

DINAMIKA - NEWTONOVI AKSIOMI

Do sada smo činili matematičke pripreme i opisivali razne veličine povezane s gibanjem. Taj se opisni dio često naziva kinematikom. Uopće nismo ulazili u razloge bilo kakvog gibanja. U antičko doba se razvilo razmišljanje o pojavi gibanja koje je bilo opisno. Ono je zadovoljavalo ljudsku radoznalost, ali je bilo suštinski krivo. Glavni protagonist te slike promatrao je brodove u atenskoj luci i donio na prvi pogled očit zaključak. Da bi se plovilo kretalo, potreban je učinak veslanja (to jest neka posebna prisila). Njegovoj pažnji je izbjegla činjenica da se ta prisila troši na svladavanje otpora vode gibanju. Prošao je ogroman vremenski period dok se uz razmišljanje nije pojavilo i mjerenje fizikalnih veličina i uspoređivanje predikcija teorije i objektivne stvarnosti testirane eksperimentom. Jedan od pionira bio je Galilei, no konačni oblik teorije verificirane u svijetu naših dimenzija i pri našim brzinama dao je Newton.

Prvi Newtonov aksiom: Tijelo miruje ili se giba jednoliko po pravcu dok na njega ne djeluje drugo tijelo.

Bile su potrebne tisuće godina da se ovo shvati. Dok je studentu prvi dio očigledan, drugi mu približavamo eksperimentima u kojima je u horizontalno položenim objektima tijelo na zračnom stolu ili zračnoj klupi. To su uređaji koji imaju mnoštvo sitnih otvora kroz koje izlazi komprimirani zrak da bi tijelo držao na zračnom jastuku i tako se bitno umanjilo trenje tijela s podlogom: uzrok radi kojeg tijela u kretanju na kraju bivaju zaustavljena. Astronauti izvan svemirskog broda najbliži su uvjetima u kojima je prvi aksiom očit. Mi živimo u svijetu u kojem je realizacija ovog zakona prikrivena utjecajem sile trenja, koja se opire nastavku gibanja.

Drugi Newtonov aksiom:

Da bismo doista prihvatili drugi Newtonov aksiom moramo oprezno postupiti. Naime u njemu uz akceleraciju koju znamo što znači i kako se mjeri (promjena vektora brzine u jedinici vremena) moramo najprije razumjeti t.j. operativno definirati inercijsku masu tijela. Počinjemo s dnevnim iskustvom. Neka imamo kolica, radi bitnog umanjenja trenja tereta kojeg prevozimo s podlogom. Uzmimo da na kolica stavljamo sve veću i veću količinu istog materijala. Naše iskustvo kaže da i za pokretanje i za zaustavljanje kolica trebamo to veći napor što je više materijala. Ovdje je bitno uočiti da se ne radi o problemu težine tijela, nego jednostavno: što je tijelo masivnije, potrebni je napor veći. Sada možemo prijeći na operativni dio definiranja inercijske mase. Studenti će vidjeti pokus u kojem se među dva identična kolica (istih masa) stavlja opruga koja se komprimira tako da kada ju se oslobodi ona tjera kolica u suprotnim smjerovima. Ta se opruga komprimira i tada se kolica poveže s niti, koja je dovoljno jaka da drži oprugu komprimiranu. Ako kolica miruju i nit se prepali, kolica će krenuti nasuprotno s jednakim brzinama. Sada možemo prijeći na malo drukčije uvjete. Mijenjajmo količine istog materijala na kolicima. Količina materijala se može pratiti volumenom tijela ako se radi o istom materijalu. Eksperimentalno se nalazi slijedeća pravilnost za brzine tijela poslije paljenja niti:

$$\frac{v_1}{v_2} = \frac{m_2}{m_1} \quad (2.1)$$

gdje su indeksi brzina i masa oznake tijela na koje se odnose. Ako masu tijela 1 uzmemo kao definiciju jedinične mase, gornja relacija daje nam operativni postupak za mjerenje mase. Dakle sada imamo operativnu definiciju akceleracije i mase. Drugi Newtonov zakon kaže u jednostavnijoj formi:

$$\vec{F} = m\vec{a} \quad (2.2)$$

gdje je $\vec{F}$ sila koja akceleraciju uzrokuje. Ovo je široko prihvaćen drugi Newtonov aksiom. (ovdje ne ćemo ulaziti u raspravu da li je pojam sile već intuitivno student prihvatio kao uzrok na primjer rastezanja neke mjerne opruge ili pojam sile prihvaća kroz definiciju sile iz ove relacije kao što to radi dio stručnjaka!) Kako ćemo u relativističkim razmatranjima također trebati silu spomenimo da je Newton drugi zakon napisao zapravo ovako:

$$\vec{F} = \frac{d}{dt}(m\vec{v}) \quad (2.3)$$

Ako je masa stalna, dva su izraza naravno identična. Jedinica za silu je Newton (N), koja masi od kilograma daje jediničnu akceleraciju: $1N = kg \cdot m \cdot s^{-2}$ Uređaj za mjerenje sile pomoću rastezanja opruge je dinamometar.

Treći Newtonov aksiom:

Taj aksiom se odnosi na usporedbu sila kojima prvo tijelo djeluje na drugo: $\vec{F}_{1 \rightarrow 2}$ s onom kojom drugo tijelo istovremeno djeluje na prvo: $\vec{F}_{2 \rightarrow 1}$.

Treći Newtonov aksiom kaže:

$$\vec{F}_{1 \rightarrow 2} = -\vec{F}_{2 \rightarrow 1} \quad (2.4)$$

Sile kojima tijela djeluju jedno na druge su po iznosu iste, no suprotnog smisla!

Do identičnog zaključka možemo doći i istovremenim uvažavanjem relacija (1) i (3). Naime u stvarnosti u vektorskom smislu brzine u (1) imaju suprotni smisao stoga modificirana relacija glasi:

$$m_1 \vec{v}_1 = -m_2 \vec{v}_2 \quad (2.5)$$

No na početku su obje brzine bile nula stoga su brzine $\vec{v}_1$ i $\vec{v}_2$ ujedno i promjene brzina dva objekta tokom procesa:

$$\vec{v}_1 \equiv \Delta \vec{v}_1 \quad ; \quad \vec{v}_2 \equiv \Delta \vec{v}_2 \quad (2.6)$$

Uvrštenjem (6) u (5) rezultira s :

$$m_1 \Delta v_1 = -m_2 \Delta v_2 \quad (2.7)$$

Ako se (7) podijeli s proteklom vremenom u kojem se razdvajanje objekata desilo: Δt , dobiva se uz konstantnost masa:

$$\frac{\Delta(m_1 \vec{v}_1)}{\Delta t} = - \frac{\Delta(m_2 \vec{v}_2)}{\Delta t} \quad (2.8)$$

U limesu $\Delta t \rightarrow 0$ relacija (8) prelazi u treći Newtonov aksiom (2.4). Naravno, ovo nije izvod aksioma jer je izvedeno za specijalni slučaj razdvajanja čestica oprugom (vrijedilo bi i za svako razdvajanje bilo kojom silom ali to nismo dokazali za generalni slučaj sudara). Treći Newtonov aksiom naravno vrijedi općenito ali gornja procedura nije općeniti dokaz.

ZAKON SAČUVANJA IMPULSA:

Relacija (2.7) nam je zgodna kao ilustracija sačuvanja impulsa. Naime umnožak mase i vektora brzine objekta je izvanredno važna veličina u fizici. U ovim predavanjima ćemo tu veličinu zvati impulsom objekta. (Stariji autori su to zvali količinom gibanja prema prijevodu s njemačkog.) Anegdotski možemo spomenuti da su čak i neka najfundamentalnija otkrića u nuklearnoj fizici i fizici elementarnih čestica (otkrića neutrina i W bozona) načinjena upravo na temelju primjene zakona sačuvanja impulsa. Uz nepromjenljivost mase možemo relaciju (2.7) napisati i kao:

$$\Delta(m_1\vec{v}_1 + m_2\vec{v}_2) = 0 \quad (2.9)$$

Za sustav na kojeg ne djeluje vanjska sila (ovdje samo dvoja kolica putem opruge djeluju jedna na drugu), zbroj impulsa je stalan, nepromjenljiv, konstantan!

JEDINICE I DIMENZIJE:

Veličina pojedinih fizikalnih fenomena se mjeri to jest uspoređuje s izabranom jedinicom za taj fenomen. Udaljenost (dviju točaka na primjer) morala se mjeriti još od pradavnih vremena kada su se razgraničavali posjedi. Mjerenje se sastoji od procesa ustanovljenja koliko mjerena veličina sadrži iznosa ili frakciju mjernog etalona-jedinice mjerenja. Na primjer na našim prostorima su bile uobičajene mjerne jedinice palac i lakat za duljinu, jutro za površinu i t.d. Danas je globalno prihvaćen internacionalni sustav (SI). U mehanici imamo tri osnovne jedinice iz kojih se sve ostale daju izvesti.

Mjerenje duljine:

U Francuskoj (Sevre) se čuva prauzorak duljine jednog metra. Zatim je otkriven kvalitetniji standard utemeljen na određenom broju valnih duljina crvene svjetlosti ^{86}Kr koji je stabilniji od komada legure platine i iridija, no razmak je zapravo isti. Najnovijastandardizacija počiva na putu koji svjetlost prijeđe u određenom intervalu vremena.

Mjerenje vremena:

Povijesno se sekunda definirala kao određena frakcija srednje astronomske godine. Danas je standard određeni broj vremena titraja cezijevog atoma no to nije izbacilo uobičajenu sekundu iz upotrebe. Samo je ta sekunda preciznije definirana.

Mjerenje mase: Kao jedinica mase od jednog kilograma uzimala se masa uzorka također deponiranog u Sevre-u. Danas se radi potreba povećane preciznosti kao standard uzima masa neutralnog atoma ugljika ^{12}C , s tim da je kilogram i dalje temeljna jedinica, no pravi standard više nije onaj u Francuskoj; poznata je naime relacija jednog kilograma izražena preko mase jednog atoma ugljika.

PRETVORBA MEĐU JEDINICAMA:

Tijekom kolegija Općih fizika klonit ćemo se izražavanja u drugim jedinicama. Ipak je vrlo signifikantno znati kako se vrše pretvorbe jedinica. (Naravno pretvarati se mogu samo jedinice pripadne istoj fizikalnoj veličini; sekunde se ne mogu pretvarati u kilograme!)

Uzorak za sve pretvorbe:

Neka imamo iznos neke veličine u jedinici a ; želimo ga izraziti preko jedinice b . Tada koristimo identitet:

$$a \equiv \frac{a}{b} b \quad (2.10)$$

Znači da na mjestu jedinice a možemo pisati omjer (poznati numerički omjer) jedinica a i b te iza toga jedinicu b . na primjer:

$$1 \text{ sat} = \frac{1 \text{ sat}}{\text{sekunda}} \cdot \text{sekunda} = 3600 \text{ sekundi}$$

Omjeri jedinica su tabelirani u tablicama jedinica. Naravno, ako je neka veličina izražena numeričkim dijelom i jedinicom, da bi se dobio novi numerički dio u novoj jedinici, treba stari numerički dio množiti s omjerom stare i nove jedinice i tada dopisati novu jedinicu. Na primjer:

$$5 \text{ sati} = 5 \cdot \frac{\text{sat}}{\text{sekunda}} \cdot \text{sekunda} = 5 \cdot 3600 \cdot \text{sekunda} = 18000 \text{ sekundi}$$

DIMENZIJSKA (DIMENZIONALNA) ANALIZA :

Ovo je profesionalni ekvivalent pučkom zahtjevu da se „ne miješa kruške i jabuke“.

Naime po prirodi različite fizikalne veličine ne mogu se zbrajati (metri i sekunde) što onda znači da one ne mogu biti izolirani aditivni termi u nekoj jednadžbi. Fizikalna dimenzija veličine ima sličnosti s jedinicom za veličinu, ali je još općenitija. Uzmimo duljinu . Već smo spomenuli neke stare jedinice za duljinu. Kada ne obraćamo pažnju koja je jedinica upotrebljena već samo naznačujemo prirodu veličine (to jest razmak ili udaljenost) veličinu označavamo s L . Slično za vrijeme uzimamo T a za masu M . Tako je dimenzijski udaljenost L , brzina LT^{-1} , akceleracija LT^{-2} i sila MLT^{-2} . Dimenzijska analiza je od velike pomoći pri provjeri ispravnosti izraza koji povezuje fizikalne veličine. Svi individualni aditivni članovi (to jest oni koji se dodaju) moraju imati istu dimenziju. Također dimenzija jedne strane jednadžbe mora biti jednaka dimenziji druge strane!