

# Rano učenje fizike

---

Lasić, Andreja

Master's thesis / Diplomski rad

2020

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

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:217:327137>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-01-16**



Repository / Repozitorij:

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
PRIRODOSLOVNO-MATEMATIČKI FAKULTET  
FIZIČKI ODSJEK

Andreja Lasić

RANO UČENJE FIZIKE: GEOMETRIJA  
PROSTORA I VREMENA OD GALILEJA DO  
EINSTEINA

Diplomski rad

Zagreb, 2020.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
PRIRODOSLOVNO-MATEMATIČKI FAKULTET  
FIZIČKI ODSJEK

INTEGRIRANI PREDDIPLOMSKI I DIPLOMSKI SVEUČILIŠNI STUDIJ  
FIZIKA; SMJER: NASTAVNIČKI

**Andreja Lasić**

Diplomski rad

**Rano učenje fizike: geometrija prostora i  
vremena od Galileja do Einsteina**

Voditelj diplomskog rada: doc. dr. sc. Dalibor Paar

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

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

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

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

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

Zagreb, 2020.

## **Zahvala:**

*Prvo želim zahvaliti svom mentoru doc.dr.sc Daliboru Paaru na velikoj pomoći pri formiranju teme ovog diplomskog rada, njegovoj izradi, svim idejama, ukazanom povjerenju i strpljivosti prilikom procesa izrade. Uz zahvalu mentoru, veliko hvala i ostalim profesorima na svemu naučenom, a posebno profesoricama za svo preneseno metodičko znanje potrebno za moj daljnji rad pri čemu se posebno zahvaljujem doc. dr. sc. Maji Planinić na korisnim sugestijama tijekom izrade rada.*

*Najviše zahvala dugujem svojim roditeljima, mom Anti i mojoj Ireni jer bez njih ništa od ovoga ne bi bilo moguće. Hvala im za svu potporu i podršku svih ovih godina, svaki poziv i svaki dolazak, a najviše što su vjerovali u mene i gurali me uvijek naprijed, skupa s mojim sekama.*

*Hvala i mom Nenadu koji je provjeravao svaki napredak pred ispit, držao fige i čekao rezultate, uvijek uz ohrabrujuće riječi.*

*Hvala i svim kolegama i kolegicama koje sam upoznala tokom ovog divnog perioda studiranja, svaku pomoć, a najviše onima koji su na tom putu postali pravi prijatelji. Ema, hvala za svako zajedničko učenje s harmonikom ili bez, svako guranje naprijed i sve uspone i padove koje smo skupa prošle i preživjele. Hvala i svim životnim prijateljima koji su, iako neki rasuti po svijetu, bili uz mene i bodrili me na mom putu i vjerovali u mene.*

*Hvala svima koji ste bili dio mog puta, dio puta koji se priveo kraju, puta koji me osnažio i naučio mnogočemu, a posebno hvala onima koji nažalost nisu dočekali kraj moga putovanja zvanog studiranje-znam koliko biste ponosni bili.*

*Neizmjereno hvala svima vama koji ste bili moji najveći i najbolji pokretači!*

## Sažetak

Da bi se pobudio interes djece i što veći broj usmjerio prema zanimanjima baziranim na STEM područjima (koja su osnova zanimanja 21. stoljeća za koja i na razini Europske unije nedostaje veliki broj stručnjaka), potrebno je od rane dobi djecu upoznati sa zanimljivim i suvremenim temama iz prirodoslovlja, posebice iz fizike. Einsteinove teorije relativnosti primjer su za učitelje vrlo zahtjevnih, a učenicima vrlo zanimljivih, neobičnih i izazovnih tema. Uvodeći koncepte tih teorija u nastavu, učenike dovodimo u doticaj s frontom istraživanja i najvažnijim pitanjima današnje fizike i prirodoslovlja općenito. Takav pristup je važan i on može učenicima na duge staze pobuditi interes za fiziku i druga istraživački bazirana područja. Problem ranog STEM obrazovanja i na razini Europske unije je nedostatak znanja iz fizike i drugih STEM područja učitelja razredne nastave. Nastavnici fizike mogu biti ti koje će ove izazovne teme spustiti na razinu razredne nastave, bilo u suradnji s učiteljima razredne nastave ili kroz izvannastavne aktivnosti.

Ključne riječi: rano učenje, nastava fizike, Einsteinove teorije relativnosti

# **Early learning of physics: geometry of space and time from Galileo to Einstein**

## **Abstract**

In order to arouse the interest of children and direct as many as possible to occupations based on STEM areas (which are the basis of occupations of the 21st century for which a large number of experts are lacking at the European Union level), it is necessary to introduce children to interesting and contemporary topics from science, especially from physics. Einstein's theories of relativity are an example for teachers of very demanding, and for students very interesting, unusual and challenging topics. By introducing the concepts of these theories into teaching, we bring students into contact with the research front and the most important issues of today's physics and science in general. Such an approach is important and it can arouse students' long-term interest in physics and other research-based areas. The problem of early STEM education at the level of the European Union is the lack of knowledge in physics and other STEM areas of primary school teachers. Physics teachers can be the ones to bring these challenging topics down to the level of classroom teaching, either in collaboration with primary school teachers or through extracurricular activities.

Keywords: early learning, physics teaching, Einstein's theories of relativity

## Sadržaj

1. UVOD	1
2. RANO UČENJE FIZIKE	2
3. GEOMETRIJA PROSTORA I VREMENA	8
4. ZAKLJUČAK	29
LITERATURA	30
ŽIVOTOPIS	32

## 1. UVOD

Iako se s brojnim fizikalnim konceptima učenici susreću od prvog razreda osnovne škole, sustavno učenje fizike počinje s nastavnim predmetom Fizika tek u sedmom razredu osnovne škole. Mnogi učenici se unaprijed boje ovog predmeta misleći da će ga teško svladati.

Središnji cilj nastave fizike treba biti njegovanje i razvijanje fizikalnog načina razmišljanja, upoznavanje sa znanstvenim pristupom u kojoj je pokus središnji dio. Učenici trebaju razumjeti prirodne pojave, zakone i modele koji ih opisuju te kako bi to znanje mogli primijeniti u problemskim situacijama u stvarnom svijetu. Ako podučavanje fizike ne promiče kritičko razmišljanje, ono će ostaviti brojne negativne posljedice u mentalnim navikama učenika i motivaciji za daljnje učenje i profesionalno usmjeravanje prema STEM područjima.

Tradicionalni sustav ocjenjivanja potiče memoriranje točnih odgovora, odnosno definicija, matematičkih izraza i tipskih numeričkih zadataka bez poticanja dubljeg razumijevanja. S druge strane lošim ocjenama se kažnjavaju pogrešni odgovori, koji se u fizici prirodno mogu pojaviti kao rezultat iskrenih pokušaja autentičnog razmišljanja.

U suvremenom obrazovanju poseban naglasak se stavlja na motivaciju učenika. Učenik se stavlja u središte nastavnog procesa, a zadaća učitelja je stvaranje pozitivnog i poticajnog okruženja i upotreba tema i metoda kojima će se zadržati interes i fokus učenika na fizikalnim konceptima koji se obrađuju. Problemski orijentirana nastava učenika vodi kroz fiziku na način da se kreće od njima zanimljivih i globalno važnih problema (koji se u konačnici povežu s temom koja je predviđena kurikulumom). Primjer takve teme odabran je u ovom radu. Povezivanje prostora i vremena otvara brojna uzbudljiva pitanja od putovanja kroz vrijeme, do toga da se pitamo koji je mehanizam djelovanja gravitacijske sile. To su vrlo aktualne teme što pokazuje da su za vezana otkrića dodijeljene neke od zadnjih Nobelovih nagrada za fiziku (2017. za otkriće gravitacijskih valova i 2020. za otkrića crnih rupa). Ove teme su izazov i za nastavnika, a time i motivacija da ih predstavi učenicima.



## 2. RANO UČENJE FIZIKE

Podučavanje fizike predstavlja veliki izazov. Usvajanje fizikalnih vještina i znanja presudno je za izradu kvalitetne baze koja će se kasnije, u višim razredima, nadograđivati. Kako bi učenici njegovali ljubav prema fizici, potrebno ih je upoznati s osnovnim fizikalnim pojavama već u ranoj dobi, u nižim razredima osnovne škole gdje učenici razvijaju istraživački pristup unutar predmeta priroda i društvo, a kasnije i prirode. Pojave treba uvesti kroz pokuse te vezati uz zanimljive probleme iz stvarnog života i teme koje prirodno pobuđuju interes učenika kako bi učenici lakše usvojili neke od fizikalnih koncepata.

U Australiji je inicirano istraživanje s djecom od 3. do 12. razreda gdje je cilj saznati mogu li djeca prihvatiti kvantnu fiziku i Einsteinovu relativnost, koncepte poput zakrivljenog prostora kroz zabavni i interaktivni program, baziran na modelima i analogijama. Reakcije djece su bile pozitivne što pokazuje svrhu daljnjih istraživanja u tom smjeru (Blair, 2020).

### *2.1 Tradicionalna nastava*

Tradicionalnu nastavu 20. stoljeća odlikuje frontalni oblik rada i obično jednosmjerna komunikacija između učitelja i učenika. U tom procesu učenici nisu dovoljno aktivni te im je onemogućen individualan napredak u skladu s predznanjem i sposobnostima. To može negativno utjecati na motivaciju učenika. Kvaliteta tradicionalne nastave ne može u dovoljnoj mjeri zadovoljiti potrebe suvremenog društva koje zahtijeva od individue samostalno prikupljanje informacija, upravljanje, analiziranje i pretvaranje istih u upotrebljivo znanje. Nedostatci tradicionalne nastave posebno se ogledaju u domeni individualizacije podučavanja i učenja, podizanju vanjske i unutarnje motivacije i vrednovanju stvarnog znanja učenika. Učenik je u položaju objekta, a ne subjekta nastave. U položaju objekta, učenik se razvija prema obrazovnim ciljevima i njihovom ostvarivanju gdje je njegova uloga pasivna. Nasuprot tome, učenik kao subjekt nastave je individua koja se razvija na temelju svojih sposobnosti pri čemu je mentalno aktivan u aktivnom procesu učenja. Tradicionalna nastava često zahtijeva od učenika da reproducira znanje, a ne da ga aktivno gradi. Na taj način je u većini i danas koncipiran sustav ocjenjivanja u školi (Deslauriers i sur., 2019).

Sam učitelj u tradicionalnoj nastavi ima izraženu predavačku funkciju što smanjuje interakciju s učenicima onemogućavajući im samostalne aktivnosti, a samim time i njihovo kvalitetnije ovladavanje nastavnim sadržajem (Bognar & Matijević, 2002). Kroz ovakav oblik nastave, teže je postići da učenici razviju i izgrade razumijevanje.

## **2.2 Motivacija u suvremenom obrazovanju**

Suvremeno obrazovanje značajno pomiče težište u nastavnom procesu s učitelja na učenika što podrazumijeva povećanu aktivnost i učitelja i učenika. Uz obrazovni, u nastavi se odvija i odgojni proces gdje značajnu ulogu pored učitelja imaju pedagozi i psiholozi koji svojim stručnim djelovanjem usmjeravaju cijeli proces učenja. Odgojni proces kod učenika uključuje izgrađivanje mnogih vrijednosti kao što su pozitivno mišljenje i odnos prema društvu i okolini.

U suvremenom obrazovanju ključni element je motivacija. Učitelji i učenici motivirani su na različite načine. Uloga učitelja u obrazovnom procesu je stvoriti klimu i pozitivan stav učenika prema učenju. Motivacija predstavlja želju za postizanjem nekog uspjeha i spremnost ulaganja napora potrebnog za postizanje tog cilja. To je naša unutarnja snaga i pokretač ostvarivanja ciljeva i zadovoljavanja svojih potreba. U zahtjevnim predmetima kao što su matematika, fizika, kemija i dr. motivacija je izuzetno važna.

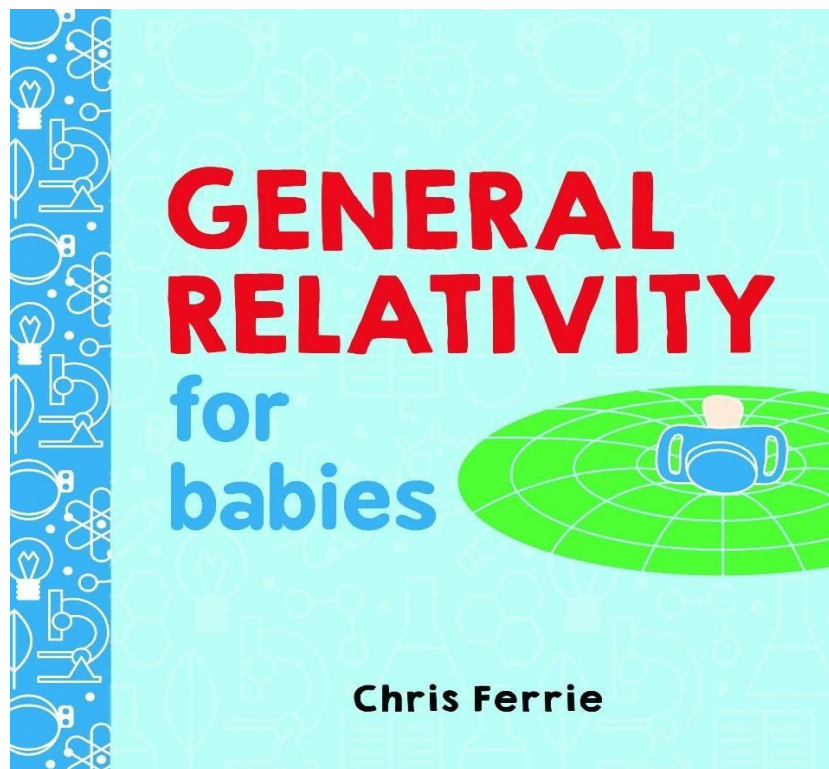
U obrazovnom procesu, motivacija je sve ono što dovodi do učenja, određuje njegov smjer, intenzitet i trajanje (Grgin, 2004). Motivirani učenik je zainteresiran, znatiželjan, aktivan, oduševljen, uporan i ne odustaje kada naiđe na teškoće, već misli na daljnje školovanje. Zadovoljan je što uči i što zna više od drugih (Jakšić, 2003).

Ukupnu motivaciju učenika definiraju biološki i socijalni motivi. Bit motivacije u školama je u učenju gradiva i svladavanju vještina. Bitno je da učitelji razumiju utjecaj ciljeva na motivaciju. Dobro definirani ciljevi, u okvirima realnosti i u skladu s glavnim namjerama i obujmom školskog gradiva, gotovo uvijek dovode do pozitivne motivacije. Na motivaciju, a tako i na pojedinca, djeluje čitav niz vanjskih i unutarnjih faktora koji utječu na njegovu percepciju, vrijednost i potrebe.

Prvo određenje biti motivacije u školama je da se učenici dobro osjećaju i da pri tome, kroz pozitivan ugođaj, prihvaćaju i pozitivne životne stavove i trajno ih ugrađuju u svoj sustav vrijednosti. U takvom okruženju, učenici će pronaći svoj identitet što im pomaže da lakše

prođu kroz teško razdoblje adolescencije i kvalitetno odaberu svoj put u ostatak života. Na razini Europske unije posebno se naglasak stavlja na usmjeravanje djece u zanimanja 21.stoljeća koja su temeljena na STEM područjima (Hazelkorn i sur., 2015). Za ta zanimanja nedostaje veliki broj stručnjaka, ona su dobro plaćena i omogućuju kvalitetan život.

Intervencije u tom smjeru nije moguće postići u većoj mjeri ako učenici izgube motivaciju za učenje fizike (i posebice matematike, što je zasebna tema) i prije nego što su došli do 7. razreda. STEM područja treba početi učiti od rane dobi i tako stvarati pozitivan stav prema učenju. Taj učenički interes za fiziku i prirodne znanosti važan je doprinos motivaciji učenika i ima pozitivne učinke na učenje i razumijevanje prirodoznanstvenih sadržaja (to se proširuje na čitav niz nastavnih predmeta u okviru kojih se razvija prirodoznanstveni način razmišljanja). Osobni i situacijski interes potiče i stvara optimalne uvjete za učenje (Svedružić, 2012). Interes se u učenju javlja kao trajnija usmjerenost učenika na edukacijske sadržaje koje doživljava kao spoznajno vrijedne i praktično korisne pa ih, učeći ih, on ne samo brže usvaja i zadržava, nego i doživljava kao lake i ugodne (Grgin, 2004).



*Slika 1:* Australški kvantni fizičar Chris Ferrie inicirao je prije nekoliko godina seriju priručnika kojima se djeca od rane dobi upoznaju s nekima od najsloženijih i najzbudljivijih znanstvenih tema današnjice (Ferrie, 2017).

### ***2.3 Rano učenje fizike***

Rano učenje u području prirodoslovlja stvara osnovu za buduće znanstveno razumijevanje i gradi važne vještine i stavove za učenje (Worth, 2020). S fizikom učenici nižih razreda se susreću veoma rano i ne znajući da se radi o tom području, npr. izučavajući promjene i procese u prirodi, oblike i pretvorbu energije i sl. Kako dijete raste, tako promatranjem stvara vlastitu sliku o svijetu oko sebe. To često rezultira s miskoncepcijama koje je kasnije teško ispraviti. Fizika općenito je u korelaciji s nizom predmeta - matematikom, prirodom, tjelesnom zdravstvenom, glazbenom, tehničkom i likovnom kulturom, a kasnije kemijom i biologijom. Fizika se može prezentirati na zanimljiv način prilagođen dobi. Središnji dio učenja fizike je pokus, pri čemu dijete treba samostalno istraživati i otkrivati.

Dijete želi stvarati odnos s drugima i upoznati okruženje učeći, istražujući i izražavajući svoje misli, osjećaje i spoznaje. Dobro je, prateći dijete, ne ubrzavati nego predvidjeti njegove potrebe, prepoznati kada nas treba kao sudionike suodnosa, kada kao promatrače, a kada nas isključuje iz svoje aktivnosti. Osjećaj uspjeha djetetu je jako važan. Učitelji su tu da dijete podrže te da ga hrabre i vode u njegovim postignućima. Daljnji razvoj djece, učitelji pospješuju priznavanjem svake savladane vještine (Rečić, 2006).

Kod učenja fizike polazi se od pojava iz svakodnevice koje učenici susreću oko sebe na svakom koraku i u svako vrijeme. Složene prirodne pojave se promatraju u početku cjelovite, a kasnije se prelazi na istraživanje pojava s fizikalnog stajališta primjenom fizikalnih metoda istraživanja i ostalih metoda suvremene nastave.

Aktivno učenje je učenje kroz aktivnosti koje povećavaju interes i motivaciju učenja gdje su učenici aktivni sudionici procesa učenja. Ono obuhvaća aktivnosti u kojima se učenicima osigurava visoki stupanj samostalnosti i nadzora nad organizacijom, tijekom i smjerom aktivnosti. Takve aktivnosti najčešće obuhvaćaju rješavanje problema i istraživački rad, a mogu se individualizirati ili proširiti u suradnju (Kyriacov, 1997).

Jedan od glavnih ciljeva nastave fizike mora biti poticanje interesa za fiziku i prirodne znanosti općenito. U literaturi se navode razni pristupi sa svrhom povećavanja učeničkog interesa za fiziku i prirodne znanosti (Svedružić, 2012). Djeca uživaju u fizici jer im je to beskrajno fascinantno, dostupno, relevantno i zabavno (Bright Horizons, 2020).

Eshach navodi šest razloga zašto je potrebno da se prirodne znanosti, među kojom je i fizika, uče od ranog djetinjstva, u vrtiću (Eshach, 2006):

1. Djeca prirodno uživaju u promatranju i razmišljanju o njihovom okruženju, prirodi. Zbog urođene radoznalosti, djeca s nestrpljenjem prihvaćaju sve vrste znanstvenih aktivnosti. Ono što čini djecu koja su posebno spremna za prirodne znanosti su motivacija koja se odnosi na obavljanje neke aktivnosti i zadovoljstvo.
2. U ranim fazama života počinje i razvoj stavova prema prirodnim znanostima. Izlaganje učenika u ranoj dobi prirodnim znanostima utječe na kasniji pozitivan stav.
3. Rana izloženost znanstvenim pojavama dovodi do boljeg razumijevanja znanstvenih koncepata koji kasnije mogu utjecati pozitivno na formalni način života.
4. Uključivanjem prirodnih znanosti od ranog doba u živote djece, usvaja se znanstveni jezik koji utječe na razvoj znanstvenih pojmova.
5. Djeca mogu razumjeti znanstvene koncepte.
6. Prirodne znanosti su učinkovito sredstvo za razvoj znanstvenog razmišljanja. Ključno je poticati djecu da razvijaju znanstvene načine objašnjenja i modeliranja.

Da bi uopće razmišljali o tome da učenje fizike počne od najranije dobi, potrebno je predstaviti nove i kreativne načine podučavanja, učenje temeljeno na istraživanjima, učenje kroz autentične probleme, podučavanje na projektima i neverbalna znanja poput korištenja vizualnih prikaza i konceptualnih karata. Ovi će pristupi pomoći učiteljima da se odmaknu od tradicionalnih aktivnosti i svu aktivnost usmjere na učenika.

Eshach navodi da fizika i tehnologija trebaju biti integrirane u nastavne planove i programe od prvog razreda osnovne škole. Integrirajući ova dva subjekta u nastavne planove i programe u korelaciji s drugim predmetima ili kroz izvannastavnu aktivnost mogu rezultirati poboljšanju učeničkih postignuća u kasnijim razredima. Uloga učitelja je presudna u promicanju znanstvene pismenosti u školama i društvu. Također, i pedagoško znanje učitelja je ključno za dobro podučavanje znanosti i razumijevanje učenika.

Suvremene projektne aktivnosti u nižim razredima osnovne škole predstavljaju jedan od mogućih načina aktivnoga učenja koji se ostvaruje kroz različite vrste projekata iz fizike. Projektne aktivnosti predstavljaju svrhovit i organiziran proces učenja u kojem djeca, u grupama ili samostalno, istraživanjem dolaze do novih spoznaja. Djeca prema svojim interesima i sklonostima biraju problem koji zatim proučavaju, odnosno istražuju u grupama ili pojedinačno. Rad se temelji na: proučavanju enciklopedija za djecu, knjiga,

slikovnica, prikupljanju podataka iz okruženja te provođenju pokusa i sustavnom promatranju (Munjiza i sur. 2007).

#### ***2.4 Fizika kroz pokuse i projekte***

Da bi učenici što bolje shvatili fiziku i prirodne znanosti općenito, potrebno ju je uvesti u njihove živote što ranije. Učenici će na taj način učiti, razvijati svoje misaone sposobnosti, jačati moć razmišljanja i zaključivanja.

Rad djece na pokusima i projektima, ako ih se na primjeren način potiče i podržava, jedan je od oblika prirodnog, integriranog učenja djece. To treba biti rad djece koji neizravno i diskretno potiče učitelj (Slunjski, 2008).

Smatra se da učenje prirodnih znanosti treba uključivati sve razine znanstvenih spoznaja, kao što su pokusi, modeli, zakoni i teorije. Međutim, znanstveni modeli su drugačiji od učeničkih pogleda na svijet. S jedne strane, to znači da razumijevanje znanstvenih modela može značiti konceptualnu promjenu za učenike. S druge strane, znanstveni modeli ne smiju biti previše različiti od učeničkog razmišljanja kako bi bili razumljivi. U znanstvenom učenju treba postojati koherencija između modela koji se uče i pokusa koji pružaju iskustvenu osnovu za izradu znanja.

U radu na pokusu i projektu djeca su rukovođena vlastitim interesom te na osnovu interesa biraju određenu temu koju tijekom određenog vremenskog perioda dublje istražuju. Učitelj im pri tom može pomoći: pribavljanjem određenih resursa, poticanjem na razmišljanje i rješavanje problema kao i na raspravu s drugom djecom, odraslima i sl. Sami sadržaji dječjih istraživanja ili projekta su mnogo manje važni od načina na koji djeca u njima sudjeluju i načina na koji ih učitelj potiče i podržava (Slunjski, 2008).

Cilj pokusa u nižim razredima je približiti učeniku znanstvene sadržaje, primjerene njegovoj dobi, omogućiti učeniku da upozna različite prirodne pojave. Također, cilj je probuditi kod učenika zanimanje i želju za stvaranjem, otkrivanjem i istraživačkim radom, stvoriti uvjete da učenik otkrije svoje sposobnosti te otkrije značajke i vrijednost suradničkog učenja.

### 3. GEOMETRIJA PROSTORA I VREMENA

#### *3.1 Razumijevanje prostora i vremena kroz povijest*

U osnovi suvremene fizike leži neriješen temeljni problem vezan uz definiciju vremena i prostora. Kroz povijest se pojavljuju različite znanstvene teorije prostora i vremena, a o pojmu geometrije prostora i vremena prvi je prije oko 2400 godina razmišljao starogrčki filozof Aristotel (384.-322. pr.Kr.).

Za prirodno gibanje teških predmeta koji padaju na zemlju, Aristotel je tvrdio da je brzina pada proporcionalna težini i obrnuto proporcionalna gustoći sredstva kroz koje je tijelo prolazilo (Fowler, 2020). Aristotel je ovdje iznio razmišljanja o gibanju tijela bez kvantitativnih razmatranja, pri čemu koncepti ubrzanja i težine nisu dobro definirani. Ove tvrdnje nisu bile dovedene u pitanje u drevnoj Ateni. Trideset ili više godina nakon Aristotelove smrti, Straton je istaknuo da kamen koji pada s veće visine ima veći utjecaj na tlo, sugerirajući pri tome da kamen postigne veću brzinu pri padu s veće visine.

Do početka 20. stoljeća smisao prostora bio je apsolutan, potpuno neovisan o pojmu vremena. Ljudi su se lako snalazili u prostoru u kojem su moguća tri smjera gibanja: naprijed-nazad, lijevo-desno i gore-dolje, a vrijeme je teklo ravnomjerno, uvijek istim tempom i uvijek u istom smjeru, od prošlosti ka budućnosti. Pri tome se rijetko tko zapitao što prostor i vrijeme zapravo predstavljaju, koje je njihovo pravo fizikalno značenje (Schwartz & McGuinness, 2001).

Značajna eksperimentalna i teorijska otkrića u fizici krajem 19. i početkom 20. stoljeća temeljno mijenjaju sliku svijeta oko nas, od mikroskopske razine (kvantna fizika) do dimenzija svemira (Einsteinove teorije relativnosti).

#### *3.2 Prostor i vrijeme*

U Galilejevoj teoriji i Newtonovoj paradigmi klasične fizike, značenje prostora i vremena kao apsolutnih varijabli je posve različito nego u Einsteinovoj teoriji. Kada govorimo o prostoru i njegovim svojstvima (udaljenosti, oblici, položaji), njime se bavi jedna od najstarijih grana matematike – geometrija.

Preko 2000 godina, sve do 19. stoljeća imamo euklidsku geometriju koja prostor opisuje krećući od temeljnih koncepata: točke, linije, kuta i ravnine. Ne-euklidske geometrije koje se počinju razvijati u 19. stoljeću dobivaju svoje važne primjene u fizici 20. stoljeća. Einsteinova opća teorija relativnosti je jedan od poznatih primjera. Diskusije o broju dimenzija u prirodi traju i danas.

Pojave u prirodi događaju se u prostorno-vremenskom kontinuumu što znači da se događaju na nekom mjestu u prostoru, a počinju i traje određeno vrijeme. U fizici to primjenjujemo na svim skalama od dimenzija atoma do dimenzija svemira. Britanski kemičar i fizičar Ernest Rutherford je u eksperimentu u kome je alfa česticama gađao tanke listiće zlata ustanovio da je prostor unutar atoma uglavnom prazan. Danas znamo da atomska jezgra u kojoj je koncentrirana većina mase atoma, zauzima prostor čiji je promjer reda veličine 100 000 puta manji od promjera atoma. Sunčev sustav je također većinom prazan prostor u kome je većina mase, oko 99,8%, koncentrirana u Suncu.

Subjektivni osjećaj prostora kroz svakodnevno iskustvo stječemo već od rane dobi. Tako na primjer, da je nešto iznad, ispod, lijevo, gore, dolje, blizu, daleko, upoznajemo još u najranijem djetinjstvu. Da bismo naša čulna iskustva egzaktno izrazili, uvodimo odgovarajuće objektivne karakteristike poput duljine i kuta.

Na osnovu cjelokupnog iskustva o trodimenzionalnom prostoru u kojem živimo, mjesto na kojem se neki događaj zbiva, odnosno položaj materijalne točke, možemo kvantitativno odrediti s tri prostorne koordinate u odabranom referentnom sustavu. Na primjer, to mogu biti tri koordinate  $x$ ,  $y$ ,  $z$  u Kartezijevom koordinatnom sustavu. Kartezijev sustav sastoji se od tri međusobno okomite i usmjerene osi (pravca) koje se sijeku u ishodištu. Fiksiramo li Kartezijev sustav u prostoru, koordinate nam govore kolika je udaljenost (u metrima) u odnosu na ishodište sustava u pozitivnom smjeru svake od osi.

Subjektivni osjećaj vremena također je veoma poznat iz iskustva. On nas upozorava na postojanje vremenske skale u kojoj prepoznajemo prošlost, sadašnjost i budućnost te znamo da se neki događaj dogodio davno, nedavno, sada ili ga očekujemo u budućnosti. Subjektivno zapažamo da događaji traju, odnosno da postoji protok vremena. Kako je protok vremena neprekidan, možemo uvesti objektivnu karakteristiku koja određuje početak i kraj nekog događaja (pojave u prirodi) koju nazivamo vremenski interval.



Prostor i vrijeme su polazni elementi spoznaje o događajima koje proučavamo u prirodi. Svojstva prostora i vremena ispoljavaju se u protjecanju različitih fizikalnih procesa pa su nam poznati iz pokusa i iz našeg ukupnog iskustva. Fizikalna pojava, npr. kretanje tijela, može se promatrati iz različitih referentnih sustava. Eksperimenti pokazuju da ako se tijela kreću brzinama puno manjim od brzine svjetlosti, promatrane pojave, odnosno svojstva prostora i vremena ostaju nepromijenjena kao i same fizikalne pojave ako se referentni sustavi gibaju jednoliko jedan u odnosu na drugog. To su inercijalni referentni sustavi. Prema tome prostor i vrijeme su apsolutni kada se promatraju iz tih sustava.

Mnogi poznati znanstvenici danas i kroz povijest razlikovali su apsolutno i relativno vrijeme. U 17. stoljeću pojmovi apsolutni prostor i apsolutno vrijeme postaju središnje pitanje metafizike i epistemologije. Temeljna (euklidovsko-aristotelovska) koncepcija vremena i prostora nije dovedena u pitanje ni s utemeljiteljima novovjekovne fizike, a ni s Kantom (prostor i vrijeme su a priori nužni, opći i apsolutni, uvjet mogućnosti općih i nužnih teorijski izvedenih zakona prirode – i, dakako, međusobno su razdvojeni).

Na prijelazu iz 19. u 20. stoljeće dolazi do promjene klasične paradigme koju je postavio još Isaac Newton. Radeći na temeljima Lorentza i Poincare'a, Albert Einstein 1905. godine postavlja tzv. specijalnu teoriju relativnosti kojom je uzdrmao tradicionalnu sliku svijeta utemeljenu na pojmovima apsolutnog prostora i apsolutnog vremena (Pavić, 2012).

U svojoj specijalnoj teoriji relativnosti Albert Einstein je jasno uočio kako „apsolutno vrijeme i apsolutni prostor, a to su temeljne kategorije klasične filozofije prirode, nisu niti mogu biti izlazištem i temeljem takve metrike koja bi bila primjerena logici i naravi fizikalnih zbivanja i fizikalnih fenomena“ (Veljak, 2006). Einstein je time želio reći da fizikalne pojave ne može opisati polazeći od koncepta apsolutnog vremena i prostora.

U slučaju da se brzine približavaju brzini svjetlosti, prostorni razmaci i vremenski intervali više nisu apsolutni i neodvojivi od materije. Primjer je kontrakcija duljine i dilatacija vremena u Einsteinovoj specijalnoj teoriji relativnosti. Ovdje se uvodi koncept prostorno-vremenskog kontinuuma kojeg opisujemo s četiri povezane varijable (tri prostorne i jedna vremenska).

### ***3.3 Galilejevo shvaćanje prostora i vremena***

U suvremenom shvaćanju prostora i vremena talijanski matematičar, fizičar, astronom i filozof Galileo Galilei (1564-1642) imao je veliki značaj. Prvi je posumnjao u ispravnost Aristotelovih učenja i shvaćanja prostora. Tvrdnje da je Aristotel pogriješio u povezivanju ubrzanja i mase tijela je dokazao eksperimentom, što je posebno važno za razvoj znanstvene metode. Pokus je izveo pomoću kugli različitih masa, a istih dimenzija, koje je pustio da se kotrljaju niz strmu padinu.

Galileo je eksperimentalno dokazao da svako tijelo na isti način povećava brzinu, bez obzira na masu, tj. ubrzanje tijela ne ovisi o masi. Željezo će padati brže nego pero ali ova razlika nije posljedica različitih masa ova dva tijela već različitog otpora zraka koji na njih djeluje. Galileo je iznio ideje o padu u knjizi „Dvije nove znanosti“. U knjizi je opisao gibanje, a taj opis gibanja je dalje potaknuo razvoj fizike. Opisani su i materijali i konstrukcije koji su dali važan doprinos inženjerstvu (Fowler, 2020).

Galileo tvrdi da se prava gibanja tijela ne moraju očitovati u osjetilima, jer dijeljena, zajednička gibanja ne primjećujemo. Zapažamo tek relativna gibanja, ona koja ne dijelimo s predmetom koji se giba (Veljak, 2006).

Proučavajući gibanje njihala, Galileo je došao do zaključka da period njihala ne ovisi o amplitudi titranja. Točnost njihala se dodatno mogla usavršiti težim i gušćim njihalom čime bi se smanjio učinak nasumičnih utjecaja poput otpora zraka.

Tako je Galileo proveo vlastite detaljne eksperimente u pouzdanom kretanju njihala i pri tome je napravio temeljne skokove u prirodnim znanostima. Njegov rad je na kraju doveo do pronalaska prvih točnih satova koji su bazirani upravo na njihalu (Newton, 2004).

Engleski matematičar, fizičar i astronom Isaac Newton (1643-1727) je nastavljajući se na koncept apsolutnog prostora i vremena definirao zakone gibanja u mehanici koji su i danas temelj klasične mehanike. Uveo je koncept gravitacijske sile, jedne od temeljnih sila u prirodi te ga primijenio ne samo na gibanja na Zemlji već i na Sunčev sustav dokazujući ispravnost teorijskih pretpostavki o gravitacijskoj sili (Newtonov opći zakon gravitacije).

### ***3.4 Einsteinovo shvaćanje prostora i vremena***

Njemačko-američki fizičar Albert Einstein (1879-1955) ključna je osoba u razvoju fizike 20. stoljeća. Premda je Nobelovu nagradu dobio za objašnjenje fotoelektričnog efekta, njegov najveći doprinos znanosti su specijalna i opća teorija relativnosti. Ove teorije i danas predstavljaju frontu istraživanja u fizici.

Einstein kaže da su Galileo i Newton obogatili pojam prostora i učinili ga složenijim time što se prostor mora uvesti kao nezavisni uzrok inercijskoga ponašanja tijela, ako želimo klasičnom načelu inercije (a time i klasičnom zakonu gibanja) dati strogo značenje (Jammer, 2012).

Aristotel, Newton i mnogi drugi znanstvenici prije Einsteina, vjerovali su u apsolutno vrijeme. Naime, smatrali su da je nedvojbeno moguće izmjeriti interval između dva događaja, tj. da će svaki put biti isti bez obzira tko ga mjeri, pod uvjetom da se koristi dobar sat. Vrijeme je bilo potpuno odvojeno od prostora i neovisno o prostoru. Za većinu ljudi ovo je predstavljalo zdravorazumsko razmišljanje o prostoru i vremenu koje se vremenom ipak promijenilo, odnosno s dolaskom suvremene fizike (Schwartz&McGuinness, 2001).

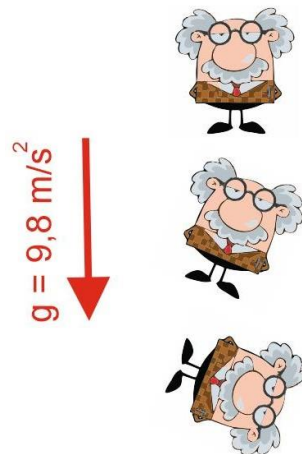
Einsteinova specijalna teorija relativnosti (1905.) mijenja tradicionalnu sliku svijeta temeljenu na pojmovima apsolutnog prostora i apsolutnog vremena. Uvođenjem prostorno-vremenskog kontinuuma ukinuto je postojanje apsolutnog vremena. Sve je relativno, vrijeme i prostor ovise o brzini kretanja tijela, odnosno o referentnom sustavu iz kojeg se promatraju. Kada govorimo o istovremenosti, dva događaja su istodobna na različitim mjestima samo s obzirom na određeni referentni sustav.

Iz specijalne teorije relativnosti, koja se u nizu eksperimenata potvrđuje, proizlaze prognoze koje nisu usuglašene sa svakodnevnim iskustvom utemeljenim na apsolutnom prostoru i vremenu. Njezini postulati su da je najveća moguća brzina gibanja u prirodi jednaka brzini svjetlosti u vakuumu (približno  $c = 3 \cdot 10^8$  m/s, odnosno preciznije 299 792 458 m/s) i da ona ne ovisi o izboru referentnog sustava, da zakoni fizike moraju biti istovjetni u svim sustavima koji se jedni prema drugima gibaju jednoliko (inercijalni sustavi), da svaki sustav ima svoje vlastito vrijeme, a svako tijelo s masom ima energiju mirovanja proporcionalnu toj masi. Razvoju Einsteinove teorije relativnosti, pridonijelo je uvođenje novog koncepta u fizici, koncepta prostorno-vremenskog kontinuuma koji

predstavlja sjedinjenje prostora i vremena, tj. promatranje vremena kao dodatne dimenzije te ulazak u novi četverodimenzionalni prostor.

Dosad su sva predviđanja specijalne teorije relativnosti u skladu s eksperimentima. Na primjer, prvi dokaz vremenske dilatacije je eksperiment mjerenja raspada miona, prvi puta izveden 1940. godine u fizici elementarnih čestica.

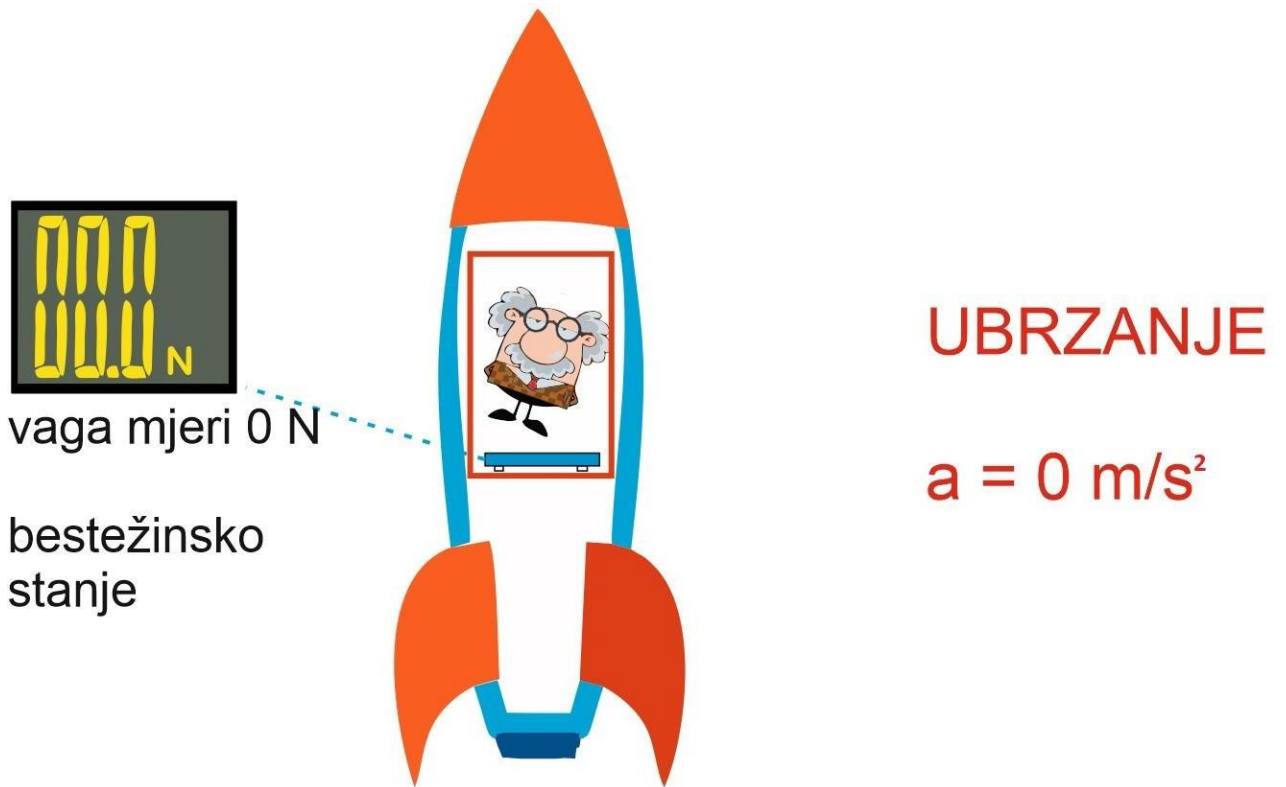
No, Einstein nije bio potpuno zadovoljan specijalnom teorijom relativnosti i činjenicom da se tijela u njoj gibaju po pravcu jednolikom brzinom. U toj teoriji nije postojala mogućnost uključivanja gravitacije ili situacije u kojoj je promatrač ubrzavao. U jednom od njegovih slavni misaonih pokusa, promatrač slobodno pada (slika 2). Jedina sila koja tada djeluje na promatrača je gravitacijska sila. Ako promatrač neprestano pada i nema kontakta s tlom te nema otpora zraka, promatrač će biti u situaciji koja je prividno ekvivalentna onoj da je u bestežinskom stanju u svemiru.



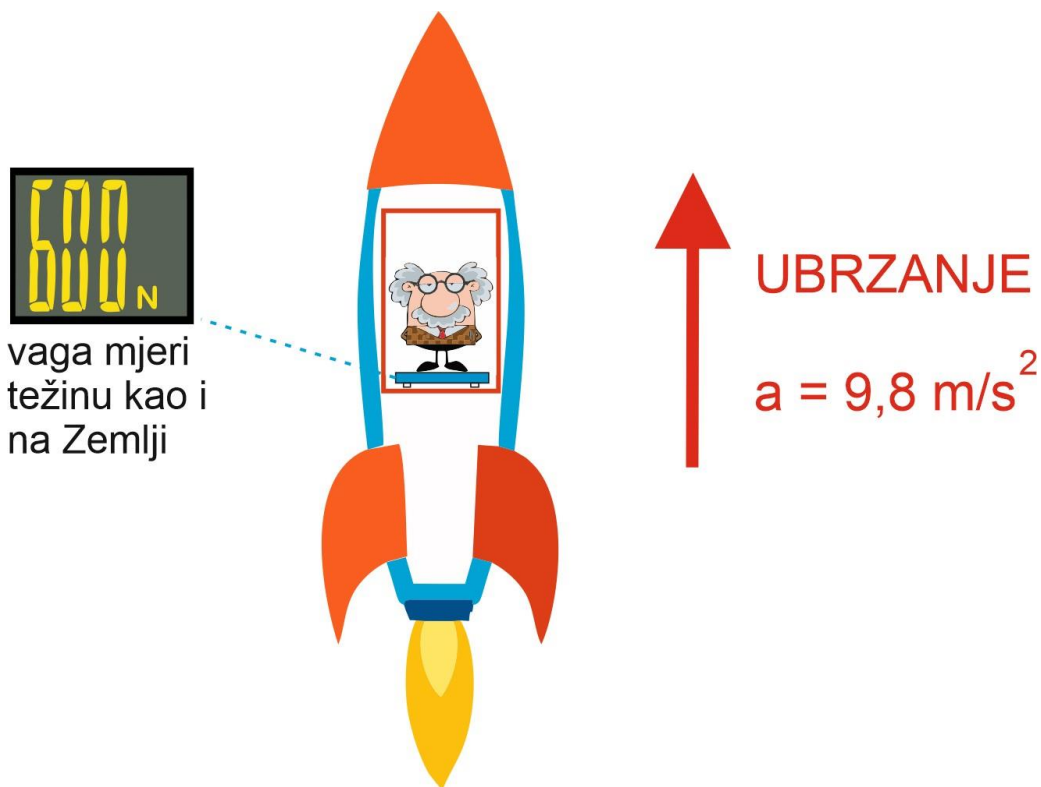
*Slika 2:* Promatrač u slobodnom padu. Astronauti u međunarodnoj svemirskoj postaji nalaze se u toj situaciji (no ne padnu nikada na Zemlju zbog odgovarajuće tangencijalne brzine koja uz djelovanje gravitacijske sile osigurava kružnu putanju svemirske stanice oko Zemlje).

Einstein je povezo gravitaciju i teoriju relativnosti kroz ideju ubrzanja. Nalazi li se astronaut - promatrač u svemirskom brodu, u svemiru daleko od velikih masa i svemirski brod ne ubrzava, on će biti u bestežinskom stanju (slika 3). Stane li npr. na vagu ona će pokazati 0 N na svojoj skali (zapravo ćemo izmjeriti težinu 0 N), budući da nema sile teže kojom bi pritiskao vagu kao što je slučaj na Zemlji.

Sada zamislimo da svemirski brod počne ubrzavati i naštimo ubrzavanje na  $a = 9,8 \text{ m/s}^2$  što je približno ubrzanje sile teže na Zemlji. Sada će promatrač u brodu na vagi očitati istu težinu kao i na Zemlji (slika 4). Dakle, promatrač neće vidjeti razliku u odnosu na to da se nalazi u istoj prostoriji na Zemlji.



Slika 3: Nalazi li se svemirski brod u svemiru daleko od velikih masa i ne ubrzava, astronaut će se nalaziti u bestežinskom stanju - ako stane na vagu ona će na skali pokazati težinu 0 N.



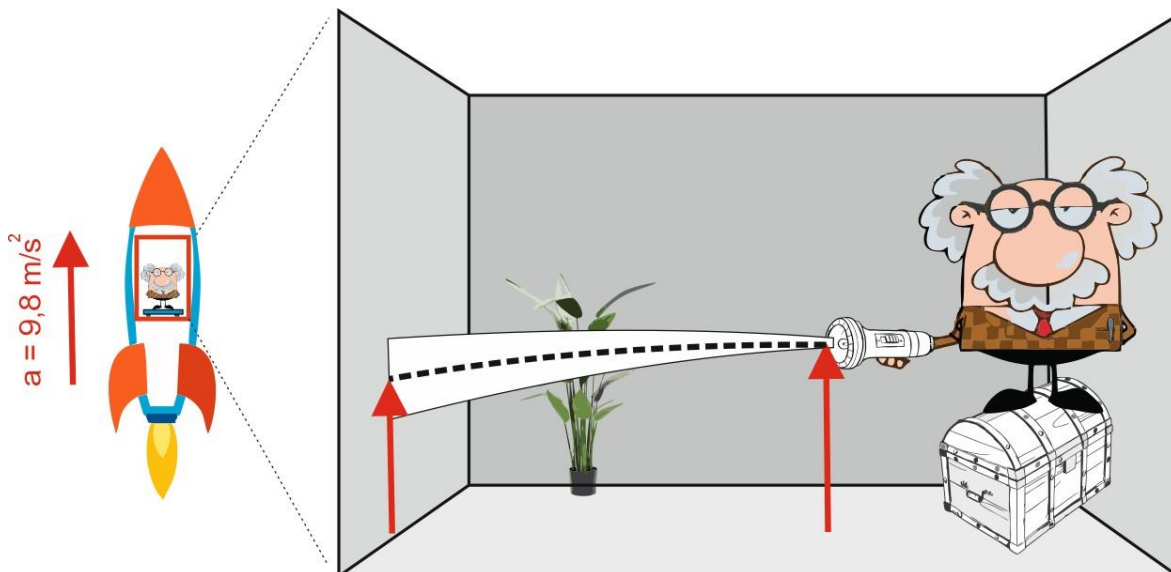
Slika 4: Ubrzava li svemirski brod ubrzanjem  $9,8 \text{ m/s}^2$  (ubrzanje sile teže), vaga će izmjeriti težinu astronauta od  $600 \text{ N}$  koju izmjerimo i na Zemlji.

No, Einsteinovo pitanje je ima li razlike između gravitacije i ubrzanja, odnosno može li promatrač opaziti bilo kakvu razliku i na temelju nje zaključiti nalazi li se u svemirskom brodu ili na Zemlji (pretpostavimo da prostorija u svemirskom brodu, odnosno na Zemlji nema prozor pa ne može vidjeti gdje se nalazi)? Da bi odgovorio na to pitanje, osmislio je sljedeći pokus sa snopom svjetlosti.

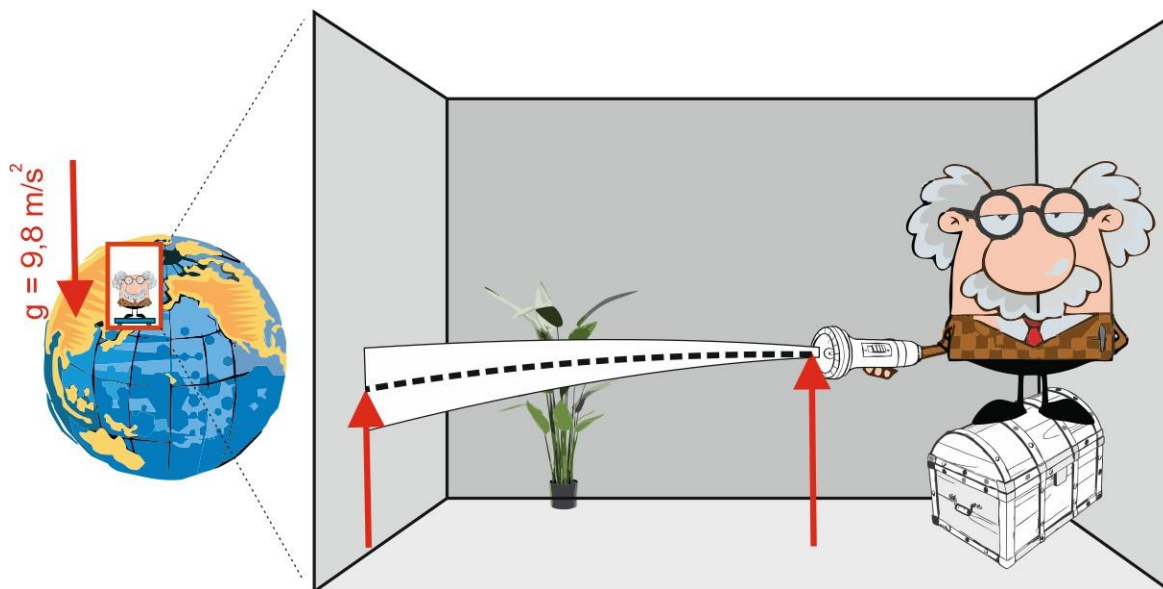
Promatrač u svemirskom brodu usmjerava snop svjetlosti od jedne strane sobe na drugu, pri čemu snop početno usmjeri paralelno podu (slika 5). S vrlo preciznim instrumentom izmjerio bi visinu snopa svjetlosti na drugom kraju sobe. Visina snopa na kraju sobe bila bi malo niža od visine izvora. Razlog je taj što bi se pod sobe kretao prema gore ubrzanjem  $9,8 \text{ m/s}^2$  za vrijeme dok svjetlost putuje od izvora do zida. Dakle put svjetlosti bi se lagano zakrivio prema dolje i tu putanju promatrač eksperimentalno opaža.

S druge strane, zdrav razum nam kaže da na Zemlji svjetlost neće zakriviti putanju. No Einstein je mislio da to nije moguće jer to krši princip ekvivalencije (imamo istu situaciju s istim ubrzanjem pa nema razloga da se eksperiment odvija drugačije). Ubrzanje sobe u svemirskom brodu ne bi smjelo biti drugačije od sobe na Zemlji pod utjecajem gravitacije

gdje je svjetlost izložena istom ubrzanju. Einstein je zaključio da se svjetlost mora savijati pod utjecajem gravitacijskog polja i na Zemlji (slika 6).



Slika 5: Promatrač se nalazi u svemirskom brodu koji ubrzava s  $9,8 \text{ m/s}^2$ . Promatrač usmjeri snop svjetlosti paralelno podu prostorije. Opaža da se svjetlost na putu do suprotnog zida prostorije zakrivljuje i završava u nižoj točki nego što je krenula.



Slika 6: Promatrač se nalazi u istoj prostoriji koja miruje na Zemlji. Ako usmjerimo snop svjetlosti u prostoriji na Zemlji, zdrav razum nam govori da će ona putovati po pravcu. Međutim, Einstein ističe da se radi o istoj situaciji kao u svemirskom brodu. Stoga nema razloga da se svjetlost ponaša drugačije. Svjetlost se mora zakriviti jer se nalazi u gravitacijskom polju Zemlje.

Einstein dakle zaključuje: snop svjetlosti se mora zakriviti u gravitacijskom polju. No, kako je to moguće budući da svjetlost mora uvijek putovati najkraćim putem između dviju točaka? Svjetlost bi morala putovati po pravcu. Einstein je pomislio da možda svjetlost putuje najkraćim putem, ali taj put nije ravna linija. Na primjer, najkraći put između bilo koje dvije točke na Zemlji nije ravna linija, jer zemlja nije ravna ploča, već se treba kretati po zakrivljenoj Zemlji (slika 7). Tako je najkraći put na Zemlji uvijek zakrivljen.

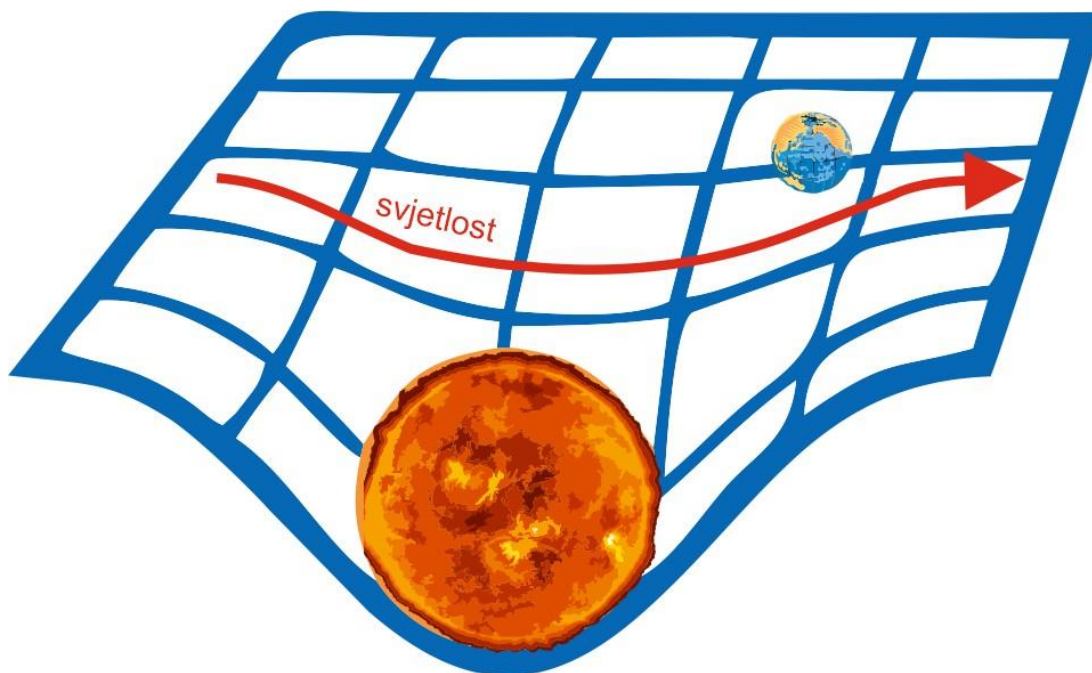


*Slika 7:* Princip kretanja svjetlosti je da ona uvijek putuje najkraćim putem. Kako je moguće da najkraći put nije pravac? Primjer može biti Zemlja: najkraći put je zbog oblika Zemlje uvijek zakrivljen.

Dakle, možda gravitacija nekako uzrokuje zakrivljenost prostora. Einstein je pretpostavio da u prostoru ravna linija nije najkraći put između dviju točaka. U prisutnosti masa i energija prostor nekako postaje zakrivljen pa je najkraći put koji svjetlost prelazi zakrivljen.

Taj prikaz vidimo na slici 8. Velika masa, npr. Sunce, zakrivljuje prostor u svojoj okolini. Snop svjetlosti koja prolazi pored Sunca uslijed toga se ne giba po pravcu već po zakrivljenoj putanji.

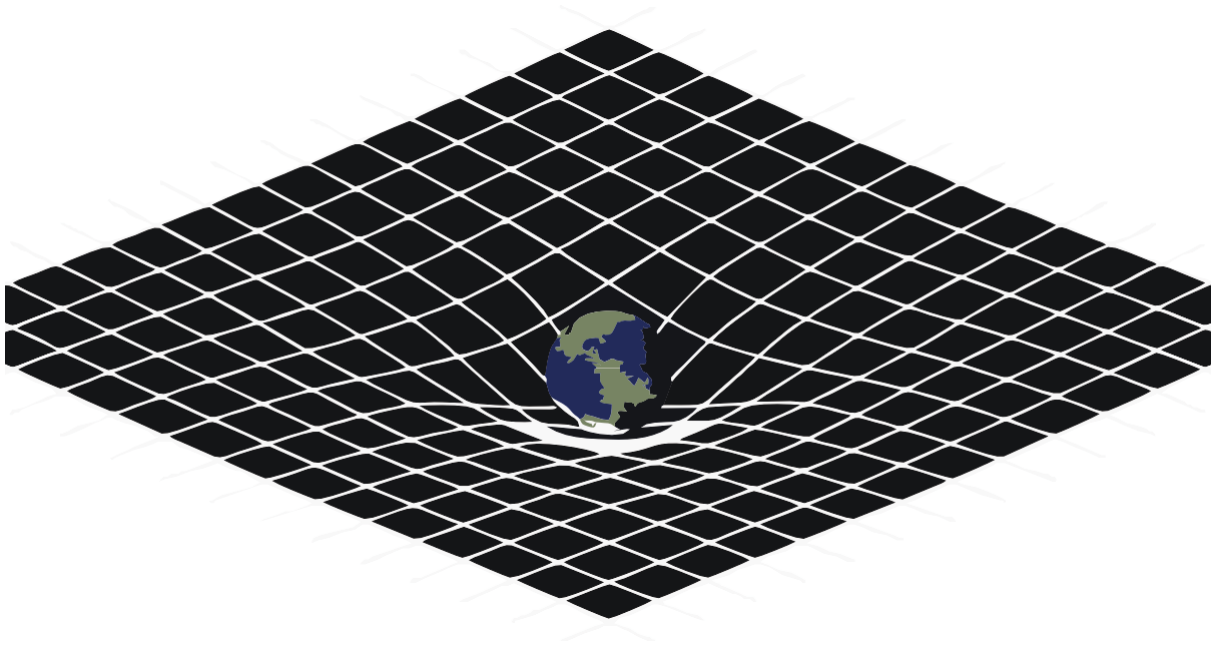




*Slika 8:* Uz prisutnost velike mase (npr. Sunca) dolazi do većeg zakrivljenja prostora te je najkraći put svjetlosti također zakrivljen.

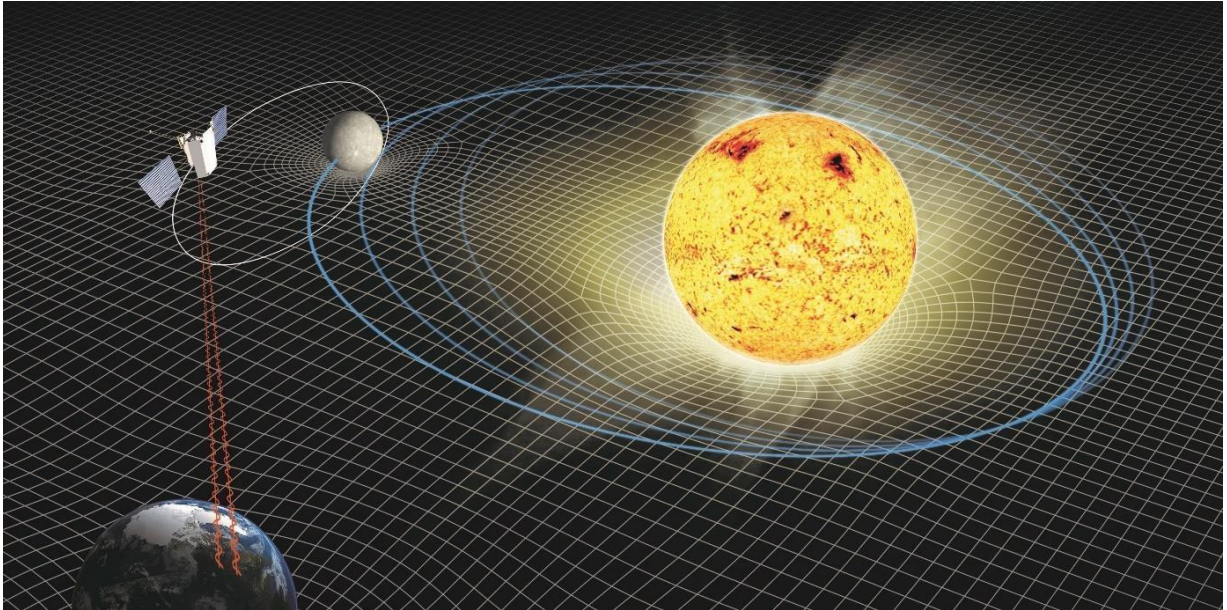
Dakle, temelj opće teorije relativnosti je geometrija zakrivljenog prostora i vremena. Za razliku od Newtonovog prostora i vremena koji pretpostavljaju da su prostor i vrijeme apsolutni, a gravitacija misteriozna sila koja djeluje na daljinu između masivnih tijela i ne utječe na prostor i vrijeme već djeluje unutar njih, Einsteinova teorija pretpostavlja da gravitacija nije sila između masivnih tijela, već nešto što proizlazi iz interakcije prostora i masivnih objekata.

Američki fizičar John Wheeler to je opisao ovako: „Prostorno vremenski kontinuum govori kako se kretati (NewScientist, 2020). Masa govori prostorno-vremenskom kontinuumu kako se zakriviti.“. Orbite planeta sada se mogu objasniti ne pomoću misteriozne sile, već pomoću interakcije koja se dešava lokalno s masom i energijom i prostorom oko njih.



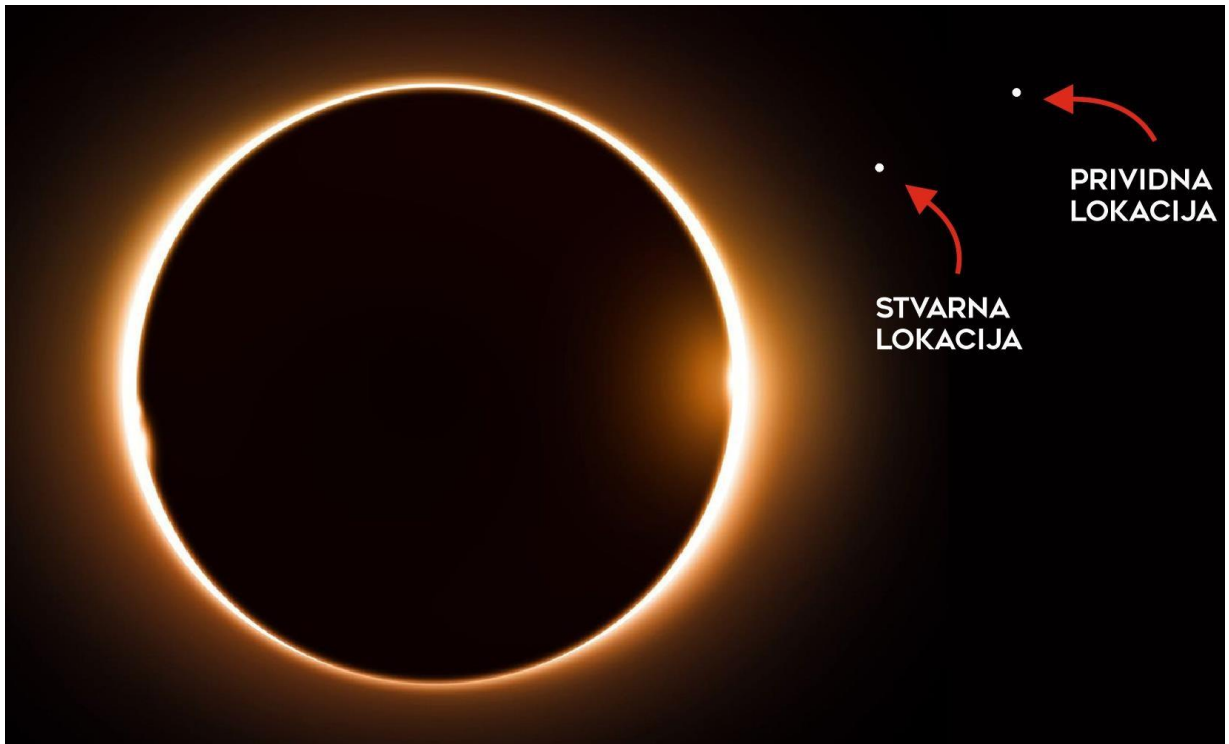
*Slika 9:* Prikaz zakrivljenja prostora u okolini velike mase (npr. Zemlje). Dvodimenzionalni prikaz se koristi radi lakše vizualizacije. U stvarnosti, prostor se u okolini Zemlje zakrivljuje u tri dimenzije.

Da bismo testirali teoriju, moramo imati predviđanje koje se ne može objasniti na drugi način. Taj test je bio Merkur čija je orbita bila misterij dekadama prije. Planeti oko Sunca kreću se po elipsama. Merkur kao planet najbliži Suncu također se kreće po elipsi no ima nešto što se zove precesija. To znači da se njegova elipsa nikad ne zatvara, odnosno njegova elipsa rotira oko Sunca (slika 10). To se nije moglo objasniti Newtonovim jednažbama. Kada je Einstein primijenio novu teoriju zakrivljenog prostora na orbitu, nova teorija je predviđela točno precesiju Merkura kakvu opažamo i koja je bila misterij dekadama.

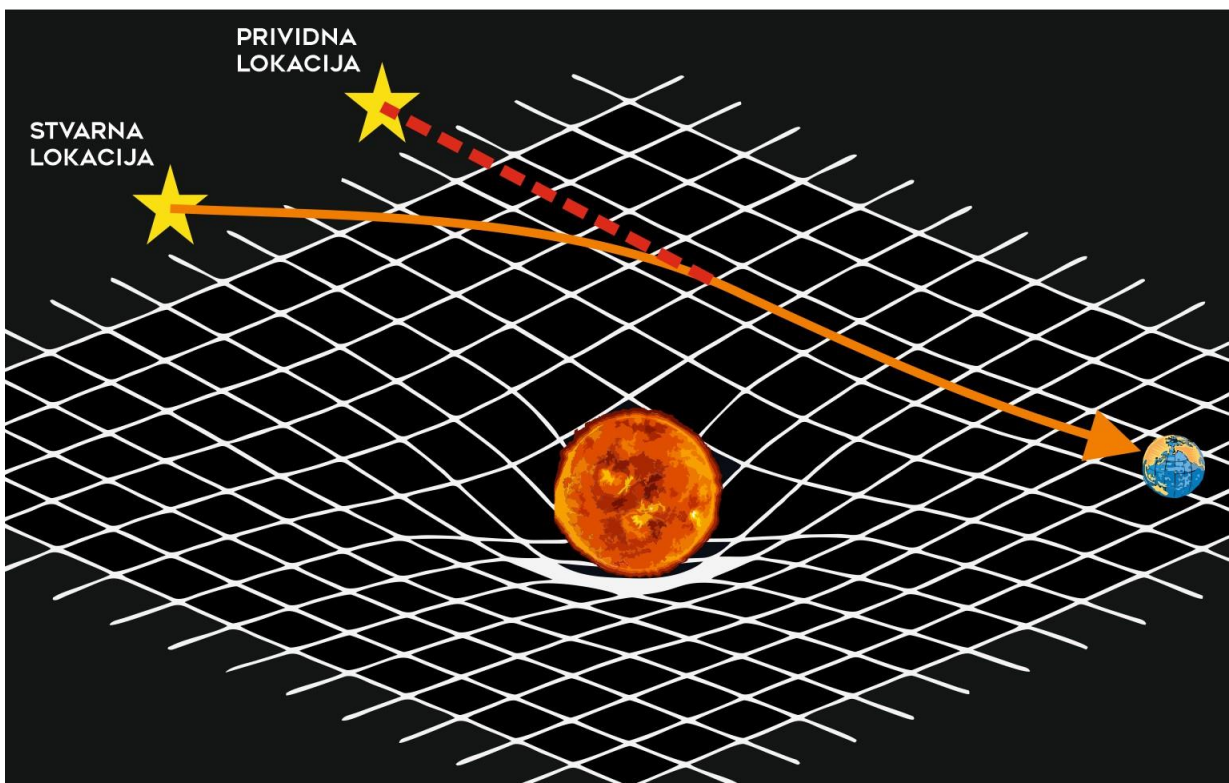


*Slika 10:* Za razliku od drugih planeta Sunčevog sustava, eliptična putanja Merkura rotira oko Sunca. Znanstvenici NASA-e i MIT-a analiziraju orbite Merkura u okviru NASA MESSENGER misije. Cilj je utvrditi kako promjene na Suncu utječu na Merkurovu orbitu.  
Izvor: NASA's Goddard Space Flight Center.

Tim engleskog astronoma Arthura Eddingtona 1919. fotografira zvijezde u blizini Sunca tijekom potpune pomrčine Sunca. Ako je Einstein u pravu, pozicije zvijezda pored Sunca trebale bi biti različite u odnosu na one gdje ih predviđamo vidjeti noću. To bi se trebalo dogoditi zato što ako svjetlost prolazi pored Sunca, bit će zakrivljena zbog zakrivljenosti prostora zbog gravitacije. Upravo to je pronađeno (slika 11) što je podržalo teoriju.

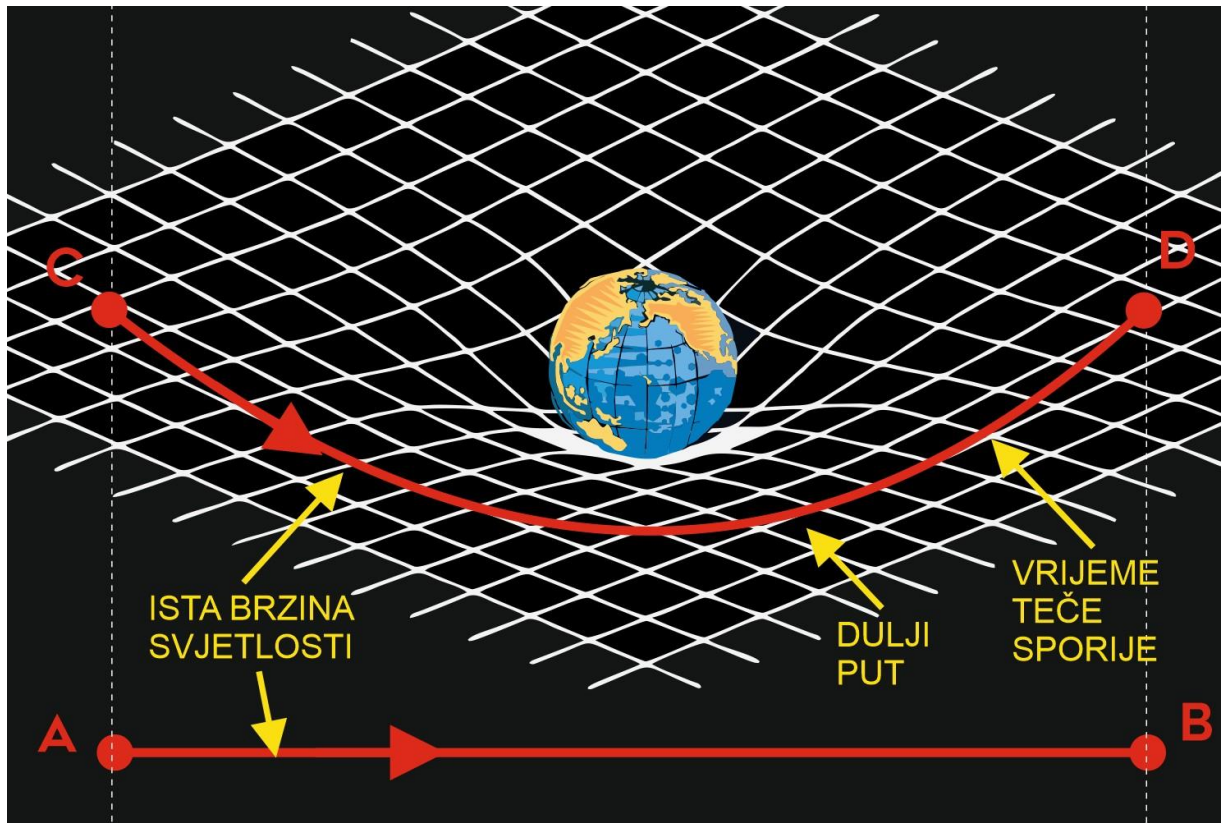


Slika 11: Položaji zvijezda opažene teleskopom u blizini Sunca nisu tamo gdje su trebale biti.



Slika 12: Općom teorijom relativnosti Einstein je objasnio prividne lokacije zvijezda kada se nalaze u smjeru koji je blizu Sunca. Svjetlost koja dolazi sa zvijezda u blizini Sunca se savija zbog toga što gravitacija Sunca zakrivljuje prostor (zakrivljenost prostora je to veća što smo bliže Suncu).

U prostorno-vremenskom kontinuumu (ponekad kraće zvanim prostor-vrijeme) prostor je zakrivljen. No, kako vrijeme ulazi u sliku i dolazi li do distorzije vremena? Tu dolazimo do Einsteinove prve teorije, specijalne teorije relativnosti. Ona kaže da svjetlost uvijek putuje istom brzinom bez obzira na perspektivu i referentni sustav. Dakle, svjetlost će imati istu brzinu i u ubrzanom referentnom sustavu kao i u sustavu u mirovanju. To znači da će brzina svjetlosti u prisutnosti gravitacije biti ista kao brzina u praznom prostoru.



*Slika 13:* Svjetlost uvijek putuje istom brzinom  $c$ . Brzina je određena relacijom  $c = D/t$  gdje je  $D$  prijeđeni put, a  $t$  vrijeme. U blizini mase dolazi do zakrivljenja prostora te je put CD dulji od puta AB. Da bi brzina ostala ista, vrijeme prolaska svjetlosti na putu CD mora biti dulje. To znači da na tom putu vrijeme mora teći sporije u odnosu na vrijeme na putu AB.

S obzirom da je put svjetlosti u gravitacijskom polju dulji, da bi se svjetlost gibala istom brzinom, vrijeme mora prolaziti sporije u gravitacijskom polju nego u praznom prostoru. Zato je vrijeme poremećeno gravitacijom duž prostora u kome djeluje gravitacija. To je dio istog koncepta koji se zove prostorno-vremenski kontinuum. To ima enormne posljedice. Promatrač koji ne osjeća gravitaciju (u bestežinskom stanju) vidi da se sat u gravitacijskom polju kreće sporije. To znači da se satovi na Zemlji kreću malo sporije nego satovi na međunarodnoj svemirskoj postaji, što je potvrđeno nizom eksperimenata i mora se uzeti u obzir kada se satovi GPS satelita sinkroniziraju sa satovima na Zemlji.

Einsteinova opća teorija relativnosti govori kako gravitacija funkcionira. Ali ne kaže što je egzaktno gravitacija, zašto masivni objekti poremećuju prostor-vrijeme. Također predviđa lokacije u prostoru gdje je prostor-vrijeme toliko poremećeno da ništa ne može pobjeći, uključujući svjetlost. To su crne rupe. Unutar crnih rupa je masa koncentrirana u beskonačno maloj točki beskonačne gustoće (singularitet). Opća teorija relativnosti ne uspijeva funkcionirati u toj točki. Singulariteti u znanosti često ne znače da oni postoje već da teorija nije potpuna. Na vrlo malim skalama moramo upotrijebiti kvantnu mehaniku, pa je u ovom trenutku teorija relativnosti nekompatibilna s kvantnom mehanikom. Treba nam nova teorija – kvantna gravitacija.

### ***3.5 Einsteinova opće teorija relativnosti u osnovnoj školi***

Važnost Einsteinovih teorija relativnosti daje temelj da se one uvedu u obrazovanje na različitim razinama. Već od rane dobi djeci se može početi pričati o zakrivljenosti prostora ako se nalazimo u blizini crne rupe, zvijezde ili planeta (Ferrie, 2017).

U okviru dodatne nastave fizike u osnovnoj školi s naprednom grupom učenika ili kroz neke radionice za popularizaciju fizike, učenicima se može dati uvidi u Einsteinov opis prostorno-vremenskog kontinuuma. Pri tome se naglasak stavlja na konkretne vrlo ilustrativne primjere (orbita Merkura, promatranje zvijezda u blizini Sunca, GPS signali i relativističke korekcije) i dakako pokuse (The Einstein-First project, 2020).

U srednjoj školi u okviru dijela kurikulumu koji se odnosi na modernu fiziku, priča se može proširiti na teme kao što su gravitacijski valovi i crne rupe i staviti ih u kontekst nedavnih Nobelovih nagrada za fiziku.

Model prostorno-vremenskog kontinuuma može se djelomično ilustrirati principom trampolina, odnosno napete površine. Ovaj model vrlo efektno prezentira drugačiji koncept razumijevanja gravitacijske sile, a dobro osmišljenim istraživačkim pokusima učenici mogu eksperimentalno utvrditi na koji način mase modificiraju prostor. Kao što je prethodno rečeno, ovaj model je dvodimenzionalan iz razloga što je na taj način lakše shvatiti i vizualizirati koncepte zakrivljenja prostora. U stvarnosti se zakrivljuje trodimenzionalni prostor. Osim zakrivljenja prostora, tijekom putovanja svjetlosti imamo i usporavanje vremena u blizini velikih masa.

Sljedeće aktivnosti su predviđene za učenike razredne i predmetne nastave te bi se izvodile s učenicima uz vodstvo učitelja fizike u sklopu dodatne nastave, radionica za popularizaciju znanosti i slično s obzirom da ne ostvaruju ishode redovne nastave fizike propisane kurikulumom.

Napeta opna na slici neće se bitno modificirati ako na nju stavljamo male kuglice. To nam omogućuje da pokažemo da će se kuglica s odabranom početnom brzinom preko plohe (prostorom) gibati pravocrtno i jednoliko. Isto je i sa svjetlosti, ako nemamo u blizini velikih masa, svjetlost se giba pravocrtno brzinom svjetlosti  $c = 3 \cdot 10^8$  m/s.



*Slika 14:* Model trampolina, odnosno zategnute opne koji se koristi za demonstraciju opće teorije relativnosti. Kuglice male mase guramo početnom brzinom u različitim smjerovima. Uočavamo da se one gibaju pravocrtno.

Istraživačko pitanje za učenike na početku može biti:

Na koji način se giba kuglica preko opne? (gibanje možemo snimiti mobitelom i opisati brzinu)

Možemo postaviti i dodatna pitanja poput:

Što određuje smjer gibanja?

Zašto se ipak kuglica malo usporava?

Očekujemo od učenika da će opisati gibanje, tj. brzinu na način da uoče pravocrtno gibanje kuglice što mogu i sami isprobati ovisno o smjeru u kojem bace kuglicu. Usporavanje kuglice pokreće temu sile trenja te je to pitanje predviđeno za učenike 7. i 8. razreda.

Sljedeći zadatak uvodi temeljni koncept opće teorije relativnosti, a to je zakrivljavanje prostora u okolini velikih masa. Imamo kuglice različitih masa i stavljamo ih na opnu. Istraživačka pitanja su:

Što se dešava kada kuglicu veće mase stavimo na opnu? Opišite opažanja.

Što se dešava kada masu udvostručimo (dodamo još jednu masivnu kuglu)?



*Slika 15:* Manja masa uzrokuje manju modifikaciju - zakrivljenje plohe.





*Slika 16:* Veća masa uzrokovat će veću modifikaciju plohe, odnosno veće zakrivljenje prostorno-vremenskog kontinuuma.



*Slika 17:* Udvostručenjem mase povećat će se zakrivljenje prostorno-vremenskog kontinuuma.

Zaključak ovih pokusa će biti da dovoljno velike mase očito modificiraju prostor oko sebe, odnosno da kod kuglica veće mase imamo i veće zakrivljenje prostora.

No kakve to veze ima s gibanjem tijela ili svjetlosti u njihovoj blizini?

Sada krećemo s temeljnim istraživanjem, na koji način sada velika masa utječe na gibanje malih masa prostorom. Postavljamo sljedeća pitanja:

Ima li sada razlike u gibanju male mase preko opne u odnosu na situaciju kada nismo imali veliku masu na opni?

Što se dešava ako lopticu manje mase usmjerimo direktno prema loptici veće mase?

Što se dešava ako lopticu manje mase usmjerimo kružno na nekoj udaljenosti od središta opne? Opišite opažanja i zabilježite dobivena gibanja.

Očekujemo da će učenici primijetiti razliku u kretanju kuglice male mase kada u središtu imamo kuglu veće mase gdje od pravocrtne putanje dolazimo do kružne gdje učenici mogu uočiti da kugla veće mase djeluje na gibanje kugle manje mase.

Učenicima treba dati dovoljno vremena za istraživanje kako bi isprobali što više opcija s različitim smjerovima i iznosima početne brzine, s kuglicama različitih masa. Može se mijenjati i teška masa koja miruje na opni i diskutirati kako to utječe na gibanje (to je ekvivalentno povećanju privlačne gravitacijske sile). Stavimo li ogromnu masu u središte, kuglice će jako brzo pasti na nju i više ne mogu pobjeći – tu se već približavamo konceptu crne rupe.



*Slika 18:* Krećemo s pokusom: kako prisutnost velike mase u prostoru utječe na gibanje drugih manjih masa?



*Slika 19:* Promatramo putanje manje mase oko velike. Ovisno o početnoj brzini možemo postići eliptične putanje - slične kakve imaju planeti oko Sunca.

Kada završimo s pokusima s pojedinačnim kuglicama, možemo ih puštati istovremeno veći broj, npr. desetak. Tu imamo sljedeća pitanja: Kako izgledaju putanje kada istovremeno pustimo puno kuglica? Usporedite ih s putanjama planeta oko Sunca.

Što se dešava s putanjama nakon nekog vremena? Kakav ste oblik putanje opazili?

Ovdje očekujemo od učenika da uoče kružne putanje kuglica te njihovo gibanje od samog ispuštanja pa sve do zaustavljanja.



*Slika 20:* Pokus je moguće izvesti s većim brojem manjih kuglica koje se mogu istovremeno gurnuti niz plohu.

Nakon izvedenih pokusa diskutiramo o konceptu gravitacijske sile.

#### 4. ZAKLJUČAK

Da bi se pobudio interes djece i što veći broj usmjerio prema zanimanjima baziranim na STEM područjima (koja su osnova zanimanja 21. stoljeća za koja i na razini Europske unije nedostaje veliki broj stručnjaka), potrebno je od rane dobi djecu upoznati sa zanimljivim i suvremenim temama iz prirodoslovlja, posebice iz fizike.

Einsteinove teorije relativnosti primjer su za edukatore vrlo zahtjevnih, a učenicima vrlo zanimljivih, neobičnih i izazovnih tema. Uvodeći koncepte tih teorija učenike dovodimo u doticaj s frontom istraživanja i najvažnijim pitanjima današnje fizike i prirodoslovlja općenito. Takav pristup je važan i on može učenicima na duge staze pobuditi interes za fiziku i druga istraživački bazirana područja. Problem ranog STEM obrazovanja i na razini Europske unije je nedostatak znanja iz fizike i drugih STEM područja učitelja razredne nastave (i odgajatelja ako govorimo o ranom učenju u vrtićima). Nastavnici fizike mogu biti ti koji će u sklopu dodatne nastave fizike, radionica i slično ove izazovne teme spustiti na razinu razredne nastave, bilo u suradnji s učiteljima razredne nastave ili kroz izvannastavne aktivnosti.

Fizika je bazirana na eksperimentu pa svaka aktivnost treba u središtu imati pokus. Tako je i u ovoj tematici pokus središnji alat za dublje razumijevanje tematike. S druge strane, pokus je u fizici središnji dio znanstvene metode (u širem smislu). Prolazeći kroz elemente znanstvene metode učenici izvođenjem pokusa praktično uče kako znanost funkcionira, kako se postavljaju hipoteze, kako se provjeravaju teorijski modeli i postoji li u znanosti konačni zaključak. Zato pokus mora biti sastavni dio kurikuluma (svih nastavnih predmeta u kojima se obrađuju teme iz prirodoslovlja) od prvog razreda osnovne škole. Učitelje i nastavnike treba opremiti prije svega idejama koje suvremene teme mogu prezentirati djeci te im omogućiti da u okviru postojećih kurikuluma ili kroz izvannastavne aktivnosti te ideje provedu u praksu.

## LITERATURA

- [1] Blair, D. (3.11.2020.). Putting Einstein first: It's time to stop lying to our children about physics. Dohvaćeno iz <https://www.abc.net.au/news/science/2019-12-13/time-to-stop-lying-to-our-children-about-physics/11789858>
- [2] Bognar, L., & Matijević, M. (2002). Didaktika. Zagreb: Školska knjiga.
- [3] Bright Horizons. (12.8.2020.). Dohvaćeno iz <https://brighthorizons.com/family-resources/physics-for-kids-everyday-play>
- [4] Deslauriers, L., S. McCarty, L., Miller, K., Callaghan, K., & Kestin, G. (2019). Measuring actual learning versus feeling of learning in response to being actively engaged in the classroom. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America.
- [5] Eshach, H. (2006). Science Literacy in Primary Schools and Pre-Schools, Springer, Dordrecht.
- [6] Ferrie, C. (2017). General relativity for babies. Sourcebooks, Jabberwocky.
- [7] Fowler, M. Galileo and Einstein. [http://galileoandeinstein.phys.virginia.edu/lectures/gal\\_accn96.htm](http://galileoandeinstein.phys.virginia.edu/lectures/gal_accn96.htm) (21.7.2020)
- [8] Grgin, T. (2004). Edukacijska psihologija, Naklada Slap, Jastrebarsko.
- [9] Hazelkorn, E. et al. (2015). Science Education for Responsible Citizenship. Report to the European Commission of the Expert Group on Science Education.
- [10] Jakšić, J. (2003). Motivacija. Psihopedagoški pristup, Katehetski ured Zagrebačke nadbiskupije, Zagreb.
- [11] Jammer, M. (2012). Concepts of Space, Dover Publications, New York, 3.izdanje.
- [12] Kyriacov, C. (1997). Temeljna nastavna umijeća, Educa, Zagreb.
- [13] Munjiza, E., Peko, A., Sablić, M. (2007). *Projektno učenje*. Osijek, Izdavač: Sveučilište J. J. Strossmayera, Filozofski fakultet ; Učiteljski fakultet.
- [14] NewScientist (2020). General relativity. Einstein's theory of how gravity warps space and time. <https://www.newscientist.com/term/general-relativity/> (28.10.2020).
- [15] Newton, R. G. (2004). Galileo's Pendulum: From the Rhythm of Time to the Making of Matter. London: Harvard University Press.

- [16] Pavić, Ž. (2012). Nastavni materijal iz kolegija Znanost i kultura 1. (str. 55). Sveučilište J. J. Strossmayera u Osijeku.
- [17] Rečić, M. (2006). Priprema za školu, Đakovo, Tempo.
- [18] Schwartz, J., McGuinness M. (2001). Einstein za početnike, Jesenski i Turk, Zagreb
- [19] Slunjski, E. (2008). Dječji vrtić: zajednica koja uči, Zagreb, Spektar Media.
- [20] Svedružić, A. (2012). Razvoj interesa u konstruktivističkoj nastavi fizike. Život i škola, LVIII (27), 134-151. Preuzeto s <https://hrcak.srce.hr/84256>
- [21] The Einstein-First project. (4. studeni 2020.). Dohvaćeno iz <https://www.einsteinianphysics.com/>
- [22] Veljak, L. (2006). Einsteinoва Specijalna teorija relativnosti i aktualni prijevori u filozofiji. *Filozofska istraživanja*, 26 (3), 507-514. Preuzeto s <https://hrcak.srce.hr/11153>
- [23] Worth, K. (2020). Science in Early Childhood Classrooms: Content and Process. *Early Childhood Research & Practice. Collected Papers from the SEED* <https://ecrp.illinois.edu/beyond/seed/index.html>

## ŽIVOTOPIS

Rođena sam 12.svibnja 1994.godine u Tübingenu, SR Njemačka. Nakon završene Prve osnovne škole sam upisala Gimnaziju fra Dominika Mandića, obje škole u Širokom Brijegu, u Bosni i Hercegovini gdje sam provela većinu svog života. Nakon završene gimnazije 2012. godine sam upisala Prirodoslovno-matematički fakultet Sveučilišta u Zagrebu, nastavnički smjer fizike. Tokom studiranja sam radila i razne studentske poslove te bila uključena u dosta aktivnosti vezane uz fakultet poput volontiranja na Otvorenim danima PMF-a, natjecanju Plancks, sudjelovala u organizaciji CRES-a na fakultetu te sam član Hrvatskog fizikalnog društva i Fizike ekspres uz koje sam posjetila mnoge događaje vezane uz popularizaciju fizike te bila sudionikom raznim konferencija tokom ovih godina.

Od 2019.godine radim kao učiteljica fizike u OŠ Matije Gupca u Zagrebu gdje sam uz fiziku predavala i tehničku kulturu te od ove godine i informatiku. Aktivno se služim engleskim jezikom te dobro poznajem i njemački jezik što će mi pomoći u mom daljnjem školovanju koje planiram nastaviti nakon završetka fakulteta.