

Koncepti Galileove relativističke mehanike u nastavi osnovne škole

Car, Matija

Master's thesis / Diplomski rad

2020

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:217:562639>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-01-28**



Repository / Repozitorij:

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
PRIRODOSLOVNO-MATEMATIČKI FAKULTET
FIZIČKI ODSJEK

Matija Car

KONCEPTI GALILEOVE RELATIVISTIČKE
MEHANIKE U NASTAVI OSNOVNE ŠKOLE

Diplomski rad

Zagreb, 2020.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
PRIRODOSLOVNO-MATEMATIČKI FAKULTET
FIZIČKI ODSJEK

INTEGRIRANI PREDDIPLOMSKI I DIPLOMSKI SVEUČILIŠNI STUDIJ
FIZIKA I INFORMATIKA; SMJER NASTAVNIČKI

Matija Car

Diplomski rad

**KONCEPTI GALILEOVE
RELATIVISTIČKE MEHANIKE U
NASTAVI OSNOVNE ŠKOLE**

Voditelj diplomskog rada: doc. dr. sc. Matko Glunčić

Ocjena diplomskog rada: _____

Povjerenstvo: 1. _____

2. _____

3. _____

Datum polaganja: _____

Zagreb, 2020.

Zahvale

Prije svega zahvaljujem mentoru, doc. dr. sc. Matku Glunčiću, na prijedlogu teme diplomskog rada te na savjetima i smjernicama prilikom pisanja istog. Također, učenicima zahvaljujem na sudjelovanju i ispunjavanju upitnika na kojem se temelji cjelokupni rad.

Veliku zahvalost iskazujem brojnim profesorima na trudu i prenesenom znanju. Najviše profesoru Hrvoju Negovcu radi prenesene ljubavi prema fizici.

Zahvaljujem obitelji, posebno roditeljima, na podršci tijekom studija. Djevojci Luciji zahvaljujem na strpljenju te motivaciji kada je bilo najpotrebnije. Naposljetku hvala prijateljima i kolegama na ugodnom društvu i pomoći.

Sadržaj

Uvod	1
<i>Koncepti Galileove relativističke mehanike</i>	2
<i>Galileijevo pravilo zbrajanja brzina</i>	4
<i>Galilejeva relativistička mehanika u kurikulumu nastave gimnazije</i>	4
Ispitivanje koncepata Galilejeve relativističke mehanike kod učenika 8. razreda osnovne škole	6
<i>Cilj istraživanja</i>	6
<i>Metode istraživanja</i>	6
<i>Rezultati upitnika</i>	7
<i>Analiza rezultata</i>	18
Savjeti za bolje usvajanje ispravnih koncepata	20
<i>Pokusi i primjeri</i>	22
<i>Nastavna priprema</i>	25
Zaključak	30
Dodaci	31
<i>Dodatak A</i>	31
UPITNIK: Koncepti Galilejeve relativističke mehanike	32
Literatura	35

Sažetak

Učenici se s većinom pojmova i koncepata Galileijeve relativističke mehanike susreću po prvi puta tek u četvrtom razredu srednje škole, u planu i programu nastave gimnazije, na nastavnom predmetu Fizika. S obzirom na to da se učenici susreću s Galileijevom relativističkom mehanikom svakodnevno i kroz igru bilo bi korisno kada bi te koncepte, u smanjenom opsegu, imali priliku učiti puno ranije, već u osmom razredu osnovne škole jer do četvrtog razreda srednje škole razviju čitav niz pretkonceptija povezanih s ovom temom.

Ovim diplomskim radom nastojalo se utvrditi koncepte učenika osmog razreda osnovne škole povezane s temom Galileijeve relativističke mehanike. Poznavanje učeničkih pretkonceptija i primjena novih nastavnih metoda razvijenih na osnovu rezultata edukacijskih istraživanja u fizici važne su za učinkovitiju nastavu fizike. U tu svrhu sastavljen je upitnik kojeg su učenici ispunili. Kroz analizu ponuđenih odgovora i objašnjenja istih može se zaključiti kako većina učenika imaju razvijene pretkonceptije bazirane na njihovom svakodnevnom iskustvu te nerazumijevanju osnovnih koncepata poput prvog Newtonovog zakona koje su već trebali usvojiti s obzirom na to da se prvi Newtonov zakon uči u osmom razredu osnovne škole. Kako bi učenici mogli usvojiti složenije koncepte poput koncepata Galileijeve relativističke mehanike nužno je više vremena posvetiti osnovnim konceptima jer se osnovne pretkonceptije posljedično samo šire u kasnijoj nastavi fizike i čine nemogućim usvajanje novih složenijih koncepata.

Ključne riječi: Galileijeva relativnost, Galileijevo pravilo zbrajanja brzina, Galileijeve transformacije, inercijski sustav, prvi i drugi Newtonov zakon

Concepts of Galileo's relativistic mechanics in primary school teaching

Abstract

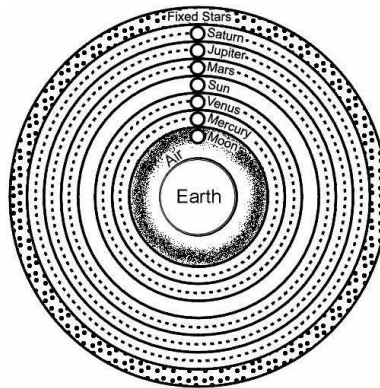
Students are introduced to most concepts of Galileo's relativistic mechanics for the first time in 4th grade of primary school physics. Given that they encounter such concepts on a daily basis and even through play, it would be advisable if they had the opportunity to learn such concepts at a reduced scale at an earlier stage of life. It would prove optimum to start as early as the 8th grade of primary school so as to avoid any preconceptions that may arise.

The aim of this thesis is to help confirm the concepts of 8th grade of primary school students regarding Galileo's relativistic mechanics. Taking into consideration student's preconceptions and the application of new teaching methods based on the results of educational research in physics, prove to be of great importance for the teaching of physics. For this purpose, a questionnaire was compiled and completed by the students. Through analysing the answers one can conclude that most students have developed preconceptions based on every day experiences. It also shows that they have a lack of understanding basic concepts such as Newton's 1st law, which should have been mastered seeing as it is taught in the 8th grade of primary school. In order for students to fully grasp even the most complex concepts such as Galileo's, it is necessary to devote more attention to basic concepts so as to avoid further preconceptions thus enabling students to understand more complex concepts.

Keywords: Galilean relativity, Galilean velocity-addition formula, Galilean transformations, inertial system, Newton's first and second laws

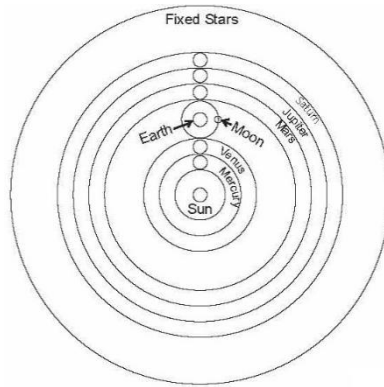
Uvod

Starogrčki filozof i prirodoslovac, Aristotel (384. pr. Kr. - 322. pr. Kr.), je u svojoj teoriji o svemiru postavio Zemlju u središte svemira. Zemlja je mirovala, a Sunce, Mjesec, planeti i zvijezde su kružili oko nje s periodom jedan dan ([Slika 1](#)). Aristotel je svoju teoriju pokušao opravdati na jednostavnom primjeru. Kada bi se kamen pustio da slobodno padne s visokog tornja, on bi pao u podnožje tornja točno ispod mjesta s kojeg je pušten. To je za njega bio dokaz da Zemlja miruje. Kada Zemlja ne bi mirovala, za vrijeme dok je kamen u zraku, Zemlja bi se pomaknula te bi kamen pao na neko drugo mjesto. [1]



Slika 1: Aristotelov geocentrični sustav [2]

Gotovo dva tisućljeća kasnije Nikola Kopernik (1473. - 1543.) je obnovio i razradio Aristarhov (~310. pr. Kr. - ~230. pr. Kr.) heliocentrični sustav. Taj model ima Sunce u središtu, a Zemlja i drugi planeti kruže oko Sunca ([Slika 2](#)). Mnogi teolozi i znanstvenici te Katolička crkva su se protivili heliocentričnom sustavu. Godine 1632. Galileo Galilei (1564. - 1642.) je napisao knjigu *Dialogo sopra i due massimi sistemi del mondo* u kojoj podržava Kopernikovu teoriju. U knjizi, Galilei tvrdi da vertikalna putanja tijela u slobodnom padu ne upućuje na zaključak da Zemlja miruje. Njegov primjer bio je kamen koji se pusti da slobodno padne s vrha jarbola broda. Bez obzira na to miruje li brod ili plovi ravno naprijed jednolikom brzinom po mirnome moru, kamen će pasti u podnožje jarbola točno ispod mjesta s kojeg je pušten. Također, Galilei tvrdi da iluzija o mirovanju koju osjećamo kad stojimo na Zemlji ne upućuje na zaključak da se Zemlja ne kreće. To je potkrijepio sljedećim misaonim pokusom. Kada bi motritelj bio zatvoren u kabini bez prozora na velikom brodu, on ne bi mogao odrediti, promatrajući gibanja tijela unutar kabine, plovi li brod ravno naprijed jednolikom brzinom po mirnome moru ili miruje. Time je Galilei pokazao kako bilo koji promatrač ili bilo koji predmet koji se nalazi na tijelu koje se giba jednoliko po pravcu osjeća iluziju da miruje. Taj koncept osjetilne ekvivalencije nazivamo Galileijev princip relativnosti. [1]



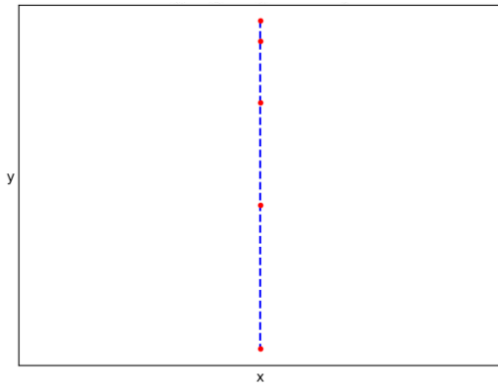
Slika 2: Kopernikov heliocentrični sustav [2]

Koncepti Galileove relativističke mehanike

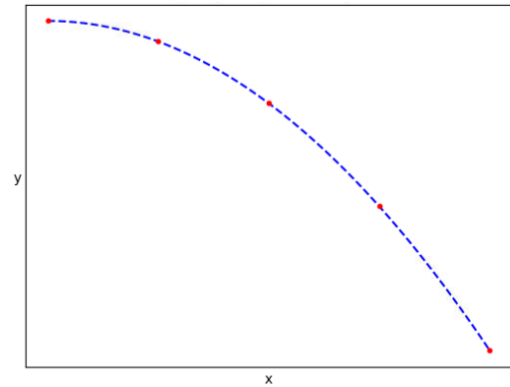
Galileijev princip relativnosti opisuje mehanički koncept koji nije ništa novo, tj. svatko je empirijski to doživio, ali je Galilei prvi koji je taj koncept detaljno opisao. Galileijev princip relativnosti sastoji se od dva koncepta:

1. Sva jednolika pravocrtna gibanja tijela ili sustava, uključujući mirovanje, su ekvivalentna stanja.
2. Zakoni mehanike za tijela su jednaki u bilo kojem inercijskom sustavu. [1]

Inercijski sustav je sustav koji se giba jednoliko po pravcu u odnosu na neki sustav u kojemu vrijede Newtonovi zakoni gibanja. Prvi koncept govori o ekvivalenciji inercijskih sustava. Drugi koncept se možda na prvi pogled čini trivijalan, no međutim na sljedećem primjeru možemo vidjeti kako bi netko mogao doći do drugog zaključka. Kada bi motritelj, koji se nalazi u vlaku, pustio loptu da slobodno pada iz njegove ruke, vidio bi jednaku putanju lopte (Slika 3) i u slučaju kada vlak miruje i u slučaju kada se vlak giba jednoliko pravocrtno. Pogledajmo sada kako ovu situaciju vidi motriteljica koja se nalazi na tlu i miruje u odnosu na vlak. Ona vidi drugačiju putanju lopte (Slika 4) od motritelja kada se vlak giba jednoliko pravocrtno. Razlike u putanjama ne znače da zakoni mehanike nisu jednaki u vlaku i na tlu. Motriteljica vidi paraboličnu putanju zbog dodatne horizontalne brzine vlaka, a za motritelja lopta nema horizontalnu komponentu brzine. U oba slučaja ishod je da je lopta pala na pod vagona i da se gibala u skladu sa zakonima mehanike.



Slika 3: Putanja lopte koju vidi motritelj



Slika 4: Putanja lopte koju vidi motriteljica

Kao što se moglo vidjeti u prethodnom primjeru, u osnovi Galileijeve relativnosti su mjerenja i opažanja koja obavljaju motritelji u različitim inercijskim sustavima. Označimo dva inercijska sustava slovima S i S' (Slika 5) [3]. Neka sustav S miruje, a sustav S' se giba brzinom v u odnosu na sustav S . Sustavu S pridružen je koordinatni sustav s koordinatama x , y i z , a sustavu S' pridružen je koordinatni sustav s koordinatama x' , y' i z' . Mjerenja vremena u sustavu S označimo slovom t , a u sustavu S' slovom t' . Usporedbom mjerenja duljina i vremena motritelja iz sustava S i S' dolazimo do sljedećih relacija [4]:

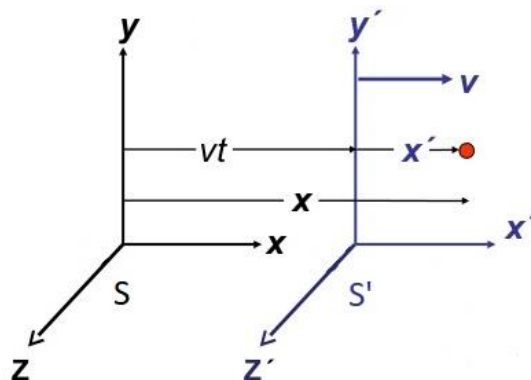
$$x = x' + vt \quad \text{Jednadžba 1}$$

$$y = y' \quad \text{Jednadžba 2}$$

$$z = z' \quad \text{Jednadžba 3}$$

$$t = t' \quad \text{Jednadžba 4}$$

Jednadžbe 1, 2, 3 i 4 se nazivaju Galileijeve transformacije koordinata i vremena.[4]



Slika 5: Sustav S' se giba brzinom v u odnosu na sustav S [5]

Galileijevo pravilo zbrajanja brzina

Galileijevo pravilo zbrajanja brzina koristi se ukoliko motritelj u sustavu S koji miruje i motritelj u sustavu S' koji se giba jednoliko pravocrtno brzinom v , promatraju gibanje istog tijela. Tada vrijedi [4]:

$$u = u' + v \qquad \text{Jednadžba 5}$$

Gdje je u brzina tijela koju mjeri motritelj u sustavu S , a u' brzina tijela koju mjeri motritelj u sustavu S' . Valja napomenuti da [jednadžba 5](#) ne vrijedi kada su brzine bliske brzini svjetlosti. [4]

Galileijeva relativistička mehanika u kurikulumu nastave gimnazije

Učenici se s većinom pojmova i koncepata Galileijeve relativističke mehanike susreću po prvi puta tek u četvrtom razredu srednje škole, u planu i programu nastave gimnazije, na nastavnom predmetu Fizika. Odluka o donošenju kurikuluma za nastavni predmet Fizike za osnovne škole i gimnazije u Republici Hrvatskoj donešena 29. siječnja 2019. godine. Galileijeva relativistička mehanika u kurikulumu za nastavni predmet Fizike pojavljuje se kao uvod u specijalnu teoriju relativnosti Alberta Einsteina (1879. - 1955.). i kao takva često ne dolazi do izražaja. U nastavku slijedi izvod iz kurikuluma za nastavni predmet Fizike za četvrti razred gimnazije. [6]

Gibanje, energija		
Odgojno-obrazovni ishodi	Razrada ishoda	Odgojno-obrazovni ishod na razini ostvarenosti »dobar« na kraju razreda
<p>FIZ SŠ C.4.7</p> <p>FIZ SŠ D.4.7.</p> <p>Opisuje i primjenjuje osnovne ideje specijalne teorije relativnosti (STR-a).</p>	<p>Objašnjava postulate specijalne teorije relativnosti (STR).</p> <p>Opisuje dilataciju vremena.</p> <p>Opisuje kontrakciju duljine.</p> <p>Tumači načelo ekvivalencije mase i energije.</p> <p>Opisuje relativnost istodobnosti (izborno).</p>	<p>Kvalitativno opisuje relativističku dilataciju vremena.</p> <p>Kvalitativno opisuje relativističko skraćivanje duljina.</p> <p>Opisuje princip rada svjetlosnog sata (izborno).</p> <p>Zaključuje o različitim očitanjima satova dvaju promatrača u različitim inercijskim sustavima (izborno).</p>
<p>Sadržaji:</p> <p>Galileijeva relativnost, Einsteinova relativnost; relativnost istodobnosti, relativističko skraćivanja duljina, Relativistička energija i energija mirovanja čestice (izborno).</p>		
<p>Preporuka za ostvarivanje odgojno-obrazovnih ishoda</p> <p>Objasniti testiranje STR na primjeru eksperimenta s atomskim satovima.</p> <p>Potrebno je poznavati i uzeti u obzir učenikove postojeće ideje i znanja (dilatacija vremena i kontrakcija duljine) jer će oni izravno utjecati na kvalitetu i točnost njegovih mentalnih modela koji će se formirati u tom procesu.</p> <p>Kod ovog je ishoda moguće primjenjivati snimljene pokuse ili računalne simulacije.</p>		

Tablica 1: Izvod iz Nastavnog plana i programa za gimnaziju, 4. razred, Fizika [6]

Vidimo da se Galileijeva relativnost u kurikulumu Fizike ne pojavljuje kao ishod učenja već kao sadržaj koji je nužno obraditi unutar Odgojno-obrazovnog ishoda Opisuje i primjenjuje osnovne ideje specijalne teorije relativnosti (STR-a).

Ispitivanje konceptata Galileijeve relativističke mehanike kod učenika 8. razreda osnovne škole

Cilj istraživanja

Galileijeva relativistička mehanika, po kurikulumu za nastavni predmet fizike 2019./2020. godinu, uči se u četvrtom razredu gimnazije [6]. S obzirom na to da se učenici susreću s Galileijevom relativističkom mehanikom svakodnevno i kroz igru bilo bi korisno kada bi te koncepte, u smanjenom opsegu, imali priliku učiti puno ranije, već u osmom razredu osnovne škole.

Cilj istraživanja je upoznati i proučiti pretkonceptije vezane za Galileijevu relativističku mehaniku kod učenika 8. razreda osnovne škole.

Metode istraživanja

U svrhu istraživanja izrađen je upitnik s devet pitanja vezanih za Galileijevu relativističku mehaniku. Oblici pitanja su: višestruki izbor i jedan točan odgovor, višestruki izbor i više točnih odgovora, kratak odgovor i produženi odgovor.

Proces sastavljanja upitnika, kojega će učenici osmog razreda ispunjavati, počeo je od konstruktivističkog modela učenja. Utemeljitelj edukacijskog konstruktivizma je švicarski psiholog Jean Piaget (1896. - 1980.). Prema Piagetu:

„Učenje je aktivan mentalni proces konstrukcije znanja od novih informacija i prijašnjeg znanja.“ [7]

Piagetov konstruktivistički model učenja govori o susretanju osobe s novom idejom. Nova ideja može biti u skladu s postojećim idejama ili može biti u sukobu s postojećim idejama. Ako je nova ideja u skladu s postojećim idejama osobe, dolazi do asimilacije (uklapanja) nove ideje s već postojećim mentalnim modelom. Ako je nova ideja u sukobu s postojećim idejama osobe može doći ili do akomodacije, tj. restrukturiranja postojećeg modela kako bi se uklopila nova ideja, ili do odbacivanja nove ideje, ili pak osoba može pokušati uklopiti novu ideju uz iskrivljavanje iste, tj. stvaranja hibridne ideje. [7]

Rezultati istraživanja provedenog 1982. godine od strane Gilberta, Osborna i Fenshama su pokazali da djeca nisu pasivni učenici te da imaju duboko usađene koncepte i ideje, odnosno pretkonceptije, bazirane na njihovom iskustvu, a koji često nisu u skladu sa znanstvenim pogledima ili su čak u velikoj suprotnosti s njima. Takvo intuitivno znanje naziva se *dječja znanost (children's science)*. [8]

Kroz pitanja u upitniku, učenicima su predstavljene pojedine ideje povezane s Galileijevim relativizmom. S nekim idejama su se učenici već susreli, ali ih nisu obrađivali na nastavi. Kako bi se stvorila slika učeničkog mentalnog modela nakon svakog pitanja ostavljen je prostor za obrazloženje. Da upitnik ne bude dosadan učenicima, odnosno da se učenikova pažnja ne smanji, vodio sam se načelom da broj pitanja treba biti što manji, tako da vrijeme potrebno za ispuniti upitnik bude što kraće. Kako bi učenici što lakše predočili situaciju iz pitanja, u upitniku su pored pitanja rukom nacrtane skice događaja.

Pitanja su odabrana na način da se ispituju različiti koncepti Galileijeve relativističke mehanike. Prva tri pitanja odnose se na relativnost gibanja. Četvrto i peto pitanje odnosi se na ekvivalenciju inercijskih sustava. Pitanja šest, sedam i osam odnose se na inercijske sustave u kojima se neko tijelo giba po drugom Newtonovom zakonu, s time da je u osmom pitanju potrebno odabrati pravilne putanje koje vide motritelji iz različitih inercijskih sustava. Zadnje pitanje odnosi se na Galileijevo pravilo zbrajanja brzina.

Ponuđene opcije odgovora a), b), c) i d) u pitanjima s višestrukim odabirom su podjednako zastupljene, tako da nema preferiranih odgovora.

Rezultati upitnika

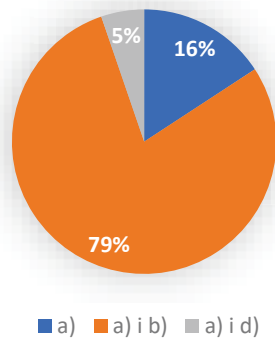
Istraživanje je provedeno 13. ožujka 2020. godine u osmom razredu u *Osnovnoj školi Retkovec*. Upitnik je rješavalo devetnaest učenika osmog b razreda.

U nastavku slijede pitanja iz upitnika, pregled udjela pojedinih odgovora na svako pitanje te kratki osvrt na svako pitanje i dobivene rezultate. Točni odgovori na pitanja s višestrukim izborom označeni su zelenom bojom.

1) Ako vrijedi sljedeća izjava: "tijelo A ima brzinu v , a tijelo B miruje", označi sve izjave koje imaju isto značenje:

- a) A ima brzinu v u odnosu na B.
- b) B ima brzinu $-v$ u odnosu na A.
- c) B ima brzinu $-v$, a A miruje.
- d) B ima brzinu v u odnosu na A.

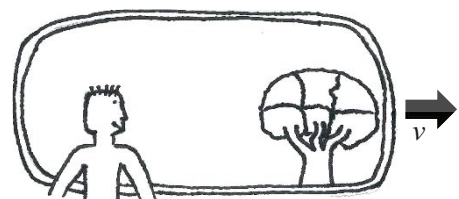
Objašnjenje: _____

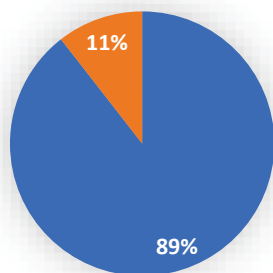


Graf 1: Udio pojedinih odgovora na 1. pitanje

Prvim se pitanjem provjerava razumiju li učenici relativnost gibanja, odnosno koncept odabira referentnog sustava te sukladno tome odnos gibanja između dvaju tijela. S obzirom na to da učenici osmog razreda po kurikulumu nisu imali priliku susreti se s tim konceptom, postotak 0% točnih odgovora ne iznenađuje. Treba primijetiti da je bilo puno brisanja, tj. ispravljanja zaokruženih odgovora. Vrlo je vjerojatno da je sljedeće pitanje u upitniku pomoglo učenicima da odaberu odgovore a) i b) jer im je pomoglo da si vizualiziraju neku općenitu izjavu te je primjene na primjeru koji su sami imali priliku iskusiti. Takvih učenika je 79%, a njihova ponuđena objašnjenja vrlo su kratka i jednostavna. Učestalo objašnjenje ponuđeno od učenika koji su odabrali odgovore a) i b) glasi: „Zato što tijelo A ima brzinu v u odnosu na tijelo B, no tijelo B ima minus brzinu u odnosu na tijelo A.“. Učestalo objašnjenje ponuđeno od učenika koji su odabrali odgovor a) glasi: „Tijelo A ima brzinu v , a tijelo B miruje i nema brzinu.“. Iz oba ponuđena objašnjenja može se primijetiti pretkonceptija da je gibanje i mirovanje definirano intrinzično, a ne u odnosu na određena tijela ili referentne sustave. Gibanje i mirovanje su stoga fundamentalno nejednaki, što je tipično predgalileijsko gledište. Tako učenicima dani izrazi nemaju isto značenje jer na primjer da bi se dani izraz transformirao u odgovor c) učenici smatraju da je za to potrebno imati nekakvu dodatnu „motornu“ silu kako bi se tijelo A zaustavilo, a tijelo B pokrenulo. Štoviše, ovo je još teže jer se u odgovorima pojavljuju iznosi s negativnim vrijednostima.

- 2) Dječak sjedi u vlaku koji se giba brzinom v i gleda stablo na livadi pored tračnica. Kojom brzinom vidi dječak da se stablo giba i u kojem smjeru u odnosu na prozor vagona?





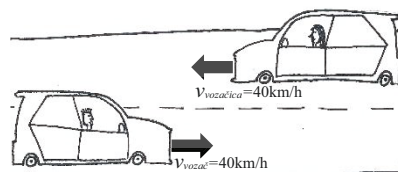
■ Dječak vidi da se stablo giba brzinom -v. ■ Dječak vidi da se stablo giba brzinom v.

Graf 2: Udio pojedinih odgovora na 2. pitanje

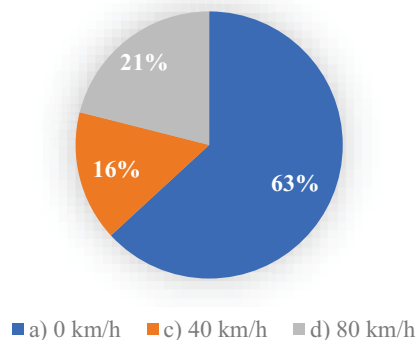
Drugo pitanje je zapravo vrlo slično prvome jer se također provjerava koncept relativnosti gibanja, ali sada na konkretnom primjeru. Gotovo svi učenici su se vozili u nekom prijevoznom sredstvu i promatrali stablo na livadi pored ceste, odnosno pored tračnica pa je i postotak točnih odgovora puno veći nego u prethodnom pitanju i iznosi 89%. Ponuđeni odgovori učenika su vrlo slični i najčešće glase: „Dječak vidi da se stablo giba brzinom -v.“. 11% učenika ponudilo je odgovor: „Dječak vidi da se stablo giba brzinom v.“. Za takav odgovor vjerojatno je kriva brzina rješavanja, manjak koncentracije ili možda ne poznavanje značenja simbola minus ispred brzine.

- 3) Vozač automobila vozi u smjeru istoka stalnom brzinom 40 km/h. Ususret dolazi vozačica automobila koja vozi u smjeru zapada, također stalnom brzinom 40 km/h. Kojom brzinom se giba vozač u odnosu na vozačicu?

- a) 0 km/h
- b) 20 km/h
- c) 40 km/h
- d) 80 km/h



Objašnjenje: _____

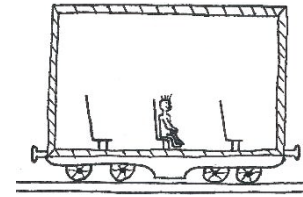


Graf 3: Udio pojedinih odgovora na 3. pitanje

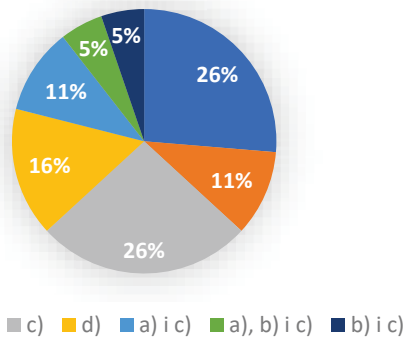
Treće pitanje, kao i prethodna dva pitanja, provjerava razumiju li učenici relativnost gibanja, odnosno koncept odabira referentnog sustava te sukladno tome odnos gibanja između dvaju tijela. Najzastupljeniji je odgovor, s udjelom 63%, odgovor a) uz najčešće objašnjenje: „Automobili se gibaju istom brzinom, ali suprotnih smjerova tako da je njihova razlika 0 km/h, odnosno ponište se.“. Takvo objašnjenje ukazuje na pretkonceptiju kao i u prvom pitanju upitnika, a to je da je gibanje i mirovanje definirano intrinzično, a ne u odnosu na određena tijela ili referentne sustave. Točan odgovor ponudilo je 21% učenika uz učestalo objašnjenje: „Vozačica se giba 40km/h i vozač se giba 40 km/h, ali u suprotnom smjeru pa izgleda kao da se vozač giba 80km/h u odnosu na vozačicu.“. Takvo objašnjenje ukazuje da dio učenika razumije relativnost gibanja, odnosno koncept odabira referentnog sustava te sukladno tome odnos gibanja između dvaju tijela. Odgovor c) ponudilo je 16% učenika uz učestalo objašnjenje: „Ako se automobili gibaju 40km/h onda se tolikom brzinom giba vozač u odnosu na vozačicu.“. Takvo objašnjenje ukazuje na pretkonceptiju da je brzina inercijskog sustava S' , u odnosu na mirujući sustav S , apsolutna te da tu brzinu mjere svi motritelji iz svih inercijskih sustava.

- 4) Ukricali ste se u vlak i sjeli u vagon bez prozora koji je super izoliran od vanjskih utjecaja kao što su zvuk, vibracije itd. Ubrzo ste zaspali te se probudili nakon određenog vremena. Kako biste odredili giba li se vlak jednoliko po pravcu ili miruje?

- a) Bacio bih loptu u zrak, ako mi se lopta vrati u ruke zaključio bih da vlak miruje.
- b) Bacio bih loptu vertikalno u zrak, ako lopta padne ispred ili iza mene zaključio bih da se vlak giba.
- c) Bacio bih loptu jednakom silom, jednom naprijed, a drugi put natrag. Ako su udaljenosti na koje padne lopta različite zaključio bih da se vlak giba.
- d) Nije moguće bacanjem lopte odrediti miruje li vlak ili se giba.



Objašnjenje: _____

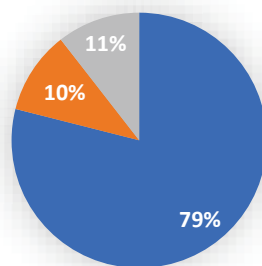
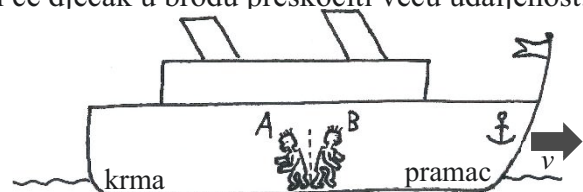


Graf 4: Udio pojedinih odgovora na 4. pitanje

Četvrto pitanje provjerava razumijevanje koncepta ekvivalencije inercijskih sustava. Za razliku od prošla dva pitanja, svi odgovori su zastupljeni. Najveći udio odgovora zastupaju odgovori a) i c), svaki s 26%. Sljedeći najzastupljeniji odgovor je točan odgovor d) sa 16%. Obrazloženja ponuđena za ovo pitanje su vrlo zanimljiva. Učestalo objašnjenje ponuđeno od učenika koji su odabrali odgovor a) glasi: „Da se vlak giba, lopta bi pala iza sjedala, a ako se vrati u ruke znači da vlak miruje“. Učestalo objašnjenje ponuđeno od učenika koji su odabrali odgovor c) glasi: „Kada bacim lopte vlak se pomakne pa zato udaljenosti nisu iste.“. Iz oba ponuđena objašnjenja može se primijetiti pretkonceptija da na tijelo koje prestaje biti fizički vezano za inercijski sustav prestaje djelovati neka prividna „sila“ u smjeru gibanja sustava, koja je prethodno djelovala na njega i tjerala ga da se giba kao i sustav. Kada se tijelo odvoji od sustava i prestane djelovati prividna „sila“, tijelo prestaje imati dodatnu brzinu u smjeru gibanja sustava te se sustav nastavi gibati za vrijeme dok su tijelo i sustav fizički odvojeni. Također, učenici koji su odabrali odgovor b) ili bilo koju kombinaciju odgovora a), b) i c) upućuju na istu pretkonceptiju. Učestalo objašnjenje učenika koji su odabrali točan odgovor d) glasi: „Zato što ishod pokusa ne ovisi o tome giba

li se vlak ili ne.“. Takav odgovor je također zanimljiv jer ukazuje na razumijevanje koncepta ekvivalencije inercijskih sustava kod učenika osmog razreda osnovne škole iako po kurikulumu za fiziku osmog razreda osnovne škole se taj koncept ne obrađuje.

- 5) Dva dječaka nalaze se u unutrašnjosti broda koji plovi jednolikom brzinom. Dječak A skoči u smjeru krme, a dječak B u smjeru pramca broda. Ako pretpostavimo da na kopnu dječaci mogu skočiti jednako daleko, koji će dječak u brodu preskočiti veću udaljenost.



- Dječak A će preskočiti veću udaljenost od dječaka B.
- Dječak B će preskočiti veću udaljenost od dječaka A.
- Obojica će preskočiti jednaku udaljenost.

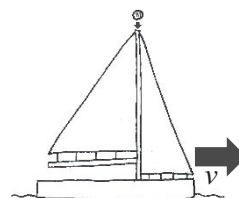
Graf 5: Udio pojedinih odgovora na 5. pitanje

Peto pitanje provjerava razumijevanje koncepta ekvivalencije inercijskih sustava. Učenici su ukupno ponudili tri različita odgovora te objašnjenja istih. Najzastupljeniji je odgovor, s visokih 79%, da će dječak A preskočiti veću udaljenost od dječaka B. Najčešće objašnjenje koje su učenici ponudili uz taj odgovor je: „Kada dječaci skoče brod se pomakne pa zato dječak A preskoči veću udaljenost.“. Kao i u prethodnom pitanju, može se uočiti pretkonceptija da na tijelo koje prestaje biti fizički vezano za inercijski sustav prestaje djelovati neka prividna „sila“ u smjeru gibanja sustava, koja je prethodno djelovala na njega i tjerala ga da se giba kao i sustav. Kada se tijelo odvoji od sustava i prestane djelovati prividna „sila“, tijelo prestaje imati dodatnu brzinu u smjeru gibanja sustava te se sustav nastavi gibati za vrijeme dok su tijelo i sustav fizički odvojeni. Sljedeći najzastupljeniji odgovor, s udjelom 11%, je da će obojica preskočiti jednaku udaljenost uz objašnjenje: „Ako jednako mogu skočiti na kopnu, isto tako je i na brodu.“. Takvo objašnjenje upućuje da 11% učenika razumije koncept ekvivalencije inercijskih sustava na nekoj empirijskoj razini. Najmanje zastupljen odgovor, s udjelom 10%, je da će dječak B preskočiti veću udaljenost

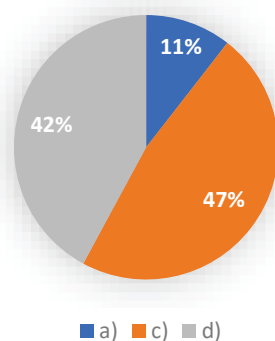
od dječaka A, uz objašnjenje: „Dječaku B daje prednost što skače u smjeru gibanja broda jer im se zbroje brzine.“. Takav odgovor upućuje na pretkoncepciju da je gibanje tijela u smjeru gibanja sustava privilegirano naspram gibanja tijela u suprotnom smjeru.

6) Gdje bi pala kugla koju bi pustili da slobodno padne s vrha jarbola jedrilice koja plove stalnom brzinom u smjeru istoka?

- a) Malo ispred jarbola.
- b) U ravnini s jarbolom.
- c) Malo iza jarbola.
- d) Ovisi o brzini jedrilice.



Objašnjenje: _____



Graf 6: Udio pojedinih odgovora na 6. pitanje

U šestom pitanju, učenicima je postavljena situacija u kojoj se promatra inercijski sustav koji se giba te u kojemu se neko tijelo giba po drugom Newtonovom zakonu. Jedrilica je predstavljala inercijski sustav, a kugla koja slobodno pada je predstavljala tijelo koje se giba po drugom Newtonovom zakonu. U ovome pitanju niti jedan učenik nije ponudio točan odgovor. Najzastupljeniji je odgovor, s udjelom 47%, odgovor c). Najčešće objašnjenje koje su učenici ponudili uz taj odgovor je: „Zato što bi se jedrilica nastavila gibati pa bi lopta pala malo iza jarbola.“. Gotovo je podjednako zastupljen, s udjelom 42%, odgovor d). Najčešće objašnjenje koje su učenici ponudili uz taj odgovor je: „Ako je brzina jedrilice veća lopta će pasti više iza jarbola, a ako je brzina jedrilice manja lopta će pasti bliže jarbolu, ali i dalje iza jarbola.“. Ponuđena objašnjenja vezana uz oba odgovora, c) i d), upućuju na istu pretkoncepciju da na tijelo koje prestaje biti fizički vezano za inercijski sustav prestaje djelovati neka prividna „sila“ u smjeru gibanja sustava, koja je prethodno

djelovala na njega i tjerala ga da se giba kao i sustav. Kada se tijelo odvoji od sustava i prestane djelovati prividna „sila“, tijelo prestaje imati dodatnu brzinu u smjeru gibanja sustava te se sustav nastavi gibati za vrijeme dok su tijelo i sustav fizički odvojeni. 11% učenika ponudilo je odgovor a) uz najčešće objašnjenje: „Kugla će pasti malo ispred jarbola zbog toga što jedrilica plovi prema naprijed.“. Takav odgovor upućuje na pretkonceptiju da tijelo, koje slobodno pada u inercijskom sustavu koji se giba, dobiva dodatnu brzinu u smjeru gibanja, veću od brzine gibanja samog sustava.

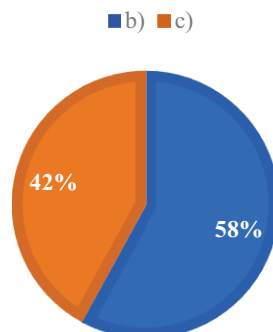
7) Djevojčica hoda prema krugu nacrtanom na podu i u ruci drži kedu. Na kojem mjestu djevojčica treba ispustiti kedu kako bi keda pala u krug?

- a) Kada je djevojčica prošla krug.
- b) Kada je djevojčica u ravnini s krugom.
- c) Kada je krug malo ispred djevojčice.



⊗

Objašnjenje: _____



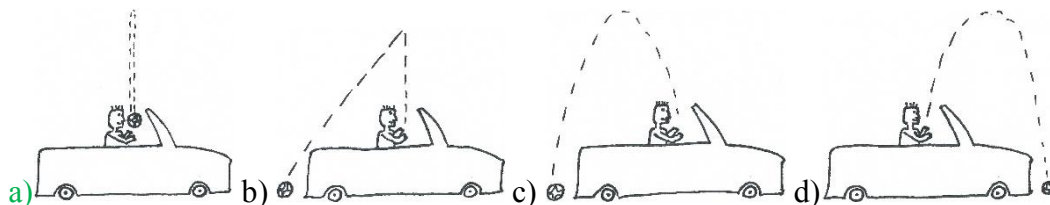
Graf 7: Udio pojedinih odgovora na 7. pitanje

U sedmom pitanju, učenicima je postavljena situacija u kojoj se promatra inercijski sustav koji se giba te u kojemu se neko tijelo giba po drugom Newtonovom zakonu. Djevojčica je predstavljala inercijski sustav, a keda koja slobodno pada je predstavljala tijelo koje se giba po drugom Newtonovom zakonu. Treba primijetiti da je bilo puno učenika koji su na ovom pitanju sami izveli sličan pokus. Učenici su uz pomoć različitih predmeta iz pernice i nacrtanog kruga na papiru izveli pokus u kojemu su gibanjem ruke iznad stola imitirali gibanje djevojčice iz pitanja te su iz različitih pozicija puštali predmete da padnu. Nažalost, većinu učenika je rezultat njihovih pokusa naveo na krivi odgovor jer se radilo o

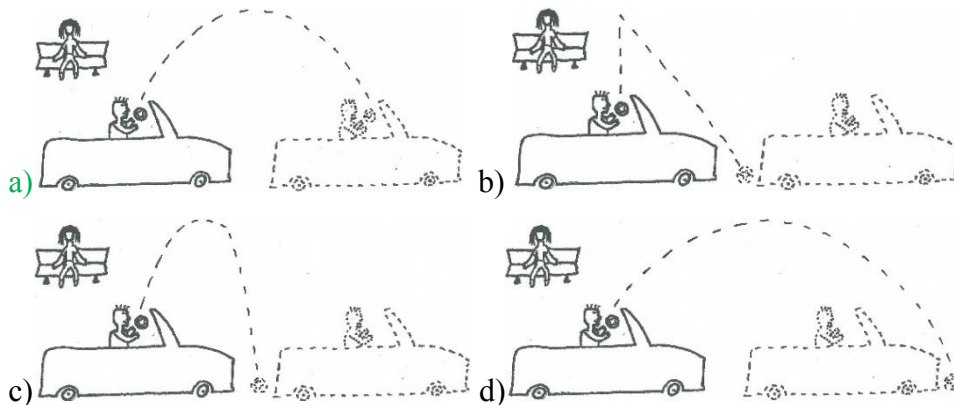
maloj brzini gibanja ruke i o niskoj visini s koje su puštali predmete. Najzastupljeniji je odgovor, s udjelom 58%, odgovor b). Najčešće objašnjenje koje su učenici ponudili uz taj odgovor je: „Zato što će tada kreda biti točno iznad kruga pa će zbog gravitacije pasti ravno prema dolje.“. Takvo objašnjenje upućuje na pretkonceptiju da na tijelo koje prestaje biti fizički vezano za inercijski sustav prestaje djelovati neka prividna „sila“ u smjeru gibanja sustava, koja je prethodno djelovala na njega i tjerala ga da se giba kao i sustav. Kada se tijelo odvoji od sustava i prestane djelovati prividna „sila“, tijelo prestaje imati dodatnu brzinu u smjeru gibanja sustava te se sustav nastavi gibati za vrijeme dok su tijelo i sustav fizički odvojeni. Sljedeći najzastupljeniji odgovor, s udjelom 42%, je odgovor c) uz najčešće objašnjenje: „Zato što će se kreda nastaviti malo kretati prema naprijed nakon što je djevojčica ispusti.“. Odgovor a) nije ponudio niti jedan učenik. Iz dobivenih objašnjenja ponuđenih odgovora te na temelju njihovog osmišljenog pokusa može se zaključiti da dio učenika razumije situaciju iz pitanja na nekoj empirijskoj razini, ali da je većina učenika izvukla krivi zaključak iz vlastitog pokusa.

8) Dječak se vozi kao suvozač u automobilu bez krova (kabriolet) u smjeru istoka. U jednom trenutku dječak baci loptu vertikalno prema gore.

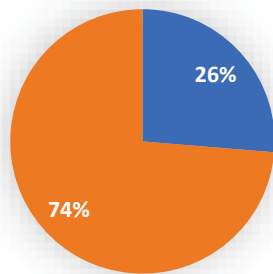
i) Koju putanju lopte vidi dječak?



ii) Koju putanju lopte vidi djevojčica koja mirno sjedi na klupi i promatra dječaka i loptu.

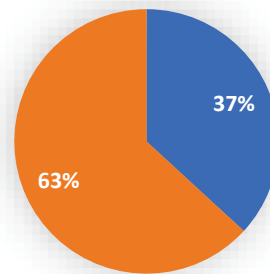


Objašnjenje: _____



■ b) ■ c)

Graf 8: Udio pojedinih odgovora na 8. i) pitanje



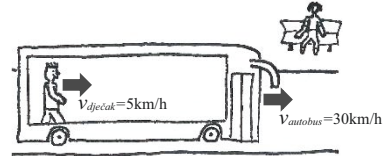
■ b) ■ c)

Graf 9: Udio pojedinih odgovora na 8. ii) pitanje

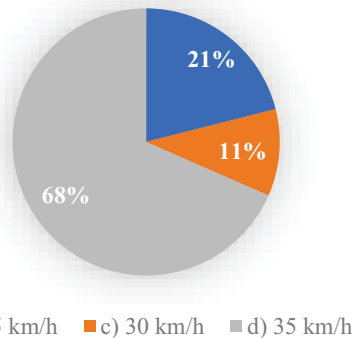
Kao i u prethodna dva pitanja, učenicima je postavljena situacija u kojoj se promatra inercijski sustav koji se giba te u kojemu se neko tijelo giba po drugom Newtonovom zakonu. Također, osmo pitanje podijeljeno je na dva dijela, u prvome se dijelu i) od učenika traži da prepoznaju putanju lopte u inercijskom sustavu vezanom za automobil, a u drugome se dijelu ii) od učenika traži da prepoznaju putanju lopte u inercijskom sustavu vezanom za Zemlju. U prvome je dijelu, 74% učenika odabralo odgovor c) uz učestalo objašnjenje: „Dječak vidi kako se lopta giba u zaobljenom luku i da padne iza automobila jer se automobil pomakne naprijed dok je lopta u zraku.“. Ostatak učenika, 26%, odabralo je odgovor b) uz učestalo objašnjenje: „Dječak vidi kako lopta ide vertikalno gore i dok je lopta u zraku automobil se pomakne prema naprijed pa zbog toga lopta padne iza automobila.“. Oba objašnjenja upućuju na pretkonceptciju da na tijelo koje prestaje biti fizički vezano za inercijski sustav prestaje djelovati neka prividna „sila“ u smjeru gibanja sustava, koja je prethodno djelovala na njega i tjerala ga da se giba kao i sustav. Kada se tijelo odvoji od sustava i prestane djelovati prividna „sila“, tijelo prestaje imati dodatnu brzinu u smjeru gibanja sustava te se sustav nastavi gibati za vrijeme dok su tijelo i sustav fizički odvojeni. U drugome je dijelu, 63% učenika odabralo odgovor c) uz učestalo objašnjenje: „Djevojčica vidi kako se lopta giba u zaobljenom luku jer je gleda sa strane i da lopta padne iza automobila jer se automobil pomakne prema naprijed dok je lopta u zraku.“. Ostatak učenika, 37%, odabralo je odgovor b) uz učestalo objašnjenje: „Djevojčica vidi kako lopta ide vertikalno prema gore i onda padne iza automobila jer se automobil pomakne dok je lopta u zraku.“. Kao i u prvome dijelu osmog pitanja, pojavljuje se identična pretkonceptcija.

9) Djevojčica sjedi na klupi i vidi autobus koji vozi u smjeru istoka stalnom brzinom 30 km/h. Na kraju autobusa nalazi se dječak koji hoda brzinom 5 km/h prema prednjem djelu autobusa. Kojom brzinom se giba dječak u odnosu na djevojčicu?

- a) 5 km/h
- b) 25 km/h
- c) 30 km/h
- d) 35 km/h



Objašnjenje: _____

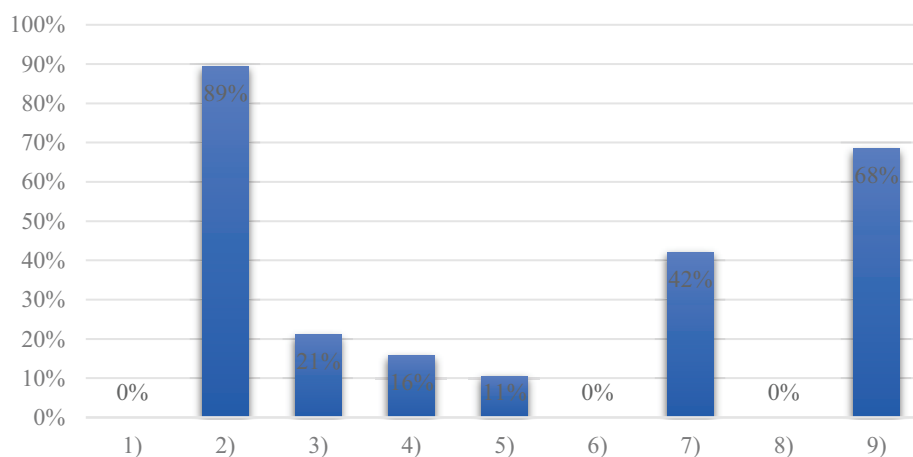


Graf 10: Udio pojedinih odgovora na 9. pitanje

U posljednjem se pitanju provjerava razumijevanje koncepta Galileijevog zbrajanja brzina. Najzastupljeniji odgovor, s udjelom 68%, je odgovor d) uz najčešće objašnjenje: „S obzirom da autobus i dječak idu u istom smjeru, njihove se brzine zbrajaju.“. Takvo objašnjenje ukazuje da većina učenika ima osnovno razumijevanje koncepta Galileijevog zbrajanja brzina. Odgovor a), s udjelom 21%, ponudili su učenici s učestalim objašnjenjem: „Djevojčica miruje, a dječak hoda 5 km/h bez obzira na autobus.“. Takvo objašnjenje ukazuje na pretkoncepciju da brzina inercijskog sustava S' , u odnosu na inercijski sustav S , ne utječe na mjerenja dvaju motritelja iz sustava S i S' . Najmanje zastupljen ponuđen odgovor, s udjelom 11%, je odgovor c) s učestalim objašnjenjem: „Autobus se giba brzinom 30 km/h, dječak je u autobusu pa se zato dječak giba brzinom 30 km/h u odnosu na djevojčicu.“. Takvo objašnjenje ukazuje na pretkoncepciju da je jedino važna brzina inercijskog sustava S' , u odnosu na inercijski sustav S , a da brzina tijela ne utječe na mjerenja dvaju motritelja iz sustava S i S' .

Analiza rezultata

Analizom točno ponuđenih odgovora na pojedino pitanje, može se vidjeti u kojim pitanjima učenici više razumiju koncepte i situacije, a u kojima ima više pretkonceptija.



Graf 11: Udio točnih odgovora po pitanjima upitnika

Iz [grafa 11](#) se može vidjeti kako veliki postotak učenika razumije koncepte i situacije iz pitanja [2](#) i [9](#). Dio je učenika u [7.](#) pitanju pokazalo empirijsko razumijevanje dane situacije, dok u pitanjima [1](#), [3](#), [4](#), [5](#), [6](#) i [8](#) postoji vrlo visoki postotak učenika koji pokazuju da ima puno pretkonceptija u Galileijevoj relativističkoj mehanici.

Iz danih učeničkih objašnjenja na pitanja iz upitnika, dolaze do izražaja sljedeće pretkonceptije:

- I. Da je gibanje i mirovanje definirano intrinzično, a ne u odnosu na određena tijela ili referentne sustave.
- II. Da je brzina inercijskog sustava S' , u odnosu na mirujući sustav S , apsolutna te da tu brzinu mjere svi motritelji iz svih inercijskih sustava.
- III. Da na tijelo koje prestaje biti fizički vezano za inercijski sustav prestaje djelovati neka prividna „sila“ u smjeru gibanja sustava, koja je prethodno djelovala na njega i tjerala ga da se giba kao i sustav. Kada se tijelo odvoji od sustava i prestane djelovati prividna „sila“, tijelo prestaje imati dodatnu brzinu u smjeru gibanja sustava te se sustav nastavi gibati za vrijeme dok su tijelo i sustav fizički odvojeni.
- IV. Da je gibanje tijela u smjeru gibanja sustava privilegirano naspram gibanja tijela u suprotnom smjeru.
- V. Da tijelo, koje slobodno pada u inercijskom sustavu koji se giba, dobiva dodatnu brzinu u smjeru gibanja, veću od brzine gibanja samog sustava.
- VI. Da brzina inercijskog sustava S' , u odnosu na inercijski sustav S , ne utječe na mjerenja dvaju motritelja iz sustava S i S' .
- VII. Da je jedino važna brzina inercijskog sustava S' , u odnosu na inercijski sustav S , a da brzina tijela ne utječe na mjerenja dvaju motritelja iz sustava S i S' .

Pretkonceptija III dolazi najviše do izražaja i to kroz nekoliko pitanja u visokom postotku učenika. U određenim pitanjima nešto više, nego u drugim ovisno o tome koliko je situacija iz pitanja bliska učenicima. Uzrok pojave pretkonceptije III kod učenika je svakidašnje iskustvo gdje otpor zraka usporava tijelo koje se odvojilo od inercijskog sustava. U nastavi fizike, otpor zraka se vrlo često zanemaruje što učenicima nije prirodno. Na primjer učenik iz iskustva zna da, kada vozi bicikl i baci loptu vertikalno uvis, će lopta pasti iza njega. Dodatno, ova pretkonceptija direktno je povezana s prvim Newtonovim zakonom i ukazuje na vrlo važnu činjenicu da veliki dio učenika nije savladao osnovni koncept povezan s prvim Newtonovim zakonom koji se uči u osmom razredu osnovne škole. Razlog tome je, kao što sam već napomenuo, što se prethodno usvojene pretkonceptije i svakodnevno iskustvo snažno protivi ovoj ideji.

U pitanjima jedan, dva i tri radi se o relativnosti gibanja, odnosno koncept odabira referentnog sustava te sukladno tome odnos gibanja između dvaju tijela. S obzirom na to da učenici osmog razreda po kurikulumu nisu imali priliku susreti se s tim konceptom ne iznenađuje pojava pretkonceptije I kod svih učenika u prvom pitanju te kod 63% učenika u trećem pitanju. U drugom pitanju pretkonceptija I se ne pojavljuje zbog primjera koji je učenicima dobro poznat iz svakodnevnog života.

Ostale se pretkonceptije pojavljuju samo jednom i to u niskom postotku učenika. Detaljna analiza pojave određenih pretkonceptija u pojedinim pitanjima te postotka učenika kod kojih je određena pretkonceptija došla do izražaja dana je u nastavku ([Tablica 2](#)).

Redni broj pretkonceptije	Redni broj pitanja u kojemu se pretkonceptija pojavljuje	Postotak učenika kod kojih je pretkonceptija došla do izražaja
I.	1.	100%
	3.	63%
II.	3.	16%
III.	4.	84%
	5.	79%
	6.	89%
	7.	58%
IV.	8.	100%
	5.	10%
V.	6.	11%
VI.	9.	21%
VII.	9.	11%

Tablica 2: Analiza pojave određenih pretkonceptija u pojedinim pitanjima te postotka učenika kod kojih je određena pretkonceptija došla do izražaja

Savjeti za bolje usvajanje ispravnih koncepata

Kako bi učenik napustio neku pretkonceptiju potrebna je konceptualna promjena. Konceptualna promjena je kognitivni proces u kojemu je naglašena promjena ideja kroz proces učenja. Konceptualnu promjenu provodi učenik, a nastavnik je može potaknuti. Postoje nekoliko metoda koje nastavnik može primijeniti i to su: metoda kognitivnog konflikta, metoda Sokratskog dijaloga, metoda supstitucije koncepata i metoda analogija. Poticajne su metode kognitivnog konflikta i Sokratskog dijaloga jer postavljaju intelektualni izazov pred učenike, ali ponekad te metode mogu biti i frustrirajuće za učenike. Blaže i lakše za učenike su metoda supstitucije koncepata i metoda analogija, ali nisu uvijek primjenjive. Najbolje je za učenike da nastavnik kombinira različite metode. [7]

Metoda Sokratskog dijaloga može poslužiti za ispravljanje III. pretkonceptije. Slijedi primjer:

Nastavnik: Dječak se vozi kao suvozač u automobilu bez krova (kabriolet) jednoliko pravocrtno u smjeru istoka. U jednom trenutku dječak baci loptu vertikalno prema gore. Koju putanju lopte vidi dječak te gdje će lopta pasti, ako zanemarujemo utjecaje zraka i trenja?

Učenik: Dječak vidi kako se lopta giba u zaobljenom luku i da padne iza automobila jer se automobil pomakne naprijed dok je lopta u zraku.

Nastavnik: Postoji li komponenta brzine lopte u smjeru gibanja automobila gledano iz inercijskog sustava S' u kojem se nalazi dječak?

Učenik: Ne postoji komponenta brzine lopte u smjeru gibanja automobila.

Nastavnik: Postoji li komponenta brzine lopte u smjeru gibanja automobila gledano iz inercijskog sustava S koji miruje u odnosu na inercijski sustav S' ?

Učenik: Postoji komponenta brzine lopte u smjeru gibanja automobile te je ona jednaka brzini automobila.

Nastavnik: Koje sve sile djeluju na loptu?

Učenik: Na loptu djeluje gravitacijska sila.

Nastavnik: Kako zrak utječe na gibanje lopte?

Učenik: Zrak se opire gibanju lopte.

Nastavnik: Sila otpora zraka predstavlja opiranje zraka. U kojem smjeru djeluje sila otpora zraka s obzirom na komponentu brzine lopte u smjeru gibanja automobila?

Učenik: Sila otpora zraka djeluje na loptu u suprotnom smjeru od gibanja automobila.

Nastavnik: Kako nazivamo gibanje kada neka sila djeluje na tijelo u suprotnom smjeru od gibanja tijela?

Učenik: Takvo gibanje nazivamo jednoliko usporeno gibanje.

Nastavnik: Za vrijeme leta lopte, horizontalna brzina lopte u smjeru automobila se smanjuje zbog sile otpora zraka, dok je brzina automobila nepromijenjena. Upravo to djelovanje zraka uzrokuje da lopta padne iza automobila, odnosno da „se automobil pomakne naprijed dok je lopta u zraku.“. U primjeru je rečeno da zanemarimo otpor zraka. Kako bi onda izgledala putanja lopte koju vidi dječak i gdje bi pala lopta?

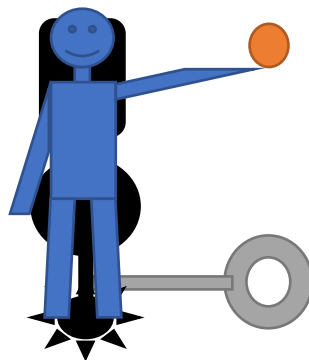
Učenik: Kada zanemarimo otpor zraka, na loptu djeluje samo gravitacijska sila pa će putanja lopte koju vidi dječak biti gore-dolje te će mu se lopta vratiti nazad u ruke.

Iz primjera se može uočiti kako nastavnik potiče konceptualnu promjenu metodom Sokratskog dijaloga tako što postavlja ciljana pitanja učeniku te ukazuje na uzrok pretkonceptije. Učenik primjećuje uzrok pretkonceptije te provodi konceptualnu promjenu.

Pokus i primjeri

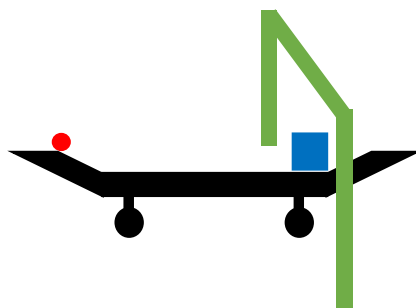
Predavačka nastava nije pogodna za razvijanje konceptualnog razumijevanja u fizici, te se zato sve više koriste interaktivne nastavne metode. Dio interaktivne nastave su pokusi kojima je cilj intelektualna angažiranost učenika za vrijeme nastave. U nastavku slijede pokusi i primjeri koji mogu poslužiti za bolje razumijevanje koncepta iz Galileijeve relativističke mehanike.

Pokus 1: Na stolac s kotačićima (na skici crne boje) se učvrsti mreža ili posuda (na skici sive boje). Jedan učenik (na skici plave boje) sjedne na stolac s kotačićima i drži loptu (na skici narančaste boje) visoko iznad mreže ili posude. Drugi učenik gura stolac jednolikom brzinom tako da je bočno okrenut učenicima u klupi i mobitelom snima putanju lopte. Treći učenik, koji mirno sjedi u klupi također snima putanju lopte. Kada se postigne jednolika brzina, prvi učenik pusti loptu. Snimke s mobitela drugog i trećeg učenika zatim treba prebaciti na računalo, otvoriti oba videa u zaseban prozor tako da su sinkronizirani te ih projektorom proicirati na platno kako bi svi učenici mogli uočiti različite putanje lopte ovisno o inercijskom sustavu.



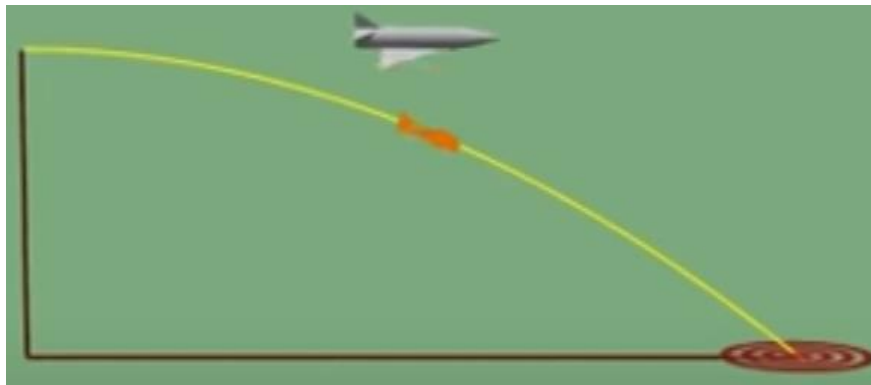
Slika 6: Skica pokusa 1

Pokus 2: Na stol se postave svjetlosna vrata (na skici zelene boje) u visini skateboarda (na skici crne boje). Stol, odnosno svjetlosna vrata predstavljaju inercijski sustav S koji miruje. Prolazak neprozirnog tijela kroz svjetlosna vrata prekida infracrveni snop i pokreće mjerač vremena. Nakon prolaska neprozirnog tijela, infracrveni snop svjetlosnih vrata prestaje biti prekinut i time se zaustavlja mjerač vremena. Skateboard je potrebno lagano gurnuti tako da prođe kroz svjetlosna vrata te pustiti lopticu (na skici crvene boje) niz kosinu. Skateboard predstavlja inercijski sustav S' . Kako bi se poništilo djelovanje sile trenja i postiglo jednoliko pravocrtno gibanje, skateboarda i loptice nakon kosine, potrebno je malo nagnuti stol u smjeru gibanja skateboarda i loptice. Infracrveni snop će biti prekinut dva puta, prvi put od strane kvadra (na skici plave boje) te drugi put zbog loptice. Iz omjera širine kvadra i izmjerenog vremena prilikom prolaska kvadra se dobije brzina skateboarda, tj. sustava S' u odnosu na svjetlosna vrata, tj. na sustav S te se ta brzina označi slovom v . Iz omjera promjera loptice i izmjerenog vremena prilikom prolaska loptice se dobije brzina loptice u odnosu na svjetlosna vrata, tj. na sustav S te se ta brzina označi slovom u . Iz Galileijevog pravila zbrajanja brzina se lako dobije brzina u' loptice u odnosu na skateboard, tj. na sustav S' .



Slika 7: Skica pokusa 2

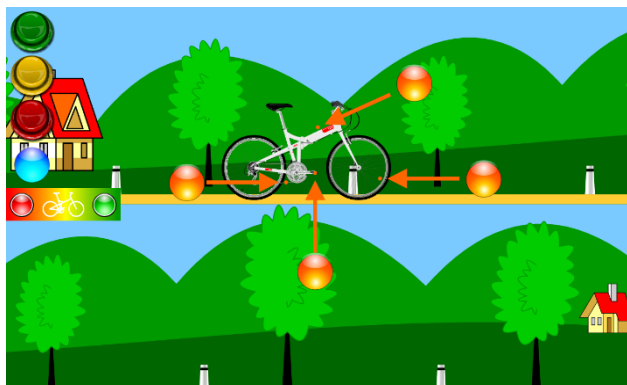
Pokus 3: Pogledati i komentirati s učenicima animaciju ispuštanja paketa iz aviona na linku: <https://www.youtube.com/watch?v=L8F5-gRs8Bs>.



Slika 8: Skica pokusa 3 [9]

Pokus 4: Pogledati i komentirati s učenicima animaciju vožnje bicikla iz različitih inercijskih sustava na linku:

https://www.vascak.cz/data/android/physicsatschool/template.php?s=mech_kolo&l=en.



Slika 9: Skica pokusa 4 [10]

Nastavna priprema

ŠKOLA: osnovna

RAZRED: grupa naprednih učenika 8. razreda

NASTAVNA JEDINICA: Koncepti Galileijeve relativističke mehanike

PREDVIĐENI BROJ SATI: 2

OBRAZOVNI ISHODI

1. objasniti pojam inercijskog sustava
2. objasniti pojam Galileijeve relativnosti
3. opisati Galileijevo zbrajanje brzina
3. razvijati sposobnost logičkog razmišljanja i znanstvenog zaključivanja
4. razvijati sposobnost usmenog, pismenog i grafičkog izražavanja

ODGOJNI ISHODI

1. izražavanje vlastitog mišljenja na argumentiran način
2. uvažavanje tuđeg mišljenja
3. razvijanje sistematičnosti i urednosti
4. razvijati interes za znanost

VRSTA NASTAVE: INTERAKTIVNA ISTRAŽIVAČKI USMJERENA

NASTAVNE METODE

1. Metoda razgovora - usmjerena rasprava
2. Istraživački pokus
3. Konceptualna pitanja
4. Metoda pisanja / crtanja

OBLICI RADA

1. Frontalni
2. Individualni

KORELACIJA S DRUGIM PREDMETIMA:

Korelacija s matematikom.

NASTAVNA POMAGALA I SREDSTVA

Računalo, mobitel, projektor, ploča i kreda

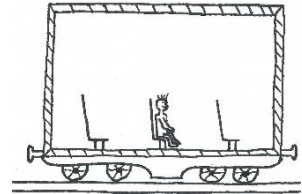
LITERATURA:

- 1) Fizika 3, Vladimir Paar, Školska knjiga
- 2) Fizika 4, Damir Pavlović, Marinko Srdelić, PROFIL
- 3) University Physics with Modern Physics

TIJEK NASTAVNOG SATA

UVODNI DIO:

Misaoni pokus: Ukrkali ste se u vlak i sjeli u vagon bez prozora koji je super izoliran od vanjskih utjecaja kao što su zvuk, vibracije itd. Ubrzo ste zaspali te se probudili nakon određenog vremena. Kako biste odredili giba li se vlak ili miruje?



Naslov: Koncepti Galileijeve relativističke mehanike

SREDIŠNJI DIO:

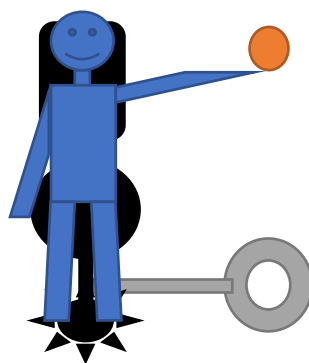
Istraživačko pitanje: Kakvi su zakoni mehanike kad se promatraju u različitim inercijskim sustavima?

Nastavnik provjerava poznaju li učenici zakone mehanike te znaju li što je inercijski sustav, a zatim učenici formiraju hipotezu.

Hipoteza: Zakoni mehanike su (ili nisu) jednaki u svim inercijskim sustavima.

Pokus:

(a) Na stolac s kotačićima (na skici crne boje) se učvrsti mreža ili posuda (na skici sive boje). Jedan učenik (na skici plave boje) sjedne na stolac s kotačićima i drži loptu (na skici narančaste boje) visoko iznad mreže ili posude. Drugi učenik stoji iza stolca tako da je bočno okrenut učenicima u klupi i mobitelom snima putanju lopte. Treći učenik, koji mirno sjedi u klupi također snima putanju lopte.



Slika 10: Skica pokusa

Učenici određuju inercijske sustave S i S' , brzinu sustava S' u odnosu na S te crtaju skicu pokusa u bilježnicu. Nastavnik pita učenike očekuju li razlike u obliku putanje lopte na snimkama drugog i trećeg učenika.

Prvi učenik pusti loptu. Snimke s mobitela drugog i trećeg učenika zatim treba prebaciti na računalo, otvoriti oba videa u zaseban prozor tako da su sinkronizirani te ih projektorom proicirati na platno kako bi svi učenici mogli uočiti putanje lopte ovisno o inercijskom sustavu.

S učenicima se raspravlja o vrsti gibanja i obliku putanja. Učenici u bilježnice skiciraju obje putanje.

(b) Ponoviti prethodni pokus, ali u ovom slučaju drugi učenik gura stolac jednolikom brzinom tako da je bočno okrenut učenicima u klupi i mobitelom snima putanju lopte. Treći učenik, koji mirno sjedi u klupi također snima putanju lopte.

Učenici određuju brzinu sustava S' u odnosu na S . Nastavnik pita učenike očekuju li razlike u obliku putanje lopte na snimkama drugog i trećeg učenika.

Kada se postigne jednolika brzina, prvi učenik pusti loptu. Snimke s mobitela drugog i trećeg učenika zatim treba prebaciti na računalo, otvoriti oba videa u zaseban prozor tako da su sinkronizirani te ih projektorom proicirati na platno kako bi svi učenici mogli uočiti različite putanje lopte ovisno o inercijskom sustavu.

S učenicima se raspravlja o vrsti gibanja s obzirom na pojedini inercijski sustav i oblike putanja. Učenici u bilježnice skiciraju obje putanje, a zatim formiraju opažanje.

Opažanje: Promatranje gibanja lopte iz različitih inercijskih sustava daje različite putanje lopte, ali isti ishod koji je u skladu sa zakonima mehanike.

ZAVRŠNI DIO:

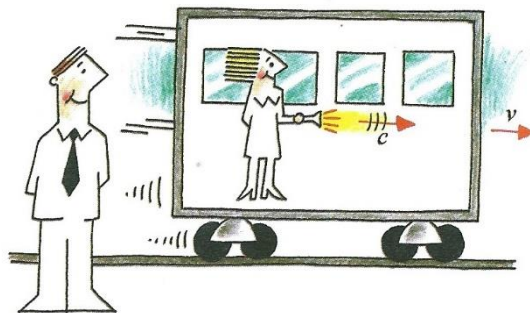
Zadatak 1: Zamislite da je vlak inercijski sustav koji se giba brzinom 50 km/h. U vlaku se nalazi kondukter koji hoda brzinom od 5 km/h jednoliko u smjeru gibanja vlaka. Na peronu stoji motritelj u svojem mirujućem inercijskom sustavu. Kojom brzinom se giba kondukter u odnosu na motritelja? Kojom brzinom bi se gibao kondukter u odnosu na motritelja ako bi kondukter hodao u suprotnom smjeru od smjera gibanja vlaka?



Slika 11: Zadatak 1 [11]

Nastavnik prikuplja učeničke ideje, a zatim zapisuje na ploču Galileijevo pravilo zbrajanja brzina.

Zadatak 2: Fizičarka stoji u vagonu koji se giba brzinom 30 km/h jednoliko po pravcu i u jednom trenutku upali svjetiljku. Svjetlost ima brzinu c u odnosu na fizičarku. S tla uz prugu to promatra fizičar. Koju brzinu ima svjetlost u odnosu na fizičara?



Slika 12: Zadatak 2 [3]

Nastavnik prikuplja učeničke ideje te se kroz usmjerenu raspravu dolazi do zaključka da za svjetlost i za brzine bliske brzini svjetlosti ne vrijedi Galileijevo pravilo zbrajanja brzina.

PLAN PLOČE

Koncepti Galileijeve relativističke mehanike

Inercijski sustav je sustav koji se giba jednoliko po pravcu u odnosu na neki sustav u kojemu vrijede Newtonovi zakoni gibanja.

Istraživačko pitanje: Kakvi su zakoni mehanike kad se promatraju u različitim inercijskim sustavima?

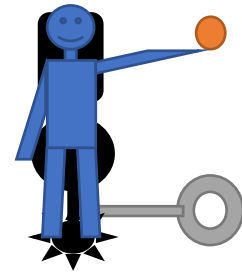
Promatranje gibanja lopte iz različitih inercijskih sustava daje različite putanje lopte, ali isti ishod koji je u skladu sa zakonima mehanike.

Hipoteza: Zakoni mehanike su (ili nisu) jednaki u svim inercijskim sustavima.

Pokus:

Inercijski sustav S : Učionica

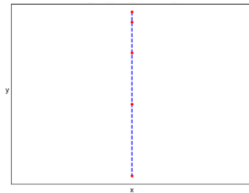
Inercijski sustav S' : Stolec s kotačićima, prvi i drugi učenik



Slika 13: Skica pokusa

(a) Brzina sustava S' u odnosu na Sustav S : $v = 0$ m/s

Oblik putanje lopte u sustavu S :



Slika 14: Oblik putanje lopte u sustavu S

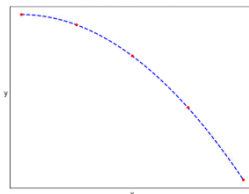
Oblik putanje lopte u sustavu S' :



Slika 15: Oblik putanje lopte u sustavu S'

(b) Brzina sustava S' u odnosu na Sustav S : $v \approx 2$ m/s

Oblik putanje lopte u sustavu S :



Slika 16: Oblik putanje lopte u sustavu S

Oblik putanje lopte u sustavu S' :



Slika 17: Oblik putanje lopte u sustavu S'

Galileijevo pravilo zbrajanja brzina:

$$u = u' + v$$

Jednadžba 6

Zaključak

Cilj ovog rada bio je utvrditi pretkonceptije učenika osmog razreda osnovne škole povezane s Galileijevom relativističkom mehanikom. U tu svrhu sastavljen je upitnik kojeg su ispunili učenici osmog razreda. Kroz analizu ponuđenih odgovora i objašnjenja istih može se zaključiti kako većina učenika imaju razvijene pretkonceptije bazirane na učeničkom svakodnevnom iskustvu te s nerazumijevanjem prvog Newtonovog zakona koji se uči upravo u osmom razredu osnovne škole. Jedna takva pretkonceptija je da tijela u gibanju, bez djelovanja sile, usporavaju te naposljetku staju. Jasno je da takva pretkonceptija nije ispravna jer učenici ne uzimaju u obzir silu trenja između tijela i podloge te silu otpora zraka. Ispravan bi koncept, koji je u skladu s prvim Newtonovim zakonom, bio da se tijela u gibanju, bez djelovanja sile, nastavljaju gibati jednoliko pravocrtno. Učenicima takav koncept beskonačnog gibanja nije intuitivan pa im je lakše odbaciti novi koncept, nego stari već usvojeni koncept. Kako bi učenici mogli usvojiti složenije koncepte poput koncepata Galileijeve relativističke mehanike nužno je više vremena posvetiti osnovnim konceptima poput prvog Newtonovog zakona jer se osnovne pretkonceptije posljedično samo šire u kasnijoj nastavi fizike i čine nemogućim usvajanje novih složenijih koncepata.

Moguće rješenje je raniji početak učenja fizike jer za predložene pokuse i za ispravno ispravljanje duboko ukorijenjenih pretkonceptija korištenjem metoda: kognitivnog konflikta, Sokratskog dijaloga, supstitucije koncepata i analogija, tj. za pravu interaktivnu istraživački usmjerenu nastavu, treba puno više vremena nego trenutno nastavnici fizike imaju na raspolaganju.

Galileijeva relativistička mehanika je zanimljiva i korisna tema koju bi učenici osmog razreda osnovne škole uz pomoć interaktivne istraživački usmjerene nastave mogli obraditi na dodatnoj grupi za napredne učenike. Ukoliko bi se pokazalo da učenici na naprednoj grupi s lakoćom usvajaju koncepte Galileijeve relativističke mehanike bilo bi korisno proširiti kurikulum nastave fizike osmog razreda osnovne škole ovim gradivom.

Dodaci

Dodatak A

UPITNIK: Koncepti Galileijeve relativističke mehanike, proveden u *Osnovnoj školi Retkovec*, 13. ožujka 2020. godine

UPITNIK: Koncepti Galileijeve relativističke mehanike

*U svim zadacima se radi o jednolikom pravocrtnom gibanju.

*Zanemarujemo utjecaje zraka i trenja.

*Svaki odgovor treba objasniti zašto mislite da je točan.

- 1) Ako vrijedi sljedeća izjava: "tijelo A ima brzinu v , a tijelo B miruje", označi sve izjave koje imaju isto značenje:

- e) A ima brzinu v u odnosu na B.
- f) B ima brzinu $-v$ u odnosu na A.
- g) B ima brzinu $-v$, a A miruje.
- h) B ima brzinu v u odnosu na A.

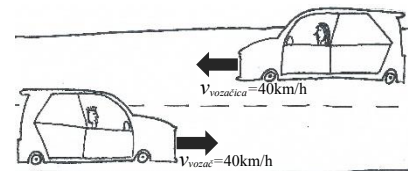
Objašnjenje: _____

- 2) Dječak sjedi u vlaku koji se giba brzinom v i gleda stablo na livadi pored tračnica. Kojom brzinom vidi dječak da se stablo giba i u kojem smjeru u odnosu na prozor vagona?



- 3) Vozač automobila vozi u smjeru istoka stalnom brzinom 40 km/h. Ususret dolazi vozačica automobila koja vozi u smjeru zapada, također stalnom brzinom 40 km/h. Kojom brzinom se giba vozač u odnosu na vozačicu?

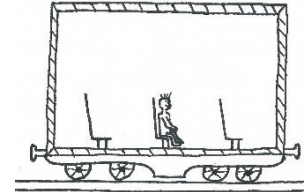
- e) 0 km/h
- f) 20 km/h
- g) 40 km/h
- h) 80 km/h



Objašnjenje: _____

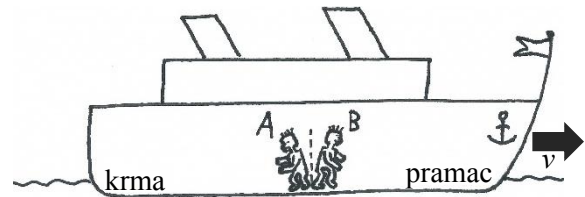
- 4) Ukricali ste se u vlak i sjeli u vagon bez prozora koji je super izoliran od vanjskih utjecaja kao što su zvuk, vibracije itd. Ubrzo ste zaspali te se probudili nakon određenog vremena. Kako biste odredili giba li se vlak ili miruje?

- e) Bacio bih loptu u zrak, ako mi se lopta vrati u ruke zaključio bih da vlak miruje.
 f) Bacio bih loptu vertikalno u zrak, ako lopta padne ispred ili iza mene zaključio bih da se vlak giba.
 g) Bacio bih loptu jednakom silom, jednom naprijed, a drugi put natrag. Ako su udaljenosti na koje padne lopta različite zaključio bih da se vlak giba.
 h) Nije moguće bacanjem lopte odrediti miruje li vlak ili se giba.



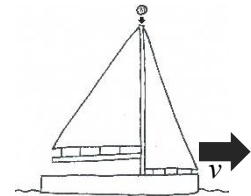
Objašnjenje: _____

- 5) Dva dječaka nalaze se u unutrašnjosti broda koji plovi jednolikom brzinom. Dječak A skoči u smjeru krme, a dječak B u smjeru pramac broda. Ako pretpostavimo da na kopnu dječaci mogu skočiti jednako daleko, koji će dječak u brodu preskočiti veću udaljenost.



- 6) Gdje bi pala kugla koju bi pustili da slobodno padne s vrha jarbola jedrilice koja plovi stalnom brzinom u smjeru istoka?

- e) Malo ispred jarbola.
 f) U ravnini s jarbolom.
 g) Malo iza jarbola.
 h) Ovisi o brzini jedrilice.



Objašnjenje: _____

- 7) Djevojčica hoda prema krugu nacrtanom na podu i u ruci drži kedu. Na kojem mjestu djevojčica treba ispustiti kedu kako bi keda pala u krug?

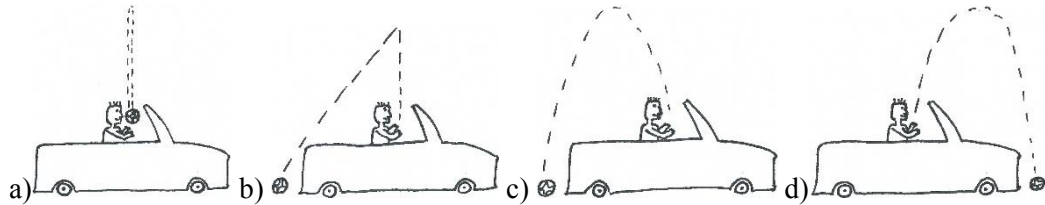
- a) Kada je djevojčica prošla krug.
 b) Kada je djevojčica u ravnini s krugom.
 c) Kada je krug malo ispred djevojčice.



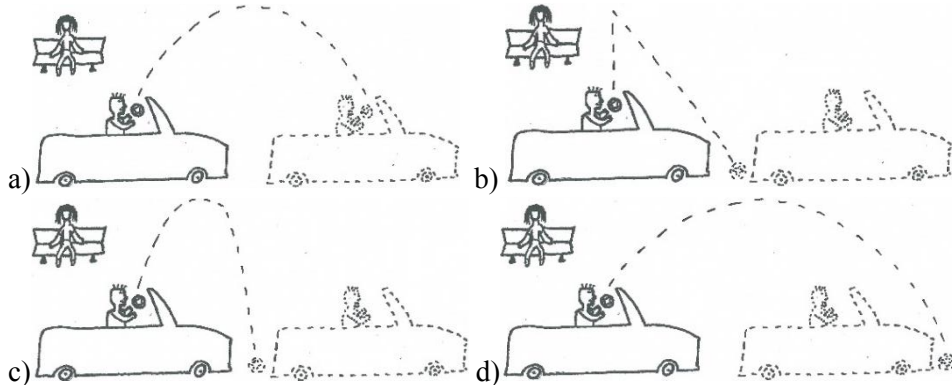
(x)

Objašnjenje: _____

- 8) Dječak se vozi kao suvozač u automobilu bez krova (kabriolet) u smjeru istoka. U jednom trenutku dječak baci loptu vertikalno prema gore.
 iii) Koju putanju lopte vidi dječak?



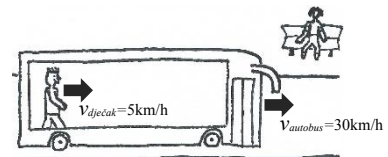
- iv) Koju putanju lopte vidi djevojčica koja mirno sjedi na klupi i promatra dječaka i loptu.



Objašnjenje: _____

- 9) Djevojčica sjedi na klupi i vidi autobus koji vozi u smjeru istoka stalnom brzinom 30 km/h. Na kraju autobusa nalazi se dječak koji hoda brzinom 5 km/h prema prednjem djelu autobusa. Kojom brzinom se giba dječak u odnosu na djevojčicu?

- e) 5 km/h
- f) 25 km/h
- g) 30 km/h
- h) 35 km/h



Objašnjenje: _____

Literatura

- [1] Galileo's sensory and empirical concepts of relativity, *Relativity of Light*, <https://relativityoflight.com/chapter-5>, 25. veljače 2020.
- [2] Galileo's sensory and empirical concepts of relativity, *Relativity of Light*, https://relativityoflight.com/wp-content/uploads/ROL_Figure2.1.jpg, 25. veljače 2020.
- [3] Paar, V., FIZIKA 3, udžbenik za 3. razred gimnazije, Zagreb, Školska knjiga d.d., 2005.
- [4] Pavlović, D., Srdelić, M., FIZIKA 4, udžbenik za 4. razred strukovnih škola, Zagreb, PROFIL, 2012.
- [5] Lorentz transformation, *To the Land of Dreams*, https://2.bp.blogspot.com/-15mUhc7Y0iE/WxPK9eEhDyI/AAAAAAAAAQJ0/Rwf7o6KvDcQZZIpOONX9Jge4RaAZ0_fwCLcBGAs/s1600/image001.jpg, 25. veljače 2020.
- [6] Odluka o donošenju kurikuluma za nastavni predmet Fizika..., *Narodne novine*, https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2019_01_10_210.html, 06. lipnja 2020.
- [7] Planinić, M., Metodika fizike 1, prezentacija, Kako ljudi uče?, *Claroline*, 2018.
- [8] Children's science and its consequences for teaching, *Wiley online library*, <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/sce.3730660412>, 20. lipnja 2020.
- [9] Aircraft Dropping a Bomb on Target, *YouTube*, <https://www.youtube.com/watch?v=L8F5-gRs8Bs>, 20. lipnja 2020.
- [10] Frame of reference, *Physics Animations*, https://www.vascak.cz/data/android/physicsatschool/template.php?s=mech_kolo&l=en, 25. lipnja 2020.
- [11] Novi Končarov elektromotorni vlak uskoro u prometu, *ZG-magazin*, <https://zg-magazin.com.hr/wp-content/uploads/2015/09/vlak.jpg>, 20. lipnja 2020.