ფიზიკის შესავალი (1)

ლექცია 5
ნიუტონის კანონები

1

წინა ლექციაში

მოძრაობა ორ ან მეტ განზომილებაში
რადიუს ვექტორი
აჩქარების მრუდწირული მოძრაობისას
თანაბარი წრიული მოძრაობა

ჰორიზონტისადმი კუთხით გასროლილი სხეულის მოძრაობა

2

სხეულების მოძრაობა

რა არის სხეულის მოძრაობის მიზეზი?

- რატომ მოძრაობს ბურთულა დახრილ სიბრტყეზე, მაშინ როდესაც ჰორიზონტალურ სიბრტყეზე ის უძრავია?
- რატომ შეიძლება მშრალ გზაზე უფრო სწრაფად მოხვევა სველ გზასთან შედარებით?
- რატომ ირხევა ზამბარაზე ჩამოკიდებული ტვირთი?

3

კინემატიკა და დინამიკა

კინემატიკა
სხეულების მოძრაობის აღწერა;
(სიჩქარე, აჩქარება, ტრაექტორია)

დინამიკა
სხეულების მოძრაობისა და ამ მოძრაობის გამომწვევი მიზეზების აღწერა;
(სიჩქარე, აჩქარება + მასა, ძალები)

4

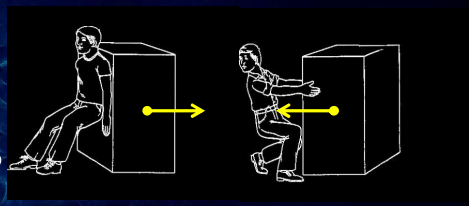
ძალა

სხეულზე მოდებული ძალა აღწერს ორი სხეულის ან სხეულისა და გარემოს ურთიერთქმედებას

ძალა ვექტორული სიდიდეა

რა ძალით ვაწვებით სხეულს?

რა მიმართულებით ვაწვებით სხეულს?



5

ძალის ტიპები

სხვადასხვა ფიზიკური ფაქტორი იწვევს სხვადასხვა ტიპის ძალის ზემოქმედებას სხეულზე

მექანიკური ძალების ძირითადი ტიპები:

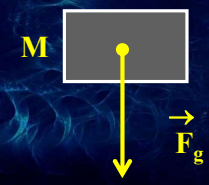
- სიმძიმის ძალა
- ხახუნის ძალა
- რეაქციის ძალა
- დაჭიმულობის ძალა

6

სიმძიმის ძალა

სხეულზე მოქმედი სიმძიმის ძალის სიდიდე დამოკიდებულია სხეულის მასაზე (M)

სიმძიმის ძალა დედამიწაზე მიმართულია ვერტიკალურად ქვევით

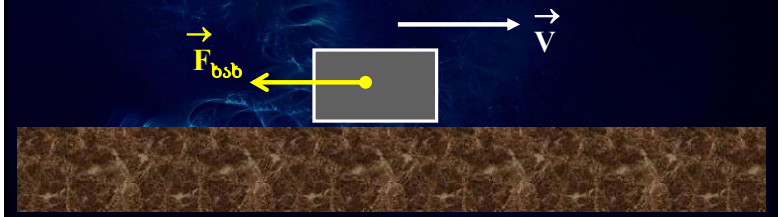


7

ხახუნის ძალა

ხახუნის ძალა მოქმედებს სხეულის გარემოსთან (ან სხვა სხეულთან) შეხების ზედაპირზე

ხახუნის ძალა მიმართულია შეხების ზედაპირის პარალელურად და სხეულის მოძრაობის (სრიალის) საპირისპიროდ

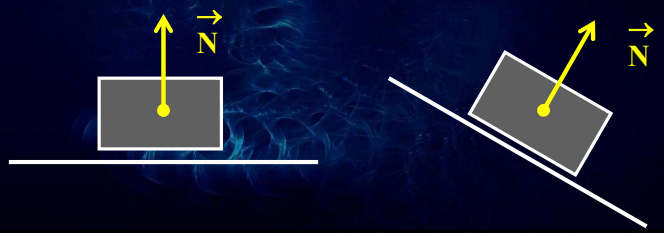


8

რეაქციის ძალა

სხეულზე მოქმედებს რეაქციის ძალა თუკი სხეული შეხებაშია და აწვება რაიმე ზედაპირს

სხეულზე მოქმედი რეაქციის ძალა ზედაპირის პერპენდიკულარულია

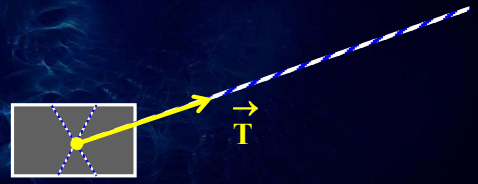


9

დაჭიმულობის ძალა

სხეულზე მოქმედებს დაჭიმულობის ძალა რომლის სიდიდეც განისაზღვრება სხეულზე მოდებული თოკის (საკიდის) დაჭიმვით

დაჭიმულობის ძალა მიმართულია თოკის (საკიდის) გასწვრივ



10

ძალების ზედდება

სხეულზე რამოდენიმე ძალის ერთდროული მოქმედება შეიძლება შევცვალოთ ერთი ძალის მოქმედებით, რომლიც ტოლფასია ყველა ძალის მოქმედების

ჯამური ძალა: ძალთა ტოლქმედი

ძალთა ტოლქმედის პოვნა ნიშნავს სხეულზე მოქმედი ძალების შეკრებას, ანუ შესაბამისი ვექტორების ჯამის პოვნას.

11

ძალთა ტოლქმედი

ერთ სხეულზე მოდებული სხვადასხვა ძალების ზედდება (სუპერპოზიცია)

$$\vec{R} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_3 + \dots$$

$\vec{F}_{1,2,3,\dots}$ – სხეულზე მოქმედი ძალები

$\vec{R}$ – ძალთა ტოლქმედი

$$\vec{R} = \Sigma \vec{F}_i$$

12

ძალთა ტოლქმედი

სხეულზე მოქმედი სამი ძალა: $\vec{F}_1, \vec{F}_2, \vec{F}_3$

ძალთა ტოლქმედი: $\vec{R} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_3$

ძალების ვექტორული ჯამი:

$$R_x = F_{1x} + F_{2x} + F_{3x}$$
$$R_y = F_{1y} + F_{2y} + F_{3y}$$

ტოლქმედი ძალის მოდული:

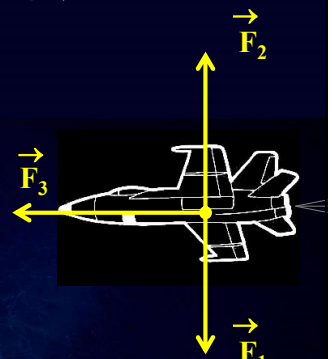
$$R^2 = R_x^2 + R_y^2$$

ძალთა ტოლქმედი

$\vec{F}_1$ – სიმძიმის ძალა

$\vec{F}_2$ – ფრთების მწევი ძალა

$\vec{F}_3$ – რეაქტიული ჭავლ. ძალა



ვერტიკალური ბალანსი:

$\vec{F}_1 + \vec{F}_2 = 0$

ძალთა ტოლქმედი:

$\vec{R} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_3 = \vec{F}_3$

ინერცია

ძალთა ტოლქმედი ნულის ტოლია:

– უძრავი სხეული რჩება უძრავად

– მოძრავი სხეული აგრძელებს მოძრაობას მუდმივი სიჩქარით: მოძრაობა ინერციით

ყინულზე მოსრიალე სხეული შეიძლება გაჩერდეს ხახუნის გამო. ხახუნის გარეშე სხეული იმოძრავებს უცვლელი სიჩქარით გაუჩერებლად . . .

ნიუტონის პირველი კანონი

არსებობს ათვლის ისეთი სისტემები რომელთა მიმართაც სხეული უძრავია ან მოძრაობს წრფივად და თანაბრად თუ მასზე მოქმედ ძალთა ტოლქმედი ნულის ტოლია.

თავისუფალი სხეული უძრავია ან მოძრაობს წრფივად მუდმივი სიჩქარით

თავისუფალი: ძალთა ჯამი ნულია;

მუდმივი სიჩქარე: წრფივი თანაბარი მოძრაობა;

(მრუდწირული მოძრაობა აჩქარებულია)

დაკვირვება: ათვლის ინერციული სისტემები;

სხეულის წონასწორობა

უძრავი სხეული წონასწორობაშია თუ მასზე მოქმედი ძალების ტოლქმედი ნულის ტოლია

$$\Sigma \vec{F} = 0$$

ვექტორის კომპონენტებში:

$$\Sigma F_x = 0$$
$$\Sigma F_y = 0$$

ამოცანა #1

დახრილ სიბრტყეზე მყოფი 5კგ სხეული ზემოდან დამაგრებულია ზამბარიანი დინამომეტრით. სიბრტყის დახრის კუთხეა 30 გრადუსი. იპოვეთ რა ძალას აჩვენებს დინამომეტრი თუკი სხეული იმყოფება წონასწორობაში.

———

მასა: m (კგ)

სიმძიმის ძალა: mg (კგ მ/წმ^2 = ნიუტონი)

ამოცანა #1

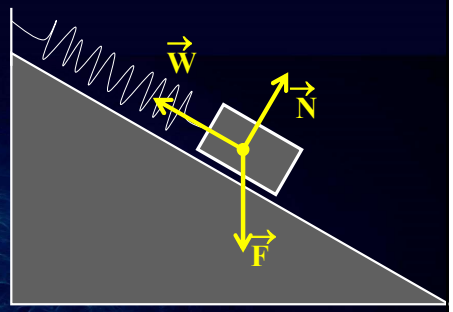
წონასწორობა:

$$F_x + W_x + N_x = 0$$
$$F_y + W_y + N_y = 0$$

$F = mg$

N - ???

ვიპოვოთ W



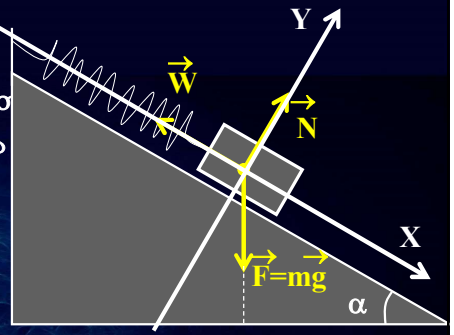
ავირჩიოთ ღერძები ჩვენი მიზნების შესაბამისად

ამოცანა #1

Y ღერძი მივმართოთ $\vec{N}$ რეაქციის ძალის გასწვრივ და დავწეროთ წონასწორობის პირობა X ღერძის გასწვრივ:

$$W_x + F_x = 0$$
$$W_x = -|W|$$
$$F_x = mg\sin(\alpha)$$
$$-|W| + mg\sin(\alpha) = 0$$

$|W| = mg\sin(\alpha) = (5\text{ კგ})(9.8\text{ მ/წმ}^2)\sin(30) = 24.5$ (ნიუტონი)



ძალა და აჩქარება

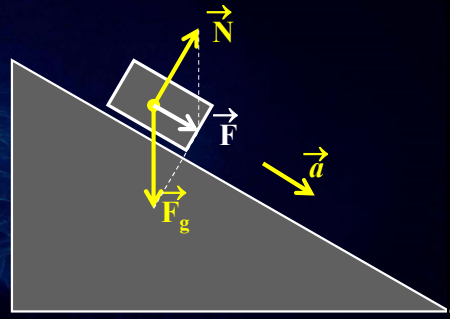
სხეულის აჩქარება მიმართულია სხეულზე მოქმედი ძალის გასწვრივ

მაგალითი: *ბურთის აჩქარების მიმართულება ემთხვევა მასზე ფეხის დარტყმის მიმართულებას, ანუ ბურთზე მოქმედი ძალის მიმართულებას*

ძალა და აჩქარება

თუკი სხეულზე მოქმედებს რამოდენიმე ძალა, სხეულის აჩქარება მიმართულია ძალთა ტოლქმედის გასწვრივ

სიმძიმის და რეაქციის ძალების ტოლქმედი და სხეულის აჩქარება მიმართულია დახრილი სიბრტყის გასწვრივ



ნიუტონის მეორე კანონი

სხეულზე მოქმედი ძალა ტოლია სხეულის მასისა და აჩქარების ნამრავლს

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

$\vec{F}$ - სხეულზე მოქმედი ძალა
m - სხეულის მასა
$\vec{a}$ - სხეულის აჩქარება

მასა და ძალა

სხვადასხვა მასის სხეულებზე (M_1 , M_2) მოდებული მუდმივი ძალა F_0

$$F_0 = M_1 a_1 = M_2 a_2$$

$$M_1 / M_2 = a_2 / a_1$$

$$M_1 > M_2 \quad : \quad a_2 > a_1$$

რაც მეტია მასა, მით ნაკლებია აჩქარება

ნიუტონის მეორე კანონი

სხეულის აჩქარების ვექტორი პარალელურია მასზე მოქმედი ძალის ვექტორის

$$\vec{F} \parallel \vec{a}$$

სხეულის აჩქარების მოდული პროპორციულია ძალის მასზე მოქმედი ძალის

$$|a| \sim |F|$$

სხეულის აჩქარების მოდული უკუპროპორციულია სხეულის მასის

$$|a| \sim 1/m$$

ნიუტონის მეორე კანონი

სხეულზე რამოდენიმე ძალის მოქმედებისას ნიუტონის მეორე კანონში გამოიყენება ძალთა ტოლქმედი:

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

$$\vec{F} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_3 + \dots$$

ნიუტონის მეორე კანონი ზოგადი ფორმით:

სხეულზე მოქმედი ძალთა ტოლქმედი ტოლია სხეულის მასისა და აჩქარების ნამრავლს

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

ნიუტონის მეორე კანონი

ნიუტონის მეორე კანონი აკავშირებს სხეულის აჩქარებასა და მასზე მოქმედ ძალას

სხეულის მოძრაობის განტოლება

ნიუტონის კანონი იძლევა ვექტორულ განტოლებას, რომელიც აისახება სამი სკალარული განტოლებით:

$$\Sigma F_x = m\,a_x$$

$$\Sigma F_y = m\,a_y$$

$$\Sigma F_z = m\,a_z$$

ნიუტონის მეორე კანონი

სხეულის მასისა და აჩქარების ნამრავლი ტოლია სხეულზე მოქმედი გარეშე ძალების ჯამს.

სხეულის საკუთარ თავზე ზემოქმედება ვერ მიანიჭებს სხეულს აჩქარებას

მაგალითად შეუძლებელია
ბარონ მიუნჰაუზენის ქმედება,
რომელმაც საკუთარი თავი
თვითონ ამოათრია ტალახიდან

ნიუტონის მეორე კანონის გამოყენება

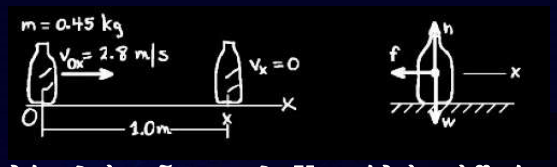
1. ავკამეთ სხეულზე მოქმედი ძალები და იპოვეთ ტოლქმედი ძალის მოდული და მიმართულება;
2. ავკამეთ მხოლოდ გარეშე ძალები;
3. დარწმუნდით რომ სხეულის მასა მუდმივია;
4. ჩაწერეთ ნიუტონის მეორე კანონი ათვლის ინერციულ სისტემაში;

ამოცანა #2

ბარმენი ასრიალებს ლუდის ბოთლს, რომლის მასაა 0.45 კგ ჰორიზონტალურად ბრტყელი მაგიდის ზედაპირზე. ბარმენის ხელიდან მოწყვეტის მომენტში ბოთლის სიჩქარეა 2.8 მ/წმ. მაგიდასთან ხახუნის გამო ბოთლი გადის 1 მეტრ მანძილს და ჩერდება. იპოვეთ ხახუნის ძალა.

ხახუნის ძალა მიმართულია შეხების ზედაპირის პარალელურად და მოძრაობის საწინააღმდეგო მიმართულებით.

ამოცანა #2



მოძრაობის განტოლება X ღერძის გასწვრივ:

$$F = m\,a$$

$$V^2 - V_0^2 = 2a\,(X - X_0),$$

$$-V_0^2 = 2a\,X, \qquad a = -V_0^2/(2X)$$

$$F = m\,a = -mV_0^2/(2X) = -0.45\,(2.8)^2/(2) =$$

$$F = -1.76 \text{ (ნიუტონი)}$$

ნიუტონის მესამე კანონი

სხეულები მოქმედებენ ერთმანეთზე ძალებით, რომლებიც ტოლია მოდულით და საპირისპიროა მიმართულებით.

$$\vec{F}_{ab} = -\vec{F}_{ba}$$

ქმედება უდრის უკუქმედებას

ქმედება და უკუქმედება

ადამიანი ექაჩება თავის თავს ზავით:

ტანზე მოქმედი ძალა: $\vec{F}_1$
ხელზე მოქმედი ძალა: $\vec{F}_2$

ძალთა ტოლქმედი: $\vec{F} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2$

ნიუტონის მესამე კანონი: $\vec{F}_1 = -\vec{F}_2$

ჯამური ძალა და აჩქარება: $\vec{F} = 0, \vec{a} = 0$

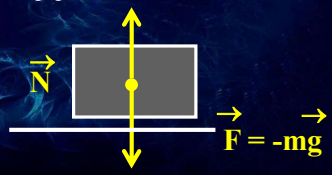
33

ქმედება და უკუქმედება

სხეულზე მოქმედი რეაქციის ძალა

გაჩერებული სხეული აწვება მაგიდის ზედაპირს $\vec{F}$ ძალით. რას უდრის მაგიდის რეაქციის ძალა?

ნიუტონის მესამე კანონით: $\vec{N} = -\vec{F} = -m\vec{g}$

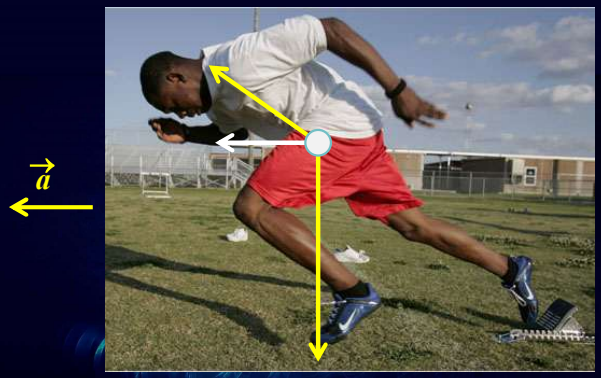


34

ნიუტონის კანონების დემოსტრაცია

35

ძალები და მოძრაობა



36

არაინერციული ძალები

ათვლის არაინერციულ სისტემებში ნიუტონის მეორე კანონის გამოსაყენებლად შესაძლებელია ფიქტიური ძალების, ე.წ. არაინერციული ძალების შემოყვანა:

$$m\vec{a} = \Sigma\vec{F} + \Sigma\vec{F}_{ა}$$

არაინერციული ძალები:

1. წრფივი აჩქარების (ინერციის) ძალა
2. ცენტრიდანული ძალა
3. კორიოლისის ძალა
4. ეილერის ძალა

წრფივი აჩქარების (ინერციის) ძალა

წრფივად და აჩქარებულად მოძრავ ათვლის არაინერციულ სისტემაში არაინერციული ძალა მიმართულია ათვლის სისტემის აჩქარების საპირისპირო მიმართულებით

$$\vec{F}_a = -m\vec{a}$$

მაგ. ავტომობილის დამუხრუჭებისას (a<0) ჩნდება ძალა, რომელიც მგზავრებზე მოქმედებს მოძრაობის მიმართულებით (F>0).

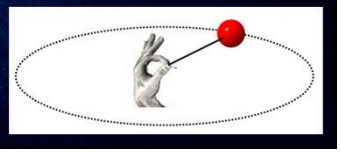
ცენტრიდანული ძალა

მბრუნავ ათვლის არაინერციულ სისტემაში სხეულზე მოქმედებს ცენტრიდანული ძალა, რომელიც მიმართულია ბრუნვის რადიუსის გასწვრივ ცენტრიდან გარეთ

$$\vec{F} = m\,[\vec{\Omega} \times [\vec{\Omega} \times \vec{r}]\,]$$

ძალა მიმართულია ბრუნვის ცენტრიდან გარეთ:

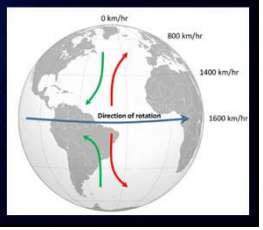
$m\,\Omega^2 r$



კორიოლისის ძალა

მბრუნავ ათვლის არაინერციულ სისტემაში მოძრავ სხეულზე მოქმედებს კორიოლისის ძალა, რომელიც მიმართულია ბრუნვის კუთხური სიჩქარისა და სხეულის მოძრაობის სიჩქარის პერპენდიკულარულად

$$\vec{F} = 2m\,[\vec{V} \times \vec{\Omega}\,]$$



ეილერის ძალა

ცვალებადი კუთხური სიჩქარით მბრუნავ ათვლის არაინერციულ სისტემაში სხეულზე მოქმედებს ეილერის ძალა, რომელიც მიმართულია ბრუნვის კუთხური სიჩქარის ცვლილების და სხეულის მოძრაობის სიჩქარის პერპენდიკულარულად

$$\vec{F} = m\,[\vec{r} \times d\vec{\Omega}/dt]$$

$d\Omega/dt \sim \Delta\Omega/\Delta t$ - ბრუნვის კუთხური სიჩქარის ცვლილების სიჩქარე

არაინერციული ძალები

არაინერციული ძალა	სისტემის წრფივი აჩქარება	სისტემის ბრუნვა მუდმივი სიხშირით	სისტემის ბრუნვა ცვალადი სიხშირით	სისტემის ბრუნვა და სხეულის მოძრაობა
ინერციის ძალა	$-m\vec{a}_{sys}$			
ცენტრიდანული ძალა		$m[\vec{\Omega} \times [\vec{\Omega} \times \vec{r}]]$	$m[\vec{\Omega} \times [\vec{\Omega} \times \vec{r}]]$	$m[\vec{\Omega} \times [\vec{\Omega} \times \vec{r}]]$
ეილერის ძალა			$m[\vec{r} \times \frac{d\vec{\Omega}}{dt}]$	
კორიოლისის ძალა				$2m[\vec{V} \times \vec{\Omega}]$

არაინერციული ძალები

წრფივი აჩქარებით და ცვლადი კუთხური სიჩქარით მბრუნავ ათვლის სისტემაში სხეულის მოძრაობა:

ძალების ტოლქმედი:
სხეულზე მოქმედი ფიზიკური + ინერციის, ცენტრიდანული, კორიოლისის, ეილერის ძალები

არაინერციული ათვლის სისტემის არჩევანი?

ამოცანები

შესაძლებელია თუ არა, რომ სხეული იყოს წონასწორობაში თუკი მასზე მოქმედებს მხოლოდ ერთი (არანულოვანი) ძალა?

ზევით ასროლილი ბურთი აღწევს ტრაექტორიის უმაღლეს წერტილს, რომელშიც მისი სიჩქარე ნულია. იმყოფება თუ არა სხეული წონასწორობაში?

ამოცანები

წარმოიდგინეთ რომ ადამიანი მიფრინავს კოსმოსურ ხომალდში ღრმა კოსმოსში სხვა სხეულებისაგან დიდ დაშორებაზე. ხომალდს არ გააჩნია ფანჯარა. როგორ შეძლებს ადამიანი დაადგინოს რომ:

1. ხომალდი მიფრინავს სინათლის სიჩქარის 85% სიჩქარით;
2. ხომალდი მიფრინავს წრფივ ტრაექტორიაზე წრფივი აჩქარებით;
3. ხომალდი მიფრინავს თანაბარი სიჩქარით გამრუდებულ ტრაექტორიაზე;

ამოცანები

1000 კგ მასის მსუბუქი ავტომობილი შეეჯახება 2500 კგ მასის სატვირთოს.

1. რომელი მანქანაზე იმოქმედების უფრო დიდი ძალა?
2. რომელი მანქანა იმოძრავებს უფრო მაღალი (უარყოფითი) აჩქარებით?
3. რომელი მანქანის მგზავრს აქვს დაზიანების უფრო მაღალი საფრთხე?

ამოცანები

$F = F(t)$ - დროში ცვალებადი ძალა;
$F = F(V)$ - ძალა დამოკიდებულია სიჩქარეზე;

მაგალითად:
ჰაერის წინააღმდეგობა ტყვიის მოძრაობისას: $F = \alpha V^2$

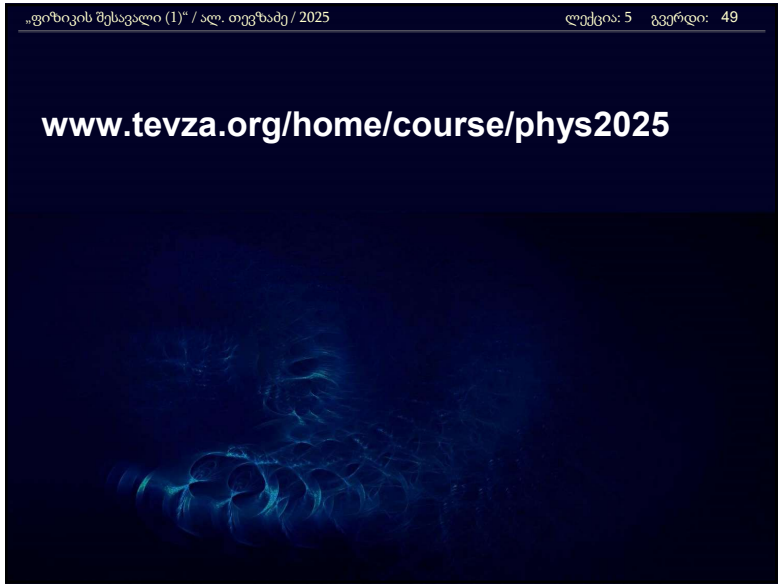
იპოვეთ ტყვიის სიჩქარისა და კოორდინატის ცვლილება დროში.

დინამიკა

ძალა და ძალის ტიპები
ძალთა ტოლქმედი
ინერცია

ნიუტონის პირველი კანონი
ნიუტონის მეორე კანონი
ნიუტონის მესამე კანონი

არაინერციული ძალები


„ფიზიკის შესავალი (1)“ / ალ. თევზაძე / 2025 ლექცია: 5 გვერდი: 49
www.tevza.org/home/course/phys2025

49