

MATURSKI RAD IZ FIZIKE

TEMA: ZAKONI KRETANJA

www.maturski.weebly.com

UVOD

Pitanja o zakonitostima kretanja tijela koja međudjeluju sa okolinom osnovna su pitanja koja je moguće postaviti o svijetu oko nas. Ta su pitanja obilježila razvoj fizike krajem 19. stoljeća. Bitne ideje i zakone koji uspješno rješavaju ovu problematiku iznio je Newton u djelu Principia (1687.). Ova su pitanja, međutim, zaokupljala pažnju znanstvenika u toku dva milenija prije Newtona. Zato ćemo se ukratko osvrnuti na razvoj ideja o kretanju tijela.

Jedno od osnovnih pitanja u vezi sa kretanjem tijela je: Koje je prirodno stanje kretanja tijela? Do pronalaska zadovoljavajućeg odgovora, datog u okviru Newtonove mehanike, trebalo je proći gotovo 2000 godina počevši od prve slike što su je razvili antički filozofi, posebno Aristotel (384. - 322. godine p.n.e.). Aristotel u svom djelu Fizika, koja je bila temelj učenja sve do Galileia i Newtona, raspravlja o kretanju u smislu postojanja prirodnih kretanja koja se odvijaju sama po sebi i za koja nije potreban vanjski utjecaj, i neprirodnih koja se ne odvijaju sama po sebi i za koja mora postojati vanjski utjecaj. Prirodna zemaljska kretanja, prema Aristotelovom shvatanju, su spuštanje "teških" tijela na Zemlju, dizanje "laganih" tijela uvis.

Aristotel je svoje zaključke donosio samo na temelju opažanja, a površan posmatrač će i danas reći da težak kamen pada na Zemlju i kad na njega ne djelujemo, a da se topli zrak ili dim diže uvis sam po sebi. Nebeska tijela, prema Aristotelu, kreću se po kružnicama također sama po sebi. Neprirodna kretanja su, naprimjer, kretanje "teškog" tijela naviše ili "laganog" naniže. U ovaj tip kretanja spada i svako horizontalno kretanje, jer u tom kretanju nema elemenata prirodnosti. Upravo Galilei, razmatrajući horizontalno kretanje, počeo je rušiti shvatanje koje je dominiralo gotovo 20 stoljeća. Aristotel je smatrao također da je za održavanje konstantne brzine pri kretanju tijela potrebno vanjsko djelovanje. Ovo je i najveća zablude prednjutnovske mehanike.

Ono što još bitno nedostaje u aristotelovskoj filozofiji je: predviđanje kako bi se određene pojave trebale odvijati u novoj situaciji i eksperiment kojim bi se predviđanja provjerila (potvrdila ili opovrgla). Osnovni razlog zašto sam ukratko izložio bitne postavke aristotelovske fizike u oblasti kretanja je u slijedećem: Da bismo shvatili ogroman Newtonov doprinos mehanici, treba imati uvid u ideje koje su postojale prije njega, u bitne korake koje je morao učiniti, uključujući njegove prethodnike i savremenike, da bi se odstupilo od aristotelovske fizike dominantne gotovo dva milenija. Bez toga je teško shvatiti da su tri Newtonova zakona kretanja, naizgled vrlo jednostavna, toliko velika i značajna.



(Slika 1)

ISAAC NEWTON (ISAK NJUTN)

Engleski fizičar, matematičar i astronom Isaac Newton rodio se na Božić 1642. godine u mjestu Woolsthorpe u okrugu Lincoln u Engleskoj. Newton je veoma rano pokazao vještinu u pravljenju raznovrsnih naprava kojima je zarađivao i svoje prve honorare. Umjesto da s vršnjacima uživa u dječijim nepodopštinama mali Isaac je konstruirao mehaničke lutke, fenjere kojima je plašio praznovjerne seljake, drveni sat koji se sam navijao, mlin s proždrljivim mišem, koji je istovremeno bio i mlinar i glavni pokretač naprave i još puno toga. Srednju školu završio je u gradiću Grenthem. Završivši srednju školu Newton se po preporuci svog ujaka upisuje na Cambridge kao najsiromašniji student. Stoga je morao raditi teške poslove kako bi zaradio za život i školovanje. Sveučilište je rangiralo svoje studente. U samom početku Newton je bio zadnji na rang listi, ali se vremenom talentom i znanjem izdvojio se i nametnuo.

U periodu od 1664. do 1666. godine Londonom je harala kuga pa se Newton mogao na miru udubiti u svoje zamisli vezane za mehaniku i dinamiku i tako postaviti temelje svom životnom djelu. Newton je tih godina radio tako intezivno da se skoro razbolio. Nakon što je kuga minula Newton se vratio u Cambridge gdje je 1669. godine na mjestu profesora matematike naslijedio svog učitelja Isaaca Barrowa.

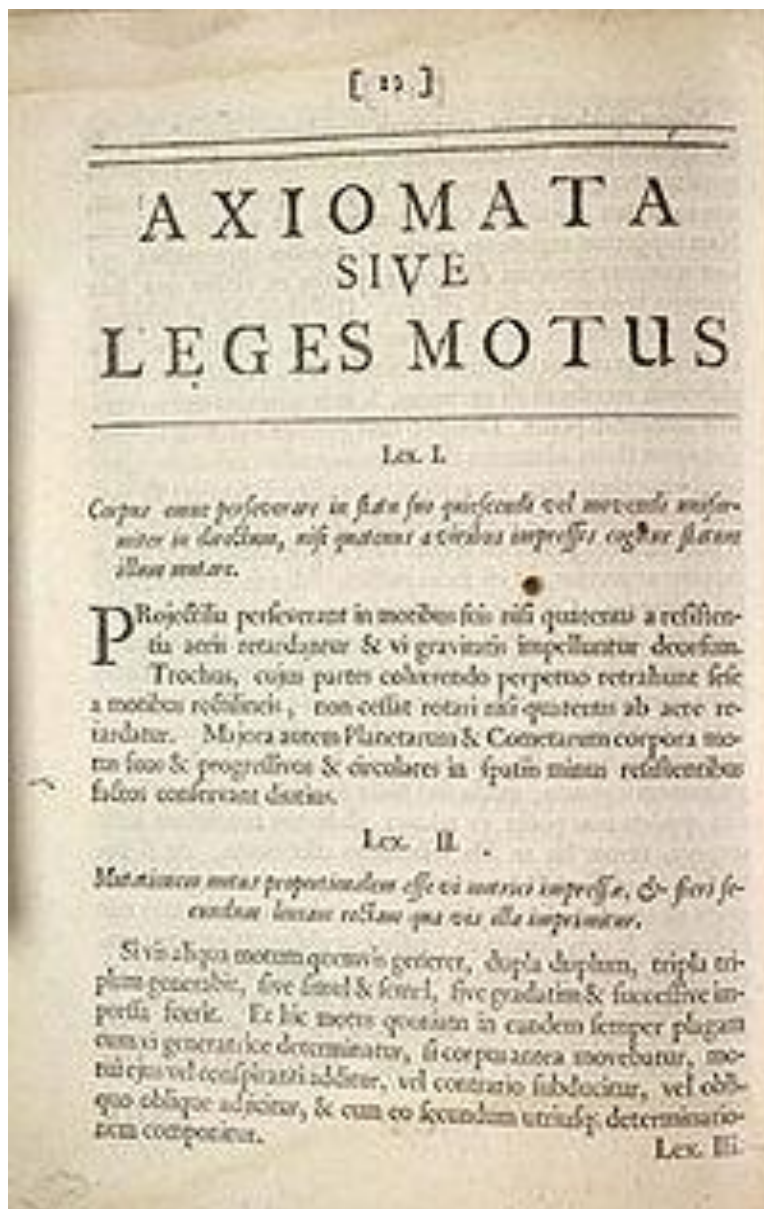
Newton je žudio otkriti ono što se zove materia prima (prvobitna materija), kako bi na taj način imao "sve". Nije se zadovoljavao pasivnim promatranjem i bilježenjem onoga što jeste takvo kakvo jeste; od prvog dana stvaranja žudio je za samim stvaranjem, za mijenjanjem kako bi mogao reći: Otkrio sam sve. *Hypotheses non fingo* (Ne izmišljaj hipoteze) - bijaše njegova čuvena deviza koju nije napuštao do kraja života. Za sve je tražio logična objašnjenja, u eksperimentu. Newtonova tajanstvenost, šutnja i strpljiv rad mogli su imati i kobne posljedice po njegov život, kada se 1690. godine zapalio njegov radni kabinet, odnosno rukopisi na njegovom radnom stolu. U tom besmislenom požaru, koji je čini se izazvala mačka oborivši svijeću, izgorili su neki Newtonovi rukopisi. U njima su bili zapisani njegovi radovi vezani uz hemiju i knjiga o prelamanju svjetlosti. U tim rukopisima nalazili su se i ogleđi kojima se Newton bavio 20 godina, ogroman empirijski materijal kakav nije bilo moguće više prikupiti, pa je razumljiv njegov očaj nad prizorom uništenog truda. Tri godine bio je na opasnom putu ludila, s trenucima potpune neuračunljivosti ali se ipak izvukao iz takvog stanja. Navodno mu je u pronalaženju izlaza s tog puta pomogla i njegova ljupka nećakinja po nagovoru filozofa Locka, velikog Newtonovog prijatelja.

Newton je bio čovjek duha, zaboravljao je na hranu i san kada je radio. Probudivši se dugo je sjedio u noćnoj košulji na ivici kreveta i razmišljao. Smatrao je kako nakon sna mozak najbolje radi, oslobođen zagađenja. Istog mišljenja bio je i Descartes. Newton je mnogo godina bio i zastupnik u britanskom parlamentu gdje je uporno šutio osim u nekoliko iznimnih slučajeva kada je digao svoj glas u korist autonomnosti nauke i Cambridgea. Njegova slava bila je tolika da se preko njegovih riječi nije moglo lahko preći. Također je bio dopisni član Francuske akademije, a francuski kralj čak mu je nudio mirovinu. Njegovo grandiozno djelo *Matematički principi prirodne filozofije* (*Philosophiae naturalis principa mathematica*) izmijenilo je pogled na svijet, a mnogi znanstvenici citirali su ga kao Bibliju. Počasti koje su mu iskazivane nije doživio nijedan Englez prije njega. U svojoj 54 godini

postao je upravitelj kovnice novca. Nama to danas izgleda krajnje besmisleno, ali taj položaj u ono vrijeme bio je znak izuzetnog društvenog statusa. Newton je poživio 84 godine, uglavnom u dobrom zdravlju. Preminuo je 31. marta 1727. godine u Londonu. Iza Newtona ostale su brojne, još poptuno neistražene, bilježnice sa hiljadama hemijskih recepata.

NEWTONOVI ZAKONI DINAMIKE

Newtonovi zakoni predstavljaju temelj klasične mehanike. Objašnjavaju zašto se tijela kreću i kako se kreću pod datim uvjetima. Uspostavljaju vezu između kinematičkih i dinamičkih veličina – ubrzanja, mase, impulsa i sile. Pokazuje se da oni vrijede samo u slučaju kretanja tijela velikih masa (u odnosu na masu atoma), brzinama malim u poređenju sa brzinom svjetlosti u vakuumu ($c \approx 3 \cdot 10^8$ m/s). Kako su najveće brzine makroskopskih tijela u prirodi brzine nebeskih tijela, koje su reda veličine nekoliko destina km/s (brzina Zemlje pri njenom kretanju oko Sunca je približno 30 km/s), područje primjenjivosti Newtonovih zakona je veliko. Otud proizlazi njihov ogroman značaj.



(Slika 2) Prvi i drugi Newtonov zakon iz knjige *Principia Mathematica* na latinskom

PRVI NEWTONOV ZAKON (ZAKON INERCIJE)

U originalu, na latinskom, ga je Newton zapisao:

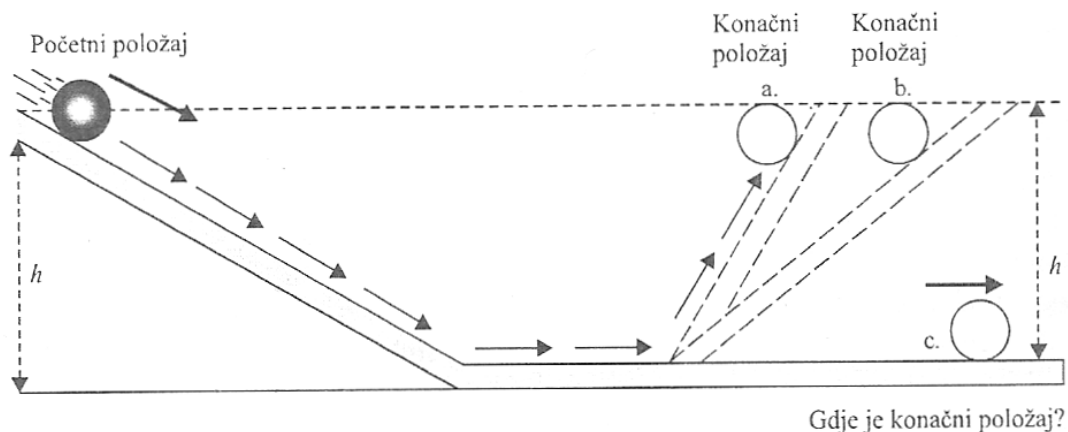
„Lex I: Corpus omne perseverare in statu suo quiescendi vel movendi uniformiter in directum, nisi quatenus a viribus impressis cogitur statum illum mutare.“

„Svako tijelo će ostati u stanju mirovanja ili ravnomjernog pravolinijskog kretanja sve dok pod djelovanjem vanjskih sila to stanje ne promijeni“

Ovaj zakon je imao ključnu ulogu u razvoju mehanike kao prvi iskorak iz aritotelovske fizike. U okviru aristotelovske fizike jedino bi mirovanje bilo prirodno stanje kretanja u ovom slučaju, jer da bi se tijelo kretalo, na bilo koji način, pa čak i stalnom brzinom, morao bi

postojati vanjski utjecaj. Činilo se da to potvrđuje i svakodnevno iskustvo: da bi se zaprežna kola kretala stalnom brzinom po horizontalnom putu, treba da ih stalno vuče konj, da bi se sto pomjerao po podu, treba ga neprekidno vuči ili gurati itd.

Galilei je uz pomoć iza eksperimenata na strmoj ravnini (kosini) došao za to vrijeme do sasvim neočekivanih zaključaka. Izložimo ukratko njegove ideje u eksperimentu (slika 3).



(Slika 3) Skica Galileievog eksperimenta

Kuglica se spušta niz lijevu kosinu i zatim prelazi na drugu stranu penjajući se uz desnu kosinu. Brzina kuglice se pri uspinjanju smanjuje, i ona se zaustavlja na određenoj visini. Galilei je uočio da je visina do koje stiže kuglica na desnoj kosini tek nešto manja od početne visine na lijevoj. Ta razlika je manja što je trenje sa podlogom manje. Galilei je zaključio da bi u idealiziranom slučaju kad ne bi bilo trenja, kuglica na desnoj kosini dostigla polaznu visinu na lijevoj. Ako je nagib desne kosine manji, visina koju dostiže kuglica jednaka je visini koju dostiže kuglica kada je nagib veći, iako kuglica pri kretanju prelazi duži put. Dalje slijedi Galileiev misaoni eksperiment, šta će se dogoditi ako desne kosine nema, ako se kuglica, nakon spuštanja s lijeve kosine, kreće dalje po horizontalnoj podlozi, ali bez trenja? Kuglica koja se spustila niz lijevu kosinu više se ne penje, brzina joj se ne smanjuje i ona bi se dalje kretala horizontalno stalnom brzinom u istom pravcu. Navedimo Galileievo obrazloženje ove tvrdnje „Tijelo u kretanju u cijelosti će zadržati svoju brzinu ako se uklone vanjski uzroci ubrzavanja ili usporavanja, a taj uvjet vrijedi samo za horizontalnu ravninu. Naime, ako je ravnina nagnuta prema dolje, tada postoji uzrok ubrzavanja, a ako je nagnuta prema gore, postoji usporavanje. Otud proizlazi da se kretanje u horizontalnom pravcu održava trajno bez vanjskog utjecaja“. Generalizacija ovog rezultata je poznata kao Galileiev princip inercije koji se može formulirati na slijedeći način:

„Tijelo koje ne međudjeluje s okolinom kreće se ravnomjerno po pravcu“

Galileiev princip inercije, objavljen 1636. godine, možda je najapstraktniji pojam u fizici jer ga je nemoguće provjeriti. Eksperiment kojim bismo ga potvrdili; nije moguće realizirati jer je tijelo nemoguće u potpunosti izolirati, npr. izbjeći u potpunosti utjecaj trenja. Treba, međutim, istaći važnost Galileievog principa inercije, jer je to bio prvi veliki pomak od aristotelovskog shvatanja kretanja.

Saglasno Galileievom principu inercije ravnomjerno kretanje tijela po horizontalnom pravcu ne zahtijeva vanjsko djelovanje i, kao i mirovanje prirodno je stanje kretanja tijela. Tijelo se usporava i zaustavlja zbog uvijek prisutnog trenja. To i objašnjava zašto moramo

vući ili gurati sto po podu da bi se kretao ravnomjerno, jer treba savladati uvijek prisutno trenje. Galilei je u fiziku uveo pojam inercija (lat. *inertia* – ustrajnost), otud i naziv principa. Za pokazivanje Galileievog principa inercije, danas se mogu napraviti eksperimenti mnogo bliži idealiziranoj situaciji, bez trenja. Koriste se " zračne tračnice" kod kojih je trenje toliko eliminirano da je kretanje duž njih gotovo ravnomjerno. I pored svojih velikih dostignuća, Galilei nije mogao potpuno odbaciti aristotelovsku fiziku i formulirati novu dinamiku. I pored toga, zbog njegovih epohalnih postignuća, ne samo u mehanici, zbog uvođenja eksperimenta i matematičkog iskazivanja u fizikalnim istraživanjima, Galileia danas smatramo osnivačem moderne fizike. Na temelju Galileievog principa inercije Newton je 1687. godine, u djelu Principia, formulirao svoj prvi zakon:

„Svako tijelo će ostati u stanju mirovanja ili ravnomjernog pravolinijskog kretanja sve dok pod djelovanjem vanjskih sila to stanje ne promijeni“

Kod oba stanja kretanja tijela: mirovanje i ravnomjerno pravolinijsko kretanje (kretanje po inerciji), ubrzanje tijela jednako je nuli, pa prvi Newtonov zakon možemo iskazati i ovako:

„Brzina tijela je konstantna, može biti jednaka nuli, dok je međudjelovanje tijela s okolinom ne promijeni.“

Tijela izolovana od okoline nazivamo slobodna, i u prirodi ne postoje. Možda da bi negdje u dalekim kosmičkim prostorima, gdje je međugalaktički plin u velikoj mjerirazrijeđen, tijelo bačeno početnom brzinom nastavilo da se kreće ravnomjerno pravolinijski, po inerciji. Međutim, i tu nakon milijardi godina, vjerovatno zahvaćeno djelovanjem neke daleke zvijezde, tijelo bi se prestalo kretati po inerciji i postalo njen satelit. Obično se prvi Newtonov zakon, krajnje apstraktan, olako uzima kao nešto očigledno i jasno samo po sebi. Međutim, ovaj veliki zakon se ne može strogo izvesti neposredno iz eksperimenta, jer nema načina da se tijelo oslobodi svih utjecaja (gravitacija, trenje, itd.) Zato ovaj zakon treba shvatiti kao osnovni princip.

Slučajevi mirovanja i ravnomjernog pravolinijskog kretanja koje uočavamo, iz iskustva znamo, nisu kretanja po inerciji, već kretanja u uvjetima u kojima se djelovanja na tijelo međusobno poništavaju. Naprimjer, knjiga miruje na stolu jer privlačno djelovanje Zemlje biva uravnoteženo reakcijom podloge, kola koja vuče konj mogu se kretati ravnomjerno jer konj silom naprezanja svojih mišića uravnotežuje silu trenja tla i točkova kola. Znamo da karakter kretanja tijela zavisi od referentnog sistema u kome kretanje razmatramo.

U slučaju kinematičkog pristupa, između sistema referencije nema principijelne razlike, biramo onaj sistem koji je u datom problemu najprikladniji. Najčešće su to sistemi vezani za laboratoriju, učionicu, Zemlju. U dinamici to nije tako, postoji principijelna razlika između njih u smislu važenja Newtonovih zakona.

Moguće je *pretpostaviti* da postoje takvi sistemi referencije u kojima je ubrzanje tijela uzrokovano samo međudjelovanjem s okolinom. Slobodno tijelo u odnosu na takav sistem miruje ili se kreće ravnomjerno pravolinijski, odnosno, po inerciji. Takav sistem nazivamo *inercijalni sistem referencije, ISR*. Postojanje ISR slijedi iz prvog Newtonovog zakona. Kažemo da je ISR onaj u kojem vrijedi prvi Newtonov zakon, koji se naziva i *zakon inercije*. Postoje sistemi referencije u kojima zakon inercije ne vrijedi, nazivamo ih *neinercijalni sistemi referencije, NSR*.

INERCIJA. MASA. IMPULS TIJELA

Jednakost tromer i teške mase predravlja *princip ekvivalentnosti* – fundamentalni zakon prirode, koji leži u osnovi Einsteinove (A. Einstein, 1879. – 1955. godine) teorije opće relativnosti. U dinamici, pored mase, uvodi se još jedna veličina koja karakterizira tromost tijela. To je impuls ili količina kretanja tijela. Impuls ili količina kretanja materijalne tačke mase m koja se kreće brzinom v , definira se kao proizvod mase i brzine kretanja i jednak je:

$$\vec{p} = m \cdot \vec{v}$$

Kako je m pozitivan skalar ($m > 0$), smjer vektora \vec{p} jednak je smjeru brzine. Jedinica za impuls je kilogram metar u sekundi (1kgm/s).

Impuls je dinamička karakteristika tijela. Pri međudjelovanju tijela s okolinom, impuls mu se mijenja, kao što se mijenja i brzina. No impuls bolje opisuje kretanje tijela od brzine. To se može vidjeti na jednostavnom primjeru. Automobil koji se kreće brzinom 50 km/h, jednostavnije je zaustaviti, nego voz koji se kreće istom brzinom, jer mu je, zbog manje mase, impuls manji. Voz zbog velike mase ima veliki impuls i teško ga je zaustaviti.

DRUGI NEWTONOV ZAKON – OSNOVNI ZAKON DINAMIKE

S prvim Newtonovim zakonom još ne možemo rješavati konkretne probleme kretanja tijela. Ovaj zakon ne govori ništa o tome kakva je kvantitativna veza između ubrzanja tijela i sile koja djelujući na tijelo uzrokuje ubrzanje, niti kako ubrzanje ovisi o svojstvima tijela, niti kakva je kvantitativna veza između sile koja djeluje na tijelo i promjene impulsa tijela. Newton je zapravo svojim drugim zakonom definirao utjecaj sile koja djeluje na tijelo, na promjenu impulsa tijela. Drugi Newtonov zakon možemo formulirati na slijedeći način:

Brzina promjene impulsa tijela proporcionalna je sili i zbiva se u pravcu djelovanja sile:

$$\vec{F} = \frac{d\vec{p}}{dt}$$

gdje se pod \vec{F} podrazumijeva rezultujuća sila koja djeluje na tijelo.

Ovaj zakon je Newton napisao ovim riječima, na latinskom:

„Lex II: Mutationem motus proportionalem esse vi motrici impressae, et fieri secundum lineam rectam qua vis illa imprimitur.“

Kada je poznata sila, može se izračunati zavisnost brzine i koordinate položaja tijela od vremena. Ako se zna brzina i položaj tijela u nekom (početnom) trenutku, može se odrediti brzina i položaj tijela u bilo kojem (ranijem ili kasnijem) trenutku, što je osnovni zadatak mehanike.

Kako se u Newtonovoj mehanici tijelo kreće brzinama koje su mnogo manje od brzine svjetlosti u vakuumu ($v \ll c$), masa je konstantna, te stoga slijedi,

$$\Delta \vec{p} = \vec{p}_2 - \vec{p}_1 = m\vec{v}_2 - m\vec{v}_1 = m(\vec{v}_2 - \vec{v}_1) = m\Delta\vec{v},$$

odnosno

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

ili u skalarnom obliku,

$$F = m \cdot a.$$

Znači, sila je jednaka proizvodu mase i ubrzanja koje tijelo dobija po djelovanjem te sile. Relacija $F = m \cdot a$ predstavlja također formulaciju drugog Newtonovog zakona. Možemo je shvatiti kao relaciju koja uvodi silu, kao izvedenu fizikalnu veličinu.

SI-jedinica za silu je njutn. Jedan njutn je sila koja masi od 1 kg daje ubrzanje od jednog metra u sekundi na kvadrat ($1 \text{ N} = 1 \text{ kg m/s}^2$)

Ako je poznata sila \vec{F} , ubzanje tijela je

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

te slijedi da ubrzanje ima pravac i smjer djelovanja sile ($m > 0$). Ako na tijelo djeluje više sila

$\vec{F}_1, \vec{F}_2, \dots, \vec{F}_N$, njihova rezultanta $\vec{R} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \dots + \vec{F}_N$, a ubrzanje tijela je:

$$\vec{a} = \frac{\vec{R}}{m}.$$

Ovo je zakon o nezavisnosti djelovanja sila. Ukoliko je rezultanta sila koje djeluju na tijelo

$\vec{R} = 0$, onda je $\vec{a} = 0$, tijelo se kreće ravnomjerno pravolinijski konstantnom brzinom,

$\vec{v} = \text{const.}$, ili miruje u datom inercijalnom sistemu referencije. Napomenimo još, drugi

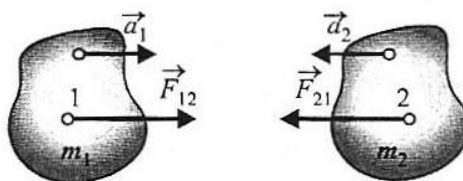
Newtonov zakon predložen $F = dp/dt$, vrijedi i u slučaju kada se tijelo kreće velikim brzinama

($v \approx c$), pa se često naziva relativistički oblik drugog Newtonovog zakona, dok izraz $F = m \cdot a$ vrijedi samo za $v \ll c$, odnosno, u klasičnoj mehanici. Drugi Newtonov zakon ima veliki značaj zbog svoje univerzalnosti i primjenjivosti. Naime, pomoću njega se rješavaju mnogi dinamički problemi u vrlo različitim oblastima fizike.

www.maturski.weebly.com

TREĆI NEWTONOV ZAKON

Djelovanje jednog tijela na drugo ima uvijek karakter međudjelovanja. Uočeno je važno svojstvo međudjelovanja:



(Slika 4) Međudjelovanje tijela

Ako tijelo 1 djeluje na tijelo 2 nekom silom \vec{F}_{21} , tada i tijelo 2 djeluje na tijelo 1 silom \vec{F}_{12} . Eksperimenti pokazuju da su ove dvije sile jednakog intenziteta, ali suprotnog smjera:

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

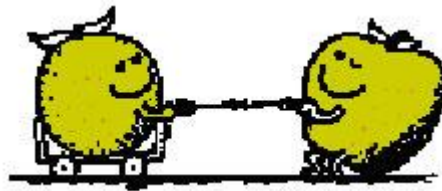
Ovo predstavlja sadržaj trećeg Newtonovog zakona koji se još naziva zakon akcije i reakcije, a relacija $\vec{F}_{21} = -\vec{F}_{12}$ matematički je zapis zakona.

Ako na tijelo čije kretanje izučavamo djeluje neka sila, tada odmah znamo da to tijelo djeluje na tijelo koje je izvor sile, silom jednakog intenziteta i suprotnog smjera. Treba podvući da ove dvije sile ne djeluju na isto tijelo, inače bi rezultanta sila bila jednaka nuli. U Newtonovj formulaciji ovaj zakon glasi:

Sila akcije brojno je jednaka sili reakcije.

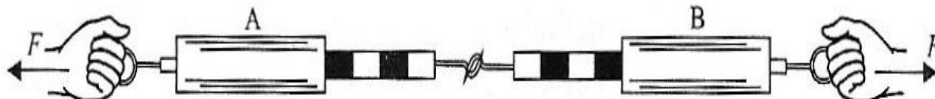
Tekst zakona kako je Njutn zapisao na latinskom je:

„Lex III: Actioni contrariam semper et æqualem esse reactionem: sive corporum duorum actiones in se mutuo semper esse æquales et in partes contrarias dirigi.“



(Slika 5) Sila akcije i reakcije

Ove dvije sile su potpuno ravnopravne. Treći Newtonov zakon možemo ilustrirati eksperimentom. Spojimo dva dinamometra A i B kao na slici 6, i povucimo oba u suprotnim smjerovima. Sila kojom dinamometar A vuče dinamometar B može se očitati i vidjeti da je brojno jednaka sili kojom dinamometar B vuče dinamometar A.



(Slika 6) Ilustracija 3. Newtonovog zakona

Posljedice trećeg Newtonovog zakna najbolje uočavamo na primjerima međudjelovanja tijela približno jednakih (sličnih) masa. Iz $\vec{F}_{12} = -\vec{F}_{21}$, slijedi da je $m_1\vec{a}_1 = -m_2\vec{a}_2$ odnosno,

$$\frac{a_1}{a_2} = \frac{m_2}{m_1}.$$

Ako su mase tijela koja međudjeluju sične, dobivena ubrzanja su mjerljiva. To se uočava pri iskakanju čovjeka iz lagahnog čamca – čovjek iskače na jednu stranu, čamac se pomjera na drugu; pri ispaljivanju metka iz puške (trzaj puške); pri reaktivnom kretanju; pri sudarima. Ukoliko je masa jednog tijela znatno veća od mase drugog tijela, ubrzanje koje dobiva tijelo velike mase ne može biti uočeno.

Kad čovjek ili elastična kugla odskoče od tla, ubrzanje Zemlje je tako malo da se i ne uočava. Samo se uočava odbijanje lakšeg tijela. Isto tako pri kretanju čovjeka po palubi broda, nema vidljivog pomjeranja broda u suprotnom smjeru.

Ako udarite nogom u kamen, osjetite bol u nozi. Zašto? Pri udaru djelujete silom na kamen. Istovremeno kamen djeluje na nogu silom jednakog intenziteta, suprotnog smjera.

Dva klizača na ledu, koji su okrenuti jedan prema drugom i drže se za uže, mogu opaziti ispravnost trećeh Newtonovog zakona. Ako samo jedan od njih povuče uže nastojeći privući drugog, oba će se pomjeriti i približavati jedan drugom.

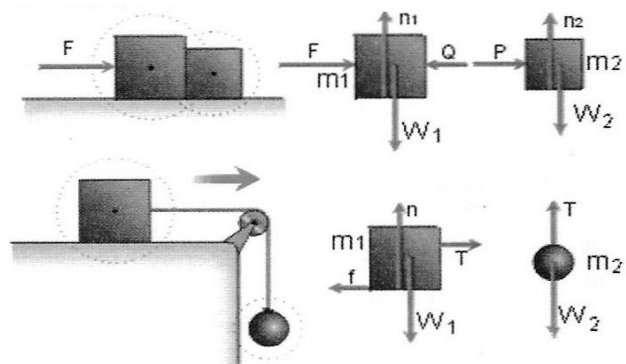
Treći Newtonov zakon, kao i druga dva, vrijedi u inercijalnim sistemima referencije. Pokazuje se da ovaj zakon vrijedi za gravitaciono, elektrostatičko i kontaktno međudjelovanje (međudjelovanje tijela u dodiru), ali se narušava u elektrodinamici kod nekih konkretnih oblika magnetskog djelovanja.

DIJAGRAMI SLOBODNOG TIJELA

Da bi uspješno primjenili II Newtonov zakon na mehanički sistem, prvo moramo prepoznati sve sile koje djeluju na sistem. To znači, moramo biti u stanju nacrtati tačan dijagram (skicu) slobodnog tijela. Crtanje dijagrama je toliko značajno, da nikad ne može biti pretjerano naglašeno, ništa nije suvišno.

Na slikama je dato nekoliko mehaničkih sistema sa njihovim odgovarajućim dijagramima slobodnog tijela. Treba ih pažljivo izučiti, kako biste bili u stanju da napravite tačne dijagrame za sisteme opisane u zadacima.

Kada sistem sadrži više od jednog elementa, neophodno je napraviti dijagram slobodnog tijela za svaki element. Kao i obično, F označava neku primjenjenu silu, $W = m \cdot g$ silu Zemljine teže, n označava normalnu silu, f silu trenja i T silu zatezanja konca (sila kojom konac djeluje na tijelo).



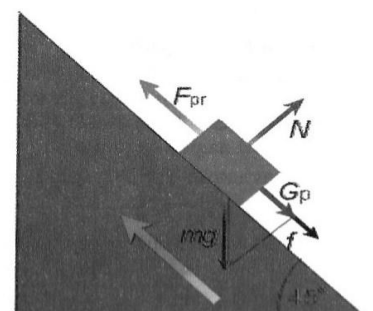
(Slika 7)

Primjer 1

Tijelo mase 30kg, gurnuto je uz strmu ravan koja gradi ugao 45° sa horizontalom i ima koeficijent trenja 0,25. Kolika je sila, uz strmu ravan, potrebna da tijelo dobije ubrzanje $0,08\text{m/s}^2$?

Rješenje:

Sa slike se vidi da je ukupna sila na tijelo:



$$\vec{F} = m \cdot \vec{g} + \vec{F}_{pr} + \vec{f} + \vec{N}$$

Odatle je primjenjena sila:

$$\vec{F}_{pr} = \vec{F} - m \cdot \vec{g} - \vec{f} - \vec{N}$$

(Slika 8)

Po komponentama:

$$F_{pr} = m \cdot a + f + m \cdot g \cdot \sin\theta$$

$$F_{pr} = m \cdot a + \mu \cdot m \cdot g \cdot \cos\theta + m \cdot g \cdot \sin\theta$$

$$F_{pr} = 261,6\text{N} \approx 262\text{N}.$$

INERCIJALNI SISTEM REFERENCIJE

Sistemi referencije u kojima slobodno tijelo miruje ili se kreće ravnomjerno pravolinijski, nazivaju se inercijalnisistemi referencije, ISR. Postojanje inercijalnih sistema referencije slijedi iz prvog Newtonovg zakona. Da li je neki sistem referencije inercijalan ili ne, provjerava se eksperimentom.

Heliocentrični sistem referencije, vezan za Sunce i orijentiran prema određenim zvijezdama "stajalicama", uzimamo kao inercijalan. Eksperimentom nisu uočene pojave koje bi ukazivale na njegovu neinercijalnost (Sunce se, doduše, kreće ubrzano oko centra Galaksije, ali je vrijednost njegovog ubrzanja izuzetno malena 10^{-10} m/s^2).

Geocentrični sistem referencije vezan za Zemlju nije strogo inercijalan. Zemlja se u odnosu na heliocentrični sistem referencije kreće ubrzano. Treba uzeti uobzir kretanje Zemlje oko Sunca po zatvorenoj putanji i rotaciju Zemlje oko vlastite ose. Ubrzanje uslijed kretanja Zemlje oko Sunca zbog velikog perioda obrtanja (1 godina), izuzetno je malo. Znatno veće ubrzanje nastaje zbog Zemljine rotacije, s periodom rotacije 24 sata. I ovo ubrzanje je malo, i na ekvatoru, gdje ima maksimalnu vrijednost, iznosi približno $3,5 \cdot 10^{-2} \text{ m/s}^2$. Koliko je ovo mala vrijednost, vidimo ako je uporedimo sa ubrzanjem slobodnog pada $g = 9.81 \text{ m/s}^2$. Stoga pri razmatranju većine mehaničkih pojava možemo smatrati da je sistem referencije vezan za Zemlju inercijalan.

Međutim postoje takvi eksperimenti koje možemo izvršiti na Zemlji, čije objašnjene zahtijeva da se uzme u obzir ubrzano kretanje Zemlje, zapravo, njena rotacija oko vlastite ose, odnosno, *neinercijalnost* geocentričnog sistema. Moguće je dokazati da je *svaki sistem referencije koji se kreće u odnosu na inercijalni sistem konstantnom brzinom* $\vec{v} = \vec{const.}$, *također inercijalan.*



(Slika 9) Heliocentrični sistem

SILA TRENJA

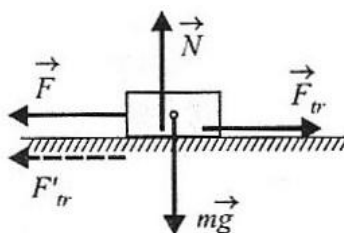
Poznato je iz iskustva, ako tijelo vučemo ili guramo po nekoj, naprimjer, horizontalnoj podlozi, tada savladavamo silu koja se suprostavlja njegovom kretanju. Ta sila se naziva sila trenja i makroskopska je manifestacija vrlo složene pojave trenja. Sile trenja se uvijek javljaju pri relativnom kretanju tijela koja se dodiruju, ili pri kretanju dijelova tijela jednog u odnosu na drugi. Sile trenja su uvijek usmjerene u pravcu tangente na dodirne površine, smjer im je takav da se suprostavljaju relativnom pomjeranju tih površina – smjer suprotan smjeru brzine relativnog kretanja. Razlikujemo vanjsko i unutrašnje trenje:

Vanjsko trenje se pojavljuje pri relativnom pomjeranju dva čvrsta tijela koja se dodiruju. Trenje je suho ako su dodirne površine čiste i suhe. Veličina sile trenja jako ovisi o karakteru dodirnih površina, njihovoj obradi i stepenu čistoće.

Unutrašnje trenje (viskoznost) nastaje pri protjecanju fluida (tečnosti i gasova). Pri tom se trenje pojavljuje između slojeva fluida koji se kreću jedan u odnosu na drugi. Unutrašnje trenje se pojavljuje i pri kretanju čvrstog tijela kroz fluid. Postoji bitna razlika između unutrašnjeg i vanjskog (suhog) trenja. Unutrašnje trenje postoji samo pri protjecanju fluida, dok suho trenje može postojati i kad se tijela u dodiru kreću i kad miruju.

Kod suhog trenja, sila trenja se ne javlja samo prilikom klizanja jedne površine tijela po drugoj, nego i pri pokušaju da se tijelo pokrene iz stanja mirovanja. Ovu silu trenja nazivamo sila trenja mirovanja, ili sila statičkog trenja. Na tijelo koje miruje na horizontalnoj podlozi djeluje sila Zemljine teže $m\vec{g}$, koja je uravnotežena silom reakcije podloge \vec{N} .

www.maturski.weebly.com



(Slika 10) Sile koje djeluju na tijelo na horizontalnoj podlozi

Pokušajmo pomjeriti tijelo djelujući na njega vanjskom silom \vec{F} paralelno s površinom podloge. Ako je sila \vec{F} dovoljno malena, tijelo će i dalje mirovati. Prema drugom Newtonovom zakonu, to je moguće samo ako na tijelo u svakom trenutku djeluje sila, istog intenziteta, a suprotnog smjera sili \vec{F} . Ta sila je sila trenja mirovanja ili sila statičkog trenja \vec{F}_{tr} . Tijelo će ostati u stanju mirovanja sve dok intenzitet vanjske sile F ne premaši određenu graničnu vrijednost F_{gr} , tj. dok je $0 < F < F_{gr}$. Pri $F = F_{gr}$ tijelo će se pokrenuti i početi klizati. Prema tome, sila trenja mirovanja nije konstantna, ona automatski prima vrijednosti jednake intenzitetu vanjske sile (uz uvjet da je $F < F_{gr}$). Najveća vrijednost sile trenja mirovanja $(F_{tr})_{max} = F_{gr}$. Saglasno trećem Newtonovom zakonu na podlogu također djeluje sila trenja F'_{tr} , tako da je $F'_{tr} = F_{tr}$. Eksperimenti pokazuju, da je sila potrebna za održavanje ravnomjernog kretanja (klizanja) tijela manja od sile potrebne za pokretanje tijela iz stanja mirovanja, odnosno, za savladavanje sile trenja mirovanja. Vanjska sila F pri ravnomjernom kretanju tijela po horizontalnoj podlozi uravnotežuje silu trenja, te je $F = F_{tr}$.

F_{tr} u ovom slučaju nazivamo sila dinamičkog trenja. Drugi Newtonov zakon za tijelo mase m koje se kreće po djelovanjem vanjske sile \vec{F} , po horizontalnoj podlozi, uz prisustvo trenja glasi:

$$m\vec{a} = \vec{F} + \vec{F}_{tr},$$

pa je ubrzanje tijela

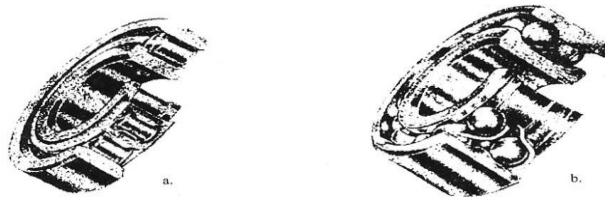
$$\vec{a} = \frac{\vec{F} + \vec{F}_{tr}}{m}, \quad a = \frac{F - F_{tr}}{m}.$$

Pri konstantnoj vanjskoj sili ($\vec{F} = \text{const.}$) za $F > F_{tr}$, $a > 0$, tijelo se kreće ravnomjerno ubrzano. Pri $F = F_{tr}$, $a = 0$, kretanje je ravnomjerno. Suho trenje prvi je eksperimentalno proučavao Charles de Coulomb (Š. Kulon, 1736. – 1806.) i 1781. godine ustanovio, da maksimalna sila trenja mirovanja, a također i sila trenja klizanja ne zavise od veličine dodirne površine tijela. Da sila trenja ne zavisi od veličine dodirne površine, uvjeravamo se jednostavno. Neka je tijelo na sl. 7 kvadar, sasvim je svejedno koju njegovu stranu postavimo i pomjeramo po podlozi. Uvijek ćemo ga pokrenuti ako je vanjska sila jednaka F_{gr} . Sila trenja (za male brzine kretanja) prema Coulombu, ne zavisi od brzine tijela, već je proporcionalna normalnoj sili kojom jedna površina pritišće drugu. Coulombov zakon suhog trenja možemo matematički iskazati:

$$F_{tr} = \mu N,$$

gdje je N -sila okomita na podlogu, kojom podloga djeluje na tijelo koje se kreće (ona je jednaka sili kojom tijelo pritišće podlogu po kojoj se kreće). Bezdimenzioni koeficijent proporcionalnosti μ je koeficijent ili faktor trenja (mirovanja - μ_s , ili klizanju - μ_k). On zavisi od prirode i stanja obrađenosti dodirnih površina, specijalno njihove hrapavosti.

Koeficijent trenja može se odrediti eksperimentalno na kosini. Ma kako se trudili da izglačamo dodirne površine, one uvijek zadržavaju određen stepen hrapavosti.

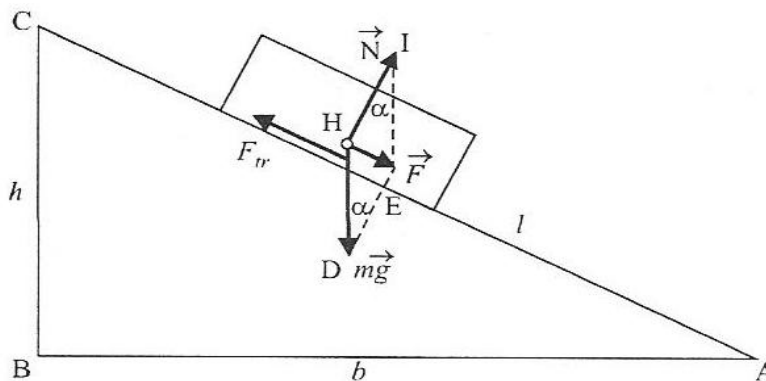


(Slika 11) Valjkasti a), kuglični b) ležaji

STRMA RAVAN

Zadatak:

Odrediti koeficijent trenja klizanja promatrajući kretanje tijela niz kosinu nagnutu pod uglom α prema horizontalnoj ravnini. Naći ubrzanje kojim se tijelo kreće niz kosinu. Na tijelo na kosini djeluju tri sile: sila Zemljine teže vertikalno naniže, reakcija kosine normalno na dodirnu površinu i sila trenja koja se suprostavlja kretanju, a usmjerena je uz kosinu.



(Slika 12) Strma ravan

Ubrzanje

$$a = \frac{F - F_{tr}}{m}$$

gdje je

$$\vec{F} = m\vec{g} + \vec{N}$$

Rezultanta sile teže i reakcije kosine. Za $F < F_{tr}$ tijelo miruje. Za $F = F_{tr}$ još uvijek miruje, ali dovoljan je mali poticaj da se počne kretati niz kosinu ravnomjerno. Silu F nalazimo iz sličnosti trokuta $\triangle ABC \sim \triangle DEH$. Slijedi: $F : mg = h : l$, odnosno,

$$F = mg \frac{h}{l}$$

$$N : F = b : h \Rightarrow N = F \frac{b}{h} = mg \frac{b}{l}, \text{ pa je}$$

$$F_{tr} = \mu N = \mu mg \frac{b}{h} = \mu mg \frac{\sqrt{l^2 - h^2}}{l} = \mu mg \sqrt{1 - \left(\frac{h}{l}\right)^2}$$

Ubrzanje

$$a = g \left(\frac{h}{l} - \mu \sqrt{1 - \left(\frac{h}{l}\right)^2} \right)$$

Ako se tijelo kreće ravnomjerno niz kosinu $a = 0$, slijedi

$$\mu = \frac{\frac{h}{l}}{\sqrt{1 - \left(\frac{h}{l}\right)^2}}$$

Za one koji znaju trigonometriju, jednostavno se dobije $F = mg \cdot \sin \alpha$ i $N = mg \cdot \cos \alpha$, pa je

$$a = g (\sin \alpha - \mu \cos \alpha)$$

i

$$\mu = \operatorname{tg} \alpha$$

KRUŽNO KRETANJE

Kružno kretanje je nejjednostavniji i najčešći oblik krivolinijskog kretanja. Po kružnim putanjama se kreću tačke krutog tijela koje se obrće (rotira), kazaljka na satu, vještački sateliti koji kruže oko Zemlje ipribližno elektroni oko jezgra itd. Kod svih ovih kružnih kretanja tijelo se kreće oko stalne nepokretne prave koju nazivamo osa rotacije. Osa rotacije je uvijek normalna na ravan u kojoj leži kružna putanja (kružnica) i prolazi kroz njen centar.

UGAONA BRZINA

Definirajmo prvo srednju ugaonu brzinu u intervalu Δt kao ugaoni pomak u jedinici vremena

$$\omega_{sr} = \frac{\Delta \varphi}{\Delta t}$$

Srednja ugaona brzina je nedovoljna za detaljnije opisivanje kružnih kretanja, pa ćemo definirati trenutnu ugaonu brzinu (kraće: ugaona brzina) relacijom:

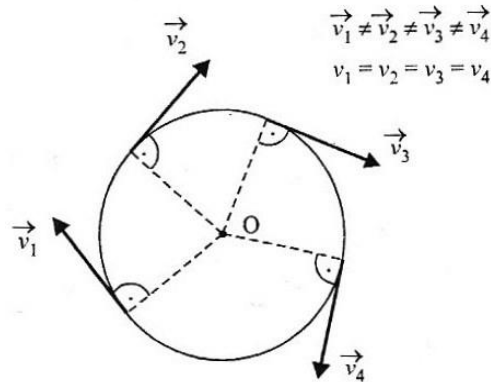
$$\omega = \frac{\Delta \varphi}{\Delta t} \quad \Delta t \rightarrow 0$$

Za ravnomjerno kružno kretanje $\omega_{sr} = \omega$.

Ugaona brzina je vektor koji leži na osi rotacije, tj. normalan je na ravan putanje, a smjer mu je određen "pravilom desnog zavrtnja". Intenzitet vektora ugaone brzine brojno je jednak ugaonom pomaku u jedinici vremena.

RAVNOMJERNO KRETANJE PO KRUŽNICI. CENTRIPETALNO UBRZANJE

Ravnomjerno kružno kretanje je kretanje tijela po kružnici brzinom čiji je intenzitet stalan, ali joj se pravac mijenja od tačke do tačke neprekidno u toku cijelog kretanja. Na slici 17 prikazana je kružnica sa vektorima brzina u nekoliko tačaka. Svi ti vektori imaju istu dužinu, ali im se pravac i smjer mijenjaju od tačke do tačke. U svakoj tački kružne putanje brzina ima pravac tangente.



(Slika 13) Vektori brzine tijela koje se kreće ravnomjerno po krugu

Centripetalno ubrzanje se često zove radijalno, a takođe postoji i naziv normalno ubrzanje. Centripetalno ubrzanje ima stalan intenzitet

$$a_C = \frac{v^2}{r}$$

$$a_c = F / m$$

tokom kretanja, pravac mijenja od tačke do tačke na putanji, tako da uvijek ima pravac poluprečnika kružne putanje u datoj tački i usmjeren je ka centru kružnice.

Koristeći relaciju $v = r \cdot \omega$ i uvrštavajući je u izraz $a_c = v^2 / r$, dobijamo:

$$a_C = \frac{v^2}{r} = \frac{r^2 \omega^2}{r} = \omega^2 r$$

Kako je $\omega = 2\pi / T$, gdje je T -period, odnosno, $\omega = 2\pi f$, gdje je f -frekvencija kružnog kretanja, izraz za centripetalno ubrzanje pišemo kao:

$$a_C = \frac{4\pi^2 r}{T^2}$$

odnosno

$$a_C = 4\pi^2 f^2 r.$$

ROTACIONO KRETANJE

Obrtno kretanje ili rotacija krutog tijela je takvo kretanje pri kojem sve tačke tijela opisuju koncentrične kružnice u paralelnim ravninama. Centri kružnica leže na pravoj koju nazivamo osa rotacije ili osa obrtanja. Tačke na osi rotacije su nepokretne.

MOMENT SILE

Da bismo izazvali obrtnje krutog tijela oko neke nepokretne ose rotacije, na njega treba djelovati silom. Iskustvo i ogledi pokazuju da svaka sila ne može izazvati obrtnje tijela. Samo sila, čiji pravac djelovanja ne prolazi kroz osu rotacije i nije paralelan sa njom, može izazvati obrtnje tijela. Veličina koja karakterizira rotaciono djelovanje sile je moment sile M .

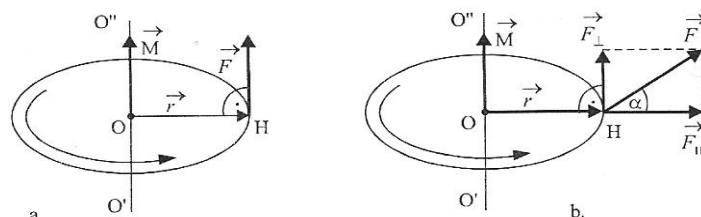
Intenzitet momenta sile po definiciji jednak je proizvodu intenziteta sile i kraka sile:

$$M = F \cdot d$$

Pravac momenta sile je pravac ose rotacije, a smjer je određen " pravilom desnog zavrtnja ". Dimenzija momenta sile je:

$$[M] = [F] \cdot [d] = \text{ML} / \text{T}^2 \cdot \text{L} = \text{ML}^2 / \text{T}^2$$

SI-jedinica momenta sile je: njutn metar (1 Nm).



(Slika 14) Moment sile

MOMENT INERCIJE

Kod translatornog kretanja mjera tromosti je masa. Kod obrtnog kretanja masa nije dovoljna da objasni tromost tijela. Kod obrtnog kretanja, pored mase, treba uvažiti raspored mase u odnosu na osu obrtanja. Stoga uvodimo još jednu fizikalnu veličinu moment inercije ili moment tromosti.

Moment inercije tijela zavisi od mase tijela i rasporeda mase u odnosu na izabranu osu rotacije. Znači, moment inercije je mjera tromosti tijela pri promjeni stanja obrtnog kretanja.

Moment inercije materijalne tačke mase m koja se nalazi na normalnoj udaljenosti r od ose obrtanja, po definiciji je

$$I = m \cdot r^2 .$$

SI-jedinica momenta inercije je kilogram metar na kvadrat (1 kgm²).

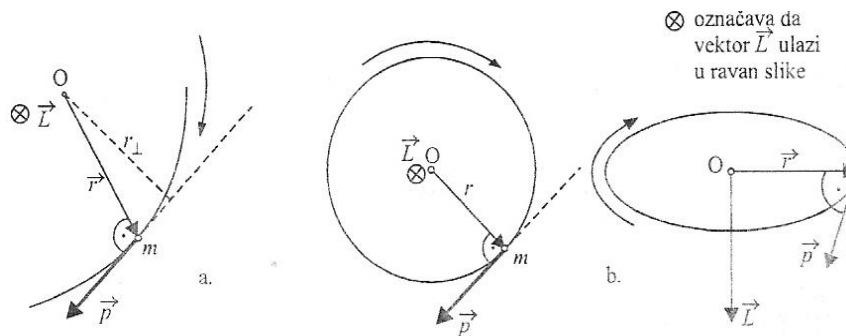
MOMENT IMPULSA

Obrtno kretanje krutog tijela moguće je opisati pomoću momenta impulsa L – fizikalne veličine koja je analogna impulsu p kod translatornog kretanja. Moment impulsa moguće je definirati sasvim općenito, bez obzira na obrtno kretanje.

Intenzitet momenta impulsa materijalne tačke mase m u odnosu na neku tačku O , jednak je proizvodu impulsa $p = m \cdot v$ i normalne udaljenosti tačke O od pravca impulsa (označeno kao r_{\perp} , slici 13).

$$L = pr_{\perp} = mvr_{\perp}$$

Moment impulsa je vektor normalan na ravninu koju čine vektori \vec{r} i \vec{p} , a smjer je određen " pravilom desnog zavrtnja ".



(Slika 15) Moment impulsa materijalne tačke koja se kreće po krivoj liniji (a), po kružnici (b)

OSNOVNI ZAKON DINAMIKE OBRTNOG KRETANJA

Na ovom mjestu ćemo primijeniti formalnu metodu kojom se iz jednadžbi za translatorno kretanje tijela po analogiji mogu dobiti jednadžbe, odnosno, zakoni obrtnog kretanja. Analogija se može uspostaviti između dinamičkih veličina koje opisuju ova dva oblika kretanja:

- masa je mjera tromosti tijela pri translaciji, a moment inercije je mjera tromosti tijela pri obrtnom kretanju ($m \rightarrow I$);
- impuls je dinamička karakteristika translatornog kretanja, moment impulsa je dinamička karakteristika obrtnog kretanja ($p \rightarrow L$);
- sila mijenja stanje translatornog kretanja tijela, moment sile mijenja stanje obrtnog kretanja tijela ($F \rightarrow M$).

Koristeći se ovom analogijom, drugi Newtonov zakon, koji u slučaju translatornog kretanja glasi : $F = \Delta p / \Delta t$, za obrtno kretanje poprima oblik:

$$M = \Delta L / \Delta t$$

i možemo ga iskazati na slijedeći način:

Brzina promjene momenta impulsa tijela jednaka je momentu vanjske sile.

Ovo je osnovna jednadžba dinamike obrtnog kretanja. U odnosu na nepomičnu osu moment inercije krutog tijela je konstantan, pa je promjena momenta impulsa:

$$\Delta L = L_2 - L_1 = I\omega_2 - I\omega_1 = I(\omega_2 - \omega_1) = I \cdot \Delta\omega$$

$$M = I \Delta\omega / \Delta t = I\alpha \text{ ili } \alpha = M / I$$

Znači, ugaono ubrzanje tijela koje se obrće oko nepokretne ose proporcionalno je momentu vanjskih sila koje na njega djeluju, računatom u odnosu na tu osu.

Kada je moment vanjskih sila ($M = 0$), moment impulsa je konstanta kretanja ($L = \text{const.}$). Ovo je poznato kao Zakon održanja momenta impulsa.

Translatorno kretanje		Obrtno kretanje	
pređeni put	Δs	ugaoni pomak	$\Delta\varphi$
brzina	$v = \frac{\Delta s}{\Delta t}$	ugaona brzina	$\omega = \frac{\Delta\varphi}{\Delta t}$
ubrzanje	$a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$	ugaono ubrzanje	$\alpha = \frac{\Delta\omega}{\Delta t}$
masa	m	moment inercije	I
impuls	$p = mv$	moment impulsa	$L = I\omega$
sila	F	moment sile	M
ravnomjerno kretanje	$s = vt$		$\varphi = \omega t$
ravnomjerno promjenljivo kretanje	$v = v_0 + at$ $s = v_0 t + \frac{1}{2} at^2$ $v^2 = v_0^2 + 2as$		$\omega = \omega_0 + \alpha t$ $\varphi = \omega_0 t + \frac{1}{2} \alpha t^2$ $\omega^2 = \omega_0^2 + 2\alpha\varphi$
Osnovni zakoni dinamike	$F = \frac{\Delta p}{\Delta t}$ $a = \frac{F}{m}$		$M = \frac{\Delta L}{\Delta t}$ $\alpha = \frac{M}{I}$
Veze linijskih i ugaonih veličina			
$\Delta s = r \cdot \Delta\varphi, v = \omega r, a_t = r\alpha, a_n = \frac{v^2}{r} = \omega^2 r$			

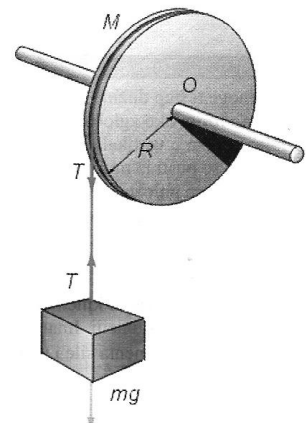
(Tabela 1) Analogija translatornog i obrnutog kretanja krutog tijela

Primjer 2 – Ugaono ubrzanje točka

Točak radijusa R , mase M i momenta inercije I , postavljen je na horizontalnu, glatku osu, kao na slici. Tanki konac obavijen oko točka, drži predmet mase m . Izračunaj linijsko ubrzanje obješenog predmeta, ugaono ubrzanje točka i silu zatezanja konca!

Diskusija:

Moment sile koji djeluje na točak u odnosu na njegovu osu rotacije je $\tau = T \cdot R$, gdje je T sila kojom konac djeluje na rub točka. (Težina točka i normalna sila kojom osa djeluje na točak prolaze kroz osu rotacije i ne daju moment sile!). Pošto je $\tau = I \cdot \alpha$, slijedi da je:



$$\alpha = \frac{T \cdot R}{I} \quad (1) \quad (\text{Slika 16})$$

Sad primjenimo II Newtonov zakon za kretanje predmeta, uzimajući da je smjer nagore-pozitivan:

$$\Sigma F_y = T - m \cdot g = -m \cdot a \text{ i nadimo ubrzanje:}$$

$$a = \frac{m \cdot g - T}{m} \quad (2)$$

Linearno ubrzanje predmeta je jednako tangencijalnom ubrzanju tačke na rubu točka. Ugaono ubrzanje i linearno ubrzanje povezani su relacijom: $a = R \cdot \alpha$. Uzimajući tu činjenicu i relacije (1) i (2), dobijemo:

$$a = R \cdot \alpha = \frac{T \cdot R^2}{I} = (m \cdot g - T)/m \quad (3)$$

$$T = \frac{m \cdot g}{1 + \frac{m \cdot R^2}{I}} \quad (4)$$

Zamjenom (4) u (1) i (2), imamo:

$$a = \frac{g}{1 + \frac{I}{m \cdot R^2}}; \alpha = \frac{g}{R + \frac{I}{m \cdot R}}$$

ZAKLJUČAK

Newtonovi zakoni su područje gdje možemo odmah uočiti krive predkonceptije, veliku pažnju privlače upravo predkonceptije vezane za mehaniku. Zašto je to bitno? Zato što je dobro razumijevanje mehanike temelj razumijevanja svih ostalih zakona fizike.

Predkonceptije vezane za mehaniku su česte iz razloga što su pojave iz ovog dijela fizike bliske pojavama s kojima se učenici susreću u svakodnevnom životu. No, često ono što vidimo nije ispravno.

Oči nas katkad mogu zavarati. Primjerice, gravitacijsku silu ne vidimo, ali ju osjećamo. Otpor zraka također ne vidimo, ali ga možemo doživjeti ako skočimo padobranom. treba skrenuti pažnju na utjecaj nevidljivih sila i na taj način produbiti razumijevanje njutnovske mehanike.

www.maturski.weebly.com

LITERATURA

1. ' FIZIKA sa zbirkom zadataka ' Nada ABASBEGOVIĆ, Rajfa MUSEMIĆ
2. Zbirka zadataka iz fizike 'MEHANIKA' Zinka Šalaka
3. http://bs.wikipedia.org/wiki/Newtonovi_zakoni_kretanja
4. <http://fizika.fpz.hr/download/7%20%20FIZIKA%2061%20-%2070.pdf>
5. http://www.phy.hr/~dandroic/nastava/diplome/drad_ana_rutar.pdf

www.maturski.weebly.com

SADRŽAJ

UVOD	1
ISAAC NEWTON - ISAK NJUTN.	2
NEWTONOVI ZAKONI DINAMIKE.	3
PRVI NEWTONOV ZAKON.	4
INERCIJA. MASA. IMPULS TIJELA.	6
DRUGI NEWTONOV ZAKON – OSNOVNI ZAKON DINAMIKE.	6
TREĆI NEWTONOV ZAKON.	8
DIJAGRAMI SLOBODNOG TIJELA.	9
INERCIJALNI SISTEM REFERENCIJE.	10
SILA TRENJA.	11
STRMA RAVAN.	13
KRUŽNO KRETANJE.	14
ROTACIONO KRETANJE.	16
ZAKLJUČAK.	20
LITERATURA.	21
SADRŽAJ.	22

www.maturski.weebly.com