



ფიზიკის შესავალი (1)

ლექცია 7

მუშაობა და სიმბლავრე
კინეტიკური და პოტენციური ენერგია
ენერგიის შენახვის კანონი,
კონსერვატული და არაკონსერვატული ძალები

„ფიზიკის შესავალი (1)“ / ალ. თევზაძე / 2017

ლექცია: 7 გვერდი: 3

მუშაობა

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

სხეულზე ვმოქმედებთ ძალით, რომელიც იწვევს მის გადაადგილებას



„ფიზიკის შესავალი (1)“ / ალ. თევზაძე / 2017

ლექცია: 7 გვერდი: 2

წინა ლექციაში

ძალა და იმპულსი
იმპულსის შენახვის კანონი

დრეკადი და არადრეკადი დაჯახებები

მასათა ცენტრი
მასათა ცენტრის მოძრაობა

რეაქტიული მოძრაობა

„ფიზიკის შესავალი (1)“ / ალ. თევზაძე / 2017

ლექცია: 7 გვერდი: 4

მუშაობა

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

$$A = F S$$

A – მუშაობა

F – ძალა

S – გადაადგილება

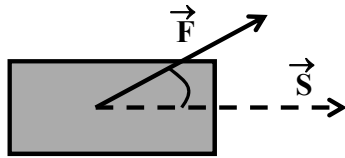
SI სისტემაში მუშაობის ერთეული ემთხვევა ენერგიის ერთეულს:

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

მუშაობა

შეიძლება მანქანა გადაადგილდებოდეს ადამიანის მიერ მოდებული ძალის მიმართ კუთხით:

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



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 გადავადგილებთ:

$$S = 0$$

$$A = 0$$



მუშაობა

ძალა და გადაადგილება: ვექტორები

მუშაობა: სკალარი

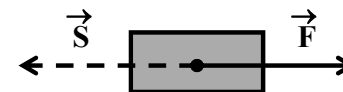
მუშაობას ასრულებს კონკრეტული ძალა

სხეულის წრფივი გადაადგილებისას მუშაობა გამოითვლება ძალისა და გადაადგილების ვექტორების სკალარული ნამრავლით

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

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 აჯამვა 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 ნაგებს 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 ენერგიის ცვლილების სიჩქარე

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

ცვლადი მუშაობის პირობებში შეგვიძლია განვსაზღვროთ მყისი სიმძლავრე

$$P = dA/dt$$

სიმძლავრე და ენერგია

$$E = P \Delta t$$

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

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-ენერგიას გამოსხივებასა და სითბოში

სიჩქარე და სიმძლავრე

სხეულზე მოქმედი მუდმივი ძალა იწვევს F სხეულის ΔS გადაადგილებას

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

სიმძლავრე:

$$\begin{aligned} P &= \Delta A / \Delta t \\ P &= \vec{F} \cdot \vec{\Delta S} / \Delta t \end{aligned}$$

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

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.

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

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:

$$A = mg$$

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

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

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

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:

$$U = m g h$$

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

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

გრავიტაციული პოტენციური ენერგია

სხეულის ვარდნა z_1 სიმაღლიდან z_2 სიმაღლეზე:

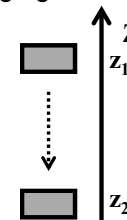
სიმაღლის ძალის მუშაობა:

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

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

$$A = - \Delta U$$

სიმაღლის ძალის მუშაობა ტოლია გრავიტაციული პოტენციალის ცვლილების საპირისპირო ნიშნით



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 სიმაღლიდან:



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

კინეტიკური ენერგია დაცემისას:

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

ბურთულების დრეკადი დაჯახება

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

ამოცანის სრულად ამოსახსნელად საკმარისია

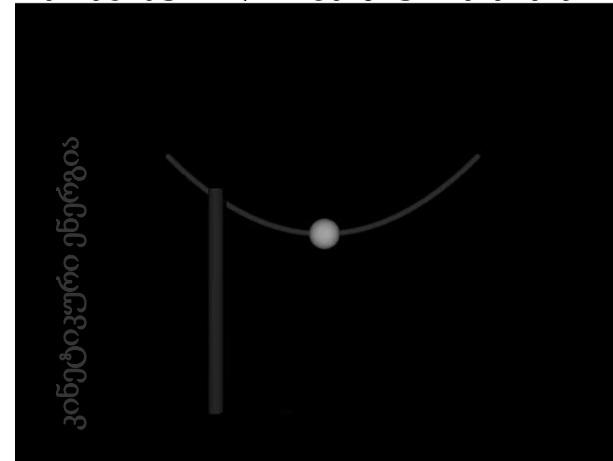
იმპულსის შენახვის კანონი:

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

(კინეტიკური) ენერგიის შენახვის კანონი:

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

ბურთულა ორმოში
კინეტიკური და პოტენციური ენერგიები მოძრაობაში



პოტენციური ენერგია

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: $\alpha \equiv m_2/m_1$

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:

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

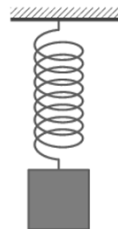
დაჭიმულობის პოტენციალი

ზამბარის დაჭიმულობის ძალა პროპორციულია
ზამბარის დაჭიმულობის

$$F = k x$$

ზამბარის პოტენციალური ენერგია:

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

ზამბარის რხევა: $E_k + U_k + U_g = \text{constant}$ U_k - ზამბარის დაჭიმულობის პოტენციალი U_g - ტვირთის გრავიტაციული პოტენციალი

მაგალითი # 3

გავამარტივოთ:

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

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: $V_2 = V_0$

მოძრაობა რამოდენიმე პოტენციალში



ძალების ტიპები

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

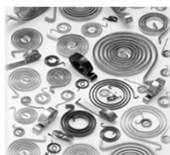
ძალას ეწოდება არაკონსერვატიული, თუკი მის მიერ შესრულებული მუშაობა დამოკიდებულია სხეულის გადაადგილების ტრაექტორიაზე.

კონსერვატიული ძალის მაგალითები

სიმძიმის ძალა



ზამბარის
დაჭიმულობის
ძალა

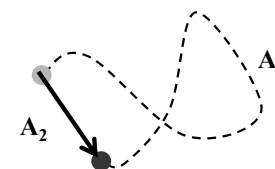


კონსერვატიული ძალები

მუშაობა სხეულის სხვადასხვა გადაადგილებისას

მუშაობა დამოკიდებულია გადაადგილებაზე და არა ტრაექტორიაზე

$$A_1 = A_2$$



კონსერვატიული ძალის მუშაობა ჩაკეტილ ტრაექტორიაზე ნულია

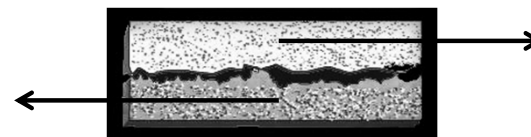
$$A = 0$$



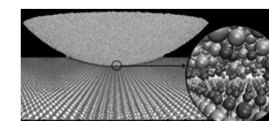
არაკონსერვატიული ძალა

ხახუნის ძალა

სხეულების შეხების ზედაპირების უსწორმასწორობა მოძრაობისას იწვევს წინააღმდეგობის ძალას



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



არაკონსერვატიული ძალა

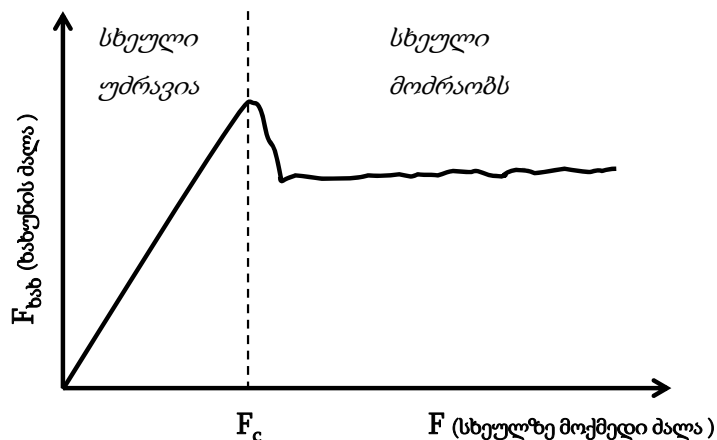
ხახუნის ძალის მიერ შესრულებული მუშაობა დამოკიდებულია სხეულის გადაადგილების ტრაექტორიაზე.

სხეულის მოძრაობისას ჩაკეტილ ტრაექტორიაზე ხახუნის ძალის მუშაობა არ უდრის ნულს.

მაგალითი: ცეცხლის მოპოვება ხახუნის ძალით



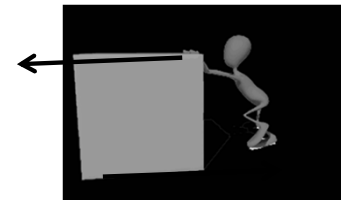
ხახუნის ძალა



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 დაიწყებს მოძრაობას.

ხახუნის ძალა

უძრაობის ხახუნი:

$$F_{\text{უძრ}} = F$$

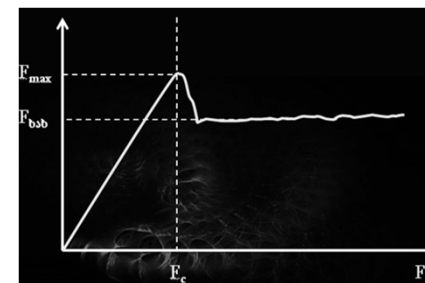
$$F_{\text{უძრ}} < F_{\text{max}}$$

მოძრაობის ხახუნი:

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

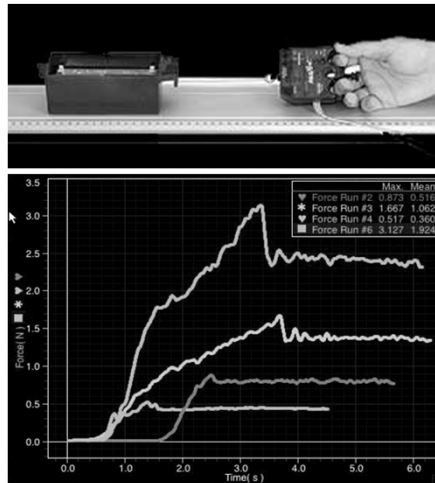
μ - ხახუნის კოეფიციენტი

N - ზედაპირის რეაქციის ძალა



ხახუნის ძალის ექსპერიმენტული გაზომვა

დინამომეტრზე
დამაგრებული
ტვირთი



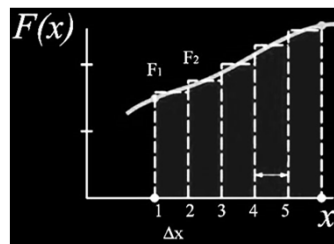
ხახუნის ძალები
სხვადასხვა
ზედაპირების
შემთხვევაში

ცვლადი ძალის მუშაობა

$$dA = F(x)dx$$

განუსაზღვრელი ინტეგრალი:

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



განსაზღვრული ინტეგრალი:

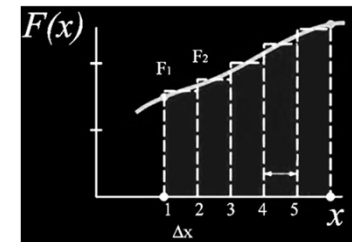
$$A_{1,2} = \int_{x_1}^{x_2} F(x)dx = [A(x)]_{x_1}^{x_2} = A(x_2) - A(x_1)$$

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 $F-x$

დიაგრამაზე ძალის მრუდის ქვეშ მოქცეული ფართობს

ამოცანები

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

- აჩქარება;
- კინეტიკური ენერგია;

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?

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?



ამოცანები

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

- მოძრაობის დასწყისში;
- მოძრაობის ბოლოს;
- აჩქარება უცვლელია;

ენერგიის მუდმივობის კანონი

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

კონსერვატული და არაკონსერვატული ძალები

ზამბარის დაჭიმულობის ძალა
ხახუნის ძალა

www.tevza.org/home/course/phys2017