

D-419

UNIVERZITET U NOVOM SADU
PRIRODNO – MATEMATIČKI FAKULTET
DEPARTMAN ZA FIZIKU

Danijela Jovanović

UNIVERZITET U NOVOM SADU	
PRIRODNO – MATEMATIČKI FAKULTET	
DEPARTMAN ZA FIZIKU	
14. 10. 2003.	
0603	9/165

**TRETMAN ISTRAŽIVANJA ISAKA
NJUTNA U NASTAVI FIZIKE
U OSNOVNOJ ŠKOLI**

- DIPLOMSKI RAD -

Novi Sad , 2003.

Sadržaj

UVOD	1
1. ŽIVOT VELIKOG FIZIČARA – ISAKA NJUTNA	
1.1 Isak Njutn i njegovo dečastvo (1642-1661)	4
1.2 Mladost posvećena nauci	5
1.3 Povlačenje iz "naučnog sveta"	8
2. VELIKO DELO VELIKOG FIZIČARA	
2.1 Mehanika. " <i>Philosophie Naturalis Principia Mathematica</i> ".	12
2.2 Optika i " <i>Optica</i> ".	28
2.3 Njutnovi doprinosi matematici	36
2.4 Ostala interesovanja. Alhemija	37
3. ANALIZA NJUTNOVIH ISTRAŽIVANJA NA NIVOU OSNOVNE ŠKOLE	
3.1 Analiza Njutnovih istraživanja na nivou osnovne škole – primeri iz nastave fizike u VI razredu osnovne škole	40
Nastavna jedinica : Uzajamno delovanje. Sila. Gravitaciona sila	
Nastavna jedinica : Masa tela. Zakon inercije (I Njutnov zakon)	
3.2 Analiza Njutnovih istraživanja na nivou osnovne škole – primeri iz nastave fizike u VII razredu osnovne škole	45
Nastavna jedinica : Osnovni zakon kretanja (II Njutnov zakon)	
Nastavna jedinica : Zakon akcije i reakcije (III Njutnov zakon)	
Nastavna jedinica : Gravitacija. Njutnov zakon gravitacije	
Nastavna jedinica : Gravitaciono polje Zemljine teže	
Nastavna jedinica : Težina tela. Bestežinsko stanje	
Nastavna jedinica : Slobodan pad. Galilejev ogled	
Nastavna jedinica : Hitac naviše i naniže. Horizontalni i kos hitac	
3.3 Analiza Njutnovih istraživanja na nivou osnovne škole – primeri iz nastave fizike u VIII razredu osnovne škole	61
Nastavna jedinica : Prelamanje svetlosti kroz prizmu i sočiva	
ZAKLJUČAK	63
LITERATURA	64
KRATKA BIOGRAFIJA	65
KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA	66

UVOD

Izabrala sam metodiku nastave fizike za predmet iz kojeg ću braniti temu za diplomski rad rukovodeći se sopstvenom željom da, bar posredno, učestvujem u unapređenju nastave fizike u našoj zemlji. Smatram da je to moguće ukoliko iznesem svoje viđenje nastave, odnosno nastavnog časa, fizike i pri tome, na pravi način, ukažem na njene, eventualne, nedostatke.

Svima nam je dobro poznato da je učenike potrebno zainteresovati za ono što izučavaju, naročito ako oni sami tome prilaze sa izvesnim predubedenjem da se radi o teškom predmetu. Kako njihovo interesovanje za dati predmet bitno zavisi, između ostalog, i od individualnih sposobnosti, naučno-stručne i pedagoške spreme, kao i ljudskih kvaliteta nastavnika, to nama, budućim nastavnicima, treba da bude jasno da moramo biti aktivni učesnici u nastavi, pa čak i deo nje. Pri tome ne smemo zaboraviti da isto zahtevamo i od svojih učenika.

Uspešno izvođenje nastavnog časa i uspešna interpretacija nastavne teme (i uopšte nastavne celine) kod učenika utiče na razvijanje svesti o značaju naučnog znanja i doprinosi trajnijem pamćenju.

Moj zadatak je da u ovom radu izložim analizu nastavnih jedinica vezanih za naučnika Isaka Njutna, koje se obrađuju na nivou osnovne škole. Da bi ovaj rad bio potpuniji i pružio više novih saznanja, opisaću i život i rad ovog naučnika. Time ću ujedno istaći i važnost istorijskih elemenata u nastavi koji su obično zanemareni, a veoma često i nisu deo nje.

Temu sam izabrala delom i zbog toga da bi čitaocima, kao i sebi samoj, koliko god je više moguće, približila ovako važnu ličnost kao što je Isak Njutn i time objasnila da nikako nije slučajnost to što Njutna smatramo jednim od najznačajnijih fizičara i naučnika u istoriji nauke.

Uvod ću završiti navodeći reči samog Njutna (koje je zapisao na kraju predgovora "Principa", svog najvećeg dela), a koje bih i sama uputila Vama, čitaocima, sa najdubljim uverenjem da ćete razumeti moje razloge tome:

"Usrdno molim da se ovo čita dobronamerno i da čitaoci manje traže i kude greške koje će otkriti u tako teškom predmetu, već nastave novim naporima ovo istraživanje i sa blagonaklonošću da dopunjuju".

Novi Sad

Danijela Jovanović



1. ŽIVOT VELIKOG FIZIČARA – ISAKA NJUTNA

Kako se suština neke nastavne celine, često za učenike teške i nerazumljive, može pojednostaviti ako se "prošeta" po biografiji ličnosti iz "naučnog sveta" koja je dala maksimalan doprinos rešavanju konkretnog problema, u ovom poglavlju biće opisan život velikog engleskog fizičara – Isaka Njutna.

Iz opisa života i uslova rada ovog naučnika učenici će imati priliku da bolje upoznaju Njutnovu ličnost koju karakterišu: radnost, skromnost, upornost u postizanju cilja, samoodricanje u korist nauke i tome slično, što svakako može korisno delovati na njihovu svest i navesti ih da donekle "kopiraju" ovako velike ljude.



1.1 ISAK NJUTN I NJEGOVO DEČAŠTVO (1642. – 1661.)

Isak Njutn (Isaac Newton) je rođen 1642. u engleskom selu Vulstorpu. Kako je te godine počeo građanski rat u Engleskoj, a sem toga tri meseca pre njegovog rođenja umro mu je otac, vidi se da je rođen u dosta teškim uslovima. Međutim, oni kao da nisu bitnije uticali na njegov život. Kada mu je bilo tri godine, njegova majka se preudala, tako da je mali Isak ostao na vaspitanju kod bake.

U obližnjoj seoskoj školi naučio je da čita, piše i računa čime, može se reći na sreću, njegova majka i očuh nisu bili zadovoljni, tako da je u svojoj dvanaestoj godini prešao iz Vulstorpa u gradić Grentem u kojem je još od XVI veka postojala srednja škola.

Sačuvano je predanje da je još kao dečak voleo da pravi komplikovane mehaničke igračke, modele vodenica, vodene i sunčane satove i mnogo toga sličnog. Sve svoje slobodno vreme koristio je praveći razne predmete od drveta, za šta je imao i potreban alat. Napravio je i model vetrenjače, a od gužvanog papira pravio je fenjere koje je koristio zimi kada je jutrom išao u školu. Za svoj prvi eksperiment smatrao je ogled u kojem je, želeći da odredi jačinu vetra za vreme bure, merio daljinu svog skoka po vetru i nasuprot njemu. Već odavde se mogao naslutiti vešt eksperimentator. Sem toga, bio je i veoma dobar crtač. Dao je dosta opširna pravila crtanja koja su pokazala njegovo odlično poznavanje boja, a u njegovim beleškama nađeni su i recepti za mešanje boja.

Dakle, kako je imao mnogo zanimanja, skoro nikada se nije igrao

sa dečacima. Kada je bio u godinama često je pričao o svojoj jednoj tući. Pričalo se da do tada nije bio dobar učenik, ali nakon toga se zainatio i ubrzo je postao najbolji učenik u razredu.

Odavde lako možemo zaključiti koliko je Njutn bio uporan da pokaže svoje prave vrednosti.

Međutim kada je njegova majka, po drugi put, ostala udovica i vratila se sa troje dece u Vulstorp, ona je povukla i Njutna, jer je smatrala da, tada kao petnaestogodišnjak, može da pomaže na imanju. Problem je bio u tome što je Njutn više voleo knjige. Ipak, u Vulstorpu se zadržao više od dve godine, ali ni tada nije zapostavljao svoje naklonosti prema knjigama i želju za daljim obrazovanjem.

1660. Njutn se vratio u Grentemsku školu, a nešto kasnije, na insistiranje njegovog učitelja, njegova majka je popustila i pristala da ga pošalje na studije. Tada je počeo užurbano da se sprema za Kembrički univerzitet ...

1.2 MLADOST POSVEĆENA NAUCI

1661. Njutn je primljen u Triniti koledž. Počeo je kao subsejzer (najniži rang) što je podrazumevalo posluživanje starijih za stolom i obavljanje dužnosti sluge radi zarade. Prema njegovim beleškama, prve dve godine studija tekle su uobičajeno i on se nije naročito isticao. Proučavao je aritmetiku, geometriju po Euklidu, trigonometriju, bogoslovske nauke i stare jezike. U to doba upoznao se i sa Kopernikovim sistemom. Njutn je učio za sebe i učio je uglavnom ono što ga je interesovalo. Ocene mu nisu bile baš na zavidnom nivou, a neke ispite je dosta teško položio. Tako je, na primer, geometriju polagao kod profesora Baroua koji je smatrao da se Njutn nije dobro spremio, ali kao pravi profesor znao je da najbolje ocene svakako ne garantuju i najbolje buduće naučnike. I na diplomskom (bachelor) ispitu, Njutn nije dobro odgovarao.

(Pomenuti profesor Barou je prvi profesor tzv. Lukasovske katedre koja je imala za dužnost da drži predavanja iz aritmetike, astronomije, geografije, statike i drugih matematičkih nauka. On je izvršio veliki uticaj na Njutna).

U trećoj godini studija Njutn je počeo da pokazuje veliko interesovanje za optiku, izvodio je prve eksperimente i pisao prve radove, ali ih nije objavljivao. Treba imati u vidu da je nauka o svetlosti bila oblast za koju je bila potrebna i matematička i eksperimentalna veština. Počeo je sa eksperimentima prelamanja svetlosti prizmom i posmatrao je komete, a u

to vreme bavio se i mehaničkim problemima. Možemo odavde stvoriti jasnu sliku o tome koliko se Njutn pokazao spremnijim od svojih vršnjaka.

Veliki značaj u njegovom životu imao je period koji je, zbog kuge koja je harala po Engleskoj, proveo u Vulstorpu. Seoska tišina i mir doprineli su buđenju ideja koje su se na koledžu formirale. Izgleda da se u pravo vreme našao na pravom mestu i imao dovoljno slobodnog vremena. Sam je rekao da je tada bio u najboljem dobu za invenciju i mislio o matematici i fizici više nego ikada do tada. Ovu svoju neobičnu kreativnost sumirao je na sledeći način:

"U početku 1665. našao sam metod za približno izračunavanje serija i pravilo za svođenje ma kog stepena binoma na takvu seriju. Iste godine u maju našao sam metod tangenti Gregorija i Sluzijusa, a u novembru sam pronašao diferencijalni račun. Iduće godine u januaru došao sam do teorije boja. Iste godine počeo sam da razmišljam o dosezanju gravitacione sile do Meseca ... i iz Keplerovih zakona o vremenu obilaska planeta izveo da sile koje drže planete u orbitama mora da su obratno srazmerne kvadratu udaljenosti od centra oko kojeg se kreću. Na osnovu toga sam uporedio silu neophodnu za održanje Meseca na orbiti sa silom teže na površini Zemlje i konstatovao da su vrlo bliske".

(Referensa: ovaj "kreativni odmor" razmotren je u knjizi Milorada Mladenovića, "Razvoj fizike (mehanika i gravitacija)", IRO Gradjevinska knjiga, Beograd, 1986. a inače ga razmatraju svi Njutnovi biografii)

1668. godine Njutn je magistrirao (magister of arts) i, na predlog profesora Baroua, dobio je mesto profesora matematike na Kembričkom univerzitetu. Tako je Njutn postao drugi profesor poznate Lukasovske katedre.

Kao profesor decenijama je živeo u jako maloj sobi, što nikako nije morao. Nije voleo društvo, nije imao bliskih prijatelja i nije očekivao pomoć u poslu. Međutim, ukoliko bi neko, ipak, navratio, Njutn je znao veoma lepo da ga ugosti. Njegov poslužitelj (i čovek za sve poslove) rekao je o njemu da se nikad nije ni rekreirao na ma koji način, jer bi to vreme koje bi utrošio na rekreaciju, bilo izgubljeno. Kako je bio veoma skoncentrisan na rad često je zaboravljao da jede, a sobu je napuštao samo zbog časova. Ali, njegova predavanja bila su dosta slabo posećivana jer su se studentima činila nerazumljiva i suvoparna. Iako je bio zainteresovan za svoj vrt, po njemu je samo ponekad, i to vrlo kratko šetao.

Jedna od njegovih izraženih karakteristika bila je štedljivost, iako na to nije bio primoran. Samo za knjige je uvek bilo para. Zanimljivo je da ga je (sem onoga što je ga je kao naučnika interesovalo) interesovala grčka i rimska istorija, a za savremena filozofska dela i beletristiku uopšte nije imao interesovanja. Tako među 1.800 knjiga koje su iza njega ostale nema nijednog romana.

Njutn je vaspitavan tako da mu je Biblija svetinja i citirao ju je bolje od mnogih teologa, ali, iako je bio religiozan, u crkvu je išao samo nedeljom. Može se reći da je bio potpuno nezainteresovan i za političke probleme svoga vremena i svoga koledža, sve dok nije došlo do takve situacije da je koledž, na predlog kralja, trebao da primi u svoje redove jednog benediktanskog kaluđera. U to doba na univerzitetu nije bilo mesta za katolike, čak je statut univerziteta tražio od studenata da, pri dobijanju nekog stepena, polože zakletvu anglikanskoj crkvi. Njutn se oštro protivio primanju kaluđera na koledž, iako je bio od onih koji nemaju običaj da tako reaguju. Kako se ovo dešavalo 1687., pred izlazak "Principa", to je on rizikovao, suprotstavljajući se kralju, da mu se zabrani izlazak knjige.

Odavde možemo naslutiti koliko daleko je on bio spreman da ide da bi odbranio svoje principe.

Imao je običaj da noću posmatra zvezdano nebo, a kako mu je pri tome stalno bio na umu Galilejev teleskop, sam je napravio jedan manji durbin. 1668. konstruisao je i veći, savršeniji refleksioni teleskop. Taj teleskop je profesor Barou, sa ponosom, odneo u tzv. Kraljevsko društvo (Akademija nauka), na osnovu čega je Njutn 1672. postao član ovog društva, a kasnije 1703. i njegov predsednik. Ovu funkciju je zadržao do kraja svog života.

Kao član Kraljevskog društva susreo se sa mnogim poznatim i priznatim naučnicima od kojih treba istaći Roberta Huka (Hooke). Sa njim je Njutn dolazio u česte sukobe, a do prvog sukoba došlo je onda kada je Njutn poslao ovom društvu svoja dva pismena rada iz optike. Prvi rad se odnosio na sastav bele svetlosti (što se smatra Njutnovim najvećim doprinosom optici), a drugi na pravilnu interpretaciju boja tankih listića. Huk je kritikovao oba rada, pri čemu je tvrdio da je većinu tih eksperimenata sam već i uradio i objavio. Zbog svega toga Njutn je bio duboko uvređen i to ga je navelo na odluku da ništa iz optike ne objavljuje dok je Huk živ. Te odluke se i držao, tako da je svoju "Optiku" objavio tek 1704., posle Hukove smrti.

Pored Huka, kao poznatog Njutnovog kritičara, svakako treba pomenuti i Lajbnica (Leibniz). Do njegove prepirke sa Njutnom došlo je

zbog infinitenzimalnog računa (po Njutnovoj terminologiji metoda fluksije) do kojeg su obojica istovremeno, a potpuno nezavisno, došla.

Danas Njutna, ali kao čoveka, oštro kritikuje britanski teorijski fizičar Stiven Hoking. U pitanju je naučnik koji je postao šef katedre za matematiku na Kembričkom univerzitetu tri veka nakon što je tu funkciju obavljao Njutn. Hoking povezuje teoriju relativnosti i kvantnu teoriju sa ciljem da dobije kvantnu teoriju gravitacije koja bi trebalo da pruži opis svih čestica i njihovih međusobnih interakcija.

Treba pomenuti da su Njutnu u isto vreme kad je radio na refleksionom teleskopu na um padale i prve misli o opštoj gravitaciji, ali kako nikom nije govorio o svojim radovima o njegovom otkriću gravitacije naučni svet je saznao tek dvadeset godina kasnije. Naime, i pre Njutna bilo je naučnika koji su nagađali da između Sunca i planeta postoji neka privlačna sila koja je srazmerna njihovim masama, a istim problemima bavio se i Huk. Međutim, i pored toga, može se reći da po pitanju gravitacije do Njutna ništa značajno nije bilo ustanovljeno.

Kao najugledniji naučnik Engleske i predsednik Kraljevskog društva, Njutn je birao mlade i sposobne ljude koje je postavljao na najuglednije katedre. Bez njegovog odobrenja niko nije mogao da bude postavljen za profesora. Uspeo je da ostvari dobre veze sa dvorom i vladom i kraljica Ana ga je knezovala. Tako ser Isak postaje prvi naučnik sa plemićkom titulom. Međutim, on nije imao dovoljno novih ideja da usmeri mlade ljude, koji su bili dosta pritisnuti njegovim autoritetom da bi nešto sami preduzeli. Može se reći da, iako je bio izvrstan naučnik, Njutn nije bio dobar profesor, pa je zbog toga Hajgens (Huygens) njegove učenike nazivao "les enfants perdus" – "izgubljena deca".

1.3 POVLAČENJE IZ "NAUČNOG SVETA"

Kada je Njutnu prošla pedeseta godina (objavio je svoje najveće delo "Principe", imao je dva završena, ali neobjavljena rada (jasno je da "Optiku" nije objavljivao dok je Huk živ, ali se ne zna zašto nije objavio diferencijalni račun)) može se reći da tu prestaje njegov kreativni period.

1696. postavljen je za čuvara kovnice novca pa je zbog toga prešao u London. Nije ni čudo što je njegovo istraživanje ostalo iza njega, s obzirom na to da ga je ova dužnost umnogome odvojila od nastave i naučnih krugova uopšte. Međutim, ova funkcija mu je veoma godila, on je i očekivao nešto slično tome.

Godinu dana pre njegovog dolaska u kovnicu počela je razmena novca i on se tom procesu priključio. Ostvario je veliki uspeh time što je nedeljnu proizvodnju srebrnog novca znatno uvećao. Jedan od njegovih glavnih zadataka je bio da spreči falsifikovanje novca u čemu je takođe postigao visoke rezultate i ispoljio svoju mudrost i veštinu. U njegove važne zadatke spadao je i nacrt novih novčića kao i kontrola njihovog sastava. Pri tome je došao do izražaja njegov dar za crtanje i poznavanje simbola, a i hijeroglifa.

Iz ove priče se vidi da se u njegovom životu desila velika promena. Naime, profesor koji se kretao u izabranom društvu pretvorio se u istražitelja čvrste ruke koji je imao posla sa tzv. "Londonskim dnom". Ali, ova promena njemu je ipak godila.

Oboleo je u svojoj osamdesetoj godini, a umro u osamdeset i petoj godini života. Ono što je veoma bitno, to je da ga psihičke sposobnosti nisu napuštale do kraja. U crkvu je išao peške, a nikako nije zanemarivao ni svoje obaveze. Tako je u kovnici, šest meseci pred smrt, kontrolisao kvalitet zlata, a kao predsednik Kraljevskog društva, kontrolisao je i izbor profesora.

Sahranjen je u Vestminsterskoj anglikanskoj katedrali u Londonu, pored ostalih velikih ljudi, a njegovi naslednici su mu podigli spomenik na kojem su urezane sledeće reči:

Sibi gratulantur mortales
Tale, tantuque existisse
Humani generis decus ...

Ljudi sebi čestitaju
Što je postojao takav
i toliki ukras ljudskog roda ...

S obzirom na to da je ovaj naučnik svim problemima kojima se bavio prilazio sa izuzetno velikim interesovanjem i koncentracijom, može se reći da, ukoliko odelimo Njutna-naučnika od Njutna-čoveka, drugi je platio visoku cenu prvome.

Njutnova naučna misao svakako je postala sastavni deo pogleda na svet svakog obrazovanog čoveka i jedna od velikih stranica istorije čovečanstva.

2. VELIKO DELO VELIKOG FIZIČARA

Nastava fizike u našoj zemlji počinje oblašću koja se naziva klasičnom mehanikom. Razlog tome je što je ova oblast okarakterisana relativno visokim stepenom jednostavnosti i očiglednosti, a ovde uvedeni pojmovi koriste se dalje u svim oblastima fizike.

Po definiciji, klasična mehanika je nauka koja proučava geometrijska svojstva kretanja materijalnih tela u zavisnosti od uzroka kretanja i vremena, a za njenog utemeljivača smatra se upravo Isak Njutn.

Njutn je, nadovezujući se na svoje prethodnike, naročito na Kopernika, Dekarta i Galileja, i na osnovu činjenica koje proizilaze iz iskustva, formulisao tri aksioma koja daju osnovna pravila kretanja, objasnio je mehanizam Sunčevog sistema i dokazao da su Keplerovi zakoni i Kopernikov sistem tačni, a važnost njegovog zakona gravitacije ne treba posebno naglašavati. Njegovo shvatanje prirodnih zakona umnogome je uticalo na kasnije generacije naučnika i tek je nauka nastala početkom XX veka počela da stvara nove naučne oblasti koje su proširile okvire klasične mehanike.

Sem Njutnovog velikog doprinosa fizici, u ovom poglavlju biće pomenuti i njegovi doprinosi matematici kao i njegovo interesovanje za neke druge oblasti, naročito alhemiju.

2.1 MEHANIKA. "*Philosophie Naturalis Principia Mathematica*"

"*Philosophie Naturalis Principia Mathematica*" ili "Matematički principi filozofije prirode" je naziv Njutnovog najvažnijeg dela i, prema rečima poznatog naučnika Lagranža (Lagrange), to je "najveličanstvenija tvorevina ljudskog uma".

"Principi", kako ih ukratko nazivamo, objavljeni su 1687. i u njima je sadržan celokupni Njutnov doprinos mehanici, tj. u njima je objedinjeno sve ono što je do tada u nauci postignuto, kada je reč o najprostijim oblicima kretanja i materije. Kako je ovde rešen problem najjednostavnijeg kretanja, a to je kretanje jednog tela pod dejstvom sile, posle objavljivanja "Principa" može se reći da fizika nije više ono što je bila pre. Bogatija je za novu oblast i to upravo onu od koje je trebalo i početi.

Pisanje ovog dela pokrenulo je nerešeno pitanje prirode sile koja odgovara kretanju tela po elipsi. Naime, kada je Hajgens objavio svoj rad, pod naslovom "Časovnik na klatno" (1673) u kojem je, između ostalog, bilo izneseno tvrđenje da je gravitaciona sila obrnuto proporcionalna kvadratu rastojanja, postavilo se pitanje sile koja odgovara kretanju tela po elipsi. O tome se vodila rasprava i između tri člana Kraljevskog društva: fizičara Huka (Hooke), astronoma Helija (Halley) i arhitekta Rena (Wren). Kako se do rešenja nije moglo doći na jednostavan način i nijedan od njih ga nije imao, oni su rešili da se obrate Njutnu. Njutn je imao rešenje i to rešenje je poslao svom prijatelju Heliju, zbog čega ga je ovaj nagovorio da taj rad objavi. Tako je ovaj rad bio upisan u registar Kraljevskog društva, a Njutn je nastavio da piše nešto daleko obimnije. Iz toga su izrasli "Principi" koje je posvetio Kraljevskom društvu.

"Principi" se sastoje od uvoda, zakona kretanja i tri knjige. Što se matematike "Principa" tiče, u pitanju je uglavnom grčka matematika. Naime, u knjizi je korišćena geometrija i algebra, mada se pretpostavlja da je za rešavanje pojedinih problema Njutn koristio infinitezimalni račun. Korišćenjem grčke matematike hteo je da postigne to da knjiga bude prihvatljivija, međutim to je uspelo samo kod nekoliko narednih generacija, a sem toga, korišćenje ovakve matematike dovelo je i do gubitka opštosti knjige.

I Uvod

U uvodu ovog dela Njutn je razmatrao sam predmet dela i metodu kojom ga je stvarao. Ovde je ukazao i na to koliko se tokom istorije menjao sadržaj onoga što se naziva mehanikom, a samu mehaniku je podelio na racionalnu i praktičnu. Dalje je racionalnu mehaniku definisao kao nauku o kretanju proizvedenom ma kakvim silama, ali i o silama neophodnim za ma kakva kretanja.

Definicije:

Pre nego što je prešao na zakone kretanja, Njutn je definisao pojmove koji će se u tim zakonima pojavljivati, a to su: masa (količina materije), količina kretanja, urođena sila (inercija) i pet vrsta centripetalne sile. Dodatno je definisao i pojmove apsolutnog i relativnog prostora, vremena i kretanja.

Napomena: u narednom tekstu biće iznesene originalne definicije:

1) Masa (količina materije)

"Količina materije je njena mera određena gustinom i volumenom".

Masa je veličina koju je Njutn uveo u mehaniku, a definisao je kao količinu materije. Što se same definicije tiče, bilo je mnogo primedbi. One su usledile pre svega zbog korišćenja pojma gustine koji tada nije bio definisan. Naime, Njutn nije definisao gustinu, a ukoliko bi se ona smatrala masom podeljenom sa volumenom dobio bi se zatvoreni krug. Mada postoji mogućnost da se ovo izbegne (na primer, po mišljenju Kirilova, gustina se može definisati kao težina nekog tela prema težini istog volumena vode na 4°C, onda će taj broj predstavljati apsolutnu konstantu koja karakteriše telo, bez obzira na njegov volumen i ubrzanje od teže), Njutn je neizostavno pogrešio jer je uzeo gustinu kao pojam koji sam po sebi treba da bude jasan. Grešku je napravio i time što je poistovetio materiju i supstancu, a dalje je identifikovao masu sa količinom supstance. Tako je supstancu sveo na njeno jedno jedino svojstvo. Iako ovakvo shvatanje mase nije koristio u zakonima kretanja, masa se nalazi skrivena u količini kretanja (impulsu). Treba istaći i to da je Njutn smatrao da je masa stalna veličina, tj. da se ne menja u toku proučavanja delovanja sile na dato telo.

2) Količina kretanja

"Količina kretanja je data umnoškom mase i brzine".

Na ovaj način Njutn je definisao impuls, ali mora se uočiti da i ova definicija ima nedostatke. Osnovni nedostatak jeste taj što nigde nije naglašeno da se radi o usmerenoj veličini.

3) Urođena sila (inercija)

"Vis insita, urođena (unutrašnja) sila materije je moć otpora kojim svako telo, sa onoliko koliko je u njemu ima, zadržava svoje stanje, bilo da miruje ili da se ravnomerno pravolinijski kreće".

Iz ovakve definicije sledi da je u pitanju sila koja će uvek biti srazmerna telu u kojem se nalazi i ni u čemu se neće razlikovati od neaktivnosti mase, sem u načinu na koji smo je zamislili. Zbog toga se neko telo, zbog inertne prirode materije, ne može lako izvesti iz svog stanja mirovanja ili kretanja. Ova sila se naziva inercija i doći će do izražaja u nekom telu samo onda kada druga sila, koja je na njega primenjena, nastoji da izmeni njegovo stanje. Njeno delovanje može da ima vid otpora ili impulsa. Tako je ona otpor utoliko što se telo, zadržavajući svoje stanje, suprotstavlja primenjenoj sili, a impuls je utoliko što telo, ne popuštajući lako sili primenjenoj od drugog tela, nastoji da promeni stanje tog drugog tela.

Po Njutnu, inercija je srazmerna masi (količini materije) tako da masa postaje izvedena veličina i služi za opisivanje materije u dinamičkim procesima.

Napomena: u sledećem tekstu biće navedene vrste centripetalne sile kojih ima pet (ispostavilo se da Njutnu ovi pojmovi nisu bili ni potrebni) i date su sledećim definicijama:

4)

"Utisnuta (primenjena) sila je akcija koja se vrši na nekom telu da bi se promenilo njegovo stanje bilo mirovanja ili ravnomernog pravolinijskog kretanja".

Oдавде se zaključuje da se ova sila sastoji samo u akciji. Kada se akcija završi ona više ne ostaje u telu, jer telo svako novo stanje zadržava samo svojom inercijom.

5)

"Centripetalna sila je ona kojom se tela vuku, nateruju ili ma kakvim načinom teže ka jednoj tački kao centru".

Treba istaći da je primećeno da izraz "centripetalna sila" unosi određenu zabunu. Naime, obično se smatra da je u pitanju neka sila, nazovimo, "specijalne prirode", a ne retko postoji i ubedenje da se ona pojavljuje onda kada se neko telo kreće po kružnici, a ne da je upravo delovanje ove sile izazvalo takvo kretanje tela.

Po Njutnu, ovoj vrsti sile pripada gravitacija kojom tela teže ka centru Zemlje, magnetizam kojim gvožđe teži magnetu kao i ona sila kojom se planete neprestano odvlače od pravolinijskog kretanja.

6)

"Apsolutna količina centripetalne sile je srazmerna efikasnosti uzroka koji je odašilje iz centra u okolni prostor".

7)

"Ubrzavajuća količina centripetalne sile je srazmerna brzini koju ona stvara za dato vreme".

8)

"Pokretačka količina centripetalne sile je srazmerna kretanju koje ona stvara za dato vreme".

Bitno je reći da je Njutn isticao to da u ovim definicijama sile nije razmatrao fizički, već se ograničavao na matematičko opisivanje kretanja, pri tome ne objašnjavajući uzroke tog kretanja. Odavde se zaključuje da je on nastavio Galilejevim putem, što znači da je prioriternim smatrao nalaženje odgovora na pitanje "kako". Ovakav stav, naravno, naišao je na veliki otpor onih koji su nastavljali na Aristotela, odnosno Dekarta i smatrali da je najbitnije objasniti "zašto" se nešto kreće.

Takođe, treba reći da je Njutn naglašavao i to da on ovim definicijama nije hteo da definiše vrstu ili način ma kakve akcije, njene uzroke ili fizičke razloge, a pod centrima privlačenja podrazumevao je samo matematičke tačke.



Dodatne definicije:

U "Principima" Njutn je, kao što je već rečeno, dodatno definisao pojmove apsolutnog i relativnog prostora, vremena i kretanja. Pri tome je isticao razliku između apsolutnog i relativnog vremena, tako da su prirodni dani, iako se smatraju jednakim, u stvari, nejednaki. Govorio je i o mogućnosti nepostojanja ujednačenog kretanja, pomoću kojeg bi se vreme moglo precizno meriti, jer bi sva kretanja mogla biti ubrzana ili usporena, ali proticanje apsolutnog vremena ne bi trpelo nikakve promene.

Njutnove definicije apsolutnog i relativnog vremena izgledaju ovako:

"Apsolutno, istinsko i matematičko vreme po svojoj prirodi teče ujednačeno bez odnosa sa ma čim spoljnim i drugi naziv mu je trajanje.

Relativno, prividno i obično vreme je neka osetna i spoljna (bilo tačna ili neujednačena) mera trajanja pomoću kretanja, koja se obično koristi umesto istinskog vremena. To su čas, dan, mesec i godina ..."

Apsolutni i relativni prostor definisao je na sledeći način:

"Apsolutni prostor po svojoj prirodi, bez odnosa sa ma čim spoljnim ostaje uvek isti i nepokretan.

Relativni prostor je neka pokretna dimenzija ili mera apsolutnog prostora. Njega naša čula određuju po njegovom položaju prema telima; on se obično uzima za nepokretan prostor. Takva je dimenzija zemaljskog, vazdušnog ili nebeskog prostora u odnosu na Zemlju.

Apsolutni i relativni prostor su isti po figuri i veličini, ali oni ne ostaju uvek numerički isti. Jer, ako se Zemlja, na primer, kreće, jedan prostor našeg vazduha (koji relativno i u odnosu na našu Zemlju ostaje uvek isti) biće u jedno vreme deo apsolutnog prostora u koji ulazi vazduh, a u drugo vreme biće u drugom delu, i tako, apsolutno gledano, on se stalno menja".

Treća dodatna definicija se odnosi na mesto, a Njutn je rekao sledeće:

"Mesto je deo prostora koji zauzima neko telo i prema prostoru može biti apsolutno ili relativno. Ja to nazivam delom prostora, ne situacijom, niti spoljnom površinom tela "...

Ovde još treba dodati Njutnovu definiciju apsolutnog i relativnog kretanja:

"Apsolutno kretanje je translacija tela iz jednog apsolutnog mesta u drugo, a relativno kretanje je translacija iz jednog relativnog mesta u drugo"...

Njutn je ovde govorio o tome da, pošto se delovi prostora ne mogu čulima razlikovati jedan od drugog, sva mesta možemo definisati iz položaja udaljenosti od ma kog tela koje smatramo nepokretnim, pa onda u odnosu na takva mesta oceniti sva kretanja. To znači da umesto apsolutnih mesta i kretanja koristimo relativna, što predstavlja problem. Naime, postoji mogućnost da nema tela koje zaista miruje i u odnosu na koje se mogu određivati ostala mesta i kretanja. Međutim, mirovanje i kretanje, apsolutno i relativno, mogu se razlikovati po njihovim osobinama, uzrocima i efektima. Uzroci po kojima se mogu razlikovati istinska i relativna kretanja su sile koje su primenjene na telo da bi se kretanje ostvarilo, jer se pravo kretanje ne može ni proizvesti na ma koji drugi način, dok se relativno kretanje može proizvesti ili izmeniti bez primene bilo kakve sile na posmatrano telo, tj. dovoljno je primeniti silu na druga tela sa kojima se posmatrano telo upoređuje. Efekti po kojima se mogu razlikovati apsolutna od relativnih kretanja su sile udaljavanja od osovine kružnog kretanja koje ne postoje u čistom relativnom kretanju. Njutn je dao sledeći primer: ako neku posudu koja visi na užetu okrenemo toliko puta da se uže jako zavije, zatim je napunimo vodom i oboje držimo u miru, pa onda pokrenemo rotaciju posude u drugom smeru tako da se uže odvrće, posuda će neko vreme da se okreće. Površina vode će u početku biti ravna, kao kada je posuda mirovala, a kasnije će posuda prenositi svoje kretanje na vodu i ona će početi osetno da kruži i pomalo da se udaljava od sredine, penjući se uz zidove. Sve će se više penjati što je kretanje brže, dok, kada se bude obrtala istovremeno sa posudom, ne počne relativno da miruje u odnosu na nju. Ovo penjanje vode pokazuje njeno nastojanje da se udalji od ose rotacije, a upravo tim nastojanjem može se meriti pravo i apsolutno kretanje vode. Ono je u ovom slučaju upravo suprotno relativnom. Kao još jedan primer mogućnosti razlikovanja istinskih od prividnih kretanja naveo je sledeći: ako dve lopte, povezane užetom, kruže oko zajedničkog centra teže, po naponu užeta možemo zaključiti da one nastoje da se udalje, i iz toga izračunati količinu njihovog kružnog kretanja.

Dakle, Njutn je, po svemu sudeći, bio uveren u to da apsolutni prostor, vreme i kretanje moraju da postoje, iako eksperimentalno ne mogu biti provereni.

Ovo pitanje smatra se slabošću "Principa" i kao takvo nailazilo je na oštre kritike, naročito od strane Hajgensa i Lajbnica, a kasnije i Berklija. Međutim, ako se uzme u obzir da je u vreme kada je Njutn definisao te pojmove teorijska fizika bila u začetku, može se reći da je, na neki način, i opravdano to što je on apsolutnost vremena i prostora smatrao očiglednim.

II Zakoni kretanja

Zakoni kretanja se odnose na sudare i pomoću njih Njutn je rešavao sledeće probleme:

- 1) kako se kreću usamljena tela
- 2) kako se tela odbijaju
- 3) neke opservacije o kretanju.

U ovom delu "Principa" razmotren je i paralelogram sila, zatim uslovi stabilnosti rotacije nepravilnih tela i sudara rotirajućih tela (time su tek načeti problemi koje će kasnije rešiti Ojler (Euler)) kao i tvrdnja da se u sudarima može dobiti ili izgubiti kretanje.

Njutnovi zakoni kretanja čine jezgro klasične mehanike, a ovde će biti iznesene originalne verzije:

Prvi Njutnov zakon kretanja (Zakon inercije)

Iako sam Njutn nije to posebno naglašavao, ovaj zakon bio je poznat još pre izlaska "Principa".

Naime, još je Galilej zaključio to da bi se kugla, kao i druga tela, bez trenja i otpora vazduha (odnosno ako se trenje i otpor vazduha zanemaruje) neprekidno kretala ravnomerno. On je, proučavajući kretanje tela koje najpre vertikalno pada, a zatim se kreće po kosoj ravni, zaključio da će veličina brzine koju telo ima ostati u tom telu nerazoriva i da samo spoljašnji uzroci prouzrokuju ubrzanje, odnosno usporenje, što se primećuje samo kod horizontalnih ravni, jer se na silaznim opaža ubrzanje, a na uzlaznim usporenje. Iz ovoga se vidi da je Galilej hteo da naglasi da je kretanje po horizontali neprekidno.

Ovo Galilejevo naziranje o kretanju tela na koje ne deluju nikakve sile u opštem obliku je formulisao Isak Njutn, po rečima Hajzenberga "prvi sistematizator moderne nauke".

Njutn je, pomoću prethodno definisanog pojma inercije, ustanovio danas poznati – Njutnov zakon inercije.

Još u njegovoj studentskoj beležnici iz 1664. nađen je, između ostalog, ogled o iznuđenom kretanju. Iz tog ogleda zaključilo se da je Njutn razmišljao o tri pokretača kretanja. Pošao je od Platonove varijante vazduha kao pokretača – antiperistasis, ali je brzo uvideo njene nedostatke, tako da ju je odbacio. Druga mogućnost, po njemu, je bila da motor može delovati na udaljenost nekim materijalnim ili nematerijalnim sredstvom. Međutim, detaljnijom analizom ove varijante, našao je da je to ipak nemoguće. Treća mogućnost je bio unutrašnji princip kretanja koji je nazvao "prirodnom težom" i ona mu je bila najprihvatljivija.

Na osnovu četiri aksioma koja je postavio 1665. zaključuje se da je Njutn već tada bio na dobrom putu. Ti aksiomi su sledeći:

- 1) ako se neka količina nečega kreće, ona se nikada neće zaustaviti, izuzev ako je spreči nekakav spoljašnji uzrok
- 2) količina nečega će se uvek kretati po istoj pravoj, ne menjajući određenost ni brzinu, izuzev ako je neki spoljašnji uzrok ne skrene
- 3) potrebno je tačno onoliko i ne više sile da privede telo u mirovanju koliko je bilo potrebno da ga stavi u pokret
- 4) onoliko sile je potrebno da razori neku količinu kretanja u nekom telu, koliko je potrebno da se ono stvori i onoliko koliko je potrebno da se stvori, toliko je potrebno da se razori

Vidi se da je osnova, od koje je Njutn ovde pošao Dekartova formulacija principa inercije koja se sastoji u tome da svaka posebna stvar ostaje u stanju u kojem se nalazi sve dok može i ona ga nikad ne menja dok ne susretne druge. Ako miruje, ne počinje da se kreće samo od sebe, a ako telo jednom počne da se kreće ono nastavlja sa kretanjem i nikada se samo od sebe ne zaustavlja.

Iz ovakvog shvatanja inercije vidi se da ravnomernom kretanju nije potrebna nikakva sila i jedino što bi ona mogla da učini to je da kretanje promeni. Kako je Njutn prihvatio Dekartovo razmatranje, silu je merio njenom promenom.

Prvi Njutnov zakon glasi:

"Svako telo ostaje u stanju mirovanja ili ravnomernog pravolinijskog kretanja, ukoliko nije prinuđeno da izmeni to stanje zbog neke sile primenjene na njega".

Uočava se da je Njutn prihvatao da stanje može biti kretanje ili mirovanje i govorio o tome da su stanja mirovanja ili ravnomernog pravolinijskog kretanja međusobno potpuno ravnopravna sa gledišta stanja kretanja tela sa kog se vrši posmatranje. Sa druge strane, ubrzano kretanje može biti jasno konstatovano zahvaljujući pojavi sile koje izazivaju različita dejstva.

On je, dakle, uviđao da u prirodi ne postoji mirujuće telo prema kojem bi se mogla određivati mesta i kretanja ostalih tela i da zakon inercije neće važiti apsolutno.

Za opisivanje kretanja tela koje se ponaša prema ovom zakonu uveden je koordinatni sistem u kojem se taj zakon ostvaruje. Ovakav sistem nazvan je inercijalnim sistemom. Međutim, ipak se treba složiti sa Ajnštajnom koji je smatrao da je upravo inercijalni sistem slaba tačka Galilej – Njutnove mehanike. Razlog tome je što se na pitanje šta je to inercijalni sistem odgovara da je to sistem u kojem važi Galilej – Njutnova mehanika i da se u tom sistemu telo, na koje ne deluje nikakva sila, kreće pravolinijski. Zbog toga ovaj sistem treba shvatiti samo kao korisnu fikciju, jer je u prirodi nemoguće naći strogi sistem inercije, odnosno ne postoji sistem koji je u potpunosti oslobođen spoljašnjih sila.

Koliko je zakon inercije važan, najbolje možemo shvatiti iz sledećih reči:

"Zakon inercije je prvi veliki napredak u fizici, može se čak reći, njen početak".

(Einstein i Infelo)

Drugi zakon kretanja (Osnovni zakon kretanja)

Ovim zakonom Njutn je definisao pojam sile. Pitanju sile od strane Njutna posvećena je velika pažnja, a ovaj pojam je definisao na sledeći način:

"Sila je kauzalni princip kretanja i mirovanja. Ona je ili spoljna, koja stvara ili razara, ili drugačije menja utisnuto kretanje u nekom telu, ili je unutrašnji princip kojim se konzervira postojeće kretanje ili mirovanje nekog tela, i kojim ma koje biće pokušava da zadrži svoje stanje i pruža otpor".

U nauci se pojam sile dugo vremena koristio za označavanje uzroka nepoznatih pojava. Tako je Aristotel termin "sila" koristio za označavanje uzroka kretanja. Takvo poimanje pojma sile se održalo sve do Galileja i

Njutn koji su principijelno izmenili njegov smisao i pokazali da je to uzrok promene kretanja, promene brzine u toku kretanja, odnosno pojave ubrzanja tela.

Njutn je prvi koji je ovu veličinu smatrao vektorskom, a iskustvom je to i potvrđeno.

Drugi Njutnov zakon glasi:

"Promena kretanja je srazmerna primenjenoj pokretačkoj sili. Vršiti se u smeru primenjene sile".

Često se nailazi na Drugi zakon iskazan na sledeći način:

"Brzina promene količine kretanja je proporcionalna sili koja deluje i javlja se u pravcu delovanja te sile".

Njutn je pri tome smatrao da ako neka sila stvara neku količinu kretanja, dvostruka sila će stvarati dvostruku količinu kretanja, trostruka trostruku itd., bez obzira na to da li je sila delovala u potpunosti i odmah ili postepeno i malo po malo. Tako će ovo kretanje (koje se vrši uvek u smeru sile koja ga prouzrokuje) ako je telo već bilo u nekom kretanju, biti dodano ili odbijeno od prvobitnog, što zavisi od toga da li sile deluju jedna sa drugom ili se jedna drugoj protive. Ukoliko su, pak, ove sile kose, onda se one koso spajaju i stvaraju novo kretanje nastalo smerom obaju.

Drugi Njutnov zakon daje najjednostavniju vezu između sile i vremenske promene količine kretanja i ističe vektorski karakter sile.

Pošto Njutn nije koristio izraze "impuls" i "ubrzanje" nego izraz "promena kretanja", ovaj zakon nije odmah dobio matematički oblik. On se javio tek oko pedeset godina kasnije i dat je izrazom:

$$\vec{F} = k \frac{d(m\vec{v})}{dt}$$

m – masa tela

v – brzina tela

F – sila

Međutim, češće se koristi transformacija u kojoj figuriše ubrzanje:

$$\vec{F} = m \cdot \vec{a}$$

Ovde se masa pojavljuje u svojstvu koeficijenta proporcionalnosti između sile i ubrzanja, pa će odnos intenziteta sile i intenziteta ubrzanja, prema ovom zakonu, predstavljati izraz za masu. Pošto se ovaj odnos ne menja (većoj sili odgovara veće ubrzanje i obrnuto) možemo zaključiti da je masa fizička veličina kojom se karakteriše inertno svojstvo tela i da ona ima konstantnu vrednost za dato telo.

Iz ovog zakona, međutim, ne vidi se ni poreklo, ni karakter sile, nego se o njoj govori kao o uzroku deformacije tela.

Treba reći da je Drugi Njutnov zakon prvi zakon koji se javio u obliku proporcionalnosti. Kao jedna od posledica je to da svaki impuls odgovara promeni količine kretanja, što onda važi i za svaki svetlosni pritisak. Tako u slučaju svetlosti koja pada na crnu površinu, početna brzina svetlosti je c , a konačna je jednaka nuli (jer se ona na crnoj površini zaustavlja usled apsorpcije), Drugi Njutnov zakon ima sledeći matematički oblik:

$$\Delta(mv) = mc - m \cdot 0 = \frac{\varepsilon}{c}$$

gde je $\frac{\varepsilon}{c}$ — veličina pritiska svetlosti na crnu površinu veličine 1cm^2

To znači da, ako primenimo ovaj zakon na svetlost, svetlosti moramo dati masu $m = \frac{\varepsilon}{c^2}$. Ako svakom obliku energije damo istu masu, masa tela koje se kreće brzinom v (masa m) će se razlikovati od mase tela koje miruje (masa m_0), dobićemo da masa nije konstantna veličina, kako je Njutn pretpostavio, nego se menja prema sledećoj relaciji:

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

Tako masa postaje relativna veličina, jer nikada ne možemo reći kolika je vrednost apsolutne brzine v .

Druga posledica ovog zakona je ta što se odavde izvodi važna mehanička disciplina — dinamika. Na taj način, Njutn je ukazao na razvoj dinamike i smatra se njenim osnivačem.

Treći zakon kretanja (zakon akcije i reakcije)

Treći Njutnov zakon glasi:

"Svakoj akciji uvek je suprotstavljena jednaka reakcija; ili međusobne akcije dva tela jednog na drugo uvek su jednake i usmerene ka suprotnim delovima".

Ovaj zakon, kao i prvi zakon kretanja, bio je poznat još od ranije. Nazirao ga je još Aristotel iznoseći stav da onaj koji potiskuje biva nekako zauzvrat i sam potisnut, ali on nije govorio o tome da je akcija jednaka reakciji. Međutim, po ovom pitanju, Njutnu je najbliži Vajt (White) koji je u svojoj knjizi "Euklidska fizika" napisao: "Kad god jedno telo udara o drugo, onda ovo drugo, bilo da je vidljivo stavljeno u pokret ili ne, odbija ono prvo sa jednakom snagom, prema svojim vlastitim uslovima".

Njutn je ovaj zakon objasnio na sledeći način: *"Kada bi jedno telo moglo da privlači drugo telo koje se nalazi u njegovoj blizini ali, tako da ga ovo drugo telo ne privlači istom silom, onda bi to telo koje privlači manjom silom poteralo drugo telo ispred sebe i oba bi se kretala sa ubrzanjem ad infinitum (do beskonačnosti), što je u suprotnosti sa prvim zakonom kretanja".*

Dakle, treći zakon kretanja govori o tome da su sile prouzrokovane delovanjem najmanje dvaju tela. Potpuno usamljeno telo ne može da vrši nikakvu silu, niti može biti podvrgnuto nekoj sili. Tako, ako u sistem uključimo oba tela onda kažemo da među njima postoji tzv. naprezanje. Pošto možemo obratiti pažnju na samo jedan deo sistema, odnosno, na jedno telo, ako na njemu opazimo promene, izazvane naprezanjem, smatramo da su one rezultat akcije preostalog dela sistema. Međutim, ovaj zakon govori i o tome da i prvi deo sistema deluje na drugi silom reakcije.

Analitički se Treći Njutnov zakon može izraziti ovako: ako telo A deluje na telo B silom \vec{F}_a , tada telo B deluje na telo A silom \vec{F}_b , a između tih sila postoji veza:

$$\vec{F}_a = -\vec{F}_b$$

Najlakše se može proveriti posmatranjem sudara dva mala tela sfernog oblika koja se kreću pre, a i posle sudara, po istoj liniji. U tom slučaju važi sledeće:

$$m_1 \vec{v}_1 + m_2 \vec{v}_2 = \text{const}$$

$$m_1 \vec{a}_1 = -m_2 \vec{a}_2$$

$$\vec{F}_1 = -\vec{F}_2$$

Iako su dva od ova tri zakona bila od ranije poznata, Njutnova zasluga nije zanemarljiva, jer je on ukazao na ono što je potrebno i dovoljno za kvantitativno opisivanje kretanja. Njutnovi zakoni su se pokazali kao najefikasnije sredstvo za rešavanje problema kretanja pri brzinama malim u odnosu na brzinu svetlosti u vakuumu. Na osnovu njih tumače se i različita kretanja u kosmosu i na Zemlji, a na njima se zasnivaju i različite grane tehnike.

Međutim, iako imaju široku primenu, postoji njihova ograničenost, kao i klasične mehanike, uopšte. Tako se, na primer, elektromagnetne pojave ne pokoravaju Njutnovim nego Maksvelovim (Maxwell) jednačinama, a klasična mehanika nije uspela, na pravi način, da reši problem tri tela (o skupu čestica ne treba ni govoriti). Takođe, ne može da objasni kretanja tela ili čestica pri brzinama bliskim brzini svetlosti u vakuumu, ali s obzirom na to da i savremena tehnika operiše brzinama koje su mnogo manje od ove, Njutnovi zakoni ostaju nezamenljivi.

Može se pretpostaviti da su, svakako, izazvali pažnju i onih koji su uviđali njihove nedostatke.

Što se tiče prvog zakona postavljalo se pitanje da li se uopšte eksperimentisalo sa telima na koje ne deluje nikakva sila i ako jeste kako se znalo da ona nisu pod uticajem neke sile. Najčešće primedbe ipak se odnose na drugi zakon i njegov odnos prema prvom. Primećeno je da drugi zakon u sebi sadrži prvi, jer kada se uzme da je sila jednaka nuli stanje kretanja se neće promeniti. To, međutim, nikako ne znači da prvi zakon treba zanemariti, jer je inercija osnovna osobina kretanja.

(Referensa: originalne definicije uzete su iz: Milorad Mladenović "Razvoj fizike (mehanika i gravitacija)", IRO Građevinska knjiga, Beograd, 1986.)

Nakon zakona kretanja, Njutn je dao i šest posledica:

– paralelogram sila

Ovo treba da sledi iz drugog zakona, jer su efekti sila nezavisni, tj. telo na koje istovremeno deluju dve sile opisivaće dijagonalu paralelograma u isto vreme kao što bi opisivale njegove strane sa odvojenim silama

- sila se može rastaviti na komponente duž ma koja dva različita pravca

Ovde je načinio grešku, o kojoj je poznati istoričar fizike Trusdel rekao: "Prva posledica pokazuje da se sile sabiraju vektorski, što važi samo za rezultujuće sile koje deluju na telo. U statici su one jednake nuli, pa ovo ne može biti izvedeno iz ma kakvog zakona koji povezuje sile sa kretanjem koje one proizvode."

- suma kretanja u istom smeru, a takođe i razlika kretanja u suprotnim smerovima se konzervira i ne zavisi od međusobne akcije tela (sudara)
- prvi zakon važi za centar teže izolovanog sistema
- princip relativiteta (kasnije je nazvan Galilejevim)
- međusobni odnos više tela se ne menja ako na svako od njih deluje ista sila

III Knjige o "Principima"

Prva knjiga: Kretanje tela

U prvoj knjizi, Njutn je rešavao probleme dinamike koji se odnose na kretanje materijalnih tačaka i čvrstih tela, kao i osnovna pitanja o zakonu centralne sile kada je zadata zatvorena putanja. Pored toga, pokušao je da pride i obrnutom problemu. Svoje zakone kretanja primenio je na kretanje tela u polju sile koja opada sa kvadratom rastojanja, pri čemu nije pominjao da je u pitanju gravitacija. Razlog tome je što je pojavu gravitacije ostavio za razmatranje u poslednjoj, trećoj knjizi.

Najveći deo ove knjige zauzima opisivanje kretanja po konusnim presecima (1680. Njutn je našao da su putanje tela u gravitacionom polju konusni preseci), a kriva koja se najčešće pominje jeste Keplerova elipsa. Razradio je i Keplerove zakone, međutim, zamera mu se što samog Keplera, po imenu, uopšte nije pomenuo. Sem toga, bavio se i nalaženjem eliptičkih, hiperboličkih i paraboličkih orbita (u slučajevima kada je i kada nije dat fokus), pravolinijskim uzlaženjem i silaženjem tela, određivanjem orbita po kojima će tela kružiti kada na njih deluje ma kakva vrsta sile, kretanjem tela u pokretnim orbitama, kretanjem tela po datoj površini, oscilatornim kretanjem klatna, kretanjem tela koja teže

jedno drugom centripetalnim silama (prvo je rešavao probleme kretanja dva tela, pa je prešao na približna rešenja za problem tri tela), privlačnim silama sfernih tela (i onih koja nisu sferna) i kretanjem vrlo malih tela pod dejstvom centripetalnih sila, koja teže delovima nekog velikog tela.

Dokazao je i dve važne teoreme:

- 1) ako imamo samo tanak sferni sloj, sila koja deluje na telo stavljeno u njega biće jednaka nuli
- 2) dve pune kugle, ma kako različite po veličini, privlače se kao da im je masa skoncentrisana u centru.

Prva od ovih teorema pokazala se veoma korisnom u elektrostatici, a druga neophodnom za izračunavanje privlačenja tela na Zemljinoj površini.

Druga knjiga: Kretanje tela u otpornim sredinama

Sadržaj druge knjige čine problemi hidrostatičke i hidrodinamičke, zakoni kretanja u otpornim sredinama, talasno kretanje i najprostiji slučajevi vrtložnog kretanja.

Skoro cela knjiga je originalna, ali je u njoj mnogo toga pogrešnog. Naime, za rešavanje problema ove vrste Njutn nije imao odgovarajuću osnovu. Tako je fluid po njemu sastavljen od odeljenih čestica koje "beže jedna od druge" ili je to neprekidna sredina.

Mišljenje poznatog istoričara i stručnjaka za ovu oblast mehanike C.Trusdela (Truesdell) sastoji se u tome da je Njutn prvo trebao da nađe zakone kretanja fluida da bi uopšte mogao načiniti studiju njihovog otpora. Takođe, zamera i to što je Njutn, da bi izgradio teoriju elastičnosti vazduha, isticanja tečnosti kroz otvor, širenje talasa u vodi, oscilacije vode u cevi, otpora koji telima pružaju fluidi, prostiranje zvuka u vazduhu, unutrašnjeg trenja fluida, za svaku od ovih oblasti stvarao nove koncepte.

Međutim, pored nedostatka, on svakako uviđa i Njutnovu sposobnost da za svaki pojedinačni slučaj nađe odgovor.

Iako je iz ove druge knjige malo toga prihvaćeno kao tačno, ona je dugo vremena cenjena i pružala je neodoljiv izazov da se isprave greške, pogađanje zameni hipotezama i izgrade novi koncepti tamo gde Njutn nije uspeo.

Treća knjiga: Sistem sveta

Tema treće knjige je mehanički uređeni i povezani sistem nebeskih tela. U njoj je razmotreno kretanje planeta, perturbacioni uticaj susednih nebeskih tela, data je analiza tzv. poremećaja Mesečevog kretanja, objašnjene su pojave plime i oseke, kao i kretanje kometa. Najvažniji je, međutim, račun kojim je pokazano da se Mesec na svojoj putanji drži istom onom silom teže pod čijim uticajem teška tela padaju na površinu Zemlje. Po Njutnu, ta sila koja objedinjuje sva nebeska tela u jednu celinu i uslovljava njihovo kretanje i položaje jeste upravo sila gravitacije.

Ovu knjigu Njutn je započeo sa pojavama (fenomenima). To podrazumeva i Keplerove zakone dopunjene izmerenim vremenima obilaska planeta oko Sunca i satelita oko Jupitera i Saturna. Tvrdio je da planete, Mesec i sateliti slede zakon Keplera (ovde je konačno pomenuo Keplera po imenu) i dao je vrednost za gustinu Zemlje. Ona po njemu iznosi 5-6 (što je blisko danas prihvaćenoj vrednosti 5,2). Sem toga, postavio je i hipotezu da je centar sveta nepokretan. Naime, to je bilo i opšte prihvaćeno, ali dok su neki tvrdili da je u njemu Zemlja, drugi su tvrdili da je Sunce. Njutn je izveo da je zajednički centar Zemlje, Sunca i svih planeta nepokretan i da se Sunce nikada ne udaljava daleko od centra teže svih planeta.

Ovom knjigom završeni su "Principi". Ono što je bitno, a što se iz izloženog sadržaja ovog velikog dela može zaključiti, jeste to da Njutn uopšte nije ni pokušavao da odgovori na pitanja zašto se neko telo kreće i šta je sila, nego je samo opisao kretanje tela pod uticajem neke sile i to objasnio na primeru gravitacije.

Međutim, i pored toga važnost ovog Njutnovog dela ostala je ogromna što se najbolje ogleda u tome što je upravo na osnovama "Principa" stvorena klasična nauka o zvuku, toploti, stanjima materije, a i mnoge primenjene nauke koje su dalje činile osnovu za razvoj savremene tehnike.

Ova Njutnova nauka o vremenu, prostoru, masi i sili koja je dala šemu za rešavanje problema mehanike, fizike i astronomije u XIX veku dopunjena je Faradejevom (Faraday) i Maksvelovom (Maxwell) naukom o elektricitetu i magnetizmu. Pri ovome treba imati na umu da ove dve nauke nikako ne protivureče jedna drugoj, već se može reći da je druga samo doprinela konkretizaciji prve.

Kako je klasična mehanika kraja XIX i početka XX veka težila da svuda sprovede šemu elementarnih čestica (atoma i elektrona) koje deluju jedna na drugu gravitacionim i elektromagnetnim silama, krajem XIX veka došlo je do stvaranja klasične elektromagnetne optike kao dopune klasičnoj mehanici, akustici i toploti.

Međutim, iluzije o neoborivosti "Principa", i pored svega, srušene su početkom XX veka. Naime, pojave vezane za prostiranje svetlosti, kretanje čestica ogromnom brzinom i oblast unutrašnjih procesa pokazale da su principi na kojima su zasnovani "Principi" nedovoljni, ali ne treba shvatiti da su oni pojavom te nove nauke (kvantne mehanike i teorije relativnosti) potpuno izgubili svoj značaj. Njutnova mehanika ostala je važna kao – specijalni slučaj ove nauke.

2.2 OPTIKA i "*Optica*"

Optika je oblast koju je Njutt počeo da proučava još kao student, što se zaključuje po njegovim beleškama iz studentskih dana u kojima se nailazi na zapise o šlifovanju sočiva. Prikupio je čitavu kolekciju optičkih aparata, a i sam je bio vešt majstor. Sem toga, njegovi prvi radovi koje je poslao Kraljevskom društvu odnosili su se na oblast optike.

Po njegovom učenju svetlost je mešavina duginih boja koje se prilikom interakcije sa materijom razdavajaju ili apsorbuju, a svaka boja se u istom materijalu drugačije prelama. Ovim učenjem je zamenjen Aristotelov stav o homogenosti Sunčeve svetlosti i o stvaranju boja prilikom interakcije sa telima. Ovo Njutново otkriće smatra se i njegovim najvećim doprinosom optici, a za svoj rad "O svetlosti i bojama", u kojem je ovo opisano, sam je rekao da je to najneobičnije, ako ne i najznačajnije otkriće do tada učinjeno o delovanju prirode.

I u ovom slučaju zamera mu se što nije pomenuo prethodnike i izneo interpretacije koje se sa njegovom ne slažu. Naravno, bilo je onih koji su i pre Njutna na ovu temu već nešto rekli. Još je Demokrit došao do zaključka da razlike u bojama treba svesti na razlike u strukturi materije tako da boje zavise od oblika i poretka atoma. Po njemu, bele supstance se odlikuju pravilnim oblikom i glatkoćom, a crne su nepravilne i hrapave.

Aristotelovo učenje zasniva se na mišljenju da su boje izvedene iz Sunčeve svetlosti i da one nisu sastavni deo bele svetlosti, već da nastaju iz nje. Tako boje nastaju iz svetlosnih zraka prolaskom kroz neku providnu sredinu, pri čemu dolazi do njihovog prelamanja i odbijanja. Pošto je posle bele svetlosti najjača crvena ona će se dobiti prelaženjem najmanjeg puta i najmanjim slabljenjem, a najvećim slabljenjem dobija se plava boja.

Dosta je naučnika i vremenski bližih "Njutnovom dobu" koji su se bavili ovim pitanjem. Pomenuću neke od njih:

R.Dekart (R.Decartes) je smatrao da boje zavise od rotacije čestica fine materije koje prenose svetlost. Udarom tih čestica o neku površinu može se promeniti brzina rotacije. Ako se rotacija malo poveća dobiće se žuta boja, znatnom povećanju odgovara crvena, a znatnom smanjenju plava boja.

Marci (J.M.Marci) je prvi posmatrao razlaganje svetlosti prizmom i na taj način došao do zaključka da onda kada se iz svetlosti, prelamanjem, dobije neka boja, sledeća prelamanja daće istu boju. On je znao i to da će različita prelamanja dati različite boje.

Delašambr (C. de la Chamber) je, kao i Dekart, smatrao da su boje sastavni deo svetlosti.

Vosius (I.Vossius) je smatrao da boja nekog materijala, kao i njegova sagorivost, zavisi od udela sumpora u njemu. Prema tome, kakva je boja sumpora u sagorivoj materiji, takva će biti boja plamena, a kakav je plamen, takva će biti i svetlost koju on širi. Pošto plamen sadrži sve boje došao je do zaključka da se i svetlost mora odlikovati tim svojstvom.

Grimaldi (F.M.Grimaldi) je zastupao stav da se boje u suštini ne razlikuju od svetlosti. Razlika bi se mogla javiti u pogledu načina kretanja ili brzine.

Dakle, i u optici, kao i u mehanici, Njutn se umnogome nadovezivao na svoje prethodnike, ali i pored toga njegov doprinos ostaje veliki.

Njutn je svoje zaključke u vezi boja primenio na dva slučaja:

- 1) kompletiranje interpretacije duge i izračunavanje njene širine
- 2) objašnjenje boja tela apsorpcijom dela spektra (tako da reflektovani ostatak daje boju).

" *Optica* "

"Optika" je drugo Njutново veliko delo. Okarakterisano je izlaganjem velikog broja eksperimenata i to na račun matematičkih dokazivanja i jednačina, tako da u njemu nema ni jednog empirijskog zakona, pa ni teorije.

Ovo delo se sastoji iz tri knjige.

Prva knjiga:

U ovoj knjizi Njutn je razmatrao pojave prelamanja i disperzije kao i boje. Ovde je izneo i svoj zaključak da se bela svetlost sastoji iz zrakova različitih boja koji se prolazeći kroz prizmu prelamaju pod različitim uglovima, pa zbog toga izlaze rasuti. Dalje je na osnovu ovoga, poznatog kao disperzija bele svetlosti, našao da se javlja sedam duginih boja koje naše oko primećuje.

Zrake svetlosti posmatrao je kao njene najmanje delove pri čemu oni slede jedan drugog istom linijom ili su istovremeno u više linija. S obzirom na to da je do ove definicije zrak svetlosti smatran geometrijskim pojmom, može se reći da je upravo Njutn taj koji je doprineo prelasku optike iz geometrijske u fizičku. Međutim, njegovo shvatanje zraka (koje podseća na kasnije uveden koncept kvanta) podrazumeva čestični model, a Njutn je smatrao da je zrak uveo na način koji može da zadovolji trenutno prostiranje svetlosti duž linije.

Sem definicije samog zraka, ovde su date i definicije refraktivnosti i reflektivnosti zraka. Tako je refraktivnost sklonost zraka ka prelamanju, a reflektivnost je njihova sklonost ka odbijanju. Mora se uočiti da je Njutn ovde ignorisao ulogu sredine, iako od nje zavisi da li će doći do prelamanja, odbijanja, i jednog i drugog ili nijednog.

Dalje je uveo i pojam homogene svetlosti kao svetlosti čiji su zraci jednako prelomivi. Ovakvu svetlost nazvao je i jednostavnom, a njene boje primarnim, homogenim i jednostavnim.

Formulisao je i zakone odbijanja i prelamanja, kao i njihove osobine – koplanarnost i reverzibilnost, a definisao je i fokuse kao i realne slike i virtuelne slike pri odbijanju.

Nije poznato zbog čega je dao definicije geometrijskih pojmova kao što su: ulazni ugao, ugao prelamanja i ugao odbijanja, a nije dao definiciju brzine svetlosti nego je samo naveo podatak koji je dobijen na osnovu posmatranja Jupiterovih satelita i na osnovu kojeg je zaključeno da se radi o konačnoj brzini.

Osim ovoga, do sada izloženog, u svojoj "Optici" Njutn je dao i sledeće aksiome:

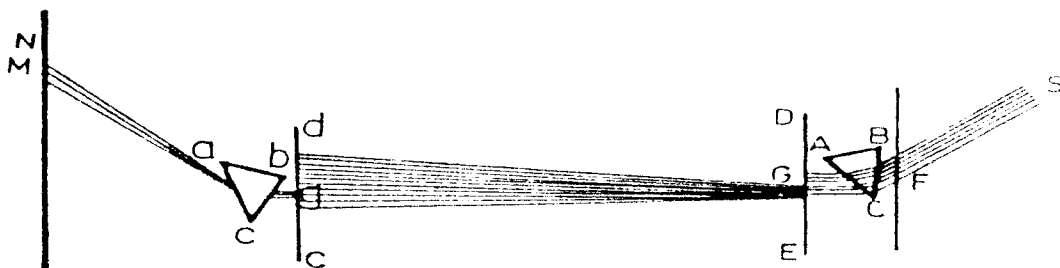
- 1) prelomljeni i odbijeni zraci su komplementarni
- 2) odbijeni zrak jednak je upadnom

- 3) put prelomljenog zraka je reverzibilan
- 4) u gušćoj sredini prelomljeni zrak skreće ka normali
- 5) odnosi između sinusa upadnog i prelomljenog zraka su konstantni ili približno konstantni
- 6) odbijanja i prelamanja na ravnim i sfernim površinama daju tačkaste slike tačkastih predmeta
- 7) konvergirajući zraci proizvode realne slike predmeta od kojih su pošli
- 8) divergirajući zraci proizvode sliku na mestu odakle su divergirali

Pojava koja je u ovoj knjizi detaljnije obrađena jeste – disperzija. Svoje koncepte disperzije Njutn je formulisao u sledećim propozicijama:

- svetlost koja se razlikuje po boji razlikuje se i po stepenu prelomivosti
- Sunčeva svetlost se sastoji od zraka različite prelomivosti
- homogena svetlost se prelama regularno, bez širenja i cepanja
- sinus upadanja svakog zraka odvojeno posmatranog nalazi se u datom odnosu sa sinusom prelamanja

Njutn je izveo veliki broj eksperimenata koristeći prizme i sočiva, a s obzirom na to da je raspolagao tačnom interpretacijom boja, prizma je u njegovim rukama dobila veoma veliki značaj. Eksperimentima sa prizmom dao je i osnovu novom metodu fizike – spektroskopiji. Često je eksperimentisao sa više prizmi, a jedan od takvih eksperimenata prikazan je na sledećoj slici:



Eksperiment sa dve paralelne prizme

Ovo je eksperiment sa dve suprotno orijentisane prizme koji pokazuje kako se svetlost prvo razlaže, a onda se odvaja jedna boja koja se dalje ne može razložiti. Pre Njutna ovakve eksperimenta vršio je Marci, ali Njutn to verovatno nije znao. Pošto je smatrao da je prelomivost inherentna osobina boje, nezavisno od materijala u kojem se prelamanje vrši (što odgovara čestičnom modelu), ovde je načinio grešku. Naime, u talasnom

modelu prelomivost zavisi od odnosa talasne dužine svetlosti prema karakterističnim dužinama materijala.

Njutn je ovo proveravao, ali je sasvim slučajno to da je koristio baš materijale koje karakteriše približno ista vrednost indeksa prelamanja tako da nije dobio nikakvu vezu između čestica i materijala.

Drugu grešku načinio je zbog toga što je gravitaciju smatrao univerzalnom pojavom, tako da ju je video i tamo gde je nije bilo. Zbog toga je pretpostavljao da je prelamanje svetlosti pri prelazu iz jedne u drugu sredinu prouzrokovano dejstvom na udaljenost obe sredine i da gušća tela deluju jačom silom od ređih. Kako je na osnovu ovog shvatanja izveo zakon sinusa dobio je da se svetlost brže kreće u gušćoj sredini.

Rezultat njegovih prvih eksperimenata koje je izveo pomoću prizme bio je da se spektar razvlači od crvenog do ljubičastog i to uvek za istu relativnu dužinu koja je srazmerna prelamanju.

Kada se radi o prelamanju karakterističnom za sočiva, Njutn je zaključio da se, u slučaju malih prelamanja, prelamanje najmanje prelomivih zraka prema prelamanju najviše prelomivih zraka odnosi kao 27 prema 28". Primenom na sočivo teleskopa dobio je da će fokus najprelomivijih zraka biti bliže sočivu od fokusa najmanje prelomivih i to za udaljenost koja iznosi 27,5 – ti deo udaljenosti fokusa srednje prelomivih zraka od sočiva. Pošto je smatrao da ovo važi za sva sočiva, zaključio je da se hromatske aberacije ne mogu korigovati. Kao potvrdu ovoga iznosio je stav da će se bela svetlost uvek pretvarati u obojenu, a do tog zaključka je došao posmatrajući prolazak svetlosti kroz optički sistem od nekoliko optičkih sredina.

Na taj način Njutn je ustanovio da kada svetlost ulazi iz vazduha u više sredina koje se međusobno dodiruju, pa zatim izlazi u vazduh ona će, bez obzira da li su prelamajuće površine paralelne ili naklonjene jedna drugoj, biti ispravljena tim suprotnim prelamanjima. Tako će pri izlasku paralelno ulaznom pravcu ostati bela. Međutim, ako su izlazni zraci nagnuti prema ulaznim, svetlost će na krajevima biti obojena i to počevši od izlazne tačke. Ovaj Njutnov zaključak dugo je ukazivao na to da se hromatske aberacije ne mogu korigovati jer sočivo fokalizuje zrake, odnosno menja im međusobne pravce.

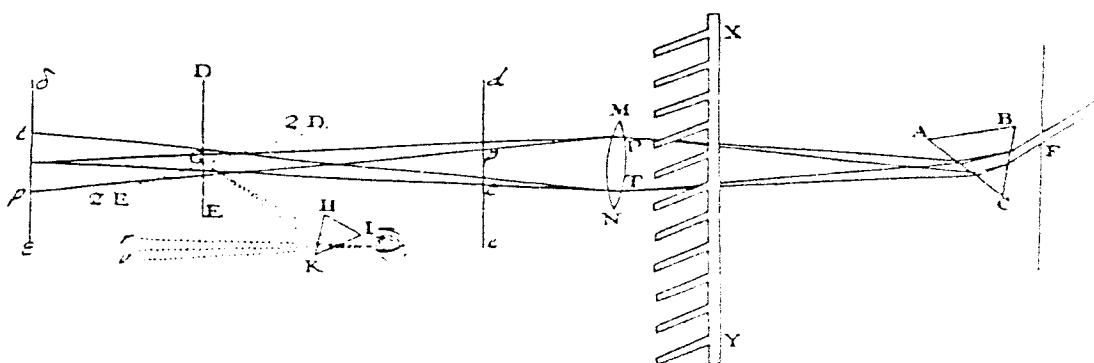
Prvi dokaz da Njutn ovde nije bio u pravu došao je iz izvora koji ne pripada oblasti fizike. Naime, jedan državni činovnik Hol došao je do zaključka da bi se hromatske aberacije mogle korigovati upotrebom

kombinacije teškog i lakog stakla. Tu novu ideju realizovao je optičar Bas (G.Bass). Na konačnu ahromatizaciju ukazivao je Ojler koji je pošao od toga da naše oko, zahvaljujući njegovom različitom sastavu, prelama bez disperzije i dao je šemu optičkog sistema od dva konkavna sočiva između kojih se nalazi voda. Međutim, njemu se suprotstavio pristalica Njutnovog eksperimenta Dolond (J.Dollond) tako da je Ojler, jednom prilikom, priznao da je njegov optički sistem praktično neostvariv. Nakon ovoga došlo je do preokreta jer je Klengenstjerne (S.Klengenstierna) ukazao na Njutnovu grešku time što je pokazao da zraci koji izlaze paralelno ulaznim treba da budu delom obojeni. Ovo je i Dolonda navelo da izvrši eksperiment i proveri ovo tvrđenje. On je jednu prizmu napunio vodom pa je onda u nju stavio suprotno orijentisanu staklenu prizmu. Rotirajući ovakav sistem našao je rezultat koji je protivurečio Njutnovom i uvideo da su zraci koji izlaze paralelno ulaznim zaista delom obojeni. Prilikom rotiranja sistema našao je i položaj u kome svetlost ne izlazi paralelno sama sebi, ali ostaje bela. Tako je došao do zaključka da je tu došlo do prelamanja bez disperzije. Dolond je dalje konstruisao ahromatska sočiva od kombinacije teškog i lakog stakla, a kasnije i ahromatski teleskop.

Druga knjiga:

U najvećem delu ove knjige razmotrene su boje tankih listića. Njutm je našao vezu između boje i debljine listića stavljajući jedan segment staklene kugle na ravno staklo. Time je postigao to da, ukoliko između njih stavi neki fluid, na svakom mestu može da izračuna njegovu debljinu znajući radijus sferne površine. Kada se ovakav uređaj obasja svetlošću dobijaju se prstenovi, u svetlo-tamnim za monohromatsku, i drugim bojama za belu svetlost, nazvani – Njutnovi prstenovi.

Eksperimentišući sa tankim listićima došao je do zaključka, ili bolje reći, bio je prisiljen da svetlosti prida sposobnost periodičnosti, a toga nema u definiciji čestica. Sam je isticao da neće ulaziti u to da li se radi o kružnom ili vibracionom kretanju zraka ili sredine, ali je površno dao objašnjenje ove osobine. Ono se sastoji u tome da svetlosni zraci, udarajući u površinu prelamanja ili odbijanja, izazivaju vibracije u prelamajućoj ili odbijajućoj sredini, pri čemu se uzburkaju čvrsti delovi. Te vibracije se dalje šire u prelamajućem ili odbijajućem telu, slično kao što se šire zvučne vibracije. Njihova brzina je veća od brzine zraka pa ih one prestižu. Kada je neki zrak u onom delu vibracija koje se slažu sa kretanjem on se lako probija kroz prelamajuću sredinu, a kada je u suprotnom delu vibracija on se lako odbije, jer ona sprečava njegovo kretanje.



Njutnova ilustracija formiranja boje tankih listića

Lako se uočava da je Njutn ovde uveo dve periodičnosti, zraka i sredine. Sem toga nije ni pokušao da objasni kako tako sićušna čestica udarom o površinu proizvodi vibracije koje se prenose većom brzinom od čestica svetlosti.

Time je ovde pokazana nemoć čestičnog modela, koji kod Njutna dominira, da objasni pojavu kao što je periodičnost.

Treća knjiga:

Tema ove knjige je difrakcija, a okarakterisana je dosta slabim eksperimentalnim delom, jer su eksperimenti vršeni uglavnom na difrakcionoj podlozi sačinjenoj od ljudske vlasi i slici promenljivog rastojanja između dva paralelna noža. Njutn je koristio i monohromatsku svetlost, čime je uneo novinu u ovakve eksperimente, ali ipak do značajnijih rezultata ovde nije došao.

Ipak, postoji mišljenje da je šteta što Njutn nije nastavio sa proučavanjem pojave difrakcije, jer ovde dobijeni rezultati nisu išli u prilog čestičnom modelu svetlosti.

Optika u "Principima"

Zanimljivo je da se matematička izvođenja i jednačine vezane za optičke pojave javljaju tek u prvoj knjizi "Principa".

– Izvođenje prelamanja:

Prva optička pojava koju je Njutn razmotrio u "Principima" jeste prelamanje. On je posmatrao prelazak svetlosti kroz vrlo tanak sloj i pri tome pretpostavio da je telo pri prolasku kroz taj sloj privučeno ili pritisnuto ka ma kojoj od tih sredina. U slučaju kada je to privlačenje svuda isto, na istom rastojanju od bilo koje dve ravni i uzeto ka istoj ravni, sinus upadanja na jednu ravan biće u datom odnosu sa sinusom

– Difrakcija:

U ovom slučaju pošao je od toga da tela skreću od gušćih ka ređim slojevima etera. Gustina etera raste sa udaljenošću od tela tako da će zraci koji prolaze pored nekog tela biti privučeni ka njemu.

Ovim putem dobija se dosta jednostavna, međutim, netačna predstava o difrakciji, koja se svodi na to da telo privlači svetlost silom koja opada sa kvadratom udaljenosti. Ovo ne odgovara poznatim osobinama difrakcionih slika. Kao što je rečeno, Njutn je difrakciju ostavio nedovršenom.

Njutn je u ovom svom delu opisao i krugove oko Meseca i dao podatke o njihovoj obojenosti i lučnoj dužini, što je ukazivalo na to da su merenja vršena aparatima. Pomoću svojih aparata izvršio je i čuvene eksperimente analize i sinteze svetlosti.

Na kraju "Optike" priložene su tzv. pitalice u kojima Njutn na specijalni način rezimira ono što čini sadržaj pomenutih triju knjiga ovog dela.

Iz izloženog se može zaključiti da je "Optika" sušta suprotnost "Principima". Njen sadržaj izložen je eksperimentima, a nigde nema jednačina, pa čak ni geometrije.

Ali, iako nije kapitalno, "Optika" je Njutново veliko delo.

2.3 Njutnovi doprinosi matematici

Sem što je bio izvrstan fizičar, mehaničar i astronom, Njutn se bavio i matematikom. Pored pomenutog diferencijalnog i integralnog računa (metoda fluksije), dao je i metodu interpolacije parabolom $n - \text{tog}$ stepena (Njutnov interpolacioni polinom), uopštio je binom i na taj način našao binomni beskonačni red, izvršio je klasifikaciju oko osamdeset algebarskih krivi trećeg stepena, našao je metod približnog određivanja nula funkcija (Njutnova metoda) i drugo.

Očigledno je da je u njegovom stvaranju dolazila do izražaja međusobna povezanost zakona prirode i prirodnih pojava, na jednoj strani i matematičkih teorija i metoda na drugoj. Iz toga se može zaključiti da je njegov ideal bio da se prirodne pojave prvo eksperimentalno prouče, a zatim da im se da matematičko objašnjenje.

2.4 Ostala interesovanja. Alhemija

Postoje dokumenta koja svedoče o tome da se Njutn bavio i alhemijom i to od kada je postao profesor (1669.) pa sve dok se nije preselio u London (1696).

Pretpostavka, od koje su alhemičari tog vremena polazili bila je da pošto plemeniti metali "rastu" na nekim mestima u zemlji, može se naći način da oni rastu i u laboratoriji. Kao uzor u ovoj oblasti interesovanja i delovanja Njutnu je služio poznati hemičar Bojl koji je 1670. objavio članak koji je opisivao postupak zagrevanja žive sa zlatom: zlatni prašak stavi se na dlan leve ruke i doda se živa, a zatim se prstom desne ruke to promeša i pritisne. Ova dva sastojka se pri tome lako izmešaju, a sem toga i zagreju. Tako je pokazao da zlato, koje je smatrano homogenim i najmanje promenljivim metalom, može da se promeni u pogledu mekoće, boje, homogenosti, a i specifične težine. Treba naglasiti da tadašnja hemija nije bila iznad alhemije.

Što se Njutna tiče, sudeći po njegovoj hipotezi da se sva tela mogu pretvoriti jedna u drugo, koja se pojavila u prvom izlaganju "Principa", može se zaključiti koliko je on bio otvoren prema alhemiji.

Međutim, kako se kasnije razočarao zbog svojih neuspelih eksperimenata, ove hipoteze u sledećim izdanjima "Principa" nije bilo.

Treba reći da se, iako je domen njegovih interesovanja bio dosta širok, Njutn ne smatra "univerzalnim genijem". Njega je uglavnom zanimala fizika ("prirodna filozofija") tako da su njegove misli najvećim delom bile usmerene ka ovoj oblasti, a matematiku i astronomiju, kao što se vidi, koristio je na najbolji način tj. kao metode rešavanja problema fizike.

3. ANALIZA NJUTNOVIH ISTRAŽIVANJA NA NIVOU OSNOVNE ŠKOLE

Iz razloga što smatram da učenici osnovne škole često nemaju priliku da se na pravi način upoznaju sa značajnim otkrićima i da steknu predstavu o tome koliko je vremena i truda potrebno da bi se uspešno objasnile prirodne pojave sa kojima se svakodnevno susrećemo, u ovom poglavlju izložiću svoje viđenje nastave fizike na osnovnoškolskom nivou i time ukazati na elemente koje bi, po mom mišljenju, bilo korisno uvesti u nastavu. Pod tim najpre podrazumevam, s obzirom na to da oko 80% naših saznanja dobijamo putem čula vida, uvođenje očiglednih elemenata koji nastavu, umnogome, učenicima približavaju i čine je razumljivom, a samim tim i zanimljivijom. Ove svoje ideje pokušaću da realizujem na primerima obrade nastavnih tema vezanih za fizičara Isaka Njutna, a nastavnim planom i programom predviđenih za obradu u nastavi fizike u osnovnoj školi.

3.1 ANALIZA NJUTNOVIH ISTRAŽIVANJA NA NIVOU OSNOVNE ŠKOLE – Primeri iz nastave fizike u VI razredu osnovne škole

Nastavnim planom i programom za VI razred osnovne škole predviđena je obrada sledećih nastavnih jedinica vezanih za fizičara Njutna:

- Uzajamno delovanje. Sila. Gravitaciona sila
- Masa tela. Zakon inercije (I Njutnov zakon)

Nastavna jedinica: Uzajamno delovanje. Sila. Gravitaciona sila.

Nastavnim planom i programom predviđeno je da se, pre nego što se pređe na uvođenje pojma sile, obradi tematska celina: "Mehaničko kretanje" u okviru koje je uveden pojam brzine tela kao jedne od najvažnijih veličina pri njegovom kretanju. Razlog tome je što se onda bolje može razumeti sila kao uzrok promene kretanja tela.

Sila je prvi pojam vazan za ime Isaka Njutna sa kojim se učenici upoznaju, a na osnovnoškolskom nivou definiše se na sledeći način:

"Sila je mera uzajamnog delovanja tela".

Iako je smisao ove definicije očigledan, bitno je učenicima skrenuti pažnju na to i reći im da se on sastoji u tome da kada se kaže da na neko telo deluje sila ima se na umu da ta sila potiče od drugih tela i da ne postoji odvojeno od njih.

Kao što je već poznato sila je jedna od vektorskih veličina, što znači da ona deluje izvesnom jačinom (intenzitetom) i ima određeni pravac i smer delovanja. Smatram da učenicima osnovne škole svakako treba naglasiti ovu bitnu osobinu sile, ali se pri tome, koliko je moguće, treba i ograničiti na površno objašnjenje zbog toga što učenici ovog uzrasta po pitanju vektora nemaju dobru matematičku podlogu.

Prilikom izlaganja ove nastavne jedinice učenicima treba obratiti pažnju na postojanje različitih vrsta sila: gravitacione, električne, magnetne, elastične i sile trenja.

Upoznajući ih sa gravitacionim delovanjem bitno je naglašavati da je upravo to delovanje razlog tome što Zemlja privlači ljude i sve predmete na njoj i oko nje.

Dalje je, radi kompletiranja objašnjenja na koji način dolazi do toga, neophodno uvesti pojam – gravitacionog polja. Na ovaj moment u nastavi treba obratiti posebnu pažnju. Naime, uvođenje gravitacionog polja kod učenika može izazvati izvesnu zabunu, jer obično ne shvataju dovoljno sam pojam polja. Iz tog razloga, bilo bi korisno pozvati se na prethodno uveden pojam – fizičkog polja kao, pored supstancije, osnovnog oblika postojanja materije, a onda gravitaciono polje uvesti kao primer fizičkog koje se formira oko Zemlje i posredstvom kojeg Zemlja deluje na sva tela koja se u njemu nalaze. Dodatni problemi mogu se javiti usled toga što učenici, iz same definicije u kojoj je dato da je gravitaciono polje ono polje posredstvom kojeg tela padaju na Zemljinu površinu, mogu doći do zaključka da ovo polje deluje samo na površini Zemlje. Zbog toga je

bitno naglasiti da je takvo shvatanje pogrešno i objasniti da se i Zemlja kreće u gravitacionom polju Meseca isto onako kako se Mesec kreće u gravitacionom polju Zemlje i da će Mesec svojom gravitacijom onda delovati i na sva tela na Zemlji.

Sledeći pojam koji se uvodi prilikom obrade ove nastavne jedinice jeste – gravitaciona sila. Bitno je naglasiti da je ova sila bila formulisana još krajem XVII veka i to od strane velikog engleskog fizičara Isaka Njutna (Njutn je prvo veliko ime sa kojim se učenici upoznaju). Treba posebno istaći da je gravitaciona sila osnovna sila u prirodi i da je ona odgovorna za kretanje nebeskih tela, strukturu Vasiona i mnoge druge pojave na Zemlji, kao i to da je ona po svojoj prirodi ista kao sila koja održava Mesec na svojoj putanji i Zemlju i ostale planete na svom kruženju oko Sunca.

Upoznajući se sa gravitacionom silom, učenici uspevaju da shvate neke važne pojave koje se oko nas dešavaju i odgovore na pitanja kao što je zašto knjiga pada vertikalno kada je ispustimo iz ruke ili neka druga slična ovom.

Smatram da bi bilo korisno napomenuti i to da je pitanje gravitacije bilo razmatrano još od davnina (pre nove ere), dakle, mnogo vremena pre Njutna, ali su se zaključci uglavnom svodili na to da telo koje pada nečemu teži, a da pri tome od njega nije privučeno.

Njutnov doprinos današnjem shvatanju pojma sile najbolje se može istaći time što se merna jedinica za ovu fizičku veličinu, u čast ovog fizičara, naziva njutn (N).

U okviru tematske celine: "Sila" predviđena je i eksperimentalna vežba: "Merenje sile dinamometrom".

S obzirom na to da je nivo apstraktnog mišljenja kod učenika osnovnoškolskog uzrasta relativno nizak, vežba u nastavi fizike u osnovnoj školi, a i inače, igra veoma značajnu ulogu. Tako na primer, pomenuta vežba višestruko doprinosi shvatanju prethodno izloženog gradiva. Pomoću nje učenici mogu jasnije uvideti da se sila može izmeriti i da se ta izmerena vrednost prikazuje brojem, što dokazuje tvrđenje da ona ima jačinu. Takođe, imaju priliku da nauče kako se koristi nova sprava, kao što je za njih dinamometar.

Nastavna jedinica: Masa tela. Zakon inercije (I Njutnov zakon mehanike)

Masa je fizička veličina o kojoj se prvi put učenicima govori prilikom obrade nastavne jedinice: "Fizičke veličine i njihove jedinice. Međunarodni sistem jedinica" kao o jednoj od osnovnih veličina tog sistema. U fiziku, ovu veličinu prvi je uveo Isak Njutn, pri čemu ju je poistovećivao sa količinom materije.

Prilikom izlaganja ove nastavne jedinice masa tela se može uvesti kao fizička veličina kojom se izražava njegova materijalnost. Veoma je bitno naglasiti to da svako telo ima svoju masu, da ona ne zavisi od položaja tog tela u prostoru i od njegovog agregatnog stanja kao i to da se ona ne menja (stalna je veličina) sem u slučaju kada se tela kreću jako velikim brzinama (bliskim brzinama svetlosti).

Ono na šta treba obratiti mnogo pažnje jeste to da su učenici skloni poistovećivanju pojmova masa tela i težina tela. Zbog toga treba naglasiti da je ovde reč o dvema različitim veličinama koje se, prema tome, izražavaju u različitim mernim jedinicama. Tako se masa izražava u kilogramima (kg), a težina tela, kao sila, u njutnima (N). Bitna razlika je sadržana i u tome što, za razliku od mase koja je stalna veličina, težina tela može imati različite vrednosti u zavisnosti od toga gde i pod kojim uslovima se meri. Prema tome, tela mogu biti i bez težine, ali će uvek imati masu.

Masa tela se može definisati i kao mera inertnosti tela, a kako je inertnost = tromost, može se lako zaključiti da će se telo veće mase pokrenuti teže nego telo manje mase. Dakle, mase tela se mogu upoređivati prema brzinama kojima se kreću posle uzajamnog delovanja. Na taj način se mogu upoređivati kako ogromne mase nebeskih tela tako i vrlo male mase atoma i molekula.

Međutim, znatno jednostavniji, a i praktičniji način upoređivanja masa tela jeste njihovim merenjem pomoću vage, tako da je i nastavnim planom i programom predviđena demonstraciona vežba: "Merenje mase tela vagom".

I Njutnov zakon mehanike glasi:

"Svako telo ostaje u stanju mirovanja ili ravnomernog pravolinijskog kretanja, dok ga delovanje drugih tela ne primora da to stanje promeni".

Ovde se učenicima treba objasniti ova pojava da tela teže da zadrže svoju brzinu nepromenjenom (ostaju u stanju mirovanja ili ravnomernog pravolinijskog kretanja), odnosno, kako je Galilej nazvao, pojava inercije.

Do zaključka da se telo kreće po inerciji Galilej je došao na osnovu ogleđa u kojem je istu kuglu, jednakim zamahom bacao po različitim površinama (hrapavoj, ravnoj i glatkoj). Tako je on ustanovio da bi se kugla, kao i sva ostala tela, bez trenja i otpora vazduha, kretala neprekidno, tj. nikada se ne bi zaustavila.

Međutim, kako je još od Aristotela smatrano da će telo prestati da se kreće kada prestane da deluje sila koja je to kretanje prouzrokovala, u XVII veku kada su Galilej i Njutn (koji je proučavajući pojam inercije, izveo zakon inercije) delovali, kretanje po inerciji bilo je dosta teško prihvaćeno.

Pošto je rečeno da se masa tela može shvatiti i kao mera njegove inertnosti, to se lako može razumeti da se za tela veće mase kaže da su inertnija, tj. da se jače suprotstavljaju promeni svoje brzine.

Mnogo je primera iz svakodnevnog života koji upućuju na važenje zakona inercije. Poznato je da će biciklista nastaviti da se kreće i pošto prestane da okreće pedale ili to da će putnici, pri naglom zaustavljanju autobusa posrnuti unapred. Takođe je poznato to da knjiga na stolu neće promeniti svoje stanje mirovanja bez dejstva neke sile.

3.2 ANALIZA NJUTNOVIH ISTRAŽIVANJA NA NIVOU OSNOVNE ŠKOLE – Primeri iz nastave fizike u VII razredu osnovne škole

Nastavnim planom i programom za VII razred osnovne škole predviđena je obrada sledećih nastavnih jedinica vezanih za fizičara Njutna:

- Osnovni zakon kretanja (II Njutnov zakon)
- Zakon akcije i reakcije (III Njutnov zakon)
- Gravitacija. Njutnov zakon gravitacije
- Gravitaciono polje Zemljine teže
- Težina tela. Bestežinsko stanje
- Slobodan pad. Galilejev ogled
- Hitac naviše i naniže. Horizontalan i kos hitac

Nastavna jedinica: Osnovni zakon kretanja (II Njutnov zakon)

Ovaj zakon se javlja kao prvi zakon u obliku proporcionalnosti i definiše pojam sile. Njime je data najjednostavnija veza između sile i vremenske promene količine kretanja i istaknut je vektorski karakter sile, a kao njegova posledica javlja se to da svaki impuls odgovara promeni količine kretanja.

II Njutnov zakon rečima se može iskazati na sledeći način:

"Ubrzanje koje telo dobije pri kretanju, srazmerno je intenzitetu sile, a obrnuto srazmerno masi tela".

Na nivou osnovne škole koristi se sledeći matematički oblik ovog zakona:

$$\vec{F} = m \cdot \vec{a}$$

Dakle, opet se javlja problem koji proizilazi iz toga što se sila, svakako, mora uvesti kao vektorska veličina. Taj problem moguće je prevazići tako što se vektor učenicima može predstaviti opisno, bez ulaženja u detaljno objašnjenje ovog pojma.

Zavisnost ubrzanja tela od intenziteta sile koja deluje na to telo može se objasniti jednostavnim primerima. Tako se može postaviti pitanje kada je ubrzanje voza veće, kada ga vuče jedna ili dve lokomotive. Učenici sami mogu zaključiti da će ubrzanje biti veće utoliko ukoliko je primenjena sila većeg intenziteta i tako shvatiti da je $a \sim F$.

Sem od intenziteta sile koja deluje na telo, ubrzanje zavisi i od mase tog tela i to tako da je ono utoliko veće ukoliko je masa tela manja, odnosno $a \sim \frac{1}{m}$. To se može shvatiti navođenjem primera da se teže trči sa torbom na leđima nego bez nje.

Kada se objedine rezultati zaključuje se da je $a = \frac{F}{m}$

Tako iz II Njutnovog zakona sledi da telo veće mase sporije menja ubrzanje nego telo manje mase (pri delovanju sile istog intenziteta). Ova osobina tela da se odupire promeni kretanja pod dejstvom sile naziva se – inertnost.

Inertnost tela je u ovom zakonu sadržana preko mase i vidi se da odnos intenziteta sile i intenziteta ubrzanja predstavlja izraz za masu tela. Kako

se ovaj odnos ne menja (većoj sili odgovara veće ubrzanje) te se može reći da se masa može shvatiti kao mera inernosti tela i da ona, za dato telo, ima konstantnu vrednost.

Bitno je učenicima skrenuti pažnju na to da treba razlikovati inernost tela od inercije, jer se ova dva pojma često poistovećuju.

Upoznavanje II Njutnovog zakona omogućuje dinamičko merenje sile. Naime, pre njegovog uvođenja, sila se može izmeriti samo statički, a nakon što se on objasni intenzitet sile koja deluje na telo pri kretanju može se izračunati merenjem mase tog tela i njegovog ubrzanja.

Pomoću ovog zakona izvedena je jedinica za silu u SI sistemu jedinica:

$$[F] = [m] \cdot [a] = 1kg \cdot 1 \frac{m}{s^2} = 1N$$

Iz ovoga sledi da će sila imati intenzitet od 1N ako telu mase od 1kg daje ubrzanje od $1m/s^2$.

U okviru obrade ove tematske celine predviđena je i laboratorijska vežba kojom se ukazuje na vezu sile, mase i ubrzanja, odnosno kojom se proverava II Njutnov zakon.

Nastavna jedinica: Zakon akcije i reakcije (III Njutnov zakon)

Verzija III Njutnovog zakona sa kojom se učenici upoznaju je sledeća:

"Sile kojima tela uzajamno deluju, imaju jednake intenzitete, iste pravce, a suprotne smerove".

Vidi se da ovaj zakon direktno upućuje na zaključak da su sile prouzrokovane delovanjem najmanje dva tela. Sila kojom prvo telo deluje na drugo naziva se – sila akcije, a sila kojom drugo telo deluje na prvo – sila reakcije. Zbog toga se često ovaj zakon izražava i na sledeći način:

"Sila akcije je uvek po intenzitetu jednaka sili reakcije. Ove sile su istih pravaca a suprotnih smerova".

Da bi se bolje razumeo ovaj zakon često se navodi ovakav primer: dva dečaka stoje na koturaljkama i zatežu užu. Kada prvi dečak vuče konopac, obojica će se kretati i to jedan drugome u susret. Isto će se dogoditi i onda kada konopac vuče drugi dečak. Iz ovoga se dalje lako zaključuje da će delovanje jednog tela na drugo uvek izazvati i delovanje drugog tela na prvo.

Analitički, ovaj zakon se može izraziti na sledeći način: ako telo A deluje na telo B silom \vec{F}_a , tada telo B deluje na telo A silom \vec{F}_b , a između ovih sila postoji veza:

$$\vec{F}_a = -\vec{F}_b$$

Primećeno je da postoje izvesne poteškoće u pogledu usvajanja ovog zakona od strane učenika. Naime, ovaj zakon se obično ne razume u dovoljnoj meri, nego se, zbog jednostavne matematičke forme, samo formalno pamti. Do poteškoća naročito dolazi onda kada ga treba primeniti na konkretne slučajeve i to iz sledećih razloga:

- sila akcije i sila reakcije deluju na dva različita tela pa se ne mogu vektorski sabirati
- one istovremeno nastaju i nestaju i ne postoje jedna bez druge, uvek se pojavljuju u parovima. O kojoj sili tog para da se radi može se videti ukoliko se zamisli da je telo oslobođeno svakog neposrednog dodira sa svim ostalim telima i onda potraže sile koje na njega deluju. To su tzv. sile akcije. Svakoj od ovih sila, na ostalim telima koja deluju na uočeno, odgovaraju tzv. sile reakcije.

Znači, ako postoji jedna postoji i druga sila po intenzitetu i pravcu jednaka, a suprotno usmerena od prve. To znači da u prirodi ne postoje jednosmerna nego samo uzajamna delovanja

– to su sile iste prirode

Međutim, u većini slučajeva jedno telo uzajamno deluje sa većim brojem tela, odnosno na to telo deluje veći broj sila. Postavlja se pitanje da li u ovom slučaju delovanje jedne od tih sila zavisi od delovanja drugih. Odgovor na pitanje je da te zavisnosti nema, jer svaka sila poseduje samostalnost (posledica I Njutnovog zakona).

Važenje ovog zakona se najjednostavnije može pokazati pomoću dva dinamometra. Uzmimo da je jedan od njih fiksiran, a drugi slobodan. Ukoliko slobodni dinamometar okačimo o fiksirani i razvlačimo ga, lako se vidi da će se pri tome oba razvlačiti i to za istu veličinu. Razvlačenje će se vršiti i u istom pravcu, ali u suprotnom smeru.

Nastavna jedinica: Gravitacija. Njutnov zakon gravitacije

Tri Njutnova zakona (Zakon inercije, Osnovni zakon kretanja i Zakon akcije i reakcije) omogućavaju rešavanje problema nerelativističke (makroskopske) fizike, tj. problema kretanja tela pod dejstvom neke sile (uključujući i mirovanje u nekom koordinatnom sistemu). Najvažnija od tih sila jeste ona kojoj podleže materija u bilo kom obliku i za koju nema nepropusnog zastora, a to je sila gravitacije.

Kretanje tela poput ispuštenog kamena ili kamena bačenog u vis je tip kretanja koji je još od antičkih vremena privlačio pažnju učenih ljudi. Oni su nastojali da nađu zakone takvog kretanja, a prvi ih je, za male delove prostora, našao Galilej. Međutim, Galilejevi zakoni nisu bili dovoljni da se razume kretanje Meseca oko Zemlje ili da se proračuna putanja rakete izbačene u svemir.

Zakon univerzalne gravitacije (zakon između dva tela) našao je Isak Njutn. Do ovoga zakona Njutn je došao 1687., a da ga otkrije naveo ga je iznenadni pad jabuke sa drveta. Tada je sebi postavio pitanje: "Zašto jabuka uvek pada vertikalno u pravcu Zemljinog centra?" Odgovor na ovo pitanje Njutn je našao u tome da u materiji mora postojati neka privlačna sila koja je skoncentrisana u centru Zemlje, tako da jabuka privlači zemlju isto kao što i Zemlja privlači jabuku. Ovaj slučaj je tako učinio da Njutn zaključi da padanje tela i kretanje Meseca imaju isti uzrok.

Njutn se gravitacijom bavio u doba kada su se tim pitanjem bavili mnogi. On je već 1666. iz Keplerovih zakona izveo da sila teže mora opadati obrnuto proporcionalno kvadratu rastojanja između posmatranih tela, a dalje je razmišljao i o gravitaciji koja se proteže do Mesečeve putanje. Izračunao je i silu kojom lopta koja rotira u unutrašnjosti sfere pritiska na površinu te sfere. Takođe, iz Keplerovog zakona koji govori o tome da su kvadrati perioda planeta proporcionalni kubovima njihovog rastojanja od centra putanja po kojima se kreću, izveo je zaključak da sila koja zadržava planete na njihovim putanjama mora biti obrnuto proporcionalna kvadratima njihovih rastojanja od centara oko kojih se obrću. Pomoću ovoga zaključka i upoređivanjem sile koja je potrebna za održavanje Meseca na njegovoj putanji sa silom teže na Zemljinoj površini našao je da one skoro odgovaraju jedna drugoj (očigledno da je znao i izraz za centrifugalnu silu). Njutn je ustanovio i to da sila gravitacije mora prouzrokovati izvesne poremećaje u kretanju nebeskih tela. To se dešava zbog toga što svako telo ima sopstvenu silu, pa kada se te sile saberu dobiće se resultantna sila koja će izazivati poremećaje ili

perturbacije. Ovi poremećaji se ispoljavaju u vidu odstupanja kretanja nebeskih tela sa unapred utvrđene putanje.

Razmatrajući sve ove osobine gravitacione sile, Njutn je dobio danas poznatu zakonitost:

$$F = \gamma \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2}$$

gde je: F – sila teže

m_1, m_2 – mase bilo koja dva tela

r – rastojanje između tih tela

γ – tzv. gravitaciona konstanta.

Gravitaciona konstanta (γ) je univerzalna konstanta, tj. ne zavisi od oblika, sastava ili bilo kojih drugih fizičkih faktora. Upravo u tome je i sadržana bitna razlika između gravitacione sile i drugih sila. Vrednost ove konstante iznosi $6,67 \cdot 10^{-11} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-2}$.

Iz reda veličine gravitacione konstante može se zaključiti da je gravitaciona sila jako slaba, sem u slučaju kada se radi o jako velikim masama (kao što su mase planeta) ili o jako malim rastojanjima (kao što je rastojanje između protona u jezgri).

Da bi se izmerila gravitaciona konstanta trebalo je izmeriti silu privlačenja između dve tačno poznate mase što, zbog slabosti gravitacione interakcije, u laboratoriji nikako nije bilo moguće izvršiti pomoću dinamometra sa oprugom. Prva pouzdana merenja ove konstante izvršio je lord Kevendiš (1798.). Tako su se iz zakona gravitacije, a pri poznatoj vrednosti gravitacione konstante, mogle odrediti mase svih poznatih planeta Sunčevog sistema koje imaju svoje satelite.

Iz zakona gravitacije sledi i to da Zemlja ne može biti savršena lopta, nego mora biti malo spljoštena na polovima, a ispučena na ekvatoru. Do toga dolazi usred rotacije Zemlje oko sopstvene ose na ekvatoru, jer se onda na ekvatoru (gde su tačke na površini Zemlje najudaljenije od njenog centra) javlja najjača centrifugalna sila. Kako ta sila deluje nasuprot gravitaciji Zemljina osa je nagnuta pod uglom od $23,5^\circ$ u odnosu na ravan ekliptike (ravan obrtanja Zemlje oko Sunca), a gravitacione sile Sunca i Meseca nastoje da je vrate u takav položaj da zauzme ugao od 90° u odnosu na tu ravan.

Njutnov zakon gravitacije važi na ogromnim rastojanjima (više od 4.500 miliona kilometara celog Sunčevog sistema), a doprineo je i otkriću jedne nove planete – Neptuna.

Sa silom gravitacije učenici se detaljnije upoznaju u VII razredu osnovne škole. Na ovom nivou Njutnov zakon gravitacije se može iskazati sledećim rečima:

"Sila kojom se dva tela privlače zavisi od njihovih masa i međusobnog rastojanja".

Ono što, prilikom izlaganja ove nastavne jedinice, treba naglasiti je to da je sila gravitacije (privlačenja između tela) jača između većih masa i da sa povećanjem rastojanja ona opada. Veoma je bitno istaći da je ova sila osnovna sila u prirodi i da se njeno dejstvo ne može neutralisati.

U okviru ove nastavne jedinice predviđen je za objašnjenje još jedan pojam. To je Zemljina teža. Učenicima treba objasniti da je u pitanju sila kojom Zemlja privlači sva tela na njoj. Zabunu kod učenika može izazvati iznošenje činjenice da i ova tela privlače Zemlju, jer se to ne može pokazati. Zbog toga učenike treba ubediti u tačnost ovog tvrđenja i objasniti im da to privlačenje postoji iako ga mi ne osećamo zbog malih masa posmatranih tela u odnosu na ogromnu masu Zemlje. Smatram da bi bilo zanimljivo, a naročito korisno, pročitati Njutnove reči koje je izgovorio pošto je utvrdio zakon gravitacije: *"Ako neko primeti da sva tela koja se nalaze oko nas moraju po tom zakonu da teže jedno drugom, a da težnju te vrste mi ne osećamo, ja ću mu na to odgovoriti da je privlačenje prema tim telima, budući da je onoliko puta manje od privlačenja prema Zemlji koliko je masa tela manja od mase cele Zemlje, toliko da ga mi ne možemo osetiti"*.

Takođe, treba naglasiti da jačina ove sile nije ista na svim mestima na Zemlji, nego je, zbog toga što su tačke na polovima bliže Zemljinom centru nego one na ekvatoru, ova sila na polovima jača.

Kao zaključak iz izloženog može se izvući to da će silom koja se naziva Zemljina teža na svaki kamen na Zemljinoj površini delovati sve čestice Zemljine kugle.

Nastavna jedinica: Gravitaciono polje Zemljine teže

Na nivou osnovne škole gravitaciono polje se uvodi kao polje koje postoji u prostoru oko Zemlje i posredstvom kojeg Zemlja privlači tela koja se u njemu nalaze, odnosno, ta tela usled ovog polja slobodno padaju na površinu Zemlje.

Jačina gravitacionog polja se obično obeležava slovom G i brojno je jednaka sili kojom Zemlja deluje na telo jedinične mase, odnosno:

$$G = \frac{F}{m}$$

Zbog toga što na jediničnu masu koja je na većoj udaljenosti deluje manja gravitaciona sila, jačina gravitacionog polja će biti utoliko manja ukoliko je neka tačka na većoj udaljenosti od centra Zemlje. Gravitaciono polje Zemljine teže je takođe vektorska veličina.

Treba naglasiti da gravitaciono polje postoji u svakoj tački bez obzira na to da li se u toj tački nalazi drugo telo ili ne, a ako se nalazi jačina ovog polja neće zavisiti od mase tela.

Merna jedinica za izražavanje jačine gravitacionog polja je ista kao za ubrzanje ($\frac{m}{s^2}$), pa će jačina gravitacionog polja Zemlje biti brojno

jednaka ubrzanju koje telo stiče usled privlačne sile Zemlje. Ovo ubrzanje nazivamo – gravitaciono ubrzanje g , kao i jačina gravitacionog polja, različito je na različitim udaljenostima od centra Zemlje. Tako na 45° geografske širine u blizini Zemljine površine ono iznosi $9,81 \text{ m/s}^2$, raste od ekvatora ka polovima i na polovima iznosi $9,83 \text{ m/s}^2$, a na ekvatoru $9,78 \text{ m/s}^2$.

Ovo, do sada izneto, je sve sa čime se učenici upoznaju u okviru ove nastavne jedinice i to je sasvim dovoljno da oni steknu predstavu o pomenutim pojmovima. Međutim, radi mogućnosti informisanja zainteresovanih čitaoca, ovom delu rada dodala bih još neke podatke:

Naime, da bi se mogle uporediti privlačne sile na Mesecu i na površini Zemlje trebalo je odrediti centripetalno ubrzanje kako na Mesecu tako i na površini Zemlje. Pošto je Hajgens već bio obradio centripetalnu silu tela koje se obrće, a znalo se i za izraz za određivanje centripetalnog ubrzanja ($a = \frac{v^2}{r}$), Njutnu je ostalo da izračuna centripetalno ubrzanje

na Mesecu, stavljajući odgovarajuće vrednosti za brzinu Mesečevog obrtanja i njegovog rastojanja od centra Zemlje u ovaj izraz. Tako je za centripetalno ubrzanje na Mesecu dobijena vrednost $a = 0,00271 \text{ m/s}^2$. Dalje je, na osnovu poznate vrednosti ubrzanja Zemljine teže (gravitacionog ubrzanja) na ekvatoru, izračunata i vrednost ubrzanja Zemljine teže na površini Meseca (g_1). Tako je dobijeno $g_1 = 9,78 : 3600 = 0,0027 \text{ m/s}^2$. Iz ovoga se vidi da će, zbog toga što je Mesec od Zemlje udaljen približno 60 Zemljinih poluprečnika, ubrzanje Zemljine teže na Mesecu, prema zakonu obrnutih kvadrata, biti $(60)^2 = 3600$ puta manje nego na Zemljinoj površini. Takođe se vidi da je $a = g_1$, na osnovu čega je Njutn i pokazao da je Zemljina teža isto što i gravitacija. To je činilo potvrdu njegove teorije o privlačenju tela u Vasioni, a kasnije je i eksperimentalno potvrđeno. Na primer, Buge (Bouguer) je 1738. konstatovao privlačenje klatna u blizini brda na planini Čimdorazo, a privlačenje između malih i velikih olovnih kugli dokazao je Kevendiš (Cavendisch) 1789., pomoću torziona vage.

Nastavna jedinica: Težina tela. Bestežinsko stanje.

Težina tela je pojam koji se na nivou osnovne škole uvodi kao sila kojom telo usled Zemljine teže deluje na nepokretni oslonac na kojem stoji ili zateže konac o koji je obešeno.

Prilikom izlaganja ove nastavne jedinice učenike svakako treba podsetiti na istaknutu razliku između mase tela i težine tela (o kojoj je bilo reči u nastavnoj jedinici: "Masa tela. Zakon inercije (I Njutnov zakon)"). Pored ove razlike bitno je istaći i razliku između težine tela i sile teže. U vezi sa tim treba reći da, iako ove dve sile imaju isti intenzitet (jačinu), pravac i smer one se ipak razlikuju i to po tzv. napadnoj tački. Tako dok težina tela deluje na tačku vešanja ili oslonca, napadna tačka sile teže nalazi se u samom telu i to u tački koja se naziva težište (S).



Ovde je sa \vec{Q} označena težina tela, a sa \vec{F}_g sila teže i vidi se da je u slučaju ravnomernog pravolinijskog kretanja $F_g = Q$. Međutim, za promenljivo kretanje ovo više neće važiti.

Odavde se zaključuje da ako se prekine konac o kome telo visi, telo će pasti na Zemlju, jer će na njega i dalje delovati sila teže. Takođe, zaključuje se i to da kada podloga na kojoj se telo nalazi slobodno pada, telo ne pritiska tu podlogu.

Često se, međutim, zapostavlja činjenica da težina tela, zbog rotacije Zemlje oko sopstvene ose i zbog njene spljoštenosti na polovima, zavisi od geografske širine mesta i da se po pravcu i smeru ne poklapa potpuno sa silom Zemljine teže. Takođe, obično se ne naglašava da su ove dve sile (težina tela i sila teže) različite po prirodi. Naime, kako je težina tela sila kojom telo deluje na podlogu ili tačku vešanja, a sila teže je sila kojom Zemlja deluje na telo, to se težina tela svrstava u elastične sile, odnosno ima elektromagnetnu prirodu, a sila teže je primer gravitacione sile.

Težina tela se, kao sila, može meriti dinamometrom i njena merna jedinica u SI sistemu je njutn (N).

Njena zavisnost od mase tela može se predstaviti relacijom:

$$\vec{Q} = m \cdot \vec{G}$$

Iz ove zavisnosti jasno se vidi da će težina tela biti utoliko veća ukoliko to telo ima veću masu.

Prema tome, kako su mase tela u Vasioni različite, to će i njihove jačine gravitacionih polja biti različite. Tako pošto je na površini Meseca jačina gravitacionog polja 6 puta slabija nego na površini Zemlje, i težina tela na Mesecu biće 6 puta manja nego na Zemlji. Iz ovoga dalje sledi da će ubrzanje tela koje slobodno pada na Mesecu biti manje što znači da će tela na Mesecu padati sporije nego na Zemlji.

Sledeći pojam koji je predviđen za uvođenje prilikom izlaganja ove nastavne jedinice jeste – bestežinsko stanje.

Bestežinsko stanje je takvo stanje koje nastaje onda kada centrifugalna sila postane jednaka sili Zemljine teže (na primer pri kruženju satelita u orbiti).

Međutim, ovakva definicija bestežinskog stanja za učenike osnovne škole bila bi isuviše nerazumljiva. Zbog toga se ono može objasniti navođenjem jednostavnog primera. Naime, ukoliko kosmonauti koji se nalaze na Mesecu stave neki predmet u određeni položaj, taj predmet će u tom položaju i ostati, što je potvrda toga da je on izgubio svoju težinu.

Prilikom objašnjavanja bestežinskog stanja svakako treba naglasiti da ovo stanje nije prouzrokovano nepostojanjem sile Zemljine teže, nego je samo težina tela isključena.

Nastavna jedinica: Slobodan pad. Galilejev ogled.

Slobodan pad se smatra jednim od najvažnijih, ako ne i najvažnijim problemom u istoriji mehanike. Od davnina su aktuelna pitanja vezana za ovu pojavu: Zašto neko telo pada? Da li je u pitanju unutrašnja teža ili privlačenje spolja? Zašto se telo koje pada ubrzava? Da li je promena brzine izazvana unutrašnjim ili spoljašnjim faktorom? Da li promenu brzine prati promena težine?

Na nivou osnovne škole slobodan pad se uvodi kao ravnomerno ubrzano pravolinijsko kretanje bez početne brzine, a zavisnost između veličina koje karakterišu ovakvo kretanje dato je, učenicima već poznatim, formulama za ravnomerno ubrzano kretanje. Tako su brzina tela i visina iznad Zemlje u svakom trenutku date sledećim izrazima:

$$v = g \cdot t \quad ; \quad h = \frac{1}{2} g \cdot t^2$$

gde je put obeležen sa h, a umesto oznake za ubrzanje a korišćena je oznaka za gravitaciono ubrzanje g.

S obzirom na to da sila Zemljine teže na malim rastojanjima iznad Zemlje može smatrati konstantnom, to se i ubrzanje pri slobodnom padu smatra konstantnim. Ono iznosi $9,81 \text{ m/s}^2$, a može se odrediti ako se izmere pređeni putevi u pojedinim sekundama u toku slobodnog pada. Međutim, takva merenja se teško mogu izvršiti.

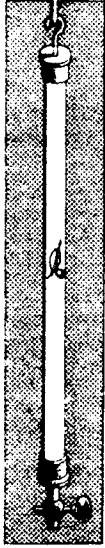
Jednostavniji eksperiment koji pokazuje da je ubrzanje tela pri slobodnom padu konstantno izvršio je italijanski fizičar Galileo Galilej (XVII vek). On je sa krivog tornja, u italijanskom gradu Pizi, puštao kuglice različitih masa da slobodno padaju. Pošto je zanemario otpor vazduha, merenjem pređenog puta i proteklog vremena, odredio je brzinu kretanja pojedinih kuglica i ustanovio da se ona ravnomerno povećava. Dalje je, na osnovu toga što su vremena za sve kuglice bila jednaka, zaključio da kuglice dobijaju jednaka ubrzanja usled privlačne sile Zemlje i bez obzira na njihovu masu.

Slobodan pad se može definisati i kao kretanje u bezvazдушnom prostoru usled delovanja sile Zemljine teže.

Kao što je rečeno, pitanjem slobodnog pada bavili su se mnogi fizičari, a među njima i Njutn. Njutn je, polazeći od toga da je sila otpora na dato telo (koju vazduh uvek pruža pri padanju tela) utoliko veća ukoliko je

veća brzina padanja tog tela, izvršio ogled kojim je ustanovio isto što i Galilej, odnosno to da se ubrzanje tela pri slobodnom padu ne menja.

Njutnov ogled se sastoji u sledećem: ako se razna tela stave u staklenu cev iz koje je izvučen vazduh, onda se zapaža da tela u toj cevi padaju jednakim ubrzanjem. Ovakva cev danas se po njemu i naziva – Njutnova cev, a njen izgled prikazan je na sledećoj slici:



Iz ovoga do sada izloženog vidi se da se na nivou osnovne škole zakon slobodnog padanja tela predstavlja kao zakon kojim je uspostavljena veza između visine sa koje telo pada, ubrzanja Zemljine teže i vremena padanja ($h = \frac{1}{2} g \cdot t^2$). Prema tome, u ovom zakonu, od svih mogućih uticaja i delovanja na telo, uzeta je u obzir samo sila Zemljine teže, tj. zanemareni su otpor vazduha i uticaj gravitacionih sila drugih nebeskih tela. Sem toga, telo je ovde identifikovano sa matematičkom tačkom, a Zemlja se posmatra kao idealno sferno telo homogenog sastava, iako to u prirodi nije tako.

Nastavna jedinica: Hitac naviše i naniže. Horizontalni i kos hitac

Hitac naviše:

Ono što je prilikom objašnjavanja ove vrste kretanja tela važno istaći je to da će se telo, ako ga bacimo vertikalno naviše izvesnom početnom brzinom u tom pravcu kretati ravnomerno usporeno, zbog toga što će u toku kretanja na njega delovati sila Zemljine teže koja je usmerena naniže, odnosno suprotno od vektora brzine.

Zbog toga će brzina i položaj tela, u svakom trenutku pri ovakvom kretanju biti date formulama za ravnomerno usporeno kretanje:

$$v = v_0 - gt \quad ; \quad h = v_0 t - \frac{gt^2}{2}$$

Pri vertikalnom hicu telo može dospeti do neke maksimalne visine koja se naziva maksimalna visina dometa i data je formulom:

$$h_{\max} = \frac{v_0^2}{2g}$$

Iz ove formule se vidi da je maksimalna visina dometa srazmerna intenzitetu početne brzine. To znači da će telo dospeti na utoliko veću visinu ukoliko mu, pri bacanju, saopštimo veću početnu brzinu u vertikalnom pravcu i smeru naviše.

Pošto, kao što je rečeno, brzina tela pri ovakvom kretanju opada u toku vremena, telo će se kretati sve dok njegova brzina ne bude jednaka nuli, tj:

$$0 = v_0 - gt_1$$

gde je t_1 vreme kretanja tela do najviše tačke i ono iznosi: $t_1 = v_0/g$

Pošto je ovo vreme srazmerno početnoj brzini, telo će se duže kretati naviše ukoliko je intenzitet početne brzine veći. U najvišoj tački putanje telo će se trenutno zaustaviti, a nakon toga počće slobodno da pada po istom, vertikalnom, pravcu, ali u suprotnom smeru, tj. naniže.

Upoređivanjem vertikalnog hica naviše i slobodnog padanja može se zaključiti da kako smanjenje brzine pri vertikalnom hicu naviše, tako i povećanje brzine pri slobodnom padanju tela izaziva ista sila, a to je sila Zemljine teže. Intenzitet tog usporenja, odnosno ubrzanja tela je isti i iznosi $9,81 \text{ m/s}^2$. Početna brzina kod vertikalnog hica naviše je jednaka krajnjoj brzini kod slobodnog pada, a vreme kretanja tela do najviše tačke

je jednako vremenu padanja tela od najviše tačke do mesta izbacivanja naviše.

Hitac naniže:

Ovde je u pitanju kretanje tela kome je u nekoj tački iznad površine Zemlje saopštena početna brzina u vertikalnom pravcu i smeru ka Zemlji. Zbog toga će se brzina tela usled delovanja sile Zemljine teže povećavati, pa je vertikalni hitac naniže, u stvari, ravnomerno ubrzano kretanje. Prema tome, brzina i položaj tela u svakom trenutku pri ovakvom kretanju dati su formulama za ravnomerno ubrzano kretanje:

$$v = v_0 + gt \quad ; \quad h = v_0 t + \frac{gt^2}{2}$$

Horizontalni hitac:

Ovde je u pitanju primer složenog kretanja tela, tj. telo se u ovom slučaju kreće u horizontalnom pravcu stalnom brzinom, a istovremeno i slobodno pada usled dejstva Zemljine teže. Kretanje tela u horizontalnom pravcu je onda ravnomerno, dok je u vertikalnom pravcu jednako ubrzano sa ubrzanjem g .

Pomoću horizontalnog hica može se objasniti rotacija veštačkih i prirodnih satelita. Naime, kako će telo bačeno horizontalno na Zemlju pasti utoliko dalje ukoliko mu je saopštena veća početna brzina, to se povećavanjem početne brzine može postići takvo kretanje tela da ono više i ne padne na površinu Zemlje, nego da počne da rotira oko nje. Takvo telo će onda biti Zemljin veštački satelit.

Kos hitac:

Ovo je takođe primer složenog kretanja, jer se telo istovremeno kreće u horizontalnom (napred) i vertikalnom pravcu. U horizontalnom pravcu telo se kreće stalnom brzinom, a u vertikalnom jednako promenljivo. Tako se do najviše tačke telo kreće jednakom brzinom napred i ravnomerno usporeno, a onda nastavlja ravnomerno kretanje napred i istovremeno slobodno pada.

3.3 ANALIZA NJUTNOVIH ISTRAŽIVANJA NA NIVOU OSNOVNE ŠKOLE – Primeri iz nastave fizike u VIII razredu osnovne škole

Nastavnim planom i programom za VIII razred osnovne škole predviđena je obrada sledećih nastavnih jedinica vezanih za fizičara Njutna:

- Prelamanje svetlosti kroz prizmu i sočiva

Nastavna jedinica: Prelamanje svetlosti kroz prizmu i sočiva

U okviru ove nastavne jedinice, pored optičkih sočiva, učenicima se predstavlja i optička prizma kao jedan od navažnijih optičkih instrumenata.

Na nivou osnovne škole, optička prizma se posmatra kao providna sredina koja ima bar dve uglačane neparalelne strane (granične površine) na kojima dolazi do prelamanja svetlosti. Uvodi se prelomni ugao kao ugao pod kojim se seku granične površine i ugao skretanja kao ugao koji zaklapaju pravci ulaznog i izlaznog zraka, odnosno koji pokazuje koliko zrak promeni svoj prvobitni pravac usled prelamanja.

Važnost prizme kao optičkog elementa najbolje se može istaći ukoliko se kaže da neke poznate pojave, kao što su duga i njene boje, nisu mogle biti objašnjene sve dok se nije počela upotrebljavati prizma.

Nastavnim planom i programom nije predviđeno da se učenicima osnovne škole objasni pojava disperzije do koje dolazi pri prelamanju svetlosti. Međutim, smatram da ne bi bilo suviše da se učenici površno upoznaju sa Njutnovim ogledom koji je izvršio pomoću prizme i tako pokazao pojavu disperzije. Detaljnije objašnjenje ovog ogleda nastavnici bi mogli izneti prilikom izvođenja dodatne nastave.

Pomenuti ogled se sastoji u sledećem: snop bele svetlosti se usmeri na jednu od bočnih strana trostrane staklene prizme, prelama se kroz nju i na zaklonu se dobija spektar duginih boja. Odatle se vidi da se složena svetlost (kao što je bela svetlost) razlaže na sastavne komponente. Takođe se vidi da će crveni zraci biti prelomljeni pod najmanjim, a ljubičasti pod najvećim uglom skretanja.

ZAKLJUČAK

U ovom radu nastojala sam da doprinesem boljem i efikasnijem izvođenju nastave fizike. Takođe, imajući u vidu da su istorijski elementi nedovoljno zastupljeni u nastavi, pokušala sam da istaknem njihovu važnost. To sam realizovala na primerima izvođenja određenih nastavnih jedinica u okviru kojih se ističu rezultati rada jednog od najvećih naučnika, a pre svega fizičara, Isaka Njutna.

U prvom poglavlju opisan je život ovog velikog naučnika i ukazano je na one najizraženije karakteristike njegove ličnosti.

U drugom poglavlju dat je pregled Njutnovog velikog dela i ukazano na njegov veliki doprinos fizici, kao i na njegovo interesovanje za neke druge oblasti.

U trećem poglavlju data je analiza nastavnih jedinica koje se izvode u nastavi fizike u osnovnoj školi, a koje su vezane za ime Isaka Njutna.

LITERATURA

1. Milorad Mladenović – Razvoj fizike (mehanika i gravitacija), IRO Građevinska knjiga, Beograd, 1986.
2. Milorad Mladenović – Razvoj fizike (optika), IRO Građevinska knjiga, Beograd, 1986.
3. Milorad Mladenović, Mirko Jakšić – Istorija klasične fizike (za učenike srednjih škola), Zavod za udžbenike i nastavna sredstva, Beograd, 1993.
4. Branko Đurić – Veliki fizičari, Novinski izdavačko preduzeće – Tehnička knjiga, Beograd, 1964.
5. Mladen Pajić – Predavanja iz mehanike (I deo), Sveučilište, Zagreb, 1960.
6. Sergej Ivanovič Vavilov – Isak Njutn, Prosveta, Beograd, 1948.
7. Vojislav Gledić – Život i djelo Isaka Njutna, Kulturno – prosvetna zajednica, Podgorica, 1998.
8. Dragomir Krpić – Fizička mehanika, Beograd, 1996.
9. Milan O. Raspopović – Metodika nastave fizike, Zavod za udžbenike i nastavna sredstva, Beograd, 1992.
10. Milan Raspopović, Dragiša Ivanović, Jezdimir Tomić, Dragomir Krpić, Bojana Nikić – fizika za 6. razred osnovne škole, Zavod za udžbenike i nastavna sredstva, Beograd, 1996.
11. Milan Raspopović, Dragiša Ivanović, Jezdimir Tomić, Dragomir Krpić, Bojana Nikić – fizika za 7. razred osnovne škole, Zavod za udžbenike i nastavna sredstva, Beograd, 1998.
12. Darko V. Kapor, Jovan P. Šetrajčić – fizika za 6. razred osnovne škole, Zavod za udžbenike i nastavna sredstva, Beograd, 2002.

KRATKA BIOGRAFIJA



Danijela Jovanović

Broj indeksa: 516/95

Odsek : fizika

Smer : profesor

Rodena sam 11.07.1976. u Beogradu, opština Zvezdara. Osnovnu školu završila sam u Beški (opština Indija, Vojvodina) 1991. sa odličnim uspehom. Iste godine upisala sam Gimnaziju (prirodno – matematički smer) u Indiji, a ovu školu završila sam 1995. sa odličnim uspehom, uspešno odbranivši temu za maturski rad, iz oblasti fizike, pod naslovom "Detektori nuklearnih čestica i zračenja".

Novi Sad

Ime i prezime

DANIJELA JOVANOVIĆ
Danijela Jovanović

UNIVERZITET U NOVOM SADU
PRIRODNO – MATEMATIČKI FAKULTET
KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

Redni broj :

RBR

Identifikacioni broj :

IBR

Tip dokumentacije : Monografska dokumentacija

TD

Tip zapisa : Tekstualni štampani materijal

TZ

Vrsta rada : Diplomski rad

VR

Autor : Danijela Jovanović, br. dos. 516/95

AU

Mentor : Doc. Dr. Dušan Lazar, redovni profesor PMF-a, Novi Sad

MN

Naslov rada : Tretman istraživanja Isaka Njutna u nastavi fizike u osnovnoj školi.

NR

Jezik publikacije : Srpski (latinica)

JP

Jezik izvoda : s/e

JI

Zemlja publikacije : Srbija i Crna Gora

ZP

Uže geografsko područje : Vojvodina

UGP

Godina : 2003

GO

Izdavač : Autorski reprint

IZ

Mesto i adresa : PMF, Trg Dositeja Obradovića 4, Novi Sad

MA

Fizički opis rada : (broj poglavlja / broj strana / broj lit. citata / broj tabela / broj slika / broj grafika / broj priloga) : (3 / 69 / 24 / 0 / 8 / 0 / 0)

FO

Naučna oblast : Fizika

NO

Naučna disciplina : Metodika nastave fizike

ND

Ključne reči : Fizika, Njutn, sila, masa, ubrzanje, inercija, gravitacija, Zemljina teža, težina tela, bestežinsko stanje, slobodan pad, vertikalni hitac, horizontalni hitac, kos hitac.

PO

UDK

Čuva se : Biblioteka instituta za fiziku, PMF, Novi Sad

ČU

Važna napomena : nema

VN

Izvod : Cilj ovog mog rada bio je da se ilustruje izvođenje nastavnih jedinica vezanih za Isaka Njutna na nastavnim časovima.

Struktura rada je sledeća: prvo poglavlje sadrži opis Njutnovog života kao i opis njegove ličnosti. U drugom poglavlju su izložena njegova interesovanja i naglašen je njegov veliki doprinos fizici. Treće poglavlje se bavi analizom nastavnih jedinica koje su vezane za Njutna, a koje se obrađuju na nivou osnovne škole.

IZ

Datum prihvatanja teme od strane NN veća : 04.02.2003.

DP

Datum odbrane : 23.04.2003.

DO

Članovi komisije :

Predsednik : dr Darko Kapor ; redovni profesor PMF-a

Član : Doc. dr Dušan Lazar ; redovni profesor PMF-a

Član : dr Agneš Kapor ; redovni profesor PMF-a

UNIVERSITY OF NOVI SAD
FACULTY OF NATURAL SCIENCES AND MATHEMATICS
KEY WORDS DOCUMENTATION

Accession number :

ANO

Identification number :

INO

Document type : Monograph type

DT

Type of record : Printed text

TR

Contents Code : Final paper

CC

Author : Danijela Jovanović, 516/95

AU

Mentor : Doc. dr. Dušan Lazar, Full professor FNSM, Novi Sad

MN

Title : Explication research of Isaac Newton in instuction of phisich in elementary school.

TI

Language of text : Serbian

LT

Language of abstract : Serbian

LA

Country of publication : Serbia and Montenegro

CP

Locality of publication : Vojvodina

LP

Publication year : 2003

PY

Publisher : Author's reprint

PU

Publ. place : Faculty of Natural Sciences and Mathematics.

PP

Phisical description (chapters / pages / literature / tables / pictures / graphics / additional lists) : (3 / 69 / 24 / 0 / 8 / 0 / 0)

Scientific field : Physics

SF

Scientific discipline : Scholastic system of physics

SD

Key words : physics, Newton, force, mass, acceleration, inertia, gravitation, the force of gravity, mass weight, weightlessness, free fall, vertical throw, horizontal throw, oblique throw.

UC :

Holding data : Institute of Physics library

HO

Note : none

N

Abstract : The aim of this work was to describe the personality of Isaac Newton, to emphasize his magnificent works and to illustrate the teaching of the units concerning Newton's contribution to physics.

The structure of the work is as follows: chapter one contains the description of Newton's personality. Chapter two shows his interests and stresses out his great contribution to physics and science in general. Chapter three is dealing with the analysis of the teaching units concerning the works of this great scientist and which is elaborated at the primary school level.

AB

Accepted by the Scientific Board on : 04.02.2003.

Defended : 23.04.2003.

Thesis defend board :

President: dr Darko Kapor ; Full Professor

Member: Doc. dr Dušan Lazar ; Full Professor

Member: dr Agneš Kapor ; Full Professor

