

*ovde ide logo škole * ako postoji **

MATURSKI RAD

PREDMET:

Fizika

TEMA:

Newtonovi zakoni

učenik:

Ime i Prezime

Odeljenje :

predmetni nastavnik:

prof. Ime i Prezime

SADRŽAJ

UVOD	2
1. MEHANIKA PRIJE NEWTONA	3
1.1. Srednjovjekovno društvo i izumi	3
1.2. Heliocentrizam i Crkva	3
1.3. Galileo i <i>Dijalog</i>	4
1.4. Znanost napreduje	4
2. SIR ISAAC NEWTON	7
3. I. NEWTONOV ZAKON	8
3.1. Zakon ustrajnosti i sustav u kojem djeluje	8
3.2. Eksperiment	8
4. II. NEWTONOV ZAKON	9
4.1. Definicija	9
4.2. Matematička osnova	9
4.3. Eksperiment	10
5. III. NEWTONOV ZAKON	11
5.1. Definicija	11
5.2. Matematička osnova	11
5.3. Eksperiment	12
6. OPĆI ZAKON GRAVITACIJE	13
6.1. Keplerovi zakoni	13
6.2. Newtonov izvod općeg zakona gravitacije	13
6.3. Mjerenje vrijednosti opće gravitacijske konstante	14
ZAKLJUČAK	15
ZAHVALA	15
KORIŠTENA LITERATURA	16

UVOD



Sl.1. Jabuka – biljka koja je, navodno, pomogla Newtonu u otkrivanju zakona gravitacije

Jedan moj prijatelj rekao je neki dan u šali *U trenutku kad sam se rodio i kad sam ispao iz majčine utrobe u naručje doktora, zapitao sam se kakva je to sila koja me natjerala da izađem iz topline svoje majke. Od tog trenutka prošlo je već puno godina, i stalno me mučilo to pitanje od rođenja – zašto se stvari gibaju tako kako se gibaju i zašto sve pada na pod. Da nije bilo velikog fizičara Isaaca Newtona, ja bih i dan danas živio u neznanju. Zato sam mu neizmjereno zahvalan što mi je otvorio oči i pokazao pute kojima kroči velika sila nazvana gravitacijom. I što još dodati? Hoće li svijet ikada zaboraviti tog velikog engleskog fizičara? Čisto sumnjam. Eto, mene su njegova opažanja navela da malo pobliže proučim njegov život i djelo te, konačno, napišem ovaj maturalni rad. Newton je otkrio nešto što mi danas prihvaćamo zdravo za gotovo, ali u XVII. stoljeću bio je to bauk, bilo je to otkriće koje ni najveći znanstvenici nisu željeli priznati, jer ga nisu mogli shvatiti.*

Pred vama se trenutno nalazi sažetak povijesti razvoja mehanike s kraja XVII. stoljeća, onako kako ga ja vidim. Ovim radom nisam želio omalovažavati rad drugih znanstvenika nego odati priznanje jednom određenom. A i o ostalima će već netko pisati...

1. MEHANIKA PRIJE NEWTONA

1.1. Srednjovjekovno društvo i mehanički izumi

Znanje mehanike danas nam je uvelike potrebno želimo li izgraditi bilo što, a da to ostane stajati, želimo li napraviti bilo što, a da to zapravo i radi. Međutim, u povijesti nije bilo tako. Antički vladari išli su na sigurno – napraviti piramidu koja se neće samo tako srušiti, jer stoji na najvećoj stranici, a u krajnjoj liniji, jer je sagrađena od teškog kamena. Mogli bismo misliti da su takva zdanja zapravo plod velikog tehničkog napretka, ali istina je da su ona nastala samo bezobzirnim iskorištavanjem velikog broja robova. Kako se vrijeme mijenja, tako i države padaju, a ljudi postaju pametniji, ili barem iskusniji, te se kroz tisućljeća mijenja i ustroj društva iz kojeg robovi nestaju kao stalež.

Shvaćanje društva i gospodarstva srednjeg vijeka ključno je za razumijevanje načina na koji se napredak u mehanici dogodio. U tom društvu bez robova, ljudski rad bio je izuzetno cijenjen pa su vlasnici radionica težili izradi, odnosno kupnji strojeva koji bi zamijenili rad ljudi. Na takve se strojeve ipak moralo ugrađivati oruđe koje su prije toga upotrebljavali ljudi, kao na primjer igle na šivaći stroj, noževi na stroj za sjeckanje. Alati su i dalje ostali isti, ali to više nisu bila oruđa ljudi, nego strojeva.

Uz strojeve namijenjene radu u radionicama, majstori konstrukcija, ondašnji inženjeri, izrađuju automate za razonodu svojih gospodara. Tu su se našli drveni golub, koji je par puta mogao zamahnuti krilima i napraviti kratak let, željezni lav, koji se pred kraljevim uzvancima prošetao dvoranom i legao kralju pred noge, i slični izumi. Sve te mehaničke naprave inženjeri su radili bez ikakvog znanja o mehanici, ali vođeni iskustvom. Međutim, upravo su njihovi strojevi bili elementi kroz koje će izbijati osnovni zakoni fizike. Naime, dinamiku strojeva su ljudi mogli uočiti, jer su strojevi bili njihov proizvod, a pokreti strojeva mnogo jednostavniji od gibanja u prirodi. Osnove su bile postavljene.

1.2. Heliocentrizam i Crkva

S druge strane, u srednjem vijeku još uvijek vodeću ulogu u društveno-kulturnom životu vodi Crkva. Njezin nauk govorio je kako je Zemlja u središtu svemira, a sva se ostala nebeska tijela kreću oko nje po 'nebeskom svodu'. Takvo učenje prihvaćali su i neki znanstvenici i filozofi, dok su drugi otkrili očite nepravilnosti i nelogičnosti u toj teoriji te su joj se suprotstavljali, neki glasnije, neki malo povučenije. Naime, Crkva je imala jako uvjerljive represivne mjere – svatko tko je govorio ili pisao protiv Crkve bio je bačen u tamnicu ili spaljen na lomači. U nekim su slučajevima čak išli toliko daleko da su jednom od najvećih kritičara Crkve, čovjeku koji je govorio da učenje o višem biću koje sve vidi i svima određuje kazne i nagrade služi samo za to da se neuki puk drži u pokornosti, Luciliu Vaniniju, prvo iščupali jezik, a tek ga onda spalili!

Ipak, znanstvenici su radili i Crkva, koliko se god trudila, nije mogla zaustaviti napredak.

Nikola Kopernik bio je prvi koji se usudio progovoriti protiv religijski utemeljenog geocentričnog sustava. On je 1543. izdao knjigu *O gibanju nebeskih tijela* u kojoj je Sunce stavio kao središte oko kojeg se vrte planeti, a među njima i Zemlja. Samo ga je smrt (iste godine) spasila od progona Crkve.

Kopernikov nauk nastavio je **Giordano Bruno**, koji je otišao još dalje – on je shvatio da zvijezde koje vidimo nisu neke nepomične točkice na 'nebeskom svodu', već da su to nebeska tijela koja postoje negdje u svemiru, ali ih mi vidimo tako male zato što su jako daleko. Isto tako, ustvrdio je da je naše Sunce samo jedna od mnoštva takvih zvijezda, te da i oko ostalih

postoje planeti, dakle i život. Naravno da se takav koncept svemira Crkvi nije svidio, pa je Bruno 1600. završio na lomači. Međutim, na lomaču nisu mogli staviti sve ono što je Bruno otkrio pa je svijet ostao bogatiji za saznanja još jednog velikog znanstvenika.

1.3. Galileo i Dijalog

Uz Kopernika i njegov sustav stao je i talijanski znanstvenik **Galileo Galilei** (1564.-1642.). Ili barem u početku. Njemu je papa Grgur XIV. zabranio proučavanje Kopernikovog sustava opomenuvši ga da će ga, u slučaju neposlušnosti, baciti u tamnicu. Galileo se nije usudio proturječiti i zašutio je o svojoj teoriji. Međutim, kada Grgur XIV umre, on, s razlogom, pomišlja kako će novi papa, Urban VIII, imati više razumijevanja pa nastavi s kritikama Ptolomejevog geocentričnog sustava i objavi knjigu ***Dijalog o dva najveća sustava svijeta*** (*Dialogo sopra i due massimi sistemi del mondo*). Opet je pozvan pred sud, gdje se klečeći pred kardinalima morao odreći svog učenja. Ipak, izlazeći iz sudnice, izrekao je svoje poznate riječi *Ipak se kreće* (*Epur si muove*) čime je svijetu pokazao kako on, bez obzira na Crkvu ostaje pri svom uvjerenju. Time je još jednom potvrđeno kako znanost napreduje.

U svom *Dijalogu*, Galileo je otvorio raspravu o tome ima li na svijetu sila koje djeluju na daljinu. Naime, splitski nadbiskup Dominis tvrdi kako je plima posljedica sila kojima Mjesec djeluje na Zemlju, dok je Galileo želio sva gibanja objasniti dodirima, udarcima i gomilanjem čestica.

Prvi je ujedinio mnogobrojna opažanja u strogu matematičku formulaciju gibanja konstantne akceleracije kakvo je slobodan pad. Definirao je akceleraciju kao promjenu brzine na jedinicu vremena ili točnije, kao graničnu vrijednost kvocijenta malog prirasta brzine i malog vremena:

$$a = \frac{dv}{dt}$$

Svoje je tvrdnje Galileo potvrđivao eksperimentom. Tako ga je zainteresirala upotreba pušaka i topova. On primjećuje da bi se tane stalno pravocrtno kretalo kad ga težina ne bi vukla prema dolje. To shvaćanje potkrijepio je i gibanjem uz kosinu. Što je manji nagib kosine, to se kuglica s manjim usporavanjem diže po kosini, a kada nagiba uopće nema, kuglica se kreće konstantnom brzinom. U toj Galileiovoj primjedbi sadržan je **zakon ustrajnosti**, jedan od osnovnih zakona dinamike, koje ćemo do danas pamtit kao Newtonove zakone.



Sl.2. Galileo Galilei

1.4. Znanost napreduje

Kao što je već ovdje spominjano, još su se stari Grci borili s mehanikom i pojmom sila. Međutim, oni smatraju da gibanje traje tako dugo dok na njega djeluje neki pokretač. Prestanu li sile djelovati, tijelo završava u mirovanju. **Aristotel** (384.-322. pr.Kr.) je na tom učenju izgradio teologiju – u svemiru se sve kreće pa tako mora postojati bog koji stalno pokreće planete i ostala tijela.

Aristotel, također, dolazi do pogrešnih spoznaja i o padanju tijela – on spekulativno dokazuje da teži predmeti padaju brže od lakših, a padanje objašnjava prirodnom težnjom svih tijela prema središtu Zemlje.

Međutim, i drugi su se znanstvenici bavili sličnim promatranjima.

Leonardo da Vinci (1452.-1519.) promatrao je kotrljanje i klizanje tijela niz kosinu i došao vrlo blizu spoznaji da pokrenuta tijela ustraju u gibanju. Benedetti polemizira protiv Aristotelove tvrdnje o padanju tijela, dok Campanella već sasvim odlučno tvrdi da u praznom prostoru sva tijela padaju jednako brzo. **René Descartes** (1596.-1650.) je smatrao kako je gibanje vječno, promatrajući biljarske kugle koje se međusobno odbijaju i nastavljaju gibanje. Galilei je, kao što je već rečeno, promatrao akceleraciju.

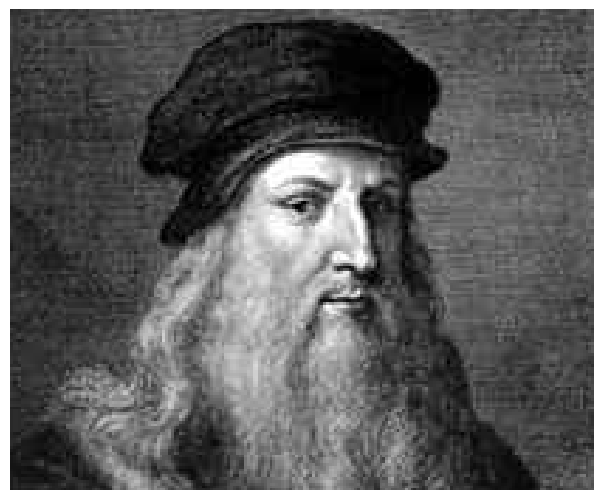
Međutim, svi su oni promatrali samo pravocrtna gibanja. Danas znamo kako za razumijevanje potpunog pojma akceleriranog gibanja treba promatrati vrtnju. **Christiaan Huygens** (1629.-1695.) učinio je velik napredak ispitivanjem kružnog gibanja. Po inerciji je zaključio da se tijela izvan djelovanja sila kreću konstantnom brzinom pa je bilo očito da su kružna gibanja bila uzrokovana silama koje su usmjerene prema središtu vrtnje.

Pojavile su se nove spoznaje – o akceleriranoj vrtnji i silama – pa su fizičari počeli ubrzano istraživati i iznositi nove teorije. Za nova, velika istraživanja vrtnji najpogodniji je bio Sunčev sustav. U tom trenutku, kada se znalo za silu, znalo za akceleraciju i kada je bilo prostora za istraživanje, ostalo je samo jedno pitanje neriješeno – kakav je odnos između sile koja djeluje na tijelo i ubrzanje tog tijela. I tko će ga prvi otkriti...



Sl.3. Christiaan Huygens, danski astronom, matematičar i fizičar, razvio teoriju valne optike, prvi opisao Saturnove prstene, razvio teoriju centrifugalne sile pri vrtnji te otkrio polarizaciju svjetlosti

Sl.4. Leonardo da Vinci, umjetnik iz Firence, jedna od najznačajnijih osoba kasne renesanse, slikar, kipar, arhitekt, inženjer i znanstvenik, njegova izrazita ljubav prema znanju bila je ključ njegovog uspjeha na polju umjetnosti, ali i znanosti, napisao znanstvene studije s područja anatomije, optike i hidraulike, među najznačajnija slikarska djela ubrajaju mu se *Mona Lisa* i *Posljednja večera*





SI.5. Sir Isaac Newton

2. SIR ISAAC NEWTON

Isaac Newton rođen je 25. prosinca 1642. u selu Woolsthorpu u engleskoj pokrajini Lincolnshire. Otac mu je umro prije nego se on rodio, a u njegovoj trećoj godini majka se preudala pa je o njegovom odgoju nastavila brinuti baka s majčine strane. Počeo se školovati u okolnim gradićima, a s deset godina upisao se u gimnaziju u obližnjem Granthamu. Za vrijeme školovanja živio je u kući farmaceuta Clarka, od kojega je naučio osnove kemije i zbog koga je, vjerojatno, cijeli svoj život bio zainteresiran za kemijske procese. U mladosti je bio tih i povučen, nepažljiv u školi, ali spretan u ručnom radu. Izrađivao je modele vjetrenjača, vodene satove, zmajeve s lampama na repu i slične izume.

1656., nakon smrti svog drugog muža, Newtonova majka vraća se u Woolsthorp i odvlači sina iz škole u nadi da će od njega napraviti farmera. On, pak, nije pokazivao interesa prema farmi, čak, naprotiv, legenda kaže da su ga jednom našli u grmlju, duboko u knjigama, u doba kada je trebao biti na tržnici u Granthamu. Na sreću, Newtonov bivši nastavnik prepoznao je dječakov talent i na kraju uspio nagovoriti njegovu majku da mu dopusti pripremiti ga za *Cambridge*. 1661. upisao se na sveučilište, gdje je studirao aritmetiku, geometriju, trigonometriju, astronomiju i optiku. Puno je inspiracije, vjerojatno, dobio i od matematičara i teologa Isaaca Barowa, koji mu je predavao matematiku na sveučilištu. Diplomom sveučilišta Newton je svečano primio u siječnju 1665.

Već iste godine Newton otkriva binomni poučak, a nešto kasnije (1669.) dolazi do osnove diferencijalnog računa, koji naziva računom fluksija. 1666. dolazi do zaključka da ista sila koja uzrokuje padanje tijela na zemlju, drži Mjesec u orbiti oko Zemlje. Iz istog razdoblja potječu i njegova istraživanja na području optike, ali sve radove objavljuje dvadesetak godina kasnije.

Pošto je otkrio da se prolaskom svjetlosti kroz leću ona lomi i daje spektar, smatra da teleskopi s lećama nemaju budućnosti. Prvi nacrt teleskopa pomoću zrcala izradio je već 1663. James Gregory, ali prvi koji je sagradio jedan takav teleskop bio je upravo Newton. Bilo je to 1668., a teleskop je imao 3.3-centimetarsko zrcalo i povećavao je 40 puta.

1669. postaje profesor na *Cambridgeu*, a 1671. član (od 1703. i predsjednik) društva *Royal Society* u Londonu. 1678. izdaje *New Theory about Light and Colour* (*Nova teorija o svjetlosti i boji*), a 1686. počinje s radom na svom epohalnom djelu *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica* (*Matematička načela prirodne filozofije*). Nakon preboljene živčane bolesti, Newton se seli u London, gdje će ostati do pred kraj života, dobiva posao kao upravitelj kovnice novca te postaje jedan od osmorice stalnih članova Francuske Akademije.

1687. izdaje *Principiju*, u kojoj su sadržana sva osnovna načela mehanike s važnim primjenama. Godine 1705. engleska kraljica Anna proglasila je Newtona vitezom. Tada je on već bio jedna od najznačajnijih osoba britanske i europske znanosti. Njegov rad stoljećima poslije njega utjecao je na razvoj fizičkih znanosti. Fizičari nisu morali doradivati njegovu teoriju sve do XX. stoljeća. Tek je opća teorija relativnosti Alberta Einsteina pokazala neke slučajeve kod kojih Newtonova teorija zakazuje. Međutim, ona se, u slučajevima promatranja samo sustava vezanog za Zemlju i brzina puno manjih od brzine svjetlosti, u potpunosti uklapa u teoriju relativnosti.

Uz svoje znanstvene radove, Newton je ostavio i zapise o teologiji, kronologiji, alkemiji i kemiji. 1725. zbog zdravstvenih se razloga odselio u selo Kensington, gdje je i umro 20. ožujka 1727.

Sir Isaac Newton pokopan je u Westminsterskoj opatiji čime je postao prvi znanstvenik u povijesti kojemu je odana tolika počast.

3. I. NEWTONOV ZAKON

3.1. Zakon ustrajnosti i sustav u kojem djeluje

Prvi Newtonov zakon ili **zakon tromosti**, odnosno **zakon ustrajnosti**, bio je poznat, kao što smo mogli dosad i pročitati, već Galileu koji ga je proučavao pomoću kuglica na kosini. Taj zakon Newton je oblikovao na sljedeći način:

Svako tijelo ostaje u stanju mirovanja ili jednolikog gibanja po pravcu, sve dok ga vanjske sile ne prisile da to stanje promijeni.

Nebrojeni su primjeri gdje možemo vidjeti da ovaj zakon doista stoji (kotrljanje kuglice po stolu nakon što ju je netko gurnuo, let frizbija nakon bacanja i sl.). Međutim, do pravog dokaza mi na Zemlji nikad ne možemo doći, jer nam na svako tijelo uvijek djeluju gravitacija i sila trenja. Ipak, napraviti ćemo jedno ispitivanje gdje ćemo otprilike vidjeti o čemu se radi, ali o tome u poglavlju *Eksperiment*.

Treba naglasiti da bi se zakon ustrajnosti mogao malo proširiti: **Svako tijelo ostaje u stanju mirovanja ili jednolikog gibanja po pravcu dok je zbroj rezultatnih sila koje na njega djeluju jednak nuli. Ukoliko dođe do promjene djelovanja sila, mijenja se i stanje tijela.**

I. Newtonov zakon ne vrijedi u svakom referentnom sustavu. Tako će se kuglica koja miruje na stolu u vlaku, koji se giba jednoliko po pravcu, pomaknuti čim vlak uspori ili ubrza, iako okolina pri tom ne djeluje direktno na nju. Sustavi u kojima vrijedi I. Newtonov zakon, tj. zakon inercije, nazivaju se **inercijalni sustavi**. Tako npr. vlak koji se zaustavlja čini sustav ubrzan s obzirom na sustav Zemlje, pa ne može biti inercijalni sustav. Kada bi se moralo malo više govoriti o I. Newtonovom zakonu moglo bi se donekle pretpostaviti da će svaki sustav čvrsto vezan za Zemlju biti inercijalan, ali to, naravno, ne bi bilo u potpunosti točno – nikada se neće moći naći sustav u kojem ne bi djelovale nikakve sile. Zato se time ovdje nećemo baviti, nego ćemo samo reći da je u savršeno-inercijalnom sustavu zakon ustrajnosti osnovni zakon gibanja.

3.2. Eksperiment

Najjednostavniji dokaz ovog zakona bio bi onaj koji je pred četiri stoljeća izveo Galileo s kuglicom koja se kotrlja po horizontalnoj ploči i uz kosinu. Dvije su sile koje trebamo smanjiti ili pokušati izbjeći – gravitacija i sila trenja. Kako bismo smanjili trenje izvest ćemo pokus sa staklenom kuglicom (pikulom) na staklenoj podlozi (koeficijent trenja je najmanji među dva stakla), a radi smanjenja gravitacije uzet ćemo kuglicu male mase i pokušati se što više udaljiti od središta Zemlje (o razlozima ovoga više u poglavlju o gravitaciji).

Kuglicu ćemo lagano udariti da se ona počne gibati po horizontalnoj podlozi. Primijetit ćemo da se ona nastavlja gibati vrlo polako smanjujući brzinu (to smanjenje brzine pripisat ćemo činjenici da nikad ne možemo u potpunosti otkloniti sile koje na nju djeluju). Iz toga vidimo da kuglica ustraje u svom gibanju i da, ako ju želimo zaustaviti, opet moramo na nju djelovati nekom silom.

Ukoliko sad dovedemo kuglicu, koja se već giba po horizontalnoj podlozi, na kosinu, ona će se brže zaustavljati, ali svejedno neće odmah stati, odnosno, što kosina ima manji nagib to će zaustavljanje teći sporije. Zaključak je isti.

4. II. NEWTONOV ZAKON

4.1. Definicija

Prvi Newtonov zakon opisuje ponašanje tijela kad na njega ne djeluju druga tijela ili kad je rezultantna sila jednaka nuli. Drugi zakon opisuje ponašanje tijela kad na njega djeluje određena vanjska sila ili kad je zbroj sila različit od nule.

Newton je primijetio ovisnost količine gibanja i sile na tijelo te zaključio:

Brzina promjene količine gibanja proporcionalna je sili koja djeluje i zbiva se u smjeru pravca u kojem ta sila djeluje.

On kaže da ako neka sila stvara neku količinu gibanja, onda će dvostruka sila stvarati dvostruku količinu gibanja, bez obzira da li je ta sila djelovala u potpunosti i odmah ili postepeno i malo-pomalo.

4.2. Matematička osnova

Time, dakle, Newton pretpostavlja samo najjednostavniju vezu između sile i vremenske promjene količine gibanja – **proporcionalnost**. Matematički to izgleda ovako:

$$F = k \cdot \frac{dp}{dt}$$

ili kad uvrstimo $p = m \cdot \vec{v}$

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

gdje je F sila koja djeluje na tijelo, k konstanta proporcionalnosti, p količina gibanja, m masa, a v brzina tijela. Iz te se jednadžbe već vidi da, kako je brzina vektor, sila mora također imati vektorsku prirodu.

Gornja jednadžba zapravo nam najviše odgovara kada se bavimo Einsteinovom teorijom relativnosti. Za brzine koje su male u odnosu na brzinu svjetlosti u vakuumu ($c \approx 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$) masu možemo smatrati konstantom pa jednadžbu možemo pisati u obliku

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

Već je Galileo znao da je derivacija brzine po vremenu akceleracija, pa je i Newton mogao zaključiti

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

gdje je a akceleracija gibanja tijela.

Ovdje se susrećemo, kao što smo već rekli, s proporcionalnosti. Fizičari vole, gdje je god to moguće, izborom jedinica konstantu proporcionalnost svesti na 1. U našem slučaju, kada stavimo $k = 1$ dobivamo jednadžbu

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

Po SI sustavu jedinica, jedinica za silu je njutn. **Jedan njutn je definiran kao sila koja masi od jednog kilograma daje ubrzanje od jednog metra na sekundu.**

4.3. Eksperiment

Kada želimo ići bilo što dokazivati, prvi je korak upitati se što već sa sigurnošću znamo. U našem slučaju – ukoliko utvrdimo da se neko tijelo giba pravocrtno akcelerirano, možemo sa sigurnošću tvrditi da na njega djeluje vanjska sila (o tome nam govori I. Newtonov zakon). Ta sila je tada u nekoj zavisnosti o akceleraciji i potrebno je samo provjeriti u kakvoj. Obzirom da ne možemo očekivati da će ista sila davati istu akceleraciju svim tijelima (što je zapravo intuitivno jasno), možemo pretpostaviti da akceleracija, osim o sili, ovisi i o masi tijela.

Posebno ćemo ispitivati ovisnosti akceleracije o masi i o sili, a činit ćemo to pomoću kolica kojima, dodajući utege, možemo mijenjati masu. Kolica ćemo vući po stolu različitim silama koje ćemo mjeriti dinamometrom.

Ispitivanje ovisnosti akceleracije o sili. Masu tijela držimo konstantom, a mijenjamo silu kojom djelujemo na kolica. Dobiveni rezultati pokazuju da je akceleracija proporcionalna sili, tj.

$$a \propto F \text{ uz } m=\text{konst.}$$

Ispitivanje ovisnosti akceleracije o masi. Sada ćemo za ispitivanja koristiti istu silu i primjenjivati je na tijelo kojem ćemo mijenjati masu. Uz precizno mjerenje dobivamo da je akceleracija obrnuto proporcionalna masi tijela, ili zapisano matematički

$$a \propto \frac{1}{m} \text{ uz } F=\text{konst.}$$

Ako povežemo te dvije relacije dobivamo

$$a \propto \frac{F}{m}$$

odnosno, izborom zadovoljavajućih jedinica (a to su upravo SI jedinice – njutn za silu, kilogram za masu, metar za duljinu i sekunda za vrijeme):

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

ili

$$F = m \cdot a$$

Naravno da se tijelo akcelerira u smjeru djelovanja vanjske sile, pa tu jednadžbu možemo napisati i vektorski:

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

a to je upravo ono što danas poznajemo kao II. Newtonov zakon.

5. III. NEWTONOV ZAKON

5.1. Definicija

Ukoliko udarite nekoga šakom, vaša šaka će također primiti udarac pa će vas boljeti. Primijetio je to i Newton. Općenito, III. Newtonov zakon, ili **zakon akcije i reakcije** glasi:

Djelovanje je uvijek jednako protudjelovanju, tj. djelovanja dvaju tijela jednog na drugo uvijek su jednaka i suprotnog smjera.

Dakle, ukoliko se bilo koje tijelo sudari s nekim drugim tijelom i promijeni mu bilo kako gibanje, prvo će tijelo u svom vlastitom gibanju pretrpjeti istu promjenu, u suprotnom smjeru, silom drugog tijela. Newton naglašava da ta djelovanja nisu jednaka promjenama brzina, već promjenama količina gibanja.

Ovdje Newton zaključuje, kao što već znamo, da niti jedno tijelo, potpuno osamljeno, ne može vršiti nikakvu silu, niti biti podvrgnuto nekoj sili. Ako, dakle, gledamo dva tijela, ona međusobno djeluju jedno na drugo i kažemo da među njima postoji međudjelovanje ili naprezanje. Tada on djelovanje jednog tijela naziva akcijom, a djelovanje drugog reakcijom.

5.2. Matematička osnova

Izvedeno direktno iz definicije možemo reći

$$\vec{F}_{12} = -\vec{F}_{21}$$

gdje je F_{12} sila kojom prvo tijelo djeluje na drugo, a F_{21} sila kojom drugo tijelo reagira na djelovanje prvog.

Međutim, ako raspišemo F_1 , silu djelovanja prvog tijela kao

$$\vec{F}_1 = m_1 \cdot \vec{a}_1$$

a silu djelovanja drugog tijela F_2 kao

$$\vec{F}_2 = m_2 \cdot \vec{a}_2$$

tada možemo zaključiti

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

odnosno

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

tj. ubrzanja koja međusobno izazivaju dva tijela obrnuto su proporcionalna njihovim masama.

Zakon akcije i reakcije uključen je direktno i u opći zakon gravitacije, kojim ćemo se baviti u sljedećem poglavlju.

5.3. Eksperiment

Budući da se radi o zakonu koji svoju primjenu ima uvijek i svugdje, naći ćemo bezbroj primjera na kojima bi ga mogli pokazati. Ipak, ovdje će biti izneseni samo neki najosnovniji, oni koje autori udžbenika najčešće koriste, tj. oni koji su među lakšima za izvođenje bez velike aparature.

Za početak, učvrstimo dvije jednake niti za neku horizontalnu površinu i pustimo ih da slobodno vise. Zatim na jednu objesimo mali, ali jaki, magnet, a na drugu komadić željeza iste mase. Ako su oni međusobno previše udaljeni, neće se dogoditi ništa, međutim, kad ih približimo na dovoljno malu udaljenost da privlačne sile nadjačaju ostale sile koje trenutno djeluju na tijela (gravitacija, otpor zraka) oni će se spojiti. Sada se postavlja pitanje koje je tijelo privuklo koje. Obzirom da su se spojili točno na sredini međusobne udaljenosti prije djelovanja sile privlačenja možemo pretpostaviti da je magnet privlačio željezo istom silom kojom je i željezo privlačilo magnet. Naravno, u suprotnom smjeru.

Ukoliko nas ovaj dokaz nije previše uvjerio izvest ćemo sljedeći. Pričvrstit ćemo dvoja kolica, K_1 i K_2 , za dva čvrsta vertikalna držača preko dinamometra i položiti ih jedna prema drugima na horizontalnu površinu. Sada ćemo staviti magnet na jedna kolica, a komad željeza podjednake mase na druga. Ako kolica uzajamno dovoljno približimo, magnetska privlačna sila nadvladat će silu trenja i kolica će se međusobno privući na manju udaljenost ili će se potpuno spojiti. U konačnom položaju možemo pogledati što pokazuju dinamometri kojima su kolica pričvršćena za držače te izvesti zaključak, a on može biti samo jedan – sile su jednake!

Sada nam još samo ostaje pitanje jesu li sile bile jednake zato jer su mase jednake. Na to ćemo odgovoriti koristeći prethodni pokus, malo ga izmijenivši. Staviti ćemo na jedna kolica uteg određene mase, tako da ta kolica budu za toliko teža od drugih. Sile će opet biti jednake, pa možemo izvesti zaključak da se međusobno djelovanje dvaju tijela odnosi samo na sile, bez obzira na masu i akceleraciju tijela u bilo kojem trenutku.

Daljnji primjeri mogli bi se dati pomoću rastezanja opruga, napetosti niti ili normalne sile podloge, ali njima se ovdje nećemo baviti.

6. OPĆI ZAKON GRAVITACIJE

6.1. Keplerovi zakoni

U XVI. stoljeću poljski astronom Nikola Kopernik (1473.-1543.) postavio je teoriju heliocentričnog sustava, pretpostavivši da Zemlja nije središte svemira, kao što je to tumačio Ptolomejev geocentrični sustav, već da se s ostalim planetima okreće oko Sunca.

Johannes Kepler (1571.-1630.), njemački astronom, pronašao je tri zakona gibanja planeta oko Sunca iz kojih je Newton izveo opći zakon gravitacije. Zakoni su:

1. Svi planeti kreću se po elipsama u čijem se jednom žarištu nalazi Sunce.
2. Radijvektor (vektor koji ide od središta Sunca do središta planeta) u jednakim vremenskim intervalima opisuje jednake površine.
3. Kvadrati ophodnih vremena planeta oko Sunca odnose se kao kubovi velikih poluosi njihovih eliptičnih putanja:

$$\frac{T_1^2}{T_2^2} = \frac{a_1^3}{a_2^3}$$

6.2. Newtonov izvod općeg zakon gravitacije

Kako je primijetio da tijela s visine padaju na tlo, Newton je zaključio da mora postojati neka sila koja djeluje između dvaju tijela, i to takva da djeluje kroz prostor. Zaključio je da ta sila nije ovisna o brzinama tijela, već samo o njihovom relativnom položaju i masi. Dakle, kako je masu tijela uvijek mogao doznati, a smjer djelovanja je očekivao na pravcu na kojem se oba tijela nalaze, trebao je samo dovesti u vezu jačinu sile s međusobnom udaljenošću tijela.

Eksperimentom s kruženjem mjeseca oko Zemlje, Newton je konačno dokazao svoju pretpostavku. Naime, akceleracija Mjeseca bila je poznata iz njegove staze gibanja oko Zemlje i mogla se usporediti s akceleracijom tijela koje slobodno pada na površinu Zemlje. Pokazao je da se sve može rastumačiti silom koja je obrnuto proporcionalna kvadratu udaljenosti, odnosno:

Svako tijelo privlači neko drugo tijelo silom koja djeluje na spojnici tijela i koja je upravo proporcionalna produktu njihovih masa, a obrnuto proporcionalnu kvadratu njihove međusobne udaljenosti.

Matematički, radi se o relaciji

$$\vec{F} = -G \cdot \frac{m_A \cdot m_B}{r^2} \vec{r}_0$$

gdje je G opća **gravitacijska konstanta**, koju Newton nije znao, m_A i m_B mase tijela, r njihova udaljenost, a r_0 radij vektor smjera u kojem djeluje gravitacija.

6.3. Mjerenje vrijednosti opće gravitacijske konstante

Prvi fizičar koji je pokušao procijeniti vrijednost gravitacijske konstante bio je Pierre Bouguer 1740. iz nagiba viska prema planinskom masivu, ali ju je tek grubo procijenio.

1798. engleski je fizičar **Henry Cavendish** (1731.-1810.) napravio prvo takvo uspješno mjerenje upotrijebivši torzionu vagu. Na laganoj šipci, obješenoj o elastičnu nit poznate torzione konstante, vise dvije male kugle (u Cavendishevim pokusima 0,729 kg). dvije velike kugle (158 kg) nalaze se u njihovoj blizini. Zbog gravitacijskog privlačenja, manje kugle približe se većima i nit se uvije za određeni kut koji se mjeri pomoću svjetlosnog snopa reflektiranom na malom zrcalu u šipci. Iz otklona i poznate torzione konstante može se izračunati sila između kugli, a time i gravitacijska konstanta G .

Kasnije su i drugi fizičari mjerili vrijednost gravitacijske konstante, a mi danas uzimamo kao najtočniju vrijednost

$$G = (6,6720 \pm 0,004) \cdot 10^{-11} \text{ Nm}^2 / \text{kg}^2$$

Kao što možemo primijetiti, gravitacijska konstanta je jako mala vrijednost pa bi se mogli pitati otkuda onda tolika sila kojom Zemlja privlači tijela na svojoj površini. Odgovor je – posljedica je to velike Zemljine mase.

Sl.6. Henry Cavendish, britanski fizičar i kemičar, otkrio osnovne značajke elementa vodika, kemijsku formulu vode, gustoću Zemlje i atmosfere te gravitacijsku konstantu, pomoću koje je 'izvagao Zemlju'



Sl.7. Johannes Kepler, njemački astronom i filozof, učenik Tycha Brahea, postavio zakone o gibanju planeta (koje danas znamo kao Keplerove zakone), objasnio plimu i oseku privlačnim silama Mjeseca, radio kao dvorski matematičar cara Rudolfa II, zbog naučavanja bio progonjen od strane inkvizicije, a kad mu je majka proglašena vješticom napustio posao na dvoru i vratio se kući, u Würtemberg, gdje je i umro

ZAKLJUČAK

Jabuka ne pada daleko od stabla, kažu ljudi. Primijetili su to i antički Grci, ali njihov talent nije bio dovoljan da otkriju zašto. Učinio je to sir Isaac Newton, tek u XVII. stoljeću. Međutim, moram svakako naglasiti da vjerojatno niti on ne bi sam došao do otkrića za koja je zaslužan, da nije bilo svih njegovih prethodnika koji su mu tako lijepo priredili put, da je on morao samo doći, vidjeti i prepustiti geniju u sebi da pobjedi.

Da nije bilo Newtona, u svemiru bi i dan danas vladali isti oni zakoni koji su vladali i prije nego ih je sir Isaac otkrio, samo mi možda još ne bi znali za njih. I naš napredak bez osnovnih zakona gibanja ne bi mogao nikamo. U ovom radu iznio sam samo mali djelić Newtonovog životnog djela – onaj dio koji se usko veže uz dinamiku i jednostavno kretanje, jer bi rad u kojem bi netko iznio cjelokupno Newtonovo 'stvaralaštvo' zauzeo puno više papira.

Sir Isaac Newton jedna je od najznačajnijih ličnosti svjetske povijesti i, vjerujem, dok je svijeta bit će puno ljudi koji će pisati o njemu, a malo onih koji neće nikad za njega ni doznati. Toliko mu valjda dugujemo.

ZAHVALA

Zahvaljujem se

- svom razredniku, Josipu Iveti, jer je 'progurao' ovu temu na Nastavničkom vijeću i jer mi je pomogao napisati istu sa što manje grešaka i propusta,
- Danijeli Šalić, koja mi je ustupila na korištenje svoj skener,
- Zoranu Rukelju na... zna on zašto...,
- Dženani Silajdžić, što mi je pomogla u ispravljanju svih grešaka nastalih prilikom izrade ovog rada i
- uslužnom knjižničaru na Prirodoslovno-matematičkom odjelu *Nacionalne i sveučilišne biblioteke* u Zagrebu, kojeg sam zaboravio tražiti autogram.

KORIŠTENA LITERATURA

Enciklopedija Leksikografskog zavoda, svezak 3 (Heliodor – Lagerlöf)

I. izdanje

Jugoslavenski Leksikografski zavod, Zagreb, Zagreb, 1967.

članak *Johann Kepler*

Enciklopedija Leksikografskog zavoda, svezak 4 (Laghouat – Oživljavanje)

I. izdanje

Jugoslavenski Leksikografski zavod, Zagreb, Zagreb, 1968.

članak *Isaac Newton*

Microsoft Encarta Encyclopedia Deluxe 2001

članci *Leonardo da Vinci, Christiaan Huygens, sir Isaac Newton, Johannes Kepler i Henry Cavendish*

udžbenik Sveučilišta u Berkleyu

Kittel, Charles; Knight, Walter D.; Ruderman, Malvin A., *Mehanika, svezak 1*

I. izdanje

Tehnička knjiga, Zagreb, Subotica, 1982.

str. 35., 36. i 38.

udžbenik Sveučilišta Svetozar Marković u Kragujevcu

Kojić, Miloš, *Dinamika (Teorija i primeri)*

II. izdanje

Naučna knjiga, Beograd, Beograd, 1991.

str. 2.-6.

Krsnik, Rudolf, dr., *Fizika 1*

I. izdanje

Školska knjiga, Zagreb, Zagreb, 1994.

str. 36.-39. i 63.-65.

udžbenik Sveučilišta u Zagrebu

Kulišić, Petar, prof.dr.sc., *Mehanika i toplina*

VIII. izdanje

Školska knjiga, Zagreb, Zagreb, 2002.

str. 40.-45. i 120.-123.

udžbenik Sveučilišta u Zagrebu

Paić, Mladen, *Osnove fizike, svezak 1 (Gibanja, sile, valovi)*

II. izdanje

sveučilišna naklada, Zagreb, 1987.

str. 60.-66. i 72.-74.

udžbenik Sveučilišta u Rijeci

Sapunar, Zorislav, prof.dr.dipl.inž.; Krpan, Mirko, prof.dr.dipl.inž., *Dinamika*

I. izdanje

sveučilišna naklada, Rijeka, 1994.

str. 7.-15.

Supek, Ivan, *Povijest fizike*

II. dopunjeno izdanje

Školska knjiga, Zagreb, Zagreb, 1990.

str. 30.-45.

Sve su slike preuzete iz *Microsoft Encarta Encyclopedia Deluxe 2001*, osim Sl.5. koja je doradana nakon skeniranja iz gore navedene knjige *Povijest fizike* te Sl.6. čiji je izvor Internet stranica http://www.aip.org/history/esva/catalog/esva/Cavendish_Henry.html

Gotovi seminarski, maturski, maturalni i diplomski radovi iz raznih oblasti, lektire , puškice, tutorijali, referati - specijalizovan tim za usluge visokokvalitetnog pisanja, istraživanja i obradu teksta za kompletan region Balkana.

Posetite nas na sajtovima ispod:

WWW.MATURSKIRADOVI.NET

WWW.SEMINARSKIRAD.ORG

WWW.MATURSKI.NET

WWW.MATURSKI.ORG

WWW.SEMINARSKIRAD.INFO

Dostupni smo Vam 24h 365 dana u godini.

Za gotove verzije rada obratiti se na mail:

maturskiradovi.net@gmail.com

061/ 11-00-105

Seminarski, diplomski, maturski radovi, prevodi na engleski i eseji...