



## ფიზიკის შესავალი

### ლექცია 7

მუშაობა და სიმძლავრე  
კინეტიკური და პოტენციური ენერგია  
ენერგიის შენახვის კანონი,  
კონსერვატიული და არაკონსერვატიული ძალები

### მუშაობა

ჩვენ ვასრულებთ მუშაობას მაგალითად როდესაც ვიღებთ წიგნს, გადავადგილებთ სკამს ან ვაწვებით მანქანას:

სხეულზე ვმოქმედებთ ძალით, რომელიც იწვევს მის გადაადგილებას



### წინა ლექციაში

ძალა და იმპულსი  
იმპულსის შენახვის კანონი

დრეკადი და არადრეკადი დაჯახებები

მასათა ცენტრი  
მასათა ცენტრის მოძრაობა

რეაქტიული მოძრაობა

### მუშაობა

მუშაობა, როდესაც სხეულზე ვმოქმედებთ მუდმივი ძალით რომელიც იწვევს მის წრფივ გადაადგილებას

$$A = F S$$

A – მუშაობა

F – ძალა

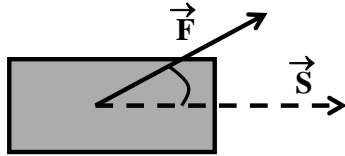
S – გადაადგილება

SI სისტემაში მუშაობის ერთეული ემთხვევა ენერგიის ერთეულს:

$$1 \text{ ჯოული} = (1 \text{ ნიუტონი}) \times (1 \text{ მეტრი})$$

### მუშაობა

შეიძლება მანქანა გადაადგილდებოდეს ადამიანის მიერ მოდებული ძალის მიმართ კუთხით: მანქანის გადაადგილების მიმართულეზა განისაზღვრება ძალთა ტოლქმედით, რომელიც არ ემთხვევა ადამიანის მიწოლის მიმართულეზას:



ადამიანის მიერ შესრულებული მუშაობა  
 $A = F S \cos(\alpha)$

### ნულოვანი მუშაობა

ძალამ შეიძლება შეასრულოს დადებითი, უარყოფითი ან ნულოვანი მუშაობა

იმისათვის რომ შევასრულოთ მუშაობა საჭიროა სხეულის გადაადგილება

ვაწვებით მანქანას მაგრამ ვერ გადავაადგილებთ:

$$S = 0$$

$$A = 0$$



### მუშაობა

ძალა და გადაადგილება: ვექტორები  
 მუშაობა: სკალარი

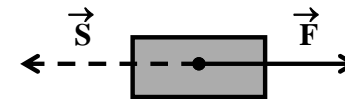
მუშაობას ასრულებს კონკრეტული ძალა

სხეულის წრფივი გადაადგილებისას F ძალის მიერ შესრულებული მუშაობა:

$$A = \vec{F} \cdot \vec{S}$$

### უარყოფითი მუშაობა

შეიძლება სხეული გადაადგილდებოდეს ერთ-ერთი მოქმედი ძალის საწინააღმდეგოდ. ამ შემთხვევაში ძალის შესრულებული მუშაობა უარყოფითი სიდიდეა



$$A = F S \cos(180^\circ) = -F S$$

$$A < 0$$



## სრული მუშაობა

სხეულზე შესრულებული სრული მუშაობა უდრის მასზე მოქმედი ძალების მიერ შესრულებული მუშაობების ჯამს

$$A = A_1 + A_2 + A_3 + \dots$$

მუშაობა სკალარული სიდიდეა, ამიტომ აჯამება შესაძლებელია სხეულის გადაადგილების მიმართულების გათვალისწინების გარეშე

## მუშაობა და ენერგია

ჩასმის შემდეგ:

$$F = m (V_2^2 - V_1^2) / 2 S$$

ნულოვანი საწყისი სიჩქარე:  $V_1 = 0$ ,  $V \equiv V_2$

$$F S = m V^2 / 2$$

მუშაობის შედეგად სხეულმა დაიწყო მოძრაობა, ანუ მას მივანიჭეთ კინეტიკური ენერგია

## მუშაობა და ენერგია

სხეულზე შესრულებული მუშაობის შედეგად მას გადაეცემა ენერგია

ვთქვათ გაჩერებულ სხეულზე ვმოქმედებთ F ძალით:

$$F = m a$$

მუდმივი ძალა – მუდმივი აჩქარება:

$$a = (V_2^2 - V_1^2) / 2 S$$

## კინეტიკური ენერგია

სხეულის კინეტიკური ენერგია ტოლია მისი მასისა და სიჩქარის კვადრატის ნამრავლის ნახევარს:

$$E_k = m V^2 / 2$$

სხეულზე შესრულებული A მუშაობის შედეგად მას გადაეცა  $E_k$  კინეტიკური ენერგია:

$$A = E_k$$

## ენერგია–მუშაობის თეორემა

სხეულზე მოქმედი ძალთა ტოლქმედის მიერ შესრულებული მუშაობა უდრის სხეულის კინეტიკური ენერგიის ცვლილებას

$$A = \Delta E_k$$

კინეტიკური ენერგიის ცვლილება:

$$\Delta E_k = m (V_2^2 - V_1^2) / 2$$

## მაგალითი #1

ალტერნატიული გზა

ქარის მუშაობა:  $A_1 = A_2 = F S$

$$E_{k1} = E_{k2} = A$$

დისტანციის ბოლოს ნავებს ექნებათ ტოლი კინეტიკური ენერგია

## მაგალითი #1

ორ იალქნიან ნავზე მოქმედებს ერთიდაიგივე ქარის გამწევი ძალა  $F$ . პირველი ნავის მასაა  $m_1$ , მეორესი  $m_2$ . ქარის ზემოქმედების ქვეშ ნავებმა გაცურეს  $S$  მანძილი. რომელ ნავს ექნება მეტი კინეტიკური ენერგია დისტანციის ბოლოს?

$$F = m_1 a_1$$

$$F = m_2 a_2$$

გამოვითვალოთ  $a_1$ ,  $a_2$ , გამოვთვალოთ სიჩქარე დისტანციის ბოლოს  $V_1$ ,  $V_2$  და ვიპოვოთ კინეტიკური ენერგიები:  $E_k = m V^2/2$

## მუშაობა და დრო

სხეულზე შესრულებული მუშაობა უდრის კინეტიკური ენერგიის ცვლილებას ნებისმიერ დროის ინტერვალში;

ერთიდაიგივე მუშაობის შესრულება, ანუ კინეტიკური ენერგიის ცვლილება შეიძლება სხვადასხვა დროის ინტერვალში;

რაც უფრო მცირეა დროის ინტერვალი, ანუ რაც უფრო სწრაფად შეგვიძლია მუშაობის შესრულება, მით უფრო მეტია – სიმძლავრე

## სიმძლავრე

სიმძლავრე შეიძლება გამოვსახოთ როგორც მუშაობის შესრულების ან ენერჯის ცვლილების სიჩქარე

$$P = \Delta A / \Delta t = \Delta E_k / \Delta t$$

ცვლადი მუშაობის პირობებში შეგვიძლია განვსაზღვროთ მყისი სიმძლავრე

$$P = \Delta A / \Delta t, (\Delta t \rightarrow 0)$$

## სიმძლავრე და ენერჯია

$$E = P \Delta t$$

$$1 \text{ კილოვატ საათი} = 1000 \text{ ვტ} \times 3600 \text{ წამი} = 3,6 \cdot 10^6 \text{ ჯოული} = 3,6 \text{ მეგა ჯოული}$$

*ტრადიციული ერთეულები:*

$$1 \text{ ცხენის ძალა} = 746 \text{ ვატი}$$



## სიმძლავრის ერთეულები

SI სისტემაში სიმძლავრის ერთეულია ვატი:

$$1 \text{ ვატი} = 1 \text{ ჯოული} / 1 \text{ წამი}$$

$$\text{კილოვატი} = 1000 \text{ ვატი}$$

100 ვატიანი ნათურა: ყოველ 1 წამში გარდაქმნის 100 ჯოულ ელექტრო-ენერჯიას გამოსხივებასა და სითბოში

## სიჩქარე და სიმძლავრე

სხეულზე მოქმედი მუდმივი ძალა იწვევს F სხეულის  $\Delta S$  გადაადგილებას

$$\text{ძალის მუშაობა:} \quad \Delta A = \vec{F} \cdot \vec{\Delta S}$$

სიმძლავრე:

$$P = \Delta A / \Delta t$$

$$P = \vec{F} \cdot \vec{\Delta S} / \Delta t$$

$$P = \vec{F} \cdot \vec{V}$$

## ამოცანა #2

ჩიკაგოს ყველაზე მაღალ შენობაში 50 კგ მასის მორბენალი პირველიდან ბოლო სართულამდე კიბეებით არბის 15 წუთში. გამოთვალეთ მორბენალის საშუალო სიმძლავრე თუკი შენობის სიმაღლეა 443 მეტრი.

15 წუთი = 900 წამი

## პოტენციური ენერგია

კინეტიკური ენერგია ასახავს სხეულის მოძრაობის ენერგიას

მუშაობა დაკავშირებულია გადაადგილებასთან, ანუ მოძრაობასთან

სისტემას ასევე შეიძლება გააჩნდეს ენერგია, რომელიც დაკავშირებულია მის მდგომარეობასთან, და არა მოძრაობასთან

## ამოცანა #2

ვთქვათ გადაადგილების ვექტორი ვერტიკალურია:

$$\Delta S = H$$

მორბენალი თავის თავზე მოქმედებს ძალით რომელიც ეწინააღმდეგება სიმძიმის ძალას:

$$A = mg H$$

$$A = 50 \text{ კგ} \cdot 9.8 \text{ მ/წმ}^2 \cdot 443 \text{ მ} = 2.17 \cdot 10^5 \text{ ჯოული}$$

$$P = A / t = 2.17 \cdot 10^5 \text{ ჯ} / 900 \text{ წმ} = 241 \text{ ვატი}$$

$$P = 241 / 746 = 0.32 \text{ ცხენის ძალა}$$

## პოტენციური ენერგია

ზოგიერთ შემთხვევაში შესაძლებელია ენერგიის შენახვა: მაგალითად თუკი სხეულზე შევასრულებთ მუშაობას და ავწევთ მას რაღაც სიმაღლეზე, მოგვიანებით ის ჩვენ შეგვიძლია გავათავისუფლოდ და მისგან მივიღოთ ვარდნის კინეტიკური ენერგია.

ენერგიას რომელიც შეიძლება გააჩნდეს სხეულს უძრავ მდგომარეობაში პოტენციური ენერგია ეწოდება.

## გრავიტაციული პოტენციური ენერგია

$m$  მასის სხეულის ვარდნა სიმაღლის ძალის გამო

სიმაღლის ძალა:  $F = m g$

სიმაღლის ძალის მუშაობა:  $A = F h$

ვარდნისას მიღებული კინეტიკური ენერგია

$$E_k = A = m g h$$

ე.ი. სხეულს ვარდნის დაწყებამდე გააჩნდა გრავიტაციული პოტენციური ენერგია:

$$U = m g h$$

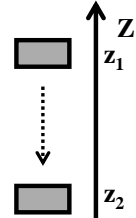
## გრავიტაციული პოტენციური ენერგია

სხეულის ვარდნა  $z_1$  სიმაღლიდან  $z_2$  სიმაღლეზე:

სიმაღლის ძალის მუშაობა:

$$A = m g (z_1 - z_2)$$

$$A = U_1 - U_2 = -(U_2 - U_1)$$



$$A = - \Delta U$$

სიმაღლის ძალის მუშაობა ტოლია გრავიტაციული პოტენციალის ცვლილების საპირისპირო ნიშნით

## მექანიკური ენერგია

სიმაღლის ძალის მუშაობა და კინეტიკური ენერგია:

$$A = \Delta E_k$$

სიმაღლის ძალის მუშაობა და პოტენციური ენერგია:

$$A = - \Delta U$$

$$\Delta E_k = - \Delta U$$

$$\Delta E_k + \Delta U = \Delta (E_k + U) = 0$$

მექანიკური ენერგიის შენახვის კანონი

$$E_k + U = \text{constant}$$

## ენერგიის შენახვის კანონი

ჩაკეტილი სისტემის სრული ენერგია ინახება

სრული ენერგია: ყველა ტიპის ენერგიების ჯამი

მექანიკური სისტემა:

კინეტიკური ენერგია;

პოტენციური ენერგია;

პოტენციური ენერგია: გრავიტაციული, დრეკადობა, დაჭიმულობა ...

## მაგალითი # 2

ბურთის ვარდნა

H სიმალიდან:



პოტენციური ენერგია

უმალეს წერტილში:

$$U = m g h$$

კინეტიკური ენერგია დაცემისას:

$$\Delta E_k + \Delta U = 0, \quad E_k = \Delta E_k = -\Delta U = -(0 - m g h) = mgh$$

## ბურთულეების დრეკადი დაჯახება

ვიპოვოთ სიჩქარეები დრეკადი დაჯახების შემდეგ, თუკი ცნობილია ბურთულეების მასები და სიჩქარეები დაჯახებამდე.

*ამოცანის სრულად ამოსახსნელად საკმარისია*

იმპულსის შენახვის კანონი:

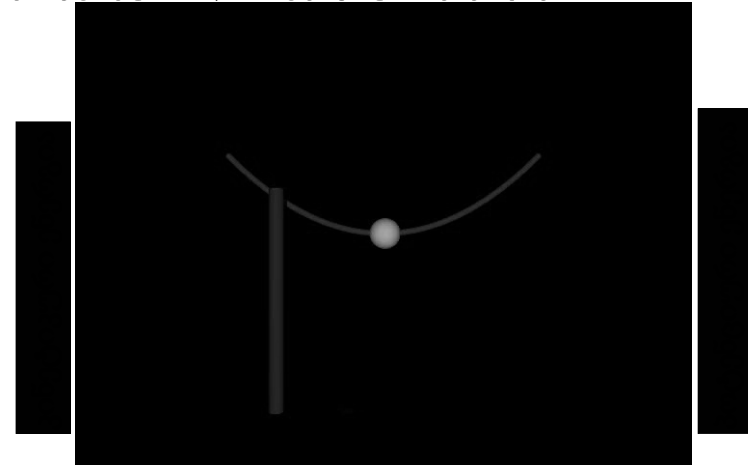
$$m_1 \vec{V}_1 + m_2 \vec{V}_2 = \text{constant}$$

(კინეტიკური) ენერგიის შენახვის კანონი:

$$m_1 V_1^2 / 2 + m_2 V_2^2 / 2 = \text{constant}$$

## ბურთულა ორმოში

კინეტიკური და პოტენციური ენერგიები მოძრაობაში



## მაგალითი # 3

წრფივად მოძრავი  $m_1$  მასის ბურთულა ეჯახება უძრავ  $m_2$  მასის ბურთულას. გამოთვალეთ სიჩქარეები დაჯახების შემდეგ.

მოძრავი ბურთულას სიჩქარე დაჯახებამდე:  $V_0$ სიჩქარეები დაჯახების შემდეგ:  $V_1$  და  $V_2$ 

იმპულსის შენახვა:

$$m_1 V_0 = m_1 V_1 + m_2 V_2$$

ენერგიის შენახვა:

$$m_1 V_0^2 / 2 = m_1 V_1^2 / 2 + m_2 V_2^2 / 2$$



## მაგალითი # 3

იმპულსის მუდმივობის კანონიდან გამოვსახოთ  $V_1$

$$V_1 = V_0 - m_2/m_1 V_2 = V_0 - \alpha V_2$$

გამოვიყენეთ აღნიშვნა:  $\alpha \equiv m_2/m_1$

გარდავექმნათ ენერჯის ფორმულა:

$$V_0^2/2 = V_1^2/2 + m_2/m_1 V_2^2/2$$

$$V_0^2 = V_1^2 + \alpha V_2^2$$

ჩავსვათ  $V_1$  ენერჯის ფორმულაში:

$$V_0^2 = (V_0 - \alpha V_2)^2 + \alpha V_2^2$$

## მაგალითი # 3

გავამარტივოთ:

$$\cancel{V_0^2} = \cancel{V_0^2} - 2\alpha V_0 V_2 + \alpha^2 V_2^2 + \alpha V_2^2$$

შევკვეცოთ  $\alpha$  და  $V_2$ :

$$0 = -2 V_0 + \alpha V_2 + V_2$$

შედგებად:

$$V_2 = 2 V_0 / (1 + \alpha)$$

ჩავსვათ  $\alpha$ :

$$V_2 = 2 m_1 V_0 / (m_1 + m_2)$$

თუკი  $m_1 = m_2$  მაშინ:  $V_2 = V_0$

## დაჭიმულობის პოტენციალი

ზამბარის დაჭიმულობის ძალა პროპორციულია  
ზამბარის დაჭიმულობის

$$F = k x$$

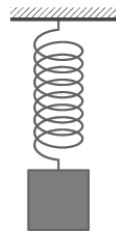
ზამბარის პოტენციალური ენერჯია:

$$U = k x^2/2$$

ზამბარის რხევა:  $E_k + U_k + U_g = \text{constant}$

$U_k$  - ზამბარის დაჭიმულობის პოტენციალი

$U_g$  - ტვირთის გრავიტაციული პოტენციალი



## მოძრაობა რამოდენიმე პოტენციალში



### ძალების ტიპები

ძალას ეწოდება კონსერვატიული, თუკი მის მიერ შესრულებული მუშაობა დამოკიდებულია მხოლოდ სხეულის საწყის და საბოლოო მდგომარეობაზე.

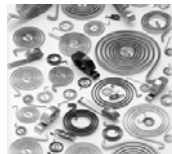
ძალას ეწოდება არაკონსერვატიული, თუკი მის მიერ შესრულებული მუშაობა დამოკიდებულია სხეულის გადაადგილების ტრაექტორიაზე.

### კონსერვატიული ძალის მაგალითები

სიმძიმის ძალა



ზამბარის დაჭიმულობის ძალა

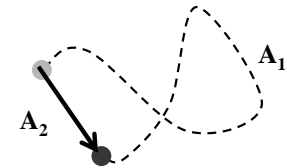


### კონსერვატიული ძალები

მუშაობა სხეულის სხვადასხვა გადაადგილებისას

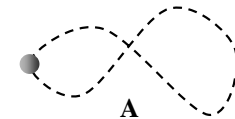
მუშაობა დამოკიდებულია გადაადგილებაზე და არა ტრაექტორიაზე

$$A_1 = A_2$$



კონსერვატიული ძალის მუშაობა ჩაკეტილ ტრაექტორიაზე ნულია

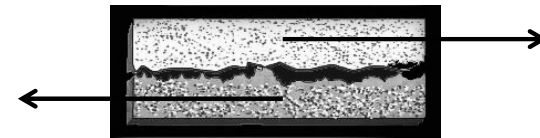
$$A = 0$$



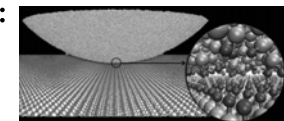
### არაკონსერვატიული ძალა

ხახუნის ძალა

სხეულების შეხების ზედაპირების უსწორმასწორობა მოძრაობისას იწვევს წინააღმდეგობის ძალას



ხახუნის შედეგად მოძრაობის კინეტიკური ენერჯის ნაწილი გარდაიქმნება სხეულის სითბოში: მატულობს ტემპერატურა



### არაკონსერვატიული ძალა

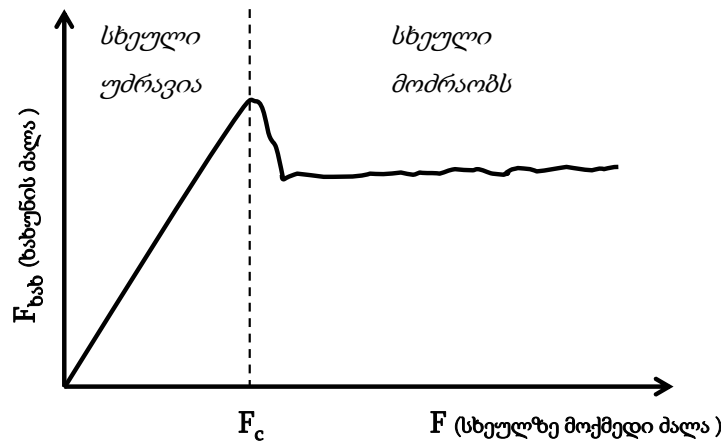
ხახუნის ძალის მიერ შესრულებული მუშაობა დამოკიდებულია სხეულის გადაადგილების ტრაექტორიაზე.

სხეულის მოძრაობისას ჩაკეტილ ტრაექტორიაზე ხახუნის ძალის მუშაობა არ უდრის ნულს.

მაგალითი: ცეცხლის მოპოვება ხახუნის ძალით



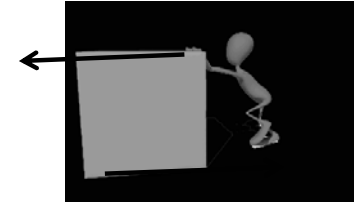
### ხახუნის ძალა



### ხახუნის ძალა

ხახუნის ძალის ტიპები:

- უძრაობის ხახუნი;
- მოძრაობის ხახუნი;



ხახუნის ძალა მოქმედებს როგორც მოძრავ, ისე უძრავ სხეულებზე.

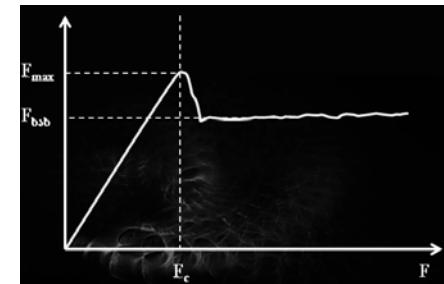
თუკი სხეულზე მოქმედი ძალა გადააჭარბებს ზღვრულ მნიშვნელობას, სხეული დაიძვრება და იწყებს მოძრაობას.

### ხახუნის ძალა

უძრაობის ხახუნი:

$$F_{\text{უძრ}} \sim F$$

$$F_{\text{უძრ}} < F_{\text{max}}$$



მოძრაობის ხახუნი:

$$F_{\text{ხახ}} = \mu m g$$

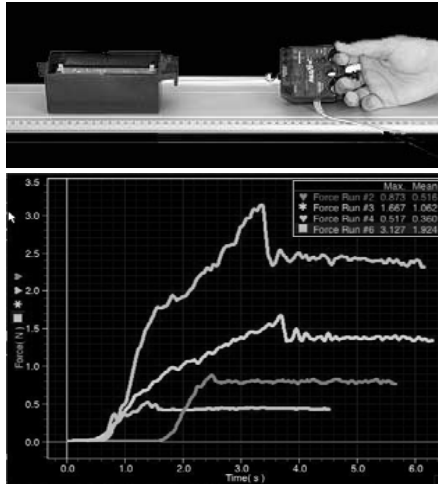
$\mu$  - ხახუნის კოეფიციენტი

$m g$  - სხეულის წონა



## ხახუნის ძალის ექსპერიმენტული გაზომვა

დინამომეტრზე  
დამაგრებული  
ტვირთი



ხახუნის ძალები  
სხვადასხვა  
ზედაპირების  
შემთხვევაში

[www.tevza.org/home/course/phys2012](http://www.tevza.org/home/course/phys2012)

## ენერგიის მუდმივობის კანონი

მუშაობა და კინეტიკური ენერგია  
სიმძლავრე და ენერგია  
პოტენციური ენერგია  
ენერგიის შენახვის კანონი

კონსერვატული და არაკონსერვატული ძალები

ზამბარის დაჭიმულობის ძალა  
ხახუნის ძალა