



ფიზიკის შესავალი, ალ. თევზაძე, 2012

ლექცია 7

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

ფიზიკის შესავალი, ალ. თევზაძე, 2012

ლექცია/გვერდი: 7/1

წინა ლექციაში

ძალა და იმპულსი
იმპულსის შენახვის კანონი

დრეკადი და არადრეკადი დაჯახებები

მასათა ცენტრი
მასათა ცენტრის მოძრაობა

რეაქტიული მოძრაობა

ფიზიკის შესავალი, ალ. თევზაძე, 2012

ლექცია/გვერდი: 7/2

მუშაობა

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

სხეულზე ვმოქმედებთ ძალით, რომელიც იწვევს მის გადაადგილებას



ფიზიკის შესავალი, ალ. თევზაძე, 2012

ლექცია/გვერდი: 7/3

მუშაობა

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

$$A = F S$$

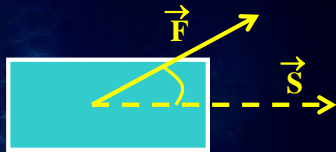
A – მუშაობა
F – ძალა
S – გადაადგილება

SI სისტემაში მუშაობის ერთეული ემთხვევა ენერგიის ერთეულს:

1 ჯოული = (1 ნიუტონი) x (1 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
 $A = F S \cos(\alpha)$

მუშაობა

ძალა და გადაადგილება: **ვექტორები**
 მუშაობა: **სკალარი**

მუშაობას ასრულებს კონკრეტული ძალა

სხეულის წრფივი გადაადგილებისას F ძალის მიერ შესრულებული მუშაობა:

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

ნულოვანი მუშაობა

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

იმისათვის რომ შევასრულოთ მუშაობა საჭიროა სხეულის გადაადგილება

ვაწვებით მანქანას მაგრამ ვერ გადავაადგილებთ:

$$S = 0$$

$$A = 0$$



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 მიმართულებების გათვალისწინების გარეშე

მუშაობა და ენერგია

სხეულზე შესრულებული მუშაობის შედეგად მას გადაეცემა ენერგია

ვთქვათ გაჩერებულ სხეულზე ვმოქმედებთ F ძალით:

$$F = m a$$

მუდმივი ძალა – მუდმივი აჩქარება:

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

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

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

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

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

სიმძლავრის ერთეულები

SI სისტემაში სიმძლავრის ერთეულია ვატი:

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

კილოვატი = 1000 ვატი

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

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:

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



სიჩქარე და სიმძლავრე

სხეულზე მოქმედი მუდმივი ძალა იწვევს F სხეულის ΔS გადაადგილებას

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

სიმძლავრე:

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

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

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

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

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

კინეტიკური ენერგია ასახავს სხეულის მოძრაობის ენერგიას

მუშაობა დაკავშირებულია გადაადგილებასთან, ანუ მოძრაობასთან

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

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 სიმძიმის ძალის გამო

სიმძიმის ძალა: $F = m g$

სიმძიმის 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:

სიმძიმის ძალის მუშაობა:

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

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

$$A = -\Delta U$$

სიმძიმის ძალის მუშაობა ტოლია გრავიტაციული პოტენციალის ცვლილების საპირისპირო ნიშნით



მექანიკური ენერგია

სიმძიმის ძალის მუშაობა და კინეტიკური ენერგია:

$$A = \Delta E_k$$

სიმძიმის 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 ...

მაგალიტი # 2

ბურთის ვარდნა
H სიმაღლიდან:



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

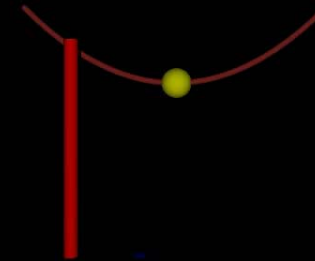
კინეტიკური ენერჯია დაცემისას:

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

ბურთულა ორმოში

კინეტიკური და პოტენციური ენერჯიები მოძრაობაში

კინეტიკური ენერჯია



პოტენციური ენერჯია

ბურთულების დრეკადი დაჯახება

ვიზოვით 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) ენერჯიის შენახვის კანონი:

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

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:

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

ენერჯიის 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:

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

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

ჩავსვით 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

$$F = k x$$

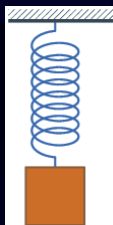
ზამბარის პოტენციალური ენერგია:

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

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

U_k - ზამბარის დაჭიმულობის პოტენციალი

U_g - ტვირთის გრავიტაციული პოტენციალი



მოდრაობა რამოდენიმე პოტენციალში



ძალების ტიპები

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

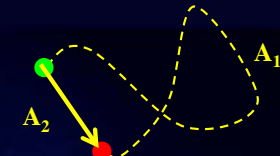
ძალას ეწოდება არაკონსერვატიული, თუკი მის მიერ შესრულებული მუშაობა დამოკიდებულია სხეულის გადაადგილების ტრაექტორიაზე.

კონსერვატიული ძალები

მუშაობა სხეულის სხვადასხვა გადაადგილებისას

მუშაობა დამოკიდებულია გადაადგილებაზე და არა ტრაექტორიაზე

$$A_1 = A_2$$



კონსერვატიული ძალის მუშაობა ჩაკეტილ ტრაექტორიაზე ნულია

$$A = 0$$



კონსერვატიული ძალის მაგალითები

სიმძიმის ძალა



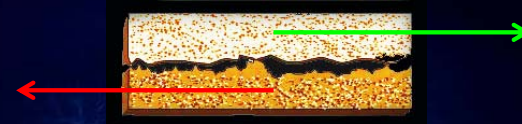
ზამბარის დაჭიმულობის ძალა



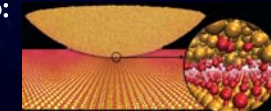
არაკონსერვატიული ძალა

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.

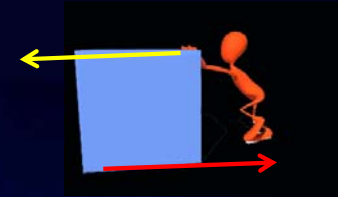
მაგალითი: ცეცხლის მოპოვება ხახუნის ძალით



ხახუნის ძალა

ხახუნის ძალის ტიპები:

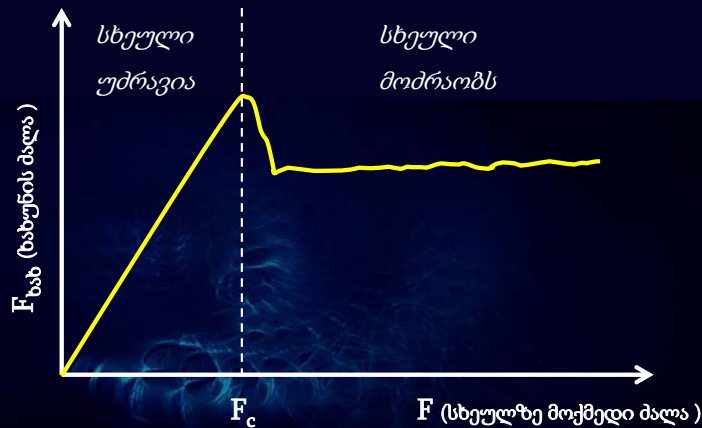
- უძრაობის ხახუნი;
- მოძრაობის ხახუნი;



ხახუნის ძალა მოქმედებს როგორც მოძრავე, ისე უძრავ სხეულებზე.

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

ხახუნის ძალა



ხახუნის ძალა

უძრაობის ხახუნი:

$$F_{\text{უძრ}} \sim F$$

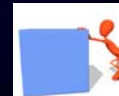
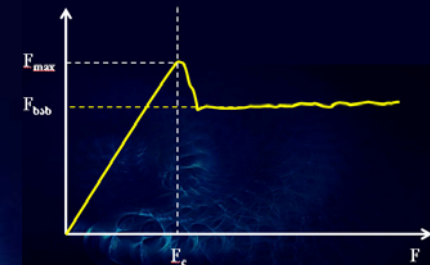
$$F_{\text{უძრ}} < F_{\text{max}}$$

მოძრაობის ხახუნი:

$$F_{\text{ხახ}} = \mu m g$$

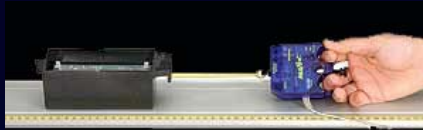
μ - ხახუნის კოეფიციენტი

$m g$ - სხეულის წონა

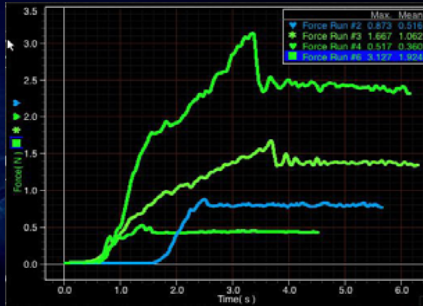


ხახუნის ძალის ექსპერიმენტული გაზომვა

დინამომეტრზე
დამაგრებული
ტვირთი



ხახუნის ძალები
სხვადასხვა
ზედაპირების
შემთხვევაში



ენერჯის მუდმივობის კანონი

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

კონსერვატული და არაკონსერვატული ძალები

ზამბარის დაჭიმულობის ძალა
ხახუნის ძალა

www.tevza.org/home/course/phys2012