



## ფიზიკის შესავალი - 2

### ლექცია 6

იმპულსი

დაჯახებები ერთ განზომილებაში  
იმპულსის შენახვის კანონი

### იმპულსი

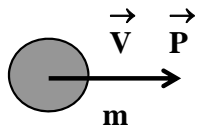
სხეულის იმპულსი ვექტორული სიდიდეა და უდრის მისი მასისა და სიჩქარის ნამრავლს

$$\vec{P} = m \vec{V}$$

$$P_x = m V_x$$

$$P_y = m V_y$$

$$P_z = m V_z$$



## წინა ლექციაში

ძალა და ძალის ტიპები

ძალთა ტოლქმედი

ინერცია

ნიუტონის პირველი კანონი

ნიუტონის მეორე კანონი

ნიუტონის მესამე კანონი

### ძალა და იმპულსი

ნიუტონის მეორე კანონი:  $\vec{F} = m \vec{a}$

აჩქარება:  $\vec{a} = \Delta \vec{V} / \Delta t$

$$\vec{F} = m \Delta \vec{V} / \Delta t = \Delta \vec{P} / \Delta t$$

$$\Delta \vec{P} = \vec{F} \Delta t$$

სხეულზე მინიჭებული იმპულსი უდრის მასზე მოქმედი ძალის ნამრავლს დროის ინტერვალზე, რომლის განმავლობაშიც ეს ძალა მოქმედებდა

### იმპულსის მინიჭება

სხეულისათვის ერთიდაიგივე იმპულსის მინიჭება შეიძლება ან მცირე ძალის დიდი ხნის განმავლობაში ზემოქმედებით, ან დიდი ძალის მცირე ხნის განმავლობაში ზემოქმედებით

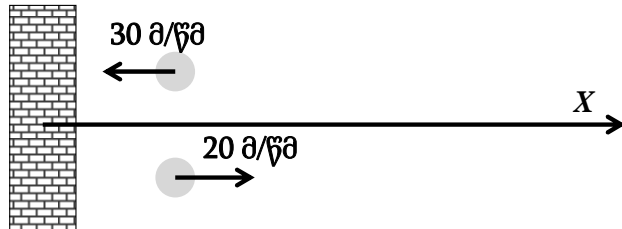
$$\Delta P = F_1 \Delta t_1 = F_2 \Delta t_2$$

$$F_1 \gg F_2, \quad \Delta t_1 \ll \Delta t_2$$

მაგალითად: ბურთისათვის იმპულსის მინიჭება თავისუფალი ვარდნისას და ჩოგანის დარტყმით



### ამოცანა #1



დაჯახებამდე:

$$P_{x1} = m V_{x1} = 0.4 \text{ კგ} (-30 \text{ მ/წმ}) = -12 \text{ კგ მ/წმ}$$

შემდეგ:  $P_{x2} = m V_{x2} = 0.4 \text{ კგ} 20 \text{ მ/წმ} = 8 \text{ კგ მ/წმ}$

$$\Delta P = F \Delta t$$

$$F = \Delta P / \Delta t = (P_{x2} - P_{x1}) / \Delta t = (8 - (-12)) / 0.01 = 2000 \text{ (ნ.)}$$

### ამოცანა #1

0.4 კგ მასის სხეული ესროლეს აგურის კედელს. კედელთან დაჯახებისას სხეულის სიჩქარე იყო 30 მ/წმ, ხოლო არეკვლის შემდეგ სხეულის სიჩქარე იყო 20 მ/წმ. სხეული კედელთან კონტაქტში იმყოფებოდა 0.01 წმ განმავლობაში. იპოვეთ რა ძალით იმოქმედა კედელმა სხეულზე.

### იმპულსი და ურთიერთქმედება

ორი იზოლირებული სხეულის ურთიერთქმედება:

ნიუტონის III კანონი: ქმედება უდრის უკუქმედებას;

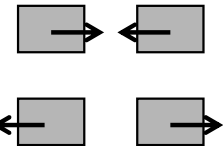
$$\vec{F}_1 = -\vec{F}_2$$

$$F_1 = \Delta P_1 / \Delta t$$

$$F_2 = \Delta P_2 / \Delta t$$

$$F_1 + F_2 = (\Delta P_1 + \Delta P_2) / \Delta t = 0$$

$$\vec{\Delta P}_1 + \vec{\Delta P}_2 = 0$$



## იმპულსის შენახვის კანონი

ჩაკეტილ სისტემაში სხეულების იმპულსების ჯამი მუდმივია

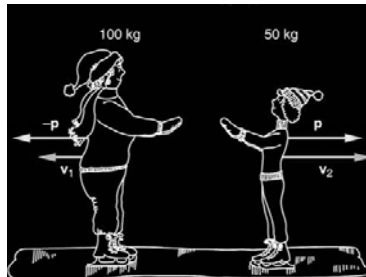
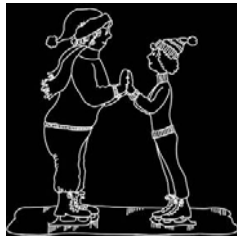
$$\vec{P} = \vec{P}_1 + \vec{P}_2 + \dots = m_1 \vec{V}_1 + m_2 \vec{V}_2 + \dots = \text{constant}$$

თუკი სისტემაზე მოქმედი ძალების ტოლქმედი ნულის ტოლია, მაშინ სისტემის ჯამური იმპულსი არ იცვლება

$$\vec{F} = \Delta \vec{P} / \Delta t = 0, \quad \Delta \vec{P} = 0, \quad \vec{P} = \text{constant}$$

## მაგალითი

იმპულსის შენახვა სხვადასხვა მასის სხეულების ურთიერთქმედებისას:



$$\vec{P}_1 + \vec{P}_2 = 0, \quad m_1 V_1 - m_2 V_2 = 0, \\ m_1/m_2 = V_2 / V_1$$

## იმპულსის შენახვის კანონი

იმპულსის შენახვის კანონი გეგმილებში:

$$P_{1x} + P_{2x} + \dots = m_1 V_{1x} + m_2 V_{2x} + \dots = C_1$$

$$P_{1y} + P_{2y} + \dots = m_1 V_{1y} + m_2 V_{2y} + \dots = C_2$$

$$P_{1z} + P_{2z} + \dots = m_1 V_{1z} + m_2 V_{2z} + \dots = C_3$$

იმპულსი ყოველი ღერძის გასწვრივ შეიძლება იყოს სხვადასხვა:

$$C_1 \neq C_2 \neq C_3 \\ C_1, C_2, C_3 = \text{constant}$$

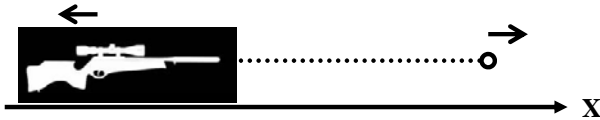
## ამოცანა #2

თოფიდან გასროლისას 5 გრამიანი ტყვია იღებს 300 მ/წმ საწყის სიჩქარეს. დათვალეთ რა სიჩქარით მოხდება დაუმადრებელი თოფის უკუცემა, თუ მისი მასაა 3 კგ. რა სიჩქარით მოხდება თოფის უკუცემა თუკი ის მყარად უკავია მონადირეს, რომლის მასაა 77 კგ?

ტყვიის მასა: 5 გრ = 0.005 კგ

ყველა სიდიდე გადაგვყავს SI სისტემის ერთეულებში

ამოცანა #2



$\vec{P}_1 + \vec{P}_2 = 0$  (საწყისი იმპულსი ნულის ტოლია)

$V_1 = 300$  მ/წმ

$V_2 < 0$  (= ?)

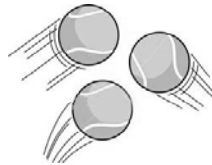
$m_1 V_1 - m_2 V_2 = 0 \quad V_2 = m_1/m_2 V_1$

1)  $m_2 = 3$ კგ,  $V_2 = 0.005/3 \times 300 = 0.5$  მ/წმ

2)  $m_2 = (3+77)$ კგ,  $V_2 = 0.005/80 \times 300 = 0.02$  მ/წმ

დაჯახებები

სხეულების დაჯახება:  
 აბსოლუტურად დრეკადი  
 დაჯახება: გაფანტვა



აბსოლუტურად არადრეკადი  
 დაჯახება: შეერთება



რეალური დაჯახებები:  
 არადრეკადი,  
 ნაწილობრივი გაფანტვა



იმპულსის შენახვა სროლისას



აბსოლუტურად არადრეკადი დაჯახება

ბურთს ვესვრით  
 პლასტიკურად.

იმპულსის შენახვა:

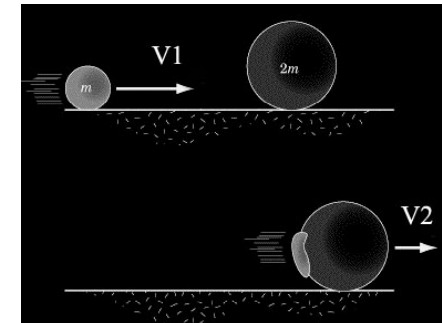
საწყისი:  $m V_1$

საბოლოო:  $(M+m) V_2$

$m V_1 = (M+m) V_2$ ,

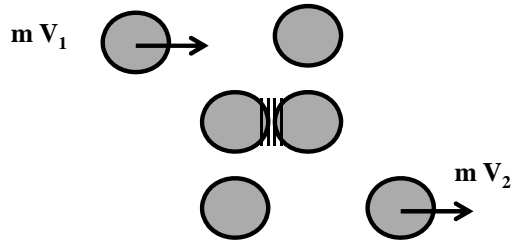
$V_2 = m / (M+m) V_1$

$m / (M+m) < 1$ ,  $V_2 < V_1$



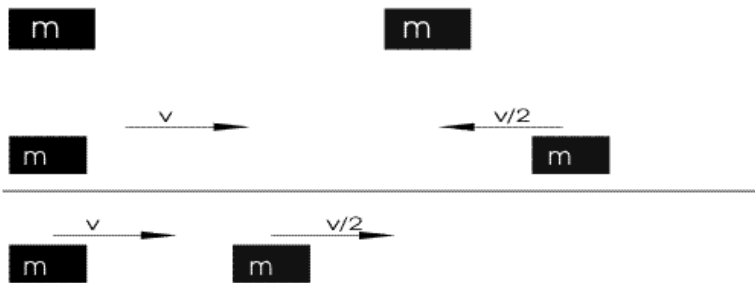
### დრეკადი დაჯახება

ტოლი მასის ბურთულების დრეკადი დაჯახება  
 მაგალითი: ბილიარდის ბურთულები



იმპულსის სრული გადაცემა:  $m V_1 = m V_2$

### დრეკადი დაჯახებები



გადასვლა ერთ-ერთი მოძრავი სხეულის სისტემაში:  
 გალილეის გარდაქმნები

### იმპულსის გადაცემა

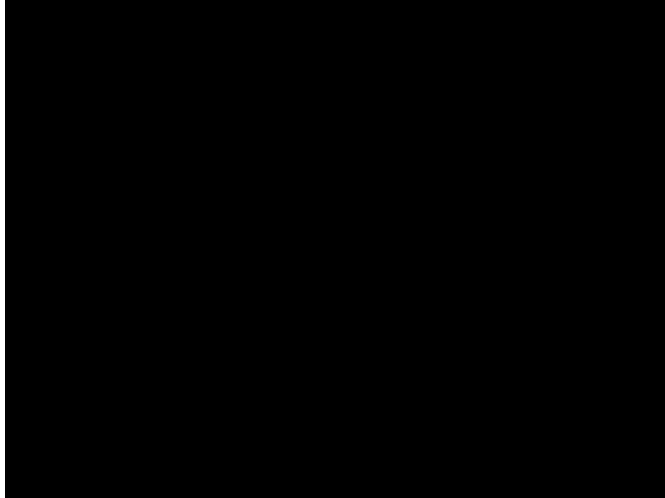


### დრეკადი დაჯახებები

დრეკადი დაჯახებები და იმპულსის გადაცემები  
 ერთიდაიგივე მასის ბურთულებისათვის.  
 მაგალითი: “ნიუტონის აკვანი”

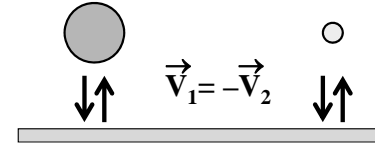


იმპულსის გადაცემა: “ნიუტონის აკვანი”

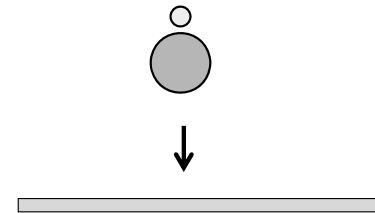


გალილეის ქვემეხი

სხვადასხვა მასის  
სხეულების ვარდნა:  
(დრეკადი არეკვლა)

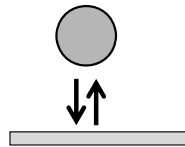


სხვადასხვა მასის  
სხეულების ერთად  
ვარდნა და არეკვლა:



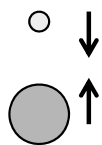
გალილეის ქვემეხი

1.) მძიმე ბურთის დრეკადი არეკვლა:  
დაცემის სიჩქარე უდრის არეკვლის  
სიჩქარეს:  $V$



2.) პატარა ბურთის დრეკადი  
დაჯახება არეკვლილ დიდ  
ბურთთან.

არეკვლის სიჩქარე:  $V_1$   
 $M \gg m$  ,  $V_1 \gg V$



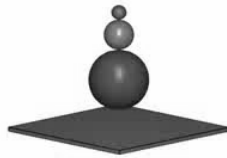
არეკვლისას პატარა ბურთი იძენს ვარდნის სიჩქარეზე  
გაცილებით მეტ სიჩქარეს

გალილეის ქვემეხი



დამოუკიდებლად: კალათბურთის და ჩოგბურთის ბურთები

## გალილეის ქვემეხი: სიჩქარეები

IMPETUS AFEXI SOUVIR  
http://www.impetusafexi.com

## მასათა ცენტრი

სისტემის მასათა ცენტრი დამოკიდებულია  
სისტემაში შემავალი მასების განაწილებაზე

$$\vec{r} = (m_1 \vec{r}_1 + m_2 \vec{r}_2 + \dots) / (m_1 + m_2 + \dots)$$

კომპონენტებში:

$$x_c = (m_1 x_1 + m_2 x_2 + \dots) / (m_1 + m_2 + \dots)$$

$$y_c = (m_1 y_1 + m_2 y_2 + \dots) / (m_1 + m_2 + \dots)$$

$$z_c = (m_1 z_1 + m_2 z_2 + \dots) / (m_1 + m_2 + \dots)$$

## ეფექტური სიჩქარე

სხეულების სისტემის ჯამური იმპულსი:

$$\vec{P} = m_1 \vec{V}_1 + m_2 \vec{V}_2 + \dots$$

სისტემის სრული მასა:  $M = (m_1 + m_2 + \dots)$

წარმოსახვითი სხეული:  $\vec{P} = M \vec{V}$

სისტემის როგორც ერთი სხეულის ეფექტური  
სიჩქარე:

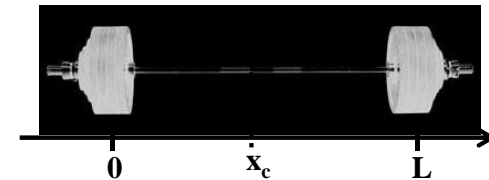
$$\vec{V} = (m_1 \vec{V}_1 + m_2 \vec{V}_2 + \dots) / (m_1 + m_2 + \dots)$$

## რთული სხეულის მასათა ცენტრი

ტვირთის მასა:

$$2M$$

სიგრძე: L



მასათა ცენტრი:  $x_c = (x_1 m_1 + x_2 m_2) / (m_1 + m_2)$

$$x_c = (0 M + L M) / (M + M) = L M / (2M) \quad x_c = L/2$$

ერთ-ერთი მასის ადგილის ცვლილება მასათა  
ცენტრის ცვლილების გარეშე:

$$L M \rightarrow 2L M/2 \rightarrow 4L M/4 \text{ ("მხარის" ცვლილება)}$$

## მასათა ცენტრის სიჩქარე

ყოველი სხეულის სიჩქარე:  $\vec{V}_i = \Delta \vec{r}_i / \Delta t$

მასათა ცენტრის სიჩქარე:

$$\Delta \vec{r} = (m_1 \Delta \vec{r}_1 + m_2 \Delta \vec{r}_2 + \dots) / (m_1 + m_2 + \dots)$$

$$\vec{V} = (m_1 \vec{V}_1 + m_2 \vec{V}_2 + \dots) / (m_1 + m_2 + \dots)$$

$$\vec{V} = \vec{P} / M$$

მასათა ცენტრის სიჩქარე უდრის სრული იმპულსის სრულ მასასთან ფარდობას

## მასათა ცენტრის აჩქარება

მოდრაობის კანონი მასათა ცენტრისათვის:  $\vec{a} = \Delta \vec{V} / \Delta t$

$$\Delta \vec{V} = (m_1 \Delta \vec{V}_1 + m_2 \Delta \vec{V}_2 + \dots) / (m_1 + m_2 + \dots)$$

$$\vec{a} = (m_1 \vec{a}_1 + m_2 \vec{a}_2 + \dots) / M$$

$$M \vec{a} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \dots = \Sigma \vec{F}_{\text{გარე}} + \Sigma \vec{F}_{\text{შიდა}}$$

ნიუტონის III კანონი: შიდა ძალების ჯამი ნულის ტოლია (ქმედება-უკუქმედება წყვილები)

$$\Sigma \vec{F}_{\text{შიდა}} = 0$$

## მასათა ცენტრის მოძრაობა

იმპულსის შენახვის კანონი: თუკი სისტემაზე გარეშე ძალები არ მოქმედებენ, სრული იმპულსი არ იცვლება.

$$\vec{V} = \vec{P} / M$$

თუკი არ იცვლება სრული მასა ( $M = \text{const}$ )  
მუდმივია მასათა ცენტრის სიჩქარეც.

სისტემაში მასათა შიდა გადანაწილება არ მოქმედებს მასათა ცენტრის მოძრაობაზე

## მასათა ცენტრის მოძრაობა

$$\Sigma \vec{F}_{\text{გარე}} = M \vec{a}$$

სისტემაზე მოქმედი გარე ძალების ჯამი ტოლია სისტემის სრული მასისა და მასათა ცენტრი აჩქარების ნამრავლს

სისტემის მასათა ცენტრის მოძრაობის კანონი:  
ნიუტონის მეორე კანონი რთული სისტემებისათვის



## მასათა ცენტრი

კუთხით გასროლილი სხეული:

1) საკუთარი მოძრაობა:

მოძრაობა სიმძიმის ცენტრის ცვლილების გარეშე

2) სიმძიმის ცენტრის მოძრაობა:

გარეშე ძალა:

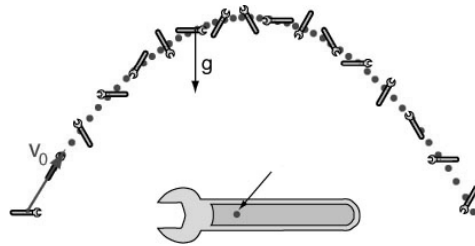
სიმძიმის ძალა:

სიმძიმის ცენტრის

მოძრაობის

ტრაექტორია:

პარაბოლა



## მასათა ცენტრის მოძრაობა

სიმაღლეში მხტომელის მასათა ცენტრი



## მასათა ცენტრის მოძრაობა სხეულის გაფანტვა და მასათა ცენტრი



## სხეულების მასათა ცენტრის მოძრაობა



## მოძრაობა ცვალებადი მასით

რეაქტიული მოძრაობა: მასის ნაწილი გამოიტყორცნება დიდი სიჩქარით სხეულის მოძრაობის საპირისპიროდ

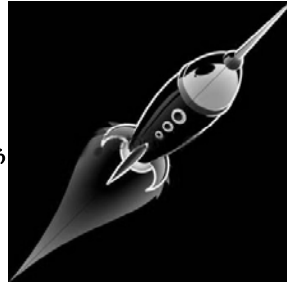
$$M \Delta v = \Delta m V_{\text{რ}}$$

რაკეტის სიჩქარის მატება:  $\Delta v$

რეაქტიული ჭავლის სიჩქარე:  $V_{\text{რ}}$

$$\Delta v / V_{\text{რ}} = \Delta m / M$$

$$\Delta v \ll V_{\text{რ}}, \Delta m \ll M$$



## მოძრაობა და იმპულსი

ძალა და იმპულსი  
იმპულსის შენახვის კანონი

დრეკადი და არადრეკადი დაჯახებები

მასათა ცენტრი  
მასათა ცენტრის მოძრაობა

რეაქტიული მოძრაობა

## ბოთლის რეაქტიული მოძრაობა



*არ გაიმეორეთ დამოუკიდებლად!*

## ამოცანები

შეიძლება თუ არა, რომ უძრავ სხეულთა სისტემის მასათა ცენტრი მოძრაობდეს?

შეიძლება თუ არა, რომ მოძრავ სხეულთა სისტემის მასათა ცენტრი იყოს უძრავი?

## ამოცანები

შეიძლება თუ არა ორი სხეულის მასათა ცენტრი  
ემთხვეოდეს ერთ-ერთი სხეულის მდებარეობას?

შეიძლება თუ არა ორზე მეტი სხეულის მასათა  
ცენტრი ემთხვეოდეს ერთ-ერთი სხეულის  
მდებარეობას?

[www.tevza.org/home/course/phys2014](http://www.tevza.org/home/course/phys2014)

## ამოცანები

ინახება თუ არა ვერტიკალურად ზევით  
გასროლილი სხეულის იმპულსი? რატომ?

შეიძლება თუ არა უძრავი და ერთი მიმართულებით  
მოძრავი სხეულების სისტემის ჯამური იმპულსი  
იყოს ნული?