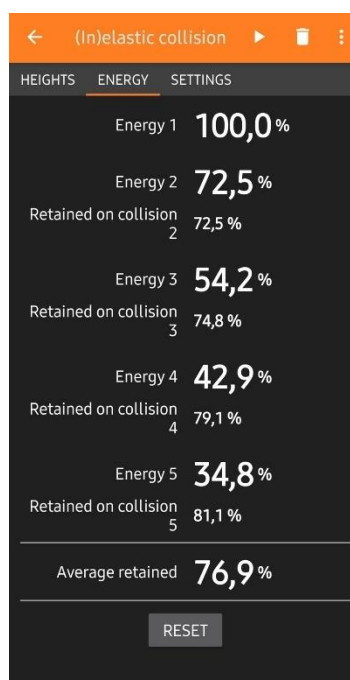
Zatim se lopta sudari s podom. Svojim riječima pokušajte objasniti što se zatim događa. – *Učenici zapisuju svoje pretpostavke i dio njih ih prezentira ostatku razreda.*

U tom sudaru dolazi do promjene dijela kinetičke energije u druge oblike energije. Najprije čujemo udarac lopte, što znači da se dio energije pretvori u energiju zvuka. Osim toga, kada lopta udari o pod ona se deformira i odbije. To se događa jer se dio energije pretvori u elastičnu potencijalnu energiju. Također, između lopte i poda postoji trenje zbog kojeg



se dio energije pretvori u toplinu. Prilikom odbijanja lopte, elastična potencijalna energija se opet pretvara u kinetičku koja se pretvara u gravitacijsku potencijalnu energiju, no lopta nikad neće imati isti iznos kinetičke potencijalne energije kao na početku upravo zbog gubitaka koji se dogode pri sudaru lopte i poda.

Da se kinetička energija pretvorila u druge oblike energije možete vidjeti i u aplikaciji pod Energy. Prikaz dobivenih podataka nalazi se na slici 25.



Slika 25 Pretvorba kinetičke energije u druge oblike energije

Aplikacija je izračunala koliko kinetičke energije je ostalo lopti relativno u odnosu na početnu. Što možete zaključiti iz podataka koje vidite.

– Učenici zaključuju da se svaki put energija sve više i više smanjuje. Budući da znaju da se energija ne može izgubiti, tj. nestati, zaključuju da je energija prešla u druge oblike prilikom sudara (toplina, zvuk).

### ZAVRŠNI DIO (5 min)

Na kraju sata slijedi provjera učeničkog razumijevanja uz konceptualna pitanja. Projicira se PowerPoint prezentacija s konceptualnim pitanjem. Učenici čitaju zadatak i nakon kratkog vremena podižu kartice ABCD odgovarajuće boje. Analiziramo zastupljenost pojedinih odgovora. Dobiju još minutu da razmisle. Ponovno podižu kartice. Na taj način se dobiva uvid u njihovo razmišljanje. Prozove se nekoliko učenika da kažu svoj odgovor i objasne ga. Nakon toga daje se konačan odgovor i objašnjenje kako bi svi čuli.

1. (Vidi [1], stranica 94 i 95) List s drveta pada prema tlu konstantnom brzinom. Kada ga prvi put uočite zbroj njegove potencijalne i kinetičke energije prema tlu je  $E_{p_1} + E_{k_1}$ . List pada i blizu tla. Zbroj njegove potencijalne i kinetičke energije prema tlu je  $E_{p_2} + E_{k_2}$ .

I. Što možete zaključiti o odnosu njegovih ukupnih mehaničkih energija u trenucima 1 i 2?

a)  $E_{p_1} + E_{k_1} = E_{p_2} + E_{k_2}$

b)  $E_{p_1} + E_{k_1} < E_{p_2} + E_{k_2}$

c)  $E_{p_1} + E_{k_1} > E_{p_2} + E_{k_2}$

Točan odgovor je pod c). List pada konstantnom brzinom. To znači da postoji rad sile otpora zraka (jer se gravitacijska potencijalna energija smanjuje).

Rezultat se može diskutirati i iz konteksta gibanja. List se giba jednolikom brzinom, dakle njegova kinetička energija koja je funkcija brzine se ne mijenja. Kako se list spušta prema tlu smanjuje mu se potencijalna energija, pa je time i ukupna energija manja od početne. Ovu diskusiju možemo dopuniti pitanjem II.

II. Što možete zaključiti o kinetičkoj energiji lista u trenucima 1 i 2?

a)  $E_{k_1} = E_{k_2}$

b)  $E_{k_1} < E_{k_2}$

c)  $E_{k_1} > E_{k_2}$

Točan odgovor je pod a). List pada konstantnom brzinom što znači da su mu kinetičke energije u oba trenutka jednake.

## 5. Zaključak

U nastavi fizike i šire u prirodoslovlju pokusi imaju vrlo važnu ulogu. Pokusima se učenici praktično upoznaju prirodnim pojavama i procesima, odnosno načinima kako priroda funkcionira. Kvantitativnim mjerenjima uče kako znanstvenici dolaze i provjeravaju teorijske modele kojima opisujemo prirodu. Nedavno smo se susreli s pandemijom COVID-19. Ono što se tu moglo vidjeti je da mnogi ljudi ne znaju kako znanost funkcionira, kako se provjeravaju neke znanstvene spoznaje, kako se do njih dolazi i slično. To je dijelom posljedica postojanja nedostataka u obrazovanju, kako u Hrvatskoj tako i na svjetskoj razini. Problem nastaje ako su učenici pasivni promatrači u procesu učenja. Oni nisu aktivno uključeni u znanstveno zaključivanje. Nastava fizike tu treba poticati učenike na primjenu znanstvenih metoda na različite probleme koji se javljaju u svakodnevnom životu. Pokusima se prikupljaju kvantitativni podaci o određenoj prirodnoj pojavi. Današnji mobiteli s brojnim sensorima imaju potencijal šire implementacije pokusa u nastavu kao vrlo napredni laboratoriji. Pomoću mobitela učenici mogu samostalno osmisliti i dizajnirati pokuse, izvesti ih, a ono što je posebna prednost je što se to sve ne mora odvijati u okviru nastavnog sata. Pomoću mobitela učenici mogu izvoditi pokuse i izvan okvira nastavnog sata kroz razne projektne aktivnosti. Time učenici postaju aktivni u svom procesu učenja i znanstvenog zaključivanja. Učenici kroz zanimljive izazove razvijaju svoju kreativnost, eksperimentiraju te im se na taj način potiče interes i za fiziku, ali i za STEM područje općenito.

Osim toga, svjedoci smo ulaska u novo doba u kojem se sve više razvija umjetna inteligencija. Pojavom i razvojem umjetne inteligencije, dolazimo do novih izazova u obrazovanju, čime istraživački pristup još više dobiva na cijeni. Pokusi iz fizike mogu biti korisni iz nekoliko razloga. Fizikalni pokusi učenicima omogućuju stvarnu interakciju s materijalnim svijetom, dok umjetna inteligencija pruža pregled teorijskih znanja. Interakcija učenika sa realnim svijetom je ključna za razumijevanje fizikalnih koncepata. Prilikom izvođenja pokusa, učenici razvijaju i brojne vještine poput korištenja mjernih instrumenata, dizajna i precizne izvedbe mjerenja i analize mjerenja.

Pokusima omogućuju i nastavnicima evaluirati stvarno učeničko razumijevanje određene tematike. Umjetna inteligencija može propitati i testirati teorijsko znanje, no tek kada se provedu pokusi možemo vidjeti postoji li razumijevanje fizikalnih koncepata u stvarnom svijetu. Također, provođenjem pokusa učenici razvijaju svoje kritičko mišljenje, evaluiraju rezultate i njihovu smislenost, postavljaju hipoteze, razvijaju svoju kreativnost i pronalazjenje novih načina rješavanja problema te prilagođavaju svoju metodu ukoliko je to potrebno. Uz pokuse, učenici dolaze i do učenja kroz greške. Greške nisu nešto negativno ili nešto čega bi se nastavnici trebali pribojavati, nego su one prilika za učenje i razvijanje koncepata.

## Literatura

- [1] N. Brković, P. Pećina, Fizika u 24 lekcije, 1. izdanje, Zagreb, Element, 2010.
- [2] MZOŠ (2019): Kurikulum nastavnog predmeta Fizika za osnovne škole i gimnazije, dostupno na [https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2019\\_01\\_10\\_210.html](https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2019_01_10_210.html)
- [3] PISA NCVVO (2019), dostupno na <https://pisa.ncvvo.hr/>
- [4] M. Planinić, Skripta iz Metodike nastave fizike 1, Fizički odsjek, PMF, Sveučilište u Zagrebu, 2023.
- [5] J. Kuhn, P. Vogt, Smartphones as mobile minilabs in physics, Springer, 2022.
- [6] Smartphones in science teaching, The European Platform for Science Teachers, Science on Stage Deutschland, 2014., dostupno na [www.science-on-stage.de](http://www.science-on-stage.de)
- [7] R. Vieyra, C. Vieyra, P. Jeanjacquot, A. Marti, M. Monteiro, Turn Your Smartphone into a Science Laboratory, Science Teacher, v82, n9, p32-39, 2015
- [8] N. Brković, Zbirka zadataka iz fizike, 1. izdanje, Element, Zagreb, 2001.
- [9] M. Golubić, Mobilni uređaji kao laboratoriji, Sveučilište u Zagrebu, PMF, 2020.
- [10] R O Firmansyah et al, The use of smartphone on learning activities: Systematic review. 2020 IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 850 012006

## Životopis

Rođena sam u Osijeku, a osnovnu školu Josip Kozarac završila sam u Soljanima. Po završetku osnovne škole, upisala sam prirodoslovno matematičku gimnaziju u Županji. 2018. godine upisala sam Integrirani preddiplomski i diplomski studij matematike i fizike, nastavnički smjer na Prirodoslovno-matematičkom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu.