

# Učeničko razumijevanje gravitacije u osnovnoj i srednjoj školi

---

**Plavšić, Petra**

**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:217:998944>

*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  
FIZIČKI ODSJEK

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

**Petra Plavšić**

Diplomski rad

**Učeničko razumijevanje gravitacije u  
osnovnoj i srednjoj školi**

Izv. prof. dr. sc. Maja Planinić

Ocjena diplomskog rada: \_\_\_\_\_

Povjerenstvo: 1. \_\_\_\_\_

2. \_\_\_\_\_

3. \_\_\_\_\_

Datum polaganja: \_\_\_\_\_

Zagreb, 2023.

Zahvaljujem se izv. prof. dr. sc. Maji Planinić na velikom doprinosu tijekom izrade ovog diplomskog rada, čiji su stručnost i mentorstvo bili neizmjenjivo korisni tijekom cijelog procesa. Vaš će doprinos zauvijek ostati duboko urezan u moje akademske i profesionalne korijene.

Ovaj rad posvećujem svojim roditeljima koji su uvijek bili tu za mene, bez njih ništa ne bi bilo moguće. Zahvaljujem se obitelji na podršci i razumijevanju koje su mi pružili tijekom ovog izazovnog razdoblja. Hvala i mom dečku Andreju na motivaciji i strpljenju. Također se zahvaljujem svim prijateljima i kolegama koji su mi olakšali i uljepšali vrijeme studiranja.

## Sažetak

Gravitacija je pojam koji se široko koristi ne samo u fizici, nego i u svakodnevnom životu te se često podrazumijeva da ga učenici s lakoćom savladaju. Međutim, u školi se učenici susreću s mnogim izazovima u razumijevanju tog pojma. Za procjenu učenickog razumijevanja gravitacije, konstruiran je test od 18 pitanja višestrukog izbora i provedeno je testiranje na 28 učenika osmog razreda jedne osnovne škole te 28 učenika drugog razreda jedne prirodoslovno-matematičke gimnazije u Zagrebu. Rezultati su pokazali postojanje poteškoća u razumijevanju kako kod učenika osmih, tako i kod učenika drugih razreda. Uspoređujući rezultate postojećih istraživanja na temu razumijevanja gravitacije, uočeno je da hrvatski učenici pokazuju vrlo slične poteškoće kao i učenici i studenti iz drugih zemalja. U sklopu ovog rada dani su prijedlozi kako bi se te poteškoće mogle izbjeći ili ublažiti korištenjem interaktivnih nastavnih metoda .

Ključne riječi: Gravitacijska sila, učenicke poteškoće, nastava fizike

# **Students' understanding of gravity in primary and secondary school**

## **Abstract**

Gravity is a widely used term not only in physics, but also in everyday life, and it is often assumed that students can master it with ease. However, at school, students face many challenges in understanding this concept. In order to assess students' understanding of gravity, a test of 18 multiple-choice items was constructed and the testing was conducted on 28 eighth-grade students of one elementary school and 28 second-year students of the gymnasium in Zagreb, which specializes in natural sciences and mathematics. The results revealed difficulties in understanding of gravity among both eighth-grade and second-year students. Comparing the results with the existing research on the understanding of gravity, Croatian students exhibit similar difficulties as students from other countries. This paper provides suggestions on how these difficulties could be avoided or ameliorated by utilizing interactive teaching methods.

**Keywords:** Gravitational force, student difficulties, physics teaching

## Sadržaj

1	Uvod.....	6
2	Pregled literature .....	10
3	Metodologija .....	14
4	Rezultati .....	17
4.1	<i>Gravitacijska sila djeluje među svim tijelima s masom.....</i>	24
4.2	<i>Iznos gravitacijske sile ovisi o masama uključenih tijela i udaljenostima među njima.. ..</i>	27
4.3	<i>Pri gravitacijskom međudjelovanju, oba tijela djeluju silama jednakih iznosa, a gravitacijska sila može biti samo privlačna i djeluje duž spojnice tijela .....</i>	37
4.4	<i>Gravitacijska sila djeluje stalno, ne samo pri padu tijela .....</i>	44
4.5	<i>Gravitacijska sila ne ovisi o prisustvu atmosfere, niti je povezana s atmosferskim tlakom. ....</i>	50
4.6	<i>Gravitacijska sila ne treba sredstvo (zrak) da bi djelovala i neovisna je o drugim silama i utjecajima.....</i>	55
4.7	<i>Ubrzanje sile teže nije jednako na različitim planetima, a time niti gibanje tijela na njima.. ..</i>	65
5	Zaključci i implikacije za nastavu.....	68
5.1	<i>Gravitacijska sila djeluje među svim tijelima s masom.....</i>	68
5.2	<i>Gravitacijska sila ovisi o masama uključenih tijela i udaljenostima među njima ....</i>	69
5.3	<i>Pri gravitacijskom međudjelovanju, oba tijela djeluju silama jednakih iznosa, a gravitacijska sila može biti samo privlačna i djeluje duž spojnice tijela .....</i>	69
5.4	<i>Gravitacijska sila djeluje stalno, ne samo pri padu tijela .....</i>	70
5.5	<i>Gravitacijska sila ne ovisi o prisustvu atmosfere, niti je povezana s atmosferskim tlakom. ....</i>	71
5.6	<i>Gravitacijska sila ne treba sredstvo (zrak) da bi djelovala i neovisna je o drugim silama i utjecajima.....</i>	72
5.7	<i>Ubrzanje sile teže nije jednako na različitim planetima, a time niti gibanje tijela na njima.. ..</i>	72
5.8	<i>Ostale poteškoće .....</i>	74
6	Literatura.....	76
7	Popis slika i tablica .....	77

## 1 Uvod

Gravitacija kao pojam u fizici je vrlo zanimljiv koncept koji su pokušali objasniti još i stari Grci. Do otprilike 16. stoljeća se zadržalo vjerovanje grčkih filozofa koji su smatrali da su planeti i zvijezde dijelovi božanskog carstva i da imaju „prirodnu“ silu odnosno da oni ne traže vanjsku silu kako bi se gibali. Znanstvenici su tek prije otprilike tristo godina počeli bolje shvaćati gravitaciju, a taj se pojam i danas još istražuje i produbljuje.

U 16. stoljeću Johannes Kepler je otkrio da se Zemlja i drugi planeti okreću oko Sunca po eliptičnim orbitama, a ne po kružnicama. Međutim, tadašnji znanstvenici nisu znali dati odgovor na pitanje zašto je to tako. Tek je Isaac Newton, engleski matematičar i fizičar, u 17. stoljeću uspješno opisao uzrok gibanja planeta oko Sunca. Do toga je došao razmišljanjem je li sila kojom Zemlja djeluje na Mjesec ista vrsta sile kao sila kojom Zemlja djeluje na objekte koji padaju. Newton je shvatio da je izravno mjerenje gravitacijske sile kojom Zemlja djeluje na drugi objekt nemoguće, ali mu je njegov drugi zakon omogućio neizravan način za određivanje gravitacijske sile kojom djeluje Zemlja. Ono što je moguće izmjeriti je ubrzanje i masa pa prema tome:

$$\vec{a} = \frac{\sum \vec{F}}{m}$$

Budući da Mjesec kruži oko Zemlje na udaljenosti od otprilike 60 polumjera Zemlje i to poznatim periodom ( $T = 27.3$  dana), Newton je iskoristio i formulu za centripetalnu akceleraciju gdje je brzina ustvari brzina potrebna da Mjesec napravi jedan krug oko Zemlje i vrijeme je period orbitiranja Mjeseca:

$$a = \frac{v^2}{r} = \frac{\left(\frac{2r\pi}{T}\right)^2}{r} = \frac{4\pi^2 r}{T^2} = 2.69 \times 10^{-3} \frac{m}{s^2}$$

Zatim je isto ponovio s misaonim eksperimentom u kojem je Mjesec kondenziran u mali točkasti objekt (zadržavši pritom istu masu) smješten blizu Zemljine površine. To bi postavilo "Mjesečevu česticu" na udaljenost od jedan polumjer Zemlje od središta Zemlje. Kad bi Mjesec samo bio u interakciji sa Zemljom, imao bi isto ubrzanje slobodnog pada kao bilo koji objekt blizu Zemljine površine ( $9.8 \text{ m/s}^2$ ) budući da je ono neovisno o masi. Dakle, Newton je sada znao ubrzanje Mjeseca na dva mjesta i mogao je odrediti kako gravitacijska sila kojom jedno tijelo djeluje na drugo ovisi o udaljenostima među njima. Kako bi to izračunao koristio je omjer:

$$\frac{a_{Zemlja na Mjesec na 60r}}{a_{Mjesec na Zemlju na 1r}} = \frac{\frac{F_{Zemlja na Mjesec na 60r}}{m_{Mjeseca}}}{\frac{F_{Mjesec na Zemlju na 1r}}{m_{Mjeseca}}} = \frac{F_{Zemlja na Mjesec na 60r}}{F_{Mjesec na Zemlju na 1r}}$$

Odnosno, uvrstimo li poznate iznose za akceleraciju:

$$\frac{F_{Zemlja na Mjesec na 60r}}{F_{Mjesec na Zemlju na 1r}} = \frac{a_{Zemlja na Mjesec na 60r}}{a_{Mjesec na Zemlju na 1r}} = \frac{2.69 \times 10^{-3} \frac{m}{s^2}}{9.8 \frac{m}{s^2}} = \frac{1}{3600} = \frac{1}{60^2}$$

$$F_{Zemlja na Mjesec na 60r} = \frac{1}{60^2} F_{Zemlja na Mjesec na 1r}$$

Sila koja djeluje na Mjesec kada je Mjesec udaljen 60 Zemljinih polumjera od Zemlje je  $\frac{1}{60^2}$  puta sila koja djeluje na Mjesec kada je blizu površine Zemlje. Newton je uočio da gravitacijska sila kojom Zemlja djeluje na Mjesec obrnuto ovisi o kvadratu njegove udaljenosti od središte Zemlje.

$$F \propto \frac{1}{r^2}$$

Sljedeće je na redu bilo otkriti kako gravitacijska sila ovisi o masama tijela koje međudjeluju. Ubrzanje sile teže tijela u blizini Zemljine površine ne ovisi o masi tog tijela i za sva tijela ona iznosi otprilike  $9.81 m/s^2$ . Budući da matematički ovo vrijedi samo ako je veličina gravitacijske sile kojom Zemlja djeluje na tijelo koje pada proporcionalno masi tog tijela, Newton je pretpostavio da gravitacijska sila kojom Zemlja djeluje na Mjesec mora imati istu značajku - gravitacijska sila mora biti proporcionalna Mjesečevoj masi.

$$F_{Zemlje na Mjesec} \propto M_{Mjesec}$$

Zadnje preostalo pitanje bilo je ovisi li gravitacijska sila kojom Zemlja djeluje na Mjesec samo o Mjesečevoj masi ili i o masi Zemlje. Odgovor je ležao u trećem Newtonovom zakonu. Ako Zemlja djeluje gravitacijskom silom na Mjesec, onda prema Newtonovom trećem zakonu i Mjesec mora djelovati gravitacijskom silom jednakog iznosa na Zemlju. Posljedica toga je da gravitacijska sila kojom Zemlja djeluje na Mjesec također treba biti proporcionalna masi Zemlje:

$$F_{Zemlje na Mjesec} \propto M_{Zemlja}$$



Spojimo li zajedno tri zaključka koje je Newton donio, dobivamo:

$$F_{Zemlje\ na\ Mjesec} = F_{Mjesec\ na\ Zemlju} \propto \frac{M_{zemlja}M_{Mjesec}}{r^2}$$

On je predložio da je ovo opis gravitacijskog međudjelovanja između bilo koja dva tijela te ovu vezu nazvao općim zakonom gravitacije. (Etkina et al., 2014) Newton je tu ideju objavio 1687. godine u svom djelu "Matematički principi prirodne filozofije".

Sljedeću ključnu ideju koja je upotpunila izraz za opći zakon gravitacije iznio je Henry Cavendish. On je u 18. st. odredio iznos univerzalne gravitacijske konstante koja je ujedno faktor proporcionalnosti koju Newton svojedobno nije mogao izračunati i iznosi:

$$G = 6.67 \times 10^{-11} Nm^2/kg^2$$

Potpuni izraz za gravitacijsku silu kojom jedno tijelo djeluje na drugo sada možemo pisati kao:

$$F_g = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$$

Pri čemu je  $m_1$  masa prvog tijela koje međudjeluje,  $m_2$  masa drugog tijela koje međudjeluje i  $r$  je udaljenost među njima.

Daljnji napredak u razumijevanju gravitacije predstavio je Albert Einstein početkom 20. stoljeća objavom svoje opće teorije relativnosti. Princip ekvivalentnosti poopćeno glasi da se ne može izvesti niti jedan eksperiment koji bi mogao znati razliku između ubrzanog referentnog sustava i prisutnosti uniformnog gravitacijskog polja. Einstein je iz toga zaključio da bi gravitaciju trebali opisati potpuno drugačijim mehanizmom. Predložio je da objekti s masom uzrokuju da prostor oko njih postane zakrivljen i da se objekti u tom zakrivljenom prostoru ne kreću jednoliko pravocrtno. Objekt velike mase uzrokuje veću zakrivljenost prostora nego što to čini objekt manje mase. Drugo predviđanje opće teorije relativnosti je gravitacijska dilatacija vremena. Predmeti ne samo da zakrivljuju prostor oko sebe, već mijenjaju i način na koji vrijeme prolazi oko njih. Što je točka u kojoj promatramo vrijeme bliže masivnom objektu, to je vrijeme koje prolazi sporije. Eksperimenti podupiru obje ideje koje su općom teorijom relativnosti ujedinjene u ideju da prostor i vrijeme čine jedno, entitet poznat kao prostor-vrijeme. (Etkina et al., 2014) Ova teorija pružila je detaljniji i sveobuhvatniji opis gravitacijskih pojava, uključujući i predviđanje fenomena poput crnih rupa i zakrivljenosti svjetlosti.

Suvremena fizika nastavlja istraživati gravitaciju kroz različite perspektive. Istraživanja su usmjerena na razumijevanje kozmoloških aspekata gravitacije, kao što su porijeklo svemira, ubrzano širenje i tamna materija.

Dakle, gravitacija je jedna od najvažnijih i najfundamentalnijih fizičkih pojava, koja se proučava već stoljećima. Međutim, usprkos njenom fundamentalnom značaju, mnogi se učenici bore s njenim razumijevanjem, često razvijajući razna pogrešna tumačenja (miskonceptije), koja otežavaju proces učenja i kasnije primjene znanja. Cilj je ovog diplomskog rada početno istražiti i analizirati učeničko razumijevanje gravitacije u osnovnoj i srednjoj školi te identificirati moguće poteškoće koje učenici imaju u vezi s ovom pojavom. Istraživanje se temelji na testu, koji je sadržavao 18 pitanja s višestrukim izborom odgovora, od kojih je samo jedan točan. Svako pitanje zahtijevalo je i kratko obrazloženje zašto je neki odgovor odabran. Testiranje je provedeno na uzorku od 56 učenika osnovne i srednje škole. Analiza rezultata provedenog istraživanja može ukazati na razlike u razumijevanju gravitacije među učenicima osnovne i srednje škole te dati početni uvid u to koliko su učenici uspješni u razumijevanju osnovnih pojmova i zakona vezanih uz gravitaciju. Zbog malog uzorka, to mogu biti samo početne indikacije mogućih poteškoća, kao prvi korak u daljnjem istraživanju.

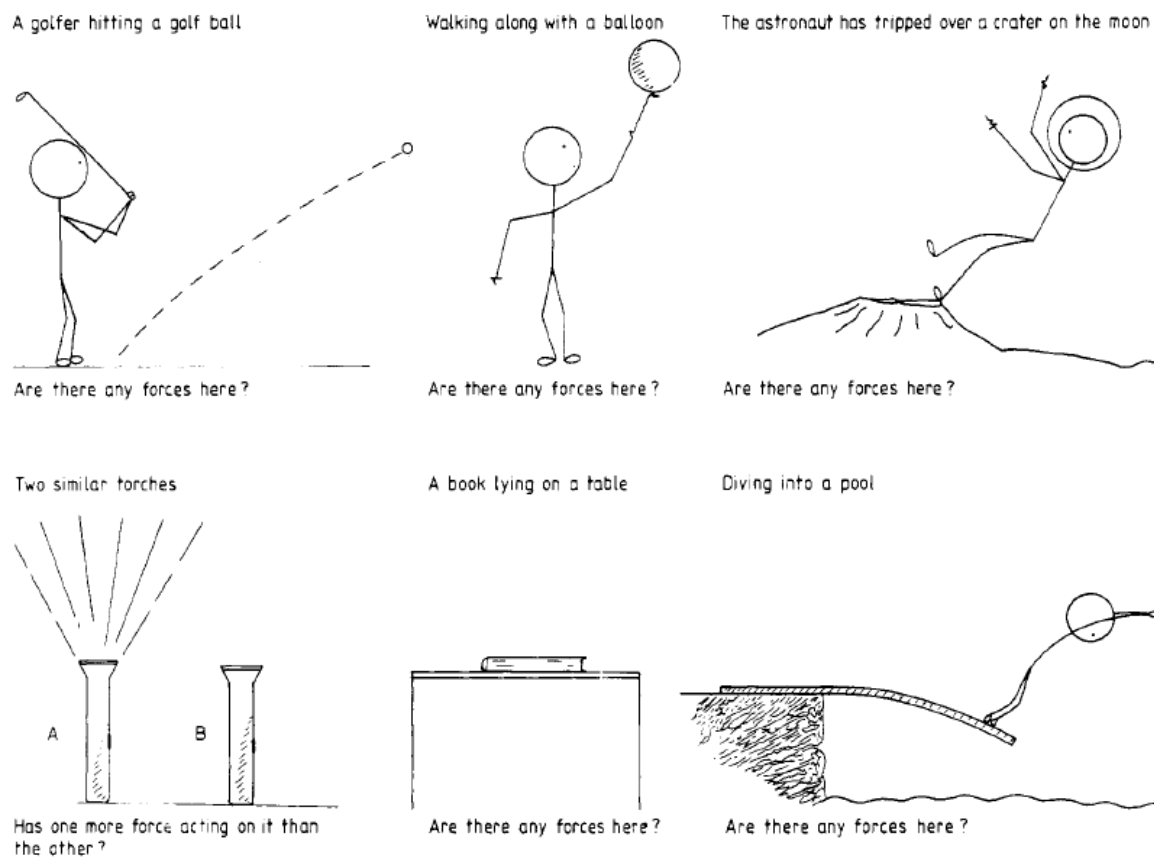
Ovaj rad može biti koristan ne samo za nastavnike fizike, već i za sve one koji se bave obrazovanjem mladih generacija i žele poboljšati način na koji se gravitacija predaje i razumije.

## 2 Pregled literature

Ovo istraživanje temelji se na tri slična istraživanja provedena u Americi i Ujedinjenom Kraljevstvu. Prvo je istraživanje čiji su rezultati objavljeni u članku „Student Understanding of Gravity in Introductory College Astronomy“ (Williamson & Willoughby, 2012). U tom su istraživanju studentima koji su upisali uvodni kolegij astronomije postavljena 24 pitanja otvorenog tipa, koja provjeravaju razumijevanje gravitacije u raznim kontekstima. Postojala su tri upitnika, koja su podijeljena među ukupno 312 studenata. Ovo je istraživanje otkrilo da čak i studenti imaju alternativne modele o gravitaciji i pogrešno primjenjuju znanstveni model. Pod alternativne modele o gravitaciji spadaju „granični model“, koji opisuje učeničko vjerovanje da gravitacijska sila djeluje samo do određene granice nakon koje naglo prestaje djelovati, „model indikatora orbite“, prema kojem studenti smatraju da objekti koji orbitiraju oko planeta mogu djelovati kao indikatori njegove površinske gravitacije i „model miješanja sila“, koji sugerira da na gravitaciju utječu i magnetizam, rotacija planeta i atmosferski tlak. Pod pogrešnu primjenu znanstvenog modela spada „pogrešna primjena mase“ koja se može razdvojiti na još po dvije kategorije „samo teški objekti mogu međusobno gravitacijski djelovati“ gdje učenici smatraju da gravitacijskom silom na druga tijela mogu djelovati samo tijela mase približne planetima npr. i „brkanje mase i gustoće“ pri čemu smatraju da veća gustoća nekog tijela nužno znači da ono ima i veću masu bez obzira na veličinu tijela. Druge dvije pogrešne primjene znanstvenog modela su „pogrešna primjena udaljenosti“, prema kojoj učenici često zamjenjuju udaljenost od središta planeta i udaljenost s površine planeta, a općenito među učenicima postoji i „nejasnoća o tome što uzrokuje ili stvara gravitaciju“ pa učenici vjeruju da je središte tijela to koje stvara gravitaciju. (Williamson & Willoughby, 2012) Na temelju tih odgovora studenata, poteškoće koje postoje u razumijevanju gravitacije svrstali su u nekoliko različitih kategorija i te kategorije iskoristili kao distraktore u novom testu s pitanjima višestrukog izbora (NGCI) (Williamson & Willoughby, 2012). Drugo istraživanje temeljeno je upravo na tom novom testu „Newtonian Gravity Concept Inventory (NGCI)“, a koje je bilo primarni izvor ideja za ovo istraživanje. Nastajanje tog testa opisano je u članku „Development of the Newtonian Gravity Concept Inventory“ (Williamson, et al., 2013). Tamo je opisan proces kojim se došlo do treće, ujedno i finalne verzije tog testa. Test se sastoji od dvadeset šest pitanja s ponuđenim odgovorima od kojih je jedan točan. Pilot testiranje je provedeno na četiri američka sveučilišta s ukupno 925 studenata koji su pristupili predtestu, a 743 studenta pristupila su posttestu. Pitanja su sažeta da istražuju učeničke ideje unutar četiri domene koje su sljedeće: smjer

djelovanja gravitacijske sile, zakon djelovanja gravitacijske sile, neovisnost gravitacijske sile od drugih sila i granica djelovanja gravitacijske sile.

Istraživanje razumijevanja gravitacije kod mladih učenika proveo je D. Michael Watts, a opisano je u članku „Gravity – don't take it for granted!“ (Watts, 1982). U članku se raspravlja o osam alternativnih učeničkih shvaćanja gravitacije. Podaci su dobiveni kroz 40-minutne intervjue s dvadeset učenika od dvanaest do osamnaest godina starosti. Učenicima su pokazane različite slike na temelju kojih su oni morali doći do zaključaka o silama koje postoje na tim slikama. Primjer slika prikazan je na Slici 1. i preuzet je iz članka.



Slika 1. Primjer slika korištenih u istraživanju (Watts, 1982)

Uočene su sljedeće alternativne ideje o gravitaciji

1. „Gravitacija je sila koja zahtijeva medij kroz koji djeluje.“ Najčešće učenici smatraju da gravitacije nema u vakuumu.
2. „Gdje nema zraka, nema gravitacije.“ Ova se ideja nadovezuje na prethodnu gdje je upravo zrak taj medij koji učenici smatraju da je potreban.

3. „Gravitacija se povećava s visinom.“ Neki učenici smatraju kako gravitacijska sila mora savladati druge sile pa se povećava povećanjem visine.
4. „Gravitacija je konstantna – objekti koji se kreću pokušavaju, ali ne uspijevaju, "suprotstaviti se" gravitaciji.“ Ova je ideja slična ideji „impetusa“ tj. postojanja neke „umetnute sile“ u tijelo.
5. „Gravitacija počinje djelovati kada se objekti počnu spuštati prema dolje i nastavlja se sve dok ne dosegnu tlo.“ Nerijetko u situacijama gdje se tijelo prvo kreće prema gore, a zatim pada prema tlu učenici smatraju kako gravitacija na tijelo djeluje samo dok ono pada.
6. „Gravitacija je snažna sila.“ Neovisno o udaljenosti ili masi, učenici odabiru gravitacijsku silu kao snažnu jer djeluje na puno tijela.
7. „Gravitacija je selektivna - ne djeluje na sve stvari na isti način, niti na iste stvari na isti način u svako vrijeme.“ Učenici su odabirali samo neka tijela iz slika i komentirali gravitaciju na njih.
8. „Gravitacija nije težina - ali može djelovati zajedno s težinom kako bi tijela držala dolje.“ Iako se gravitacijska sila u nekim slučajevima iznosom jednaka težini tijela, učenici ponekad naizmjenično koriste te izraze čak i kada to nije moguće.

Alternativne koncepcije pod brojem 1, 2, 5 i 7 još će biti detaljnije razrađene kasnije u radu.

Osim ova tri istraživanja, trebalo bi spomenuti i ono AAAS-a odnosno Američke udruge za napredak znanosti. To je renomirana organizacija posvećena promicanju znanstvenog napretka i obrazovanja u Sjedinjenim Američkim Državama. U sklopu svog djelovanja, AAAS provodi istraživanja i pruža materijale koji se odnose na različite znanstvene teme, uključujući i gravitaciju. Jedno od značajnih istraživanja, koje je provedeno od strane AAAS-a, je istraživanje učeničkog razumijevanja gravitacije u sklopu projekta pod nazivom "Project 2061". AAAS je prepoznao važnost razumijevanja gravitacije kao osnovnog koncepta u fizici te uložio napore u razumijevanje poteškoća i unaprjeđivanje nastave fizike u američkim školama. Njihova istraživanja pružaju vrijedne podatke i smjernice koje se mogu primijeniti kako bi se poboljšalo učeničko razumijevanje gravitacije. Sažetak tih smjernica nalazi se u knjizi koju su izdali „Benchmarks for Science Literacy“ (AAAS, 1993), a koja predavačima predlaže ishode učenja koji će pomoći učenicima da postignu osnovne ciljeve znanstvene pismenosti. Tako se u knjizi savjetuje da djeca od jedanaest godina starosti trebaju znati da na tijela na ili blizu Zemlje djeluje Zemljina gravitacijska sila i da je to sila koja djeluje na daljinu. Do četrnaeste

godine već bi trebali unaprijediti tu ideju na način da je sve na ili blizu Zemlje privučeno prema njenom središtu te razumjeti gravitacijsku potencijalnu energiju. Naglasak se stavlja na to da sva tijela koja imaju masu mogu gravitacijski međudjelovati. Uvodi se i ideja o utjecaju gravitacijske sile Sunca na kruženje planeta. Prema knjizi, do osamnaeste godine trebali bi savladati matematičku formulaciju gravitacijske sile te kako je ona kvalitativno opisana u kontekstu teorije relativnosti. Očekuje se da učenici mogu razumjeti i utjecaje koje gravitacijska sila Zemlje ima na život na Zemlji.

Nisam pronašla istraživanja na hrvatskim učenicima na temu razumijevanja gravitacije. Svakako postoji potreba za istim jer istraživanja omogućuju identificiranje najčešćih poteškoća s kojima se učenici suočavaju prilikom učenja o gravitaciji. Prepoznavanje ovih problema omogućuje nastavnicima da prilagode svoju nastavu kako bi se smanjilo postojanje takvih poteškoća. Rezultati vlastitog istraživanja provedenog u Hrvatskoj mogu se upotpuniti i interpretirati kroz prizmu gore navedenih istraživanja. Primijećene sličnosti ili razlike u rezultatima mogu ukazati na opća obilježja učeničkog razumijevanja gravitacije koja prelaze granice zemalja i kulturnih konteksta. Identifikacija zajedničkih poteškoća može poslužiti kao temelj za razvoj i unaprjeđenje ciljanih pedagoških strategija i metoda koje će olakšati učenicima stjecanje pravilnog razumijevanja gravitacije. Budući da se u Hrvatskoj gradivo o gravitaciji prema kurikulumu obrađuje u sedmom razredu osnovne škole te prvom razredu srednje škole, ovim istraživanjem želi se usporediti napredak učenika u razumijevanju teme. Zanima nas koje su miskoncepcije o gravitaciji ostale prisutne kod hrvatskih učenika osmog razreda osnovne škole te drugog razreda srednje škole.

### 3 Metodologija

Priprema za provedbu istraživanja uključivala je detaljno čitanje relevantnih istraživanja i članaka o temi gravitacije. Ovaj korak je od iznimne važnosti jer mi je pružio temeljno razumijevanje postojećih istraživanja, teorija i saznanja vezanih uz gravitaciju. Kroz čitanje članaka o istraživanjima učeničkog razumijevanja gravitacije, upoznala sam se s metodologijom koja se koristila u prijašnjim istraživanjima, obuhvaćajući dizajn studije, uzorak sudionika i korištene instrumente za prikupljanje podataka. Također sam dobila uvid u rezultate prethodnih istraživanja, statističku analizu podataka i interpretaciju dobivenih rezultata. Čitanje istraživanja pružilo mi je teorijski okvir i osnovu za provedbu vlastitog istraživanja te mogućnost da usporedim svoje rezultate s prethodnim radovima. Nakon što su sve potrebne informacije bile izvučene sastavljeni su ishodi koje je trebalo provjeriti testom. Ishodi su koncipirani tako da budu povezani s gradivom koje se obrađuje u školi i da provjere eventualnu prisutnost čestih učeničkih poteškoća.

Prepoznaje važna svojstva gravitacijske sile i zaključuje o njima:

- 1) Gravitacijska sila djeluje među svim tijelima s masom
- 2) Iznos gravitacijske sile ovisi o masama uključenih tijela i udaljenostima među njima
- 3) Pri gravitacijskom međudjelovanju, oba tijela djeluju silama jednakih iznosa, a gravitacijska sila može biti samo privlačna i djeluje duž spojnice tijela
- 4) Gravitacijska sila djeluje stalno, ne samo pri padu tijela
- 5) Gravitacijska sila ne ovisi o prisustvu atmosfere, niti je povezana s atmosferskim tlakom
- 6) Gravitacijska sila ne treba sredstvo (zrak) da bi djelovala i neovisna je o drugim silama i utjecajima
- 7) Ubrzanje sile teže nije jednako na različitim planetima, a time niti gibanje tijela na njima

Konačni test sastojao se od 18 pitanja višestrukog izbora koja su formirana na temelju pitanja i odgovora učenika iz prethodno opisanih istraživanja. Pitanja su birana i modificirana kako bi bila prilagođena razini znanja koja se očekuje od učenika u osnovnoj i srednjoj školi propisana kurikulumom za nastavni predmet Fizike za osnovne škole i gimnazije u Republici Hrvatskoj. Odgojno-obrazovni ishod unutar kojeg se obrađuje gravitacija u osnovnoj školi bio bi „FIZ OŠ B.7.2. Analizira međudjelovanje tijela te primjenjuje koncept sile“ (Ministarstvo znanosti i obrazovanja RH, 2019) Prirodoslovno-matematičke gimnazije imaju četverogodišnje učenje fizike, model 4x3 (4x105 sati), a odgojno-obrazovni ishod unutar kojeg se obrađuje gravitacija u srednjoj školi bio bi „FIZ SŠ C.1.7. Primjenjuje zakon gravitacije i analizira gibanje Zemlje i nebeskih tijela“ (Ministarstvo znanosti i obrazovanja RH, 2019) Smatram da bi u osnovnoj školi trebalo staviti veći naglasak upravo na gravitacijsku silu i potencijalno joj posvetiti zaseban ishod ili barem dodatno spomenuti unutar razrade ishoda „FIZ OŠ B.7.2.“ Prvi dio ishoda u srednjoj školi upravo je „Primjenjuje zakon gravitacije“ što je napisano i unutar razrade tog ishoda, a pod time se podrazumijeva puno toga (matematičko i fizikalno razumijevanje Newtonovog zakona gravitacije). Ne bi bilo loše dodatno raščlaniti tu razradu ishoda na manje dijelove. Glavna razlika između osnovne i srednje škole je što se u osnovnoj školi ostaje samo na kvalitativnom objašnjenju, dok se u srednjoj školi uvodi i matematički opis općeg zakona gravitacije. Ono što je važno ne zaboraviti, a napisano je i kao preporuka za ostvarivanje odgojno-obrazovnih ishoda je da mi kao nastavnici moramo „... uzeti u obzir učenikove postojeće ideje i znanja (o gravitaciji) jer će oni izravno utjecati na kvalitetu i točnost njegovih mentalnih modela koji će se formirati u tom procesu.“ (Ministarstvo znanosti i obrazovanja RH, 2019)

Kako bi se osigurala jasnoća i razumljivost pitanja, svako pitanje je pažljivo formulirano kako bi bilo nedvosmisleno i razumljivo učenicima. Svako pitanje na testu bilo je u formatu višestrukog izbora. Ovaj format omogućava učenicima da odaberu najprikladniji odgovor iz ponuđenih opcija. On također omogućuje da se učenici opredijele za neke pogrešne opcije, koje odražavaju česta pogrešna shvaćanja. Distraktori su bili pažljivo odabrani kako ne bi bili očito krivi odgovori koje učenici onda odbace sustavom eliminacije. Uz višestruko ponuđene odgovore za svako pitanje, dodan je i prazan prostor iza svakog pitanja. Taj prazan prostor bio je namijenjen učenicima kako bi mogli ukratko obrazložiti zašto su odabrali određeni odgovor. Ova dodatna komponenta testa omogućuje bolji uvid u razmišljanje učenika i njihovo razumijevanje koncepta gravitacije. Na taj način može se utvrditi jesu li odabrali odgovor na temelju pravilnog razumijevanja, jer se traži i argumentacija koja potkrepljuje njihov odabir.



Nakon oblikovanja testa, provedeno je istraživanje među učenicima osnovne i srednje škole. Odabrane su dvije škole: jedna osnovna škola i jedna prirodoslovno-matematička gimnazija iz Zagreba. Ukupno je test ispunilo pedeset šest učenika, od čega dvadeset osam učenika osmog razreda osnovne škole i dvadeset osam učenika drugog razreda srednje škole. Iako učenici o gravitaciji uče u sedmom i prvom razredu, odabrani su osmi i drugi razred kako bismo bili sigurni da su svi savladali gradivo gravitacije. Prije početka ispunjavanja, učenicima je pružena uputa o načinu rješavanja testa. Predviđeno vrijeme bilo je jedan školski sat, ali je većina test ispunila i prije. Tijekom rješavanja testa, bila sam prisutna kako bih odgovorila na eventualna učenička pitanja. Učenici su test ispunjavali pod šiframa, osiguravajući time anonimnost i povjerljivost podataka učenika, a šifre su omogućile da kasnije vide svoj rezultat na testu.

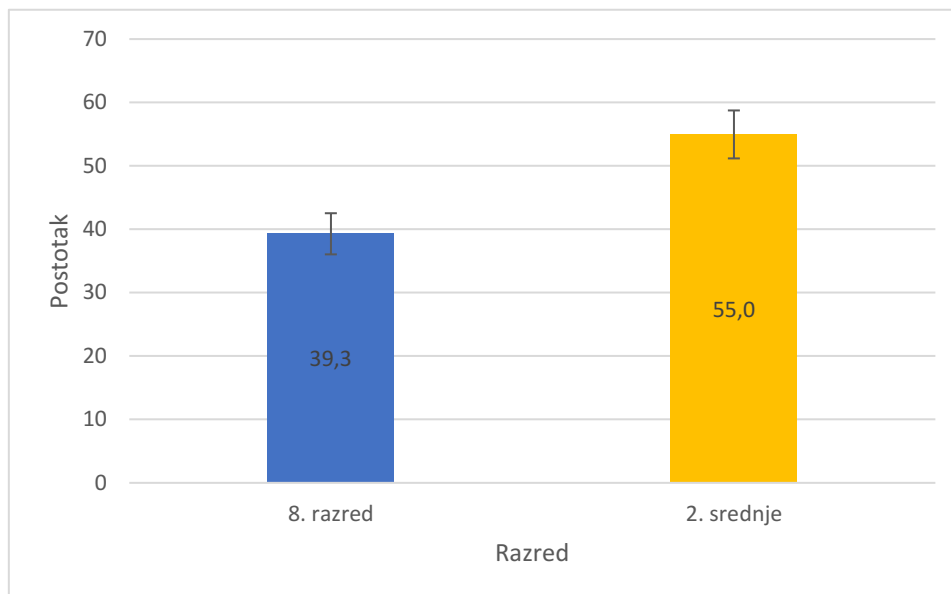
Po završetku prikupljanja svih testnih materijala, započela je analiza podataka. Odgovori su pažljivo pregledani i kategorizirani. Određena je učestalost točnih odgovora te pogrešnih odgovora i čestih učeničkih poteškoća. Interpretacija rezultata uključuje analizu odgovora na svako pojedinačno pitanje, kao i statističku analizu ukupnih rezultata. Identifikacija najčešćih pogrešnih odgovora i miskoncepcija pomogla je u razumijevanju specifičnih područja koja izazivaju najviše poteškoća učenicima. Ovi rezultati mogu ukazati na nedostatke u nastavi ili konceptualnom razumijevanju koje treba adresirati kako bi se poboljšalo učeničko razumijevanje gravitacije u nastavi fizike. Također, rezultati će biti uspoređeni s prethodnim istraživanjima kako bi se utvrdilo je li učeničko razumijevanje u skladu s očekivanjima i usporedivo s drugim sličnim istraživanjima.

## 4 Rezultati

Za obradu rezultata istraživanja koristila sam softver Microsoft Excel kako bih provjerila i analizirala podatke. Prvo sam unijela sve prikupljene podatke o odgovorima učenika u tablicu u Excelu. Zatim sam koristila različite funkcionalnosti i alate Excela kako bih obavila analizu i dobila relevantne statističke informacije.

Jedan od prvih koraka bio je izračunavanje prosječnog rezultata za svaki razred, omogućujući usporedbu uspješnosti učenika između razreda. To sam postigla koristeći formule u Excelu koje su automatski izračunavale srednju vrijednost na temelju broja točnih odgovora i ukupnog broja sudionika za svako pitanje i razred. Na taj način sam dobila kvantitativne podatke o uspješnosti učenika u razumijevanju gravitacije. Osim toga, koristila sam dijagrame u Excelu kako bih vizualno prikazala rezultate istraživanja. Kreirala sam grafikone raspodjele točnih i netočnih odgovora za svako pojedino pitanje. Ovi grafikoni su mi omogućili bolje razumijevanje odgovora učenika i uvid u to koje pitanje je izazvalo najveće poteškoće ili najveći broj miskoncepcija. Usporedba uspješnosti učenika različitih razreda pruža dodatne informacije o napretku učenika tijekom obrazovanja i može ukazati na potrebu za prilagođavanjem nastavnih metoda i strategija u određenim razredima.

Za početak, usporedimo srednji uspjeh učenika osmog i drugog razreda. Usporedba srednjeg uspjeha učenika osmog razreda osnovne škole i drugog razreda srednje škole pokazuje razlike u postignućima na testu o razumijevanju gravitacije. U osmom razredu osnovne škole, srednja vrijednost rezultata bila je 7.1 bodova od ukupno 18 mogućih bodova, dok je u drugom razredu srednje škole srednja vrijednost rezultata iznosila 9.9 bodova od 18. U postotcima, srednji uspjeh učenika osmog razreda je 39% , a učenika drugog razreda 55%. Slika 2 prikazuje stupčasti dijagram usporedbe srednjeg uspjeha učenika osmog i drugog razreda te pripadne pogreške.



Slika 2. Srednji uspjeh učenika na cijelom testu u postotcima

Prikazane pogreške su standardne pogreške srednje vrijednosti. McHugh navodi: „Baš kao što je standardno odstupanje mjera raspršenja vrijednosti u uzorku, tako je standardna pogreška mjera raspršenja vrijednosti u razdiobi uzorkovanja. To znači da je ta pogreška mjera raspršenja srednjih vrijednosti uzoraka ukoliko se iz populacije uzelo mnogo različitih uzoraka.“ (McHugh, 2008) Računa se kao:

$$SE = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

Pri čemu je  $\sigma$  standardna devijacija, a  $n$  broj uzoraka (28).

Razred	Osmi	Drugi
<b>Srednji uspjeh/%</b>	39,3	55,0
<b>Standardna devijacija</b>	17,2	20,0
<b>Broj učenika</b>	28	28
<b>Standardna pogreška srednje vrijednosti</b>	3,2	3,8

Tablica 1. Usporedba srednjeg uspjeha riješenosti testa s pripadnim standardnim devijacijama, brojem učenika i standardnim pogreškama srednje vrijednosti

Kako bi se usporedio prosjek dviju skupina podataka koristi se t-test. T-test koristi t-distribuciju za izračunavanje vjerojatnosti da je razlika između prosjeka dviju skupina slučajna. Koristi se kada želimo saznati jesu li razlike između prosječnih vrijednosti dviju grupa stvarno

statistički značajne ili se jednostavno mogu pripisati slučajnosti. Ako je p-vrijednost manja od unaprijed određenog statistički značajnog nivoa (obično 0,05 ili 0,01), zaključujemo da su razlike između grupa statistički značajne, što znači da vjerojatno nisu posljedica slučajnosti i da postoje stvarne razlike između njih.

Osnovna pretpostavka t-testa je da su podaci u svakoj grupi normalno distribuirani i da imaju slične varijance. Također, t-test pretpostavlja da su podaci nezavisni. Za izračun p-vrijednosti koristila sam kalkulator na internet stranici (<https://www.graphpad.com/quickcalcs/ttest1/>) u kojoj sam kao parametre odabrala „Unpaired t test“, za koji sam unijela srednju vrijednost, standardnu devijaciju i broj ispitanika za osmi i drugi razred. Dobiveni rezultati prikazani su u Tablici 2.

<b>t</b>	3,1
<b>df</b>	54
<b>p-vrijednost</b>	0,0029
<b>Standardna pogreška razlike</b>	0,9

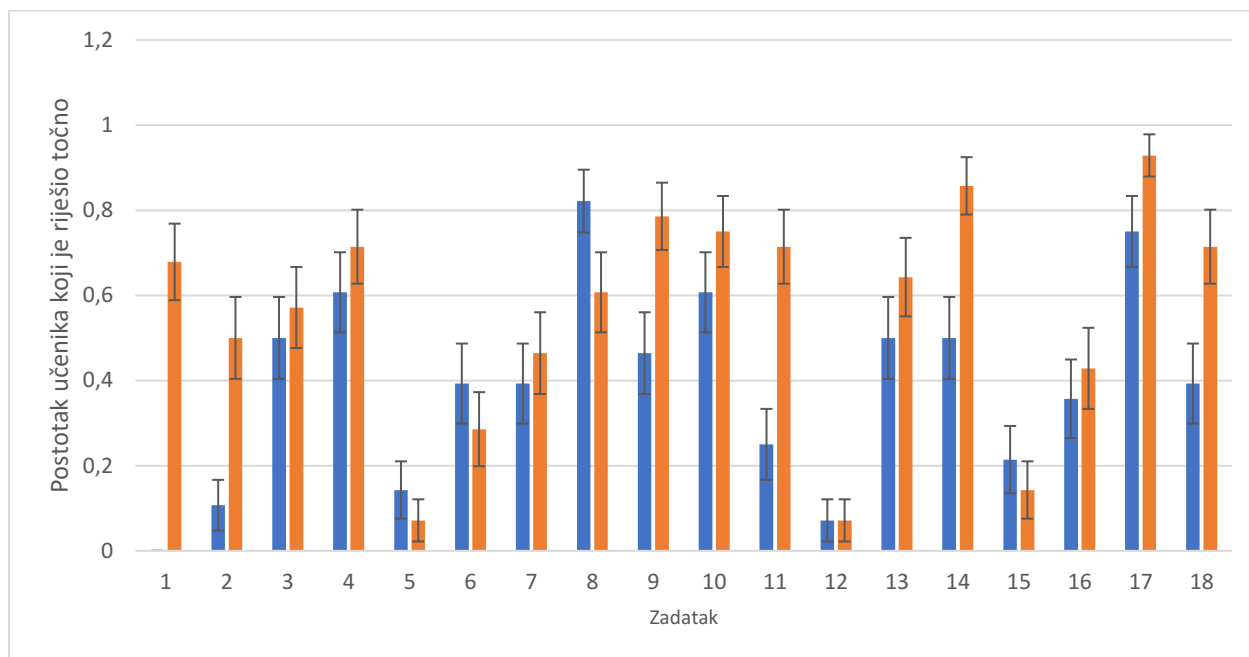
Tablica 2. Rezultati t-testa

Na temelju provedenog t-testa i dobivene p-vrijednosti od 0,0029 za prosječne rezultate osmog i drugog razreda, možemo zaključiti da postoji statistički vrlo značajna razlika između tih dviju skupina. Budući da je p-vrijednost (0,0029) puno manja od uobičajenog praga statističke značajnosti (0.05), imamo dovoljno statističkih dokaza da odbacimo nultu hipotezu. Nulta hipoteza u ovom kontekstu tvrdi da nema razlike između prosječnih rezultata osmog razreda i drugog razreda. S obzirom na to da je p-vrijednost vrlo mala, vjerojatnost da je promatrana razlika u prosječnim rezultatima samo slučajnost je vrlo niska. To znači da se prosječni rezultati osmog razreda i drugog razreda razlikuju na način koji nije vjerojatno objašnjiv slučajnostima i da ta razlika ima stvarnu statističku važnost. Važno je napomenuti da odbacivanje nulte hipoteze samo sugerira postojanje statističke razlike, ali ne daje nikakve informacije o veličini te razlike ili njezinom praktičnom značenju. Za to su potrebne dodatne analize i interpretacija rezultata.

Dakle, ovi podaci ukazuju na napredak učenika u razumijevanju gravitacije između osmog razreda osnovne škole i drugog razreda srednje škole. Učenici srednje škole pokazali su očekivano bolje razumijevanje gravitacije u usporedbi s učenicima osmog razreda. Ovi rezultati sugeriraju da nastava i obrazovni proces u srednjoj školi imaju pozitivan utjecaj na učeničko

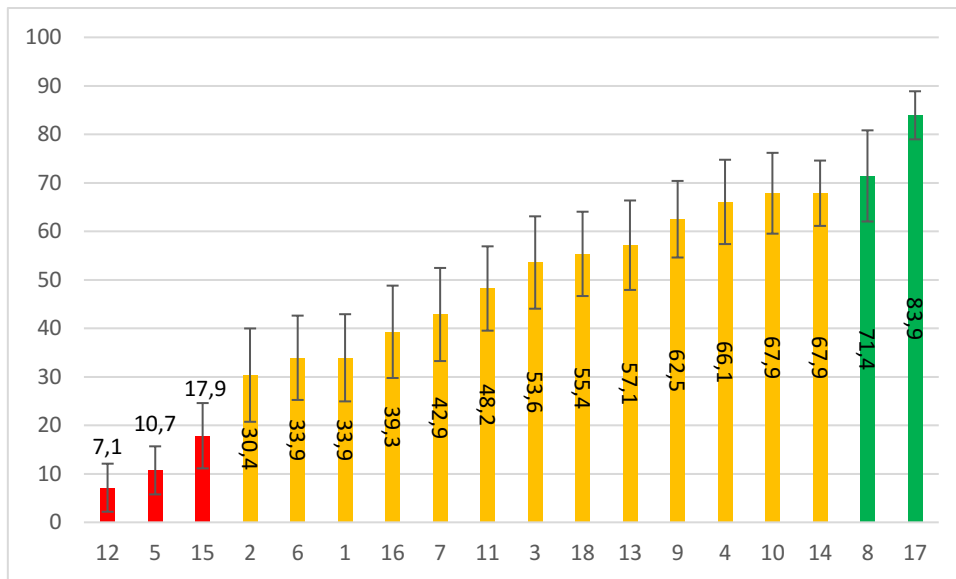
razumijevanje gravitacije. Međutim, ukupni rezultat čak i učenika srednje škole (55%) pokazuje da razvijeno razumijevanje nije dostatno.

Osim srednjeg uspjeha riješenosti možemo pogledati i graf prosječnog broja bodova za sve zadatke u oba razreda (osmi razred je prikazan plavom bojom, a drugi narančastom na stupčastom grafu). Grafički je prikaz na Slici 3.



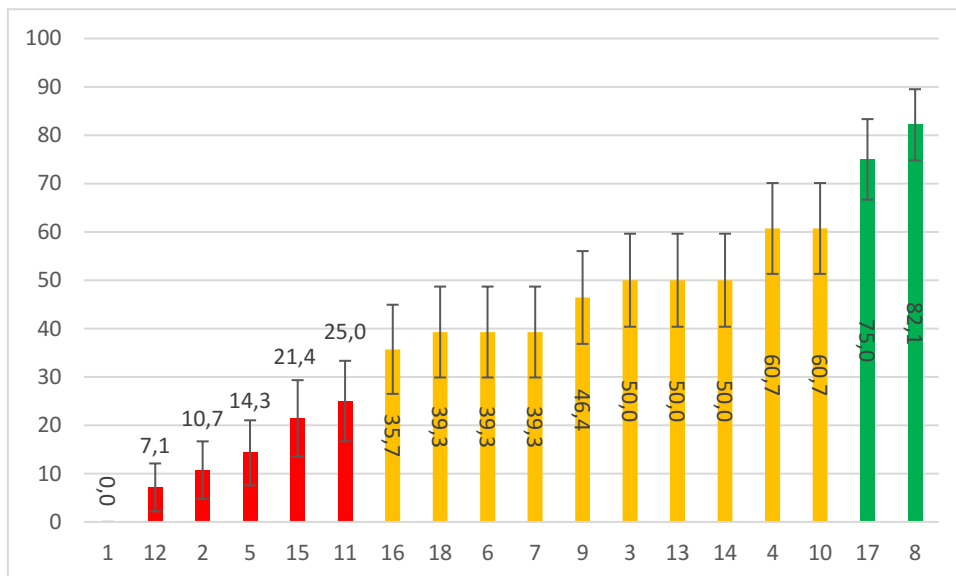
Slika 3. Prosječan broj bodova po zadacima

Iz grafa je vidljivo kako postoje zadatci s kojima su i učenici osmog i učenici drugog razreda imali velikih poteškoća, kao što su 5. i 12. zadatak. Također, niti jedan učenik osmog razreda nije točno riješio prvi zadatak, što je zabrinjavajući rezultat. Zanimljivo je da postoji zadatak koji su bolje riješili učenici osmog razreda, a to je osmi zadatak. Prosječan rezultat koji su ostvarili učenici osmog razreda na tom zadatku je  $(0.82 \pm 0.07)$ , a u drugom je razredu prosječan rezultat osmog zadatka  $(0.6 \pm 0.09)$ . Najviše učenika riješilo je osmi (točno je riješilo 40 učenika), deseti (točno je riješilo 38 učenika), četrnaesti (točno je riješilo 38 učenika) i sedamnaesti zadatak (točno je riješilo 47 učenika). Zadatke možemo poredati i po ukupnom postotku riješenosti (osmi i drugi razred zajedno) kao na Slici 4. Općenito, zadatci su laki ako im je postotak riješenosti veći od 70 %, teški ako im je postotak riješenosti manji od 30%, a srednje teški zadatci su ako im je postotak riješenosti između toga. Lake zadatke označit ću zelenom bojom, teške crvenom, a srednje narančastom na Slikama 4, 5 i 6.

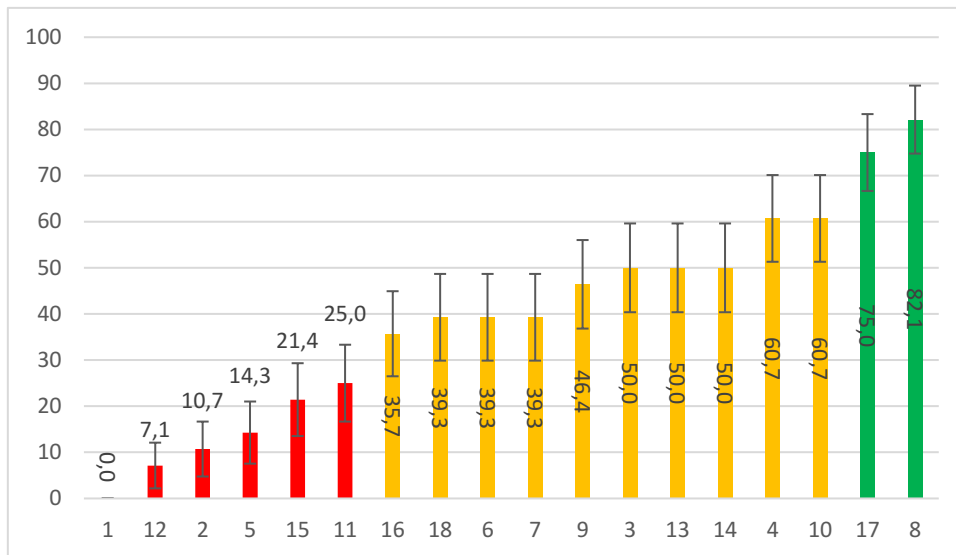


Slika 4. Ukupna riješenost zadataka u postotcima za obje skupine

Također možemo napraviti graf riješenosti za svaki razred posebno i dobiti raspodjelu zadataka po riješenosti za osmi i drugi razred na Slikama 5 i 6 respektivno.



Slika 5. Riješenost zadataka u postotcima (osmi razred)



Slika 6. Riješenost zadataka u postotcima (drugi razred)

Raspon riješenosti zadataka u osmom razredu je od 0 na prvom pitanju do 23 točna odgovora na osmo pitanje. U drugom razredu nema niti jedan zadatak na koji nitko nije točno odgovorio, ali raspon riješenosti zadataka je od 2 do 26 točnih odgovora. Sada kad smo obradili rezultate cjelokupnog testa, možemo prijeći na analizu rezultata po ishodima. Raspored pitanja po ishodima prikazan je u tablici ispod.

Ishod	Zadatak
1) Gravitacijska sila djeluje među svim tijelima s masom	3
2) Iznos gravitacijske sile ovisi o masama uključenih tijela i udaljenostima među njima	4, 10, 11, 18
3) Pri gravitacijskom međudjelovanju, oba tijela djeluju silama jednakih iznosa, a gravitacijska sila može biti samo privlačna i djeluje duž spojnice tijela	5, 14, 15
4) Gravitacijska sila djeluje stalno, ne samo pri padu tijela	12, 17

5) Gravitacijska sila ne ovisi o prisustvu atmosfere, niti je povezana s atmosferskim tlakom	1, 2
6) Gravitacijska sila ne treba sredstvo (zrak) da bi djelovala i neovisna je o drugim silama i utjecajima	6, 7, 8, 9, 16
7) Ubrzanje sile teže nije jednako na različitim planetima, a time niti gibanje tijela na njima	13

*Tablica 3. Popis ishoda i pripadnih zadataka*

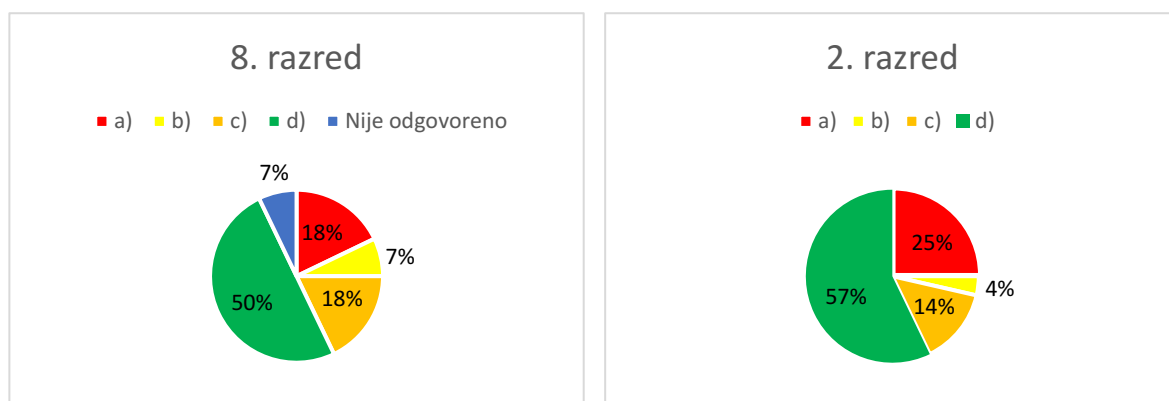


#### 4.1 Gravitacijska sila djeluje među svim tijelima s masom

Ovaj ishod odnosi se na učestalu miskoncepciju da gravitacijskom silom međudjeluju samo tijela velike mase, poput planeta. U ovaj ishod pripada treće pitanje, prikazano u Okviru 1.

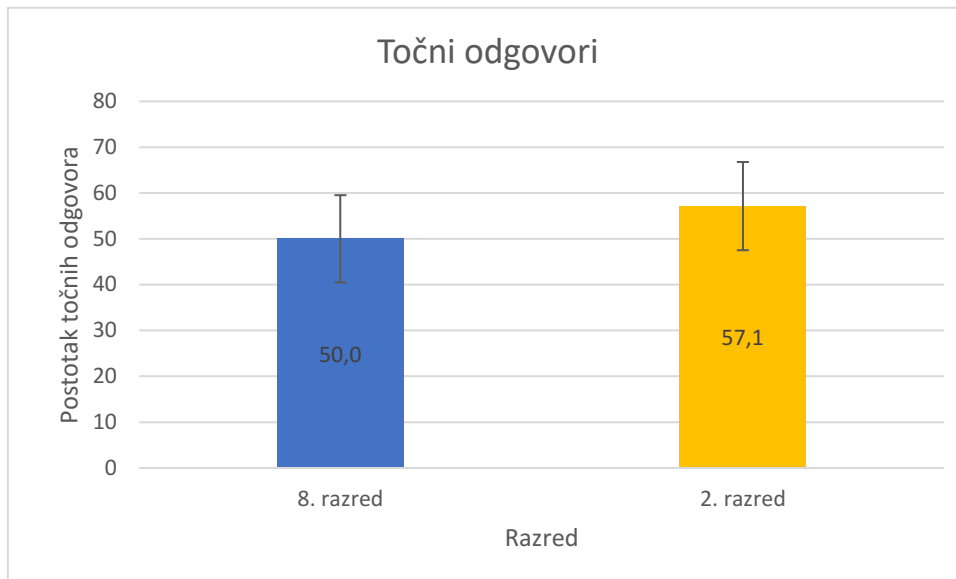
3. Koji je uvjet da bi tijelo djelovalo gravitacijskom silom na druga tijela, makar ta sila bila i vrlo mala?
- a) Tijelo mora imati jako veliku masu, poput planeta i zvijezda, da može djelovati gravitacijskom silom na druga tijela.
  - b) Tijelo mora imati barem masu usporedivu s masom čovjeka ili veću da bi moglo djelovati gravitacijskom silom na druga tijela.
  - c) Samo Zemlja može djelovati gravitacijskom silom na druga tijela.
  - d) Sva tijela djeluju gravitacijskom silom na druga tijela, ma kako mala bila njihova masa.

Okvir 1. Zadatak 3. iz testa



Slika 7. Raspodjela odgovora na 3. pitanje

Točan je odgovor u ovom slučaju bio odgovor pod d). Između svaka dva tijela, koja imaju neku masu, ma koliko ona mala bila, postoji gravitacijska sila. Gravitacijska sila između dva čovjeka je toliko mala da je zanemariva, ali to ne znači da ne postoji. Upravo zbog tog zanemarivanja i „ne osjećanja“ te sile u svakodnevnom životu, učenici imaju iskrivljenu ideju o masama tijela koja gravitacijski međudjeluju. Mali iznos gravitacijske sile između većine tijela iz svakodnevnog života posljedica je malog iznosa univerzalne gravitacijske konstante, koja iznosi  $G = 6,67 \times 10^{-11} \text{ Nm}^2\text{kg}^{-2}$ . Ovaj bi zadatak prema ukupnoj riješenosti bio srednje težak zadatak, jer je u oba slučaja riješenost zadatka oko 50%.



Slika 8. Usporedba broja točnih odgovora na 3. pitanje

U osmom je razredu ostalih 14 odgovora bilo većinski raspodijeljeno među a) i c) odgovorima uz poneko b) te pitanja bez odgovora. U drugom razredu nije bilo neodgovorenih pitanja, ali je odgovor pod a) bio dominantno odabran u usporedbi s ostalim netočnim odgovorima. Takva je raspodjela potpuno u skladu s mojim očekivanjima i podupire teoriju po kojoj učenici smatraju da samo tijela velike mase (planeti) mogu međudjelovati gravitacijskom silom s ostalim tijelima. U grafu ispod, kao i svakom „pita“ grafu u ovom radu, zelena boja označava točan odgovor, crvena najčešći pogrešni, narančasta i žuta ostale pogrešne odgovore, a plava one koji nisu odgovorili na pitanje. Većina učenika koji su zaokružili točan odgovor u osmom razredu kao obrazloženje je napisalo da sva tijela koja imaju masu mogu djelovati gravitacijskom silom na druga tijela.

Istaknula bih jedno obrazloženje učenika/ice osmog razreda koje je u osnovi točno, premda nespretno formulirano (tijela nemaju silu): „Smatram da sva tijela imaju gravitacijsku silu, samo ju ne prepoznavamo radi toga što je neusporediva sa silom Zemlje“. Objašnjenja najčešćih pogrešnih odgovora u osmom su razredu bila u smjeru toga da samo planeti mogu djelovati gravitacijskom silom „jer su planeti veliki...“, a jedno je obrazloženje bilo i „Ako nema dovoljno veliku masu ne može djelovati grav. silom. Npr. avion. On ima veliku masu, ali nema grav.silu.“ U drugom razredu su obrazloženja onih koji su odabrali točan odgovor bila pretežito dobra poput: „Svako tijelo s masom ima svojstvo privlačenja što je masa veća, veća je i sila privlačenja“. Postotak učenika drugog razreda koji je odabrao odgovor pod a) veći je od postotka učenika koji su taj odgovor odabrali u osmom razredu, ali je podjednako učenika u

oba razreda koji su odabrali distraktore a) ili c) koji oba kao ideju imaju da samo velika tijela mogu djelovati gravitacijskom silom.

Ideja za ovaj ishod i pitanje došla je iz poglavlja „7.1 Misapplication of mass“ članka Student Understanding of Gravity in Introductory College Astronomy (Williamson & Willoughby, 2012) u kojem su čak i studenti upisani na uvodni kolegij astronomije na fakultetu smatrali da samo teška tijela mogu međudjelovati gravitacijski. Općenito, u osnovnoj školi, nastava fizike obuhvaća osnovne pojmove o silama, uključujući i gravitacijsku silu, ali se ne ulazi u dublju analizu i matematičke modele koje se uče u srednjoj školi. Međutim, trebalo bi napomenuti da gravitacijska sila postoji između svih tijela s masom, kao što je često napisano i u udžbenicima: „Gravitacijskom silom međudjeluju sva tijela koja imaju masu.“ (Dropuljić, et al., 2020) U prirodoslovno-matematičkoj gimnaziji, nastava fizike je puno naprednija i detaljnija. U ovim školama studenti se obično upućuju u Newtonov zakon gravitacije, a samim time se daje i fizikalno značenje formule da između bilo kojih dvaju tijela postoji gravitacijska sila, ukoliko ta tijela imaju masu. Ovaj bi ishod trebao biti potpuno ostvaren i u osnovnoj i u srednjoj školi. Rezultati nam pak pokazuju malo drugačiju sliku. Tek malo više od polovice svih učenika je zaokružilo točan odgovor na ovo pitanje, od čega nisu svi točno obrazložili zašto je odgovor pod d) točan. Nakon obrade gradiva o gravitaciji i dalje postoji kriva predodžba o masi tijela koja međudjeluju gravitacijskom silom. Moguće objašnjenje zašto je tome tako je vidljivost i primjetnost gravitacijske sile velikih tijela. Planeti imaju velike mase i često su dovoljno daleko od nas da možemo primijetiti njihove efekte na druga tijela poput njihovih orbita oko Sunca ili interakcija s drugim nebeskim tijelima. S druge strane, međusobne gravitacijske interakcije manjih tijela, poput svakodnevnih predmeta na Zemlji, nisu primjetne, jer su mase tih tijela mnogo manje, osim u interakciji sa Zemljom. Vjerojatno zato i mali, ali nezanemariv udio učenika obiju škola smatra da samo Zemlja djeluje gravitacijski na druga tijela (odgovor c).

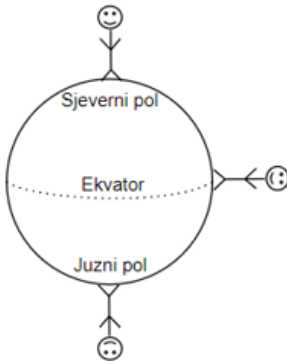
#### 4.2 Iznos gravitacijske sile ovisi o masama uključenih tijela i udaljenostima među njima

Ovim ishodom ispituje se učeničko kvalitativno razumijevanje ovisnosti iznosa gravitacijske sile o masama tijela koja međudjeluju, kao i udaljenosti između tih tijela. Pitanja kojima se ispitivala ostvarenost ovog ishoda bila su četvrto, deseto, jedanaesto i osamnaesto.

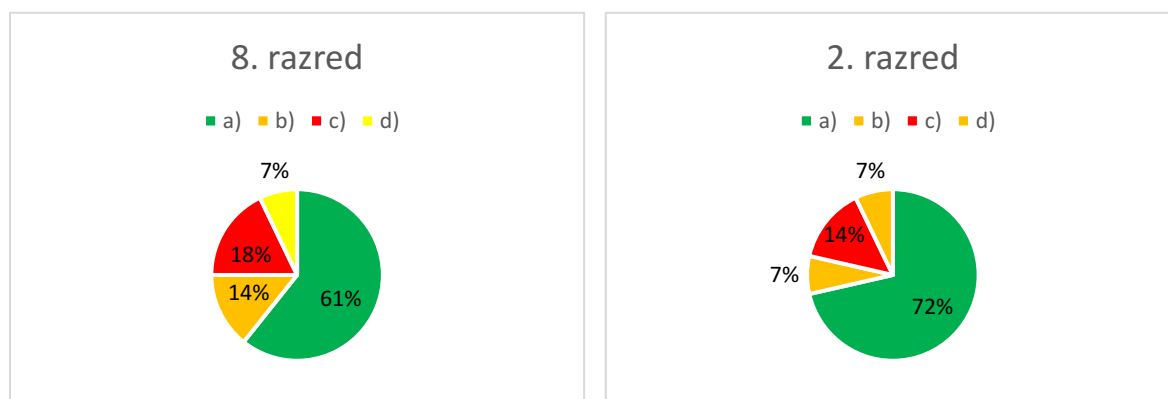
Prvo pitanje u testu koje pripada ovom ishodu bilo je četvrto pitanje (Okvir 2).

4. Pretpostavimo da je Zemlja **savršeno okrugla** i da osoba hoda od sjevernog do južnog pola kako prikazuje crtež. Koliko bi jaka bila gravitacijska sila Zemlje na osobu na različitim mjestima na Zemlji?

- a) Svugdje jednako jaka.
- b) Najjača na Sjevernom polu.
- c) Najjača na ekvatoru.
- d) Najjača na Južnom polu.



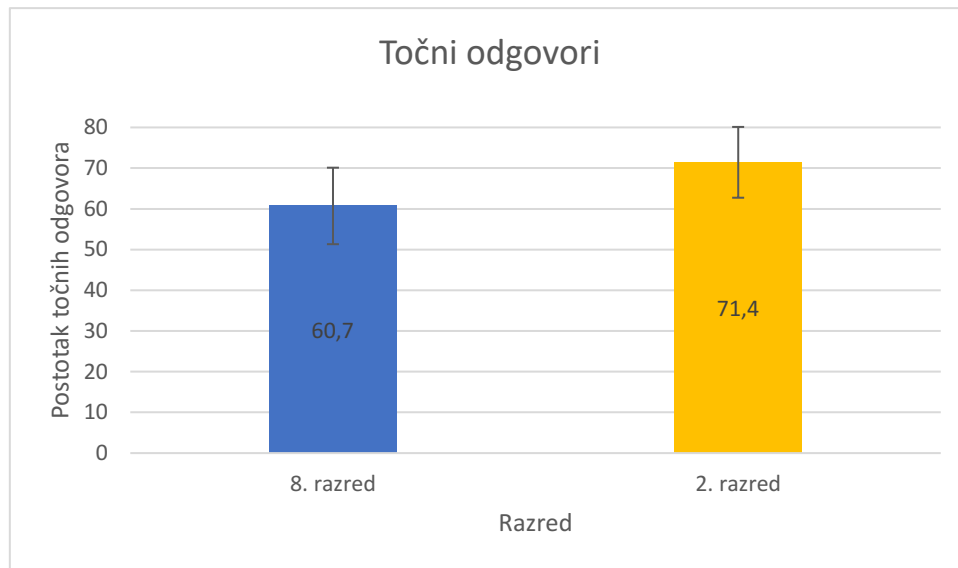
Okvir 2. Zadatak 4. iz testa



Slika 9. Raspodjela odgovora na 4. pitanje

Budući da je Zemlja predstavljena kao savršeno okrugla, osoba (stalne mase) se nalazi na jednakoj udaljenosti od središta Zemlje na svim mjestima na Zemlji što znači da bi točan odgovor bio pod a) Svugdje jednako jaka. Ovo je pitanje riješilo 66% od ukupnog broja

ispitanika. Gledano po razredima, točno je odgovorilo 61% učenika osmog razreda i 72% učenika drugog razreda. Ako bismo gledali težinu zadatka prema postotku riješenosti, četvrto pitanje prema tim rezultatima spada među lakša pitanja za srednju školu sa 72% riješenosti i srednje teško pitanje za osnovnu školu s 61% riješenosti. Usporedba riješenosti učenika u osmom i drugom razredu je na Slici 10.



Slika 10 Usporedba broja točnih odgovora na 4. pitanje

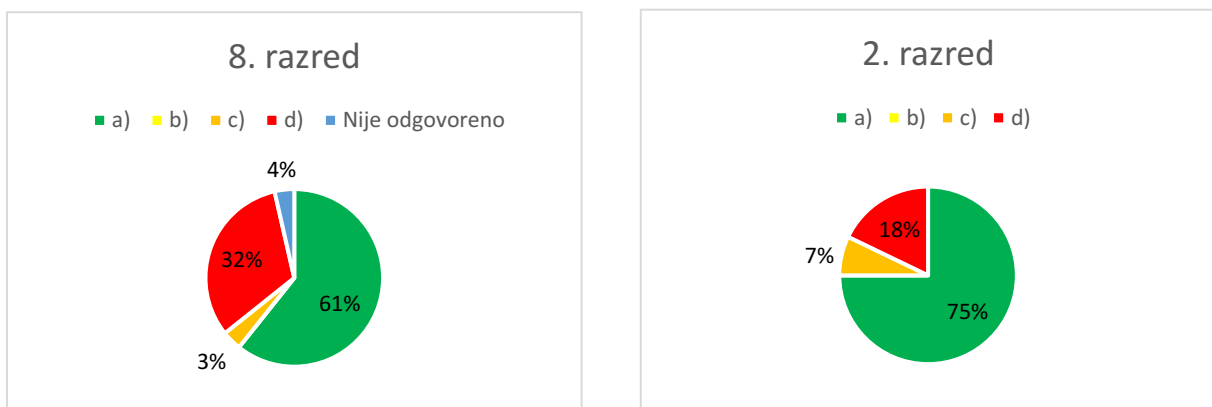
Iako je u oba razreda točan odgovor bio najzastupljeniji, u oba je razreda odgovor pod c) bio najčešće odabran distraktor s čak pet učenika u osmom i četiri učenika u drugom razredu. Učenici osmog razreda kao i učenici drugog razreda obrazložili su odabir točnog odgovora time da je udaljenost jednaka na svakom dijelu Zemlje jer je u pitanju pretpostavljeno da je Zemlja savršena kugla. Tri su učenika drugog razreda u svojem obrazloženju konstatirala kako su i masa osobe i Zemlje i udaljenost jednaki na sva tri mjesta te je stoga i gravitacijska sila Zemlje na osobu ista na tim mjestima „ $r$  je svagdje isti, tako da je  $r^2$  svagdje isti, a masa Zemlje i osobe se ne mijenja.“ Netočni odgovori najvećim dijelom dolaze od toga da učenici nisu pročitali pitanje s razumijevanjem (dio o savršenoj kugli). Jedan je učenik/učenica osmog razreda obrazložio odabir tog odgovora s objašnjenjem „Zato što je tu zemlja najveća“. Ovi se rezultati poklapaju i s istraživanjem provedenim na Sveučilištu u Montani, opisanim u doktorskoj disertaciji dr. sc. Kathryn Elizabeth Williamson, gdje se došlo do zaključka da bi to moglo biti

povezano s time da se „...osoba na ekvatoru vrti najvećom brzinom.“ (Williamson, 2013) Zato bi rotacija na neki način doprinijela jakosti gravitacije.

Sljedeće pitanje kojim se ispituje drugi ishod je deseto.

10. Istu knjigu prenesemo s razine mora na vrh Mt. Everesta. Što se pritom dogodi s masom knjige i gravitacijskom silom Zemlje na knjigu?
- a) Masa knjige ostane ista, a gravitacijska sila na knjigu se promijeni.
  - b) I masa knjige i gravitacijska sila na knjigu se promijene.
  - c) Masa knjige se promijeni, a gravitacijska sila na knjigu ostane ista.
  - d) I masa knjige i gravitacijska sila na knjigu ostanu iste.

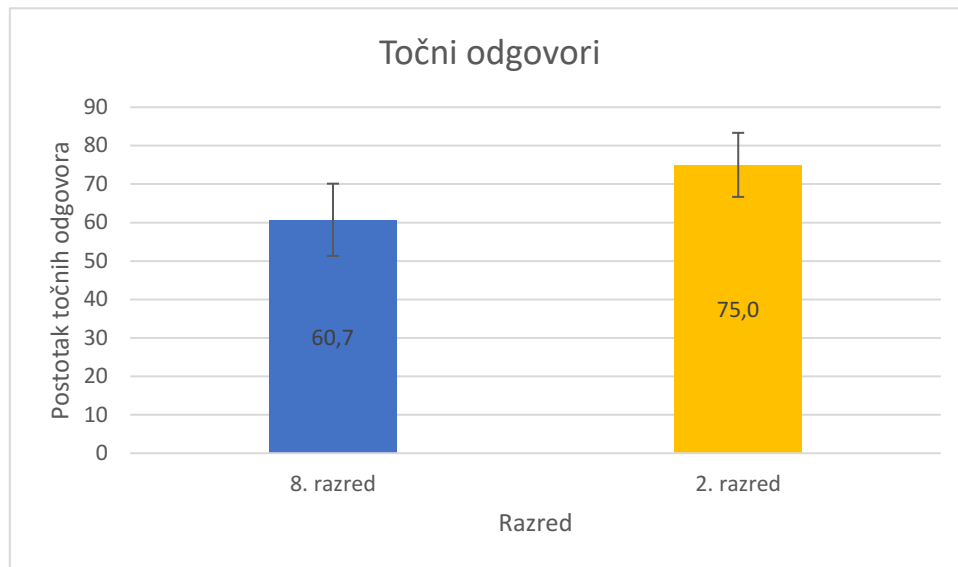
Okvir 3. Zadatak 10. iz testa



Slika 11. Raspodjela odgovora na 10. pitanje

Masa tijela ne ovisi o visini na kojoj se tijelo nalazi. Gravitacijska sila Zemlje na tijelo ovisi o njegovoj masi i udaljenosti od središta Zemlje. Premještanjem knjige na vrh Mt. Everesta, udaljenost između knjige i središta Zemlje se mijenja, stoga će se i gravitacijska sila Zemlje na knjigu promijeniti. Važno je napomenuti da gravitacijska sila slabi s povećanjem udaljenosti od središta Zemlje. Na vrhu Mt. Everesta, tijelo će iskusiti malo manju gravitacijsku silu nego na razini mora, ali će ta razlika biti vrlo mala, jer je visina Mt. Everesta u odnosu na veličinu Zemlje relativno mala. Ovo je također razlog zašto se naša svakodnevna iskustva s gravitacijom ne mijenjaju značajno kad putujemo s različitim nadmorskih visina. Dakle, premještanjem knjige na vrh Mt. Everesta gravitacijska sila Zemlje na knjigu će se promijeniti, budući da se udaljenost mijenja, ali ta promjena neće utjecati na masu knjige što je opisano u odgovoru pod a). Uz riješenost od 61% ovo je srednje težak zadatak u osmom razredu, a lagan

u drugom razredu (75%). Postoji mali napredak u broju učenika koji su zaokružili točan odgovor u drugom razredu što je vidljivo na Slici 10.



Slika 12. Usporedba broja točnih odgovora na 10. pitanje

Uz velik broj točnih odgovora, najčešće odabran netočan odgovor bio je da se ne mijenjaju niti masa niti gravitacijska sila na knjigu. Takvo razmišljanje vjerojatno dolazi od toga da u svakodnevnom iskustvu učenici obično ne mogu primijetiti velike razlike u gravitacijskoj sili na predmete koje se nalaze na različitim nadmorskim visinama. Detaljna raspodjela odgovora je na Slici 11. U oba razreda nema niti jedan učenik koji smatra da se obje fizikalne veličine promijene, a samo su tri učenika u oba razreda koja smatraju da se masa tijela mijenja ovisno o visini na kojoj se nalazi. U osmom razredu obrazloženja su većinom bila u smjeru toga da se masa tijela ne mijenja, a gravitacijska sila ovisi o visini na kojoj se tijelo nalazi pa je tako jedan učenik/učenica napisao/napisala „Udaljenost od tijela mijenja gravitacijsku silu, a masa tijela se ne mijenja.“ Od devet učenika osmog razreda koji su odabrali odgovor d) jedno obrazloženje upućuje upravo na problem neprimjetnosti razlike u svakodnevnom životu, pa je tako svoj odabir obrazložio/obrazložila na sljedeći način: „Visina nije dovoljno velika da se osjeti promjena.“ Najviše obrazloženja odgovora pod d) bilo je poput: „One su svugdje na Zemlji iste, i gravitacijska sila i masa knjige.“ U drugom razredu su obrazloženja bila vrlo slična, ali je glavna razlika u tome što su u osnovnoj školi učenici pisali da će se gravitacijska sila na knjigu promijeniti (ne znamo točno misle li da će se povećati ili smanjiti), a skoro svi učenici srednje škole koji su odabrali odgovor a) obrazložili su kako se

masa tijela ne mijenja, ali se gravitacijska sila smanjuje „Masa uvijek ostaje ista, a sila slabi s visinom, tj. udaljenošću od centra Zemlje“. Dva učenika/učenice koji su odabrali odgovor c) imali su suprotna mišljenja što bi se dogodilo s masom „Možda se malo poveća masa zbog tlaka“ i „Lakši smo“. Odgovor d) većinom je imao interpretaciju da „... visina ne utječe na gravitacijsku silu...“, a očito je postojao i problem s razumijevanjem da je visina na kojoj se tijelo nalazi isto što i udaljenost od središta „Gravitacijski iznos se ne mijenja s visinom nego od odredišta na kojem se nalazimo.“

Za obradu rezultata drugog ishoda analizirali smo i odgovore učenika na pitanje 11, koje je prikazano na Okviru 4.

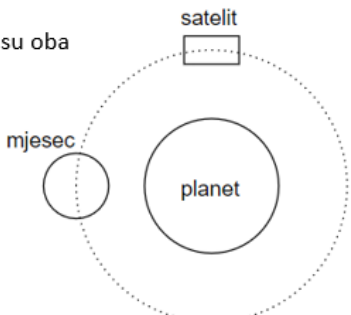
11. Neki planet ima mjesec i umjetni satelit koji kruže oko njega. Mjesec ima **veću masu** od satelita, a oba kruže na jednakoj udaljenosti od planeta (crtež). Što vrijedi za gravitacijsku silu planeta na mjesec i satelit?

a) Planet djeluje jednakom gravitacijskom silom na mjesec i na satelit, jer su oba na jednakoj udaljenosti od njega.

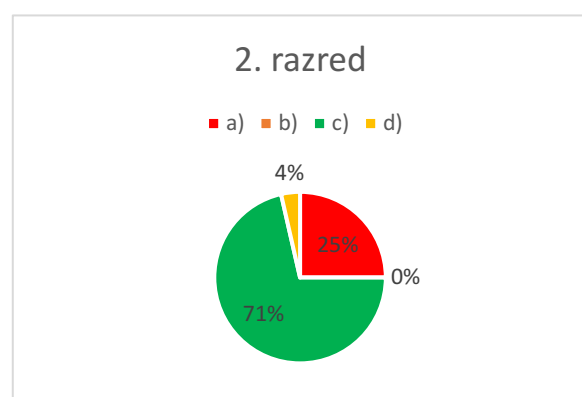
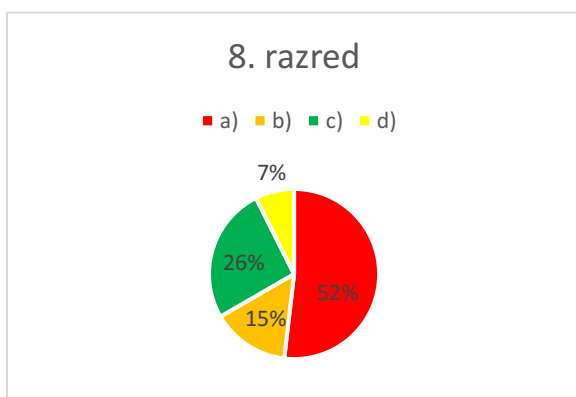
b) Planet ne djeluje gravitacijskom silom ni na mjesec, ni na satelit, jer su oba izvan njegove atmosfere.

c) Planet djeluje jačom gravitacijskom silom na mjesec nego na satelit, jer je mjesec veće mase.

d) Planet djeluje jačom gravitacijskom silom na satelit nego na mjesec, jer je satelit manje mase.



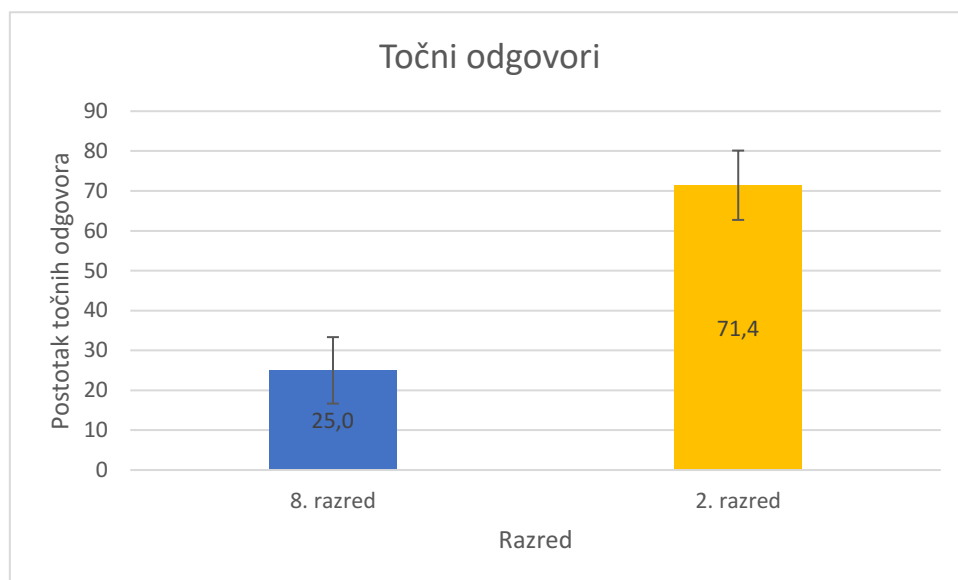
Okvir 4. Zadatak 11. iz testa



Slika 13. Raspodjela odgovora na 11. pitanje



Ovim se pitanjem ispitivalo učeničko razumijevanje koncepta gravitacijske sile u kontekstu masivnih tijela koja se kreću u orbiti oko planeta. Učenicima se postavila situacija koja zahtijeva primjenu znanja o ovisnosti iznosa gravitacijske sile o masama kako bi se odabralo ispravno objašnjenje. Prikazana im je situacija u kojoj mjesec ima veću masu od satelita, a oba se nalaze na jednakoj udaljenosti od planeta. Njihov zadatak bio je odabrati odgovor koji najbolje opisuje odnos iznosa gravitacijske sile planeta na mjesec i satelit. Od četiri ponuđena odgovora, točan odgovor je pod c) Planet djeluje jačom gravitacijskom silom na mjesec nego na satelit, jer je mjesec veće mase. Rezultati pokazuju da je od 28 učenika osmog razreda, 7 odgovorilo točno na ovo pitanje. S druge strane, od 28 učenika drugog razreda matematičke gimnazije, njih 20 je dalo točan odgovor. Grafički prikaz rezultata je na Slici 14.



Slika 14. Usporedba broja točnih odgovora na 11. pitanje

Ovi rezultati ukazuju na razlike u razumijevanju gravitacijske sile ovisno o razini obrazovanja. Učenici drugog razreda pokazali su znatno bolje razumijevanje koncepta u usporedbi s učenicima osmog razreda osnovne škole. Razlike u broju točnih odgovora između učenika osmog razreda osnovne škole i učenika drugog razreda srednje škole mogu proizaći iz činjenice da u srednjoj školi učenici dobivaju matematički opis gravitacijske sile. Učenicima se predstavlja matematički model koji opisuje gravitacijsku silu. Ovo matematičko opisivanje gravitacijske sile omogućuje im preciznije razumijevanje ovisnosti iznosa te sile o masama tijela. S druge strane, razumijevanje gravitacijske sile u osmom razredu temelji se na općim pojmovima i intuiciji, što često rezultira miskoncepcijama kod učenika.

Sedam učenika koji su odgovorili točno u osmom razredu obrazložilo je svoje odgovore time da je mjesec veći, što bi značilo da imaju ideju da planet s tijelom veće mase međudjeluje jačom silom nego s tijelom manje mase na istoj udaljenosti. Veći dio učenika odgovorio je da je gravitacijska sila između planeta i mjeseca jednaka gravitacijskoj sili između planeta i satelita, jer su na istoj udaljenosti. Ovo prikazuje da učenici imaju ideju da bi gravitacijska sila mogla ovisiti o udaljenosti, ali zanemaruju činjenicu da bi mogla ovisiti i o masama tijela između kojih postoji sila. Posebno mi je bilo zanimljivo objašnjenje odgovora pod a) da „Gravitacija djeluje isto na sva tijela.“ To je je možda posljedica učenja o slobodnom padu, pri kojem sva tijela padaju jednakom akceleracijom. U osmom su se razredu neki učenici odlučili i za odgovor b) s objašnjenjem da gravitacijska sila ne djeluje ni na satelit ni na mjesec, jer su predaleko. Problem tzv. graničnog modela (eng. the boundary model (Williamson & Willoughby, 2012)) bit će detaljno objašnjen kasnije u radu. Neki su učenici odabrali i odgovor d) uz obrazloženje da mjesec ima svoju gravitaciju, a satelit ne, što ukazuje na još jednu poteškoću. U drugom je razredu većina obrazloženja bio Newtonov zakon gravitacije. Šestero učenika od onih koji su odgovorili točno svelo je formulu  $F_G = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$  na umnožak mase i ubrzanja sile teže, a jedan točno zaokruženi odgovor bio je obrazložen formulom za gravitacijsku potencijalnu energiju.

Posljednje pitanje koje spada u drugi ishod bilo je osamnaesto.

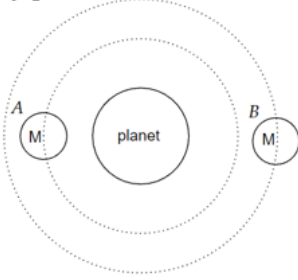
18. Neki planet ima dva jednaka mjeseca (na slici označena s A i B), koji kruže oko njega na različitim udaljenostima. Što vrijedi za gravitacijsku silu planeta na mjesece?

a) Planet djeluje jednakom gravitacijskom silom na oba mjeseca.

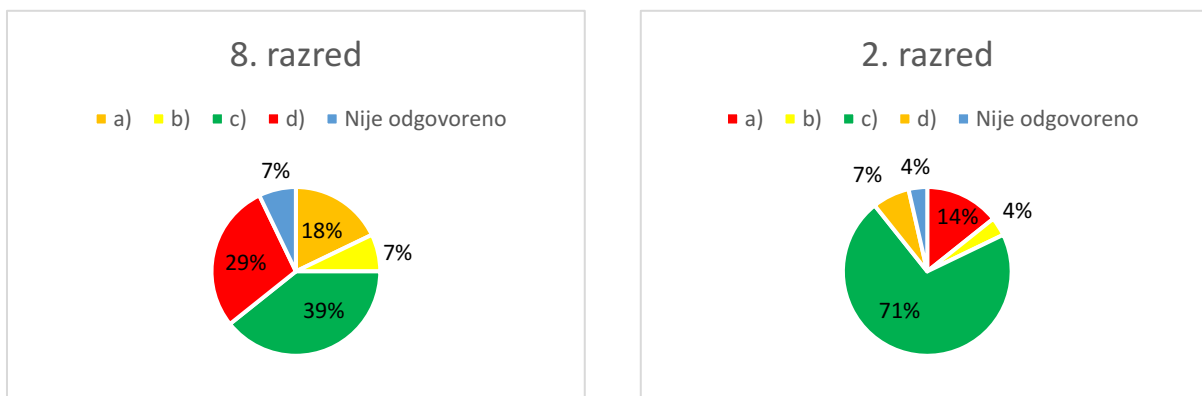
b) Planet ne djeluje gravitacijskom silom na mjesece, jer su izvan njegove atmosfere.

c) Planet djeluje jačom gravitacijskom silom na mjesec A, jer mu je on bliže.

d) Planet djeluje jačom gravitacijskom silom na mjesec B, jer je on dalje od njega.

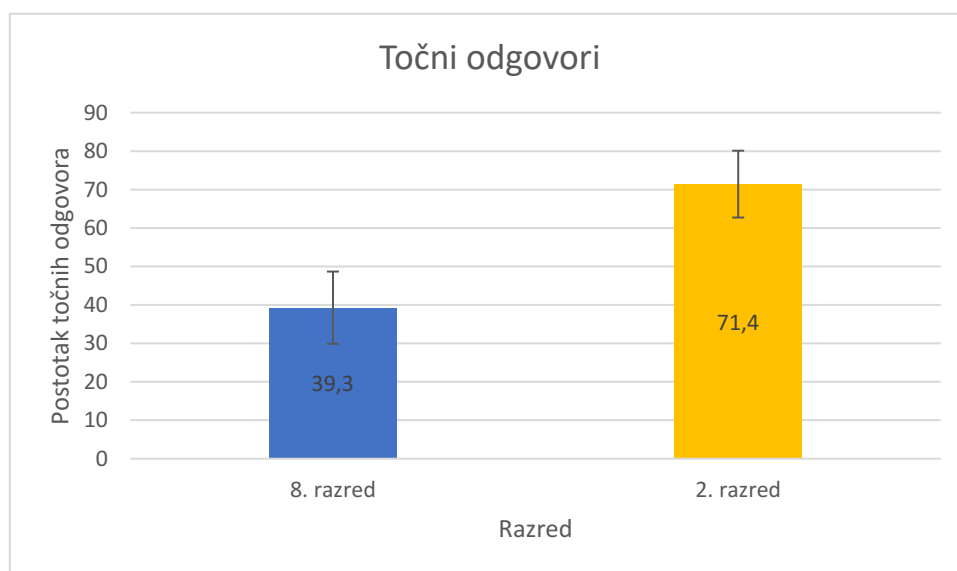


Okvir 5. Zadatak 18. iz testa



Slika 15. Raspodjela odgovora na 18. pitanje

Ovo je pitanje vrlo slično prethodnom pitanju, međutim, u ovom pitanju imamo tijela istih masa  $M$  na različitim udaljenostima, dok su u zadatku jedanaest dva tijela različitih masa na istoj udaljenosti od planeta. Budući da su tijela A i B jednake mase, gravitacijska sila planeta na mjesec A koji je na manjoj udaljenosti od njega je jača. Prema tome, odgovor pod c) je točan. Ovo je zadatak koji ima velik pomak u težini ukoliko uspoređujemo Sliku 5 i Sliku 6 tj. zadatak je bio puno teži učenicima osmog razreda nego učenicima drugog razreda. U postotku, 39% učenika osmog razreda i 71% učenika drugog razreda odabralo je odgovor c).



Slika 16. Usporedba broja točnih odgovora na 18. pitanje

Usporedimo li to s jedanaestim zadatkom, broj točnih odgovora u drugom razredu srednje škole je jednak, ali u osmom razredu je na osamnaesto pitanje bilo više točnih odgovora. Zanimljivo je da su samo tri osobe u osmom razredu imale točno odgovorena oba pitanja i to vjerojatno slučajno, jer nema nikakvog obrazloženja zašto su odabrani baš ti odgovori. Od jedanaest učenika osmog razreda koji su odgovorili točno na ovo pitanje, osam ih je odgovorilo na prethodno kako jednaka sila djeluje na oba tijela iako su različitih masa što bi moglo ukazati na to da smatraju da gravitacijska sila ovisi o udaljenosti na kojoj se tijelo nalazi, ali ne i o masi tijela. U osmom su razredu učenici dosta podijeljeni oko točnog odgovora dok je u drugom razredu ta podjela manja. U drugom je razredu situacija malo bolja, od dvadeset učenika koji su odabrali točan odgovor na osamnaesto pitanje, četrnaest ih je točno odgovorilo i na jedanaesto pitanje, ali ih je samo osam točno obrazložilo oba odabrana odgovora. Većina objašnjenja u osmom razredu jednostavno je bila „jer je mjesec A bliže“, dok su se učenici drugog razreda većinom pozivali na formulu kojom se računa iznos gravitacijske sile između dva tijela na udaljenosti  $r$ . U osmom je razredu najzastupljeniji netočan odgovor bio d) uz obrazloženje „Djeluje jače, jer treba održati B na toj udaljenosti“. Logika učenika koji su odabrali odgovor a) išla je u smjeru toga da je gravitacijska sila jednaka na sva tijela pa je jedno obrazloženje bilo „Jer djeluje isto bez obzira na udaljenost.“ Vrlo slično razmišljali su i učenici drugog razreda koji su odabrali odgovor a) „...jer udaljenost ne utječe na  $F_g$ “.

Sva četiri pitanja istražuju kako gravitacijska sila ovisi o masama uključenih tijela (knjiga, mjesec, satelit, osoba) i udaljenostima među njima. Na sva pitanja unutar ovog ishoda, veći broj učenika drugog razreda odgovorio je točno u usporedbi s brojem učenika osmog razreda. Međutim, taj rezultat nije iznenađujući. U osnovnoj školi ne postoji ishod koji zahtijeva definiranje matematičkog opisa gravitacijske sile, već se nju spomene opisno u sklopu ishoda „FIZ OŠ B.7.2. Analizira međudjelovanje tijela te primjenjuje koncept sile.“ (Ministarstvo znanosti i obrazovanja RH, 2019) S druge strane, u prirodoslovno matematičkim gimnazijama postoji ishod „FIZ SŠ C.1.7. Primjenjuje zakon gravitacije i analizira gibanje Zemlje i nebeskih tijela.“ (Ministarstvo znanosti i obrazovanja RH, 2019) Podrazumijeva se da će nakon uspješno savladane nastave u srednjoj školi, učenik biti u mogućnosti razumjeti osnovne principe Newtonovog zakona gravitacije, koji opisuje silu privlačenja između tijela s masama te će moći primijeniti taj zakon na različite situacije. Također, učenik će moći analizirati i objasniti gibanje Zemlje i drugih nebeskih tijela, uključujući planete, mjesec, zvijezde i ostale objekte u svemiru. Unatoč dobrim rezultatima na pitanja ovog ishoda i dalje postoje problemi u shvaćanju kako iznos gravitacijske sile ovisi o masama uključenih tijela i udaljenostima među njima. Za

potpuno razumijevanje zakona gravitacije i analizu gibanja tijela u svemiru, često je potrebno koristiti matematičke formule i koncepte. Učenicima u osmom razredu to je još nepoznato, a učenici koji se u srednjoj školi suočavaju s poteškoćama u matematici mogu imati problema s primjenom ovih zakona i formula zbog kvadratne ovisnosti i velikih brojeva. Gibanje nebeskih tijela, poput planeta i mjeseca, može biti složeno i neintuitivno, a razumijevanje orbitalnih kretanja i drugih astronomskih pojava može predstavljati izazov. No, ključno je razviti prije matematičke primjene osnovno kvalitativno razumijevanje zakona gravitacije, što još uvijek nije posve postignuto niti u srednjoj školi, kako podaci sugeriraju.

**4.3 Pri gravitacijskom međudjelovanju, oba tijela djeluju silama jednakih iznosa, a gravitacijska sila može biti samo privlačna i djeluje duž spojnice tijela**

Treći Newtonov zakon tvrdi da ako tijelo A djeluje silom na tijelo B, tijelo B djeluje na tijelo A silom jednakog iznosa, ali u suprotnom smjeru. U kontekstu gravitacijskog međudjelovanja, ovaj zakon znači da ako jedno tijelo privlači drugo gravitacijskom silom, drugo tijelo djeluje na prvo privlačnom silom istog iznosa, ali suprotnog smjera. Tri su pitanja u testu koja pripadaju ovom ishodu, peto, četrnaesto i petnaesto.

Peto pitanje često je pitanje kojim se ispituje i razumijevanje trećeg Newtonovog zakona.

5. Jabuka pada na Zemlju zbog gravitacijskoga privlačenja između nje i Zemlje. Označi li se sila kojom Zemlja privlači jabuku s  $F_{Zemlje}$ , a sila kojom jabuka privlači Zemlju s  $F_{jabuke}$ , u kakvome su odnosu iznosi tih dviju sila?
- a)  $F_{Zemlje} < F_{jabuke}$
  - b)  $F_{Zemlje} = F_{jabuke}$
  - c)  $F_{Zemlje} > F_{jabuke}$
  - d) Samo Zemlja privlači jabuku, a jabuka ne privlači Zemlju.

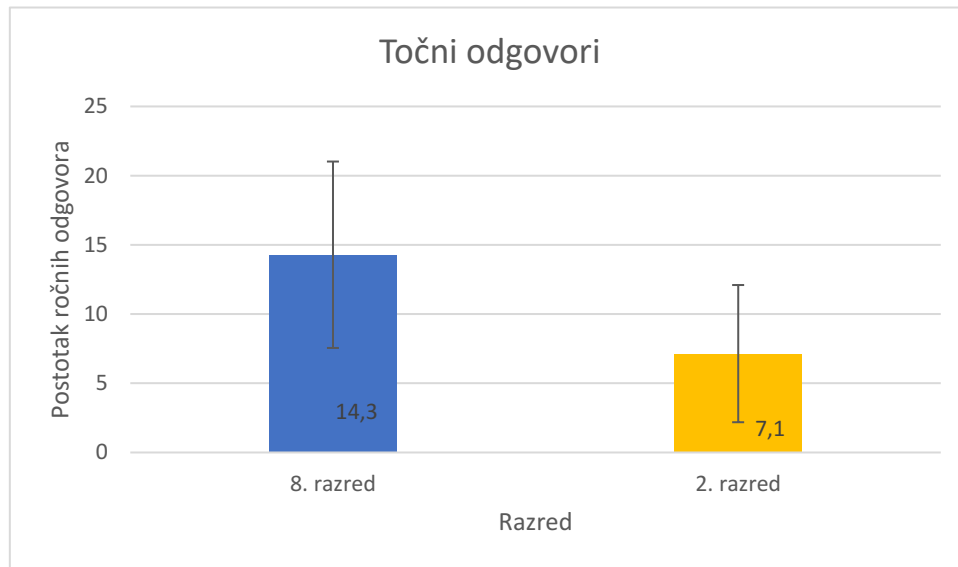
Okvir 6. Zadatak 5. iz testa



Slika 17. Raspodjela odgovora na 5. pitanje

Odgovor pod b) točan je odgovor na peto pitanje. Prema zakonu univerzalne gravitacije, svaka se dva tijela privlače gravitacijskom silom. Tako da, osim što Zemlja privlači jabuku, jabuka također privlači Zemlju i to na način da je sila kojom Zemlja privlači jabuku ( $F_{Zemlje}$ ) prema Newtonovom trećem zakonu jednakog iznosa i suprotnog smjera od sile kojom jabuka

privlači Zemlju ( $F_{jabuke}$ ). Dakle, te dvije sile su jednake po apsolutnoj vrijednosti (što se ispituje u zadatku), ali suprotnog smjera. Gledajući prema ukupnoj riješenosti, ovaj zadatak spada među teže zadatke, a u drugom razredu srednje škole na ovo je pitanje najmanje učenika odgovorilo točno (7%). Niti u osmom razredu situacija nije puno bolja, ovaj je zadatak četvrti najteži prema broju točnih odgovora sa samo 14%.



Slika 18. Usporedba broja točnih odgovora na 5. pitanje

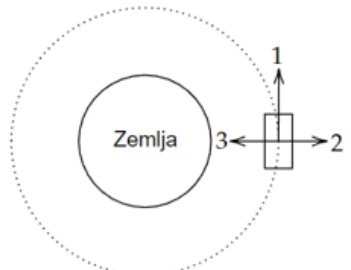
Na ovo je pitanje točno odgovorilo više učenika osmog nego drugog razreda. Najčešći krivi odgovor u oba je razreda bio odgovor c) što je i očekivano. Odgovor pod a) odabrala su ukupno tri učenika i jedna osoba u osmom razredu nije odgovorila na pitanje. Kao što je već spomenuto, najviše je učenika (50%) odabralo odgovor c) kao točan uz više-manje isto obrazloženje u oba razreda poput „Zemlja ima veću masu od jabuke“ ili „Oba tijela imaju gravitacijsku silu, ali Zemlja ima veću te privlači jabuku sebi.“ Ovo je donekle očekivano za osmi razred u kojem učenici još nisu učili Newtonove zakone, ali je malo iznenađujuće da je to većinski odabran odgovor u drugom razredu prirodoslovno-matematičke gimnazije. Odgovor pod d) da samo Zemlja privlači jabuku, a jabuka ne privlači Zemlju ukupno je zaokružilo 48% učenika i to je odgovor kojeg je odabrala većina učenika osmog razreda, iako su trebali usvojiti da sva tijela koja imaju masu gravitacijski međudjeluju s ostalim tijelima koja imaju masu. Učenici često imaju intuitivno razumijevanje gravitacije kao sile koja privlači tijela prema Zemlji. To je svakodnevno iskustvo, jer vidimo kako predmeti padaju prema tlu kada ih

pustimo, a ne vidimo da Zemlja pada na npr. jabuku. Ta ideja je vidljiva i iz obrazloženja odgovora pod d) „Mislim da jabuka ne bi imala nikakav utjecaj na Zemlju“ i „Jabuka ne može djelovati na Zemlju gravitacijskom silom, već Zemlja privlači ostala tijela.“ Učenici mogu pogrešno pretpostaviti da je  $F_{Zemlje}$  veća od  $F_{jabuke}$  ili da je  $F_{jabuke}$  nula, jer je njihovo iskustvo takvo da su tijela ta koja padaju prema tlu. Usprkos tome i jabuka privlači Zemlju, silom jednakog iznosa, samo je Zemljina masa toliko velika da taj utjecaj nije vidljiv. Niti jedan učenik koji je zaokružio b) nije znao obrazložiti zašto su te sile jednake, već su pisali „Jer je  $F_{Zemlje}$  jednak  $F_{jabuke}$ .“ Ovaj zadatak ukazuje na nerazumijevanje pojma interakcije, a i III. Newtonovog zakona, koji je učenicima intuitivno najteže prihvatljiv.

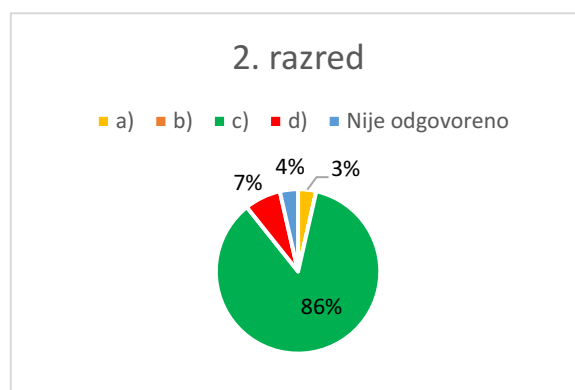
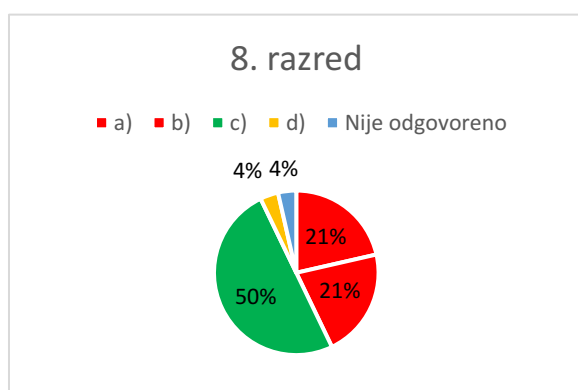
Za razliku od petog zadatka koji provjerava odnos iznosa gravitacijskih sila dva tijela koja međudjeluju, u četrnaestom se zadatku ispituje smjer djelovanja gravitacijske sile.

14. Na slici je prikazan satelit koji kruži oko Zemlje s trenutnom brzinom u smjeru 1. Koji od ponuđenih smjerova na slici odgovara smjeru u kojem djeluje gravitacijska sila Zemlje na taj satelit?

a) 1  
b) 2  
c) 3  
d) Na satelit ne djeluje gravitacijska sila Zemlje.



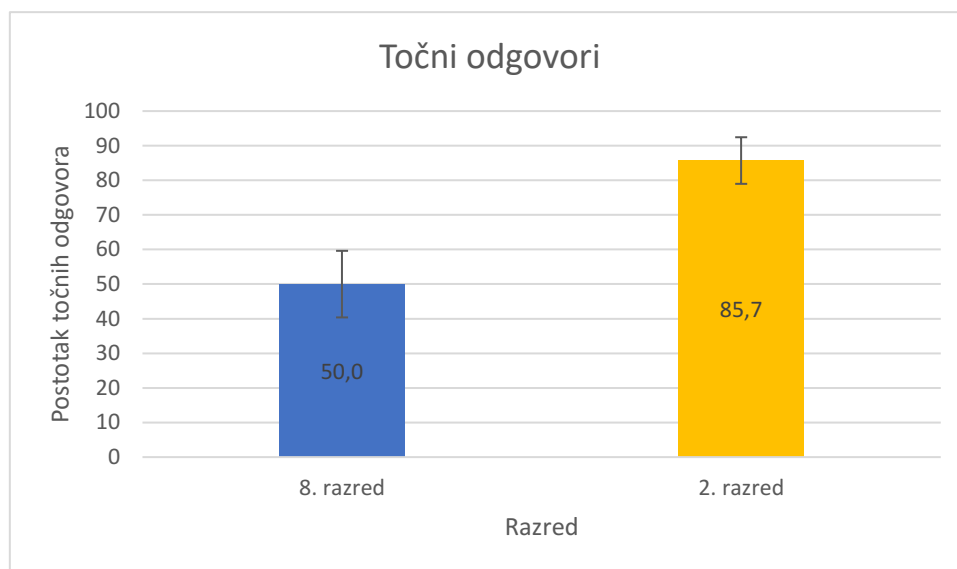
Okvir 7. Zadatak 14. iz testa



Slika 19. Raspodjela odgovora na 5. pitanje



Smjer označen strelicom 3 odnosno odgovor c) je točan. Gravitacijska sila je uvijek privlačna i djeluje prema središtu sferno simetričnih tijela, poput Zemlje, koju najčešće tako modeliramo. Ovo pitanje spada u srednje teška u osmom razredu (50% učenika koji su ga točno riješili) te u lakša u drugom razredu (86% učenika koji su ga točno riješili).



Slika 20. Usporedba broja točnih odgovora na 14. pitanje

U osmom su razredu ostali odgovori bili podjednako raspoređeni između a) i b) dok je po jedna osoba odgovorila da na satelit ne djeluje Zemljina gravitacija ili nije odgovorila na pitanje. U drugom razredu samo četiri osobe nisu odabrale točan odgovor, od čega je jedna osoba odabrala odgovor a), jedna osoba nije odgovorila na pitanje i dvije osobe su smatrale da je odgovor d) točan. Zanimljivo je kako nitko u drugom razredu nije odabrao odgovor b), ali postoje učenici koji i ovdje pokazuju postojanje „graničnog modela“ i smatraju da na satelit ne djeluje Zemljina gravitacijska sila. Odgovor pod a) u sebi nosi čestu miskoncepciju da učenici smatraju kako sila na tijelo mora djelovati u smjeru gibanja tijela odnosno prema idućem položaju u kojem će se tijelo naći. Obrazloženje „Jer bi iscrtao putanju“ možda sugerira takvo shvaćanje. Odgovor b) bio je podjednako odabran, a učenik/ca ga je obrazložio time što „Satelit će se udaljavat.“ ili „Gravitacijska sila djeluje iz Zemlje“. Točno odabrane odgovore učenici osmog razreda su obrazložili sličnim obrazloženjima kao i učenici drugog razreda, tako je učenik/ca osmog razreda napisao/la „Gravitacijska sila vuče tijela prema njenom (Zemljinom) središtu.“, a drugog razreda „Gravitacijska sila ima smjer djelovanja prema središtu tijela.“ Dva učenika (po jedan iz osmog i drugog razreda) od tri koja su odabrale odgovor d) su i obrazložila

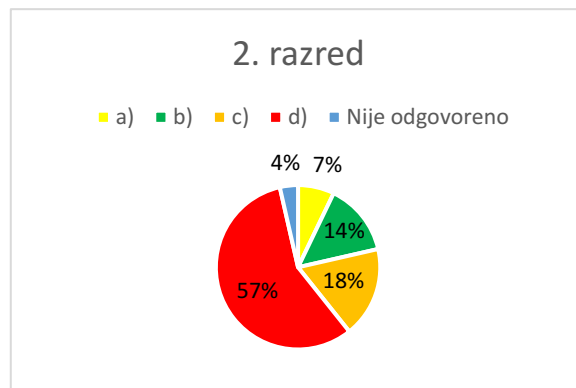
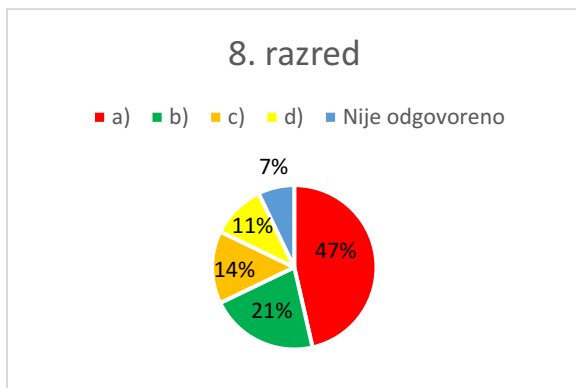
svoj odabir. Oba obrazloženja potvrđuju postojanje krivog modela da izvan atmosfere nema gravitacije pa tako neki pišu „Izvan atmosfere je“ kao obrazloženje.

Posljednje pitanje ovog ishoda je petnaesto.

15. Dva planeta međusobno se udaljavaju. Masa prvog planeta veća je od mase drugog planeta. Koji od ponuđenih odgovora na slici ispravno prikazuje vektore gravitacijske sile na svaki od planeta?  $F_{12}$  je sila kojom planet 1 djeluje na planet 2, a  $F_{21}$  sila kojom planet 2 djeluje na planet 1.

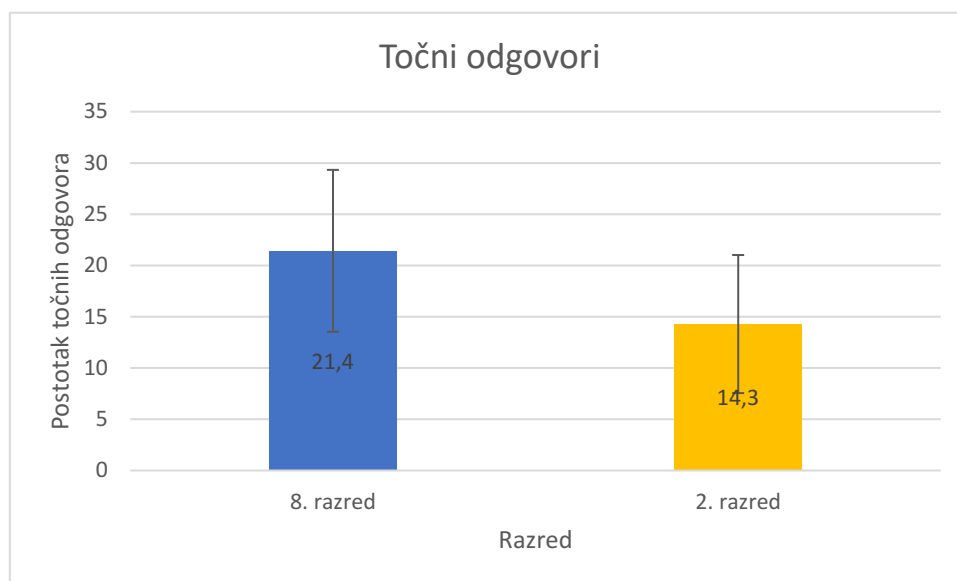
a) 1  
b) 2  
c) 3  
d) 4

Okvir 8. Zadatak 15. iz testa



Slika 21. Raspodjela odgovora na 15. pitanje

Pitanje se odnosilo na prikaz vektora gravitacijske sile između dvaju planeta koji se međusobno udaljavaju, pri čemu je masa prvog planeta veća od mase drugog planeta. Od četiri ponuđena odgovora, točan odgovor je bio b) gdje su vektori sile jednakog iznosa, jednakog smjera i suprotne orijentacije, te indiciraju međusobno privlačenje. Od 28 učenika osmog razreda, 6 učenika dalo je točan odgovor na pitanje, kao i tek četiri učenika drugog razreda. Ovo bi pitanje prema ukupnoj riješenosti spadalo među teža pitanja.



Slika 22. Usporedba broja točnih odgovora na 15. pitanje

Rezultati pokazuju sličnu nisku razinu razumijevanja III. Newtonovog zakona u kontekstu gravitacijske interakcije između učenika drugog razreda srednje škole i učenika osmog razreda osnovne škole. Ovdje svakako postoji prostor za poboljšanje razumijevanja kod obje skupine učenika. Vidimo da je većina učenika osmog razreda odabrala odgovor a), što sugerira da imaju ideju o tome kako sile moraju biti jednakog iznosa, dok većina učenika drugog razreda zna kako je gravitacijska sila privlačna (što se poklapa s brojem učenika koji su točno odgovorili na prethodno pitanje ovog ishoda), ali smatraju kako veći planet djeluje jačom silom na manji planet, pa biraju najčešće odgovor d). Velikom broju učenika koji su odabrali odgovore a) ili c) obrazloženja su bila u smjeru „...planeti se međusobno udaljavaju.“ Činjenica je da se svemir širi, ali tek kada promatramo udaljenosti veće od galaksije počinjemo uočavati širenje svemira. Na manjim udaljenostima postoje sile koje su dovoljno snažne da se suprotstave tom širenju. Upravo je odgovor a) bio najviše odabran netočan odgovor u osmom razredu. Obrazloženja točnih odgovora vrlo su štura i većinom opisuju ono što je vidljivo i sa slike poput obrazloženja „Sile su jednake...“ ili „Planeti imaju masu i privlače se.“ Odgovor pod c) većinom su birali učenici koji smatraju da veća masa djeluje jačom silom na tijelo manje mase što se vidi i iz obrazloženja „Veća masa jače odbija (veća sila).“ Najčešći netočan odgovor u drugom razredu bio je odgovor d) gdje i dalje učenici imaju ideju da tijelo veće mase djeluje većom silom, ali ipak znaju da je gravitacijska sila između dva tijela uvijek privlačna. Obrazloženja su u oba razreda skoro pa ista i na tragu „Planet 1 jače privlači planet 2 jer mu je masa veća – veća gravitacijska sila.“

Obradom petnaestog pitanja prošli smo kroz ishod koji provjerava razumijevanje iznosa i smjera djelovanja gravitacijske sile. Učenici drugog razreda trebali bi biti u prednosti budući da se po obradi odgojno-obrazovnih ishoda FIZ SŠ C.1.7. od učenika prirodoslovno-matematičke gimnazije očekuje da „Primjenjuje Newtonov zakon gravitacije“ i „Opisuje tijela u svemiru (zvijezde, planete, galaksije, jata galaksija) i njihova gibanja.“ (Ministarstvo znanosti i obrazovanja RH, 2019) Međutim, rezultati pokazuju da su na dva od tri pitanja učenici osmog razreda odabrali točan odgovor u većem broju. Obrazloženja učenika osmog razreda šturija su, ali neka od njih prikazuju vrlo dobre ideje i promišljanja. Učenicima je teško prihvatiti III. Newtonovog zakon i činjenicu da oba tijela djeluju silama jednakih iznosa, a većina učenika smatra kako gravitacijska sila može biti i odbojna. Ovi su rezultati očekivani u osnovnoj školi jer učenici još ne znaju za Newtonove zakone, a s vektorima se susreću tek pred kraj osmog razreda. Međutim, smatram da bi rezultati trebali biti bolji u drugom razredu prirodoslovno-matematičke škole. S druge strane, većina učenika svjesna je da gravitacijska sila uvijek djeluje duž spojnice tijela što je i očekivano.

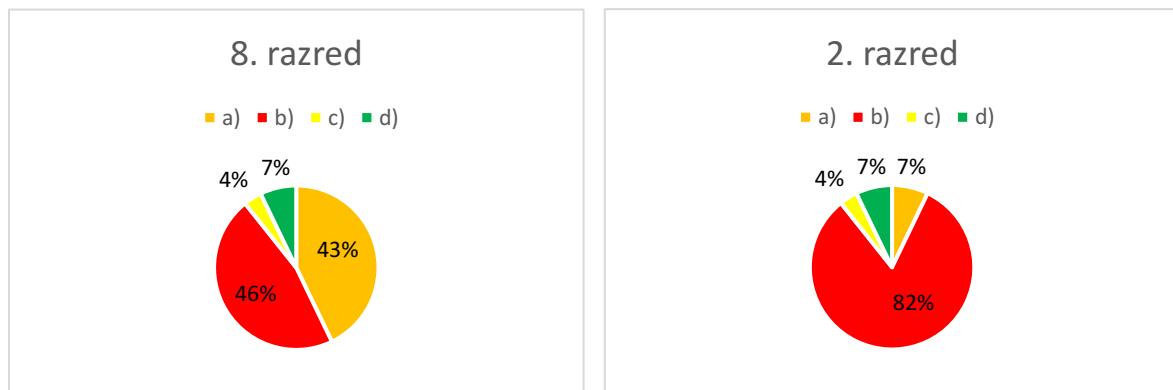
#### 4.4 Gravitacijska sila djeluje stalno, ne samo pri padu tijela

Budući da je u svakodnevnom iskustvu najuočljiviji učinak gravitacije pad tijela prema tlu, velik broj učenika smatra kako gravitacijska sila ne djeluje stalno na tijelo. Ovo razmišljanje spomenuto je i u članku „Gravity – don't take it for granted“ (Watts, 1982) u dijelu „Framework 5“. Upravo zato, važno je obraditi ovaj ishod u školi i pružiti učenicima raznolike primjere i vizualne ilustracije koji prikazuju djelovanje gravitacijske sile u različitim situacijama.

Prvo pitanje kojime smo provjerili razumijevanje ovog ishoda je dvanaesto.

12. Osoba rukom izbacila loptu vertikalno uvis. Prvi dio puta lopta se penje, dođe do određene visine i nakon toga drugi dio puta pada dolje. Zanimamo li otpor zraka i uzgon, koja sila ili sile djeluju na loptu u prvom i drugom dijelu gibanja?
- a) U prvom dijelu na loptu djeluje samo sila ruke prema gore, a u drugom dijelu samo gravitacijska sila Zemlje prema dolje.
  - b) U prvom dijelu na loptu djeluje sila ruke prema gore i gravitacijska sila Zemlje prema dolje, a u drugom dijelu samo gravitacijska sila Zemlje prema dolje.
  - c) U prvom i drugom dijelu na loptu djeluje sila ruke prema gore i gravitacijska sila Zemlje prema dolje.
  - d) U prvom i drugom dijelu na loptu djeluje samo gravitacijska sila Zemlje prema dolje.

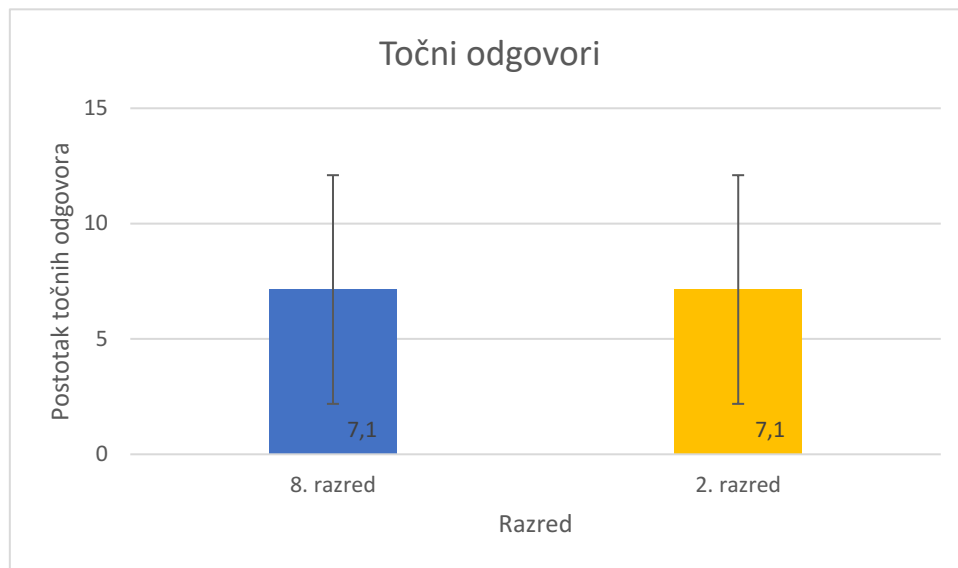
Okvir 9. Zadatak 12. iz testa



Slika 23. Raspodjela odgovora na 12. pitanje

Nakon izbacivanja lopte iz ruke, na loptu djeluje samo gravitacijska sila Zemlje prema dolje i u prvom i u drugom dijelu puta, ako zanemarimo sile otpora zraka i uzgona. To znači da je točan odgovor na ovo pitanje d). Tik prije izbacivanja, ruka lopti da početnu brzinu, ali djelovanje sile ruke prema gore (reakcija podloge/ruke) prestaje onog trenutka kada lopta napusti ruku. Prednjutnovske ideje o gibanju bile su da teška tijela prirodno padaju prema dolje,

a projektili imaju još i impetus, što bi bila utisnuta sila pri izbačaju, zbog koje se tijelo giba prema gore. Ta ideja impetusa zadržala se i do danas kod učenika i predstavljena je upravo idejom da sila ruke prema gore nastavlja djelovati na loptu i nakon što osoba izbacilo loptu. Rezultati pokazuju da je samo 7% ukupnog broja učenika odabralo odgovor d) odnosno 93% učenika smatra kako ruka nastavlja djelovati silom na loptu čak i nakon izbacivanja. Broj točnih odgovora jednak je u oba razreda kao što je prikazano na slici 24.



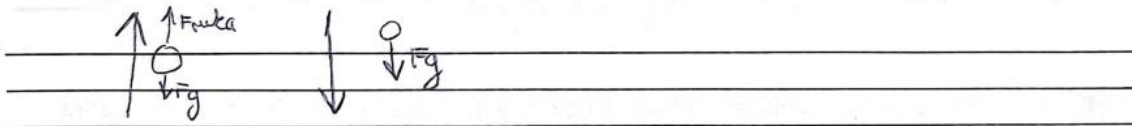
Slika 24. Usporedba broja točnih odgovora na 12. pitanje

Prema ukupnom broju točnih odgovora ovo je najteži zadatak na testu te drugi najteži kako u osmom, tako i u drugom razredu. U osmom su razredu učenici bili podijeljeni između odgovora a) i b) dok su učenici drugog razreda gotovo jednoglasno odabrali odgovor b). Broj učenika koji su odabrali odgovore c) i d) jednak je u oba razreda. Odgovor pod a) implicira da na tijelo djeluje gravitacijska sila Zemlje samo dok tijelo pada što je upravo i miskoncepcija koja je vrlo česta među učenicima. Smatraju kako „...gravitacija počinje djelovati dok tijela padaju, ali ne i dok putuju prema gore.“ (Watts, 1982) To se vidi i iz njihovih obrazloženja odgovora a) „Utjecaj ruke loptu baca u vis silom, a nakon toga lopta pada zbog djelovanja  $F_g$ “ ili „Kada lopta dođe do najviše točke koju je izazvala sila ruke gravitacijska sila će početi djelovati.“ Odgovor b) pokazuje manji napredak u razumijevanju, jer kao i odgovori c) i d) podrazumijeva da gravitacijska sila Zemlje na loptu djeluje i dok lopta ide prema gore i dok pada. Međutim i dalje postoji ideja impetusa, odnosno utisnute sile ruke, koja djeluje na loptu čak i kada ruka i lopta nisu u dodiru „Da u prvom dijelu ruka ne djeluje na lopticu, ona ne bi ni

poletjela, a i da gravitacijska sila ne djeluje u 1. dijelu, ne bi se postepeno zaustavila.“ Još jedno slično objašnjenje bilo je „Zato što gravitacijska sila uvijek djeluje na tijelo, no u prvom dijelu sila ruke je bila veća od gravitacije pa lopta ide gore.“ Jedan je učenik/ca nacrtao/la i dijagram sila prikazan na Slici 25 koji grafički prikazuje prijašnja obrazloženja.

12. Osoba rukom izbacila loptu vertikalno uvis. Prvi dio puta lopta se penje, dođe do određene visine i nakon toga drugi dio puta pada dolje. Zanimamo li otpor zraka i uzgon, koja sila ili sile djeluju na loptu u prvom i drugom dijelu gibanja?

- a) U prvom dijelu na loptu djeluje samo sila ruke prema gore, a u drugom dijelu samo gravitacijska sila Zemlje prema dolje.
- b) U prvom dijelu na loptu djeluje sila ruke prema gore i gravitacijska sila Zemlje prema dolje, a u drugom dijelu samo gravitacijska sila Zemlje prema dolje.
- c) U prvom i drugom dijelu na loptu djeluje sila ruke prema gore i gravitacijska sila Zemlje prema dolje.
- d) U prvom i drugom dijelu na loptu djeluje samo gravitacijska sila Zemlje prema dolje.



Slika 25. Odgovor učenika/ce na 12. pitanje

Dvije su osobe odabrale odgovor c) kao točan, od čega je jedna i obrazložila svoj odabir „Na loptu uvijek djeluje gravitacijska sila, a zbog izbacivanja lopte određenom brzinom, silom, djeluje i sila ruke.“ Samo je jedna osoba od pedeset i šest odabrala točan odgovor i točno ga obrazložila, napisavši „Gravitacija zaustavlja loptu i zato ona dođe do određene visine, a inače bi još letjela u visinu.“ Ovo suštinski jednostavno pitanje pokazalo se najtežim zbog postojanja netočnih predodžbi učenika. Neki učenici mogu smatrati da na loptu djeluje sila ruke prema gore kada je lopta izbačena vertikalno uvis, zato što vide kako se lopta odmiče od osobe prema gore. Budući da osoba djeluje na loptu i izbacuje je prema gore, mogu pretpostaviti da ruka osobe primjenjuje silu prema gore, kako bi lopta dosegla tu visinu. Također, učenici ponekad pogrešno pretpostavljaju da je smjer sile koju primjenjuje osoba (u ovom slučaju, ruka) uvijek isti kao smjer gibanja objekta. To može dovesti do pogrešnog zaključka da sila ruke usmjerava loptu prema gore, unatoč gravitaciji. Učenici koji nemaju potpuno razumijevanje gravitacije i kako ona uvijek djeluje prema središtu Zemlje mogu pogrešno interpretirati gibanje lopte.

Gravitacija, kao privlačna sila, uvijek djeluje na loptu, usporavajući je dok se penje prema gore i ubrzavajući je kada pada dolje.

Drugo pitanje kojim se ispitivao ovaj ishod bilo je sedamnaesto.

17. Jedna lopta miruje na stolu, dok drugu, jednaku loptu ispustimo s neke visine na pod. U kojem slučaju/slučajevima, ako i u jednom, djeluje Zemljina gravitacijska sila na loptu?
- a) Niti u jednom slučaju.
  - b) U oba slučaja.
  - c) Samo u slučaju kada lopta miruje na stolu.
  - d) Samo u slučaju kada lopta pada.

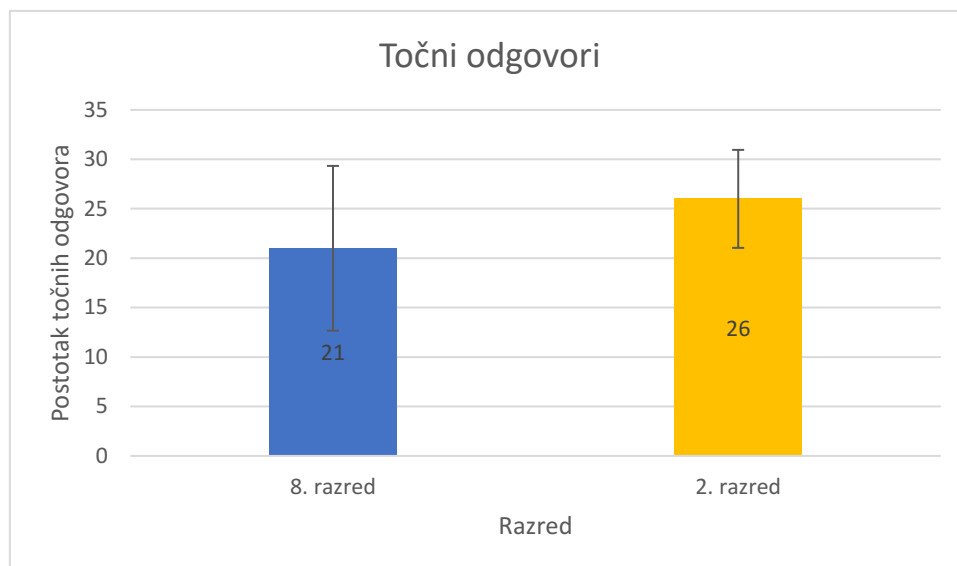
Okvir 10. Zadatak 17. iz testa



Slika 26. Raspodjela odgovora na 17. pitanje

Kao što je rečeno u objašnjenju odgovora na pitanje dvanaest, Zemljina gravitacijska sila uvijek djeluje na tijelo i privlači ga prema središtu Zemlje. To znači da Zemljina gravitacijska sila djeluje u oba slučaja i da je točan odgovor b). 75% učenika osmog i 93% učenika drugog razreda točno su odgovorili na ovo pitanje.





Slika 27. Usporedba broja točnih odgovora na 17. pitanje

Ovaj zadatak riješio je najveći broj učenika. Zanimljivo je što je pitanje koje je riješilo najmanje učenika bilo dvanaesto, pitanje koje je provjeravalo isti ishod. Niti jedan učenik nije odabrao odgovor a), ali tri učenika nisu odgovorila na ovo pitanje. Odgovor b) odabralo je ukupno 47 učenika. Obrazloženja u osmom razredu bila su da „Gravitacijska sila stalno djeluje na tijelo.“ Obrazloženja u drugom razredu bila su malo naprednija „Zemlja gravitacijskom silom uvijek privlači tijelo prema središtu...“ Odgovor c) nitko u osmom razredu nije konkretno obrazložio, dok je u drugom jedna osoba odabrala c) s obrazloženjem „Gravitacija je uvijek tu, samo na lopticu djeluje suprotna sila stola, koja se opire deformaciji“. Odgovor d) učenik osmog razreda obrazložio je „Kada pada, gravitacija se koristi.“ Također bih izdvojila da postoje dva obrazloženja koja imaju dobru ideju odgovora na ovo pitanje, ali oba pokazuju postojanje krive ideje da gravitacija prestaje po prestanku atmosfere „Gravitacijska sila djeluje na obje lopte, jer djeluje na svako tijelo u atmosferi.“

Ova su pitanja pokazala da su učenici svjesni činjenice da gravitacijska sila Zemlje stalno djeluje na tijelo i privlači ga prema središtu. Isto se tako pokazalo da učenici i dalje imaju ideju da na tijelo mora djelovati još neka sila u smjeru gibanja, ukoliko se tijelo giba suprotno od smjera u kojem djeluje gravitacijska sila. To je djelomično razumljivo u osmom razredu, ali bi učenici drugog razreda trebali imati veći broj točnih odgovora na dvanaestom pitanju. Međutim, sam ishod koji se provjeravao o stalnom djelovanju gravitacijske sile pokazao se kao ostvaren budući da je na oba pitanja većina učenika odabrala odgovore, koji su označavali stalno

djelovanje, ali su dijelom iskazali i neke dodatne poteškoće vezane uz razumijevanje Newtonovih zakona.

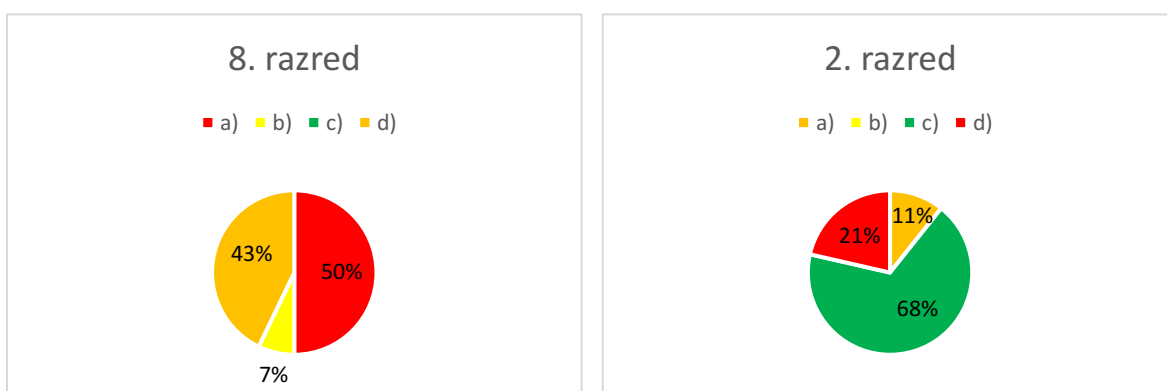
#### 4.5 Gravitacijska sila ne ovisi o prisustvu atmosfere, niti je povezana s atmosferskim tlakom

Povezanost gravitacije i atmosfere je već spomenuta poteškoća, široko raširena među učenicima. Ideja vjerojatno dolazi od gibanja astronauta, koji borave u svemirskoj letjelici i u njoj slobodno lebde. Oni se nalaze u bestežinskom stanju, zbog toga što su cijelo vrijeme u slobodnom padu (jedina sila koja na njih djeluje je gravitacijska sila Zemlje), no zbog tangencijalne brzine koju imaju ne padaju, nego kruže oko Zemlje. No, to se čini kao da na njih ne djeluje gravitacijska sila. Učenici mogu pomiješati ovu pojavu s pretpostavkom da gravitacijska sila prestaje djelovati izvan atmosfere i tako stvore miskoncepciju koje se teško rješavaju.

Ta raširena miskoncepcija je tzv. „granični model“ (eng. the boundary model) u kojem granica može biti površina planeta, kraj atmosfere ili orbita, a nakon koje gravitacija ili nestaje ili se smanjuje.“ (Williamson & Willoughby, 2012) Pitanje, koje provjerava ovaj ishod, prikazano je u Okviru 11.

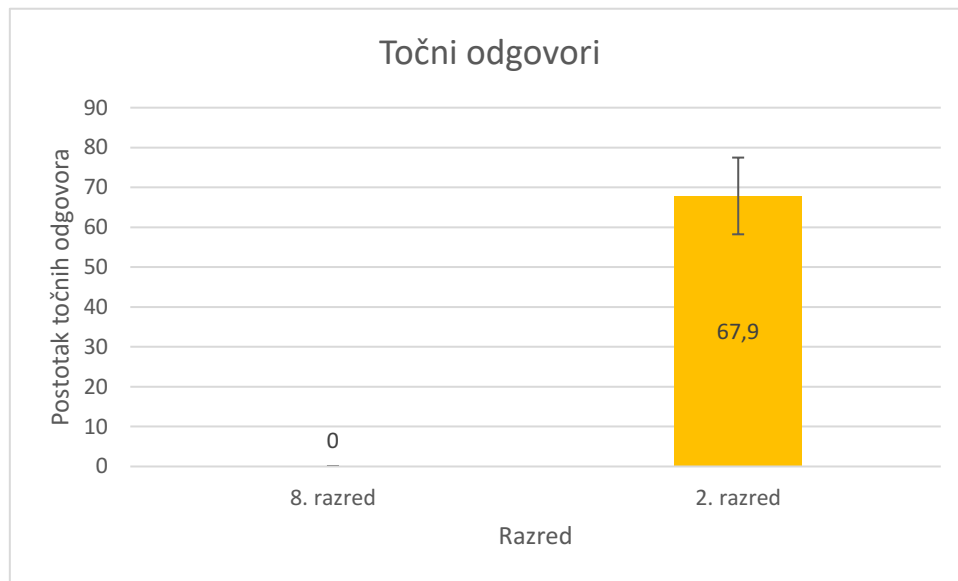
1. Astronauti su u svemirskoj stanici, koja je 400 km udaljena od Zemlje. Djeluje li na njih i na stanicu Zemljina gravitacijska sila?
  - a) Djeluje na stanicu, ali ne i na astronaute.
  - b) Djeluje na astronaute, ali ne i na stanicu.
  - c) Djeluje na stanicu i astronaute.
  - d) Ne djeluje ni na stanicu, ni na astronaute.

Okvir 11. Zadatak 1. iz testa



Slika 28. Raspodjela odgovora na 1. pitanje

Od ponuđenih odgovora točan je bio odgovor pod c) da gravitacijska sila djeluje i na stanicu i na astronaute zato što gravitacijska sila Zemlje djeluje na sve objekte koji imaju masu, uključujući svemirsku stanicu i astronaute koji se nalaze u njoj. Zanimljiva je usporedba broja točnih odgovora po razredu jer niti jedan učenik osmog razreda nije točno odgovorio na ovo pitanje, ali 68%, odnosno 19 učenika drugog razreda, jest. Budući da je postotak ukupnih točnih odgovora u ovom slučaju 34%, ovaj zadatak je jedva pripao srednje teškoj kategoriji.



Slika 29. Usporedba broja točnih odgovora na 1. pitanje

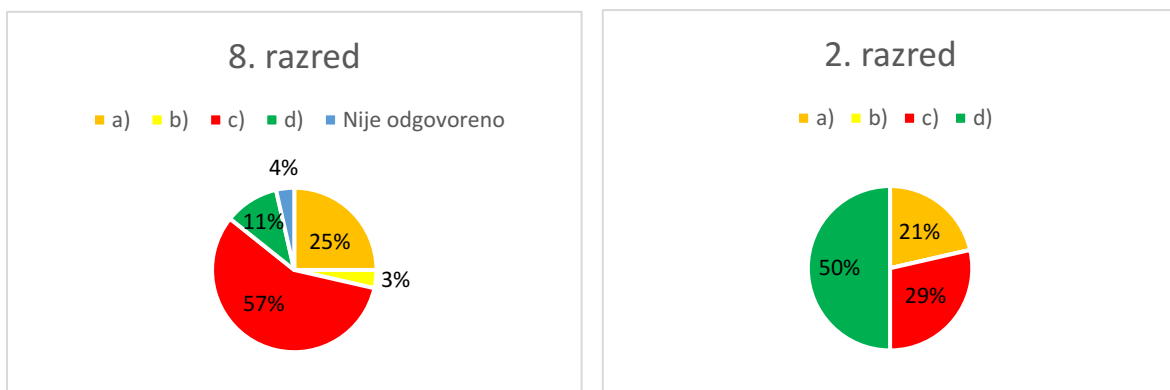
U osmom su razredu odgovori bili skoro podijeljeni između odgovora a) i d). Uz točan odgovor u drugom razredu, ostatak odgovora bio je također podijeljen između odgovora a) i d). Prvi odgovor je distraktor koji implicira još jednu miskoncepciju, a to je da je „Gravitacijska sila selektivna, odnosno ne djeluje na sve stvari na isti način u svakom trenutku.“ (Watts, 1982) Ukoliko postoji Zemljina gravitacijska sila na stanicu, onda nužno mora postojati i gravitacijska sila Zemlje na astronaute u stanici. Odgovore pod a) su učenici osmog razreda potkrepljivali obrazloženjima poput „Na stanicu djeluje, jer ima veću masu.“, a objašnjenja za odgovor d) bila su „U svemiru nema gravitacije.“, „Gravitacijska sila ne doseže izvan Zemljine atmosfere.“ i „Ne djeluje na stanicu, jer bi počela padati na Zemlju.“. U drugom razredu srednje škole često se spominjao izraz „bestežinsko stanje“ kao obrazloženje da na astronaute ne djeluje gravitacijska sila Zemlje ili su učenici navodili da stanica ima veću masu, pa zato na nju djeluje gravitacija, a na astronaute ne. Kod objašnjenja točnog odgovora učenici su pisali kako „Sila djeluje na sve predmete.“, a čest je bio i odgovor kako su još uvijek „dovoljno blizu“ da

gravitacijska sila Zemlje djeluje na oboje. Iako je točno odgovorio/la na pitanje, postojanje ideje graničnog modela vidljivo je iz odgovora jednog učenika/ce „Djeluje na stanicu, jer ona je i dalje u Zemljinoj orbiti...“ Dakle, učenici ili imaju ideju kako postoji granica nakon koje naglo prestaje djelovanje gravitacijske sile ili kako gravitacijska sila djeluje na neka tijela, a na neka ne. Najčešće će logika iza toga biti da na tijela velike mase djeluje sila, a na tijela manje mase na istoj udaljenosti ne djeluje.

Problematika sljedećeg pitanja djelomično se nastavlja na problematiku prvog zadatka. Još uvijek provjeravamo postojanje graničnog modela, ali u ovom slučaju direktnije

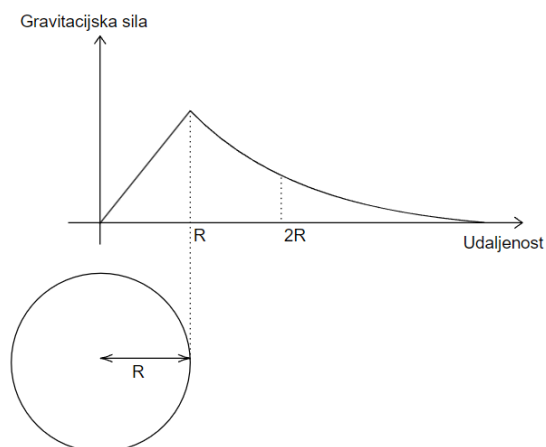
2. Raketa kreće s površine Zemlje i izlazi iz atmosfere. Kako se iznos Zemljine gravitacijske sile na raketu mijenja ovisno o udaljenosti rakete od površine Zemlje?
- Zemlja djeluje na raketu gravitacijskom silom jednakog iznosa sve dok ona ne izađe iz atmosfere, a poslije se iznos gravitacijske sile smanjuje.
  - Zemlja stalno djeluje gravitacijskom silom jednakog iznosa na raketu, bez obzira na udaljenost rakete od nje i na to je li ona u atmosferi ili izvan nje.
  - Do izlaska iz atmosfere se iznos gravitacijske sile na raketu stalno smanjuje, a nakon izlaska iz atmosfere je jednak nuli.
  - Iznos gravitacijske sile na raketu se stalno smanjuje s udaljenošću, neovisno o tome je li raketa unutar ili izvan atmosfere i nije jednak nuli izvan atmosfere.

Okvir 12. Zadatak 1. iz testa



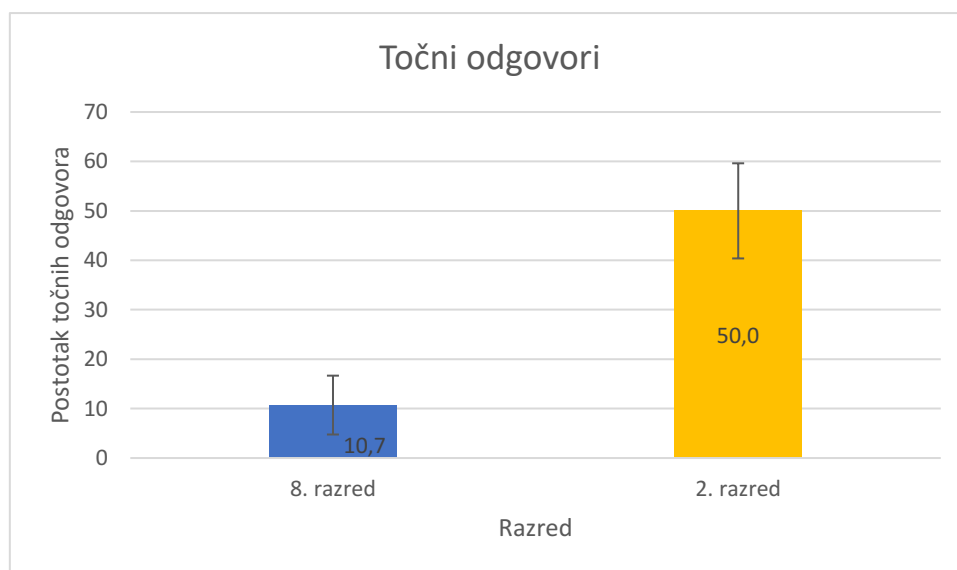
Slika 30. Raspodjela odgovora na 2. pitanje

Točan odgovor na ovo pitanje je d). Ne postoji točka u prostoru nakon koje Zemljina gravitacijska sila na tijela momentalno iščezava. Ako zamislimo Zemlju kao savršenu homogenu kuglu, graf gravitacijske sile na neko probno tijelo bio bi kao na Slici 31.



Slika 31. Graf ovisnosti gravitacijske sile o udaljenosti od središta za savršenu kuglu

Rezultati pokazuju da je od 28 učenika osmog razreda, troje dalo točan odgovor na ovo pitanje. S druge strane, od 28 učenika drugog razreda, njih četrnaest je odgovorilo točno.



Slika 32. Usporedba broja točnih odgovora na 2. pitanje

U skladu s rezultatima prethodnog pitanja, vidimo veliki napredak u razumijevanju između učenika osmog i drugog razreda. Ukoliko usporedimo učenike u drugom razredu koji su točno odgovorili na ovo pitanje, njih dvanaest je točno odgovorilo i na prethodno pitanje, koje je povezano s ovim. U osmom razredu jedna osoba nije odgovorila na pitanje. Također, u oba razreda odgovor pod a) je bio podjednako popularan. Ponovno vidimo granični model, ali

i odabiri pod a) i b) prikazuju još jednu miskoncepciju – da je gravitacija konstantna bez obzira što se povećava udaljenost među tijelima. Odgovori a) i c) podrazumijevaju postojanje granice djelovanja gravitacije – rub atmosfere. Učenici koji su odabrali te odgovore pisali su kako „Zemljina gravitacijska sila prestaje djelovati izvan atmosfere“, a obrazloženje odabira je bilo i „Zato što raketa „lebdi“ u svemiru“, što potvrđuje pretpostavku da učenici povezuju bestežinsko stanje s nepostojanjem gravitacije. Jedan učenik koji je odabrao odgovor b) nije svoj odabir i obrazložio. U drugome razredu učenici su se kao obrazloženje točnog odgovora nekoliko puta pozvali na formulu za Newtonov zakon gravitacije u kojem sila opada s kvadratom udaljenosti i često su napisali da gravitacijska sila Zemlje ne ovisi o atmosferi. Tek su dva odgovora približno točnog objašnjenja u osmom razredu „...kako udaljenost raste, tako sila slabi neovisno o atmosferi.“

Rezultati pokazuju da je ishod koji govori o tome kako gravitacijska sila ne ovisi o prisustvu atmosfere vrlo slabo ostvaren u osnovnoj školi. Što se tiče rezultata pitanja koja su ispitivala razumijevanje ovog ishoda niti jedan učenik osmog razreda nije odgovorio točno na oba pitanja. Situacija je bolja u srednjoj školi s 12 učenika koji su točno odgovorili i na prvo i na drugo pitanje, ali i tu postoji prostor za poboljšanje, jer se postojanje netočnih ideja provlači i kroz odgovore učenika u srednjoj školi. Iako ovaj ishod ne postoji eksplicitno u kurikulumu, vjerujem da učenici u srednjoj školi imaju veće razumijevanje osnovnih zakona fizike, što doprinosi i boljem razumijevanju Newtonovog zakona gravitacije. Njihovi nastavnici i udžbenici pružaju složenija objašnjenja o tome kako gravitacija djeluje na tijela u svemiru bez obzira na atmosferu, što također doprinosi boljem razumijevanju. Dobra praksa u srednjoj školi bila bi i računanje iznosa akceleracije sile teže na nekoj udaljenosti izvan atmosfere, kako bi uvidjeli da ona i dalje postoji. Djelovanje gravitacijske sile na tijela izvan atmosfere kod učenika osnovne škole u većoj se mjeri temelji na vlastitim interpretacijama prikaza iz znanstveno-fantastičnih filmova i polovičnih informacija iz okoline, što rezultira netočnim zaključcima.

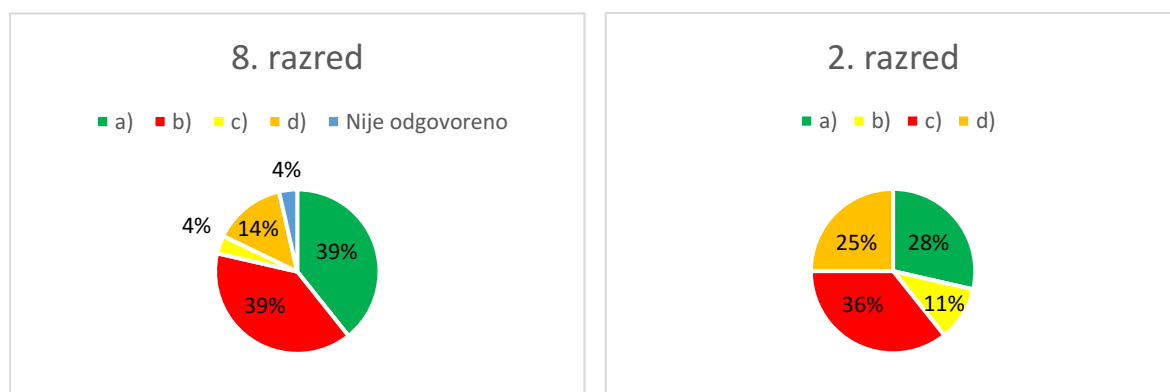
#### 4.6 Gravitacijska sila ne treba sredstvo (zrak) da bi djelovala i neovisna je o drugim silama i utjecajima

Učenici su naviknuti da promjene u svakodnevnom okruženju nastaju zbog međusobnog kontakta dvaju ili više tijela ili da postoji sredstvo između dva tijela koje će prenijeti tu promjenu s jednog tijela na drugo. Npr. kutiji se mijenja brzina ako ju mi guramo ili se tijelu mijenja temperatura ukoliko je u doticaju s tijelom na temperaturi različitoj od vlastite. Zbog toga se može činiti neintuitivnim da gravitacijska sila djeluje bez vidljivog kontakta ili prisutnosti nekog sredstva, kao i da neke druge sile i utjecaji ne utječu na njeno djelovanje (poput magnetizma, atmosferskog tlaka, zraka i sl.). Koliko je ovo učenicima problematično, pokazat će rezultati za pitanja šest, sedam, osam i šesnaest.

Pitanje šest ispituje povezanost magnetskog polja i gravitacijske sile.

6. Kakva je veza između magnetskog polja u nekom prostoru i gravitacijske sile u tom prostoru?
- a) Gravitacijska sila ne ovisi o magnetskom polju.
  - b) Magnetsko polje pojačava gravitacijsku silu.
  - c) Magnetsko polje smanjuje gravitacijsku silu.
  - d) Gravitacijska sila je posljedica magnetskog polja i bez njega ne postoji.

Okvir 13. Zadatak 6. iz testa

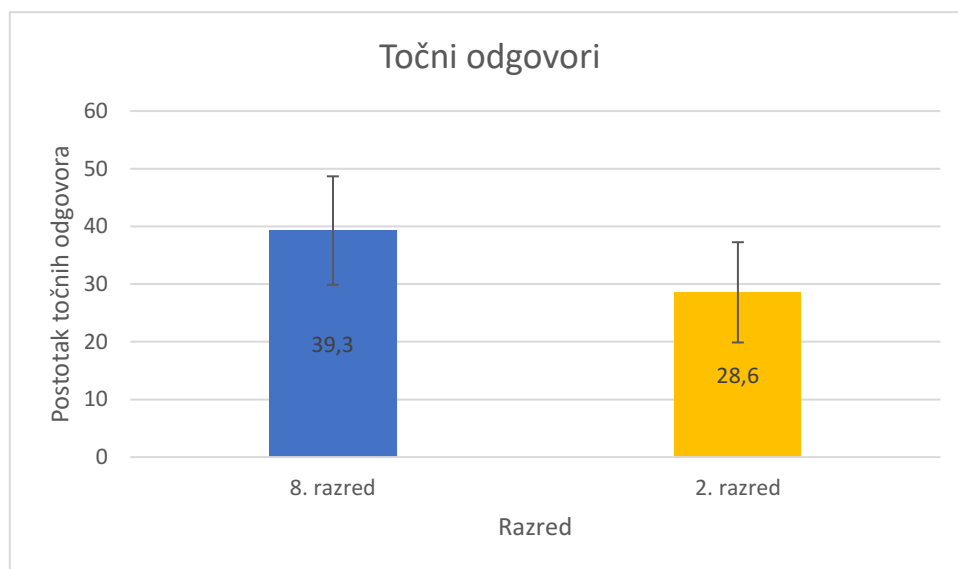


Slika 33. Raspodjela odgovora na 6. pitanje

Magnetska i gravitacijska sila su dvije različite fundamentalne sile u fizici, koje utječu na tijela na različite načine i imaju različite uzroke. Gravitacija djeluje na sve tijela s masom u svemiru bez obzira na njihovu veličinu, oblik ili sastav. To znači da gravitacija ne zahtijeva



posebne osobine tijela da bi djelovala. S druge strane, magnetsko polje, a time i magnetska sila, djeluje samo na tijela koja imaju magnetska svojstva. Još jedna razlika bila bi u smjeru djelovanja: gravitacijska sila uvijek djeluje privlačno, a magnetska sila može djelovati privlačno ili odbojno, ovisno o orijentaciji magnetskih dipola. Međusobno nemaju nikakvog utjecaja jedna na drugu, stoga se točan odgovor na ovo pitanje nalazi pod a). Broj točnih odgovora na ovo pitanje veći je u osmom nego u drugom razredu, s 11 i 8 točnih odgovora, respektivno.



Slika 34. Usporedba broja točnih odgovora na 6. pitanje

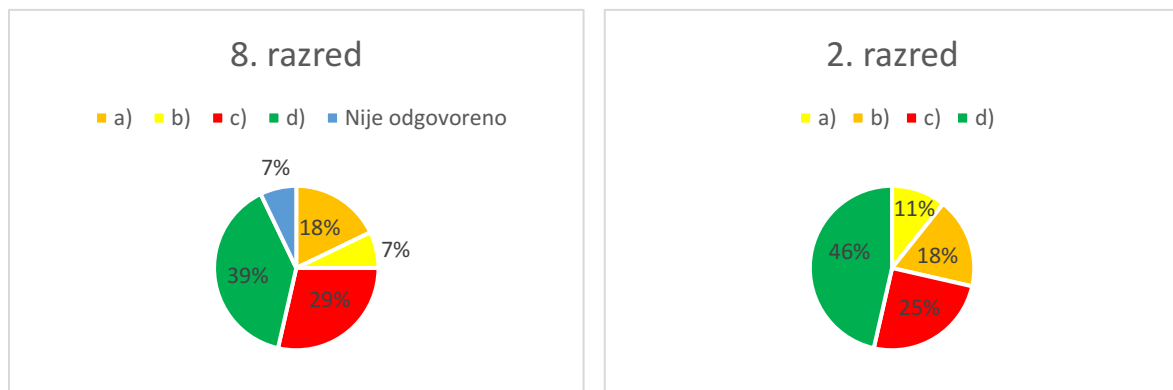
Ukupno gledano, kao i u osmom razredu, ovaj zadatak spada u srednje teške prema broju učenika koji su ga točno riješili dok u drugom razredu spada u teške zadatke s 28,6% riješenosti. U osmom su razredu i odgovori vrlo podijeljeni između a) i b), s po jedanaest glasova za svaki, a u drugom razredu je pretežno odabran odgovor c), s deset glasova. Odgovor a) učenik/ca osmog razreda objasnio/la je time što magnetsko polje i gravitacijska sila imaju „različita svojstva“, a u drugom razredu ta je izjava malo proširena u „Gravitacijska sila je produkt mase tijela, dok je magnetsko polje produkt magnetizacije tijela.“ Zanimljivo obrazloženje odgovora b) dala je osoba iz osmog razreda: „Zemlja je šira kod ekvatora, a magnetska polja potječu od polova, koji su bliži centru gravitacije.“ Gravitacijska sila Zemlje je jača na polovima nego na ekvatoru, ali razlog tome leži u činjenici da Zemlja nije savršeno sferična, već je blago spljoštena na polovima. Ta spljoštenost uzrokuje da se tijelo na ekvatoru nalazi na većoj udaljenosti od Zemljinog središta nego tijelo na polovima. Jedan učenik/ca smatra da je odgovor

c) točan i da „Tijela koja se privlače zbog magnetskog polja imaju smanjenu gravitacijsku silu.“ Zadnji odgovor nema smislenih objašnjenja, ali očito neki učenici smatraju da bez magnetskog polja ne postoji ni gravitacijska sila iako ne znaju kako to obrazložiti.

Sljedeće pitanje slično je šestom, ali osim magnetskog polja spominju se i drugi utjecaji.

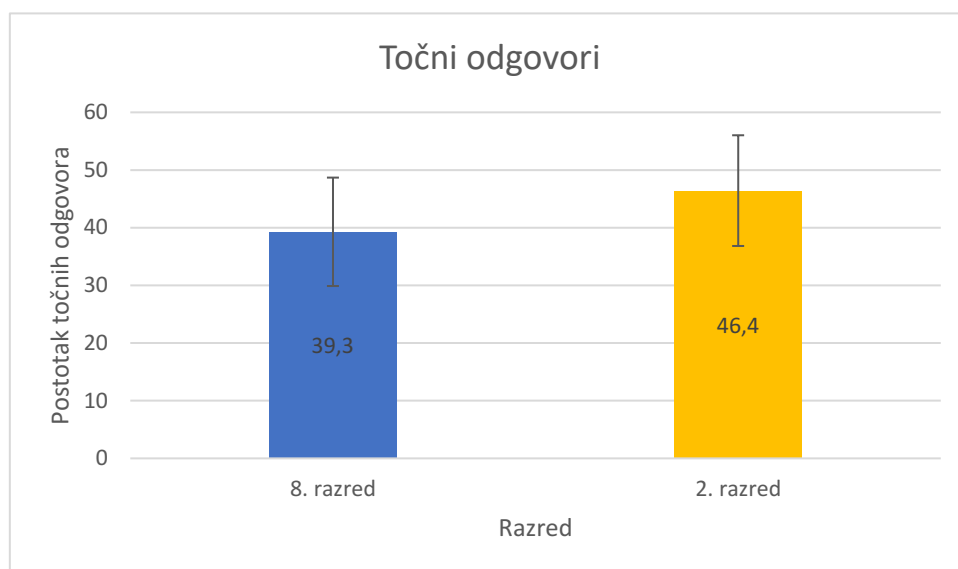
7. Što drži tijela na površini Zemlje?
- a) Gravitacija i atmosferski tlak.
  - b) Gravitacija i magnetsko polje Zemlje.
  - c) Gravitacija, atmosferski tlak i magnetsko polje Zemlje.
  - d) Samo gravitacija.

Okvir 14. Zadatak 7. iz testa



Slika 35. Raspodjela odgovora na 7. pitanje

Ponovno, samo je gravitacija zadužena za držanje tijela na površini Zemlje i niti jedan od navedenih utjecaja nikako nije povezan s gravitacijom. Shodno tome, točan odgovor je pod d). Na ovo je pitanje broj točnih odgovora veći u drugom razredu nego u osmom. Bez obzira na to, ostali odgovori podjednako su zastupljeni u oba razreda, a odgovor pod c) je najčešće odabrani pogrešan odgovor. Učenici koji su na šesto pitanje odgovorili kako postoji nekakva povezanost između magnetskog polja i gravitacijske sile, također su na sedmom pitanju birali odgovore koji iskazuju tu povezanost. Većina učenika koja je odgovorila točno na prethodno pitanje, odgovorila je točno i na sedmo pitanje.



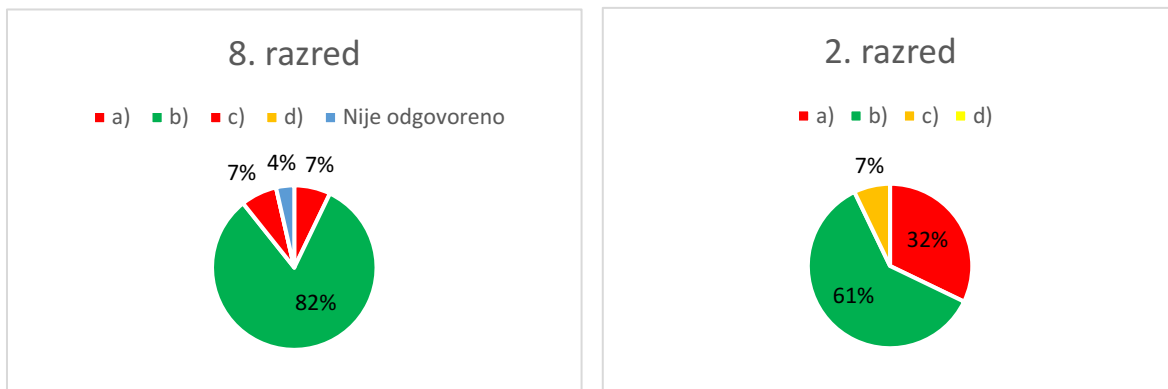
Slika 36. Usporedba broja točnih odgovora na 7. pitanje

U oba razreda učenici koji su odabrali odgovor pod a) imaju istu ideju „Gravitacija privlači prema središtu i atmosferski tlak pritišće prema dolje.“ Nije netočno da nas atmosferski tlak pritišće, ali sa svih strana jednako, te nema rezultantne sile prema dolje, kao posljedice atmosferskog tlaka (postoji rezultantna sila prema gore, koju zovemo uzgonom). Odgovor pod b) imao je vrlo slična obrazloženja kao i prethodno pitanje. Neki učenici smatraju kako nas na površini Zemlje drže gravitacija, atmosferski tlak i magnetsko polje Zemlje jer „Sve to treba utjecati na tijelo da bi bilo na površini.“ Posljednji i točan odgovor jedan je učenik/ca drugog razreda obrazložio/la „Gravitacija nas privlači, ostale navedene stvari nemaju veze s tim da nas „drže“ na zemlji.“

Sljedeće pitanje provjerava povezanost zraka (sredstva) i postojanja gravitacije, jer neki učenici smatraju da gravitacija treba sredstvo za svoje djelovanje, koje se najčešće povezuje sa zrakom.

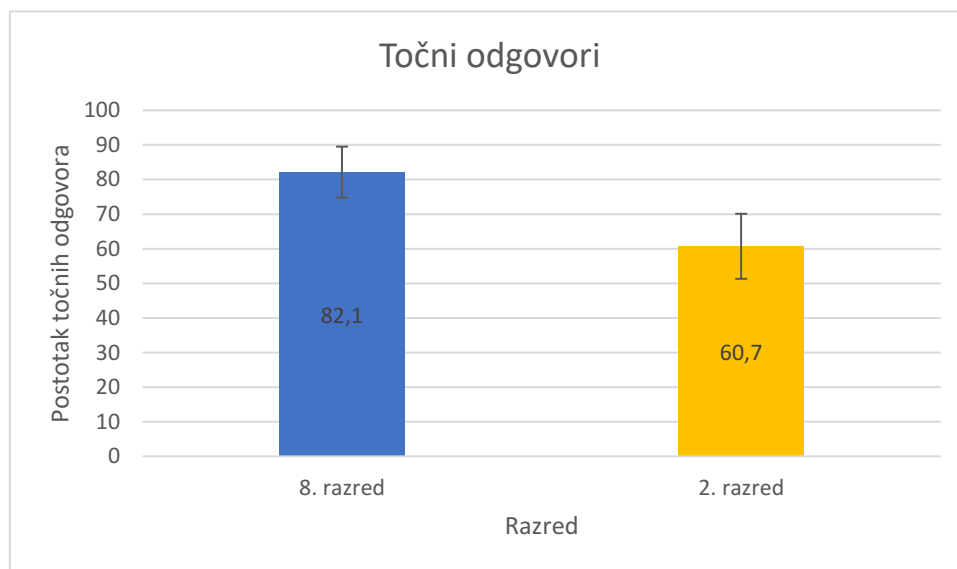
8. Ako bismo iz sobe isisali sav zrak i pustili loptu s neke visine iznad poda, što bi se s njom dogodilo?
- Lopta bi ostala lebdjeti na istoj visini.
  - Lopta bi pala na pod.
  - Lopta bi otišla na strop.
  - Lopta bi otišla na jedan od zidova.

Okvir 15. Zadatak 8. iz testa



Slika 37. Raspodjela odgovora na 8. pitanje

Jedno od važnih svojstava gravitacije, kao i ostalih fundamentalnih sila, je da ne zahtijeva sredstvo kako bi djelovala. Gravitacijska sila može djelovati i kroz prazan prostor (vakuum) ili kroz medij poput zraka, vode ili drugih tvari. Obzirom na to, na loptu će i u sobi bez zraka djelovati gravitacijska sila Zemlje, zbog čega će lopta pasti na pod. Točan odgovor na ovo pitanje nalazi se onda pod b).



Slika 38. Usporedba broja točnih odgovora na 8. pitanje

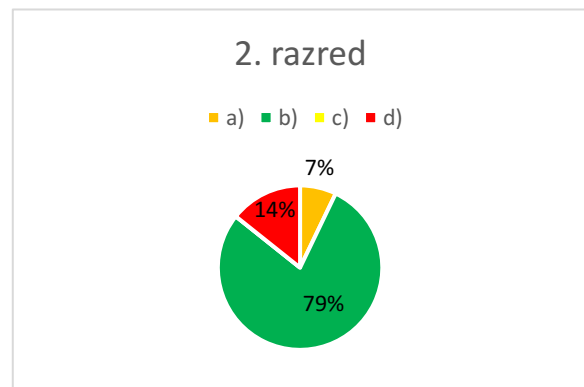
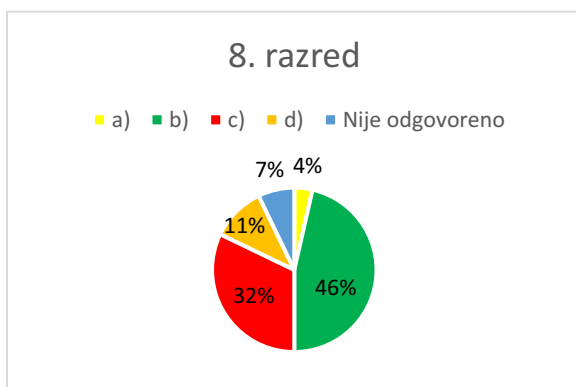
Više od pola učenika u oba razreda odgovorilo je točno na ovo pitanje, uz napomenu da je ovaj zadatak točno riješilo više učenika osmog ( $82.1 \pm 7.4$ )% nego drugog ( $60.7 \pm 9.4$ )% razreda. Nitko od učenika nije odabrao odgovor d) dok je odgovor c) odabralo tek četvero učenika. Odgovor a) bio je najčešći netočan odgovor u drugom razredu. Upravo taj odgovor predstavlja pogrešnu ideju, koju neki učenici imaju, da je gravitacija sila koja treba sredstvo za

prenošenje (zrak) i da u nedostatku tog sredstva ona ne djeluje. Istu miskoncepciju uočio je i M. Watts i opisao ju u svojem članku kroz dva okruženja („Framework 1“ i „Framework 2“ (Watts, 1982)). Učenička obrazloženja odgovora pod a) slažu se s očekivanjima. Razmišljanja su kako je zrak medij kojim se prenosi gravitacija i kako bi lopta ostala lebđjeti: „Jer je nastao vakuum.“ Zanimljivo je da je više učenika drugog nego osmog razreda odabralo ovaj odgovor. Učenike, koji su odabrali točan odgovor, možemo razdvojiti na dvije skupine. Prva skupina su oni koji su odabrali taj odgovor, jer smatraju da će lopta i dalje pasti na isti način i koji su kao obrazloženje pisali npr. „Privlačna sila između lopte i Zemlje postoji neovisno o zraku.“ Druga grupa su učenici koji su odabrali odgovor da će lopta i dalje pasti, ali smatraju da će se brzina kojom lopta pada promijeniti, i to neki smatraju da će padati brže („Pala bi, ali brže nego u prisutnosti s zrakom“), a neki da će padati sporije („Pala bi, ali sporije zbog vakuma.“). Oni koji smatraju da će pasti drugačijom brzinom, objašnjavaju to nestankom otpora zraka: „Ako isišemo zrak, više neće biti otpora zraka, koji usporava padanje.“ U slučaju kada bi loptica otišla na strop, učenici bi to opisali „Kao u svemiru“, vjerojatno pretpostavljajući da u svemiru nema gravitacije.

Sljedeće pitanje koje spada u ovaj ishod je deveto.

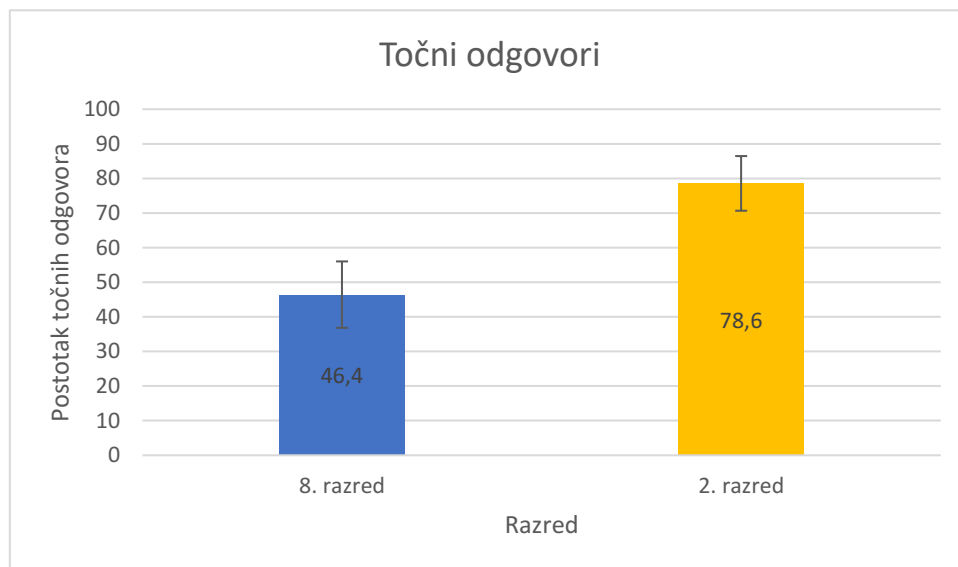
9. Što drži astronauta na površini Mjeseca?
- Magnetsko polje Mjeseca.
  - Gravitacijska sila Mjeseca na astronauta.
  - Teške čizme koje astronauti nose na nogama.
  - Ne drži ga ništa, jer nema atmosfere na Mjesecu.

Okvir 16. Zadatak 9. iz testa



Slika 39. Raspodjela odgovora na 16. pitanje

Iako Mjesec ima znatno manju gravitacijsku silu od Zemlje, gravitacijska sila Mjeseca na astronauta dovoljna je da zadrži astronauta na njegovoj površini. Prema tome, odgovor b) točan je odgovor na deveto pitanje. Deveto pitanje prema ukupnom broju učenika koji su točno odgovorili kao i u osmom razredu spada u srednje teška pitanja, a kategoriziralo bi se kao lakše pitanje u drugom razredu. Broj točnih odgovora u svakom razredu vidljiv je na Slici 40.



Slika 40. Usporedba broja točnih odgovora na 9. pitanje

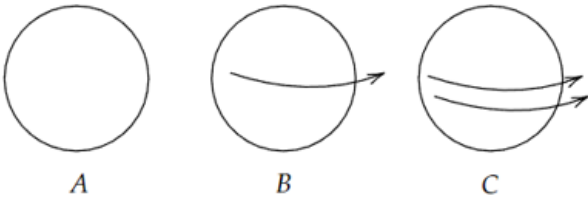
Očekivano, odgovori c) i d) najviše su odabrani netočni odgovori. Učenici koji su odabrali odgovor c) smatraju da samo gravitacija Mjeseca nije dovoljna da zadrži astronauta na površini Mjeseca „Mjesec ima svoju gravitacijsku silu, manja je od Zemljine, ali svejedno astronauti nose posebne čizme.“ Izdvojila bih i obrazloženje odgovora pod d) koji prikazuje veliki utjecaj filmova na učeničke pretpostavke o gravitaciji. Jedan učenik/ca drugog razreda smatra da astronauta ne drži ništa i da „Zato i mogu hodati po mjesecu i onako odskakati velikim koracima.“ Učenici koji su odabrali odgovora pod a) većinom su napisali „... ne znam baš objasniti...“, ali ovaj je odabir u skladu s prijašnjim razmišljanjima kako magnetsko polje ima utjecaj na gravitacijsku silu između dva tijela. Za kraj, točan odgovor vrlo su slično objasnili učenici i osmog i drugog razreda. Učenik/ca osmog razreda napisao/la je „Gravitacija je slabija na Mjesecu jer je manji od Zemlje, ali i dalje može držati astronauta.“ Taj je odgovor malo potpuniji u drugom razredu „Jer svako tijelo ima gravitacijsko polje pa tako i Mjesec, samo Mjesec ima manju jer je manje mase od zemlje pa astronauti mogu visoko skočiti.“ Možemo

uočiti da je i u ovom slučaju prisutna slika skakanja astronauta kakvu vidamo u filmovima, ali je glavni dio obrazloženja točno napisan.

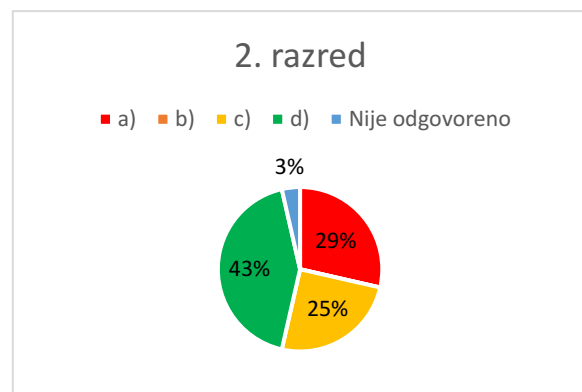
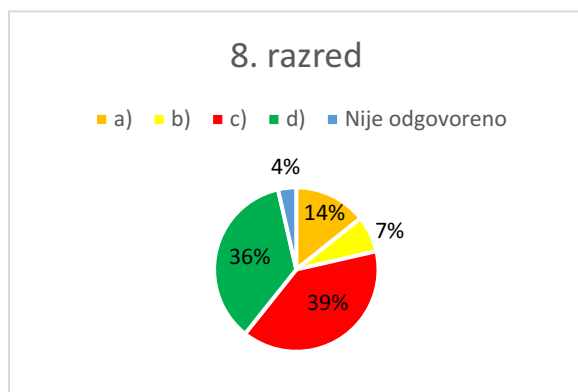
Posljednje pitanje koje pripada ovom ishodu je šesnaesto.

16. Zamislite da imamo tri planeta. Planet A ne rotira, planeti B i C rotiraju, ali planet C rotira brže od planeta B, kao na slici ispod. Na površini svakog planeta nalazi se jednako tijelo. Poredajte planete po jakosti gravitacijske sile planeta na to tijelo.

a)  $A > B > C$   
 b)  $B = C > A$   
 c)  $C > B > A$   
 d)  $A = B = C$

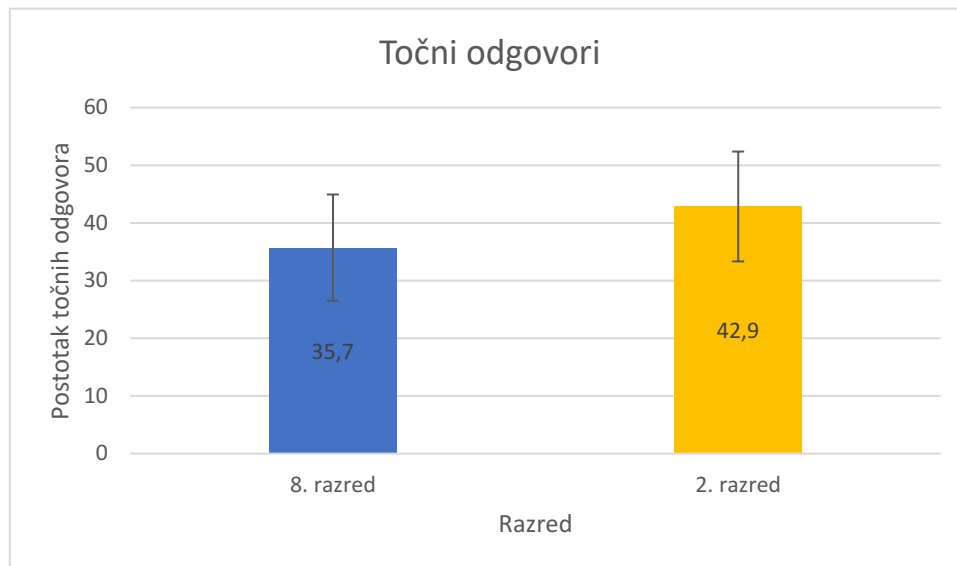


Okvir 17. Zadatak 16. iz testa



Slika 41 Raspodjela odgovora na 16. pitanje

Brzina rotacije planeta i gravitacijska sila su dva različita fenomena i nisu nužno povezana. Te je odgovor d) točan odgovor. Na razini osnovne i srednje škole zanemarujemo mogućnost da brza rotacija planeta može uzrokovati spljoštenost, što utječe na gravitacijsku silu na različitim širinama. Na primjer, Zemlja je spljoštena zbog svoje rotacije, što malo smanjuje gravitacijsku silu na ekvatoru u usporedbi s polovima. Ovaj je zadatak prema ukupnoj riješenosti srednje težak zadatak kojeg je riješilo nešto manje od polovice učenika osmog i drugog razreda.



Slika 42. Usporedba broja točnih odgovora na 16. pitanje

Odgovori c) i a) najčešći su krivi odgovori u osmom i drugom razredu respektivno. U osmom razredu broj učenika koji su odabrali odgovor c) čak je veći od broja učenika koji su odabrali točan odgovor. Po jedan učenik nije odgovorio na pitanje u svakom razredu i niti jedan učenik drugog razreda nije odabrao odgovor b). Svi odgovori osim odgovora d) podrazumijevaju da rotacija na neki način utječe na gravitaciju. Odgovor a) implicira da planet na tijelo djeluje većom gravitacijom što se sporije vrti. Obrazloženje toga je „Kak se tijelo rotira, odbacuje od sebe tijelo koje je na njemu.“ Odgovor b) opisuje da je gravitacijska sila planeta veća ako on rotira, ali nije važno koliko brzo rotira, uz objašnjenje „Kad se tijelo rotira drži to tijelo gravitacija više.“ Odgovor c) suprotan je od odgovora a), odnosno, planet na tijelo djeluje većom gravitacijom što se brže vrti. Učenici su taj odgovor povezivali s centripetalnom silom „Formulu za gravitacijsku silu dobivamo iz formule za centripetalnu koja je  $F_{cp} = ma_{cp}$ , tako da će se akceleracija, pa i sila, povećavati s brzinom.“ Netko je napisao i „najbrže se vrti, pa je jača gravitacijska sila, koja je proporcionalna s centripetalnom.“ Točan odgovor učenici drugog razreda objasnili su na vrlo dobar način, komentirajući o čemu ovisi gravitacijska sila prema formuli, te su došli do zaključka da ne ovisi o rotaciji tijela: „Rotacija ne mijenja ni masu ni udaljenost, stoga je sila ista.“

Ovim ishodom ispitalo se više različitih miskoncepcija prema kojima druge sile ili utjecaji mijenjaju način na koji djeluje gravitacijska sila. Ovaj je ishod podjednako osrednje



ostvaren i u osnovnoj i u srednjoj školi. Svakako postoji još prostora za rad, pogotovo oko magnetskog polja u nekom prostoru i gravitacijske sile nekog tijela na neko drugo tijelo u tom prostoru. U srednjoj školi dodatno treba naglasiti činjenicu da gravitacijskoj sili ne treba medij za prijenos. Međutim ovi rezultati nisu ništa čudno, istraživanje čak i među studentima, koji ne studiraju fiziku, pokazalo je sljedeće: „Neki studenti su smatrali da 'rotacija', 'vrtnja', 'magnetizam' i 'atmosfera' Zemlje uzrokuju silu privlačenja između Zemlje i drugih objekata.“ (Asgar & Libarkin, 2010) Te nejasnoće i brkanje pojmova mogu doći od toga što učenici mogu primijetiti promjene u svojoj okolini poput promjena u težini ili ponašanju predmeta te pogrešno povezati te promjene s pojavama, koje nisu direktno povezane. Nadalje, učenici često imaju fragmentirano razumijevanje različitih pojmova i pojava, ali im nedostaje dublje razumijevanje jesu li i kako oni povezani. To može dovesti do pokušaja povezivanja fenomena, koji zapravo nemaju direktnu povezanost, što vidimo u ovom slučaju.

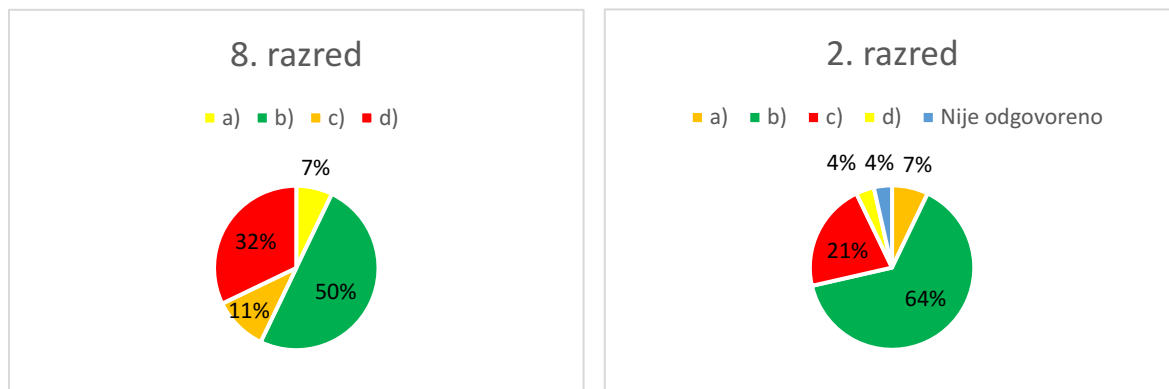
#### 4.7 Ubrzanje sile teže nije jednako na različitim planetima, a time niti gibanje tijela na njima

Tijekom vremena, znanstvenici su otkrili da gravitacijska sila nije jednaka na svim planetima unutar našeg Sunčevog sustava. Ova spoznaja ima ključnu ulogu u analizi gibanja tijela na tim raznolikim svjetovima. Posljednji ishod upravo provjerava koliko učenici razumiju značenje pojma ubrzanja sile teže.

Pitanje koje to provjerava je trinaesto.

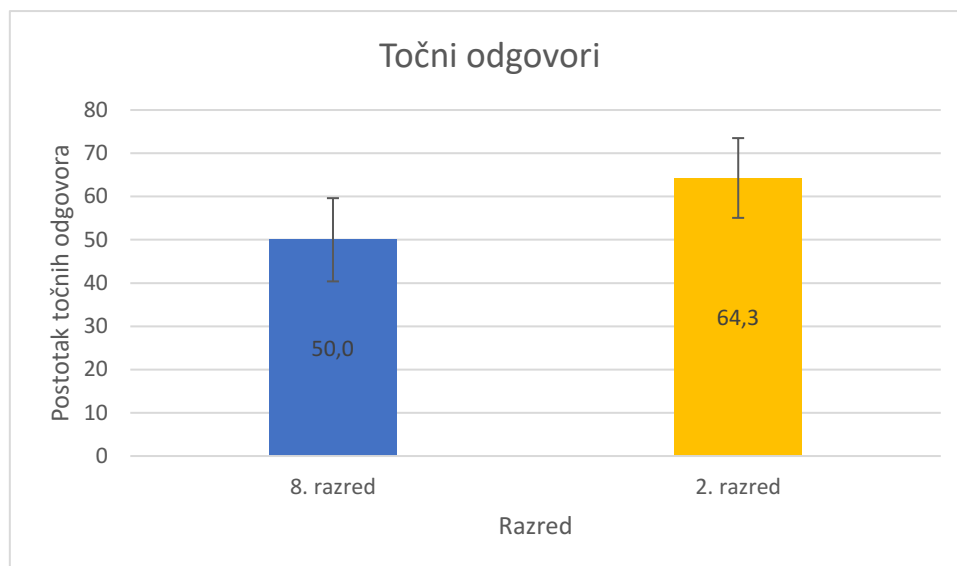
13. Jednake loptice izbacimo na Zemlji i Mjesecu prema gore, jednakom početnom brzinom. Usporedite najveću visinu koju loptica dosegne na Zemlji i Mjesecu.
- a) Loptica na Mjesecu dosegne istu visinu kao i na Zemlji.
  - b) Loptica na Mjesecu dosegne veću visinu nego na Zemlji.
  - c) Loptica na Zemlji dosegne veću visinu nego na Mjesecu.
  - d) Loptica na Mjesecu odleti bez zaustavljanja.

Okvir 18. Zadatak 13. iz testa



Slika 43. Raspodjela odgovora na 13. pitanje

Odgovor b) je točan, jer je na Zemlji ubrzanje sile teže veće nego na Mjesecu. Kada se lopticu izbaci prema gore istom početnom brzinom na Zemlji i Mjesecu, manje ubrzanje sile teže na Mjesecu znači da će loptica na Mjesecu sporije gubiti brzinu dok se uspinje prema gore i da će zato dosegnuti veću visinu prije nego što uspori do brzine jednake nuli. Ubrzanje sile teže na Zemlji iznosi  $9.8 \text{ ms}^{-2}$ , a ubrzanje sile teže na Mjesecu je otprilike jedna šestina ubrzanja sile teže na Zemlji tj.  $1.6 \text{ ms}^{-2}$ . Upravo za faktor šest razlikovat će se i visina koju loptica dosegne na Zemlji i Mjesecu ( $h_{Mjesec} = 6 h_{Zemlja}$ ). Ovaj zadatak točno je riješilo 50% učenika osmog razreda i 64% učenika drugog razreda što se vidi na Slici 44.



Slika 44. Usporedba broja točnih odgovora na 13. pitanje

Najčešći netočni odgovori razlikuju se u osmom i drugom razredu. Devet učenika osmog razreda odabralo je odgovor d) dok je samo jedan učenik odabrao taj odgovor u drugom razredu. Šest učenika drugog razreda odabralo je odgovor c), a upola manje učenika osmog razreda odabralo je isti taj odgovor. Niti jedan učenik koji je odabrao odgovor a) nije znao obrazložiti zašto je odabrao taj odgovor. Odgovor pod b) učenici osmog razreda obrazložili su „Jer je manja gravitacijska sila na Mjesecu.“ U drugom razredu obrazloženja su bila malo opširnija: „Zbog slabije Mjesečeve gravitacije loptica manje usporava te dosegne veću visinu.“ Jedan učenik/ca dodatno je elaborirao/la svoje objašnjenje „Na Mjesecu je manji  $a$ , pa je manji  $F_g$ ,  $F = ma$ , manja je akceleracija, pa će lopta duže usporavati i doseći veću visinu  $h = \frac{1}{2}at^2$ “. Jedna je osoba odabir c) pokušala obrazložiti na sljedeći način: „Jer Mjesec nema atmosferu i Zemlja ima jaču gravitacijsku silu.“ Nisam sigurna je li se osoba zabunila pri odabiru odgovora ili smatra da jača gravitacija znači da loptica stvarno doseže veću visinu. Zadnji odgovor često je imao obrazloženje da „Mjesec nema gravitaciju“ ili „Gravitacija Mjeseca je vrlo mala.“ Učenici su pri tome vjerojatno mislili kako je gravitacijska sila Mjeseca na lopticu nedovoljno jaka da loptica padne na tlo.

Prema rezultatima i obrazloženjima odgovora, ishod je više ostvaren u srednjoj nego osnovnoj školi. Pretpostavljam da to dolazi od toga što učenici drugog razreda imaju veće razumijevanje značenja ubrzanja sile teže i kako se njen iznos mijenja te što to znači za gibanje tijela. Neki učenici možda ne razumiju da je gravitacijsko ubrzanje na Mjesecu manje od onog

na Zemlji, što može rezultirati pogrešnim zaključkom o visinama koje će loptica dosegnuti. Također, moguće je da učenici nisu svjesni da veće ubrzanje sile teže na Zemlji uzrokuje brže usporavanje loptice pri usponu i kraći pad u usporedbi s Mjesecom. Učenici koji su odabrali odgovor da loptica na Mjesecu dosegne istu visinu kao i na Zemlji, iako nisu obrazložili svoje odgovore, možda su pretpostavili da će rezultat biti isti na oba mjesta jer je početna brzina ista što nije točno s obzirom na različite gravitacijske uvjete.

## 5 Zaključci i implikacije za nastavu

Analizom odgovora na test u sklopu ovog istraživanja, dolazimo do zaključka da nedovoljno razumijevanje osnovnih svojstava gravitacije ukazuje na potrebu za temeljitijim pristupom učenju ovog koncepta. Učenici često percipiraju gravitaciju kao intuitivno razumljivu silu, no, kao što rezultati pokazuju, njihove pretpostavke mogu biti pogrešne i kontradiktorne znanstvenim činjenicama. U ranim fazama obrazovanja, učenici još nemaju potpuno razvijeno razumijevanje osnovnih koncepata iz fizike, uključujući prirodu gravitacije. Nedostatak formalnog obrazovanja i preciznih objašnjenja dovodi do stvaranja vlastitih zaključaka koji se temelje na njihovom svakodnevnom iskustvu. „Učenici često zaključuju na temelju poznatih koncepata, a kada su ti koncepti neznanstveni, zaključci se mogu znatno udaljiti od koncepata koje smatramo da podučavamo.“ (Asghar & Libarkin, 2010) U nastavku su napisani generalni prijedlozi po ishodima za dodatne materijale koji bi mogli pomoći učenicima u boljem razumijevanju gravitacijske sile. Općenito, bilo bi poželjno koristiti računalne ili interaktivne simulacije, koje mogu pomoći učenicima da vizualno shvate kako gravitacija djeluje.

### 5.1 Gravitacijska sila djeluje među svim tijelima s masom

Budući da i nakon obrade gradiva gravitacije među učenicima postoji konfuzija i smatraju da samo tijela velike mase mogu gravitacijski međudjelovati, poželjno bi bilo to dodatno naglasiti pri prvom susretu s tom idejom u osnovnoj školi i obavezno ponoviti u srednjoj školi. Vrlo dobra simulacija koja omogućuje učenicima da eksperimentiraju s različitim masama je [https://phet.colorado.edu/sims/html/gravity-force-lab/latest/gravity-force-lab\\_all.html](https://phet.colorado.edu/sims/html/gravity-force-lab/latest/gravity-force-lab_all.html) (QR kod je na Slici 45). Ukoliko se mase kugli postave na masu prosječnog čovjeka, vidi se da te dvije kugle i dalje međudjeluju, samo su te sile puno manje od one kojom međudjeluju sa Zemljom pa ih mi ne primjećujemo, odnosno, zanemarujemo. Kao analogiju, nastavnik može spomenuti i magnetsko privlačenje. Iako magnetski materijali dolaze u različitim veličinama i oblicima, oni i dalje međudjeluju, samo ovisno o jakosti magneta neka međudjelovanja su primjetna, a neka ne. Slično tome, sve tvari s masom privlače se gravitacijskom silom, bez obzira na njihovu veličinu i oblik.



Slika 45. QR kod za simulaciju

## 5.2 Gravitacijska sila ovisi o masama uključenih tijela i udaljenostima među njima

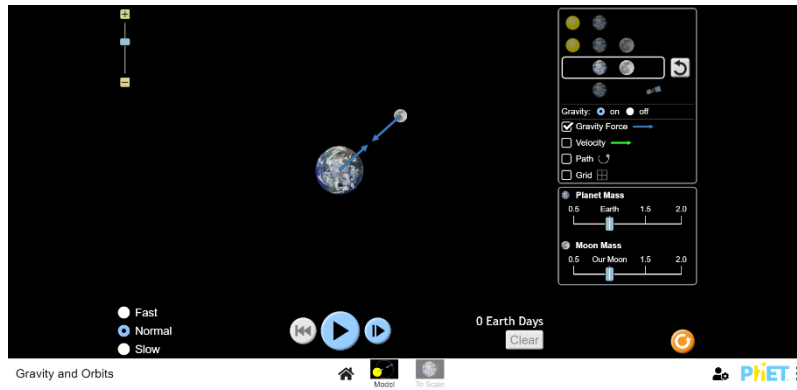
Rezultati odgovora na pitanja jedanaest i osamnaest pokazuju veliki napredak u broju točnih odgovora u drugom razredu u usporedbi s osmim razredom. Djelomično je to zbog toga što su u drugom razredu učenici upoznati s formulom kojom se opisuje Newtonov zakon gravitacije, a koji je proporcionalan masama tijela koja međudjeluju i obrnuto proporcionalan kvadratu udaljenosti između tih tijela. U osnovnoj školi ta se formula ne uvodi, ali kroz priču bi se moglo učenicima naglasiti da gravitacijska sila koja djeluje između bilo koja dva tijela s masom ovisi upravo o masama tih tijela koja međudjeluju i njihovoj udaljenosti. Pri objašnjavanju formule i ovisnosti korisna može biti ista simulacija kao u prethodnom potpoglavlju (QR kod je na Slici 45).

## 5.3 Pri gravitacijskom međudjelovanju, oba tijela djeluju silama jednakih iznosa, a gravitacijska sila može biti samo privlačna i djeluje duž spojnice tijela

Preporuka nastavnicima je da kroz razrednu raspravu prodiskutiraju pitanje gravitacijske sile Zemlje na jabuku i jabuke na Zemlju te u kojem smjeru one djeluju i kakve su iznosom. Učenici osnovne škole ne znaju što su Newtonovi zakoni, ali u srednjoj školi učenici bi trebali moći međusobno povezati te koncepte. Grafički prikaz vektora svakako bi bio poželjan. Nakon toga situacija se može dodatno poopćiti i na tijela koja kruže oko Zemlje pa i Sunca za što postoji odlična PheT simulacija [https://phet.colorado.edu/sims/html/gravity-and-orbits/latest/gravity-and-orbits\\_all.html](https://phet.colorado.edu/sims/html/gravity-and-orbits/latest/gravity-and-orbits_all.html) (QR kod je na Slici 47). Na simulaciji modela samo treba označiti prikaz vektora gravitacijske sile kako bi učenici mogli pratiti iznos i smjer sila kao na Slici 47.



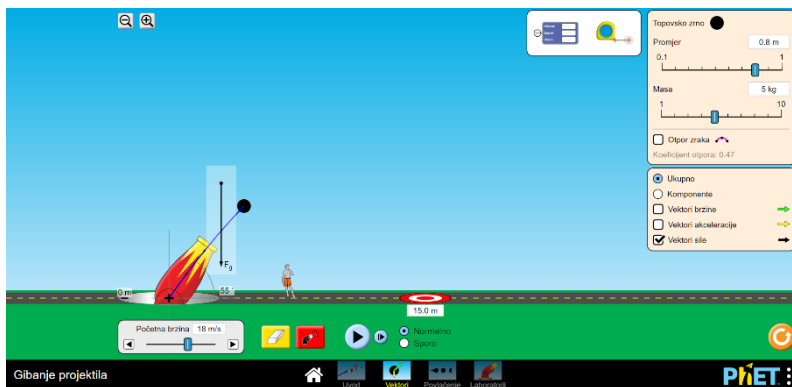
Slika 46. QR kod za simulaciju



Slika 47. Prikaz vektora gravitacije na simulaciji

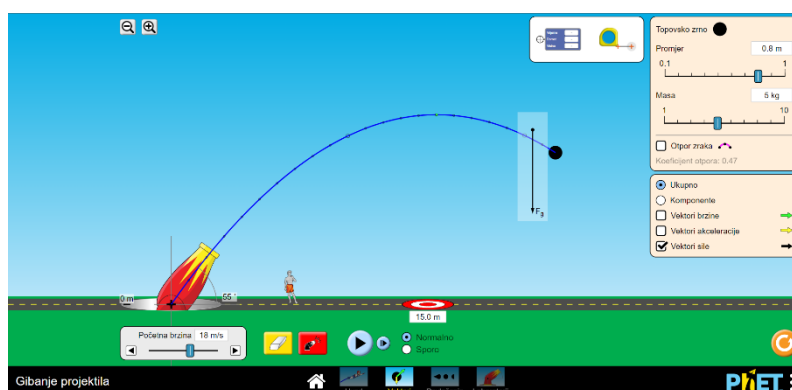
#### 5.4 Gravitacijska sila djeluje stalno, ne samo pri padu tijela

Budući da se dvanaesto pitanje pokazalo kao najteže na testu, svakako bi ovom ishodu trebalo posvetiti više pažnje. Jedan od načina kako najbolje vizualno prikazati djelovanje sile je simulacija [https://phet.colorado.edu/sims/html/projectile-motion/latest/projectile-motion\\_all.html](https://phet.colorado.edu/sims/html/projectile-motion/latest/projectile-motion_all.html) (QR kod je na Slici 48). Odabere se način rada vektori, ugasi sila otpora zraka i upali prikaz vektora sile. Ostali parametri se namjeste po želji te se promatra sila na topovsko zrno kao na Slikama 49 i 50.



Slika 48. QR kod za simulaciju

Slika 49. Dijagram sila na topovsko zrno dok putuje prema gore



Slika 50. Dijagram sila na topovsko zrno dok putuje prema dolje

Učenici mogu uočiti da u svakom dijelu puta na zrno djeluje samo gravitacijska sila Zemlje, a ne samo dok tijelo pada.

### 5.5 Gravitacijska sila ne ovisi o prisustvu atmosfere, niti je povezana s atmosferskim tlakom

Ovo je također jedan od težih koncepata za učenike osmog razreda koji su vrlo slabo riješili oba pitanja koja spadaju pod ovaj ishod upravo zbog ideje da bestežinsko stanje u kojem se nalaze astronauti u svemirskim stanicama dolazi od nepostojanja gravitacijske sile Zemlje na astronauta, jer se stanice nalaze na otprilike 400 km visine. Ta se miskoncepcija javlja i kod učenika drugog razreda, stoga, kao što je i u zaključku ishoda rečeno, svakako se preporučuje izračunati ubrzanje sile teže na tim visinama. Osim toga, može se povući analogija sa slobodnim padom ljudi u npr. dizalu i pokusom pokazati da dinamometar koji pada zajedno s tijelom pokazuje silu jednaku nuli. Zanimljiva simulacija je na poveznici <https://www.edumedia-sciences.com/en/media/918-relativity-of-motion-einstein-experiment> (QR kod je na Slici 51).



Slika 51. QR kod za simulaciju



### **5.6 Gravitacijska sila ne treba sredstvo (zrak) da bi djelovala i neovisna je o drugim silama i utjecajima**

Rezultati su pokazali da učenici povezuju djelovanje gravitacijske sile i atmosfere/atmosferskog tlaka, rotacije i magnetskog polja. Učenici imaju poteškoća u diferencijaciji između različitih sila i pojava koje utječu na tijela. Kada primijete slične efekte, poput kretanja predmeta prema dolje, lako im je zamijeniti uzročno-posljedičnu vezu između gravitacije i atmosferskog tlaka. Vrlo je slično i za potrebu za postojanjem sredstva, najčešće zraka, jer učenici primjećuju da predmeti padaju prema dolje što je posljedica gravitacije, dok zrak vrši otpor koji se može osjetiti dok se tijela kreću kroz njega. Kada bacaju predmete ili promatraju stvari kako padaju, vide da zrak okružuje predmete. Ovo svakodnevno iskustvo dovodi do pogrešne pretpostavke da je zrak potreban za postojanje gravitacije. Usporedba pada tijela u zraku i vakuumu može se napraviti pomoću vakuumske pumpe, a ukoliko ista ne postoji u školi pomoću simulacije (QR kod je na Slici 52 a) ili videa (1:40 - 2:03) (QR kod je na Slici 52 b).

a)



b)



*Slika 52. a) QR kod za simulaciju. b) QR kod za video.*

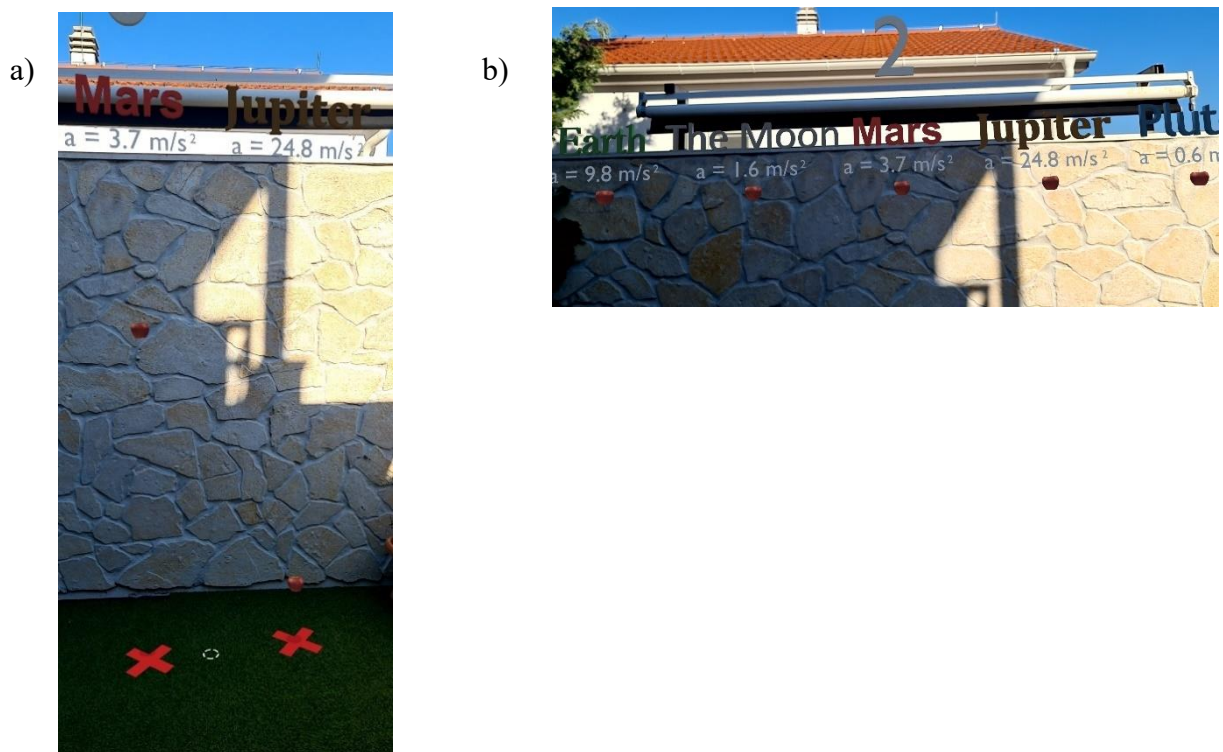
### **5.7 Ubrzanje sile teže nije jednako na različitim planetima, a time niti gibanje tijela na njima**

Učenici se često oslanjaju na svoje svakodnevno iskustvo i analogije kako bi razumjeli nove koncepte. Ako razmišljaju o planetima kao o površinama sličnim Zemlji, mogu pretpostaviti da će tijela imati slična ubrzanja sile teže. Također, u mnogim slučajevima, učenici mogu koristiti pojednostavljene modele kako bi razumjeli svijet oko sebe. Kada razmišljaju o gravitaciji, mogu intuitivno pretpostaviti da će sva tijela padati s istim ubrzanjem bez obzira na kojem su planetu, jer je to jednostavnije za razumjeti. Kako bi se razjasnilo da ubrzanje sile teže nije jednako na svim planetima, važno je naglasiti kako se ubrzanje sile teže mijenja s masom planeta i udaljenošću od središta planeta. Kako bi približili ovu ideju učenicima preporučam

simulaciju <https://www.edumedia-sciences.com/en/media/698-jump-on-a-comet> (QR kod je na Slici 53 a) i aplikaciju naziva „Newton's Apple: Gravity in AR“ koja se za android uređaje može preuzeti na poveznici <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.Techsight.NewtonsAppleARGravitySimulation> (QR kod je na Slici 53 b). Aplikacija je vrlo jednostavna i zabavna za korištenje, a postoje dvije slike zaslona iz aplikacije.



Slika 53. a) QR kod za simulaciju. b) QR kod za aplikaciju.



Slika 54. Aplikacija „Newton's Apple: Gravity in AR“ a) Prikaz pada jabuka za različite planete. b) Za svaki planet navedeno je i pripadno ubrzanje sile teže.

## 5.8 Ostale poteškoće

Od ostalih poteškoća izdvojila bih često korišteni izraz u obrazloženjima da „tijelo ima gravitaciju“. Taj izraz može sugerirati da gravitacija postoji samo unutar tog tijela i ne djeluje na druga tijela u blizini ili da je gravitacija neka svojstvena karakteristika pojedinih tijela, a ne međudjelovanje između njih.. Gravitacija je fundamentalna sila koja djeluje između svih tijela koja imaju masu. Ukoliko želimo reći da baš jedno tijelo pokazuje gravitacijska svojstva, pravilnije bi bilo reći da "svako tijelo s masom posjeduje gravitacijsko polje" ili "svako tijelo s masom ima gravitacijski utjecaj na okolne objekte". Kako bi se promicalo točno i sveobuhvatno razumijevanje gravitacije, važno je koristiti točne termine i konceptualno točne opise.

Često se u obrazloženjima dalo iščitati da postoji samo gravitacija kojom Zemlja djeluje na neko tijelo dok niti jedno drugo tijelo pa čak niti drugi planeti ne mogu biti „izvor“ gravitacijske sile. Zemlja je najveće tijelo u neposrednom okruženju učenika pa se može pojaviti ideja da je gravitacija svojstvena samo njoj. Međutim, ova miskoncepcija zanemaruje temeljne principe i spoznaje fizike. Gravitacija nije ograničena samo na Zemlju. Ona je univerzalna sila koja djeluje među svim tijelima koja imaju masu. Svako tijelo u svemiru privlači druga tijela prema sebi putem gravitacije. Čak i u prostorima koji su daleko od planeta i zvijezda, gravitacija je prisutna, iako njezina snaga može postati manja što se udaljavamo od tijela s velikom masom.

Nekolicina učenika umjesto o gravitacijskoj sili u obrazloženjima se pozivalo na gravitacijsku potencijalnu energiju. Gravitacijska potencijalna energija i gravitacijska sila često se spominju zajedno u kontekstu gravitacije. Učenici mogu zbog toga pomiješati ove pojmove, pretpostavljajući da se radi o istoj stvari. Štoviše, učenici često nemaju potpuno razumijevanje razlika između energije i sile te kako se one međusobno odnose. Važno je jasno uvesti pojmove gravitacijske potencijalne energije i gravitacijske sile te njihove razlike. Gravitacijska potencijalna energija opisuje energiju koju sustav tijela ima zbog svoje gravitacijske interakcije, dok gravitacijska sila opisuje privlačnu interakciju između tijela s masom. Iako su oboje povezani s gravitacijom, jedan se pojam odnosi na energiju, dok drugi opisuje međusobno djelovanje tijela.

Općenito, gravitacija je teška za shvatiti učenicima, posebno zbog svoje apstraktne prirode i konceptualnih izazova koje predstavlja. Gravitacija je jedna od fundamentalnih sila u prirodi, ali njeni efekti nisu uvijek očigledni u svakodnevnom iskustvu. Na primjer, ne primjećujemo

uvijek da smo privučeni drugim tijelima (osim prema Zemlji, koja je jako velike mase), jer su te sile iznimno male u usporedbi s drugim interakcijama. Gravitacija je koncept koji se ne može lako vizualizirati, što može stvoriti izazove u razumijevanju jer se oslanjamo na mentalne modele i analogije kako bismo se približili razumijevanju ove sile. Nadalje, kako bi se dublje razumjela gravitacija, ponekad je potrebno koristiti matematičke koncepte poput matematičkog opisa zakona gravitacije ili izraza za gravitacijsku potencijalnu energiju. Ovi koncepti mogu biti kompleksni za učenike koji nisu još razvili snažan matematički temelj. Nastavnici moraju prepoznati ove izazove i pristupiti nastavi gravitacije na način koji koristi različite metode i primjere kako bi se učenicima olakšalo razumijevanje. Ovo može uključivati konkretno eksperimentiranje, vizualne prikaze, analogije i povezivanje s praktičnim primjerima iz stvarnog svijeta kako bi se učenicima pomoglo u prevladavanju konceptualnih poteškoća. Posebno je važno uklopiti to u istraživački usmjerenu nastavu fizike, te koristiti razne interaktivne nastavne metode, poput preporučenih računalnih simulacija i videa, potičući intelektualni angažman učenika kroz njihove pretpostavke, opažanja, objašnjenja i razrednu raspravu. (Planinić, 2023)

## 6 Literatura

AAAS, 1993. *Benchmarks for Science Literacy*. New York: Oxford University Press.

Asghar, A. & Libarkin, J. C., 2010. Gravity, Magnetism, and "Down": Non-Physics College Students' Conceptions of Gravity. *Science Educator*, Svezak 19, pp. 42-55.

Dropuljić, M. i dr., 2020. *Fizika 7. 2. ur.* Zagreb: Profil Klett.

Etkina, E., Gentile, M. J. & van Heuvelen, A., 2014. *College Physics. A la carte edition..* San Francisco: Pearson Education.

McHugh, M. L., 2008. Standardna pogreška: značenje i interpretacija. *Biochemia Medica*, 18(1), pp. 7-13.

Ministarstvo znanosti i obrazovanja RH, 2019. *Kurikulum za nastavni predmet Fizike za osnovne škole i gimnazije*. Zagreb: Ministarstvo znanosti i obrazovanja Republike Hrvatske.

Planinić, M., 2023. *Skripta iz Metodike nastave fizike 1*. Zagreb: an.

Watts, M. D., 1982. Gravity - don't take it for granted!. *Physics Education*, 17(3), pp. 116-121.

Williamson, K. E., 2013. *Development and calibration of a concept inventory to measure introductory college astronomy and physics students' understanding of Newtonian gravity. Doktorski rad..* Bozeman: Montana State University: an.

Williamson, K. E. & Willoughby, S., 2012. Student Understanding of Gravity in Introductory College Astronomy. *Astronomy Education Review*, Svezak 11, pp. 1-26.

Williamson, K. E., Willoughby, S. & Prather, E. E., 2013. Development of the Newtonian Gravity Concept Inventory. *Astronomy Education Review*, pp. 1-1.

## 7 Popis slika i tablica

### Popis slika

Slika 1. Primjer slika korištenih u istraživanju (Watts, 1982) .....	11
Slika 2. Srednji uspjeh učenika na cijelom testu u postotcima .....	18
Slika 3. Prosječan broj bodova po zadacima .....	20
Slika 4. Ukupna riješenost zadataka u postotcima za obje skupine .....	21
Slika 5. Riješenost zadataka u postotcima (osmi razred) .....	21
Slika 6. Riješenost zadataka u postotcima (drugi razred).....	22
Slika 7. Raspodjela odgovora na 3. pitanje.....	24
Slika 8. Usporedba broja točnih odgovora na 3. pitanje .....	25
Slika 9. Raspodjela odgovora na 4. pitanje.....	27
Slika 10 Usporedba broja točnih odgovora na 4. pitanje .....	28
Slika 11. Raspodjela odgovora na 10. pitanje.....	29
Slika 12. Usporedba broja točnih odgovora na 10. pitanje .....	30
Slika 13. Raspodjela odgovora na 11. pitanje.....	31
Slika 14. Usporedba broja točnih odgovora na 11. pitanje .....	32
Slika 15. Raspodjela odgovora na 18. pitanje.....	34
Slika 16. Usporedba broja točnih odgovora na 18. pitanje .....	34
Slika 17. Raspodjela odgovora na 5. pitanje.....	37
Slika 18. Usporedba broja točnih odgovora na 5. pitanje .....	38
Slika 19. Raspodjela odgovora na 5. pitanje.....	39
Slika 20. Usporedba broja točnih odgovora na 14. pitanje .....	40
Slika 21. Raspodjela odgovora na 15. pitanje.....	41
Slika 22. Usporedba broja točnih odgovora na 15. pitanje .....	42
Slika 23. Raspodjela odgovora na 12. pitanje.....	44
Slika 24. Usporedba broja točnih odgovora na 12. pitanje .....	45
Slika 25. Odgovor učenika/ce na 12. pitanje .....	46
Slika 26. Raspodjela odgovora na 17. pitanje.....	47
Slika 27. Usporedba broja točnih odgovora na 17. pitanje .....	48
Slika 28. Raspodjela odgovora na 1. pitanje.....	50
Slika 29. Usporedba broja točnih odgovora na 1. pitanje .....	51
Slika 30. Raspodjela odgovora na 2. pitanje.....	52
Slika 31. Graf ovisnosti gravitacijske sile o udaljenosti od središta za savršenu kuglu .....	53
Slika 32. Usporedba broja točnih odgovora na 2. pitanje .....	53
Slika 33. Raspodjela odgovora na 6. pitanje.....	55
Slika 34. Usporedba broja točnih odgovora na 6. pitanje .....	56
Slika 35. Raspodjela odgovora na 7. pitanje.....	57
Slika 36. Usporedba broja točnih odgovora na 7. pitanje .....	58
Slika 37. Raspodjela odgovora na 8. pitanje.....	59
Slika 38. Usporedba broja točnih odgovora na 8. pitanje .....	59
Slika 39. Raspodjela odgovora na 16. pitanje.....	60
Slika 40. Usporedba broja točnih odgovora na 9. pitanje .....	61
Slika 41 Raspodjela odgovora na 16. pitanje.....	62
Slika 42. Usporedba broja točnih odgovora na 16. pitanje .....	63
Slika 43. Raspodjela odgovora na 13. pitanje.....	65
Slika 44. Usporedba broja točnih odgovora na 13. pitanje .....	66
Slika 45. QR kod za simulaciju .....	68
Slika 46. QR kod za simulaciju .....	69
Slika 47. Prikaz vektora gravitacije na simulaciji .....	70

Slika 48. QR kod za simulaciju .....	70
Slika 49. Dijagram sila na topovsko zrno dok putuje prema gore .....	70
Slika 50. Dijagram sila na topovsko zrno dok putuje prema dolje .....	71
Slika 51. QR kod za simulaciju .....	71
Slika 52. a) QR kod za simulaciju. b) QR kod za video. ....	72
Slika 53. a) QR kod za simulaciju. b) QR kod za aplikaciju. ....	73
Slika 54. Aplikacija „Newton's Apple: Gravity in AR“ a) Prikaz pada jabuka za različite planete. b) Za svaki planet navedeno je i pripadno ubrzanje sile teže. ....	73

## Popis tablica

Tablica 1. Usporedba srednjeg uspjeha riješenosti testa s pripadnim standardnim devijacijama, brojem učenika i standardnim pogreškama srednje vrijednosti.....	18
Tablica 2. Rezultati t-testa .....	19
Tablica 3. Popis ishoda i pripadnih zadataka.....	23

## Popis okvira

Okvir 1. Zadatak 3. iz testa .....	24
Okvir 2. Zadatak 4. iz testa .....	27
Okvir 3. Zadatak 10. iz testa .....	29
Okvir 4. Zadatak 11. iz testa .....	31
Okvir 5. Zadatak 18. iz testa .....	33
Okvir 6. Zadatak 5. iz testa .....	37
Okvir 7. Zadatak 14. iz testa .....	39
Okvir 8. Zadatak 15. iz testa .....	41
Okvir 9. Zadatak 12. iz testa .....	44
Okvir 10. Zadatak 17. iz testa .....	47
Okvir 11. Zadatak 1. iz testa .....	50
Okvir 12. Zadatak 1. iz testa .....	52
Okvir 13. Zadatak 6. iz testa .....	55
Okvir 14. Zadatak 7. iz testa .....	57
Okvir 15. Zadatak 8. iz testa .....	58
Okvir 16. Zadatak 9. iz testa .....	60
Okvir 17. Zadatak 16. iz testa .....	62
Okvir 18. Zadatak 13. iz testa .....	65