



UNIVERZITET U NOVOM SADU  
PRIRODNO-MATEMATIČKI  
FAKULTET  
DEPARTMAN ZA FIZIKU



УНИВЕРЗИТЕТ У НОВОМ САДУ  
ПРИРОДНО-МАТЕМАТИЧКИ ФАКУЛТЕТ

ПРИМЉЕНО:	1 - ЈУН 2008
ОРГАНІЗДОВАНО:	БРОЈ
0603	9 / 847

# Galilejevo učenje u nastavi fizike za osnovnu školu

- diplomski rad -

Mentor: prof. dr Darko Kapor

Kandidat: Nada Bajić

Novi Sad, 2008

*Zahvaljujem se mojim roditeljima na ukazanom strpljenju, razumevanju i podršci, kao i mentoru prof. dr Darku Kaporu na predloženoj temi i pomoći tokom izrade ovog diplomskog rada.*

*Takođe se zahvaljujem dvema dragim osobama, Miroslavu i Aleksandri, na korisnim savetima.*

## Sadržaj

UVOD.....	1
1. ŽIVOT I DELO GALILEA GALILEJA SA POSEBNIM OSVRTOM NA ASTRONOMSKA ISTRAŽIVANJA I OTKRIĆE TELESKOPOA.....	2
1.1. ČOVEKOV VIDOKRUG OKO 1600. GODINE.....	2
1.2. PERIOD GALILEJEVOG ODRASTANJA I ŠKOLOVANJA.....	2
1.3. GALILEJEV PRELAZAK U PADOVU.....	4
1.3.1. KORAK KA ZVEZDAMA.....	7
1.4. GALILEJEV SUKOB SA RIMOKATOLIČKOM CRKVOM.....	10
1.4.1. SUDENJE GALILEJU.....	15
1.5. POSLEDNJE GODINE GALILEJEVOG ŽIVOTA.....	15
2. NAJAVAŽNIJA OTKRIĆA GALILEJEVOG STVARALAČKOG OPUSA .....	17
2.1. SLOBODAN PAD.....	17
2.2. INERCIJA.....	25
2.3. PARABOLA.....	28
2.4. RELATIVNOST KRETANJA.....	31
2.5. IZOHRONOST KLATNA.....	33
3. GALILEJEVO UČENJE U NASTAVI FIZIKE ZA OSNOVNU ŠKOLU (PRIPREME ZA ČAS).....	34
3.1. REFERENTNO TELO I RELATIVNOST KRETANJA.....	34
3.2. ZAKON INERCIJE.....	38
3.3. PREĐENI PUT KOD RAVNOMERNO UBRZANOG KRETANJA .....	41
3.4. SLOBODNO PADANJE.....	45
PRILOG.....	50
ZAKLJUČAK.....	54
Literatura.....	55
Biografija Nade Bajić.....	56

## UVOD

Najčešće primenjivani nastavni metodi u nastavi fizike su monološki i tekstovno – grafički metod, a nastavna sredstva tabla, kreda, folija za grafskop. Na taj način većina dece doživljava fiziku kao nauku, sazdanu od „nekih formula i definicija“.

Udžbenici iz fizike su poput zbirki fizičkih zakona, ali o primeni zakona ili prirodnim pojavama, koje nas okružuju, kaže se veoma malo. Takođe, o naučnicima, njihovom životu i stvaralaštvu, greškama i uspesima, ne govori se ništa.

U cilju animacije i stimulacije znatiželje kod dece, koja međusobno imaju različita interesovanja, smatram da u nastavu fizike treba uvesti istorijski razvoj fizike i demonstracione oglede, pored već prisutnih eksperimentalnih vežbi.

Po mom mišljenju, u toku predstavljanja nekog fizičkog zakona, pored njegove formule i obrazloženja, neophodno je dodati i način na koji se došlo do njega, koristiti prezentacije, i pričati o ljudima koji su učestvovali u njegovoj spoznaji i formulisanju. Kada se drži čas fizike na uobičajen, tradicionalan način, obrađivana teorija, zakon, formula za većinu đaka ostaje samo „mrtvo slovo na papiru“. Ali, ako nastavnik ispriča životnu priču naučnika, koji su se bavili datom temom i demonstrira posmatranu pojavu, zakon „oživljava“, postaje stvarnost koja nas okružuje i koju đaci uočavaju i prepoznaju.

Galileo Galilej je naučnik, čiji sam život i delo ispratila putem izrade diplomskog rada.

Galileo Galilej je jedna od istorijskih ličnosti (sl. 1), o kojoj svaka generacija ima svoje mišljenje. Galilej beše poput megdandžije; on je sa uživanjem i pravim merakom vodio bitke za nešto novo i vredno. Tvorac je moderne nauke. Konstruisao je mnoštvo instrumenata, a izvodeći svoje eksperimente priređivao je prave spektakle. Otkrio je mnogo toga: Sunčeve pege, Mesečeve planine i prirodne satelite planete Jupiter. Eksperimentalno je pronašao zakon slobodnog pada, paraboličnu putanju tela kod horizontalnog hica i još mnogo toga. Živeo je u Italiji, na prelazu iz XVI u XVII vek, u razdoblju opterećenom ratovima, kugom i sujeverjem. Imao je moćne prijatelje, ali i moćne neprijatelje. Braneći svoje ideje rizikovao je da završi na lomači. Galilejeve bitke bile su intelektualne, a one su teže od onih sa sabljom i pištoljem, jer oružje je mnogo prefinjenije, ali ništa manje ubojito.

Diplomski rad sadrži tri poglavља. U prvom poglavljju, dala sam akcenat na njegov život, uspone i padove, sa posebnim osvrtom na astronomska istraživanja. U drugom poglavljju opisujem njegova najvažnija otkrića, dok u trećem, pišem pripreme za nastavu fizike, u kojima prezentujem Galilejev život i njegov stvaralački opus, naravno, na nivou koji je adekvatan uzrastu dece u osnovnoj školi.



Slika 1 - Galileo Galilej  
(bs.wikipedia.org/wiki/Galileo\_Galilei - 33k)



## 1. ŽIVOT I DELO GALILEA GALILEJA SA POSEBNIM OSVRTOM NA ASTRONOMSKA ISTRAŽIVANJA I OTKRIĆE TELESKOPOA

### 1.1. ČOVEKOV VIDOKRUG OKO 1600. GODINE

Prošao je vek otkako su se Evropljani iskrcali na obale Amerike. Čitavu Zemlju oplovili su prvi avanturisti. Nije bilo sumnje da je Zemlja okrugla. Ali, za običan svet i za naučnike onog doba, zvezde i planete i dalje su ostale potpuna nepoznanica. Na primer, Mesec je smatran savršenom sferom. Zemlja je, osim za mali broj prosvećenih, bila nepokretna planeta koja stoji usred svemira. A Sunce, kako je pisalo u svim svetim i svetovnim knjigama, okreće se oko Zemlje.

### 1.2. PERIOD GALILEJEVOG ODRASTANJA I ŠKOLOVANJA

Galileo Galilej rođen je 1564. godine u Pizi, koja je pripadala Firenci kneza Kozima di Medičija. Firenca je bila jedna od mnogih gradova-država na koje je bila podeljena tadašnja Italija. Piza je stari grad koji je u srednjem veku bio pomorska sila. U Galilejevo vreme ona je središte prestižnog univerziteta. Upravo u tom periodu Piza je izlazila iz perioda propadanja, obeleženog kugom i nemaštinom.

Galilej potiče iz poznate firentinske porodice. Otac Galilejev, Vinčenco Galilej, studirao je muziku, posle čega je pisao rasprave, svirao orgulje i leut<sup>1</sup> (sl. 2) i predavao muziku. Pošto je od ženinih dobio miraz u vuni, on je povremeno prodavao i vunu; trebalo je podići petoro dece.

Od oca je Galilej učio muziku i matematiku, koja je u vreme njegovog odrastanja smatrana umetnošću poput muzike.

Srednju školu Galilej je završio u starom manastiru u Valambrozi, blizu Firence. U svim knjigama koje je Galileo čitao tokom svog odrastanja pisalo je da se Sunce, zvezde i planete okreću oko Zemlje, dok Zemlja stoji nepokretna usred vasione.



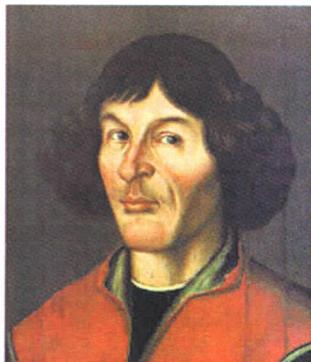
*Slika 2 – leut  
(<http://www.d-hilton.pwp.net/blueyonder.co.uk/theoLautalauta>)*

Ako se gleda u nebo stvarno izgleda da je tako. Međutim, poljski astronom Nikola Kopernik (sl. 3), koji beše jedan od pionira moderne astronomije, doveo je u pitanje takvo gledište o svemiru. On je tvrdio da se Zemlja okreće oko sopstvene ose i da kruži oko Sunca. To je istina, ali ova ideja je bila toliko revolucionarna da je i sam njen tvorac pokušavao da je sakrije od javnosti. Knjiga u kojoj Kopernik ovo opisuje

---

<sup>1</sup> Leut-muzički instrument, veoma popularan u kasnom srednjem veku i u renesansi. Bio je omiljeni instrument Galileja, a i njegovog oca. To je žičani instrument sa pokretnim pragovima.

objavljena je dok je ležao na samrti, 1543. godine, tj. 20 godina pre nego što se Galilej rodio.



Slika 3 – Nikola Kopernik  
(sl.wikipedia.org/wiki/Nikolaj\_Kopernik)

S jeseni 1581. godine, sa svojih 15 godina, Galilej je došao u Pizu, gde je započeo studije medicine. Tadašnja medicina nije mnogo ličila na današnju. Medicina Galilejevog doba skoro da je bila umetnička veština, poput poezije i muzike. Bilo je potrebno podrobno izučiti filozofiju i izraditi horoskop pacijenta. Zdravlje, kako su tvrdili Galilejevi učitelji, zavisilo je od zvezda.

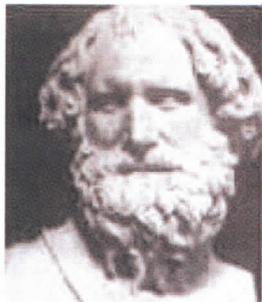
Međutim, Galileju se svidala matematika, a naročito ona koju je učenicima kneževina Firence predavao izvesni Ostilio Riči. To je bila jedna korisna, praktična matematika, koja je bila vrlo zgodna pri konstruisanju ratnih mašina i građenju utvrda. A onoga ko je bio umešan i vešt u građenju utvrdenja, moćnici su tražili i dobro plaćali. U Galilejevo vreme ratovi su bili, takoreći svakodnevna pojava. Galilej je pratilo Ričijeva predavanja, umesto da sluša predavanja iz medicine. Kada je stigao do četvrte godine studija bilo je jasno da će ostati bez diplome. Ali, od nečega je trebalo živeti i Galilej se odlučio za poziv predavača. Mogao je da predaje matematiku, ali potražnja je bila mala, pa je Galilej spremao predavanja o mnogo više traženoj Aristotelovoj (sl. 4) filozofiji prirode, koja je bila u suprotnosti sa Galilejevim ubedjenjima. U proleće 1585. godine Galilej je napustio univerzitet u Pizi bez diplome, a ono čime se ceo život bavio nije studirao, već je u tome bio samouk. Navedene činjenice će se nužno odraziti i na njegovo delo.



Slika 4 – Aristotel ([www.iep.utm.edu/aristotl.htm](http://www.iep.utm.edu/aristotl.htm))

U periodu od 1585.-1589. uz privatne časove Galilej je pisao svoje rane radove, među kojima su i „Terazijice“. „Terazijice“ su rad u nekoliko kopija i plod su ideja slavnog Arhimeda (sl. 5), najznačajnijeg matematičara antičkog doba. Njegov dodatak poznatoj vagi za merenje specifičnih težina sastoji se u namotavanju žice oko kraka, tako da se iz broja namotaja može preciznije odrediti položaj protivtega. Tu se već nazire

Galilejeva sklonost ka praktičnoj invenciji, jer zlatari su mogli da koriste terazijice za merenje udela zlata ili srebra u nekoj leguri.

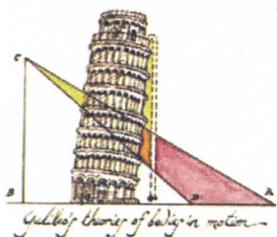


Slika 5 – Arhimed ([www.moljac.hrbiografije/Archimedes.htm](http://www.moljac.hrbiografije/Archimedes.htm))

### 1.3. GALILEJEV PRELAZAK U PADOVU

„Ko pristane na stvaranje  
pristao je na čuđenje“  
Mika Antić

U međuvremenu, na univerzitetu u Pizi osnovana je katedra za matematiku. Galileo se preporučio jednom markizu i jednom kardinalu i dobio posao, gde je ostao samo tri godine. Za to vreme završavao je ranije započetu knjigu „O kretanju“. Galilej u knjizi razmatra kretanje tela, s posebnim osvrtom na brzinu kretanja. Tada je, po predanju, dobio ideju kako da demonstrira svoju teoriju o slobodnom padu tela; Galilej se popeo na vrh Krivog tornja (sl. 6), odakle je pred malobrojnom publikom sastavljenom od učenika, profesora i građana puštao da slobodno padaju kugle različite težine i od različitog materijala. Sve one su u istom trenutku dodirnule tlo. Naravno jedno pero padalo bi mnogo sporije, ali to bi se desilo samo zbog otpora vazduha, a ne zbog zakona kretanja, što je Galilej znao. Ali, u njegovo vreme bilo je opasno izvesti ovakav eksperiment, jer on je protivrečio konceptu slavnog grčkog filozofa Aristotela. Navedeni eksperiment je bio u suprotnosti i sa znanjima sadržanim u knjigama na kojima se zasnivala moć rimske crkve, vlastodržca, a svakako i Galilejevih kolega profesora. Mnogi od njih videli su u Galileju svog neprijatelja. Uvidevši kako je stekao isuviše neprijatelja Galilej je napustio Pizu.



Slika 6 – Krivi toranj ([www.worldtopix.com/galileo](http://www.worldtopix.com/galileo))

Godine 1592. Galilej je prihvatio posao u Padovi, koja je bila u sastavu nezavisne i veoma slobodoumne Republike Venecije. U Padovi se odvijao najkreativniji pe-

riod Galilejevog strvaralaštva, gde je ostao 18 godina. Tu je došao do svih svojih najvažnijih otkrića, i što je interesantno, nije žurio da ih saopšti javnosti. To mu inače nije bila opšta karakteristika, jer kad je osetio da je nešto apsolutno novo on bi to hitno obznanio, u čemu se pokazao kao pravi majstor. U Padovi je uspeo da dobije katedru matematike i stekao je mnogo novih prijatelja. Živeo je nedaleko od bazilike sv. Antonije, u palati gospodina Pinelija, koji je ugošćavao čuvene naučnike i umetnike. U palati plemića Pinelija pričalo se sasvim slobodno. Nažalost, mnogi od njegovih gostiju tragicno su završili život. Tomazo Campanela<sup>2</sup> (sl. 7), na primer završio je u zatvoru, a Jordano Bruno (sl. 8) je živ spaljen na lomači. U čemu je bila njihova krivica? Oni su iznosili ideje o prirodi i svemiru suprotne onima iz Biblije. Jordano Bruno je nepokolebljivo tvrdio da se Zemlja okreće oko Sunca, a ne obrnuto. Ta ideja po Galileju nije bila pogrešna. Njeni pobornici bili su Kopernik i Kepler (sl. 9); (prilog), koji je bio Galilejev savremenik i profesor u Gracu. Ali u to vreme je u Nemačkoj preovladavao protestantizam, koji se oštro suprotstavljao katoličkoj crkvi, zato u Nemačkoj nije bilo svete inkvizicije, pa Kepler nije imao velikih problema zbog svog učenja.



Slika 7- Kampanela  
([http://en.wikipedia.org/wiki/Tommaso\\_Campanella](http://en.wikipedia.org/wiki/Tommaso_Campanella))



Slika 8- Bruno  
([www.znanje.org/2202iv0802iv0801djordano\\_bruno.htm](http://www.znanje.org/2202iv0802iv0801djordano_bruno.htm))



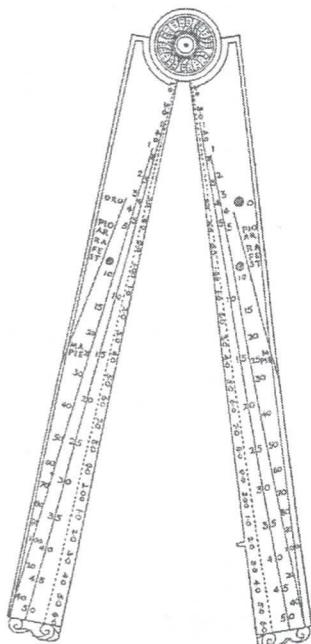
Slika 9-Kepler  
([http://en.wikipedia.org/wiki/ImageJohannes\\_Kepler](http://en.wikipedia.org/wiki/ImageJohannes_Kepler))

Galilej je u Padovi bio omiljen među studentima. Sa prijateljima i kolegama često je posećivao razne proslave i zabave. Odlazio je i u Veneciju gde je živeo njegov veliki prijatelj i bivši student Sagredo.

U Galilejevo vreme vladala je velika potražnja za mernim instrumentima, pre svega onima za potrebe vojske. Godine 1597. Galilej je izumeo vojno-geometrijski kompas (sl. 10). To je bio instrument sa mnogo funkcija: bio je sličan ravnom kompasu na kojem su bile iscrtane određene linije. Mogao je da se koristi za izračunavanje putanje projektila, gustine metala i mnogo čega drugoga.

---

<sup>2</sup> Tomazo Campanela- italijanski filozof, dominikanac. Optuživali su ga širi jeretičku nauku i sprema zavere protiv španskih vlasti. Prošavši kroz tri inkvizitorska procesa, podvrgnut je torturi i osuđen na doživotni zatvor. U mnogo čemu postavlja nov odnos između vere i nauke. Za njega su glavni izvori saznanja iskustvo i posmatranje.



Slika 10 – Vojno – geometrijski kompas

Godine 1603. lekar Santorio počeo je da primenjuje, od strane Galileja otkrivenu izohronost klatna<sup>3</sup>, konstruišući pulsilogum. Pulsilogum je instrument kojim su lekari merili puls pacijenta, koji su „očitavali“ na klatnu. Kada bi otkucaji bili izohroni sa klatnom, merila se dužina niti.

U prizemlju Galilejeve kuće, koja je bila na nekoliko koraka od bazilike sv. Antonija, nalazila se velika, odlično opremljena radionica. Galilej pripada grupi onih velikih fizičara za koje se može reći da su im ruke isto toliko bile važne, koliko i glava: put do otkrića isao je preko eksperimentata. Imao je ruke koje su umele da stvaraju i uživao je u njihovom korićenju.

Pored predavanja, Galilej se takođe bavio mnogim dodatnim, dobro plaćenim poslovima. Neki od njih su bili projektovanje vojnih utvrđenja, usavršavanje sistema za crpljenje vode iz dubokih bunara, koji su radili pomoću klatna, i služili za navodnjavanje zemljista.

Galileo se takođe bavio i naučnim radom. Godine 1604. eksperimentalno je pronašao zakon slobodnog pada, puštajući kuglice niz strmu ravan.

Godine 1608. izveo je eksperiment kojim je otkrio paraboličnu putanju tela kod horizontalnog hica.

---

<sup>3</sup> Zakon izohronosti klatna (*izohronizam* (gr.)-jednakovremenost, podjednaka dužina trajanja) – u okviru određenih granica, trajanje svih oscilacija jednog sistema klatna uvek je isto i nezavisno od mase i od materijala od kojeg je napravljeno.

### 1.3.1. KORAK KA ZVEZDAMA

„Više volim snove o budućnosti nego priče o prošlosti“  
Džeferson

Na prelazu iz XVI u XVII vek svete knjige su učile kako je nebo savršeno i nepromenljivo. Ipak, tamo gore se događalo nešto čudno. Pojavila se jedna nova, vrlo velika zvezda koja je potom nestala. To je bila kometa<sup>4</sup> (sl. 11), a komete su po verovanju izazivale epidemije i druge nesreće. Zatim, pojavila se neka crvena mrlja, neobjasnjava i strašna, između Jupitera i Marsa. Povodom navedenih pojava Galilej je održao nekoliko opsežnih predavanja iz astronomije. Galilej je takođe počeo da posmatra zvezde s mnogo više pažnje; golin okom, naravno. Postajao je sve uvereniji da Zemlja nije središte svemira, te da su Kopernik i Kepler u pravu. Ali o tome zvanično nije pisao ništa.



*Slika 11 – Prikaz komete*

Tada su duvali surovi vetrovi. Inkvizicija je progonila sve one koji nisu prihvatali njene dogme, progone je sprovodila i izvan svoje teritorije.

Prilikom posete Veneciji, 1609. godine Galileja je sustigla iznenadujuća vest: izgleda da je jedan proizvođač naočara, iz Holandije, konstruisao instrument pomoću kojeg daleki predmeti mogu da se vide kao da su blizu. Galileo ja saznao da je njegov prijatelj Sarpi već znao za to, i da je izvesni Holanđanin prodavao taj predmet velikodostojnicima Mletačke republike. Galilej je poželeo da ima taj predmet, pre ičega i po svaku cenu.

U svojoj laboratoriji, u Padovi, imao je mnogo sočiva, i konveksnih i konkavnih. Pokušavajući da ih smesti unutar olovne cevi (tubusa), posle izvesnog

---

<sup>4</sup> Kometa-danas znamo da su komete tela koja se sastoje od leda i gasova, i da kruže oko Sunca putanjom oblika veoma izdužene elipse. U Galilejevo vreme zakoni njihovog kretanja nisu bili poznati, što je kod ljudi izazivalo strah.

vremena, uspeo je da udaljene predmete vidi kao da su blizu. Novembra 1609. Galilej je konstruisao teleskop<sup>5</sup> (sl. 12).



Slika 12 – Galilejev teleskop

([www.astronomija.co.yusadrzajinstrumenti.htm](http://www.astronomija.co.yusadrzajinstrumenti.htm))

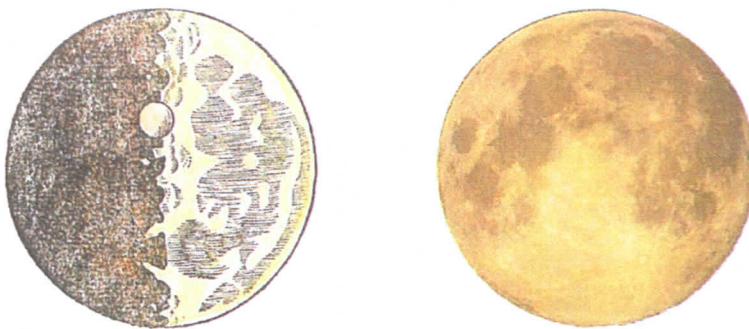
Odmah nakon toga, Galilej je počeo da konstruiše drugi teleskop, da bi pojačao uvećanje. Kada je postigao povećanje od osam puta, Galilej je teleskop odneo u Veneciju. Tamo su, sa zvonika sv. Marka, najugledniji građani Venecije prisustvovali predstavljanju Galilejevog teleskopa. Sa vrha zvonika upravljali su instrument prema pučini, gde su im se ukazivali brodovi „dva sata ranije nego što bi ih videli golim okom“. Jedan primerak teleskopa Galilej je poklonio Senatu, ukazujući na vojni značaj instrumenta.

Ali, Galilej nije gubio vreme, nego se posvetio se konstruisanju teleskopa sa velikim sočivom. On je već imao bezbroj kupaca, ali je takođe shvatio da će ubrzo imati i nekoliko takmaca. Naručio je nova sočiva i mnogo, mnogo eksperimentisao. Zahvaljujući tome, uspeo je da napravi sve moćnije teleskope. I napokon, jedne vedre jesenje noći 1609. godine, sa najvišeg prozora svoje kuće Galilej je kroz svoj instrument počeo posmatrati nebo. Posmatrao je uvečan Mesec (sl. 13). Za Galileja je to verovatno bio sasvim običan čin, ali za nauku je predstavljaо revolucionaran pomak. Mesec nije bio onakav kakvim su ga od davnina zamišljali. Posmatrao je i crtao ono što je video kroz teleskop: ogromne kratere i prostrana udubljenja koja liče na mora. Takođe je zapazio da sunčeva svetlost stigavši do površine Meseca projektuje senke planina. Sve ovo je značilo da je Mesec sasvim drugačiji nego što je opisivan u antičkim spisima. Neravan je i nesavršen, baš kao i Zemlja. Kuda god prema nebu da je usmerio svoj instrument, Galilej je video ono što niko nikada nije video, niti zamišljaо da postoji. Mlečni put sastoji se od miliona zvezda koje do tada nisu bile vidljive. Ali otkriće koje je Galileja najviše iznenadilo, bilo je ono što je otkrio u blizini velikih planeta. Video je da se oko Saturna okreće nešto... veoma neobično. A oko Jupitera... sva svoja zapažanja beležio je i sredivao, te ih pretošio u knjigu „Zvezdani glasnik“, koja je odštampana u Veneciji 1610. godine. Delo je posvetio vladaocu svog rodnog grada-države, velikom vojvodi Kozimu di Medičiju. Njegovoj porodici je posvetio i Jupiterove satelite koje je sam otkrio. U posveti je rečeno da sateliti obilaze Jupiter kao što sve planete kruže oko Sunca, što je tvrdio i Tiho Brahe<sup>6</sup> (sl. 15); (prilog), ali Kopernika nigde nije spomenuo. Svoje

<sup>5</sup> Teleskop-Galilejev teleskop sastojao se od jednog konveksnog sočiva (objektiva) i jednog konkavnog (okulara), smeštenih unutar tubusa. Galileo i njegovi saradnici konstruisali su mnoštvo teleskopa, i to sve moćnijih sa uvećanjima: 30, 50, 100 puta, pa čak i 400 puta.

<sup>6</sup> Tiho Brahe bio je astronom koji je osnovao najvažniju astronomsku opservatoriju, toga doba, na ostrvu Haven u Danskoj.

teleskope Galilej je poklanjao vojvodama, nadvojvodama, kardinalima, u težnji da se sprijatelji sa važnim ličnostima. Dok Kepliju, koji ga je podržavao i molio ga da mu pošalje teleskop, molbu nije ispunio. Takav Galilejev postupak istoričari nauke tumače kao „kratkovidost jer Kepler je bio moćan saveznik“.



Slika 13 – (a) Galilejev Mesec; (b) Mesec danas



Slika 14 – Naslovna stranica „Zvezdanog glasnika“ i Galilejev prikaz Meseca u knjizi



Slika 15 – Tycho Brahe ([https://en.wikipedia.org/wiki/Tycho\\_Brahe](https://en.wikipedia.org/wiki/Tycho_Brahe))

Jedan pesnik Galeileja je poredio sa Kolumbom i sa Magelanom, dok su drugi pak pisali prave ode o njemu i njegovim otkrićima u vasiioni. Uspeh Galilejev bio je

velik do zvezda, ali valjalo mu je biti obazriv! U Rimu se pričalo mnogo o njemu, zapravo previše.

#### **1.4. GALILEJEV SUKOB SA RIMOKATOLIČKOM CRKVOM**

Galilej se potom preselio u Firencu gde je živeo na dvoru velikog vojvode od Toskane, dvorac je bio jedan od najraskošnijih u Evropi. Galileju su ukazivali sve počasti i imao je odlična primanja, pa je sve svoje vreme mogao da posveti istraživanju i pisanju knjiga.

Pored toga Galilej se mogao posvetiti i svojoj mnogočlanoj porodici. Imao je brata muzičara, koji beše veliki trošadžija, i dve sestre koje su bile udate za škrte i uobražene plemiće. Imao je i dve čerke i jednog sina, koje mu je vanbračno rodila jedna devojka iz Padove, po imenu Marina.

Osećajući se samouvereno i borbeno, sa tovarom svojih instrumenata i poklona, krenuo je u Rim da pred papom i njegovim najvernijim kardinalima prikaže svoje instrumente. Prvi savetnik pape Pavla V bio je kardinal Roberto Belarmi, koji je bio inkvizitor Đordana Bruna, spaljenog na lomači. Izgleda da je Galilejeva prva poseta prošla kako treba: Belarminiju se svideo teleskop. Ni otac Klavije, koji je bio stručnjak za astronomiju nije imao velikih primedbi, uprkos tome što, po njegovom mišljenju, na Mesecu nije bilo planina... Smatralo se da je Mesec ravan, kao što piše u antičkim spisima.

Zavidljivci su međutim negirali, ne samo ono što se jasno videlo kroz teleskop, nego je jedan Galilejev suparnik tvrdio da su Galilejevi teleskopi obične pomodarske igračke, te da ga je od gledanja kroz teleskop spopadala vrtoglavica.

Bez obzira na sve, Galileo se osećao spokojno. Pružila mu se prilika da pohađa Akademiju Linčei<sup>7</sup>, to je bila neka vrsta kluba u kom su se okupljale najslobodoumnije glave grada. Pomoću svog teleskopa, Galilej je svima pokazivao nebo iznad krovova Rima.

Postajao je sve omiljeniji. Ali što je čovek uspešniji sve je više onih koji mu zavide.

U to vreme Galilej je u Firenci bio umešan u raspravu sa jednom grupom filozofa o tome kako plove i tonu tela u vodi. Prvo pitanje je bilo: da li je led kondenzovana ili razređena voda, kao što je Galilej tvrdio, jer plovi na vodi. Di Gracija je tvrdio da led plovi zbog širokog oblika koji ga sprečava da se probije kroz vodu. Zatim je Kolombe pozvao Galileja na javno dokazivanje, ali se na njemu sam nije pojавio. Galilej je uspeo da dokaže da led, čija je gustina manja od gustine vode, nakon pada u vodu ponovo izranja na njenu površinu nezavisno od oblika koji ima. Iz toga proizilazi „Rasprava o telima na ili u vodi“, prva Galilejeva štampana knjiga iz fizike.

U Firenci je živeo i Galilejev prijatelj i sledbenik mladi Salvijati. Iz Salvijatijeve kuće noću su posmatrali zvezde, a danju Sunce. Sunce, naravno nisu posmatrali direktno, nego su sliku Sunca projektovali na platno. Tako su uspeli da uoče kretanje Sunče-

<sup>7</sup> Akademija Linčei (*linčej je dalekovidi argonaut*) – To je prestižna rimska Akademija nauka, koju je 1603. osnovalo nekoliko plamića, zaljubljenika u nauku. Članovi Akademije podržavali su Galilejev rad.

vih pega<sup>8</sup> (sl. 16) na njegovoj površini. Ovo je značilo da se Sunce okreće oko sopstvene ose, baš kao i Zemlja!



*Slika 16 – Sunčeve pege*  
*(http://www.ad-loznica.org.yusunce.htm)*

Takođe posmatrao je i Veneru. Gledajući kroz teleskop, primetio je da se Venera približava Zemlji i da se udaljava od nje, da ima svoje „mene“, poput Meseca. Sve ovo potvrdilo je da se i Venera okreće oko Sunca, povodom čega je obavestio Keplera.

„Sunce se zaustavilo“. Tako je pisalo u Starom zavetu. Dok je u jevanđeljima stajalo: „Galilejci, zašto gledate u nebo?“ Ovim stihovima Galileja su napadali fratri i sveštenici, koje su na to podsticali njegovi zavidni neprijatelji. Time su hteli da ga upozore da ne protivreči Svetom pismu. Možda je bila reč i o provokaciji. U stvari, time su pokušavali da uvuku Galileja u veoma opasnu teološku polemiku, od koje se on istina, nije mnogo libio. Galilej je pak smatrao: Sveti pismo je jedna stvar, a posmatranje svemira nešto sasvim drugo.

Rimska crkva Galilejevog doba prilično se razlikovala od današnje: papska država u to vreme predstavljala je veliku geografsku realnost, koja je obuhvatala mnoge oblasti Italije. Rimska crkva krunisala je careve, vojvode i nadvojvode. Ona je odlučivala o sudbini kraljevina i carevina. A u to vreme, proširila je svoj uticaj i na Englesku, Nemačku, Francusku. Strahujući da ne izgubi svoju moć, nakon Tridentskog koncila<sup>9</sup> (sl. 17) rimokatolička crkva je pojačala kontranapade. Galilejeva istraživanja pokazivala su da se Zemlja okreće i da je Kopernik bio upravu. Njegovi zaključci oštrosu se suprotstavljeni najtvrdokornijim idejama izraženim na Tridentskom koncilu. Rimokatolička crkva se plašila svega što joj je protivrečilo i zabranjivala je sve što je odstupalo od njenih načela. Zato je crkva zabranjivala i knjige koje nisu bile u skladu sa njenim gledištim. Sastavlja je spiskove zabranjenih knjiga, koje je potom spaljivala, a ponekad je na lomaču slala i njihove autore. Čim su nekoga optužili za nešto što „miriše“ na jeres, nije mu se dobro pisalo.

---

<sup>8</sup> Sunčeve pege-pege predstavljaju oblasti sa najnižim temperaturama na Suncu. U određeno doba godine one najveće mogu da se vide golim okom

<sup>9</sup> Tridentski koncil-sabor crkvenih velikodostojnika. Kroz stoljeća, sednice koncila su zakazivane po precizno utvrđenim temama na osnovu doktrina rimokatoličke crkve, s ciljem da se spreče jeresi (krivoverstva, otpadništva od vere) i pokušaji reformi. Ove težnje za reformama bile su klica onoga što će se kasnije zvati protestantizam.



Slika 17 – Tridentski koncil  
([http://hr.wikipedia.org/wiki/Tridentski\\_sabor](http://hr.wikipedia.org/wiki/Tridentski_sabor))

„Čoveka ne čini ništa srećnijim  
Nego njegovo vlastito poštено uverenje  
Da je učinio najbolje što je mogao“  
M. Pupin

Bio je to samo početak prave lavine optužbi kojima su pokušavali da izvedu Galileja pred najviši i najstrašniji sud, koji je odlučivao o tome šta jeste, a šta nije jerespred svetu inkviziciju. Sukob sa rimokatoličkom crkvom počeo je 1613. godine, kada je Kasteli, Galilejev bivši đak, obavestio svog učitelja da se kneginja majka Kristina interesuje za njegove tvrdnje o kretanju Zemlje. Tada Galilej piše sudbonosno „Pismo Kasteliju“ u kome razmatra odnos teologije i nauke. U pismu je pokazao kako se jedno biblijsko čudo može bolje objasniti heliocentričnim sistemom. Godine 1615. protivnici Galileja doturaju „Pismo Kasteliju“ inkviziciji u Rim i ono se čitalo pred njenim kardinalima. Upoznat sa optužbama, Galilej je proširio temu pisma i poslao jedno prošireno „Pismo Kristini“, majci velikog vojvode. Ovo je njegov najopširniji rad o odnosu nauke i dogme. Njegova osnovna teza je bila da „dve istine ne mogu protivrečiti jedna drugoj“.

Galilej je ponovo došao u Rim 1616. godine. Na raspolaganju su mu bila dva sprata vile Medići, gde su ga dvorili i ugadali mu, ali... pozvan je pred svetu inkviziciju! Galilej je odlagao izlazak pred nju koliko god je bilo moguće, ali više nije mogao odugovlačiti. Uostalom, on je bio naučnik i kao takav verovao je da hrišćanskoj crkvi nije moglo škoditi što je tvrdio da je Zemlja ta koja se okreće oko Sunca, a ne obrnuto.

Kardinal Belarmini postao je jedan od najžešćih kritičara Galilejevih teorija. Ujedno, on je bio i jezuit koji je pre trideset godina osudio Dordana Bruna. Njemu su se svojevremeno svidele zvezde koje je gledao pomoću teleskopa, ali vremenom je postao Galilejev najveći protivnik. U međuvremenu protiv Galileja su se prikupljali najrazličitiji mogući dokazi. Papa Pavle V naložio je komisiji od 11 teologa da ispita Galilejev slučaj. Dana 26.02.1616. kardinal Belarmini obavestio je Gaileja o odluci komisije: Kopernikova teorija proglašena je jeretičkom, što je značilo da Galilej nije smeо da zastupa, brani ili uči pismeno ili usmeno o zabranjenim stavovima, pod pretnjom zatvora!

Galilej je i dalje pisao, pronalazio, ali nije bio srećan. Noću kroz teleskop je posmatrao zvezde, ali morao je da čuti, nije smeо ni da progovori o kretanju Sunca.

Međutim smeо je da govori o Jupiteru. Čak je konstruisao *giovilabio* (čitaj: đovilabio; od Giove-Jupiter) koji pokazuje i predviđa putanju Jupiterovih satelita. Izumeo je i jedan neobičan šlem, koji je omogućavao navigatoru da posmatra nebo, a da pri tome ne mora da odvaja ruke od kormila, veoma koristan moreplovцима naročito u bitkama. Taj šlem odmah je bio proglašen za „tajno oružje“.

Vazduhom je strujao dah vetrova rata koji je ubrzo zaduvaо širom Evrope: u Pragu su plemići protestanti izbacili kroz prozor katoličke velikodostojnike, koje je tamo poslalo rimsко carstvo. Najverovatnije je time otpočeo Tridesetogodišnji rat. To je bio verski i politički rat, koji je počeo 1618., a okončan 1648. godine. Glavni uzrok izbijanja rata bio je sukob između protestanata i katolika, između država pod uticajem Rima i država u kojima je preovladavala nova protestantska vera. Evropa je iz tog rata izašla potpuno opustošena. To je bio jedan od najsurovijih verskih ratova u istoriji Evrope.

Na nebu se pojavila još jedna kometa. A Galilej je neprestano mislio na zvezde. Ali u celoj Evropi, pa i u protestantskim zemljama, okolnosti bejahu sve teže. U to vreme Kepler je morao da brani svoju majku od optužbe da se bavi veštičarenjem!

Godine 1623. Galilej je konstruisao mikroskop<sup>10</sup> (sl. 18) za osnivača Akademije Linčei. Njime su posmatrani insekti. Novi papa Barberini toliko je voleo pčele da ih je uneo u svoj porodični grb. Galilej se uskoro susreo i sa njim, i izgledalo je da mu je Barberini bio naklonjen. Ustvari, taj papa koji je uzeo ime Urban VIII bio je sve drugo, samo ne dobar: hteo je da pretvori vatikansku biblioteku u skladište oružja, na sve strane podizao je utvrđenja i vodio veliku oružanu kontraofanzivu protiv protestantskih zemalja. Pa ipak, Galilej je imao njegov blagoslov da štampa svoju novu knjigu. Ali, nije rekao papi da mu je zabranjeno učenje o Kopernikovom sistemu. Knjiga je nosila naziv „Dijalog o dva glavna sistema sveta, ptolomejskom i kopernikanskom“. Ptolomej je bio naučnik iz Aleksandrije koji je bio tvorac geocentričnog sistema. Dok je sa druge strane bio Kopernik heliocentrični sistem. Knjiga je pisana u vidu dijaloga tri lica: Salvijatija, Sagreda i Simplicija. Salvijati izlaže mišljenje Galileja. Sagredo je dobro obavešteni amater, a Simplicije<sup>11</sup> je gubitnik koji brani mišljenje Aristotela. Dijalog nije naučni vid komunikacije, već popularizatorski. Pisan je na italijanskom, a ne na latinskom, koji je bio tadašnji jezik nauke. Pošto je Galilej bio majstor polemike, knjiga je bila veoma popularna. Nažalost, kada je knjiga bila odštampana papa Urban VIII je prepoznaо sebe u liku Simplicija. Za Galileja je to značilo da je zapao u veliku nevolju. Treba naglasiti da delo „Dva sistema sveta“ nije pisano objektivno; to je dokument borbe za oslobođenje nauke od jarma dogme.

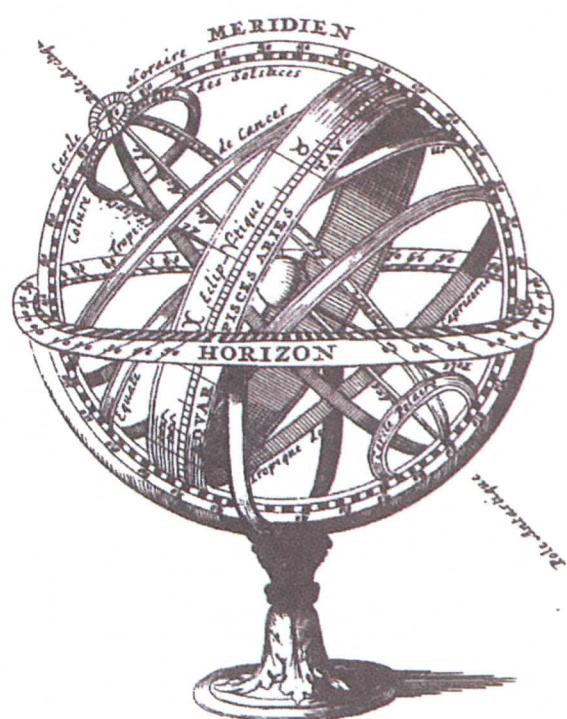
---

<sup>10</sup> Mikroskop-optički instrument koji omogućava da se nevidljivi predmeti uvećaju.

<sup>11</sup> Simplicije-izmišljeno muško ime, u prevodu : prost, neuk



Slika 18 – Galilejev mikroskop  
(<http://www.amuseum.demikroskopiemikroskopvortrag1.htm>)



Slika 19 – Armilarna sfera (Predstavlja Ptolomejev sistem. Sastoji se od prstenastih isečaka sfere u čijem centru se nalazi Zemlja.)

#### 1.4.1 SUĐENJE GALILEJU

„...Ne recite to nikom, samo mudracima, jer gomila se odmah ruga.“  
tabu po Geteu

U međuvremenu, u Italiji je izbila epidemija kuge, najstrašnija u XVII veku. Tada se Galilej nalazio u Firenci, a sveta inkvizicija ga je ponovo pozvala da dođe u Rim. Galilej je bio primoran da se odazove pozivu. Ovoga puta njemu je sve bilo jasno: protiv njega su bili inkvizicija, najtvrdoglaviji „naučnici“, pa čak i papa. Inkvizitori se ovoga puta nisu šalili, ispitivali su ga iz dana u dan, iz sata u sat. Do Galileja je stigla i vest o mogućnosti da ga stigne najdrastičnija kazna. Branio se od 12. aprila do 22. juna 1633. godine. I napokon, sudije su odlučile da delo „Dva sistema sveta“ stave na spisak zabranjenih knjiga, još im je samo ostalo da odluče šta će biti s Galileom. Iako je znao da je u pravu, pod navedenim okolnostima priznaje da je grešio zbog ambicije, neznanja i neobaveštenosti. Čak je obećao da će u sledećoj knjizi ispraviti greške.

Galilej je bio ponižen, tužan i potišten, bio je osuden na doživotni zatvor. Najpre je bio utamničen u Sijeni, a posle mu je dozvoljen povratak u njegovu kuću u Arčetri, kraj Firence, pod uslovom da ne prima prijatelje i ne uči, bez prisustva i dozvole lokalnog inkvizitora.

I Galileovi prijatelji pali su u nemilost. U svim školama i na svim univerzitetima zabranjeno je podržavanje njegovih ideja. Ali njegove knjige objavljivale su se širom Evrope, u zemljama u kojima rimokatolička crkva nije imala nikakav uticaj.

#### 1.5. POSLEDNJE GODINE GALILEJEVOG ŽIVOTA

Galilea je polako izdavao vid, ali ne i volja za istraživanjem i polemisanjem. Tokom 1634. godine on je intenzivno spremao knjigu koja se zvala „Rasprava o dve nove nauke“. Pošto je ocenio da najviša šansa za štampanje ima u Veneciji, Galilej se obratio za pomoć Mikanciju, koji je bio Sarpijev saradnik i naslednik na položaju teologa Mletačke republike. Naredne 1635. godine, inkvizitor Venecije saopštio je Mikanciju da se Galilejeva dela ne mogu štampati. Tada je počela akcija Galilejevih prijatelja da se nađe izdavač izvan Italije. Naponsetku, štampanja se prihvatio poznati holandski izdavač Elzevir.

Godine 1637. Galilej je oslepeo. Njegova poslednja knjiga „Dve nove nauke“, kojom je postavio temelje mehanike, odštampana je 1638. i doživila zaslужeni uspeh. U njoj je izložio zakon slobodnog pada, odredio kretanje niz strmu ravan, paraboličnu putanju kod horizontalnog hica itd. Ovim delom Galilej je uveo eksperimentalnu metodu istraživanja i matematičko formulisanje eksperimentom utvrđenih zakonitosti i time položio temelje modernoj fizici.

Uteha poslednjih godina Galilejevog života bila je ljubav i pažnja njegovih učenika i saradnika. Najблиži su mu bili Vinčenco Vivijani i Evandželista Toričeli. Toričeli se kasnije proslavio kao pronalazač barometra.



Galileo Galilej je znao da je bio u pravu, jer zvezde su mu to potvrdile. 8. 01. 1642. godine on umire, ostajući dosledan samome sebi, izgovarajući sledeće : „**IPAK SE OKREĆE!**“

Umro je u svojoj kući u Arčetriju, gde će mnogo godina kasnije biti podignuta moderna astronomска opservatorija.

Posle smrti, crkvene vlasti nisu dopustile da mu se podigne nadgrobni spomenik. Tek je 1737. godine položen u zajednički grob sa V. Vivijanijem i tada mu je podignut nadgrobni spomenik. Godine 1757. skinuta je zabrana sa njegovih dela. Prvo kompletno izdanje Galilejevih dela izdato u Firenci (1842. godine) u 16 svezaka.

Godine 1968. , na zahtev pape Pavla VI, došlo je do obnove nepravednog procesa koji je vođen protiv Galileja.

Tokom pontifikata pape Jovana Pavla II, 1992. godine, Papska Akademija nauka definisće slučaj Galilej kao „grešku koja se sasvim iskreno priznaje“.

Iste godine jedna sonda NASA-e koja nosi ime Galileo, poslednji put pozdravila je Zemlju, da bi se potom uputila prema Jupiterovim satelitima i nestala duboko u beskraju svemira.

## 2. NAJAVAŽNIJA OTKRIĆA GALILEJEVOG STVARALAČKOG OPUSA

### 2.1. SLOBODAN PAD

Galilej se tokom svog istraživanja naročito usmerio na proučavanje kretanja. On je vršio eksperimente, ali je takođe logički analizirao veze između udaljenosti, vremena i brzine. Galilej je proučavao kretanje predmeta, ali ne tako što ih je puštao da padaju; on je našao zamenu za padanje, a to je strma ravan. Razmišljaо je na sledeći način: kretanje kugle niz uglačanu strmu ravan moralo bi da bude u bliskom srodstvu sa kretanjem iste te kugle pri slobodnom padu. Prednost strme ravni u odnosu na slobodan pad sastojalo se u činjenici da je kotrljanje po strmoj ravni povoljnije za eksperimentatora jer je sporije, pa ga je lakše meriti.

Veliki Galilejev problem bio je merenje vremena dok se kugle kotrljaju. Pošto je „zalutao“ u zemlju bez časovnika (štoperice su pronađene tek tri stotine godina kasnije), Galilej je odlučio da upotrebi svoju strmu ravan kao muzički instrument. Razapeo je žice od leute popreko preko daske, na određenim rastojanjima. Pri svakom kotrljanju nizbrdo, kugla je prelazila preko žica i iz svake izmamila po jedan zvuk, jedno „škvrc!“. Galilej je zatim razmeštiao žice, sve dok nije postigao da zvuci, po njegovom utisku i slušu, nastaju u tačno ujednačenom ritmu. Pevao je jednu marševsku pesmu i puštao kuglu tačno u trenu jednog ritmičkog udara, pa kad su strune bile najzad rasporedjene baš kako treba, svako „škvrc!“ stizalo je tačno pola sekunde posle onog prethodnog; dobio je tačan polusekundni ritam, podudaran sa pesmom. Zatim je merio rastojanja između položaja kuglice na vrhu strme ravni i žice na dasci. Dobijene dužine su približno rasle kao kvadrati prirodnih brojeva:  $1^2, 2^2, 3^2, 4^2$  itd.

Navedeni eksperiment vršio je pomoću veoma uglačane daske, duge 2m, u kojoj je izbušen kanal, niz koji se kotrljala kuglica. Nagib daske je bio mali, svega  $1,7^\circ$ . Potom se Galilej zapitao, šta se dešava ako dasku još malo nagnemo? Isprobavajući mnoge nagibe, ustanovio je da se zadržava isti srazmeran odnos između predjnih puteva, pri svakom nagibu, od vrlo blagog do vrlo strmog, sve do onog nagiba pri kom „časovnik“ postaje neupotrebljiv, zbog prebrzog padanja. Ključna stvar koju je Galilej pokazao bila je da ispušteni predmet pada sve brže i brže (ubrzava se), a to ubrzanje je konstantno.

„Jezik fizike je matematika“  
Galilej

Pošto je Galilej bio matematičar, sastavio je formulu kojom je opisivao ovo kretanje, tj. slobodno padanje. Formula glasi ovako:

$$s = at^2 \quad (1)$$

gde je

$s$  predstavlja pređeni put kuglice,

$a$  predstavlja ubrzanje : povećanje brzine padajuće kuglice i

$t$  vreme koje je proteklo od početka padanja.

Pored navedene formule (1), Galilej je takođe uspeo da ustanovi da se brzina povećava u skladu sa proteklim vremenom, a ne u skladu sa kvadratom proteklog vremena.

Naposletku, postavljamo pitanje: šta je toliko važno u formuli (1)?

Tada je, koliko mi znamo, prvi put u istoriji čovečanstva kretanje opisano na matematički tačan način. Presudni pojmovi, ubrzanje i brzina, jasno su određeni. Fizika je proučavanje materije i kretanja. Kretanje projektila, kretanje atoma, eliptička kretanja planeta i kometa moraju sva biti opisana kvantitativno. Galilejeva matematika, podvrđena eksperimentima, dala je polaznu tačku sa koje se krenulo dalje.

Samo, da ne bi zvučalo kako je sve bilo lako, treba upozoriti da je Galilejeva opsednutost zakonom slobodnog pada trajala decenijama.

*„Samo obilje vodi jasnoći.*

*U ponoru prebiva istina.“*

*Šiler*

Uzeti neki skup rezultata eksperimenata, pa iz njih izvući jedan jednostavan zakon fizike, nije baš jednostavno. Zakon slobodnog pada odličan je primer za ovo. Ako istovremeno pustimo da padaju pero i kuglica, kroz vazduh, videćemo da će kuglica dođirnuti tlo mnogo pre pera. Takva razmatranja navela su Aristotela da formuliše zakon po kome teža tela brže padaju. Ali Galilej je razmišljaо drugačije, zato što je pri pažljivom vršenju eksperimenata uspeo da pokaže kako je prividna veza između težine tela i brzine padanja prouzrokovana otporom sredine kroz koju se tela kreću. Upravo zbog toga je dasku glaćao i glaćao da bi trenje bilo što manje. On je ustanovio da vazduh uvek pruža otpor pri padanju tela, pri čemu je sila otpora vazduhu utoliko veća, ukoliko je veća njegova brzina padanja. Sa druge strane, tela koja imaju veću površinu padaju sporije, zato što je sila otpora vazduha veća ukoliko je veća površina preseka kojom tela „probijaju“ vazduh. To su razlozi zbog kojih je Galilej padanje metalne kuglice smatrao slobodnim padanjem, jer je uticaj vazduha na njeno kretanje zanemarljivo mali.

Galileo Galilej je predviđao ono što je potvrđeno kasnijim ogledima – da u bezvazdušnom prostoru sva tela padaju sa jednakim ubrzanjem, bez obzira na njihovu težinu i veličinu. Jednu neobičnu potvrdu ove ideje su izveli astronauti Apola XI. U julu 1969. godine čovek je prvi put stupio na Mesec. Astronauti koji su prvi kročili na površinu Meseca bili su Nil Armstrong i Oldrin. Na Mesecu su sakupili mnogo uzoraka tla i izveli mnogo eksperimenata. Jedan od njih bio je veoma jednostavan: jedan od astronauta istovremeno je pustio da padaju čekić i pero; pokazalo se da su oba predmeta dotakla tlo u istom trenutku. Ova jednostavna demonstracija, u bezvazdušnom prostoru, veoma bi se svidela Galileju, iz razloga što je potvrdila njegovu teoriju.



Slika 20 – Čovekov otisak na Mesecu

Kako je teklo Galilejevo izučavanje slobodnog pada, opisaću u narednom delu teksta.

Tokom svog boravka u Pizi, Galilej je završavao ranije započetu knjigu „O kretanju“. On u knjizi razmatra kretanje tela, s posebnim osvrtom na brzinu kretanja. Tada je, po predanju, dobio ideju kako da demonstrira svoju teoriju o slobodnom padu tela, bacajući kuglice različitih težina sa Krivog tornja.

Kada je reč o slobodnom padu neki istoričari sumnjaju da je Galilej puštao tela razne težine sa Krivog tornja u Pizi, tvrdeći kako je ta priča „gotovo sigurno neistinita“. Razlog nihovim sumnjama sastojao se u činjenici da Galilej nije imao način da tačno meri vreme padanja tela, dok je na strmoj ravni imao tu mogućnost. Međutim, Stilmen Drejk, čovek koji se opredelio da postane Galilejev biograf, veruje da je priča o Krivom tornju istinita. On u priču veruje iz nekoliko razloga i to dobrih istorijskih razloga. Ali i zbog Galilejeve ličnosti, od koga bi se tako nešto dalo očekivati. Eksperiment na Krivom tornju uopšte nije bio eksperiment, bila je to demonstracija, prva velika naučna priredba, namenjena zadivljenju javnosti. Galilej je htio da pokaže i dokaže da njegovi protivnici nisu u pravu.

„Najviše učimo na svojim greškama.“  
Faradej

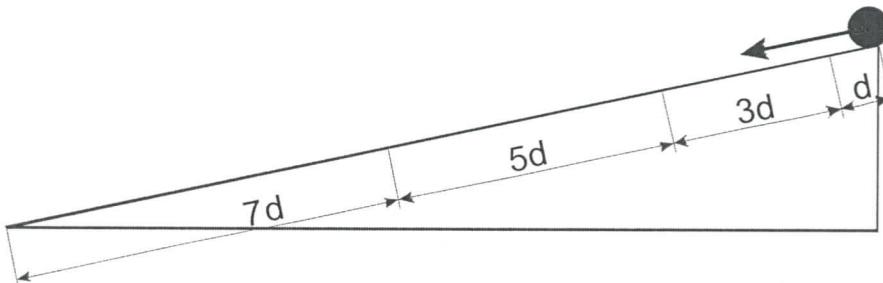
Nakon prelaska u Padovu, 1602. godine, Galilej je nastavio da se bavi padom tela. Osnovi problem bio je, kako izmeriti vreme sa pređenim putem.

Naredne godine izučava padanje tela, sa tom razlikom što se koncentriše na strmu ravan. Tada dolazi do rešenja, za koja je bio svestan da su pogrešna, što ga je najverovatnije stimulisalo da dalje eksperimentiše.

Godine 1604. eksperimentalno pronalazi zakon slobodnog pada, puštajući kuglicu da pada niz strmu ravan, na prethodno opisan način.

Kada je raspolagao tačnim zakonom, vratio se na probleme koje je prethodno pokušavao da reši. Galilej je tražio za zakon slobodnog pada (put srazmeran kvadratu vremena) neki princip. Taj princip, trebao bi biti jasan sam po себи i iz njega bi se zakon slobodnog pada mogao matematički izvesti i tako dokazati. Po Galileju, princip je glasio ovako: brzina u slobodnom padu srazmerna je pređenom putu ( $v \sim s$ ); što nikako nije tačno. Iste godine šalje izvođenje Paolu Sarpiju, u kom polazeći od navedenog principa, izvođenjem dokazuje zakon slobodnog pada, pri čemu višestruko greši. Kasnije, on ipak uviđa svoju grešku i ispravlja je.

Eksperimentišući sa strmom ravni, dobio je da udaljenosti između sukcesivnih prepreka koje pređe ubrzana kuglica, za isto vreme, rastu. Rastojanja, između sukcesivnih prepreka, rasla su kao neparni brojevi: 1,3,5,7 itd. (sl. 21).



Slika 21

Pošto je Galilej u matematici dobrim delom bio samouk, najverovatnije nije čitao dela Orema, velikana pariske škole iz XIV veka, koji je uveo grafičko predstavljanje intenziteta. Orem promenu definiše intenzitetom, ili latitudom i ekstenzijom ili longitudom. Latitudu grafički nanosi vertikalno, kao visinu, a longitudu horizontalno. Uniformni kvalitet predstavlja pravugaonikom; a uniformno diformni<sup>12</sup> kvalitet predstavlja trouglom i odgovara ravnomernom ubrzanju. To je prvi korak ka analitičkoj geometriji. Horizontalna linija još nije apscisa, sem u nekim primerima, kada predstavlja vreme. Iz Oremovih dela, Galilej bi zaključio da je to teorema distance<sup>13</sup>, a posmatrano kretanje ravnomerno ubrzano. Ali on, u svojoj interpretaciji navedenog eksperimenta luta, da bi se nakon četiri decenije vratio na matematičko predstavljanje iz XIV veka.

U delu „Dve nove nauke“ (sl. 22), koje Galilej piše sa svojih 70 godina, temeljno opisuje zakon slobodnog pada. U tom delu on se absolutno drži svojih eksperimentata izvedenih na strmoj ravni .

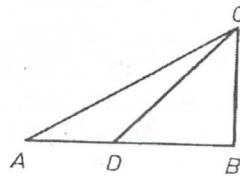


Slika 22 – Naslovna strana dela „Dve nove nauke“

<sup>12</sup> Diformni – nakazan, bezobličan, deformisan

<sup>13</sup> Teorema distance: „Kada se predmet tako podeli u jednake delove i najmanji označi kao nula, tada je odnos parcijalni kvaliteta, tj. njihov međusobni odnos kao serija neparnih brojeva, gde je prvi 1, drugi 3, treći 5“.

Problem mu je bio da dokaže kako ono što dobija na strmoj ravni važi i za slobodan vertikalni pad. On u tome ne uspeva i rešava da to postulira. Isti taj postulat Hajgens, neuporedivo bolji matematičar, dokazuje kratko i jednostavno. Postulat ovako najavljuje Salvijati: „Autor čini samo jednu pretpostavku. Naime, brzine koje jedno te isto telo dobija silazeći niz ravni različitih naklona, iste su ako su iste visine tih ravni...“ (sl. 23).



Slika 23

Ovo tvrđenje samo govori o relativnom kretanju, a ništa o samom kretanju. Takođe, ništa se ne može izvesti o odnosima između pređenog puta, brzine i vremena. Postulat ne zadovoljava zahtev da je sam po sebi jasan.

Galilejevu osnovu opisivanja slobodnog pada sačinjavaju:

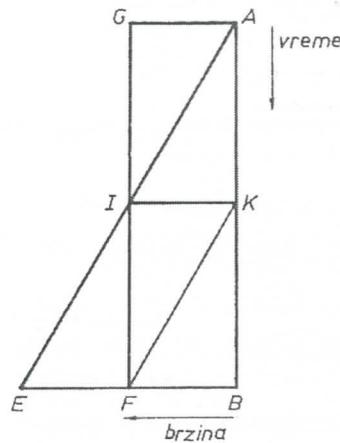
1. Empirijski zakon, da je u slobodnom padu brzina srazmerna vremenu ( $v \sim t$ ), a pređeni put kvadratu vremena ( $s \sim t^2$ ).
2. Taj zakon nađen je eksperimentalnim merenjima u kojima je slobodan pad zamenjen strmom ravnim.
3. Da bi rezultati dobijeni na strmoj ravni bili primenjivi na slobodan pad, uveden je postulat o njihovoj ekvivalentnosti.

Iza ovog dela slede propozicije, od kojih treba razmotriti prve tri.

Propozicija 1.-Kao prva propozicija Galileju služi mertonijansko pravilo srednjih brzina (prilog), koju on dokazuje isto kao Orem. Ono igra ulogu postulata, jer ga Galilej ne izvodi, već mu ono služi za dalje izvođenje. Neophodno je napomenuti da se Orem i Mertonijanci nisu bavili proučavanjem kretanja. Oni su se usmerili na proučavanje kvaliteta. Kvalitete su predstavljali u vidu trouglova, pravugaonika itd; a samo u posebnim slučajevima su izjednačavali površine tih geometrijskih likova sa pređenim putevima. Međutim, Galilej ne pominje ni Mertonijance, ni Orema. Ako to treba da znači da je on došao do ovog pravila, onda to istovremeno ukazuje na njegovo nepoznavanje istorije mehanike, kao što je već istaknuto.

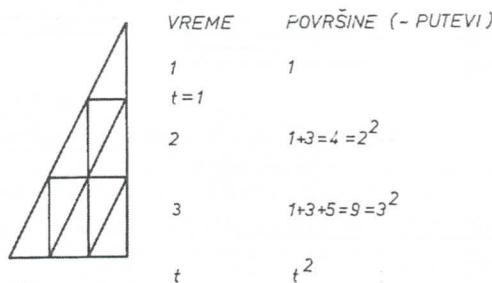
Mertonijansko pravilo – put pređen ravnomerne ubrzanim kretanjem od tačke A do tačke B, jednak je putu koje bi prešlo telo da se kretalo ravnomerom brzinom  $v_k$ , koja je jednaka polovini brzine u vreme B (sl. 24)

$$v_k = \frac{v_b}{2}. \quad (2)$$



Slika 24 – Mertonijansko pravilo

Propozicija 2.- „U slobodnom padu pređeni put srazmeran je kvadratu vremena“. Ovaj zakon Galilej sada izvodi iz mertonijanskog pravila i prethodno utvrđenog zakona, da su u ravnometernom kretanju odnosi puteva jednaki proizvodu odnosa brzina i odnosa vremena (sl. 25).



Slika 25 – Posledica mertonijanskog pravila

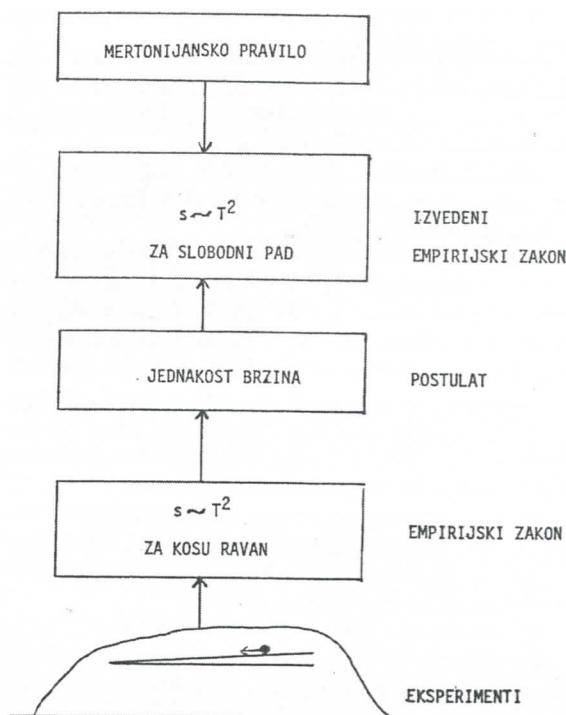
Iz mertonijanskog pravila sledi da pređeni putevi u jedinicama vremena rastu kao neparni brojevi: 1, 3, 5, 7, ..., a ukupni put je tada srazmeran kvadratu vremena:  $1^2, 2^2, 3^2, 4^2, \dots$

Ova, svakako najduža propozicija, završava se teoremom da ako telo slobodno pada duž ravni različitih nagiba, koje počinju iz iste tačke, krajnje brzine su im iste.

Propozicija 3.- Ako telo polazi iz mirovanja i pada duž strme ravni ili duž vertikale, iz iste tačke, vremena silaska se međusobno odnose kao dužina strme ravni i vertikale. Dokaz se oslanja na gornju, poslednju teoremu o jednakosti brzina.

Ovo se završava posledicom da su vremena silaska duž ravni različitih nagiba, a iste visine, srazmerna dužinama ravni. Time je krug zatvoren i vratili smo se ponovo na pomoći postulat, ali ovaj put je dokazan i izведен iz osnovne osobine ravnometerno ubrzanog kretanja, sadržane u mertonijanskom pravilu.

Galilejev prilaz može se šematski prikazati kao što je prikazano na slici 26. Eksperimentalni rezultati na strmoj ravni daju da je  $s \sim t^2$ . Pomoći postulata, važenje  $s \sim t^2$  se proširuje na slobodan pad. Izvođenjem  $s \sim t^2$  iz mertonijanskog pravila dokazuje se da je slobodan pad ravnometerno kretanje.



Slika 26 – Veza eksperimenta, postulata i empirijskog zakona

Iz Galilejevog izučavanja slobodnog pada u mehaniku stiže koncept ubrzanja. Sila proizvodi ubrzanje, a ne neposrednu brzinu, kao što je to Aristotel smatrao (prilog).

Galilej nalazi matematičke odnose između vremena, puta, brzine i ubrzanja. To su kinematički odnosi, jer nigde se ne pominje sila. On isključivo izučava kretanje pod dejstvom sile teže, ali samu силу retko pominje. On razmatra kretanje teških tela, koje je za njega interesantna osobina tela.

Galilejevo raščišćavanje uloge ubrzanja predstavlja osnovu na kojoj Njutn generalizacijom gradi svoj II zakon. Za Njutna nije važno o kojoj sili se radi, svaka sila će proizvesti ubrzanje, dok je Galilej ostao vezan za kretanje teških tela.

Komentar o Galilejevom izučavanju slobodnog pada:

Galilej nije mogao znati da operišući sa vremenom, pređenim putem i brzinom nije mogao doći do opštег teorijskog zakona. On nije uočio hijerarhiju veličina: vreme i put su osnovne veličine nultog reda, brzina je izvedena veličina prvog reda, a ubrzanje izvedena veličina drugog reda. Zakon se formuliše na najvišem redu-drugom, a odatle

silazi niže. Galilej ne uključuje ubrzanje u svoja teorijska lutanja. Treba posebno uočiti da Galilej uopšte ne vodi računa o sili, valjda zbog toga što je ona uvek približno ista. Da je u svoja razmatranja uključio ubrzanje, verovatno bi uključio i silu. To što nije bio uspešan u generalizacijama i teoriji ne umanjuje Galilejev doprinos fizici. Raskid sa Aristotelovom dinamikom i osnove za tačnu mehaniku mogao je dati samo eksperiment, a to je ono što je Galilej i uradio.

## 2.2. INERCIJA

Zakon inercije (prvi zakon mehanike):

Svako telo ostaje u stanju mirovanja ili ravnomernog pravolinijskog kretanja dok ga spoljašnje sile ne primoraju da to stanje promeni. Godine 1632. Galileo Galilej otkrio je ovaj zakon, a Isak Njutn ga je 1687. formulisao kao prvi zakon mehanike.

„Mašta igra presudnu ulogu u carstvu nauke, i to upravo nauke o prirodi.“  
Hajzenberg

Aristotelovci su verovali da je „prirodno“ stanje svakog tela mirovanje. Ako gurnemo kuglu po nekoj ravni, ona će se posle izvesnog vremena zaustaviti.

Na kretanje tela po nekoj podlozi utiče sila trenja. Zbog toga gurnuta kugla postepeno smanjuje svoju brzinu do zaustavljanja, a ne zbog toga što je mirovanje njeno „prirodno“ stanje. Upravo je Galilej postao svestan navedene činjenica, što ga je i dovelo do jednog od njegovih najvećih otkrića. Bio je naučnik koji je iz strmih ravnih „čitao“ fiziku. Uvidevši da zbog trenja, pritsika vazduha i drugih nesavršenih okolnosti njegova daska nije idealna za proučavanje sila koje deluju na predmete koji se kreću po njoj, Galilej se zapitao: šta bi bilo kada bismo imali idealnu dasku? U mislima, Galilej je uglačavao dasku do vrhunske poliranosti, sa potpunim odsustvom trenja, postavio je u savršeno vodoravni položaj, produžio do u beskonačnost i uneo u bezvazdušni prostor. Pitanje koje je potom usledilo bilo je: šta će se desiti sa idealno uglačanom kuglom koja stoji na opisanoj površini, ako je malo gurnemo? Koliko dugo i koliko daleko će se kugla otkotrljati? Traženi odgovor je glasio: do večnosti i do beskraja.

Kao realista, Galilej je znao da bi sa beskonačnostima stigao u apstrakciju i zbog toga je rešio da navedeni problem prizemlji. Razmišljaо je ovako: ako gurnemo kuglu na nesavršenoj zemaljskoj dasci, nagnutoj malo nagore, kugla će poći uzbrdo, krećući se sve sporije i sporije. Ako nagnemo dasku nadole, kugla će se kretati sve brže. Međutim, šta će se desiti ako je daska sasvim vodoravno? Koristeći svoje intuitivno znanje o neprekidnosti akcije, Galilej je intuitivno „skočio“ ka onome što će Njutn kasnije definisati i nazvati I zakon mehanike: telo u pokretu nastoji da ostane u pokretu.

Od Aristotela ostala je ideja da kretanje prestaje kada prestane da deluje sila koja ga je prouzrokovala, pa je srednjovekovnim naučnicima bilo veoma teško da shvate mogućnost kretanja po inerciji. „Novost“ za srednjovekovne naučnike bilo je učenje da sile nisu neophodne da bi bilo kretanja; sile su neophodne da bi nastupila promena kretanja. Nasuprot aristotelovskom gledištu, prirodno stanje tela jeste kretanje konstantnom brzinom. Mirovanje je samo poseban slučaj kretanja, stanje nulte brzine, ali po ovom novom učenju mirovanje nije ni prirodnije, niti manje prirodno od kretanja ma kojom konstantnom brzinom.

Za sve, koji su ikada vozili automobil, ovo je suprotno onome što bi se intuitivno moglo očekivati: ako se ne drži nogu na pedali za gas, vozilo će se posle nekog vremena zaustaviti. Galilej je uvideo da mi moramo, ako želimo da nađemo istinu, da pripišemo našem instrumentu idealne osobine. Galilejeva genijalnost sastojala se u tome kako se mogu ukloniti prirodne pojave, kao što su trenje i otpor vazduha, da bi se uspostavio jedan skup osnovnih veza, matematičkih odnosa, koji govore o razmatranom pojmu.

Pojam inercije Galilej razmatra u delu „Dva sistema sveta“ (sl. 27), koje je napisano u vidu dijaloga: Salvijatija, Sagreda i Simplicija. Polemišući o kretanju savršeno okrugle kugle po savršeno ravnoj površini, Simplicije tvrdi da bi u slučaju horizontalno postavljene površine kugla nastavila ravnometerno i pravolinijski da se kreće do kraja površine, „ali, ako je ravan ograničena i nalazi se u vazduhu, telo koje je podvrgnuto teži, kad pređe kraj, dodaće svom početnom kretanju, jednomernom i nerazorivom, zbog teže, kretanje prema dole.“



Slika 27 – Naslovna strana dela „Dva sistema sveta“

U celom izlaganju površina je prisutna svo vreme, i zemljina teža se ne apstrahuje, zbog čega Galilejevo telo nikada nije išlo pravo. Po Galileju, nikakvo realno kretanje (sem pada) ne može biti pravolinijsko, jer se teža tome protivi.

Galilej je ovde još uvek u prirodnom kružnom kretanju, ravnometernom i pokrenutom Bogom. On polazi od kružne inercije, a nije svestan da je kružno kretanje jedna vrsta ubrzanog kretanja. Zbog toga se smatra da je on sa inercijom stigao na pola puta, nikada ne formulijući princip inercije. O tome Ajnštajn u predgovoru „Dva sistema sveta“ kaže: „Privrženost ideji kružnog kretanja kao istinski prirodni se još uvek nazire kod Galileja; tim se verovatno objašnjava činjenica da on nije potpuno shvatio zakon inercije i njegov fundamentalni značaj.“

Drugi deo istoričara nauke veruje da je Galileju sve bilo jasno o inerciji, oni su pomno pretražili njegove tekstove i najbliži konceptu inercije je sledeći citat, koji se odnosi na pitanje projektila: „Salvijati: Sve do ove tačke ti si sam znao da kružno kretanje bacača saopštava neki impetus projektilu, da bi se kretsao posle njihovog odvajanja duž prave tangente na kružno kretanje u tački odvajanja... I ti si rekao da bi projektil nastavio da se kreće tom linijom da ga njegova vlastita težina nije povukla prema dole“.

Pošto Galilej nije mario za fizičke koncepte, i izraz impetus je koristio na razne načine, stoga je ova rečenica otvorena slobodnim tumačenjima. U varijanti najpovoljnijoj za Galileja moglo bi se reći da je on intuitivno osećao inerciju na delu, ali da nikada nije osetio da se radi o nekom fundamentalnom principu, mnogo važnijem nego njegovo empirijsko formulisanje ravnometernog ubrzanja, a da i ne govorimo o nekoj vezi između inercije i ravnometernog ubrzanja. Galileo se nigde nije primakao II Njutnovom zakonu.

Videćemo dalje da je koncept inercije uključen u Galilejevo tretiranje parabole, ali on sve parabole izračunava kao krive sastavljene od horizontalne komponente ravnomernog kretanja i vertikalnog pada.

Galilej, takođe direktno tretira inerciju samo u horizontalnom hicu i nikada je ne odvaja od gravitacije. Kosi hitac, tretira kao inverziju horizontalnog, a da u kosom hicu takođe postoji inercija, nigde se ne vidi. Zbog toga on ne formuliše princip inercije u ma kakvom opštijem vidu.

### 2.3. PARABOLA

Ako čovek ima priliku da vidi neku krivu u svom životu, onda je to svakako parabola. Njena definicija i osobine bile su poznate još od aleksandrijskog perioda. Uvek je bilo ljudi koji su imali osećaj za oblike, pa ipak je identifikacija parabole izmicala blizu dva milenijuma. Osnovni razlog je taj što je niko nije ni očekivao ni tražio, jer je sve to bilo „objašnjeno“ Aristotelovom fizikom; putanja bačenog tela mogla je da se sastoji samo od pravih delova i kružnog luka.

Galilejevo značajno otkriće, pored zakona slobodnog pada i zakona inercije, upravo je parabolična putanja tela. Paraboličnu putanju opisuje telo koje ima neki impuls normalan na polje teže. Galilej je do parabole mogao doći teorijski, čim je otkrio zakon slobodnog pada, jer telo koje se kreće srazmerno vremenu po apscisi i kvadratu vremena po ordinati, opisuje parabolu.

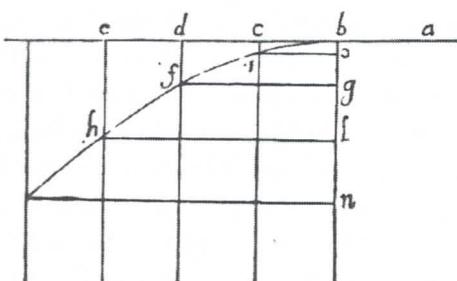
Sudeći po beleškama, Galilej je otkrio parabolu eksperimentalno. Puštao je kuglicu duž strme ravni da se ubrza, a potom nastavi da se kreće približno ravnomerno po stolu, nakon čega je posmatrao kako pada na pod i koliko daleko, u zavisnosti od ubrzanja (menja je brzinu kuglice tako što je puštao da se ubrza padajući sa različitih visina). Kretanje kuglice duž stola srazmerno je prvom stepenu vremena, a u toku pada kvadratu vremena. Navedeni eksperiment izvršen je 1608. godine, međutin otkriće parabole čekalo je 30 godina do svog objavlјivanja.

U delu „Dve nove nauke“ Galilej razmatra parabolu kao putanju „...tela čije je kretanje složeno iz dva druga kretanja, a to su : jedno ravnomerno i jedno prirodno ubrzano; te jako vredne osobine predlažem da dokažem na strog način. To je vrsta kretanja koje poseduju bačena tela; njegovo poreklo zamišljam na sledeći način:

Zamislite neku česticu bačenu duž horizontalne ravni bez trenja; tada znamo ... da će se ta čestica kretati duž te ravni ravnomerno i večno, pod uslovom da ravan nema kraja. Ako je ravan ograničena i uzdignuta, tada će čestica koju zamišljamo teškom , kada pređe rub ravni, pored prethodnog ravnomernog i večitog kretanja, steći stremljenje ka dole zbog vlastite težine; tako će rezultujuće kretanje koje zovemo projekcijom biti sastavljen od jednog koje je ravnomerno i horizontalno i drugog koje je vertikalno i prirodno ubrzano. Mi ćemo sada preći na dokazivanje nekih njegovih osobina, od kojih je prva sledeća:

Teorema I, propozicija 1

Projektil koji je nošen ravnomernim horizontalnim kretanjem i njemu dodatnim prirodno ubrzanim kretanjem opisuje putanju koja ima oblik polu-parabole.“



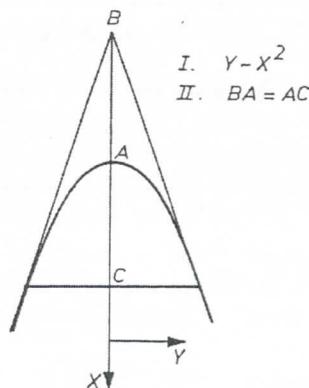
Slika 28 – Parabolična putanja tela

Ovo je sve lepo rečeno, ali treba dodati dve primedbe: prvo, beskonačna „ravan“ po kojoj bi se kuglica beskonačno kretala je jednako udaljena od centra Zemlje, dakle u pitanju je sfera, a ne ravan; drugo, bolje bi bilo da je umesto izraza „prirodno“, koristio ravnometerno ubrzano kretanje.

Bitno je naglasiti, da gore citirani pasus predstavlja još jedan istorijski trenutak za mehaniku. U istoj logičkoj strukturi povezani su: slaganje kretanja, kontinuitet kretanja i inercija (u Galilejevom ograničenom smislu).

Pošto je Galilejev osnovni cilj bio da geometrizira mehaniku bio je spreman da prihvati parabolu, iako je nije očekivao. Elipsa na nebu i parabola na Zemlji otkrivene su tokom prve decenije XVII veka i pokazale su da u kretanju postoje zakonitosti koje se mogu matematički tačno tretirati.

Nakon teksta prve teoreme, Galilej objašnjava dve osnovne osobine parabole: prvo njenu definiciju, a zatim osobinu tangente nanešene na parabolu-da je tačka u kojoj tangenta seče osu parabole udaljena od temena parabole (tačke u kojoj parabola seče osu) isto onoliko koliko je teme udaljeno od projekcije na osu tačke u kojoj tangenta dodiruje parabolu (sl. 29).



Slika 29 – Dve osnovne osobine parabole koje Galilej koristi

Galilej je crtao parabolu, ali samo u početku kada je opisivao njene geometrijske osobine. Kada je prešao na razmatranje kretanja, on je razmišljo o već pomenutoj polu-paraboli, koju opisuje telo koje se kreće po nekoj ravni, pa je napusti. Galilej je nacrtao 12 polu-parabola, čak i u slučaju kada je razmatrao kosi hitac, jer se zadržavao samo na prvoj polovini putanje, tretirajući kosi hitac kao inverziju horizontalnog.

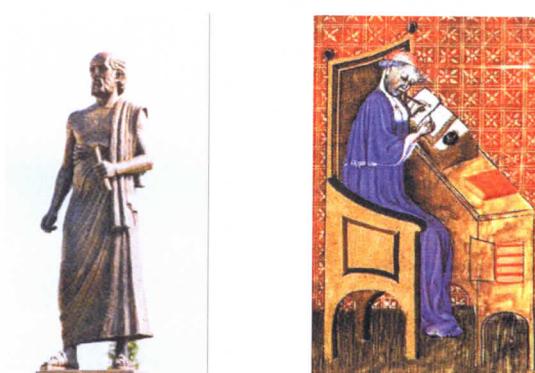
Ostatak rasprave o prvoj teoremi posvećen je upoređivanju realnih uslova sa idealnim, koji bi mogli uticati da putanja ne bude parabolična: to su pre svega otpor vazduha i prepostavka da su sve tačke „ravnih“ podjednako udaljene od centra Zemlje. Pozivajući se na Arhimeda, Galilej tvrdi da vrlo mala odstupanja realnog od idealnog mogu da se zanemare. Tako je on svesno uneo postupak bitan za fiziku: prvo, apstrahovanje i idealizovani proračun, a potom korekcije na realne uslove; bez zanemarivanja vrlo teško bi se došlo do egzaktnih zakona.

Istoričari nauke smatraju da Galilejevo izvođenje parabole i njeno tretiranje nije dovoljno opšte. On je isključivo tretirao polu-parabole sa horizontalnim impulsom i inercijom. Na taj način pronašao je i uglove koje one (parabole) zaklapaju sa horizontom. Galilej je zatim prepostavio da tela bačena sa zemlje slede u suprotnom smeru te iste parabole i pokazao da se za ugao od  $45^\circ$  dobija maksimalni domet. Svi dokazi se svode na polu-parabole sa horizontalnim impulsom. On nikada nije tretirao neko koso bačeno telo i prepostavio inerciju u tom pravcu. To se podrazumeva u njegovom inverznom tretiranju, ali se eksplicitno ne kaže i ne koristi u izvođenju.

## 2.4. RELATIVNOST KRETANJA

U svakodnevnom životu zapažamo kretanja raznih tela. Neko telo se kreće ako menja svoj položaj u odnosu na neko drugo telo. Nasuprot ovome, tela miruju jedno u odnosu na drugo, u slučaju kada ne menjaju svoj međusobni položaj. Međutim, putnik koji se nalazi na brodu može da miruje u odnosu na brod. Brod može da miruje u odnosu na vodu reke, ali se sa vodom kreće u odnosu na obalu. A obala se zajedno sa Zemljom obrće oko njene ose i okreće oko Sunca, koje se takođe neprestano kreće. Tada možemo da kažemo da rečna obala u odnosu na Zemlju relativno miruje, dok se u odnosu na Sunce, zajedno sa Zemljom relativno kreće.

Relativnost kretanja prizivaju u pomoć branici kretanja Zemlje, odnosno protivnici geocentričnog sistema. Istorija astronomije beleži svega tri ličnosti koje su pre Kopernika zastupale ideju o kretanju Zemlje. To su bili Heraklid, Aristorh i Orem (sl. 30).



Slike 30 – Aristorh i Orem

([https://en.wikipedia.org/wiki/SlikaAristarchos\\_Samos.png](https://en.wikipedia.org/wiki/SlikaAristarchos_Samos.png)); ([https://en.wikipedia.org/wiki/Nicole\\_Oresme](https://en.wikipedia.org/wiki/Nicole_Oresme))

Orem je dao prvu analizu kretanja Zemlje, iznevši 15 argumenata u prilog odbrane navedenog stava. On je počeo sa tvrdnjom da se ne može dokazati da se kreće nebo, a ne Zemlja i pri tome je koristio primere relativnosti, počevši od brodova.

Zatim je na scenu stupio Kopernik koji je sve pojave u vezi sa kretanjem Zemlje sveo u jedan logički sistem, izgradivši heliocentrični sistem. Rasuđujući na osnovu principa relativnosti kretanja, Kopernik je tvorac pomenutog sistema. Dnevno kretanje nebeskog svoda objasnio je rotacijom Zemlje oko sopstvene ose, a smene godišnjih doba obilaženjem Zemlje oko Sunca. Takođe, Koperik je uspeo ispravno da protumači i nepokretnost zvezda kao posledicu njihove velike udaljenosti od Zemlje.

Relativnost kretanja razmatrao je i Đordano Bruno, ukazujući na neizbežno kretanje brodova. Galilej se potom nastavlja na Bruna, koristeći relativnost u odbrani Kopernika. Relativnosti se naročito posvećuje u delu „Dva sistema sveta“. Klasična relativnost se upravo po njemu naziva Galilejevom relativnošću.

Hajgens (sl. 31) prvi najjednostavnije definiše relativnost:  
„Nema ništa što razlikuje ravnomerno kretanje od mirovanja.“



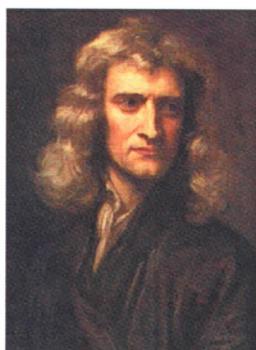
*Slika 31 – Hajgens*

([https://sr.wikipedia.org/sr-el/Christiaan\\_Huygens-painting.jpeg](https://sr.wikipedia.org/sr-el/Christiaan_Huygens-painting.jpeg))

Konačno, Njutn (sl. 32) daje potpunu definiciju:

„Relativna kretanja jednog tela u odnosu na drugo, koja se nalaze u ma kakvom prostoru, jednaka su bilo da taj prostor miruje ili se kreće pravolinijski i ravnomerno bez obrtanja.

Ako nekoliko tela, ma kako se međusobno kretala, budu podvrgnuta delovanju istih ubrzavajućih sila, usmerenih po paralelnim pravim, ona će nastaviti da se kreću jedno u odnosu na drugo, tako kao da te sile na njih ne deluju.“



*Slika 32 - Njutn*

(<https://sr.wikipedia.org/sr-el/GodfreyKneller-IsaacNewton-1689.jpg>)

## 2.5. IZOHRONOST KLATNA

Zakon izohronosti klatna (*izohronizam* (gr.) - jednakovremenost, podjednaka dužina trajanja) – u okviru određenih granica, trajanje svih oscilacija jednog sistema klatna uvek je isto i nezavisno od mase i od materijala od kojeg je napravljen.

Galilej nije mogao odoleti iskušenju da u svoje eksperimente ne uključi i klatno, a posebno izohronost koju je on prvi uočio (iako ne potpuno tačno, jer je mislio da važi i za velike oscilacije).

Godine 1603. lekar Santorio počeo je da primenjuje, od strane Galileja otkrivenu izohronost klatna, konstruišući pulsilogium. Pulsilogium je instrument kojim su lekari merili puls pacijenta, koji su „očitavali“ na klatnu. Kada bi otkucaji bili izohroni sa klatnom, merila se dužina niti.

Njegovo izučavanje klatna ostaje na granici onoga što se ne može posmatranjem ustanoviti: da se telo diže do iste visine sa koje je palo, da su oscilacije približno izohrone i posmatranjem perioda oscilacija za razne dužine klatna, nalazi da „vremena vibracija tela obešenih na kanap različite dužine odnose se međusobno kao kvadratni koreni dužina kanapa“.

### 3. GALILEJEVO UČENJE U NASTAVI FIZIKE ZA OSNOVNU ŠKOLU (PRIPREME ZA ČAS)

U šestom razredu osnovne škole učenici se prvi put sreću sa fizikom. Tokom cele školske godine predmet izučavanja je supstancija, a o fizičkom polju biće reći u narednim razredima. Osnovni pojmovi, koji istovremeno predstavljaju i nazine poglavlja, sa kojima učenici u toku šestog razreda treba da se upoznaju su: kretanje, sila, merenje, masa, gustina, pritisak.

Tačni nazivi nastavnih jedinica, za koje pišem pripreme, su Referentno telo i relativnost kretanja i Zakon inercije, a tematskih celina, kojima one pripadaju, Kretanje i Masa i gustina.

#### 3.1. REFERENTNO TELO I RELATIVNOST KRETANJA

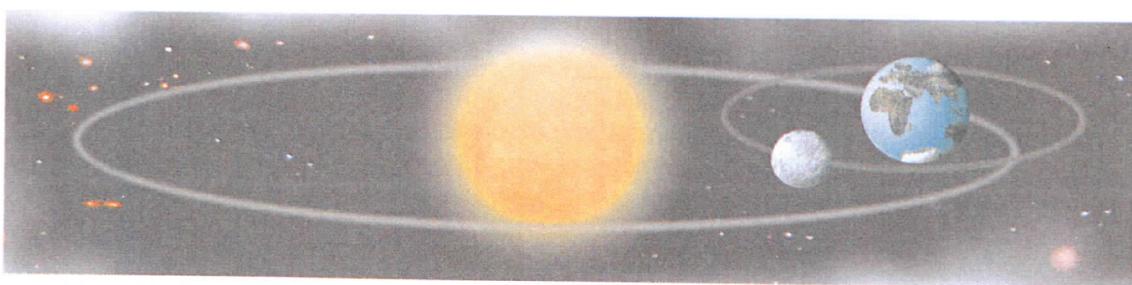
##### Glavni deo časa

U svakodnevnom životu zapaža se kretanje raznih tela. Tako, na primer letelica koja leti, kreće se u odnosu na Zemlju, vozač na motoru kreće se u odnosu na pešaka koji čeka na semaforu, ali se i pešak koji čeka na semaforu kreće zajedno sa Zemljom u odnosu na Sunce.

**Kretanje je promena položaja tela u odnosu na druga tela.**

Nasuprot ovome, **tela miruju jedno u odnosu na drugo, u slučaju kada ne menjaju svoj međusobni položaj.**

Međutim, putnik koji se nalazi na brodu može da miruje u odnosu na brod. Brod može da miruje u odnosu na vodu reke, ali se sa vodom kreće u odnosu na obalu. A obala se zajedno sa Zemljom obrće oko njene ose i okreće oko Sunca, koje se takođe neprestano kreće. Tada možemo da kažemo da rečna obala u odnosu na Zemlju **relativno miruje**, dok se u odnosu na Sunce, zajedno sa Zemljom **relativno kreće** (sl. 33).

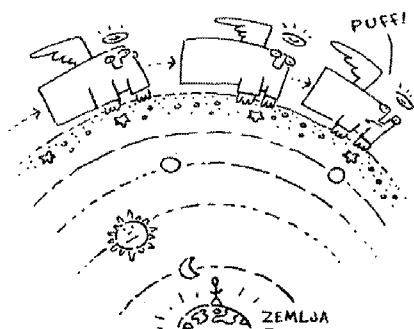


Slika 33 – Kretanje Zemlje oko Sunca i rotacija oko sopstvene ose

Takođe, je neophodno uvesti pojam **referentnog tela**. Referentno telo je telo u odnosu na koje se posmatra kretanje.

Relativnost kretanja u pomoć su prizivali branioci kretanja Zemlje oko Sunca, tvrdeći da se ne može dokazati da se kreće nebo, a ne Zemlja. Do XVI veka smatralo se da se Zemlja nalazi u centru svemira i da se sva nebeska tela okreću oko nje.

Evo jedne zanimljivosti povodom navedene tvrdnje. Takvo gledište o svemiru potiče još iz antičkih vremena. Po mišljenju astronoma, iz tog doba, nebeske sfere su se okretale oko Zemlje. Mesec je imao svoje mesto, Sunce drugo, kao što su ga navodno, imale i sve ostale planete, poznate u ono vreme. Na najvišem nebu obitavali su anđeli, koji su upravljali kretanjem Zemlje.



Slika 34.-Ilustracija nebeskih sfera oko nepokretnе Zemlje

Naučnik koji je tvdio suprotno bio je astronom, Nikola Kopernik (sl. 3). Rasuđujući na osnovu principa relativnosti kretanja, Kopernik je tvorac heliocentričnog sistema. On je smenu obdanice i noći objasnio rotacijom Zemlje oko sopstvene ose, a smene godišnjih doba obilaženjem Zemlje oko Sunca (sl. 33).

Galileo Galilej (sl. 1) je takođe koristio relativnost u odbrani Kopernikovog heliocentričnog sistema. Klasična relativnost se upravo po njemu naziva Galilejevom relativnošću. On je bio naučnik koji je živeo u Italiji na prelazu iz XVI u XVII vek.

Galileo Galilej je prvi u istoriji čovečanstva, počeo teleskopom (sl.12) da posmatra nebo. Teleskop je instrument pomoću koga se daleki predmeti vide kao da su blizu. Galilej je video ono što nikada niko nije video: uvećan Mesec (sl.13), milione zvezda, prirodne satelite planete Jupiter; ( Jupiter ima mnogo prirodnih satelita). On je takođe posmatrao uvećano Sunce i planetu Veneru. Sva ova posmatranja su pokazala da Zemlja nije nepokretna planeta, koja stoji usred svemira.

Sve najvažnije što je Galilej otkrio nalazi se u njegove dve knjige. Obe su pisane u vidu dijaloga tri lica. Dijalog nije naučni, već popularizatorski vid komunikacije. Pošto je Galileo bio majstor polemike, njegove knjige bile su veoma popularne.

Neophodno je napomenuti da se rimokatolička crkva Galilejevog doba prilično razlikovala od današnje. Crkvena moć se zasnivala, između ostalog, na učenjima o nepokretnosti Zemlje. Crkva se plašila svega što joj je protivrečilo. Zabranjivala je knjige koje nisu u skladu sa njenim učenjima. Sastavlja je spiskove zabranjenih knjiga, koje je potom spaljivala, a ponekad je na lomaču slala i njene autore.

Sve u svemu, Galilejeva istraživanja oštro su se suprotstavljala učenjima rimokatoličke crkve. A to je značilo da je Galilej bio u opasnosti i da mu se nije dobro pisalo.

Tako je 1633. godine osuđen na doživotni zatvor, a njegovo učenje je zabranjeno.

U svojoj sedamdesetosmoj godini života Galilej umire. Po predanju, na samrtnoj postelji izgovorio je sledeće: „Ipak se okreće!“. Galilej je znao da je u pravu, jer zvezde su mu to potvrdile.

Godine 1968. , na zahtev pape Pavla VI, došlo je do obnove nepravednog procesa koji je vođen protiv Galileja.

Tokom pontifikata pape Jovana Pavla II, 1992. godine, Papska Akademija nauka definisala je slučaj Galilej kao „grešku koja se sasvim iskreno priznaje“.

Iste godine, jedna sonda NASA-e, koja nosi ime Galileo, se uputila prema Jupiterovim satelitima i nestala duboko u beskraju svemira.

### ***Demonstracioni ogled iz relativnosti kretanja:***

*Potreban materijal :*

olovka , papir, sto ili neka druga podloga.

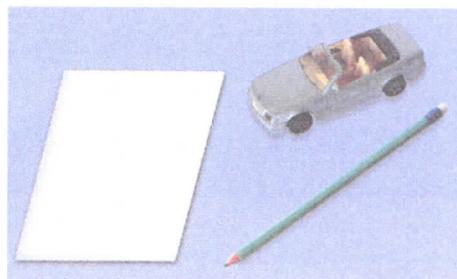
*Izvođenje ogleda (sl. 35):*

Stavi parče papira na sto. Povlači olovkom gore-dole po papiru, obrazujući uspravnu liniju.

Neka drug počne da vuče papir polako u stranu.

Kakva je putanja olovke u odnosu na klupu?

Kakva je putanja olovke u odnosu na papir?



*Slika 35*

*Objašnjenje:*

**Sva kretanja u prirodi su relativna, jer se uvek posmatraju na druga tela.**

**Oblik putanje i pravac kretanja tela takođe su relativni.** Ovim ogledom upravo to pokazuješ - putanja olovke u odnosu na klupu je prava linija, ali u odnosu na svesku očigledno nije, što pokazuje trag olovke.

**Završni deo časa:**

- Pitanje: Kako glasi definicija kretanja?
- Očekivani odgovor: Kretanje je promena položaja tela u odnosu na druga tela.
  
- Pitanje: Kakvo je to referentno telo?
- Očekivani odgovor: Referentno telo je telo u odnosu na koje se posmatra kretanje.

### 3.2. ZAKON INERCije

#### Uvodni deo časa:

- Pitanje: Šta će se desiti ako biciklista prestane da okreće pedale?
- Očekivani odgovor: Nastaviće sa kretanjem do zaustavljanja.
- Pitanje: Šta se dešava kada se autobus naglo zaustavi, a šta kada kreće?
- Očekivani odgovor: Kada se autobus naglo zaustavi, putnici posrnu unapred, a kada polazi, trgnu se unazad.
- Pitanje: Šta će se desiti sa guminicom na stolu ako na nju ne delujemo silom?
- Očekivani odgovor: Gumica neće promeniti stanje mirovanja.

#### Glavni deo časa:

Aristotelovci su verovali da je „prirodno“ stanje svakog tela mirovanje. Ako gurnemo kuglu po nekoj ravni, ona će se posle izvesnog vremena zaustaviti.

**Na kretanje tela po nekoj podlozi utiče sila trenja.** Zbog toga gurnuta kugla postepeno smanjuje svoju brzinu do zaustavljanja, a ne zbog toga što je mirovanje njen „prirodno“ stanje. Kada bi se moglo otkloniti trenje ne bi bilo promene u kretanju tela. U tom slučaju, telo koje se kreće, ne bi se nikad zaustavilo.

#### **Zakon inercije (prvi zakon mehanike):**

**Svako telo ostaje u stanju mirovanja ili ravnomernog pravolinijskog kretanja dok ga spoljašnje sile ne primoraju da to stanje promeni.** Godine 1632. Galileo Galilej (sl.1) otkrio je ovaj zakon, a Isak Njutn (sl. 28) ga je 1687. formulisao kao prvi zakon mehanike.

Od Aristotela (sl. 4) ostala je ideja da kretanje prestaje kada prestane da deluje sila koja ga je prouzrokovala, pa je srednjovekovnim naučnicima bilo veoma teško da shvate mogućnost kretanja po inerciji. „Novost“ za srednjovekovne naučnike bilo je učenje da **sile nisu neophodne da bi bilo kretanja; sile su neophodne da bi nastupila promena kretanja.** Nasuprot aristotelovskom gledištu, prirodno stanje tela jeste kretanje konstantnom brzinom. **Mirovanje je samo poseban slučaj kretanja,** stanje nulte brzine, ali po ovom novom učenju **mirovanje nije ni prirodnije, niti manje prirodno od kretanja ma kojom konstantnom brzinom.**

Za telo koje se jače opire promeni stanja kretanja kaže se da ima veću masu, a ono koje se manje opire – da ima manju masu.

#### **Masa tela je mera inertnosti tela.**

- Pitanje: Koja je osnovna međunarodna jedinica za merenje mase?
- Očekivani odgovor: Osnovna međunarodna jedinica za merenje mase je kg (kilogram).

**Demonstracioni ogled iz inercije 1. :**

*Potreban materijal:*

Nekoliko novčića

*Izvođenje ogleda (sl. 36):*

Na stolu poređaj nekoliko novčića jedan na drugi.

Prstom kratko i snažno udari novčić postavljen pored poređanih, tako da njim pogodiš novčić na dnu naslaganih novčića. Šta misliš šta će se desiti? Zašto?



*Slika 36*

*Objašnjenje:*

Donji novčić će iskočiti sa svog mesta, a ostali će, zbog inercije zadržati svoj položaj. Novčić kojim si udario, zaustaviće se, ili će odskočiti u nazad, u zavisnosti od pravca i jačine udara.

**Demonstracioni ogled iz inercije 2. :**

*Potreban materijal:*

Dve veće limenke, pesak, kanap.

*Izvođenje ogleda (sl. 37):*

Jednu limenkiju napuni peskom, a drugu ostavi praznu. Zaveži ih dugačkim kanapima o tavanicu. Kratkim, ali snažnim pokretom gurni limenke. Uporedi koliko ih je lako pokrenuti. Pusti limenke da se klate i gurni ih u pravcu približno normalnom na pravac njihovog kretanja. Limenke menjaju pravac kretanja. Pokušaj da ih zaustaviš. Uporedi promene u kretanju limenki kada na njih deluješ približno istom silom.



*Slika 37*

*Objašnjenje:*

Težnja tela da se opire promeni stanja mirovanja ili ravnomernog pravolinijskog kretanja, zavisi od mase tela i naziva se inercija. Ovaj ogled pokazuje da je sila uzrok promene kretanja. Promena kretanja zavisi od mase tela. Ukoliko je masa tela veća, ono se više opire promeni stanja mirovanja, odnosno kretanja.

*Demonstracioni ogled iz inercije 3. :*

*Potreban materijal:*

Čaša, kuglica

*Izvođenje ogleda :*

Staviti kuglicu u čašu i položiti čašu na sto. Pokrenuti čašu po površini stola sa otvorom okrenutim napred. Zatim je naglo zaustaviti i posmatrati šta se dešava.

*Objašnjenje:*

Za vreme kretanja čaše kuglica se kreće zajedno sa njom, kao da je učvršćena za njenog dna. Ako se čaša naglo zaustavi kuglica će izleteti iz nje i produžiti da se kreće u pravcu ranijeg kretanja čaše. Kuglica nastoji da zadrži stanje u kom se nalazi, u skladu sa zakonom inercije.

**Završni deo časa:**

- Pitanje: kako glasi I Njutnov zakon?
- Očekivani odgovor: Svako telo ostaje u stanju mirovanja ili ravnomernog pravolinijskog kretanja dok ga spoljašnje sile ne primoraju da to stanje promeni.
  
- Pitanje: kako glasi definicija mase?
- Očekivani odgovor: Masa tela je mera inertnosti tela.

Kada učenici pređu u sedmi razred, fizika za njih više nije potpuna nepoznanica; oni znaju da je fizika proučavanje materije i kretanja. A pojmovi sa kojima će se deca upoznati, u toku školske godine, samo su prirodan nastavak onoga što su upoznali i naučili u šestom razredu.

Tačni nazivi nastavnih jedinica, za koje pišem pripreme, su Pređeni put kod ravnometerno ubrzanog kretanja i Slobodno padanje, a tematskih celina, kojima one pripadaju, Kretanje i sila i Gravitaciono polje.

### 3.3. PREĐENI PUT KOD RAVNOMERNO UBRZANOG KRETANJA

#### Uvodni deo časa:

- Pitanje: Kako se zove kretanje tela koja se ne kreću stalno istom brzinom?
- Očekivani odgovor: Takvo kretanje se zove neravnometerno kretanje.
- Pitanje: Kako glasi definicija ravnometerno promenljivog pravolinijskog kretanja?
- Očekivani odgovor: To je kretanje tela po pravoj liniji, brzinom čiji se intenzitet ravnometerno menja u toku vremena.
- Pitanje : Definisati i formulisati ubrzanje.
- Očekivani odgovor: Ubrzanje je jednak promeni brzine u jedinici vremena.

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} \quad (3)$$

- Pitanje: Kako se neziva kretanje kuglice niz koso postavljenu dasku i uz koso postavljenu dasku?
- Očekivani odgovor: Ravnometerno ubrzano kretanje i ravnometerno usporeno kretanje .
- Pitanje: Kako definišemo ravnometerno ubrzano pravolinijsko kretanje?
- Očekivani odgovor: To je kretanje tela sa stalnom brzinom duž pravca kretanja.
- Pitanje: Izvesti obrazac za brzinu ravnometerno ubrzanog kretanja?
- Očekivani odgovor:

$$\begin{aligned}
 a &= \frac{\Delta v}{\Delta t}; & \Delta v = v - v_0 & \text{ i } & \Delta t = t - t_0; & (t_0 = 0) \\
 & & & & \Delta t = t \\
 a &= \frac{\Delta v}{t} \Rightarrow & \Delta v = v - v_0 = at \Rightarrow & & \boxed{v = v_0 + at; } & (v_0 = 0) \\
 & & & & \boxed{v = at; } &
 \end{aligned} \tag{4}$$

### Glavni deo časa:

Najpogodniji način za izučavanje ravnomerno promenljivog kretanja jeste kretanje kuglice po žlebu niz nagnutu dasku. Dasku sa žlebovima postavimo nagnuto u odnosu na podlogu i puštamo kuglice da se kotrljaju po žlebovima. Uzrok njihovog kretanja je sila zemljine teže, koja se ne menja u toku vremena.

- Pitanje: Kako glasi definicija sile Zemljine teže?
- Očekivani odgovor: Sila Zemljine teže je sila kojom Zemlja privlači sva tela svojom gravitacijom.

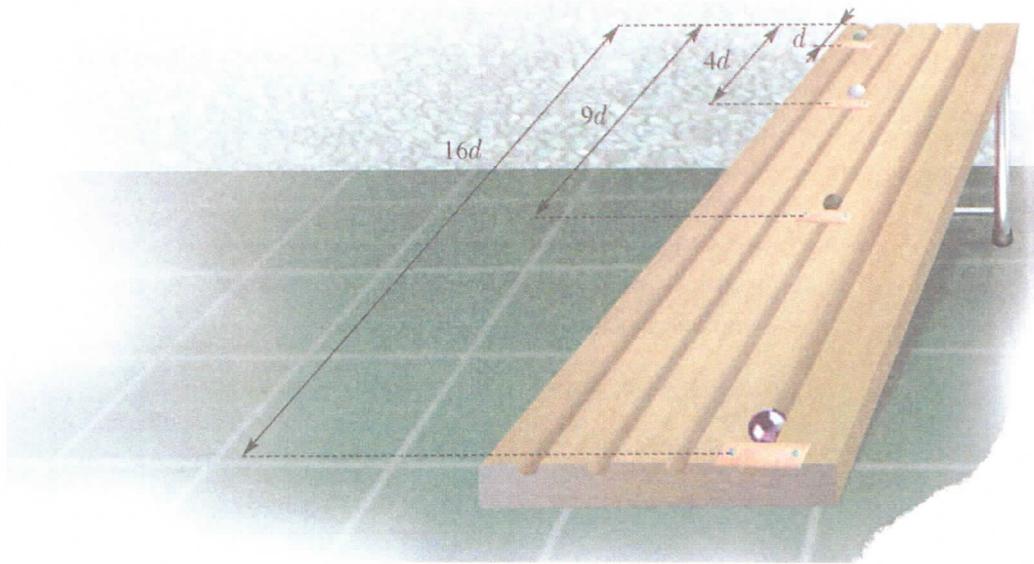
Ako su kuglice jednake veličine i od istog materijala, a žlebovi podjednako uglačani, onda su otpori pri njihovom kretanju jednak. Tada se može smatrati da je ubrzanje svih kuglica jednak ( $a = \text{const}$ ) i ne menja se tokom vremena. Prema tome, **kretanje kuglica je ravnomerno ubrzano**.

- Pitanje: Koliko iznosi ubrzanje Zemljine teže u blizini Zemljine površine?
- Očekivani odgovor: Ubrzanje Zemljine teže iznosi  $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ .

Neka na dasci imamo 4 paralelna žleba (sl. 38). U prvom žlebu od gornjeg kraja izmerimo neku dužinu  $d$  i postavimo na tom mestu neku prepreku. U drugom žlebu postavimo prepreku na rastojanju  $4d$ , u trećem na  $9d$ , a u četvrtom na  $16d$ . **Putevi kuglica, se računajući od gornjeg kraja, odnose kao  $1:4:9:16$ , tj. kao  $1^2, 2^2, 3^2, 4^2$ .** Pustimo sad kuglice da istovremeno krenu sa vrha. Ono što bi trebalo da čujemo je da kuglice udaraju u prepreke u jednakim vremenskim razmacima. Prva kuglica, posle jedne sekunde, druga posle dve sekunde, treća posle tri sekunde, a četvrta posle četiri sekunde. **Očigledno je da je pređeno rastojenje srazmerno kvadratu proteklog vremena ( $s \sim t^2$ ).**

Galileo Galilej je naučnik koji je izvršio opisani eksperiment na strmoj ravni. Vršio ga je pomoću veoma uglačane daske, duge  $2m$ , u kojoj je izbušen kanal, niz koji se kotrljala kuglica. Nagib daske je bio mali, svega  $1,7^\circ$ . Galilejeva strma ravan poslužiće nam za **demonstraciju ravnomerno ubranog kretanja**.

Pošto je Galilej bio matematičar, sastavio je formulu kojom je opisivao kretanje kuglice niz strmu ravan.



Slika 38 – Strma ravan

Izraz za pređeni put kod ravnomerno ubrzanog pravolinijskog kretanja( koju je Galilej sastavio ) glasi:

$$s = \frac{1}{2}at^2 \quad (5)$$

Ako posmatrano pravolinijsko kretanje sa početnom brzinom različitom od nule ( $v_0 \neq 0$ ), možemo smatrati kao da je to kretanje sastavljeno od jednog ravnomernog kretanja brzinom  $v_0$  i drugog ravnomerno ubrzanog kretanja. Svako od ova dva pravolinijska kretanja daje svoj nezavisani doprinos pređenom putu, tako da je put jednak:

$$s = v_0t + \frac{1}{2}at^2 \quad (6)$$

Galilej je tvorac moderne nauke. Živeo je u Italiji, na prelazu iz XVI u XVII vek. Konstruisao je mnoštvo instrumenata, a izvedeći svoje eksperimente, priređivao je prave spektakle. Otkrio je mnogo toga: Mesečeve planine, prirodne satelite planete Jupiter... (o čemu smo već pričali u 6. razredu).

Galilejev doprinos fizici ogleda se u sledećem:

- Izvodeći eksperiment na strmoj ravni, uveo je eksperimentalni metod u fiziku.
- Prvi je opisao kretanje na matematički tačan način,pomoću matematičkih formula. Njegova matematika, potvrđena eksperimentima, dala je polaznu tačku sa koje se krenulo dalje.

### **Završni deo časa**

- Pitanje: Koji je najpogodniji način za izučavanje ravnomerno ubrzanog kretanja?
- Očekivani odgovor: Najpogodniji način za izučavanje ravnomerno ubrzanog kretanja je kretanje kuglice po žljebovima niz stmu ravan.
- Pitanje: Kako se odnose putevi kuglica, računajući od gornjeg kraja?
- Očekivani odgovor: Putevi kuglica se, računajući od gornjeg kraja, odnose kao  $1:4:9:16$ , tj. kao  $1^2, 2^2, 3^2, 4^2$ .
- Pitanje: Da li će kuglice udarati u prepreke u jednakim ili međusobno različitim vremenskim intervalima?
- Očekivani odgovor: Kuglice će udarati u prepreke u jednakim vremenskim intervalima.
- Pitanje: Kako glasi obrazac za predeni put kod ravnomerno ubrzanog pravolinjskog kretanja?
- Očekivani odgovor:  $s = \frac{1}{2}at^2$

### 3.4. **SLOBODNO PADANJE**

#### **Uvodni deo časa:**

- Pitanje: Kako glasi definicija težine tela?
- Očekivani odgovor: Sila kojom telo, pod dejstvom sile Zemljine teže, deluje na horizontalnu podlogu ili zateže konopac o koji je obešeno, naziva se težina tela.
- Pitanje: Da li težina tela i sila Zemljine teže deluju na isto telo? Objasni.
- Očekivani odgovor: Sila Zemljine teže deluje na nas, a mi usled dejstva sile Zemljine teže, delujemo na podlogu svojom težinom.
- Pitanje: Koliko iznosi ubrzanje Zemljine teže u blizini Zemljine površine?
- Očekivani odgovor: Ubrzanje Zemljine teže iznosi  $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ .
- Pitanje: Da li bi ubrzanje tela koje bi padalo na Sunce ili Mesec bilo jednako ubrzaju tog istog tela dok ono pada na Zemlju? Objasni.
- Očekivani odgovor: Ne. Zbog različitih masa planeta i njihove gravitacione sile na ista tela biće različitog intenziteta, pa će samim tim i ubrzanja biti različita.

#### **Glavni deo časa**

Nekada se smatralo da teža tela brže padaju kroz vazduh nego lakša.

- Pitanje: Šta će se desiti ako istovremeno pustimo da padaju pero i kuglica kroz vazduh?
- Očekivani odgovor: Videćemo da će kuglica dodirnuti tlo mnogo pre pera.

***Demonstracije*** prethodno navedene konstatacije (pustim kuglicu i pero istovremeno da padaju kroz vazduh).

Takva razmatranja navela su Aristotela da formuliše zakon po kome teža tela brže padaju. Ali Galilej je razmišljaо drugačije. On je uvideo da vazduh uvek pruža otpor pri padanju tela, pri čemu je sila otpora na padajuće telo utoliko veća, ukoliko je veća njegova brzina padanja. Sa druge strane, tela koja imaju veću površinu padaju sporije, zato što je sila otpora vazduha veća ukoliko je veća površina preseka kojom tela „probijaju“ vazduh. To su razlozi zbog kojih je Galilej padanje metalne kuglice smatrao slobodnim padanjem, jer je uticaj vazduha na njeno kretanje zanemarljivo mali.

Galilej je, po predanju, sa raznih spratova Krivog tornja u Pizi (sl. 6) puštao loptice različitih težina i ustanovio da sve dobijaju podjednako ubrzanje pri padanju, tj. da sve dodiruju tlo u istom trenutku.

**Uzrok padanja tela je Zemljina teža. Pod dejstvom sile Zemljine teže tela padaju vertikalno. Pri tom padanju u većoj ili manjoj meri, kao što smo već napomenuli, utiče vazduh, tj. otpor sredine kroz koju se kreću. Onda takvo kretanje nije slobodno padanje.**

U julu 1969. godine čovek je prvi put stupio na Mesec. Astronaut koji je prvi kročio na površinu Meseca zvao se Nil Amstrong. Na Mesecu je sakupio mnogo uzoraka tla i izveo mnogo eksperimenata. Jedan od njih bio je veoma jednostavan: istovremeno je pustio da padaju jedan čekić i jedno pero i pokazalo se da su oba predmeta dotakla tlo u istom trenutku. Ova jednostavna demonstracija, u bezvazdušnom prostoru, veoma bi se svidela Galileju, iz razloga što je potvrdila njegovu teoriju. (Puštam NASA – in snimak).

**Kretanje koje se vrši samo pod dejstvom Zemljine teže, zove se slobodno padanje. Slobodno padanje tela je ravnomerno ubrzano kretanje bez početne brzine u bezvazdušnom prostoru usled delovanja stalne sile Zemljine teže.**

Zavisnost među veličinama koje karakterišu ovo kretanje data je poznatim formulama za ravnomerno ubrzano kretanje. Ubrzanje kojim se telo kreće pod dejstvom sile Zemljine teže je upravo ubrzanje Zemljine teže ( $g$ ).

- Pitanje: Kako glasi obrazac za predeni put kod ravnomerno ubrzanih pravolinijskog kretanja?
- Očekivani odgovor:  $s = \frac{1}{2}gt^2$

Tako će obrazac za put koji telo preže u toku slobodnog pada iznositi:

$$h = \frac{1}{2}gt^2 \quad (7)$$

A brzina tela koje pada u blizini zemljine površine u svakom trenutku iznosiće:

$$v = gt$$

### **Demonstracioni ogled slobodnog pada:**

Pomoću konca na koji su na određenim rastojanjima pričvršćene navrtke, može se demonstrirati veza između vremene padanja i prednjeg puta u slučaju slobodnog pada.

#### *Potreban materijal:*

Jedan čvrst konac, 14 jednakih metalnih navrtki, prazna plastična kadica ili metalna ploča, makaze i lepljivu traku.

#### *Izvođenje ogleda (sl. 39):*

Na kraj konca pomoći lepljive trake učvrsti prvu navrtku. 6 drugih navrtki pričvrstiti tako da se njihov razmak u odnosu na prvu navrtku odnosi kao  $1 : 4 : 9 : 16$  (konac na slici A)

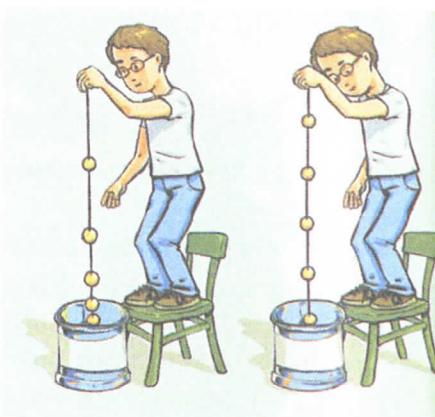
Pusti konac da slobodno visi tako da prva navrtka dotiče dno konzerve. Ako se konac pusti da padne u plastičnu kadicu, navrtke će u jednakim vremenskim intervalima padati na dno.

Na kraj drugog konca iste dužine, takođe postavi navrtku. Ostalih 6 navrtki učvrsti tako da budu na istim rastojanjima jedna od druge (pogledaj sliku). Ako se konac pusti da padne, navrtke će padati na dno kadice u sve kraćim vremenskim intervalima.

Ako je vremenski interval padanja jedne navrtke na dno  $0,1\text{ s}$ , navrtke treba postaviti na rastojanju od:

$$5\text{cm} + 15\text{cm} + 25\text{cm} + 35\text{cm} + 45\text{cm} + 55\text{cm} = 180\text{cm}$$

Eksperiment treba izvoditi samo u zatvorenim prostorijama, bez promaje. Ako je konac dovoljno tanak, čuće se udar navrtki na dno konzerve. Da bi se isti, odnosno kraći vremenski intervali mogli dobro čuti, trebalo bi pričvrstiti 6 do 7 navrtki. Ako hoćeš da bolje uočiš pojavu, popni se na stolicu, podigni ruku i pusti konac. Uzmi plastičnu kadicu sa većom površinom dna jer navrtke prilikom pada pogadaju različite tačke njene površine.



Slika 39

*Objašnjenje:*

- Pitanje: Ukoliko se neko telo pusti da slobodno pada kako će glasiti izraz za slobodan put?
- Očekivani odgovor:  $h = \frac{1}{2}gt^2$ .

A obrazac za vreme, na osnovu prethodne formule glasiće:  $t = \sqrt{\frac{2h}{g}}$ . Sve navrtke se puštaju istovremeno zajedno sa koncem. Ako navrtke treba da padaju na dno u istim vremenskim razmacima, koji se odnose kao:

$$t_1 : t_2 : t_3 : \dots = 1 : 2 : 3 : \dots$$

onda se njihovi pređeni putevi na osnovu izraza  $h = \frac{1}{2} gt^2$  (konac A) odnose kao:

$$s_1 : s_2 : s_3 : \dots = 1 : 4 : 9 : \dots$$

Ako se navrtke pričvrste na istim rastojanjima na konac (konac B), to znači :

$$s_1 : s_2 : s_3 : \dots = 1 : 2 : 3 : \dots$$

Njihova vremena padanja na osnovu izraza  $t = \sqrt{\frac{2s}{g}}$  odnose se kao:

$$t_1 : t_2 : t_3 : \dots = 1 : \sqrt{2} : \sqrt{3} : \dots$$

### **Završni deo časa:**

- Pitanje: Kakvo kretanje nazivamo slobodnim padanjem?
- Očekivani odgovor: Kretanje koje se vrši samo pod dejstvom Zemljine teže, zove se slobodno padanje.
- Pitanje: U kom slučaju vertikalno padanje nije slobodno?
- Očekivani odgovor: Kada se telo kreće kroz vazduh (ili bilo koju drugu materijalnu sredinu) pod dejstvom sile Zemljine teže.
- Pitanje: Šta se dešava pri padanju tela kroz vazduh?
- Očekivani odgovor: Vazduh uvek pruža otpor padanju tela, pri čemu je sila otpora na padajuće telo utoliko veća, ukoliko je veća njegova brzina padanja. Sa druge strane, tela koja imaju veću površinu padaju sporije, zato što je sila otpora vazduha veća ukoliko je veća površina preseka kojom tela „probijaju“ vazduh
- Pitanje: Šta je ustanovio Galilej puštajući loptice (različitih težina) da padaju, sa raznih spratova, sa krivog tornja u Pizi?
- Očekivani odgovor: Galilej je ustanovio da sve loptice udaraju o tlo istovremeno, tj. da dobijaju podjednako ubrzanje pri padanju.
- Pitanje: Kako glasi izraz za pređeni put tela u toku slobodnog pada?
- Očekivani odgovor:  $h = \frac{1}{2} gt^2$

### **Za domaći:**

Primer: Prema poznatim podacima i video snimcima može se uzeti da se meteorološki balon u toku rada nalazi na visini od 5400 m iznad Zemljine površine. Nakon završenih istraživačkih radova, balon se „raspadne“. Procenite brzinu udara pojedinih delova tog balona o tlo.

Rešenje:

$$h = 5400 \text{ m}$$

$$v = ?$$

$$v = gt$$

$$h = \frac{1}{2}gt^2 \Rightarrow t^2 = \frac{2h}{g}$$

$$v^2 = g^2t^2 = g^2 \frac{2h}{g} = 2gh$$

$$v = \sqrt{2gh} = \sqrt{2 \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 5400 \text{m}} = 325,5 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

## **PRILOG**

### **Sadržaj:**

Tiho Brahe i Johan Kepler  
Ravnomerno kretanje i prirodno ubrzano kretanje po Galileju  
Mertonijansko pravilo

*Ticho Brahe (1546. -1601.)*

Ticho Brahe je bio danski astronom. Studirao je astronomiju i matematiku. Posle studija obilazi Evropu i kupuje instrumente za merenje. Dobija priznanja za svoj rad, koji je bio vezan za pojavu nove zvezde 1572. godine. Danski kralj mu poklanja jedno ostrvo pored Kopenhagena da na njemu izgradi opsrevatorijum.

Brahe gradi dvorac – opservatorijum, nabavlja i pravi do tada najpreciznije instrumente, i unapređuje tehniku merenja. Na ostrvu ostaje 21 godinu. Tada se nije znalo da ljudsko oko ima granicu preciznosti merenja, pa je mislio da je ono preciznije od ugaone minute. Poređenjem sa kasnijim merenjima, ustanovaljeno je da su Braheove greške bile manje od četiri minute.

Godine 1597., nakon smrti danskog kralja, Brahe napušta Dansku i nastanjuje se u Pragu, kao astrolog i dvorski matematičar cara Rudolfa II. Tada prima u službu Keplera, koji je bio zainteresovan da dođe do preciznih podataka. Brahe je pomoću instrumenata, koje je većinom sam izradio, utvrdio položaje 777 zvezda i počeo da posmatra planete. Kepler je dobio zadatak da posmatra Mars. Godine 1601. Brahe umire i Kepler ga nasleđuje.

*Johan Kepler (1571. – 1630.)*

Johan Kepler je bio nemački astronom. Nakon teškog detinjstva Kepler se odlučio za poziv sveštenika. U toku studija upoznaje se sa Kopernikovim učenjem. Pod uticajem svog učitelja Kepler napušta svešteničku službu i prima katedru astronomije u Gracu. Godine 1597. odlazi u Prag. U Pragu, 1600. godine, Kepler postaje Braheov pomoćnik. Nakon Braheove smrti Kepler preuzima njegov položaj dvorskog matematičara cara Rudolfa II. Tada mu je postalo dostupno ogromno nasleđe Braheovih merenja. Na temelju ovih sistematski sakupljenih podataka Kepler je kasnije došao do svojih zakona – zakona nebeske mehanike<sup>14</sup>. Mereći putanju Marsa, Kepler dolazi do saznanja da putanje planeta nisu kružnice, kako je Kopernik smatrao, već elipse, i ustanovaljava zakon izračunavanja njihovog kretanja.

Nikada do tada u istoriji egzaktnih nauka nije se pojavio plodonosniji spreg, nego što je bio Kepler – Brahe. Jedan je imao što dtugi nema, a obojica zajedno činili su celinu. Bez Brahea ne bi bilo ni Keplerovih zakona.

---

<sup>14</sup> Keplerovi zakoni:

1. Planete se kreću oko Sunca po eliptičnim putanjama, u čijem se fokusu nalazi centar Sunca.
2. Radijus vektor jedne planete prelazi istu površinu za jednake vremenske intervale, bez obzira na njihovo trajanje.
3. Kvadратi vremena obilaženja ma koje dve planete oko Sunca odnose se kao kubovi velikih poluosa njihovih eliptičnih orbita.

*Ravnomerno kretanje po Galileju:*

Definicija:

Pod ravnomernim kretanjem podrazumevam ono u kome su udaljenosti, predene telom za vreme ma kog jednakog intervala vremena, takođe jednake.

Starija definicija glasi ovako: ravnomerno kretanje je ono kretanje u kome se jednakе udaljenosti prelaze u jednakim vremenima. Galilej je starijoj definiciji dodao reč „ma koji“, podrazumevajući pod tim sve jednakе intervale vremena; jer, može se desiti da telo u kretanju prelazi jednakе udaljenosti za vreme nekih intervala, a ipak udaljenosti pređene za vreme nekih malih delova tih intervala mogu biti nejednake, iako su vremenski intervali isti.

U vreme kad brzina nije još diferencijalno definisana, Galilejev dodatak definiciji je na svom mestu.

*Prirodno ubrzano kretanje po Galileju:*

Kretanje možemo zamisliti kao ravnomerno i kontinualno ubrzano kada se njemu za vreme ma kakvih jednakih intervala vremena dodaju jednakaka povećanja brzine.

Iz toga Galilej zaključuje da nećemo mnogo pogrešiti ako je povećanje brzine srazmerno povećanju vremena. Na osnovu navedenog on na sledeći način definiše prirodno ubrzano kretanje:

„Kretanje je ravnomerno ubrzano kada, počinjući iz mirovanja, ono dobija u jednakim vremenskim intervalima jednakaka povećanja brzine“.

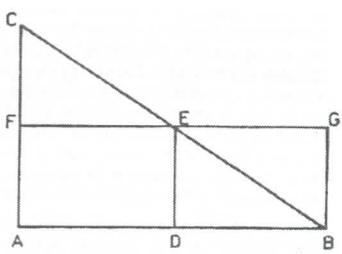
Na ovo izlaganje treba učiniti dve primedbe:

1. U njemu se ne kaže da je Galilej došao do toga zakona eksperimentalnim merenjem. To se prikriva i Galilej pravi racionalan prilaz, iako njemu takav zakon nije pao na pamet pre eksperimenta, a posle eksperimenta trebalo mu je vremena da ga razume i prihvati.
2. Iстичање једноставности природе не одговара стварности. Ravnomerno ubrzanje se približno dobija na malim udaljenostima.

*Mertonijansko pravilo:*

„Bilo da počinje od nule ili nekog drugog stepena, svaka širina (latituda) intenziteta, sve do tada dok se završava nekim konačnim stepenom, i sve do tada dok se stiče ili gubi ravnomerno, odgovara srednjem stepenu. Tako će telo koje ravnomerno dobija ili gubi brzinu tokom nekog određenog perioda vremena preći udaljenost tačno jednaku onoj koju bi prešlo za isti period vremena. Ako bi se ravnomerno kretalo sa srednjim stepenom brzine.“

Geometrijski prikaz mertonijanskog pravila dao je Orem (sl. 40). Ako je kvalitet prikazan trouglom ABC, onda se može geometrijski dokazati da je površina tog trougla jednaka površini pravougaonika ABGF. Orem napominje da to važi i za brzine, jer je tada površina jednaka putu.



*Slika 40 - Mertonijansko pravilo*

## ZAKLJUČAK

Galilejev doprinos fizici ogleda se u sledećem:

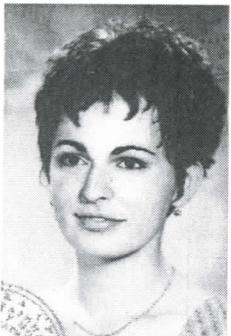
1. Uveo je eksperimentalni metod u fiziku.
2. Raskinuo je sa Aristotelovom dinamikom i pomoću eksperimenta dao osnovu za tačnu mehaniku.
3. Prvi je opisao kretanje na matematički tačan način. Njegova matematika, potvrđena eksperimentima, dala je polaznu tačku sa koje se krenulo dalje.
4. Uvideo je da se uklanjanjem prirodnih pojava, kao što su trenje i otpor vazduha, može ustanoviti skup osnovnih veza koji govore o razmatranom pojmu.
5. U fiziku je uveo apstrahovanje, idealizovani proračun i korekcije na realne uslove; jer bez zanemarivanja veoma teško bi se došlo do ekzaktnih zakona.

Prateći Galilejev primer đaci mogu da uoče i shvate značaj eksperimenta, demonstracije i formula, kao bitnih i nezaobilaznih postupaka u procesu spoznaje prirode.

**Literatura:**

- Milorad Mlađenović: *Istorija klasične fizike za učenike srednjih škola*, Zavod za udžbenike i nastavna sredstva, Beograd; Zavod za udžbenike, Novi Sad, 1993.
- Milorad Mlađenović: *Razvoj fizike – mehanika i gravitacija*, IRO Građevinska knjiga Beograd.
- Milorad Mlađenović: *Koraci otkrića prirode*, Gradina, Niš, 1991.
- Lion Lederman sa Dikom Terezijem: *Božija čestica*, Serija popularne nauke SFINGA, Beograd, 1998.
- Luka Novelj: *Galilej i prvi rat zvezda*, Ružno pače, Novi Sad, 2006.
- Darko V. Kapor, Jovan P. Šetračić: *Fizika za sedmi razred osnovne škole*, Zavod za udžbenike, Beograd, 2008.
- Darko V. Kapor, Jovan P. Šetračić: *Fizika za šesti razred osnovne škole*, Zavod za udžbenike, Beograd, 2008.
- Dušanka Ž. Obadović, Milica Pavkov – Hrvojević, Maja Stojanović: *Jednostavni ogledi u fizici za sedmi razred*, Zavod za udžbenike, Beograd, 2007.
- Dušanka Ž. Obadović, Milica Pavkov – Hrvojević, Maja Stojanović: *Jednostavni ogledi u fizici za šesti razred*, Zavod za udžbenike, Beograd, 2007.
- *Enciklopedija leksikografskog zavoda*, Jugoslovenski leksikografski zavod, Zagreb MCMLXVII.
- dr Vladimir Ajdačić: *Nauka kao bajka*, Dečje Novine, Gornji Milanovac, 1990.
- *Enciklopedija sveznanja*- Politikin zabavnik, Knjiga komerc, Beograd, 2006.
- Simonyi Károly Gondolat kiadó: *A fizika kultúrtörténete*, Budapest, 1978.
- Ivana Rančić: Diplomski rad na temu *Inercijalni i neinercijalni sistemi referencije*, Novi Sad, 2008.

### Biografija Nade Bajić



Rođena sam 17.01.1984. godine, u Osijeku, R. Hrvatska. Osnovnu školu sam završila u N.Gajdobri, gde živim od 1991.godine. Nakon završene gimnazije, u Bačkoj Palanci, upisala sam Prirodno-matematički fakultet u Novom Sadu, 2003.godine, na departmanu za fiziku.



UNIVERZITET U NOVOM SADU  
PRIRODNO-MATEMATIČKI FAKULTET

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

*Redni broj:*

**RBR**

*Identifikacioni broj:*

**IBR**

*Tip dokumentacije:*

**TD**

*Tip zapisa:*

**TZ**

*Vrsta rada:*

**VR**

*Autor:*

**AU**

*Mentor:*

**MN**

*Naslov rada:*

**NR**

*Jezik publikacije:*

**JP**

*Jezik izvoda:*

**JI**

*Zemlja publikovanja:*

**ZP**

*Uže geografsko područje:*

**UGP**

*Godina:*

**GO**

*Izdavač:*

**IZ**

*Mesto i adresa:*

**MA**

*Fizički opis rada:*

**FO**

*Naučna oblast:*

**NO**

*Naučna disciplina:*

**ND**

*Predmetna odrednica/ ključne reči:*

**PO**

**UDK**

*Čuva se:*

**ČU**

*Važna napomena:*

**VN**

*Izvod:*

**IZ**

*Datum prihvatanja teme od NN veća:*

**DP**

12.02.2008.

*Datum odbrane:*

**DO**

03.07.2008.

*Članovi komisije:*

**KO**

Agneš Kapor, red. prof.

*Predsednik:*

Obadović Dušanka., red. prof.

*član:*

Darko Kapor, red.prof. (mentor)

UNIVERSITY OF NOVI SAD  
FACULTY OF SCIENCE AND MATHEMATICS

KEY WORDS DOCUMENTATION

*Accession number:*

**ANO**

*Identification number:*

**INO**

*Document type:*

**DT**

*Type of record:*

**TR**

*Content code:*

**CC**

*Author:*

**AU**

*Mentor/comentor:*

**MN**

*Title:*

**TI**

*Language of text:*

**LT**

*Language of abstract:*

**LA**

*Country of publication:*

**CP**

*Locality of publication:*

**LP**

*Publication year:*

**PY**

*Publisher:*

**PU**

*Publication place:*

**PP**

*Physical description:*

**PD**

*Scientific field:*

**SF**

*Scientific discipline:*

**SD**

*Subject/ Key words:*

**SKW**

**UC**

*Holding data:*

**HD**

*Note:*

**N**

*Abstract:*

**AB**

Monograph publication

Textual printed material

Final paper

Nada Bajic

Prof. dr Darko Kapor

Galileo's results in teaching Physics for elementary school

Serbian (Latin)

English

Serbia

Vojvodina

2008

Author's reprint

Faculty of Science and Mathematics, Trg Dositeja Obradovića 4, Novi Sad

3/56/23/0/40/0/1

Physics

Methodology of Physics Teaching

Galileo, experiment, investigation, teaching,

Library of Department of Physics, Trg Dositeja Obradovića 4

None

The author describes life and scientific work of Galileo Galilei and his most important discoveries. The author also represents preparations for teaching of physics describing Galileo's life and his scientific discoveries.

*Accepted by the Scientific Board:*

**ASB**

12.02.2008.

*Defended on:*

**DE**

03.07.2008.

*Thesis defend board:*

**DB**

Dr Agneš Kapor, Prof.

*President:* Dr Dušanka Obadović, Prof.

*Member:* Dr Darko Kapor, Prof. (mentor)