



**UNIVERZITET U NOVOM ŠADU
PRIRODNO-MATEMATIČKI
FAKULTET
DEPARTMAN ZA FIZIKU**



Obrada nastavne teme:

"Kretanje tela na strmoj ravni"

- diplomski rad -

Mentor:

Dr Dušanka Obadović, red. prof.

Kandidat:

Juraj Šimonji

Novi Sad, novembar 2008.

Hvala mentoru prof. dr Dušanki Obadović na predloženoj temi i podsticajnim napomenama prilikom izrade ovog diplomskog rada.

Zahvaljujem i prof. dr Darku Kaporu na korisnim sugestijama prilikom izrade ovog diplomskog rada.

Hvala dr Maji Stojanović na pomoći.

SADRŽAJ

1. Uvod.....	2
2. Sila trenja mirovanja i sila trenja kretanja.....	5
3. Razlaganje težine tela na strmoj ravni. Statička i dinamička ravnoteža tela na strmoj ravni.....	8
3.1 Kretanje tela niz strmu ravan pod dejstvom aktivne komponente Zemljine teže i sile trenja klizanja.....	10
3.2 Ravnomerno pravolinijsko kretanje tela na strmoj ravni pod dejstvom \vec{F}_a i \vec{F}_{tr} i izračunavanje koeficijenta trenja kretanja pomoću izmerenih vrednosti visine i osnove strme ravni.....	14
3.3 Ravnomerno promenljivo pravolinijsko kretanje tela na strmoj ravni pod dejstvom \vec{F}_a i \vec{F}_{tr} i izračunavanje koeficijenta trenja kretanja pomoću izmerenih vrednosti vremena kretanja tela i dimenzija strme ravni.....	16
3.4 Kretanje tela niz strmu ravan kotrljanjem pod dejstvom aktivne komponente sile Zemljine teže i sile trenja pri kotrljanju.....	19
3.5 Kretanje tela na strmoj ravni pod dejstvom aktivne komponente sile Zemljine teže, sile trenja i spoljašnje sile \vec{F}_d	20
3.6 Kretanje tela na strmoj ravni pod dejstvom aktivne komponente sile Zemljine teže, sile trenja i inercione sile.....	24
4. Dodatni rad učenika u 7. razredu osnovne škole.....	29
4.1 Obrada nastavne jedinice: Statička i dinamička ravnoteža tela na strmoj ravni i određivanje koeficijenta trenja kretanja ravnomernim pravolinjskim kretanjem tela.....	29
4.2 Obrada nastavne jedinice: Određivanje koeficijenta trenja kretanja na strmoj ravni merenjem trajanja ravnomernog promenljivog pravolinijskog kretanja tela uz i niz strmu ravan.....	34
5. Istorijski dodatak: Ravnoteža na strmoj ravni.....	38
6. Zaključak.....	40
7. Literatura.....	42
8. Kratka biografija.....	43
9. Ključna dokumentacijska informacija.....	44

1. UVOD

Ovaj rad predstavlja prikaz obrade nastavne teme "Kretanje tela na strmoj ravni". Ova tema se ne obrađuje u redovnoj nastavi. Zato su prikazane moguće obrade dve nastavne jedinice iz domena dodatnog nastavnog rada sa učenicima sedmog razreda osnovne škole.

To znači da je pored objašnjenja pojave kretanja, posebna pažnja posvećena metodama koje se koriste u nastavi fizike i zato se rad može koristiti kao osnova za pisanje priprema za nastavne časove na kojima se obrađuju nastavne jedinice iz domena ove nastavne teme kako u osnovnoj tako i u srednjoj školi.

Strma ravan se od davnina koristila kao prosta mašina, jer se pri kretanju tela po njoj postiže ušteda u sili, kao posledica razlaganja sile Zemljine teže, \vec{Q} , na aktivnu komponentu Zemljine teže, paralelnu sa strmom ravni, \vec{F}_a , i normalnu komponentu Zemljine teže, \vec{F}_N , koja je normalna na strmu ravan.

Kada strma ravan miruje, ili se kreće ravnomerno pravolinijski, kretanje tela, NIZ strmu ravan može se odvijati i bez delovanja spoljašnje sile, \vec{F}_a , ili sa spoljašnjom silom malog intenziteta, u poređenju sa intenzitetom težine tela. Na taj način postiže se ušteda u sili prilikom kretanja tela niz strmu ravan, što se može ostvariti podešavanjem ugla strme ravni, ili smanjivanjem koeficijenta trenja između površine strme ravni i dodirne površine tela sa njom.

Kretanje tela UZ strmu ravan, kada ona miruje ili se kreće ravnomerno pravolinijski, može se odvijati pod dejstvom realne spoljašnje sile, \vec{F}_s manje od sile potrebne da se telo podigne vertikalno uvis. Takvo kretanje se takođe realizuje podešavanjem ugla strme ravni, kao i smanjivanjem koeficijenta trenja između tela i strme ravni.

Pod istim uslovima, koji važe pri delovanju spoljašnje sile, \vec{F}_s na telo po strmoj ravni, kretanje tela UZ ili NIZ strmu ravan, može prouzrokovati i inercijalna sila \vec{F}_i , koja potiče od ubrzanog kretanja strme ravni.

U zavisnosti od intenziteta i smera sila koje deluju na telo kao i stanja tog tela pre delovanja ovih sila (mirovanja ili kretanja), kretanje tela na strmoj ravni može da bude ravnomerno, ubrzano ili usporeno pravolinijsko, a ako rezultanta sila koja deluje na telo na strmoj ravni periodično menja smer i intenzitet, telo se može kretati i oscilatorno.

Pod kretanjem tela, uopšte, podrazumeva se promena položaja tela u odnosu na referentno, odnosno uporedno telo, pri čemu putanja može biti pravolinijska ili krivolinijska. Prilikom kretanja tela, na njega deluje sila trenja i sila otpora sredine, koje deluju suprotno smeru kretanja (brzine)

tela. Kada se telo pokrene ili se kreće, podrazumevaće se da, je smer x-ose isti sa smerom brzine tela ako nije drugačije naglašeno.

Prilikom obrade nastavne teme smatraće se da je sila otpora sredine nula.

Sile trenja, ili otpor trenja se javljaju na dodirnoj površini između dva čvrsta tela, kada na telo deluju sile koje izazivaju kretanje tela po podlozi. Sile trenja koje se suprotstavljaju pokretanju jednog tela po površini drugog tela, nazivaju se sile trenja mirovanja, \vec{F}_{trM} . Ako se tela kreću jedno po drugom, ove sile se suprotstavljaju kretanju, a nazivaju se sile trenja kretanja \vec{F}_{tr} .

Pod kretanjem tela na strmoj ravni podrazumeva se promena položaja tela u odnosu na ravnu površinu (ploču) koja sa horizontalom zaklapa ugao α , koji je veći od 0° , a manji od 90° .

U okviru nastavne teme "Kretanje tela na strmoj ravni", biće obrađeno pravolinijsko kretanje tela u istom pravcu u kome deluje sila aktivne komponente Zemljine teže, \vec{F}_a , koja nastaje razlaganjem sile Zemljine teže, \vec{Q} , na strmoj ravni. Razmatraće se kretanje tela, NIZ i UZ strmu ravan. Da bi se telo iz stanja mirovanja na strmoj ravni pokrenulo (ili uopšte pokrenulo, ne samo na strmoj ravni) mora da deluje rezultanta aktivne sile \vec{F}_a i vučne sile, \vec{F}_v , čiji je intenzitet veći, a suprotnog smera od rezultante sile trenja mirovanja i sile otpora sredine, \vec{F}_m .

U obradi nastavne teme će se podrazumevati da:

a) Strma ravan u odnosu na okolinu miruje, ili se kreće ravnomerno pravolinijski, a telo se na strmoj ravni kreće pod dejstvom sile Zemljine teže i sile trenja, ili i pod dejstvom realne spoljašnje sile, koja može da menja smer i intenzitet,

b) Strma ravan se u odnosu na okolinu kreće ubrzano u sopstvenoj ravni ili u pravcu osnove strme ravni, a da na telo na strmoj ravni deluje sila Zemljine teže, sila trenja i inercijalna sila, pri čemu inercijalna sila periodično može da menja i smer i intenzitet.

U drugoj glavi ovog rada, objašnjeno je da mirovanje ili kretanje tela zavisi od odnosa paralelne komponente spoljašnje sile (dinamometra) koja deluje na telo i sile trenja mirovanja, čija je maksimalna vrednost veća od sile trenja kretanja. Na osnovu sile trenja i sile otpora podloge uveden je i pojam koeficijenta trenja. Takođe se u ovom delu podseća na Osnovni zakon dinamike, odnosno na II Njutnov zakon.

U trećoj glavi predstavljene su sile koje deluju na telo kada se ono nalazi na strmoj ravni a prikazano je i razlaganje tih sila. Pomoću komponenata sila na strmoj ravni definisana je sila trenja na strmoj ravni i koeficijent trenja, a na osnovu rezultante svih sila koje deluju na telo na

strmoj ravni, koje miruje ili se kreće ravnomerno pravolinijski ili ravomerno promenljivo pravolinijski.

U četvrtoj glavi date su moguće pripreme nastavnika za dodatni rad sa učenicima na nivou osnovne škole. Obrađene su dve nastavne jedinice. Jedna nastavna jedinica obrađena je laboratorisko-eksperimentalnom metodom dok je druga obrađena na osnovu misaonog eksperimenta.

U petoj glavi je istorijski dodatak; suština XI teoreme *Simona Stevina*: "Ravnoteža na strmoj ravni"

U šestoj glavi sažeto je ponovljen glavni sadržaj rada. U ovom delu rada, takođe, ukazuje se na značaj pedagoško-metodičkog rada nastavnika prilikomu obrade nastavnih sadržaja u formiranju pojmova .

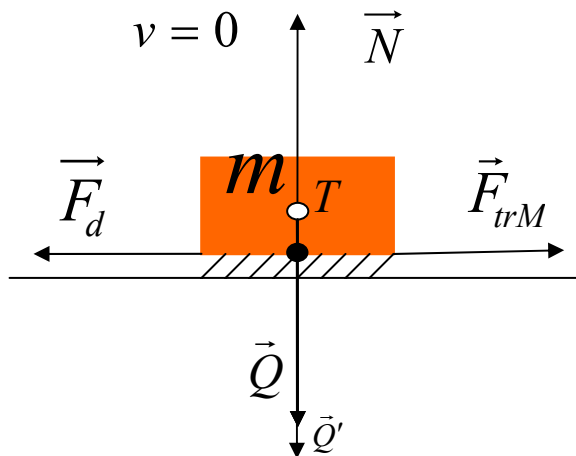
Takođe se podseća na potrebu ukazivanja na primenu stečenog znanja u svakodnevnom životu.

2. Sila trenja mirovanja i sila trenja kretanja

Sila trenja, kao mera uzajamnog delovanja između dva tela se suprotstavlja pokretanju (sila trenja mirovanja) i kretanju jednog tela po površini drugog tela (sila trenja kretanja). U zavisnosti od toga da li se jedno telo klizi ili kotrlja po površini drugog tela, te sile zovemo silama trenja klizanja ili silama trenja kotrljanja. Ove sile možemo izmeriti pomoću dinamometra, a biće analizirano samo delovanje sile trenja klizanja. Postupak merenja sile kotrljanja je isti. Da bi se izmerile te sile, potrebna je horizontalna podloga (slika 1) u stanju mirovanja, ili ravnomernog pravolinijskog kretanja, telo mase m koje relativno miruje na podlozi i dinamometar.

Sila Zemljine teže, i obeležavam je sa \vec{Q} , deluje na telo i njena napadna tačka je u težištu tela, T , a težina tela \vec{Q}' je sila sa kojom telo deluje na horizontalnu podlogu (ili zateže užu). Kada telo miruje ili se kreće sa $\vec{v} = \text{const}$, sila Zemljine teže \vec{Q} je u ravnoteži sa silom otpora podloge \vec{N} , odnosno rezultanta sila koje deluju na telo je nula; slika 1.

Ako na telo počne da deluje sila dinamometra, \vec{F}_d , paralelna sa pod-



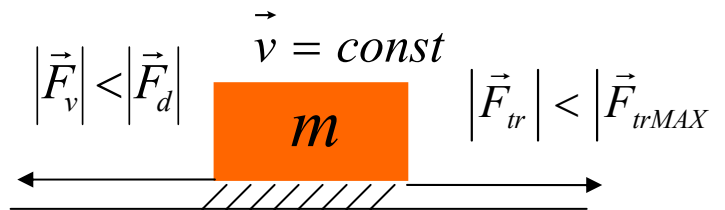
Slika 1. Prikaz sila koje deluju na telo u statičkoj ravnoteži

logom, a telo i dalje miruje, znači da u suprotnom smeru deluje sila trenja mirovanja, \vec{F}_{trM} koja je istog pravca i istog intenziteta kao i sila \vec{F}_d , ali, kako je naglašeno, suprotnog smera. Sila \vec{F}_{trM} se javlja između dodirnih površina tela i podloge. Rezultanta svih sila koje na telo deluju je nula i kaže se da je telo u statičkoj ravnoteži. Ako se sa povećanjem intenziteta sile vuče dinamometra \vec{F}_d telo ne pokrene, znači da se povećala i sila

trenja mirovanja, \vec{F}_{trM} , tako da je rezultanta sila koje deluju na telo opet jednaka nuli. Sila trenja mirovanja, usled delovanja sile vuče dinamometra, povećava se do određene maksimalne sile trenja mirovanja \vec{F}_{trMAX}

Kada intenzitet sile \vec{F}_d postane ifinitezimalno veći od intenziteta maksimalne sile trenja mirovanja, ona postaje vučna sila dinamometra, \vec{F}_v (kao na slici 2) odnosno intenzitet sile $F_v > F_{trMAX}$ i telo počinje da se kreće ubrzano..

Međutim, kada telo postigne određenu stalnu brzinu, odnosno $\vec{v} = \overrightarrow{const}$, na dinamometru očitavamo da je intenzitet sile vuče \vec{F}_v manji od intenziteta sile \vec{F}_d , dok je telo mirovalo, a to znači da je i intenzitet sile trenja kretanja, F_{tr} , manji od intenziteta sile trenja mirovanja F_{trMAX} tj. $F_{tr} < F_{trMAX}$. Kada se telo kreće sa stalnom brzinom, kažemo da se telo nalazi u dinamičkoj ravnoteži.



Slika 2. Prikaz sila i poređenje intenziteta sila koje deluju na telo dok je u statičkoj i kada je u dinamičkoj ravnoteži

(Radi preglednosti, nisu prikazane sila Zemljine teže \vec{Q} i sila otpora podloge \vec{N} , koje su u ravnoteži)

Na osnovu ovih eksperimentalnih činjenica može se zaključiti:

1) Dok telo na podlozi relativno miruje, sila trenja mirovanja suprotnog je smera a jednakog intenziteta paralelnoj sili dinamometra koja nastoji da telo pokrene, što znači da sa povećanjem sile dinamometra, povećava se i sila trenja mirovanja sve do maksimalne sile trenja mirovanja;

2) Kada se telo kreće sa $\vec{v} = \overrightarrow{const}$ po nekoj podlozi, intenzitet sile trenja kretanja jednak je intenzitetu vučne sile. Ove dve sile su istog pravca, intenziteta a suprotnog smera.

Intenzitet sile trenja kretanja izražava se kao $F_{tr} = \mu \cdot F_N$, gde je F_{tr} intenzitet sile trenja, μ je koeficijent trenja, a F_N je intenzitet sile otpora podloge.

Takođe na osnovu II Njutnovog zakona znamo da:

a) Ako je intenzitet vučne sile \vec{F}_v veći od sile trenja, \vec{F}_{tr} , telo se kreće ubrzano;

b) Ako se telo kretalo brzinom \vec{v}_0 , a intenzitet vučne sile \vec{F}_v je manji od intenziteta sile trenja \vec{F}_{tr} , ili ako vučna sila prestane da deluje, odnosno ako se telo kreće po inerciji, kretanje je usporeno.

3. Razlaganje sile Zemljine teže na strmoj ravni. Statička i dinamička ravnoteža tela na strmoj ravni

Težina tela je sila kojom telo deluje na horizontalnu podlogu ili zateže užu o koje je okačeno, a njen intenzitet i pravac u inercijalnim sistemima je isti sa silom Zemljine teže. Sila teže i težina tela se razlikuju u napadnoj tački. Težinu tela ću obeleržavati sa \vec{Q}' , a silu Zemljine teže sa \vec{Q} . Intenzitet težine tela u inercijalnom sistemu je dat izrazom:

$$Q' = m \cdot g \dots\dots\dots 1$$

gde je Q' - intenzitet težine tela, m je masa tela, a g - intenzitet ubrzanja sile Zemljine teže.

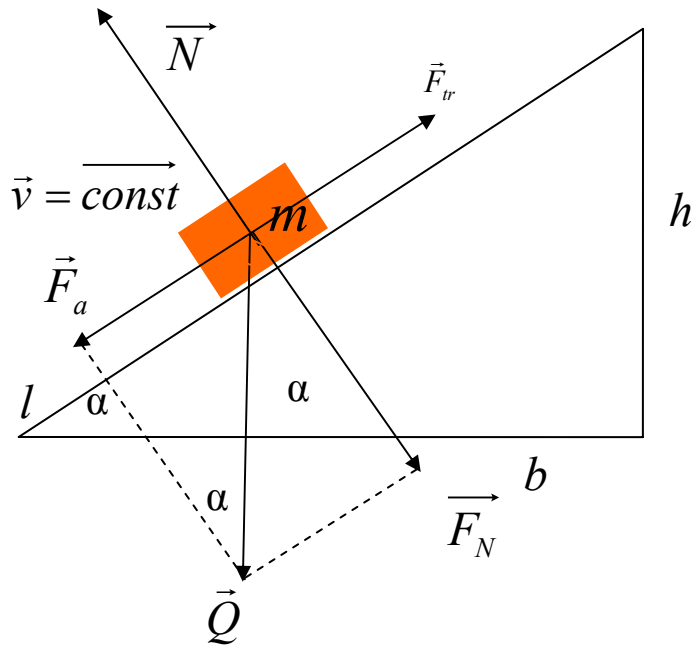
U neinercijalnim sistemima, odnosno u sistemima koji se kreću ubrzano intenzitet sile Zemljine teže se ne menja a intenzitet težine tela, sile sa kojom telo pritiska podlogu se menja .

Kao što je već rečeno, pod strmom ravni podrazumeva se ravna površina, koja sa horizontalom zaklapa ugao α . Pretpostavimo da je strma ravan visine h , osnove b i dužine l napravljena od čvrstog materijala, a da su deformacije usled uzajamnog delovanja tela sa njom makroskopski zanemarljive. Pošto sila Zemljine teže \vec{Q} deluje vertikalno na dole, onda je pogodno silu Zemljine teže na strmoj ravni razložiti na normalnu komponentu koja zaklapa ugao 90° sa dužinom strme ravni i paralelnu komponentu sa dužinom strme ravni. Normalna komponenta \vec{F}_N , je u ravnoteži sa silom otpora podloge \vec{N} . Paralelna komponenta sa dužinom strme ravni \vec{F}_a , u ravnoteži je sa silom trenja mirovanja kada telo miruje

Kada se telo na strmoj ravni kreće ravnomerno pravolinijski, usled dejstva aktivne komponente i sile trenja, aktivna komponenta Zemljine teže \vec{F}_a jednaka je sili trenja kretanja \vec{F}_r .

Prema I Njutnovom zakonu, ako telo na strmoj ravni miruje ili se kreće ravnomerno pravolinijski, znamo da je rezultanata sila koje na njega deluju jednaka nuli. Prvi slučaj nazivamo statičkom, a drugi slučaj dinamičkom ravnotežom.

Sile koje na telo deluju, kada je ono na strmoj ravni, a javljaju se usled razlaganja sile Zemljine teže koja deluje na telo a ono se kreće NIZ strmu ravan sa stalnom brzinom, prikazane su na slici 3.



Slika 3. Prikaz sila koje deluju na telo na strmoj ravni u dinamičkoj ravnoteži

Analizom slike 3 zaključujem da su prikazani trouglovi slični, pošto su im uglovi sa normalnim kracima, a samim tim i sa jednakim uglovima između njih, te zaključujem da se intenzitet aktivne komponente sile, F_a iz geometrije strme ravni i sile Zemljine teže može izračunati na sledeći način:

$$\frac{h}{l} = \frac{F_a}{Q} \Leftrightarrow F_a = \frac{h}{l} Q$$

a pošto je:

$$\sin \alpha = \frac{h}{l}$$

sledi:

$$F_a = \sin \alpha \cdot Q \dots\dots\dots 2$$

odnosno:

$$F_a = m \cdot g \cdot \sin \alpha \dots\dots\dots 3$$

To znači da se intenzitet aktivne komponenta Zemljine teže \vec{F}_a , na strmoj ravni smanjuje, ako se smanjuje ugao strme ravni, jer se tada smanjuje i $\sin \alpha$, i obrnuto, intenzitet sile \vec{F}_a se povećava kada se ugao strme ravni povećava. Kada je ugao 90° , telo pada.

Takođe, intenzitet normalne komponente Zemljine teže se može izračunati iz geometrije strme ravni i sile Zemljine teže, uzimajući u obzir sličnost prikazanih trouglova, na sledeći način:

$$\frac{b}{l} = \frac{F_N}{Q} \Rightarrow F_N = Q \cdot \frac{b}{l} \Rightarrow F_N = Q \cdot \cos \alpha$$

odnosno:

$$F_N = m \cdot g \cdot \cos \alpha \dots\dots\dots 4$$

Na osnovu ovog izraza može se zaključiti da se normalna komponenta Zemljine teže povećava, kada se ugao strme ravni smanjuje, a kada je ugao 0^0 , ona je jednaka sili Zemljine teže.

Pošto je sila otpora podloge na strmoj ravni, slika 3, u ravnoteži sa normalnom komponentom Zemljine teže, sledi

$$N = F_N \dots\dots\dots 4a$$

Intenzitet sile trenja kretanja, F_{tr} , se, iz geometrije strme ravni i sile Zemljine teže, može izračunati na sledeći način:

$$F_{tr} = \mu \cdot N \Rightarrow F_{tr} = \mu \cdot m \cdot g \cdot \cos \alpha \Rightarrow F_{tr} = \mu \cdot \frac{b}{l} \cdot m \cdot g$$

što znači da se sa povećanjem ugla strme ravni, smanjuje sila trenja između tela i strme ravni i obrnuto, smanjenjem ugla strme ravni povećava se sila trenja.

3.1. Kretanje tela na strmoj ravni pod dejstvom aktivne komponente Zemljine teže i sile trenja klizanja

Demonstracionim eksperimentom se može prikazati, da, ako telo mase m , koje ima jednu hrapavu a jednu glatku površinu, (slika 4) stavimo na strmu ravan hrapavom površinom i pustimo da se kreće po njoj, smanjivanjem ugla strme ravni, može se podesiti takav ugao α za koji telo prestaje da se kreće, odnosno da telo na njoj miruje. To znači da je aktivna komponenta Zemljine teže, koja deluje paralelno sa strmom ravni, jednaka maksimalnoj sili trenja mirovanja na strmoj ravni. Koeficijent trenja, μ se može izračunati kao odnos sile trenja i sile koja normalno deluje na podlogu, odnosno na strmu ravan:

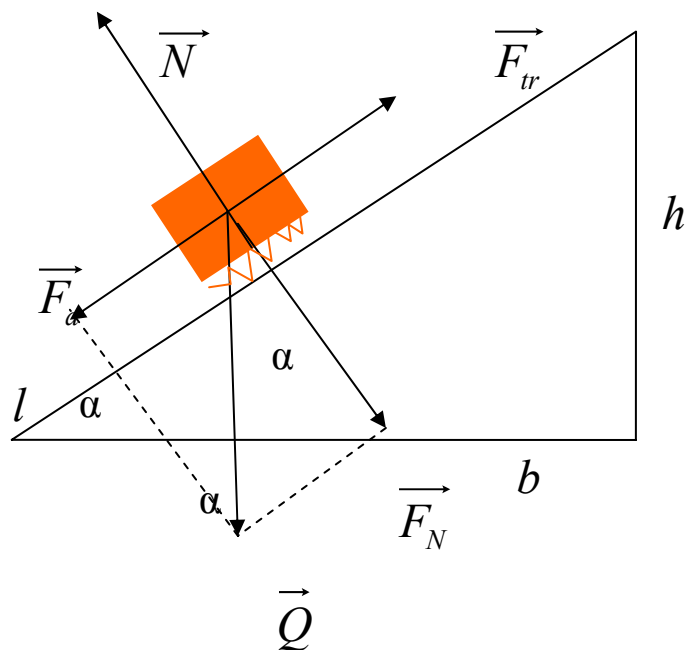
$$\mu = \frac{F_{tr}}{F_N} \Leftrightarrow \mu = \frac{Q \cdot \sin \alpha}{Q \cdot \cos \alpha} \Leftrightarrow \mu = \operatorname{tg} \alpha \dots\dots\dots 5$$

Kada se na istu strmu ravan, koja sa horizontalom gradi isti ugao α , stavi to isto telo glatkom dodirnom površinom, telo se kreće ravnomerno ubrzano pravolinijski. Da bi telo stalo, mora se smanjiti ugao strme ravni na vrednost $\alpha_1 < \alpha$.

Na osnovu izvedenog ogleđa može se zaključiti da mirovanje tela ili kretanje istog tela niz strmu ravan zavisi kako od ugla α strme ravni, tako i od strukture dodirnih površina tela i strme ravni.

Normalne komponente Zemljine teže i sila otpora podloge strme ravni su u ravnoteži i njihova rezultanta je nula (slika 4).

Kretanje ili mirovanje tela na strmoj ravni posledica je postojanja rezultujuće sile paralelne sa putanjom, a u ovom slučaju to je rezultanta sile aktivne komponente Zemljine teže i sile trenja koja deluje u suprotnom smeru od smeru brzine tela. Sa slike 4 se vidi da je rezultanta tih sila:



Slika 4. Prikaz sila pri kretanju tela niz strmu ravan

$$\vec{R} = \vec{F}_a + \vec{F}_{tr} \dots\dots\dots 6$$

Kada se telo mase m kreće NIZ strmu ravan, a x-osa je u smeru brzine tela, na osnovu II Njutnovog zakona sledi:

$$m \cdot a = m \cdot g \cdot \sin \alpha - \mu \cdot m \cdot g \cdot \cos \alpha$$

a iz poslednje formule može se izraziti ubrzanje kao:

$$a = g \cdot (\sin \alpha - \mu \cos \alpha) \dots\dots\dots 7$$

Analiza drugog činioca u formuli za izračunavanje ubrzanja tela na strmoj ravni pod dejstvom aktivne komponente Zemljine teže i sile trenja pokazuje:

1) ako je činilac $(\sin \alpha - \mu \cos \alpha) > 0$, u izrazu za izračunavanje ubrzanja, tada je ubrzanje tela koje se kreće na strmoj ravni pozitivno, odnosno $a > 0$, i brzina tela se tokom vremena povećava. U tom slučaju iz poslednjeg izraza sledi da je $\operatorname{tg} \alpha > \mu$, a na osnovu geometrije strme ravni se može zaključiti, da bi se telo na strmoj ravni kretalo ubrzano, potrebno je da koeficijent trenja kretanja na strmoj ravni bude manji od odnosa visine i osnove strme ravni:

$$\mu < \frac{h}{b}$$

Ako je kod ovakvog kretanja koeficijent trenja konstantan duž celog puta, a pretpostavimo da je kretanje ravnomerno ubrzano pravolinijsko, odnosno ubrzanje je stalno, trenutna brzina se izračunava pomoću obrasca:

$$v = v_0 + at \dots\dots\dots 8$$

u kome je v_0 - intenzitet početne brzine, a t - vreme trajanja kretanja.

Pređeni put s se kod ravnomerno ubrzanog pravolinijskog kretanja izračunava pomoću obrasca:

$$s = v_0 \cdot t + \frac{1}{2} at^2 \dots\dots\dots 9$$

2) Ako bi se telo na strmoj ravni kretalo sa $\vec{v}_0 = \overrightarrow{const}$, odnosno da je $a=0$, tada je činilac u jednačini 7, $(\sin \alpha - \mu \cos \alpha) = 0$
 $\Leftrightarrow \operatorname{tg} \alpha = \mu$. Ako je koeficijent trenja na celom putu konstantan pređeni put kod ovakvog kretanja izračunava se pomoću obrasca:

$$s = v \cdot t \dots\dots\dots 10$$

3) Ako bi se telo kretalo NIZ strmu ravan sa $\vec{v}_0 = \overrightarrow{const}$ a sila trenja bi se povećala, činilac $(\sin \alpha - \mu \cos \alpha)$ bi postao negativan i telo bi se NIZ strmu ravan kretalo usporeno.

Trenutna brzina se kod ravnomerno uspornog pravolinijskog kretanja izračunava pomoću izraza:

$$v = v_0 - at \dots\dots\dots 11$$

U ovoj formuli v_0 je intenzitet brzine tela u trenutku kada je kretanje tela na strmoj ravni postalo pravolinijski ravnomerno usporeno.

Pređeni put se kod ovakvog kretanja izračunava pomoću Izraza:

$$s = v_0 \cdot t - \frac{1}{2} at^2 \dots\dots\dots 12$$

4) Ako bi se telo na strmoj ravni počelo kretati UZ strmu ravan sa brzinom \vec{v}_0 , a x-osu usmerim u smeru brzine a sila trenja i aktivna komponenta Zemljine teže bi delovale u suprotnom smeru od brzine tela, tada iz Osnovnog zakona dinamike sledi da je

$$m \cdot a = -m \cdot g \cdot \sin \alpha - \mu \cdot m \cdot g \cdot \cos \alpha \dots\dots\dots 13$$

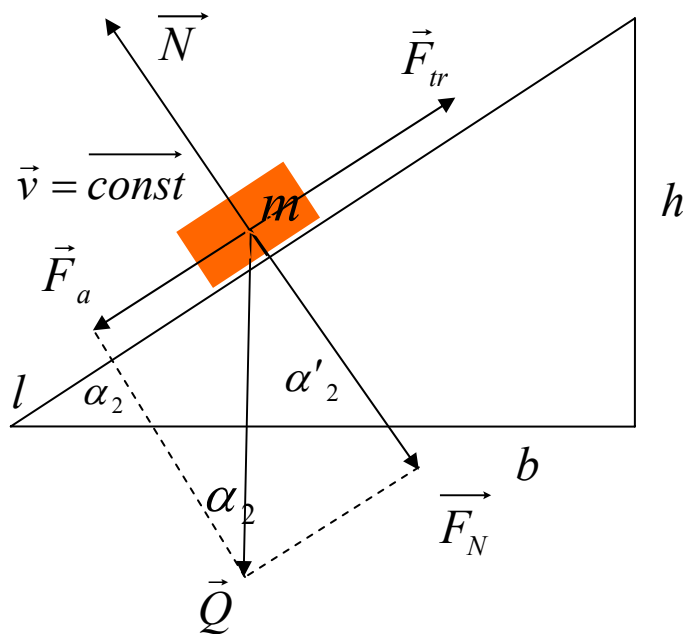
činilac $-(\sin \alpha + \mu \cos \alpha) < 0$, i tada je ubrzanje $a < 0$ jer je usmereno suprotno smeru x-ose. Ako je koeficijent trenja na celom putu stalan, to znači da je kretanje pravolinijski ravnomerno usporeno, brzina tela se smanjuje i izračunava se iz relacije 11 a pređeni put se izračunava iz relacije 12. Ako bi kretanje trajalo dovoljno dugo telo bi se zaustavilo.

Intenzitet ubrzanja $a = g \cdot (\sin \alpha - \mu \cos \alpha)$ niz strmu ravan, može se izračunati i pomoću dimenzija strme ravni na sledeći način:

$$a = \frac{g}{l} \cdot (h - \mu \cdot b) \dots\dots\dots 14$$

3.2. Ravnomerno pravolinijsko kretanje tela na strmoj ravni pod dejstvom \vec{F}_a i \vec{F}_{tr} i izračunavanje kefcijenta trenja kretanja pomoću izmerenih vrednosti visine i osnove strme ravni

Na osnovu prethodnog izlaganja može se zaključiti da mirovanje, ili kretanje tela niz strmu ravan pri istom uglu α , zavisi od strukture dodirnih površina, odnosno od koeficijenta trenja klizanja ili kotrljanja koji se može odrediti na sledeći način:



Slika 5. Prikaz sila koje deluju na telo na strmoj ravni pri ravnomernom pravolinijsko kretanju

Ako podesimo ugao strme ravni α_2 tako da telo klizi niz strmu ravan ravnomerno pravolinijski (slika 5), znači da je intenzitet aktivne komponente sile Zemljine teže na strmoj ravni jednak intenzitetu sile trenja. Na crtežu vidimo da su uglovi α_2 i α'_2 u odgovarajućim pravouglim trouglovima međusobno jednaki, jer su to uglovi sa normalnim kracima,

pa su posmatrani trouglovi slični i: $\frac{h}{b} = \frac{F_a}{F_N}$

S obzirom da je kretanje ravnomerno pravolinijsko, na telo deluju sile aktivne komponente Zemljinne teže i sila trenja, koje su u ravnoteži odnosno, intenziteti tih sila su jednaki, $F_a = F_{tr}$, i prethodni obrazac se može napisati:

$$\frac{h}{b} = \frac{F_{tr}}{F_N} \dots\dots\dots 15$$

a kako je $\mu = \frac{F_{tr}}{F_N}$ sledi:

$$\mu = \frac{h}{b} \dots\dots\dots 16$$

Na osnovu ovog razmatranja zaključujem da je moguće odrediti koeficijent trenja kretanja na strmoj ravni kada se telo kreće ravnomerno pravolinijski merenjem visine i osnove strme ravni.

Ako uzmem u obzir da je $tg\alpha = \frac{h}{b}$ jednačinu 16 mogu da napišem:

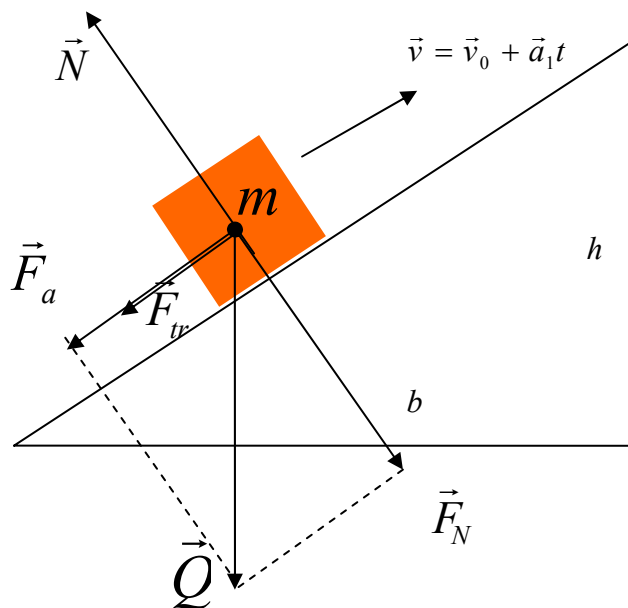
$$\mu = tg\alpha \dots\dots\dots 16a$$

.

3.3. Ravnomerno promenljivo pravolinijsko kretanje tela na strmoj ravni po dejstvu \vec{F}_a i \vec{F}_{tr} i izračunavanje koeficijenta trenja kretanja pomoću izmerenih vrednosti vremena kretanja i dimenzija strme ravni

Koeficijent trenja pri kretanju tela na strmoj ravni, može se odrediti i merenjem vremena ravnomerno usporenog kretanja tela t_1 UZ strmu ravan, od podnožja strme ravni do zaustavljanja na njoj, i merenjem vremena kretanja tog istog tela NIZ strmu ravan

Ako se telu u podnožju strme ravni saopšti brzina \vec{v}_0 , telo se usled dejstva aktivne komponente Zemljine teže i sile trenja za vreme t_1 kreće ravnomerno usporeno UZ strmu ravan. Nakon zaustavljanja na njoj pod dejstvom aktivne komponente Zemljine teže i sile trenja telo se za vreme t_2 kreće ravnomerno ubrzano do podnožja strme ravni NIZ strmu ravan. Prilikom ovog ogleda mora se pretpostaviti da je aktivna komponenta Zemljine teže veća od sile trenja mirovanja na strmoj ravni da bi telo posle zaustavljanja na njoj počelo da se kreće NIZ strmu ravan.



Slika 6. Prikaz sila i brzine koje deluju na telo na strmoj ravni pri ravnomerno usporenom kretanju UZ strmu ravan

Prilikom kretanja tela UZ strmu ravan intenzitet usporenja će, pošto su sile aktivne komponente Zemljine teže i sile trenja istog smera, biti:

$$a_1 = g \cdot (\sin \alpha + \mu \cos \alpha) \dots\dots\dots 17$$

Intenzitet trenutne brzina se u ovom slučaju izračunava pomoću obrasca:

$$v = v_0 - a_1 t \dots\dots\dots 18$$

a telo do zaustavljanja prelazi put dužine:

$$s_1 = v_0 \cdot t_1 - \frac{1}{2} a_1 t_1^2 \dots\dots\dots 19$$

Pošto je trenutna brzina tela na kraju puta s_1 jednaka nuli, sledi $v_0 = a_1 t_1$
i kada se ovaj izraz uvrsti u jednačinu 19, za pređeni put UZ strmu

ravan S_1 , dobija se ::
$$s_1 = \frac{1}{2} a_1 t_1^2 \dots\dots\dots 20$$

Nakon zaustavljanja telo se NIZ strmu ravan kreće ubrzano (slika 7) i za neko vreme t_2 stići će do podnožja strme ravni brzinom intenziteta $v_2 = a_2 t_2$. Pošto su sila trenja i sila aktivne komponente Zemljine teže suprotnog smera, intenzitet ubrzanja NIZ strmu ravan će biti:

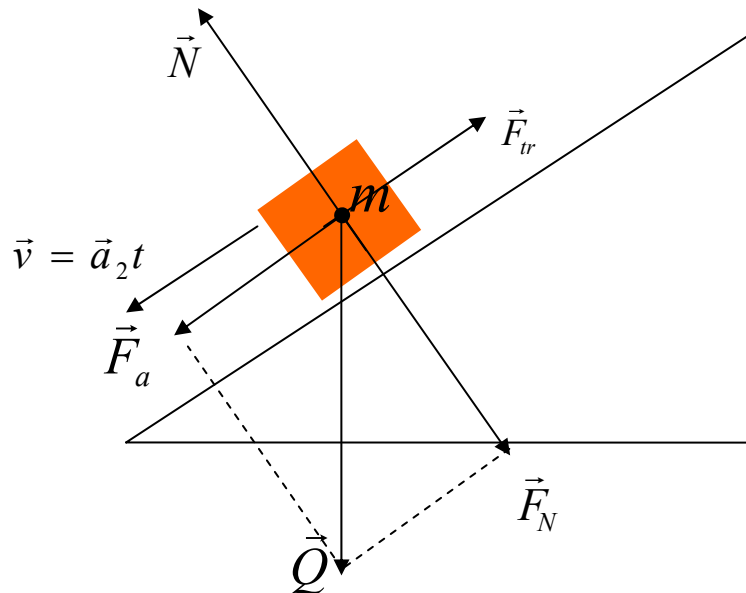
$$a_2 = g \cdot (\sin \alpha - \mu \cos \alpha) \dots\dots\dots 21$$

a pređeni put:

$$s_2 = \frac{1}{2} a_2 t_2^2 \dots\dots\dots 22$$

Pređeni putevi UZ i NIZ strmu ravan su jednaki, odnosno $s_1 = s_2$, iz čega sledi da je:

$$\left(\frac{t_1}{t_2}\right)^2 = \frac{a_2}{a_1} \dots\dots\dots 23$$



Slika 7. Prikaz sila i brzine koje deluju na telo na strmoj ravni pri ravnomerno ubrzanom kretanju NIZ strmu ravan

Zamenom izraza za ubrzanje i usporenje u prethodni obrazac dobija

se:

$$\left(\frac{t_1}{t_2}\right)^2 = \frac{\sin \alpha - \mu \cos \alpha}{\sin \alpha + \mu \cos \alpha} \dots\dots\dots 24$$

odnosno:

$$\left(\frac{t_1}{t_2}\right)^2 = \frac{\operatorname{tg} \alpha - \mu}{\operatorname{tg} \alpha + \mu} \dots\dots\dots 25$$

odakle je:

$$\mu = \operatorname{tg} \alpha \frac{1 - \left(\frac{t_1}{t_2}\right)^2}{1 + \left(\frac{t_1}{t_2}\right)^2} \dots\dots\dots 26$$

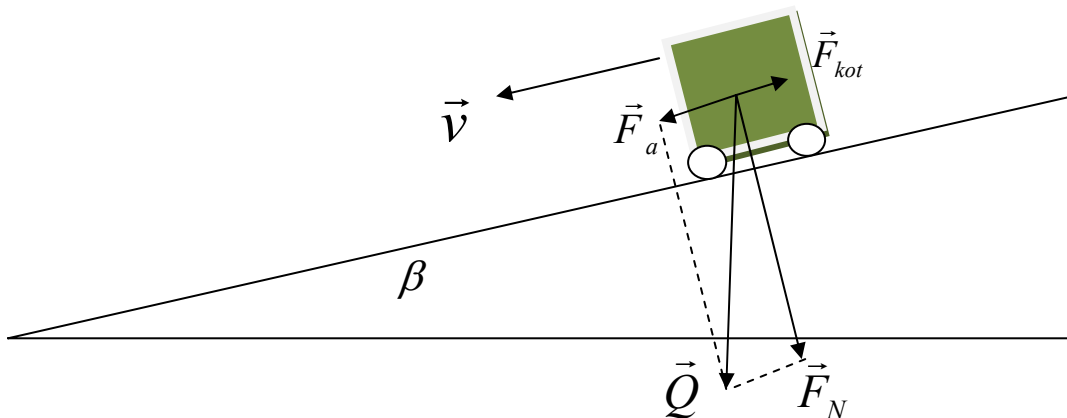
Ako se isti koeficijent trenja izrazi pomoću izmerene visine i osnove strme ravni i izmernih vremena kretanja UZ i NIZ strmu ravan, dobija se obrazac 26 u sledećem obliku:

$$\mu = \frac{h}{b} \cdot \frac{1 - \left(\frac{t_1}{t_2}\right)^2}{1 + \left(\frac{t_1}{t_2}\right)^2} \dots\dots\dots 27$$

3.4. Kretanje tela niz strmu ravan kotrljanjem pod dejstvom aktivne komponente sile Zemljine teže i sile trenja pri kotrljanju

Ako telo mase m' , stavimo na točkove mase m_1 tako da je ukupna masa sistema tela $m = m' + m_1$, (slika 8), a podesimo ugao strme ravni β_m tako da se telo kreće NIZ strmu ravan sa $\vec{v} = \overrightarrow{const}$, izmereni ugao β_m je manji od ugla α_2 - slika 5, kada je telo iste mase klizilo ravnomerno pravolinijski NIZ strmu ravan.

To znači da je aktivna komponenta sile Zemljine teže, koja je paralelna sa putem po kome se telo kreće, manja nego kada se telo jednake mase kreće niz strmu ravan klizanjem, odnosno sila trenja pri kotrljanju \vec{F}_{kot} manja je od sile trenja klizanja \vec{F}_{tr} .



Slika 8. Prikaz sila i brzine koje deluju na telo pri kotrljanju niz strmu ravan

Kretanje tela na strmoj ravni kotrljanjem takođe može biti pravolinijski ubrzano, ravnomerno pravolinijsko ili pravolinijski usporeno, što zavisi od odnosa između $tg\beta_m$ i koeficijenta trenja kotrljanja μ_{kot} , i ako je $tg\beta_m / \mu_{kot} > 1$, kretanje je pravolinijski ubrzano; ako je $tg\beta_m / \mu_{kot} = 1$, kretanje je ravnomerno pravolinijsko i ako je $tg\beta_m / \mu_{kot} < 1$ kretanje je pravolinijski usporeno.

Na osnovu prethodnih ogleda i analiza klizanja i kotrljanja tela na strmoj ravni, može se zaključiti da se kretanje tela na strmoj ravni pod

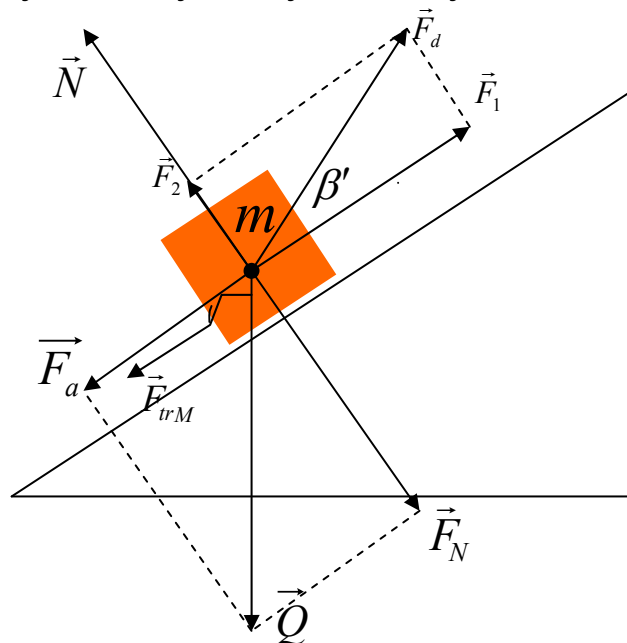
dejstvom aktivne komponente sile Zemljine teže uz pojavu neizostavne sile trenja, vrši ravnomerno pravolinijski ili ubrzano pravolinijski ili usporeno pravolinijski, što zavisi od:

- 1) Strukture dodirnih površina strme ravni i tela koje se kreće;
- 2) Uglu strme ravni;
- 3) Klizanja ili kotrljanja na strmoj ravni.

3.5. Kretanje tela na strmoj ravni pod dejstvom aktivne komponente sile Zemljine teže, sile trenja i spoljašnje sile \vec{F}_d

Ako telo mase m miruje na strmoj ravni, sila Zemljine teže se razlaže na aktivnu komponentu Zemljine teže paralelnu sa strmom ravni i normalnu komponentu Zemljine teže koja pritiska strmu ravan, a pošto se telo ne kreće, znači da deluje sila trenja mirovanja koja je u ravnoteži sa silom aktivne komponente Zemljine teže kao što je normalna komponenta u ravnoteži sa silom otpora podloge strme ravni.

Ako na telo počne da deluje spoljašnja sila dinamometra \vec{F}_d , pod uglom β' u odnosu na dužinu strme ravni, slika 9, i ako telo na strmoj ravni miruje, sile koje deluju na telo jesu u ravnoteži.



Slika 9. Prikaz sile i njihovih komponentata na telu kada deluje spoljašnja sila dinamometra a telo na strmoj ravni miruje

Na slici 9 je prikazano da se sila Zemljine teže razlaže na komponentu normalnu na strmu ravan \vec{F}_N i paralelnu komponentu \vec{F}_a a sila dinamometra \vec{F}_d se razlaže na komponentu \vec{F}_1 paralelnu sa strmom ravni i \vec{F}_2 normalnu na strmu ravan. Ako se telo kreće na strmoj ravni, \vec{F}_1 utiče na kretanje tela a komponenta \vec{F}_2 utiče na silu otpora podloge a samim tim i na silu trenja i tada je

$$\vec{F}_a + \vec{F}_1 + \vec{F}_{tr} = \vec{R} \quad \text{i} \quad \vec{F}_N + \vec{N} + \vec{F}_2 = 0 \dots\dots\dots 28$$

U slučaju da se telo kreće ravnomerno promenljivo pravolinijski na strmoj ravni usled delovanja spoljašnje sile (dinamometra) \vec{F}_d , pod uglom $0^\circ < \beta_1 < 90^\circ$, rezultanta sila koja deluje na telo paralelno sa dužinom strme ravni je različita od nule, a ako se kreće ravnomerno pravolinijski ona je nula.

Pretpostavimo da je telo na strmoj ravni mirovalo i da je usled delovanja sile dinamometra na telo pod uglom β_1 , rezultanta sila paralelna sa strmom ravni usmerena UZ nju. Tada će brzina i ubrzanje tela biti istog smera i ono će se kretati ubrzano UZ strmu ravan. Ako x-osu usmerim uz strmu ravan a y-osu u smeru sile otpora podloge mogu da napišem, na osnovu II Njutnovog zakona:

$$ma = -mg \sin \alpha + F_d \cos \beta_1 - \mu(mg \cos \alpha - F_d \sin \beta_1)$$

a ubrzanje koje telo ima jeste

$$a = \frac{F_d}{m} (\cos \beta_1 + \mu \sin \beta_1) - g(\sin \alpha + \mu \cos \alpha) \dots\dots\dots 29$$

Kada je ugao $\beta_1 = 0^\circ \Rightarrow \sin \beta_1 = 0$ a $\cos \beta_1 = 1$, formula 29 postaje

$$a = \frac{F_d}{m} - g(\sin \alpha + \mu \cos \alpha) \dots\dots\dots 29a$$

Ako je rezultanta sila kolinearnih sa strmom ravni usmerena NIZ strmu ravan, iako spoljašnja sila dinamometra deluje pod uglom $0^\circ < \beta_1 < 90^\circ$, na osnovu II Njutnovog zakona sledi

$$ma = -mg \sin \alpha + F_d \cos \beta_1 + \mu(mg \cos \alpha - F_d \sin \beta_1)$$

odnosno

$$a = \frac{F_d}{m} (\cos \beta_1 - \mu \sin \beta_1) + g(\mu \cos \alpha - \sin \alpha) \dots\dots\dots 30$$

Kada sila \vec{F}_d deluje pod uglom od 90° u odnosu na strmu ravan, tada je njena komponenta $\vec{F}_1 = 0$ i sila dinamometra utiče samo na smanjenje intenziteta otpora podloge, odnosno na smanjenje sile trenja.

Kada spoljašnja sila počne da deluje na telo vertikalno uvis sa većim intenzitetom od intenziteta sile Zemljine teže, telo više nije na strmoj ravni

U slučaju da se telo kretalo sa nekom brzinom \vec{v}_0 UZ strmu ravan i ako je usled delovanja sile dinamometra pod uglom $0^\circ < \beta_1 < 90^\circ$ uz strmu ravan rezultanta sila kolinearnih sa strmom ravni usmerena NIZ nju, telo će se kretati usporeno UZ strmu ravan, dok se ne zaustavi i nakon toga produžiće da se kreće niz strmu ravan ubrzano a ubrzanje se izračunava na osnovu formule 30.

Kada spoljašnja sila deluje pod uglom $90^\circ < \beta_2 < 180^\circ$, sila \vec{F}_1 je kolinearna sa aktivnom komponentom Zemljine teže \vec{F}_a i tada je

$$ma = -mgsin\alpha + F_d \cos\beta_2 + \mu(mg\cos\alpha - F_d \sin\beta_2)$$

a intenzitet ubrzanja iznosi

$$a = \frac{F_d}{m} (\cos\beta_2 - \mu\sin\beta_2) + g(\mu\cos\alpha - \sin\alpha) \dots\dots\dots 31$$

U slučaju da se telo kretalo UZ strmu ravan kada je počela da deluje sila F_d pod uglom $90^\circ < \beta_2 < 180^\circ$, a rezultanta sila je NIZ strmu ravan, telo počinje da se kreće usporeno UZ nju a posle zaustavljanja na njoj, kreće se ubrzano NIZ strmu ravan na osnovu relacije 31.

Ako je ugao $\beta_2 = 180^\circ \Rightarrow \sin\beta_2 = 0$ i $\cos\beta_2 = -1$, prethodna formula ima oblik

$$a = g(\mu\cos\alpha - \sin\alpha) - \frac{F_d}{m} \dots\dots\dots 31a$$

Na osnovu prethodno rečenog mogu da zaključim:

Kada telo na strmoj ravni ima brzinu \vec{v}_0 , paralelnu sa strmom ravni, a deluje realna spoljašnja sila \vec{F}_d , ili njene komponente, ono će se kretati:

- 1) ravnomerno pravolinijski ako je rezultanta sila koja deluje na telo

nula, odnosno $\vec{R} = \sum_{i=1}^n \vec{F}_i = 0$;

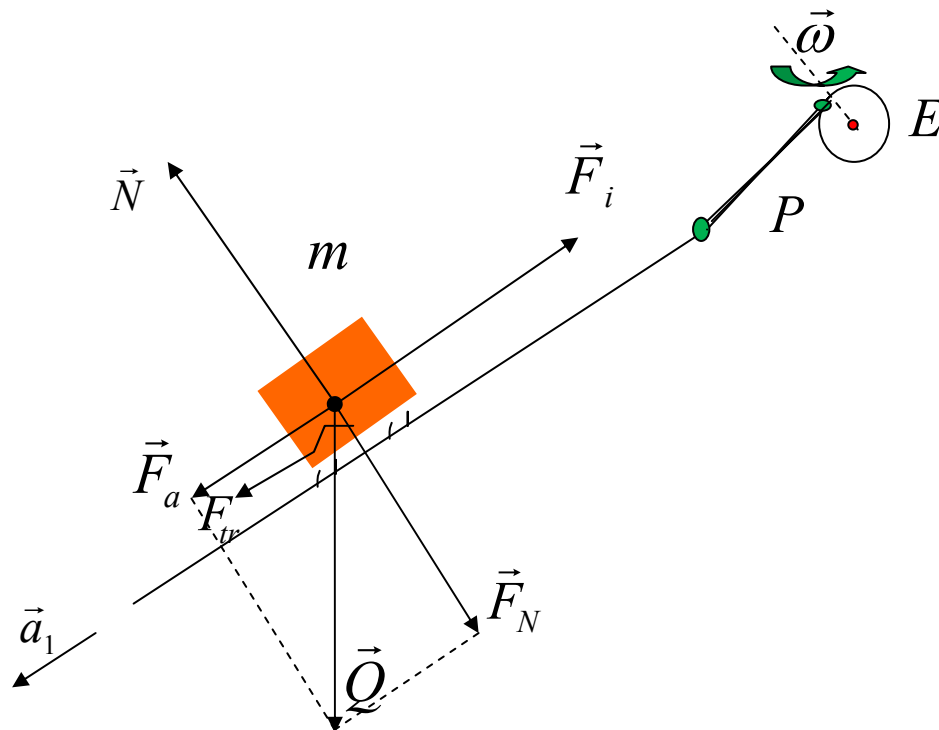
- 2) ubrzano pravolinijski, ako je rezultanta sila koje deluju na telo različita od nule odnosno $\vec{R} = \sum_{i=1}^n \vec{F}_i \neq 0$, a rezultanta je u pravcu i smeru brzine tela;
- 3) usporeno pravolinijsko kretanje, ako je rezultanta sila koje deluju na telo različita od nule tj. $\vec{R} = \sum_{i=1}^n \vec{F}_i \neq 0$, a rezultanta sila deluje u pravcu strme ravni ali suprotno smeru brzine tela.

3.6. Kretanje tela na strmoj ravni pod dejstvom aktivne komponente Zemljine teže, sile trenja i inercione sile

Kada telo na strmoj ravni miruje, aktivna komponenta Zemljine teže je u ravnoteži sa silom trenja mirovanja, a normalna komponenta je u ravnoteži sa silom otpora podloge strme ravni.

Ako strma ravan krene ubrzano „na dole“ u sopstvenoj ravni, (slika 10), sa ubrzanjem \vec{a}_1 , što se može realizovati pričvršćivanjem strme ravni sa polugom P, koja je ekscentrično pričvršćena na točak E koji vrši periodično kružno kretanje sa ugaonom brzinom $\vec{\omega}$, na telo će delovati inerciona sila $\vec{F}_i = m\vec{a}_1$ UZ strmu ravan kolinearna sa aktivnom komponentom Zemljine teže i sile trenja ali suprotnog smera.

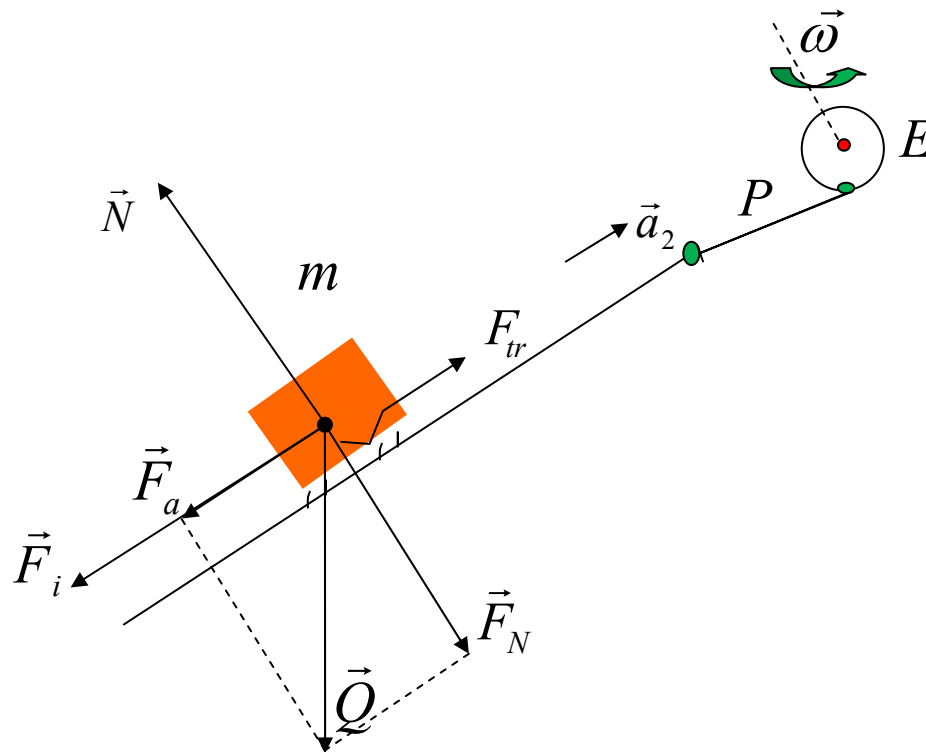
Ako x-osu usmerim UZ strmu ravan, telo će krenuti UZ nju, a usled kretanja strme ravni "na dole" ako je ispunjen uslov $F_i - F_a - F_m > 0$, odnosno kada je $F_i > F_a + F_{tr}$, gde je \vec{F}_{tr} sila trenja kretanja a \vec{F}_a aktivna komponenta Zemljine teže.



Slika 10. Prikaz sile, koje deluju na telo, kada se strma ravan u sopstvenoj ravni kreće ubrzano "na dole" a telo UZ strmu ravan

Kada se strma ravan počne kretati ubrzano "na gore" u sopstvenoj ravni sa ubrzanjem \vec{a}_2 (slika 11), na telo će delovati inerciona sila $\vec{F}_i = m\vec{a}_2$ NIZ strmu ravan, istog smera sa aktivnom komponentom Zemljine teže a suprotnog smera sa silom trenja, ako telo krene NIZ strmu ravan. Tada je ispunjen uslov:

$$F_i + F_a > F_{tr} \Rightarrow F_i > F_{tr} - F_a$$



Slika 11. Prikaz sila, koje deluju na telo, kada se strma ravan u sopstvenoj ravni kreće ubrzano "na gore" a telo NIZ strmu ravan

Kada dužina strme ravni počne oscilovati u sopstvenoj ravni sa frekvencijom f i amplitudom x_0 , što može da se postigne periodičnim kružnim kretanjem točka E (vidi sliku 10 i 11), na telo deluje inerciona sila $F_i = m \cdot 4\pi^2 f^2 x_0$ promenljivog intenziteta i smera, suprotno ubrzanju dužine strme ravni,

Da bi se telo prilikom oscilovanja kretalo NIZ strmu ravan, kada se strma ravan ubrzano kreće "na gore" mora da je ispunjen uslov:

$$m \cdot 4\pi^2 f_1^2 x_0 > mg\mu \cos\alpha - mg \sin\alpha$$

a frekvencija f_1 za određeno x_0 i μ treba da je:

$$f_1 > \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{g}{x_0}} \cdot \sqrt{\mu \cos \alpha - \sin \alpha} \dots\dots\dots 32$$

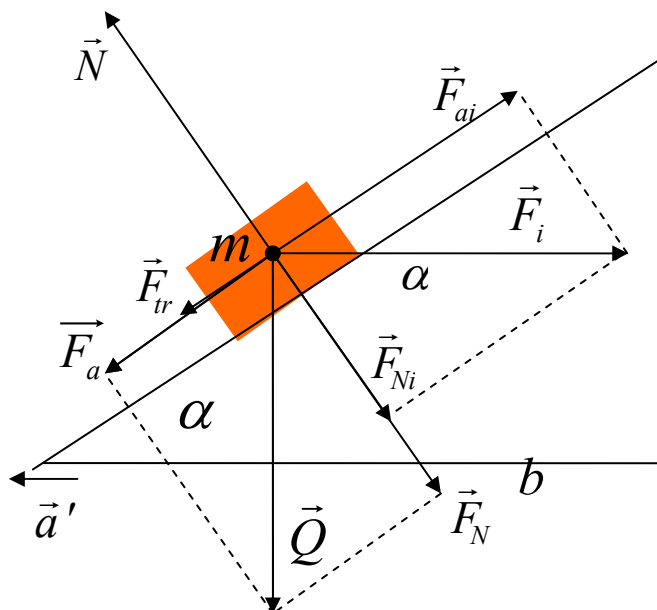
Da bi se telo prilikom oscilovanja kretalo UZ strmu ravan, kada se ona kreće ubrzano "na dole", mora da je ispunjen uslov:

$$m \cdot 4\pi^2 f_2^2 x_0 > mg\mu \cos \alpha + mg \sin \alpha$$

a frekvencija za određeno x_0 i μ treba da je:

$$f_2 > \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{g}{x_0}} \cdot \sqrt{\mu \cos \alpha + \sin \alpha} \dots\dots\dots 33$$

Iz obrazaca za izračunavanje učestanosti oscilatornog kretanja tela NIZ i UZ strmu ravan, za istu amplitudu i koeficijent trenja, sledi da učestanost UZ strmu ravan treba da je veća nego učestanost NIZ strmu ravan. Da bismo ukazali na praktičnu primenu ovakvog zaključka, pretpostavimo da je $x_0 = 0,025$ m; ugao strme ravni $\alpha = 5^\circ$ a koeficijent trenja $\mu = 0.4$. Frekvencije na osnovu relacija (32) i (33) izražene približnim brojevima iznose $f_1 = 1.76$ Hz i $f_2 = 2.20$ Hz, što znači da ako se neko telo nalazi na strmoj ravni ovakvog ugla i koeficijenta trenja a frekvencija je $f = 2$ Hz, ono će se kretati samo NIZ strmu ravan i to samo kada se ona kreće u sopstvenoj ravni "na gore". Ovaj zaključak je iskorišćen, primenom različitih tehničkih rešenja. za napr. odstranjivanje šapurika kod krunjača kukuruza ili sličnih radnih mašina za odstranjivanje nusprodukata radno-proizvodnog procesa.



Slika 12: Prikaz sila koje deluju na telo na strmoj ravni kada se strma ravan kreće sa ubrzanjem \vec{a}' ulevo a telo se kreće UZ strmu ravan.

Jedno od mogućih tehničkih rešenja oscilovanja strme ravni jeste kretanje osnove strme ravni b , sa ubrzanjem \vec{a}' . Na telo tada deluje inerciona \vec{F}_i (slika 12).

Ako se strma ravan kreće ubrzano ulevo, inerciona sila deluje udesno i intenzitet inercione sile $F_i = ma'$ se razlaže na komponentu paralelnu sa dužinom strme ravni intenziteta

$$F_{ai} = ma' \cos \alpha \dots\dots\dots 34$$

i normalnu komponentu na dužinu strme ravni, intenziteta

$$F_{Ni} = ma' \sin \alpha \dots\dots\dots 35$$

Ukupni intenzitet sile koja pritiska strmu ravan, kada se ona kreće ubrzano paralelno sa osnovom strme ravni, potiče od normalne komponente Zemljine teže i normalne komponente inercione sile i jeste:

$$F_n = mg \cos \alpha + ma' \sin \alpha \dots\dots\dots 36$$

koji je jednak intenzitetu sile otpora podloge N .

Da bi telo na strmoj ravni, koja se kreće ubrzano ulevo kao na slici 12 mirovalo, intenzitet rezultante sile koje deluju na telo mora da je jednak nuli. Ako x-osu usmerim UZ strmu ravan a y-osu u smeru sile otpora podloge, mogu da napišem da je

$$N - mg \cos \alpha - ma' \sin \alpha = 0 \dots\dots\dots 37$$

$$- mg \sin \alpha + ma' \cos \alpha = 0 \dots\dots\dots 38$$

Iz poslednje formule za ravnotežu tela na strmoj ravni, kada se ona kreće ubrzano kao na slici 12, sledi

$$a' = g \cdot \operatorname{tg} \alpha \dots\dots\dots 39$$

Ako je ubrzanje strme ravni \vec{a}' dovoljno da intenzitet aktivne komponente inercione sile F_{ai} prouzrokuje ubrzano kretanje tela UZ strmu ravan, tada intenzitet sile trenja $F_{tr} = \mu N$ odnosno

$$F_{tr} = \mu (mg \cos \alpha + ma' \sin \alpha) \dots\dots\dots 40$$

i aktivna komponenta Zemljine teže $F_a = mg \sin \alpha$ deluje NIZ strmu ravan a paralelna komponenta $F_{ai} = ma' \cos \alpha$ inercione sile, deluje UZ strmu ravan i tada je ispunjen uslov

$$ma' \cos \alpha - mg \sin \alpha > \mu (mg \cos \alpha + ma' \sin \alpha)$$

odnosno

$$a' > g \frac{\sin \alpha + \mu \cos \alpha}{\cos \alpha - \mu \sin \alpha}$$

Na osnovu II Njutnovog zakona, ubrzanje koje tom prilikom stiče telo UZ strmu ravan jeste

$$a = a'(\cos \alpha - \mu \sin \alpha) - g(\sin \alpha + \mu \cos \alpha) \dots\dots\dots 41$$

Ako se strma ravan kreće ubrzano udesno sa ubrzanjem a' , inerciona sila deluje ulevo a kada je ispunjen uslov

$$ma' \cos \alpha + mg \sin \alpha > \mu(mg \cos \alpha - ma' \sin \alpha)$$

telo se kreće NIZ strmu ravan, odnosno

$$a' > g \frac{\mu \cos \alpha - \sin \alpha}{\cos \alpha + \mu \sin \alpha}$$

Na osnovu Osnovnog zakona dinamike, ubrzanje koje tom prilikom stiče telo NIZ strmu ravan može se izračunati pomoću relacije

$$a_1 = g(\mu \cos \alpha - \sin \alpha) - a'(\cos \alpha - \mu \sin \alpha) \dots\dots\dots 42$$

Ako se osnova b strme ravni kreće oscilatorno, da bi se telo kretalo NIZ strmu ravan - ona mora da se ubrzano pomera udesno – mora da je ispunjen uslov

$$f_1 > \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{g}{x_0} \left(\frac{\mu \cos \alpha - \sin \alpha}{\cos \alpha + \mu \sin \alpha} \right)}$$

Ako se osnova b strme ravni kreće oscilatorno, da bi se telo kretalo UZ strmu ravan - ona mora da se ubrzano pomera ulevo – mora da je ispunjen uslov

$$f_2 > \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{g}{x_0} \left(\frac{\mu \cos \alpha + \sin \alpha}{\cos \alpha - \mu \sin \alpha} \right)}$$

4. Dodatni rad učenika u 7. razredu osnovne škole

4.1 Obrada nastavne jedinice: Statička i dinamička ravnoteža tela na strmoj ravni i određivanje koeficijenta trenja kretanja ravnomernim pravolinijskim klizanjem tela

1. Formiranje parova
2. Obnavljanje gradiva (potrebno predznanje)
3. Ogljed
4. Izračunavanje koeficijenta trenja klizanja.
5. Zaključak

Korak – 1: Formirati parove po azbučnom redu

Korak – 2: Obnavljanje gradiva

Predznanje

- Referentno telo.
- Relativno mirovanje i relativno kretanje.
- Sila.
- Sile u ravnoteži.
- Kakve sile deluju na telo kada ono miruje ili se kreće ravnomerno pravolinijski.
- Sila Zemljine teže i težina tela.
- Razlaganje sile.
- Uglovi sa normalnim kracima i sličnost trouglova.
- Sila trenja.
- Strma ravan.

Pretpostavljeni odgovori

- Referentno telo je ono sa kojim upoređujem mirovanje ili kretanje nekog drugog tela.
- Telo relativno miruje kada ne menja položaj u odnosu na referentno telo a relativno se kreće kada menja položaj u odnosu na referentno telo.
- Sila je mera uzajamnog delovanja između tela
- Sile su u ravnoteži kada je rezultanta sile koje deluju na telo jednaka nuli.
- Na osnovu I Njutnovog zakona znam da kada telo miruje ili se kreće ravnomerno pravolinijski rezultanta sile koje na telo deluju je nula.
- Zemlja privlači sva tela svojom gravitacionom silom koju nazivamo silom Zemljine teže a težina tela je sila sa kojom telo (pod dejstvom sile Zemljine teže) pritiska horizontalnu podlogu ili zateže užu o koje je okačeno.

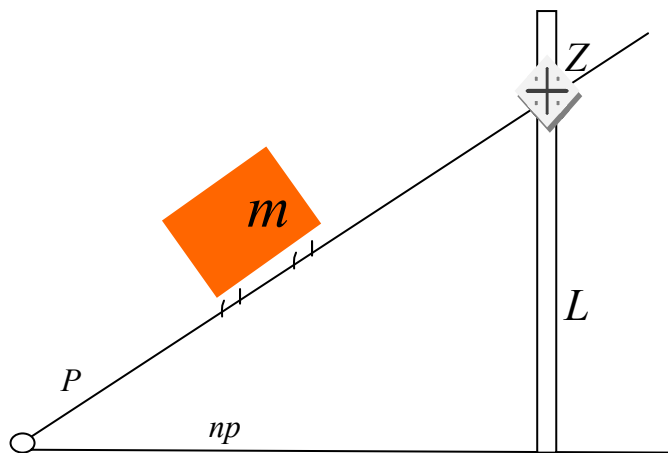
- Sile mogu da razložim na komponente, kada znam pravce duž kojih treba silu razložiti.
- Uglovi sa normalnim kracima su jednaki, a trouglovi sa jednakim uglovima su slični.
- Sila trenja je suprotnog smera vučnoj sili - sili koja pokreće telo. Obrazac za izračunavanje intenziteta sile trenja je: $F_{tr} = \mu \cdot N$, gde je μ koeficijent trenja, a N normalna sila otpora podloge. Sila trenja kretanja je manja od sile trenja mirovanja.
- Strma ravan je ravna površina koja sa horizontalom zaklapa ugao između 0° i 90° .

Korak – 3: Ogled

Cilj: Uočiti da telo miruje, ili se kreće ravnomerno pravolinijski po strmoj ravni u zavisnosti od ugla strme ravni i uglačanosti dodirne površine sa njom.

Pribor:

Ploča P koja se pomoću osovine pričvrsti jednim krajem za horizontalnu nepokretnu podlogu np , tako da može da se obrće oko ose, a drugim krajem se pomoću zavrtnja Z pričvrsti za vertikalni čvrsti oslonac L . Telo mase m u obliku kvadra sa jednom uglačanom, a drugom hrapavom površinom. Lenjir (slika 13).

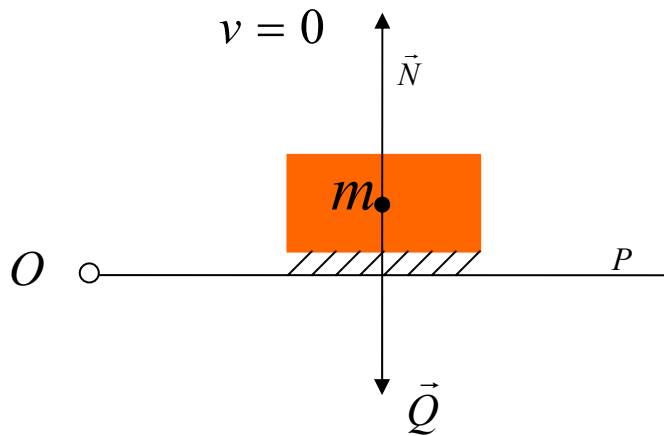


Slika 13. Jednostavna aparatura za određivanje koeficijenta trenja klizanja na strmoj ravni

Uputstvo za rad (koje učenici dobijaju po parovima)

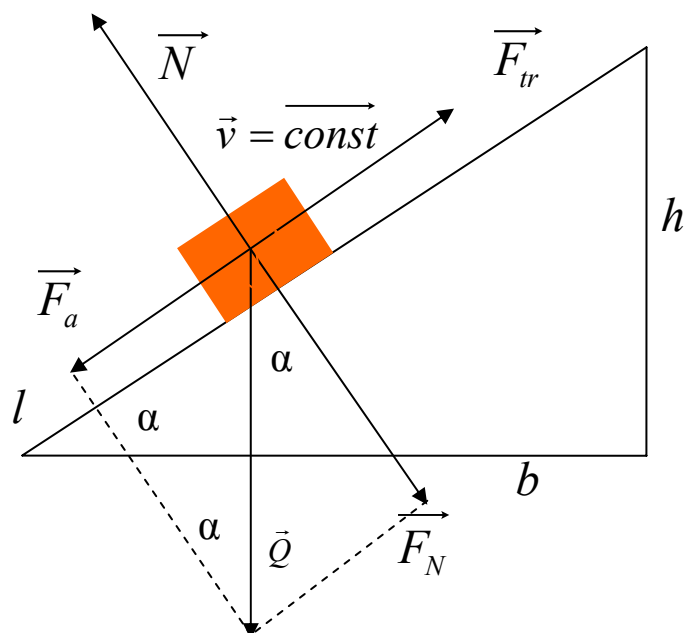
1. Stavi telo na horizontalnu nepokretnu podlogu P , slika 13, okrenuto hrapavom površinom ka podlozi. Telo se nalazi u statičkoj ravnoteži. Razmisli koje sile deluju na telo. Na telo deluju dve sile:

Deluje sila Zemljine teže \vec{Q} i sila otpora podloge \vec{N} , koje su jednakih intenziteta, a suprotnih smerova; njihova rezultanta je nula i telo relativno miruje.



Slika 14. Prikaz sila koja deluju na telo koje miruje na horizontalnoj nepokretnoj podlozi

2. Polako obrći podlogu, P, oko osovine, O. Dok to činiš sila Zemljine teže tela se razlaže na komponentu paralelnu sa strmom ravni - aktivnu komponentu Zemljine teže, \vec{F}_a , koja se povećava sa povećanjem ugla strme ravni, a u ravnoteži je sa silom trenja, i na komponentu koja pritiska podlogu strme ravni \vec{F}_N - normalnu komponentu Zemljine teže, koja je u ravnoteži sa silom otpora podloge, \vec{N} , strme ravni, odnosno $F_N = N$ (slika 15).



Slika 15. Prikaz sila i uglova pri kretanju tela niz strmu ravan sa stalnom brzinom

Sa slike 15 vidi se da je: $\frac{F_a}{Q} = \frac{h}{l} \Rightarrow F_a = Q \frac{h}{l}$

a da je $\frac{F_N}{Q} = \frac{b}{l} \Rightarrow F_N = Q \frac{b}{l}$.

Na određenoj visini, odnosno pri određenom uglu strme ravni telo počinje polako da klizi niz strmu ravan, što znači da se aktivna komponenta Zemljine teže dovoljno povećala da pokrene telo i tada treba malo smanjiti ugao strme ravni i pričvrstiti strmu ravan, da bi telo stalo (slika 15).

Objašnjenje: Kada je aktivna komponenta Zemljine teže pokrenula telo, bila je neznatno veća od sile trenja mirovanja, koja je veća od sile trenja kretanja. To znači da je rezultanta tela postala veća od nule i telo se počelo kretati ubrzano. Da bi telo stalo treba neznatno smanjiti ugao strme ravni da bi sila trenja klizanja postala jednaka aktivnoj sili Zemljine teže.

Telo se tada nalazi u statičkoj ravnoteži i na osnovu sličnosti trouglova (slika 15) prikazanih komponentata sila i dimenzija strme ravni može se napisati:

$$\frac{h}{b} = \frac{F_a}{F_N} \dots\dots\dots 4.1.1$$

3. Ako se kratkotrajno deluje na telo malom silom, u smeru aktivne komponente, i ako telo stekne brzinu $\vec{v} = \vec{c}const$, kretaće se NIZ strmu ravan ravnomerno pravolinijski, i telo je u dinamičkoj ravnoteži. Tada je

$$F_a = F_{tr} \dots\dots\dots 4.1.2$$

te iz prethodnog obrasca sledi:

$$\frac{h_1}{b_1} = \frac{F_{tr}}{F_N} \dots\dots\dots 4.1.3$$

a pošto je $N = F_N$, sledi:

$$\mu_1 = \frac{F_{tr}}{F_N}$$

odnosno
$$\mu_1 = \frac{h_1}{b_1} \dots\dots\dots 4.1.4$$

Kada telo klizi niz strmu ravan sa $\vec{v} = \vec{c}const$, izmeri visinu i osnovu strme ravni, i zabeleži merene veličine u tabelu.

Postupak određivanja koeficijenta trenja klizanja treba ponoviti i kada telo klizi niz strmu ravan okrenuto glatkom dodirnom površinom i odrediti koeficijent trenja pomoću obrasca:

$$\mu_2 = \frac{h_2}{b_2} \dots\dots\dots 4.1.5$$

Podatke merenja dimenzija strme ravni, i izračunate vrednosti koeficijenta trenja klizanja za hrapavu dodirnu površ tela sa strmom ravni - μ_1 , i za glatku dodirnu površ tela sa strmom ravni - μ_2 , zapiši u tabelu 1.

4. Na osnovu izmerenih vrednosti visine i dužine strme ravni treba izračunati koeficijente trenja klizanja za dato telo.

Tabela 1

h_1	b_1	h_2	b_2	μ_1	μ_2

5. Zaključak na osnovu eksperimenta:

Koeficijent trenja kretanja pri klizanju tela zavisi od prirode (hrapavosti) dodirnih površina i može se odrediti pri ravnomernom pravolinijskom kretanju – klizanju tela na strmoj ravni.

4.2 Obrada nastavne jedinice: Određivanje koeficijenta trenja kretanja na strmoj ravni merenjem trajanja ravnomernog promenljivog pravolinijskog kretanja tela UZ i NIZ strmu ravan

Tok časa:

1. Obnavljanje gradiva (potrebno predznanje)
2. Misaoni eksperiment
3. Izvođenje obrasca za izračunavanje koeficijenta trenja kretanja
4. Zaključak

1. Obnavljanje gradiva

Potrebno predznanje

- Strma ravan
- Aktivna komponenta sile Zemljine teže koja deluje na telo
- Ravnomerno promenljivo pravolinijsko kretanje
- Sila trenja kretanja i sila trenja mirovanja
- Vremenski trenutak i vremenski interval

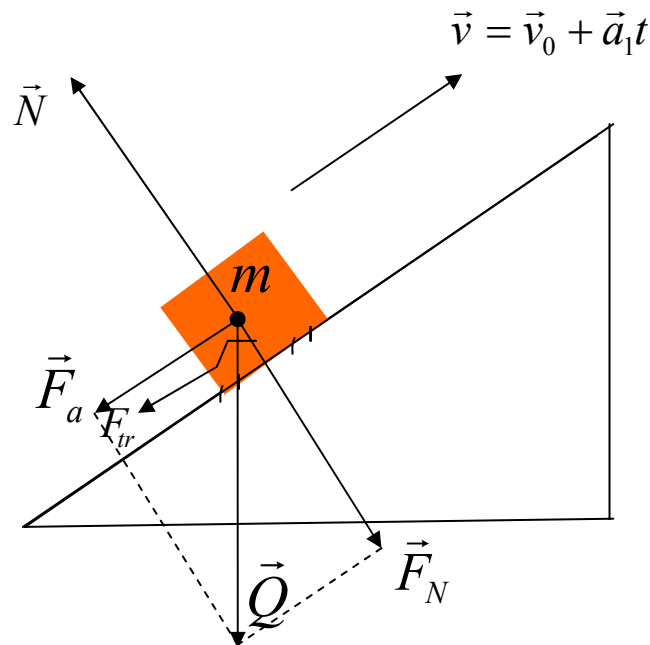
Pretpostavljeni odgovori

- Strma ravan je ravna površina (ploča) koja sa horizontalom zaklapa ugao veći od 0° a manji od 90° .
- Aktivna komponenta sile Zemljine teže je paralelna dužini strme ravni i izračunava se iz formule $F_a = Q \frac{h}{l}$.
- Ravnomerno promenljivo pravolinijsko kretanje je ubrzano, kada se brzina u jednakim vremenskim intervalima povećava za istu vrednost, a ono je usporeno, ako se brzina u jednakim vremenskim razmacima smanjuje za istu vrednost.
- Sila trenja kretanja se suprotstavlja kretanju tela i izračunava se iz obrasca $F_{tr} = \mu Q \frac{b}{l}$, a sila trenja mirovanja se suprotstavlja pokretanju tela i veća je od sile trenja kretanja.
- Vremenski trenutak je neponovljiv i odgovor je na pitanje kada se nešto dogodilo, a vremenski interval je trajanje između dva vremenska trenutka i odgovor je na pitanje koliko je događaj trajao.

Misaoni eksperiment

Drveni blok je gurnut UZ strmu ravan, (slika 16) osnove b i visine h , početnom brzinom \vec{v}_0 ; zaustavi se na njoj posle vremena t_1 . Potom blok klizi niz strmu ravan do podnožja za vreme t_2 . Ako se pretpostavi da sila

trenja ne zavisi od brzine, koliki je koeficijent trenja između drvenog bloka i strme ravni?



Slika 16: Prikaz sila koje deluju na telo kada se ono kreće UZ strmu ravan ako mu se saopšti početna brzina \vec{v}_0 uz strmu ravan

Analiza eksperimenta: Drveni blok se UZ strmu ravan kreće ravnomerno usporeno sa usporenjem intenziteta a_1 , ako je sila trenja kretanja između bloka i strme ravni na svim delovima puta stalna – konstanta. Dok traje kretanje UZ strmu ravan, intenzitet rezultujuće sile, čiji je smer suprotan smeru početne brzine, jednak je zbiru intenziteta sile aktivne komponente težine tela i sile trenja kretanja, odnosno $\vec{R} = \vec{F}_a + \vec{F}_{tr}$ i suprotna je brzini \vec{v}_0 .

Intenzitet trenutne brzina se izračunava pomoću obrasca $v = v_0 - a_1 t$ i za vreme t_1 drveni blok će preći put:

$$s_1 = v_0 \cdot t_1 - \frac{1}{2} a_1 t_1^2 \dots\dots\dots 4.2.1$$

i potom stati, odnosno njegova trenutna brzina će postati nula.

Posle zaustavljanja telo počinje da se kreće niz strmu ravan samo ako je sila aktivne komponente Zemljine teže veća od sile trenja mirovanja što znači da je aktivna komponenta Zemljine teže veća i od sile trenja klizanja. Tada je rezultanta komponenta Zemljine teže i sile trenja klizanja usmerena NIZ strmu ravan. Drveni blok će do podnožja strme ravni klizati sa ubrzanjem a_2 za vreme t_2 i preći će put :

$$s_2 = \frac{1}{2} a_2 t_2^2 \dots\dots\dots 4.2.2$$

pri čemu je $S_2 = S_1$.

3. Izvođenje obrasca za izračunavanje koeficijenta trenja kretanja na strmoj ravni.

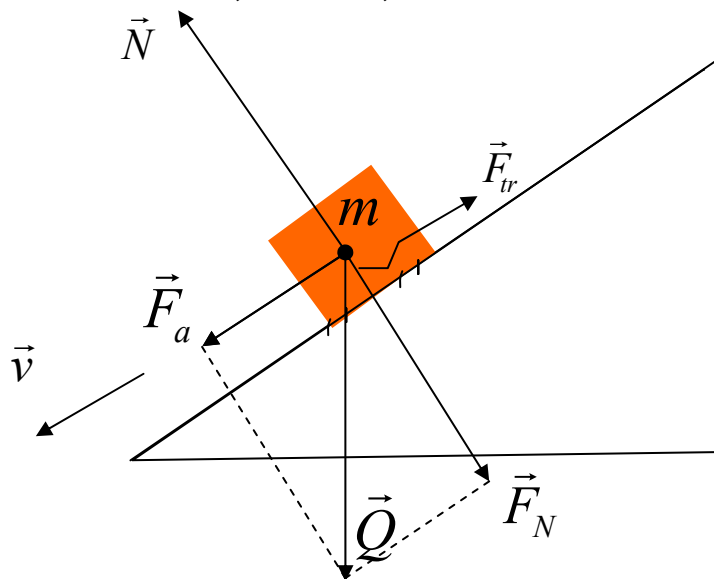
Na osnovu II Njutnovog zakona, sa slike 16 kada telo klizi UZ strmu ravan a smer x-ose je takođe UZ strmu ravan, sledi:

$$m \cdot a_1 = -m \cdot g \cdot \frac{h}{l} - \mu \cdot m \cdot g \cdot \frac{b}{l} \dots\dots\dots 4.2.3$$

odnosno:

$$a_1 = -g \cdot \left(\frac{h}{l} + \mu \frac{b}{l} \right) \dots\dots\dots 4.2.4$$

Kada telo klizi NIZ strmu ravan, slika 17, sledi:



Slika 17: Prikaz sila koje deluju na telo i brzine i trenutne brzine \vec{v} kada se ono kreće NIZ strmu ravan

$$m \cdot a_2 = -m \cdot g \cdot \frac{h}{l} + \mu \cdot m \cdot g \cdot \frac{b}{l} \dots\dots\dots 4.2.5$$

a ubrzanje:

$$a_2 = -g \cdot \left(\frac{h}{l} - \mu \frac{b}{l} \right) \dots\dots\dots 4.2.6$$

Pošto telo posle pređenog puta s_1 stane, njegova trenutna brzina je nula i tada iz $v = v_0 - a_1 t_1$ sledi $v_0 = a_1 t_1$ odnosno:

$$s_1 = a_1 \cdot t_1 \cdot t_1 - \frac{1}{2} a_1 t_1^2$$

$$s_1 = \frac{1}{2} a_1 t_1^2 \dots\dots\dots 4.2.7$$

Pošto su pređeni putevi, kada drveni blok klizi UZ strmu ravan I NIZ strmu ravan, jednaki, izjednačavanjem izraza za pređene puteve I sređivanjem dobija se:

$$\frac{t_1^2}{t_2^2} = \frac{a_2}{a_1} \dots\dots\dots 4.2.8$$

a zameno izraza za ubrzanje niz strmu ravan i usporenje uz strmu ravan dobija se:

$$\frac{t_1^2}{t_2^2} = \frac{g \left(\frac{h}{l} - \mu \frac{b}{l} \right)}{g \left(\frac{h}{l} + \mu \frac{b}{l} \right)}$$

Kada se koeficijent trenja eksplicitno izrazi pomoću dimenzija visine i osnove strme ravni kao i vremena kretanja tela niz strmu ravan i uz strmu ravan, dobija se izraz:

$$\mu = \frac{h \left(1 - \frac{t_1^2}{t_2^2} \right)}{b \left(1 + \frac{t_1^2}{t_2^2} \right)} \dots\dots\dots 4.2.9$$

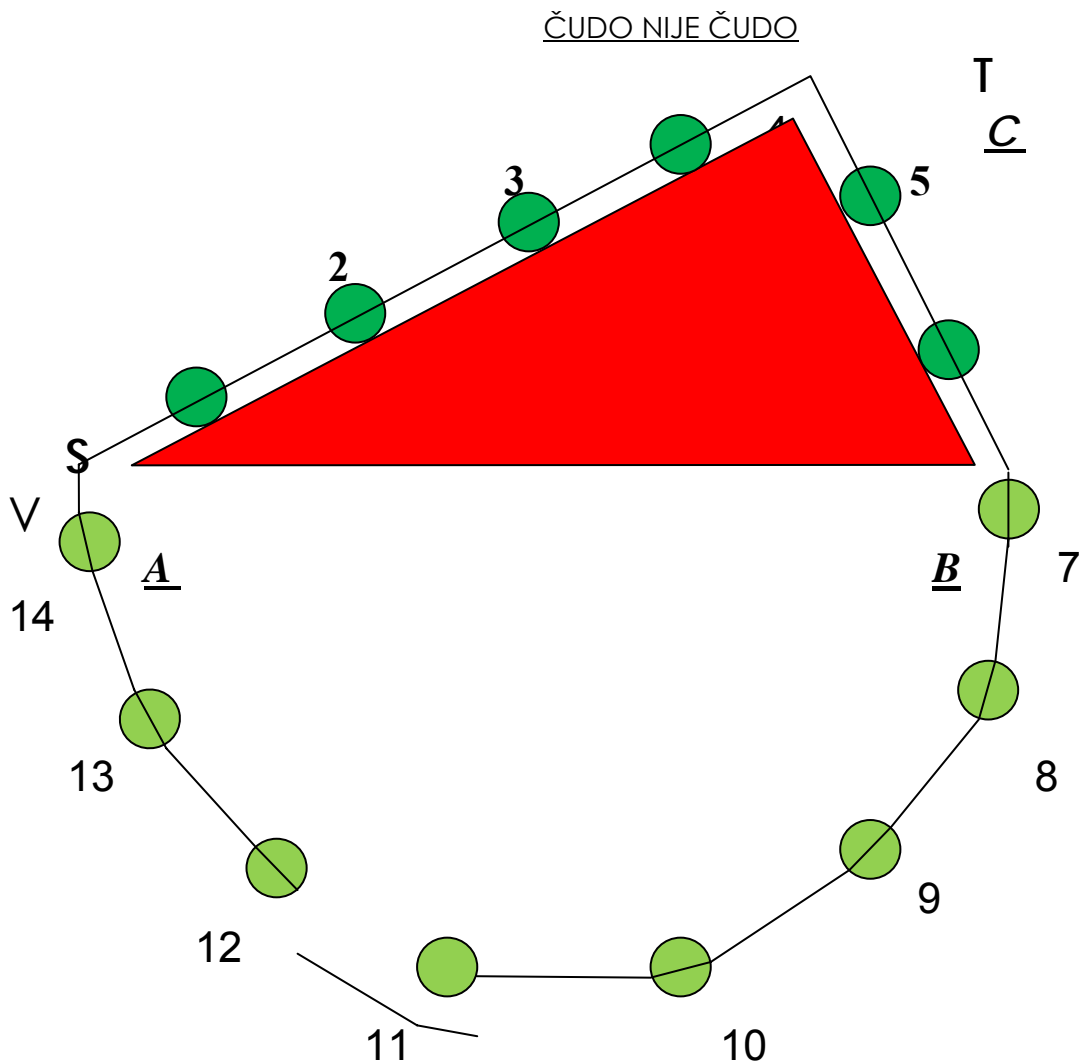
5. Zaključak na osnovu misaonog eksperimenta

Da bi se izračunao koeficijent trenja kretanja između tela i strme ravni, mora se telu saopštiti početna brzina \vec{v}_0 , u podnožju strme ravni i izmeriti trajanje kretanja tela t_1 , UZ strmu ravan do trenutka zaustavljanja na njoj a potom izmeriti vreme kretanja t_2 tela NIZ strmu ravan do podnožja strme ravni.

U cilju izračunavanja koeficijenta trenja kretanja na strmoj ravni potrebno je izmeriti i visinu i osnovu strme ravni

5. Istorijski dodatak: Ravnoteža na strmoj ravni

Simon Stevin je (1548-1620) 1586. godine na flamanskom jeziku štampao delo "Načela nauke o težinama" koje sadrži dodatak o primenama statike. U statici Stevin je dosledan sledbenik Arhimeda, odnosno prilaz mu je strogo aksiomatsko-geometrijski, a od Arhimeda se razlikuje utoliko što se služi i dobrim eksperimentom.



Slika 18. Stevinov dokaz ravnoteže na strmoj ravni

Stevinovo rešenje ravnoteže na strmoj ravni predstavlja najoriginalnije rešenje koje se ikada pojavilo u toj oblasti, slika 18. Radi svoga dokaza Stevin kao aksiom uzima nemogućnost perpetuum mobilea i iz njega izvodi tačan zaključak.

Suština Stevinove XI teoreme jeste:

"Neka trugao ACB sa stranom AC dva puta dužom od BC jeste vertikalno postavljen na horizontalnoj ravni, slika 18. Zamislimo 14 kuglica ravnomerno nanizanih na nit u djerdan koji može slobodno da rotira kližući oko tačke S , T , V . Na dužoj strani AC nalaze se četiri kuglice, a na upola kraćoj BC samo dve. Ispod trougla raspoređeno je osam kuglica na simetričan način, tako da četiri sa jedne uravnotežavaju četiri sa druge.

Ako četiri kuglice na dužoj strani ne bi bile uravnotežene sa dve kugle na kraćoj, jedna strana bi bila teža od druge. Ako se dodaju po četiri kuglice odozdo. Onda bi osam kuglica na levoj strani bilo teže od šest na desnoj. To bi trebalo da dovede do kretanja, tako da bi na levoj strani kuglice silazile a na desnoj izlazile. Time se broj kuglica na dve strane ne bi menjao i dobio bi se perpetuum mobile. Pošto je to nemoguće, zaključujemo da su četiri kuglice na jednoj strani uravnotežene sa upola manje kuglica na upola kraćoj strani. Ništa se neće izmeniti ako lanac prekinemo i odvojim osam donjih kuglica. Zaključak je da su "prividne" težine na strmoj ravni obrnuto srazmerne dužinama."

To je već bilo dokazano, ali je Stevin bio vrlo ponosan na svoj dokaz jer je ovo nesumnjivo bila iznenađujuće jednostavna, sama od sebe shvatljiva intelektualna tvorevina. Stevin je iznad crteža trugla sa kuglicama stavio rečenicu "Čudo nije čudo"

6.Zaključak

Ovaj rad je napisan tako da može da bude osnov za pristup obradi nastavne teme kretanja tela na strmoj ravni kako u osnovnoj tako i u srednjoj školi.

Strma ravan i kretanje tela na strmoj ravni se u osnovnoj školi izučava samo na časovima dodatne nastave, jer je za obradu ove nastavne teme potreban viši nivo znanja fizike i matematike. Da bi se to ostvarilo, značajna je uloga nastavnika koji svojim radom motiviše učenike u želji da saznaju više nego na redovnoj nastavi fizike, da ih organizuje i podstiče u realizaciji laboratorijsko-eksperimentalnog rada i u obradi i prikazivanja rezultata merenja radi korišćenja istih u sticanju znanja iz fizike ili korišćenja u nekim drugim nastavnim predmetima, naučnim disciplinama ili svakodnevnom životu.

Radi toga, nastavnik mora postepeno, logički uvoditi nove pojmove fizičkih veličina koje čine zaokruženu celinu sa prethodno stečenim znanjem i formiranim pojmovima na časovima fizike ili na osnovu svakodnevnog iskustva kako u osnovnoj tako i u srednjoj školi. Takođe je bitno ukazivati i na praktičnu primenu stečenog znanja u svakodnevnim radnim i ostalim životnim aktivnostima.

U radu je prikazana obrada nastavne teme: "Kretanje tela na strmoj ravni". Obrađeno je kretanje tela pod dejstvom sila niz i uz strmu ravan u slučaju klizanja i kotrljanja. Takođe je prikazan slučaj kretanja tela na strmoj ravni u slučaju kada ona osciluje u sopstvenoj ravni.

1) Niz strmu ravan telo se može kretati i samo pod dejstvom sile aktivne komponente, koja je posledica razlaganja sile Zemljine teže tela na strmoj ravni kada je ona:

- istog pravca i intenziteta, a suprotnog smera u odnosu na silu trenja kretanja, ili kada je
- istog pravca, suprotnog smera, a većeg intenziteta od sile trenja kretanja.

2)

Telo će se kretati na strmoj ravni ravnomerno pravolinijski ako je rezultanta sila \vec{R}_1 , nastala slaganjem paralelne komponente inercione sile sa strmom ravni, paralelne komponente spoljašnje sile sa strmom ravni i

aktivne komponente sile Zemljine teže, jednaka po intenzitetu a suprotnog smera sili trenja kretanja \vec{F}_{tr} ;

3)

Telo će se kretati na strmoj ravni ravnomerno ubrzano pravolinijski, ako je rezultanta sila \vec{R}_1 , koja je nastala slaganjem paralelne komponente sa strmom ravni spoljašnje sile, paralelne komponente sa strmom ravni inercione sile i aktivne komponente sile Zemljine teže, većeg intenziteta od sile trenja, \vec{F}_{tr} , kretanja, a suprotnog smera.

4)

Telo će se kretati na strmoj ravni ranomerno usporeno pravolinijski ako pri određenoj početnoj brzini \vec{v}_0 , ako rezultanta sila \vec{R}_1 , koja je nastala slaganjem komponente paralelne sa strmom ravni spoljašnje sile, paralelne komponente sa strmom ravni inercione sile i aktivne komponente sile Zemljine teže, manja od sile trenja \vec{F}_{tr} a suprotnog smera.

5)

Telo će se oscilatorno kretati na strmoj ravni, kada na telo deluje rezultanta sila \vec{R}_p , promenljivog intenziteta i smera, a u pravcu dužine strme ravni.

7.Literatura

1. Inž. Vlastimir M. Vučić i Dr. Dragiša M. Ivanović, FIZIKA I osmo izdanje, Naučna knjiga, Beograd (1965).
2. *Enciklopedijski leksikon*, Fizika, Interpres, Beograd (1972).
3. Dragiša Ivanović, Milan Raspopović, *Fizika za VII razred osnovne škole*, Zavod za izdavanje udžbenika, Novi Sad (1989).
4. Jovan P. Šetrajčić, Darko V. Kapor, *Fizika za VII razred osnovne škole*, Zavod za udžbenike Beograd (2007).
5. Darko V. Kapor, Jovan P. Šetrajčić, FIZIKA za 6. razred osnovne škole, Prvo izdanje, 2008. godine, Zavod za udžbenike, Beograd
6. Rešenja zadatka sa XIII Republičkog takmičenja iz fizike učenika srednjih škola". Društvo fizičara Srbije, časopis "MLADI FIZIČAR", godina IX br.34-35 (1984/85).
7. <http://66.102.9.104/search?q=cache:TCvYrGaYj8YJ:www.elektrijada.com/elektrijada/>.
8. mr Svetomir Dimitrijević, dr Dušanka Obadović, Fedor Skuban dr Darko Kapor, dr Jovan Malešević, Srđan Rakić i Dragoljub Pećanac, ZBIRKA RAČUNSKIH I EKSPERIMENTALNIH ZADATAKA IZ FIZIKE ZA DODATNI RAD UČENIKA OSNOVNE ŠKOLE 7, ITP ZMAJ NOVI SAD, 1996
9. Vera Bojović, Novi program fizike u sedmom razredu osnovne škole, *Zbornik predavanja sa Republičkog seminara o nastavi fizike*, Vrnjačka Banja (2008), Društvo fizičara Srbije, 219 – 230
10. Milorad Mlađenović: Razvoj fizike : Mehanika i gravitacija (od strane 53 do 56), Građevinska knjiga, Beograd (1986)

Kratka biografija



Rođen sam 18. marta 1950. godine u Selenči gde sam završio i osnovnu školu. Gimnaziju prirodno-matematičkog smera sam završio u Bačkom Petrovcu. U Novom Sadu na Prirodno-matematičkom fakultetu sam stekao stručni naziv FIZIČAR.

Bio sam nastavnik fizike u osnovnim školama u Vajskoj, Plavni, Begeču, Bukovcu i u Novom Sadu u osnovnoj školi "Vasa Stajić".

Sada sam nastavnik fizike u osnovnoj školi "Sonja Marinković" u Novom Sadu.

UNIVERZITET U NOVOM SADU

PRIRODNO-MATEMATIČKI FAKULTET

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

Redni broj:

RBR

Identifikacioni broj:

IBR

Tip dokumentacije:

TD

Monografska dokumentacija

Tip zapisa:

TZ

Tekstualni štampani materijal

Vrsta rada:

VR

Diplomski rad

Autor:

AU

Juraj Šimonji

Mentor:

MN

Dr. Dušanka Obadović

Naslov rada:

NR

Obrada nastavne teme: Kretanje tela na strmoj ravni

Jezik publikacije:

JP

srpski (latinica)

Jezik izvoda:

JI

srpski/engleski

Zemlja publikovanja:

ZP

Srbija

Uže geografsko područje:

UGP

Vojvodina

Godina:

GO

2008.

Izdavač:

IZ

Autorski reprint

Mesto i adresa:

MA

Prirodno-matematički fakultet, Trg Dositeja Obradovića 4, Novi Sad

Fizički opis rada:

FO

7/47/6/1/1/18/0/0

<i>Naučna oblast:</i> NO	Fizika
<i>Naučna disciplina:</i> ND	Metodika nastave fizike
<i>Predmetna odrednica/ ključne reči:</i> PO	Strma ravan, Ravnomerno i ravnomerno promenljivo pravolinijsko kretanje.
UDK	
<i>Čuva se:</i> ČU	Biblioteka Departmana za fiziku, PMF-a u Novom Sadu
<i>Važna napomena:</i> VN	Nema
<i>Izvod:</i> IZ	U radu je prikazana obrada nastavne teme: "Kretanje tela na strmoj ravni". Obrađeno je kretanje tela pod dejstvom sila niz i uz strmu ravan u slučaju klizanja i kotrljanja kada je rezultanta sila koja deluje na telo duž strme ravni konstantna. Takođe je obrađen slučaj kretanja tela na strmoj ravni kada na telo deluje rezultanta sila paralelna sa strmom ravni promenljivog intenziteta i smera.
<i>Datum prihvatanja teme od NN veća:</i> DP	
<i>Datum odbrane:</i> DO	26.11. 2008
<i>Članovi komisije:</i> KO	
<i>Predsednik:</i>	Dr.Darko Kapor, red.prof.
<i>član:</i>	Dr.Dušanka Obadović , red prof.
<i>član:</i>	Dr. Srđan Rakić, docent

UNIVERSITY OF NOVI SAD
FACULTY OF SCIENCE AND MATHEMATICS

KEY WORDS DOCUMENTATION

Accession number:

ANO

Identification number:

INO

Document type:

DT

Monograph publication

Type of record:

TR

Textual printed material

Content code:

CC

Final paper

Author:

AU

Juraj Šimonji

Mentor/comentor:

MN

Dr. Dušanka Obadović, full professor

Title:

TI

Treatment of teaching unit: Motion of an object on the inclined plane

Language of text:

LT

Serbian (Latin)

Language of abstract:

LA

English

Country of publication:

CP

Serbia

Locality of publication:

LP

Vojvodina

Publication year:

PY

2008

Publisher:

PU

Author's reprint

Publication place:

PP

Faculty of Science and Mathematics, Trg Dositeja Obradovića 4, Novi Sad

Physical description:

PD

7/47/1/1/18/0/0,

Scientific field:

SF

Physics

Scientific discipline:

SD

Methodology of Physics Teaching

Subject/ Key words:

Inclined plane, uniform motion, uniformly accelerated linear motion

SKW

UC

Holding data:

Library of Department of Physics, Trg Dositeja Obradovića 4

HD

Note:

None

N

Abstract:

The work describes the treatment of teaching unit "Motion of an Object on the Inclined Plane". Following examples are discussed: motion of an object under the action of various forces up and down the inclined plane with the resulting force along the plane constant in the case of sliding and rolling. The case when the resulting force along the plane changes its intensity and direction is also discussed.

AB

Accepted by the Scientific Board:

ASB

Defended on:

26.11.2008.

DE

Thesis defend board:

DB

President:

Dr. Darko Kapor, full professor

Member:

Dr. Dušanka Obadović, full professor

Member:

Dr. Srđan Rakić, assistant professor