



ფიზიკის შესავალი (1)

ლექცია 2

აჩქარება,
თანაბრდაჩქარებული მოძრაობის კინემატიკა,
თავისუფალი ვარდნა

1

წინა ლექციაში

ფიზიკურ ერთეულთა სისტემა: SI
ფიზიკური ერთეულების პრეფიქსები
განზომილებათა ანალიზი

მოძრაობა
საშუალო და მყისი სიჩქარე
X-T დიაგრამა

2

აჩქარება

აჩქარებული ეწოდება მოძრაობას ცვალებადი სიჩქარით.

აჩქარებულია მოძრაობა **ზრდადი** სიჩქარით;
აჩქარებულია მოძრაობა **კლებადი** სიჩქარით;

ფიზიკური თვალსაზრისით სხეული მოძრაობს **აჩქარებით** თუკი **სიჩქარე (მოძრ. მიმართ.)** იცვლება;

აჩქარებას შეიძლება იყოს **დადებითი ან უარყოფითი**

3

აჩქარება და სიჩქარე

სიჩქარე და აჩქარება თანამიმართულია:
სიჩქარე მატულობს (*მოძრაობა დადებითი აჩქარებით*)



სიჩქარე და აჩქარება უკუმიმართულია:

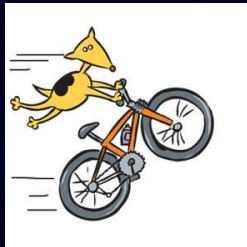


სიჩქარე იკლებს (*მოძრაობა უარყოფითი აჩქარებით*)

4

აჩქარება

სიჩქარის ცვლილების შეგრძნება მოძრაობაში
(ინერცია)



სიჩქარის ზრდა ($a > 0$) სიჩქარის კლება ($a < 0$)

5

აჩქარება

აჩქარება აღწერს სიჩქარის ცვლილების სიჩქარეს

$$a = \frac{\Delta V}{\Delta t} = \frac{V_2 - V_1}{t_2 - t_1}$$

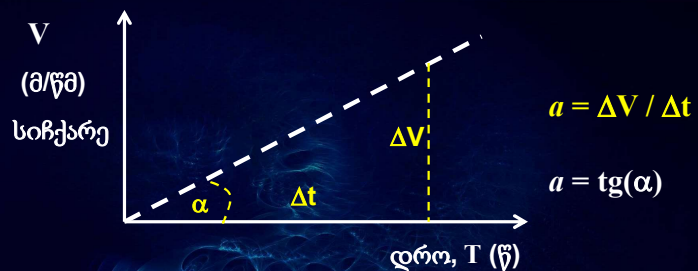
უძრავი ან მუდმივი სიჩქარით მოძრავი სხეული:

$$a = 0$$

6

V-T დიაგრამა

წრფივი თანაბრად აჩქარებული მოძრაობა



აჩქარების გრაფიკული ექვივალენტი:
დახრის კუთხე

7

მოძრაობა მუდმივი აჩქარებით

სიჩქარის ცვლილება: $a = \Delta V / \Delta t$, $\Delta V = V - V_0$

$$V = V_0 + a \Delta t$$

მოძრაობის საშუალო სიჩქარე: $V_{საშ} = (V_0 + V) / 2$

განვლილი მანძილი: $\Delta S = V_{საშ} \Delta t$

$$\Delta S = (V_0 + V) / 2 \Delta t = (V_0 + V_0 + a \Delta t) / 2 \Delta t = V_0 \Delta t + a \Delta t^2 / 2$$

8

მოდრაობა მუდმივი აჩქარებით

საწყისი დროის მომენტი: $t_0 = 0$, მაშინ: $\Delta t = t - t_0 = t$

გადაადგილება: $\Delta S = S - S_0$

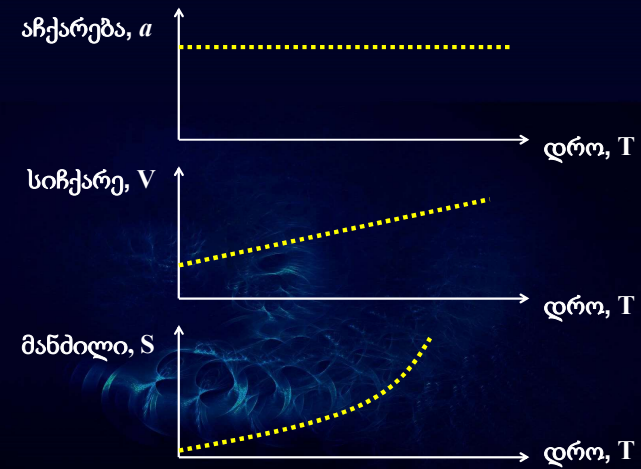
სიჩქარე და გადაადგილება თანაბრად აჩქარებული მოძრაობისას:

$$V(t) = V_0 + a t$$

$$S(t) = S_0 + V_0 t + a t^2/2$$

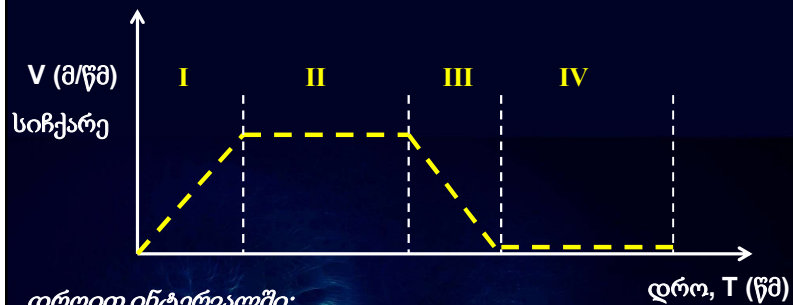
9

მოდრაობა მუდმივი აჩქარებით



10

V-T დიაგრამა



დროით ინტერვალში:

- I – მოძრაობა მუდმივი დადებითი აჩქარებით
- II – მოძრაობა მუდმივი სიჩქარით
- III – მოძრაობა მუდმივი უარყოფითი აჩქარებით
- IV – სხეული უძრავია

11

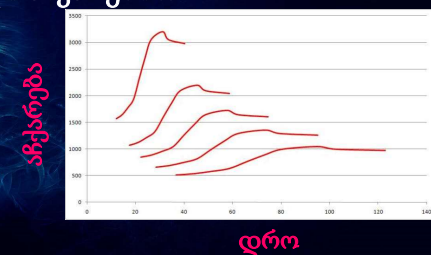
მოდრაობა ცვალებადი აჩქარებით

ფორმულა-1 სტარტი



მოდრაობა ცვალებადი აჩქარებით

გადაცემთა
კოლოფი: 1,2,3,4,5



12

მოდრაობა ცვალებადი აჩქარებით

საშუალო აჩქარება: $a = (V_2 - V_1) / (t_2 - t_1)$

მყისიერი აჩქარება:

$$a = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta V}{\Delta t} = \frac{dV}{dt}$$

აჩქარება დიფერენციალური ფორმით:

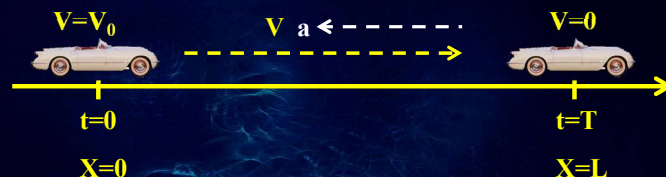
$$V = \frac{dx}{dt} \quad a = \frac{d}{dt} \left(\frac{dx}{dt} \right) = \frac{d^2 x}{dt^2}$$

აჩქარება და დამუხრუჭება



დამუხრუჭების კინემატიკა

რა დროში და რა მანძილში გაჩერდება მანქანა თუკი იგი იწყებს დამუხრუჭებას V_0 სიჩქარეზე. მოძრაობის შენელება ხდება თანაბარი აჩქარებით a_0 .



მანქანის გაჩერების დრო: T მანძილი: L

დამუხრუჭების კინემატიკა

$$(V = V_0 + a t)$$

$$0 = V_0 - a_0 T$$

მანქანის გაჩერების დრო: $T = V_0 / a_0$

გავლილი მანძილი: $(X = X_0 + V_0 t + a t^2 / 2)$

$$L = 0 + V_0 T - a_0 T^2 / 2 = V_0 V_0 / a_0 - a_0 (V_0 / a_0)^2 / 2$$

$$L = V_0^2 / (2a_0)$$

სამუხრუჭე მანძილი იზრდება სიჩქარის კვადრატის პროპორციულად

ამოცანის ამოხსნის სტრატეგია

ფიზიკური ამოცანის ამოხსნა

1. ამოცანის შეფასება;
2. ამოცანის ფორმულირება;
3. ამოხსნა;
4. შედეგის შემოწმება;

17

ამოცანის ამოხსნის სტრატეგია

1. ამოცანის შეფასება

შეაფასეთ ფიზიკური მოდელი;
(წრფივი მოძრაობა? მუდმივი აჩქარება?)

18

ამოცანის ამოხსნის სტრატეგია

2. ამოცანის ფორმულირება;

აირჩიეთ: კოორდინატთა ღერძის მიმართულება,
კოორდინატთა სათავე, დროში საწყისი მომენტი.

ჩამოწერეთ ამოცანაში მონაწილე ფიზიკური
ცვლადები (V_0 , V_1 , t_0 , t_1 , X_0 , X_1 , a , ...)

რომელი ცვლადია ცნობილი და რომელი უცნობი?

19

ამოცანის ამოხსნის სტრატეგია

3. ამოხსნა

გამოიყენეთ კინემატიკის განტოლებები და ცნობილი
ცვლადების საშუალებით გამოსახეთ (გამოთვალეთ)
უცნობი ცვლადები;

პროცესი შეიძლება მოიცავდეს რამოდენიმე
შუალედურ საფეხურს;

20

ამოცანის ამოხსნის სტრატეგია

4. შედეგის შემოწმება

– შეამოწმეთ ფორმალურად მიღებული შედეგის განზომილება. ემთხვევა გამოთვლილი სიდიდის განზომილება სამიეზელი ფიზიკური სიდიდის განზომილებას?

– შეაფასეთ შედეგი პრაგმატული მოსაზრებებით. რამდენად რეალისტურია მიღებული რიცხვითი შედეგი.

21

ამოცანა # 1

მოტოციკლისტი იწყებს თანაბრდაჩქარებულ მოძრაობას როგორც კი გასცდება ქალაქის საზღვრის მაჩვენებელ ნიშანს. მისი აჩქარებაა 4 მ/წმ^2 .

$t=0$ მომენტში იგი 5 მეტრით გასცდა ნიშანს და მოძრაობს 15 მ/წმ სიჩქარით.

ა) იპოვეთ მოტოციკლისტის ადგილმდებარეობა და სიჩქარე $t=2 \text{ წმ}$ მომენტისათვის.

ბ) იპოვეთ მოტოციკლისტის ადგილმდებარეობა როდესაც მისი სიჩქარე იქნება 25 მ/წმ .

22

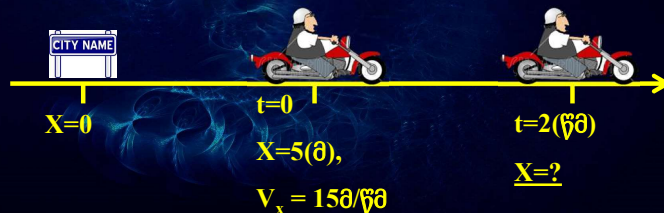
ამოცანა # 1

1. ამოცანის შეფასება

მოძრაობა წრფის გასწვრივ;

მოძრაობა თანაბარი აჩქარებით;

2. ამოცანის ფორმულირება;



23

ამოცანა # 1

3. ამოხსნა

$$X = X_0 + V_0 t + a t^2 / 2$$

$$X = 5 \text{ (მ)} + 15 \text{ (მ/წმ)} 2 \text{ (წმ)} + 4 \text{ (მ/წმ}^2\text{)} 2^2 \text{ (წმ}^2\text{)} / 2 = \\ = (5 + 30 + 8) \text{ (მ)} = 43 \text{ (მ)}$$

მანძილი 2 წამის შემდეგ:

$$X = 43 \text{ მ}$$

24

ამოცანა # 1

სასარგებლო ფორმულა

$$X = X_0 + V_0 t + a t^2 / 2 ,$$

$$V = V_0 + a t$$

$$t = (V - V_0) / a$$

$$X = X_0 + V_0 (V - V_0) / a + a (V - V_0)^2 / (2a^2)$$

$$X - X_0 = (V^2 - V_0^2) / (2a)$$

$$V^2 - V_0^2 = 2a (X - X_0)$$

25

ამოცანა # 1

$$V^2 - V_0^2 = 2a (X - X_0)$$

$$(25 \text{ მ/წმ})^2 - (15 \text{ მ/წმ})^2 = 2 \times 4 (\text{მ/წმ}^2) (X - 5 (\text{მ}))$$

$$X - 5(\text{მ}) = (625 - 225) (\text{მ/წმ}^2) / (8 \text{ მ/წმ}^2) = 400 / 8 (\text{მ})$$

$$X = 5(\text{მ}) + 50(\text{მ}) = 55(\text{მ})$$

ადგილმდებარეობა 25მ/წმ სიჩქარისას:

$$X = 55 \text{ მ}$$

26

ამოცანა # 1

4. შედეგის შემოწმება

ა) $X = 43 \text{ მ}$

ბ) $X = 55 \text{ მ}$

განზომილება +

მანძილის შეფასება +

27

ამოცანა #2

ორი მოძრაობის სხეულის კინემატიკა

ავტომობილი გაივლის შუქნიშნის წითელ შუქზე მუდმივი 15 მ/წმ სიჩქარით. დარღვევას ამჩნევს პოლიციელი მოტოციკლზე და იწყებს აჩქარებულ მოძრაობას დამრღვევის შესაჩერებლად. პოლიციელის აჩქარება მუდმივია და უდრის 3 მ/წმ². რამდენ ხანში დაეწევა პოლიციელი დამრღვევს?

28

ამოცანა #2

დამრღვევი: ინდექსი 1;

პოლიციელი: ინდექსი 2;

$$X = X_0 + V_0 t + a t^2 / 2$$

$$X_1 = 0 + V_1 t + 0 t^2 / 2 = V_1 t$$

$$X_2 = 0 + 0 t + a t^2 / 2 = a t^2 / 2$$

$$\text{დაწევა: } X_1 = X_2 \quad V_1 t = a t^2 / 2; \quad t = 2 V_1 / a;$$

$$t = 2 \times 15 \text{ (მ/წმ)} / (3 \text{ მ/წმ}^2) = 30 / 3 \text{ (წმ)} = 10 \text{ (წმ)}$$

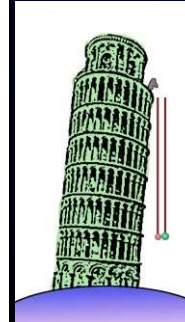
$$t = 10 \text{ წმ}$$

თავისუფალი ვარდნა

დედამიწის სიმბიძის ველში

თავისუფალი ვარდნა: მაგ. მონეტის

ჩამოგდება ერთი ხელიდან მეორეში



ძველი წარმოდგენებით მიმე
სხეული ვარდება უფრო სწრაფად;

გალილეის ექსპერიმენტებმა აჩვენეს
რომ თავისუფალ ვარდნის აჩქარება
მუდმივია

თავისუფალი ვარდნა

სხეულის ვარდნა დედამიწის სიმბიძის ველში

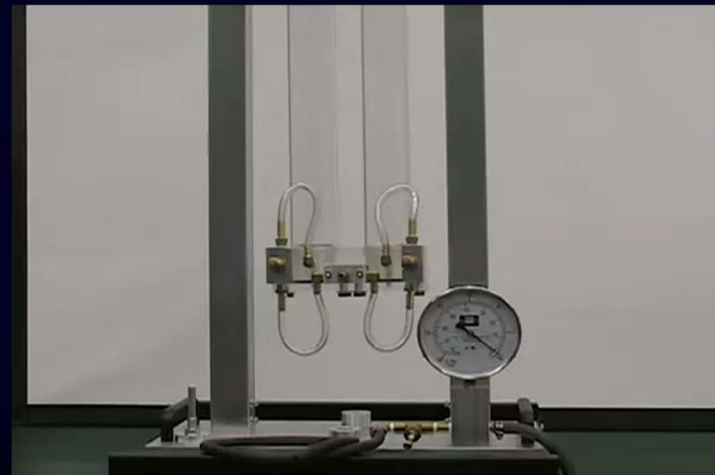
თავისუფალი ვარდნის აჩქარება: $g = 9.8 \text{ მ/წმ}^2$

- დედამიწის ზედაპირთან ახლოს;
- ჰაერის წინააღმდეგობა უმნიშვნელოა;
(დაბალი სიჩქარეები)

ბილიარდის ბურთის ვარდნის ფოტოები
გადაღებული ტოლ დროის ინტერვალებში

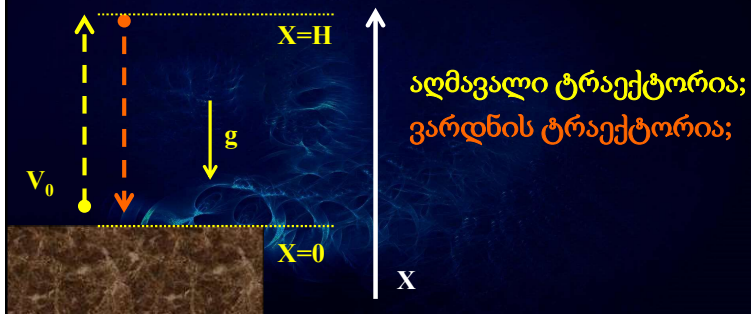


თავისუფალი ვარდნის აჩქარება



ამოცანა #3

რა სიმაღლეზე ავა და რა დროში ჩამოვარდება
ვერტიკალურად ზემოთ 15 მ/წმ სიჩქარით
ატყორცნილი ბურთი?



33

ამოცანა #3

$$V^2 - V_0^2 = 2a (X - X_0)$$

აღმავალი ტრაექტორია: $a = -g$

$$0 - (15 \text{ მ/წმ})^2 = -2 g (\text{მ/წმ}^2) H (\text{მ})$$

$$H = 15^2 (\text{მ/წმ})^2 / (2 \times 9.8 \text{ მ/წმ}^2) = 225 / 19.6 (\text{მ})$$

$$H = 11.48 (\text{მ})$$

$$V = V_0 + a t \quad 0 = 15 (\text{მ/წმ}) - 9.8 (\text{მ/წმ}^2) t$$

$$T_1 = 15/9.8 (\text{წმ}) = 1.53 (\text{წმ})$$

34

ამოცანა #3

ვარდნის ტრაექტორია:

$$X = X_0 + V_0 t + a t^2 / 2$$

$$0 = H + 0 T_2 - g T_2^2 / 2$$

$$T_2 = (2H/g)^{1/2}$$

ვარდნის დრო: $T_2 = (2 \times 11.48 / 9.8) = 1.53 (\text{წმ})$

$$T_1 = T_2$$

აღმავალ და დაღმავალ ტრაექტორიებზე მოძრაობა
მიმდინარეობს დროში სიმეტრიულად

35

ცვლადი აჩქარება

$$a = a(t)$$

$$a(t) = dV/dt, \quad V(t) = \int a(t) dt$$

$$V(t) = dx/dt, \quad S(t) = \int V(t) dt$$

მოძრაობა მუდმივი აჩქარებით:

$$a = \text{constant};$$

$$V(t) = \int a dt = a t + V_0$$

$$S(t) = \int [a t + V_0] dt = a t^2 / 2 + V_0 t + S_0$$

36

მაგალითი

იპოვეთ სხეულის მოძრაობის სიჩქარე, თუკი ის მოძრაობს დროში ცვლადი აჩქარებით:

$$a(t) = a_0 (t/t_0)$$

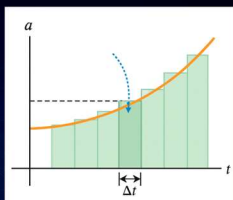
$$V_1 = V_0 + a_1 \Delta t = V_0 + S_1$$

$$V_2 = V_1 + a_2 \Delta t = V_0 + S_1 + S_2$$

$$V_3 = V_2 + a_3 \Delta t = V_0 + S_3 + S_1 + S_2$$

...

$$V(t) = V_0 + S_3 + S_1 + S_2 + \dots = V_0 + S(t)$$



მაგალითი

$$V_1 = V_0 + a_0 (\Delta t/t_0) \Delta t = V_0 + a_0/t_0 \Delta t^2$$

$$V_2 = V_1 + a_0 (2\Delta t/t_0) \Delta t = V_0 + a_0/t_0 \Delta t^2 + 2a_0/t_0 \Delta t^2$$

...

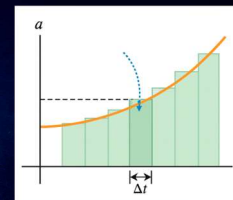
$$V_n = V_{n-1} + a_0 (n\Delta t/t_0) \Delta t = V_0 + \dots + na_0/t_0 \Delta t^2$$

$$V_n = S_n = a_0/t_0 (0 + 1 + 2 + \dots + n) \Delta t^2$$

$$V_n = S_n = a_0/t_0 (n^2/2) \Delta t^2, \quad n = t/\Delta t$$

$$V_n = V(t_n) = (a_0 t_n^2)/(2t_0)$$

$$V(t) = (a_0 t^2)/(2t_0)$$



$$V(t) = \int a(t) dt$$

შეკითხვები

შესაძლებელია თუ არა რომ:

- სხეულის სიჩქარე კლებულობდეს, ხოლო მისი აჩქარება იზრდებოდეს?
- სხეულის სიჩქარე მატულობდეს, ხოლო მისი აჩქარება კლებულობდეს?

შეკითხვები

ავტომობილის სიჩქარე მიმართულია აღმოსავლეთით, ხოლო მისი აჩქარება დასავლეთით.

- რა მიმართულებით გადაადგილდება ავტომობილი დროის ფიქსირებულ მონაკვეთში?

შეკითხვები

H სიმაღლის შენობიდან გადმოაგდეს ბურთულა ნულოვანი საწყისი სიჩქარით. ვარდნის ბოლოს ბურთულას სიჩქარე V.

- რა სიმაღლეზე მიაღწევს ბურთულას სიჩქარე $V/2$ სიდიდეს?

ა) $H/2$ სიმაღლეზე;

ბ) $H/2$ სიმაღლეზე უფრო ადრე;

გ) $H/2$ სიმაღლეზე უფრო გვიან;

41

კინემატიკა

აჩქარებული მოძრაობა
ამოცანის ამოხსნის სტრატეგია
ამოცანები და მაგალითები
თავისუფალი ვარდნა

42

www.tevza.org/home/course/phys2025

43