



ფიზიკის შესავალი (1)

ლექცია 7

იმპულსი

დაჯახებები ერთ განზომილებაში
იმპულსის შენახვის კანონი

1

წინა ლექციაში

ძალა და იმპულსი
იმპულსის შენახვის კანონი

დრეკადი და არადრეკადი დაჯახებები

მასათა ცენტრი
მასათა ცენტრის მოძრაობა

რეაქტიული მოძრაობა

2

მუშაობა

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

სხეულზე ვმოქმედებთ ძალით, რომელიც იწვევს მის
გადაადგილებას



3

მუშაობა

სხეულზე მუდმივი ძალით ზემოქმედებისას,
რომელიც იწვევს მის წრფივ გადაადგილებას,
ვასრულებთ მუშაობას

$$A = F S$$

A – მუშაობა

F – ძალა

S – გადაადგილება

SI სისტემაში მუშაობის ერთეული ემთხვევა
ენერგიის ერთეულს:

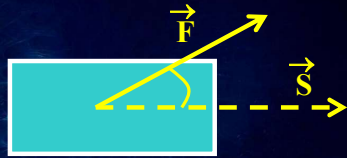
$$1 \text{ ჯოული} = 1 \text{ ნიუტონი} \times 1 \text{ მეტრი}$$

4

მუშაობა

შეიძლება მანქანა გადაადგილდებოდეს ადამიანის მიერ მოდებული ძალის მიმართ კუთხით:

მანქანის გადაადგილების მიმართულება განისაზღვრება ძალთა ტოლქმედით, რომელიც არ ემთხვევა ადამიანის ზეწოლის მიმართულებას:



ადამიანის მიერ შესრულებული მუშაობა

$$A = F S \cos(\alpha)$$

5

მუშაობა

ძალა და გადაადგილება: **ვექტორები**

მუშაობა: **სკალარი**

მუშაობას ასრულებს კონკრეტული ძალა

სხეულის წრფივი გადაადგილებისას მუშაობა გამოითვლება ძალისა და გადაადგილების ვექტორების სკალარული ნამრავლით

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

6

ნულოვანი მუშაობა

ძალამ შეიძლება შეასრულოს **დადებითი**, **უარყოფითი** ან **ნულოვანი** მუშაობა

იმისათვის რომ შევასრულოთ მუშაობა საჭიროა სხეულის გადაადგილება

ვაწვებით მანქანას მაგრამ ვერ გადავაადგილებთ:

$$S = 0$$

$$A = 0$$



7

უარყოფითი მუშაობა

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



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

$$A < 0$$



8

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 აჯამვა შესაძლებელია სხეულის გადაადგილების მიმართულების გათვალისწინების გარეშე

9

მუშაობა და ენერგია

სხეულზე შესრულებული მუშაობის შედეგად მას გადაეცემა ენერგია

ვთქვათ გაჩერებულ სხეულზე ვმოქმედებთ F ძალით:

$$F = m a$$

მუდმივი ძალა – მუდმივი აჩქარება:

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

10

მუშაობა და ენერგია

ჩასმის შემდეგ:

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

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

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

მუშაობის შედეგად სხეულმა დაიწყო მოძრაობა, ანუ მას მივანიჭეთ **კინეტიკური ენერგია**

11

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:

$$A = E_k$$

12

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

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 , გამოვითვალოთ სიჩქარე დისტანციის ბოლოს V_1 , V_2 და ვიპოვოთ კინეტიკური ენერგიები:

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

მაგალითი #1

ალტერნატიული გზა

ქარის მუშაობა: $A_1 = A_2 = F S$

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

დისტანციის ბოლოს ნავებს ექნებათ ტოლი კინეტიკური ენერგია

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 ენერგიის ცვლილების სიჩქარე

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

ცვლადი მუშაობის პირობებში შეგვიძლია განვსაზღვროთ მყისი სიმძლავრე

$$P = dA/dt$$

17

სიმძლავრის ერთეულები

SI სისტემაში სიმძლავრის ერთეულია ვატი:

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

$$1 \text{ კილოვატი} = 1000 \text{ ვატი}$$

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

18

სიმძლავრე და ენერგია

$$E = P \Delta t$$

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

ტრადიციული ერთეულები:

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



19

სიჩქარე და სიმძლავრე

სხეულზე მოქმედი მუდმივი ძალა იწვევს F სხეულის ΔS გადაადგილებას

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

სიმძლავრე:

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

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

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

20

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.

$$15 \text{ წუთი} = 900 \text{ წამი}$$

21

ამოცანა #2

ვთქვათ გადაადგილების ვექტორი ვერტიკალურია:

$$\Delta S = H$$

მორბენალი თავის თავზე მოქმედებს ძალით რომელიც ეწინააღმდეგება სიმძიმის ძალას:

$$A = mg$$

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

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

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

22

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

23

პოტენციური ენერგია

თუკი სხეულზე შევასრულებთ მუშაობას და ავწევთ რაღაც სიმაღლეზე, მოგვიანებით ის ჩვენ შეგვიძლია გავათავისუფლოთ და მისგან მივიღოთ ვარდნის კინეტიკური ენერგია.

ენერგიას რომელიც შეიძლება გააჩნდეს სხეულის უძრავ მდგომარეობაში პოტენციური ენერგია ეწოდება.

24

გრავიტაციული პოტენციური ენერგია

m მასის სხეულის ვარდნა სიმაღლის h მანძილზე

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:

$$U = m g h$$

25

გრავიტაციული პოტენციური ენერგია

სხეულის ვარდნა z_1 სიმაღლიდან z_2 სიმაღლეზე:

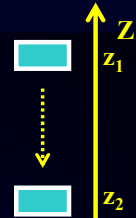
სიმაღლის ძალის მუშაობა:

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

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

$$A = -\Delta U$$

სიმაღლის ძალის მუშაობა ტოლია გრავიტაციული პოტენციალის ცვლილების საპირისპირო ნიშნით



26

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

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

27

ენერგიის შენახვის კანონი

ჩაკეტილი სისტემის სრული ენერგია ინახება

სრული ენერგია: ყველა ტიპის ენერგიების ჯამი

მექანიკური სისტემა:

კინეტიკური ენერგია;

პოტენციური ენერგია;

პოტენციური ენერგია:

გრავიტაცია, დრეკადობა, დაჭიმულობა ...

28

მაგალიტი # 2

ბურთის ვარდნა
H სიმაღლიდან:



პოტენციური ენერგია
უმადლეს წერტილში:
 $U = m g h$

კინეტიკური ენერგია დაცემისას:

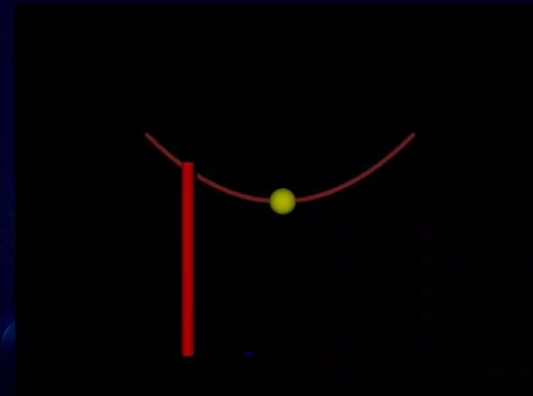
$$\Delta E_k + \Delta U = 0, \quad E_k = \Delta E_k = -\Delta U = -(0 - m g h) = mgh$$

29

ბურთულა ორმოში

კინეტიკური და პოტენციური ენერგიები მოძრაობაში

კინეტიკური ენერგია



პოტენციური ენერგია

30

ბურთულების დრეკადი დაჯახება

ვიპოვოთ სიჩქარეები დრეკადი დაჯახების შემდეგ,
თუკი ცნობილია ბურთულების 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:

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

31

მაგალიტი # 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:

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

32

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: $\alpha \equiv m_2/m_1$

გარდავქმნათ ენერგიის 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 ენერგიის 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 α და V_2 :

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

შედგად:

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

ჩავსვათ α :

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

თუკი $m_1 = m_2$ მაშინ: $V_2 = V_0$

დაჭიმულობის პოტენციალი

ზამბარის დაჭიმულობის ძალა პროპორციულია
ზამბარის დაჭიმულობის (ჰუკის კანონი)

$$F = k x$$

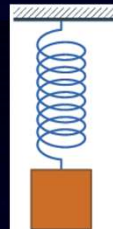
ზამბარის პოტენციური ენერგია:

$$U_k = k x^2 / 2$$

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

U_k - ზამბარის დაჭიმულობის პოტ. ენერგია

U_g - ტვირთის გრავიტაციული პოტ. ენერგია



მოძრაობა რამდენიმე პოტენციალში



ძალის ტიპები

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

ძალას ეწოდება **არა-კონსერვატიული**, თუკი მის მიერ შესრულებული მუშაობა დამოკიდებულია სხეულის **გადაადგილების ტრაექტორიაზე**.

37

კონსერვატიული ძალები

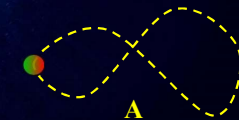
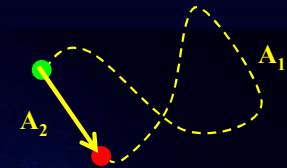
მუშაობა სხეულის სხვადასხვა გადაადგილებისას

მუშაობა დამოკიდებულია გადაადგილებაზე და არა ტრაექტორიაზე

$$A_1 = A_2$$

კონსერვატიული ძალის მუშაობა ჩაკეტილ ტრაექტორიაზე ნულია

$$A = 0$$



38

კონსერვატიული ძალის მაგალითები

სიმძიმის ძალა



ზამბარის
დაჭიმულობის
ძალა



39

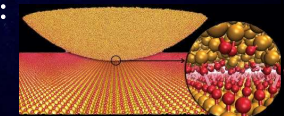
არაკონსერვატიული ძალა

ხახუნის ძალა

სხეულების შეხების ზედაპირების უსწორმასწორობა მოძრაობისას იწვევს წინააღმდეგობის ძალას



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



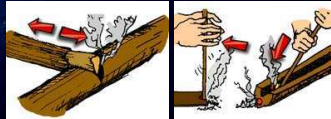
40

არაკონსერვატული 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

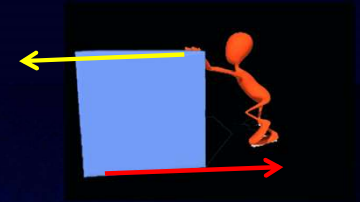


41

ხახუნის ძალა

ხახუნის ძალის ტიპები:

- უძრაობის ხახუნი;
- მოძრაობის ხახუნი;

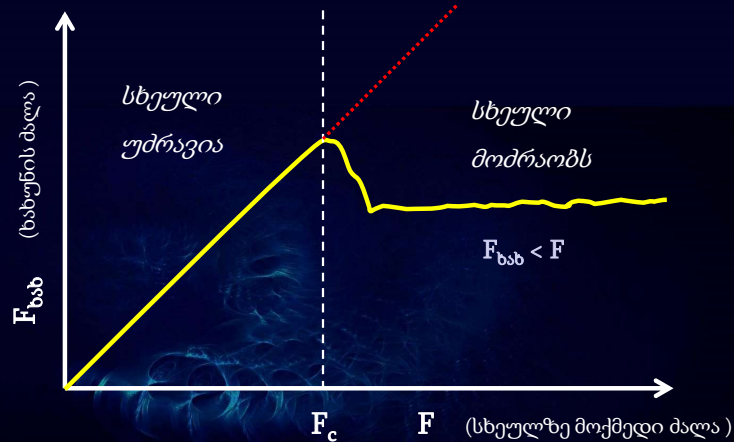


ხახუნის ძალა მოქმედებს როგორც მოძრავე, ისე უძრავ სხეულებზე.

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

42

ხახუნის ძალა



43

ხახუნის ძალა

უძრაობის ხახუნი:

$$F_{\text{უძრ}} = F$$

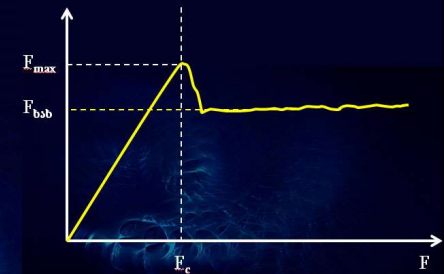
$$F_{\text{უძრ}} < F_c$$

მოძრაობის ხახუნი:

$$F_{\text{ხახ}} = \mu N \quad (= \mu m g \text{ ჰორიზონტალურ ზედაპირზე})$$

μ - ხახუნის კოეფიციენტი

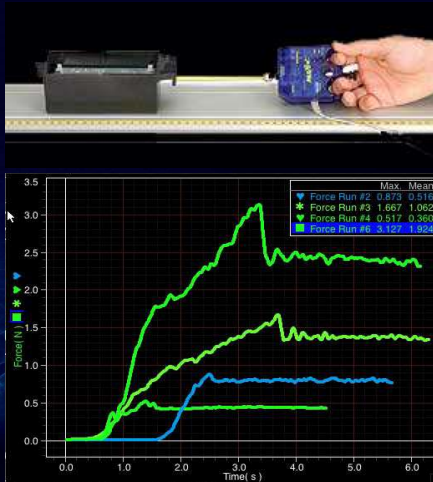
N - ზედაპირის რეაქციის ძალა



44

ხახუნის ძალის ექსპერიმენტული გაზომვა

დინამომეტრზე
დამაგრებული
ტვირთი



ხახუნის ძალები
სხვადასხვა
ზედაპირების
შემთხვევაში

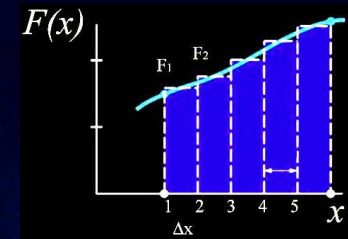
45

ცვლადი ძალის მუშაობა

მუშაობა ცვლადი ძალის შემთხვევაში $F=F(x)$:

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

$$A = F_1 \Delta x + F_2 \Delta x + \dots$$



მუშაობა უდრის $F \cdot X$

დიაგრამაზე ძალის მრუდის ქვეშ მოქცეული ფართობს

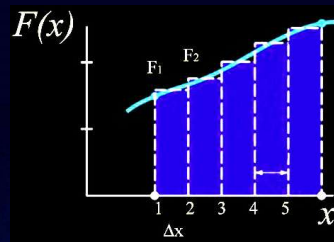
46

ცვლადი ძალის მუშაობა

$$dA = F(x)dx$$

განუსაზღვრელი ინტეგრალი:

$$A = \int F(x)dx$$



განსაზღვრული ინტეგრალი:

$$A_{12} = \int_{x_1}^{x_2} F(x)dx = [A(x)]_{x_1}^{x_2} = A(x_2) - A(x_1)$$

47

ამოცანები

სხეულზე მოქმედი ძალების ტოლქმედი არ უდრის ნულს; შეიძლება თუ არა იყოს მუდმივი სხეულის:

- აჩქარება;
- კინეტიკური ენერგია;

48

ამოცანები

ზოგიერთი ფიზიკური სიდიდის ნიშანი დამოკიდებულია კოორდინატა ღერძების არჩევაზე. მაგალითად Z ღერძის მიმართულება განსაზღვრავს თავისუფალი ვარდნის აჩქარების ნიშანს.

დამოკიდებულია თუ არა მუშაობა კოორდინატა ღერძის მიმართულებაზე?
რატომ?

49

ამოცანები

მანქანა მუდმივი სიმძლავრით მომუშავე ძრავის ზემოქმედებით იწყებს მოძრაობას აჩქარებით. როდის არის მანქანის აჩქარება მეტი:

- მოძრაობის დასაწყისში;
- მოძრაობის ბოლოს;
- აჩქარება უცვლელია;

50

ამოცანები

იპოვეთ ზამბარის მიერ შესრულებული მუშაობა სხეულზე, რომელიც მოძრაობს ჰორიზონტალურად x_1 წერტილიდან x_2 წერტილამდე, თუკი ზამბარის დაჭიმულობა ემორჩილება ჰუკის კანონს:

$$F(x) = k (x - x_0)$$

როდის არის ზამბარის მიერ შესრულებული მუშაობა დადებითი ან უარყოფითი და რატომ?



51

ენერგიის მუდმივობის კანონი

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

კონსერვატული და არაკონსერვატული ძალები

ზამბარის დაჭიმულობის ძალა
ხახუნის ძალა

52

www.tevza.org/home/course/phys2025