



Univerzitet u Novom Sadu  
Prirodno – matematički fakultet  
Departman za fiziku



## **RAZVOJ POJMA MEHANIČKE SILE U OSNOVNOM OBRAZOVANJU**

**- diplomski rad -**

Mentor:

Dr. Dušanka Obadović, red. prof.

Kandidat:

Ana Bubalo

2010. god.

## SADRŽAJ

1. Uvod.....	3
2. Istoriski razvoj pojmove vezanih za kretanje i sile.....	4
3. Teorijski deo.....	6
3.1 Mehaničko kretanje.....	7
3.2 Položaj i promena položaja.....	7
3.3 Brzina.....	9
3.4 Ubrzanje.....	11
3.5 Ravnometerno pravolinijsko kretanje.....	12
3.6 Ravnometerno promenljivo pravolinijsko kretanje.....	13
3.7 Primeri ubrzanog kretanja.....	14
3.8 Sila. Njutnovi zakoni mehanike.....	18
3.9 Njutnov zakon gravitacije.....	20
3.10 Težina tela.....	21
3.11 Sila elastičnosti opruge.....	21
3.12 Sile trenja .....	22
3.13 Sila otpora sredine.....	25
4. Razvoj pojmove vezanih za mehaničke sile.....	26
4.1 Uvođenje pojma mehaničke sile.....	26
4.2 Obrada nastavne teme „Kretanje“(VI razred).....	26

4.3 Obrada nastavne teme „Sila. Mehanička sila“ (VI razred).....	28
4.4 Obrada nastavne teme „Sila i kretanje“ (VII razred).....	29
4.5 Obrada nastavne teme „Kretanje tela pod dejstvom sile teže. Sile trenja“ ( VII razred).....	30
5. Jednostavni ogledi,laboratorijske vežbe, testiranja, kvizovi.....	31
5.1 Demonstracioni ogledi.....	31
5.2 Laboratorijske vežbe.....	32
5.3 Kvizovi i testovi.....	35
6. Jednostavni ogledi u nastavi.....	38
6.1 Da li ste u pokretu?.....	38
6.2 Samohodna kutija.....	39
6.3 Šta brže pada.....	40
6.4 Trka tegli.....	41
6.5 Slobodan pad povezanih novčića.....	42
Zaključak.....	44
Literatura.....	45



## **1. UVOD**

U svetu koji nas okružuje postoji mnogo objekata, živih i neživih, na njima se dešavaju raznovrsne promene, koje na neki način utiču jedne na druge. Cilj svake nauke je da uoči i objasni sve bitne elemente neke grupe pojave, nekog segmenta sveta ili života i da utvrdi pravila po kojima se one dešavaju – svaka nauka na neki način sistematizuje, uređuje pojave koje naša čula opažaju.

Sve što oko nas i u nama postoji čini prirodu. Razvoj nauke o prirodi počinje u ranim etapama istorije čovečanstva – čovek je i tada posmatrao šta se dešava oko njega i razmišljao i želeo da sazna zašto se dešava baš na takav način. U drevnoj Grčkoj naziv „nauka“ podrazumevao je sve što se znalo o pojавama na Zemlji, kao i nebeskim telima.

Sticanjem i proširivanjem saznanja tokom vremena izdvajaju se posebne prirodne nauke: astronomija, fizika, biologija, medicina, geografija, geologija...

Fizika, u obliku u kojem je danas izučavamo, počinje da se razvija u XVI i XVII veku: Galileo Galilej (Galileo Galilei, 1564-1642) i njegov sledbenik Isak Njutn (Isaac Newton, 1643-1727) su najznačajnija imena u fizici tog vremena. Zbog nagomilanih otkrića i saznanja od tog perioda se u okviru fizike izdvajaju i razvijaju posebne discipline: mehanika, nauka o topotli, optika.

Kasnije dolazi do otkrića električne struje, potom magnetnog polja i time se razvija elektromagnetizam; stiču se nova saznanja o svetlosnim pojavama i kompletira se optika; potom dolazi do otkrića koja rasvetljavaju samu prirodu svetlosti (pokazuje se da je svetlos elektromagnetne prirode), a najveći doprinos teoriji elektromagnetnog polja i talasa dao je Džems Klark Maksvel (James Clerk Maxwell, 1831-1879).

Tokom XVII, XVIII i XIX veka niz saznanja o prirodnim pojavama sistematizovan je u nauci koju danas nazivamo **klasičnom fizikom**. Krajem XIX veka smatralo se da je fizika potpuno razumela i objasnila prirodu.

Početkom XX veka neki novi eksperimenti ukazuju da klasična teorijska fizika ne može da objasni neke pojave u svetu malih čestica (molekula, atoma ili još manjih), niti zakoni klasične fizike mogu da objasne pojave koje prate kretanje brzinama približnim brzini svetlosti. Od tada počinje novo doba u nauci – buran razvoj **savremene fizike**, kojoj su značajan početni impuls i vrlo veliki doprinos dali Maks Plank (Max Karl Ernst Ludwig Planck, 1858-1947) i Albert Anštajn (Albert Einstein, 1879-1955). U savremenoj fizici klasičnu teoriju zamenile su teorija relativnosti i kvantna fizika koje omogućavaju brz razvoj atomske i molekulske fizike čvrstog stanja, nuklearne fizike, fizike elementarnih čestica.

Reč **fizika** potiče od grčke reči **fizis** (φύσις), što znači priroda. Priroda je sve što nas okružuje, uključujući i nas same, a fizika proučava pravila po kojima se odvijaju svi procesi u prirodi. Priroda je izgrađena od materija. Materija je sve što postoji. Ona postoji objektivno, odnosno nezavisno od naše svesti, a opažamo je čulima. Na današnjem stupnju razvoja fizike smatra se da postoe dva oblika materije: **supstancija i fizičko polje**. Supstancija je ono od čega su sastavljena sva tela, a polje se nalazi oko svakog tela.

Sva tela učestvuju najraznovrsnijim pojavama – mehaničkim, zvučnim, svetlosnim, električnim, topotlim, talasnim, hemijskim.

Svako telo zauzima neki deo prostora i nalazi se u nekom stanju koje ne mora biti stalno – može se menjati nekakvim procesom. Boravak tela u datom stanju traje neko vreme, a i procesi promene stanja odvijaju se tokom vremena. Sve promene materija u širem smislu reči predstavljaju **kretanje**. Prostor, vreme i kretanje su pojmovi koji su neodvojivi od pojma materije.

Fizika izučava:

- najopštije osobine i strukturu materije;
- najopštije oblike promene materija, odnosno kretanje;
- pravila po kojima se pojedina kretanja odvijaju u po kojima su prirodne pojave međusobno povezane.

Učenici se sa pojmovima kretanja i sile upoznaju još u drugom i četvrtom razredu prvog ciklusa osnovnog obrazovanja, zatim svoje znanje proširuju u višim razredima na časovima fizike. Cilj ovog rada je kako i na koji način približiti deci izučavanje mehaničkog kretanja i sila koje utiču na kretanje.

U istorijskom delu su objašnjene razlike između Aristotelove i Njutnove mehanike.

U teorijskom delu razmotreni su osnovni pojmovi koji karakterišu kretanje i mehaničku silu.

U IV delu prikazan je razvoj pojmove vezanih za mehaničke sile, kao i detaljniji pregled dela programa za VI i VII razred, koji sadrži pojmove mehaničkog kretanja i sile.

Demonstracioni ogledi predstavljaju neophodan deo kvalitetne nastave. Zato je posebno istaknut značaj ovih ogleda za časove fizike, u cilju što boljeg razumevanja prirodnih pojava koje fizika proučava.

## 2. ISTORIJSKI RAZVOJ POJMOVA VEZANIH ZA KRETANJE I SILE

Kretanje i uzroke kretanja počeli proučavati još stari Grci. Šta je kretanje i kakav uticaj ima sila na kretanje pokušao je da objasni **Aristotel** (grč. Αριστοτελης ) (384-322g.p.n.e.) , starogrčki filozof i besednik, jedna od najuticajnijih ličnosti u istoriji evropske misli.

Aristotel je bio Platonov (grč.Πλάτων ) učenik, proveo je 20 godina u Atini u Platonovoј akademiji. Od 342-334 g.p.n.e. on je vaspitač Aleksandra Makedonskog (od njegove trinaeste godine), a potom sam otvara školu po ugledu na Platonovu akademiju. Nije se slagao sa Platonovim idealističkim stavovima. Platonov stav je bio: „Pošto su nebeska tela božanska stvorenja, primereno im je samo ravnomerno kružno kretanje.“ Učenje da je zemlja okrugla, ne sledi iz konkretnih fizičkih posmatranja, već do tog zaključka dovodi poimanje savršenosti i

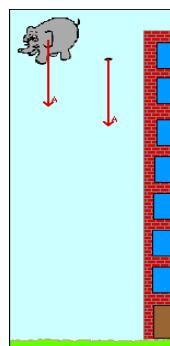
simetrije. Problemi delenja materije definisao je na sledeći način: dokle god se materija može deliti, ona zadržava svoju prvobitnu gtrađu.

Definisao je I Njutnov zakon dinamike, ali samo da bi pokazao absurd postojanja vakuma (i fizički i pojmovno), njegova peripatetična nauka o kretanju koja je deo Aristotelske slike sveta, koči dalji razvoj dinamike.

Prvi zakon – Aristotelov zakon inercije: Kretanje tela prestaje kad prestaje delovajne sile na njega.

Drugi zakon – Aristotelov zakon kretanja: Sila je proporcionalna brzini.

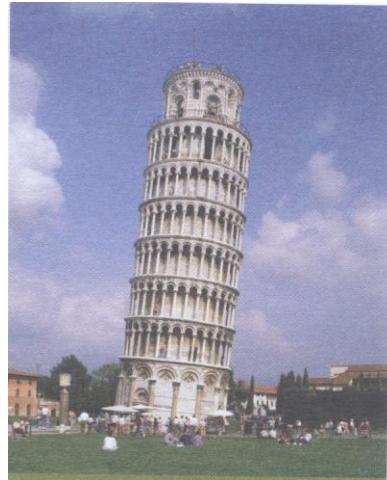
Treći zakon – Aristotelov zakon: Teža tela padaju brže nego lakša tela.



Slika 1. Prikaz padanja tela u vakuumu – sva tela padaju istom brzinom

Aristotel je smatrao da ukoliko je masa tela veća, ona neko rastojanje prelazi za kraće vreme. U Aristotelovim učenjima takođe стоји да је **prirodno stanje tela stanje mirovanja**. Sva tela miruju dok ih neka sila ne primora da то stanje promene. Aristotelov pojам sile ne koristi kao interakciju između tela, već smatra da је sila težnja nekog tela ka svom „prirodnom“ stanju. Zato teža tela padaju brže nego lakša, ona imaju veću težnju prirodnom položaju, ка Земљи.

Aristotelovi zakoni su vekovima kasnije bili neprikošnoveni. Niko nije sumnjao u njihovu ispravnost, niti je nekom palo na pamet da proba da eksperimentalno proveri ove zakone fizike. Sve do Galileja (1564-1642)!



Slika 2. Krivi toranj u Pizi

U XVI i XVII veku, kada je živeo Galilej, nije postojala mogućnost da se eksperimenti izvode u posudama bez vazduha. Galilej je izvodio eksperimente sa kuglama različitih masa istovremeno bacajući ih sa krivog tornja u Pizi (slika 2). Rezultat koji je dobio potvrđio je mišljenje da svi predmeti koji su ispušteni sa iste visine, padaju za isto vreme, bez obzira što su različitih veličina.

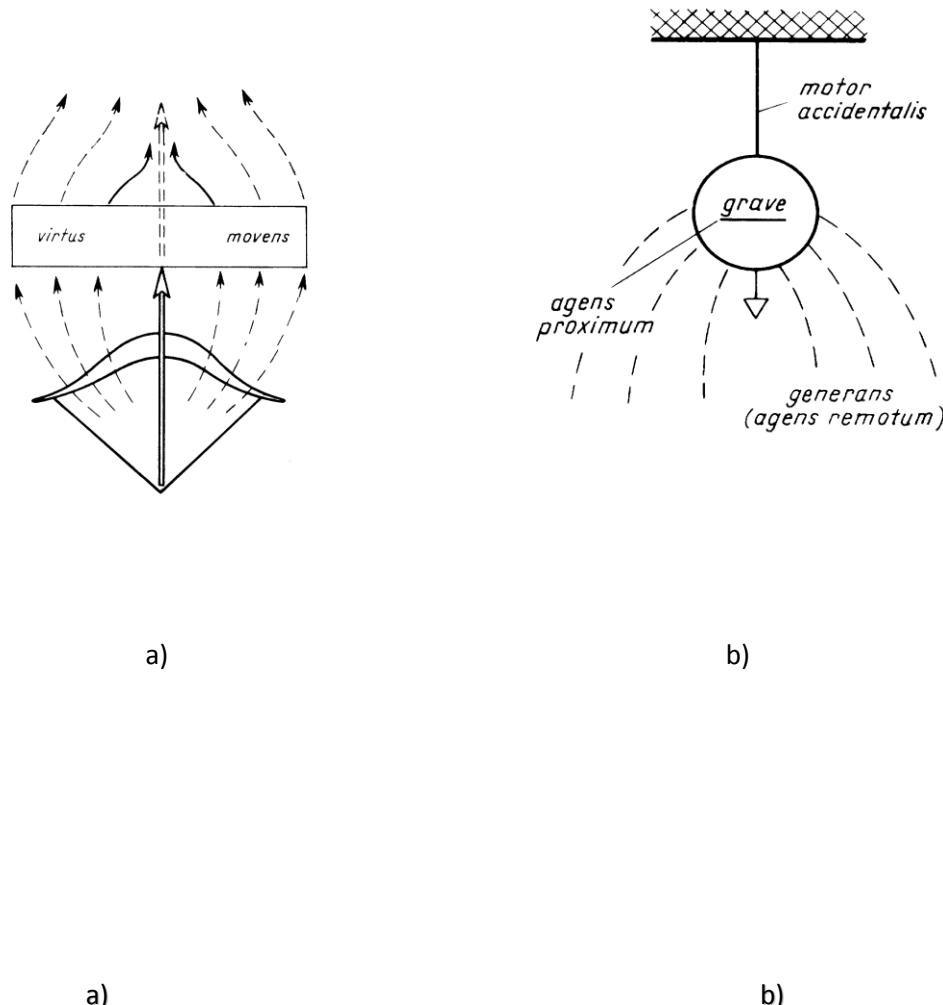
Galilejev ogled je istorijski važan, jer je to prvi eksperiment u fizici. Galilej je uveo u nauku ogled kao konačan dokaz da li je neko predviđanje istinito ili ne.

Aristoteleva nauka o kretanju ( peripatetička nauka ) je smatrala da je kretanje - **proces**, a Njutnova dinamika da je kretanje - **stanje**.

Brzina tela je proporcionalna sili koja na njega deluje, smatrao je Aristotel, ali Njutn je dokazao, da sila je uzrok **promene** stanja kretanja ili mirovanja.

Aristotel: Za **održavanje** kretanja potrebna je sila.

Njutn: Za **promenu** stanja kretanja ili mirovanja potrebna je sila.



Slika 3. Aristotelova škola - šta pokreće stvari? a) dejstvo na blizinu (motor conjunctus) b) dejstvo na daljinu (motor accidentalis)

Aristotel: Ako je  $\vec{F} = 0$  onda je  $\vec{v} = 0$ . Njutn: ako je  $\vec{F} = 0$  onda je  $\vec{v} = \text{const}$ .

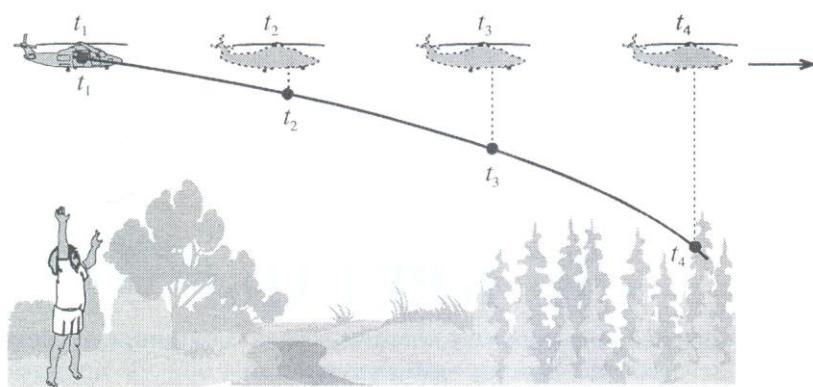
### 3. TEORIJSKI DEO

Deo fizike koji proučava kretanje zove se **mehanika**. U mehanici se mogu izdvojiti dve veće celine: **kinematika**, koja opisuje kretanje tela ne vodeći računa o uzrocima kretanja, i **dinamika**, koja se bavi i načinom kretanja i uzrocima koji dovode do baš takvog kretanja.

Najjednostavniji oblik kretanja je mehaničko kretanje. To je na primer: kretanje automobila, trčanje i kretanje ljudi i životinja, treperenje lišća, kretanje nebeskih tела, premeštanje vazdušnih slojeva putem vetrova i tako dalje. U osnovi toplotnih, električnih, svetlosnih, zvučnih i drugih pojava je mehaničko kretanje molekula, atoma, elektrona ili nekih drugih čestica.

#### 3.1 MEHANIČKO KRETANJE

U svakodnevnom životu zapaža se kretanje raznih tela. Kažemo da se telo kreće, ako menja svoj položaj u odnosu na neko drugo telo. Kretanje je promena položaja tela u odnosu na drugo telo. Kada tala ne menjaju svoj uzajamni položaj, na primer stolica u odnosu na pod, onda se kaže da ona miruju jedna u odnosu na drugo. Ali, s druge strane, putnik na brodu može da miruje u odnosu na brod, brod može da miruje u odnosu na reku, ali se sa vodom kreće u odnosu na obalu. Mirovanje je relativno. Telo u odnosu na koje se posmatra kretanje naziva se **referentno** ili uporedno telo, a sistem koji je vezan za referentno telo je **referentni sistem**.

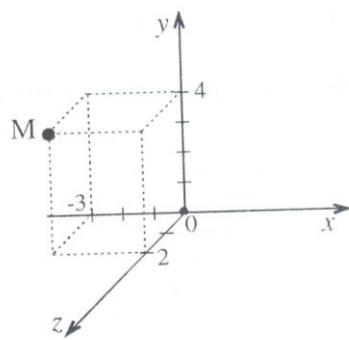


Slika 4. Putanja predmeta bačenog iz helikoptera različita je za dečaka koji ga posmatra sa Zemlje i za pilota

Da bi se lakše proučavalo mehaničko kretanje tela, najčešće je dovoljno posmatrati kretanje jedne njegove tačke. Ako je putanja tela mnogo duža od njegovih dimenzija, onda se telo predstavlja tačkom odnosno **materijalnom tačkom**. Na primer materijalnom tačkom možemo zameniti automobil, brod, avion, i druga tela, pri proučavanju njihovog kretanja u odnosu na površinu Zemlje. **Materijalna (ili masena) tačka je telo čiji se dimenzijske u posmatranom kretaju mogu zanemariti, a u kojoj je koncentrisana sva masa tela.**

### 3.2 POLOŽAJ I PROMENA POLOŽAJA

Za određivanje položaja tela nije dovoljno samo izabrati odgovarajuće referentno telo. Da bi se položaj mogao jednoznačno odrediti, koriste se **referentni sistemi**. Najjednostavniji referentni sistem, koji se u fizici najviše i koristi, jeste **Dekartov** (Rene Descartes, 1596-1650) **pravougli koordinatni sistem**. Njega čine tri međusobno normalne ose, a koordinatni početak vezan je za referentno telo. Položaj materijalne tačke u Dekartovom sistemu sasvim je određen sa tri koordinate **x,y i z**.

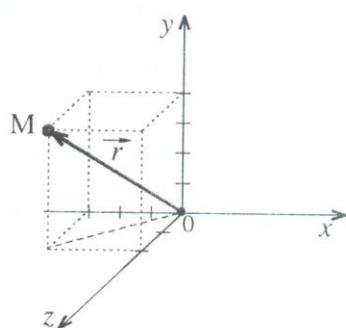


koordinatne ose.

Pri kretanju se menja položaj tela, menjaju se njegove koordinate. U najjednostavnijem slučaju, kada je kretanje pravolinijsko, za određivanje položaja dovoljna je samo jedna koordinatna osa: pravac kretanja možemo „proglasiti”, recimo, x-osom; tada se tokom kretanja menja samo x-koordinata, a druge dve koordinate sve vreme ostaju jednake nuli. Slično tome, za opisivanje kretanja u ravni dovoljne su dve

Slika 5. Položaj materijalne

tačke u Dekartovom sistemu



Svakoj tački u Dekartovom koordinatnom sistemu može se pridružiti vektor  $\vec{r}$ , čiji se početak poklapa sa

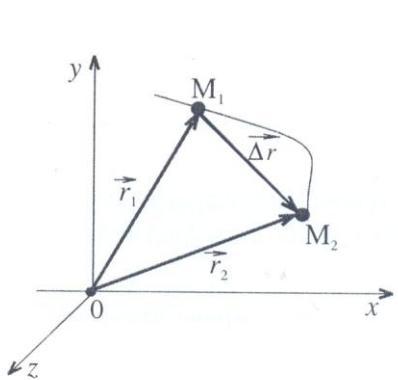
koordinatnim početkom, a kraj sa datom tačkom. Takav vektor jednoznačno određuje položaj date tačke i zato se zove **vektor položaja** (ili **radius – vektor**). **Vektor položaja tačke je vektor, koji spaja koordinatni početak i datu tačku; usmeren je od koordinatnog početka ka dатој таčки.**

Vektor položaja tačke  $M(x,y,z)$  je usmerena dijagonala kvadra čije su stranice  $|x|$ ,  $|y|$  i  $|z|$  (slika 6), pa je intenzitet vektora položaja:

Slika 6. Vektor položaja

$$r = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2} \quad (1)$$

Pri pomeranju materijalne tačke menja se i njen položaj, a veličina kojom se ta promena opisuje, zove se **pomeraj** (ili **vektor pomeraja**). **Pomeraj je vektor koji spaja početni i krajnji položaj tačke; usmeren je od početnog ka krajnjem položaju.** Pomeraj se može izraziti preko vektora početnog i vektora krajnjeg položaja tačke:



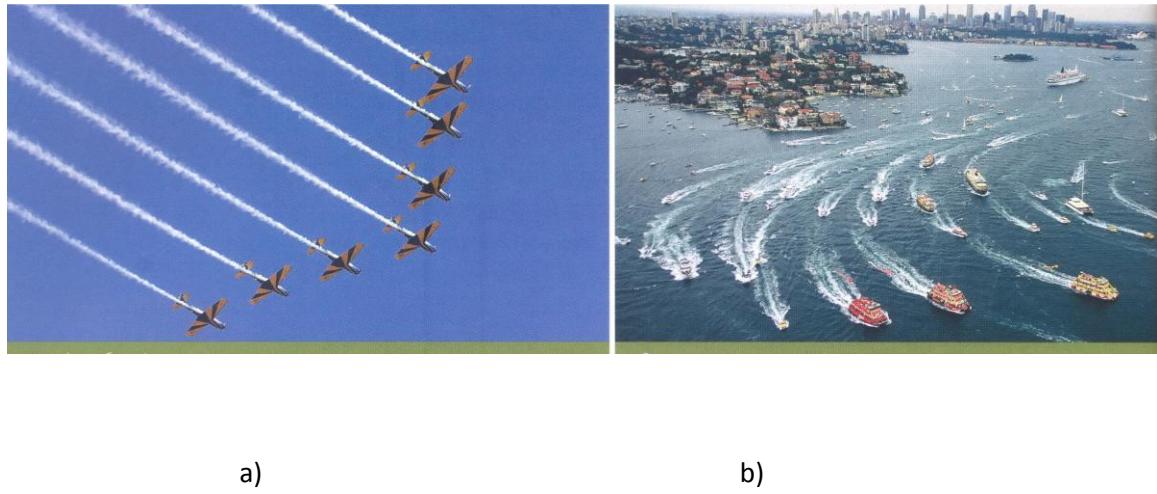
(2)

Ako su  $(x_1, y_1, z_1)$  i  $(x_2, y_2, z_2)$ , redom, koordinate početnog i krajnjeg položaja tačke, intenzitet vektora pomeraja je:

(3)

Slika 7. Vektor pomeraja

Prilikom kretanja materijalne tačke njen položaj se menja, ona ispisuje neku zamišljenu liniju, putanju. Stvarna ili zamišljena linija po kojoj se telo kreće, odnosno koja spaja položaje koje je telo zauzimalo tokom kretanja, zove se **putanja tela**. Po obliku putanje kretanja se dele na **pravolinijska i krivolinijska**. Oblik putanje i pravac kretanja tela takođe su relativni. On zavisi od referentnog sistema iz kojeg se posmatra kretanje.



a)

b)

Slika 8. Oblici putanje:a) pravolinijska; b) krivolinijska

**Pređeni put** je dužina putanje koju telo pređe za određeno vreme (obeležava se  $s$ ). Brojne vrednosti puta mogu biti samo pozitivne. Bez obzira na eventualnu promenu smera kretanja, ukupan pređeni put jednak je zbiru svih dužina puteva pređenih u jednom i u drugom smeru.

U opštem slučaju pređeni put i intenzitet vektora pomeraja nisu isti. Pomeraj je najkraće rastojanje između početnog i krajnjeg položaja, pa u opštem slučaju:

$$\Delta r \leq s. \quad (4)$$

### 3.3 BRZINA

**Brzina** je jedna od bitnih karakteristika kretanja. Brzina je brojno jednak pređenom putu u jedinici vremena.

### **SREDNJA BRZINA**

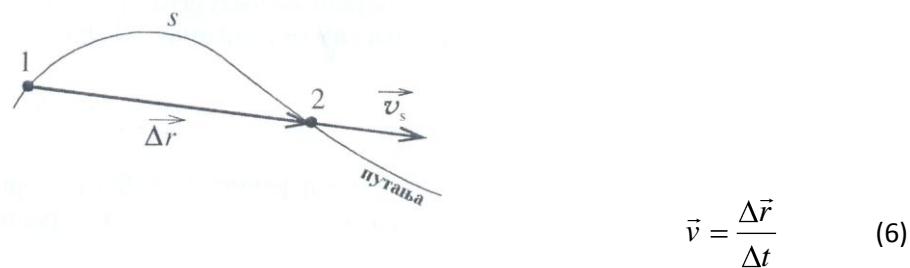
U fizici se definišu dva oblika srednje brzine. Najčešće se pod ovim pojmom podrazumeva prosečna brzina na nekom putu. Ta veličina zove se **srednja putna brzina**. Definisana je formulom:

(5)

gde je  $s$  – put koji telo pređe u toku vremenskog intervala  $t$ .

Dakle, **srednja brzina je količnik pređenog puta i vremenskog intervala utrošenog za prelaženje tog puta**.

Ovako definisana srednja brzina je skalarna veličina. Poznato je, međutim, da je brzina vektorska veličina. U tom smislu srednja vektorska brzina definisiše se na sledeći način: **srednja vektorska brzina je količnik vektora pomeraja i vremenskog intervala u toku kojeg je taj pomeraj napravljen**.



Slika 9. Srednja vektorska brzina

Iz te formule sledi:

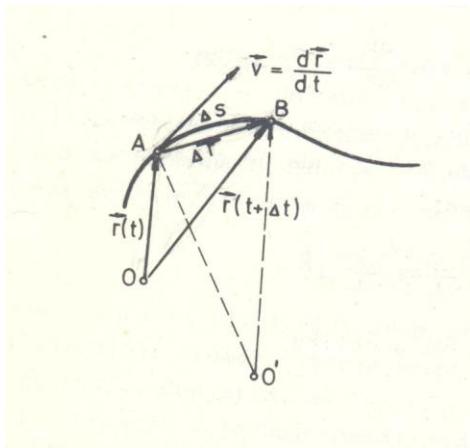
- pravac i smer vektorske brzine isti su kao i pravac i smer vektora pomeraja;
- intenzitet vektorske srednje brzine jednak je količniku dužine pomeraja i proteklog vremena:

$$|\vec{v}_s| = \frac{|\Delta \vec{r}|}{t} \quad (7)$$

U opštem slučaju intenzitet vektora srednje brzine nije jednak srednjoj putnoj brzini. Ove dve veličine jednake su jedino u slučaju pravolinijskog kretanja u jednom smeru.

Jedinica za brzinu je  $\frac{m}{s}$ .

### TRENUTNA BRZINA



Srednja brzina ne govori mnogo o kretanju tela. Ako se ona zna, moguće je samo odrediti koliki put pređe telo tokom datog vremenskog intervala, ali se ne može znati da li se telo sve vreme kretalo tolikom brzinom, ili je kretanje bilo promenljivo i kako se menjalo.  
**Kretanje tela je potpuno poznato, ako se znaju položaj i brzina tela u svakom trenutku.**

**Trenutna brzina je srednja brzina u beskonačno malom vremenskom intervalu:**

(8)

Slika 10. Vektor trenutne brzine

Vektor trenutne brzine ima pravac tangente na putanju.

Prema brzini, kretanja se dele na **ravnomerna i neravnomerna**.

### **3.4 UBRZANJE**

U prirodi i svetu oko nas tela se retko kreću stalnom brzinom. Automobil će se samo na pojedinim delovima puta kretati stalnom brzinom. Prilikom preticanja povećava se brzina, ali se u toku kretanja čak i više puta smanjuje. Dakle, brzina automobila se tokom kretanja menja, pa čak i kada zadržava pravolinijsku putanju. Takva kretanja su neravnomerna kretanja. Ako se brzina tela ravnomođno uvećava (smanjuje) u toku vremena, odnosno raste (smanjuje se) za jednakim iznose, u jednakim vremenskim intervalima, takvo kretanje se naziva **ravnomođno ubrzano (ravnomođno usporeno) kretanje**.

#### **SREDNJE UBRZANJE**

**Srednje ubrzanje je količnik promene brzine i vremenskog intervala u toku kojeg ta promena načinjena.**

(9)

Iz formule sledi da vektor srednjeg ubrzanja ima isti pravac i smer kao vektor promene brzine u datom vremenskom intervalu. U slučaju pravolinijskog kretanja vektor brzine ima stalan pravac, pa taj pravac ima i vektor srednjeg ubrzanja; stoga se formula za srednje ubrzanje može pisati i u skalarnom obliku:

(10)

#### **TRENUTNO UBRZANJE**

**Trenutno ubrzanje je srednje ubrzanje u beskonačno malom vremenskom intervalu.**

(11)

Ako kretanje pravolinijsko, vektor brzine i vektor promene brzine imaju isti pravac – pravac kretanja tela. Prema tome, taj pravac ima i vektor ubrzanja. U tom slučaju izraz za trenutno ubrzanje može se pisati i u skalarmom obliku:

(12)

Jedinica za ubrzanje je  $\frac{m}{s^2}$ .

Što se tiče smera vektora ubrzanja, može se reći sledeće: ako se poveća intenzitet brzine tokom beskonačno malog vremenskog intervala, vektor trenutnog ubrzanja je istog smera kao vektor trenutne brzine; ukoliko se intenzitet brzine smanji, vektor ubrzanja ima suprotan smer od vektora trenutne brzine.

Kod krivolinijskog kretanja za vektor ubrzanja ne može se reći da ima neki određeni pravac, ali može se reći sledeće: vektor ubrzanja u opštem slučaju može se razložiti na dve komponente: jednu u pravcu tangente na putanju i drugu u pravcu normale na tangentu:

(13)

Normalno ubrzanje postoji kada se menja pravac kretanja tela, a tangencijalno ubrzanje postoji kada se menja intenzitet vektora brzine. Intenzitet ukupnog ubrzanja:

(14)

Za poznavanje kretanja tela potrebno je znati sledeće funkcionalne zavisnosti od vremena:

(15)

### 3.5 RAVNOMERNO PRAVOLINIJSKO KRETANJE

Kretanje po pravoj liniji pri kojem telo u jednakim vremenskim intervalima prelazi jednake puteve zove se ravnomerno pravolinijsko kretanje.

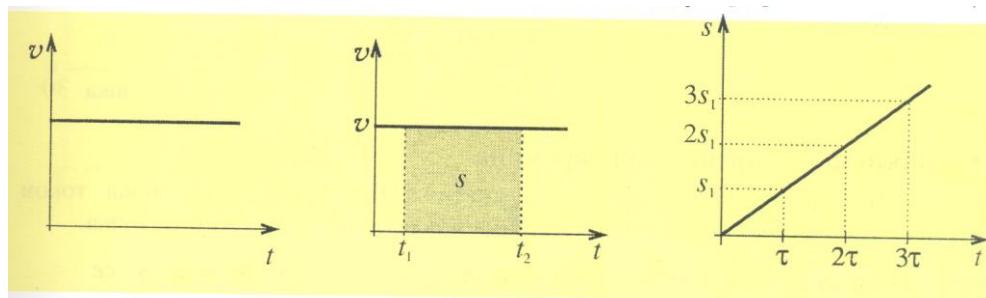
Ovo je najprostiji oblik kretanja. Trenutna brzina kod ravnomernog kretanja je konstantna i jednaka je srednjoj brzini na bilo kom delu puta. Zakon brzne kod ovakvog kretanja je:

(16)

Zakon puta:

(17)

Uobičajeno je u fizici da se kretanja pokazuju grafički:



a)

b)

c)

Slika 11. Grafici zavisnosti:a) brzine od vremena; c) puta od vremena.

b) osenčena površina na slici je jednaka pređenom putu

### 3.6 RAVNOMERNO PROMENLJIVO PRAVOLINJSKO KRETANJE

U mnogim slučajevima telo se kreće po pravoj liniji tako da su u jednakim vremenskim intervalima ima jednake promene brzine. Takvo kretanje naziva se ravnomerno-promenljivo (ili ravnomerno ubzano).

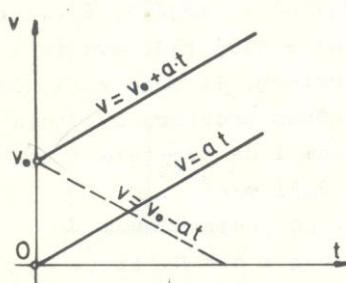
**Kretanje po pravoj liniji pri kojem je ubrzanje konstantno naziva se ravnomerno ubrzano pravolinijsko kretanje.**

Zavisnost brzine od vremena kada vektori ubrzanja i početne brzine imaju isti smer (telo povećava svoju brzinu):

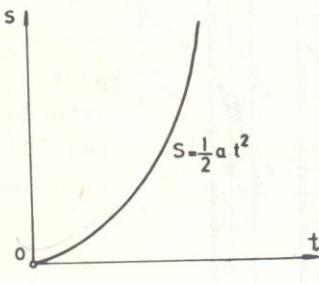
$$v = v_0 + at \quad (18)$$

Ako je vektor ubrzanja suprotno usmeren od vektora početne brzine, onda se intenzitet brzne smanjuje (obično se kaže da je ovakvo kretanje usporeno), tada zavisnost brzine od vremena je:

(19)



a)



b)

Slika 12. Grafici zavisnosti kod ravnomerno promenljivog kretanja: a) brzine od vremena; b) puta od vremena

U slučaju ubrzanog kretanja brzina nije konstantna, menja se tokom vremena. Zato je pređeni put jednak proizvodu *srednje* brzine (aritmetička sredina početne i krajnje brzine) i vremena.

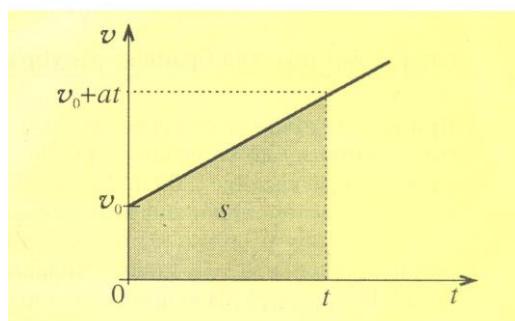
Pri ravnomerno ubrzanom kretanju telo za vreme  $t$  pređe put:

(20)

Pri ravnomerno usporenom kretanju zakon puta izgleda:

(21)

Put koji telo pređe u određenom vremenskom intervalu može se odrediti grafički kao površinu trapeza:



Slika 13. Grafički izračunavanje pređenog puta kod ravnomerno promenljivog pravolinijskog kretanja

### 3.7 PRIMERI UBRZANOG KRETANJA

#### SLOBODNI PAD

Najpoznatiji i najčešće sretani primer kretanja sa konstantnim ubrzanjem je slobodni pad. Pod slobodnim padom podrazumeva se padanje tela bez početne brzine u polju Zemljine teže sa izvesne visine  $H$ . Kako je ubrzanje Zemljine teže,  $\vec{g}$ , konstantno (na malim visinama iznad Zemlje), a putanja prava linija sledi da je slobodan pad pravolinijsko jednako ubrzano kretanje.

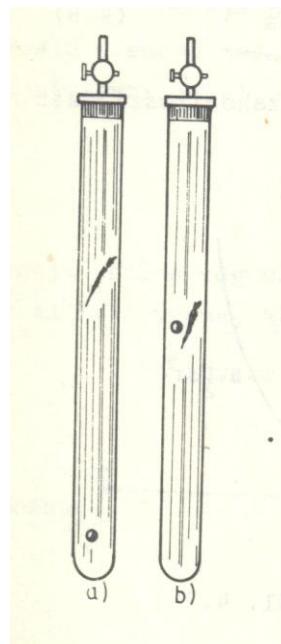
Na sva tela koja slobodno padaju deluje konstantna sila – sila gravitacije. Kako je gravitaciona sila proporcionalna mase tela, to će i ubrzanje biti konstantno i jednako za sva tela (zbog jednakosti gravitacione i inercione mase tela). Ovo na oko očiglednu činjenicu nije bilo lako uočiti, jer zbog delovanja otpora vazduha različita tela padaju različitim brzinama. Ako perce i metalnu kuglu stavimo u staklenu cev (Njutnov ogled) iz koje je izvučen vazduh, zapažamo da u njoj tada sva tela padaju jednakom brzinom (slika 14). Iz toga zaključujemo da u bezvazdušnom prostoru sva tela padaju istom brzinom i da sva tela imaju isto ubrzanje  $g = 9,81 \frac{m}{s^2}$ . Brzinu tela i pređeni put ( $H$ )

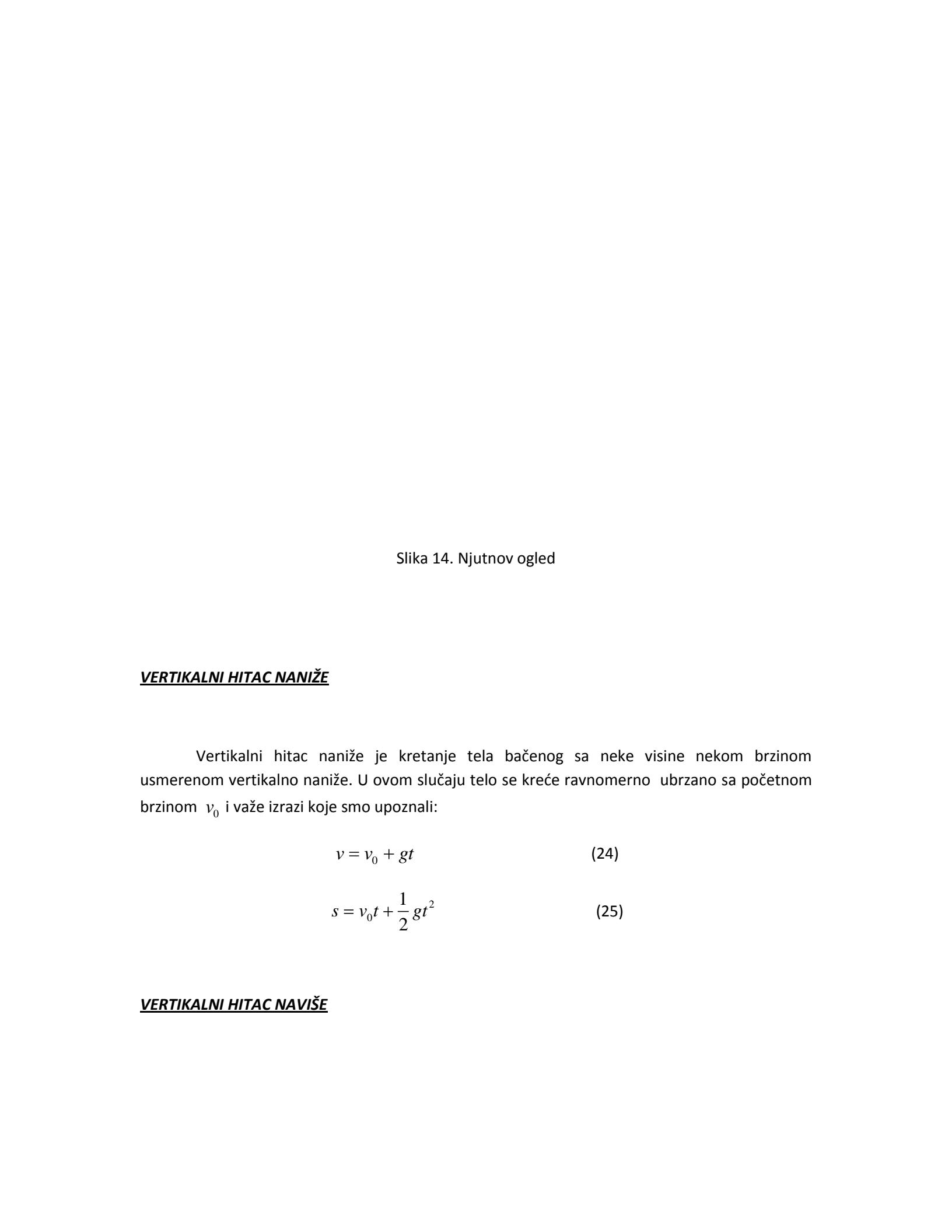
možemo da izračunamo po formuli:

$$v = gt ; H = \frac{1}{2} gt^2 \quad (22)$$

Eliminacijom vremena  $t$  iz jednačina (22) dobija se brzina tela u trenutku udara o Zemlju:

$$v = \sqrt{2gH} \quad (23)$$





Slika 14. Njutnov ogled

### **VERTIKALNI HITAC NANIŽE**

Vertikalni hitac naniže je kretanje tela bačenog sa neke visine nekom brzinom usmerenom vertikalno naniže. U ovom slučaju telo se kreće ravnomerno ubrzano sa početnom brzinom  $v_0$  i važe izrazi koje smo upoznali:

$$v = v_0 + gt \quad (24)$$

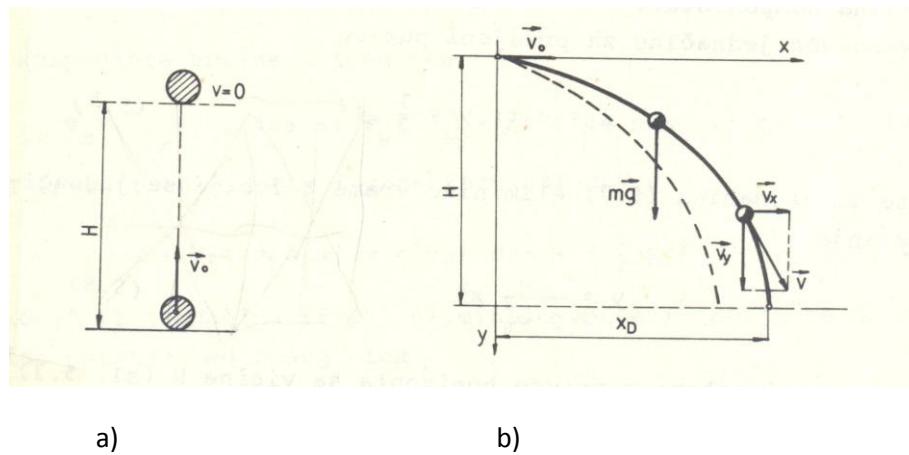
$$s = v_0 t + \frac{1}{2} g t^2 \quad (25)$$

### **VERTIKALNI HITAC NAVIŠE**

Kod vertikalnog hica tela se izbacuje u vis početnom brzinom  $v_0$  (slika 15a). Kako se ovde radi u ravnomernu usporenom kretanju i vektori početne brzine i ubrzanja imaju suprotan smer, pređeni put i brzina posle vremena  $t$  nakon izbacivanje tela su:

$$s = v_0 t - \frac{1}{2} g t^2 \quad (26)$$

$$v = v_0 - gt \quad (27)$$



Slika 15. a) vertikalni hitac; b) horizontalni hitac.

Visina penjanja  $H$  i vreme penjanja  $t$  izračunavaju se iz uslova da je u najvišoj tački putanje brzina tela  $v=0$ . Tada iz prethodnih jednačina sledi:

$$t = \frac{v_0}{g} \quad (28)$$

$$H = \frac{v_0^2}{2g} \quad (29)$$

## HORIZONTALNI HITAC

Kada se telo izbaci sa neke visine nekom početnom brzinom u horizontalnom pravcu (slika 15b), njegovo kretanje naziva se **horizontalni hitac**. To kretanje je složenije od vertikalnog hica, odvija se po krivoj liniji u ravni. Ovakvo kretanje se sastoji od dve komponente:

- ravnomernog pravolinijskog kretanja duž x-ose (horizontalna komponenta),
- ravnomerno ubrzanog kretanja (slobodnog pada) duž y-ose (vertikalna komponenta).

Ogоварајуће jednačine за pređeni put su:

$$x = v_0 t ; \quad y = \frac{1}{2} g t^2 \quad (30)$$

Ako se iz prethodnih jednačina eliminiše vreme  $t$  dobija se jednačina putanja:

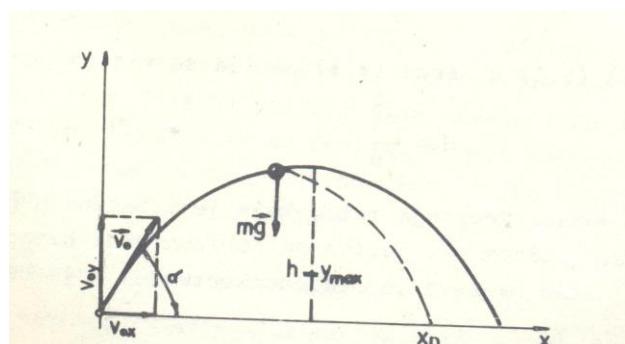
$$y = \frac{g}{2v_0^2} x^2 \quad (31)$$

Ako je telo izbačeno u pravcu horizonta sa visine  $H$  (slika 15b), može se izračunati njegov domet  $x_D$ :

$$x_D = \sqrt{\frac{2v_0^2 H}{g}} \quad (32)$$

Putanja tela izbačenog sa neke visine u horizontalnom pravcu je parabola.

## KOSI HITAC



Kosim hicem naziva se kretanje tela koje je izbačeno početnom brzinom,  $v_0$ , pod oštrim uglom,  $\alpha$ , u odnosu na horizont, u polju Zemljine teže. Ovo

složeno kretanje čija putanja leži u jednoj ravni, može se rastaviti na ravnomerno pravolinijsko kretanje duž x-ose i na ravnomerno usporeno kretanje duž y-ose.

Slika 16. Kosi hitac

Komponente početne brzine su:

$$v_{ox} = v_0 \cos \alpha; \quad v_{0y} = v_0 \sin \alpha, \quad (33)$$

a komponente brzine u trenutku  $t$ :

$$v_x = v_{0x} = v_0 \cos \alpha; \quad v_y = v_{0y} - gt = v_0 \sin \alpha - gt \quad (34)$$

Za vreme  $t$  telo duž x i y-ose prelazi put:

$$x = v_0 t \cos \alpha; \quad y = v_0 t \sin \alpha - \frac{1}{2} g t^2 \quad (35)$$

Ako se iz prethodnih jednačina eleminiše vreme  $t$  dobija se jednačina putanje kod kosog hica:

$$y = xtg\alpha - \frac{g}{2v_0^2 \cos^2 \alpha} x^2 \quad (36)$$

Domet tela  $x_D$  dobija se uvrštavanjem  $y = 0$  u prethodnu jednačinu. Rešenje dobijene kvadratne jednačine koje je različito od nule, daje traženu vrednost dometa:

$$x_D = \frac{v_0^2}{g} \sin 2\alpha \quad (37)$$

Maksimalna visina koju telo dostigne (teme parabole) nalazi se iz uslova  $\frac{dy}{dx} = 0$ :

$$h = y_{\max} = \frac{v_0^2}{2g} \sin^2 \alpha \quad (38)$$

Realno, u slučajevima hica, sila trenja vazduha postoji. Posledica dejstva ove sile na telo u kretanju je deformacija putanje kosog i horizontalnog hica, tako da putanje nisu parabole već takozvane balističke krive, koje su na slici 16 prikazane isprekidanim linijama.

### 3.8 SILA, NJUTNOVI ZAKONI MEHANIKE

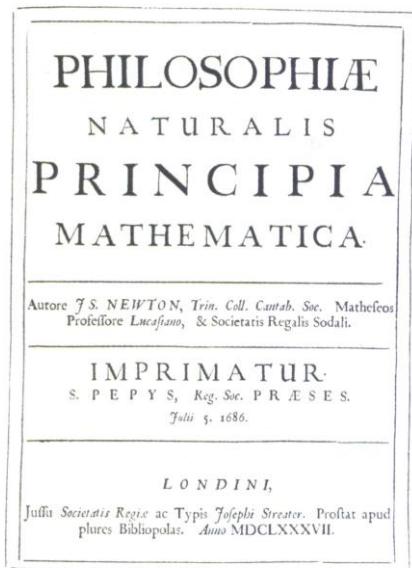
Često, posmatrajući tela koja se kreću, može se videti da telo menja putanju, povećava ili smanjuje brzinu. Šta je uzrok promene kretanja tela i zašto telo se kreće na određeni način? Deo mehanike, koji daje odgovore na takva pitanja, je **dinamika**.

Lopta koja miruje, automobil na parkingu, avion na pisti, gvozdeni kliker na stolu, neće se pokrenuti sami od sebe. Lopta se pokreće udarcem noge, motor koji troši gorivo pokreće točkove aviona, a zatim i sam avion, gvozdeni kliker pokreće ruku, ili ga privlači magnet. Ako lopta udari u stativu, ona menja pravac i brzinu.

Uzajamno ili međusobno delovanje dvaju tela je obostrana i istovremena pojava, jer oba tela istovremeno deluju jedno na drugo, kao što jedna na drugu deluju bilijarske kugle prilikom sudara. To znači da telo neće samo od sebe promeniti brzinu, ili se pokrenuti iz stanja mirovanja. Do toga dolazi isključivo zbog uzajamnog delovanja sa drugim telima. Kada na telo prestane da deluje sila, nema više ubrzanja. Telo od tog trenutka kreće se po inerciji. Na osnovu **I Njutnovog zakona**:

**Svako telo zadržava stanje mirovanja ili ravnomernog pravolinijskog kretanja, sve dok ne interahuje sa drugim telom.**

Interakcija tela može biti jača, ili slabija. Za kvantitativno opisivanje uzajamnog delovanja tela koristi se pojam sile. Sila je mera uzajamnog delovanja tela. Jedinica sile je 1N. Sila je potpuno određena ako pozajmimo njen intenzitet, pravac, smer i napadnu tačku. Dakle, sila je vektorska veličina.

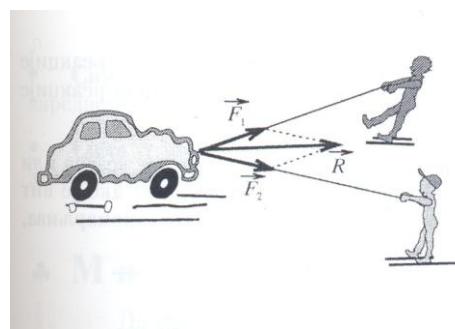


Slika 17. Kopija prve strane knjige Matematički principi filozofije prirode (Philosophiae Naturalis Principia Mathematica)

Prvi Njutnov zakon je obavljen 1687. godine u knjizi Matematički principi filozofije prirode (Philosophiae Naturalis Principia Mathematica).

Ako na telo deluje više pojedinačnih sila, njihova rezultanta određuje se vektorskim sabiranjem:

(39)



Slika 18. Prikaz rezuntante sila koje deluju na automobil

Rezultanta datih pojedinačnih sila je jedna sila, pod čijem bi se dejstvom telo kretalo, isto kao što se kreće kada na njega istovremeno deluju sve te pojedinačne sile.

Osnovni zakon kretanja je II Njutnov zakon koji se naziva i Zakon sile, a glasi:

**Promena impulsa tela u jedinici vremena, proporcionalna je sili i vrši se u pravcu delovanja sile.** Može se prikazati izrazom:

$$\frac{\Delta \vec{p}}{\Delta t} = \vec{F} \quad \text{ili} \quad \frac{\Delta (\cancel{m} \vec{v})}{\Delta t} = \vec{F} \quad (40)$$

odakle sledi da je, ukoliko je masa konstantna, proizvod mase tela i ubrzanja koje ono dobija delovanjem neke sile, jednak sili koja na to telo deluje:

$$\vec{F} = m \vec{a} \quad (41)$$

gde  $\vec{F}$  - resultanta svih sila koje deluju na telo. Dakle, ubrzanje koje pri kretanju dobija jedno telo, srazmerno je intenzitetu sile koja na njega deluje, a obrnuto srazmerno masi tog tela:

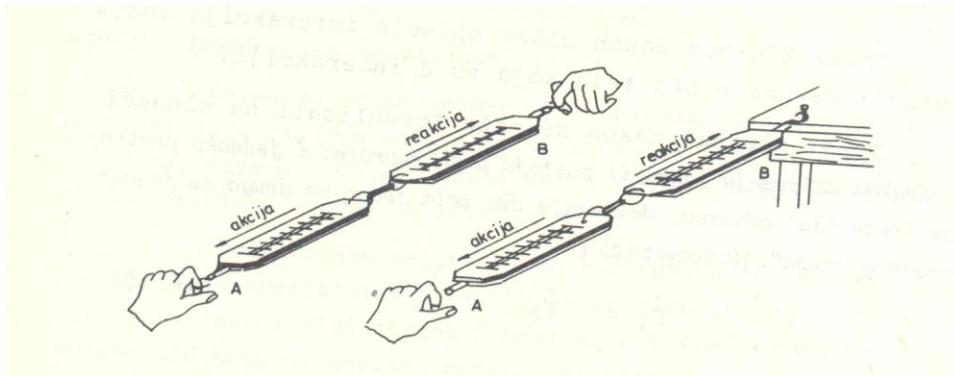
$$\vec{a} = \frac{\vec{F}}{m} \quad (42)$$

Prilikom delovanja jedne sile uvek se javlja i druga sila istog pravca, ali suprotnog smera. Sila kojom prvo telo deluje na drugo naziva se **sila akcije**, a sila kojom drugo telo deluje na prvo naziva se **sila reakcije**.

**Sile kojima tela uzajamno deluju imaju jednake intenzitete, isti pravce, a suprotne smerove.**

Ovakav zaključak poznat je kao III Njutnov zakon.:

$$\overrightarrow{F_A} = -\overrightarrow{F_R} \quad (43)$$



Slika 19. Sile akcije i reakcije

Svi Njutnovi zakoni dinamike važe samo u inercijalnim sistemima. Sistemi referencije u kojima su narušeni Njutnovi zakoni dinamike nazivaju se neinercijalnim sistemima referencije.

### 3.9 NJUTNOV ZAKON GRAVITACIJE

Iz Keplerovih (Johannes Kepler, 1571 – 1630) zakona i Njutnovih zakona kretanja sledi da između Sunca i planete deluje privlačna sila (inače se planeta ne bi mogla kretati po kružnoj, odnosno eliptičnoj putanji). Na osnovu Keplerovih zakona Njutn je zaključio da je ta sila srazmerna masi Sunca ( $M$ ) i masi planete ( $m$ ), a obrnuto srazmerna kvadratu rastojanja ( $r$ ) između njih, odnosno da ima oblik u skalarnom obliku:

$$F = \gamma \frac{Mm}{r^2}, \quad (44)$$

gde  $\gamma$  - gravitaciona konstanta; njena vrednost je  $\gamma = 6,67 \cdot 10^{-11} \frac{Nm^2}{kg^2}$ . Brojnu vrednost gravitacione konstante prvi je izmerio engleski fizičar Kevendiš (Henry Cavendish, 1731-1810).

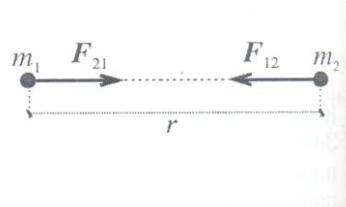
S obzirom na to da se interakcija Sunca i planeta ne razlikuje od interakcija Zemlje i drugih tela, logično je zaključiti da na isti način interaguju i dva kamena, dve bilijarske kugle, bilo

koja dva tela. Izraz za interakciju Sunca i planeta Njutn je uopšto na interakciju proizvoljna dva tela i postavio **zakon gravitacije**. Zakon se može formulisati na sledeći način:

**Bilo koje dve materijalne tačke međusobno se privlače gravitacionom silom; pravac te sile prolazi kroz materijalne tačke; intenzitet je srazmeran masama materijalnih tačaka, a obrnuto srazmeran kvadratu rastojanja između njih:**

$$\vec{F} = \gamma \frac{m_1 m_2}{r^2} \vec{r}_0 , \quad (45)$$

gde su:  $m_1$  i  $m_2$  - mase tela,  $r$  - rastojanje između njih,  $\vec{r}_0$  - jedinični vektor,  $\gamma$  - gravitaciona konstanta. .



Slika 20. Gravitacione sile kojima interaguju dve materijalne tačke.

Gravitaciona sila je najslabija od svih sila koje deluju među česticama u prirodi. Kako gravitaciona konstanta ima vrlo malu vrednost, jasno je zašto tu силу ne zapažamo među telima koja nas okružuju, ta sila ima zanemarljivo mali intenzitet. Zemlja ima toliko veliku masu, da je gravitaciona sila kojom ona privlači telo dovoljno velika da se može izmeriti i osetiti. Isto tako i nebeska tela imaju ogromne mase, pa su gravitacione sile kojima ona interaguju toliko jake da baš one određuju i održavaju njihovo kretanje u vasioni.

Prenosilac gravitacione interakcije je gravitaciono polje. Ono postoji oko svakog tela i ispunjava celokupan prostor. Ono ne deluje neposredno na naša čula, te ga ne možemo na taj način opaziti, ali ga registrujemo na osnovu njegovog delovanja na druga tela.

### 3.10 TEŽINA TELA

Zbog delovanja Zemljine teže sva tela slobodno padaju sa jednakim ubrzanjem. Slobodnom padu tela mogu se suprotstaviti razne prepreke: podloga na kojoj telo stoji, konac, opruga i tako dalje. U tom slučaju telo će na prepreku delovati silom koju nazivamo **težina tela**.

**Sila kojom telo pod dejstvom Zemljine teže deluje na horizontalnu podlogu, ili zateže konac o koji je obešeno naziva se težina tela:**

$$\vec{Q} = m\vec{g} \quad (46)$$

Drugim rečima, težina tela je sila kojoj telo deluje na prepreku koja svojim delovanjem sprečava slobodan pad. Težina tela nije isto što i sila teže: sila teže deluje na telo, težina je sila kojom to telo deluje na podlogu i ne zateže konac na kome je obešeno. U nekim slučajevima te dve sile su, kao vektori, jednaki, ali nekada nisu.

### 3.11 SILA ELASTIČNOSTI OPRUGE

Svaka opruga ima neku „normalnu“ dužinu u stanju u kojem nije deformisana. Kada se ova opruga izduži ili sabije, javlja se **sila elastičnosti**:

$$\vec{F} = -k\vec{x} , \quad (47)$$

gde  $k$  - konstanta elastičnosti,  $\vec{x}$  - vektor pomeraja. Znak minus u (47) pokazuje da vektor pomeraja  $\vec{x}$  i elastična (restituciona) sila  $\vec{F}$  imaju isti pravac ali suprotan smer. Sila elastičnosti zavisi od promene dužine opruge. Uzrok vraćanja u prvobitno stanje (položaj) tela okačenog o oprugu je **elastična sila**.

Izduženje metalne elastične opruge srazmerno je intenzitetu sile koja izaziva njenu deformaciju. Na tom principu izrađeni su dinamometri, koji služe za merenje intenziteta sile bez obzira na njenu prirodu (težina, sila elastičnosti, električna, magnetna ili neka druga sila).

### 3.12 SILE TRENJA

Uzrok smanjenja brzine ili zaustavljanja tela koje se kreće je **sila trenja**. Ona se javlja između dodirnih površina tela (tela i podloge, sredine kroz koju se telo kreće). Uvek ima smer suprotan smeru kretanja tela. Ne zavisi od veličine dodirne površine tela i podloge. Sila trenja zavisi od intenziteta sile kojom telo deluje na podlogu, kao i od hrapavosti dodirnih površina. Samo trenje je vrlo komplikovana pojava i mada može se reći da je trenje posledica delovanja molekularnih sila na površini tela, detaljni mehanizam trenja još nije sasvim poznat. Zavisno od toga da li neko telo klizi ili se kotrlja po površini drugog tela, postoji **trenje mirovanja** (statičko trenje), **trenje klizanja** i **trenje kotrljanja** (dinamičko trenje). Sile trenja vrše rad nad telima smanjujući njihovu energiju:



$$A_{tr} = \vec{F}_{tr} \cdot \vec{s} = -F_{tr} \cdot s \quad (48)$$

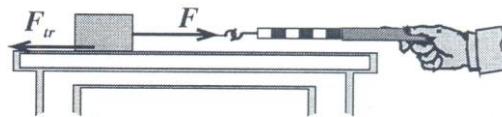
Sila trenja je disipativna sila, koja deo mehaničke energije sistema pretvara u toplotu. Ova toplota se ustvari troši na povećanje kinetičke i potencijalne energije molekula, što znači da se energija prenosi na mikrokretanje sistema, što se makrofizički opisuje kao „gubitak“ mehaničke energije.

Trenje među čvrstim telima naziva se suvim trenjem.

Slika 21. Pokretajne tela

### **TRENJE MIROVANJA**

Trenje se može proučiti jednostavnim ogledom (slika 22). Neka se na stolu nalazi telo koje je vezano za dinamometar. Drugi kraj dinamometra vučemo paralelno sa podlogom. Ako je vučna sila mala, telo se neće pomeriti. To znači da i podloga deluje na telo silom istog intenziteta i pravca u suprotnom smeru – to je sila trenja.



## Slika 22. Sila trenja mirovanja

Povećamo malo vučnu silu – telo opet se ne pomera. Dakle, i sila trenja se isto toliko povećala i opet je, po pravcu i intenzitetu, jednaka vučnoj sili:

$$\vec{F}_{tr} = -\vec{F} \quad (49)$$

Možemo zaključiti: **Sila trenja mirovanja** (ili statičkog trenja) jednaka je po intenzitetu i pravcu, a suprotna po smeru, ukupnoj spoljašnjoj sili koja deluje na telo u pravcu paralelnom podlozi.

Ako se i dalje povećava intenzitet vučne sile, telo će se pri nekoj njenoj vrednosti pokrenuti. To znači da sila trenja mirovanja ima neku maksimalnu vrednost. Sve dok je spoljašnja sila slabija od maksimalne sile trenja mirovanja, tela će biti u relativnom mirovanju (mirovaće jedno u odnosu na drugo). Maksimalna sila statičkog trenja srazmerna je sili normalnog pritiska tela na podlogu (sili normalne reakcije):

$$F_{\max} = \mu_s N = \mu_s mg , \quad (50)$$

gde je:  $N$  – sila normalnog pritiska jednog tela na drugo,  $\mu_s$  - koeficijent trenja mirovanja.

Koeficijent trenja  $\mu_s$  je bezdimenziona veličina čija vrednost zavisi od prirode dodirne površine tela (materijala od kojih su napravljena tela, obrađenosti i čistoće površina). Zbog toga maksimalna sila trenja mirovanja zavisi od hraptivosti dodirnih površina tela i *ne zavisi* od veličine dodirne površine tela sa podlogom.

## TRENJE KLIZANJA

Kada se dva tela kreću jedno u odnosu na drugo, između njih deluju sile trenja. Ukoliko tela klize, onda je to **trenje klizanja**. Pomenuti ogled sa telom i dinamometrom može se koristiti i za merenje sila trenja klizanja: ako se telo pod dejstvom sile  $F$  kreće ravnomerno, onda sila trenja klizanja ima isti intenzitet kao i sila  $F$ , to jest merenje sile trenja klizanja može se svesti na merenje vučne sile pri kojoj se telo kreće ravnomerno. Ogledi pokazuju da i sila trenja klizanja zavisi od sile normalnog pritiska jednog tela na drugo.

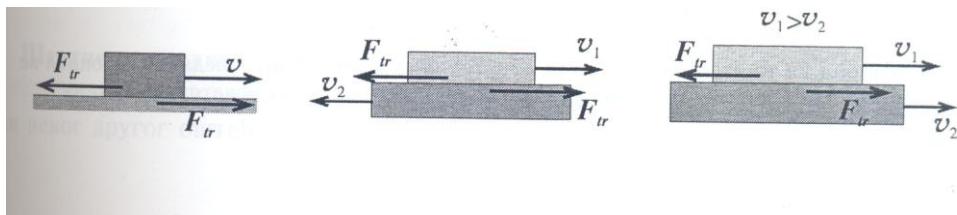
Intenzitet sile trenja klizanja određen je formulom:

$$F_{\max} = \mu_d mg , \quad (51)$$

gde je  $\mu_d$  - koeficijent trenja klizanja.

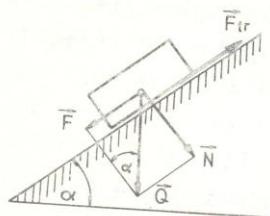
#### Merenja

pokazuju da sile trenja između dva tela nisu iste kada ta tela miruju jedno u odnosu na drugo i kada klize, odnosno koeficijenti trenja mirovanja i trenja klizanja nemaju istu vrednost. Koeficijent trenja zavisi od relativne brzine tela: pri malim relativnim brzinama koeficijent trenja klizanja primetno je manji od koeficijenta statičkog trenja, pri velikim relativnim brzinama raste i vrednost koeficijenta trenja. Zavisnost koeficijenta trenja od relativne brzine tela često nije značajna, pa se obično uzima da koeficijent trenja između dva tela ima konstantnu vrednost (istu pri mirovanju i pri klizanju). Sile trenja deluju na dodirnoj površini dva tela i deluju na svako od tela: ako jedno telo deluje na drugo silom trenja, onda i drugo telo deluje na prvo isto tolikom silom trenja u suprotnom smeru (slika 23).



Slika 23. Sila trenja klizanja

Sila trenja klizanja deluje u pravcu tangente na dodirnu površinu. Ako se telo kreće po nepokretnoj podlozi, sila trenja na telo deluje u suprotnom smeru od smera njegovog kretanja (na podlogu sila trenja deluje u smeru kretanja tela). Ako se tela kreću u suprotnim smerovima, na svako telo sila trenja deluje nasuprot njegovoj brzini. Ako se tela kreću u istom smeru, sila trenja na brže telo deluje u suprotnom smeru od smera kretanja, dok na sporije telo sila trenja deluje u smeru kretanja.



Slika 24. Prikaz sila koje deluju na telo koje se kreće niz strmu ravan

Kada se telo nalazi na strmoj ravni (slika 24), težina tela  $\vec{Q}$  može da se razloži na dve komponente – komponentu  $F = Q \sin \alpha$  u pravcu strme ravni i normalnu komponentu  $N = Q \cos \alpha$ . Na osnovu  $F_{tr} = \mu_d Q$  i  $\mu_d = \frac{F_{tr}}{Q}$  može se napisati da je:

$$F_{tr} = \mu_d N = \mu_d Q \cos \alpha \quad (52)$$

Ako se ugao strme ravni podesi da telo klizi niz strmu ravan stalmom brzinom ( $\vec{v} = const$ ), onda su sile  $\vec{F}$  i  $\vec{F}_{tr}$  u ravnoteži, to jest:

$$Q \sin \alpha = \mu_d Q \cos \alpha \quad (53)$$

ili:

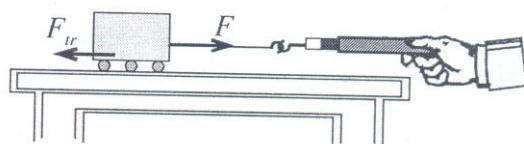
$$\mu_d = \frac{\sin \alpha}{\cos \alpha} = \operatorname{tg} \alpha \quad (54)$$

Izraz (54) omogućuje da se merenjem nagibnog ugla strme ravni odredi koeficijent trenja.

Da bi umanjili uticaj trenja na kretanje tela po podlozi upotrebljavaju se sredstva za podmazivanje. Kad se upotrebni takvo sredstvo, a to je najčešće neko ulje, onda se izloženi zakoni trenja znatno menjaju. Sila trenja nije više nezavisna od veličine dodirne površine, već više zavisi od nje nego od normalnog pritiska. Najčešće se uticaj trenja smanjuje na taj način što se, kad god je to moguće, trenje klizanja zamenjuje trenjem kotrljanja upotrebom valjkastih ili kugličnih ležajeva.

#### **TRENJE KOTRLJANJA**

Ako se jedno telo kotrlja preko drugog bez klizanja, između njih deluje sila trenja kotrljanja. Pomenuti ogled sa telom i dinamomerom može se malo modifikovati kako bi se ispitivalo i trenje kotrljanja (slika 25): ako se telo postavi na nekoliko oblih olovaka, za održavanje stalne brzine njegovog kretanja biće potrebna znatno slabija vučna sila od one pri klizanju. Pri klizanju, neravnine jednog tela zadiru u neravnine drugog tela, dok se pri kotrljanju one samo dodiruju. Zbog toga je koeficijent trenja kotrljanja manji od koeficijenta trenja klizanja, pa je *i sila trenja kotrljanja manja od sile trenja klizanja*.



Slika 25. Prikaz sila koje deluju na telo prilikom kotrljanja

Ogledi pokazuju da je i sila trenja kotrljanja srazmerna sili normalnog pritiska jednog tela na drugo, a obrnuto srazmerna poluprečniku kotrljajućeg tela.

### 3.13 SILA OTPORA SREDINE

Kada se tela kreću, bilo kroz gasovitu, bilo kroz tečnu sredinu, na svom putu nailaze na molekule sredine, usled čega se javlja otpor kretanju kroz tu sredinu. **Otpor sredine** je sila kojom se sredina suprotstavlja kretanju tela kroz nju.

Mnogobrojna merenja su pokazala da intenzitet sile otpora sredine zavisi od:

- gustine sredine

- brzine kretanja
- čeone površine tela
- oblika tela.

## **4. RAZVOJ POJMOVA VEZANIH ZA MEHANIČKE SILE**

### **4.1 UVODENJE POJMA MEHANIČKE SILE**

Sa pojmom kretanja i pojmom mehaničke sile učenici se upoznavaju još u nižim razredima na časovima predmeta Svet oko nas, Priroda i društvo kao i izbornog predmeta Ruka u testu. Uvode se pojmovi brzine kretanja, pređenog puta, uočavaju se razlike između pravca i smera kretajna, na časovima se izvode ogledi vezani za uvođenje pojma brzine tela kao posledice delovanja sile na telo (jače ili slabije zategnuta opruga). Uočavaju razliku između različitih načina kretanja (klizanja i kotrljanja). U IV razredu učenici se upoznaju sa kretanjem po glatkoj i hrapavoj podlozi (silom trenja), upoređuju brzine kretanja istih tela na različitim podlogama i upoređuju brzine kretanja različitih tela na istim podlogama.

Pojmovi gravitacione sile i padanja tela, takođe se uvode u IV razredu prvog ciklusa osnovnog obrazovanja. Usvajaju se znanja o brzini padanja tela, o delovanju otpora vazduha prilikom padanja tela, uočavaju se odnosi između brzine padanja tela, oblika tela i sredine kroz koju se telo kreće (ogled sa papirom i gumenom lopticom).

U drugom ciklusu osnovnog obrazovanja, pojmovi kretanja i mehaničke sile detaljnije se proučavaju u VI i VII raredu na časovima fizike.

### **4.2 OBRADA NASTAVNE TEME „KRETANJE“ (VI RAZRED)**

Za obradu ove teme planom i programom je predviđeno 14 časova. Od toga je 6 časova odvojeno na obradu novog gradiva, 7 časova na utvrđivanje gradiva i 1 čas laboratorijske vežbe.

Operativni zadaci:

Učenik treba da:

- usvoji osnovne predstave o mehaničkom kretanju,
- upozna veličine koje karakterišu ravnomerno pravolinijsko kretanje (put, vremenski interval i brzinu),
- koristi jedinicu za brzinu u SI,
- ume da izmeri i izračuna stalnu brzinu.

#### SADRŽAJI PROGRAMA

Referentno telo. Pojam materijalne tačke. Pojam o mehaničkom kretanju. Relativnost kretanja. (2+2).

Stalna brzina ravnomernog parvolinijskog kretanja (jedinica brzine).

Vektorska priroda brzine — relativnost kretanja. Grafik puta u funkciji vremena. Promenljivo pravolinijsko kretanje, srednja brzina. (4+5).

Demonstracioni ogledi:

Kretanje mehura vazduha u dugačkoj staklenoj cevi sa vodom. Kretanje kuglice po Galilejevom žlebu.

#### Laboratorijske vežbe:

1.Određivanje stalne brzine ravnomernog pravolinijskog kretanja (kretanje kugle po horizontalnoj ravni ). ( 1 ).

U ovoj tematskoj celini obrađuju se osnovni pojmovi: materijalna tačka, referentno telo i putanja, a od veličina, put, stalna brzina i srednja vrednost brzine.

#### **Materijalna tačka:**

Učenici treba da shvate da je materijalna tačka model (idealizacija) tela čijom se primenom znatno pojednostavljuje opisivanje njegovog kretanja. To se, pre svega, odnosi na matematičko prikazivanje kretanja tela.

Reč „model“ možda zбуjuje učenike. Da bismo to izbegli podsetićemo ih na njihove igračke iz detinjstva. Svaka od tih igrački je model nekog realnog objekta, predmeta ili živog bića.

#### **Referentno telo:**

O položaju, pa prema tome i o promeni položaja može da se govori samo ako se odredi drugo telo, **referentno telo** u odnosu na koje se posmatra položaj odnosno kretanje tog tela.

Odabranom referentnom telu pridružuje se odgovarajući koordinatni sistem. Za određivanje položaja tela uglavnom se koristi Dekartov pravougli koordinatni sistem. Ako su sa njim upoznati učenici VI razreda u okviru matematike, onda ga treba koristiti i za opisivanje kretanja tela.

#### **Putanja:**

Kao primer za putanju tela mogu da se navedu: trag olovke po papiru, krede po tabli, automobilskih guma po pesku, svetleći trag meteora koji se može uočiti noću.

Putanja istog tela u odnosu na razna referentna tela može da ima različite oblike. O putanji tela ima smisla govoriti samo u odnosu na dato referentno telo, referentni sistem. Znači, **oblik putanje tela je relativan**.

#### **Put:**

Deo putanje koje telo (materijalna tačka) pređe u određenom intervalu vremena naziva se put. Vrednosti puta su uvek pozitivne. Na primer, ako atletičar četiri puta obide stazu na fudbalskom igralištu (vrati se u početni položaj), njegov put nije jednak nuli, već je jednak četvorostrukom obimu staze. Ili, ako telo pređe po pravoj putanji 100 m u jednom smeru, a zatim se po istoj putanji vrati u početni položaj, pređeni put je 200 m.

#### **Ravnomerno pravolinijsko kretanje tela**

Treba skrenuti pažnju učenicima da u prirodi ima malo takvih kretanja. Primer je vožnja po pravom i ravnom delu autoputa.

### **Brzina tela u slučaju ravnomernog pravolinijsko kretanje tela:**

Brzina je jedna od bitnih karakteristika kretanja tela. Bez ove veličine ne može se zamisliti kvalitativno i kvantitativno opisivanje kretanja tela.

**Srednja brzina.** U nastavnoj praksi i ugalavnom u udžbeničkoj literaturi pogrešno se operiše pojmom **srednja brzina**. Na tome nam opravdano zameraju i matematičari. Fizičari su navikli na taj pojam i prećutno ga prihvataju, ne razmišljajući da on nema ni fizičkog, ni matematičkog smisla. Svi znamo da je brzina vektorska veličina (vektor). Ima li smisla govoriti o srednjem vektoru? Složićemo se da je to besmisleno. Kako odrediti srednji pravac i srednji smer brzine? Nemoguće! Zato predlažemo, da srednju brzinu nazovemo pravim imenom: **srednja vrednost brzine**. Može se reći i „srednji intenzitet brzine“. Prvi naziv je nekako bliži učenicima VI razreda. Svako od nas fizičara pod nazivom **srednja brzina** upravo i podrazumeva **srednju vrednost brzine**.

Nakon toga može se reći da je srednja vrednost brzine – veličina o čijem pravcu i smeru nema smisla govoriti, odnosno **srednja vrednost brzine je skalarna veličina**.

### **4.3 OBRADA NASTAVNE TEME „SILA. MEHANIČKA SILA“**

#### **(VI RAZRED)**

#### **OPERATIVNI ZADACI:**

Učenik treba da:

- na osnovu pojava uzajamnog delovanja tela (odbijanja, privlačenja, deformacija, promene kretanja) shvati silu kao meru uzajamnog delovanja tela koja se meri dinamometrom,
- ume da izmeri silu dinamometrom,
- koristi jedinicu sile u SI,
- zna da je sila vektorske prirode.

#### **SADRŽAJI PROGRAMA:**

Uzajamno delovanje tela (čestica) u prirodi (gravitaciono, elastično, delovanje pri trenju i pri dodiri glatko ispoliranih površina tela ).

Kvalitativno uvođenje pojma sile.

Merenje sile dinamometrom – jedinica sile. Vektorska priroda sile.

Demonstracioni ogledi: slobodan pad tela.

### **Obrada nastavne jedinice „Uzajamno delovanje tela“:**

Pre uvođenja pojma **sile**, posebno s metodičkog i didaktičkog stanovišta, učenici treba da upoznaju uzajamno delovanje tela (uopšteno na kvalitativnom novou). Uzakati i ogledima potvrditi da uzajamno delovanje tela izazivaju dva osnovna efekta: dolazi do promene kretanja, odnosno brzine tela ili do njegove deformacije (promene oblika i dimenzija). Za proučavanje promene kretanja tela u toku vremena koje nastaje pri uzajamnom delovanju tela najčešće se koriste kolica koja uzajamno deluju posredtvom sile elastičnosti opruge.

Uzajamno delovanje (koje u stvarnosti samo i postoji) može da „pređe“ u delovanje samo u slučaju kad se delovanje jednog tela toliko opaža da se ispoljavanje delovanja drugog tela može praktično i zanemariti (iako su vrednosti tih delovanja jednak, ali su suprotno usmerena). U tom slučaju može da se kaže da jedno telo deluje na drugo telo; tada je pojam **sila** potpuno opravдан. Na primer, na telu koje slobodno pada deluje Zemljina teža (Zemlja), a i telo koje slobodno pada deluje na Zemlju (uzajamno delovanje- jednak po intenzitetu i pravcu, ali suprotnih smerova). Međutim, delovanje tela na Zemlju toliko se malo ispoljava da ga Zemlja i ne „oseća“ i ono se u datom slučaju može praktično zanemariti. Ovde je opravdano reći da na telo deluje Zemljina teža. Dakle, uzajamna delovanja tela svedena su na delovanje Zemlje na telo koje slobodno pada. Često se kaže da na telo koje slobodno pada deluje sila Zemljine gravitacije.

Od izuzetnog je značaja da učenici shvate da je sila vektorska veličina mada se pojam vektora u VI razredu ne obrađuje. Međutim treba im objasniti da silu karakteriše: intenzitet (brojna vrednost ili jačina), pravac i smer. Pored toga, sila ima napadnu tačku u kojoj je „koncentrisano“ delovanje sile. Označava se obično sa  $\vec{F}$ , gde strelica iznad simbola ( $\vec{F}$ ) označava da je sila vektorska veličina.

Nastavnici treba da imaju na umu da su sile elastičnosti i trenja fenomenološki uvedeni pojmovi. Po sadašnjem shvatanju fizike, u prirodi, preciznije u mikrosvetu postoje samo četiri osnovne interakcije (sile i to: gravitaciona, elektromagnetna, jaka i slaba nuklearna sila. Dakle, može se učenicima reći da su pomenute fenomenološke sile zapravo električne prirode!

#### **4.4 OBRADA NASTAVNE TEME „SILA I KRETANJE“**

##### **(VII RAZRED)**

Planom i programom je predviđeno 25 časova: 9 časova obrade novog gradiva, 14 časova utvrđivanja gradiva i 2 laboratorijske vežbe.

Ciljevi i zadaci:

- Usvajanje osnovnih predstava o promenljivom kretanju
- Razlikovanje skalarnih od vektorskih veličina
- Poznavanje karakteristika promenljivog kretanja
- Primena osnovnih zakona mehanike – Njutnovih zakona
- Sticanje bazične naučne i funkcionalne pismenosti
- Razvijanje logičkog i apstraktnog mišljenja

Sadržaji programa:

- Obnavljanje dela gradiva iz šestog razreda koje se odnosi na ravnomerno pravolinjsko kretanje, silu kao uzrok promene stanja tela i inertnost tela. ( 0 + 2 )
- Sila kao uzrok promene brzine tela. Pojam ubrzanja. ( 1 + 1 )
- Uspostavljanje veze između sile, mase tela i ubrzanja. Drugi Njutnov zakon. (1+2)
- Dinamičko merenje sile. ( 0 + 1 )
- Ravnomerno promenljivo pravolinjsko kretanje. Intenzitet, pravac i smer brzine i ubrzanja. ( 1+ 1 )
- Trenutna i srednja brzina tela. ( 0 + 1 )

- Zavisnost brzine i puta od vremena pri ravnomerno promenljivom pravolinijskom kretanju.  
( 2 + 2 )

- Grafičko prestavljanje zavisnosti brzine i puta od vremena kod ravnomernog pravolinijskog kretanja. Grafičko predstavljanje zavisnosti brzine tela od vremena kod ravnomerno promenljivog pravolinijskog kretanja. ( 2 + 2 )

- Međusobno delovanje dva tela – sila akcije i reakcije. Treći Njutnov zakon. Primeri. ( 1+1 )

- Sistematisacija i obnavljanje gradiva. ( 0 + 2 )

#### Demonstracioni ogledi:

Ilustrovanje inercije tela pomoću papira i tega. Kretanje kuglice niz Galilejev žleb. Kretanje tela pod dejstvom stalne sile. Merenje sile dinamometrom. Ilustrovanje zakona akcije i reakcije pomoću dinamometra i kolica, kolica sa oprugom i drugih ogleda (reaktivno kretanje balona i plastične boce).

#### Laboratorijske vežbe:

1. Određivanje stalnog ubrzanja pri kretanju kuglice niz Galilejev žleb. ( 1 )
2. Provera Drugog Njutnovog zakona pomoću pokretnog tela (kolica) ili pomoću Atvudove mašine. ( 1 )

### **4.5 OBRADA NASTAVNE TEME „KRETANJE TELA POD DEJSTVOM SILE**

#### **TEŽE. SILE TRENAJA” (VII RAZRED)**

Za obradu ove tematske jedinice predviđeno je 12 časova. Od toga 4 časa obrade novog gradiva, 6 časova utvrđivanja i 2 časa laboratorijskih vežbi.

Ciljevi i zadaci:

- Sticanje i znanje pojma o gravitaciji
- Razlikovanje sile teže i težine tela (bestežinsko stanje)
- Upoznavanje sile trenja
- Formiranje naučnog pogleda na svet
- Razvijanje sposobnosti za aktivno sticanje znanja kroz istraživanje

Sadržaji programa:

- Ubrzanje pri kretanju tela pod dejstvom sile teže. Galilejev ogled. ( 1 + 0 )
- Slobodno padanje tela, bestežinsko stanje. Hitac naviše i hitac naniže. ( 1 + 2 )
- Sile trenja i sile otpora sredine ( trenje mirovanja, klizanja i kotrljanja ). Uticaj ovih sila na kretanje tela. ( 2 + 2 )
- Sistematisacija i obnavljanje gradiva. ( 0 + 2 )

Demonstracioni ogledi:

Slobodno padanje tela različitih oblika i masa (Njutnova cev, sloboden pad vezanih novčića..). Padanje tela u raznim sredinama. Bestežinsko stanje tela (ogledi sa dinamometrom, s dva tega i papirom između njih, sa plastičnom čašom koja ima otvor na dnu i napunjena je vodom). Trenje na stolu, kosoj podlozi i sl. Merenje sile trenja pomoću dinamometra.

Laboratorijske vežbe:

1. Određivanje ubrzanja tela koje slobodno pada. ( 1 )
2. Određivanje koeficijenta trenja klizanja. ( 1 )

## **5. JEDOSTAVNI OGLEDI, LABORATORIJSKE VEŽBE, TESTIRANJA I KVIZOVI**

### **5.1 DEMONSTRACIONI OGLEDI**

Eksperimentalni rad u nastavi fizike ima veliki obrazovni i vaspitni značaj. Kroz taj rad se konkretnije, verifikuje i dovodi do nivoa primene teorijsko znanje, koje je samo za sebe formalno, pasivno i apstraktno. Eksperiment karakteriše visok stepen očiglednosti i pedagoške efikasnosti i znatno doprinosi unapređivanju radne i tehničke kulture. Nije preterano tvrditi da je u savremenom svetu čovek bez elementarne tehničke kulture – polupismen.

Na nivou osnovne škole postoje razni oblici fizičkog eksperimenta:

- demonstracioni ogledi (kvalitativni i kvantitativni);
- frontalni ogledi;
- eksperimentalni zadaci;
- laboratorijske vežbe;
- eksperimenti u okviru vannastavnih aktivnosti.

**Demonstracioni ogledi** izvode se na redovnim časovima nastave fizike. Oni su tesno povezani sa nastavnim gradivom koje se obrađuje.

Demonstracioni ogledi moraju biti dobro pripremljeni, ubedljivo i pregledno izvedeni, posebno oni kvantitativnog sadržaja. U protivom, može da se kompromituje uloga ogleda u nastavnom procesu, a dobrim delom i rad nastavnika.

Ogledi i laboratorijske vežbe podrazumevaju upoznavanje i upotrebu raznih instrumenata i uređaja za merenje vrednosti fizičkih veličina. To znatno doprinosi dubljem u potpunijem shvatanju određenih odnosa i veza između fizičkih objekata, pojava i njihovih zakona. Na taj način učenici dolaze do dubljeg, zrelijeg i trajnijeg znanja.

Kod kvalitativnog demonstracionog ogleda učenik ima mogućnost da neposredno posmatra svojstva tela i prati tok pojave. Na osnovu zapažanja, on donosi određene zaključke. Na primer, kod demonstriranja inertnog svojstva tela, učeniku nije teško da konstatuje da su lakše prazne sanke nego opterećene ili da je lakše pokrenuti bilijarsku kuglu nego bilijarski sto.

Zaključuje se da opterećena kolica (bilijarski sto) teže menjaju stanje kretanja, odnosno da su „tromija” (inertnija) nego prazna kolica (bilijarska kuglica).

Na osnovu toga, učenika nije teško ubediti da inertnija tela imaju veću masu i obratno.

Znači, **masa je mera inertnosti tela**.

Ako je u ogledu, pored posmatranja, zastupljeno i merenje vrednosti neke fizičke veličine, onda je reč o **kvantitativnom demonstracionom ogledu**.

## 5.2 LABORATORIJSKE VEŽBE

Laboratorijske vežbe u nastavi fizike su od posebnog značaja. One su najkompletniji eksperiment u nastavi fizike koji učenici izvode samostalno. Prilikom njihovog izvođenja oni se osposobljavaju da samostalno vrše eksperiment kako bi konkretizovali i proverili ranije stečeno teorijsko znanje. U laboratorijskim vežbama učenici na direkstan način proveravaju određene zakone, teorijske stavove i zaključke. Izvođenje takvih eksperimenata nužno predpostavlja i odgovarajuća nastavna sredstva. Stoga je laboratorijska vežba i prilika da učenici ne smao provere svoje znanje, nego i da upoznaju razne merne uređaje, aparate i pribor koji mogu da koriste u praksi i svakodnevnom životu.

Ovladavanje metodama merenja vrednosti fizičkih veličina doprinosi dubljem shvatanju određenih odnosa i veza između realnih objekata, pojava i njihovih zakona. Posredstvom takvog rada učenici formiraju određene navike, povećavaju odgovornost, ozbiljnost i preciznost u rešavanju konkretnih problema (zadataka). Na taj način, oni počinju sa pripremom za radni poziv, praksu i život uopšte.

Pri izvođenju svake laboratorijske vežbe treba:

- ponoviti nastavno gradivo koje obuhvata vežbu; обратити пажњу на основне појмове, величине чије су вредности mere i njihove merneединице, као и на законе којима те величине фигирају;

- definisati zadatak vežbe;
- upoznati pribor (merila, merne uređaje i druge elemente) koji koriste pri izvođenju laboratorijske vežbe;
- pažljivo pročitati uputstvo koje je dato uz svaku laboratorijsku vežbu;
- dobijene i izmerene podatke predstaviti tabelarno; ako postoji mogućnost, i grafički prikazati;
- analizirati dobijene rezultate i doneti odgovarajući zaključak.

Termini izvođenja laboratorijskih vežbi nisu strogo predviđeni. Zavisno od opremljenosti kabineta fizike, prostornih i tehničkih uslova i specifičnosti škole, nastavnik se opredeljuje prema svom nahođenju za jednu od više mogućnosti. Najbolje bi bilo da se laboratorijske vežbe izvode na kraju obrađene tematske celine, ali i na kraju polugodišta nije loše. Najmanji efekat laboratorijske vežbe imaju kada se ostave pri završetki nastavne godine. Naravno, mogu se praviti i druge kombinacije.

Važno je da ta obaveza nastavnika i učenika bude ostvarena u toku nastavne godine, prema redosledu kako je predviđeno aktuelnim nastavnim planom i programom.

*Primer laboratorijske vežbe*

**PROVERA II NJUTNOVOG ZAKONA**

**POMOĆU ATVUDOVE MAŠINE**

Atvudova (Atwood) mašina je pogodan uređaj za proučavanje zakona kretanja. Vežba je pripremljena kao jednostavan ogled, u cilju što lakšeg uključivanja učenika i razumevanja kao i usvajanja određenij zakona kretanja.

**1. Proučavanje II Njutnovog zakona**

**Potreban materijal**

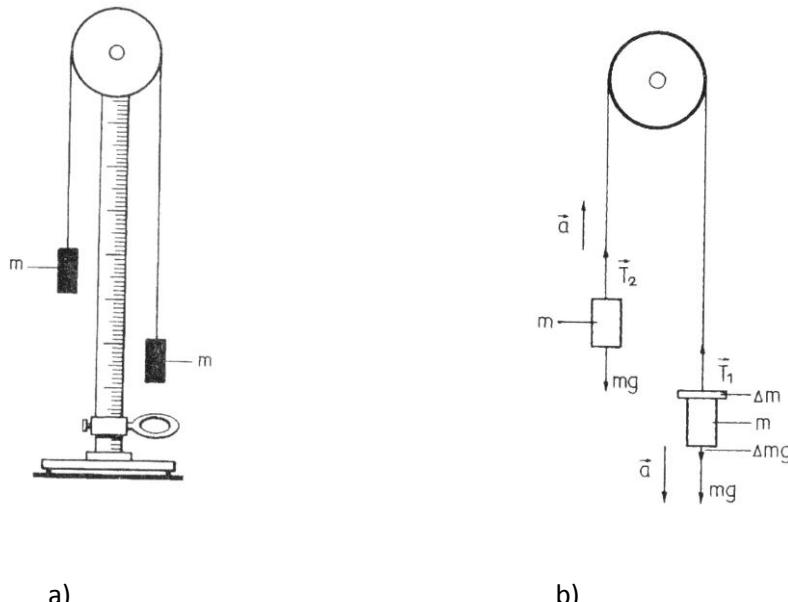
- stativ sa milimetarskom podelom, na koji je pričvršćen kotur
- kanap
- tegovi jednakih masa (m)

- preteg (pločica) mase  $\Delta m < m$
- štoperica

### Izvođenje eksperimenta

Izmeri masu tegova i pretega na vagi. Preko kotura postavljenog na stativ prebacij kanap na čijim krajevima su tegovi istih masa (slika 26a i b). Tegovi su u ravnoteži bez obzira na kojoj se visini nalaze. Pridržavajući ga rukom, podigni jedan od tegova na maksimalnu visinu i na njega stavi preteg. Istovremeno pusti teg sa pretegom i uključi štopericu. Kada teg pređe unapred određen put,  $s$ , isključi štopericu. Na osnovu merenih vrednosti pređenog puta i vremena odredi ubrzanje sistema odnosno izvrši proveru II Njutnovog zakona i to:

- sa jednim pretegom i tri različite vrednosti puta  $s$
- sa tri različita pretega na istom putu  $s$



Slika 26. Atvudova mašina a) sa tegovima b) sa pretegom na jednom od tegova

### Obrazloženje i provera eksperimenta:

Ubrzanje sistema se može izračunati korišćenjem izraza za pređeni put u slučaju ubrzanog kretanja bez početne brzine:

$$s = \frac{at^2}{2} \quad \rightarrow \quad a = \frac{2s}{t^2} \quad (55)$$

Provera važenja II Njutnovog zakona može se izvršiti poređenjem ovako dobijene vrednosti ubrzanja sa ubrzanjem računatim na osnovu izraza koji sledi iz njegove primene. Masa sistema koji čine dva tega i preteg je:

$$M = 2m + \Delta m \quad (56)$$

Prepostavimo da je kotur lagan i da je kanap nerastegljiv. U tom slučaju se sistem kreće sa istim ubrzanjem. II Njutnov zakon za sistem:

$$F = M a \quad (57)$$

Ako su tegovi pre postavljanja pretega bili u ravnoteži, to znači da sistem pokreće sila teže pretega:

$$F_g = \Delta m g \quad (58)$$

odnosno:

$$F = F_g \rightarrow a = \frac{F_g}{M} = \frac{\Delta m g}{2m + \Delta m} \quad (59)$$

Isti izraz se dobija ako za sistem postavimo sledeće jednačine kretanja (slika 26b):

$$\text{za telo sa pretegom: } \mathbf{F}_n + \Delta m \mathbf{\ddot{g}} = \mathbf{F}_n + \Delta m \mathbf{\ddot{g}} - T_1 \quad (60)$$

$$\text{za telo bez pretega: } ma = T_2 - mg \quad (61)$$

obzirom da su sile zatezanja kanapa, međusobno jednake,  $T_1 = T_2 = T$  sabiranjem ovih jednačina dobija se:

$$\mathbf{F}_n + \Delta m \mathbf{\ddot{g}} + ma = \mathbf{F}_n + \Delta m \mathbf{\ddot{g}} - T - mg - T \quad (62)$$

odnosno:

$$\mathbf{F}_n + \Delta m \mathbf{\ddot{g}} = \Delta m g \rightarrow a = \frac{\Delta m g}{2m + \Delta m} \quad (63)$$

## **2. Proučavanje II Njutnovog zakona**

### **Potreban material**

- vertikalni stativ sa milimetarskom podelom, na koji je pričvršćen kotur
- držač sa kružnim prstenom prečnika nešto većeg od prečnika tega
- kanap
- tegovi jednakih masa ( $m$ )
- pretek (pločica) mase  $\Delta m < m$
- štoperica

### **Izvođenje eksperimenta**

Izmeri masu tegova i pretega na vagi. Preko kotura postavljenog na stalak prebacij kanap na čijim krajevima su tegovi istih masa (slika 26). Tegovi su u ravnoteži bez obzira na kojoj se visini nalaze. Na stalak učvrsti držač sa horizontalno postavljenim prestjemom, čiji je prečnik nešto veći od prečnika tega. Pridržavajući ga rukom podigni jedan od tegova na maksimalnu visinu i na njega stavi pretek. Istovremeno pusti teg sa pretegom i uključi štopericu. Kada teg pređe unapred određen put,  $s_1$ , on nailazi na horizontalno postavljeni prsten, koji zadrži pretek. Teg nastavlja da se kreće po inerciji, ravnomođno, sa brzinom koju je imalo u momentu uklanjanja tega. Kada teg pređe unapred zadat put  $s$ , isključi štopericu.

Merene vrednosti pređenih puteva  $s_1$  i  $s_2$  i ukupnog vremena  $t$ , uporedi sa vrednostima računatim primenom I odnosno II Njutnovog zakona i to:

- sa istim pretegom i istim putem  $s_2$ , a različitim putevima  $s_1$
- sa tri različita pretega, a istim putevima  $s_1$  i  $s_2$

### Obrazloženje i provera eksperimenta

Vreme koje meriš štopericom,  $t$ , predstavlja zbir vremena  $t_1$ , za koje telo pređe put  $s_1$ :

$$t_1 = \sqrt{\frac{2s_1}{a}} \quad (64)$$

a  $t_2$ , je vreme kretanja tega po inerciji, sa konstantnom brzinom, posle uklanjanja pretega  $\Delta m$ :

$$t_2 = \frac{s_2}{v} \quad (65)$$

Ako se u izraz za  $t_1$ , uvrsti već izведен izraz za ubrzanje sistema (63) dobija se:

$$t_1 = \sqrt{\frac{2s_1 (\cancel{m} + \Delta m)}{\Delta m g}} \quad (66)$$

a brzina u tom trenutku je:

$$v = at_1 = \sqrt{2as_1} = \sqrt{\frac{2s_1 \Delta m g}{2m + \Delta m}} \quad (67)$$

Vreme za koje teg pređe ostatak puta  $s_2$ :

$$t_2 = \frac{s_2}{v} = s_2 \sqrt{\frac{2m + \Delta m}{2s_1 \Delta m g}} \quad (68)$$

Ukupno vreme t:

$$t = t_1 + t_2 = \sqrt{\frac{\cancel{m} + \Delta m}{\Delta m g}} \left( \sqrt{2s_1} + \frac{s_2}{\sqrt{2s_1}} \right) \quad (69)$$

Poređenjem merene vrednosti ukupnog vremena t, sa vrednosti računatom na osnovu izraza (69) proverava se validnost I i II Njutnovog zakona.

### 5.3 KVIZOVI I TESTOVI

U poslednje vreme se sve više koriste testovi za proveru znanja. Osnovne prednosti tih testova su: pouzdana i objektivna ocena kvantiteta i kvaliteta znanja, učenik stiče jasnu predstavu o svom znanju. Uloga testa nije samo dolaženje do što objektivnije procene znanja učenika koje rezultira ocenom, već da se na osnovu tih saznanja planira dalji rad i izvrše korekcije u njemu, ukoliko se pokaže potrebnim.

Postoje različiti tipovi testova:

- Test prisećanja

- Test dopunjavanja
- Test dvočlanog izbora ( da – ne )
- Test višestrukog izbora
- Test upoređivanja

#### **Test prisećanja:**

Kod testa prisećanja se postavlja pitanje. Na pitanje učenik treba da odgovori kratkim odgovorom odnosno simbolom ili rečenicom. Ovim tipom testa podstiče se razmišljanje, prepoznavanje problema i aktivira pasivno, potisnuto znanje učenika.

Primer:

Napiši naziv fizičke veličine na crtici koja se nalazi iza oznake jedinice te veličine:

- a) kg \_\_\_\_\_
- b) s \_\_\_\_\_
- c) m \_\_\_\_\_

#### **Test dopunjavanja:**

Test podrazumeva iskazivanje nedovršene tvrdnje koju učenik mora dopuniti jednom rečju (pojmom).

Primer:

Na crtici dopiši reč koja nedostaje:

- a) Brzina je brojno jednaka pređenom putu u \_\_\_\_\_ vremena.
- b) Sila je mera uzajamnog \_\_\_\_\_ tela.

**Test dvočlanog izbora:**

Testovi tipa dvočlanog izbora navode učenika da formira svoj sud o tvrdnji koja je data u zadatku. Ovi testovi su vrlo efikasni i mogu za kratko vreme da daju opštu sliku nivoa i pasivnog i aktivnog znanja učenika, što je veoma značajno za dalje planiranje nastavnog procesa.

Primer:

Zaokruži slovo ispred tačnog odgovora:

- 1) Jedinica za masu je metar.
  - a) Da
  - b) Ne
  
- 2) Sila trenja uvek ima smer suprotan smeru kretanja tela.
  - a) Da
  - b) Ne

**Test višestrukog izbora:**

Kod testova višestrukog izbora od učenika se traži da među predloženim rešenjima (odgovorima) nađu ispravno ili najbolje rešenje (odgovor). Ovakav test daje preciznije podatke o nivou znanja učenika jer izbor odgovora zahteva dobro poznavanje građe.

Primer:

Zaokruži slovo ispred tačnog odgovora:

1) Jedinica za dužinu u SI sistemu je:

- a) centimetar
- b) kilometar
- c) metar
- d) amper

2) Metronom je instrument kojim se meri:

- a) vreme
- b) dužina
- c) vremenski interval
- d) temperatura

3) Braunovo kretanje je:

- a) mera za pređeni put
- b) kružno kretanje
- c) neuređeno kretanje
- d) oscilatorno kretanje

**Testovi upoređivanja:**

Testovi upoređivanja se zasnivaju na uspostavljanju međusobne povezanosti pojmove i tvrdnji koje su date u dve ili više kolona.

Dati testovi zahtevaju jednostavniji oblik primene stečenih znanja.

Primer:

Napiši redni broj koji se nalazi ispred fizičke veličine na crtlu iza odgovarajuće jedinice:

1) Masa            s \_\_\_\_\_

2) Vreme            m \_\_\_\_\_

3) Dužina            N \_\_\_\_\_

4) Sila            kg \_\_\_\_\_

Prilikom formiranja testa poželjno je koristiti sve navedene tipove, uz naglasak na tip testa koji je najadekvatniji zahtevima u celini.

Prilikom izvođenja nastave pokušala sam da uvedem novinu u pripremi kontrolnih vežbi – kviz, u kome učestvuju svi učenici u razredu. Razred se podeli u dve ekipe, pri čemu se vodi računa da u svakoj ekipi bude isti broj „jakih“ i „slabijih“ učenika.

Kapiteni i članovi timova pripremaju pitanja, a nastavnik kontroliše da li se pitanja ponavljaju ( najviše po 10 – 15 pitanja ).

U toku kviza jedna ekipa postavlja pitanja drugoj ekipi. Na svako pitanje odgovor daje, ne samo jedan „jak“ učenik, već odgovore daju i drugi članovi ekipe.

Na kraju nastavnik ocenjuje odgovore svakog učesnika kviza i komentariše spremnost đaka za pismenu proveru znanja. Na taj način se podstiče samostalan i grupni rad učenika, rad sa knjigom i dodatnom literaturom.

## 6. JEDNOSTAVNI OGLEDI U NASTAVI

Ogled je neophodan dodatak znanju dece i mlađih, koji se interesuju za nauku. Ovde će biti prikazani neki jednostavni ogledi za čije izvođenje nije potrebno neko predznanje, već samo malo mašte i strpljenja. Pribor koji je potreban može da se nađe u kući među svakodnevnim stvarima. Za neke oglede potrebno je znanje osnovnih fizičkih i matematičkih pojmljiva da bi mogao da se objasni eksperiment ili pojava (ogledi za VII, VIII razred osnovne škole ili za srednju školu).

Izvodeći ove oglede sami, ili sa svojim nastavnikom, ili sa prijateljima, deca će da nauče više o osnovnim naučnim činjenicama sa kojima se susreću u svakodnevnom životu. Kroz praktičan rad će upoznati i sami sebe.

**Nema znanja koje ničemu ne služi.**

## **6.1 DA LI STE U POKRETU ?**

**Razred:** I – IV razred osnovne škole, VI razred

**Cilj:** Sledeći ogled pokazaće važnost referentnog tela

**Potreban materijal:** jedna marama

**Kako se ogled izvodi:**

1. Vežu se oči jednom od učesnika, a druga dvojica ga ponesu na rukama i zakorače unapred.
2. Koračanje unapred se smenjuje sa koračanjem u mestu (slika 28)

**Šta će se desiti:**

Osoba koja ima vezane oči ne zna kada se kreće, a kada ne.

**Objašnjenje:**

Kada ne vidimo tela oko sebe, ne vidimo ni promenu svog položaja u odnosu na druga tela. Zato i nismo sigurni da li se krećemo ili ne.

**Zaključak:** Mirovanje je relativno. O kretanju se može govoriti samo u odnosu na neko drugo telo (referentno telo), zbog toga i za kretenje kažemo da je relativno.



Slika 28. Dali ste u pokretu ?

## 6.2 SAMOHODNA KUTIJA

**Potreban pribor:** dečiji balon, kartonska kutija bez poklopca, klikeri, dve gredice, kanap, štipaljka, makaze.

**Kako se ogled izvodi:**

1. Postaviti klikere između dve gredice.
2. Napraviti otvore na kutiji (pomoću makaza), jedan za glić balona i dva manja za njegovo pričvršćivanje.
3. Staviti balon u kutiju i provući njegov grlić kroz veći otvor.

4. Naduvati balon i zatvoriti grlić štipaljkom.
5. Pričvrstiti balon kanapom za kutiju.
6. Staviti kutiju na klikere i ispustiti vazduh iz balona (skloniti štipaljku).

**Šta će se desiti:** Kutija se pokreće.

**Objašnjenje:** vazduh izlazi iz balona (akcija), a kutija se pokreće u suprotnom smeru (reakcija)

Impuls vazduha koji izlazi iz balona je  $\vec{p}_v$ . U početnom trenutku, pre skidanja štipaljke sistem (kutija sa balonom) miruje i njegov impuls  $\vec{p}_k = 0$ . Posle skidanja štipaljke kutija sa balonom dobija impuls u suprotnom smeru.

Na osnovu zakona održanja impulsa :

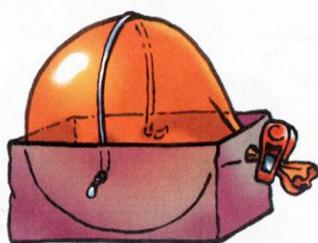
(70)

odnosno :

(71)

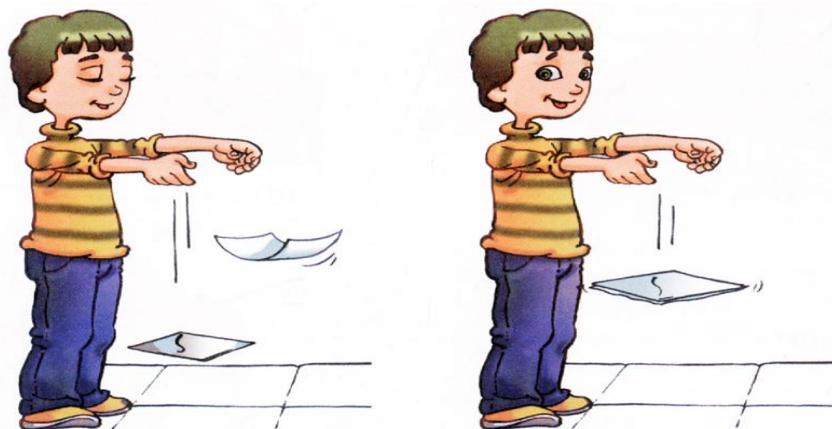
Zato kutija sa balonom dobija impuls u suprotnom smeru od smera vazduha i kotrlja se preko klikera sve dok se usled trenja ne zaustavi .

**Zaključak:** Ovaj ogled pokazuje delovanje sila akcije i reakcije, a takođe za starije razrede može da se pokaže kao ogled zakona održanja impulsa.



Slika 29. Samohodna kutija

**6.3 ŠTA BRŽE PADA ?**



Slika 31. Šta brže pada?

**Potreban pribor:**metalna pločica, papir (istih dimenzija)

**Kako se ogled izvodi:**

- 1 .Pustite istovremeno, s iste visine, da padaju metalna pločica i papir. (slika 31)
2. Postavite, zatim, preko papira pločicu i pustite ih da zajedno padaju.

**Šta će se desiti:**

U prvom slučaju pre će pasti metalna pločica, a u drugom slučaju padanje završavaju istovremeno.

**Objašnjenje:**

Metalna pločica i hartija padaju pod uticajem sile Zemljine teže. U prvom slučaju pločica lakše savlađuje otpor vazduha i brže pada.U drugom slučaju pločica i hartija savlađuju jednak otpor, kao da su u vakumu kada nema otpora i kada na njih deluje samo sila Zemljine teže.

**Zaključak:**

Iz ovog ogleda možemo zaključiti kako otpor vazduha deluje na padanje tela. Sila trenja klizanja, sila trenja kotrljanja, kako se povećava ili smanjuje sila trenja. Deca su naučila da dobijene podatke upišu u tabelu.

#### 6.4 TRKA TEGLI

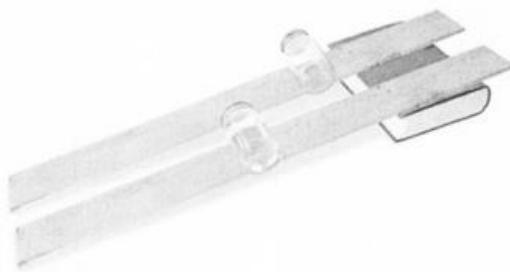
**Potreban materijal:** Dve staklene tegle, voda, krede, daska sa glatkom površinom, nekoliko knjiga

**Izvođenje eksperimenta:**

U ovom eksperimentu utrkuju se dve tegle, jedna puna vode i druga prazna (odnosno puna vazduha). Pre no što se trka započne, pogađaj koja će tegla stići prva. Na jedan kraj stola poslaži nekoliko knjiga jednu na drugu. Jeden deo daske stavi na knjige, a drugi na sto tako da se

obrazuje strma podloga. Napuni jednu teglu vodom. Stavi poklopce na obe tegle. Na ravnoj površini nešto dalje od podnožja strme ravni postavi krede koje služe kao markeri. Istovremeno pusti obe tegle sa vrha strme ravni. (slika 32).

Koja tegla brže stiže do podnožja strme ravni? Koja je brža na ravnoj podlozi? Da li si iznenađen ishodom?



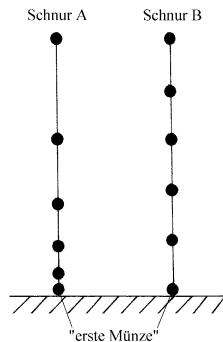
Slika 32.Trka tegli

**Objašnjenje:** Kada trka počne, tegla napunjena vodom se kreće brže niz strmu podlogu nego prazna tegla. Ovo se dešava zato što je tegla napunjena vodom teža od prazne, a veća težina uslovjava brže kretanje tela niz strmu podlogu. Težina prazne tegle je jednaka težini staklenih zidova i zato se ona neće kretati tako brzo. Kada tegle počnu da se kotrljaju po ravnoj površini, između tegle napunjene vodom će zbog većeg trenja brže usporavati od prazne, dozvoljavajući lakoj tegli da je pretekne.

**Usvojeni pojmovi:** Težina tela i sila trenja

## **6.5 SLOBODAN PAD POVEZANIH NOVČIĆA**

Pomoću konca na koji su pričvršćeni novčići ili klikeri na određenim rastojanjima može se demonstrirati veza između vremena padanja i puta u slučaju slobodnog pada.



Slika 33. Slobodan pad povezanih novčića

### **Potreban materijal:**

- tanak čvrst konac
- 14 jednakih novčića ili klikera, dugmadi ili matica od šrafa
- prazna konzerva ili metalna ploča
- makaze, selotejp

### **Izvođenje eksperimenta**

Na kraj konca pomoću selotejp trake zapeći prvi novčić ili kliker. Šest drugih novčića zapeći tako da se njihov razmak u odnosu na prvi novčić odnosi kao  $1 : 4 : 9 : 16 \dots$  („konac A“ na slici 33). Razmaci između novčića se odnose kao  $1 : 3 : 5 : 7 \dots$

Konac slobodno visi, tako da prvi novčić dotakne dno konzerve. Ako se konac pusti da padne u konzervu, novčići će u jednakim vremenskim razmacima padati na dno konzerve.

Na drugi konac, koji je iste dužine kao prvi konac, na jedan kraj se zapeći takođe novčić. Ostalih šest novčića zapeći se na konac, tako da su na istim rastojanjima (konac B na slici). Ako se konac posti da padne, onda će novčići padati na dno konzerve u sve kraćim vremenskim intervalima.

Razmaci između novčića moraju biti izabrani tako da vremenski razmak jednakog padanja na dno treba da bude ostvaren za 0,1 s odn. 0,2s .

Vremenski interval od 0,1s:

$$5 \text{ cm} + 15 \text{ cm} + 25 \text{ cm} + 35 \text{ cm} + 45 \text{ cm} + 55 \text{ cm} = 180 \text{ cm}$$

Vremenski razmak 0,2s:

$$20 \text{ cm} + 60 \text{ cm} + 100 \text{ cm} + 140 \text{ cm} + 180 \text{ cm} + 220 \text{ cm} = 720 \text{ cm}$$

Eksperiment treba izvesti samo u zatvorenim prostorijama, pošto i najmanji vetr utiče na rezultat merenja. Ako je konac dovoljno tanak, čuće se udar novčića na dno konzerve. Da bi isti odn. kraći vremenski razmaci mogli dobro čuti, trebalo bi pričvrstiti šest do sedam novčića na konac. Preporučuje se da se eksperiment izvede u prostorijama, čiji su zidovi viši, na primer na stepenicama. Na taj način šest novčića se može rasporediti na duži konac, čime se povećava vremenski razmak između novčića koji stižu jedan za drugim. Na taj način se kraći vremenski intervali mogu bolje registrovati.

Kod dužih konaca trebalo bi po mogućnosti uzeti teže novčiće, da bi se uticaj strujanja vazduha u prostoriji učinio što manjim. Osim toga konzerva ili metalna ploča, bi trebale imati veliku površinu, pošto novčići padaju na različitim tačkama njene površine.

### Objašnjenje

Ukoliko se pusti telo da slobodno pada, onda je predeni put dat izrazom:

$$s(t) = \frac{1}{2}gt^2 \quad (72) \quad \text{odn.} \quad t(s) = \sqrt{\frac{2s}{g}} \quad (73)$$

( $g$  - gravitaciono ubrzanje)

Svi novčići na koncu se puštaju istovremeno zajedno sa koncem. Ako novčići treba da padnu na dno u istim vremenskim razmacima, između vremena padanja  $t_i$  mora postojati sljedeći odnos:

$$t_1 : t_2 : t_3 : \dots = 1 : 2 : 3 : \dots$$

Ovaj odnos vremena padanja dobija se na osnovu jednačine (72), ako se putevi  $s_i$  novčića (konac A) odnose kao:

$$s_1 : s_2 : s_3 : \dots = 1 : 4 : 9 : \dots$$

Ako se novčići pričvrste ekvidistantno na konac (konac B), to znači:

$$s_1 : s_2 : s_3 : \dots = 1 : 2 : 3 : \dots ,$$

njihova vremena padanja  $t_i$  na osnovu jednačine (73) imaju odnose se kao:

$$t_1 : t_2 : t_3 : \dots = 1 : \sqrt{2} : \sqrt{3} : \dots$$

## ZAKLJUČAK

U ovom radu, uz detaljan pregled svih pojmova koji karakterišu mehaničko kretanje i silu, poseban akcenat bio je stavljen na značaj demonstracionih ogleda u nastavi fizike. Predstavljeni su neki od jednostavnih demonstracionih ogleda koje učenici mogu izvesti sami ili uz pomoć nastavnika, i koji su prilagođeni nastavnom programu. Ogledi su lako izvodljivi, ubedljivi i zanimljivi. Svaki uspešno izveden ogled povećava interesovanje za izvođenje drugih ogleda. Najvažnije je to što će učenicima olakšati razumevanje školskog gradiva.



## LITERATURA

1. Dušanka Ž. Obadović, Maja Stojanović, Milica Pavkov Hrvojević: Jednostavni ogledi u fizici 7. razred osnovne škole, Zavod za udžbenike Beograd, 2007
2. Dušanka Ž. Obadović, Maja Stojanović, Milica Pavkov Hrvojević: Jednostavni ogledi u fizici 6. razred osnovne škole, Zavod za udžbenike Beograd, 2007
3. Milan O. Raspopović, Darko V. Kapor: Fizika, priručnik za nastavnike za 6. razred osnovne škole, Zavod za udžbenike Beograd, 2005
4. Dr. J. Janić, dr. I. Bikit, dr. N. Cindro: Opšti kurs fizike I deo, Naučna knjiga Beograd, 1987
5. Nataša Čaluković: Fizika za prvi razred gimnazije, Krug Beograd, 2010
6. Duško Latas, Antun Balaž: Fizika 7, udžbenik sa zbirkom zadataka i laboratorijskim vežbama za sedmi razred osnovne škole, LOGOS Beograd, 2009
7. Aleksandar Kandić, Goran Poparić: Fizika 6, udžbenik sa zbirkom zadataka i laboratorijskim vežbama za šesti razred osnovne škole, LOGOS Beograd, 2010
8. Bojana Nikić, Nataša Čaluković: Za radoznalog đaka fizika je laka, Krug Beograd, 2005
9. B.M. Javorskij, A.A. Pinskij: Osnovi fiziki, Nauka Moskva, 1981
10. <http://sr.wikipedia.org>

## AUTOBIOGRAFIJA



Rođena sam 10 jula 1967 godine u Kijevu, u Ukrajini. 1990 godine završila sam Elektrotehnički fakultet, smer Automatika, Kijevskog Politehničkog univerziteta. Od marta 1990 godine do januara 1991 godine radila sam kao inženjer, zatim godinu dana predavala matematiku i fiziku u srednjoj školi u Kijevu. Sada radim kao nastavnik fizike u osnovnoj školi „Sveti Sava“ u Žitištu kod Zrenjanina.

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:* Ana Bubalo

**AU**

*Mentor:* dr Dušanka Obadović, redovni prof.

**MN**

*Naslov rada:* Obrada nastavne teme: „Razvoj pojma mehaničke sile u osnovnom obrazovanju“

**NR**

*Jezik publikacije:* srpski (latinica)

**JP**

*Jezik izvoda:* srpski/engleski

**JI**

*Zemlja publikovanja:* Republika Srbija

**ZP**

*Uže geografsko područje:* Vojvodina

**UGP**

*Godina:* 2010

**GO**

*Izdavač:* Autorski reprint

**IZ**

*Mesto i adresa:* Prirodno-matematički fakultet, Trg Dositeja Obradovića 4, Novi Sad

**MA**

*Fizički opis rada:* 6/45/0/0/33/0/0 (broj poglavlja/broj strana/broj literaturnih citata/broj tabela/broj slika/broj grafika/broj priloga)

**FO**

*Naučna oblast:* Fizika

**NO**

*Naučna disciplina:* Demonstracioni eksperimenti u nastavi

**ND**

*Predmetna odrednica/ključne reči:* Mehaničko kretanje, brzina, ubrzanje, pređeni put, referentno telo, ravnomerno kretanje, neravnomerno kretanje, sila, sila trenja, sila gravitacije

**UDK**

*Čuva se:* Biblioteka departmana za fiziku, PMF-a u Novom Sadu

**ČU**

*Važna napomena:* nema

**VN**

*Izvod:* U ovom radu prikazana je obrada teme „Razvoj pojma mehaničke sile“ u osnovnom obrazovanju. U cilju boljeg razumevanja ove teme, pored teorijskog objašnjenja i primera, prikazana je implementacija jednostavnih ogleda u proces obrazovanja.

*Datum prihvatanja teme od NN veća:*

**DP**

*Datum odbrane:*

**DO**

*Članovi komisije:*

**KO**

*Predsednik:* Dr Milan Pantić, vanredni prof.

*član:* Dr Maja Stojanović, docent

*član:* Dr Dušanka Obadović, redovni prof.

UNIVERSITY OF NOVI SAD

FACULTY OF SCIENCE AND MATHEMATICS

KEY WORDS DOCUMENTATION

*Accession number:*

**ANO**

*Identification number:*

**INO**

*Document type:* Monograph publication

**DT**

*Type of record:* Textual printed material

**TR**

*Content code:* Final paper

**CC**

*Author:* Ana Bubalo

**AU**

*Mentor/comentor:* Ph.D. Dušanka Obadović, full prof.

**MN**

*Title:* Treatment theme: „The Development of the notion of Mechanical Force“  
in Elementary Education

**TI**

*Language of text:* Serbian (Latin)

**LT**

*Language of abstract:* English

**LA**

*Country of publication:* Republic of Serbia

**CP**

*Locality of publication:* Vojvodina

**LP**

*Publication year:* 2010

**PY**

*Publisher:* Author's reprint

**PU**

*Publication place:* Faculty of Science and Mathematics, Trg Dositeja Obradovića 4, Novi Sad

**PP**

*Physical description:* 6/45/0/0/33/0/0

**PD**

*Scientific field:* Physics

**SF**

*Scientific discipline:* Demonstrative experiments in teaching

**SD**

*Subject/ Key words:* Mechanical motion, velocity, acceleration, displacement, frame of

**SKW** reference, uniform motion, non-uniform motion, force, friction, force of gravitation,

**UC**

*Holding data:* Library of Department of Physics, Trg Dositeja Obradovica 4

**HD**

*Note:* None

**N**

*Abstract:* The paper deals with the analysis of the treatment of teaching unit „The Development of the notion of Mechanical Force“ in elementary education. For better understanding of the topic, besides the theoretical explanation

**AB**

and examples, implementation of simple experiments in the process of education has been shown.

*Accepted by the Scientific Board:*

**ASB**

*Defended on:*

**DE**

*Thesis defend board:*

**DB**

*President:*

Ph.D. Milan Pantić, full prof.

*Member:*

Ph.D. Maja Stojanović, assistant prof.

*Member:*

Ph.D. Dušanka Obadović, full prof.