Galileijeva teorija gibanja

Bošnjaković, Martina

Master's thesis / Diplomski rad

2016

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

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:217:002989

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-28**



Repository / Repozitorij:

Repository of the Faculty of Science - University of Zagreb







SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
PRIRODOSLOVNO-MATEMATIČKI FAKULTET
FIZIČKI ODSJEK

SMJER: PROFESOR FIZIKE I INFORMATIKE

Martina Bošnjaković

Diplomski rad

Galileijeva teorija gibanja

Voditelj diplomskog rada: dr. sc. Tihomir Vukelja

Ocjena diplomskog rada: _____

Povjerenstvo: 1. _____
2. _____
3. _____

Datum polaganja: _____

Zagreb, 2016.

Onome koji me najviše volio…

Sažetak

Teorija gibanja koju je razvio Galileo Galilei bila je odlučujući korak prema modernoj – Newtonovoj – teoriji gibanja. Pri tome je bilo važno Galileijevo shvaćanje gibanja kao stanja tijela, a ne kao kod Aristotela, kao razvoja ili procesa ozbiljenja forme, njegovo naglašavanje relativnosti gibanja, razmatranje inercijalnog gibanja, a napose matematički prikaz slobodnog pada i putanje projektila, koji je pristašama „mehaničke filozofije“ u 17. stoljeću poslužio kao oslonac razmatranja mogućnosti matematičkoga opisivanja svih „zemaljskih“ gibanja. U radu se prikazuje Galileov kratki životopis kao uvod u kontekst tadašnjeg vremena koji je bitna komponenta razumijevanja cjelokupne situacije. Razmatra se Aristotelova teorija, kao ona prihvaćena na sveučilištima Galileijeva doba, te posljedice koje je ona imala po tadašnja kozmološka razmatranja. Potom je, kao središte rada, opisana Galileijeva motivacija za teorijsko i eksperimentalno istraživanje gibanja i rezultati koji su proizašli iz tog istraživanja. Veličina njegove teorije leži u odvajanju uzroka gibanja od samog opisa gibanja, te u zamjeni potrage za uzrocima i počelima svijeta, modernom potragom za fizičkim zakonima koji ga opisuju. Primjenivši apstraktni matematički model na realnu situaciju, eksperimentalno je ustanovio kako se realno gibanje tijela zaista može matematički opisati i time postavio temelje jedinstvu praktičnog iskustva s apstraktnom znanošću te otvorio vrata eksperimentalnoj znanosti i daljnjem razvoju fizike. Galileo je efektivno promijenio način na koji su ljudi razumijevali gibanje i uveo radikalno drugačiji način povezivanja gibanja i geometrije. Nadalje, prikazane su rane reakcije znanstvene zajednice na Galileijevu teoriju gibanja, te učinak te teorije na razvoj fizike. Konačno, spomenuta je, samo usput, kontroverzna tema odnosa vjere i znanosti. Rad sadrži i pripremu za nastavnu jedinicu horizontalni hitac koja se prema gimnazijskom i četverogodišnjem strukovnom nastavnom planu i programu nalazi u obveznom, a prema dvogodišnjem i trogodišnjem planu i programu nastave fizike u proširenom sadržaju.

The Galilean Theory of Motion

Abstract

The theory of motion developed by Galileo Galilei was a crucial step towards the modern, Newton's theory of motion. The important thing was Galileo's understanding of the motion as a state of body, as opposed to Aristotle's development or process of the actualisation of the form; Galileo's stress on the relativity of motion, the analysis of inertial motion, above all the mathematical description of the free fall and projectile trajectory served as a stepping stone for the analysis of the possibility of mathematical descriptions of all „terrestrial“ motions to the supporters of the „mechanical philosophy“ in the 17th century. Galileo's short curriculum vitae is presented in the thesis as an introduction to the context of those times, which is an important part for understanding the situation as a whole. Aristotle's theory, as the one accepted at the universities of Galilei time, together with its consequences upon cosmological research has been explored. The central part of the thesis describes Galilei's motivation for theoretical and empirical research of motion together with the results. The greatness of his theory lies in separating the cause of motion from the very description of the motion itself, and replacing the search for causes and principles of the world with a modern search of physical laws that describe it. By applying the abstract mathematical model to a real-life situation, Galileo experimentally proved that the actual body motion can really be mathematically described. Therewith he set the grounds for unity of practical experience and abstract science and opened the doors to experimental science and further development of physics. Galileo effectively changed the way people understood motion and introduced a different way of connecting motion and geometry. Also, the early reactions of the scientific community to Galilei motion theory are presented as well as the effect of this theory to the deveopment of physics. Finally, the controvertial topic of the relationship between religion and science is mentioned. The thesis contains a lesson plan presenting projectile motion, which is an obligatory part of four-year high school curriculum and a non-obligatory part of two and three-year high school curriculum.

Sadržaj:

1. Uvod 1

2. Kratki životopis 3

2.1. Rani dani i školovanje 3

2.2. Na Sveučilištu u Pisi 4

2.3. Na Sveučilištu u Padovi 5

2.4. Sidereus nuncius – Zvjezdani glasnik 7

2.5. Pod pokroviteljstvom toskanskog dvora 9

2.6. Promatranja neba 10

2.7. Posjet Rimu 10

2.8. Rastući problemi 11

2.9. Službena opomena 13

2.10. Zatišje 13

2.11. „Analitičar“ 14

2.12. „Dijalog o dva glavna sustava svijeta: ptolomejevom i kopernikovom“ 15

2.13. Optužnica, suđenje i presuda 16

2.14. „Rasprave i matematičke demonstracije o dvije nove znanosti“ 18

2.15. Posljednji dani 19

3. Aristotelova teorija gibanja, srednji vijek 20

3.1 Svijet kao organizam 20

3.2. Znanje i osjetilno iskustvo 21

3.3. Opažanje nasuprot eksperimentu 22

3.4. Promjena 23

3.5. Gibanje 24

3.6. Podjela svemira 25

3.6.1. Fizika sublunarnog područja 25
3.6.1.1. Prirodno lokalno gibanje (prirodna promjena mjesta) 27
3.6.1.2.Prisilno lokalno gibanje 28
3.6.2. Fizika supralunarnog područja 30
3.7. Srednji vijek 33
3.7.1. Kinematika 34
3.7.2. Dinamika 36
4. Teorija gibanja i kopernikanska astronomija 38
4.1. Novost Kopernikova sustava nasuprot Ptolomejevom 39
5. Galileova teorija gibanja 43
5.1. Pojam gibanja 43
5.2. Relativnost gibanja 43
5.3. Inercijalno gibanje 44
5.4. Slobodni pad 46
5.5. Horizontalni hitac 51
6. Recepcija i posljedice Galileijeve teorije gibanja 54
6.1. Galileijevi istovremenici o njegovoj teoriji gibanja 54
6.1.1. Galilei i Descartes 54
6.1.2. Galilei i Pierre Gassendi 56
6.2. Fizika supralunarnog područja 58
7. Vjera i znanost 59
8. Zaključak 64
Dodaci I
A Priprema za nastavni sat – Horizontalni hitac I
Tijek nastavnog sata II
1. Uvodni dio II
2. Glavni dio III

3. Završni dio VII

Plan ploče IX

Literatura: X

1. Uvod

Prije dvije godine (2014.) obilježavali smo 450. obljetnicu rođenja Galilea Galileija. Tom prigodom mnogi mediji su se prisjetili njegovih znanstvenih dostignuća, i to spominjući ono po čemu je najpopularniji: teleskop i "ipak se kreće", dok su u sjeni ostajala njegova puno utjecajnija istraživanja i teorije od kojih je najznačajnija ona o gibanju. Upravo nedostatak širih spoznaja o Galileovu utjecaju na razvoj fizike, unatoč školskom gradivu, potaknuo me da Galileova teorija gibanja bude tema mog diplomskog rada.

Pristupila sam ovoj temi proučavanjem relevantnih djela, počevši od starovjekih filozofa, kako bih mogla bolje razumjeti svijet i način na koji su ga doživljavali Galileo i njegovi suvremenici. Nažalost, izbor literature na hrvatskom jeziku s ovom tematikom je dosta oskudan, tako da se nadam da će i moj rad olakšati snalaženje u vremenu i prostoru nekom budućem istraživaču. S druge strane, literature na engleskom ne manjka i u temelju ovog rada su kapitalna djela poznatih fizičara i povjesničara znanosti kao što su: Paolo Rossi, David C. Lindberg, Richard S. Westfall, James T. Cushing i drugi.

Mnoge Galileove ideje danas podrazumijevamo ili nam se mogu učiniti i smiješne. Stoga je bilo vrlo važno početi svoj rad od predstavljanja samog Galilea i njegovog životnog puta, od rođenja u talijanskoj Pisi sve do smrti u Arcetri. Vidjet ćemo povijesni kontekst u kojem je živio, tko je sve na njega utjecao i kakvu je zaista ulogu odigrala Crkva u njegovu slučaju, jer su događaji koji su mu obilježili život i rad važni za razumijevanje njega samog kao osobe te njegove znanosti.

Nakon što utvrdimo vremenski okvir Galileovog djelovanja, vratit ćemo se dublje u povijest kako bismo se ukratko osvrnuli na razvoj znanstvene ideje na polju fizike, to jest, kroz pregled glavne filozofske struje koja se predavala na sveučilištima Galileijevog vremena, s posebnim naglaskom na aristotelskoj fizici. Ovo je važno zato što Galileo nije bio izuzet iz sustava razmišljanja svojega vremena, čak i kad se njegov cjelokupan pogled na svijet sukobio s dotada općeprihvaćenim načinom razmišljanja.

U trećem dijelu izložit ćemo razlike između heliocentričnog sustava, kako ga je Kopernik zamislio, i dotadašnjeg geocentričnog sustava koji je uobličio Ptolomej na aristotelskim temeljima. Neki povjesničari znanosti Galilea smatraju snažnim promicateljem kopernikanizma, dok ga drugi smatraju opreznim promatračem koji je svoje

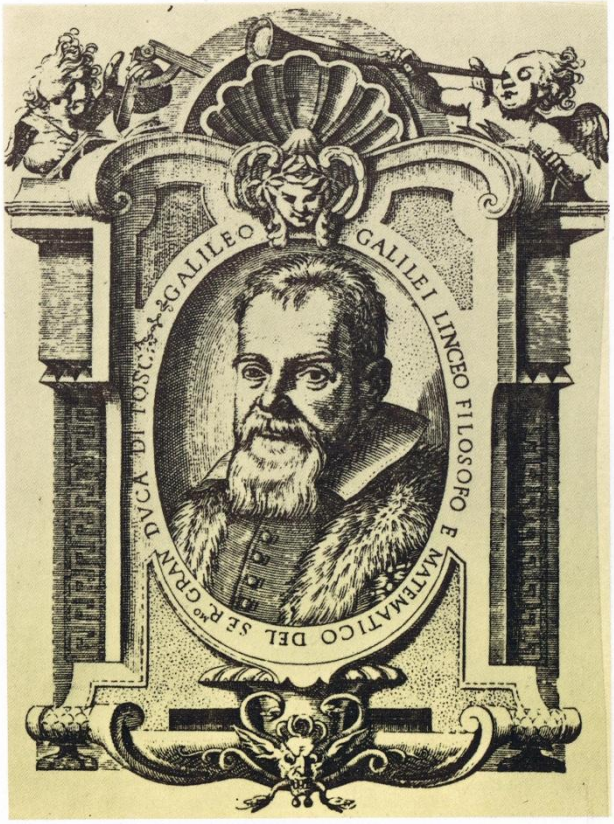
stavove dobro skrivao. Naime, u trenutku svog nastanka, Galileova je fizika postala snažan argument za Kopernikov heliocentrični sustav.

Središte diplomskog rada je Galileijeva teorija gibanja, koju ćemo predstaviti kroz poglavlja o shvaćanju pojma gibanja; relativnosti gibanja; inercijalnom gibanju; zakonu slobodnog pada te horizontalnom hicu. Redoslijed poglavlja ne slijedi povijesni razvoj Galileijeve teorije, već je prikazan logičan slijed po potrebnom predznanju. Galileo već na sam pojam gibanja gleda drugačije nego njegovi prethodnici, što je iznjedrilo različito shvaćanje svega što se uz gibanje veže. Tako, na primjer, gibanje nekih objekata u odnosu na druge objekte gleda relativno, a ne apsolutno; razmatra hipotetske situacije u misaonim pokusima i postavlja temelje inercijalnog gibanja koje su dovršili i uobličili u konačnom obliku Rene Descartes i Isaac Newton; idealni slučaj ubrzanog gibanja primjenjuje na realan slučaj slobodnog pada, geometrizira ga i matematički opisuje; te rastavlja gibanje na komponente. Time je povezao praktično iskustvo s apstraktnom matematikom i otvorio vrata objašnjenju određenih gibanja koje je bilo osobito teško razumjeti unutar aristotelskih okvira.

Na kraju ćemo vidjeti kako su Galileovu teoriju prihvatili neki od poznatijih znanstvenika njegova vremena i kraja 17. stoljeća. To su, poimence, Rene Descartes i Pierre Gassendi. Oni su na različite načine uklopili njegove pronalaske u vlastiti sustav razmišljanja ili su ih razmatrali pa potom odbacili. Spomenut ćemo i samo usput kontroverznu temu odnosa vjere i znanosti jer, ipak je po tome je Galileo danas najpoznatiji, iako bi mu, sigurna sam, bilo draže da nije tako.

Galilijeva teorija gibanja predviđena je u planu i programu svake srednje škole s dvogodišnjim, trogodišnjim i četverogodišnjim strukovnim te gimnazijskim programima fizike te se, stoga, u dodatku nalazi metodička obrada sata na temu horizontalnog hitca.

2. Kratki životopis



Slika 1.: Galileo Galilei [10]
glavni filozof i matematičar velikog vojvode od Toskane

2.1. Rani dani i školovanje

Galileo Galilei rođen je 15. veljače 1564. u talijanskoj Pisi od majke Giulie rođ. Ammannati i oca Vincenzia, kao najstariji od sedmero djece. Iz Pise, sele se u Firenzu zbog trgovine vunom kojom je otac prehranjivao obitelj.

Osim što je bio trgovac, Vincenzio Galilei bio je, također, priznati glazbenik tadašnjeg vremena – svirao je lutnju, bavio se akustikom, komponiranjem i teorijom glazbe. Svojom teorijom usprotivio se jednom od najistaknutijih teoretičara glazbe Gioseffu Zarlinu, koji je zagovarao Pitagorine „zvučne brojeve“ i tvrdnju da su savršeni akordi zapravo intervali na glazbenoj ljestvici iskazani omjerima brojeva 1, 2, 3 i 4. Kako bi dokazao da ima pravo, izveo je set pokusa s žicama različitih duljina i iste napetosti, te žicama istih duljina, ali različitih napetosti. Pritom je otkrio nove, nepitagorejske matematičke omjere glazbene ljestvice koji su davali harmoniju i time se stavio na čelo pokreta koji je staru polifoniju zamijenio suvremenom harmonijom.[8]

„Znamo da je na tim pokusima bio prisutan barem jedan zainteresirani promatrač. Vincenzijev najstariji sin gledao je što tata mjeri i računa. Promatranje pokusa utjecalo je na mladića mnogo jače nego je to Vincenzio mogao i zamisliti. Momka je naročito očaravao pokus u kojem je njegov otac žice zatezao vješanjem različito teških utega. Žica na čijem kraju visi uteg može se, kad je trzneš, početi njihati poput njihala; možda je to navelo mladog člana obitelji Galilei da počne razmišljati o različitim načinima na koje se predmeti kreću kroz svemir. Ime tog momka bilo je, naravno, Galileo.“[8]

U dobi od 17 godina, po uzoru na slavnog pretka Galilea Bonaiutija zbog kojeg je obitelj promijenila prezime u Galilei, otac ga šalje na Sveučilište u Pisi na studij medicine. Mladi se Galileo na studiju upoznaje s aristotelovskom filozofijom, s profesorima ulazi u rasprave, ne zadovoljava se pukim prihvaćanjem činjenica, standardnim primjerima iz relevantnih knjiga suprotstavlja vlastita promišljanja, te stječe reputaciju znatiželjnika koji svaku njihovu riječ dovodi u pitanje. Djela iznimno uglednog Aristotela bila su obvezna literatura čiji je cilj bio navesti studente da njegove teorije i ideje o fizici i ostalim disciplinama nauče, shvate, poštuju i ponavljaju, a ne da ih smatraju upitnima.[6] Samo dvije godine nakon upisivanja studija otkriva izokronost titraja njihala. Istovremeno, ilegalno pohađa predavanja zatvorena za javnost toskanskog dvorskog matematičara Ostilia Riccia na kojima se upoznaje s matematikom, fizikom i astronomijom za koje pokazuje velik interes i talent, te zbog kojih odustaje od medicine 1585. godine, na veliko očevo razočaranje.

2.2. Na Sveučilištu u Pisi

U prvo vrijeme, kao privatni učitelj drži predavanja iz matematike bogatim stranim studentima u Firenci i Sienni. Nastavlja intenzivno proučavati Arhimedov rad, što je započeo još u studentskim danima, i na temelju njega piše vlastito kratko djelo „Teoremata circa centrum gravitatis solidum“ o težištu krutih tijela koji je izdan kao dodatak na kraju najvažnijeg Galileovog djela više od pola stoljeća kasnije. Njegove teorije i metode mijenjale su se tijekom pola stoljeća kako je dodavao korekcije, ulazio dublje u razumijevanje problema, čak i konceptualno razvijao ideje. Jedan element, naprotiv, koji je

ostao konstantan, bio je prešutno prihvaćanje pristupa i metode „božanskog Arhimeda.[*]“ [1]. U djelu „La bilancetta,“ napisanom 1586. godine, podrobno opisuje hidrostatsku ravnotežu i način određivanja udjela zlata i srebra ili drugih metala u legurama pomoću hidrostatske vage. Ovaj rad izdan tek posthumno 1644. godine koji također za temelj ima Arhimedov u metodu, predstavlja mješavinu teorijskog i praktičnog znanja, te otkriva Galileovu izrazitu nadarenost za tehnička rješenja.

Iako ova kratka djela nisu izdana, kružila su u obliku rukopisa i pisama učenim krugovima u kojima je dvadesetpetogodišnji nezaposleni matematičar ostao zapažen. Nakon apliciranja za profesorsko mjesto na Sveučilištu u Bologni, koje nije dobio, počinje pisana korespondencija između Galilea i Guidobalda del Monte, cijenjenog talijanskog aristokrata čijim utjecajem Galileo dobiva svoj prvi posao na katedri matematike na Sveučilištu u Pisi 1589. godine. U Pisi ostaje naredne tri godine tijekom kojih predaje euklidsku matematiku, aristotelovsku mehaniku i astronomiju koja datira iz 13. stoljeća. Kao najmlađi od profesora i predavač neuglednog studija matematike, često je provodio vrijeme u raspravama sa poštovanim starijim kolegama što je i njemu samom povećalo ugled. Plaća je bila mala što nije bilo zanemarivo jer je 1591. umro otac i Galileo je morao preuzeti brigu za obitelj - isplatiti miraz već udatoj sestri i udati mlađu. Vlasti su propisale obavezno nošenje profesorske toge i u poslovima izvan Sveučilišta na što Galileo odgovara protestom protiv ustaljenosti, osrednjosti i profesorskog nemara u satiričnoj epskoj pjesmi „Capitolo contro il portar la toga“ („Poglavlje protiv nošenja toge“) zamotavši svoje nezadovoljstvo radnom okolinom u ismijavanje tadašnjoj sveučilišnoj modi.

Piše nedovršen i nikad objavljen rad „De motu“ („O gibanju“) s antiaristotelovskim gledištem na prirodu padanja tijela. U njemu podupire teoriju umetnute sile - impetusa koji održava gibanje, a desetljeće kasnije odbacuje ju kao krivu. Ovo djelo označilo je početak dugog putovanja koje je konačno dovelo Galilea do odbacivanja aristotelizma.[1] Na temelju usporedbe ovog djela s kasnijima, može se jasno uočiti razvoj Galileovog razmišljanja tijekom godina, napredak i samokritičnost.

2.3. Na Sveučilištu u Padovi

Predavanje na Sveučilištu u toskanskoj Pisi poslužilo mu je kao odskočna daska za daljnju karijeru. Godine 1592. dobiva dvostruko bolje plaćen posao predavača matematike na Sveučilištu u Padovi koje je teritorijalno spadalo pod Venecijansku Republiku.

[*] Arhimed (oko 287.–212.pr.Kr.) – grčki matematičar, fizičar i astronom poznat po Arhimedovom zakonu, hidrostatičkom paradoksu, opisu geometrijskih tijela i likova, približno je odredio vrijednost broja π

Predavanja iz matematike temelji na Euklidovom djelu „Elementi," a astronomiju na Ptolomejevu „Almagestu." Već u prvim godinama šestogodišnjeg profesorskog mandata, za koji bio izabiran tri puta zaredom, piše tri rada – „Kratka uputa o vojnoj arhitekturi", „O utvrdama" i „O mehanici."

Pokraj svoje kuće otvorio je malu radionicu u kojoj je izrađivao sve instrumente koje je trebao za predavanja i ostale male naprave koje je prodavao. Iz nje su izašli predmeti vezani za njegov rad na vojnoj arhitekturi i utvrdama, balistici, hidraulici, također vezani za istraživanja jakosti materijala, konstrukciju geometrijskog i vojnog kompasa, teleskopa i termoskopa – preteče termometra.[1] S obzirom da je predavao Ptolomejevu astronomiju, 1597. godine napisao je „Traktat o sferama ili kozmografiji," kratki vodič kroz geocentričan sustav za studente. Bez obzira na to, već je tada krenuo drugim putem što se vidi iz pisama iz iste godine koje je izmjenjivao s Keplerom[*] u kojima podržava kopernikansku teoriju. Galileo je ovako sažeo svoja razmišljanja o toj temi:

> „Počeo sam smatrati da, ako netko odbaci mišljenje koje je prihvatilo beskonačno mnogo ljudi i preuzme mišljenje koje dijele samo malobrojni, i koje osuđuju sve škole [...] nema sumnje da su ga na to naveli, da ne kažem primorali, najuvjerljiviji argumenti. [...] Dosad se nisam usudio objaviti ta razmišljanja jer se bojim da će me stići sudbina našeg učitelja Kopernika koji, premda je zaradio vječnu slavu u nekih ljudi, za većinu tek predmet poruge i ismijavanja. Toliki je broj tih budala. "[6]

Sve do pojave nove zvijezde na nebu 1604. godine koja je kasnije nazvana Keplerovom zvijezdom, kako pokazuju zapisi i djela koje je za sobom ostavio, Galileo se pretežito bavio zemaljskim gibanjem i mehanikom, a astronomijom samo načelno i teorijski. Nova zvijezda zapravo je bila eksplozija supernove za koju nisu zabilježili postojanje paralakse[**] ni Galileo ni drugi europski astronomi, kao npr. Kepler, što znači da je ta zvijezda daleko na nebu iza sfere zvijezda stajačica te da ne može biti atmosferska pojava. To se kosilo s tadašnjim uvriježenim mišljenjem da sve takve pojave nužno moraju biti atmosferske jer su nebesa nepromjenjiva i vječna.

Godine 1606. objavio je pamflet „O geometrijskom i vojnom kompasu" u kojima opisuje princip rada i način korištenja kompasa, a slijedeće godine napisao je „Obranu od

[*] Johannes Kepler (1571.–1630.) – njemački astronom, fizičar, matematičar i astrolog, ustanovio tri Keplerova zakona, tumačio nastanak plime i oseke privlačenjem Mjeseca

[**] Paralaksa je promjena u poziciji koja se pojavljuje kada se isti predmet promatra s dva različita mjesta

svih kleveta i obmana Baldessara Capre iz Milana“ koji je lažno prisvojio kompas kao svoj izum.

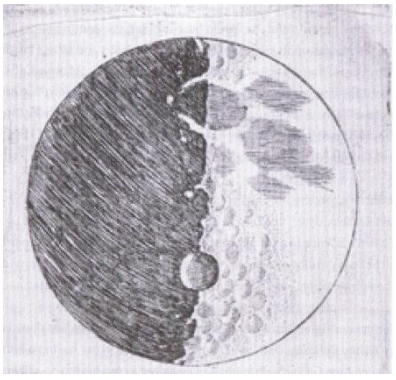
Otprilike u isto vrijeme, dobio je poziv da dođe u Veneciju ocijeniti na kojem bi mjestu na brodovima trebalo postaviti vesla da bi bila maksimalno učinkovita. Budući da je Venecija bila izvorište utjecajnih i poznatih osoba onoga doba, Galileo često putuje onamo. Ondje upoznaje Marinu Gambu koja mu u razdoblju od 1600. do 1606. godine rađa troje izvanbračne djece: Virginiju, Liviju i Vinzenza.

2.4. Sidereus nuncius – Zvjezdani glasnik

Na temelju rada Nizozemca Hansa Lippersheya koji je prvi osmislio teleskop i predstavio ga europskim velikašima, Galileo 1609. godine izrađuje vlastiti teleskop. Galileijev prvi teleskop imao je snagu današnjeg dalekozora:

> „Brojni plemići i senatori, premda u poodmaklim godinama, uspinjali su se stubama najviših crkvenih tornjeva u Veneciji kako bi gledali jedrenjake i brodove koji su bili toliko udaljeni da je trebalo proći 2 sata prije nego što su ih bez moje špijunke uspjeli vidjeti kako punih jedara uplovljavaju u luku, jer je učinak mojeg uređaja takav da predmet udaljen osamdeset kilometara izgleda veliko i blizu kao da je udaljen samo osam kilometara.“ [6]

Galileo se nije zastavio na tome, nego je izradio teleskope s pojačanjem 20 i više puta i usmjerio ih u zvjezdano nebo. Ono što je njime vidio, bilo je iznenađujuće kako za njega samog, tako i za njegovu okolinu koja je to većinom odbila prihvatiti. Otkrio je sjene na osvjetljenoj strani Mjeseca i osvjetljena područja na tamnoj strani. U to vrijeme Galileo se družio s poznatim slikarom Lodovicom Cigolijem koji je u svojim freskama koristio tehniku *chiaroscuro*. Chiaroscuro koristi snažne kontraste svijetla i sjene kako bi dvodimenzionalna slika dobila dubinu i volumen te postala trodimenzionalna. To znanje Galileo je iskoristio za svoja promatranja Mjeseca i zaključio da Mjesec nema uglačanu površinu, nego neravnu – s planinama i udolinama.

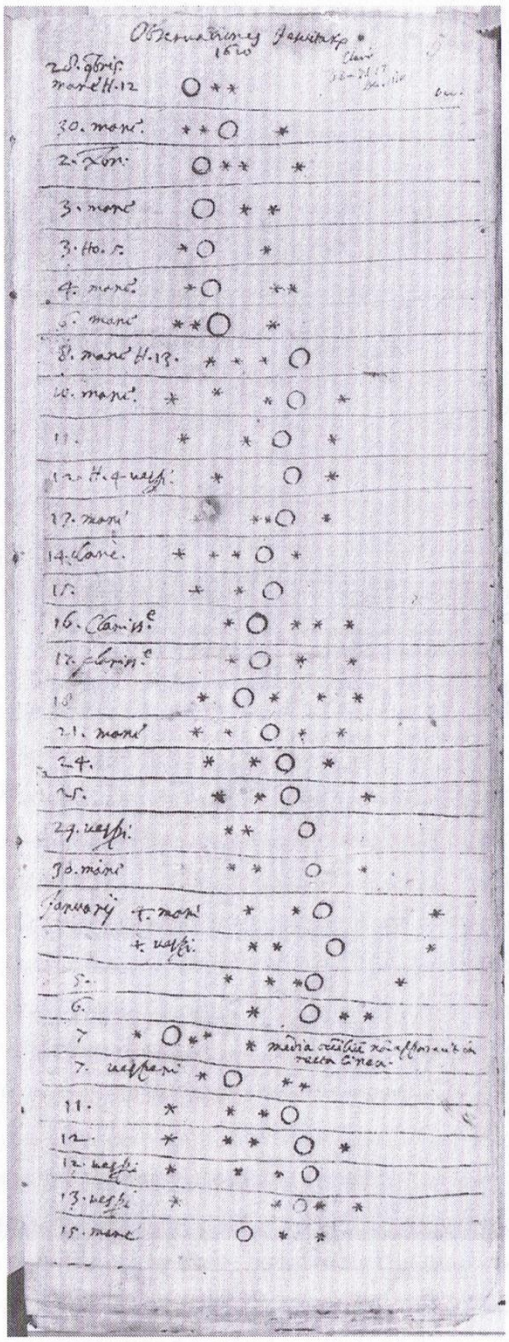


Slika 2.: Originalna Galileijeva skica sjena na Mjesecu izdana u Zvjezdanom glasniku [5]

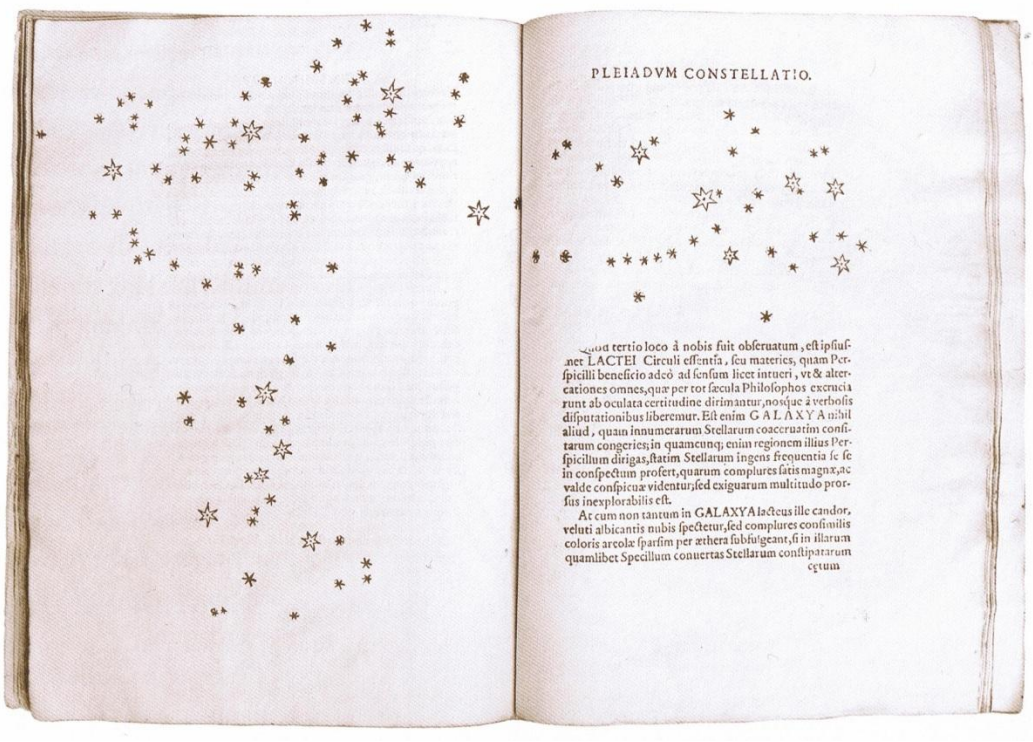
Nastavljajući s promatranjima zvjezdanog neba, otkrio je postojanje četiriju malih nebeskih tijela koja se okreću oko planeta Jupitera. Nazvao ih je Siderea Medicea – Medicijevim zvijezdama i svoja opažanja 1610. godine objavio u knjižici „Sidereus Nuncius“ – „Zvjezdani glasnik“ posvećenoj Velikom vojvodi Cosimu II. Mediciju. U knjizi je ustvrdio da ta mala nebeska tijela ne mogu biti zvijezde nego neka vrsta sekundarnih planeta koji se okreću oko Jupitera na isti način kao što se i Zemlja, Merkur, Venera, Mars, Jupiter i Saturn okreću oko Sunca, izravno podupirući kopernikanski sustav. Danas Jupiterove Mjesece znamo pod imenima Io, Europa, Ganimed i Kalisto.

U zviježđu Plejade otkrio je 40 zvijezda koje se ne vide golim okom, a promatrajući druge maglice ustanovio da se sastoje od mnoštva zvijezda. Planeti gledani kroz teleskop izgledaju veći nego golim okom, dok poznate zvijezde i kroz teleskop izgledaju kao male svijetle točkice, što upućuje na to da su zvijezde zaista daleko i da je svemir mnogo veći nego što se pretpostavljalo.

S obzirom da je teleskop već kružio po europskim dvorovima prije nego ga je Galileo dobio u ruke i izradio vlastiti, on možda nije bio prvi koji je pogledao teleskopom u nebo, ali zasigurno jest prvi koji je svoja promatranja sistematizirao i izdao.



Slika 3.: Bilješke Galileijevih promatranja Jupiterovih mjeseca iz 1610. godine [5]



Slika 4.: Zvijezde koje je Galileo opazio u zviježđu Plejade,
kako su prikazane u „Zvjezdanom glasniku“ [6]
velike zvijezde vidjele su se golim okom, a sve ostale isključivo teleskopom

„Sidereus Nuncius“ izazvao je lavinu traktata protiv Galileovih otkrića s različitim argumentima, od toga da je Galileov teleskop magičarska naprava koja čini vidljivima stvari kojih zapravo nema, preko argumenta da za te planete nema logičnog objašnjenja, do toga da ako golo oko ne može vidjeti nova nebeska tijela, onda ona u bitnom smislu i ne postoje.

2.5. Pod pokroviteljstvom toskanskog dvora

U jesen 1610. godine, iako je dobio doživotni profesorski mandat na Sveučilištu u Padovi, Galileo se vraća u Firenzu pod pokroviteljstvom Velikog vojvode od Toskane, Cosima II. Medicija, i preuzima titulu glavnog dvorskog matematičara i filozofa. Opisujući svoje buduće projekte nakon izlaska Zvjezdanog glasnika, rekao je kako namjerava napisati dvije knjige o sustavu i strukturi svemira, tri knjige o lokanom gibanju („potpuno novoj znanosti u koju nitko drugi, drevan ili moderan, nije otkrio niti jedan od izvanrednih zakona koje ću demonstrirati“), tri knjige o mehanici i čak radove o zvuku, oceanskim plimama, prirodi kontinuiranih veličina i gibanju životinja.[1] Time su mu se otvorila službena vrata u filozofske krugove u kojima je do sada smatran samo priprostim

matematičarem koji se sa svojim mjerenjima i promatranjima nema pravo petljati u filozofiju. Svojeglavosti akademskih profesora i filozofa, Galileo je ponosno izložio svoju vlastitu filozofiju i izjavio da je „više godina izučavao filozofiju nego čistu matematiku.“[1] Na dvoru nije imao obavezu svakodnevnih predavanja studentima nego povremenih predavanja plemstvu i uglednicima, zbog čega se u većoj mjeri posvetio pisanju planiranih radova.

2.6. Promatranja neba

Osim noćnog neba, uputio je pogled i prema Suncu na kojem su otprilike istovremeno, svaki u svojem dijelu Europe, Johannes Kepler, Thomas Harriott[*] i Christoph Scheiner[**] primijetili tamne sjene i odbili pomisao da bi to moglo biti išta drugo osim sjena planeta koji prolaze ispred Sunca. Galileo je primijetio da sjene mijenjaju položaj, oblik i veličinu, te da neke u različitim vremenskim intervalima blijede i nestaju, iz čega je zaključio da to ne mogu biti sjene planeta, nego fenomen koji se događa na samoj površini Sunca.

Promatrajući Veneru i Mars, primijetio je da prolaze kroz iste mijene kao i Mjesec, od mlađaka do uštapa, na temelju čega je zaključio da se ne mogu okretati oko Zemlje nego nužno oko Sunca. Jedna od pojava koju nije mogao objasniti bila je „trojstvena ili utrostručena“ pojava Saturna. Naime, teleskop koji je koristio nije bio dovoljno jak da bi njime vidio Saturnove prstene, nego se činilo kao da je Saturn istovremeno građen od tri tijela. U svojim zapisima i crtežima, gdje god bi označio Saturn, crtao ga je kao veliko O omeđeno s dva mala o: 

2.7. Posjet Rimu

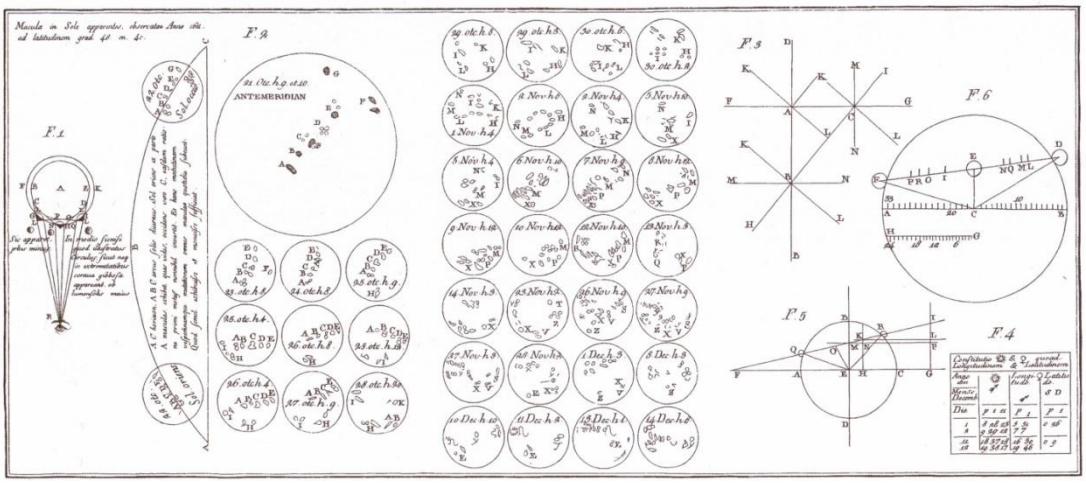
Potkraj ožujka 1611. godine, kao jedan od uvaženih znanstvenika i polemičara onoga doba, Galileo je posjetio Rim. Postavio je svoj najbolji teleskop u vrt cijenjenog kardinala Ottavia Bandinija, koji je neko vrijeme bio čak i dekan kardinalskog zbora iz kojeg se biraju pape, i ondje je predstavio novootkrivene Sunčeve pjege, Saturnove prstenove i Venerine mijene.[6] Trijumfalno je primljen, kako od laika, tako i od klera: bio

[*] Thomas Harriott (cca. 1560. – 1621.) – engleski astronom, matematičar, etnograf i prevoditelj

[**] Christoph Scheiner (cca. 1573. – 1650.) – njemački fizičar i astronom, katolički svećenik, isusovac

je izabran u Accademiju dei Lincei, a uvaženi kardinali, isusovci, i sam papa Pavao V., primili su ga s odobravanjem. [1] S obzirom na uspjeh posjeta, odbacio je svaki oprez i otvoreno branio svoja kopernikanska stajališta.

Nakon povratka u Firenzu 1612. godine, Galileo izdaje „Raspravu o plutajućim tijelima.“ U njoj razlaže pomno osmišljene eksperimente popraćene ilustracijama kako bi utvrdio na koji način objekti zapravo plutaju i utječe li na to njihov oblik i gustoća, te razbija općeprihvaćenu Arhimedovu teoriju kako oblik određuje hoće li objekt plutati ili potonuti. Iste godine, njegove nezakonite kćeri Virginia i Livia ulaze u klauzurni samostan Sv. Mateja u mjestu Arcetri i uzimaju imena sestra Maria Celeste (što znači nebesa, u čast očevoj ljubavi prema astronomiji) i sestra Arcangela.[6] Akademija Lincei 1613. godine objavljuje „Povijest i demonstracije o Sunčevim pjegama i njihovim značajkama“ u kojoj se nalaze Galileovi odgovori na pisma i opovrgavanje teorije o sjenama planeta Christopha Scheinera koji se također bavio Sunčevim pjegama.



Slika 5.: Bilješke Christopha Scheinera o Sunčevim pjegama koje je promatrao 1611. g.[6]

2.8. Rastući problemi

Dok je Galileo uživao u pažnji i odobravanju blagonaklonjenih dostojanstvenika, nije bio svjestan ili nije htio prihvatiti činjenicu da sve više raste broj njegovih neprijatelja, od kojih neki datiraju još od profesorskih dana u Pisi. Galileov polemički karakter, koji nije trpio pogreške i bio sklon ismijavanju svega s čim se nije slagao, mnogima se zamjerio.

Sa svoje propovjedaonice u samostanu svetog Marka, na Dušni dan 1612. godine, dominikanac Niccolo Lorini je optužio Kopernikance za herezu.[1] Na jednom domjenku

kod obitelji Medici, kojem je prisustvovao profesor matematike na Sveučilištu u Pisi i Galileov vjerni prijatelj i učenik Benedetto Castelli, majka velikog vojvode Cosima II., madame Cristina di Lorena iznosi argumente protiv Galileovih otkrića navođenjem odlomaka Biblije. U pisanoj korespondenciji s Benedettom Castellijem iz prosinca 1613. godine, Galileo brani svoja kopernikanska stajališta, također, citirajući Bibliju i tvrdi da su Sveto Pismo i znanost dva zasebna pitanja u kojima nema međusobnog proturječja. Galileo se zasigurno borio da bi odvojio duhovnu istinu od znanstvene činjenice. Trenutak u kojem je Galileo uključio svoje dijalektičke vještine da bi pronašao biblijski dokaz nove kozmologije, kompromitirao je njegovo vlastito uvjerenje u strogo odvajanje pitanja vjere i znanosti, te razlikovanje pitanja „kako ići u nebo“ od pitanja „kako nebesa idu“. Nije slučaj da Galileo nije primao upozorenja da bude oprezan. Svećenik Paolo Gualdo, Galileov prijatelj, napisao mu je da „razmisli dvaput prije nego objavi svoje mišljenje kao činjenicu, jer puno stvari može biti rečeno u ime argumenata koje ne bi bilo mudro braniti kao istinu.“ [1]

Posljednje nedjelje prije Božića 1614. godine dominikanac Tommaso Caccini je žestoko napao kopernikanizam i Galilea tijekom propovijedi u crkvi Sv. Marije Novella u Firenci. Ismijao je Galilea citiravši odlomak iz Djela apostolskih iz Biblije: „Galilejci, što stojite i gledate u nebo?“ Spominjanje Galileje bila je sarkastična igra riječi.[6] Caccini je i općenito bio protiv matematičara i tražio je od svih kršćanskih zemalja da protjeraju sa svojeg područja te predstavnike zla. Usput rečeno, mnogi matematičari onoga vremena bavili su se alkemijom i astrologijom, zbog čega nije čudno što ih jedan svećenik tako žestoko napada.

Početkom 1615., nakon što je Galileo službeno bio prijavljen Svetoj Stolici za „sumnjive i nepromišljene“ izjave iz pisma Castelliju, u Napulju se pojavila publikacija „Pismo karmelićanina Paola Antonia Foscarinija: mišljenje o Pitagori i Koperniku“. Ta knjiga je uvjeravala da su biblija i kopernikanizam kompatibilni. Odgovor kardinala Bellarmina na to djelo bio je od iznimne važnosti. Bilo bi mudro kad bi se Foscarini i Galileo, napisao je Bellarmino, zadovoljili hipotetskim govorom. Reći kako „pretpostavka da se Zemlja miče, a Sunce stoji bolje objašnjava pojave“ nego tradicionalni sustav, nije samo „dobar govor“, nego i „ne sadrži opasnost u sebi.“ Naprotiv, tvrditi da Sunce zaista stoji u centru svemira, a Zemlja je ta koja se miče „vrlo je opasna stvar, ne samo zbog izazivanja svih teologa i skolastičkih filozofa, nego i zbog vrijeđanja naše svete vjere čineći Sveto Pismo lažnim.“[1]

2.9. Službena opomena

Prosinac 1615. godine zatekao je Galilea ponovo u Rimu. Izložio je svoje ideje u Pismu nadvojvotkinji Cristini di Lorena. Kardinalu Alessandru Orsiniju, piše „Raspravu o plimama“ koju je kasnije prepravio kao četvrti dan u „Dijalogu o dva glavna sistema“. Kako god bilo, svi njegovi planovi i lažne nade ubrzo su propale.

Godine 1616. Kopernikova knjiga „De revolutionibus orbium coelestium“ – „O vrtnji nebeskih sfera“ stavljena je na Index zabranjenih knjiga, on sam proglašen heretikom, a njegov nauk zabranjen. Dekret je također zabranio djela oca Foscarinija te bilo koju knjigu koja je podržavala kopernikanski nauk.

Galileo prima službenu opomenu Crkve da ne smije govoriti o heliocentričnom sustavu, niti ga istraživati. Neslužbeni zapis tog susreta, koji nisu potpisali sudionici i čini da je bio nedovršen, pokazuje kako je kardinal Roberto Bellarmino prvo upozorio Galilea, a odmah zatim i naredio, u ime pape i cijele inkvizicijske komisije, da „potpuno napusti propozicije, i niti da ih drži, niti brani ili naučava na bilo koji način usmeno ili pismeno.“[1] Mnogi povjesničari se slažu kako zapis tog susreta ne pokazuje što se zapravo dogodilo.

Tako su završeni događaji koje je pokrenula Lorinijeva optužba protiv Galilea, koji do sada nije bio osobno uključen, niti su njegova djela bila zabranjena. U svibnju 1616., nakon zlobnih insinuacija i glasina kako je bio prisiljen odustati i povući se iz znanstvenog i javnog života, Galileo moli kardinala Bellarmina za pisanu izjavu. Kardinal potvrđuje kako Galileo nikad nije bio prisiljen odreći se svojih razmišljanja niti da je kažnjen: samo je obaviješten o dekretu koji je donijela inkvizicija kako je kopernikanska teorija protivna Svetom Pismu i ne može je se, prema tome, „niti braniti niti držati.“[1] Ova izjava pokazala se bitnom u kasnijem suđenju Galileu.

2.10. Zatišje

Nakon turbulentne 1616. godine, Galileo se 1617. povlači u ladanjsku kuću u selu Bellosguardo nadomak Firenze i shrvan bolestima prestaje sudjelovati u javnom životu. Jedna od rijetkih utjeha bila je blizina samostana u kojem su zaređene njegove kćeri. Tamo ostaje promatrajući nebo u tišini, daleko od gradske vreve, šalje pisma zajedno sa svojim rukopisima europskim plemenitašima, ujedno se vješto pjesnički ograđujući. U pismu nadvojvodi Leopoldu je rekao:

„Smatram to pjesmom ili snom, i želim da ih Vaša Visost tako i shvati [...] ali čak i pjesnici svojim fantazijama daju neku vrijednost, pa je pridajem i ja svojim sanjarijama.“[6]

Godine 1618. na nebu su se pojavila tri kometa. Galileo je u suradnji s učenikom Mariom Giuduccijem, koji je pisao bilješke, izdao 1619. godine kratko djelo „Raspravu o kometima“ u kojoj se dijelom suprotstavlja teoriji Orazija Grassija i zauzima manje popularno aristotelovsko stajalište o kometima. Galileo je priznao kako je moguće mjerenje udaljenosti predmeta od Zemlje pomoću paralakse, ali je odbacio primjenu te metode na „prividne objekte.“ Komete je klasificirao kao optičke fenomene, kao sunčeve zrake koje se vide kroz oblake, a ne kao fizičke objekte.[1] Naravno, Grassi se našao uvrijeđen i napisao djelo „Astronomska i filozofska vaga“ u kojoj napada Galilea iako je potpisnik „Rasprave o kometima“ bio Mario Giuducci.

U vremenu nakon toga, umire prvo Galileijeva majka, a zatim i njegov pokrovitelj Cosimo II. Medici. Galileo unatoč tome ostaje u naklonosti toskanskog dvora pod pokroviteljstvom nasljednika Ferdinanda II. Medicija.

2.11. „Analitičar“

Galileov odgovor Oraziju Grassiju stigao je tek 1623. godine u obliku slavnog djela „Il Saggiatore“ – „Analitičar“, u kojem spominje Grassijev pseudonim u posprdnom tonu više od 200 puta. Podržavajući teoriju kometa kao „prividnih objekata“, Galileo je napao astronomiju Tycha Brahea* koji je vjerovao kako su kometi fizička tijela.[1] Ali skupo je platio napad na najvećeg astronoma svoga vremena: igrajući ulogu konzervativnog zastupnika aristotelizma zabrazdio je u gomilu nedosljednosti koje su mi se kasnije vratile u obliku napada protivnika.

„Analitičar“ je ipak sadržavao dvije proslavljene Galileove filozofske doktrine. Prva je proizašla iz serije razmatranja o tvrdnji: „gibanje je uzrok topline.“ Galileo je odbacio pretpostavku o toplini kao kvaliteti materije. Tvrdio je da je „sklon vjerovati“ kako je ono što percipiramo kao toplinu „mnoštvo malih čestica koji se miču velikom brzinom“ i njihov „kontakt s našim tijelima je osjetila senzacija koju nazivamo toplinom.“ Vatra tada nema drugih kvaliteta osim oblika, količine, gibanja i prodiranja čestica vatre, te senzacije

* Tycho Brahe (1546.–1601.) – danski astronom, Keplerov učitelj, unaprijedio je astronomska mjerenja kontinuiranim mjerenjem istog tijela, srednjom vrijednošću nekoliko istih mjerenja i uvođenjem finih nišana golemih dimenzija; uveo vlastiti sustav svemira

koju proizvode, suprotno aristotelovskom stajalištu. Galileo je izbjegavao koristiti termin atom i radije navodio najsitnije čestice, najmanji kvanti, čestice vatre ili vatrena tjelešca. Na kraju „Analitičara," Galileo ipak spominje „uistinu nedjeljive atome." [1]

Druga njegova doktrina bilo je uvjerenost da je svijet moguće matematički opisati:

> „Filozofija je napisana u ovoj velikoj knjizi – mislim na svemir, koja stoji neprestano otvoreno našem pogledu, ali ne može biti shvaćena ako prije ne naučimo razumjeti jezik i tumačiti likove koji je tumače. Napisana je jezikom matematike, a njezini likovi su trokuti, krugovi i ostali geometrijski likovi, bez kojih je ljudski nemoguće razumjeti niti jednu jedinu riječ, bez kojih lutamo kroz mračni labirint."[1]

Također, taj opis odražava stvarno stanje stvari, opisuje zbilju, a ne privid i zaista može reći nešto o stvarnoj konstituciji dijelova svemira i prikazati fizičku strukturu svijeta. Prema tome ne treba se zadržavati na formuliranju hipoteza i govoriti hipotetski, jer to nisu hipoteze nego stvarnost.

Galileo je ovim djelom stekao iznimno moćnog neprijatelja – cijeli isusovački red.

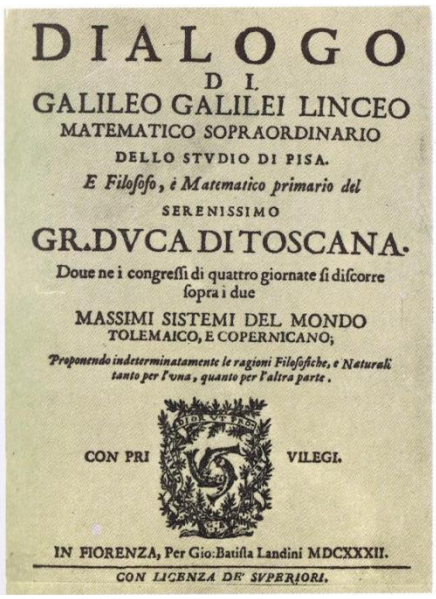
2.12. „Dijalog o dva glavna sustava svijeta: ptolomejevom i kopernikovom"

Iste godine Maffeo Barbierini postao je novi papa Urban VIII. koji je bio Galileijev poklonik, ali je inzistirao na hipotetskom govoru. Svejedno, predstavljao je novu pozitivnu klimu. Galileo ga je posjetio i predstavio mu rukopis svojeg novog djela „Dijalog o dva glavna sustava svijeta: ptolomejevom i kopernikovom" kojeg zbog zavlačenja cenzora nije izdan sve do 1632. u Galileovoj 68. godini života, kada je tekst napokon u cijelosti odobren.

Galileo u predgovoru započinje blagim govorom o raspravi koju donosi u vidu matematičkih hipoteza. U samom djelu, tri čovjeka vode raspravu u venecijanskoj palači plemića Giovannija Francesca Sagreda, Galileijevog prijatelja i istomišljenika. Jedan od sugovornika je sam Sagredo koji igra ulogu duhovitog i ironičnog slobodoumnog mislioca. Drugi sugovornik je Firentinac Filippo Salviati, također stvarna osoba i također Galileov prijatelj i učenik, koji igra ulogu predanog kopernikanca, znanstvenika snažnih uvjerenja i racionalnog uma. Treći sudionik rasprave je izmišljeni Simplicius, aristotelovski branitelj tradicije. Nije naivan ni neuk, brani poredak za koji vjeruje da je nepromjenjiv i zbog čega se boji svih ideja koje mu prijete: „cilj ovog načina filozofiranja je srušiti sve prirodne

filozofije, i osvetiti pustošenje neba zemlje i cijelog svemira.“[1] Salviati također predstavlja javnost kojoj je „Dijalog“ upućen. S obzirom da je pisan na govornom talijanskom jeziku, a ne na latinskom, čitatelji nisu trebali biti profesori kao Simplicius, nego članovi dvora, viših klasa, kler i nova klasa intelektualaca. Rasprava se događa kroz četiri dana: prvi dan je posvećen propasti Aristotelovske kozmologije, drugi dnevnoj rotaciji Zemlje, treći godišnjoj rotaciji Zemlje oko Sunca i četvrti „fizičkom dokazu“ gibanja Zemlje pomoću Galileove teorije plime i oseke.[1]

U ovom djelu, u potpunosti je izbacio i zanemario sustav Tycha Brahea koji je Zemlju postavio u središte svijeta jednako kao i Aristotel, ali nasuprot njemu, Sunce se okreće oko Zemlje, a svi ostali planeti oko Sunca.


DIALOGO
DI
GALILEO GALILEI LINCEO
MATEMATICO SOPRAORDINARIO
DELLO STVDIO DI PISA.
E Filoſofo, è Matematico primario del
SERENISSIMO
GR. DVCA DI TOSCANA.
Doue ne i congreſſi di quattro giornate ſi diſcorre ſopra i due
MASSIMI SISTEMI DEL MONDO
TOLEMAICO, E COPERNICANO,
Proponendo indeterminatamente le ragioni Filoſofiche, e Naturali tanto per l'vna, quanto per l'altra parte.
CON PRI VILEGI.
IN FIORENZA, Per Gio: Batiſta Landini MDCXXXII.
CON LICENZA DE' SVPERIORI.

Slika 6.: Naslovnica „Dijaloga“ iz 1632. godine [10]



Slika 7.: Naslovna stranica „Dijaloga“ iz 1635. godine [5]

2.13. Optužnica, suđenje i presuda

U predgovoru „Dijaloga,“ Galileo izlaže papinu „anđeosku nauku“ prema kojoj uzroci prirodnih fenomena ne moraju uvijek biti ono što je očito te je zato mudro raspravljati o njima u vidu znanstvenih hipoteza. U tom istom predgovoru tvrdi i da je cijela knjiga zamišljena kao matematička hipoteza, a ne opis zbilje. Sam tekst knjige, ipak, nije imao taj ton. Aristotelovac Simplicius jedini se poziva na anđeosku nauku, što su

Galileovi neprijatelji iskoristili i bez problema uvjerili Urbana VIII. kako je to namjerno ruganje papinu autoritetu.

Firentinska inkvizicija naredila je suspenziju prodaje „Dijaloga“ i pozvala Galilea u Rima. Zbog haranja kuge Italijom i bolesti samog Galilea, odlazak je odgođen do veljače 1633. godine. Na suđenju mu je rečeno kako njegov zločin nije bilo pisanje „Dijaloga“ nego izdavanje djela za koje nije obavijestio izdavača o opomeni iz 1616. godine koja mu zabranjuje naučavanje i obranu kopernikanske nauke na bilo koji način. Do kraja suđenja, Galileo je zadržao stav da je od kardinala Bellarmina dobio samo obavijest, ne i opomenu Crkve. Sam kardinal je kasnije povukao nepotpisani dokument koji je svjedočio tome. Suci su, uz to, tvrdili kako Galileo „ne samo da podržava kopernikansku teoriju argumentima nikad iznesenim do sada, nego to još čini na talijanskom jeziku [...] gdje njegova greška ima najbolje šanse uloviti neuke mase.“ Štoviše, Galileo je pokušao prijeći preko profesionalnih granica postavljenih matematičarima: „Autor tvrdi kako će predstaviti matematičke hipoteze, ali on donosi fizikalnu realnost, nešto što niti jedan matematičar ne bi učinio.“[1]

Mjesec dana kasnije, nakon drugog saslušanja, inkvizicija je donijela svoj pravorijek. U presudi je pisalo: „Da Sunce jest središte svemira i da se ne miče sa svojeg mjesta jest ideja koja je apsurdna i pogrješna *u filozofiji*, i heretička; izravno suprotna Svetim tekstovima. Da Zemlja nije središte svemira ni nepomična, već da se kreće, i da rotira, također je prijedlog pogrješan *u filozofiji*, te ga smatramo [...] pogrješnim *u vjeri.*“[6]

Tog istog dana, 22. lipnja 1633., Galileo je kleknuo pred kardinale i javno abjurirao pod prisegom: „[...] odričem se iskrenog srca i bez mentalne ograde, proklinjem i prezirem navedene pogrješke i hereze [...] I prisežem da u budućnosti neću niti izjaviti niti potvrditi govorom ili pisanjem takve stvari koje bi mogle na mene baciti sličnu sumnju i da ću ga, ako doznam za nekog heretika, razotkriti pred ovim Svetim oficijem.“[6]

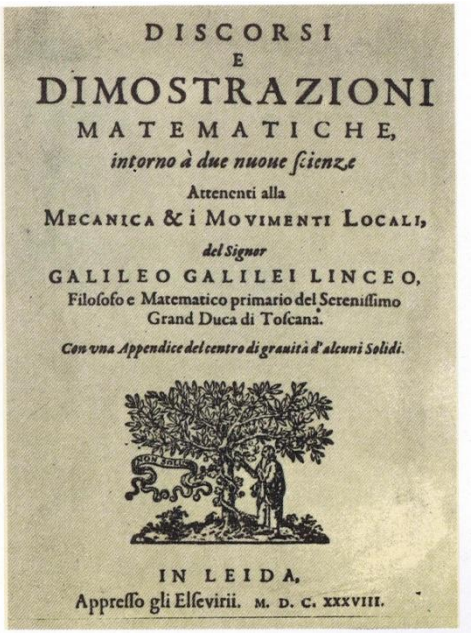
Presuda je uključivala zatvorsku kaznu, Galileijevo odvajanje od javnosti i zatvaranje u samoću, čak i nije bilo bitno gdje i na koji način. Tako je Galileo prvo vrijeme proveo u kućnom pritvoru u Sienni kod nadbiskupa Ascanija Piccolominija, a poslije mu je dopušteno vratiti se na svoje imanje u Arcetri gdje mu je naređeno da živi povućeno i „niti objeduje niti razgovara“ s mnogim ljudima. Tamo je dočekao smrt svoje kćeri Marie Celeste 1634. godine koja ga je nemalo rastužila.

Krajem 1637., Galileo je počinje gubiti vid:

„Ovaj raj, ova Zemlja, ovaj svemir, koji sam ja, svojim čudesnim otkrićima i jasnim demonstracijama, povećao stotine tisuća puta više od nada mudrih ljudi iz prošlih vremena, sada su zbijeni u maleni prostor koji ispunjavaju samo moji tjelesni osjećaji.“[6]

2.14. „Rasprave i matematičke demonstracije o dvije nove znanosti“

Prije nego što je u potpunosti izgubio vid, Galileo je završio svoju posljednju knjigu „Rasprave i matematičke demonstracije o dvije nove znanosti.“ Konstrukcija djela je slična kao i u „Dijalogu“ zbog kojeg je osuđen: ista tri lika u nekoliko dana raspravljaju, ali ovaj put o pitanjima fizike koja nisu povezana s astronomijom. U prva dva dana raspravlja se o jakosti materijala, trećeg dana raspravlja se o jednolikom gibanju konstantnom brzinom i prirodnom ubrzanom gibanju, a četvrtog o naglim gibanjima i putanjama projektila. Salviati naglas čita traktat koji je napisao njegov prijatelj Akademik, a čitanje se prekida samo povremeno pitanjima sugovornika. Djelo je prokrijumčareno i izdano 1638. godine u Njemačkoj. Peti i šesti dan koji se odnose na Euklidovu teoriju proporcija i sili udara objavljeni su posthumno 1774., odnosno 1718. godine.


DISCORSI
E
DIMOSTRAZIONI
MATEMATICHE,
intorno à due nuoue ſcienze
Attenenti alla
MECANICA & i MOVIMENTI LOCALI,
del Signor
GALILEO GALILEI LINCEO,
Filoſofo e Matematico primario del Sereniſſimo
Grand Duca di Toſcana.
Con vna Appendice del centro di grauità d'alcuni Solidi.
IN LEIDA,
Appreſſo gli Elſevirii. M. D. C. XXXVIII.

Slika 8.: Naslovna stranica „Rasprave“ iz 1638. godine [10]

2.15. Posljednji dani

Galileo je do posljednjih godina nastavio pisanu korespondenciju s važnijim ljudima svoga vremena. Njegov vjerni prijatelj Benedetto Castelli, zajedno s učenicima Vinzenzom Vivianijem i Evangelistom Torricellijem*, dočekao je prije zore, 8. siječnja 1642., smrt svoga genijalnog učitelja. Kako bi se izbjeglo „sablažnjavanje dobrih ljudi," procijenjeno je neprikladnim sagraditi „veličanstveno i raskošno počivalište" za njegove posmrtne ostatke. Papin nećak napisao je da bi bilo neprilično „sagraditi mauzolej tijelu nekog tko je bio osuđen pred Tribunalom svete Inkvizicije i tko je umro služeći kaznu."[1]

Godine 1737. njegovi posmrtni ostaci preneseni su, uz počasti, na prikladnije mjesto u crkvi Santa Croce.

Napušteni su mnogi, često puta nespretni, pokušaji ponovne provjere i opravdavanja optužbi protiv Galilea. Papa Ivan Pavao II., 30. studenog 1979. godine, objavio je na skupu Papinske akademije znanosti, na stogodišnjicu Einsteinovog rođendana, da je Galileo „mnogo propatio [...] u rukama ljudi i institucijskih organa Crkve" i izjavio da se po njegovom mišljenju „dogodio pogrešan čin" koji je Vatikan već osudio.[1]

* Evangelista Torricelli (1608. – 1647.) – talijanski fizičar, bavio se mehanikom, geometrijom, hidraulikom, konstruirao barometar, izrekao Torricellijev zakon istjecanja fluida iz posude, prvi znanstveno opisao pojavu vjetra

3. Aristotelova teorija gibanja, srednji vijek

Aristotel (384. pr. Kr. – 322. pr. Kr.) je bio starogrčki filozof, Platonov učenik koji je i sam osnovao vlastitu, takozvanu peripatetičku školu. Njegova filozofija obuhvaća sva glavna područja interesa ljudskog duha. Imao je smisao za organizaciju istraživačkog rada i sintezu postignutih rezultata te je pod njegovim vodstvom škola djelovala kao istraživačko središte i ostvarila sintezu cjelokupnog znanstvenog iskustva Grčke. Sistematizirao je dotadašnju filozofiju; uvijek najprije daje povijesni pregled i kritiku različitih gledišta o kakvom problemu da bi na kraju izložio svoje poglede. Tvorac je tzv. „klasične logike“ kao pripreme za svaku znanost i filozofiju. Prije njega su postojali nepovezani elementi, a on je tu pouku o oblicima i načelima znanstvenog mišljenja zasnovao u takvom obliku da sve do moderne simboličke – matematičke logike nije ostvarila bitan napredak. [9] Njegova je filozofija, uz neke prilagodbe kršćanskom načinu razmišljanja, ostala dominantna do razdoblja renesanse.

3.1 Svijet kao organizam

Ponašanje neživih objekata i prirodne pojave Aristotel objašnjava preko analogije sa živim bićima koja imaju svoju određenu narav, to jest, svijet se zamišlja nalik živom organizmu. Aristotel nije nežive stvari smatrao živima, nego mu se činilo kao da su i nežive stvari u svom prirodnom ponašanju usmjerene prema nekom cilju, svaki objekt ima svoju narav, stremljenje ili cilj. [3] To jest, kamen se kreće prema svojem prirodnom mjestu koje mu je svojstveno jednako kao što je ptici svojstveno graditi gnijezdo na grani, a ne u ribnjaku. Ta narav čini da se objekt ponaša na svoj uobičajen, predvidiv način. Rast i razvoj bioloških organizama objašnjava se upravo tom nutarnjom pokretačkom snagom. Žir postaje drvo hrasta jer mu je to u naravi. Ali teorija je primjenjiva šire od biološkog rasta i šire od biološke zbiljnosti uopće. Psi laju, stijene se odlamaju, mramor se podlaže čekiću i dlijetu po svojoj naravi. Na kraju, svaka promjena i kretanje u svemiru može se pratiti unatrag sve do naravi stvari.[4] Svaka stvar djeluje prema svojoj svrsi, uvijek je upravljena prema nekom cilju. Aristotelova fizika je nastala iz perspektive cjeline, svijet je cjelovit i svrhovit, a smisao izlazi iz cjelovitosti. Svaka stvar je u službi cjeline i ispunjava svoju svrhu u odnosu na cjelinu. Aristotelov svijet nije inertan mehanički svijet atomista u kojem pojedini atom slijedi vlastiti smjer bez veze i odnosa s drugim atomima. Aristotelov

svijet nije svijet slučajnosti, već zakonitosti. On je organizirani svijet, svijet sa svrhom u kojem se stvari kreću i oblikuju u smjeru koji određuje njihova narav.[4]

Bilo bi nepravedno i besmisleno suditi Aristotelov uspjeh prema stupnju anticipacije moderne znanosti.[4] Često se tvrdi da su Aristotelovi pogledi na pitanja fizike zamrznuli svako razmišljanje do vremena renesanse, što nije točno. Filozofi srednjeg vijeka su razmišljali drukčije. Unatoč tome, mnogi su uzeli Aristotelov rad kao dogmu. Nakon njega, često su se pitanja, čak i o činjenicama, radije rješavala pozivanjem na njegove principe nego opažanjem. Takav postupak ne omogućuje dovođenje premisa u pitanje ili spremnost na njihovo modificiranje. Uspon prema znanosti kakvu poznajemo danas omogućen je prelaskom s organskog na mehanički pogled na svijet. [3]

3.2. Znanje i osjetilno iskustvo

Za Aristotela je realnost povezana s objektima i osjetilnim iskustvom. Sva znanja stečena su logičnim razmišljanjem zasnovanim na istini i nužnim prvim principima koje smo spoznali kroz osjetilno iskustvo i promatranje. U svojoj „Fizici“, djelu o prirodnoj znanosti, piše:

> „Budući se znanje i razumijeće događaju pri svim istraživanjima, od kojih postoje počela ili uzroci ili načela, kad se ti spoznaju (tada pak mnijemo kako upoznajemo neku pojedinost kad spoznajemo njezine prve uzroke i prva počela i sve do načela), bjelodano je kako se i u znanosti o naravi prvo mora pokušati odrediti ono što se tiče počela. Naravan je put od stvari koje su nama spoznatljivije i jasnije do onih što su naravlju jasnije i spoznatljivije. Jer nisu iste stvari nama spoznatljivije i one naprosto (spoznatljive). Zbog toga je nužno napredovati tim načinom: od onih koje su naravlju nejasnije, a nama jasnije, do stvari što su naravlju jasnije i spoznatljivije. A nama su prvo jasne i bjelodane stvari koje su više zbrkane. A tek poslije iz tih, pošto se one razluče, postaju nam poznata načela i počela. Zbog toga treba napredovati od općenitosti prema pojedinačnostima. Jer cjelina je prema sjetilnosti spoznatljivija, a općenitost je nekakva cjelina; općenitost, naime, obuhvaća mnoge stvari kao dijelove.“ [11]

Prema tome, svako znanje koje imamo potječe iz vanjskog svijeta. To znanje možemo generalizirati, apstrahirati te induktivno* izvoditi zaključke. Jednom kad dođemo do općeg zakona, možemo dedukcijom** izvoditi zaključke o posebnom koje ne poznajemo. Aristotel je počinjao od očite istine i dalje nastavljao logičkim razmišljanjem. Cijelu svoju filozofiju temeljio je na promatranju očitih primjera iz kojih je uopćavao zaključke i primjenjivao ih na primjerima koji su manje očiti.

3.3. Opažanje nasuprot eksperimentu

Stavljajući naglasak na osjetilno iskustvo i podatke iz realnog svijeta kao početak razmatranja, Aristotel nastavlja prema općenitim pravilima i zakonima. Uvijek mora postojati iskustven dio razmatranja o bilo kojem općenitom pitanju u osjetilnom svijetu.

Opservacija ili opažanje je čin kad netko pažljivo razmatra, primjećuje obilježja i vodi zabilješke o nekoj pojavi izloženoj osjetilima. Na primjer, promatranje ljudi u svakodnevnim okolnostima, gledanje kako funkcioniraju, što ih motivira, što ih čini sretnima, je opažanje. Kod eksperimenta, nasuprot tome, znanstvenik stvara novu i kontroliranu situaciju u prirodi i zahtijeva odgovor, to jest, reakciju prirode. Na primjer, izolacija ljudi iz njihovih normalnih okruženja i proučavanje njihovih reakcija na određene kontrolirane pozitivne ili negativne podražaje je eksperiment.[3]

Jednako kao što izdvajanje nekog malog dijela prirode nema puno smisla jer je odvajanjem od cjeline odijeljen od smisla i svrhe, za Aristotela ni eksperiment nije prihvatljiv za objašnjavanje prave naravi predmeta. Aristotel je vjerovao kako se narav stvari otkriva kroz ponašanje te stvari u njenom prirodnom stanju, stoga bi umjetne intervencije samo ometale prirodan razvoj. [4] Eksperiment je puko mučenje prirode. Eksperiment ne otkriva *ništa* o naravi što ne bismo mogli naučiti na neki drugi način, samo nas može dovesti u zabludu – da umjetno izazvano ponašanje proglasimo prirodnim.

Kada za Aristotela kažemo da je bio pažljiv promatrač, ne podrazumijevamo da su njegovi zaključci jednako pouzdani na svim područjima. Kasnije vrijeme kritiziralo je Aristotela zbog njegovog karakterističnog prelaska s početnog razmatranja specifičnih slučajeva na dalekosežne općenite zaključke. Neki Aristotelovi radovi iz područja etike ili biologije bili su tijekom vremena podvrgnuti temeljitom ispitivanju i pokazali se

*Indukcija – logičko zaključivanje od posebnog slučaja prema općim zakonitostima
** Dedukcija – logičko zaključivanje od općih zakonitosti prema posebnim slučajevima

ispravnima, dok su se neki drugi pokazali prilično lošima, kao razmišljanja o padanju tijela ili gibanju projektila.[3]

Eksperimentalna znanost se ne pojavljuje kada je, napokon, ljudska rasa dala nekog dovoljno pametnog da shvati kako umjetni uvjeti mogu pomoći u istraživanju prirode, već kad su filozofi prirode počeli postavljati pitanja na koja takav postupak (umjetni uvjeti eksperimenta) obećava ponuditi odgovore. [4]

3.4. Promjena

U antičko vrijeme glavni je problem bio problem promjene. Sva promatrana tijela prolaze kroz proces promjene. Zbog toga je Aristotel opisao promjene pomoću 4 uzroka i 2 načina postojanja.

Aristotelovi prethodnici ustanovili su dvije kategorije – postojanje i nepostojanje, bitak i nebitak. Zaključili su kako ne može biti promjene iz nebitka u bitak, ne postoji prijelaz iz nebitka u bitak. Nešto ne može nastati iz ničega jer sve što postoji možemo zamisliti, a ono što ne postoji, ne možemo ni zamisliti. Aristotel bi se složio da ako su jedine dvije mogućnosti postojanje i nepostojanje, to jest, ako stvari ili postoje ili ne postoje – onda prijelaz, primjerice, iz ne-vrućeg u vruće zaista uključuje prijelaz iz nepostojanja u postojanje (iz nepostojanja vrućeg u postojanje vrućeg). [4] Ali on donosi malo promijenjenu sliku i dodaje još jednu kategoriju – mogućnost postojanja (možni bitak). Tako njegova kategorizacija uključuje: nepostojanje (nebitak), mogućnost postojanja (potencijalnost, možni bitak) i samo postojanje (zbiljnost, aktualnost). Ako je stanje stvari takvo, promjena se može odvijati između možnog bitka i zbiljskog bitka, tj. između potencijalnosti i aktualnosti, bez uključivanja pojma nebitka. Aristotel, jednako kao i neki njegovi prethodnici, odbacuje mogućnost početka inzistirajući na tome da je svemir vječan. Alternativu da je svemir započeo postojati u nekom trenutku, smatra neodrživom idejom koja krši nemogućnost postanka nečega iz ničeg. [4]

Iako nam ovi argumenti dozvoljavaju da se ne zadržavamo na logičkim dilemama povezanima s idejom promjene, ipak nam ništa ne govore o uzroku promjene. Zašto bi se drvo radije promijenilo iz mogućnosti da bude drvo, u postojanje i bitak zbiljskog drveta, ili objekt promijenio iz crnog u bijelo, nego ostao u svom izvornom stanju? Ovo nas dovodi do Aristotelovih ideja o naravi i uzročnosti (kauzalnosti).[4] Da bi se razumjela

promjena ili nastanak objekta, potrebno je upoznati uzroke (najbolje prevedeno s latinskog: „faktori i uvjeti koji donose objašnjenja“). Aristotel uočava četiri uzroka:

1. Forma koju stvar poprima,
2. Materija od koje je stvar građena, koja podupire tu formu i koja opstaje kroz promjene,
3. Čimbenik koji unosi promjenu,
4. Svrha uzrokovana/postignuta promjenom,

te ih naziva:

1. Formalni uzrok – ideja (*causa formalis*),
2. Tvarni (materijalni) uzrok – materija (*causa materialis*),
3. Djelatni uzrok – pokretački uzrok (*causa efficiens*),
4. Svršni (finalni) uzrok – svrha (*causa finalis*).

Najjednostavniji je primjer izrada skulpture. Formalni uzrok (forma) je oblik koji će biti dan skulpturi, tvarni uzrok (materija) je mramor koji će poprimiti oblik pri čemu je djelatni uzrok kipar, a svršni uzrok je svrha za koju je skulptura napravljena (npr. slavljenje božice Atene). Ponekad je uzroke teško razlikovati, no Aristotel je bio uvjeren da ova četiri uzroka nude analitičku shemu općenite promjenjivosti. [4]

Aristotel i njegovi srednjovjekovni sljedbenici razlikovali su četiri vrste promjene:

1. Promjena bivstva, nastajanje i nestajanje
2. Promjena kvalitete
3. Promjena kvantitete
4. Promjena mjesta ili lokalno gibanje [4]

Nastajanje i nestajanje jasno je samo po sebi. Promjena kvalitete je, na primjer, kad hladan objekt postane topao. Promjena kvantitete označava, na primjer, promjenu veličine kao kod zgušnjavanja i razrjeđivanja. Pod promjenom mjesta ili lokalnim gibanjem smatra se promjena položaja u odnosu na druge objekte u prostoru.

3.5. Gibanje

Gibanje u aristotelskoj fizici konceptualno je drukčije od pojma gibanja u modernoj fizici. Gibanje je općenito bilo definirano kao bilo koji prijelaz iz potencijalnog u zbiljsko stanje, bilo u fizičkim pojavama, bilo u pojavama koje danas smatramo kemijskim ili biološkim. Gibanje je smatrano procesom ili stvaranjem, ali nikako stanjem. Aristotel je

smatrao da tijelo u gibanju ne mijenja isključivo svoj položaj u odnosu na druga tijela, već je i samo predmet promjene. [1]

Lokalno gibanje, tj. promjena mjesta jednog tijela u odnosu na druga tijela, samo je primjer puno šireg pojma promjene. Aristotel je rast i razvoj biljke ili učenje smatrao gibanjem jednako kao i slobodni pad. Dapače, to su bili bolji primjeri procesa koji je on smatrao gibanjem. Kao što sjeme svoj puni potencijal ostvaruje izrastanjem u drvo, tako i teško tijelo ostvaruje u potpunosti svoj potencijal pomicanjem prema svojem prirodnom mjestu. Gibanje je proces koji uključuje samu bit tijela, njegovu vlastitu esenciju. Njegova se bit gibanjem pokreće i ispunjava.[2]

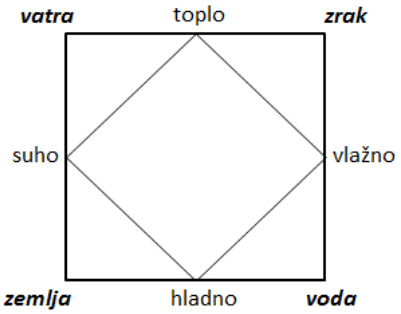
3.6. Podjela svemira

S obzirom da su se promjena i propadanje vidjeli na Zemlji, ali ne i na nebeskim tijelima koja su promatrana golim okom, činilo se da se ta dva područja ponašaju na različit način. Iz oblika Zemljine sjene koja se vidi na Mjesecu za vrijeme pomrčine, Aristotel je zaključio da je Zemlja okrugla. Aristotel smatra svemir velikom sferom podijeljenom na gornji i donji dio Mjesečevom sferom u kojoj se nalazi Mjesec.[4] Područje ispod lunarne sfere u kojoj se nalazi Mjesec nazvano je sublunarnim ili terestrijalnim (zemaljskim) te podliježe promjeni i nepostojanosti, a područje iznad lunarne sfere, nazvano supralunarnim ili celestijalnim (nebeskim), nepromjenjivo je, nepropadljivo i vječno. Zemaljski svijet bio je svijet rađanja i umiranja, stvaranja i propadanja. Na nebesima, naprotiv, ništa nikad nije rođeno ili pokvareno. [1] Ova shema ima svoje podrijetlo u promatranju, kako vidimo u djelu „O nebu“ gdje tvrdi da u svoj povijesti promatranja neba nemamo dojava o promjenama, stoga nema zemaljskih elemenata u nebu.[4]

3.6.1. Fizika sublunarnog područja

Aristotel je, kao i njegovi prethodnici, tražio osnovne elemente na koje bi mnoštvo supstancija ili bivstava moglo biti podijeljeno. Bivstvo je sve što postoji kao različito od onoga čime je okruženo i što ne treba niti jedno drugo biće za svoje opstojanje.

Prihvatio je Empedoklova* četiri elementa – vatru, vodu, zemlju i zrak – i pridružio im četiri „osjetilne kvalitete“ – toplo, hladno, vlažno i suho. Svaki element opisan je parom kvaliteta. Tako je voda vlažna i hladna, zemlja suha i hladna, vatra suha i topla, a zrak topao i vlažan.



Slika 9.: Povezanost elemenata i kvaliteta

Budući da je svaki objekt sačinjen od forme i materije, Aristotel smatra da se forma objekta koji podlegne promjeni mijenja procesom zamjene. Nova forma zamjenjuje staru, dok se tvar tog bivstva ne mijenja, njegova materija ostaje ista. Forma i materija se mogu razlikovati pomoću razuma, ali u realnom svijetu iskustva nisu odvojivi. [3] Tvar i oblik bivstva u realnom svijetu se ne mogu razdvojiti na dvije zasebne cjeline. Promjena forme događa se između dva para suprotnosti, od koje je jedna forma koja će biti postignuta, a druga je njezina negacija, manjak prve. Kada suho postane vlažno ili hladno toplo, to je promjena iz negacije – nedostatka (suho, hladno) u ciljnu promjenu forme (vlažno ili toplo). Promjena nikad nije otvorenog kraja, nego završava u uskom koridoru spojenih parova suprotnih kvaliteta. Red se, stoga, razabire usred promjene. Pod vanjskim utjecajem, bilo koje od četiri kvalitete postaju svojom suprotnošću. Još k tome – ako se vodu grije tako da hladna prelazi u toplu, ona se pretvara u zrak. Takav proces lako objašnjava promjene stanja (iz čvrstog u tekuće pa plinovito i suprotno), također i mnogo općenitije promjene jedne supstancije u drugu. [4]

* Empedoklo (~490. – ~430.pr.Kr.) – starogrčki filozof, tumačio promjenu pomoću 4 elementa i 2 principa (ljubav i mržnja) koji su fizičke i materijalne sile, kaže da je cjelina propadljiva, ali elementi od kojih se sastoji su neuništivi te sve nastaje miješanjem i razdvajanjem elemenata koji su nepromjenjivi.

3.6.1.1. Prirodno lokalno gibanje (prirodna promjena mjesta)

Realizacija potencijalnog je aktualno. Prema tome, element je u potpunosti aktualan jedino na svom prirodnom mjestu i svaka stvar zbog toga svojim prirodnim lokalnim gibanjem, tj. prirodnom promjenom mjesta, teži k svojem prirodnom mjestu. [3] Prirodno mjesto je ono mjesto koje zauzima i na kojem se nalazi određeni element kad na njega ne utječe ništa vanjsko. Prirodno lokalno gibanje je ona vrsta lokalnog gibanja koje izvodi tijelo kad na njega nema vanjskih utjecaja i djelovanja.

U svojem djelu „O nebu“, Aristotel tvrdi da prirodno lokalno gibanje tijela proizvodi njegova težina (ili lakoća) i da se put koji dano tijelo pri prirodnoj promjeni mjesta prelazi u određenom vremenu povećava s njegovom težinom. [3] Zemlja je apsolutno teški element i teži prema središtu svijeta. Svako teško tijelo građeno je pretežno od zemlje i zato pada prema svojem prirodnom mjestu, to jest, prema dolje. Prema tome, prirodno gibanje je intrinzično – svojstveno tijelu. [1] Što je tijelo teže – brži je pad prema dolje, to jest treba manje vremena da dođe do tla. Brzina tijela proporcionalna je njegovoj težini: ako u isto vrijeme ispustimo tijelo težine x i tijelo težine $2x$, tijelo težine $2x$ past će prvo, a tijelu težine x trebat će dvostruko više vremena kako bi palo na zemlju. Tijelo većinom građeno od zemlje giba se to brže, što je bliže svojem prirodnom mjestu.[3]

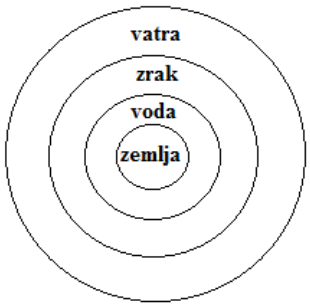
Sredstvo kroz koji se giba tijelo dok pada, također je bitan faktor Aristotelove teorije promjene mjesta i mora se uzeti u obzir kod određivanja brzine padajućeg tijela. [3] Općenito se smatralo kako je brzina padajućeg tijela (koja je direktno proporcionalna njegovoj težini) obrnuto proporcionalna gustoći sredstva kroz koje se kreće. U praznini ili vakuumu (prostoru bez gustoće), gibanje bi bilo trenutačno, a brzina beskonačna, zbog čega bi se tijelo moglo nalaziti na više mjesta u istom trenutku.[1] Pravi vakuum za Aristotela nije moguć, između ostaloga i stoga jer u njemu ne bi bila moguća nikakva promjena mjesta, nikakvo lokalno gibanje. [3] Ovo su bili snažni argumenti u prilog kontinuiranoj ispunjenosti prostora i protiv postojanja praznine.

Teško tijelo pada kako bi ispunilo svoj potencijal (mogućnost) – okupljanje s ostalim teškim tijelima oko središta svemira, a blok mramora ima potencijal da se oblikuje u bilo koji oblik koji oblikovatelj izabere.[4] Svako tijelo bačeno u vis opet pada pravocrtno prema dolje, prema Zemlji, iz čega slijedi zaključak da je mjesto našeg planeta u središtu svemira, gdje on miruje. Nepomičnost Zemlje temeljila se na prividnim položajima zvijezda, tj. na neopažanju paralakse zvijezda. Osim toga, moglo se lako

izračunati da bi obodna brzina na Zemljinoj površini trebala biti velika ako Zemlja rotira, a mi ne primjećujemo nikakve učinke takvog brzog gibanja. [1]

Prirodno lokalno gibanje elementa zemlje kojim on teži k svome prirodnom mjestu je pravocrtno – ravno prema dolje. Vatra je apsolutno lagan, tj. najlakši element i teži prema svome prirodnom mjestu koji se nalazi na rubovima sublunarnog područja, odmah ispod lunarne sfere koja ga omeđuje i na kojem se nalazi Mjesec. [3] Prirodno je gibanje vatre pravocrtno – ravno prema gore. Pod lakoćom elementa, Aristotel nije mislio da je nešto jednostavno manje teško, nego da je lagano u apsolutnom smislu – lakoća nije manja težina, nego njezina suprotnost. [4] Voda kao relativno težak element zauzima svoje prirodno mjesto oko kugle zemlje, a zrak je relativno lagan element i prirodno popunjava koncentričnu sferu odmah ispod vatrene. Prirodna gibanja vode i zraka su također pravocrtna. Voda i zrak su „intermedijanti“ – posrednici u području između ekstrema, zemlje i vatre.[3] U trenutku kad se tijelo nađe na svom prirodnom mjestu, ono postaje nepokretno i više se ne giba osim ako ga neki vanjski pokretač ne natjera na gibanje.

Od navedenih elemenata građeni su svi objekti na Zemlji. Objekt izvodi lokalno gibanje svojstveno elementima od kojih je građen, u mjeri u kojoj je prisutan određeni element. Teži predmeti su građeni u većoj mjeri od zemlje i, prema tome, padaju brže od lakših predmeta. Kad u svijetu ne bi postojali miješani objekti, zbog prirodnih mjesta čistih elemenata idealno sublunarno područje izgledalo bi kao prikazano na slici 10.



Slika 10.: Slika sublunarnog područja u idealnom slučaju

3.6.1.2.Prisilno lokalno gibanje

Padanje je objašnjeno prirodnom težnjom tijela prema središtu svijeta, lebdenje lakoćom tijela, dok je za gibanje u bilo kojem drugom smjeru potreban pokretač u konstantnom kontaktu s tijelom koje se giba.

Aristotel je svoju mehaniku zasnivao na principu koji je sam po sebi očit zdravom razumu, kao i nepokretnost zemlje. Budući da svako lokalno gibanje po našem svakidašnjem iskustvu zahtijeva uzrok – tijelo se giba onoliko, i samo toliko, koliko ga nešto pomiče.[2] Lokalno gibanje traje dok na tijelo djeluje neki pokretač koji održava gibanje. Pokretač pokreće tijelo protivno njegovoj naravi i zato se takvo gibanje zove prisilno gibanje. Prestane li pokretač djelovati, tijelo se više ne giba. Nepotrebno je tražiti objašnjenje za stanje mirovanja jer je mirovanje prirodno stanje tijela. Gibanje (bilo koja vrsta, bilo prirodno ili prisilno) neprirodno je i privremeno je stanje tijela (s iznimkom „savršenog" kružnog gibanja nebesa) te prestaje čim više ne djeluje pokretač. [1]

Pokretač daje tijelu određenu brzinu. Aristotel se nije koristio pojmom brzine kao mjere lokalnoga gibanja, nego udaljenošću i vremenom pomoću kojih je uspoređivao lokalna gibanja različitih tijela. Pojam brzine u suvremenom smislu (omjer puta i vremena) nije poznavao. Unatoč tome, ustvrdio je kako brže tijelo prijeđe veći put u istom vremenu ili isti put u kraćem vremenu, dok tijela jednakih brzina prelaze isti put u istom vremenu.

Ako na tijelo djeluje veća pokretačka sila, brzina koju ima tijelo bit će veća. Ako se uzme konstantna sila, tijelo se giba to sporije što je veća težina. Teže tijelo će se gibati sporije od lakšega i obrnuto. Ista pokretačka sila će tijelo upola manje težine pomaknuti za dvostruko veću udaljenost u jednakom vremenu ili za jednaku udaljenost u upola manjem vremenu. Ili će upola manja pokretačka sila pomaknuti upola manju težinu za jednaku udaljenost u istom vremenu. [4] Cijeli koncept prisilnog gibanja zasnovan je na primjeru kola koje vuče konj – kad stane konj, stat će i kola.

Očita teškoća bila je u činjenici da lukom izbačena strelica nastavlja gibanje i nakon što nit prestane djelovati na nju. Aristotel to objašnjava pritiskom zraka kojeg je potisnula nit i koji dalje gura strijelu. [10] Sredstvo kroz koji se giba tijelo određuje koliko i kako dugo će se tijelo gibati. Kod prisilnog lokalnog gibanja sredstvo služi u isto vrijeme i kao uzrok gibanja i kao nešto što pruža otpor tom istom gibanju.

U shvaćanju prisilnoga gibanja kao uvijek uzrokovanog pokretačem nalazimo temelj za argument protiv rotacije Zemlje. Ako se Zemlja vrti, predmet bačen ravno u vis morao bi pasti na sasvim drugo mjesto, a ne tamo odakle je bačen, jer bi se tijekom njegova putovanja uvis i natrag do tla Zemlja ispod njega zbog rotacije malo pomaknula, a na bačeno tijelo ne djeluje nikakav pokretač koji bi ga pokretao u smjeru tog pomicanja tla. [1]

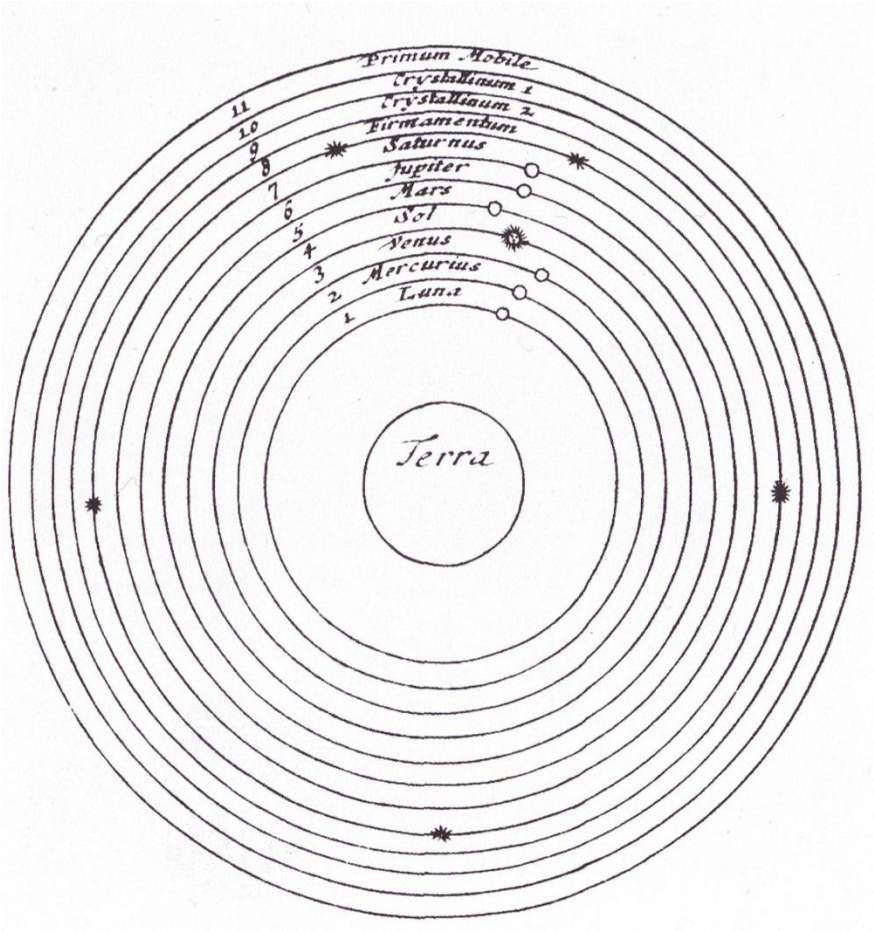
3.6.2. Fizika supralunarnog područja

Kugla je smatrana savršenim tijelom jer kako god da je okrenemo, ona je uvijek kugla i ne mijenja oblik. Ako je nepromjenjiva, znači da je savršena i vječna i zbog toga je supralunarno područje sfernog oblika. Nebesa su načinjena od petog elementa – kvintesencije ili etera i potpuno su ispunjena eterom (nema praznog prostora).[4] Sva nebeska tijela se kreću oko Zemlje učvršćena na sfere. Putanja svakog planeta opisana je skupom koncentričnih kugli – čvrstih, eterskih, realnih objekata. Za Aristotela praznina ne postoji – sfere koje nose nebeska tijela su ispunjene i kontinuirane jednako kao prostor sublunarnog područja. Iznad njih se nalazi sfera zvijezda stajačica koja ograničava svemir – Aristotelova nebesa su konačna. Božanska sfera, ili prvi pokretač, nalazi se iza sfere zvijezda stajačica. Prvi pokretač je čista forma, savršeno bivstvo. Samim svojim savršenstvom on je svršni uzrok svih prirodnih promjena – sve u svijetu po prirodnom zakonu teži k tome da postane nalik njemu u onoj mjeri u kojoj to može.

Gibanje nebeskih sfera prenosi se doticanjem ostalih sfera do Mjesečeve sfere, donje granice nebeskog područja. Kružno gibanje je savršeno zbog čega je idealno pristajalo savršenoj prirodi nebesa – bez početka i kraja, bez usmjerenja prema nečemu, neprekidno se vraća samom sebi i nastavlja u beskonačnost. [1] Kružno gibanje je prirodno gibanje etera. Nasuprot pravocrtnom, nepravilnom i konačnom gibanju sublunarnog područja, gibanje planeta i nebeskih tijela je kružno, jednoliko i kontinuirano.

Veličanstveni nebeski ustroj koji je zamislio Aristotel, a modificirali i elaborirali razni filozofi tijekom sljedećih stoljeća, zapravo je bio prenošenje na realni fizički svijet čisto geometrijskog i apstraktnog modela koji je razvio Eudoks[*] s otoka Knida. [1] Eudoks je složeno planetarno gibanje protumačio kao kompoziciju niza jednostavnih jednolikih kružnih gibanja. Svakom nebeskom tijelu je pridao nekoliko ugnježđenih koncentričnih sfera od kojih je svaka predstavljala jednu komponentu planetarnog gibanja. [4] Tako se, na primjer, gibanje Marsa opisuje pomoću 4 koncentrične sfere od kojih se svaka okreće oko svoje osi. Također, po 4 sfere za Merkur, Veneru, Jupiter i Saturn, te po 3 sfere za Sunce i Mjesec, jer ne podliježu retrogradnom gibanju. Eudoksovim sferama Aristotel je u svojoj slici svijeta još dodao kompenzacijske sfere zbog trenja.

[*] Eudoks (~390.pr.Kr. – ~337.pr.Kr.) – grčki matematičar, astronom, Platonov učenik, bavio se izračunima i usporedbom volumena piramide i prizme, stošca i cilindra, pokušao je objasniti nepravilna gibanja Sunca, Mjeseca i planeta pomoću 27 kružnih gibanja, smatra se da je izumio sunčani sat



Slika 11.: Pojednostavljena slika Aristotelovog geocentričnog sustava [6]
Svaka nacrtana sfera ima dodatne sfere koje nisu prikazane.

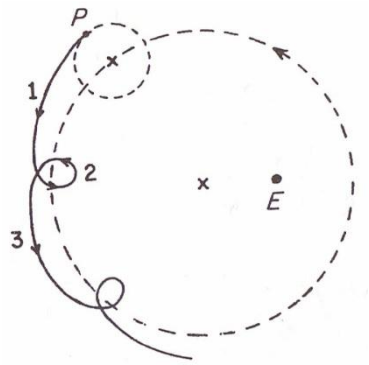
Eudoksove sfere, za razliku od Aristotelovih, vjerojatno nisu bile realni fizički objekti nego matematički konstrukti zamišljeni da bi opravdali pojavno, tj. objasnili putanje planeta. Nisu predstavljale fizičku realnost, nego čisti matematički model. Razlika između astronomije kao konstrukcije hipoteza i kozmologije koja ima namjeru opisati zbiljske fenomene pokazala se veoma značajnom. [1]

Podjela između kozmologije i fizike na jednoj strani te matematike i proračunavanja na drugoj strani počela je s Ptolomejem*. Njegovo djelo „Sintaxis“, poznato i kao „Almagest“, postalo je, i ostalo, temelj astronomskog i astrološkog znanja preko tisuću godina. Ptolomejev model imalo je isti cilj kao i Eudoksov: otkriti neku kombinaciju jednolikih kružnih gibanja koja bi dala opažene položaje planeta (uključivši

* Klaudije Ptolomej (~90. – ~170. poslije Kr.) – Aleksandrijski matematičar, geograf, kartograf, astronom, astrolog i teoretičar glazbe, napisao djelo „Veliki matematički sustav astronomije,“ poznatije kao „Almagest,“ u 13 knjiga, dopunio katalog položaja zvijezda, u djelu „Geografska uputa“ skupio karte tada poznatog svijeta

prividna odstupanja u brzini i smjeru), otkriti red unutar prividnog nereda. Najjednostavnije gibanje, koje predstavlja red, jednoliko je kružno gibanje.[4]

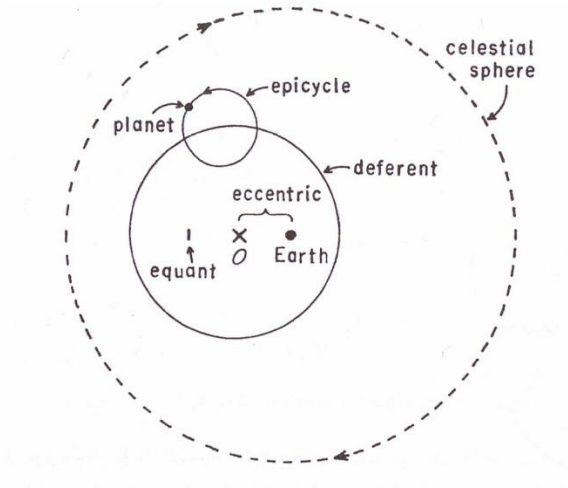
Svoje objašnjavanje planetarnog gibanja Ptolomej je uvijek počinjao tvrdnjom „Zamislimo krug.“[1] Za njega se kružno gibanje nebeskih tijela odvijalo po kružnim putanjama u prostoru, a ne vrtnjom sfera. Na velikoj kružnici oko Zemlje koju je nazvao deferentom, svoje središte ima mala kružnica nazvana epicikl po kojoj se kreće planet. Središte deferenta naziva se ekscentar jer nije u centru svemira u kojem se nalazi Zemlja. Kad se planet giba po ekscentričnom deferentu, prividno ima manju brzinu na dijelovima koji su udaljeniji od Zemlje, nego na dijelovima koji s bliži Zemlji na kojima prividno ubrzava iako mu je brzina svuda jednolika. [4] Broj dodanih epicikala mogao se povećavati ovisno o složenosti gibanja koje planet izvodi. Ekscentri i epicikli koje je uveo zapravo nisu fizički postojali i predstavljali su najjednostavniji opis gibanja planeta, za razliku od Aristotelovih sfera koje su predstavljale fizičku realnost. Ptolomej je astronomiju predstavio više kao predmet razmatranja matematičara, a ne fizičara. [1].



Slika 12.: Gibanje planeta prema po Ptolomeju: Ekscentar je središte deferenta, na kojem je središte epicikla, Zemlja se nalazi u točki E, izvan središta deferenta. Planet opisuje spiralnu putanju – zbroj gibanja deferenta i epicikla, zbog čega izvodi gibanje koje je je u određenim trenucima retrogradno (točka 2) [3]

Svi ovi elementi nisu bili dovoljni da bi se opisalo opaženo gibanje planeta, zbog čega je Ptolomej uveo i model ekvanta. Središte epicikla na kojem je planet više se ne giba jednolikom brzinom (prelazeći jednake kutove u jednakom vremenu) s obzirom na centar deferenta već opisuje jednake kutove s obzirom ekvant, točku koja nije središte deferenta. [3] Iako su kutovi jednaki, kružni lukovi nisu, zbog čega brzina središta epicikla očito više nije jednolika nego se povećava ili smanjuje. Time se Ptolomej udaljio od aristotelskog ideala. U ime točnijeg izračuna napustio jednoliko kružno gibanje te produbio jaz između

kozmologije i astronomije. No, sa svom svojom geometrijskom kompleksnošću, Ptolomejev sustav svijeta ipak nije bio u stanju objasniti sva planetarna gibanja. [3]



Slika 13.: Ptolomejev geocentrični sustav [3]

3.7. Srednji vijek

Razlikovanje kinematike, kao čistog opisa gibanja bez ulaženja u uzroke, i dinamike, kojoj je u središtu sila kao uzrok gibanja, javlja se krajem 13. stoljeća.

Na gibanje se, u srednjovjekovnom filozofskom smislu, gledalo na dva načina. Prvi pogled, opisan sintagmom „forma fluens“ – tekuća forma, kaže kako gibanje nije različito i odvojeno od tijela koje se giba, nego jest samo tijelo koje se giba zajedno s uzastopnim mjestima koje zauzima tijekom gibanja. Riječ „gibanje“ je apstraktna, izmišljena imenica koja ne označava postojeću *stvar* nego *proces* kojim, npr. trkač zauzima svako sljedeće mjesto. Drugi pogled, opisan sintagmom „fluxus forme“ – protjecanje forme, kaže da osim tijela koje se giba i mjesta koje zauzima, postoji još nešto inherentno tijelu, neka *stvar* svojstvena tijelu i nerazdvojiva od njega koju nazivamo „gibanje.“[4] Takvim razmišljanjem se pojam gibanja ozbiljno približio kvalitetama koje su svojstvene tijelu.

Prema temeljnoj ideji o postojanju kvalitete ili forme u određenom stupnju ili intenzitetu, ne postoji samo jedan stupanj toplog ili hladnog, nego cijeli raspon stupnjeva od, na primjer, „jako toplo“ do „jako hladno“. Prema tome, ako forma ili kvaliteta može varirati u tom rasponu, može jačati ili slabiti, ili srednjovjekovnom tehničkom terminologijom – podliježe intenzifikaciji ili remisiji. Ideja brzine pojavila se kad se općenita rasprava o kvalitetama i njihovoj intenzifikaciji ili remisiji preslikala na poseban

slučaj lokalnog gibanja gdje je gibanje smatrano kvalitetom ili nečim bliskim analognoj kvaliteti. Tada se intenzifikacija ili remisija kvalitete gibanja mora odnositi na razlike u brzini.[4] Brzina se time, uz bok antičkoj udaljenosti i vremenu, uzdigla na razinu mjere gibanja.

3.7.1. Kinematika

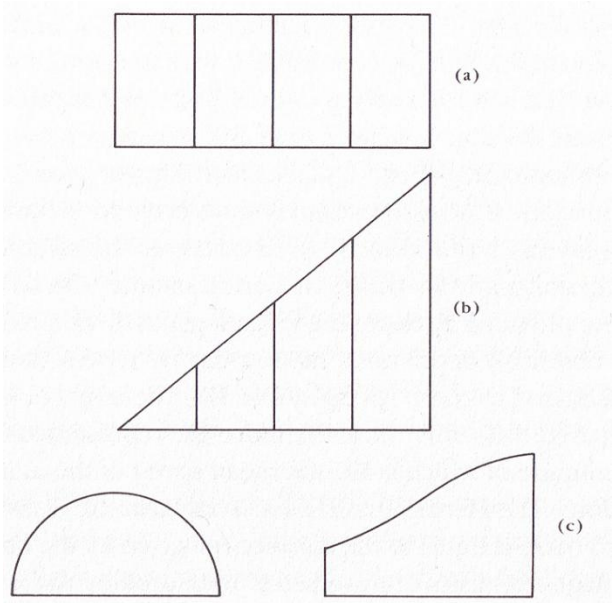
Sredinom 14. stoljeća je skupina učenjaka s Merton Collegea, najstarijeg oksfordskog fakulteta, pokušala gibanje opisati matematički. Razlikuju jednoliko gibanje, kao gibanje pri konstantnoj brzini, i nejednoliko ili akcelerirano gibanje. Oblikovali su preciznu definiciju jednoliko ubrzanog gibanja identičnu današnjoj: gibanje je jednoliko ubrzano ako se brzina tijela povećava jednakim doprinosima u jednakim vremenskim intervalima. Uz konstantnu akceleraciju, brzina se jednoliko mijenja od početne do konačne vrijednosti, a prosječna je vrijednost točno sredina između ekstrema. Iskazuju pravilo srednje brzine usporedbom jednolikog i jednoliko ubrzanog gibanja: tijelo koje se giba jednoliko ubrzano u danom vremenu prelazi istu udaljenost kao da se je u jednakom vremenskom intervalu gibalo jednoliko *srednjom* brzinom. [4] Razmišljanja su bila isključivo usmena i apstraktna – predmet izučavanja matematike, a nisu se odnosila na stvarna gibanja kakva opažamo u svijetu.

Njihova razmatranja preuzimaju i usavršavaju učenjaci na Sveučilištu u Parizu, posebice Nikola Orezme[*] koji raspravlja o kvantifikaciji kvalitete, zastupajući mišljenje kako količini kvalitete treba pridružiti odgovarajući geometrijski objekt. Razrađuje geometrijski prikaz količine kvalitete, to jest brzine, kad govorimo o lokalnom gibanju.

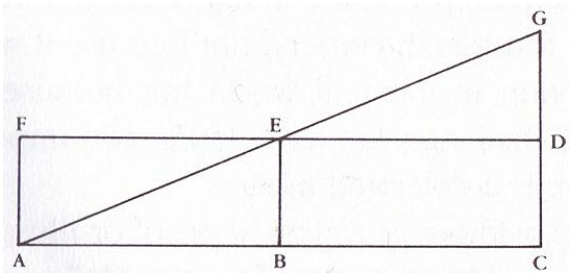
Prvi geometrijski dijagrami gibanja prikazivali su ovisnost brzine o pojedinim dijelovima objekta koji se giba. Razmotrimo primjer štapa u gibanju. Ako, na primjer, držimo štap za jedan kraj i vrtimo ga oko sebe, dio koji držimo rukom ima najmanju brzinu, na sredini ima veću brzinu, a na drugom kraju najveću brzinu. Horizontalna os geometrijskog prikaza takvog gibanja, prikazivala je sam objekt, a vertikalne linije brzinu na pojedinim dijelovima štapa. Takav prikaz nije omogućavao vremenski prikaz promjene brzine štapa koji bi imao istu brzinu na svim svojim dijelovima. Napredak geometrijskog prikaza dogodio se zamjenom smisla horizontalne osi – linija koja je prije prikazivala

[*] Nikola Orezme (~1330. – 1382.) – francuski matematičar, fizičar, znanstvenik i katolički biskup, istraživao je osnove gibanja

objekt počela je prikazivati vrijeme.[4] Nikola Orezme je pomoću svojih dijagrama geometrijski dokazao pravilo srednje brzine.



Slika 14.: Orezmeova ovisnost brzine o vremenu za različita gibanja:
a) jednoliko gibanje; b) jednoliko ubrzano gibanje; c) nejednoliko ubrzano gibanje[4]



Slika 15.: Geometrijski dokaz pravila o srednjoj brzini[4]
Trokut ACG prikazuje jednoliko ubrzano gibanje s početnom brzinom nula u točki A, srednjom brzinom BE i konačnom brzinom iznosa CG, dok pravokutnik ACDF prikazuje jednoliko gibanje konstantnom brzinom iznosa BE. Dužina AC prikazuje proteklo vrijeme od početka do kraja gibanja. Orezme je površinu likova proglasio prikazom prijeđenog puta. Pod takvom pretpostavkom, iz danog prikaza jasno se vidi da su prijeđeni putevi jednaki.

Treba, ipak, ponovno naglasiti kako su se učenjaci 14. stoljeća u prvom redu bavili razmatranjem *svih* kvaliteta te zaključke prenosili iz jednog područja promjene u drugo. Mnogi zaključci o lokalnom gibanju preslikani su iz promatranja drugih kvaliteta. Tako je pravilo o srednjoj brzini s Merton Collega primjenjivo na svaku vrstu promjene koja se odvija jednolikim doprinosima. Također, srednjovjekovna kinematika bila je apstraktna u

istoj mjeri kao i moderna matematika. Srednjovjekovni učenjaci nisu prepoznali ili tražili jednoliko ubrzano gibanje u realnom svijetu, već su raspravljali o apstraktnim pretpostavkama i tvrdili: *kad bi postojalo* jednoliko ubrzano gibanje, *tada bi* pravilo srednje brzine bilo primjenjivo na njega. [4]

3.7.2. Dinamika

Aristotel je gibanja podijelio na prirodna gibanja, kojima je uzrok unutarnji pokretač, vlastita narav tijela koje se giba, i prisilna gibanja, za koja je potreban vanjski pokretač u konstantnom kontaktu s tijelom. Problem se javio u obliku gibanja projektila, koje nije prirodno gibanje, ali nema očitog pokretača nakon što tijelo izgubi kontakt s prvotnim pokretačem, a tijelo se ipak giba. Aristotel je kao pokretača projektila vidio sredstvo u kojem se projektil giba, a kojem je predana određena količina pokretačke sile.

Tijekom ranog srednjeg vijeka, Ivan Filopon* u svojim komentarima Aristotelove „Fizike“, raspravljajući o sredstvu kao pokretaču gibanja, tvrdi kako sredstvo projektilu više služi kao otpor nego kao pokretač i zaključuje da ne može istovremeno obavljati obje uloge. Rješenje koje predlaže pretpostavlja da je svako gibanje pokrenuto unutarnjim pokretačem, a ne vanjskim. U trenutku kad se izbacuje projektil, bacač utisne projektilu „bestjelesnu pokretačku silu“, unutarnju silu koja je zaslužna za nastavak gibanja. [4] U narednim stoljećima su različiti filozofi i znanstvenici razvijali i branili ovu teoriju, a svoj vrhunac doživjela je u učenju Ivana Buridana*. Ivan Buridan je uveo naziv *impetus* kako bi opisao utisnutu silu te se taj naziv zadržao do vremena Galilea. Opisao ga je kao kvalitetu čija je narav pomicanje tijela u koje je utisnuta. Ta kvaliteta i samo gibanje koje proizvodi nisu isti:

> „Impetus je kvaliteta s naravi koja se ne mijenja, trajna je i različita od lokalnog gibanja u kojem se projektil giba [...] Moguće da je impetus kvaliteta prirodno prisutna i predodređena za gibajuće tijelo u koje je utisnuta.“ [4]

Teoriju brani navodeći, po njemu analogan, primjer magneta koji željezu utisne kvalitetu sposobnu pomaknuti željezo prema magnetu. Kao svaka kvaliteta, impetus se smanjuje zbog otpora, a u suprotnom zadržava svoju početnu količinu. Buridan je učinio

* Ivan Filopon (~490. – ~570.) – grčki filozof, neoplatonist i teolog iz Aleksandrije, pisao oštre kritike Aristotelovih djela čiju filozofiju je pokušavao pomiriti s kršćanstvom, zbog glasovitih predavanja o jeziku i književnosti dobio nadimak Gramatičar

* Ivan Buridan (~1295. – 1358.) – francuski svećenik i filozof, rektor pariškog Sveučilišta, razradio teoriju impetusa, bavio se etikom i logikom, pogotovo problemom slobodne volje

prvi korak prema kvantificiranju impetusa tvrdeći da se jačina impetusa mjeri brzinom i količinom materijala koji sačinjava tijelo. Svoju teoriju je proširio i na nebeska gibanja koja objašnjava Božjim stavljanjem impetusa u nebeske sfere u trenutku stvaranja. S obzirom na to da nebesa ne pružaju nikakav otpor, impetus se ne smanjuje pa se nebesa gibaju vječno nepromjenjivim gibanjem. Ubrzavanje pri padanju tijela objasnio je pomoću težine tijela koja kontinuirano stvara dodani impetus koji povećava brzinu.

Teorija impetusa postala je prevladavajuće objašnjenje gibanja projektila do 17. stoljeća. Neki smatraju da je teorija impetusa važan korak prema modernoj dinamici zbog sličnosti Buridanovog impetusa (*brzina* x *količina materije*) i modernog koncepta količine gibanja (*brzina* x *masa*). Nema sumnje da postoji povezanost, ali mora se naglasiti da je Buridanov impetus bio *uzrok* nastavka gibanja, dok je količina gibanja *mjera* gibanja koje ne treba razlog za svoj nastavak dok god se ne suočava s otporom. [4] Buridan je svoju teoriju razvio na aristotelovskim temeljima što znači da je svjetonazorski bio daleko od prirodnih filozofa 17. stoljeća koji su formulirali novu mehaniku s novim konceptom gibanja i inercije. [4]

4. Teorija gibanja i kopernikanska astronomija

Početkom 16. stoljeća na scenu povijesti znanosti stupa poljski astronom Niklas Koppernigk (1473. – 1543.) koji je vlastito ime latinizirao u Copernicus. U moderno vrijeme, ovo ime postalo je sinonim za razvoj ljudskog razmišljanja, rođenje novog doba i intelektualnu revoluciju. Nikola Kopernik je vjerovao da se nova metoda izračuna gibanja nebeskih tijela, koja bi razriješila neodgovorena astronomska pitanja, može naći u radu antičkih filozofa. [1] Svoj rad temeljio je na oživljenim Pitagorinim* i Filolajevim** doktrinama. Njegovo najveće djelo „De revolutionibus orbium coelestium" – „O vrtnji nebeskih krugova", izdano tek nakon njegove smrti 1543., napisano je kao paralela Ptolomejevom „Almagestu". Sustav koji opisuje „De revolutionibus" temeljen je na profinjenoj pitagorejskoj matematici. Kopernikanska revolucija nije se sastojala u unaprjeđenju i usavršavanju astronomske metode niti u otkriću novih podataka, nego u konstrukciji drugačije kozmologije koja se temeljila na istim podacima koje je pružio Ptolomej.[1]

Sam Kopernik o tome kaže:

> „U razmatranju solarnog i lunarnog gibanja te gibanja pet lutajućih zvijezda, za okretanje i njihova prividna gibanja, ne upotrebljavaju svi matematičari ista načela, pretpostavke ili prikaze. Neki koriste koncentrične sfere sa Zemljom u središtu, neki ekscentrične krugove i epicikle, ali niti jedan od njih nije u mogućnosti potpuno doseći ono što traži. Čini se da čak i oni koji su se dosjetili ekscentričnim krugovima, iako mogu numerički izračunati većinu prividnih gibanja, moraju priznati kako veliki dio proturječi prvotnom načelu pravilnosti gibanja. [3]
>
> Iako se Ptolomejeve planetarne teorije, kao i teorije drugih astronoma, slažu sa zabilježenim podacima, suočavaju se s nemalim poteškoćama. Ove teorije nisu dovoljne, osim ako se ne uvedu svojevrsni ekvanti, zbog čega se planet ne kreće jednolikom brzinom niti po pripadajućem deferentu niti oko centra vlastitog epicikla. Prema tome, sustav ove vrste niti se čini apsolutan niti zadovoljavajući za um. [3]

* Pitagora (~582. – 496. pr. Kr.) – starogrčki filozof, bavio se astronomijom, aritmetikom, geometrijom, glazbom, smatrao da se svi odnosi mogu svesti na operacije s brojevima i cijeli svemir objasniti brojevima, začetnik pitagorejske filozofske škole, smatrao da je Zemlja kugla u središtu svijeta

** Filolaj (~470. – 390. pr. Kr.) – starogrčki filozof i astronom, pripadnik pitagorejske škole, zagovarao ne-geocentrični sustav – u središtu svemira je vatra, oko nje kruže Zemlja, Protuzemlja, Mjesec i planeti

Zašto tada radije oklijevamo pridati Zemlji gibanje koje je prirodno u skladu s njegovom formom, nego staviti cijeli svemir u metež – svijet čije granice ne znamo i ne možemo znati? I zašto ne priznati kako privid dnevnog okretanja pripada nebu, a realnost tog istog okretanja pripada Zemlji?“ [3]

4.1. Novost Kopernikova sustava nasuprot Ptolomejevom

Po Koperniku:

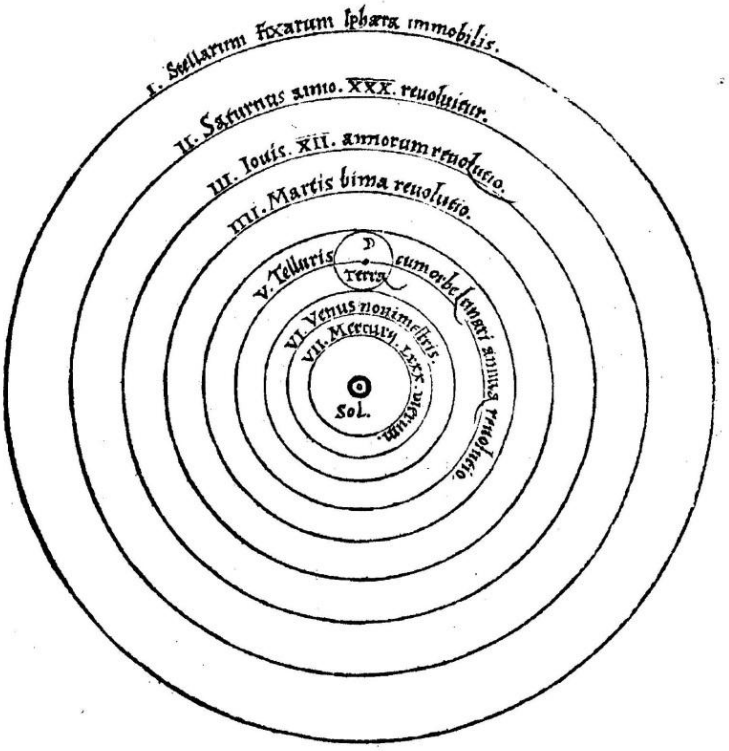
1. Ne postoji samo jedan centar gibanja za sva nebeska tijela. Planeti se gibaju oko Sunca, a Mjesec oko Zemlje, što čini dva centra rotacije umjesto jednog središta svemira (Zemlje) oko kojeg se sve okreće, kako je opisao Ptolomej.
2. Središte Zemlje nije centar svemira, nego samo centar gravitacije/težine i lunarne sfere. Ova tvrdnja dovela je do potrebe objašnjenja gravitacije - težine.
3. Svi planeti okreću se oko Sunca.
4. S obzirom na udaljenost Sunca od sfere zvijezda stajačica, udaljenost Zemlje od Sunca mora biti zanemarivo mala. Ova tvrdnja pretpostavlja da je svemir toliko velik da gibanje Zemlje neće rezultirati nikakvim prividnim relativnim gibanjem zvijezda stajačica, tj. ne vidi se paralaksa zvijezda stajačica.
5. Sva vidljiva gibanja na nebesima nastaju zbog gibanja Zemlje, a ne zbog gibanja koja se događaju na nebesima. Nebeski svod je nepomičan, dok Zemlja i njeni najbliži elementi, voda i atmosfera, čine puno dnevno okretanje oko nepokretnih Zemljinih polova.
6. Prividno gibanje Sunca nastaje zbog gibanja Zemlje oko Sunca, a ne zbog samog gibanja Sunca. Prema tome, Zemlja ima više od jedne vrste gibanja.
7. Prividno retrogradno i pravocrtno gibanje planeta nastaje zbog gibanja Zemlje, a ne zbog njihovog vlastitog gibanja. Gibanja Zemlje su dovoljna za objašnjenje svih prividnih nepodudarnosti na nebu (takozvane planetarne „retrogradacije“ zapravo su prividna gibanja zbog njihove neovisnosti o gibanju Zemlje) [1]

Kopernikovi poklonici entuzijastično su tvrdili da je kopernikanski sustav jednostavniji i harmoničniji od Ptolomejevog. Sva planetarna gibanja mogu se objasniti jednolikim gibanjem Zemlje. Postavivši Sunce u centar svemira i dopustivši Zemlji da se okreće oko njega u ekscentričnoj orbiti, prava ljepota kozmosa leži isključivo u pravilnom i jednolikom gibanju planeta Zemlje. Tradicionalna je kozmologija planetarno gibanje unatrag objasnila postavivši planet na epicikl, čije središte se nalazi na deferentu, čije središte se naziva ekscentar, jer nije u centru svemira te se ne kreću svi jednoliko. U novom sustavu planeti su u neprestanom gibanju, svi u istom smjeru. Nepravilna gibanja javljaju se jer promatrač stoji na gibajućoj Zemlji zbog čega mu se perspektiva uvijek mijenja. [1] Retrogradno gibanje planeta je prividna pojava zbog relativnog gibanja Zemlje i planeta. [3]

Sam Kopernik predlaže:

> „Ako bismo godišnje solarno okretanje zamijenili terestrijalnim, a nepomičnost pridijelili Suncu, izlazak i zalazak znakova i zvijezda stajačica – bile to jutarnje ili večernje zvijezde – prikazalo bi se na isti način; te bismo mogli vidjeti kako zaustavljanje, retrogradacije i progresije lutajućih zvijezda nisu njihova vlastita gibanja, već gibanja Zemlje, čije gibanje prividno posuđuju.“ [3]

Kopernik je predložio ograničeno poboljšanje planetarne teorije unutar granica prihvaćene aristotelske znanosti. [2] Ovaj pogled na svijet, iako nov, duboko u sebi sadrži nekoliko neizbježnih aristotelskih tema: Kopernikov svemir savršeno je sferičan i konačan; okrugla forma kojoj sva tijela teže savršen je oblik; postoje stvarne eterske sfere i njihovo gibanje je kružno, nepomičnost Sunca, kao i nepomičnost zvijezda stajačica, proizlazi iz njegove božanske prirode, a njegovo mjesto u centru svemira iz činjenice da je ova „svjetiljka svijeta“ smještena na najbolje moguće mjesto s kojeg „istovremeno obasjava sve stvari.“[1]



Slika 16.: Kopernikov heliocentrični sustav [6]

U trenutku kad je Kopernik pretpostavio Sunce koje miruje i Zemlju koja se giba, astronomi su već dugo bili sposobni izračunati prošle i buduće položaje planeta jednako precizno kao i on, pritom su bili primorani prihvatiti kao nepopravljive neke pogreške kao što su prividna ovisnost perioda unutarnjih planeta o Suncu ili zaustavljanje i vraćanje vanjskih planeta kad su u opoziciji Suncu. Kopernikanska hipoteza nije riješila sve astronomske probleme, ali je uklonila neke prastare dijelove slagalice koji su odvlačili pažnju s onoga što možemo nazvati ozbiljnim astronomskim poslom, to jest, s računanja.[5]

Kako je rekao Simplicius u Galileovom „Dijalogu“: „Ključna stvar je pokrenuti Zemlju bez uzrokovanja tisuća neugodnosti.“ Neugodnosti su se u prvom redu odnosile na teoriju gibanja. [2] Uzmimo da kugla pada s tornja. Prema Kopernikovom sustavu, Zemlja se giba pa se i toranj giba neizmjernom brzinom od zapada prema istoku. Čim je kugla puštena i sila ruke koja ju tjera da se giba zajedno s rukom i tornjem prestane djelovati, gibanje prema istoku bi trebalo prestati. I kao što kugla, po prirodi teških tijela, pada prema Zemlji, trebala bi pasti zapadnije od tornja. Naprotiv, svi znamo da kugla padne ravno u podnožje tornja. Prema tome, Zemlja se ne može gibati oko svoje osi.[2]

Kopernikov sustav nije bio dobro prihvaćen u filozofskim i sveučilišnim krugovima. Malo tko ga je prihvaćao, a još manji broj naučavao. Samo dva ili tri profesora u Europi šesnaestoga stoljeća, i niti jedan u Italiji, bila su dovoljno zainteresirana za kopernikanizam da bi ga predavala svojim studentima. [5]

5. Galileova teorija gibanja

Galileova teorija gibanja izložena je u njegovoj knjizi *Rasprave i matematičke demonstracije o dvije nove znanosti*:

> „Ova rasprava podjeljena je u tri dijela; prvi se dio bavi gibanjem koje je nepromijenjeno ili jednoliko, drugi gibanjem koje smatramo ubrzanim, a treći takozvanim prisilnim gibanjem i gibanjem projektila.“[3]
>
> „Moj cilj je uspostaviti potpuno novu znanost raspravljajući o vrlo starom predmetu razmatranja. U prirodi, vjerojatno, ne postoji ništa starije od gibanja, s obzirom na poveliku količinu knjiga koje su napisali filozofi. Kako bilo, otkrio sam pomoću eksperimenta neka njegova svojstva vrijedna poznavanja koja do sada niti su bila promatrana niti prikazivana.“[3]

Temelj Galileove znanosti bili su pažljivi eksperimenti kojima je drevnu potragu za uzrocima počeo zamjenjivati modernom potragom za fizičkim zakonima. [5]

5.1. Pojam gibanja

Srce Galileova pojma gibanja je odjeljivanje gibanja od temeljne naravi tijela.[2] Antički pojam gibanja uključuje samu bit tijela, a gibanje se shvaća kao proces kojim se bit tijela ispunjava. Dok je za Aristotela gibanje ozbiljenje neke mogućnosti, aktualiziranje potencijalnosti, tj. u osnovi isti proces kao rast ili propadanje, za Galilea je gibanje *stanje* tijela u kojem se ono nalazi i nije povezano s njegovom biti. [2] Gibanje se gleda kao stanje u kojem tijelo ustraje sve dok ga nešto ne promijeni. Horizontalno ili vertikalno gibanje ne utječe na bit tijela.

5.2. Relativnost gibanja

Galileo kroz *Raspravu* provlači razmišljanje kako je promatraču na Zemlji nemoguće opaziti gibanje same Zemlje. Gibanje koje se ne mijenja na ovaj ili onaj način, i koje je zajedničko svim objektima danog sustava, nema utjecaja na međusobno ponašanje tih objekata, te se, kao rezultat, nikad ne bi moglo dokazati unutar tog sustava. [1]

Galileo je nebrojeno puta ponovio da je tijelo indiferentno prema vlastitom stanju kretanja ili mirovanja. Čak se i mirovanje ne razlikuje od kretanja, ono je jednostavno „beskonačno mali stupanj sporosti.“[2] Korijen indiferentnosti tijela prema gibanju leži u prihvaćanju kopernikanske teorije – ako se Zemlja giba, mi se zajedno s njom krećemo neizmjernom brzinom, ali ne osjećamo ju, indiferentni smo.

Objašnjava:

> „Gibanje, ukoliko jest i djeluje kao gibanje, postoji kao veličina u odnosu na tijela koja ga nemaju; ako uspoređujemo tijela koja sva jednako sudjeluju u bilo kojem gibanju, gibanje ne djeluje i čini se kao da ga nema. Kao kad teret kojim je natovaren brod napušta Veneciju, prolazi pokraj otoka Krfa, Krete i Cipra i dolazi do grada Alepa. Venecija, Krf, Kreta itd. stoje mirno i ne miču se s brodom; ali paketima, kutijama i balama kojima je brod natovaren, gibanje od Venecije do Sirije nije ništa s obzirom na sam brod te oni ne mijenjaju svoj međusobni odnos. To se događa jer im je gibanje svima zajedničko i jednako sudjeluju u njemu. Kad bi se, s obzirom na teret broda, paket pomaknuo od kovčega samo za jedan palac, to bi bilo više gibanja za njega od dvije tisuće milja putovanja učinjenih zajedno.“ [2]

U slavnom opisu broda, Galileo je koristio „nepromjenjivo gibanje“ da bi označio ravno, izravno gibanje ili pomicanje duž istog zemaljskog meridijana.

5.3. Inercijalno gibanje

Koncept inercije počeo se naslućivati već u Galilejevom radu, iako ga je do kraja razradio Rene Descartes[*] i formulirao Isaac Newton[**] u svom prvom zakonu. Sam Galileo nikad nije upotrijebio riječ „inercija“ iako je razvio takav koncept – po kojem tijelo teži ostati u stanju gibanja u kojem se trenutno nalazi.[3] Pod inercijalnim gibanjem smatramo jednoliko gibanje tijela po horizontalnoj ravnini bez promjene brzine. Tijelo se nastavlja gibati jednolikom brzinom dok neki vanjski čimbenik ne počne djelovati na njega zbog čega mu se promijeni brzina.

[*]Rene Descartes (1596. – 1650.) – francuski filozof, fizičar, matematičar i utemeljitelj analitičke geometrije

[**] Isaac Newton (1643. – 1727.) – engleski fizičar, matematičar i astronom, jedan od najznačajnijih znanstvenika u povijesti

Galileo je u *Dijalogu o dva glavna sustava* izložio misaone pokuse kojima je potkrijepio svoju teoriju:

> „Pretpostavimo da postoji ravna površina glatka kao zrcalo, napravljena od nekog tvrdog materijala kao što je čelik, na nju postavimo kuglu koja je savršeno okrugla i napravljena od nekog tvrdog i teškog materijala kao što je bronca.“[2]

Slijedio je niz pitanja. Na primjer, što bi se dogodilo da stavimo takvu kuglu na opisanu kosinu? Ona bi se otkotrljala dolje jednoliko povećavajući brzinu. Bi li se popela natrag na kosinu? Jedino u slučaju primanja vanjskog impulsa, nastavljajući s gibanjem koje jednoliko usporava. Što ako ju stavimo na savršeno uglačanu horizontalnu ravninu i gurnemo u nekom smjeru? Tada ne bi bilo uzroka ubrzavanja ili usporavanja pa bi se kugla gibala kontinuirano dokle se god pruža ravnina. U *Dijalogu*, Salviati je postavio pitanje: „Tada, ako bi takav prostor bio neograničen, i gibanje bi bilo bezgranično, tj. vječno?“ na koje je zakleti aristotelovac Simplicius morao odgovoriti potvrdno. [2] Dakle, kugla se po horizontalnoj ravnini giba jednoliko dok neko vanjsko djelovanje ne uvjetuje promjenu gibanja.

Ostaje pitanje što je za Galilea horizontalna ravnina. To je „naravno“ ravnina koja je u svakoj točki „jednako udaljena od središta.“[2] Horizontalna ravnina za Galilea je ogromna kružnica! Područja blizu površine Zemlje mogu se lokalno uzeti kao ravnine u današnjem smislu riječi, kao dijelovi kružnice koji nam se zbog velikog radijusa čine ravnima, ali, ukupno gledajući, horizontalna ravnina mora biti kružnog oblika. Za njega, jednoliko, neprekinuto gibanje nepromijenjenom brzinom bez vanjskih utjecaja događa se po *kružnoj putanji*. Ovo stajalište odražava Galileovu vjeru u, ipak, savršeni aristotelski svemir s određenim kopernikanskim preinakama te objašnjava ignoriranje Keplerovih eliptičnih putanja planeta. Inercijalno gibanje je započeto kao jednoliko kružno gibanje, prirodno gibanje tijela na njegovom prirodnom mjestu u dobro organiziranom svemiru.[2] Galileo nije mogao prihvatiti pojam beskonačnog pravocrtnog gibanja, između ostalog, jer je ta pretpostavka povlačila za sobom pretpostavku beskonačnog svemira. Za njega pravocrtno gibanje nije moguće jer se priroda nikad ne kreće prema mjestu do kojeg je nemoguće doći:

> „Dano pravocrtno gibanje po naravi je beskonačno jer je pravac beskonačan i neograničen; nemoguće je da se tijelo prirodno giba po pravcu, to jest, prema mjestu gdje je nemoguće doći.“ [1]

Isaac Newton promijenio je način razmišljanja konceptom sile. Danas smatramo da je za kružno gibanje potrebna vanjska sila koju nazivamo centripetalnom. Ako centripetalna sila prestane djelovati tijelo će se gibati pravocrtno po tangenti. Tijek misli od Galilea do Newtona iznjedrio je novu definiciju prirodnog gibanja. Neko tijelo nema više svoj vlastiti način prirodnog gibanja, kao što je pravocrtno prema dolje za zemlju, pravocrtno prema gore za vatru ili kružno za nebeska tijela, nego postoji jednoliko gibanje po pravcu, ili mirovanje, kao jedno univerzalno gibanje za sva slobodna tijela. [3] Galileov koncept inercije, s dodanom pretpostavkom da je inercijalno gibanje pravocrtno, postao je kamen temeljac cijele moderne fizike. Toliko nam je ucijepljen tijekom obrazovanja da nam je prirodan i očigledan te ne možemo ni zamisliti na kakve je probleme nailazio u svijetu u kojem takav koncept nije očit, nego, naprotiv, apsurdan. [2]

5.4. Slobodni pad

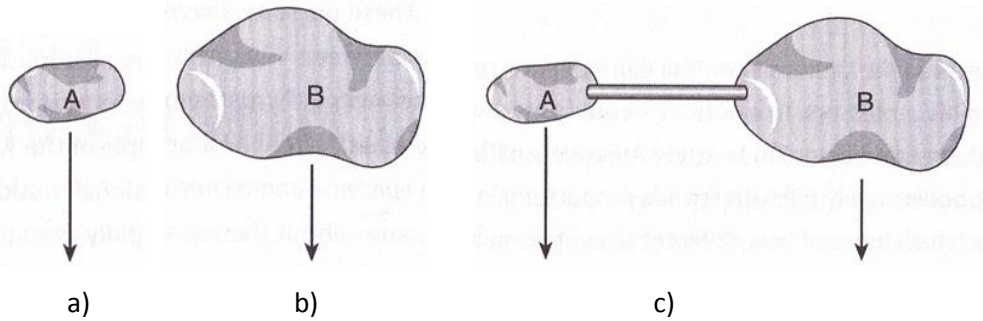
Filozofi i povjesničari znanosti dugo su proučavali razvoj Galileove teorije jednoliko ubrzanog gibanja iz trećeg dana *Rasprave*. Formulacija te teorije vrhunac je procesa koji je postepeno izrastao više apstrahiran iz eksperimentalnih nego kvalitativnih elemenata. Raniji *De motu* pokazuje tragove ideja kao što su težina kao prirodno svojstvo tijela, prirodno padanje teških tijela, *vis impressa* (utisnuta sila) kao privremena lakoća koja svladava prirodnu gravitaciju. Smatralo se da je brzina pada povezana s gustoćom i težinom predmeta koji pada. [1]

Galileo je u *De Motu* preuzeo i zauzeo stav Ivana Filopona o teoriji impetusa:

> „U ovome postoji nešto potpuno krivo i nešto što možemo bolje provjeriti pomoću promatranih činjenica nego bilo kojim logičkim prikazom. Ako uzmemo dvije mase koje se jako razlikuju po težini i ispustimo ih s iste visine, primjetit ćemo da omjer vremena njihovog gibanja ne prati omjer njihovih težina, nego je razlika u vremenima ekstremno mala; prema tome, ako se težine jako ne razlikuju, nego je, recimo, jedna dvostruko veća od druge, razlika u vremenima ili neće postojati ili će biti neopaziva.“[3]

Razmatrajući Aristotelovu fiziku slobodnog pada, Galileo je krenuo od sljedeće pretpostavke: uzmimo da Aristotel ima pravo - pretpostavimo da će teža kugla pasti prva, što bi značilo da postiže veće ubrzanje. Uzet ćemo konop i lakšu kuglu vezati za težu. Ako lakša kugla stvarno pada sporije, konop će se zategnuti: lakša kugla će težu vući unatrag i

usporavat će njezin pad. Ali, ako smo ih vezali, one su sad jedno teže tijelo, što znači da bi tako dobiveni novi predmet morao padati brže nego teža kugla. Kako riješiti ovu dvojbu? Postoji samo jedno rješenje koje zadovoljava sve postavljene uvjete: obje kugle moraju padati istom brzinom i ubrzanjem. Samo to, ništa drugo, omogućuje zaobilaženje zamršenosti oko pitanja koja je brža, odnosno sporija.[8]



Slika 17.: Ako kamen A slobodno pada s 2 jedinice brzine, onda kamen B, koji je dvostruko teži, pada brzinom 4 jedinice, ali kojom brzinom pada spoj kamena A i B? [5]

Jedno od značajnih Galileovih otkrića bio je zakon slobodnog pada. Tijelo ispušteno blizu površine Zemlje ubrzava prema tlu konstantnom akceleracijom. Već se u predgovoru *Rasprave* ograđuje od bilo kakve dinamičke analize koja uključuje uzroke i strogo se drži kinematike:

> „Sadašnji trenutak ne čini se kao pogodno vrijeme za istraživanje uzroka ubrzavanja prirodnog gibanja o kojemu su različiti filozofi izrazili različita mišljenja, jedni objašnjavajući ga preko privlačenja prema centru, drugi pomoću odbijanja među najsitnijim dijelovima tijela, dok su ga treći pripisali određenom pritisku okolnog medija koji se stvara iza padajućeg tijela i gura ga od jednog položaja do drugog. Sva ova maštanja, i druga također, trebaju se istražiti, ali to zaista nije vrijedno truda. Trenutno, namjera Autora je naprosto istražiti i pokazati neka svojstva ubrzanog gibanja (koji god da bio uzrok te akceleracije).“[3]

Galileo u trećem danu *Rasprave* tvrdi kako se ubrzano gibanje treba definirati na način koji se slaže s činjenicama i u kojem se brzina povećava na najjednostavniji mogući način:

> „Nećemo puno pogriješiti ako kažemo da je porast brzine proporcionalan porastu vremena; stoga definiciju gibanja, koju ćemo razmatrati, možemo ovako izraziti: za gibanje se kaže da je jednoliko ubrzano

kada, počevši od mirovanja, tijekom jednakih vremenskih intervala dobiva jednake priraste brzine.“[3]

U potrazi za definicijom jednolikog ubrzanog gibanja „koja bi egzaktno opisivala [...] vrstu akceleracije koju priroda daje padajućem tijelu“ Galileo je izjavio da je bio praktički „vođen za ruku“ jer se priroda u svim svojim djelima koristi „najizravnijim, najjednostavnijim i najefikasnijim“ načinima.[1]

„Prilikom istraživanja prirodnog ubrzanog gibanja, bili smo vođeni za ruku, u praćenju običaja i navika same prirode, u svim njezinim različitim procesima, da bismo iskoristili samo ona značenja koja su najizravnija, najjednostavnija i najučinkovitija.“ [3]

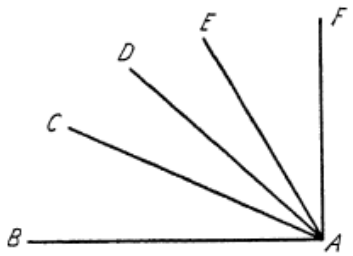
Kamen koji pada iz mirovanja postupno povećava brzinu; prema tome, zašto ne zamisliti da se povećanje brzine događa na najjednostavniji i najočitiji način, *simplicissima et magis obvia ratione*? Postoje dvije mogućnosti koje odgovaraju zahtjevima povećanja ili porasta koji se „uvijek događa na isti način“: brzina može biti proporcionalna udaljenosti ili vremenu. [1] Galileo u *Raspravi* primjenjuje čisto kinematičku analizu: brzina je izravno proporcionalna prijeđenom putu. Ova početna hipoteza kasnije je odbačena u korist brzine proporcionalne vremenu, značajno manje očitoj ideji, iako su se obje mogućnosti Galileu činile jednako jednostavne. [1]

„Kad bi brzine bile proporcionalne prijeđenom putu, prijeđeni putovi bi bili prijeđeni u jednakim vremenima. Prema tome, brzine kojima tijelo prijeđe 4 lakta bile bi dvostruko veće od onih kojima su prešle prva dva lakta (s obzirom da su udaljenosti dvostruke) dok bi trajanje putovanja bilo jednako. Ali, tijelo koje se giba, može prijeći samo 4 ili samo 2 lakta u isto vrijeme, ako je gibanje trenutačno. Očito je da gibanje teških tijela traje određeno vrijeme i da prva dva lakta prelazi u manje vremena, nego 4 lakta. Prema tome, nije istina da se njegova brzina povećava s udaljenošću.“ [12]

„Kroz istovjetnu jednoliku podjelu vremena možemo razumjeti da se porast brzine odvija istom jednostavnošću.“ To je moguće jer možemo ustanoviti u apstraktnom mišljenju, *mente concipiente*, da se „gibanje jednoliko i kontinuirano ubrzava kada prima jednake priraste brzine u istom vremenu.“ Sagredo u *Raspravi* primjećuje da je takva definicija neosnovana – „smišljena i jedino dopuštena u apstrakciji“ – te je upitno može li se primijeniti na stvarnost i fizički dokazati. Simplicius također ima isti prigovor u zaključku podužeg izlaganja. Iako je istinitost takvog prikaza uvjerljiva, sumnja da priroda zbilja primjenjuje tu vrstu gibanja na padajuća tijela: „čini mi se, a i drugima meni

sličnima, da bi u ovom slučaju bilo prikladno prikupiti nešto iskustava.“ I zato Galileo odgovara na ovaj zahtjev sa svojim slavnim opisom savršeno okrugle, tvrde i glatke brončane kugle koja se kotrlja niz glatku, tvrdu kosinu. Iako formulacija ovog načela nije temeljena na tom eksperimentu, Galileo jasno tvrdi na istoj stranici: eksperiment je izveden da bi „pokazao da padajuća tijela ubrzavaju prema navedenim omjerima.“ [1]

Za njega, kao što je vidljivo, jednoliko ubrzano gibanje obuhvaćalo je i gibanje tijela niz glatku kosinu jednako kao i vertikalni slobodni pad. Ako uzmemo neku ravninu i uzastopce je postavljamo ukoso pod sve većim kutem, u konačnici ćemo dostići okomicu te se tijelo više neće ubrzano kotrljati po kosini, nego će padati slobodnim padom. Prema tome, slijedi zaključak kako je slobodni pad ista vrsta gibanja kao i ubrzano gibanje po kosini. Galileo nije mogao mjeriti malene intervale vremena dovoljnom preciznošću, zbog čega nije mogao izravno promatrati slobodni pad, već je „prevario“ prirodu koristeći kosinu blagog nagiba kako bi usporio gibanje kugle.

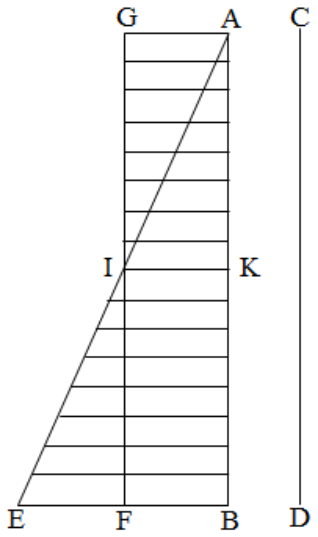


Slika 18.: Ako horizontalnu ravninu AB dižemo pod sve većim kutem kroz točke C do F, na kraju dobivamo okomicu [12]

Koristeći se glazbenim taktom od oko pola sekunde, označavao je mjesta na kojima se nalazila kugla u nizu jednakih vremenskih intervala.[5] Vremenske intervale Galileo je mjerio i količinom vode koja je jednoliko istjecala iz posude s rupicom na dnu. Analizom mjerenja koje je sakupio iz stotinjak pokusa s različitim nagibima i duljinama kosine, primjetio je kako se udaljenost svaki put odnosila približno proporcionalno s kvadratom vremena, dok je konačna brzina kugle ovisila samo o visini kosine, ne i o nagibu.[3] „Ako tijelo u mirovanju pada jednoliko ubrzanim gibanjem, udaljenost prevaljena u bilo kojem vremenu ... proporcionalna je kvadratu proteklog vremena.“ [1] „Posljedično, udaljenosti prijeđene u istim vremenima odnose se jedne prema drugima kao uzastopni neparni brojevi počevši od jedan.“ [12]

Mjerenja koja je izvršio i zaključke koji su proizašli iz njihove analize prikazao je grafički. Na slici 19., duljina AB predstavlja vrijeme koje je prošlo tijekom jednolikog

ubrzanog gibanja tijela koje kreće od mirovanja i prelazi put CD. EB predstavlja najveću moguću brzinu dobivenu tijekom vremena AB. Ako povučemo dužinu AE, linije koje su ekvidistantne i paralelne dužini EB predstavljaju rastuće brzine nakon početnog trenutka A. Recimo da je F polovište dužine EB i nacrtajmo dužinu FG paralelnu dužini AB i dužinu AG paralelnu dužini FB. Površina pravokutnika AGFB jednaka je površini trokuta AEB jer dužina GF dijeli na pola dužinu AE u točki I. Produžimo paralelne linije sadržane u trokutu AEB do dužine GIF i tada je „suma svih paralela u trokutu AEB jednaka zbroju paralela u pravokutniku AGFB.“ Zbroj paralela u trokutu predstavlja „rastuće brzine“ jednolikog ubrzanog gibanja dok zbroj paralela predstavlja u pravokutniku brzine tijela koje se giba konstantnom brzinom. Zbroj brzina u oba gibanja je jednak: ako se brzina jednoliko poveća od nule do EB, prijeđena udaljenost je ista kao udaljenost prijeđena u istom vremenu pri jednolikoj brzini IK, koja je polovica brzine EB. Povezanost prema kojoj je put proporcionalan s kvadratom vremena izvedena je iz Mertonovog pravila srednje brzine - vrijeme potrebno da tijelo koje kreće iz mirovanja prijeđe danu udaljenost dok se giba jednoliko ubrzano jednako je vremenu koje je potrebno da isto tijelo prijeđe istu udaljenost gibajući se konstantnom brzinom koja je jednaka polovici konačnog i najvećeg stupnja brzine koju je tijelo dobilo prijašnjim ubrzanim gibanjem. [1]



Slika 19.: Galileov grafički prikaz slobodnog pada [1]

Galileo nije u potpunosti poistovjetio udaljenost s površinom. Njegovo znanje infinitezimalnog računa nije bilo dovoljno da bi tvrdio da zbroj beskonačno mnogo malih linija koje predstavljaju brzinu daje nešto drugo – udaljenost. Infinitezimalni račun, čije

zakone su otprilike u isto vrijeme otkrili Isaac Newton i Gottfried Wilhelm Leibnitz[*], pokazao se kao potrebna metoda za računanje s veličinama koje se kontinuirano mijenjaju. [1]

Dvije struje povjesničara znanosti zagovaraju oprečne stavove u pitanju je li Galileo zaista izvodio pokuse s kosinom na temelju kojih je izrazio svoj zakon slobodnog pada, s obzirom da u *Raspravi* govori o hipotetskim pokusima, ali obje priznaju da je Galileov način razmišljanja promijenio znanstvenu povijest. Koncept jednoliko ubrzanog gibanja do tada se smatrao idealnim slučajem koji ne postoji u stvarnom svijetu, a matematički opis bio je rezerviran za astronomiju: nebo je savršeno i ne mjenja se pa se, stoga, može i matematički opisati. Na Zemlji, naprotiv, stvari podliježu promjeni koja se nikako ne može matematički opisati, nema idealnih situacija i sve što se o zemaljskim gibanjima može reći je okvirno. Prema tome ni jednoliko ubrzano gibanje ne postoji na Zemlji. Galileo je matematički model jednolikog ubrzavanja, koji su njegovi prethodnici s Merton Collegea tako lijepo izrazili, primjenio na realnu situaciju i mjerenjima ustanovio kako tijelo koje slobodno pada zaista jednoliko ubrzava. Galileo je postavio temelje jedinstvu praktičnog iskustva s apstraktnom znanošću. [5] Odjednom, idealni slučaj koji je moguće matematički opisati zaista postoji na Zemlji, što je otvorilo vrata eksperimentalnoj znanosti i daljnjem razvoju fizike.

5.5. Horizontalni hitac

Četvrti dan *Rasprave* posvećen gibanju projektila, primjer je iznimne kvalitete Galileove znanosti:

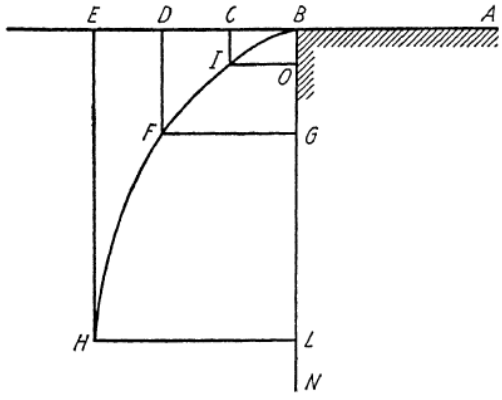
> „Zamislimo tijelo pokrenuto po horizontalnoj ravnini bez ikakve zapreke. Kažemo da će njegovo gibanje po ravnini ostati jednoliko u beskonačnost, ukoliko se ravnina proteže u beskonačnost. Ali ako je ravnina ograničena i tijelo bude izbačeno u zrak, kad tijelo, za koje pretpostavljamo da je pod utjecajem gravitacije, prođe rub ravnine, dodat će prvotnom jednolikom i neuništivom gibanju, težnju prema dolje koju ima zbog svoje težine. Zbog toga proizlazi složeno gibanje, složeno od horizontalnog gibanja i prirodnog ubrzanog padanja.“ [12]

Na tim stranicama Galileo pokazuje da je putanja projektila parabolična:

[*] Gottfried Wilhelm Leibnitz (1646. – 1716.) – njemački filozof, matematičar, fizičar i diplomat

„Primjećeno je da projektili opisuju neku zakrivljenu putanju, ali nitko nije naglasio činjenicu da je ta putanja oblika parabole.“[3]

„Uzmimo horizontalnu ravninu AB, postavljenu u zrak, duž koje se tijelo giba jednoliko od A do B. U točki B, gdje prestaje oslonac, tijelo, zbog svoje težine, prisiljeno je na prirodno gibanje prema dolje duž linije BN, zbog svoje gravitacije. Nadopunimo liniju AB do linije BE koju ćemo koristiti za mjerenje tijeka vremena. Označimo jednake udaljenosti BC, CD i DE na BE i nacrtajmo paralele liniji BN kroz točke C, D i E. Na prvoj od tih paralela uzmimo proizvoljnu duljinu CI; na slijedećoj, duljinu DF koja je četiri puta veća; na trećoj, duljinu EH devet puta veću; i tako dalje, svaka slijedeća dužina veća kao kvadrat od duljine CB, DB, EB... Zamislimo da je vertikalni pad duž CI dodan pomaku tijela koje se giba od B do C u jednolikom gibanju. U vremenu BC tijelo će se nalaziti u točki I. U vremenu BD koje je dvostruko dulje od BC, njegova vertikalna udaljenost zbog pada bit će jednaka 4CI. Pokazano je da se udaljenosti odnose kao kvadrati vremena u jednolikom ubrzanom gibanju. Na isti način, udaljenost EH koja je prijeđena u vremenu BE bit će devet CI; prema tome, udaljenosti EH, DF, CI se odnose jedna prema drugima kao kvadrati duljina EB, DB, CB... U točkama I, F, H prema tome, leži parabola.“ [12]



Slika 20: Galileijev prikaz korizontalnog hitca [12]

Galileo je uočio da se putanja projektila može odrediti ako vertikalnu i horizontalnu komponentu gibanja promatramo odvojeno i zatim ih kombiniramo zajedno. To jest, pretpostavka da su horizontalno i vertikalno gibanje nezavisni, dovodi do rezultata koji se slažu s promatranjima. [3] Parabola je kombinacija dvaju nezavisnih gibanja koja ne

interferiraju međusobno: prema naprijed jednoliko gibanje u horizontalnoj ravnini i prema dolje jednoliko ubrzano gibanje na vertikali.

Da bi to ilustrirao, u *Dijalogu* raspravlja o rezultatima promatranja slobodnog pada tijela s jarbola gibajućeg tijela gledajući ih s palube broda i s obale. Taj fenomen, za jednog promatrača bio je slobodni pad, a za drugog očiti horizontalni hitac. Galileo je generalizirao rezultate tog i sličnih promatranja i primjenio ih na gibanja u proizvoljnim referentnim sustavima. [7]

Rasprava između trojice sugovornika *Dijaloga* posebno je zanimljiva. Sagredo primjećuje kako dva gibanja kombinirana na taj način „niti mijenjaju jedno drugo, niti miješaju, niti se uzajamno spriječavaju.“ [12] Simplicio pak naglašava da se u ovakvom prikazu zanemaruje otpor medija. Salviati odgovara kako se te zamjerke mogu odbaciti na temelju eksperimenta s dvjema kuglama, jednom od drveta i jednom od olova, koji je izveo. Obje kugle ispuštao je s visine 200 lakata. Drvena kugla, koja je osjetljivija na otpor zraka, nije značajno kasnila za olovnom. Salviati podsjeća da projektili izbačeni iz oružja imaju takve brzine i putanje da se lako mogu modificirati otporom zraka.

Ovaj zakon koji kombinira princip inercije i zakon slobodnog pada, omogućio je Galileu određivanje brzine, visine, dometa i količine gibanja. Nemojmo izgubiti iz vida da je Galileovo jednoliko gibanje u horizontalnoj ravnini zapravo gibanje po kružnici velikog radijusa.

> „Topovske kugle ne premašuju četiri milje udaljenosti, što je malo u usporedbi s toliko mnogo tisuća milja naše udaljenosti od središta [Zemlje]. Te kugle dolazeći do površine zemaljske kugle mogu mijenjati parabolični oblik neosjetljivo, dok se taj oblik jako mijenja kad bi se gibale prema središtu.“ [7]

Galileo je efektivno promijenio način na koji su ljudi razumijevali gibanje i uveo radikalno drugačiji način povezivanja gibanja i geometrije. [1] Otkrivši matematičku povezanost između horizontalnog i vertikalnog gibanja otvorio je vrata objašnjenju određenih gibanja koje je bilo osobito teško razmjeti unutar aristotelskih okvira. [7]

6. Recepcija i posljedice Galileijeve teorije gibanja

Galileijeva teorija gibanja te njegova promatranja neba, snažno su odjeknule u cijeloj Europi. Kvantifikacija djelova zdravorazumske realnosti, što su radili, većinom isusovački, praktičari miješane matematike i filozofije, uključeni kad se radilo o nastavku Galileovog naslijeđa, bila je temeljno različita aktivnost od matematizacije dijelova prirode uključenih u polukonkretnu i poluapstraktnu razinu svijeta preciznosti kojoj je Galileo prokrčio put, nekolicina njegovih učenika nastavila tražiti neko vrijeme, a drugi, većinom izvan granica Italije, bili spremni nastaviti. Više od toga, sama narav kontroverza oko Galileovog kinematičkog naslijeđa, zajedno sa svojiim nositeljima uzajamnog nerazumijevanja i njihovim izmjenama koje su očito suprotnih ciljeva, svjedoči duboku razliku sakrivenu ispod površinske sličnosti. [14]

6.1. Galileijevi istovremenici o njegovoj teoriji gibanja

Slijedeći opis stajališta nekih velikih ljudi o Galileu i njegovu radu, daje presjek cjelokupnog mišljenja europskog intelektualnog kruga o njemu.

6.1.1. Galilei i Descartes

Čini se da Descartes, trideset i dvije godine mlađi od Galilea, nikada nije pokazao veće zanimanje za rad starijeg znanstvenika. Prvo Galileovo djelo za koje možemo pretpostaviti da ga je Descartes vidio bio je *Dijalog,* koji je sa sobom donio u posjet njegov prijatelj i učitelj Isaac Beeckman[*]. Nakon dva dana tijekom kojih je djelo bilo kod njega, komentirao je kako Galileo razmatra gibanje "poprilično dobro", osim kad govori o plimi "što mi se čini dosta nategnuto."

U svojem pismu prijatelju Marinu Mersennu[**] piše:

> "Voljan sam priznati da sam pronašao u njegovoj knjizi neke od svojih vlastitih ideja..." [13]

[*] Isaac Beeckman (1588. – 1637.) – nizozemski filozof i znanstvenik, Descartesov profesor kojem je posvetio traktat *Compendium Musicae*, zagovarao tvar sastavljenu od atoma odbacujući Aristotela

[**] Marin Mersenne (1588. – 1648.) – francuski teolog, filozof, matematičar i teoretičar glazbe, otac akustke

Jedna od tih vlastitih ideja koje je našao u Galileovom *Dijalogu* bio je zakon slobodnog pada kojeg je Descartes potpuno promašio vrativši se na proporcionalnost brzine i udaljenosti. Descartes nikad nije uvidio koliko je to različit konecept od Galileovog ili „prozreo pravo značenje i značaj zakona slobodnog pada“ [14]

Iako je Galileov *Dijalog* imao u rukama tek par dana, *Raspravu* je kupio čim je došla u prodaju. Ali ne zato što su se njegovi osjećaji prema Galileu promijenili, nego zato što je Mersennu obećao kako će kupiti knjigu „čim se pojavi, pročitati je i prokomentirati na marginama ako bude što vrijedno komentiranja“. Nedugo zatim ponovno piše:

> “Imam Galileovu knjigu i potrošio sam dva sata prelistavajući ju, ali nisam našao puno stvari kojima bih ispunio margine. Stoga, s obzirom da mogu sve svoje komentare staviti u vrlo malo pismo, vjerujem da knjiga nije vrijedna slanja.“ „Čini mi se općenito kako Galileo filozofira mnogo bolje nego uobičajena većina jer napušta što je moguće više pogrešaka Škole i teži proučavanju fizičkih pitanja matematičkim razumijevanjem. U tome se u potpunosti slažem s njim i držim da ne postoji drugi put nalaženja istine. Ali vidim ozbiljan nedostatak u njegovim konstantnim digresijama i nemogućnosti da stane i objasni pitanja u cjelosti. To pokazuje da ih nije proučio kako treba i da je, bez razmatranja prvih uzroka prirode, jedva tražio uzroke nekih posebnih pojava te, prema tome, da je gradio bez ikakvog temelja.“ [13]

Descartes je, u konačnici, bio filozof u potrazi za uzrocima dok se Galileo, već u početku, ogradio od toga. Prema Descartesu, Galileo je dao odgovor na pitanje „Kako?“ bez da je ponudio ikakav odgovor na pitanje „Zašto?“

Descartesa nije smetalo samo te nego i sumnja da je možda nešto posudio od Galilea. Pokušavajući se opravdati, Descartes piše:

> “Nikad ga nisam vidio niti imao ikakvu komunikaciju s njim te, prema tome, nisam mogao ništa posuditi od njega. Nadalje, ne nalazim ništa za pozavidjeti u njegovim knjigama i malošto što bi poželio posjedovati kao vlastito. Najbolje što ima je rad o glazbi, ali oni koji me poznaju radije će povjerovati da je on to preuzeo od mene, nego ja od njega.. Praktički isto, napisao sam devetnaest godna ranije, u trentku kad još nikad nisam bio u Italiji.“ [13]

Descartes je Galileu zamjerao identificiranje matematičkih entiteta s realnim fizičkim tijelima te Galileovo vjerovanje kako je „priroda pisana matematčkim jezikom.“

Koliko god je Descartes hvalio matematku, nikad nije poistovjetio shvaćanje fizičke zbilje s poznavanjem njezine geometrijske strukture.

U svakom slučaju Descartesovo generalno mišljenje o Galileu i njegovom radu očituje se u slijedećim riječima:

> "U ovome nema ničega što nije trivijalno, ali sama činjenica da piše u dijaloškoj formi, u kojoj uvodi tri osobe koje ne rade ništa osim naizmjeničnog hvaljenja ili uzvisivanja njegovh otkrića, mnogostruko preporuča njegov rad."

Drugim riječima, Galileo je stručnjak za komunikaciju, odličan prodavač, ali nikako izvorni mislioc. [13]

6.1.2. Galilei i Pierre Gassendi

U listopadu 1640., francuski filozof, svećenik, znanstvenik, astronom i matematičar Pierre Gassendi (1592. – 1655.) u Marseillesu je izveo pokus koji Galileo opisuje u *Dialogu,* kako bi provjerio i podržao Galileovu pretpostavku da kugla bačena s vrha jarbola broda koji miruje i onog koji se giba velikom brzinom, uvijek pada točno u podnožje jarbola. Potvrdom da se tijelo ponaša na potpuno isti način, Gassendi se osjećao slobodan zaključiti kako se Zemlja giba.

Iste godine Gassendi piše dva pisma prijatelju Pierru Dupuyu, čuvaru knjižnice predsjednika pariškog Parlamenta, u kojima razrađuje mehaničke i kozmološke implikacije Galileovog principa da "sve što se kreće utiskuje svoje kretanje u sve stvari koje se na njemu nalaze." [15] Iako je nekoliko puta ponovio kako ga ne zanima opravdavanje kopernikanske teorije, bilo mu je važno da pokaže neprikladnost argumenta koji se najčešće protiv nje iznosio. Iako su njegova pisma „Epistolas" većim dijelom sažetak Galileova *Dialoga,* u njima dijelomično preoblikuje i prilagođava Galileove teorije trenutno pristupačnim podacima, npr. navodi da su putanje planeta eliptične prema Kepleru. Jedna od konceptualnih novosti koje je objavio u *Epistolae de motu* bila je formulacija principa pravocrtnog gibanja. Za Gassendija nije postojala filozofska zapreka koja bi mu sprječavala zamisliti svemir, ili barem samo prostor, koji je prazan i neograničen, te u kojem se realno tijelo može gibati vječnim pravocrtnim gibanjem. [15]

Njegove epistole su važne i zbog svog utjecaja na suvremene čitatelje. Objavljivanje pisama Dupuyu se dogodilo u isto vrijeme kad i početak "affaire Galilee" - duge internacionalne debate oko Galileove teorije gibanja koja je završila tek smrću

Marina Mersennea 1648. U epistolama detaljno analizira slobodni pad i gibanje projektila kako bi obranio Galileovu teoriju gibanja od napada isusovca Pierra Le Cazrea, te čitateljima predlaže niz jednostavnih eksperimenata kojima se lako mogu uvjeriti da navedena teorija zaista ima smisla. [15]

Gassendi je, za razliku od Galilea, razmatrao uzroke gibanja, jednako kao i Descartes, te došao do zaključka da uzrok gibanja mora biti vanjski. Budući da povećanje brzine silaznog gibanja odgovara smanjenju brzine uzlaznog gibanja, gibanje uz kosinu i niz kosinu proizlazi iz istog principa. A kako uzlazno kretanje ima očit vanjski uzrok i uzrok silaznog gibanja je vanjski. Za razliku od Galilea, koji tvrdi da su ta gibanja jednako prirodna, Gassendi smatra da su jednako prisilna, jer ih oba proizvodi vanjski uzrok. Descartes je pokušao naći alternativu zakonu pada koji bi zamijenio Galileov, no do 1640. je postao uvjeren kako ponašanje tijela u slobodnom padu ne može biti prevedeno u univerzalan matematički zakon. Za razliku od njega Gassendi nikad nije posumnjao u istinitost Galileovog zakona i borio se da nađe uzrok gravitacije koji bi mogao s njim pomiriti.

Gassendi je svojim radom pokušao preoblikovati Galileovu znanost o gibanju u strukturu koja bi povezivala eksperimentalni dokaz s uzročnim objašnjenjem i matematičkom analizom pojave. Pri tome, neizbježno je modificirao Galileovu izvornu misao. Godinama je pokušavao spojiti Galileov matematički opis slobodnog pada s uzročnim objašnjenjem, ali bio je prisiljen odustati. Neki povjesničari znanosti Gassendija su opisali kao nedarovitog matematičara i osrednjeg filozofa koji unatoč ljubavi prema znanosti nije uspio napraviti više od sastavljanja raznih djelića. Problem je, zaključili su, u konfliktu između zahtjeva matematičke mehanike i mehaničke filozofije. Galileov elegantan matematički zakon ubrzanja u slobodnom padu je došao bez fizičkog objašnjenja i svi napori napori da ga se pomiri s mehaničkim modelom su bili bezuspješni. Gassendija razlikuje od drugih prednewtonista, kao što su Descartes i Marsenne, njegovo odbijanje priznavanja nepremostive prirode problema i ustrajnost u svojim pokušajima da pomiri nepomirljivo. Donekle je ironično to što je baš zbog svoje tvrdoglavosti i žilavosti s kojom je branio svoja uvjerenja Gassendi zapamćen kao važna figura u širenju i populariziranju Galileove znanosti.[15]

6.2. Fizika supralunarnog područja

Velika astronomska otkrića nisu samo podcrtala objedinjeni pogled na svijet, nego su i oslabila pritužbe protiv kopernikovog sustava. Kao prvo, Mjesec je neravne površine, tj. nesavršen i prema tome promjenjiv i zemaljski po prirodi, a giba se po nebu, pa iz ove perspektive nije više smiješno pretpostaviti da se i Zemlja giba. Još više, Jupiter i njegovi sateliti odjednom se čine kao mala verzija kopernikovog sustava. Promatranja zvijezda stajačica otkrila su da se nalaze na puno većim udaljenostima od Zemlje nego što su planeti, i činilo se da nisu smještene odmah iza Saturnove sfere. Nedostatak paralakse zvijezda bila je jedna od najvećih zamjerki kopernikanizmu. Paralaksa je promjena u poziciji koja se pojavljuje kada se isti predmet promatra s dva različita mjesta (ako pogledate olovku s jednim okom zatvorenim, i zatim zatvorite to oko, a otvorite drugo, izgleda kao da se olovka pomaknula). Što je veća udaljenost, to bi trebala biti manja promjena. Nemogućnost opažanja zvjezdanih paralaksa sada se mogla objasniti kroz veliku udaljenost između zvijezda i Zemlje.[1]

Unatoč snažnoj potpori kopernikovoj teoriji, Galileo nije do kraja prihvatio neke posljedice koje su proizašle iz nje. Keplerove tvrdnje da je putanja planeta eliptična, a ne kružna, potpuno je ignorirao.

7. Vjera i znanost

Čini se da su najranija objašnjenja čovjeka i njegovog svijeta proizašla iz religije. Filozofija, barem u zapadnom svijetu, dolazi kasnije na scenu, a tek na kraju, kao posljednja od svih, znanost. Prema tome, filozofija je, prirodno, u prvom redu bila predvođena religijom, a zatim i sama predvodila znanost. To je zasigurno bio slučaj od 12. stoljeća pa do vremena Galilea. Toma Akvinski* je u 13. stoljeću izvršio pothvat od temeljne važnosti za povijest filozofije i teologije: temeljito je proučavao Aristotela i njegove tumače, razlikujući u njima ono što je ispravno od onoga što je dvojbeno ili, s kršćanskog stajališta, potpuno spremno za odbacivanje. Pritom je ukazao na dodirne točke s činjenicama kršćanske objave te koristio aristotelsku misao u tumačenju teoloških spisa koje je sastavio. Toma Akvinski je pokazao da između kršćanske vjere i razuma postoji prirodni sklad. Time je aristotelska filozofija ušla u kršćansku tradiciju i postala vrlo bliska teologiji.

Galileov značaj za formiranje moderne znanosti djelomično leži u njegovim otkrićima i razmišljanju o fizici i astronomiji, ali još više u njegovu odbijanju da znanost bude predvođena filozofijom. [1]

Galileova znanost nije znanost Descartesa ili Newtona, dvojice mislilaca koji su nakon njegove smrti najviše doprinjeli razvoju njegovih teorija. Nije to niti znanost sveučilišta njegovoga doba, koja su se razvila većinom na Aristotelovoj filozofiji prirode. Galileova fizika utemeljena je na njegovim vlastitim stvarnim mjerenjima koja su ga preko genijalnosti i preciznosti dovela do zakona slobodnoga pada. To nije bio srednjovjekovni pristup proučavanju gibanja, a niti filozofski. Prirodna filozofija traži uzroke, a ne zakone, a uzroci se otkrivaju kroz rezoniranje, a ne mjerenje. Galileo je 1605. godine pitao:

> „Što uopće filozofija ima s mjerenjem ičega?“ [5]

Danas je teško shvatiti kakav bi težak udarac prirodnoj filozofiji bila situacija u kojoj bi jedan matematičar mogao mjerenjem dokazati neispravnost kozmologije. Galileo je u vezi s tim rekao:

> „Uobraženost je misliti da netko može uvesti novu filozofiju odbacujući ovog ili onog autora. Nužno je, u prvom redu, naučavati

* Toma Akvinski (1225. – 1274.) – talijanski dominikanac, teolog, crkveni naučitelj i svetac

preoblikovanje ljudskog razmišljanja i učiniti ga sposobnim razlikovati istinu od laži, što samo Bog može.“ [5]

Galileova fizika većinom se bavila samo promjenom mjesta, a čak i tada, samo gibanjem teških tijela na ili blizu površine Zemlje. Ne samo da je potpuno promašila probleme kojima su se bavili tadašnji filozofi, nego je bila u izrazitoj kontradikciji s Aristotelovim tvrdnjama o brzini padanja teških tijela te nije ponudila nikakva objašnjenja o uzrocima umjesto njegovih. Očito je zašto su se filozofi prema njegovoj znanosti odnosili s prijezirom – njima se činila kao bijedno trivijalna i nezadovoljavajuća. [5] Njegova znanost nije bila zatvoren sustav poput Aristotelovog. Nije to bila toliko kolekcija zaključaka koliko metoda. Pokazao se izrazit kontrast „skromnosti matematičko-fizičke metode, koja, nakon marljivog i preciznog istraživanja, traga za opisom prirodne pojave u zaokruženoj shemi koristeći egzaktan jezik matematike“ i „arogancije filozofske misli, koja teži shvatiti svijet u njegovoj širini u jednom jedinom inspriranom naletu, te traži neposredan uvid u bit stvari iz uvjerenosti da je to jedini način stjecanja vjerodostojnog znanja o pojavama.“ [14]

Možda bi bilo od pomoći smještanje Kopernikova rada, koji je prethodio Galileu i zbog kojeg se Galileo našao u problemima, u kontekst tadašnjega vremena. Renesansa koja je u Europi trajala od 14. do 17. stoljeća, bila je vrijeme ponovnog otkrivanja mnogih rimskih i grčkih autora, velikih geografskih otkrića, primjerice, putovanja Kristofora Kolumba[*], kao i kalendarske reforme kao što je gregorijanski kalendar koji je uveden 1582. godine. To je bilo vrijeme promjena i Katolička Crkva isprva nije zauzela stajalište ni sukladno ni protivno kopernikanskome sustavu. Reformacija započeta u 16. stoljeću, predvođena Martinom Lutherom[**] i Jeanom Calvinom[***], smatrala je kako jedino izravna i doslovna interpretacija Biblije može biti temeljni izvor kršćanskog znanja, uzimajući tu pretpostavku kao središnje pravilo protestantizma. Prema tome, nije iznenađujuće da su protestantske denominacije odmah bile protiv kopernikanskog modela kao oprečnog Svetom Pismu. Predgovor Kopernikovoj knjizi „De Revolutionibus“ napisao je Andreas Osiander[****], katolički teolog koji je kasnije prihvatio protestantizam, ne priznajući kopernikov sustav kao doslovnu istinu, već kao pretpostavku. Šezdesetak godina Katolička

[*] Kristofor Kolumbo (1451. – 1506.) – istraživač i trgovac koji je preplovio Atlantski ocean i doplovio do Amerike

[**] Martin Luther (1483. – 1546.) – njemački teološki i vjerski reformator, začetnik protestantske reformacije

[***] Jean Calvin (1509. – 1564.) – francuski vjerski reformator i teolog, utemeljitelj kalvinističke protestantske crkve

[****] Andreas Osiander (1498. – 1552.) – njemački protestantski teolog

Crkva nije dirala Kopernikovo veliko djelo. Tek s početkom katoličke protureformacije Crkva zauzima snažan stav protiv kopernikanizma i 1616. godine stavlja „De Revolutionibus“ na Index zabranjenih knjiga.[3]

Filozofi prirode imali su zamjerke protiv Galileove teorije gibanja, ali najveća prašina, koja ga je stajala pritvora, digla se zbog teleskopa i Galileovih promatranja neba. Otkrića Mjesečevih planina, Jupiterovih satelita, Venerinih mijena i mnoštva zvijezda izravno su se protivila aristotelskoj kozmologiji i podupirala kopernikansku teoriju. Dok su isusovački astronomi prihvatili i potvrdili Galileova otkrića svojim vlastitim teleskopom koji im je Galileo poklonio, protivljenje filozofa je naraslo do te mjere da su vodeći profesori odbili gledati kroz teleskop smatrajući to iluzijom. Kasnije je došlo i do razilaženja s isusovcima, počevši od nepriznavanja prvenstva otkrića Sunčevih pjega Christophu Scheineru. Unutar rasprava o Sunčevima pjegama Galileo je ustvrdio kako bit tvari ne možemo spoznati te da se znanost bavi samo svojstvima tvari i promatranim događajima, što je upućivalo na neovisnost znanosti o filozofiji.

Godine iskustva poučile su Galilea da je najbolji način obrane odvajanje činjenica od mišljenja. Kad god bi pobijao protivnike on bi im ili izložio logičku neodrživost njihovih vlastitih stavova ili bi im pokazao mjerenja koja su pokazivala suprotno. S Biblijom je bilo drugačije. Nikakva kontradikcija Svetomu Pismu nije bila dopuštena u znanosti, jednako kao ni u drugim stvarima. Budući da Biblija nije imala namjeru naučavati astronomiju kao što su imali filozofi, prividne kontradikcije između Biblije i astronomije bile su, na sreću, malobrojne. Biblijska interpretacija bila je pitanje mišljenja – stručnog teološkog mišljenja, koje je moglo biti, shodno tome, vođeno astronomskim ili fizičkim činjenicama. Znanost nije mogla nastaviti neovisno o stručnom teološkom mišljenju, ali se dogovor među njima mogao lako postići. Rani crkveni oci savjetovali su izbjegavati povezivanje kršćanske vjere s nebitnim pitanjima za spasenje duše, osobito u pitanjima koja su zahtijevala detaljnu studiju koja bi se mogla kositi s bolje provedenim vremenom u meditaciji. Tridentski koncil je crkvene oce proglasio temeljem biblijske interpretacije i niti jedan od njih nije savjetovao ovisnost svjetovnog znanja o vjeri. I Sveti Augustin* i Toma Akvinski rekli bi da istinski smisao Biblije podupire bilo koju astronomsku hipotezu koja se pokazala istinitom u prirodi, bilo da jest ili nije potvrđena od

* Sveti Augustin ili Aurelije Augustin (354. p. Kr. – 430. p. Kr.) – sjevernoafrički pisac, glazbeni teoretičar, teolog i jedan od najutjecajnijih kršćanskih učitelja, koristio Platonovu filozofiju za izražavanje kršćanskih ideja.

ljudi. Bilo je za očekivati da će teolozi zauzeti takvo stajalište, ali, umjesto toga, rekli su kako Biblija podržava prevladavajuću filozofsku školu. [5]

Iza propovijedi svećenika koji su optužili Galilea, stajali su profesori filozofije koji su si uzeli za pravo interpretirati Bibliju i stvorili novu herezu. Po njihovim vlastitim načelima, razum treba prevladavati u svemu, što nije istina u području vjere. Sačuvani dokumenti pokazuju da su, prije nego što je bilo koji svećenik progovorio protiv njega, njegovi filozofski protivnici proglasili kako je njegovo mišljenje u suprotnosti s Biblijom i potaknuli neke svećenike da to kažu javno. [5]

Galileo se našao u problemu jer je bilo nemoguće opravdati se teolozima koji većinom nisu bili stručnjaci ni u astronomiji ni u fizici, nego u aristotelskoj filozofiji. U početku kršćanstva su rani crkveni oci mudro odvojili znanost od vjere kako bi izbjegli krize ove vrste na elementarnoj razini koje su postojale već u njihovo vrijeme. Kako bi razumska rasprava bila oslobođena bilo kakvih religioznih pretpostavki, Galileo je nastojao odvojiti isključivo znanstvena pitanja od vjerskih pitanja. Zbog dobrobiti Crkve, Galileo nije htio da Crkva podrži ni jednu stranu bilo kojeg znanstvenog pitanja niti da suzbije drugu stranu po pitanju vjere. [5]

Pismo Benedettu Castelliju u kojem je iznio biblijske retke u skladu s Kopernikovim stajalištem i pokušao opovrgnuti uvriježeno mišljenje o kontradiktornosti Svetog Pisma i kopernikanizma, bilo je jedno od temeljnih točaka optužnice protiv Galilea, jednako kao i pisma o Sunčevim pjegama. U optužnici stoji kako su u pismu Benedettu Castelliju „sadržani brojni prijedlozi protiv pravog smisla i autoriteta Svetog pisma.“ [6] Tim pismom je zapečaćena Galileova osuda na pritvor. Galileo je sam sebe osudio u trenutku kada je nasjeo na izazivanje filozofa koji su sukob znanosti i filozofije prenijeli u područje sukoba znanosti i teologije.

Papa Ivan Pavao II. rekao je 1986. godine:

> „Vama koji se pripremate za obilježavanje tristo pedesete obljetnice objavljivanja velikog Galileovog znanstvenog rada »Dijalog o dva velika sustava svijeta«, htio bih reći da je iskustvo Crkve, tijekom tih događaja s Galileom i kasnije, dovelo do zrelijeg stava i određenja o tome koliku vlast Crkva može i treba imati. Ponavljam ono što sam izjavio pred Pontificijskom akademijom znanosti 10. studenog 1979. godine: »Nadam se da će teolozi, znanstvenici i povjesničari, potaknuti duhom istinske suradnje, dublje proučiti Galileov slučaj i da će, iskreno priznajući nepravde došle ma s koje strane,

odagnati nepovjerenje koje do dana današnjeg u svijesti mnogih ljudi zapreČuje slogu znanosti i vjere«.“[8]

8. Zaključak

Galileova teorija gibanja izazvala je pravu revoluciju u razvoju znanstvene misli. Ovim radom htjela sam pokazati kako je do nje došlo, to jest, što joj je prethodilo, od čega se sastoji i kako je dalje utjecala na generacije nakon Galilea.

Psihologija je pokazala da sociološka komponenta jednako utječe na razvoj ljudske osobe kao i genetske predispozicije. Osobna povijest, odnosi s ljudima i kontekst vremena u kojem se čovjek nalazi oblikuju način razmišljanja čovjeka u jednakoj mjeri kao i karakter čovjeka. Galileo nije bio iznimka. Živio je u turbulentnom vremenu previranja s promjenama na političkom, geografskom i religijskom području.

Galileo, koji je bio izrazito nadaren za tehnička rješenja, predstavlja spoj teorijskog i praktičnog znanja. Iz male radionice koju je otvorio pokraj svoje kuće, izašli su instrumenti i ostale male naprave vezane za njegov rad na vojnoj arhitekturi i utvrdama, balistici, hidraulici, za istraživanja jakosti materijala, konstrukciju geometrijskog i vojnog kompasa, teleskopa i termoskopa – preteče termometra. Osim praktičan, bio je izuzetno samokritičan. Vlastite je teorije mijenjao ili čak potpuno odbacio ako je bilo potrebno, te se na temelju njegovih radova može jasno uočiti razvoj i napredak njegova razmišljanja tijekom godina.

Osim teorije gibanja izuzetno je važan njegov doprinos astronomiji, koji nismo pobliže razmatrali. Svojim teleskopom s pojačanjem 20 i više puta, koji je usmjerio u zvjezdano nebo, otkrio je sjene na osvjetljenoj strani Mjeseca i osvjetljena područja na tamnoj strani i zaključio da Mjesec nema uglačanu površinu, nego neravnu. Također, otkrio je postojanje četiriju malih nebeskih tijela koja se okreću oko planeta Jupitera, u zviježđu Plejade otkrio je 40 zvijezda koje se ne vide golim okom, a promatrajući druge maglice ustanovio da se sastoje od mnoštva zvijezda, te Sunčeve pjege. Promatrajući Veneru i Mars, primijetio je da prolaze kroz iste mijene kao i Mjesec, od mlađaka do uštapa, na temelju čega je zaključio da se ne mogu okretati oko Zemlje nego nužno oko Sunca. Jedna od pojava koju nije mogao objasniti bila je „trojstvena ili utrostručena“ pojava Saturna. Naime, teleskop koji je koristio nije bio dovoljno jak da bi njime vidio Saturnove prstene, nego se činilo kao da je Saturn istovremeno građen od tri tijela.

Poznavanje događaja koji su prethodili određenim otkrićima, kao i poznavanje geopolitičkog konteksta vremena od izuzetne je važnosti za proučavanje bilo kojeg fenomena ljudske povijesti, pa i otkrića ili razvoja neke teorije. Počevši s antičkom Grčkom u kojoj je glavnu riječ vodio Aristotel s geocentričnim sustavom i gibanjem kao

promjenom, preko srednjevjekovnih mertonovaca i njihovog kinematičkog opisa gibanja u idealnom slučaju, te Galileovog prethodnika Kopernika s heliocentričnim sustavom protiv kojeg je glavni argument bio upravo važeća teorija gibanja, došli smo do centralnog dijela rada koji je posvećen, naravno, Galileijevoj teoriji gibanja.

Ova teorija, tako jednostavna, a opet tako nedokaziva u ono vrijeme, bila je svojevrsno remek-djelo. Veličina te teorije leži u odvajanju uzroka gibanja od samog opisa gibanja, te u zamjeni drevne potrage za uzrocima i počelima svijeta, modernom potragom za fizičkim zakonima koji ga opisuju. Njegov koncept gibanja do tada se smatrao nemogućim - idealni slučaj koji ne postoji u stvarnom svijetu. Matematički opis bio je rezerviran za astronomiju: nebo je savršeno i ne mijenja se pa se, stoga, može i matematički opisati. Materija na Zemlji, naprotiv, podliježe promjeni koja se nikako ne može matematički opisati i nema idealnih situacija. Galileo je prekinuo podjelu na zemaljsku i nebesku materiju koristeći istu matematiku i za jedno i za drugo područje. Matematički apstraktni model je primijenio na realnu situaciju i mjerenjima ustanovio kako tijelo zaista može jednoliko ubrzavati. Galileo je postavio temelje jedinstvu praktičnog iskustva s apstraktnom znanošću. Njegovim posredstvom, odjednom, idealni slučaj koji je moguće matematički opisati zaista postoji na Zemlji, što je otvorilo vrata eksperimentalnoj znanosti i daljnjem razvoju fizike. Galileo je efektivno promijenio način na koji su ljudi razumijevali gibanje i uveo radikalno drugačiji način povezivanja gibanja i geometrije.

Velika je šteta da se Galileovo ime danas najviše veže uz teleskop i inkviziciju. Živimo u svijetu u kojem je Galileo gotovo kao brend i simbol i teško je boriti se za autentično vrednovanje sadržaja njegovog znanstvenog rada. Nadam se da će doći vrijeme kada će i ovakvi radovi naći put do šire publike. Do tada možemo se samo pitati što bi bilo da Galileo nije vidio svog oca kako izvodi eksperimente s lutnjom, možda nikad ne bismo znali za zakon slobodnog pada. Možda bismo još uvijek mislili kako su matematika i realni svijet nepovezivi, da matematika nema veze sa stvarnim životom (kako često učenici misle). Da Galileo nije bio karaktera kakvog je bio, možda bi se povukao pred napadima većine i naša kultura i civilizacija bi zasigurno bile siromašnije.

Dodaci

A Priprema za nastavni sat – Horizontalni hitac

Horizontalni hitac je nastavna jedinica prvog razreda srednje škole. Obrađuje se unutar poglavlja Složena gibanja po gimnazijskom te četverogodišnjem strukovnom planu i programu nastave fizike. Prema dvogodišnjem i trogodišnjem planu i programu ova tema je predviđena za obradu u nastavi kao prošireni sadržaj. Prema jednogodišnjem planu i programu nastave fizike ova tema nije predviđena za obradu u nastavi.

Cilj je objasniti horizontalni hitac na demonstracijskom pokusu.
Obrazovni ishodi su:

- primijeniti načelo neovisnosti gibanja na kosi hitac
- navesti od kojih vrsta gibanja se sastoji kosi hitac
- opisati horizontalni hitac riječima i matematički
- skicirati putanju horizontalnog hica
- nacrtati vektore sile koja djeluje na tijelo te akceleracije i brzine tijela u proizvoljnoj točki putanje
- rastaviti vektor brzine na komponente u odabranom koordinatnom sustavu
- izreći što je domet
- izračunati domet, položaj, brzinu i akceleraciju u numeričkim zadacima
- uvježbati praktičnu primjenu horizontalnog hitca na konkretnim zadacima

Sat možemo organizirati na sljedeći način (artikulacija sata):

UVODNI DIO (upoznavanje pojave, otvaranje problema)

Motivacijski pokus s dva novčića – jedan izbačen horizontalno, drugi pada slobodnim padom.

GLAVNI DIO (konstruiranje modela)

Uvođenje i opisivanje horizontalnog hitca preko razgovora o pokusu. Izvođenje dodatnih pokusa koji pomažu učenicima uočiti neovisnost gibanja te vrste gibanja

horizontalne i vertikalne komponente horizontalnog hitca. Crtanje putanje horizontalnog hitca, crtanje vektora sile, akceleracije i brzine u proizvoljnoj točki putanje, rastavljanje brzine na komponente. Matematički opis horizontalnog hitca po komponentama: slobodni pad u vertikalnom smjeru, jednoliko gibanje po pravcu u horizontalnom smjeru. Interaktivni izvod izraza za domet te za brzinu pomoću pitagorinog poučka. Za konstrukciju modela korišten je frontalni oblik rada te metode demonstracije, razgovora, usmenog izlaganja, crtanja i pisanja. Kao nastavna pomagala koriste se dva novčića, ravnalo, ploča.

ZAVRŠNI DIO (primjena modela)

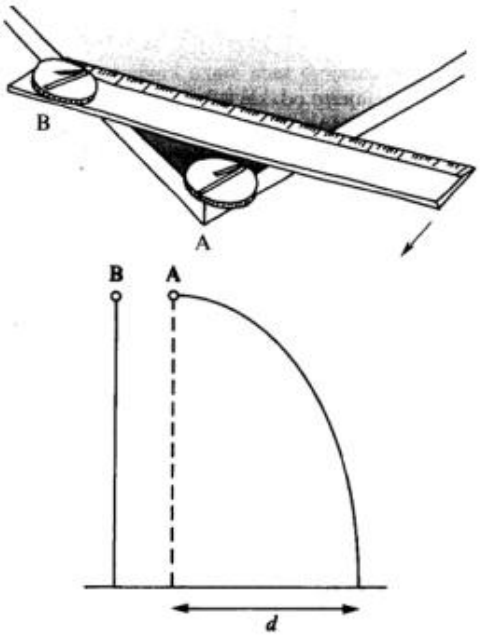
Radom u skupinama naučeno se primjenjuje na zadacima.

Tijek nastavnog sata

1. Uvodni dio

Uzmimo dva novčića od, recimo, jedne kune.

1. Što će se dogoditi ako ih istovremeno ispustimo s iste visine?
   Past će istovremeno na pod.
   Kako ćemo to detektirati?
   Čut ćemo samo jedan udarac.
   Isprobajmo. Stvarno smo čuli samo jedan udarac. Ponovimo još jedamput.
   Ponovo se čuje samo jedan udarac.
2. Sad ćemo, pak, staviti ravnalo na rub stola. Jedan novčić stavimo na ravnalo, a drugi na stol pokraj njega. Kad pomaknemo ravnalo, jedan novčić će pasti ravno prema dolje, a drugi ćemo ispaliti u horizontalnom smjeru.



Slika 21.: Eksperiment s dva novčića

Što će se sad dogoditi? Koliko udaraca ćemo čuti u ovom slučaju?

Dva, jedan…

Isprobajmo. Koliko udaraca ste čuli?

Samo jedan.

Jeste li sigurni? Ponovimo. Koliko udaraca ste ovaj put čuli?

Opet samo jedan.

Ponavljam pokus koliko god puta je potrebno dok većina učenika nije uvjerena.

Danas ćemo se baviti gibanjem horizontalno izbačenog novčića.

Zapišite naslov – HORIZONTALNI HITAC. Nacrtajte u bilježnicu i opišite pokus koji smo izveli. Prozivam neke učenike da pročitaju što su zapisali.

Crtam na ploču putanju horizontalnog hitca.

2. *Glavni dio*

Kakva gibanja smo do sada radili?

Jednoliko po pravcu, jednoliko ubrzano, slobodni pad…

U kojim smjerovima su većinom bila ga gibanja?

Vodoravno ili okomito.

U kojem smjeru je ovo gibanje? U kojim smjerovima biste ga rastaviti da nam bude lakše?

Vodoravno ili okomito.

Horizontalni hitac je složeno gibanje koje se sastoji od gibanja u horizontalnom i vertikalnom smjeru. Crtam koordinatni sustav s obzirom na putanju.

U pokusu smo čuli samo jedan udarac za oba novčića. Što to znači?

Da im je potrebno isto vrijeme da bi došli do poda. Jednako dugo padaju.

Kojom vrstom gibanja se giba novčić koji pada vertikalno prema dolje?

Slobodnim padom.

Ako novčić horizontalno izbacimo većom brzinom, koliko će mu tada trebati vremena za pad u odnosu na novčić koji slobodno pada?

Više/manje/jednako vremena.

Provjerimo. Koji je ishod pokusa?

Novčiću u korizontalnom hitcu treba jednako vremena do poda kao i novčiću u slobodnom padu iako je izbačen većom brzinom.

Probajmo još većom brzinom. Koji je ishod pokusa?

Opet isti.

Zapišite ishod pokusa u bilježnicu. Prozivam neke učenike da pročitaju što su zapisali.

Novčić smo izbacivali sve većom i većom brzinom u horizontalnom smjeru, je li to utjecalo na gibanje u vertikalnom smjeru?

Nije, jer je novčiću trebalo isto vrijeme da padne na tlo kao i prije.

To se zove načelo neovisnosti gibanja. Zapišite: Jednostavna gibanja, komponente složenog, događaju se istovremeno i neovisno jedno od drugog. Vrijeme složenog gibanja jednako je vremenima svih jednostavnih gibanja koja čine to složeno gibanje.

Ako se novčić koji pada ravno prema dolje giba slobodnim padom i treba mu jednako vremena za pad kao i horizontalno izbačenom novčiću, što možemo reći, kakvo je gibanje drugog novčića u vertikalnom smjeru?

U vertikalnom smjeru, horizontalno izbačeni novčić se giba slobodnim padom.

Zapišite u bilježnicu. Prozivam neke učenike da pročitaju što su zapisali. Pišem na ploču.

Zbog čega novčić pada na zemlju?

Zbog sile teže / svoje težine.

Djeluje li još koja sila na novčić koji pada?

Ne, to je jedina sila koja djeluje na njega.

Dakle, novčić pada na zemlju slobodnim padom, zbog svoje težine. Nacrtajmo tu silu u proizvoljnoj točki putanje. Crtam na ploču. Kojom akceleracijom novčić pada?

Akceleracijom sile teže, $g \approx 10\frac{m}{s^2}$.

Mijenja li se ta akceleracija kroz različite točke putanje?

Ne.

Nacrtajmo i nju na sliku.

Kako bi se gibao novčić da na njega ne djeluje niti ta jedna sila ili da je poništena (recimo, reakcijom podloge u slučaju bez trenja)?

Jednoliko po pravcu jer ne djeluje na njega neka sila koja bi ga zaustavila.

Već smo rekli da je horizontalni hitac složeno gibanje koje se sastoji od dvaju jednostavnih gibanja koji su međusobno nezavisni, u horizontalnom i vertikalnom smjeru. Ako novčić na zamlju pada samo zbog sile teže koja je vertikalna komponenta, kako se novčić giba u horizontalnom smjeru?

Jednoliko po pravcu.

Zapišite to u bilježnicu. Prozivam neke učenike da pročitaju što su zapisali. Zapisujem na ploču.

Možete li spojiti rezultate ovih pokusa i napisati definiciju horizontalnog hitca? Zapišite je u bilježnicu.

Horizontalni hitac je složeno gibanje koje se sastoji od jednolikog gibanja po pravcu u horizontalnom smjeru i slobodnog pada u vertikalnom.

Prozivam neke učenike da pročitaju što su zapisali.

Galileo Galilei, talijanski znanstvenik kojeg smo spominjali kod slobodnog pada, također je razmišljao na sličan način ovome problemu. Evo što je zapisao o tome:

> „Zamislimo tijelo pokrenuto po horizontalnoj ravnini bez ikakve zapreke. Kažemo da će njegovo gibanje po ravnini ostati jednoliko u beskonačnost, ukoliko se ravnina proteže u beskonačnost. Ali ako je ravnina ograničena i tijelo bude izbačeno u zrak, kad tijelo, za koje pretpostavljamo da je pod

utjecajem gravitacije, prođe rub ravnine, dodat će prvotnom jednolikom i neuništivom gibanju, težnju prema dolje koju ima zbog svoje težine. Zbog toga proizlazi složeno gibanje, složeno od horizontalnog gibanja i prirodnog ubrzanog padanja.“

Kako možemo odrediti vrijeme pada novčića ako znamo visinu stola s kojeg je novčić pao?
Pomoću formule za visinu pri slobodnom padu:

$$\mathrm{h} = \frac{\mathrm{gt}^2}{2} \;\rightarrow\; \mathrm{t} = \sqrt{\frac{2\mathrm{h}}{\mathrm{g}}}$$

Na slici na ploči označavam visinu. Zapisujem formule.
Rekli smo da se, u horizontalnom smjeru, novčić giba jednoliko po pravcu. Koliko daleko će doći? Možemo li to nekako izračunati?
Izračunat ćemo po formuli za jednoliko gibanje po pravcu:

$$s = v_0 \cdot t.$$

Zapisujem formulu na ploču. Kako su povezani vrijeme slobodnog pada i vrijeme za koje se novčić giba jednoliko po pravcu?
Isti su.
Onda možemo i u formuli označiti tako. Stavljam indeks na t u obje formule. Najveća horizontalna udaljenost, do koje tijelo može doći kod hitaca, zove se domet i označava se s *D*. Na slici na ploči označavam domet te pokraj oznake *s* dodajem oznaku *D.*
Obratimo malo pažnju na brzinu u nekoj točki putanje. Brzina ima smjer tangente na putanju. Možemo li izravno izmjeriti kolika je brzina u točki? Teško. Ali možemo se ponovo poslužiti trikom s rastavljanjem na komponente i rastaviti brzinu u horizontalnom i vertikalnom smjeru. Crtam na ploču brzinu. Prozivam nekog učenika da je rastavi na komponente na ploči. Kako nam ovaj postupak pomaže?
Možemo ukupnu brzinu izračunati tako da zbrojimo komponente po pitagorinom poučku.
U bilježnicu raspišite pitagorin poučak za ovu situaciju.

$$v = \sqrt{v_{horizontalno}^2 + v_{vertikalno}^2}$$

Obilazim učenike i provjeravam što su napisali. Zapisujem formulu na ploču. Kakva je brzina u horizontalnom smjeru?
Ista kao i na početku, možemo je označiti kao v_0.
Kakva je brzina u vertikalnom smjeru?

Brzina slobodnog pada u danom trenutku.

Kako ćemo je izračunati?

$$v = gt.$$

Uvrstite te brzine u pitagorin poučak.

$$v = \sqrt{v_0^2 + g^2 t^2}$$

Obilazim učenike i provjeravam jesu li dobro uvrstili. Prozivam jednog od učenika da napiše taj korak na ploču.

Što ćemo učiniti ako ne znamo koliko vremena je prošlo do našeg proizvoljnog trenutka koji promatramo, nego samo koliko je naša proizvoljna točka niže od početne?

Uvrstit ćemo umjesto t, izraz koji uključuje visinu.

$$v = \sqrt{v_0^2 + g^2 \frac{2h}{g}} = \sqrt{v_0^2 + 2gh}.$$

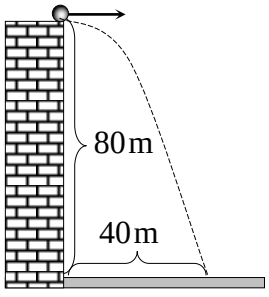
Obilazim učenike i provjeravam jesu li dobro uvrstili. Prozivam jednog od učenika da napiše taj korak na ploču.

3. ***Završni dio***

Dijelim razred u grupe po 4 učenika. Svaka grupa dobiva zadatke koje zajedno rješavaju.

Zadatak 1.

Tijelo bačeno u horizontalnom smjeru s visine 80 m iznad tla ima horizontalni domet 40 m (crtež). ($g \approx 10$ m/s^2)



a) Koliko dugo tijelo pada?
b) Kolikom je početnom brzinom tijelo izbačeno?
c) Kolikom brzinom tijelo lupi o tlo?

R: a) 4s b) 10 m/s c) 41,23 m/s

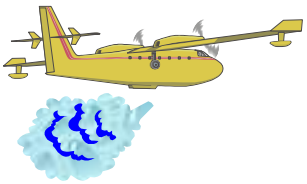
Zadatak 2.

Loptu ispustimo kroz prozor auta koji miruje. Zatim s iste visine ispustimo loptu iz jurećeg auta koji se giba po horizontalno položenoj cesti. Zanemarite otpor. Vrijeme potrebno da lopta dođe do tla:

a) jednako je u oba slučaja.
b) veće je kad auto juri.
c) manje je kad auto juri.
d) može biti veće ili manje ovisno o brojčanim podacima.

Zadatak 3.

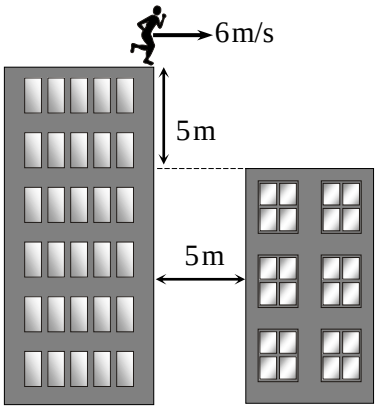
Iz vatrogasnog aviona tipa "canader" koji leti horizontalno brzinom 180 km/h na visini 125 m iznad požarišta ispušta se vodena bomba. Koliko vremena prije nadlijetanja požara pilot mora ispustiti bombu? Kolika je horizontalna udaljenost požara od aviona u trenutku ispuštanja bombe? ($g \approx 10\,\mathrm{m/s^2}$)



R: 5s, 250 m

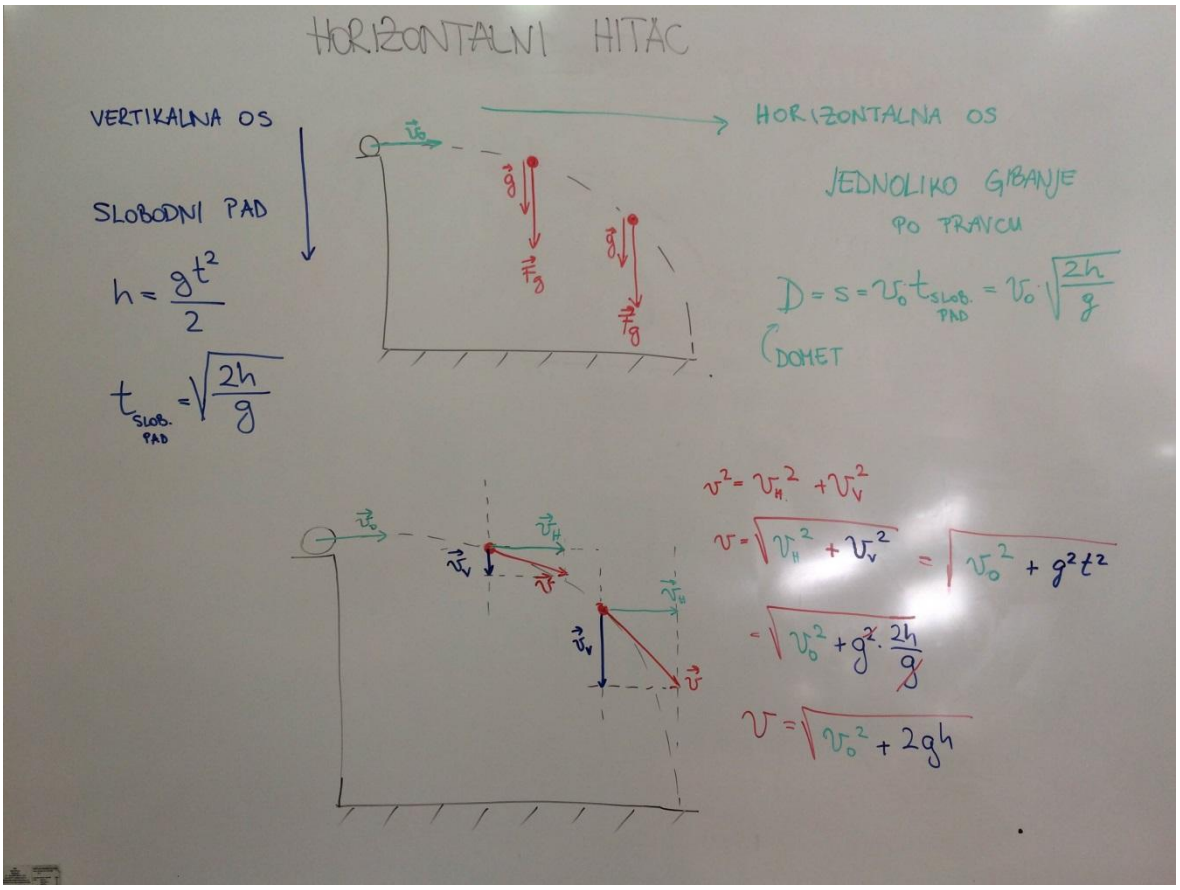
Dodatni zadatak:

a) Hoće li provalnik koji skoči brzinom 6m/s u horizontalnom smjeru doskočiti na drugu kuću koja je 5m niža (crtež)? Ako hoće, izračunajte koliko dugo će trajati skok i koliko daleko od ruba niže kuće će doskočiti? ($g \approx 10\,\mathrm{m/s^2}$)
b) Kojom najmanjom brzinom mora skočiti provalnik u horizontalnom smjeru da taman doskoči na rub niže kuće?



R: a) 1s; 1m b) 5m/s

Plan ploče



Slika 22.: Plan ploče

Literatura:

[1] Rossi, P.: The Birth of Modern Science. Oxford : Blackwell Publishers Ltd, 2001.

[2] Westfall, R. S.: The Construction of Modern Science: Mecchanisms and Mechanics. New York, London, Sydney, Toronto : John Wiley & Sons, Inc. 1971.

[3] Cushing, J. T.: Philosophical Concepts in Physics: The Historical Relation Between Philosophy and Scientific Theories. Cambridge : Cambridge University Press, 1998.

[4] Lindberg, D. C.: The Beginnings of Western Science: The European Scientific Tradition in Philosophical, Religious, and Institutional Context, 600 B.C. to A.D. 1450, University of Chicago Press, Chicago, 1992.

[5] Drake, S.: Galileo: A Very Short Introduction. New York : Oxford Universty Press, 1980.

[6] Panchyk, R. Galileo za mlade: njegov život i ideje. Prijevod Vedran Ravlić, Zagreb : Školska knjiga, 2012.

[7] Matuszewski R. On Galileo's theory of motion: an attempt at a coherent reconstruction // International Studies in the Philosophy of Science: The Dubrovnik Papers, From Galileo to Newton 1986 // edited by Newton-Smith and Wilkes. London and New York: Routledge & Kegan Paul Ltd 1986. str.124-141.

[8] Ledermann, L.; Teresi D. Božja čestica: Ako je svemir odgovor, što je pitanje? Prijevod Ruđer Jeny, Zagreb : Izvori, 2000.

[9] Kalin, B. Filozifija: Uvod i povijest, udžbenik za 4. razred gimazije. Zagreb : Školska knjiga, 2014.

[10] Supek, I. Povijest fizike Zagreb : Školska knjiga, 1980.

[11] Aristotel, Fizika, 184a (10 – 25), prijevod Tomislav Ladan. Zagreb: Globus, 1988.

[12] Dugas, R.: A History of Mechanics, Dover, New York, 1988. (Reprint of the Editions du Griffon, Neuchatel, Switzerland, 1955.)

[13] Shea W. R. The „Rational“ Descartes and the „Empirical“ Galileo // Boston Studies in the Philosophy of Science: The Reception of the Galilean Science of Motion in Seventheenth-Century Europe 2010 // edited by Palmerino and Thijssen. Dordrecht, Boston, London: Kluwer Academic Publishers 2010, str. 67-82

[14] Cohen F. H. A Historical-Analitical Framework for the Controversies over Galileo's Conception of Motion // Boston Studies in the Philosophy of Science: The Reception of the Galilean Science of Motion in Seventheenth-Century Europe 2010 // edited by Palmerino and Thijssen. Dordrecht, Boston, London: Kluwer Academic Publishers 2010, str. 83-98

[15] Palmerino, C. R. Galileo's Theories of Free Fall and Projectile Motion as Interpreted by Pierre Gassendi // Boston Studies in the Philosophy of Science: The Reception of the Galilean Science of Motion in Seventheenth-Century Europe 2010 // edited by Palmerino and Thijssen. Dordrecht, Boston, London: Kluwer Academic Publishers 2010, str. 137-164