



ფიზიკის შესავალი

ლექცია 7

მუშაობა და სიმძლავრე
კინეტიკური და პოტენციური ენერგია
ენერგიის შენახვის კანონი,
კონსერვაციული და არაკონსერვაციული 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

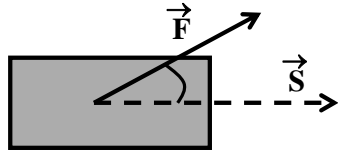
S – გადაადგილება

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 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 გადავაადგილებთ:

$$S = 0$$

$$A = 0$$



მუშაობა

ძალა და გადაადგილება: ვექტორები
 მუშაობა: სკალარი

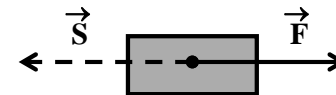
მუშაობას ასრულებს კონკრეტული ძალა

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 მათი აჯამვა შესაძლებელია სხეულის გადაადგილების მიმართულების გათვალისწინების გარეშე

მუშაობა და ენერგია

ჩასმის შემდეგ:

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

წულოვანი 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 ენერჯიის ცვლილებას

$$A = \Delta E_k$$

კინეტიკური ენერჯიის 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 ნაგებებს ექნებათ ტოლი კინეტიკური ენერჯია

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 ენერჯია 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 ენერჯიები: $E_k = m V^2/2$

მუშაობა და დრო

სხეულზე შესრულებული მუშაობა უდრის კინეტიკური ენერჯიის ცვლილებას ნებისმიერ დროის ინტერვალში;

ერთიდაიგივე მუშაობის შესრულება, ანუ კინეტიკური ენერჯიის 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 ΔS 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:

$$A = mg H$$

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

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

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

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

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

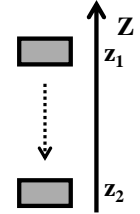
გრავიტაციული პოტენციური ენერგია

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 ...

მაგალიტი # 2

ბურთის ვარდნა

H სიმაღლიდან:



პოტენციური ენერგია

უმადლეს წერტილში:

$$U = m g h$$

კინეტიკური ენერგია დაცემისას:

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

ბურთულეების დრეკადი დაჯახება

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

ამოცანის სრულად ამოსახსნელად საკმარისია

იმპულსის შენახვის კანონი:

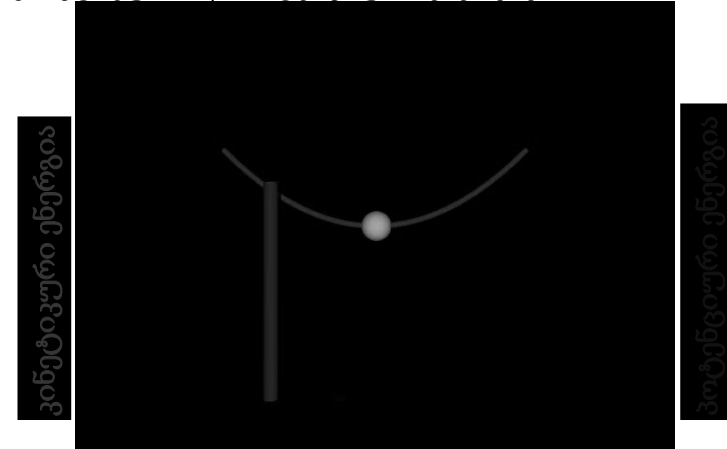
$$m_1 \vec{V}_1 + m_2 \vec{V}_2 = \text{constant}$$

(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



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:

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

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:

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

შევკვეთოთ 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

$$F = k x$$

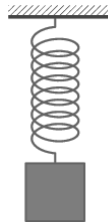
ზამბარის პოტენციალური ენერგია:

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

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

U_k - ზამბარის დაჭიმულობის პოტენციალი

U_g - ტვირთის გრავიტაციული პოტენციალი



მოძრაობა რამოდენიმე პოტენციალში



ძალების ტიპები

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

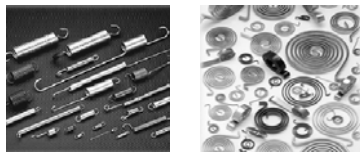
ძალას ეწოდება არაკონსერვატიული, თუკი მის მიერ შესრულებული მუშაობა დამოკიდებულია სხეულის გადაადგილების ტრაექტორიაზე.

კონსერვატიული ძალის მაგალითები

სიმძიმის ძალა



ზამბარის დაჭიმულობის ძალა

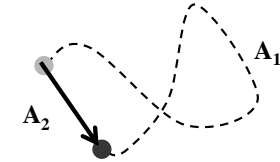


კონსერვატიული ძალები

მუშაობა სხეულის სხვადასხვა გადაადგილებისას

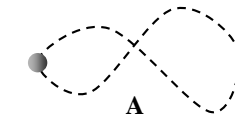
მუშაობა დამოკიდებულია გადაადგილებაზე და არა ტრაექტორიაზე

$$A_1 = A_2$$



კონსერვატიული ძალის მუშაობა ჩაკეტილ ტრაექტორიაზე ნულია

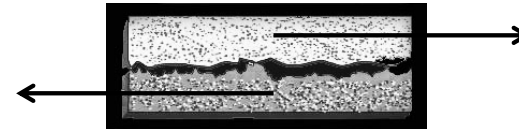
$$A = 0$$



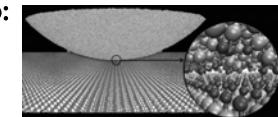
არაკონსერვატიული ძალა

ხახუნის ძალა

სხეულების შეხების ზედაპირების უსწორმასწორობა მოძრაობისას იწვევს წინააღმდეგობის ძალას



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



არაკონსერვატიული ძალა

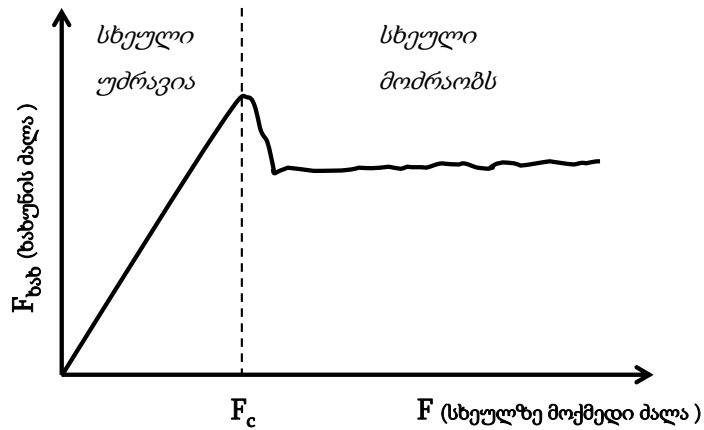
ხახუნის ძალის მიერ შესრულებული მუშაობა დამოკიდებულია სხეულის გადაადგილების ტრაექტორიაზე.

სხეულის მოძრაობისას ჩაკეტილ ტრაექტორიაზე ხახუნის ძალის მუშაობა არ უდრის ნულს.

მაგალითი: ცეცხლის მოპოვება ხახუნის ძალით



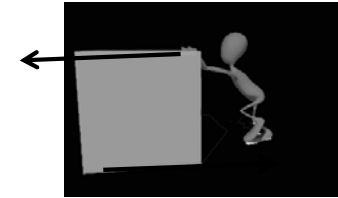
ხახუნის ძალა



ხახუნის ძალა

ხახუნის ძალის ტიპები:

- უძრაობის ხახუნი;
- მოძრაობის ხახუნი;



ხახუნის ძალა მოქმედებს როგორც მოძრავ, ისე უძრავ სხეულებზე.

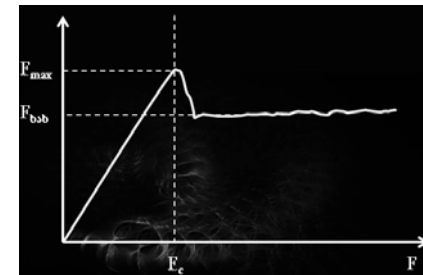
თუკი სხეულზე მოქმედი ძალა გადააჭარბებს ზღვრულ მნიშვნელობას, სხეული დაიძვრება და იწყებს მოძრაობას.

ხახუნის ძალა

უძრაობის ხახუნი:

$$F_{\text{უძრ}} \sim F$$

$$F_{\text{უძრ}} < F_{\text{max}}$$



მოძრაობის ხახუნი:

$$F_{\text{ხახ}} = \mu m g$$

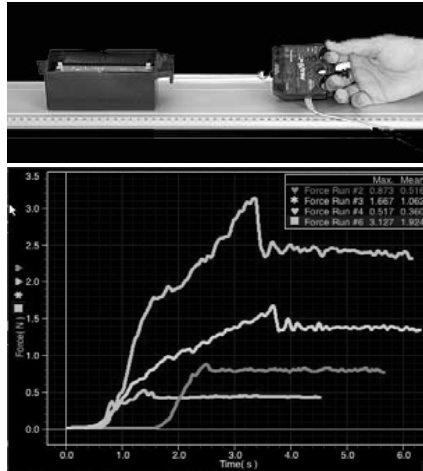
μ - ხახუნის კოეფიციენტი

$m g$ - სხეულის წონა



ხახუნის ძალის ექსპერიმენტული გაზომვა

დინამომეტრზე
დამაგრებული
ტვირთი



ხახუნის ძალები
სხვადასხვა
ზედაპირების
შემთხვევაში

www.tevza.org/home/course/phys2012

ენერჯის მუდმივობის კანონი

მუშაობა და კინეტიკური ენერჯია
სიმძლავრე და ენერჯია
პოტენციური ენერჯია
ენერჯის შენახვის კანონი

კონსერვატული და არაკონსერვატული ძალები

ზამბარის დაჭიმულობის ძალა
ხახუნის ძალა