



ფიზიკის შესავალი (1)

ლექცია 6

იმპულსი

დაჯახებები ერთ განზომილებაში
იმპულსის შენახვის კანონი

1

წინა ლექციაში

ძალა და ძალის ტიპები
ძალთა ტოლქმედი

ნიუტონის პირველი კანონი
ნიუტონის მეორე კანონი
ნიუტონის მესამე კანონი

ცენტრიდანული ძალა
კორიოლისის ძალა
ეილერის ძალა

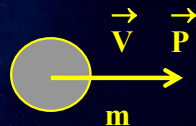
2

იმპულსი

სხეულის იმპულსი ვექტორული სიდიდეა და
უდრის მისი მასისა და სიჩქარის ნამრავლს

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

$$\begin{aligned} P_x &= m V_x \\ P_y &= m V_y \\ P_z &= m V_z \end{aligned}$$



3

ძალა და იმპულსი

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

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

$$\vec{F} = m \Delta \vec{V} / \Delta t = \Delta \vec{P} / \Delta t \quad (\vec{F} = d\vec{P}/dt)$$

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

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

4

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



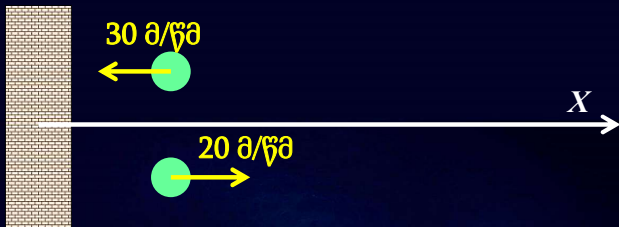
5

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.

6

ამოცანა #1



დაჯახებამდე:

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

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

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

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

7

იმპულსი და ურთიერთქმედება

ორი იზოლირებული სხეულის ურთიერთქმედება:

ნიუტონის III კანონი: ქმედება უდრის უკუქმედებას;

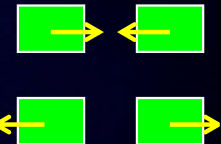
$$\vec{F}_1 = -\vec{F}_2$$

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

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

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

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



8

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

$$\vec{F} = d\vec{P}/dt = 0, \quad \vec{P} = \text{constant}$$

9

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:

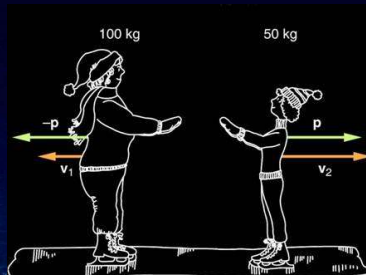
$$C_1 \neq C_2 \neq C_3$$

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

10

მაგალითი

იმპულსის შენახვა სხვადასხვა მასის სხეულების ურთიერთქმედებისას:



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

$$m_1/m_2 = V_2 / V_1$$

11

ამოცანა #2

თოფიდან გასროლისას 5 გრამიანი ტყვია იღებს 300 მ/წმ საწყის სიჩქარეს. დათვალეთ რა სიჩქარით მოხდება დაუმაგრებელი 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 გადავკყავს SI სისტემის ერთეულებში

12

ამოცანა #2



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

$$V_1 = 300 \text{ მ/წმ}$$

$$V_2 < 0 \text{ (=?)}$$

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

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

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

13

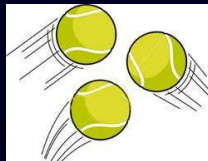
იმპულსის შენახვა სროლისას



14

დაჯახებები

სხეულების დაჯახება:
 აბსოლუტურად დრეკადი
 დაჯახება: გაფანტვა



აბსოლუტურად არადრეკადი
 დაჯახება: შეერთება



რეალური დაჯახებები:
 არადრეკადი,
 ნაწილობრივი გაფანტვა



15

აბსოლუტურად არადრეკადი დაჯახება

ბურთის ვესვრით
 პლასტიკის.

იმპულსის შენახვა:

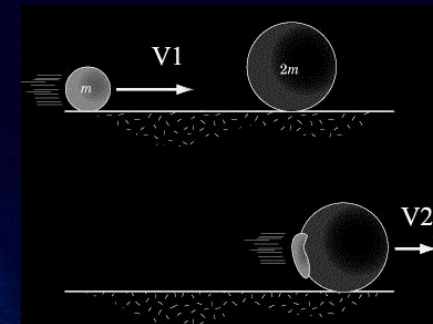
$$\text{საწყისი: } m V_1$$

$$\text{საბოლოო: } (M+m) V_2$$

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

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

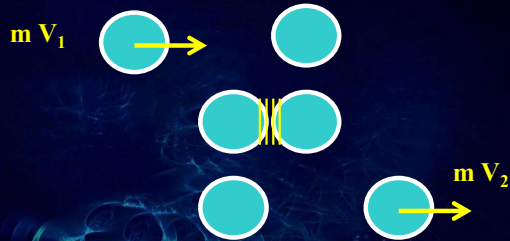
$$m / (M+m) < 1, V_2 < V_1$$



16

დრეკადი დაჯახება

ტოლი მასის ბურთულების დრეკადი დაჯახება
მაგალითი: ბილიარდის ბურთულები



იმპულსის სრული გადაცემა: $m v_1 = m v_2$

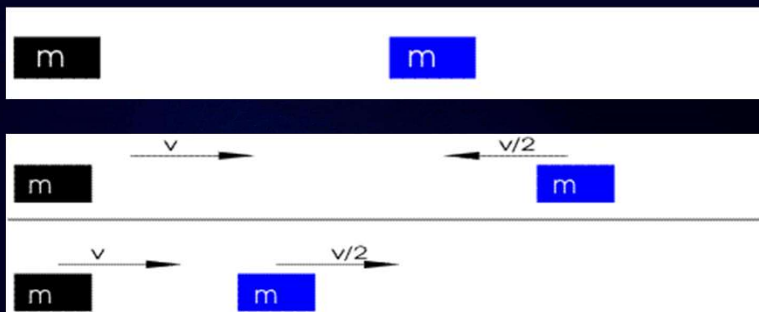
17

იმპულსის გადაცემა



18

დრეკადი დაჯახებები



გადასვლა ერთ-ერთი მოძრავი სხეულის სისტემაში:
გალილეის გარდაქმნები

19

დრეკადი დაჯახებები

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



20

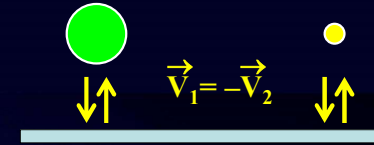
იმპულსის გადაცემა: “ნიუტონის აკვანი”



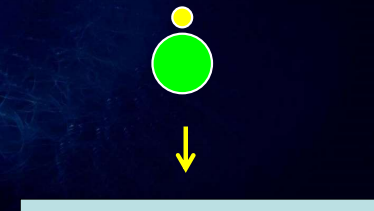
21

გალილეის ქვებები

სხვადასხვა მასის
სხეულების ვარდნა:
(დრეკადი არეკვლა)



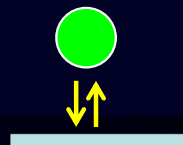
სხვადასხვა მასის
სხეულების ერთად
ვარდნა და არეკვლა:



22

გალილეის ქვებები

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



23

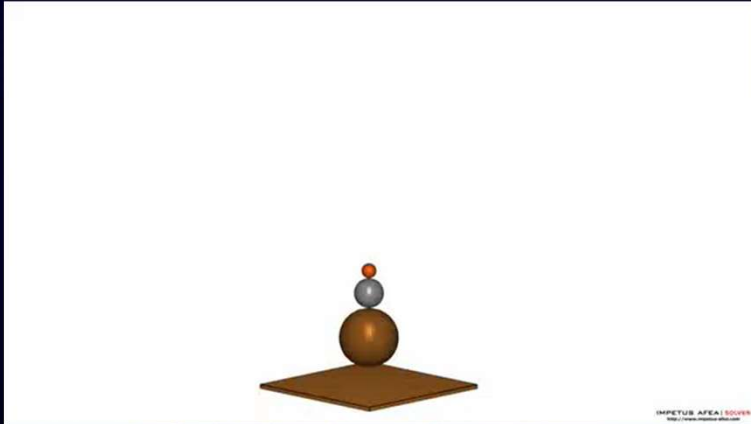
გალილეის ქვები



დამოუკიდებლად: კალათბურთის და ჩოგბურთის ბურთები

24

გალილეის ქვემეხი: სიჩქარეები



25

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:

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

26

მასათა ცენტრი

სისტემის მასათა ცენტრი დამოკიდებულია სისტემაში შემავალი მასების განაწილებაზე

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

კომპონენტებში:

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

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

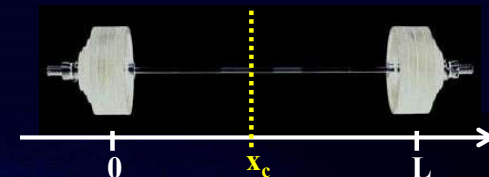
$$z_c = (m_1 z_1 + m_2 z_2 + \dots) / (m_1 + m_2 + \dots)$$

27

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:

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

28

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

29

მასათა ცენტრის მოძრაობა

იმპულსის შენახვის კანონი: თუკი სისტემაზე გარეზე
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

30

მასათა ცენტრის აჩქარება

მოძრაობის 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)

$$\Sigma \vec{F}_{\text{შიდა}} = 0$$

31

მასათა ცენტრის მოძრაობა

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

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

სისტემის მასათა ცენტრის მოძრაობის კანონი:
ნიუტონის მეორე კანონი რთული (შედგენილი)
სისტემებისათვის

32

მასათა ცენტრი

კუთხით გასროლილი სხეული:

1) საკუთარი მოძრაობა:

მოძრაობა სიმძიმის ცენტრის ცვლილების გარეშე

2) სიმძიმის ცენტრის მოძრაობა;

გარეშე ძალა:

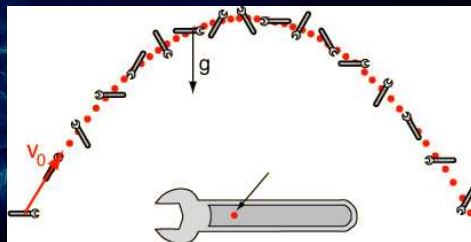
სიმძიმის ძალა:

სიმძიმის ცენტრის

მოძრაობის

ტრაექტორია:

პარაბოლა



33

მასათა ცენტრის მოძრაობა

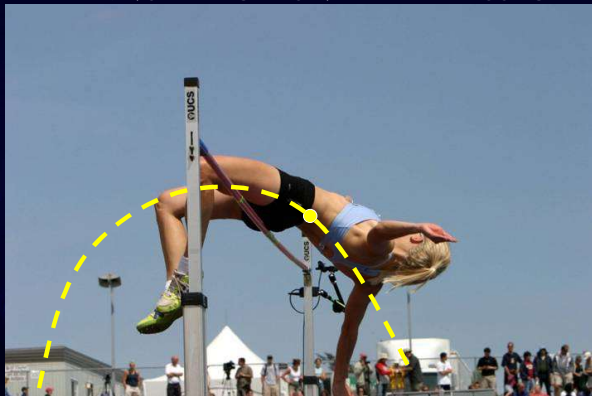
სხეულის გაფანტვა და მასათა ცენტრი



34

მასათა ცენტრის მოძრაობა

სიმაღლეში მხტომელის მასათა ცენტრი



35

სხეულების მასათა ცენტრის მოძრაობა



36

მოდრაობა ცვალებადი მასით

რეაქტიული მოძრაობა: მასის ნაწილი გამოიტყორცნება დიდი სიჩქარით სხეულის მოძრაობის საპირისპიროდ

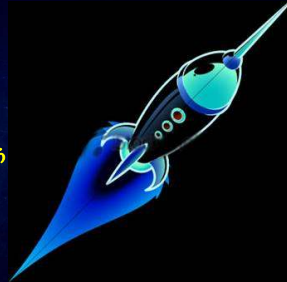
$$M \Delta v = \Delta m V_{\text{რ}}$$

რაკეტის სიჩქარის მატება: Δv

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

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

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



37

მოდრაობა ცვალებადი მასით

რაკეტა: V
 საწვავის გამოტყორცნის სიჩქარე: V_1
 საწვავის სიჩქარე: $V - V_1$
 მყისიერად გამოტყორცნილი საწვავის მასა: dm



რაკეტის საწყისი იმპულსი: $m V$
 ცვლილების შემდეგ: $(m-dm)(V+dV)$
 საწვავის იმპულსი: $dm (V-V_1)$

$$m V = (m-dm)(V+dV) + dm (V-V_1)$$

38

მოდრაობა ცვალებადი მასით

$$m V = m V + m dV - dm V - V dm + V dm - V_1 dm$$

$$m dV = V_1 dm$$

$$dm/m = dV/V_1$$

თუკი $V_1 = \text{Constant}$

$$V + C_1 = V_1 (\ln(m) + C_2)$$

$$V + V_0 = V_1 (\ln(m) - \ln(m_0))$$

$$V = V_0 + V_1 \ln(m/m_0)$$



39

რეაქტიული მოძრაობა

იპოვეთ რაკეტის მოძრაობის სიჩქარე, თუკი რეაქტიული ჭავლის გამო მასის ცვლილების კანონია:

- 1) მასის კარგვა მუდმივი სიჩქარით: $M(t) = M_0(1 - \alpha t)$
- 2) მასის კარგვა ზრდადი სიჩქარით: $M(t) = M_0(1 - \beta t)^2$

- 3) იპოვეთ რა სიჩქარეს მიაღწევს რაკეტა მუდმივი სიჩქარის რეაქტიული ჭავლის პირობებში თუკი საწვავის საერთო მასაა m_0 ($m_0 < M_0$)



40

ბოთლის რეაქტიული მოძრაობა



არ გაიმეოროთ დამოუკიდებლად!

41

ამოცანები

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

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

42

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?

43

ამოცანები

ინახება თუ არა ვერტიკალურად ზევით გასროლილი სხეულის იმპულსი? რატომ?

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

44

მოდრაობა და იმპულსი

ძალა და იმპულსი
იმპულსის შენახვის კანონი

დრეკადი და არადრეკადი დაჯახებები

მასათა ცენტრი
მასათა ცენტრის მოძრაობა

რეაქტიული მოძრაობა

www.tevza.org/home/course/phys2025