მერაბ ტულუში, თეიმურაზ შენგელია,
თემურ შენგელია, გიორგი ლომიძე

ფიზიკა

მოსწავლის წიგნი
9

გრიფმინიჭებულია საქართველოს განათლების, მეცნიერების,
კულტურისა და სპორტის სამინისტროს მიერ 2021 წელს

გამომცემლობა „საქართველოს მაცნე“

ფიზიკა 9

მოსწავლის წიგნი

ავტორები:

მერაბ ტუღუში, შპს „მეექვსე საავტორო სკოლის“ ფიზიკის მასწავლებელი;

თეიმურაზ შენგელია, კერძო სკოლა „მერმისის“ ფიზიკის მასწავლებელი;

თემურ შენგელია, ქართულ-ამერიკული სკოლის ფიზიკის მასწავლებელი;

გიორგი ლომიძე, ვ. კომაროვის სახელობის თბილისის ფიზიკა-მათემატიკის 199-ე საჯარო სკოლის ფიზიკის მასწავლებელი

რედაქტორი **ნათელა თუხარელი**

დიზაინერ-დამკაბადონებელი **ლია მოსეშვილი**

გამომცემლობა „საქართველოს მაცნე“

მის: ქ. თბილისი, ე. მაღალაშვილის ქ. №5

ტელ: 568 10 54 67; 574 40 08 57

ელ. ფოსტა: saqmatsne@mail.ru, sakmacne@gmail.com

www.saqmatsne.ge

გამოცემის წელი და რიგითობა 2021 წელი

ISBN 978-9941-16-762-1

სარჩევი

პირობითი ნიშნები

– ცდა

– ჯგუფური მუშაობა

– გაიხსენეთ

– ერთად ამოვხსნათ ამოცანა

– დაფიქრდით

– აქტივობა

– ამოხსენით ამოცანები

– რთული ამოცანები

ძვირფასო მეგობარო!

ორი წლის წინ შენ ფიზიკის შესწავლა დაიწყე. უკვე ჩამოგიყალიბდა გარკვეული აზრი ამ საგნის შესახებ. შეიძლება, ფიზიკის შესწავლა გეძნელება და იოლი არ გეჩვენება, მაგრამ იმაში კი დაგვეთანხმები, რომ ის უთუოდ საინტერესო საგანია. ამასთან ერთად, ჩვენს დროში ფიზიკის საწყისების ცოდნა აუცილებელია, რათა სწორი წარმოდგენა შეიქმნა გარემომცველ სამყაროზე, ირგვლივ მიმდინარე პროცესებზე.

მალე მოგიწევს აირჩიო პროფესია, რომელიც, იმავდროულად, საყვარელი საქმეც უნდა იყოს. მხოლოდ ამ შემთხვევაშია შესაძლებელი სარგებლობა მოუტანო საზოგადოებას და შინაგანი კმაყოფილებაც მიიღო. შესაძლოა, ზოგიერთ თქვენგანს ფიზიკოსობის სურვილიც გაუჩნდეს, თუმცა მოღვაწეობის რომელი სფეროც არ უნდა აირჩიო, ფიზიკის საწყისების ცოდნა შენი პროფესიის უკეთ ასათვისებლად აუცილებლად დაგჭირდება. ფიზიკა განსაკუთრებით ესაჭიროება იმათ, ვინც ფიქრობს, გახდეს ინჟინერი, ტექნიკოსი, ექიმი, ელექტრიკოსი, არქიტექტორი, ქიმიკოსი, ბიოლოგი, მათემატიკოსი, არქეოლოგი, ენერგეტიკოსი.

ჩვენ, ავტორები, ვცდილობთ, რომ შენი ნაბიჯები ფიზიკის შემეცნების პროცესში ნაკლებად რთული იყოს და რაც შეიძლება ბევრ თქვენგანს გავუღვივოთ ინტერესი ამ საგნისადმი. სწორედ ამ მიზანს ემსახურება სახელმძღვანელოს სტრუქტურა. ის შედგება თავებისაგან, თავები პარაგრაფებისაგან, რომლებშიც შესასწავლი საკითხია განხილული. პარაგრაფის ბოლოს ცალკეა გამოყოფილი დასკვნები, რომლებიც განსაზღვრავენ და განაზოგადებენ პარაგრაფის ძირითად შინაარსს. ეს დასკვნები განსაკუთრებით ამოცანების ამოხსნისას გამოგადგებათ. იმის შესამოწმებლად, თუ რამდენად კარგად გაიგე განხილული მასალა, პარაგრაფის ბოლოს დასმულია საკონტროლო კითხვები, აუცილებლად უპასუხე მათ. ზოგიერთი საკითხი ნაწილობრივ წინა წლებში გაქვს ნასწავლი, მითითებისას გაიხსენე ისინი, რათა უფრო გაიღრმავო ცოდნა მათ შესახებ.

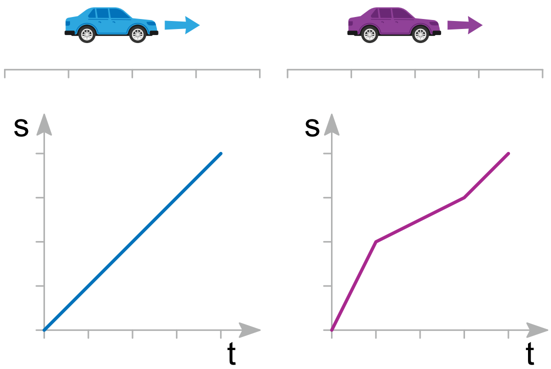
თითქმის ყოველი პარაგრაფის ბოლოს ნიმუშის სახით ამოხსნილია ერთი ამოცანა, რაც დაგეხმარება შემდეგ მოცემული ამოცანების ამოხსნაში. ზოგიერთი პარაგრაფის ბოლოს აღწერილია საშინაო ცდა, ყურადღებით გაეცანი მის პირობებს, შეეცადე, ზუსტად შეასრულო მითითებები, საჭიროების შემთხვევაში დაიხმარე უფროსები, დააკვირდი მის შედეგებს, შეეცადე, გამოიტანო დასკვნები. ყველაფერი ეს დაგეხმარება მომდევნო საკითხის უკეთ გააზრებაში. სახელმძღვანელოს უფრო ეფექტიანად გამოიყენებ, თუ ყურადღებას მიაქცევ სპეციალურ პირობით ნიშნებს, რომლებიც წიგნის დასაწყისშია მოცემული.

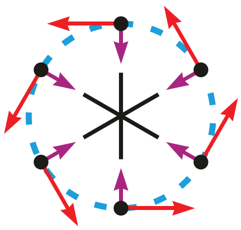
ყველა საკითხი ერთნაირად მარტივი არ არის, მათი გააზრება თანდათანობით, ახალი ცნებების დაუფლებისა და მუშაობის შედეგად ხდება. მთავარი მამოძრავებელი ძალა კი ამ დროს საგნისადმი ინტერესია, რომელიც აუცილებლად მიგიყვანს სასურველ შედეგამდე.

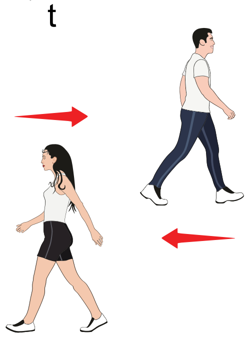
გისურვებ წარმატებას!

თავი I

თანაბარი და არათანაბარი მოძრაობა. მრუდწირული მოძრაობა







ამ თავში თქვენ გაიხსენებთ და გაეცნობით:

- მექანიკის ძირითად ამოცანას;
- მოქმედებებს ვექტორულ სიდიდეებზე;
- წრფივ თანაბარ და არათანაბარ მოძრაობას;
- მოძრაობის ფარდობითობას;
- თანაბარაჩქარებულ მოძრაობას;
- მოძრაობის გრაფიკულ წარმოდგენას;
- წრეწირზე თანაბარი მოძრაობის მახასიათებელ ფიზიკურ სიდიდეებს.

§1.1 მექანიკა. მექანიკის ძირითადი ამოცანა

ფიზიკის ნაწილს, რომელიც სხეულთა მოძრაობასა და მათ ურთიერთქმედებას შეისწავლის, მექანიკა ეწოდება.

მექანიკის ნაწილებია: კინემატიკა, დინამიკა და სტატიკა.

კინემატიკა შეისწავლის სხეულთა მოძრაობას მისი გამომწვევი მიზეზების გარეშე.

დინამიკაში შეისწავლება სხეულთა მოძრაობა მისი გამომწვევი მოზეზების გათვალისწინებით.

სტატიკა შეისწავლის სხეულთა წონასწორობას.

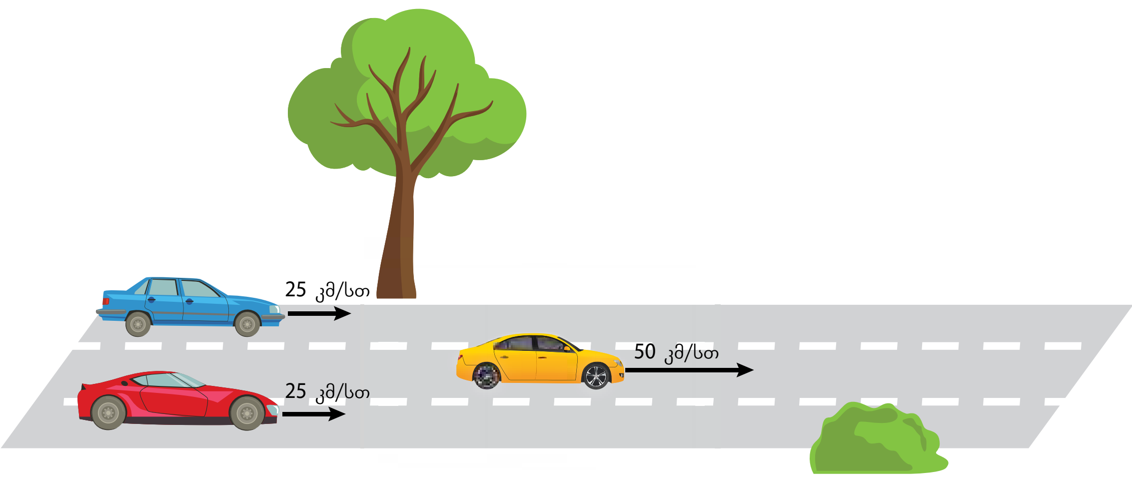
ამ თავში ჩვენ კინემატიკის ძირითად საკითხებს განვიხილავთ, რომლის დაწყებამდე საჭიროა გავიხსენოთ VII კლასის ფიზიკის კურსში ნასწავლი მოძრაობასთან დაკავშირებული ზოგიერთი ცნება და ფიზიკური სიდიდე:

სხეულის **მექანიკური მოძრაობა** ეწოდება დროის განმავლობაში მისი მდებარეობის ცვლილებას სივრცეში სხვა სხეულების მიმართ (მოიყვანეთ მოძრაობის მაგალითები).

სხეულს, რომლის მიმართაც განიხილება სხვა სხეულის მდებარეობა ან მოძრაობა, **ათვლის სხეული** ეწოდება (მოყვანილ მაგალითებში დაასახელეთ ათვლის სხეულები).

სხეულის მდებარეობა განსხვავებულია სხვადასხვა ათვლის სხეულის მიმართ. ანუ, სხეულის **მდებარეობა ფარდობითია** (მოიყვანეთ მაგალითები).

ფარდობითია სხეულის მოძრაობაც – ერთი ათვლის სხეულის მიმართ მოძრავი სხეული შესაძლოა სხვა ათვლის სხეულის მიმართ უძრავი იყოს და პირიქით (სურ. 1.1). მოცემულ შემთხვევაში დაასახელეთ სხეულები: ა) რომლებიც დედამიწის მიმართ მოძრაობენ; ბ) რომლებიც ერთმანეთის მიმართ უძრავნი არიან; გ) რომლებიც ყველა სხეულის მიმართ მოძრაობენ; დ) რომლებიც ზოგი სხეულის მიმართ მოძრაობენ, სხვების მიმართ კი უძრავნი არიან.



სურ. 1.1

ჩვენ უკვე ვიცნობთ მოძრაობის სამ სახეს: **ბრუნვით მოძრაობას, დეფორმაციას და გადატანით მოძრაობას** (დაასახელეთ ბრუნვითი მოძრაობისა და დეფორმაციის მაგალითები). **გადატანითი მოძრაობის** დროს სხეულის ყველა წერტილი ერთნაირად მოძრაობს და მის ნებისმიერ ორ წერტილზე გავლებული წრფე თავისი თავის პარალელური რჩება (დაასახელეთ გადატანითი მოძრაობის მაგალითები). ასეთი მოძრაობისას სხეულის ყველა წერტილის მოძრაობის აღწერა აუცილებელი არ არის – საკმარისია მისი რომელიმე ერთი წერტილის მოძრაობის აღწერა. იგივეა შესაძლებელი მაშინაც, როცა

განვიხილავთ სხეულის მოძრაობას მის ზომასთან შედარებით ბევრად დიდ მანძილზე, ან როდესაც სხეული მის ზომასთან შედარებით ბევრად დიდი მანძილითაა დაშორებულია სხვა სხეულებიდან (მოიყვანეთ მაგალითები). ასეთ შემთხვევებში სხეული შესაძლებელია წერტილად მივიჩნიოთ.

სხეულს, რომლის ზომა მოცემულ პირობებში შეიძლება უგულებელვყოთ, **ნივთიერი (მატერიალური) წერტილი** ეწოდება. მომავალში, ხშირ შემთხვევაში, სხეულის ნაცვლად ნივთიერ წერტილს ვიგულისხმებთ. ნივთიერ წერტილს შენარჩუნებული აქვს სხეულის ყველა თვისება, გარდა ზომისა.

ნივთიერი წერტილის მიერ მოძრაობისას აღწერილ წირს **ტრაექტორია** ეწოდება (სურ. 1.2). (მოიყვანეთ ტრაექტორიის მაგალითები და გაიხსენეთ მისი სახეები).

ტრაექტორიის სიგრძეს, რომელიც სხეულმა დროის რაიმე შუალედში შემოწერა, ამ დროში **გავლილი მანძილი** ეწოდება (გაიხსენეთ გავლილი მანძილის აღმნიშვნელი სიმბოლო და ერთეული SI-ში).

სურ. 1.2

წრფის მიმართულ მონაკვეთს (ვექტორს), რომელიც სხეულის საწყის მდებარეობას მის მომდევნო მდებარეობასთან აერთებს, **გადაადგილება** ეწოდება, გადაადგილების სიგრძეს კი – გადაადგილების მოდული (გაიხსენეთ გადაადგილების აღმნიშვნელი სიმბოლო და ერთეული SI-ში. მოიყვანეთ გადადგილების მოდულისა და გავლილი მანძილის განსხვავების მაგალითები, მოიყვანეთ მაგალითი, როცა ისინი ტოლია).

ტრაექტორია, გავლილი მანძილი და გადაადგილება ფარდობითია (მოიყვანეთ შესაბამისი მაგალითები).

ნივთიერი წერტილის **მდებარეობის განსაზღვრა შესაძლებელია კოორდინატებით:** თუ სხეული მოძრაობს წრფეზე, მისი მდებარეობა განისაზღვრება ერთი კოორდინატით, თუ მოძრაობს სიბრტყეზე – ორი კოორდინატით, სივრცეში მოძრაობისას კი – სამი კოორდინატით (მოიყვანეთ წრფეზე და სიბრტყეზე მდებარე წერტილის კოორდინატების პოვნის მაგალითები). სხეულის მოძრაობისას მისი კოორდინატები დროის მიხედვით იცვლება, ამიტომ მოძრაობის აღსაწერად საჭიროა დროის აღრიცხვაც.

ათვლის სხეულს, მასთან დაკავშირებულ საკოორდინატო ღერძებს და დროის საზომ ხელსაწყოს ერთად – **ათვლის სისტემა** ეწოდება.

მექანიკის ძირითადი ამოცანაა დროის ნებისმიერ მომენტში სხეულის მდებარეობის განსაზღვრა. ვინაიდან სხეულის მდებარეობა მისი კოორდინატებით განისაზღვრება, ამიტომ ამ ამოცანის ამოხსნა დროის ნებისმიერ მომენტში სხეულის კოორდინატების პოვნას ნიშნავს.

დავალება

განვლილი მასალის უკეთ გასახსენებლად შეასრულეთ რამდენიმე ტესტური დავალება (წიგნში არ ჩაწეროთ):

1. განიხილეთ შემდეგი სამი სხეულის მოძრაობა: 1) საბაგიროს კაბინის; 2) „ეშმაკის ბორბლის“ კალათის და 3) ტვირთის, რომელიც ამწეს აქვს (სურ 1.3). მათგან გადატანით მოძრაობას ასრულებს

   ა) მხოლოდ 1) და 2);
   ბ) მხოლოდ 1) და 3);
   გ) მხოლოდ 2) და 3);
   დ) სამივე სხეული.



სურ. 1. 3

2. თანაბრად მოძრავი ვაგონის თაროდან გადმოვარდა საგანი, რომელიც იატაკზე დაეცა. მისი მოძრაობის ტრაექტორია დედამიწაზე მდგომი დამკვირვებლის მიმართ იქნება

   ა) ჰორიზონტალური მონაკვეთი;
   ბ) ვერტიკალური მონაკვეთი;
   გ) დახრილი მონაკვეთი;
   დ) მრუდი.

3. სამგზავრო ლიფტი პირველი სართულიდან მეცხრე სართულზე ავიდა, შემდეგ კი მესამეზე ჩამოვიდა. რამდენჯერ მეტია მისი გავლილი მანძილი გადაადგილების მოდულზე, თუ სართულების სიმაღლე ერთნაირია?

   ა) 6-ჯერ; ბ) 6,5-ჯერ; გ) 7-ჯერ; დ) 7,5-ჯერ.

4. ტურისტმა ჯერ დასავლეთისაკენ 12 კმ გაიარა, შემდეგ კი ჩრდილოეთის მიმართულებით – 5 კმ. ტურისტის გადაადგილების მოდული ტოლი იქნება

   ა) 17 კმ-ის; ბ) 13 კმ-ის; გ) 7 კმ-ის; დ) 60 კმ-ის.

5. 150 მ სიგრძის მატარებელი 550 მ სიგრძის გვირაბის გავლისას გადის

   ა) 150 მ-ს; ბ) 550 მ-ს; გ) 400 მ-ს; დ) 700 მ-ს.

§1.2 სკალარული და ვექტორული სიდიდეები. მოქმედებები ვექტორებზე

§1.3 ვექტორის გეგმილები ღერძებზე

§ 1.4 ვექტორის დაშლა მდგენელებად

§ 1.5 წრფივი თანაბარი მოძრაობა

მე-7 კლასში თქვენ შეისწავლეთ მოძრაობის ყველაზე მარტივი სახე – წრფივი თანაბარი მოძრაობა. გავიხსენოთ ის და გავაფართოოთ ჩვენი ცოდნა ამ მოძრაობის შესახებ.

წრფივი თანაბარი მოძრაობა ეწოდება ისეთ მოძრაობას, რომლის დროსაც სხეული დროის ნებისმიერ ტოლ შუალედებში ტოლ გადაადგილებებს ასრულებს.

წრფივი თანაბარი მოძრაობისას სხეულის მიერ შესრულებული გადაადგილება დროის პირდაპირპროპორციულად იზრდება, ამიტომ გადაადგილების შეფარდება შესაბამის დროსთან მუდმივი სიდიდეა: $\frac{\vec{s}}{t} = \text{const}$. სწორედ ამ სიდიდით ახასიათებენ წრფივ თანაბარ მოძრაობას და მას სიჩქარეს უწოდებენ.

წრფივი თანაბარი მოძრაობის სიჩქარე ეწოდება სიდიდეს, რომელიც ტოლია დროის ნებისმიერ შუალედში სხეულის მიერ შესრულებული გადაადგილების შეფარდებისა დროის ამ შუალედთან:

$$\vec{v} = \frac{\vec{s}}{t} \qquad (1)$$

ვინაიდან გადაადგილება ვექტორული სიდიდეა, დრო კი – სკალარული ($t > 0$), ამიტომ სიჩქარე ვექტორული სიდიდეა და მისი მიმართულება გადაადგილების მიმართულებას ემთხვევა, სიჩქარის მოდული კი ტოლია: $v = \frac{s}{t}$;

SI-ში მანძილის ერთეულია 1 მ, დროისა – 1 წმ, ამიტომ სიჩქარის ერთეული იქნება 1 მ/წმ. ეს ისეთი თანაბარი მოძრაობის სიჩქარეა, რომლის დროსაც სხეული 1 წმ-ში 1 მ-ის ტოლ მანძილს გადის. სხეულის სიჩქარე შეიძლება გავზომოთ სხვა ერთეულებშიც: კმ/სთ-ში, კმ/წთ-ში, სმ/წმ-ში და სხვა.

სხეულის თანაბარი მოძრაობის სიჩქარე 7 მ/წმ-ია ნიშნავს, რომ იგი 1 წმ-ში 7 მ-ის ტოლ მანძილს გადის. ე.ი. სიჩქარის მოდული რიცხობრივად ტოლია სხეულის მიერ დროის ერთეულში (1 წმ-ში, 1 სთ-ში, 1 წთ-ში) გავლილი მანძილის.

წრფივი თანაბარი მოძრაობისას შესრულებული გადაადგილების მოდული გავლილი მანძილის ტოლია.

თუ ვიცით წრფივად და თანაბარად მოძრავი სხეულის $\vec{v}$ სიჩქარე, შეგვიძლია ვიპოვოთ მის მიერ რაიმე t დროში შესრულებული გადაადგილება:

$$\vec{s} = \vec{v} \cdot t. \qquad (2)$$

წრფივი თანაბარი მოძრაობის განმარტებიდან გამომდინარეობს, რომ მოძრაობის ტრაექტორია წრფეა, ამიტომ სხეულის მდებარეობა შიძლება ერთი კოორდინატით განვსაზღვროთ. ამისათვის კი საჭიროა საკოორდინატო (OX) ღერძი მოძრაობის წრფის გასწვრივ მივმართოთ. თუ ამ ღერძზე გადაადგილებისა და სიჩქარის გეგმილებს, შესაბამისად, s_x-ით და v_x-ით აღვნიშნავთ, მაშინ (2) ფორმულის თანახმად,

$$s_x = v_x \cdot t.$$

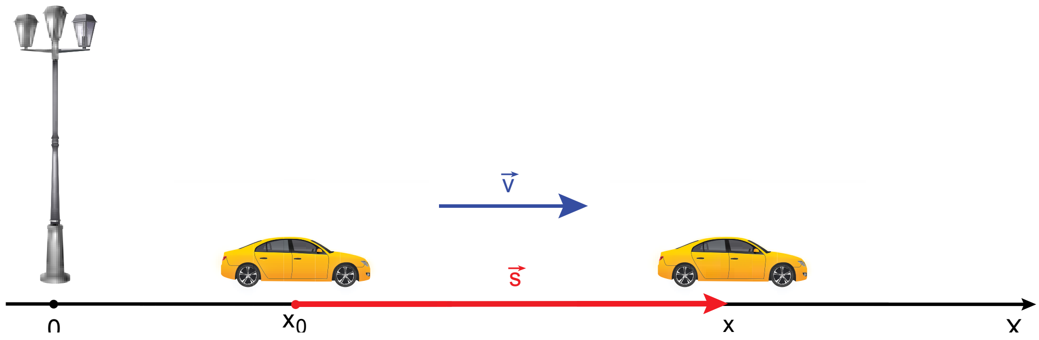
ამრიგად, გადაადგილება, მისი მოდული (გავლილი მანძილი) და გეგმილი წრფივი თანაბარი მოძრაობისას, შესაბამისად, გამოისახება ფორმულებით:

$$\vec{s} = \vec{v}t; \qquad s = vt; \qquad s_x = v_x t. \qquad (3)$$

როგორ გადავწყვიტოთ მექანიკის ძირითადი ამოცანა წრფივი თანაბარი მოძრაობისას? განვიხილოთ მაგალითი. ვთქვათ, სწორ გზაზე ავტომობილი მოძრაობს მუდმივი $\vec{v}$ სიჩქარით (სურ. 1.44). კოორდინატთა სათავედ ავირჩიოთ, მაგალითად, განათების ბოძი, ხოლო ღერძი მივმართოთ ავტომობილის მოძრაობის მიმართულებით. დროის საწყის მომენტში ავტომობილის კორდინატი აღვნიშნოთ x_0-ით. თუ ავტომობილმა დროის საწყისი მომენტიდან t დროში შეასრულა $\vec{s}$ გადაადგილება, მაშინ t დროის შემდეგ მისი კოორდინატი ტოლი იქნება: $x = x_0 + s_x$. გავითვალისწინოთ, რომ $s_x = v_x t$ და მივიღებთ:

$$x = x_0 + v_x t. \qquad (4)$$

ამ ფორმულას ხშირად **მოძრაობის განტოლებას** უწოდებენ. მისი დახმარებით შეგვიძლია ვიპოვოთ წრფივად და თანაბრად მოძრავი სხეულის კოორდინატი (მდებარეობა) დროის ნებისმიერ მომენტში, თუ გვეცოდინება სხეულის საწყისი კოორდინატი და სიჩქარის გეგმილი არჩეულ OX ღერძზე. ანუ, ამოვხსნათ მექანიკის ძირითად ამოცანა. მოვიყვანოთ მაგალითი: ვთქვათ სხეულის საწყისი კოორდინატია 50 მ ($x_0 = 50$) და ის



სურ. 1.44

მოძრაობს ღერძის საწინააღმდეგო მიმართულებით 4 მ/წმ სიჩქარით ($v_x = -4$), მაშინ მისი კოორდინატის დროზე დამოკიდებულება მიიღებს სახეს: $x = 50 - 4 \cdot t$. ამ ფორმულის მიხედვით, სხეულის კოორდინატი, $t = 5$ წმ-ის შემდეგ იქნება $x = 50 - 4 \cdot 5 = 30$(მ), $t = 20$ წმ-ის შემდეგ $x = 50 - 4 \cdot 20 = -30$ (მ) და ა.შ.

დასკვნები:

- წრფივი თანაბარი მოძრაობა ეწოდება ისეთ მოძრაობას, რომლის დროსაც სხეული დროის ნებისმიერ ტოლ შუალედებში ერთნაირ გადაადგილებებს ასრულებს;
- წრფივი თანაბარი მოძრაობისას გადაადგილების შეფარდება მოძრაობის შესაბამის დროსთან მუდმივი სიდიდეა, რომელსაც მოძრაობის სიჩქარეს უწოდებენ: $\vec{v} = \frac{\vec{s}}{t}$;
- სიჩქარე ვექტორული სიდიდეა, მისი მიმართულება გადაადგილების მიმართულებას ემთხვევა;
- SI-ში სიჩქარის ერთეულია 1 მ/წმ;
- წრფივი თანაბარი მოძრაობისას გადაადგილება, გავლილი მანძილი, გადაადგილების გეგმილი და კოორდინატი, შესაბამისად, გამოისახება ფორმულებით: $\vec{s} = \vec{v}t$; $s = vt$; $s_x = v_x t$; $x = x_0 + v_x t$.

საკონტროლო კითხვები:

1. წრფივ გზაზე ავტომობილი ყოველ წამში 25 მ-ს გადის. შეიძლება თუ არა დავასკვნათ, რომ ავტომობილი წრფივად და თანაბრად მოძრაობს? პასუხი დაასაბუთეთ.
2. 1 მ/წმ-ის გარდა სიჩქარის რა ერთეულებს დაასახელებთ?
3. რას ნიშნავს, რომ ჭიანჭველას სიჩქარე 2 სმ/წმ-ია?
4. რა შემთხვევაშია წრფივი თანაბარი მოძრაობის სიჩქარის გეგმილი სიჩქარის მოდულის ტოლი? მოდულის ტოლი მინუს ნიშნით?
5. როგორ ჩაწერთ იმ სხეულის მოძრაობის განტოლებას, რომლის საწყისი კოორდინატია -200 მ და მოძრაობს ღერძის მიმართულებით 4 მ/წმ სიჩქარით?

ერთად ამოვხსნათ ამოცანა

მოც:
t_1=10 წმ;
t_2=14 წმ;
ℓ_2=60 მ;

უ·ვ ℓ_1, v

თანაბრად მოძრავმა მატარებელმა ლიანდაგის გვერდზე მდგარ ბოძს 10 წამში ჩაუარა, ხოლო 60 მ სიგრძის ხიდზე 14 წამში გაიარა. რა სიგრძისაა მატარებელი და რა სიჩქარით მოძრაობს ის?

ამოხსნა: ბოძთან ჩავლისას მატარებელმა 10 წამში გაიარა თავისი სიგრძის ტოლი მანძილი: $\ell_1 = vt_1$ (1); ხიდზე გადასვლისას მატარებელი გადის თავისი და ხიდის სიგრძის ჯამის ტოლ მანძილს. $\ell_1 + \ell_2 = vt_2$ (2). თუ პირველი განტოლებიდან ℓ_1-ს შევიტანთ მეორეში, მივიღებთ: $vt_1 + \ell_2 = vt_2$. აქედან, $vt_2 - vt_1 = \ell_2 \Rightarrow v = \frac{\ell_2}{(t_2-t_1)} = 15$ (მ/წმ). მიღებული შედეგის (1) განტოლებაში შეტანით მივიღებთ: ℓ_1=150 მ. პასუხი: მატარებლის სიგრძეა 150 მ, მისი სიჩქარე კი – 15 მ/წმ.

ამოხსენით ამოცანები:

1. მელა ორ ხეს შორის მანძილს ფარავს 15 წამში. რა დროში გაირბენს იმავე მანძილს მასზე 1,5-ჯერ სწრაფად მოძრავი კურდღელი?

2. მდინარეს მოაქვს 10 მ სიგრძის მორი. რა დროში ჩაუვლის მორი მდინარის ნაპირზე მდგარ მეთევზეს, თუ მდინარის სიჩქარე 0,5 მ/წმ-ია? მიიჩნიეთ, რომ მორის გასწვრივ გავლებული წრფე მდინარის დინების მიმართულებას ემთხვევა.

3. რა დროში გაივლის 120 მ სიგრძის მატარებელი 280 მ სიგრძის ხიდს, თუ მისი სიჩქარე 20 მ/წმ-ია?

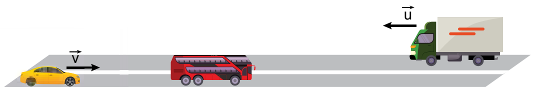
4. წრიულ სარბენ ბილიკს ლუკამ 10 წუთში 4-ჯერ შემოურბინა. რისი ტოლია ბილიკის სიგრძე, თუ ლუკა 5 მ/წმ სიჩქარით დარბის?

5. ბაქანზე მდგომ უძრავ დამკვირვებელს თანაბრად მოძრავი მატარებლის პირველმა ორმა ვაგონმა 5 წამში ჩაუარა, დანარჩენმა ვაგონებმა კი – 25 წამში. რამდენი ვაგონისგან შედგება მატარებელი?

6. წრფივ გზაზე დაყენებულია ორი შუქნიშანი, რომლებზეც ერთდროულად ინთება „მწვანე“, რომლებიც ქრება 20 წამში. როდესაც 54 კმ/სთ სიჩქარით თანაბრად მოძრავმა ავტომობილმა პირველ შუქნიშანს ჩაუარა, „მწვანე“ 5 წამის ანთებული იყო. რა მანძილია შუქნიშნებს შორის, თუ ავტომობილმა მეორე შუქნიშანს მწვანე ფერის ჩაქრობის მომენტში ჩაუარა?

7. როდესაც მძღოლს 300 მ-ით დაშორებულ შენობამდე მისასვლელად 1 წუთი ჰქონდა დარჩენილი, მიადგა გზის დაზიანებულ 100 მ სიგრძის უბანს, რომელიც 9 კმ/სთ სიჩქარით გაიარა. რა სიჩქარით უნდა იმოძრაოს მან დარჩენილ დაუზიანებელ გზაზე, რომ შენობასთან დროზე მივიდეს?

8. წრფივ გზაზე 90 კმ/სთ სიჩქარით მოძრავმა მსუბუქი ავტომობილის მძღოლმა მისგან 100 მეტრის წინ გაჩერებული ავტობუსი და 250 მეტრში შემხვედრი მიმართულებით მოძრავი სატვირთო შეამჩნია (სურ. 1.45). მაქსიმუმ რისი ტოლი უნდა იყოს სატვირთო ავტომობილის სიჩქარე, რომ მსუბუქმა ავტომობილმა ავტობუსს სიჩქარის მოდულის შეუცვლელად აუაროს გვერდი და სატვირთოსაც არ შეეჯახოს? უსაფრთხოებისთვის ავტობუსის გვერდის ავლის შემდეგ მსუბუქი ავტომობილი ავტობუსის წინ 25 მეტრით უნდა იყოს დაშორებული. ავტომობილები ნივთიერ წერტილად მიიჩნიეთ.



სურ. 1. 45

9. წრფივ გზაზე ერთი მიმართულებით 15 მ/წმ სიჩქარით მოძრაობს ორი ავტომობილი, რომელთა შორის მანძილი 60 მ-ია. პირველი ავტომობილი გადადის გზის დაზიანებულ უბანზე, რომელზეც მოძრაობის სიჩქარეს 3-ჯერ ამცირებს. რა მანძილი იქნება ავტმობილებს შორის მეორე ავტომობილის დაზიანებულ უბანზე გადასვლის მომენტში?

10. ჯარისკაცები მირბიან მოასფალტებულ ბილიკზე ერთ მწკრივად. მწკრივის სიგრძე ℓ-ის ტოლია. ასფალტის ბოლოს იწყება ბილიკის დაზიანებული უბანი, რომელზე გადასვლისას თითოეული ჯარისკაცი სიჩქარეს 1,5-ჯერ ამცირებს. რისი ტოლი გახდება მწკრივის სიგრძე იმ მომენტში, როცა ყველა ჯარისკაცი გზის დაზიანებულ უბანზე გადავა? მიიჩნიეთ, რომ ჯარისკაცებს შორის დისტანცია საკმარისია იმისათვის, რომ ერთმანეთს არ შეეჯახონ.

§ 1.6. წრფივი თანაბარი მოძრაობის გრაფიკული წარმოდგენა

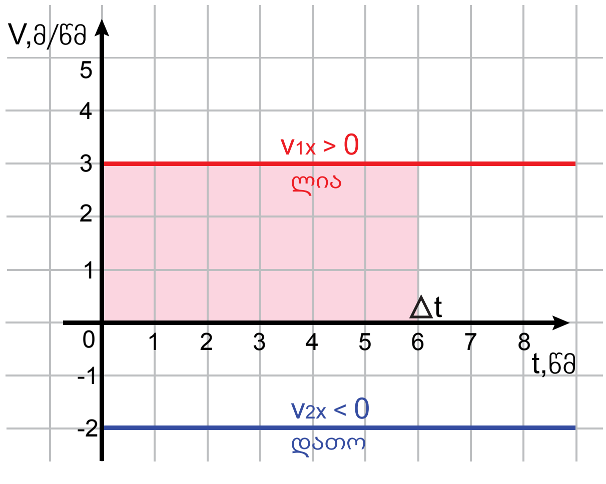
მოძრაობის აღსაწერად ხშირად სარგებლობენ გრაფიკებით, რომლებიც ისევე სრულად აღწერენ სხეულის მოძრაობას, როგორც ფორმულები.

თუ აბსცისათა ღერძზე გადავზომავთ დროს, ხოლო ორდინატთა ღერძზე – სიჩქარის გეგმილის შესაბამის მნიშვნელობებს, მივიღებთ მოძრაობის სიჩქარის გრაფიკს – $v_x(t)$.

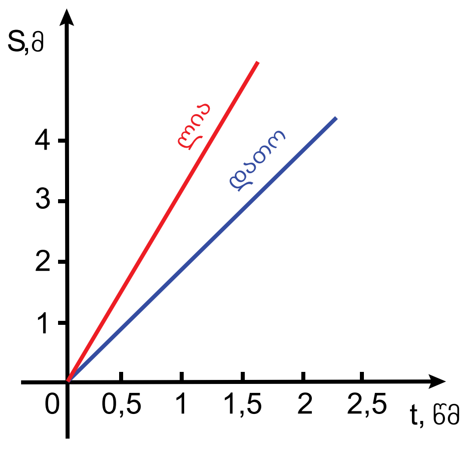
განვიხილოთ მაგალითი. ვთქვათ, ლია და დათო მირბიან წრფივად და თანაბრად ერთმანეთის შესახვედრად (სურ. 1.46).

სურ. 1.46

ლიას სიჩქარის მოდულია $v_1 = 3$ მ/წმ, დათოსი კი – $v_2 = 2$ მ/წმ. საკოორდინატო ღერძი მივმართოთ ლიას მოძრაობის მიმართულებით. ამ შემთხვევაში ლიას და დათოს მოძრაობის სიჩქარეთა გეგმილები არჩეულ ღერძზე შესაბამისად იქნება: $v_{1x} = 3$ მ/წმ, $v_{2x} = -2$ მ/წმ. ვინაიდან მათი სიჩქარეები მუდმივია, სიჩქარის გეგმილის დროზე დამოკიდებულების გრაფიკები დროის ღერძის პარალელური წრფეები იქნება (სურ.1.47).



სურ. 1. 47



სურ. 1.48

სიჩქარის გრაფიკით შესაძლებელია დროის რაიმე .. შუალედში შესრულებული გადაადგილების მოდულის პოვნა. იგი რიცხობრივად ტოლია სიჩქარის გრაფიკით შემოსაზღვრული, სურათზე მონიშნული მარკუთხედის ფართობისა (სურ. 1.47). თუ სხეული უძრავია, მისი სიჩქარის გრაფიკი დროის ღერძზე დევს. ცხადია, ამ შემთხვევაში გადაადგილება (მართკუთხედის ფართობიც) ნულის ტოლი იქნება.

გარდა სიჩქარის გრაფიკისა, სარგებლობენ სხეულის მიერ გავლილი მანძილის დროზე დამოკიდებულების გრაფიკით – $s(t)$. ლიას და დათოს მიერ გავლილი მანძილის დროზე დამოკიდებულების ფორმულები, შესაბამისად, იქნება: $s_1 = 3 \cdot t$ და $s_2 = 2 \cdot t$. ამ ფორმულე-

ბის მიხედვით აგებული გრაფიკები მოცემულია სურ. 1.48. როგორც მათგან ჩანს, ლიას შესაბამისი გრაფიკი დროის ღერძისადმი უფრო დახრილია, ვიდრე დათოსი.

საზოგადოდ, რაც მეტია სხეულის სიჩქარის მოდული, მით მეტ კუთხეს ადგენს მისი s(t) დამოკიდებულების გრაფიკი დროის ღერძთან.

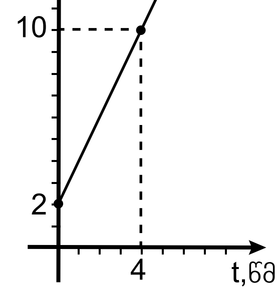
ლიას და დათოს გადაადგილების გეგმილების დროზე დამოკიდებულება კი გამოისახება ფორმულებით: ლია – $s_{1x} = 3t$, დათო – $s_{2x} = -2t$. მათი გრაფიკები გამოსახულია სურ. 1.49. უნდა აღვნიშნოთ, რომ გავლილი მანძილისაგან განსხვავებით, გადაადგილების გეგმილი შეიძლება იყოს დადებითიც და უარყოფითიც.

$x = x_0 + v_x t$ ფორმულის თანახმად, წრფივი თანაბარი მოძრაობისას სხეულის კოორდინატი წრფივად არის დამოკიდებული დროზე, ამიტომ x(t) დამოკიდებულების გრაფიკი წრფეს წარმოადგენს. ვთქვათ, ლიას და დათოს საწყისი კოორდინატები, შესაბამისად, $x_{0_1} = -4$ მ და $x_{0_2} = 6$ მ-ის ტოლია, მაშინ მათი კოორდინატის დროზე დამოკიდებულების ფორმულები იქნება: $x_1 = -4 + 3t$ და $x_2 = 6 - 2t$. ეს დამოკიდებულებები გრაფიკულად გამოსახულია სურ. 1.50. მათი გადაკვეთის წერტილის აბსცისა ($t = 2$ წმ) და ორდინატა ($x = 2$ მ) გვიჩვენებს ლიას და დათოს შეხვედრის დროსა და კოორდინატს.

სურ. 1. 49

სურ. 1.50

სხეულთა შეხვედრისას მათი კოორდინატები ერთნაირია. ამიტომ იმავე შედეგს მივიღებთ, თუ ლიასა და დათოს კოორდინატებს ერთმანეთს გავუტოლებთ: $x_1 = x_2$, ანუ $-4 + 3 \cdot t = 6 - 2 \cdot t$, საიდანაც $t = 2$ წმ, ხოლო $x_1 = x_2 = 2$ მ-ს. როგორც ვხედავთ, ამ ამოცანის ამოხსნა მოძრაობის გრაფიკულად წარმოდგენის შემთხვევაში უფრო ადვილი და მოსახერხებელია.



სურ. 1.51

რატომ სარგებლობენ მოძრაობის აღწერისას გრაფიკით? ვთქვათ, სურ. 1.51 მოცემული გრაფიკი შეესაბამება რომელიმე სხეულის მოძრაობას. მოძრაობის გრაფიკით შეგვიძლია: ა) ვიპოვოთ სხეულის კოორდინატი დროის ნებისმიერ მომენტში, მათ შორის საწყისი კოორდინატი ($x_0 = 2$ მ) – გრაფიკის x ღერძთან გადაკვეთის წერტილის კოორდინატი; ბ) განვსაზღვროთ სხეულის სიჩქარის გეგმილი არჩეულ ღერძზე (მაგალითად, მოცემული

გრაფიკის მიხედვით, როცა $t = 4$ წმ-ს, მაშინ $x = 10$ მ-ს. ამიტომ მივიღებთ: $v_x = \frac{x - x_0}{t} = \frac{10 - 2}{4} = 2$ (მ/წმ); გ) დავწეროთ გრაფიკის შესაბამისი მოძრაობის განტოლებაც ($x = 2 + 2 \cdot t$). ანუ მოძრაობის გრაფიკი შეიცავს სრულ ინფორმაციას სხეულის მოძრაობის მახასიათებლების შესახებ.

დასკვნები:

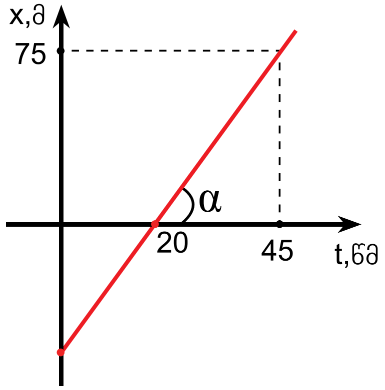
წრფივი თანაბარი მოძრაობისას:

- სიჩქარის გეგმილის $v_x(t)$ დროზე დამოკიდებულების გრაფიკი დროის ღერძის პარალელური წრფეა;
- სიჩქარის გრაფიკით, დროის ღერძით და დროის გარკვეული ინტერვალით შემოსაზღვრული მართკუთხედის ფართობი რიცხობრივად დროის ამ ინტერვალში შესრულებული გადაადგილების მოდულის ტოლია;
- გავლილი მანძილის $s(t)$ დამოკიდებულების გრაფიკი კოორდინატთა სათავიდან გავლებული სხივია, რომელიც დროის ღერძთან დადებით კუთხეს ქმნის; რაც მეტია სხეულის სიჩქარის მოდული, მით მეტი კუთხითაა დახრილი გრაფიკი დროის ღერძისადმი;
- გადაადგილების გეგმილის $s_x(t)$ დამოკიდებულების გრაფიკი კოორდინატთა სათავიდან გავლებული სხივია, რომელიც დროის ღერძთან დადებით კუთხეს ქმნის, თუ სხეული მოძრაობს არჩეული ღერძის მიმართულებით და ქმნის უარყოფით კუთხეს, თუ მოძრაობს ამ ღერძის საპირისპირო მიმართულებით;
- სხეულის კოორდინატი დროზე წრფივადაა დამოკიდებული ($x = x_0 + v_x t$), ამიტომ $x(t)$ დამოკიდებილების გრაფიკი წრფეს წარმოადგენს;
- $x(t)$ დამოკიდებულების გრაფიკით შესაძლებელია: ა) ვიპოვოთ სხეულის კოორდინატი დროის ნებისმიერ მომენტში; ბ) განვსაზღვროთ სხეულის სიჩქარის გეგმილი არჩეულ ღერძზე; გ) დავწეროთ გრაფიკის შესაბამისი მოძრაობის განტოლება;
- სხეულების მოძრაობის გრაფიკთა გადაკვეთის წერტილის t და x კოორდინატები მიუთითებს ამ სხეულთა შეხვედრის დროსა და ადგილს.

საკონტროლო კითხვები:

1. რატომაა წრფივი თანაბარი მოძრაობის სიჩქარის გრაფიკი დროის ღერძის პარალელური?
2. სიჩქარის გრაფიკის დახმარებით როგორ ვიპოვოთ დროის ნებისმიერ შუალედში შესრულებული გადაადგილების მოდული?
3. შესაძლებელია თუ არა $s(t)$ გრაფიკით სხეულის მოძრაობის მიმართულების დადგენა? $s_x(t)$ გრაფიკით?
4. როგორ ვიპოვოთ $x(t)$ გრაფიკით სხეულის კოორდინატი დროის რაიმე მომენტში?
5. $x(t)$ დამოკიდებულების გრაფიკით როგორ ვიპოვოთ სხეულის საწყისი მდებარეობის კოორდინატი?
6. რა შემთხვევაში გადის მოძრაობის გრაფიკი კოორდინატთა სათავეზე?
7. რა სიდიდე უტოლდება ერთმანეთს სხეულთა შეხვედრისას?
8. რაზე მიუთითებს ორი სხეულის მოძრაობის გრაფიკის გადაკვეთა?
9. რა შემთხვევაშია ორი სხეულის მოძრაობის გრაფიკი ერთმანეთის პარალელური?
10. თუ ორი სხეულის მოძრაობის გრაფიკი ერთმანეთს არ კვეთს, მაგრამ იკვეთება მათი გაგრძელებები, რას ნიშნავს ეს?

ერთად ამოვხსნათ ამოცანა



სურ. 1.52

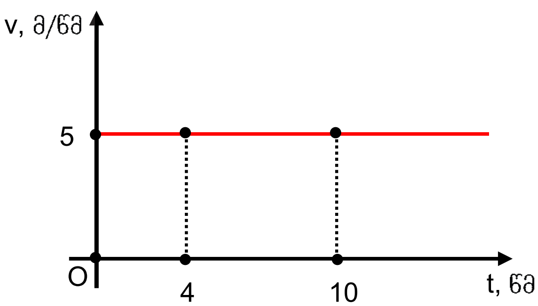
სურ. 1.52 მოცემულია X ღერძზე წრფივად და თანაბრად მოძრავი ველოსიპედისტის კოორდინატის დროზე დამოკიდებულების გრაფიკი. განსაზღვრეთ ველოსიპედისტის საწყისი კოორდინატი, სიჩქარის მოდული და მიმართულება. დაადგინეთ, რა ფიზიკური აზრი აქვს გრაფიკის t ღერძთან დახრის კუთხის ტანგენსს.

ამოხსნა: გრაფიკიდან ჩანს, რომ ველოსიპედისტის კოორდინატი t_1=20 წმ-ის მომენტიდან t_2=45 წმ-ის მომენტამდე გაიზარდა Δx=75 მ-ით. ამიტომ მისი სიჩქარის გეგმილი X ღერძზე იქნება დადებითი: $v_x = \dfrac{\Delta x}{(t_2 - t_1)} = 3$ მ/წმ. ე.ი. ველოსიპედისტის სიჩქარე მიმართულია X ღერძის მიმართულებით და მისი მოდულია v =3 მ/წმ. დავწეროთ კოორდინატის დროზე დამოკიდებულების ფორმულა: $x=x_0+3t$. გრაფიკიდან ჩანს, რომ თუ ამ ფორმულაში t-ს ნაცვლად შევიტანთ 45 წმ-ს, x უნდა გახდეს 75 მ. $75=x_0+3\cdot45 \Rightarrow x_0=-60$ მ. ასევე ჩანს, რომ α მართკუთხა სამკუთხედის მახვილი კუთხეა, რომლის მოპირდაპირე კათეტის სიგრძე Δx=75 მ-ია, მიმდებარე კათეტის სიგრძე კი – Δt=25 წმ. $\mathrm{tg}\alpha = \dfrac{\Delta x}{\Delta t} = 3$.

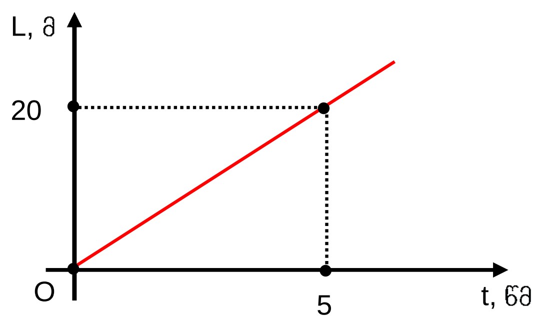
პასუხი: ველოსიპედის საწყისი კოორდინატია -60მ; იგი მოძრაობს 3 მ/წმ სიჩქარით X ღერძის მიმართულებით; **x(t) გრაფიკის დროის ღერძთან დახრის კუთხის ტანგენსი რიცხობრივად ნივთიერი წერტილის სიჩქარის გეგმილის ტოლია.**

ამოხსენით ამოცანები:

1. სურ. 1.53 მოცემულია სხეულის სიჩქარის დროზე დამოკიდებულების გრაფიკი. განსაზღვრეთ სხეულის მიერ გავლილი მანძილი 4 წმ-დან 10 წმ-მდე დროის შუალედში.
2. სურ.1.53 მოცემულია სხეულის სიჩქარის დროზე დამოკიდებულების გრაფიკი. განსაზღვრეთ სხეულის მიერ შესრულებული გადაადგილების მოდული დროის საწყისი მომენტიდან 10 წამში.
3. სურ.1.54 მოცემულია სხეულის გავლილი მანძილის დროზე დამოკიდებულების გრაფიკი. განსაზღვრეთ სხეულის სიჩქარის მოდული და 3 წამში გავლილი მანძილი.
4. X ღერძის მიმართულებით წრფივად და თანაბრად მოძრავი მოტოციკლის საწყისი კოორდინატი 100 მ-ია. სიჩქარის მოდული კი – 25 მ/წმ. დაწერეთ მოტოციკლის კოორდინატის დროზე დამოკიდებულების განტოლება და განსაზღვრეთ მის მიერ 20 წამში შესრულებული გადაადგილების მოდული.

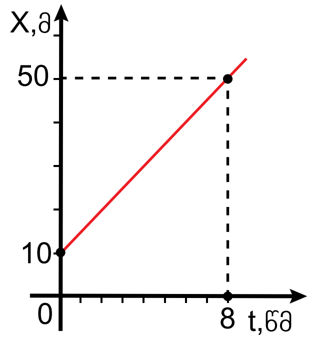


სურ. 1.53



სურ. 1.54

5. სურ.1.55 მოცემულია X ღერძის გასწვრის მოძრავი სხეულის კოორდინატის დროზე დამოკიდებულების გრაფიკი. განსაზღვრეთ სხეულის საწყისი კოორდინატი და სიჩქარის გეგმილი. დაწერეთ კოორდინატის დროზე დამოკიდებულების ფორმულა.

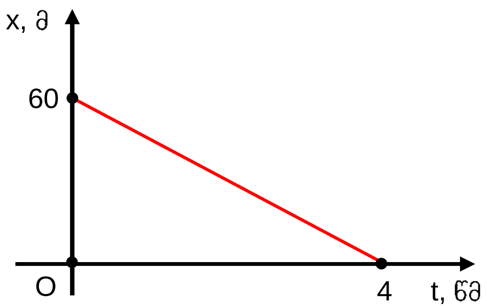


სურ. 1.55

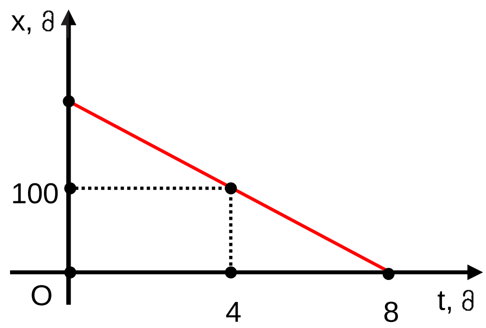
6. X ღერძის საწინააღმდეგო მიმართულებით წრფივად და თანაბრად მოძრავი ავტობუსის საწყისი კოორდინატი 300 მ-ია. სიჩქარის მოდული კი – 15 მ/წმ. დაწერეთ ავტობუსის კოორდინატის დროზე დამოკიდებულების ფორმულა და განსაზღვრეთ მის მიერ 50 წამში შესრულებული გადაადგილების გეგმილი x ღერძზე.

7. სურ. 1.56 გამოსახულია სხეულის კოორდინატის დროზე დამოკიდებულების გრაფიკი. განსაზღვრეთ სხეულის სიჩქარის გეგმილი X ღერძზე და სხეულის მიერ 3 წმ-ში გავლილი მანძილი. დაწერეთ სხეულის კოორდინატის დროზე დამოკიდებულების ფორმულა.

8. სურ.1.57 მოცემულია X ღერძზე წრფივად და თანაბრად მოძრავი ავტომობილის კოორდინატის დროზე დამოკიდებულების გრაფიკი. განსაზღვრეთ სხეულის საწყისი კოორდინატი და სხეულის მიერ 4 წამში გავლილი მანძილი.



სურ. 1.56



სურ. 1.57

9. სურ.1.57 გამოსახულია სხეულის კოორდინატის დროზე დამოკიდებულების გრაფიკი. განსაზღვრეთ სხეულის სიჩქარის გეგმილი X ღერძზე და დაწერეთ კოორდინატის დროზე დამოკიდებულების ფორმულა.

10. სხეულის კოორდინატის დროზე დამოკიდებულების განტოლებას აქვს შემდეგი სახე: $x=x_0+v_xt$. ცნობილია, რომ საწყისი მომენტიდან 5 წმ-ში სხეულის კოორდინატი 100 მ-ია, 10 წმ-ში კი – 180 მ. იპოვეთ სხეულის საწყისი კოორდინატი და სიჩქარის გეგმილი X ღერძზე. ააგეთ კოორდინატის დროზე დამოკიდებულების გრაფიკი.

§ 1.7. მოძრაობის ფარდობითობა. სიჩქარეთა შეკრება

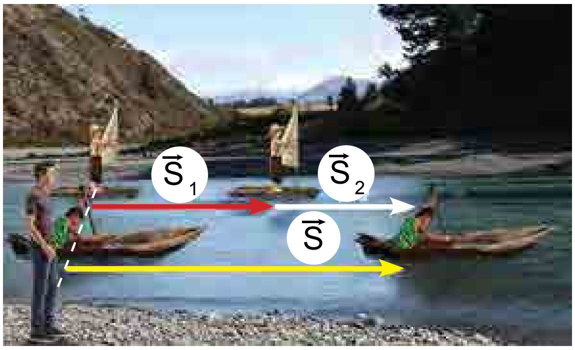
მე-7 კლასში თქვენ შეისწავლეთ სხეულის მდებარეობის, უძრაობისა და მოძრაობის ფარდობითობა, ერთი და იმავე სხეულის გადაადგილებებსა და ასევე, სიჩქარეებს შორის კავშირი სხვადასხვა ათვლის სხეულის მიმართ, რომელთაგან ერთი იყო უძრავი, მეორე კი – მოძრავი. ამასთან, სხეულისა და მოძრავი ათვლის სხეულის სიჩქარეები ერთი წრფის გასწვრივ იყო მიმართული.

გავიხსენოთ პირველი მაგალითი, რომელშიც სხეული (ნავი) და მოძრავი ათვლის სხეული (ტივი) ერთი მიმართულებით მოძრაობს (სურ. 1.58), და მეორე – რომელშიც ისინი საპირისპირო მიმართულებით მოძრაობს (სურ. 1.59). ვექტორთა შეკრების წესის თანახმად, ორივე შემთხვევაში მივიღეთ, რომ ნავის გადაადგილება ნაპირის მიმართ ($\vec{s}$) ტოლია ტივის ნაპირის მიმართ ($\vec{s}_1$) გადაადგილებისა და ტივის მიმართ ნავის ($\vec{s}_2$) გადაადგილების ჯამისა:

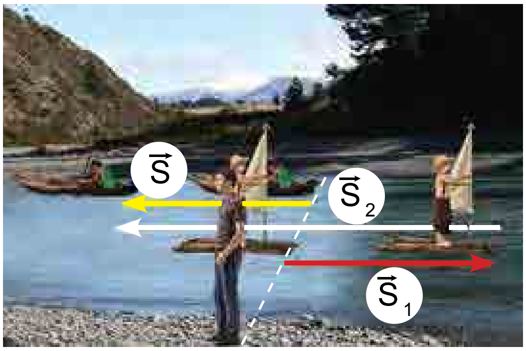
$$\vec{s} = \vec{s}_1 + \vec{s}_2 .$$

ამ ტოლობის გაყოფით მოძრაობის t დროზე მივიღეთ:

$$\vec{v} = \vec{v}_1 + \vec{v}_2 .$$



სურ. 1.58



სურ. 1.59

აქედან დავასკვენით, რომ **სხეულის გადაადგილება (სიჩქარე) უძრავი ათვლის სხეულის მიმართ ტოლია: უძრავი ათვლის სხეულის მიმართ მოძრავი ათვლის სხეულის გადაადგილების (სიჩქარის) და მოძრავი ათვლის სხეულის მიმართ სხეულის გადაადგილების (სიჩქარის) ჯამისა.**

მიღებულ ფორმულებს **გადაადგილებათა და სიჩქარეთა შეკრების ფორმულები** ვუწოდეთ.

პირველ შემთხვევაში მივიღეთ, რომ გადაადგილებათა და სიჩქარეთა მოდულებისათვის სამართლიანია ტოლობები:

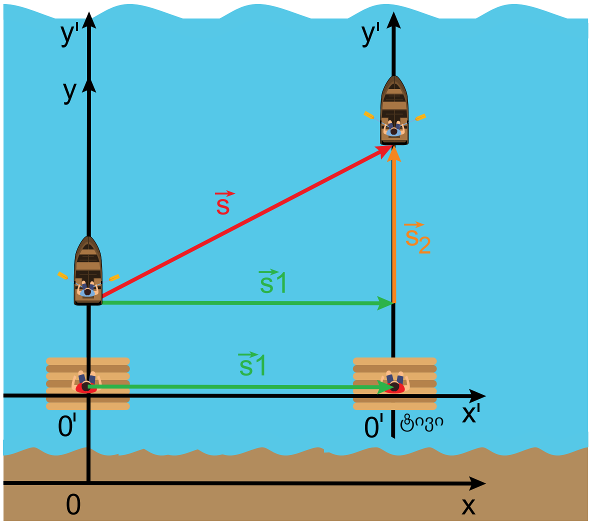
$s = s_1 + s_2$ და $v = v_1 + v_2$,

მეორე შემთხვევაში კი:

$s = s_2 – s_1$ და $v = v_2 + v_1$.

ახლა გავაღრმავოთ ჩვენი ცოდნა გადაადგილებათა და სიჩქარეთა შეკრების შესახებ. განვიხილოთ ისეთი შემთხვევა, როცა სხეულისა და მოძრავი ათვლის სხეულის სიჩქარეები ერთი წრფის გასწვრივ არ არის მიმართული.

ვთქვათ, მდინარეზე მოძრაობს ტივი და ნავი. ტივი მიყვება მდინარის დინებას, ანუ მოძრაობს დინების სიჩქარით, ხოლო ნავი ცდილობს, გადაცუროს მდინარე დინების მართობული მიმართულებით, რისთვისაც მენავე ნიჩბების დახმარებით მას ამ მიმართულების სიჩქარეს ანიჭებს (სურ. 1.60). ნავის მოძრაობას თვალს ადევნებს ორი დამკვირვებელი: ერთი – ნაპირზე უძრავად მდგომი და მეორე – ტივზე მყოფი.



სურ. 1.60

ნაპირზე მყოფ დამკვირვებელს დავუკავშიროთ XOY კოორდინატთა სისტემა ისე, რომ X ღერძი მიმართული იყოს მდინარის დინების მიმართულებით. ტივზე მყოფ დამკვირვებელს დავუკავშიროთ X'O'Y' კოორდინატთა სისტემა, რომლის X' და Y' ღერძები, შესაბამისად, X და Y ღერძების პარალელურია.

ცხადია, მდინარის დინება ნავს თან წაიღებს, ამიტომ გარკვეული დროის შემდეგ ნაპირზე მყოფი დამკვირვებელი შეამჩნევს, რომ ნავი მას დაშორდა როგორც მდინარის დინების, ასევე მისი მართობული მიმართულებით და მის მიმართ შეასრულა $\vec{s}$ გადაადგილება. იმავდროულად, ამ დამკვირვებლის მიმართ ტივი, ე.ი. მოძრავი დამკვირვებელი, შეასრულებს $\vec{s}_1$ გადაადგილებას. ტივზე მყოფი დამკვირვებელი კი დაინახავს, რომ ნავი გადაადგილდა Y' ღერძის გასწვრივ და მის მიმართ შეასრულა $\vec{s}_2$ გადაადგილება. ვექტორთა შეკრების სამკუთხედის წესის თანახმად, $\vec{s} = \vec{s}_1 + \vec{s}_2$. ვინაიდან ეს გადაადგილებები ქმნიან მართკუთხა სამკუთხედს, მათი მოდულებისთვის გვექნება: $s^2 = s_1^2 + s_2^2$. მაგალითად, თუ მდინარემ ტივი 40 მ-ზე წაიღო, ხოლო ნავი მას 30 მ-ით დაშორდა, მაშინ ნავი ნაპირზე მყოფი დამკვირვებლის მიმართ 50 მ-ით გადაადგილდა: $\sqrt{(40\,\text{მ})^2 + (30\,\text{მ})^2} = 50\,\text{მ}$.

თუ $\vec{s} = \vec{s}_1 + \vec{s}_2$ ტოლობის ყოველი წევრს გავყოფთ დროის იმ შუალედზე, რომელშიც ეს გადაადგილებები შესრულდა, მივიღებთ:

$$\vec{v} = \vec{v}_1 + \vec{v}_2.$$

როგორც ვიცით, სიჩქარისა და გადაადგილების მიმართულებები თანხვედრილია, ამიტომ სიჩქარეების ვექტორებიც მართკუთხა სამკუთხედს ქმნის და მათი მოდულებისთვის გვექნება: $v^2 = v_1^2 + v_2^2$.

ამრიგად, გადაადგილებებისა და სიჩქარეების შეკრების ვექტორული ტოლობები ამ შემთხვევაშიც იმავე სახისაა, რაც საშუალებას გვაძლევს ჩამოვაყალიბოთ მათი შეკრების ზოგადი წესები:

სხეულის $\vec{s}$ გადაადგილება უძრავი ათვლის სისტემის მიმართ ტოლია: სხეულის $\vec{s}_2$ გადაადგილებას მოძრავი ათვლის სისტემის მიმართ დამატებული მოძრავი ათვლის სისტემის $\vec{s}_1$ გადაადგილება უძრავი ათვლის სისტემის მიმართ.

სხეულის $\vec{v}$ სიჩქარე უძრავი ათვლის სისტემის მიმართ ტოლია: სხეულის $\vec{v}_2$ სიჩქარეს მოძრავი ათვლის სისტემის მიმართ დამატებული მოძრავი ათვლის სისტემის $\vec{v}_1$ სიჩქარე უძრავი ათვლის სისტემის მიმართ.

სიჩქარეთა და გადაადგილებათა შეკრების წესი მართებულია სხეულის გადატანითი მოძრაობისათვის.

ბოლოს განხილულ მაგალითში ტივზე მყოფი დამკვირვებლისათვის ნავის მოძრაობის ტრაექტორიას წარმოადგენს მდინარის დინების მართობული წრფე, მაშინ, როდესაც ნაპირზე მდგომი დამკვირვებლისათვის ის დინების მიმართულებისადმი დახრილი წრფეა. ამრიგად, ერთმანეთის მიმართ მოძრავ სხვადასხვა ათვლის სისტემაში სხეულის მოძრაობის სიჩქარე, გადაადგილება და ტრაექტორიაც განსხვავებულია. სწორედ ამაში მდგომარეობს მოძრაობის ფარდობითობა.

დასკვნები:

- სხეულის $\vec{s}$ გადაადგილება უძრავი ათვლის სისტემის მიმართ ტოლია: სხეულის $\vec{s}_2$ გადაადგილებას მოძრავი ათვლის სისტემის მიმართ დამატებული მოძრავი ათვლის სისტემის $\vec{s}_1$ გადაადგილება უძრავი ათვლის სისტემის მიმართ. $\vec{s} = \vec{s}_1 + \vec{s}_2$;
- სხეულის $\vec{v}$ სიჩქარე უძრავი ათვლის სისტემის მიმართ ტოლია: სხეულის $\vec{v}_2$ სიჩქარეს მოძრავი ათვლის სისტემის მიმართ დამატებული მოძრავი ათვლის სისტემის $\vec{v}_1$ სიჩქარე უძრავი ათვლის სისტემის მიმართ. $\vec{v} = \vec{v}_1 + \vec{v}_2$;
- თუ სხეული და მოძრავი ათვლის სისტემა ერთმანეთისადმი მართობულად მოძრაობს, მაშინ $v^2 = v_1^2 + v_2^2$;
- თუ სხეული და მოძრავი ათვლის სისტემა ერთი მიმართულებით მოძრაობს, მაშინ $v = v_1 + v_2$, მათი ერთმანეთის საპირისპირო მიმართულებით მოძრაობისას კი – $v = v_2 - v_1$.

საკონტროლო კითხვები:

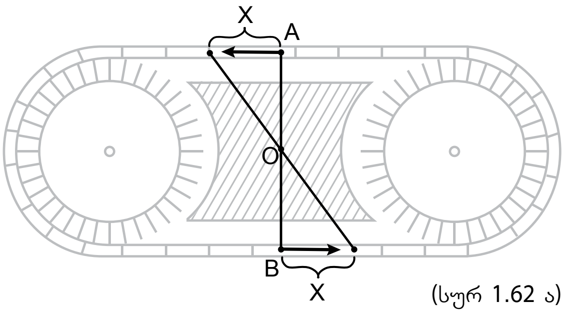
1. რაში მდგომარეობს მოძრაობის ფარდობითობა?
2. როგორ უნდა გვესმოდეს გამონათქვამი: „უძრაობა და მოძრაობა ფარდობითია“?
3. როგორ უნდა გვესმოდეს გამონათქვამი: „აბსოლუტურად უძრავი სხეული არ არსებობს“?
4. როგორ გესმით გამონათქვამები: „მზე ამოვიდა“ და „მთვარე ამოვიდა“?

ერთად ამოვხსნათ ამოცანა

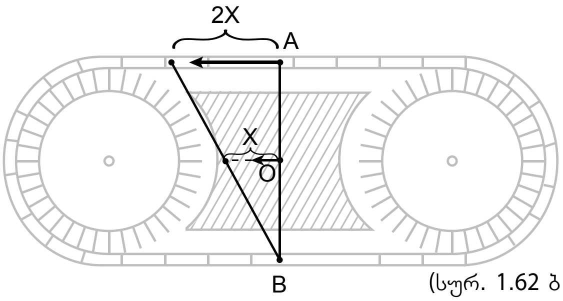
მუხლუხოიანი ექსკავატორი სრიალის გარეშე მოძრაობს თანაბრად მუდმივი v სიჩქარით (სურ. 1.61). განსაზღვრეთ მუხლუხოს ზედა ნაწილის მოძრაობის სიჩქარე დედამიწისა და ექსკავატორის მიმართ.

სურ. 1.61

ამოხსნა: თავდაპირველად გადავიდეთ ექსკავატორთან დაკავშირებულ ათვლის სისტემაში (სურ 1.62ა). ამ სისტემაში ექსკავატორის კორპუსთან დაკავშირებული O წერტილი უძრავია, ხოლო მუხლუხოს წერტილები მოძრაობენ O წერტილის ირგვლივ მოდულით ერთნაირი სიჩქარით. გარკვეულ დროში მუხლუხოს A და B წერტილები O წერტილის მიმართ ერთნაირი x მანძილით წაინაცვლებენ. A, O და B წერტილები კვლავ ერთ წრფეზე იქნებიან, ხოლო A და B წერტილები ერთმანეთის მიმართ წაინაცვლებენ 2x მანძილით. დავუბრუნდეთ დედამიწასთან დაკავშირებულ ათვლის სისტემას (სურ 1.62 ბ). ამ სისტემაში B წერტილია უძრავი, რადგან მუხლუხო დედამიწაზე არ სრიალებს. როგორც უკვე დავადგინეთ, A წერტილი B-სგან წანაცვლებულია მარცხნივ 2x მანძილით, ხოლო O წერტილი – მარცხნივ x მანძილით. ეს ნიშნავს, რომ დედამიწის მიმართ A წერტილის სიჩქარე O წერტილის v სიჩქარეზე 2-ჯერ მეტია და იქნება $u=2v$. მუხლუხოს A წერტილის სიჩქარე ექსკავატორის მიმართ კი იქნება $u-v=v$. პასუხი: 2v და v.



(სურ 1.62 ა)



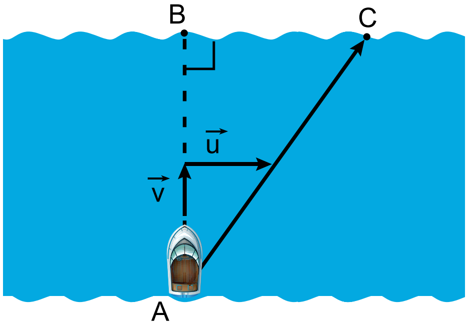
(სურ. 1.62 ბ

ამოხსენით ამოცანები:

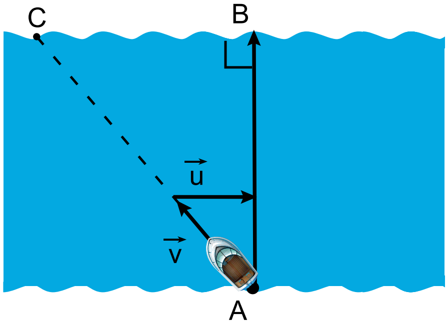
1. ორი მატარებელი თანაბრად მოძრაობს პარალელურ რელსებზე შემხვედრი მიმართულებით. მათი სიჩქარის მოდულები, შესაბამისად, 54 კმ/სთ და 72 კმ/სთ-ია. რისი ტოლია პირველი მატარებლის სიჩქარე მეორის მიმართ? რა დროში ჩაუვლის მეორე მატარებელში მჯდომ მგზავრს პირველი მატარებელი, თუ მისი სიგრძე 140 მ-ია?
2. ორი მატარებელი, რომელთა სიგრძეებია 120 მ და 140 მ, მოძრაობს შემხვედრი მიმართულებით პარალელურ რელსებზე, შესაბამისად, 10 მ/წმ და 16 მ/წმ სიჩქარეებით. რისი ტოლია მათი ფარდობითი სიჩქარის მოდული? რა დროში ჩაუვლიან მატარებლები ერთმანეთს?
3. 120 მ სიგრძის 10 მ/წმ სიჩქარით მოძრავ მატარებელს წამოეწია პარალელურ რელსებზე მოძრავი 140 მ სიგრძის მეორე მატარებელი, რომლის სიჩქარე 16 მ/წმ-ია. რა დროში ჩაუვლის მეორე მატარებელი პირველს? მეორე მატარებელი პირველში მჯდომ მგზავრს?
4. 30 სმ სიმაღლის ბოთლის ფსკერზე იმყოფება ჭიანჭველა, რომელიც დაიძრა ზემოთ და ამოვიდა ბოთლის თავზე. ამავდროულად, ბოთლი გადააადგილეს მაგიდის ჰორიზონტალურ ზედაპირზე 40 სმ-ით. რისი ტოლია ჭიანჭველას გადაადგილების მოდული ბოთლის მიმართ? მაგიდის მიმართ?
5. მეტროს ესკალატორს მასზე უძრავად მდგომი მგზავრი 60 მ სიგრძის გვირაბში აჰყავს 2 წუთში. რა დროში აიყვანს ესკალატორი მგზავრს, თუ მგზავრი ესკალატორის მიმართულებით იმოძრავებს მის მიმართ 0,5 მ/წმ სიჩქარით? რა სიჩქარით და რა მიმართულებით უნდა იმოძრაოს მგზავრმა, რომ გვირაბის კედლების მიმართ უძრავი დარჩეს?
6. მოტორიანი ნავი მდინარეზე ორ ხიდს შორის მანძილს დინების მიმართულებით ორჯერ უფრო სწრაფად გადის, ვიდრე – დინების საწინააღმდეგო მიმართულებით. რამდენჯერ მეტია ნავის საკუთარი სიჩქარე მდინარის დინების სიჩქარეზე?
7. ავტომაგისტრალზე 54 კმ/სთ სიჩქარით მოძრავი ავტომობილის წინ 200 მ მანძილზე იმავე მიმართულებით მოძრაობს მოტოციკლი, რომლის სიჩქარე 72 კმ/სთ-ია. დაწე-

რეთ მოტოციკლის კოორდინატის დროზე დამოკიდებულების განტოლება ავტომობილთან დაკავშირებულ ათვლის სისტემაში. ათვლის სათავედ აიღეთ ავტომობილის მდებარეობა, ღერძი მიმართეთ ავტომობილის სიჩქარის მიმართულებით.

8. მოტორიანმა ნავმა 200 მ სიგანის მდინარის გადაცურვისას თავისი 5 მ/წმ სიჩქარე A წერტილიდან B-სკენ მიმართა, თუმცა მდინარის დინების გამო იგი C წერტილში აღმოჩნდა (სურ. 1.63). განსაზღვრეთ: ა) რა დროში გადაცურა ნავმა მდინარე; ბ) რისი ტოლი იქნება ნავის სიჩქარე ნაპირის მიმართ, თუ დინების სიჩქარე 2 მ/წმ-ია; გ) რა მანძილი გაიარა ნავმა ნაპირთან დაკავშირებულ ათვლის სისტემაში.
9. ნაპირისადმი რა კუთხით უნდა მიმართოს თავისი სიჩქარე მოტორიანმა ნავმა, რომ მდინარე უმოკლეს დროში გადაცუროს?
10. მოტორიანმა ნავმა მდინარის გადაცურვისას თავისი 10 მ/წმ სიჩქარე C წერტილისკენ მიმართა, თუმცა მდინარის დინების გამო ნავმა დინების მართობულად იმოძრავა და იგი B წერტილში აღმოჩნდა (სურ. 1.64). რისი ტოლია ნავის სიჩქარე ნაპირის მიმართ, თუ მდინარის დინების სიჩქარე 6 მ/წმ-ია? რა დროში გადაცურავს ნავი მდინარეს, თუ მდინარის სიგანე 240 მ-ია?



სურ. 1.63



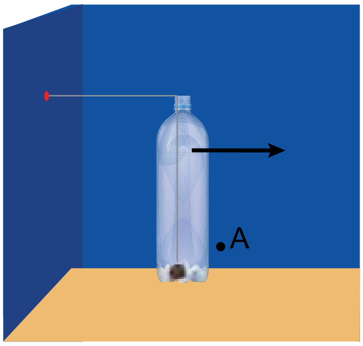
სურ. 1.64

ნიშნავს თუ არა მდინარის უმოკლესი მანძილით გადაცურვა უმოკლეს დროში გადაცურვას?

საშინაო ცდა

ცდის მიზანი: მოძრაობის ფარდობითობაზე დაკვირვება, გადაადგილების განსაზღვრა.
ცდისთვის საჭიროა: ჭიკარტები, გამჭვირვალე ბოთლი, ძაფი, პლასტილინი და ფანქარი.
ცდის აღწერა: ოთახის კუთხეში, ერთ კედელზე იატაკიდან ბოთლის სიმაღლეზე ჭიკარტით მიამაგრეთ ძაფის ერთი ბოლო (სურ 1.65). ძაფის მეორე ბოლოზე მიამაგრეთ პლასტილინისაგან დამზადებული ბურთულა (ბურთულა ბოთლის თავში უნდა ეტეოდეს).

ჩაუშვით ბურთულა ბოთლში და ბოთლის მდებარეობა ისე შეარჩიეთ, რომ ბურთულა ფსკერზე აღმოჩნდეს და ამ დროს ძაფი დაჭიმული იყოს. კედელზე ბურთულის გასწვრივ ფანქრით მონიშნეთ ბურთულის საწყისი მდებარეობა (A წერტილი სურათზე). აამოძრავეთ ბოთლი კედლის პარალელურად ძაფის გასწვრივ სურათზე ნაჩვენები მიმართულებით. როდესაც ბურთულა ბოთლის თავთან ამოვა, ბოთლი გააჩერეთ და მონიშნეთ ბურთულის საბოლოო მდებარეობა კედელზე. გაზომეთ ბოთლის იატაკის მიმართ გადაადგილების სიგრძე, ბურთულის ბოთლის მიმართ გადაადგილების სიგრძე და ბურთულის კედლის მიმართ გადაადგილების სიგრძე. შეადგინეთ ჩამოვლილი გადაადგილებების ვექტორების ნახაზი და იპოვეთ დამოკიდებულება მათ შორის.



სურ. 1.65

§ 1.8 მყისიერი სიჩქარე. საშუალო სიჩქარე

წინა პარაგრაფებში თქვენ შეისწავლეთ მოძრაობის ყველაზე მარტივი სახე – წრფივი თანაბარი მოძრაობა, მაგრამ ბუნებასა და ყოველდღიურ ცხოვრებაში ასეთი მოძრაობა იშვიათია. უმეტეს შემთხვევაში სხეულები არათანაბარად მოძრაობენ. მაგალითად, ადგილიდან დაძვრისას მატარებლის სიჩქარის მოდული იზრდება, დროის რაღაც შუალედში ის შეიძლება თანაბრად მოძრაობდეს, მაგრამ სადგურთან მიახლოებისას ამცირებს სიჩქარეს და ჩერდება. ასეთი მოძრაობისას მატარებელი დროის ტოლ შუალედებში გადის სხვადასხვა მანძილს, ანუ მოძრაობს არათანაბრად. ამასთან, მატარებლის ტრაექტორიის ზოგიერთი მონაკვეთი შეიძლება იყოს წრფივი, ზოგი კი – მრუდწირული.

მოძრაობას, რომლის დროსაც სხეულის სიჩქარე იცვლება, არათანაბარი მოძრაობა ეწოდება.

გაიხსენეთ: მექანიკის ძირითადი ამოცანაა განვსაზღვროთ სხეულის მდებარეობა დროის ნებისმიერ მომენტში. არათანაბარი მოძრაობისას ამ ამოცანის გადასაწყვეტად ხშირად საჭიროა ვიცოდეთ სიჩქარე დროის მოცემულ მომენტში ან ტრაექტორიის მოცემულ წერტილში.

სხეულის სიჩქარეს დროის მოცემულ მომენტში ან ტრაექტორიის მოცემულ წერტილში მყისიერ სიჩქარეს უწოდებენ.

რას ნიშნავს სხეულის სიჩქარე დროის მოცემულ მომენტში ან ტრაექტორიის მოცემულ წერტილში? ანუ, რაში მდგომარეობს მყისიერი სიჩქარის ფიზიკური აზრი?

მე-7 კლასში თქვენ შეისწავლეთ არათანაბარი მოძრაობის საშუალო სიჩქარე, რომელიც განვსაზღვრეთ, როგორც სხეულის მიერ გავლილი მანძილის შეფარდება დროის იმ შუალედთან, რომელშიც ეს მანძილი გაიარა:

$$v_{საშ} = \frac{l}{t}.$$

ამ სახით განმარტებული საშუალო სიჩქარე სკალარული სიდიდეა. მას გავლილი მანძილის საშუალო სიჩქარეს უწოდებენ და გვიჩვენებს, რა მანძილს გადის სხეული საშუალოდ დროის ერთეულში. მაგალითად, თუ თბილისი-ქუთაისი მატარებელი ამ ქალაქებს შორის 220 კმ მანძილს 4 სთ-ში ფარავს, მაშინ ის 1 სთ-ში საშუალოდ 55 კმ მანძილს გადის.

მაგრამ სიჩქარე ვექტორული სიდიდეა, ამიტომ სარგებლობენ გადაადგილების საშუალო სიჩქარითაც. **გადაადგილების საშუალო სიჩქარე დროის რაიმე t შუალედში ეწოდება ამ შუალედში შესრულებული $\vec{s}$ გადაადგილების შეფარდებას t დროსთან:**

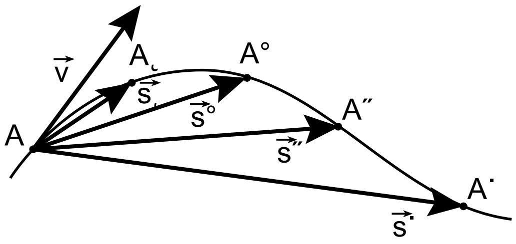
$$\vec{v}_{საშ} = \frac{\vec{s}}{t}.$$

გადაადგილების საშუალო სიჩქარე გვიჩვენებს, თუ რა გადაადგილებას ასრულებს სხეული საშუალოდ დროის ერთეულში. რადგან გადაადგილების მოდული არ აღემატება გავლილ მანძილს ($s \le l$), ამიტომ გადაადგილების საშუალო სიჩქარის მოდული არ აღემატება გავლილი მანძილის საშუალო სიჩქარეს.

როგორც გადაადგილების, ასევე გავლილი მანძილის საშუალო სიჩქარე ახასიათებს მოძრაობას დროის გარკვეულ შუალედში და არა დროის მოცემულ მომენტში ან ტრაექტორიის მოცემულ წერტილში. მაგრამ საშუალო სიჩქარის განსაზღვრებით შეიძლება მივიდეთ მყისიერ სიჩქარემდე.

ვთქვათ, ნივთიერი წერტილი მრუდწირული და არათანაბარი მოძრაობისას დროის რაღაც მომენტში იმყოფებოდა A წერტილში (სურ. 1.66). ამ მომენტიდან t_1 დროის შემდეგ ის აღმოჩნდა A_1 წერტილში და შეასრულა $\vec{s}_1$ გადაადგილება. $\vec{s}_1$ გადაადგილების გაყოფით t_1 დროზე მივიღებთ ამ შუალედში გადაადგილების საშუალო სიჩქარეს:

$$\vec{v}_{საშ_1} = \frac{\vec{s}_1}{t_1}.$$



სურ. 1. 66

თუ ავიღებთ დროის სულ უფრო და უფრო მცირე t_2, t_3 ...შუალედებს და მათში შესრულებულ გადაადგილებებს – $\vec{s}_1$-ს, $\vec{s}_2$-ს ... გავყოფთ შესაბამის დროზე, ვიპოვით გადაადგილების საშუალო სიჩქარეებს დროის ამ შუალედებში:

$$\vec{v}_{საშ_2} = \frac{\vec{s}_2}{t_2},\ \vec{v}_{საშ_3} = \frac{\vec{s}_3}{t_3},\ ...$$

რაც უფრო ვამცირებთ დროის შუალედს და მივუახლოვდებით A წერტილს, შემცირდება გადაადგილების მოდული, შეიცვლება მისი მიმართულება. შესაბამისად, შეიცვლება საშუალო სიჩქარის მოდული და მიმართულებაც. თუ გავაგრძელებთ დროის შუალედის შემცირებას, გადაადგილების საშუალო სიჩქარის მოდული სულ უფრო დაუახლოვდება მყისიერ სიჩქარეს A წერტილში, ხოლო მისი მიმართულება მიუახლოვდება A წერტილში გავლებულ ტრაექტორიის მხებს.

ამრიგად, **მყისიერი სიჩქარე, ანუ სიჩქარე ტრაექტორიის მოცემულ წერტილში ან დროის მოცემულ მომენტში ტოლია ამ წერტილის მომცველ მცირე უბანზე დროის მცირე შუალედში შესრულებული გადაადგილების საშუალო სიჩქარისა:**

$$\vec{v} = \frac{\vec{s}}{t}\ (t \rightarrow 0).$$

$t \rightarrow 0$ ნიშნავს, რომ მყისიერი სიჩქარის მნიშვნელობა მით უფრო ზუსტია, რაც უფრო მცირეა დროის შუალედი, რომელშიც გადაადგილების საშუალო სიჩქარეს ვპოულობთ.

მყისიერი სიჩქარე ვექტორული სიდიდეა, მისი მიმართულება მოცემულ წერტილში ემთხვევა ამ წერტილში ტრაექტორიისადმი გავლებული მხების მიმართულებას.

დააკვირდით დანის გალესვისას სალესი ქვიდან მომწყდარ ნაპერწკლებს. მოწყდომისას მათი მყისიერი სიჩქარე მიმართულია იმ წრეწირის მხების გასწვრივ, რომელზეც მოძრაობდნენ მოწყდომამდე (სურ. 1.67). ანალოგიურად მოძრაობს ავტომობილის საბურავიდან მომწყდარი ტალახის ნაწილაკებიც (სურ. 1.68).

სურ. 1.67

სურ. 1.68

სხეულის წრფივი თანაბარი მოძრაობისას მყისიერი სიჩქარე ნებისმიერ წერტილში ერთნაირია და ის მოძრაობის სიჩქარის ტოლია.

დასკვნები:

- სხეულის მიერ გავლილი მანძილის საშუალო სიჩქარე დროის რაიმე t შუალედში ეწოდება ამ შუალედში გავლილი მანძილის შეფარდებას t დროსთან: $v_{საშ} = \frac{l}{t}$;
- სხეულის გადაადგილების საშუალო სიჩქარე დროის რაიმე t შუალედში ეწოდება ამ შუალედში შესრულებული $\vec{s}$ გადაადგილების შეფარდებას t დროსთან: $\vec{v}_{საშ} = \frac{\vec{s}}{t}$;
- სხეულის სიჩქარეს დროის მოცემულ მომენტში ან ტრაექტორიის მოცემულ წერტილში მყისიერი სიჩქარე ეწოდება;

- მყისიერი სიჩქარე, ანუ სიჩქარე ტრაექტორიის მოცემულ წერტილში ან დროის მოცემულ მომენტში, ტოლია ამ წერტილის მომცველ მცირე უბანზე დროის მცირე შუალედში შესრულებული გადაადგილების საშუალო სიჩქარისა: $\vec{v}=\frac{\vec{s}}{t}\ (t \to 0)$;
- მყისიერი სიჩქარე ვექტორული სიდიდეა, მისი მიმართულება მოცემულ წერტილში ემთხვევა ამ წერტილში ტრაექტორიისადმი გავლებული მხების მიმართულებას.

საკონტროლო კითხვები:

1. რიცხობრივად, რისი ტოლია გავლილი მანძილის საშუალო სიჩქარე?
2. წრფეზე არათანაბარი მოძრაობისას იცვლება თუ არა მყისიერი სიჩქარე?
3. მრუდ წირზე მუდმივი მოდულის სიჩქარით მოძრაობისას იცვლება თუ არა მყისიერი სიჩქარე?
4. როგორი მოძრაობისას არის ტრაექტორიის ყველა წერტილში მყისიერი სიჩქარე ერთნაირი?

ერთად ამოვხსნათ ამოცანა

სპორტულმა ავტომობილმა წრფივი გზის პირველ უბანზე იმოძრავა თანაბარი 10 მ/წმ სიჩქარით 30 წმ-ის განმავლობაში. მეორე 500 მ სიგრძის უბანი 20 წმ-ში დაფარა, ხოლო მესამე 400 მ სიგრძის უბანზე მოძრაობდა მუდმივი 40 მ/წმ სიჩქარით. განსაზღვრეთ ავტომობილის გავლილი მანძილის საშუალო სიჩქარე მთელ გზაზე.

ამოხსნა: ავტომობილის საშუალო სიჩქარე მთელ გზაზე იქნება მთელი გზის სიგრძის შეფარდება ამ გზის გასავლელად საჭირო დროსთან: $v_{საშ}=\frac{s_1+s_2+s_3}{t_1+t_2+t_3}$ (1). ამოცანის პირობიდან ჩანს, რომ საშუალო სიჩქარის გამოსათვლელ ფორმულაში არ ვიცით მხოლოდ S_1 და t_3. გამოვთვალოთ ისინი: $S_1=v_1t_1=300$ (მ); $t_3=\frac{s_3}{v_3}=10$ (წმ). მიღებული შედეგების პირველ ფორმულაში შეტანით მივიღებთ: $V_{საშ}=20$ მ/წმ.

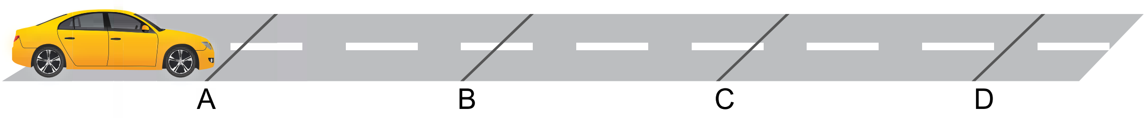
პასუხი: ავტომობილის გავლილი მანძილის საშუალო სიჩქარე მთელ გზაზე 20 მ/წმ-ია.

ამოხსენით ამოცანები:

1. ერთსა და იმავე დროში თათიამ სარბენ ბილიკს 8-ჯერ შემოურბინა, გვანცამ კი – 7-ჯერ. რომლის გავლილი მანძილის საშუალო სიჩქარეა მეტი და რამდენჯერ?
2. ავტომობილმა გზის პირველი 400 მ 20 წამში გაიარა. მომდევნო 1 კმ კი – 2 წუთში. განსაზღვრეთ ავტომობილის გავლილი მანძილის საშუალო სიჩქარე ამ მოძრაობისას.
3. მოტოციკლი პირველი 10 წუთის განმავლობაში მოძრაობდა მუდმივი 30 მ/წმ სიჩქარით, მომდევნო 20 წუთის განმავლობაში კი – 7,5 მ/წმ-ით. რისი ტოლია მოტოციკლის გავლილი მანძილის საშუალო სიჩქარე მთელ გზაზე?
4. საქალაქთაშორისო ავტობუსმა გზის პირველი 1,5 კმ გაიარა თანაბრად 25 მ/წმ სიჩქარით, მომდევნო 3 კმ კი – 15 მ/წმ-ით. განსაზღვრეთ ავტობუსის გავლილი მანძილის საშუალო სიჩქარე მთელ გზაზე.

5. ავტომობილმა გზის პირველი 400 მ თანაბრად იმოძრავა 10 მ/წმ სიჩქარით, მომდევნო 1,2 კმ კი 40 წამში დაფარა. განსაზღვრეთ ავტომობილის გავლილი მანძილის საშუალო სიჩქარე ამ მოძრაობისას.

6. გზის წრფივი უბანი დაყოფილია 3 ტოლ ნაწილად (სურ. 1.69). AB = BC = CD = 1 კმ. ავტომობილმა AB უბანი გაიარა 72 კმ/სთ მუდმივი სიჩქარით, ხოლო BD უბანი – 36 კმ/სთ სიჩქარით. რომელ უბანზე იქნება გავლილი მანძილის საშუალო სიჩქარე მეტი, AC-ზე თუ AD-ზე?



სურ. 1.69

7. მატარებელი გვირაბიდან გამოსვლის შემდეგ 20 წთ-ის განმავლობაში მოძრაობდა მუდმივი 60 კმ/სთ სიჩქარით, მომდევნო 40 წთ-ის განმავლობაში კი – მუდმივი 30 კმ/სთ-ით. შეადარეთ ერთმანეთს მატარებლის საშუალო სიჩქარე გვირაბიდან გამოსვლის შემდეგ 1 საათში და გვირაბიდან გამოსვლის შემდეგ 40 წთ-ში.

8. კატერმა მდინარის დინების მიმართულებით და მის საპირისპიროდ მოძრაობისას ნაპირის მიმართ ერთი და იგივე მანძილი გაიარა. ამ მოძრაობისას კატერის გავლილი მანძილის საშუალო სიჩქარე დედამიწის მიმართ 9 მ/წმ-ია. რისი ტოლია მდინარის დინების სიჩქარე, თუ კატერის საკუთარი სიჩქარე მდინარისას 2-ჯერ აღემატება.

9. ავტობანზე 22 კმ-ით დაშორებულ A და B წერტილებში დაყენებულია სათვალთვალო ვიდეოკამერა. დასაშვები მაქსიმალური სიჩქარე ავტობანზე 110 კმ/სთ-ის ტოლია. თითოეულ ვიდეოკამერასთან ჩავლისას მისი სიჩქარე 110 კმ/სთ-ის ტოლი იყო. გადააჭარბა თუ არა მძღოლმა დასაშვებ მაქსიმალურ სიჩქარეს გზის AB მონაკვეთზე მოძრაობისას, თუ მან კამერებს შორის მანძილი 10 წუთში დაფარა?

10. არათანაბარი მოძრაობისას მატარებელმა 1 სთ-ში 80 კმ მანძილი გაიარა. ცნობილია, რომ ამ დროის მონაკვეთში მატარებელი ერთ-ერთ სადგურზე 3 წთ-ით იყო გაჩერებული. იქნებოდა თუ არა დროის ამ 1 საათიან შუალედში მატარებლის სიჩქარე რომელიმე მომენტში 80 კმ/სთ-ზე მეტი?

საშინაო ცდა

ცდის მიზანი: დღის გარკვეულ შუალედში საკუთარი საშუალო სიჩქარის განსაზღვრა.

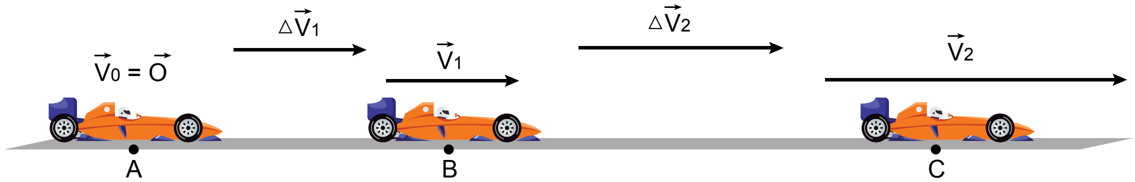
ცდისთვის საჭიროა: მობილური ტელეფონი ინტერნეტთან წვდომით.

ცდის აღწერა: მობილურ ტელეფონში („სმარტფონში“) ჩამოტვირთეთ გავლილი მანძილის მზომი აპლიკაცია (მოძებნეთ შემდეგი ბმულიდან shorturl.at/hlrDM, https://tinyurl.com/4xfby3k9) გაააქტიურეთ აპლიკაცია და ტელეფონი ატარეთ ჯიბით გაკვეთილების დამთავრების შემდეგ გარკვეული დროის განმავლობაში. აპლიკაციის საშუალებით განსაზღვრეთ თქვენ მიერ გავლილი მანძილის საშუალო სიჩქარე დღის აღნიშნულ შუალედში და შეადარეთ თქვენი კლასელების საშუალო სიჩქარეებს. დაგეგმეთ ასეთივე ცდა მეგობართან ერთად. მოძრაობა დაიწყეთ ერთდროულად და იარეთ ერთსა და იმავე ტრაექტორიაზე. შეეცადეთ ერთ-ერთმა იმოძრაოთ თანაბრად, მეორემ – ჯერ უფრო სწრაფად, შემდეგ – ნელა. ბოლოს, როდესაც ერთად აღმოჩნდებით, შეადარეთ თქვენი საშუალო სიჩქარეები ერთმანეთს. მოიძიეთ ინფორმაცია „ჯანმრთელი ცხოვრების წესის“ შესახებ და ნახეთ, ემთხვევა თუ არა თქვენ მიერ დღის განმავლობაში გავლილი მანძილი (საშუალოდ) რეკომენდებულ გასავლელ მანძილს.

§1.9 აჩქარება. თანაბარაჩქარებული მოძრაობა

თვითმფრინავის სტარტისას მისი სიჩქარე დროის ძალიან მცირე შუალედში მკვეთრად იზრდება, რასაც მგზავრი ცხადად შეიგრძნობს. ჩვეულებრივ, სიჩქარის ზრდას თითქმის ვერ ვგრძნობთ ავტობუსის დაძვრისას, რადგან მისი სიჩქარე ნელა იზრდება. საზოგადოდ, მნიშვნელოვანია ვიცოდეთ არა მარტო რამდენით იცვლება სიჩქარე, არამედ რამდენად სწრაფად იცვლება ის.

მაგალითისათვის, განვიხილოთ ფორმულა 1-ის ბოლიდის მოძრაობა სტარტის დროს (სურ. 1.70). იგი მოძრაობას იწყებს A წერტილიდან და 2 წამის შემდეგ B წერტილში მისი სიჩქარე დაახლოებით 30 მ/წმ-ია, ხოლო კიდევ 8 წამის შემდეგ C წერტილში – 78 მ/წმ. აღვნიშნოთ ბოლიდის სიჩქარე A წერტილში $\vec{v}_0$-ით, B წერტილში – $\vec{v}_1$-ით, C წერტილშიკი – $\vec{v}_2$-ით.



სურ. 1.70

AB უბანზე სიჩქარის მოდულის ცვლილება ტოლია $\Delta v_1 = v_1 - v_0 = 30 - 0 = 30$ (მ/წმ). BC უბანზე კი სიჩქარის მოდული შეიცვალა $\Delta v_2 = v_2 - v_1 = 78 - 30 = 48$ (მ/წმ-ით). როგორც ვხედავთ, მეორე უბანზე სიჩქარის მოდულის ცვლილება მეტია, ვიდრე პირველზე. მაგრამ რომელ უბანზე გაიზარდა სიჩქარე უფრო სწრაფად?

იმისათვის, რომ ამ კითხვას ვუპასუხოთ, საჭიროა სიჩქარის ცვლილება გავყოთ დროის იმ შუალედზე, რომელშიც ეს ცვლილება მოხდა. AB უბნისათვის მივიღებთ, რომ სიჩქარე ერთ წამში საშუალოდ 15 მ/წმ-ით იზრდებოდა, ხოლო BC უბანზე – 6 მ/წმ-ით. ე.ი. პირველ უბანზე სიჩქარის ცვლილების სისწრაფე უფრო მეტია, ვიდრე – მეორეზე.

სიჩქარის ცვლილების სისწრაფეს ახასიათებენ ფიზიკური სიდიდით, რომელსაც აჩქარებას უწოდებენ და აღნიშნავენ a-ასოთი.

ფიზიკურ სიდიდეს, რომელიც ტოლია სიჩქარის ცვლილების შეფარდებისა დროის იმ შუალედთან, რა დროშიც ეს ცვლილება მოხდა, საშუალო აჩქარება ეწოდება.

$$\vec{a}_{\text{საშ}} = \frac{\Delta\vec{v}}{t}. \qquad (1)$$

ვინაიდან სიჩქარე და მისი ცვლილებაც ვექტორული სიდიდეა, ცხადია, აჩქარებაც ვექტორული სიდიდეა.

როგორც ვიცით, t დადებითი სკალარული სიდიდეა, ამიტომ აჩქარებას სიჩქარის ცვლილების მიმართულება აქვს. ამგვარად, გამოთვლილი აჩქარება გვიჩვენებს საშუალოდ რამდენით იცვლება სიჩქარე დროის ერთეულში.

ზემოთ მოყვანილ მაგალითში ბოლიდის აჩქარება იცვლება. ეს ნიშნავს, რომ აჩქარება ტრაექტორიის სხვადასხვა წერტილში და დროის სხვადასხვა მომენტში (მყისიერი აჩქარება) შეიძლება განსხვავებული იყოს.

მყისიერი აჩქარება იმავე მეთოდით შეიძლება განვსაზღვროთ, როგორც განვსაზღვრეთ მყისიერი სიჩქარე. კერძოდ, მყისიერი აჩქარება ტრაექტორიის მოცემულ წერტილში ტოლია ამ წერტილის მომცველ მცირე უბანზე დროის ძალიან მცირე შუალედში სხეულის საშუალო აჩქარებისა:

$$\vec{a} = \frac{\Delta\vec{v}}{t}\ (t \to 0)$$

როგორ არის მიმართული მყისიერი აჩქარება იმავე მომენტში მყისიერი სიჩქარის მიმართ?

ფორმულა 1-ის ბოლიდის სტარტის დროს სიჩქარის მოდული იზრდება, ამიტომ აჩქარება მიმართულია მოძრაობის მიმართულებით. ფინიშთან ბოლიდი ამუხრუჭებს, სიჩქარის მოდული მცირდება, ამიტომ აჩქარება მიმართულია მოძრაობის საწინააღმდეგოდ.

აჩქარების მიმართულებას მრუდწირული მოძრაობისას განვიხილავთ შემდეგ პარაგრაფებში.

აჩქარებული მოძრაობა შეიძლება დავყოთ ორ სახეობად: მოძრაობად მუდმივი აჩქარებით, რომლის მიმართულება და მოდული დროის განმავლობაში არ იცვლება და მოძრაობად ცვალებადი აჩქარებით, რომელიც დროის განმავლობაში იცვლება.

არათანაბარი მოძრაობებიდან ყველაზე მარტივია ისეთი მოძრაობა, როდესაც აჩქარება არ იცვლება. მას **თანაბარაჩქარებულ მოძრაობას** უწოდებენ. მაგალითად, თუ ასაფრენ ბილიკზე თვითმფრინავი თანაბარაჩქარებულად მოძრაობს და ყოველ 10 წმ-ში მისი სიჩქარე იცვლება 16 მ/წმ-ით, მაშინ ყოველ 5 წმ-ში სიჩქარე შეიცვლება 8 მ/წმ-ით, ყოველ 2,5 წმ-ში – 4 მ/წმ-ით, ყოველ 1 წმ-ში – 1,6 მ/წმ-ით და ა.შ.

მოძრაობას, რომლის დროსაც სხეულის სიჩქარის ცვლილება დროის ნებისმიერ ტოლ შუალედებში ერთნაირია, თანაბარაჩქარებული მოძრაობა ეწოდება.

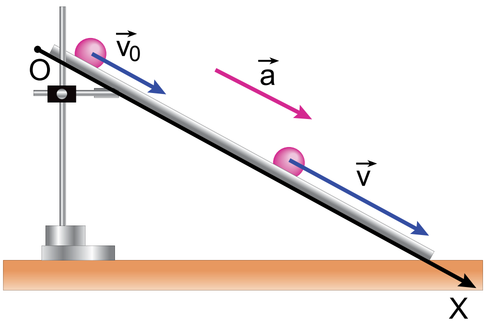
ზემოთ მოყვანილ მაგალითში სიჩქარის ცვლილების შეფარდება დროის შესაბამის შუალედთან (ანუ, აჩქარება) მუდმივი სიდიდეა. მართლაც, $\frac{16}{10} = \frac{8}{5} = \frac{4}{2.5} = 1{,}6(\frac{\text{მ/წმ}}{\text{წმ}})$.

თანაბარაჩქარებულად მოძრავი სხეულის აჩქარება ეწოდება ფიზიკურ სიდიდეს, რომელიც ტოლია დროის ნებისმიერ შუალედში სხეულის სიჩქარის ცვლილების ფარდობისა დროის ამ შუალედთან.

თუ სხეულის სიჩქარეს დროის საწყის მომენტში აღვნიშნავთ $\vec{v}_0$-ით, ხოლო დროის t შუალედის შემდეგ $\vec{v}$-თი, მაშინ განსაზღვრების თანახმად,

$$\vec{a} = \frac{\vec{v} - \vec{v}_0}{t}, \quad \vec{a} = \text{const}. \qquad (2)$$

წრფივი მოძრაობისას $\vec{v}$ და $\vec{v}_0$ ვექტორები მოძრაობის წრფის გასწვრივაა მიმართული, ამიტომ $\vec{a}$ აჩქარებაც ამავე წრფის გასწვრივ იქნება მიმართული.

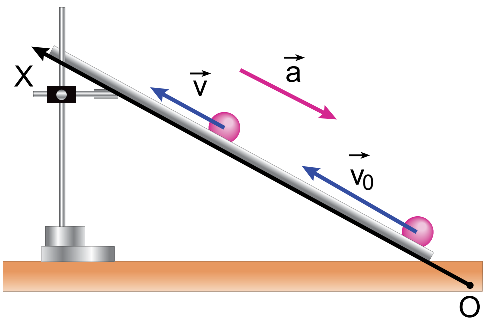


სურ. 1.71

განვიხილოთ ბურთულის მოძრაობა დახრილ ღარში (სურ. 1.71). ცდები გვიჩვენებს, რომ ეს მოძრაობა თანაბარაჩქარებულია. თუ (2) ტოლობაში შემავალ ვექტორულ სიდიდეებს დავაგეგმილებთ ღარის გასწვრივ ქვევით მიმართულ OX ღერძზე, მივიღებთ:

$$a_x = \frac{v_x - v_{0x}}{t}.$$

რადგან SI-ში სიჩქარის ერთეულია 1 მ/წმ, ხოლო დროისა – 1 წმ, ამიტომ აჩქარების ერთეულია $\frac{1\text{მ/წმ}}{1\text{წმ}} = 1$ მ/წმ^2. ეს ისეთი თანაბარაჩქარებული მოძრაობის აჩქარებაა, რომლის დროსაც სიჩქარე 1 წმ-ში 1 მ/წმ-ით იცვლება.



სურ. 1.72

განხილულ მაგალითში სიჩქარის მოდული იზრდება ($v > v_0$), ამიტომ აჩქარების მიმართულება ბურთულის მოძრაობის მიმართულებას ემთხვევა და $a_x > 0$.

თუ ბურთულას დახრილ ღარში ავაგორებთ (სურ. 1.72), სიჩქარის მოდული დაიკლებს ($v < v_0$), ამიტომ აჩქარების მიმართულება ბურთულის მოძრაობის მიმართულების საწინააღმდეგოა და მისი გეგმილი ღარის გასწვრივ ზევით მიმართულ OX ღერძზე უარყოფითი იქნება: $a_x < 0$.

აჩქარება რიცხობრივად ტოლია სიჩქარის ცვლილებისა დროის ერთეულში. მაგალითად, თუ სხეულის აჩქარება 7 მ/წმ^2-ია, ეს ნიშნავს, რომ მისი სიჩქარე ყოველ 1 წმ-ში 7 მ/წმ-ით იცვლება.

თუ ვიცით თანაბარაჩქარებული მოძრაობის აჩქარება და საწყისი სიჩქარე, მაშინ შეგვიძლია ვიპოვოთ სხეულის სიჩქარე დროის ნებისმიერ მომენტში.

დასკვნები:

- აჩქარება ფიზიკური სიდიდეა, რომელიც ახასიათებს სიჩქარის ცვლილების სისწრაფეს;
- აჩქარება ტოლია სიჩქარის ცვლილების შეფარდებისა დროის იმ შუალედთან, რა დროშიც ეს ცვლილება მოხდა;
- სხეულის მოძრაობას, როდესაც მისი სიჩქარე დროის ნებისმიერ ტოლ შუალედებში ერთნაირად იცვლება, თანაბარაჩქარებული მოძრაობა ეწოდება;
- თანაბარაჩქარებულად მოძრავი სხეულის აჩქარება ეწოდება ფიზიკურ სიდიდეს, რომელიც ტოლია დროის ნებისმიერ შუალედში სხეულის სიჩქარის ცვლილების ფარდობისა დროის ამ შუალედთან: $\vec{a} = \frac{\vec{v} - \vec{v}_0}{t}$;
- თანაბარაჩქარებული მოძრაობისას აჩქარება მუდმივი სიდიდეა;
- აჩქარება ვექტორული სიდიდეა და მისი მიმართულება ემთხვევა სიჩქარის ვექტორის ცვლილების მიმართულებას (($\vec{v} - \vec{v}_0$)-ის მიმართულებას);
- SI-ში აჩქარების ერთეულია 1 მ/წმ^2 ;
- აჩქარება რიცხობრივად ტოლია სიჩქარის ცვლილებისა დროის ერთეულში;
- წრფივი მოძრაობისას, თუ სხეულის სიჩქარე იზრდება, აჩქარების მიმართულება მოძრაობის მიმართულებას ემთხვევა;
- წრფივი მოძრაობისას, თუ სხეულის სიჩქარე მცირდება, აჩქარების მიმართულება მოძრაობის მიმართულების საპირისპიროა.

საკონტროლო კითხვები:

1. რა განსხვავებაა სხეულის სიჩქარის ცვლილებასა და სიჩქარის ცვლილების სისწრაფეს შორის?
2. რა განსხვავებაა აჩქარებულ და თანაბარაჩქარებულ მოძრაობას შორის?
3. რატომაა აჩქარება ვექტორული სიდიდე?
4. წრფივი მოძრაობისას, როცა სხეულის აჩქარებას მოძრაობის მიმართულება აქვს, როგორ იცვლება მისი სიჩქარე?
5. წრფივი მოძრაობისას, როცა სხეულის აჩქარებას მოძრაობის საპირისპირო მიმართულება აქვს, როგორ იცვლება მისი სიჩქარე?
6. რას ნიშნავს, რომ სხეულის აჩქარება 3 მ/წმ^2-ია?
7. რას ეწოდება მყისიერი აჩქარება?

ამოხსენით ამოცანები:

1. ორი მოსწავლე მსჯელობს წრფივ გზაზე მოძრავი სხეულის აჩქარების მიმართულებაზე. პირველი ამბობს: – მნიშვნელობა არ აქვს სხეულის სიჩქარე იზრდება თუ მცირდება. რა მიმართულებაც აქვს სხეულის სიჩქარეს, იგივე მიმართულება აქვს აჩქარებას. მეორე პასუხობს: – სხეულის აჩქარების მიმართულება დამოკიდებულია იმაზე, თუ რა მიმართულება აქვს სხეულის სიჩქარის ცვლილებას. რომელი მათგანის მსჯელობაა სწორი? პასუხი დაასაბუთეთ.

2. მატარებელი სადგურიდან ჩრდილოეთის მიმართულებით დაიძრა. რა მიმართულება აქვა მატარებლის აჩქარებას?

3. სადგურზე სამხრეთ მიმართულებიდან შემოსული მატარებელი გაჩერდა. რა მიმართულება ჰქოდა მატარებლის აჩქარებას დამუხრუჭების დროს?

4. თუ წინააღმდეგობის ძალებს არ გავითვალისწინებთ, ვერტიკალურად 5 მ/წმ სიჩქარით ასროლილი ბურთულა ასროლის წერტილს იმავე მოდულის სიჩქარით დაუბრუნდება. რისი ტოლია ამ დროს ამ მოძრაობისას სიჩქარის ცვლილების მოდული?

5. ორი მატარებელი ერთი მიმართულებით მოძრაობს პარალელურ რელსებზე. პირველის სიჩქარე იზრდება, მეორესი კი – მცირდება. შესაძლებელია თუ არა, რომ რაიმე დროში მათი სიჩქარის ცვლილების მოდულები ერთნაირი იყოს? მათი სიჩქარის ცვლილების მიმართულებები?

6. წრფივ გზაზე ერთი მიმართულებით მოძრავი ავტომობილის სიჩქარის მოდული პირველ 4 წმ-ში 5 მ/წმ-ით გაიზარდა, მომდევნო 4 წმ-შიც – 5 მ/წმ-ით და ა.შ. არის თუ არა ეს პირობა საკმარისი იმისათვის, რომ ასეთ მოძრაობას თანაბარაჩქარებული ვუწოდოთ?

7. X ღერძის მიმართულებით თანაბარაჩქარებულად მოძრავი მოტოციკლის სიჩქარე 10 წამში 20 მ/წმ-ით გაიზარდა. რისი ტოლია მოტოციკლის აჩქარების გეგმილი ამ ღერძზე?

8. რა დროში შეიცვლება თანაბარაჩქარებულად მოძრავი სპორტული ავტომობილის სიჩქარე 36 კმ/სთ-ით, თუ მისი აჩქარების მოდული 5 მ/წმ^2-ია?

9. ადგილიდან დაძრული სპორტული ავტომობილის სიჩქარის მოდული 3 წამში 50 კმ/სთ გახდა, კიდევ 3 წამის შემდეგ კი – 110 კმ/სთ. პირველ 3 წამში უფრო მეტია ავტომობილის საშუალო აჩქარება, თუ მეორე 3 წამში?

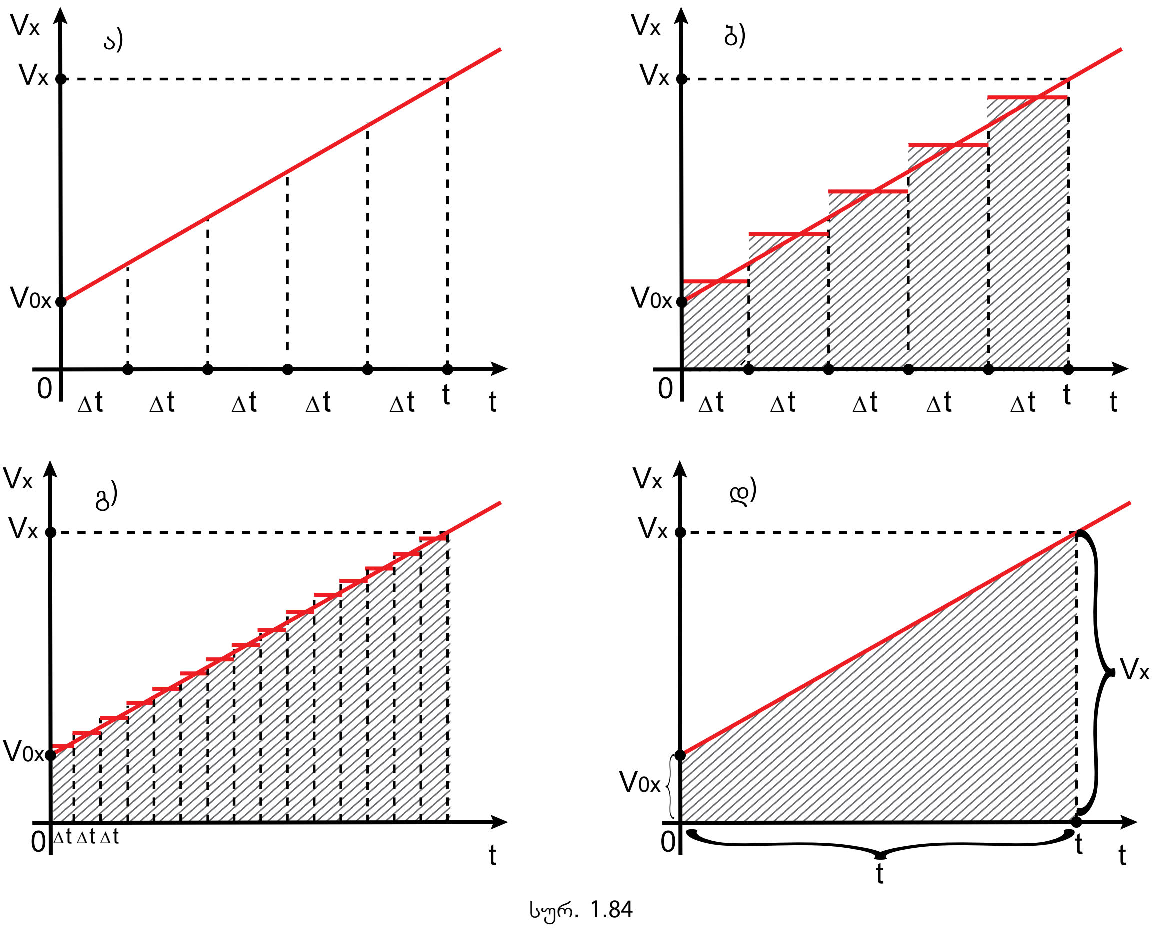
10. გზატკეცილზე მოძრავი მსუბუქი ავტომობილის საშუალო აჩქარება საწყისი მომენტიდან პირველ 5 წამში იგივეა, რაც მომდევნი 5 წამში. არის თუ არა ეს პირობა საკმარისი იმისათვის, რომ მოძრაობა თანაბარაჩქარებულად მივიჩნიოთ?

§ 1. 10 თანაბარაჩქარებული მოძრაობის სიჩქარე. სიჩქარისა და აჩქარების გრაფიკები

§ 1.11. გადაადგილება თანაბარაჩქარებული მოძრაობის დროს

თქვენ უკვე იცით, რომ სხეულის x კოორდინატი საწყისი x_0 კოორდინატითა და გადაადგილების s_x გეგმილით გამოისახება ფორმულით: $x = x_0 + s_x$. ამიტომ თანაბარაჩქარებული მოძრაობისას მექანიკის ძირითადი ამოცანის ამოსახსნელად საჭიროა დავადგინოთ, როგორ არის დამოკიდებული სხეულის გადაადგილების გეგმილი დროზე.

ვთქვათ, სხეული მოძრაობს თანაბარაჩქარებულად და მისი აჩქარების გეგმილი მოძრაობის გასწვრივ არჩეულ X ღერძზე არის a_x, საწყისი სიჩქარისა – v_{0x}, ხოლო სიჩქარის გეგმილი t დროის შემდეგ – v_x. როგორც წინა პარაგრაფიდან იცით, სიჩქარის გეგმილი დროზე წრფივადაა დამოკიდებული: $v_x = v_{0x} + a_x \cdot t$. სურ.1.84 ამ დამოკიდებულების გრაფიკია მოცემული.



სურ. 1.84

მოძრაობის მთელი t დრო დავყოთ იმდენად მცირე Δt ინტერვალებად (სურ 1.84 ა), რომელთა განმავლობაშიც სიჩქარის ცვლილება შეგვიძლია არ გავითვალისწინოთ და მოძრაობა მივიჩნიოთ თანაბრად. მაშინ დროის ყოველ ასეთ ინტერვალში შესრულებული გადაადგილება რიცხობრივად სიჩქარის გრაფიკითა და დროის ღერძით შემოსაზღვრული მარკუთხედის ფართობის ტოლი იქნება (გაიხსენეთ წრფივი თანაბარი მოძრაობისას გადაადგილების გეომეტრიული აზრი – პარ.6). ამ წარმოსახვითი მოძრაობისას t დროში შესრულებული გადაადგილება რიცხობრივად ტოლი იქნება Δt სიგანის მართკუთხედების ფართობების ჯამისა (სურ. 1.84 ბ). თუ შევამცირებთ დროის Δt ინტერვალს, გადაადგილება რიცხობრივად მაინც საფეხურებიანი ფიგურის ფართობის ტოლი იქნება, მაგრამ თვითონ ფიგურა თანდათან ტრაპეციის ფორმას მიიღებს (სურ. 1.84 გ). დროის ინტერვალების უსასრულოდ შემცირების შედეგად ($\Delta t \to 0$) საფეხურებიანი ფიგურა გადაიქცე-

ვა ტრაპეციად, ხოლო გადაადგილება რიცხობრივად ამ ტრაპეციის ფართობს გაუტოლდება (სურ. 1.84 დ).

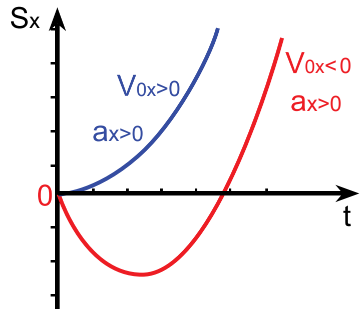
მიღებული მართკუთხა ტრაპეციის ფუძეებია v_{0x} და v_x, ხოლო სიმაღლე – t, ამიტომ

$$s_x = \frac{v_{0x} + v_x}{2} t. \qquad (1)$$

თუ გავითვალისწინებთ, რომ $v_x = v_{0x} + a_x t$, მაშინ (1) ფორმულიდან მივიღებთ:

$$s_x = v_{0x} t + \frac{a_x t^2}{2}. \qquad (2)$$

თანაბარაჩქარებული მოძრაობისას სხეულის საწყისი სიჩქარე და აჩქარება მუდმივი სიდიდეებია, ამიტომ გადაადგილების გეგმილის დროზე დამოკიდებულება კვადრატულია, ხოლო ამ დამოკიდებულების გრაფიკი პარაბოლის ნაწილია (პარაბოლას წვერო სხეულის მოძრაობის მიმართულების შეცვლის წერტილს შეესაბამება) (სურ. 1.85 ა).



სურ. 1.85 ა

X ღერძი საპირისპიროდ რომ ყოფილიყო მიმართული, მაშინ პარაბოლის შტოები მიმართული იქნებოდა ქვევით.

ზემოთმოყვანილი ორი ფორმულის გარდა, გადაადგილების გეგმილი შეიძლება სხვაგვარადაც ჩავწეროთ. ამისათვის (1) ფორმულაში ჩავსვათ t-ს მნიშვნელობა აჩქარების ფორმულიდან – $t = \frac{v_x - v_{0x}}{a_x}$. მივიღებთ:

$$s_x = \frac{v_x^2 - v_{0x}^2}{2a_x}. \qquad (3)$$

ყველა მიღებული ფორმულა დაწერილია გადაადგილების გეგმილებისათვის. ჩავწეროთ ეს ფორმულები ორი კერძო შემთხვევისათვის:

1. სხეული მოძრაობს X ღერძის მიმართულებით და მისი სიჩქარის მოდული იზრდება ($v > v_0$). $v_{0x} = v_0$, $a_x = a$, $v_x = v$, $s_x = s$, ამიტომ გადაადგილების მოდული გამოითვლება ფორმულებით:

$$s = \frac{v_0 + v}{2} t \quad (1'); \qquad s = v_0 t + \frac{at^2}{2} \quad (2'); \qquad s = \frac{v^2 - v_0^2}{2a} \quad (3').$$

2. სხეული მოძრაობს X ღერძის მიმართულებით, მაგრამ მისი სიჩქარის მოდული მცირდება ($v < v_0$) $v_{0x} = v_0$, $a_x = -a$, $v_x = v$, $s_x = s$, ამიტომ გადაადგილების მოდული გამოითვლება ფორმულებით:

$$s = \frac{v_0 + v}{2} t \quad (1''); \qquad s = v_0 t - \frac{at^2}{2} \quad (2''); \qquad s = \frac{v_0^2 - v^2}{2a} \quad (3'').$$

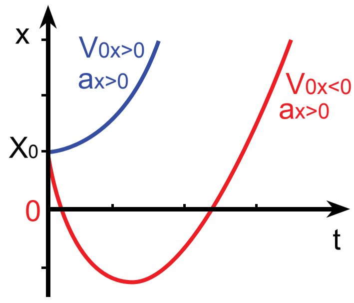
გადაადგილების გეგმილის დროზე დამოკიდებულების (2) ფორმულის გამოყენებით შეგვიძლია ჩავწეროთ კოორდინატის დროზე დამოკიდებულების ფორმულაც:

$$x = x_0 + v_{0x} t + \frac{a_x t^2}{2}. \qquad (4)$$

მისი საშუალებით შეგვიძლია ამოვხსნათ მექანიკის ძირითადი ამოცანა თანაბარაჩქარებული მოძრაობისას.

როგორც მე-4 ფორმულიდან ჩანს, თანაბარაჩქარებული მოძრაობისას კოორდინატი დროის კვადრატული ფუნქციაა, ამიტომ x(t) გრაფიკი პარაბოლას ნაწილს წარმოადგენს (სურ. 1.85 ბ).

X ღერძი საპირისპიროდ რომ ყოფილიყო მიმართული, მაშინ პარაბოლის შტოები მიმართული იქნებოდა ქვევით.



სურ. 1.85 ბ

როგორ გამოვთვალოთ საშუალო სიჩქარე თანაბარაჩქარებული მოძრაობის დროს? გაიხსენეთ, რომ არათანაბარი მოძრაობის საშუალო სიჩქარე გამოითვლება ფორმულით:

$$v_{საშx} = \frac{s_x}{t}.$$

შევიტანოთ მასში s_x-ის მნიშვნელობა (1) ფორმულიდან. მივიღებთ:

$$v_{საშx} = \frac{v_{0x} + v_x}{2}.$$

ამრიგად, **თანაბარაჩქარებული მოძრაობისას გადაადგილების საშუალო სიჩქარე საწყისი და საბოლოო სიჩქარეების საშუალო არითმეტიკულის ტოლია.**

დასკვნები:

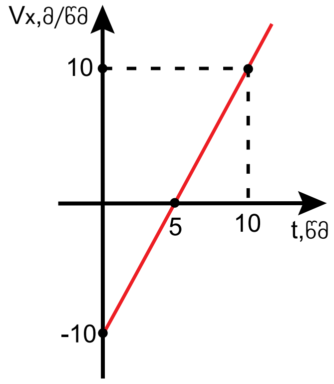
- თანაბარაჩქარებული მოძრაობის გადაადგილების გეგმილი რიცხობრივად სიჩქარის გეგმილის გრაფიკით და დროის ღერძით შემოსაზღვრული ტრაპეციის ფართობის ტოლია;
- თანაბარაჩქარებული მოძრაობისას შესრულებული გადაადგილების გეგმილი შემდეგი ფორმულებით გამოითვლება:
  $s_x = \frac{v_{0x} + v_x}{2} t;$ $s_x = v_{0x}t + \frac{a_x t^2}{2};$ $s_x = \frac{v_x^2 - v_{0x}^2}{2a_x};$
- როდესაც წრფივი თანაბარაჩქარებული მოძრაობის სიჩქარის მოდული ზრდადია, მაშინ გადაადგილების მოდული ტოლია: $s = \frac{v_0 + v}{2} t;$ $s = v_0 t + \frac{at^2}{2};$ $s = \frac{v^2 - v_0^2}{2a};$
- როდესაც წრფივი თანაბარაჩქარებული მოძრაობის სიჩქარის მოდული კლებადია, მაშინ გადაადგილების მოდული ტოლია:
  $s = \frac{v_0 + v}{2} t;$ $s = v_0 t - \frac{at^2}{2};$ $s = \frac{v_0^2 - v^2}{2a}.$
- თანაბარაჩქარებული მოძრაობისას სხეულის კოორდინატის დროზე დამოკიდებულებას შემდეგი სახე აქვს: $x = x_0 + v_{0x}t + \frac{a_x t^2}{2};$
- თანაბარაჩქარებული მოძრაობისას გადაადგილების საშუალო სიჩქარე საწყისი და საბოლოო სიჩქარეების საშუალო არითმეტიკულის ტოლია: $v_{საშx} = \frac{v_{0x} + v_x}{2}.$

საკონტროლო კითხვები:

1. რატომ ვამცირებთ დროის ინტერვალებს თანაბარაჩქარებული მოძრაობის გადაადგილების გეგმილის გამოთვლისას?
2. რა სახეს მიიღებს წრფივი თანაბარაჩქარებული მოძრაობის გადაადგილების ფორმულები, როდესაც სხეულის საწყისი სიჩქარე ნულის ტოლია?
3. რატომაა წრფივი თანაბარაჩქარებული მოძრაობის გადაადგილების გეგმილისა და კოორდინატის დროზე დამოკიდებულების გრაფიკი პარაბოლა?
4. რას ნიშნავს პარაბოლის წვეროზე მითითებული „შემობრუნების წერტილი“?
5. რა შემთხვევაში იქნება გადაადგილების საშუალო სიჩქარე ნულის ტოლი თანაბარაჩქარებული მოძრაობის დროს?

ერთად ამოვხსნათ ამოცანა

სურ. 1.86 მოცემულია X ღერძზე თანაბარაჩქარებულად მოძრავი სხეულის სიჩქარის გეგმილის დროზე დამოკიდებულების გრაფიკი. სხეულის საწყისი კოორდინატი ნულის ტოლია. განსაზღვრეთ სხეულის აჩქარების გეგმილი და საწყისი მომენტიდან 10 წმ-ში შესრულებული გადაადგილების მოდული. ააგეთ კოორდინატის დროზე დამოკიდებულების გრაფიკი.



სურ. 1.86

ამოხსნა:

გრაფიკიდან ჩანს, რომ სხეულის სიჩქარის გეგმილი 5 წმ-ში -10მ/წმ-დან 0-მდე გაიზარდა, ამიტომ აჩქარების გეგმილი იქნება $\frac{(0-(-10))}{5} = \frac{10}{5} = 2(\frac{მ}{წმ^2})$. პირველ 5 წმ-ში გადაადგილების გეგმილის საპოვნელად გამოვთვალოთ გრაფიკზე t ღერძის ქვევით არსებული მართკუთხა სამკუთხედის ფართობი. იგი რიცხობრივად დროის ამ შუალედში შესრულებული გადაადგილების მოდულის ტოლი იქნება. ვინაიდან დროის ამ შუალედში სიჩქარის გეგმილი უარყოფითია, გადაადგილების გეგმილიც უარყოფითი იქნება:

$s_{1x} = \frac{-10 \cdot 5}{2} = -25$(მ). (t=5 წმ მომენტში სხეულის სიჩქარის გეგმილი ნულის ტოლი ხდება. ამის შემდეგ სხეული ბრუნდება და თანაბარაჩქარებულ მოძრაობას იწყებს X ღერძის გასწვრივ, ღერძის მიმართულებით). დროის [5 ÷10] წმ შუალედში შესრულებული გადაადგილების გეგმილის საპოვნელად გამოვთვალოთ t ღერძის ზემოთ არსებული მართკუთხა სამკუთხედის ფართობი. $s_{2x} = \frac{10 \cdot 5}{2} = 25$ (მ). მივიღეთ, რომ საწყისი მომენტიდან 10 წამში სხეულის გადაადგილების გეგმილი არის -25+25=0 (მ).

თანაბარაჩქარებული მოძრაობის დროს კოორდინატის დროზე დამოკიდებულების გრაფიკი პარაბოლაა.

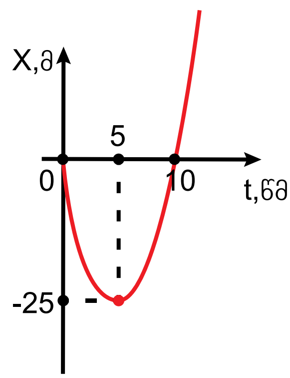
ვინაიდან საწყისი კოორდინატი ნულის ტოლია, 5 წმ-ის მომენტში კოორდინატი -25 მ-ია, ხოლო 10 წმ-ის მომენტში – 0 მ, პარაბოლას ექნება სურ. 1.87 ნაჩვენები სახე.

პასუხი: სხეულის აჩქარების გეგმილია 2 მ/წმ^2; საწყისი მომენტიდან 10 წამში შესრულებული გადაადგილება ნულის ტოლია; x(t) დამოკიდებულების გრაფიკი პარაბოლაა.

ამოხსენით ამოცანები:

1. წრფივ გზაზე ერთი მიმართულებით თანაბარაჩქარებულად მოძრავი სხეულის სიჩქარის მოდული 10 წმ-ში 5 მ/წმ-დან 15 მ/წმ-მდე გაიზარდა. რისი ტოლია სხეულის გადაადგილების მოდული დროის ამ შუალედში?

2. თანაბარაჩქარებულად მოძრავი ავტომობილის კოორდინატის დროზე დამოკიდებულებას აქვს შემდეგი სახე: $x=100+5t+t^2$, რომელშიც დრო იზომება წამებში, ხოლო კოორდინატი – მეტრებში. რისი ტოლია ავტომობილის საწყისი კოორდინატი? საწყისი სიჩქარისა და აჩქარების გეგმილები?



სურ. 1.87

3. ადგილიდან დაძრულმა სპორტულმა ავტომობილმა 5 წმ-ში 100 მეტრი გაიარა. განსაზღვრეთ ავტომობილის აჩქარების მოდული, თუ ის თანაბარაჩქარებულად მოძრაობდა.

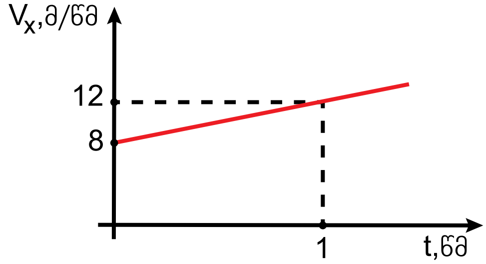
4. 72 კმ/სთ სიჩქარით მიმავალმა ავტობუსმა დაიწყო დამუხრუჭება მუდმივი აჩქარებით და გაჩერებამდე 120 მ გაიარა. რისი ტოლია ავტობუსის აჩქარების მოდული და დროის შუალედი, რომლის განმავლობაშიც ის გაჩერდა?

5. 36 კმ/სთ სიჩქარით მიმავალმა მოტოციკლმა დაიწყო თანაბარაჩქარებულად მოძრაობა და 200 მ-ის გავლის შემდეგ მისმა სიჩქარემ 108 კმ/სთ-ს მიაღწია. რისი ტოლია მოტოციკლის აჩქარების მოდული და დრო, რომლის განმავლობაშიც სიჩქარის ეს ცვლილება მოხდა?

6. თანაბარაჩქარებულად მოძრავი ავტობუსის მიერ შესრულებული გადაადგილების გეგმილი საწყისი მომენტიდან 2 წამის შემდეგ 24 მ-ია, ხოლო საწყისი მომენტიდან 5 წამის შემდეგ – 75 მ. რისი ტოლია ავტობუსის აჩქარებისა და საწყისი სიჩქარის გეგმილები?

7. თანაბარაჩქარებულად მოძრავი ნივთიერი წერტილის კოორდინატის დროზე დამოკიდებულების ფორმულას აქვს შემდეგი სახე: $x=150 - 10t + 2t^2$, რომელშიც დრო იზომება წამებში, ხოლო კოორდინატი – მეტრებში. დაწერეთ ამ წერტილის სიჩქარის გეგმილის დროზე დამოკიდებულების ფორმულა და განსაზღვრეთ საწყისი მომენტიდან რა დროში გაჩერდება ნივთიერი წერტილი.

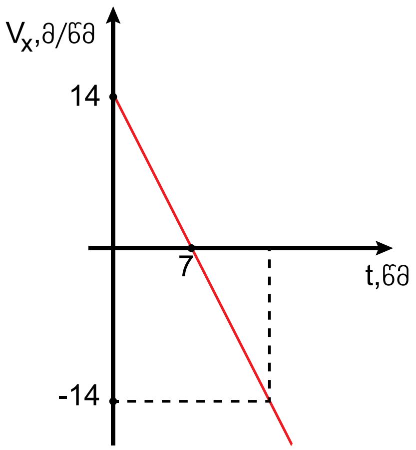
8. სურ. 1.88 მოცემულია თანაბარაჩქარებულად მოძრავი მოტოციკლის სიჩქარის გეგმილის დროზე დამოკიდებულების გრაფიკი. რისი ტოლია მოტოციკლის მიერ შესრულებული გადაადგილების გეგმილი საწყისი მომენტიდან 1 წამში? რისი ტოლია მოტოციკლის აჩქარების მოდული?



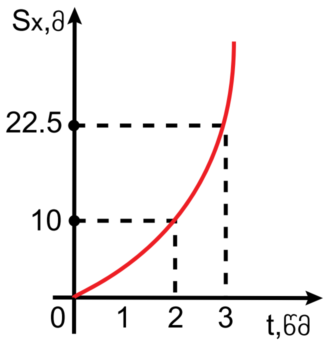
სურ. 1.88

9. სურ. 1.89 მოცემულია თანაბარაჩქარებულად X ღერძის გასწვრივ მოძრავი ავტომობილის სიჩქარის გეგმილის დროზე დამოკიდებულების გრაფიკი. განსაზღვრეთ ავტომობილის მიერ საწყისი მომენტიდან 14 წმ-ში გავლილი მანძილი და იმავე დროში შესრულებული გადაადგილების მოდული.

10. სურ. 1.90 მოცემულია ადგილიდან დაძრული მოტოციკლის გადაადგილების გეგმილის დროზე დამოკიდებულების გრაფიკი. რისი ტოლია მოტოციკლის აჩქარების გეგმილი?



სურ. 1.89

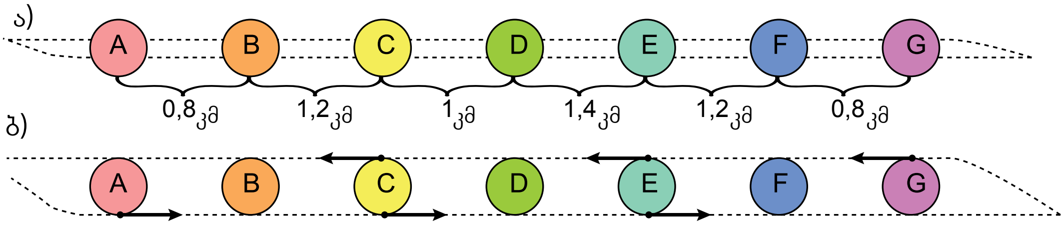


სურ. 1.90

პროექტი: „მეტროს მატარებელი“

საქალაქო სატრანსპორტო საშუალებებიდან ერთ-ერთი ყველაზე სწრაფი და იმავდროულად ეკოლოგიურად სუფთა, მეტროს მატარებელია. მეტროპოლიტენის მარშრუტები რამდენიმე ხაზისგან შედგება. მაგალითად, თბილისის მეტროპოლიტენში 2 ხაზია, რომლებიც ერთი სადგურით უკავშირდება ერთმანეთს (სადგურის მოედანი).

წარმოიდგინეთ, რომ თქვენ უნდა დაამტკიცოთ რომელიმე ქალაქის მეტროპოლიტენის ერთ-ერთ ხაზზე მატარებლების მოძრაობის განრიგის გეგმა. ამ ხაზზე 7 სადგურია, რომელთა პირობითი დასახელებაა A, B, C, D, E, F და G. სადგურებს შორის მანძილები მოცემულია სქემაზე (სურ. 1.91 ა).



სურ. 1.91

სადგურებს შორის გაყვანილია ორი სარკინიგზო გვირაბი, რომლებზეც მატარებლები ურთიერთსაპირისპირო მიმართულებით მოძრაობს. მოცემულ ხაზზე მოძრაობს 6 მატარებელი. ერთ-ერთმა კომპანიამ წარმოგიდგინათ მატარებლების მოძრაობის შემდეგი განრიგი:

- დილით, როდესაც მეტროპოლიტენი მუშაობას იწყებს, მატარებლები განლაგებულია A, C, E და G სადგურებზე და ერთდროულად იწყებენ მოძრაობას სურ. 1.91ბ ნაჩვენები მიმართულებებით.
- ყველა სადგურზე, გარდა A და G სადგურებისა, მგზავრთა ჩასხდომა-ჩამოსვლის მიზნით მატარებელი ჩერდება 30 წამი;
- A და G სადგურზე მატარებელი მგზავრთა ჩამოსმის მიზნით ჩერდება 15 წამი, ხოლო ჩასხდომის მიზნით – 25 წამი;
- A-დან B სადგურამდე, და პირიქით – B-დან A სადგურამდე მანძილს მატარებელი გაივლის 1 წუთსა და 20 წამში;
- დანარჩენ ორ მომდევნო სადგურს შორის მანძილს მატარებელი გაივლის 2 წუთში.
- თითოეული სადგურიდან დაძრული მატარებელი 20 წამი იმოძრავებს თანაბარაჩქარებულად, შემდეგ თანაბრად, ხოლო შემდეგ სადგურთან მისვლამდე, ბოლო 20 წამის განმავლობაში – თანაბარშენელებულად, იმავე მოდულის აჩქარებით.
- A და G სადგურებზე მისული მატარებელი მგზავრთა ჩამოსვლის შემდეგ იწყებს მობრუნებას და 30 წამის შემდეგ პარალელურ ლიანდაგზე მზადაა მგზავრთა მისაღებად.

თქვენი ამოცანაა:

- დაადგინოთ, შეეძლებათ თუ არა მატარებლებს მოცემული განრიგით მოძრაობა, თუ მატარებლების მაქსიმალური აჩქარება (როგორც დაძვრისას, ასევე დამუხრუჭებისას) 0,7 მ/წმ²-ია;
- დახაზოთ თითოეულ უბანზე მატარებლის მოძრაობის სიჩქარის დროზე დამოკიდებულების გრაფიკი;
- თითოეული უბნისათვის განსაზღვროთ, რა მაქსიმალური სიჩქარით იმოძრავებს მატარებელი ამ უბანზე;
- განსაზღვროთ, რა აჩქარებით უნდა დაიძრას და დამუხრუჭდეს მატარებელი თითოეულ უბანზე;
- რისი ტოლი იქნება მოცდის დრო თითოეულ სადგურზე (მატარებლის გასვლიდან მომდევნო მატარებლის გასვლამდე დროის შუალედი);
- გაარკვიოთ, რამ შეიძლება შეუშალოს ხელი მოცემული განრიგით მატარებლების მოძრაობას და მოიფიქრეთ, როგორ შეძლებდით ასეთ სიტუაციაში პრობლემის მოგვარებას.

§1.12 სხეულის აჩქარების გაზომვა თანაბარაჩქარებული მოძრაობისას (ლაბორატორიული სამუშაო)

I. სამუშაოს მიზანი: დახრილ ღარში მოძრავი ბურთულის აჩქარების გაზომვა.

ხელსაწყოები და მასალა: ლითონის ღარი, შტატივი, ლითონის ბურთულა, ლითონის ცილინდრი (ან ლითონის საწონი, რომელიც ღარში მჭიდროდ მოთავსდება), წამზომი, საზომი ლენტი ან სახაზავი.

ბურთულის მოძრაობა დახრილ ღარში თანაბარაჩქარებულად მივიჩნიოთ. თუ ბურთულას საწყისი სიჩქარე არა აქვს ($v_0 = 0$), მაშინ მის მიერ t დროში გავლილი მანძილი გამოითვლება ფორმულით:

$$s = \frac{at^2}{2}.$$

ბურთულის მიერ გავლილ s მანძილისა და მის გასავლელად საჭირო დროის t შუალედის გაზომვით შევძლებთ აჩქარების გამოთვლას: $a = \frac{2s}{t^2}$.

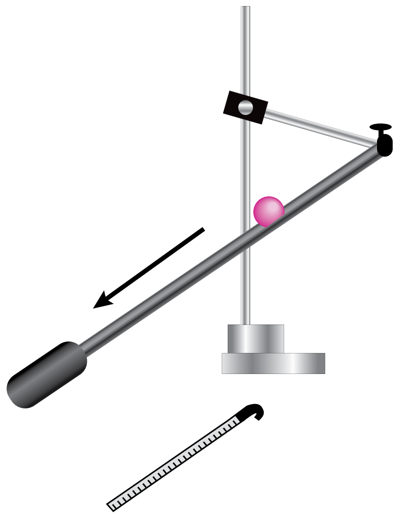
სამუშაოს მსვლელობა:

- ღარი შტატივის თათში ისე დაამაგრეთ, რომ ის ჰორიზონტისადმი მცირე კუთხით იყოს დახრილი. ღარის ბოლოში ჩაამაგრეთ ცილინდრი (სურ. 1.92);
- დააგორეთ ბურთულა ღარის ზედა წერტილიდან და წამზომის საშუალებით გაზომეთ დროის შუალედი ბურთულის მოძრაობის დაწყებიდან ცილინდრთან დაჯახებამდე;
- ცდა რამდენჯერმე გაიმეორეთ და გაზომილი დროის შუალედები ჩაიწერეთ;
- ამ მონაცემებით გამოთვალეთ ღარში ბურთულის მოძრაობის საშუალო დრო:

$t_{საშ} = \frac{t_1 + t_2 + ... + t_n}{n}$, რომელშიც n გაზომვების რაოდენობაა.

- გაზომეთ მანძილი ღარის სათავიდან ცილინდრამდე.
- გამოთვალეთ ბურთულის საშუალო აჩქარება:

$$a_{საშ} = \frac{2s}{t^2_{საშ}}.$$



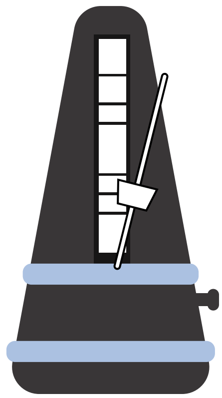
სურ. 1.92

II. სამუშაოს მიზანი: თანაბარაჩქარებულად მოძრავი სხეულის მიერ დროის მომდევნო ტოლ შუალედებში გავლილ მანძილებს შორის კანონზომიერების დადგენა.

ხელსაწყოები და მასალა: ლითონის ღარი, შტატივი, ლითონის ბურთულა, ლითონის ცილინდრი (ან ლითონის საწონი, რომელიც ღარში მჭიდროდ მოთავსდება), წამზომი, საზომი ლენტი ან სახაზავი, მეტრონომი (სურ. 1.93), მარკერი.

სამუშაოს მსვლელობა:

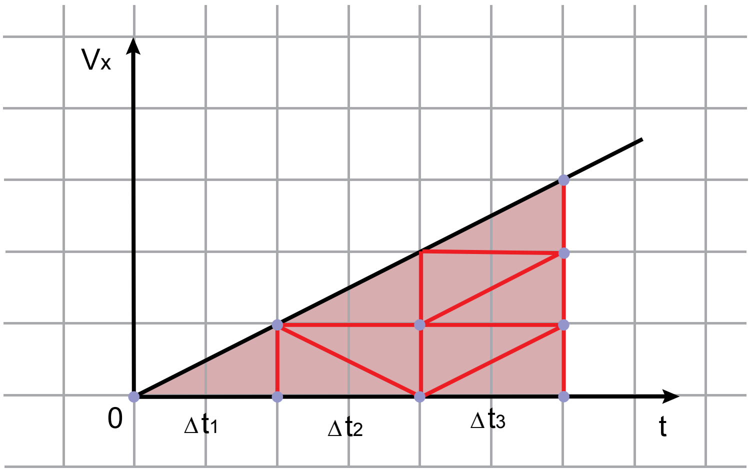
- დაამაგრეთ ღარი შტატივში ჰორიზონტისადმი მცირე კუთხით. ღარის ბოლოში ჩაამაგრეთ ცილინდრი. ღარის დახრის კუთხე და მეტრონომის დარტყმებს შორის დრო ისე შეარჩიეთ, რომ ბურთულის ცილინდრზე დაჯახებამდე მეტრონომმა მოასწროს 3-4 დარტყმა;



სურ. 1.93

- მეტრონომის დარტყმის მომენტში დააგორეთ ბურთულა ღარის ზედა წერტილიდან და მისი ყოველი შემდგომი დარტყმისას ღარზე მარკერით მონიშნეთ ბურთულის მდებარეობა;
- გაზომეთ მანძილები მარკერით მონიშნულ მეზობელ წერტილებს შორის: s_1, s_2, s_3, s_4.
- იპოვეთ გაზომილი მანძილების შეფარდება: $s_1{:}s_2{:}s_3{:}s_4$;
- ცდა რამდენჯერმე გაიმეორეთ;
- გამოიტანეთ დასკვნა.

თანაბარაჩქარებულად მოძრავი სხეულის მიერ დროის მომდევნო ტოლ შუალედებში გავლილ მანძილებს შორის კანონზომიერება შეიძლება დავადგინოთ გადაადგილების გეომეტრიული აზრის გამოყენებითაც.



სურ. 1.94

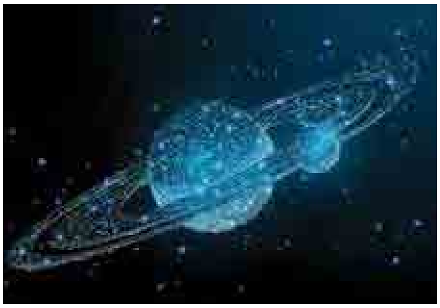
სურ. 1.94 გამოსახულია თანაბარაჩქარებულად მოძრავი სხეულის სიჩქარის გეგმილის დროზე დამოკიდებულების გრაფიკი, როდესაც სხეულის საწყისი სიჩქარე ნულის ტოლია. განვიხილოთ დროის ტოლ შუალედებში ($\Delta t_1 = \Delta t_2 = \Delta t_3 = \Delta t_4 = \ldots$) შესრულებული გადაადგილებები. Δt_1 ინტერვალში გადაადგილება რიცხობრივად ტოლია სიჩქარის გრაფიკის ქვეშ მოთავსებული სამკუთხედის s_1 ფართობისა; Δt_2 ინტერვალში – ტრაპეციის s_2 ფართობისა: $s_2 = 3s_1$; Δt_3 ინტერვალში – ტრაპეციის s_3 ფართობისა: $s_3 = 5s_1$ და ა. შ, ამიტომ

$$s_1{:}s_2{:}s_3{:}s_4{:}\ldots{:}s_n = 1{:}3{:}5{:}7{:}\ldots{:}(2n-1).$$

ამრიგად, **თანაბარაჩქარებულად მოძრავი სხეულის მიერ დროის მომდევნო ტოლ შუალედებში გავლილი მანძილები ისე შეეფარდება ერთმანეთს, როგორც მომდევნო კენტი რიცხვები.**

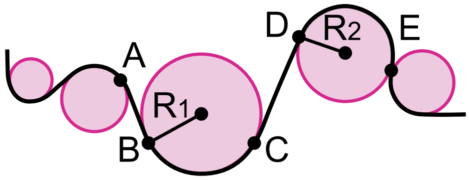
§ 1.13. მრუდწირული მოძრაობა

თქვენ უკვე ისწავლეთ მექანიკის ძირითადი ამოცანის ამოხსნა სხეულის წრფივი მოძრაობის ორ შემთხვევაში – თანაბარი და თანაბარაჩქარებული მოძრაობებისათვის. მაგრამ ყოველდღიურ ცხოვრებასა და, საერთოდ, სამყაროში უფრო ხშირად გვხვდება მრუდწირული მოძრაობა (სურ. 1.95). ეს მოძრაობა წრფივ მოძრაობასთან შედარებით უფრო რთულია – მრუდწირული მოძრაობისას ყოველთვის იცვლება სხეულის ორი ან სამი კოორდინატი. ამასთან, განუწყვეტლივ იცვლება მყისიერი სიჩქარის მიმართულება. სიჩქარის ვექტორის მიმართულების ცვლილების გამო მრუდწირული მოძრაობა ყოველთვის აჩქარებულია. ისმის კითხვა: როგორ შეიძლება აღვწეროთ ასეთი რთული მოძრაობა?



სურ. 1.95

ვთქვათ, სხეული მოძრაობს სურ. 1.96 გამოსახული მრუდწირულ ტრაექტორიაზე. ეს ტრაექტორია შეიძლება დავყოთ მიახლოებით წრფივ უბნებად (AB, CD, ...) და უბნებად, რომლებიც სხვადასხვა რადიუსის მქონე წრეწირის რკალებს წარმოადგენს ($\overset{\frown}{BC}$, $\overset{\frown}{DE}$, ...).



სურ. 1.96

წრფივი მოძრაობა თქვენ უკვე შეისწავლეთ, ამიტომ ახლა განვიხილოთ სხეულის მოძრაობა წრეწირზე.

მყისიერი სიჩქარის შესწავლისას დავადგინეთ, რომ სიჩქარის ვექტორი მრუდწირული ტრაექტორიის მოცემულ წერტილში მიმართულია ამ წერტილში გავლებული მხების გასწვრივ. მრუდწირული მოძრაობისას მყისიერი სიჩქარის მოდულს **წირით სიჩქარეს** უწოდებენ. სწორედ წირით სიჩქარეს გულისხმობენ, როდესაც საუბრობენ ავტომობილის სიჩქარეზე მოსახვევში, დედამიწის ხელოვნური თანამგზავრის მოძრაობის სიჩქარეზე და სხვა.

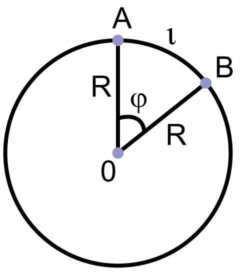
მრუდწირული მოძრაობისას წირითი სიჩქარე შეიძლება იყოს მუდმივი ან იცვლებოდეს. შესაბამისად, მრუდწირული მოძრაობა იქნება თანაბარი ან არათანაბარი.

თანაბარი მრუდწირული მოძრაობისას სხეულის მიერ დროის ნებისმიერ ტოლ შუალედებში გავლილი მანძილები ერთმანეთის ტოლია. ჩვენ შევისწავლით მრუდწირული მოძრაობის ყველაზე მარტივ სახეს – თანაბარ მოძრაობას წრეწირზე.

წრეწირზე თანაბრად მოძრავი სხეულის წირითი სიჩქარე ეწოდება მის მიერ შემოწერილი რკალის l სიგრძის შეფარდებას დროის იმ t შუალედთან, რომლის განმავლობაში ეს რკალი შემოწერა:

$$v = \frac{l}{t}.$$

SI-ში წირითი სიჩქარე იზომება მ/წმ-ში.



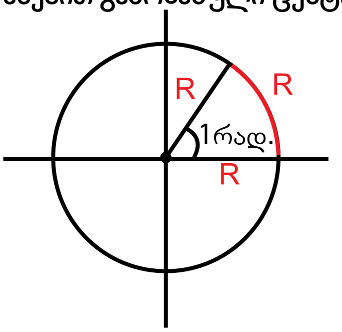
სურ. 1.97

წრეწირზე მოძრავი სხეულის მდებარეობის საპოვნელად დავაკავშიროთ ის წრეწირის ცენტრთან რადიუსით. ვთქვათ, სხეული დროის საწყის მომენტში იყო A წერტილში და დროის t შუალედის შემდეგ გადავიდა B წერტილში. ამ დროში სხეულთან ერთად რადიუსიც გარკვეული φ კუთხით შემობრუნდა (სურ. 1.97). თუ გვეცოდინება სხეულის საწყისი მდებარეობა, წრეწირის რადიუსი და მისი შემობრუნების კუთხე, შეგვიძლია ვიპოვოთ სხეულის საბოლოო მდებარეობა.

SI-ში შემობრუნების კუთხე იზომება რადიანებში (შემოკლებით – რად.). 1 რად ტოლია იმ ცენტრული კუთხისა, რომლის შესაბამისი რკალის სიგრძე რადიუსის ტოლია (სურ. 1.98). ე.ი. თუ $l = r$, მაშინ $φ = 1$ რად. შესაბამისად, თუ სხეულმა წრეწირზე მოძრაობისას l სიგრძის რკალი შემოწერა, მაშინ მასთან დაკავშირებული რადიუსის შემობრუნების კუთხე რადიანებში ტოლი იქნება:

$$φ = \frac{l}{R}.$$

ამ ფორმულიდან მივიღებთ, რომ **სხეულის მიერ შემოწერილი რკალის სიგრძე რადიანებით გამოსახული ცენტრული კუთხისა და რადიუსის ნამრავლის ტოლია: $l = φ \cdot R$.**



სურ. 1.98

დავამყაროთ კავშირი რადიანსა და გრადუსს შორის. ვთქვათ, სხეულმა შეასრულა ერთი სრული ბრუნი, მაშინ სხეულის მიერ გავლილი მანძილი წრეწირის სიგრძის ტოლია – $l = 2\pi R$, ხოლო შემობრუნების კუთხე რადიანებში იქნება $φ = \frac{l}{R} = \frac{2\pi R}{R} = 2\pi$ რად. რადგან სრული კუთხე 360^0-ია, ამიტომ 2π რად $= 360^0$, ხოლო 1 რად $= \frac{360^0}{2\pi} \approx 57{,}3^0$.

თუ სხეული თანაბრად მოძრაობს წრეწირზე, მაშინ მასთან დაკავშირებული რადიუსი ასრულებს თანაბარ ბრუნვას – შემობრუნების კუთხე დროის ნებისმიერ ტოლ შუალედებში ერთნაირია. რადიუსის შემობრუნების სისწრაფეს ახასიათებენ ფიზიკური სიდიდით, რომელსაც კუთხურ სიჩქარეს უწოდებენ და აღნიშნავენ ω (ომეგა) ასოთი.

წრეწირზე თანაბრად მოძრავი წერტილის კუთხური სიჩქარე ეწოდება ამ წერტილისადმი გავლებული რადიუსის მობრუნების კუთხის შეფარდებას დროის იმ შუალედთან, რომლის განმავლობაშიც ეს მობრუნება შესრულდა:

$$\omega = \frac{φ}{t}.$$

SI-ში კუთხური სიჩქარის ერთეულია 1 რად/წმ. ეს წრეწირზე თანაბრად მოძრავი იმ წერტილის კუთხური სიჩქარეა, რომლისადმი გავლებული რადიუსი 1 წმ-ში 1 რადიანი კუთხით მობრუნდება.

კუთხური სიჩქარე რიცხობრივად დროის ერთეულში რადიუსის შემობრუნების კუთხის ტოლია. მაგალითად, თუ $\omega = 3$ რად/წმ, ეს ნიშნავს, რომ წრეწირზე თანაბრად მბრუნავი სხეული 1 წმ-ში 3 რადიანის ტოლი კუთხით (მიახლოებით 172^0-ით) მობრუნდება.

დავამყაროთ კავშირი წირით და კუთხურ სიჩქარეებს შორის. ამისათვის წირითი სიჩქარის $v = \frac{l}{t}$ ფორმულაში შევიტანოთ რკალის სიგრძის გამოსახულება – $l = φ \cdot R$. თუ გავითვალისწინებთ, რომ $\frac{φ}{t} = \omega$, მივიღებთ: $v = \omega \cdot R$.

რატომ სურთ ბავშვებს კარუსელის მბრუნავი დისკოს განაპირა წერტილებში დაჯდომა (სურ. 1.99)? დისკოს წერტილების ბრუნვის კუთხური სიჩქარე ერთნაირია – ყველა წერტილი ერთსა და იმავე დროში ერთნაირი კუთხით შემობრუნდება, ამიტომ ცენტრიდან დაშორების მიხედვით წირითი სიჩქარე იზრდება და ის მაქსიმალურია განაპირა წერტილებში.

სურ. 1.99

წრეწირზე თანაბარი ბრუნვის მნიშვნელოვანი მახასიათებელი სიდიდეებია ბრუნვის პერიოდი და ბრუნვის სიხშირე.

დროის შუალედს, რომლის განმავლობაშიც წრეწირზე მბრუნავი სხეული ერთ ბრუნს ასრულებს, ბრუნვის პერიოდი ეწოდება.

ბრუნვის პერიოდს აღნიშნავენ T ასოთი. SI-ში პერიოდის ერთეულია 1 წმ.

თუ სხეულმა t დროში N ბრუნი შეასრულა, მაშინ

$$T = \frac{t}{N}.$$

ბრუნთა რიცხვის შეფარდებას დროის იმ შუალედთან, რომლის განმავლობაშიც ის შესრულდა, ბრუნვის სიხშირე ეწოდება.

ბრუნვის სიხშირეს აღნიშნავენ n ასოთი. განმარტების თანახმად,

$$n = \frac{N}{t}.$$

SI-ში ბრუნვის სიხშირის ერთეულია $1\frac{1}{\text{წმ}} = 1\,\text{წმ}^{-1}$. ეს წრეწირზე თანაბრად მბრუნავი იმ წერტილის ბრუნვის სიხშირეა, რომელიც 1 წმ-ში 1 ბრუნს ასრულებს, ამ ერთეულს ჰერცი ეწოდება (შემოკლებით ჰც). 1ჰც= 1 წმ^{-1}.

ბრუნვის სიხშირე რიცხობრივად ტოლია სხეულის მიერ დროის ერთეულში შესრულებული ბრუნთა რიცხვისა. მაგალითად, თუ სხეულის ბრუნვის სიხშირე 3 ჰერცია, ეს ნიშნავს, რომ სხეული 1 წმ-ში 3 ბრუნს ასრულებს.

პერიოდისა და სიხშირის განსაზღვრებებიდან გამომდინარეობს, რომ ისინი ურთიერთშებრუნებული სიდიდეებია:

$$T = \frac{1}{n}.$$

კუთხური და წირითი სიჩქარეები შეიძლება გამოვსახოთ ბრუნვის პერიოდითა და სიხშირით. T დროის განმავლობაში სხეული შემობრუნდება 2π რად. კუთხით და გაივლის 2πR მანძილს, ამიტომ:

$$\omega = \frac{2\pi}{T}\text{, ან } \omega = 2\pi n$$

და

$$v = \frac{2\pi R}{T}\text{, ან } v = 2\pi R n.$$

მიღებული ფორმულები საშუალებას გვაძლევს დიდი მიახლოებით გამოვთვალოთ ბრუნვით მოძრაობაში მყოფი სხეულების (პლანეტების, თანამგზავრების, გადამცემი ღვედების, ბორბლების და ა.შ.) ის მახასიათებლები, რომელთა უშუალო გაზომვა ძალიან ძნელია ან პრაქტიკულად შეუძლებელი.

დასკვნები:

- მრუდწირული მოძრაობის მყისიერი სიჩქარის მოდულს წირით სიჩქარეს უწოდებენ;
- წირითი სიჩქარე სკალარული სიდიდეა;
- თანაბარი მრუდწირული მოძრაობისას წირითი სიჩქარე მუდმივი სიდიდეა;
- წრეწირზე თანაბრად მოძრავი სხეულის წირითი სიჩქარე ეწოდება მის მიერ შემოწერილი რკალის l სიგრძის შეფარდებას დროის იმ t შუალედთან, რომლის განმავლობაში ეს რკალი შემოწერა: $v = \frac{l}{t}$;
- წრეწირზე თანაბრად მოძრავი წერტილის კუთხური სიჩქარე ეწოდება ამ წერტილისადმი გავლებული რადიუსის მობრუნების კუთხის შეფარდებას დროის იმ შუალედთან, რომლის განმავლობაშიც ეს მობრუნება შესრულდა: $\omega = \frac{\varphi}{t}$;
- წრეწირზე მოძრავი სხეულის წირითი სიჩქარე მისი კუთხური სიჩქარისა და იმ წრეწირის რადიუსის ნამრავლია, რომელზეც სხეული ბრუნავს: $v = \omega \cdot R$;
- დროის შუალედს, რომლის განმავლობაშიც წრეწირზე მბრუნავი სხეული ერთ ბრუნს ასრულებს, ბრუნვის პერიოდი ეწოდება: $T = \frac{t}{N}$;
- ბრუნთა რიცხვის შეფარდებას დროის იმ შუალედთან, რომლის განმავლობაშიც ის შესრულდა, ბრუნვის სიხშირე ეწოდება: $n = \frac{N}{t}$;
- პერიოდი და სიხშირე ურთიერთშებრუნებული სიდიდეებია: $T = \frac{1}{n}$;
- კუთხური სიჩქარე პერიოდთან და სიხშირესთან დაკავშირებულია ფორმულებით:
$$\omega = \frac{2\pi}{T}, \ \omega = 2\pi n$$
- წირითი სიჩქარე პერიოდთან და სიხშირესთან დაკავშირებულია ფორმულებით:
$$v = \frac{2\pi R}{T}, \ v = 2\pi R n.$$

საკონტროლო კითხვები:

1. რატომაა მრუდწირული მოძრაობის შესწავლა უფრო რთული, ვიდრე წრფივის?
2. როგორ მრუდწირულ მოძრაობას უწოდებენ თანაბარს?
3. რატომაა საჭირო წრეწირზე მოძრაობის შესწავლა?
4. რა კუთხეა 1 რადიანი? 3 რადიანი?
5. რა არის კუთხური სიჩქარის ერთეული SI-ში?
6. რისი ტოლია საათის წამების ისრის კუთხური სიჩქარე? წუთების ისრის?
7. არის თუ არა ყველა საათის წამების ისრის კუთხური სიჩქარე ერთნაირი?
8. არის თუ არა მაჯისა და კედლის საათების წუთების ისრის ბოლო წერტილების წირითი სიჩქარეები ერთნაირი?
9. რას გვიჩვენებს ბრუნვის სიხშირის რიცხვითი მნიშვნელობა?
10. რა ერთეულებში იზომება SI-ში პერიოდი? სიხშირე?
11. რისი ტოლია მზის გარშემო დედამიწის ბრუნვის პერიოდი SI-ში?
12. რომელი სიდიდე აქვს ცენტრის გარშემო მბრუნავი დისკოს ყველა წერტილს ერთნაირი? განსხვავებული?

ერთად ამოვხსნათ ამოცანა

სურ. 1.100

განსაზღვრეთ კედლის საათის წუთებისა და საათების მაჩვენებელი ისრების კუთხური სიჩქარე და გამოიანგარიშეთ ისრებს შორის კუთხე 10 სთ-სა და 10 წთ-ზე (სურ. 1.100).

ამოხსნა: წუთების მაჩვენებელი ისრის ბრუნვის პერიოდი $T_1=1$ სთ-ია, ამიტომ მისი კუთხური სიჩქარე $\omega_1=\frac{2\pi}{T_1}=2\pi\frac{\text{რად}}{\text{სთ}}=$ $=\frac{\pi}{30}\frac{\text{რად}}{\text{წთ}}$. საათების მაჩვენებელი ისრის ბრუნვის პერიოდი $T_2=12$ სთ-ია, მისი კუთხური სიჩქარე $\omega_2=\frac{\pi}{360}\frac{\text{რად}}{\text{წთ}}$-ია. საათი დაყოფილია 12 ტოლ ნაწილად, შესაბამისად, ორ მეზობელ დანაყოფს შორის კუთხე $\frac{2\pi}{12}=\frac{\pi}{6}$ რად-ია. 10 საათზე ისრებს შორის საწყისი კუთხე იქნებოდა $\varphi_0=2\cdot(\frac{\pi}{6})=(\frac{\pi}{3})$რად. ამის შემდეგ $t=10$ წთ-ში წუთების მაჩვენებელი ისარი შემოწერს $\varphi_1=\omega_1 t$ კუთხეს და მივა დანაყოფ 2-თან. საათის მაჩვენებელი ისარი შემოწერს $\varphi_2=\omega_2 t$ კუთხეს და ოდნავ გასცდება დანაყოფ 10-ს. მათ შორის კუთხე გაიზრდება $(\varphi_1-\varphi_2)$-ით და გახდება $\varphi_0+(\varphi_1-\varphi_2)=\frac{\pi}{3}+(\omega_1-\omega_2)t=\frac{23\pi}{36}$ რად$=115^0$.

პასუხი: წუთების ისრის კუთხური სიჩქარეა $\frac{\pi}{30}\frac{\text{რად}}{\text{წთ}}$; საათის ისრისა – $\frac{\pi}{360}\frac{\text{რად}}{\text{წთ}}$, ხოლო კუთხე ამ ისრებს შორის 10 საათსა და 10 წუთზე – 115^0.

ამოხსენით ამოცანები:

1. ნივთიერი წერტილი ბრუნავს 2 მ რადიუსის წრეწირზე 6,28 მ/წმ წირითი სიჩქარით. რისი ტოლია ამ წერტილის წრეწირზე ბრუნვის პერიოდი?
2. განსაზღვრეთ დედამიწის ხელოვნური თანამგზავრის ბრუნვის პერიოდი, თუ ის დედამიწის გარშემო წრიულ ორბიტაზე ბრუნავს 8 კმ/წმ სიჩქარით (სურ. 1.101). დედამიწის რადიუსი 6400 კმ-ია. მიიჩნიეთ, რომ თანამგზავრის დაშორება დედამიწის ზედაპირიდან ბევრად ნაკლებია დედამიწის რადიუსზე.
3. ცნობილია, რომ დედამიწის გარშემო წრიულ ორბიტაზე მთვარის ბრუნვის პერიოდი დაახლოებით 27 დღე-ღამეა (სურ. 1.102). განსაზღვრეთ მთვარის ბრუნვის კუთხური სიჩქარე.


სურ. 1.101


სურ. 1.102

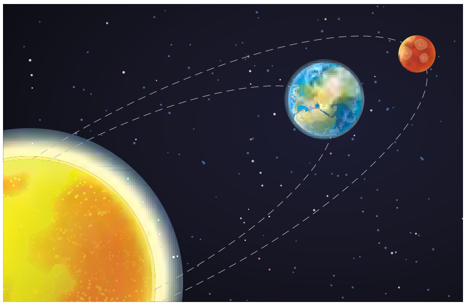
4. განსაზღვრეთ საათის ისრის წვეროს წირითი სიჩქარე, თუ მისი ბრუნვის კუთხური სიჩქარე დაახლოებით 0,1 რად/წმ-ია, ისრის სიგრძე კი – 20 სმ.

5. რისი ტოლია კედლის საათის წამების მაჩვენებელი ისრის სიგრძე, თუ მისი წვეროს წირითი სიჩქარე დაახლოებით 0,87 სმ/წმ-ია?

6. ნივთიერი წერტილის წრეწირზე ბრუნვის კუთხური სიჩქარე 2 რად/წმ-ია. რა კუთხით შემობრუნდება ამ წერტილთან დაკავშირებული რადიუსი 5 წმ-ში? გამოსახეთ ეს კუთხე რადიანებსა და გრადუსებში.

7. ნივთიერი წერტილი თანაბრად ბრუნავს წრეწირზე. რისი ტოლია ამ წერტილის ბრუნვის კუთხური სიჩქარე, თუ ბრუნვის სიხშირე 0,5 $წმ^{-1}$-ია?

8. კარუსელის კაბინა ბრუნავს 5 მ რადიუსის წრეწირზე 1 მ/წმ წირითი სიჩქარით. რისი ტოლია კარუსელის ბრუნვის სიხშირე?



სურ. 1.103

9. მივიჩნიორთ, რომ დედამიწა და მარსი მზის გარშემო წრიულ ორბიტებზე ბრუნავს (სურ. 103) და განვსაზღვროთ რამდენჯერ აღემატება დედამიწის ბრუნვის კუთხური სიჩქარე მარსის კუთხურ სიჩქარეს, თუ დედამიწა მზის გარშემო ერთ სრულ ბრუნს 365 დღე-ღამეს ანდომებს, მარსი კი – 687 დღე-ღამეს.

10. რამდენჯერ აღემატება მზის გარშემო წრიულ ორბიტაზე დედამიწის ბრუნვის წირითი სიჩქარე მარსის წირით სიჩქარეს, თუ დედამიწისა და მარსის ორბიტის რადიუსები, შესაბამისად, $1{,}5 \cdot 10^8$ კმ და $2{,}25 \cdot 10^8$ კმ-ია, მზის გარშემო ბრუნვის პერიოდები კი – 365 დღე-ღამე და 687 დღე-ღამეა.

საშინაო ცდა

ცდის მიზანი: მრუდწირულ მოძრაობაზე დაკვირვება.

ცდისთვის საჭიროა: მობილური ტელეფონი ვიდეოგადაღების ფუნქციით.

ცდის აღწერა: მობილურ ტელეფონში მოამზადეთ ვიდეოკამერა გადასაღებად.

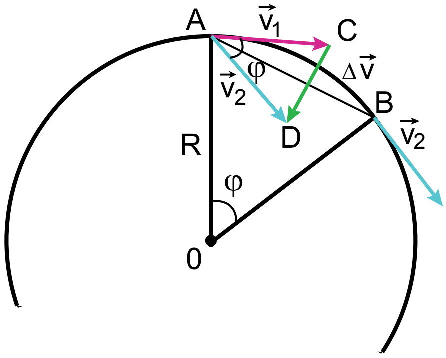
დადექით სახლის ყველაზე პატარა ოთახის ცენტრში, ვიდეოკამერა მიმართეთ ოთახის კედლისკენ, დაიწყეთ ვიდეოგადაღება და ადგილზე ნელა შემობრუნდით 360^0-ით. ვიდეოგადაღების დროს ტელეფონის გადამღები კამერა სულ კედლებისკენ უნდა იყოს მიმართული. გადაღება შეწყვიტეთ ერთი სრული ბრუნის დასრულებისთანავე. იგივე გააკეთეთ სახლის ყველაზე დიდ ოთახში. შეეცადეთ ორივე ოთახში ერთნაირი სიჩქარით იბრუნოთ. ვიდეოჩანაწერების ნახვისას დაინახავთ, როგორ ბრუნავს ოთახი (კედლები) თქვენი კამერის გარშემო.

- შეადარეთ ოთახების ბრუნვის პერიოდი. მიღებული შედეგი ახსენით.
- შეადარეთ ვიდეოჩანაწერში კედლების ბრუნვის წირითი სიჩქარე და ახსენით მათი განსხვავებულობის მიზეზი.
- შეადარეთ ოთახების ბრუნვის კუთხური სიჩქარე. მიღებული შედეგი ახსენით.
- შეადარეთ ოთახების ბრუნვის სიხშირე. მიღებული შედეგი ახსენით. წარუდგინეთ ვიდეოჩანაწერი და თქვენი დასკვნები კლასელებს. მოამზადეთ პრეზენტაცია თემაზე „მრუდწირული მოძრაობა“.

§ 1.14 სხეულის აჩქარება წრეწირზე თანაბარი მოძრაობისას

გაიხსენეთ, ნებისმიერი მრუდწირული მოძრაობა აჩქარებულია. ბუნებრივია, იბადება კითხვა: რა მიმართულება აქვს აჩქარებას მრუდწირული ტრაექტორიის მოცემულ წერტილში და რისი ტოლია მისი მოდული? ამ შეკითხვაზე პასუხის გასაცემად განვიხილოთ თანაბარი მოძრაობა წრეწირზე. ვინაიდან ამ მოძრაობის სიჩქარის მოდული მუდმივია, აჩქარება გამოწვეულია სიჩქარის მხოლოდ მიმართულების ცვლილებით.

ვთქვათ, სხეული თანაბრად მოძრაობს R რადიუსის მქონე წრეწირზე და დროის საწყის მომენტში იმყოფებოდა A წერტილში. დროის t შუალედის შემდეგ იგი გადაადგილდა B წერტილში (სურ. 1.104). A წერტილში სხეულის სიჩქარე აღვნიშნოთ $\vec{v}_1$-ით, B წერტილში კი – $\vec{v}_2$-ით. მიუხედავად იმისა, რომ სიჩქარის მოდული არ შეცვლილა ($v_1 = v_2 = v$), მიმართულების ცვლილების გამო სიჩქარის ცვლილება მაინც განსხვავებულია ნულისაგან: $\Delta\vec{v} = \vec{v}_2 - \vec{v}_1 \neq 0$. ჩვენი მიზანია, ვიპოვოთ მყისიერი აჩქარება A წერტილში, რისთვისაც ვისარგებლოთ ფორმულით:



სურ. 1.104

$$\vec{a} = \frac{\Delta\vec{v}}{t}(t\to 0).$$

ვინაიდან $\Delta\vec{v} \neq 0$, ამიტომ აჩქარებაც განსხვავებულია ნულისაგან და $\Delta\vec{v}$ ვექტორის მიმართულება აქვს.

$\Delta\vec{v}$ ვექტორის საპოვნელად $\vec{v}_2$ ვექტორი გადავიტანოთ A წერტილში და ავაგოთ $\Delta\vec{v} = \vec{v}_2 - \vec{v}_1$ ვექტორი. გავიხსენოთ, რომ ორი ვექტორის სხვაობა არის ვექტორი, რომელიც მიმართულია მაკლების ბოლოდან საკლების ბოლოსკენ, ანუ C წერტილიდან D წერტილისკენ: $\Delta\vec{v} = \overrightarrow{CD}$. ახლა შევადაროთ ერთმანეთს მიღებული ორი სამკუთხედი: ΔAOB და ΔCAD. რადგან $AO = BO$ და $DA = CA$, ამიტომ ორივე სამკუთხედი ტოლფერდაა. $\angle AOB = \angle CAD = \varphi$, როგორც ურთიერთმართობულგვერდებიანი კუთხეები ($AC \perp AO$, $AD \perp BO$), ამიტომ ეს სამკუთხედები მსგავსია – $\Delta AOB \sim \Delta CAD$. მათი მსგავსებიდან გამომდინარეობს, რომ

$$\frac{CD}{AD} = \frac{AB}{AO}.$$

თუ გავითვალისწინებთ, რომ: $CD = \Delta v$, $AD = v$, AB სხეულის გადაადგილების მოდულია (s) და $AO = R$, მივიღებთ:

$$\frac{\Delta v}{v} = \frac{s}{R}.$$

დროის შუალედის შემცირებისას ($t \to 0$), კუთხე φ-ც მცირდება და AB ქორდის სიგრძე უახლოვდება AB რკალის სიგრძეს, რომელიც სხეულის მიერ t დროის შუალედში გავლილი l მანძილის ტოლია. წრეწირზე თანაბრი ბრუნვისას $l = vt$, ამიტომ გვექნება:

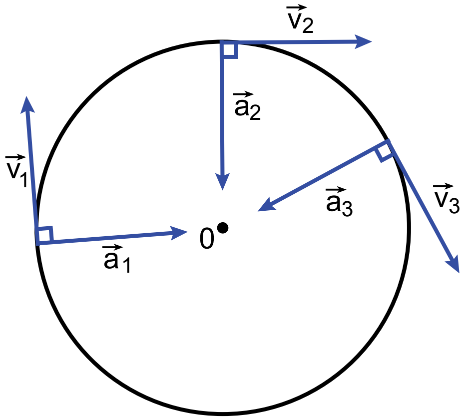
$$\frac{\Delta v}{v} = \frac{vt}{R}, \text{ საიდანაც } \frac{\Delta v}{t} = \frac{v^2}{R}.$$

ვინაიდან $a = \frac{\Delta v}{t}$, მივიღებთ:

$$a = \frac{v^2}{R}.$$

მიღებული ფორმულა განსაზღვრავს წრეწირზე თანაბრად მოძრავი სხეულის აჩქარების მოდულს. ახლა დავადგინოთ, საითკენაა მიმართული ეს აჩქარება, ანუ $\Delta\vec{v}$ ვექტორი, როცა $t \to 0$.

ΔCAD-დან $\varphi + \angle ACD + \angle ADC = 180^0$. როცა $t \to 0$, მაშინ $\varphi \to 0$. ამიტომ $\angle ACD + \angle ADC = 2\angle ACD \to 180^0$, ანუ $\angle ACD \to 90^0$. შეგვიძლია დავასკვნათ, რომ $\Delta\vec{v} \perp \vec{v}$.



სურ. 1.105

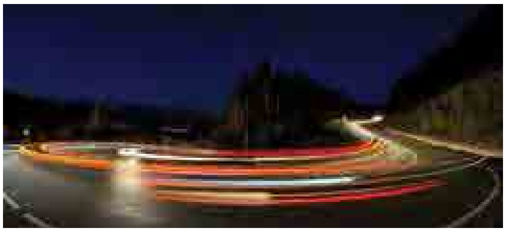
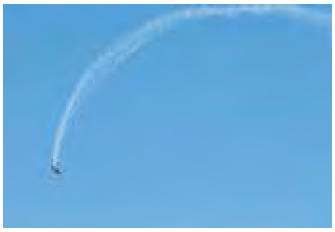
ვინაიდან $\vec{v}$ სიჩქარე მიმართულია მხების გასწვრივ, ამიტომ $\Delta\vec{v}$, ანუ $\vec{a}$ მიმართულია რადიუსის გასწვრივ წრეწირის ცენტრისკენ (გაიხსენეთ მათემატიკის კურსიდან: მხები მართობულია შეხების წერტილისადმი გავლებული რადიუსისა) (სურ. 1.105).

ამრიგად, **წრეწირზე თანაბრად მოძრავი სხეულის (ნივთიერი წერტილის) აჩქარება ტრაექტორიის ნებისმიერ წერტილში მიმართულია ამ წერტილში გავლებული რადიუსის გასწვრივ წრეწირის ცენტრისკენ. ამიტომ ამ აჩქარებას ცენტრისკენული აჩქარება ეწოდება.**

თუ გავიხსენებთ წრეწირზე თანაბრად მოძრავი სხეულის წირითი სიჩქარის გამოსათვლელ ფორმულებს – $v = \omega R$; $v = \dfrac{2\pi R}{T}$, $v = 2\pi Rn$, ცენტრისკენული აჩქარება სხვა ფორმულებითაც შეგვიძლია ჩავწეროთ:

$$a = \omega^2 R; \qquad a = 4\pi^2 n^2 R; \qquad a = \frac{4\pi^2 R}{T^2}; \qquad a = \omega v.$$

უნდა გვახსოვდეს, რომ ყველა სხეულს, რომელიც მოძრაობს წრეწირზე (წრეწირის რკალზე), აქვს ცენტრისკენული აჩქარება, რომელიც მიმართულია ბრუნვის ნამდვილი ან წარმოსახვითი ცენტრისკენ. ასეთი მოძრაობები კი უამრავი გვხვდება ყოველდღიურ ყოფასა და სამყაროში: ბრუნვა კარუსელზე, პლანეტების ბრუნვა მზის გარშემო, ხელოვნური თანამგზავრების ბრუნვა დედამიწის გარშემო, ელექტრონის ბრუნვა ატომბირთვის გარშემო, ავტომობილის მოძრაობა მოსახვევში, თვითმფრინავის მოძრაობა „მკვდარი მარყუჟის“ შესრულებისას და სხვა (სურ. 1.106).

სურ. 1.106

დასკვნები:

- წრეწირზე თანაბრად მოძრავი სხეულის აჩქარების მიზეზი მისი სიჩქარის მიმართულების ცვლილებაა;
- წრეწირზე თანაბრად მბრუნავი სხეულის აჩქარება ტრაექტორიის ნებისმიერ წერტილში მიმართულია ამ წერტილში გავლებული რადიუსის გასწვრივ, წრეწირის ცენტრისაკენ;
- ცენტრისკენული აჩქარების მოდული გამოითვლება ფორმულებით:

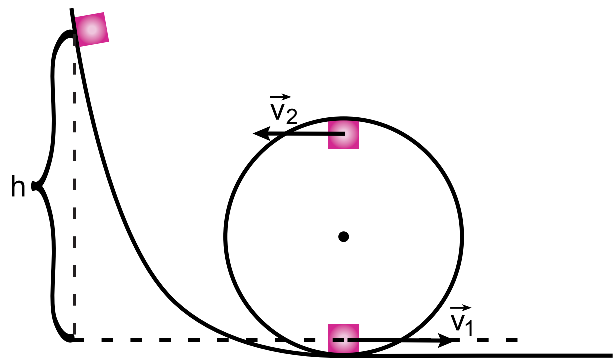
$$a = \frac{v^2}{R}; \qquad a = \omega^2 R; \qquad a = 4\pi^2 n^2 R; \qquad a = \frac{4\pi^2 R}{T^2}; \qquad a = \omega v.$$

საკონტროლო კითხვები:

1. რატომაა წრეწირზე თანაბარი მოძრაობა აჩქარებული, მიუხედავად იმისა, რომ სიჩქარის მოდული უცვლელია?
2. რატომ უწოდეს წრეწირზე მოძრავი სხეულის აჩქარებას ცენტრისკენული?
3. რა კუთხეს ადგენს ერთმანეთთან ტრაექტორიის ნებისმიერ წერტილში, მყისიერი სიჩქარე და ცენტრისკენული აჩქარება?
4. დედამიწის ბრუნვის გამო ეკვატორზე მაცხოვრებლებს აქვთ მეტი ცენტრისკენული აჩქარება თუ ჩვენ – საქართველოში მაცხოვრებლებს? რატომ?

ერთად ამოვხსნათ ამოცანა

გლუვ ღარში $h=3R$ სიმაღლიდან სრიალს იწყებს მცირე ზომის ძელაკი და მოძრაობას აგრძელებს R რადიუსის წრეწირზე (შემოწერს „მკვდარ მარყუჟს"). განსაზღვრეთ ძელაკის ცენტრისკენული აჩქარების მოდულები მარყუჟის ქვედა და ზედა წერტილებში (სურ. 1.107). წინააღმდეგობის ძალები არ გაითვალისწინოთ.



სურ. 1.107

ამოხსნა: თავდაპირველად ვიპოვოთ ძელაკის v_1 სიჩქარის კვადრატი მარყუჟის ქვედა წერტილში. ამისათვის გავიხსენოთ მერვე კლასში ნასწავლი მექანიკური ენერგიის მუდმივობის კანონი: $E_{კ1}+E_{პ1}=E_{კ2}+E_{პ2}$. პოტენციალური ენერგიის ნულოვან დონედ მარყუჟის ქვედა წერტილზე გამავალი ჰორიზონტალური წრფე მივიჩნიოთ. ვინაიდან ძელაკის საწყისი კინეტიკური ენერგია და მისი საბოლოო პოტენციალური ენერგია ნულის ტოლია, მივიღებთ: $mgh=\frac{mv_1^2}{2} \Leftrightarrow 3mgR=\frac{mv_1^2}{2}$ აქედან $v_1^2=6gR$. ძელაკის ცენტრისკენული აჩქარება მარყუჟის ქვედა წერტილში იქნება $a_{ც1}=\frac{v_1^2}{R}=6g$. მარყუჟის ზედა წერტილში ცენტრისკენული აჩქარების საპოვნელად ჯერ ვიპოვოთ ძელაკის სიჩქარის კვადრატი ზედა წერტილში. ამისათვის ძელაკის საწყისი მექანიკური ენერგია გავუტოლოთ მისი კინეტიკური და პოტენციალური ენერგიების ჯამს მარყუჟის ზედა წერტილში:

$mgh=\frac{mv_2^2}{2}+mg\cdot 2R \Leftrightarrow 3mgR=\frac{mv_2^2}{2}+2mgR \Rightarrow gR=\frac{v_2^2}{2} \Rightarrow v_2^2=2gR$. ცენტრისკენული აჩქარება ზედა წერტილში იქნება $a_{ც2}=\frac{v_2^2}{R}=2g$.

პასუხი: ძელაკის ცენტრისკენული აჩქარების მოდული მარყუჟის ქვედა წერტილში არის 6g; მარყუჟის ზედა წერტილში კი – 6g.

ამოხსენით ამოცანები:

1. ავტომობილი 72 კმ/სთ სიჩქარით მოძრაობს ხიდზე, რომელსაც წრეწირის რკალის ფორმა აქვს. ამ წრეწირის რადიუსი 100 მ-ია. რისი ტოლია ავტომობილის ცენტრისკენული აჩქარება?

2. კარუსელის სკამი ბრუნავს 2 რად/წმ კუთხური სიჩქარით 5 მ რადიუსის წრეწირზე. რისი ტოლია ამ სკამის ცენტრისკენული აჩქარება? სკამზე მჯდომი ბავშვის ცენტრისკენული აჩქარება? (სურ. 1.108)

სურ. 1.108

3. ნივთიერი წერტილის წრეწირზე ბრუნვის პერიოდი 3 წმ-ია. რისი ტოლია ამ წერტილის ცენტრისკენული აჩქარება, თუ წრეწირის რადიუსი 2,5 მ-ია? მიიჩნიეთ, რომ $\pi^2 = 10$.

4. წრეწირზე 0,25 $წმ^{-1}$ სიხშირით მბრუნავი ნივთიერი წერტილის ცენტრისკენული აჩქარება 5 მ/$წმ^2$-ია. რისი ტოლია წრეწირის რადიუსი? მიიჩნიეთ, რომ $\pi^2 = 10$.

5. რისი ტოლია კედლის საათის ისრის წვეროს წირითი სიჩქარე, თუ მისი ბრუნვის კუთხური სიჩქარე 0,1 რად/წმ-ია, ცენტრისკენული აჩქარების მოდული კი – $2 \cdot 10^{-3}$ მ/$წმ^2$.

6. მოთხილამურე ეშვება ფერდობზე, რომელსაც აქვს წრეწირის რკალის ფორმის ორი ჩაღრმავება (სურ 1.109). პირველის სიმრუდის რადიუსი 10 მ-ია, მეორესი კი – 40 მ. რისი ტოლია A წერტილში მოთხილამურის ცენტრისკენული აჩქარების მოდულის შეფარდება B წერტილში ცენტრისკენული აჩქარების მოდულთან, თუ მისი სიჩქარე A და B წერტილებში, შესაბამისად, არის 10 მ/წმ და 8 მ/წმ.

7. ავტომობილი ერთი და იმავე სიჩქარით მოძრაობდა ჯერ 100 მ რადიუსის, შემდეგ კი – 50 მ რადიუსის მოსახვევში. რამდენჯერ მეტია ავტომობილის ცენტრისკენული აჩქარება მეორე მოსახვევში, ვიდრე პირველში?

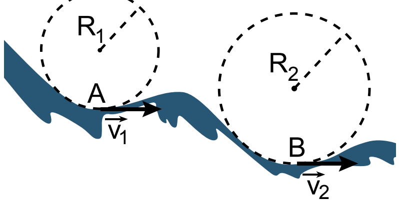
8. 3 მ სიგრძის საქანელაზე ქანაობს 40 კგ მასის ბიჭი. განსაზღვრეთ ბიჭის ცენტრისკენული აჩქარება ტრაექტორიის ქვედა წერტილში, თუ ამ მდებარეობაში ბიჭის კინეტიკური ენერგია 300 ჯ-ია.

9. 0,5 მ სიგრძის ძაფზე ჩამოკიდებულ ბურთულას მიანიჭეს ჰორიზონტალური 5 მ/წმ სიჩქარე, რის შედეგადაც ბურთულამ ვერტიკალურ სიბრტყეში წრეწირი შემოწერა (სურ. 1.110). რისი ტოლია ბურთულის ცენტრისკენული აჩქარება წრეწირის ქვედა და ზედა წერტილებში? წინააღმდეგობის ძალებს ნუ გაითვალისწინებთ.

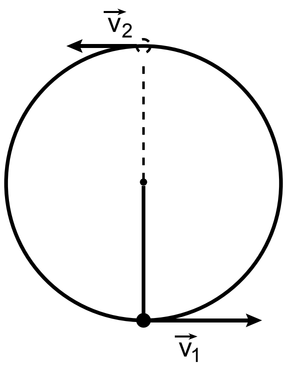
მინიშნება: გამოიყენეთ მექანიკური ენერგიის მუდმივობის კანონი.

10. 1 მ სიგრძის ძაფზე ჩამოკიდებულ ბურთულას მიანიჭეს ისეთი ჰორიზონტალური სიჩქარე, რომ ბურთულამ საწყისი დონიდან 10 სმ სიმაღლეს მიაღწია (სურ. 1.111). რისი ტოლია ბურთულის ცენტრისკენული აჩქარება საწყის (სიჩქარის მინიჭების) მომენტში? წინააღმდეგობის ძალებს ნუ გაითვალისწინებთ.

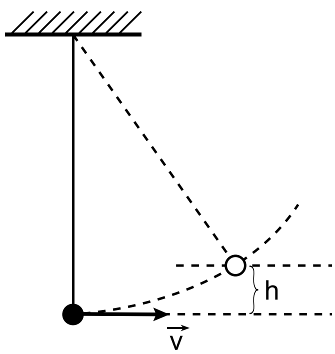
მინიშნება: გამოიყენეთ მექანიკური ენერგიის მუდმივობის კანონი.



სურ. 1.109



სურ. 1.110



სურ. 1.111

§ 1.15. სხეულის წრეწირზე ბრუნვის მახასიათებელი სიდიდეების განსაზღვრა (ლაბორატორიული სამუშაო)

სამუშაოს მიზანი: წრეწირზე თანაბრად მოძრავი სხეულის ბრუნვის პერიოდის, წირითი და კუთხური სიჩქარეებისა და ცენტრისკენული აჩქარების განსაზღვრა.

ხელსაწყოები და მასალა: შტატივი თათით, ლითონის ბურთულა კაუჭით, თოკი, თაბახის ფურცელი, წამზომი, სახაზავი, ფარგალი.

სხეულის წრეწირზე თანაბრი მოძრაობა აღიწერება:

✓ ბრუნვის პერიოდით:

$$T = \frac{t}{N},$$

რომელშიც N დროის t შუალედში შესრულებული ბრუნთა რიცხვია;

✓კუთხური სიჩქარით:

$$\omega = \frac{2\pi}{T};$$

✓წირითი სიჩქარით:

$$v = \omega R,$$

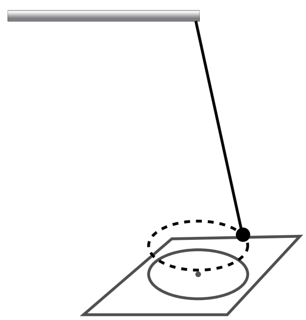
რომელშიც R სხეულის ბრუნვის რადიუსია;

✓ცენტრისკენული აჩქარებით:

$$a_ც = \frac{v^2}{R}\text{; ან } a_ც = \omega^2 R.$$

სამუშაოს მსვლელობა:

- 35-40 სმ სიგრძის ძაფის ერთი ბოლო მიაბით კაუჭიან ბურთულას, ხოლო მეორე დაამაგრეთ შტატივის თათში;
- თაბახის ფურცელზე ფარგლით შემოხაზეთ 10 სმ რადიუსის წრეწირი და მკაფიოდ აღნიშნეთ მასზე წრეწირის ცენტრი. ფურცელი მოათავსეთ ბურთულის ქვეშ ისე, რომ ბურთულა აღმოჩნდეს ზუსტად წრეწირის ცენტრის თავზე.
- მოკიდეთ ძაფს ხელი დაკიდების წერტილის სიახლოვეს და ისე აამოძრავეთ, რომ ბურთულამ დაიწყოს მოძრაობა წრეწირზე ფურცელზე დახაზულის ტოლი რადიუსით (სურ. 1.112);
- წამზომის ჩართვასთან ერთად დაიწყეთ სრული ბრუნების დათვლა და გაზომეთ 10 ბრუნის შესრულებისთვის საჭირო დროის t შუალედი;



სურ. 1.112

- ცდა გაიმეორეთ 5-ჯერ და გაზომილი დროის შუალედები ჩაწერეთ რვეულში;
- გამოთვალეთ 10 ბრუნის შესასრულებლად საჭირო საშუალო დრო:

$$t_{საშ} = \frac{t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + t_5}{5};$$

- გამოთვალეთ ბურთულის წრეწირზე მოძრაობის საშუალო პერიოდი:

$$T_{საშ} = \frac{t_{საშ}}{N}, \quad (N = 10);$$

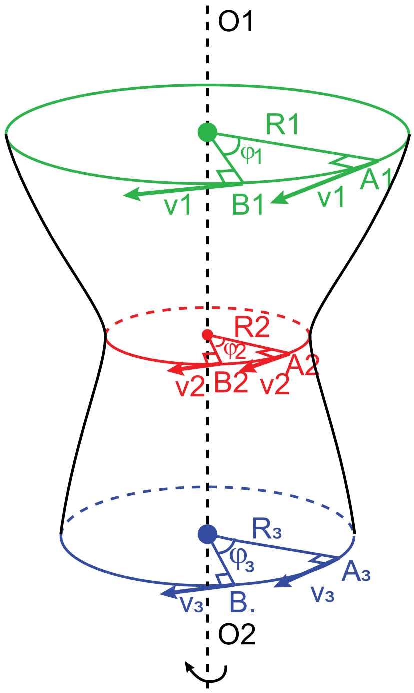
- ბრუნვის მახასიათებელი სიდიდეების ფორმულებით გამოთვალეთ: $\omega_{საშ}$, $v_{საშ}$, $a_{ც_{საშ}}$;
- მიღებული შედეგები ჩაწერეთ რვეულში.

§ 1.16. სხეულის ბრუნვა უძრავი ღერძის გარშემო

თქვენ უკვე შეისწავლეთ სამი სახის მოძრაობა: სხეულის წრფივი თანაბარი მოძრაობა, თანაბარაჩქარებული მოძრაობა და თანაბარი მოძრაობა წრეწირზე. სამივე შემთხვევაში ვგულისხმობდით, რომ სხეულის მოძრაობა ან გადატანითია, ან შესაძლებელია მისი ზომების უგულებელყოფა. შესაბამისად, განვიხილავდით არა სხეულის, არამედ ნივთიერი წერტილის მოძრაობას.

მაგრამ ხშირად გვხვდება ისეთი მოძრაობა, როცა სხეულის შემადგენელი წერტილები შემოხაზავს სხვადასხვა ტრაექტორიას და, შესაბამისად, გადის სხვადასხვა მანძილს. ერთ-ერთი ასეთი მოძრაობაა სხეულის ბრუნვა რაიმე ღერძის გარშემო. მაგალითად, დედამიწის ბრუნვა თავისი წარმოსახვითი ღერძის გარშემო, საათის ისრის ბრუნვა, ველოსიპედის ბორბლის ბრუნვა (სურ. 1.113) და ა. შ.

სურ. 1.113



სურ. 1.114

სხეულის ბრუნვითი მოძრაობისას მისი წერტილები მოძრაობს წრეწირებზე, რომელთა ცენტრები ერთ წრფეზე მდებარეობს. ამ წრფეს სხეულის ბრუნვის ღერძი ეწოდება.

სხეულის ბრუნვის ღერძი შეიძლება იყოს ნამდვილი (მაგ., ბზრიალა) ან წარმოსახვითი (მაგ., დედამიწა).

აღსანიშნავია, რომ სიბრტყეები, რომლებზედაც ეს წრეწირები მდებარეობს, ბრუნვის ღერძის მართობულია.

განვიხილოთ რაიმე მყარი სხეულის ბრუნვა O_1O_2 უძრავი ღერძის გარშემო (სურ. 1.114). ავიღოთ ამ სხეულის რაიმე სამი წერტილი – A_1, A_2 და A_3, რომლებიც ბრუნავს განსხვავებული რადიუსის მქონე წრეწირებზე. რადგან $R_1 > R_3 > R_2$, ამიტომ დროის ერთსა და იმავე შუალედში A_1 წერტილი ყველაზე მეტ $\overset{\frown}{A_1B_1}$ მანძილს გაივლის, A_2 წერტილი – ყველაზე პატარა $\overset{\frown}{A_2B_2}$ მანძილს. ამ წერტილთა მოძრაობის წირითი სიჩქარეები გამოისახება ფორმულებით:

$$v_1 = \frac{\overset{\frown}{A_1B_1}}{t}, \qquad v_2 = \frac{\overset{\frown}{A_2B_2}}{t}, \qquad v_3 = \frac{\overset{\frown}{A_3B_3}}{t}.$$

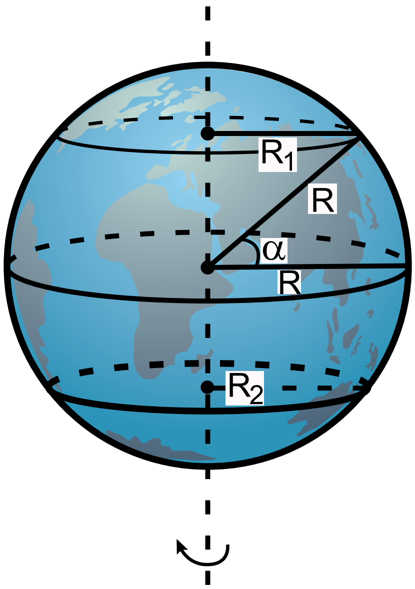
შესაბამისად, $v_1 > v_3 > v_2$ – სხეულის შემადგენელი წერტილები სხვადასხვა წირითი სიჩქარეებით მოძრაობს. რაც უფრო დაშორებულია წერტილი ბრუნვის ღერძიდან, მით უფრო დიდია მისი წირითი სიჩქარე.

უნდა აღვნიშნოთ, რომ სხეულის ყველა წერტილი დროის ერთსა და იმავე შუალედში ერთნაირი კუთხით შემობრუნდება – $\varphi_1 = \varphi_2 = \varphi_3$. ამიტომ $\omega = \frac{\varphi}{t}$ ფორმულის თანახმად, ერთნაირი იქნება მათი კუთხური სიჩქარეებიც – $\omega_1 = \omega_2 = \omega_3$. ასევე, $T = \frac{2\pi}{\omega}$ და $n = \frac{\omega}{2\pi}$ ფორმულების მიხედვით, ერთნაირი იქნება წერტილთა ბრუნვის პერიოდებიც ($T_1 = T_2 = T_3$) და სიხშირეებიც ($n_1 = n_2 = n_3$).

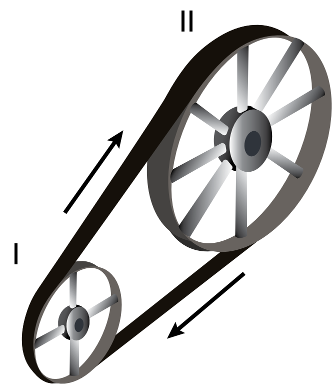
რადგან წრეწირზე მოძრავი წერტილის ცენტრისკენული აჩქარება გამოითვლება $a_ც = \omega^2 R$ ფორმულით, ამიტომ ის განსხვავებული იქნება სხვადასხვა რადიუსის წრეწირზე მბრუნავი წერტილებისათვის.

ბრუნვითი მოძრაობის რომელი მახასიათებელი სიდიდეებია ერთნაირი დედამიწის ყველა წერტილისათვის? დედამიწის ზედაპირის რომელი წერტილები ბრუნავს ყველაზე დიდი რადიუსის წრეწირზე? აქვს თუ არა დედამიწის სხვადასხვა განედზე განლაგებულ ქალაქებს განსხვავებული წირითი სიჩქარე? (სურ. 1.115)

ავტომობილებსა და სხვა მექანიზმებში ხშირად იყენებენ ღვედურ გადაცემას (სურ. 1.116). I და II დისკოები (შკივები) ერთდროულად ბრუნავს მათზე გადადებული ღვედის საშუალებით (სურ. 1.116).



სურ. 1.115



სურ. 1. 116

ბრუნვითი მოძრაობის რომელი მახასიათებელი სიდიდეა ორივე დისკოს განაპირა წერტილებისათვის ერთნაირი და რომელი განსხვავებული?

დასკვნები:

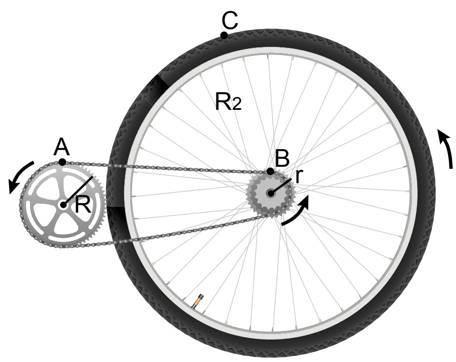
- სხეულის ბრუნვითი მოძრაობისას მისი წერტილები მოძრაობს წრეწირებზე, რომელთა ცენტრები ერთ წრფეზე მდებარეობს. ამ წრფეს სხეულის ბრუნვის ღერძი ეწოდება;
- სიბრტყეები, რომლებზეც ბრუნვის წრეწირები მდებარეობს ბრუნვის ღერძის მართობულია;
- ღერძის გარშემო სხეულის ბრუნვისას მისი ყველა წერტილის ბრუნვის პერიოდი, სიხშირე და კუთხური სიჩქარე ერთნაირია;
- წერტილის ბრუნვის ღერძიდან დაშორების მიხედვით მისი წირითი სიჩქარე პროპორციულად იზრდება.

საკონტროლო კითხვები:

1. დედამიწის დღე-ღამური ბრუნვის გამო, რომელი ქალაქის წირითი სიჩქარეა უფრო მეტი – თბილისის თუ ჰელსინკის? რატომ?
2. საბავშვო ველოსიპედის სატერფულთან დაკავშირებული კბილანის ბრუნვის პერიოდია მეტი, თუ ბორბალთან დაკავშირებულის (სურ. 1.117)?
3. ღვედური გადაცემისას განსხვავებული რადიუსის მქონე შკივებს შორის რომლის ბრუნვის სიხშირეა მეტი?

ერთად ამოვხსნათ ამოცანა

ველოსიპედის წამყვანი კბილანას რადიუსია $R=20$ სმ (სურ 1.117). $R_2=50$ სმ რადიუსის ბორბალთან მყარად მიმაგრებული ამყოლი კბილანას რადიუსია $r=10$ სმ. რისი ტოლია ბორბლის ფერსოს (ზედაპირის) წერტილების წირითი სიჩქარე, თუ წამყვანი კბილანა ბრუნავს $n_1=2{,}5$ ბრ/წმ სიხშირით? კბილანების დამაკავშირებელი ლითონის ჯაჭვი უჭიმვადია და კბილანებზე არ სრიალებს.



სურ. 1.117

ამოხსნა: წამყვანი კბილანის A წერტილი და ბორბლის კბილანის B წერტილი ერთმანეთთან დაკავშირებულია ჯაჭვით, რომლის სიგრძეც უცვლელია. ამიტომ A და B წერტილების წირითი სიჩქარეები ერთნაირია. ასევე ერთნაირი იქნება კბილანების ფერსოს წერტილების წირითი სიჩქარეები. A წერტილის წირითი სიჩქარე გამოისახება შემდეგნაირად: $v_1=\dfrac{2\pi R}{T_1}=2\pi R n_1$. B წერტილის წირითი სიჩქარე: $v_2=\dfrac{2\pi r}{T_2}=2\pi r n_2$, რომელშიც n_2 მცირე რადიუსის კბილანის ბრუნვის სიხშირეა. გავუტოლოთ ერთმანეთს წირითი სიჩქარეები: $v_1=v_2$. ანუ, $2\pi R n_1=2\pi R n_2 \Rightarrow n_2=\dfrac{R n_1}{r}=5$ (ბრ/წმ). ვინაიდან ველოსიპედის ბორბალი მყარადაა მიმაგრებული მცირე რადიუსის ამყოლ კბილანაზე, იგი კბილანასთან ერთად ბრუნავს და ბორბლის ბრუნვის სიხშირეც $n_2=5$ ბრ/წმ-ის ტოლი იქნება. თუ ბორბლის ფერსოს C წერტილის წირით სიჩქარეს გამოვსახავთ ბორბლის ბრუნვის სიხშირით და რადიუსით, მივიღებთ: $v_3=2\pi R_2 n_2 \approx 15{,}7$ (მ/წმ).

პასუხი: ბორბლის ფერსოს წერტილების წირითი სიჩქარე მიახლოებით 15,7 მ/წმ-ია.

ამოხსენით ამოცანები:

1. დედამიწა ბრუნავს თავისი წარმოსახვითი ღერძის გარშემო, რომელიც დედამიწის ჩრდილოეთ და სამხრეთ პოლუსებზე გადის. რისი ტოლია პოლუსის წერტილების კუთხური სიჩქარე?

2. რისი ტოლია დედამიწის ეკვატორის წერტილების წირითი სიჩქარე, თუ დედამიწის რადიუსი 6400 კმ-ია, ხოლო საკუთარი ღერძის გარშემო ბრუნვის პერიოდი – 24 სთ (ერთი დღე-ღამე)?

3. რამდენჯერ აღემატება ეკვატორის წერტილების ცენტრისკენული აჩქარება დედამიწის 60^0-იან განედზე არსებული წერილების ცენტრისკენულ აჩქარებას (სურ. 1.115)?

მინიშნება: მოცემული წერტილის გეოგრაფიული განედი არის კუთხე, რომელსაც ადგენს ამ წერტილისადმი გავლებული რადიუსი ეკვატორის სიბრტყესთან.

4. რამდენჯერ აღემატება საათის ისრის წვეროს წირითი სიჩქარე ამავე ისრის შუა წერტილის წირით სიჩქარეს?

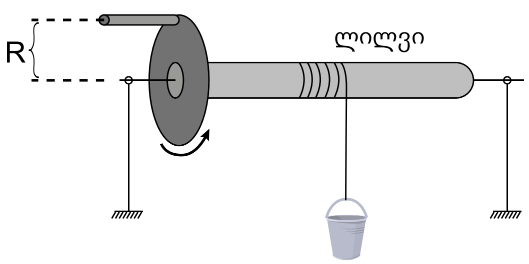
5. იპოვეთ საათის წამების მაჩვენებელი ისრის შუაწერტილის ცენტრისკენული აჩქარება, თუ ისრის სიგრძე 30 სმ-ია. მიიჩნიეთ, რომ ისარი თანაბრად ბრუნავს.

6. ჭიდან წყლის ამოსაღები ჯალამბრის სახელურის რადიუსი 40 სმ-ია (სურ 1.118). ლილვის რადიუსი კი 10 სმ. რა წირითი სიჩქარით ამოძრავებს მოსწავლე სახელურს, თუ ლილვის ზედაპირის წერტილების ცენტრისკენული აჩქარება 0,1 მ/წმ^2-ია?

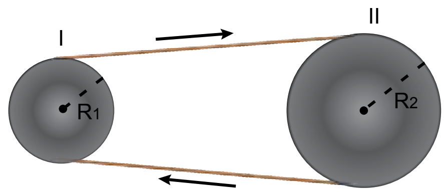
7. წინა ამოცანის პირობის მიხედვით, განსაზღვრეთ ლილვზე ჩამოკიდებული სათლის სიჩქარე და ჯალამბრის სახელურის ცენტრისკენული აჩქარება.

8. უძრავი ღერძის მქონე ორი ჭოჭონაქი, რომელთა რადიუსები, შესაბამისად, არის 20 სმ და 40 სმ, ერთმანეთთან დაკავშირებულია მათზე გადადებული უჭიმვადი ღვედით (სურ. 1.119). რისი ტოლია მეორე ჭოჭონაქის ბრუნვის კუთხური სიჩქარე, თუ პირველის კუთხური სიჩქარე 2 რად/წმ-ია? მიიჩნიეთ, რომ ღვედი ჭოჭონაქებზე არ სრიალებს.

9. უძრავი ბრუნვის ღერძის მქონე ორი ჭოჭონაქი ერთმანეთთან დაკავშირებულია მათზე გადადებული უჭიმვადი ღვედით (სურ. 1.119). ჭოჭონაქების რადიუსები, შესაბამისად, 31,4 სმ და 40 სმ-ია. რისი ტოლია მეორე ჭოჭონაქის ბრუნვის სიხშირე, თუ პირველის კუთხური სიჩქარე 4 რად/წმ-ია? მიიჩნიეთ, რომ ღვედი ჭოჭონაქებზე არ სრიალებს.



სურ. 1.118



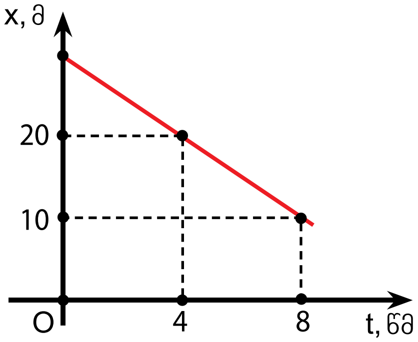
სურ. 1.119

10. დედამიწის ირგვლივ, ეკვატორის სიბრტყეში, წრიულ ორბიტაზე, ბრუნავს თანამგზავრი ისე, რომ იგი დედამიწის ერთი და იმავე წერტილის თავზე იმყოფება. რისი ტოლია თანამგზავრის დაშორება დედამიწის ზედაპირიდან, თუ მისი ცენტრისკენული აჩქარება 0,22 მ/წმ^2-ია?

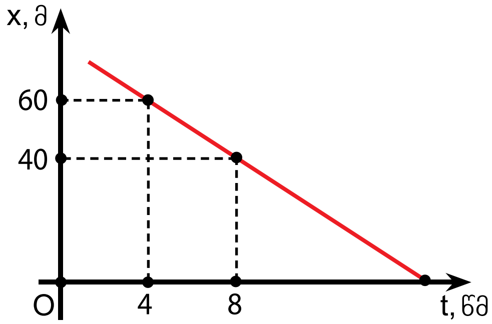
პირველი თავის შემაჯამებელი ამოცანები

1. სურ. 1.120 მოცემულია X ღერძზე წრფივად და თანაბრად მოძრავი სხეულის კოორდინატის დროზე დამოკიდებულების გრაფიკი. განსაზღვრეთ სხეულის კოორდინატი საწყის მომენტში და სხეულის სიჩქარის გეგმილი X ღერძზე.

2. სურ. 1.121 მოცემულია X ღერძზე თანაბრად მოძრავი სპორტული ავტომობილის კორდინატის დროზე დამოკიდებულების გრაფიკი. განსაზღვრეთ მისი სიჩქარის მოდული და დროის მომენტი, როდესაც მისი კოორდინატი ნულის ტოლი გახდება.



სურ. 1.120



სურ. 1.121

3. სურ. 1.122 მოცემულია X ღერძზე წრფივად და თანაბრად მოძრავი სხეულის კოორდინატის დროზე დამოკიდებულების გრაფიკი, რომლის მიხედვით უპასუხეთ კითხვებს:

ა) რისი ტოლია სხეულის სიჩქარის გეგმილი X ღერძზე?

ბ) გაივლის თუ არა გრაფიკზე გამავალი წრფე კოორდინატთა სისტემის O სათავეში?

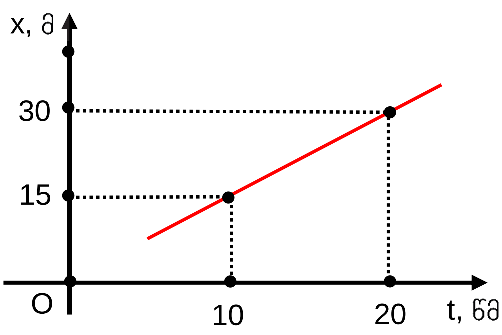
გ) როგორ შეიცვლება გრაფიკის t ღერძთან დახრის კუთხე, თუ ამ სხეულის სიჩქარის მოდული გაიზრდება?

4. სურ. 1.123 მოცემულია X ღერძზე მოძრავი ორი ნივთიერი წერტილის კოორდინატის დროზე დამოკიდებულების გრაფიკი, რომელთა მიხედვით განსაზღვრეთ:

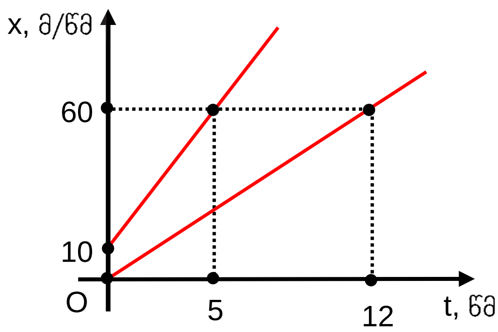
ა) თითოეული ნივთიერი წერტილის სიჩქარის მოდული;

ბ) მათ შორის მანძილი დროის ათვლის დაწყებიდან 2 წუთში.

დაწერეთ ორივე ნივთიერი წერტილის კოორდინატის დროზე დამოკიდებულების ფორმულა.



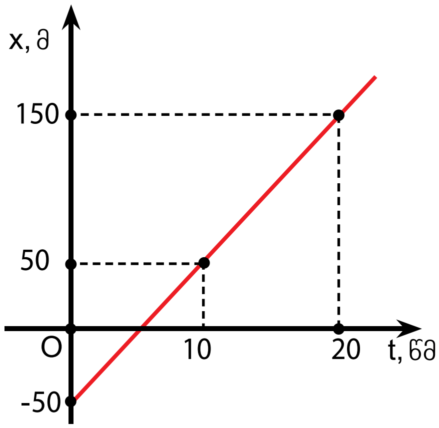
სურ. 1.122



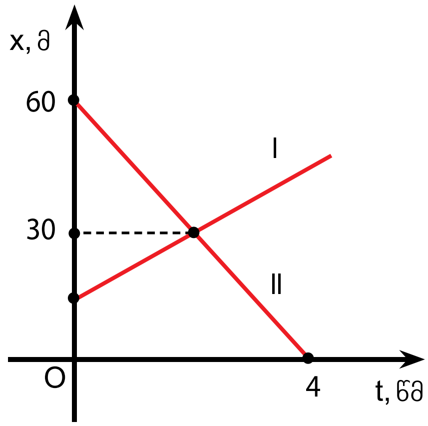
სურ. 1.123

5. სურ. 1.124 მოცემულია X ღერძზე თანაბრად მოძრავი ავტომობილის კოორდინატის დროზე დამოკიდებულების გრაფიკი. განსაზღვრეთ გრაფიკის დროის ღერძთან გადაკვეთის შესაბამისი დროის მომენტი და დაწერეთ ავტომობილის კოორდინატის დროზე დამოკიდებულების განტოლება.

6. სურ. 1.125 მოცემულია X ღერძზე წრფივად და თანაბრად მოძრავი ორი სხეულის კოორდინატის დროზე დამოკიდებულების გრაფიკები. განსაზღვრეთ სხეულთა შეხვედრის დრო და პირველი სხეულის სიჩქარის მოდული, თუ პირველი სხეულის საწყისი კოორდინატი 15 მ-ია.



სურ. 1.124



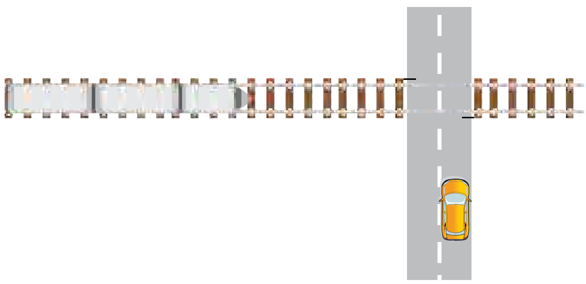
სურ. 1.125

7. X ღერძზე წრფივად და თანაბრად მოძრავი ორი სხეულის კოორდინატის დროზე დამოკიდებულების ფორმულებს აქვს შემდეგი სახე: x_1=310-20t და x_2=40+10t, რომლებშიც დრო იზომება წამებში, ხოლო კოორდინატი – მეტრებში. ააგეთ მათი კოორდინატის დროზე დამოკიდებულების გრაფიკები და განსაზღვრეთ სხეულების შეხვედრის დრო და კოორდინატი.

8. X ღერძზე წრფივად და თანაბრად მოძრაობს ორი მსუბუქი ავტომობილი. მათი კოორდინატის დროზე დამოკიდებულების ფორმულები, შესაბამისად, არის: x_1=15t და x_2=200+10t, რომლებშიც დრო იზომება წამებში, ხოლო კოორდინატი – მეტრებში. ააგეთ მათი კოორდინატის დროზე დამოკიდებულების გრაფიკები და განსაზღვრეთ მათი მათი შეხვედრის დრო და კოორდინატი.

9. დროის საწყის მომენტში ერთად მყოფი ორი ნივთიერი წერტილი მოძრაობს წრფივად და თანაბრად ურთიერთმართობული მიმართულებით. მათი სიჩქარეები 9 მ/წმ და 12 მ/წმ-ია. განსაზღვრეთ ამ წერტილებს შორის მანძილი საწყისი მომენტიდან 1 წუთის შემდეგ.

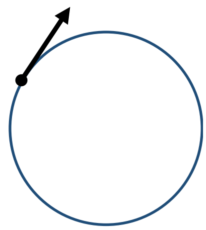
10. ლიანდაგებისა და საავტომობილო გზის ურთიერთმართობულ რეგულირებად გადაკვეთას მატარებელი უახლოვდება მუდმივი 10 მ/წმ სიჩქარით (სურ 1.126). საწყის მომენტში მატარებლის პირველი ვაგონი გადაკვეთის ადგილიდან დაშორებულია 300 მ-ით. სულ მცირე, რამდენი მ/წმ უნდა იყოს ლიანდაგებიდან 120 მ-ით დაშორებული თანაბრად მოძრავი ავტომობილის სიჩქარის მოდული, რომ მან ლიანდაგებზე მატარებლის მისვლამდე გადაიაროს? ლიანდაგზე გადასასვლელთან შლაგბაუმი იკეტება მატარებლის მისვლამდე 18 წმ-ით ადრე, ხოლო ღია შლაგბაუმის დროს ლიანდაგზე გადასვლას მატარებელი 3 წამზე ნაკლებ დროს ანდომებს.



სურ. 1.126

11. წრფივ გზაზე მოძრავი ავტობუსის კოორდინატის დროზე დამოკიდებულების ფორმულაა x_1=50-11t. ამავე გზაზე მოძრავი მოტოციკლის კი – x_2=-300+24t. დაწერეთ ავტობუსის კოორდინატის დროზე დამოკიდებულების ფორმულა მოტოციკლთან დაკავშირებულ ათვლის სისტემაში და ააგეთ მისი გრაფიკი.

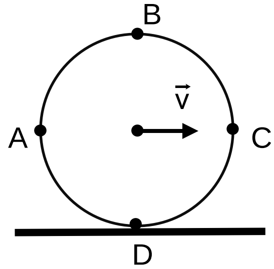
12. ნივთიერი წერტილი მოდულით მუდმივი სიჩქარით ბრუნავს წრეწირზე ვერტიკალურ სიბრტყეში (სურ 1.127). წრეწირის რომელ წერტილებშია ნივთიერი წერტილის სიჩქარის ჰორიზონტალური და ვერტიკალური მდგენელები მოდულით ერთმანეთის ტოლი?



სურ. 1.127

13. სურ. 1.128 გამოსახულია ბორბალი, რომელიც სრიალის გარეშე $\vec{v}$ სიჩქარით მიგორავს გზის ჰორიზონტალურ ზედაპირზე. განსაზღვრეთ A, B, C და D წერტილების სიჩქარის მოდულები ა) ბორბლის ცენტრის მიმართ; ბ) დედამიწის მიმართ.

14. ორი მორბენალი, რომელთა შორის მანძილი 10 მ-ია, წრფივ სარბენ ბილიკზე მირბის ერთი მიმართულებით თანაბრად 3 მ/წმ სიჩქარით. ამავე ბილიკზე შემხვედრი მიმართულებით მუდმივი 2 მ/წმ სიჩქარით მირბის მწვრთნელი. როდესაც პირველი მორბენალი მწვრთნელს შეხვდა, ის შემობრუნდა და საპირისპირო მიმართულებით სიჩქარის მოდულის შეუცვლელად გააგრძელა სირბილი. რა მანძილი იქნება მორბენლებს შორის, როდესაც მეორე მორბენალი მწვრთნელს შეხვდება?



სურ. 1.128

15. 1 მ სიმაღლის ბამბუკის ძირიდან წვეროსკენ ბამბუკის მიმართ 50 სმ/სთ მუდმივი სიჩქარით მიცოცავს ლოკოკინა. იგი ადის ბამბუკის წვერომდე და ბამბუკის მიმართ იმავე სიჩქარით ბრუნდება უკან. იპოვეთ ლოკოკინას ბამბუკის წვეროზე ასვლისა და მიწაზე დაბრუნების დრო. მიიჩნიეთ, რომ ბამბუკი დღე-ღამეში 60 სმ-ით თანაბრად მხოლოდ ძირთან იზრდება.

16. ტბაში 5 მ/წმ სიჩქარით წრფივად და თანაბრად მოძრავი გემიდან, მისი მოძრაობის საპირისპირო მიმართულებით, გემის მიმართ მუდმივი 20 მ/წმ სიჩქარით გამოვიდა სამაშველო კატერი. დაწერეთ კატერის კოორდინატის დროზე დამოკიდებულების ფორმულა გემთან და დედამიწასთან დაკავშირებულ ათვლის სისტემაში. განსაზღვრეთ გემსა და კატერს შორის მანძილი საწყისი მომენტიდან 2 წუთის შემდეგ. ათვლის წერტილად მიიჩნიეთ გემის მდებარეობა დროის საწყის მომენტში, ხოლო ღერძი მიმართეთ კატერის მოძრაობის მიმართულებით.

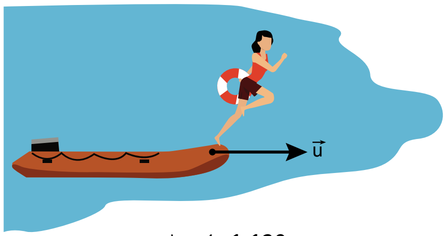
17. 0,5 მ/წმ სიჩქარით მოძრავ მდინარეში, დინების მიმართულებით, მის მიმართ 4,5 მ/წმ სიჩქარით თანაბრად მიცურავს გემი. გემიდან, მდინარის დინების მიმართულებით, გაემგზავრა სამაშველო ნავი გემის მიმართ მუდმივი 7 მ/წმ სიჩქარით. დაწერეთ ნავის კოორდინატის დროზე დამოკიდებულების ფორმულები გემთან, მდინარესთან და დედამიწასთან დაკავშირებულ ათვლის სისტემებში. ღერძი მიმართეთ მდინარის მიმართულებით, ხოლო ათვლის სათავედ აირჩიეთ გემის მდებარეობა დროის საწყის მომენტში.

18. მგზავრმა უძრავ ესკალატორზე თანაბარი ასვლისას 80 საფეხური დაითვალა. ამავალი მოძრავი ესკალატორით, მის მიმართ ისეთივე სიჩქარით ასვლისას კი – 60 საფეხური. რამდენჯერ აღემატება მგზავრის საკუთარი სიჩქარე ესკალატორის სიჩქარეს?

19. მგზავრმა მოძრავ ესკალატორზე ასვლისას 80 საფეხური დაითვალა. ესკალატორის მიმართ სიჩქარის მოდულის 2-ჯერ გადიდების შემდეგ კი – 96. რამდენ საფეხურს

დაითვლის მგზავრი უძრავ ესკალატორზე ასვლისას? ყველა შემთხვევაში მგზავრი მოძრაობდა ესკალატორის მოძრაობის მიმართულებით.

20. ტბაში 0,2 მ/წმ მუდმივი სიჩქარით მცურავი ნავიდან წყალში ხტება (სურ. 1.29) და ნავის მოძრაობის მიმართულებით 0,5 მ/წმ სიჩქარით მიცურავს მაშველი. რა მანძილით დაშორდება მაშველი ნავს 7 წამში? მიიჩნიეთ, რომ მაშველის გადახტომისას ნავის სიჩქარე არ შეცვლილა.



სურ. 1.129

21. ერთი წრფის გასწვრივ, ტბაზე შემხვედრი მიმართულებით, 0,2 მ/წმ მუდმივი სიჩქარით მიცურავს ორი ნავი. პირველი ნავიდან რიგ-რიგობით, 7 წმ-ის ინტერვალით, წყალში ხტება ორი მაშველი და მიცურავს მეორე ნავისკენ 0,5 მ/წმ სიჩქარით. დროის რა ინტერვალით შეხვდებიან მაშველები მეორე ნავთან?

22. ელენე ლიფტით პირველიდან მეცხრე სართულზე შეცდომით ავიდა, ამიტომ მეხუთე სართულზე ჩამოვიდა. რამდენჯერ აღემატება ელენეს გავლილი მანძილის საშუალო სიჩქარე მისი გადაადგილების საშუალო სიჩქარეს, თუ მივიჩნევთ, რომ სართულების სიმაღლე ერთნაირია და ლიფტი ყოველი სართულის გავლას ერთსა და იმავე დროს ანდომებს?

23. რისი ტოლია დედამიწის გადაადგილების საშუალო სიჩქარე მზის გარშემო ერთი შემობრუნებისას? მზე უძრავად ჩათვალეთ.

24. ვერტიკალურად ზევით ასროლილმა ბურთმა 5 მ სიმაღლეს მიაღწია და 3 მ სიმაღლის აივანზე დაეცა. რისი ტოლია ბურთის გადაადგილების საშუალო სიჩქარე, თუ ასროლის მომენტიდან აივანზე დაცემამდე 3 წმ გავიდა?

25. სპორტულმა ავტომობილმა დაიწყო თანაბარაჩქარებული მოძრაობა გზის წრფივ უბანზე. რამდენჯერ მეტია ავტომობილის სიჩქარე მოძრაობის დაწყებიდან 6 წმ-ის შემდეგ იმ სიჩქარეზე, რომელიც მას მოძრაობის დაწყებიდან 2 წმ-ის შემდეგ ჰქონდა?

26. სპორტულმა ავტომობილმა დაიწყო თანაბარაჩქარებული მოძრაობა გზის წრფივ უბანზე. რამდენჯერ აღემატება მის მიერ დაძვრიდან 8 წამში გავლილი მანძილი დაძვრიდან 2 წამში გავლილ მანძილს?

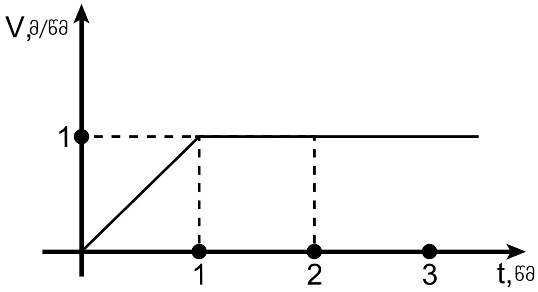
27. წრფივად და თანაბრად მოძრავმა ნივთიერმა წერტილმა დამუხრუჭების დაწყებიდან 10 წამში 150 მ გაიარა და გაჩერდა. მიიჩნიეთ, რომ დამუხრუჭებისას იგი თანაბარაჩქარებულად მოძრაობდა და განსაზღვრეთ მისი აჩქარების მოდული.

28. სურ. 1.130 მოცემულია წრფივად მოძრავი ავტომობილის სიჩქარის დროზე დამოკიდებულების გრაფიკი. რამდენჯერ აღემატება ავტომობილის მიერ დაძვრიდან 2 წამში გავლილი მანძილი დაძვრიდან 1 წამში გავლილ მანძილს?

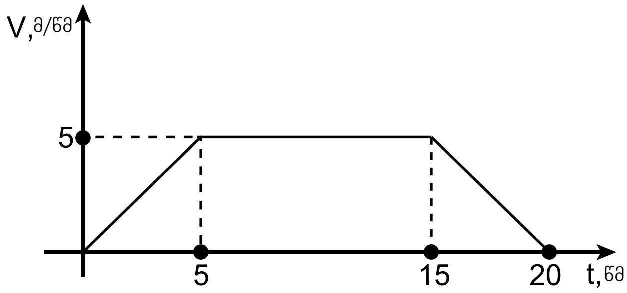
29. სურ. 1.130 მოცემულია წრფივად მოძრავი მსუბუქი ავტომობილის სიჩქარის დროზე დამოკიდებულების გრაფიკი. რისი ტოლია ავტომობილის გადაადგილების საშუალო სიჩქარე მოძრაობის დაწყებიდან 3 წამის განმავლობაში?

30. სურ. 1.131 მოცემულია წრფივ ლიანდაგზე მოძრავი მეტროს მატარებლის სიჩქარის დროზე დამოკიდებულების გრაფიკი. განსაზღვრეთ მატარებლის გადაადგილების საშუალო სიჩქარე მოძრაობის დაწყებიდან 20 წამის განმავლობაში.

31. წრფივ ლიანდაგზე მოძრავი მეტროს მატარებლის სიჩქარის დროზე დამოკიდებულების გრაფიკის მიხედვით (სურ. 1.131) დაწერეთ მისი სიჩქარის დროზე დამოკიდებულების ფორმულები დროის (0-5წმ), (5წმ-15წმ) და (15წმ-20წმ) შუალედებისთვის.



სურ. 1.130



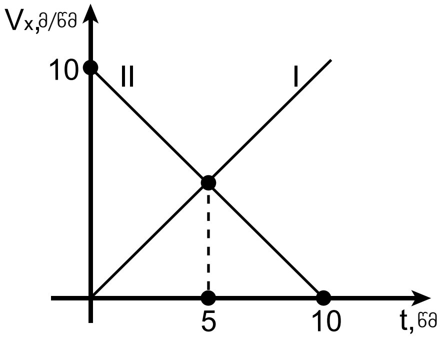
სურ. 1.131

32. შუქნიშნიდან დაძრულმა ავტომობილმა ჯერ თანაბარაჩქარებულად იმოძრავა, შემდეგ 5 წთ-ის განმავლობაში მოძრაობდა თანაბრად, ბოლოს კი მუდმივი აჩქარებით შენელებულად და გაჩერდა. გაქანებაც და დამუხრუჭებაც ცალ-ცალკე გრძელდებოდა 10 წმ-ის განმავლობაში მოდულით ერთნაირი აჩქარებით. რისი ტოლია ავტომობილის თანაბარი მოძრაობის სიჩქარე, თუ მისი გავლილი მანძილის საშუალო სიჩქარე 38,75 მ/წმ-ია?

33. შუქნიშნიდან დაძრულმა ავტომობილმა ჯერ თანაბარაჩქარებულად იმოძრავა, შემდეგ 5 წთ-ის განმავლობაში მოძრაობდა თანაბრად, ბოლოს კი მუდმივი აჩქარებით შენელებულად და გაჩერდა. გაქანებაც და დამუხრუჭებაც ცალ-ცალკე გრძელდებოდა 10 წმ-ის განმავლობაში მოდულით ერთნაირი 2 მ/წმ^2 აჩქარებით. ააგეთ ავტომობილის სიჩქარის დროზე დამოკიდებულების გრაფიკი და მისი საშუალებით განსაზღვრეთ ავტომობილის გავლილი მანძილის საშუალო სიჩქარე.

34. სურ. 1.132 მოცემულია X ღერძზე მოძრავი ორი ნივთიერი წერტილის სიჩქარის გეგმილის დროზე დამოკიდებულების გრაფიკი. განსაზღვრეთ მათ შორის მანძილი საწყისი მომენტიდან 5 წამის შემდეგ, თუ დროის საწყის მომენტში ისინი ერთ წერტილში იმყოფებოდნენ.

35. სურ. 1.132 მოცემულია X ღერძზე მოძრავი ორი ნივთიერი წერტილის სიჩქარის გეგმილის დროზე დამოკიდებულების გრაფიკები. მათი დახმარებით განსაზღვრეთ სხეულების აჩქარების გეგმილები და დრო, რომლის შემდეგაც მათი გავლილი მანძილები ერთნაირი იქნება.



სურ. 1.132

36. 20 მ/წმ სიჩქარით წრფივად და თანაბრად მოძრავმა ავტომობილმა დაიწყო თანაბარაჩქარებული მოძრაობა და სიჩქარე 25 მ/წმ-მდე გაზარდა. განსაზღვრეთ ავტომობილის აჩქარების მოდული, თუ სიჩქარის ზრდისას მან 225 მ მანძილი გაიარა.

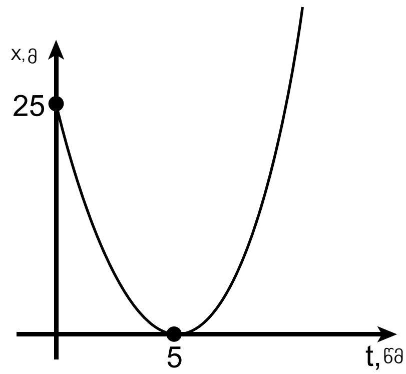
37. თანაბარაჩქარებულად მოძრავი ნივთიერი წერტილის სიჩქარის გეგმილი 10 მ/წმ-დან 20 მ/წმ-მდე 5 წმ-ში გაიზარდა. განსაზღვრეთ დროის ამ შუალედში მის მიერ შესრულებული გადაადგილების გეგმილის სიგრძე.

38. X ღერძზე მოძრავი ორი ნივთიერი წერტილის კოორდინატის დროზე დამოკიდებულების ფორმულებს აქვს შემდეგი სახე: $x_1=50+10t+6t^2$; $x_2=15t+7t^2$, რომელშიც დრო იზომება წამებში, ხოლო კოორდინატი – მეტრებში. განსაზღვრეთ თითოეული ნივთიერი წერტილის აჩქარების გეგმილი და მათი შეხვედრის დროის მომენტი.

39. X ღერძზე მოძრავი ორი ნივთიერი წერტილის კოორდინატის დროზე დამოკიდებულების ფორმულებს აქვს შემდეგი სახე: $x_1=100+12t-6t^2$; $x_2=15t+4t^2$, რომელშიც დრო

იზომება წამებში, ხოლო კოორდინატი – მეტრებში. ააგეთ ამ ნივთიერი წერტილების სიჩქარის გეგმილის დროზე დამოკიდებულების გრაფიკები.

40. 1.133 გამოსახულის X ღერძზე თანაბარაჩქარებულად მოძრავი ნივთიერი წერტილის კოორდინატის დროზე დამოკიდებულების გრაფიკი. განსაზღვრეთ ამ წერტილის საწყისი კოორდინატი, საწყისი სიჩქარისა და აჩქარების გეგმილი აღნიშნულ ღერძზე. დაწერეთ კოორდინატის დროზე დამოკიდებულების ფორმულა.



სურ. 1.133

41. მუდმივი 0,3 მ/წმ^2 აჩქარებით მოძრავმა მატარებელმა 100 მ სიგრძის უბანი 20 წამში გაიარა. განსაზღვრეთ მატარებლის სიჩქარე ამ უბნის დასაწყისსა და ბოლოში, თუ მისი სიჩქარე ამ უბანზე იზრდებოდა.

42. საწყისი სიჩქარის გარეშე დაშვებულმა მოთხილამურემ 80 მ სიგრძის ფერდობი 10 წამში გაიარა. ფერდობის შემდეგ კი მოძრაობა გააგრძელა ჰორიზონტალურ უბანზე და 40 მ მანძილის გავლის შემდეგ გაჩერდა. მიიჩნიეთ, რომ გზის ორივე მონაკვეთზე მოთხილამურე თანაბარაჩქარებულად მოძრაობდა და განსაზღვრეთ:

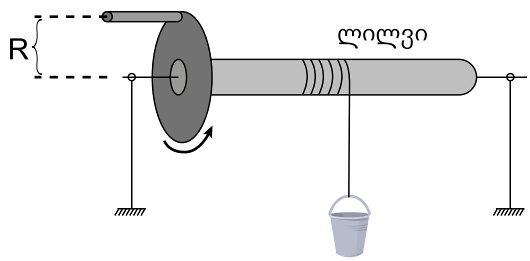
ა) აჩქარების მოდული ფერდობზე დაშვებისას;

ბ) სიჩქარის მოდული ფერდობის ბოლოს;

გ) აჩქარების მოდული ჰორიზონტალურ უბანზე მოძრაობისას.

43. ავტომობილმა თანაბარი მოძრაობისას 400 მ მანძილი 20 წამში გაიარა. რისი ტოლია ავტომობილის ბორბლის ბრუნვის სიხშირე, თუ მისი რადიუსი 50 სმ-ია?

44. განსაზღვრეთ თანაბრად მბრუნავი ჯალამბრის ლილვის ბრუნვის სიხშირე, თუ მისი რადიუსი 20 სმ-ია, ხოლო თოკზე დაკიდებული სათლი წამში 50 სმ მანძილს გადის (სურ. 1.134).



სურ. 1.134

45. ორი ნივთიერი წერტილიდან პირველი ბრუნავს 100 სმ რადიუსის, ხოლო მეორე – 50 სმ რადიუსის წრეწირზე. განსაზღვრეთ პირველის წერტილის ცენტრისკენული აჩქარების შეფარდება მეორის ცენტრისკენულ აჩქარებასთან, თუ:

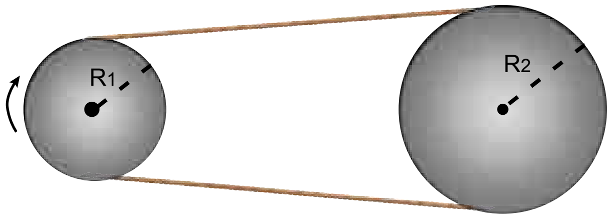
ა) მათი ბრუნვის პერიოდები ერთნაირია;

ბ) მათი წირითი სიჩქარეები ერთნაირია.

46. რამდენჯერ მეტია კედლის საათის წამების ისრის ბოლო წერტილის წირითი სიჩქარე წუთების ისრის ბოლო წერტილის სიჩქარეზე, თუ წუთების ისარი 3-ჯერ გრძელია წამების ისარზე?

47. ავტომობილის ძრავას შკივის ბრუნვის სიხშირე 3000 ბრ/წთ-ია. რამდენ ბრუნს გააკეთებს შკივი ავტომობილის მიერ 45 კმ მანძილის გავლისას, თუ ის 90 კმ/სთ სიჩქარით თანაბარად მოძრაობს?

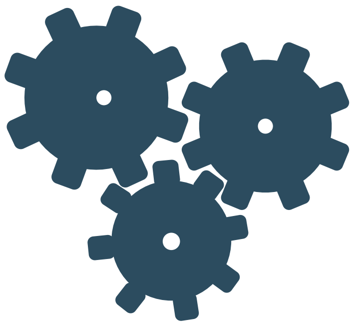
48. ერთმანეთთან უჭიმვადი ღვედით დაკავშირებული ორი შკივიდან (სურ. 1.135) პირველის რადიუსი 40 სმ-ია, მეორისა კი – 25 სმ. რისი ტოლია მეორე შკივის ბრუნვის სიხშირე, თუ პირველი შკივის ბრუნვის სიხშირე 50 ბრ/წმ-ია? მიიჩნიეთ, რომ ღვედი შკივებზე არ სრიალებს.



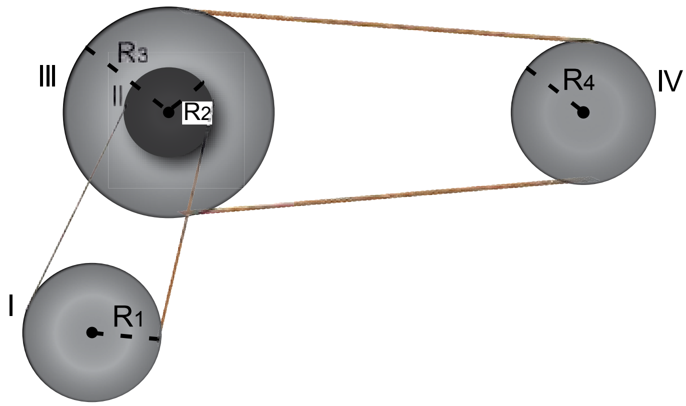
სურ. 1.135

49. დაამტკიცეთ, რომ სურ. 1.136 გამოსახული უძრავი ბრუნვის ღერძის მქონე კბილანების სისტემაში კბილანები ვერ იბრუნებს.

50. ერთმანეთთან უჭიმვადი ღვედით დაკავშირებულია ოთხი შკივი (სურ. 1.137). მეორე და მესამე შკივი ერთმანეთთან მყარადაა დამაგრებული. რისი ტოლია პირველი შკივის ბრუნვის სიხშირე, თუ მეოთხე შკივის ბრუნვის სიხშირე 1000 ბრ/წმ-ია? შკივების რადიუსები, შესაბამისად R_1=20 სმ, R_2=10 სმ, R_3=40 სმ და R_4=20 სმ-ია. მიიჩნიეთ, რომ ღვედები შკივებზე არ სრიალებს.



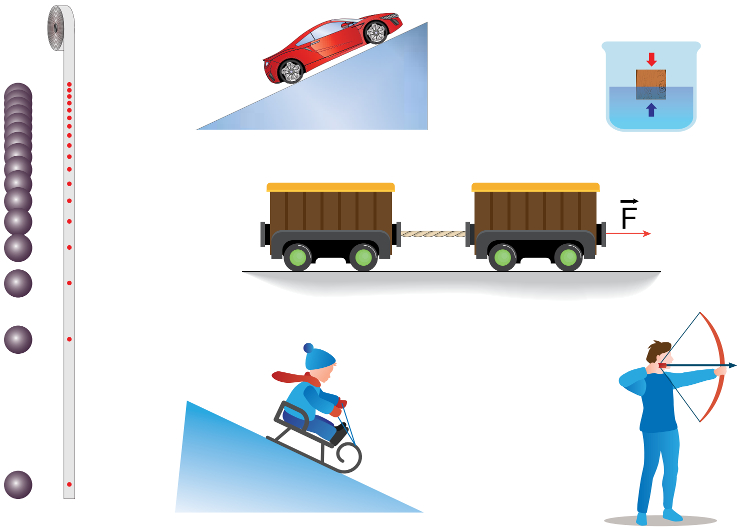
სურ. 1.136



სურ. 1.137

თავი II

ნიუტონის კანონები და მათი გამოყენება



ამ თავში თქვენ გაიხსენებთ და გაეცნობით:

- დინამიკის ამოცანას;
- ნიუტონის კანონებს;
- მსოფლიო მიზიდულობის კანონს;
- თავისუფალი ვარდნის აჩქარებას;
- პირველ კოსმოსურ სიჩქარეს;
- განსხვავებას სიმძიმის ძალასა და წონას შორის;
- სხეულთა მოძრაობას რამდენიმე ძალის მოქმედებით.

§2.1 დინამიკა. დინამიკის ამოცანა

მთიდან დაშვებისას მოთხილამურე მოძრაობს აჩქარებულად, ჰორიზონტალურ უბანზე გადასვლის შედეგ კი სიჩქარის შესანარჩუნებლად ის სათხილამურო ჯოხებს იყენებს (სურ. 2.1). თუ მოთხილამურე ჯოხების გამოყენებას შეწყვეტს, მისი სიჩქარე თანდათან მოიკლებს და ბოლოს გაჩერდება.

სურ. 2.1

იმისათვის, რომ განვსაზღვროთ მოთხილამურის სიჩქარე, გადაადგილება და გავლილი მანძილი, საჭიროა ვიცოდეთ მისი აჩქარება. ისმის კითხვა – როგორ ვიპოვოთ მოთხილამურის აჩქარება? ამისათვის კი უნდა გავარკვიოთ, რატომ მოძრაობდა მოთხილამურე დაღმართზე აჩქარებულად? გზის ჰორიზონტალურ მონაკვეთზე სიჩქარის შესანარჩუნებლად რატომ იყო აუცილებელი ჯოხების გამოყენება? რატომ ჩერდება ის, როცა ჯოხებს აღარ იყენებს?

წინა თავში თქვენ შეისწავლეთ მექანიკის ნაწილი – კინემატიკა, რომელიც სწავლობს სხეულის მოძრაობას, მაგრამ ზემოთ დასმულ შეკითხვებზე პასუხს არ იძლევა – კინემატიკა არ არკვევს ამა თუ იმ სახის მოძრაობის გამომწვევ მიზეზებს. ამას მექანიკის სხვა ნაწილი – დინამიკა შეისწავლის.

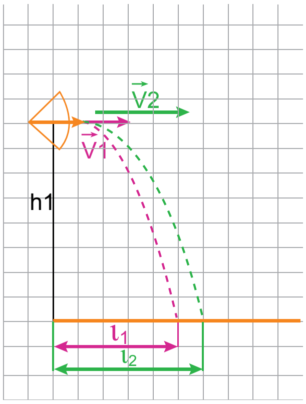
მექანიკის ნაწილს, რომელიც ადგენს სხეულთა მოძრაობის განმსაზღვრელ მიზეზებს, დინამიკა ეწოდება (dynamis – ბერძ. ძალა).

რა ახდენს გავლენას სხეულთა მოძრაობაზე?

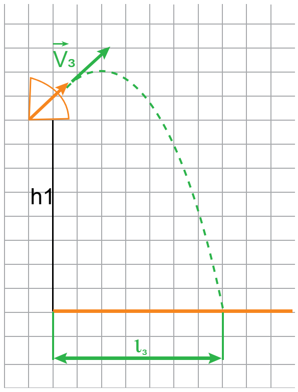
ჩავატაროთ ცდა სათამაშო მშვილდ-ისრის გამოყენებით. გავისროლოთ ისარი ჰორიზონტალურად რაიმე სიმაღლიდან და მოვნიშნოთ დაცემის ადგილი. გავიმეოროთ ცდა, ოღონდ მშვილდის ძუა უფრო მოვჭიმოთ. ისარი უფრო დიდი საწყისი სიჩქარით გაიტყორცნება და შევამჩნევთ, რომ გაიზრდება ფრენის სიშორეც ($v_2 > v_1$ და $l_2 > l_1$) (სურ. 2.2).

შევეცადოთ მშვილდის ძუა გავჭიმოთ ისევე, როგორც მეორე შემთხვევაში და ისარი იმავე სიმაღლიდან გავისროლოთ, ოღონდ ოდნავ ზემოთ მიმართული სიჩქარით. ამით ჩვენ ისრის საწყისი სიჩქარის მხოლოდ მიმართულებას შევცვლით. მიუხედავად იმისა, რომ საწყისი სიჩქარის მოდული არ შეცვლილა ($v_3 = v_2$), ისრის გადასროლის სიშორე შეიცვლება ($l_3 \neq l_2$) (სურ. 2.3).

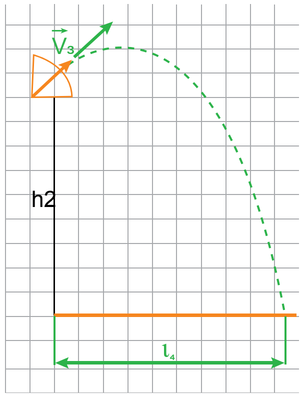
გავიმეოროთ უკანასკნელი ცდა უფრო მეტი სიმაღლიდან ($h_2 > h_1$). დავინახავთ, რომ ფრენის სიშორე კიდევ უფრო გაიზრდება ($l_4 > l_3$) (სურ. 2.4).



სურ. 2.2



სურ. 2.3



სურ. 2.4

თუ პლასტმასის ისარს შევცვლით ისეთივე ხის ისრით, რომელსაც სხვა მასა აქვს, შემჩნეული კანონზომიერება არ დაირღვევა, მაგრამ შედეგები წინა ცდებისაგან განსხვავებული იქნება.

ასევე, განსხვავებულ შედეგებს მივიღებთ, თუ იმავე ცდებს ქარიან ამინდში გავიმეორებთ.

მითითებულ ბმულზე: http://tiny.cc/1bkxtz შეგიძლიათ ჩაატაროთ მსგავსი წარმოსახვითი ექსპერიმენტი, რომელშიც საშუალება გექნებათ შეარჩიოთ გასასროლი სხეულის მასა, გასროლის კუთხე და საწყისი სიჩქარის მოდული.

ამრიგად, შეგვიძლია დავასკვნათ, რომ სხეულის მოძრაობის მახასიათებელ ფიზიკურ სიდიდეებსა და ტრაექტორიაზე გავლენას ახდენს:

- მისი საწყისი მდებარეობა;
- მისი საწყისი სიჩქარე;
- მასზე სხვა სხეულების მოქმედება;
- მისი მასა.

ერთი სხეულის მეორეზე მოქმედება რაოდენობრივად ხასითდება ფიზიკური სიდიდით – ძალით. დინამიკაში ძალა ერთ-ერთი ძირითადი სიდიდეა. სხეულზე მოქმედი ძალის მიმართულება მასზე მეორე სხეულის ქმედების მიმართულებას ემთხვევა, ხოლო მისი მოდული ამ ქმედების რაოდენობრივი საზომია. სხეულზე ძალის მოქმედების შედეგის შესაფასებლად საჭიროა ვიცოდეთ ამ ძალის მიმართულება, მოდული და სხეულის რომელ წერტილშია ის მოდებული. ძალის ერთეული SI-ში არის 1 ნიუტონი (1 ნ).

როგორც პარაგრაფის დასაწყისში აღვნიშნეთ, სხეულის მოძრაობის შესასწავლად საჭიროა ვიცოდეთ მისი აჩქარება, რომელიც სხეულზე მოქმედ ძალასთან ერთად მის მასაზეცაა დამოკიდებული. ამ სიდიდეებს შორის კავშირს კი შემდეგ პარაგრაფებში შევისწავლით.

ახლა უკვე შეგვიძლია ჩამოვაყალიბოთ, თუ რა არის **დინამიკის ამოცანა**:

ვიპოვოთ სხეულის მდებარეობა და სიჩქარე დროის ნებისმიერ მომენტში, თუ ვიცით მისი საწყისი მდებარეობა, საწყისი სიჩქარე, მასა და მასზე მოქმედი ძალები.

§2.2 ნიუტონის პირველი კანონი. ათვლის ინერციული სისტემები

ეს გალილეო გალილეის მიერ აღმოჩენილი ინერციის კანონის ერთ-ერთი ფორმულირებაა. გალილეო გალილეის მოსაზრებები თავის ნაშრომებში ისააკ ნიუტონმა განავრცო. 1687 წელს მან ჩამოაყალიბა უმნიშვნელოვანესი დებულება:

ნებისმიერი სხეული იმყოფება უძრავ მდგომარეობაში ან მოძრაობს წრფივად და თანაბრად მანამ, სანამ მასზე მოქმედი ძალები არ გამოიყვანენ ამ მდგომარეობიდან.

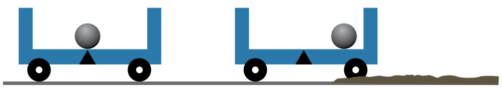
თუ სხეულზე მოქმედი ძალები ერთმანეთს არ აკომპენსირებს, მაშინ ამ სხეულის სიჩქარე იცვლება – იცვლება სიჩქარის მოდული ან მიმართულება.

ყველა სხეული ინარჩუნებს უძრაობის ან წრფივი თანაბარი მოძრაობის მდგომარეობას, თუ მასზე ძალა არ მოქმედებს. ზუსტად ამიტომ მანქანის დამუხრუჭებისას მგზავრები იხრებიან წინ, სიჩქარის მომატებისას – უკან, ხოლო მოხვევისას – მოსახვევის საწინააღმდეგო მხარეს.

სხეულის მიერ უძრაობის ან წრფივი თანაბარი მოძრაობის შენარჩუნების მოვლენას, როდესაც მასზე ძალები არ მოქმედებს ან მათი ქმედება კომპენსირებულია, ინერცია ეწოდება (inertia (ლათ.) – უძრაობა, უმოქმედობა).

სხეულს, რომელზეც ძალები არ მოქმედებს ან მათი მოქმედება გაწონასწორებულია, თავისუფალი სხეული ვუწოდოთ. ნიუტონისა და გალილეის დებულებების თანახმად, თავისუფალი სხეულები უნდა მოძრაობდეს მუდმივი სიჩქარით. თქვენ იცით, რომ სხეულის სიჩქარე ფარდობითია, ის დამოკიდებულია ათვლის სისტემის არჩევაზე. ისმის კითხვა: ყველა ათვლის სისტემაში ინარჩუნებს თავისუფალი სხეული მუდმივ სიჩქარეს? ანუ, ყველა ათვლის სისტემაში სრულდება ინერციის კანონი?

ჩავატაროთ ცდა: ურიკა, რომელზეც მოთავსებულია ბურთულა, ვამოძრაოთ თანაბრად (სურ. 2.7 ა). ბურთულაზე ვერტიკალური მიმართულებით მოქმედი ძალები გაწონასწორებულია, ჰორიზონტალური მიმართულებით კი მასზე ძალა არ მოქმედებს. ბურთულა თავისუფალი სხეულია – ურიკის მიმართ უძრავია, ხოლო დედამიწის მიმართ მოძრაობს თანაბრად ურიკის სიჩქარით. მაგრამ როცა ურიკა გადავა ქვიშიან ზედაპირზე (სურ. 2.7 ბ), მისი სიჩქარე მკვეთრად შემცირდება და გაჩერდება. ურიკის დამუხრუჭებისას ბურთულა მის მიმართ ამოძრავდება, ანუ შეიცვლის სიჩქარეს ურიკის მიმართ.



ა) ბ)

სურ. 2. 7

იქმნება შთაბეჭდილება, თითქოს ბურთულა აამოძრავა რაღაც ძალამ, მაგრამ სინამდვილეში ბურთულაზე ძალას არ უმოქმედია: თავისუფალმა სხეულმა – ბურთულამ ურიკის დამუხრუჭების შემდეგ შეინარჩუნა სიჩქარე დედამიწის მიმართ, მაგრამ არ შეინარჩუნა ის ურიკის მიმართ.

ამ ცდის ანალიზის საფუძველზე შეგვიძლია დავასკვნათ:

- ათვლის სისტემის – დედამიწის მიმართ თავისუფალი სხეული (ბურთულა) ინარჩუნებს თავის სიჩქარეს;
- ათვლის სისტემის – ურიკის მიმართ თავისუფალი სხეული (ბურთულა) ინარჩუნებს მუდმივ სიჩქარეს, როცა ურიკა მოძრაობს თანაბრად;
- ათვლის სისტემის – ურიკის მიმართ თავისუფალი სხეულის (ბურთულის) სიჩქარე იცვლება, როცა ურიკა მოძრაობს აჩქარებულად.

ამრიგად, ნიუტონისეულ ინერციის კანონში საჭიროა დაზუსტება – ყველა ათვლის სისტემისათვის კანონი სამართლიანი არ არის. ამიტომ ნიუტონის დებულება შეიძლება შემდეგნაირად ჩამოვაყალიბოთ:

არსებობს ათვლის სისტემები, რომელთა მიმართ თავისუფალი სხეულები ინარჩუნებენ მუდმივ სიჩქარეს.

ამ დებულებას ნიუტონის პირველი კანონი ეწოდება.

ათვლის სისტემებს, რომელთა მიმართაც თავისუფალი სხეულები ინარჩუნებენ მუდმივ სიჩქარეს, ინერციულს უწოდებენ; ხოლო სისტემებს, რომელთა მიმართ ის არ სრულდება – არაინერციულებს.

სხეულთა მოძრაობისა და ურთიერთქმედების კანონები, რომლებსაც სასკოლო პროგრამის ფარგლებში შეისწავლით, ჩამოყალიბებულია ათვლის ინერციული სისტემებისთვის.

აღსანიშნავია, რომ შეუძლებელია ისეთი ათვლის სისტემის პოვნა, რომელიც ინერციული იქნება მასში განხილულ ყველა მოვლენისათვის. ძალიან დიდი სიზუსტით ინერციულია მზესთან დაკავშირებული – ჰელიოცენტრული ათვლის სისტემა. მისი კოორდინატთა სათავე დაკავშირებულია მზესთან, ხოლო ღერძები მიმართულია შორეული ვარსკვლავებისაკენ. სიმარტივისათვის, დედამიწის მახლობლად მოძრავ სხეულებზე ამოცანების ამოხსნისას ინერციულად მივიჩნევთ დედამიწასთან დაკავშირებულ ათვლის სისტემას. ინერციული ათვლის სისტემის მიმართ წრფივად და თანაბრად მოძრავი ყველა ათვლის სისტემა ასევე ინერციული იქნება. თუ ათვლის სისტემა აჩქარებულად მოძრაობს ინერციული ათვლის სისტემის მიმართ, ის არაინერციულია.

დასკვნები:

- სხეულის უძრაობა და წრფივი თანაბარი მოძრაობა მისი ბუნებრივი, წონასწორული მდგომარეობებია;
- ყოველი სხეული იმყოფება უძრავ მდგომარეობაში ან მოძრაობს წრფივად და თანაბრად მანამ, ვიდრე მასზე მოქმედი ძალები არ გამოიყვანს ამ მდგომარეობიდან;
- არსებობს ათვლის სისტემები, რომელთა მიმართ თავისუფალი სხეულები ინარჩუნებს მუდმივ სიჩქარეს;
- ათვლის სისტემებს, რომელთა მიმართაც თავისუფალი სხეულები ინარჩუნებს მუდმივ სიჩქარეს, ინერციულს უწოდებენ, ხოლო სისტემებს, რომელთა მიმართ ის არ სრულდება – არაინერციულებს.

საკონტროლო კითხვები:

1. რა მიზეზით შეიძლება აჩქარდეს წრფივად და თანაბრად მოძრავი სხეული?
2. რომელ სხეულს ვუწოდეთ თავისუფალი?
3. ათვლის რომელ სისტემებს უწოდებენ არაინერციულს?
4. თუ დედამიწას ათვლის ინერციულ სისტემად მივიჩნევთ, იქნება თუ არ ინერციული მთვარესთან დაკავშირებული ათვლის სისტემა?

ერთად ამოვხსნათ ამოცანა

ჰორიზონტალურ იატაკზე თანაბრად მიასრიალებენ ყუთს მასზე გამობმული იატაკის პარალელური თოკის საშუალებით (სურ. 2.8). ყუთის მასა 100 კგ-ია, ხახუნის კოეფიციენტი ყუთსა და იატაკს შორის კი – 0,2. განსაზღვრეთ ყუთზე მოქმედი ძალები.

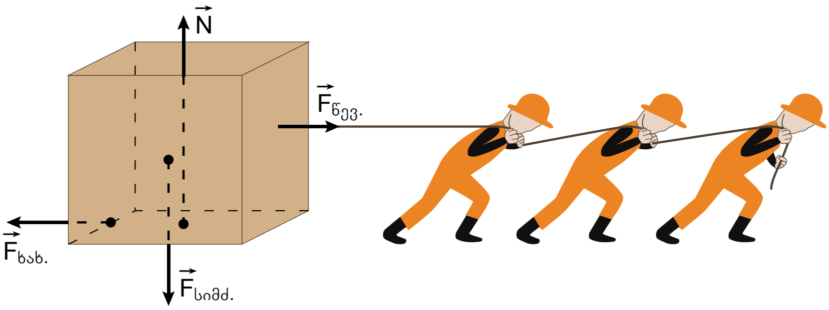
ამოხსნა:

მოც:
$m = 100$ კგ;
$\mu = 0{,}2$;
უ.ვ. N, $F_{წევ.}$
$F_{სიმძ.}$ $F_{ხახ.}$

გაიხსენეთ მეშვიდე კლასის ფიზიკის კურსში ნასწავლი ზოგიერთი ძალა.

100 კგ მასის ყუთზე მოქმედებს ვერტიკალურად ქვევით მიმართული სიმძიმის $m\vec{g}$ ძალა, რომლის მოდული ტოლია: $F_{სიმძ} = mg = 1000$ ნ. ჰორიზონტალური იატაკის მხრიდან ყუთზე იმოქმედებს ვერტიკალურად ზევით მიმართული რეაქციის $\vec{N}$ ძალა. რადგან ყუთი ვერტიკალური მიმართულებით არ გადაადგილდება, ეს ნიშნავს, რომ სიმძიმისა და რეაქციის ძალები ერთმანეთს აწონასწორებს, ანუ, მათი მოდულები ტოლია: $N = mg = 1000$ ნ. სრიალის გამო ყუთზე მოქმედებს მოძრაობის საპირისპიროდ მიმართული სრიალის ხახუნის ძალა, რომლის მოდული ტოლია: $F_{სრ.\ ხახ.} = \mu N = 200$ ნ. ყუთის იატაკზე თანაბარი მოძრაობა კი ნიშნავს, რომ მასზე მოქმედი წევისა და სრიალის ხახუნის ძალები ერთმანეთს აწონასწორებს: $F_{წევ} = F_{სრ.\ ხახ} = 200$ ნ.

პასუხი: $F_{სიმძ} = N = 1000$ ნ; $F_{წევ} = F_{სრ.\ ხახ} = 200$ ნ.



სურ. 2.8

თოკის მხრიდან ყუთზე მოქმედ წევის ძალის ბუნებას მომდევნო პარაგრაფებში შევისწავლით.

ამოხსენით ამოცანები:

1. ვთქვათ, დედამიწასთან დაკავშირებული ათვლის სისტემა ინერციულია. ინერციული იქნება თუ არა ავტომაგისტრალზე წრფივად და თანაბრად მოძრავ ავტობუსთან დაკავშირებული ათვლის სისტემა? გზის პირას მდგარ ხესთან დაკავშირებული ათვლის სისტემა?

2. თუ დედამიწასთან დაკავშირებული ათვლის სისტემა ინერციულია, როგორი იქნება ავტომობილთან დაკავშირებული ათვლის სისტემა მისი დამუხრუჭებისას?

3. ინერციული იქნება თუ არა მბრუნავი კარუსელის სკამთან დაკავშირებული ათვლის სისტემა, თუ დედამიწასთან დაკავშირებული ათვლის სისტემა ინერციულია (სურ. 2.9)?

სურ. 2.9

§2.3 მასა

§2.4 ნიუტონის II კანონი

§ 2.5 ნიუტონის მესამე კანონი

მე-7 კლასის ფიზიკის კურსში თქვენ გაეცანით სხეულთა ურთიერთქმედებას.

ერთი სხეულის ცალმხრივი მოქმედება მეორეზე შეუძლებელია, სხეულები ყოველთვის ურთიერთქმედებენ – თუ ერთი სხეული მოქმედებს მეორეზე, მაშინ მეორე სხეულიც მოქმედებს პირველზე. სკამზე დაჯდომისას თქვენ მოქმედებთ მასზე – აწვებით თქვენი სხეულით, ამავე დროს, სკამიც მოქმედებს თქვენზე, სწორედ ამიტომ თქვენ ქვემოთ არ ვარდებით (სურ. 2.22 ა). მაგნიტის სიახლოვეს მოთავსებული რკინის ბურთულა მაგნიტისაკენ ამოძრავდება (სურ. 2.22 ბ). ეს ნიშნავს, რომ მაგნიტი მოქმედებს ბურთულაზე. ამავე დროს, ბურთულაც მოქმედებს მაგნიტზე – თუ მაგნიტი მსუბუქია, ის ბურთულისაკენ ამოძრავდება. თქვენ იცით, რომ ერთი სხეულის მეორეზე მოქმედება რაოდენობრივად ხასიათდება ფიზიკური სიდიდით – ძალით.

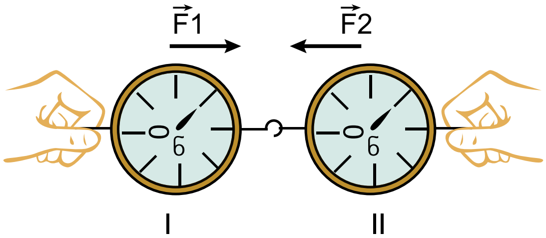
ა)

ბ)

სურ. 2.22

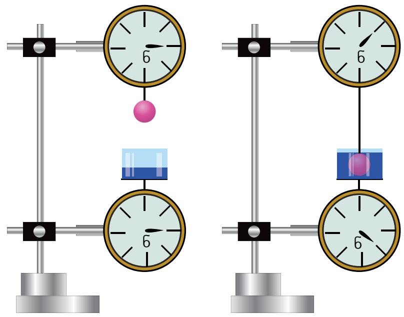
სხეულთა ურთიერთქმედება ნიშნავს, რომ მათზე მოქმედი ძალები ყოველთვის წყვილად წარმოიქმნება: თუ პირველ სხეულზე მეორე სხეული მოქმედებს $\vec{F}_1$ ძალით, მაშინ აუცილებლად არსებობს $\vec{F}_2$ ძალა, რომლითაც პირველი სხეული მოქმედებს მეორეზე. ჩვენი მიზანია გავარკვიოთ, რა კავშირია ამ ძალებს შორის. ამისათვის ჩავატაროთ ცდები.

ცდა I. ორი ერთნაირი დინამომეტრი გადავაბათ კაუჭებით და გავქაჩოთ საპირისპირო მიმართულებით (სურ. 2.23). დინამომეტრების ზამბარები დაიჭიმება და ერთმანეთზე იმოქმედებს ურთიერთსაპირისპიროდ მიმართული დრეკადობის $\vec{F}_1$ და ა $\vec{F}_2$ ძალებით. დინამომეტრების ჩვენება ერთნაირი იქნება, რაც იმას ნიშნავს, რომ ეს ძალები მოდულით ტოლია. თუ დინამომეტრებს მეტი ძალებით გავქაჩავთ, ორივე დინამომეტრის ჩვენება ერთნაირად გაიზრდება და კვლავ ერთმანეთის ტოლი იქნება.



სურ. 2. 23

ცდა II. შტატივზე ერთმანეთის თავზე დავამაგროთ ორი სადემონსტრაციო დინამომეტრი. ზედა დინამომეტრზე ჩამოვკიდოთ სფერო, ხოლო ქვედა დინამომეტრის სადგამზე დავდოთ წყლიანი ჭურჭელი (სურ. 2.24 ა). ჩავინიშნოთ ორივე დინამომეტრის ჩვენება. ჩავუშვათ სფერო წყალში ისე, რომ ჭურჭლის ფსკერს არ შეეხოს. სფეროზე იმოქმედებს ამომგდები ძალა, ამიტომ ზედა დინამომეტრის ჩვენება შემცირდება. ქვედა დინამომეტრის ჩვენება კი გაიზრდება ზუსტად იმდენით, რამდენითაც შემცირდა ზედა დინამომეტრის ჩვენება (სურ. 2.24 ბ). ეს ნიშნავს, რომ წყლის მხრიდან სფეროზე მოქმედი ზემოთ მიმართული არქიმედეს ძალა მოდულით ტოლია ქვემოთ მიმართული იმ ძალის, რომლითაც სფერო მოქმედებს წყალზე.



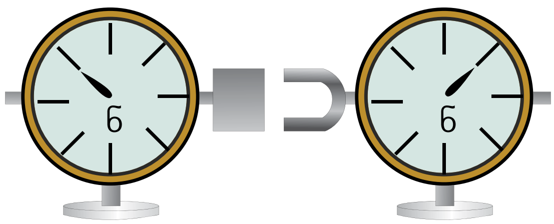
ა) ბ)

სურ. 2. 24

როგორ იმოქმედა სფერომ დინამომეტრის სადგამზე, როცა ის ჭურჭლის ფსკერს არ შეხებია? სფეროს წყალში ჩაშვებით მოიმატა ჭურჭელში წყლის დონემ და $P = \rho gh$ ფორმულის თანახმად, მოიმატა წნევამ მის ფსკერზე. შესაბამისად, გაიზარდა წნევის ძალაც სადგამზე.

ამ ცდაში სფეროსა და სითხეს შორის ურთიერთქმედება გადაეცა დინამომეტრის სადგამს.

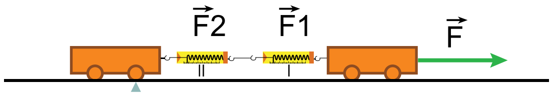
ცდა III. ერთ სადემონსტრაციო დინამომეტრზე დავამაგროთ ნალისებრი მაგნიტი, ხოლო მეორეზე – რკინის ცილინდრი (სურ. 2.25). თავდაპირველად დინამომეტრები ერთმანეთს ისეთი მანძილით დავაშოროთ, რომ მაგნიტისა და ცილინდრის მიზიდვა არ იგრძნობოდეს. დინამომეტრების დაახლოებისას მათი ისრები გადაიხრება ერთნაირად, ოღონდ საპირისპირო მიმართულებით. იმავე შედეგს მივიღებთ მათი ნებისმიერი მანძილით დაახლოებისას. მაშასადამე, ძალები, რომლებითაც ურთიერთქმედებენ მაგნიტი და რკინის ცილინდრი, მოდულით ტოლია და მიმართულია ურთიერთსაპირისპიროდ. ზუსტად ამიტომ ამოძრავდა ერთნაირად მაგნიტიანი ასანთის კოლოფები საშინაო ცდაში.



სურ. 2. 25

ამ ცდაში სხეულები უშუალო შეხების გარეშე ურთიერთქმედებენ.

ცდა IV. ორი ურიკა გადავაბათ დინამომეტრების საშუალებით (სურ. 2.26). გავქაჩოთ პირველი ურიკა $\vec{F}$ ძალით ისე, რომ ურიკები ამოძრავდეს. მეორე ურიკა დინამომეტრის საშუალებით ექაჩება პირველ ურიკას უკან $\vec{F}_1$ ძალით, რომლის მნიშვნელობას გვიჩვენებს I დინამომეტრი, ხოლო პირველი ურიკა – მეორე ურიკას წინ $\vec{F}_2$ ძალით. ამ ძალის მოდულს კი აჩვენებს II დინამომეტრი. ცდით შეიძლება დავრწმუნდეთ, რომ დინამომეტრების ჩვენებები ამ შემთხვევაშიც ერთნაირი იქნება. მაშასადამე, მოძრავი სხეულების ურთიერთქმედება ისეთივეა, როგორც უძრავი სხეულებისა.



სურ. 2. 26

აღსანიშნავია, რომ ორი სხეულის ურთიერთქმედებისას აღძრული ძალები ერთნაირი ბუნებისაა. მაგალითად, თუ ერთი სხეული მეორეზე დრეკადობის ძალით მოქმედებს, მაშინ მეორე სხეულიც პირველზე აგრეთვე დრეკადობის ძალით იმოქმედებს.

სხეულთა ურთიერთქმედების შესასწავლად ჩატარებული მრავალი ცდა საშუალებას გვაძლევს დავასკვნათ:

სხეულები ურთიერთქმედებენ ძალებით, რომლებიც ერთი ბუნებისაა, მოდულით ტოლია და მიმართულია ერთი წრფის გასწვრივ ურთიერთსაპირისპიროდ:

$$\vec{F}_1 = -\vec{F}_2 . \qquad (1)$$

ეს დებულება ატარებს **ნიუტონის მესამე კანონის** სახელს, იგი სამართლიანია ნებისმიერი მასის, ფორმისა და ზომის სხეულებისათვის.

რატომ ვერ აწონასწორებს ერთმანეთს ეს ძალები? ამის მიზეზი ის არის, რომ **ურთიერთქმედების ძალები მოდებულია სხვადასხვა სხეულზე.**

როდესაც ერთდროულად ურთიერთქმედებს რამდენიმე სხეული, მაშინ ნიუტონის მესამე კანონი სრულდება ამ სხეულთა ნებისმიერი წყვილისათვის.

თუ ურთიერთქმედ სხეულთა მასებს აღვნიშნავთ m_1-ით და m_2-ით, ხოლო მათ აჩქარებებს, შესაბამისად, $\vec{a}_1$-ით და $\vec{a}_2$-ით, მაშინ ნიუტონის მეორე კანონის გამოყენებით (1) ტოლობა შემდეგნაირად ჩაიწერება:

$$m_1\vec{a}_1 = -m_2\vec{a}_2 ,$$

საიდანაც აჩქარების მოდულებისათვის მივიღებთ:

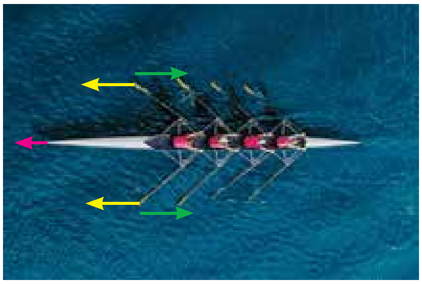
$$\frac{a_2}{a_1} = \frac{m_1}{m_2} .$$

ამრიგად, **ურთიერთქმედებისას სხეულთა მიერ შეძენილი აჩქარებების მოდულების შეფარდება მათი მასების შებრუნებული შეფარდების ტოლია.** ურთიერთქმედებისას, ის სხეული იღებს მეტ აჩქარებას, რომლის მასაც ნაკლებია.

ნიუტონის მესამე კანონის გამოყენებით შეიძლება ავხსნათ ყოველდღიური ცხოვრების ბევრი მოვლენა. მაგალითად, ადამიანი სიარულისას უბიძგებს გზის საფარს. საპასუხოდ, გზის საფარიც მოქმედებს ადამიანზე ძალით და ანიჭებს მას აჩქარებას (სურ. 2.27 ა); მენავე ნიჩბებით წყალს უკან უბიძგებს, წყალი კი ნიჩბებზე და, შესაბამისად, ნავზე წინ მიმართული ძალით მოქმედებს (სურ. 2.27 ბ).

ა)

ბ)



სურ. 2. 27

დასკვნები:

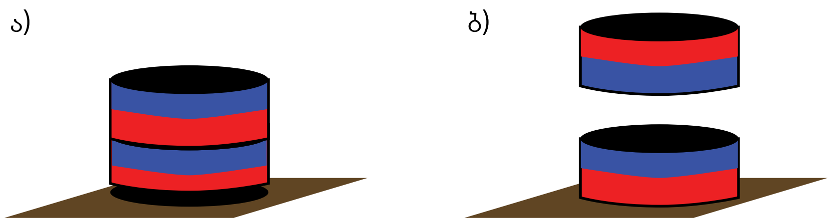
- ერთი სხეულის ცალმხრივი მოქმედება მეორეზე შეუძლებელია, სხეულები ყოველთვის ურთიერთქმედებენ;
- სხეულები ურთიერთქმედებენ ძალებით, რომლებიც ერთი ბუნებისაა, მოდულით ტოლია და მიმართულია ერთი წრფის გასწვრივ ურთიერთსაპირისპიროდ: $\vec{F_1} = -\vec{F_2}$;
- ურთიერთქმედების ძალები მოდებულია სხვადასხვა სხეულზე;
- ურთიერთმოქმედ სხეულთა აჩქარებების მოდულების შეფარდება მათი მასების შებრუნებული შეფარდების ტოლია: $\frac{a_2}{a_1} = \frac{m_1}{m_2}$.

საკონტროლო კითხვები:

1. რატომ არ იძვრის ადგილიდან ნავი, როდესაც მასში მჯდომი ადამიანი ნავის ბორტს აწვება?
2. რატომ ამოძრავდება ნავი, როდესაც ადამიანი მის ბორტს ნაპირიდან აწვება?
3. ბარონი მიუნჰაუზენი ამტკიცებდა, რომ თავისი თავი ჭაობიდან თმებით ამოათრია. როგორ დაასაბუთებთ, რომ ეს შეუძლებელია?
4. იზიდავს თუ არა სხეული დედამიწას?
5. ორი სხეულის ურთიერთქმედებისას, პირველმა სხეულმა მეორეზე 3-ჯერ მეტი აჩქარება შეიძინა. რომელი სხეულის მასაა მეტი და რამდენჯერ?

ერთად ამოვხსნათ ამოცანა

სურ. 2.28 ა გამოსახულია მაგიდაზე მოთავსებული ორი ერთნაირი მაგნიტი, რომლებიც ერთმანეთს ეკვრის საპირისპირო პოლუსებით. ზედა მაგნიტი 180^0-ით ამოაბრუნეს და მისი მდებარეობა ქვედა მაგნიტის თავზე ისე შეარჩიეს, რომ იგი ხელის გაშვების შემდეგ უძრავი დარჩა (სურ. 2.28 ბ). შეიცვალა თუ არა მაგიდზე დაწოლის ძალა?



სურ. 2. 28

ამოხსნა: სურ. 2.28 ა გამოსახულ შემთხვევაში მაგნიტები, როგორც ერთი სხეული, მაგიდას აწვება მოდულით 2mg ძალით, რომელშიც m თითოეული მაგნიტის მასაა. სურ. 2.28 ბ გამოსახულ შემთხვევაში, ზედა მაგნიტი გაწონასწორებულია, ე.ი. მასზე ქვედა მაგნიტი მოქმედებს ვერტიკალურად ზევით მიმართული, მოდულით mg-ს ტოლი ძალით. ნიუტონის მესამე კანონის თანახმად, ზედა მაგნიტიც ქვედაზე მოქმედებს ვერტიკალურად ქვევით მიმართული მოდულით იმავე (mg) ძალით. შესაბამისად, ქვედა მაგნიტი მაგიდას დააწვება საკუთარი სიმძიმის ძალისა და იმ ძალის ჯამით, რომლითაც ქვედა მაგნიტზე ზედა მაგნიტი მოქმედებს. მივიღეთ, რომ ქვედა მაგნიტი მაგიდას კვლავ 2mg ძალით აწვება.

პასუხი: მაგიდაზე დაწოლის ძალა არ შეიცვლება.

ამოხსენით ამოცანები:

1. მაგიდაზე მოთავსებულია 400 გ მასის წიგნი. რა ძალით იზიდავს ეს წიგნი დედამიწას?

2. თქვენთვის უკვე ცნობილია, რომ მზის მხრიდან მოქმედი მიზიდულობის ძალის მოქმედებით დედამიწა ბრუნავს მის გარშემო. როგორ ფიქრობთ, მზე უფრო დიდი ძალით იზიდავს დედამიწას, თუ დედამიწა – მზეს?

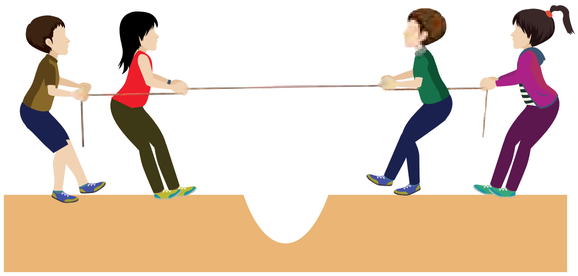
3. გოგონა თოკით ასეირნებს ძაღლს (სურ 2.29). ძაღლმა გაქცევა დააპირა და თოკი დაიჭიმა, თუმცა გოგონამ მოახერხა ძაღლის შეჩერება. როგორ ფიქრობთ, გოგონამ უფრო მეტი ძალით იმოქმედა თოკზე თუ ძაღლმა?

4. ჭერზე ჩამოკიდებულია 5 კგ მასის ჭაღი. დაასახელეთ ძალები, რომლებიც მოქმედებს ჭაღზე და ჭერზე. რომელი ძალები აწონასწორებს ერთმანეთს?

5. დედამიწის მიზიდულობის ძალის გავლენით ხიდან მოწყვეტილი ვაშლი დედამიწისკენ მიექანება. ნიუტონის მესამე კანონის თანახმად, ვაშლიც იზიდავს დედამიწას მოდულით იმავე ძალით. როგორ ფიქრობთ, ამ დროს დედამიწაც გადაადგილდება ვაშლისკენ? თუ ასეა, რატომ არაა შესამჩნევი დედამიწის გადაადგილება?

6. მეგობრები ზღვის სანაპიროზე თამაშობენ თოკით ერთმანეთის გადაძალვას. მათ შორის ორმოა და წაგებულია ის, ვინც ორმოში ჩავარდება. მართებული იქნება თუ არა წინადადება: მოიგებს ის, ვინც უფრო მეტი ძალით იმოქმედებს მოწინააღმდეგეზე (სურ. 2.30)?

სურ. 2. 29



სურ. 2. 30

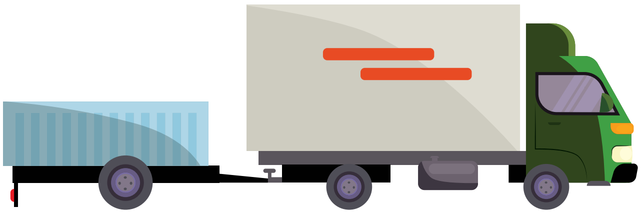
7. სურ. 2.31 გამოსახულია ქართველი მორაგბეები („ბორჯღალოსნები“), რომლებიც შერკინებისას მოწინააღმდეგე გუნდის მორაგბეებს მხრებით აწვებიან. მართებულია თუ არა გამონათქვამი: შერკინებას მოიგებს ის გუნდი, რომელიც მეტი ძალით მიაწვება მოწინააღმდეგეს? რა გავლენას ახდენს შერკინების შედეგზე ის ჰორიზონტალური ძალა, რომლითაც მორაგბეები მოედნის მინდვრის საფარზე მოქმედებენ?

სურ. 2. 31

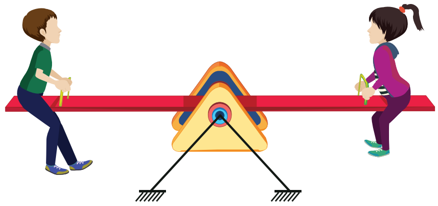
8. სურ. 2.32 გამოსახულია სატვირთო 1 ტონიანი მისაბმელით. ადგილიდან დაძვრისას სატვირთოს აჩქარება 2 მ/წმ^2-ია. რისი ტოლია ამ დროს მისაბმელის მხრიდან სატვირთოზე მოქმედი ძალის მოდული?

9. სურ. 2.32 გამოსახული სატვირთოს მასა 10 ტონაა. ადგილიდან დაძვრისას მისი აჩქარება 2 მ/წმ^2-ია. რისი ტოლია სატვირთოზე მოქმედი წევის ძალა, თუ ამ დროს სატვირთო მისაბმელზე 2 კნ ძალით მოქმედებს?

10. საქანელა „აიწონა-დაიწონაზე“ (სურ. 2.33) სხედან 20 კგ მასის ბავშვები. შედეგად საქანელა გაწონასწორებულია. დაასახელეთ ბავშვებზე მოქმედი ძალები და ძალები, რომელთა მოქმედებით საქანელა გაწონასწორებულ მდგომარეობაშია.



სურ. 2. 32



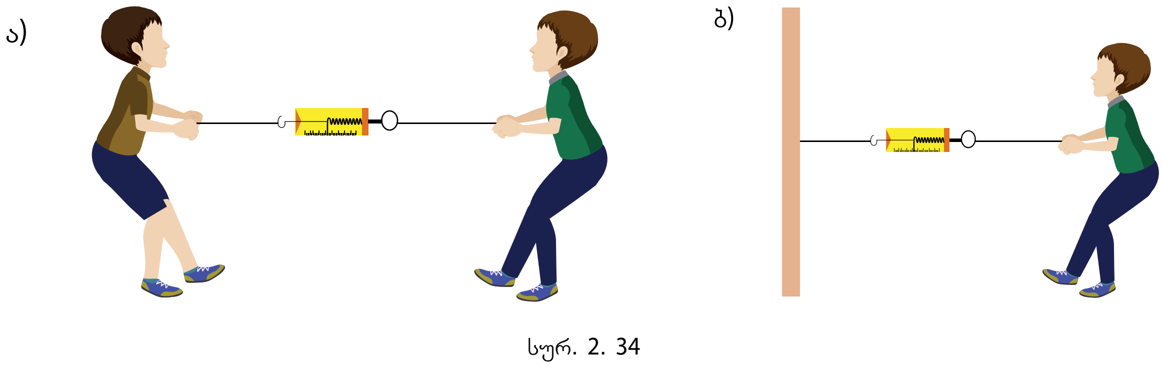
სურ. 2. 33

ჯგუფური მუშაობა. ლაბორატორიული სამუშაო

სამუშაოს მიზანი: სხეულთა ურთიერთქმედებაზე დაკვირვება.

სამუშაოს აღწერა: დინამომეტრის ორ მხარეს გამოაბით თოკები ისე, როგორც სურ. 2.34ა ნაჩვენები. ორმა მოსწავლემ დაქაჩეთ თოკები ერთმანეთის საპირისპირო მიმართულებით და სხვებმა ჩაინიშნეთ დინამომეტრის ჩვენება. შემდეგ ერთ-ერთი თოკი მიაბით კედელს (სურ. 2.34 ბ) (შეიძლება მიაბათ, მაგალითად, ჩაკეტილი კარის სახელურს ან დიდი მაგიდის ფეხს). ამჯერად, ერთმა მოსწავლემ მოქაჩოს მეორე თოკის ბოლო ისე, რომ დინამომეტრის ჩვენება წინანდელს გაუტოლდეს. ჩატარებულ ცდებზე დაკვირვებით შეეცადეთ უპასუხოთ კითხვებს:

- მეორე ცდაში რამ ჩაანაცვლა პირველი მოსწავლის თოკზე მოქმედება?
- როდესაც ზამბარა მხოლოდ მეორე მოსწავლემ წააგრძელა, წინანდელზე მეტად გაუჭირდა მას?



სურ. 2. 34

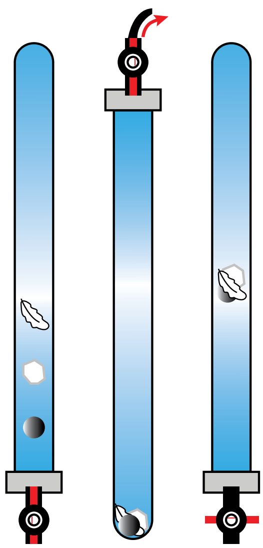
§ 2.6 მსოფლიო მიზიდულობის კანონი

XVIII საუკუნის ბიოგრაფი უილიამ სტიუკლი თავის წიგნში „მოგონებები ნიუტონის ცხოვრებაზე“ დაახლოებით შემდეგ ისტორიას მოგვითხრობს:

მშობლების მამულში, ვაშლის ბაღში, სეირნობისას ნიუტონმა დღისით ცაზე მთვარე შეამჩნია. ზუსტად იმ დროს მის თვალწინ ხიდან ვაშლი ჩამოვარდა. ნიუტონი დაფიქრდა, რომ შესაძლოა ერთი და იგივე ბუნების ძალა აიძულებდეს ვაშლს დაეცეს დედამიწაზე და მთვარეს დარჩეს დედამიწის მახლობელ ორბიტაზე.

მუშაობდა რა მოძრაობის კანონებზე, ნიუტონმა უკვე იცოდა, რომ ვაშლი დედამიწის მიზიდულობის გამო ვარდება. მან ისიც იცოდა, რომ მთვარე დედამიწის გარშემო ორბიტაზე ბრუნავს გარკვეული ძალის მოქმედებით, რომელიც აჩერებს მას ორბიტაზე და საშუალებას არ აძლევს გაფრინდეს კოსმოსში. ამგვარ მსჯელობაზე დაყრდნობით, ნიუტონმა გამოთქვა მოსაზრება, რომლის თანახმად, სამყაროში ნებისმიერ ორი სხეულს შორის მოქმედებს ურთიერთმიზიდვის ძალები. მან ამ ძალებს მსოფლიო მიზიდულობის ძალები უწოდა. ხშირად მათ გრავიტაციულ ძალებსაც უწოდებენ.

როგორ დავადგინოთ ამ ძალების მოდული და მიმართულება?



ა) ბ) გ)

სურ. 2. 35

მივყვეთ ნიუტონის ლოგიკურ აზრს: გრავიტაციული მიზიდულობის გამო დედამიწა ყველა ვარდნილ სხეულს ერთნაირ აჩქარებას ანიჭებს. ეს ფაქტი ნიუტონამდე გაცილებით ადრე, ჯერ კიდევ XVI საუკუნეში, ცდების საშუალებით გალილეო გალილეიმ დაადგინა. ამის საილუსტრაციოდ ნიუტონმა ჩაატარა კლასიკური ცდა, რომელიც ჩვენც შეგვიძლია გავიმეოროთ.

მინის გრძელ მილში მოვათავსოთ საფანტი, კორპის პატარა ნაჭერი და ფრინველის ბუმბული. ამოვატრიალოთ მილი. დავინახავთ, რომ მილის მეორე ბოლოს ყველაზე სწრაფად საფანტი მიაღწევს, შემდეგ – კორპის ნაჭერი, ბოლოს კი – ბუმბული (სურ. 2.35ა). ამოვტუმბოთ მილიდან ჰაერი (სურ. 2.35 ბ) და ცდა გავიმეოროთ. საფანტი, კორპის ნაჭერი და ბუმბული ერთდროულად ჩამოვარდება (სურ. 2.35 გ).

ძალას, რომლითაც დედამიწა მისი ზედაპირის მახლობლად მყოფ სხეულს იზიდავს, სიმძიმის ძალა ეწოდება. პირველ ცდაში სხეულებზე სიმძიმის ძალასთან ერთად ჰაერის წინააღმდეგობის ძალაც მოქმედებდა. მეორე ცდაში კი – მხოლოდ სიმძიმის ძალა.

სხეულის მოძრაობას, როდესაც მასზე მხოლოდ სიმძიმის ძალა მოქმედებს, თავისუფალი ვარდნა ეწოდება.

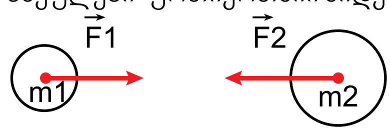
თავისუფალი ვარდნისას ყველა სხეულის აჩქარება ერთნაირია და ის მიახლოებით 9,8 მ/წმ²-ის ტოლია. მას თავისუფალი ვარდნის აჩქარებას უწოდებენ და აღნიშნავენ g ასოთი. ვინაიდან ეს აჩქარება გამოწვეულია სხეულზე მხოლოდ სიმძიმის ძალის მოქმედებით, ამიტომ ნიუტონის მეორე კანონის თანახმად, თავისუფალი ვარდნის აჩქარება ტოლი იქნება:

$$\vec{g} = \frac{\vec{F}_{სიმძ}}{m}.$$

ამ ფორმულის მიხედვით, g სიდიდე მუდმივი მხოლოდ იმ შემთხვევაში იქნება, თუ $F \sim m$.

ამრიგად, შეიძლება დავასკვნათ, რომ სხეულზე მოქმედი გრავიტაციული ძალა მისი მასის პირდაპირპროპორციულია.

ნიუტონის მესამე კანონის თანახმად, m_1 და m_2 მასის სხეულები ურთიერთმიიზიდებიან მოდულით ტოლი ძალებით: $F_1 = F_2 = F$ (სურ. 2.36). ამავე დროს, $F_1 \sim m_1$ და $F_2 \sim m_2$. გამომდინარე აქედან, ორ სხეულს შორის მოქმედი გრავიტაციული მიზიდულობის ძალა მათი მასების ნამრავლის პირდაპირპროპორციულია:



სურ. 2. 36

$$F \sim m_1 \cdot m_2 \qquad (1)$$

გააანალიზა რა მთვარის მოძრაობა დედამიწის გარშემო, ნიუტონმა დაამტკიცა, რომ ორი სხეულის გრავიტაციული მიზიდულობის ძალა მათ შორის მანძილის კვადრატის უკუპროპორციულია:

$$F \sim \frac{1}{r^2}. \qquad (2)$$

მართლაც, მთვარეს ცენტრისკენულ აჩქარებას დედამიწის მიზიდულობა ანიჭებს. მიზიდულობის ძალა დამოკიდებული რომ არ იყოს სხეულებს შორის მანძილზე, მაშინ მთვარის ცენტრისკენული აჩქარება ტოლი იქნებოდა თავისუფალი ვარდნის აჩქარებისა დედამიწის ზედაპირის მახლობლად. მაგრამ მთვარის ცენტრისკენული აჩქარება 0,0027 მ/წმ^2-ის ტოლია, ეს კი დაახლოებით 3600-ჯერ ნაკლებია g-ს მნიშვნელობაზე. ამავე დროს, მანძილი დედამიწისა და მთვარის ცენტრებს შორის 60-ჯერ მეტია დედამიწის რადიუსზე. ნიუტონს მიაჩნდა, რომ მანძილი უნდა აითვალოს არა დედამიწის ზედაპირიდან, არამედ მისი ცენტრიდან. მაშასადამე, სხეულებს შორის მანძილის 60-ჯერ გადიდება იწვევს აჩქარების და, შესაბამისად, გრავიტაციული ძალის 60^2-ჯერ შემცირებას.

მიღებული (1) და (2) დასკვნების გაერთიანებით ნიუტონმა 1687 წელს გამოაქვეყნა **მსოფლიო მიზიდულობის კანონი:**

ნებისმიერი ორი სხეული ურთიერთმიიზიდება ძალით, რომლის მოდული პირდაპირპროპორციულია მათი მასების ნამრავლისა და უკუპროპორციულია მათ შორის მანძილის კვადრატისა:

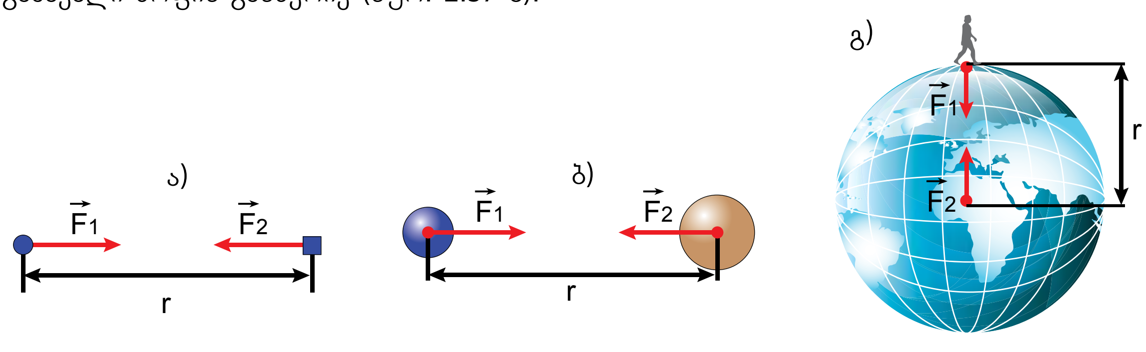
$$F = G\frac{m_1 m_2}{r^2}, \qquad (3)$$

რომელშიც G პროპორციულობის კოეფიციენტია. მას გრავიტაციულ მუდმივას უწოდებენ და ის სამყაროში არსებული ყველა სხეულისათვის ერთნაირია.

გაირკვა, რომ (3) ფორმულა ძალის ზუსტ მნიშვნელობას გვაძლევს იმ შემთხვევებში, როდესაც:

ა) სხეულთა შორის მანძილი გაცილებით დიდია მათ ზომებთან შედარებით, ანუ როდესაც სხეულები შეიძლება ნივთიერ წერტილებად მივიჩნიოთ (სურ. 2.37 ა). ამ დროს გრავიტაციული ურთიერთქმედების ძალები წერტილების შემაერთებელი წრფის გასწვრივ არის მიმართული და ამიტომ მათ ცენტრულ ძალებს უწოდებენ.

ბ) სხეულები ერთგვაროვან სფეროებს წარმოადგენენ. ამ შემთხვევაში r არის სფეროების ცენტრებს შორის მანძილი, ძალები კი მიმართულია სფეროების ცენტრებზე გამავალი წრფის გასწვრივ (სურ. 2.37 ბ).



სურ. 2. 37

გ) ურთიერთმოქმედ სხეულთაგან ერთი სფერულია და მისი რადიუსი გაცილებით მეტია მეორე სხეულის ზომაზე. მაგალითად, დედამიწა და მის ზედაპირზე ან მახლობლად მყოფი ადამიანი (სურ. 2.37 გ). ამ შემთხვევაში r სფეროს ცენტრიდან სხეულამდე მანძილია.

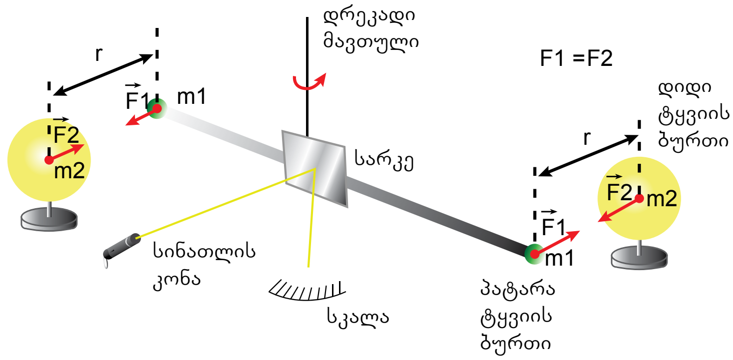
გავარკვიოთ გრავიტაციული მუდმივას ფიზიკური აზრი. თუ მას (3) ფორმულიდან გამოვსახავთ, გვექნება:

$$G = \frac{Fr^2}{m_1m_2} \qquad (4)$$

დავუშვათ, რომ ორივე სხეულის მასა ერთი კილოგრამია, ხოლო მათ შორის მანძილი 1 მეტრი, მაშინ (4) ფორმულიდან მივიღებთ რიცხვით ტოლობას: $F = G$.

ამრიგად, **გრავიტაციული მუდმივა რიცხობრივად ტოლია იმ ძალის მოდულისა, რომლითაც მიიზიდებიან 1 მ მანძილით დაშორებული თითო კილოგრამი მასის მქონე სხეულები.**

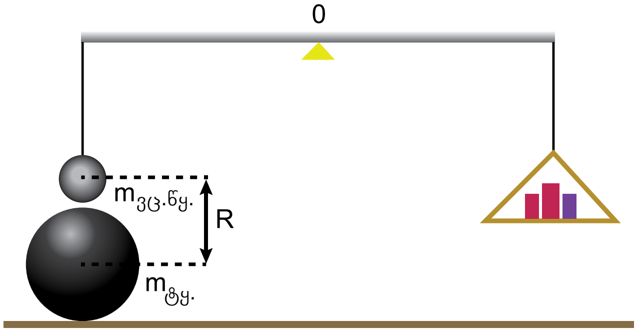
გრავიტაციული მუდმივას მნიშვნელობა დაადგინეს ექსპერიმენტულად. პირველი ასეთი ცდა 1798 წელს ჩაატარა ინგლისელმა ფიზიკოსმა ჰენრი კავენდიშმა. ამისთვის მან გრეხითი სასწორი გამოიყენა (სურ. 2.38). საწორის ჰორიზონტალური ღეროს ბოლოებზე დამაგრებულია ცნობილი m_1 მასის ორი ერთნაირი ტყვიის პატარა ბირთვი. ღერო, რომელზეც დამაგრებულია სარკე, დაკიდებულია ლითონის დრეკად მავთულზე. ღეროზე დამაგრებული პატარა ბირთვები მიიზიდება მათთან ახლოს განლაგებული დიდი მასის მქონე ტყვიის ბირთვების მიერ, რის გამოც ღერო შემოტრიალდება. შემობრუნების კუთხე ძალიან მცირეა, ამიტომ მას ზომავენ სარკიდან არეკლილი სინათლის კონის მეშვეობით, რომელიც სკალაზე იძლევა მნათ ზოლს. შემობრუნების კუთხით ადგენენ ბირთვებს შორის მიზიდვის ძალას, ზომავენ მათ შორის მანძილს და (4) ფორმულის საშუალებით გამოითვლიან G-ს მნიშვნელობას.



სურ. 2. 38

გავეცნოთ გრავიტაციული მუდმივას მნიშვნელობის დასადგენ კიდევ ერთ ცდას. მგრძნობიარე სასწორის ერთ მხარეს დაკიდეს ვერცხლისწყლით სავსე მინის სფერო, რომელიც გააწონასწორეს სასწორის მეორე მხარეს პინაზე მოთავსებული საწონებით. შემდეგ ვერცხლისწყლის სფეროს ქვეშ, მასთან რაც შეიძლება ახლოს, მოათავსეს დაახლოებით 6000 კგ მასის ტყვიის სფერო (სურ. 2.39). ტყვიის სფერომ მიიზიდა ვერცხლისწყლის სფერო, რის გამოც სასწორის წონასწორობა დაირღვა. წონასწორობის აღსადგენად პინაზე საწონები დაამატეს. ცხადია, დამატებულ საწონებზე მოქმედი სიმძიმის ძალა ტოლია იმ ძალის, რომლითაც ტყვიის სფერომ ვერცხლისწყლის სფერო მიიზიდა. გაზომეს სფეროთა ცენტრებს შორის მანძილი, იცოდნენ მათი მასები და $G = \frac{Fr^2}{m_1m_2}$ ფორმულით გამოთვალეს G-ს მნიშვნელობა.

თანამედროვე გამოთვლებით, $G = 6{,}67384 \cdot 10^{-11}$ ნ · მ²/კგ². მაგრამ ამოცანების ამოხსნისას გამოვიყენებთ მის მიახლოებით მნიშვნელობას – $G = 6{,}67 \cdot 10^{-11}$ ნ · მ²/კგ². როგორც ვხედავთ, გრავიტაციული მუდმივა ძალიან მცირე სიდიდეა, სწორედ ამიტომ ვერ ვამჩნევთ ჩვენ მახლობლად მყოფ სხეულებს შორის მიზიდვას. მსოფლიო მიზიდულობის ძალა საგრძნობ მნიშვნელობას აღწევს მაშინ, თუ ერთი სხეულის მასა მაინც ძალიან დიდია.



სურ. 2. 39

ბუნებრივად იბადება კითხვა: როგორ ხორციელდება სხეულებს შორის გრავიტაციული ურთიერთქმედება რაღაც მანძილზე? ანუ, როგორ ურთიერთქმედებენ სხეულები ერთმანეთთან უშუალო კონტაქტის გარეშე? ცხადია, ნიუტონის ეპოქაში ამის ასახსნელად საჭირო მეცნიერული საფუძვლები არ არსებობდა. თანამედროვე ფიზიკის თვალსაზრისით კი ყველა მატერიალური სხეული მის გარემომცველ სივრცეში ქმნის გრავიტაციულ ველს. რაც უფრო დიდი მასა აქვს სხეულს, მით უფრო ძლიერია მისი შექმნილი გრავიტაციული ველი, სხეულისაგან დაშორების მიხედვით ველი სუსტდება. სხეულებს შორის მიზიდვა კი ასე ხორციელდება: ერთი სხეულის მიერ შექმნილი გრავიტაციული ველი მოქმედებს მეორე სხეულზე და პირიქით, მეორე სხეულის მიერ შექმნილი გრავიტაციული ველი მოქმედებს პირველ სხეულზე. სხეულისაგან განსხვავებით, გრავიტაციულ ველს ადამიანის გრძნობის ორგანოები ვერ აღიქვამს, თუმცა ის არსებობს. ამიტომ ველი მატერიის ერთ-ერთი ფორმაა. მომავალში ჩვენ სხვა სახის ურთიერთქმედებებს და ველებსაც გავეცნობით.

მსოფლიო მიზიდულობის კანონის გამოყენებით შეიძლება, მაგალითად, პლანეტების მასის დადგენა, მათზე თავისუფალი ვარდნის აჩქარების გამოთვლა, კოსმოსური ხომალდის სიჩქარის გამოთვლა და სხვა. ამ საკითხებს თქვენ მომდევნო პარაგრაფებში გაეცნობით.

დასკვნები:

- სამყაროში ნებისმიერ ორ სხეულს შორის მოქმედებს ურთიერთმიზიდვის ძალები, რომლებსაც მსოფლიო მიზიდულობის ან გრავიტაციული ძალები ეწოდება;
- ნებისმიერი ორი სხეული ურთიერთმიიზიდება ძალით, რომლის მოდული პირდაპირპროპორციულია მათი მასების ნამრავლისა და უკუპროპორციულია მათ შორის მანძილის კვადრატისა:

$$F = G\frac{m_1 m_2}{r^2};$$

- გრავიტაციული მუდმივა რიცხობრივად ტოლია იმ ძალის მოდულის, რომლითაც მიიზიდებიან 1 მ მანძილით დაშორებული თითო კილოგრამი მასის მქონე სხეულები. მისი მნიშვნელობა ტოლია: $G = 6{,}67\cdot10^{-11}$ ნ$\cdot$მ^2/კგ^2;
- $F = G\frac{m_1 m_2}{r^2}$ ფორმულა ძალის ზუსტ მნიშვნელობას იძლევა: ა) ნივთიერი წერტილებისათვის, ბ) ერთგვაროვანი სფერული სხეულებისათვის, გ) ერთგვაროვანი სფერული სხეულისა და მის რადიუსთან შედარებით ბევრად მცირე ზომის სხეულისათვის. ამასთან, სფერული სხეულის შემთხვევაში მანძილი აითვლება მისი ცენტრიდან;
- გრავიტაციული ძალა ცენტრულია.

საკონტროლო კითხვები:

1. საიდან ვასკვნით, რომ სხეულზე დედამიწის მხრიდან მოქმედი მიზიდვის ძალა სხეულის მასის პროპორციულია?
2. რატომაა ორ სხეულს შორის მსოფლიო მიზიდულობის ძალა ორივე სხეულის მასის პროპორციული?
3. ორ სხეულს შორის მანძილის n-ჯერ გაზრდა როგორ შეცვლის მათ შორის ურთიერთქმედების გრავიტაციულ ძალას?
4. თქვენ უკვე იცით, რომ დედამიწა მის ზედაპირთან მოთავსებულ დაახლოებით 5 კგ მასის სხეულს 50 ნ ძალით იზიდავს. რა ძალით იზიდავს ეს სხეული დედამიწას? რაზეა ეს ძალა მოდებული და საითაა ის მიმართული?
5. მთვარეს აჩქარებას დედამიწა ანიჭებს. იძენს თუ არ აჩქარებას დედამიწაც?
6. რატომ ჰქვია G-ს მსოფლიო მიზიდულობის მუდმივა?
7. რა სიდიდეების გაზომვაა საჭირო გრავიტაციული მუდმივას მნიშვნელობის საპოვნელად?
8. რატომ არ არის შესამჩნევი ერთმანეთის გვერდზე მდგარ ორ ტანკერს შორის მიზიდვის ძალა, მიუხედავად იმისა, რომ მათ საკმაოდ დიდი მასები აქვს?

ერთად ამოვხსნათ ამოცანა

ორი ერთნაირი და ერთგვაროვანი ბირთვი ერთმანეთს ეხება. რამდენჯერ გაიზრდება ბირთვებს შორის მიზიდულობის ძალა, თუ მათ შევცვლით 8-ჯერ მეტი სიმკვრივის ბირთვებით და ისინი ერთმანეთს კვლავ შეეხებიან?

განიხილეთ ორი შემთხვევა:

ა) ბირთვების მასა უცვლელია;

ბ) ბირთვების რადიუსი უცვლელია.

ამოხსნა: ა) თუ ბირთვების მასა უცვლელია და მათი სიმკვრივე 8-ჯერ გაიზრდება, მაშინ $\rho = \dfrac{m}{V}$ ფორმულის თანახმად, თითოეული ბირთვის მოცულობა 8-ჯერ შემცირდება. თავის მხრივ, ბირთვის მოცულობის გამოსათვლელი ფორმულის – $V = \dfrac{4}{3}\pi R^3$ თანახმად, მოცულობის 8-ჯერ შემცირება ნიშნავს თითოეული ბირთვის რადიუსის 2-ჯერ შემცირებას. ვინაიდან ბირთვები ერთმანეთს ეხება, ბირთვების ცენტრებს შორის მანძილიც 2-ჯერ შემცირდება. $F = G\dfrac{m^2}{R^2}$ ფორმულიდან გამომდინარეობს, რომ ბირთვების ცენტრებს შორის მანძილის 2-ჯერ შემცირებით მათ შორის მიზიდულობის ძალა 4-ჯერ გაიზრდება.

პასუხი: ბირთვებს შორის მიზიდვის ძალა 4-ჯერ გაიზრდება.

ბ) თუ ბირთვების რადიუსი უცვლელია და მათი სიმკვრივე 8-ჯერ გაიზრდება, მაშინ $\rho = \dfrac{m}{V}$ ფორმულის თანახმად, თითოეული ბირთვის მასაც 8-ჯერ გაიზრდება. ვინაიდან მათ ცენტრებს შორის მანძილი უცვლელია, $F=G\dfrac{m^2}{R^2}$ ფორმულიდან გამომდინარეობს, რომ ბირთვებს შორის მიზიდულობის ძალა 64-ჯერ გაიზრდება.

პასუხი: ბირთვებს შორის მიზიდვის ძალა 64-ჯერ გაიზრდება.

ამოხსენით ამოცანები:

1. დააკვირდით გრავიტაციული მიზიდვის ძალის გამოსათვლელ ფორმულას და იმსჯელეთ, რა შემთხვევაში იქნება ორ მასიურ სხეულს შორის მიზიდვის ძალა პრაქტიკულად ნულის ტოლი და რა შემთხვევაში – მაქსიმალური.

2. როგორ შეიცვლება ორ ერთგვაროვან ბირთვს შორის მიზიდვის ძალა, თუ ბირთვების ცენტრებს შორის მანძილს 2-ჯერ გავზრდით?

3. ორი ერთგვაროვან ბირთვს შორის მიზიდულობის ძალის მოდულია F. რისი ტოლი გახდება ბირთვებს შორის მიზიდვის ძალა, თუ პირველი ბირთვის მასას 2-ჯერ გავზრდით, მეორისას კი – 3-ჯერ, ხოლო ბირთვების ცენტრებს შორის მანძილს უცვლელად დავტოვებთ.

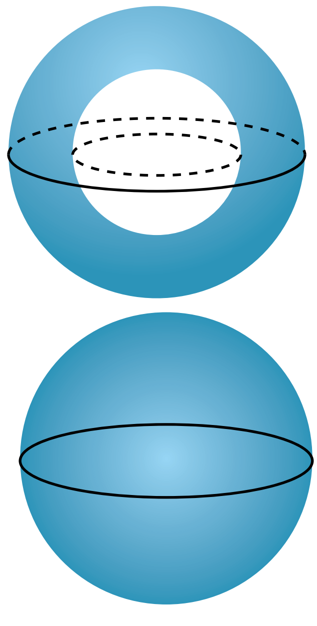
4. მთვარისაკენ მიმავალი კოსმოსური ხომალდი დედამიწიდან გარკვეული მანძილით დაშორების შემდეგ ძრავს გამორთავს და მოძრაობას მთვარის მიზიდულობის ძალის მოქმედებით აგრძელებს. რატომ არაა შესაძლებელი, რომ ხომალდი თავიდანვე მთვარის მიზიდულობის ძალით გაფრინდეს?

5. ვთქვათ, ცნობილია დედამიწის მასა ($M_{დედ}$), მთვარის მასა ($M_{მთვ}$) და მათ ცენტრებს შორის მანძილი (R). დედამიწისა და მთვარის შემაერთებელ წრფეზე, დედამიწის ცენტრიდან რა მანძილზე უნდა იყოს ხელოვნური თანამგზავრი, რომ ის დედამიწამ და მთვარემ ერთი და იმავე მოდულის ძალით მიიზიდონ?

6. შესაძლებელია თუ არა, რომ ხელოვნური თანამგზავრი არ იმყოფებოდეს მთვარისა და დედამიწის შემაერთებელ წრფეზე და მასზე დედამიწისა და მთვარის მხრიდან მოქმედმა მიზიდულობის ძალებმა ერთმანეთი გააბათილონ? პასუხი დაასაბუთეთ.

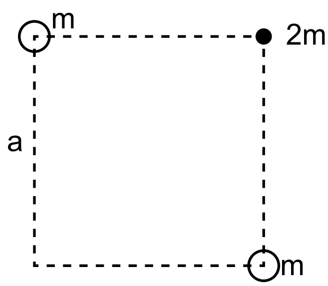
7. საკმარისი მანძილით დაშორებულ ორ ერთნაირ, ერთგვაროვან ბირთვს შორის მიზიდულობის ძალის მოდულია F. რისი ტოლი გახდება პირველ ბირთვზე მოქმედი მიზიდულობის ძალა, თუ ბირთვების ცენტრების შემაერთებელი მონაკვეთის შუა წერტილში მესამე ისეთსავე ბირთვს მოვათავსებთ?

8. M მასის მქონე ორ ერთგვაროვან ბირთვს შორის მიზიდულობის ძალის მოდულია F. რისი ტოლი გახდება მათ შორის ურთიერთქმედების ძალა, თუ ერთ-ერთი ბირთვიდან ამოჭრილი იქნებოდა მისი კონცენტრული[1] $\frac{M}{3}$ მასის ბირთვი (სურ. 2.40)?



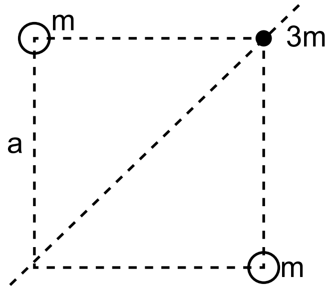
სურ. 2.40

9. კვადრატის ორ მოპირდაპირე წვეროში მოთავსებულია m მასის მქონე ორი ერთგვაროვანი ბირთვი. რისი ტოლი იქნება კვადრატის მესამე წვეროში მოთავსებული 2m მასის ნივთიერ წერტილზე მოქმედი ძალა, თუ კვადრატის გვერდის სიგრძე a-ს ტოლია (სურ. 2.41)?



სურ. 2.41

10. a გვერდის მქონე კვადრატის ორ მოპირდაპირე წვეროში მოთავსებულია m მასის ორი ერთგვაროვანი ბირთვი, მესამე წვეროში კი – 3m მასის ნივთიერი წერტილი. მისგან რა მანძილზე და სად უნდა მოვათავსოთ 2m მასის მცირე ზომის ერთგვაროვანი ბურთულა, რომ ნივთიერი წერტილი გაწონასწორებული აღმოჩნდეს (სურ. 2.42)?



სურ. 2.42

---

[1] კონცენტრული – საერთო ცენტრის მქონე.

§ 2.7 თავისუფალი ვარდნის აჩქარება

მსოფლიო მიზიდულობის ძალის ერთ-ერთი კერძო შემთხვევაა ძალა, რომლითაც დედამიწა იზიდავს მისი ზედაპირის მახლობლად მყოფ სხეულს. თქვენ უკვე იცით, რომ მას სიმძიმის ძალას უწოდებენ. სიმძიმის ძალის როლი უდიდესია დედამიწის ისეთი სახით ფორმირებაში, როგორითაც ის დღეს არსებობს. მაგალითად, ამ ძალის გამოა, რომ დედამიწას გარშემო ატმოსფერო აკრავს, მოდის წვიმა, მიედინება მდინარეები და მრავალი სხვა. სიმძიმის ძალას ითვალისწინებს ადამიანი ყოველდღიურ ცხოვრებაში, მაგალითად, ხიდების, გვირაბების, შენობების, ანძების, ავტომობილების აგებისას. ამიტომ საჭიროა ვიცოდეთ, რაზეა დამოკიდებული სიმძიმის ძალის მოდული და ერთნაირია თუ არა მისი მნიშვნელობა დედამიწის სხვადასხვა წერტილში.

თუ მივიჩნევთ, რომ დედამიწა M მასისა და R რადიუსის მქონე ერთგვაროვანი ბირთვია, მაშინ მის ზედაპირზე მყოფ m მასის სხეულზე მოქმედი სიმძიმის ძალის მოდული ტოლი იქნება:

$$F_{\text{სიმძ}} = G\frac{Mm}{R^2} \qquad (1)$$

სიმძიმის ძალა მოდებულია სხეულის სიმძიმის ცენტრზე და მიმართულია დედამიწის ცენტრისკენ.

წინა პარაგრაფში ჩვენ აღვნიშნეთ, რომ თუ სხეულზე მხოლოდ სიმძიმის ძალა მოქმედებს, მაშინ ის თავისუფლად ვარდება. თავისუფალი ვარდნის აჩქარების მოდული კი შეიძლება ვიპოვოთ ნიუტონის II კანონის გამოყენებით:

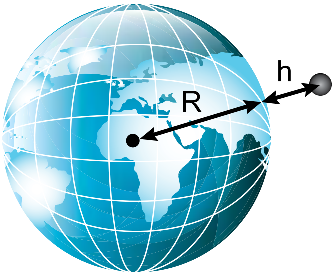
$$g = \frac{F_{\text{სიმძ}}}{m} = G\frac{M \cdot m}{R^2 \cdot m} = G\frac{M}{R^2} \qquad (2)$$

ეს ფორმულა მათემატიკურად ადასტურებს გალილეის მიერ ექსპერიმენტულად მიღებულ შედეგს: **თავისუფალი ვარდნის აჩქარება არ არის დამოკიდებული სხეულის მასაზე და დედამიწის მოცემულ წერტილში ყველა სხეულისათვის ერთნაირია.** თვით ეს ფაქტი კი იმას ნიშნავს, რომ თავისუფალი ვარდნის აჩქარება რაიმე წერტილში შეიძლება ამ წერტილში გრავიტაციული ველის მახასიათებელ სიდიდედ მივიჩნიოთ: რომელ წერტილშიც თავისუფალი ვარდნის აჩქარების მნიშვნელობა უფრო მეტია, გრავიტაციული ველიც უფრო ძლიერია.

ასევე, (2) ფორმულიდან შეიძლება დავწეროთ, რომ

$$\vec{F}_{\text{სიმძ}} = m\vec{g} \quad (3)$$

მაშასადამე, **სხეულზე მოქმედი სიმძიმის ძალა სხეულის მასისა და თავისუფალი ვარდნის აჩქარების ნამრავლის ტოლია.**



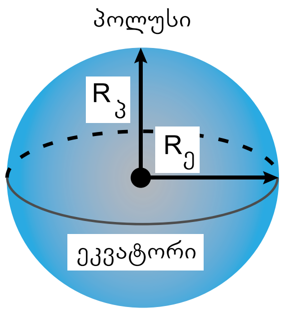
სურ. 2.43

იმ შემთხვევაში, როდესაც სხეული დედამიწის ზედაპირიდან h სიმაღლეზე იმყოფება (სურ. 2.43), მანძილი დედამიწის ცენტრსა და სხეულს შორის იქნება $(R+h)$, ამიტომ თავისუფალი ვარდნის აჩქარება ასეთ სიმაღლეზე ტოლი იქნება:

$$g = G\frac{M}{(R+h)^2} \qquad (4)$$

ე.ი. დედამიწის ზედაპირიდან დაშორებასთან ერთად თავისუფალი ვარდნის აჩქარება მცირდება. ეს გასაგებიცაა – სხეულებს შორის მანძილის გაზრდა ხომ მათ შორის მიზიდვის ძალის შემცირებას იწვევს. მაშინ რატომ ვერ ვგრძნობთ თავს უფრო მსუბუქად თვითმფრინავში 10 კმ სიმაღლეზე? დედამიწის რადიუსი 6400 კმ-ია, ამიტომ მისი ზედაპირიდან რამდენიმე კილომეტრ სიმაღლეზე სიმძიმის ძალა იმდენად მცირედ იცვლება, რომ შეიძლება მუდმივად მივიჩნიოთ. შესაბამისად, თავისუფალი ვარდნის აჩქარების მნიშვნელობას დედამიწის ზედაპირზე და მის მახლობელ სიმაღლეებზე მივიჩნევთ 9,8 მ/წმ^2-ის ტოლად.

გაზომვებით დადგენილია, რომ თავისუფალი ვარდნის აჩქარების მნიშვნელობა სხვადასხვა განედზე მცირედ განსხვავდება როგორც ერთმანეთისაგან, ასევე (2) ფორმულით გამოთვლილი მნიშვნელობისაგან – $g = G\frac{M}{R^2} = 9{,}83$ მ/წმ^2. მაგალითად, პოლუსებზე ის 9,83 მ/წმ^2-ის ტოლია, ეკვატორზე – 9,78 მ/წმ^2-ის, ხოლო 45^0-იან განედზე – 9,81 მ/წმ^2-ის.



სურ. 2. 44

თავისუფალი ვარდნის აჩქარების ცვლილება გამოწვეულია სხვადასხვა მიზეზით: 1. დედამიწის დღეღამური ბრუნვით მისი წარმოსახვითი ღერძის გარშემო; 2. დედამიწის არასფერული ფორმით – პოლუსებთან ის რამდენადმე შებრტყელებულია (სურ. 2.44): მანძილი დედამიწის ცენტრიდან პოლუსამდე დაახლოებით 6356,9 კმ-ია, ხოლო ეკვატორამდე – 6378,2 კმ; 3. დედამიწის არათანაბარი სიმკვრივით – ზოგ ადგილებში მიწის წიაღში განლაგებული ქანების სიმკვრივე განსხვავდება დედამიწის საშუალო სიმკვრივისაგან. იქ, სადაც შედარებით დიდი სიმკვრივის ქანებია, g-ს მნიშვნელობა აღემატება მოცემული განედის შესაბამის მნიშვნელობას. ეს შეიძლება გამოწვეული იყოს წიაღში ლითონების შემცველი ქანების არსებობით. g-ს მნიშვნელობის კლება კი შეიძლება გამოწვეული იყოს წიაღში ნავთობის ან ბუნებრივი აირის არსებობით. ამ ფაქტს წარმატებით იყენებენ გეოლოგიაში სასარგებლო წიაღისეულის აღმოსაჩენად. ამისათვის საჭიროა დიდი სიზუსტით გაიზომოს თავისუფალი ვარდნის აჩქარება. წიაღისეულის ძებნის ამ მეთოდს **გრავიმეტრიული დაზვერვა** ეწოდება.

თავისუფალი ვარდნის აჩქარების ცოდნა საშუალებას გვაძლევს, ვიპოვოთ დედამიწის მასა, ანუ „ავწონოთ“ დედამიწა. მართლაც, (2) ფორმულიდან გამოვსახოთ დედამიწის მასა:

$$M = \frac{gR^2}{G} \qquad (5)$$

თუ ამ ფორმულაში შევიტანთ შემდეგ მნიშვნელობებს: $g = 9{,}8$ მ/წმ^2, $R = 6{,}4 \cdot 10^6$ მ, $G = 6{,}7 \cdot 10^{-11}$ ნ·მ^2/კგ^2, მივიღებთ დედამიწის მასას: $M_დ = 6{,}0 \cdot 10^{24}$ კგ. ანალოგიურად შეიძლება ნებისმიერი პლანეტის მასის დადგენა, თუ გვეცოდინება მისი რადიუსი და თავისუფალი ვარდნის აჩქარება ამ პლანეტაზე.

როგორ გამოითვლით მზის მასას მსოფლიო მიზიდულობის კანონის დახმარებით?

ამოცანების ამოხსნისას (თუ არ არის სპეციალური მითითება) თავისუფალი ვარდნის აჩქარების მნიშვნელობა დედამიწაზე მიიჩნიეთ 10 მ/წმ^{2}ის ტოლად.

დასკვნები:

- თავისუფალი ვარდნის აჩქარება არ არის დამოკიდებული სხეულის მასაზე და დედამიწის მოცემულ წერტილში ყველა სხეულისათვის ერთნაირია: $g = G\dfrac{M}{R^2}$, $g \approx 9{,}8$ მ/წმ^2;
- სხეულზე მოქმედი სიმძიმის ძალა სხეულის მასისა და თავისუფალი ვარდნის აჩქარების ნამრავლის ტოლია: $\vec{F}_{\text{სიმძ}} = m\vec{g}$;
- თავისუფალი ვარდნის აჩქარება დედამიწის ზედაპირიდან h სიმაღლეზე ტოლია: $g = G\dfrac{M}{(R+h)^2}$;
- დედამიწის სხვადასხვა წერტილში თავისუფალი ვარდნის აჩქარების განსხვავებას განაპირობებს: 1) დედამიწის დღეღამური ბრუნვა; 2) დედამიწის არასფერული ფორმა; 3) დედამიწის არათანაბარი სიმკვრივე.

საკონტროლო კითხვები:

1. რაზეა დამოკიდებული თავისუფალი ვარდნის აჩქარების მნიშვნელობა?
2. რისი ტოლი გახდება თავისუფალი ვარდნის აჩქარება, თუ სხეულს დედამიწის ზედაპირიდან რადიუსის ტოლ სიმაღლეზე ავიტანთ?
3. სად უფრო მეტია თავისუფალი ვარდნის აჩქარება – პოლუსზე, თუ ეკვატორზე?
4. გრავიმეტრიული დაზვერვით g-ს მნიშვნელობა იმავე ადგილზე ჩვეულებრივთან შედარებით მცირე აღმოჩნდა. რა დასკვნას გამოიტანდი?
5. პლანეტის რა მონაცემები უნდა იცოდე, რომ იპოვო თავისუფალი ვარდნის აჩქარება ამ პლანეტაზე?

ერთად ამოვხსნათ ამოცანა

თხევად პლანეტაზე, რომელიც გავარვარებულ ლავას წარმოადგენს, დაეცა დიდი ზომის კომეტა. შედეგად პლანეტის საშუალო სიმკვრივე 1,1-ჯერ გაიზარდა, ხოლო რადიუსი – 1,2-ჯერ. რამდენჯერ შეიცვალა თავისუფალი ვარდნის აჩქარება ამ პლანეტის ზედაპირზე?

ამოხსნა: ამოცანის ამოსახსნელად საჭიროა პლანეტის ზედაპირზე თავისუფალი ვარდნის აჩქარება ($g = G\dfrac{M}{R^2}$) გამოვსახოთ პლანეტის სიმკვრივით. ამისათვის ჯერ პლანეტის მასა ჩავწეროთ მისი სიმკვრივით: გავიხსენოთ, რომ სხეულის მასა მისი სიმკვრივისა და მოცულობის ნამრავლის ტოლია – $M = \rho V$. ამასთან, სფერული პლანეტის მოცულობა $V = \dfrac{4}{3}\pi R^3$. ამიტომ პლანეტის მასისათვის მივიღებთ: $M = \rho \cdot \dfrac{4}{3}\pi R^3$. თუ მიღებულ შედეგს შევიტანთ თავისუფალი ვარდნის აჩქარების გამოსათვლელ ფორმულაში, გვექნება: $g = G\dfrac{M}{R^2} = G\rho \cdot \dfrac{4}{3}\dfrac{\pi R^3}{R^2}$. რადიუსის კვადრატების შეკვეცით კი მივიღებთ: $g = G\rho \cdot \dfrac{4}{3}\pi R$. ამ ფორმულიდან ჩანს, რომ სიმკვრივის 1,1-ჯერ და რადიუსის 1,2-ჯერ გაზრდა თავისუფალი ვარდნის აჩქარების $1{,}1 \cdot 1{,}2 = 1{,}32$-ჯერ ზრდას გამოიწვევს.

პასუხი: თავისუფალი ვარდნის აჩქარება გაიზარდა 1,32-ჯერ.

ამოხსენით ამოცანები:

1. რამდენჯერ მეტია თავისუფალი ვარდნის აჩქარება დედამიწის ზედაპირზე, ვიდრე მისი ზედაპირიდან 200 კმ სიმაღლეზე? დედამიწის რადიუსი მიიჩნიეთ 6400 კმ-ის ტოლად.

2. როგორ ახსნით დედამიწის გრავიტაციული ველის შესუსტებას მისგან დაშორების ზრდის მიხედვით?

3. კომეტა, რომელიც მზისგან ძალიან დიდი მანძილით იყო დაშორებული, უახლოვდება მას. როგორ იცვლება მისი აჩქარება ამ მოძრაობისას?

4. რისი ტოლია თავისუფალი ვარდნის აჩქარება დედამიწის ზედაპირიდან მის რადიუსზე 4-ჯერ მეტ სიმაღლეზე?

5. დედამიწის ზედაპირიდან რა სიმაღლეზე ავიდა კოსმოსური ხომალდი, თუ ამ სიმაღლეზე თავისუფალი ვარდნის აჩქარება 96%-ით ნაკლებია, ვიდრე დედამიწის ზედაპირზე?

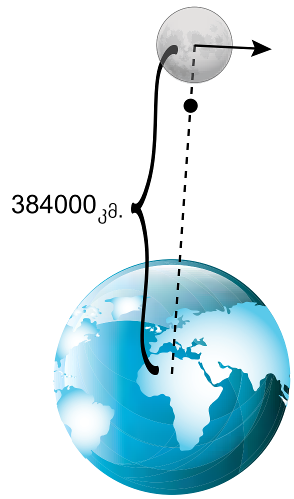
6. მარსის მასა დაახლოებით დედამიწის მასის 1/10-ნაწილია, ხოლო რადიუსი – დედამიწის რადიუსზე 2-ჯერ ნაკლები. რამდენჯერ მეტია თავისუფალი ვარდნის აჩქარება დედამიწის ზედაპირზე, ვიდრე – მარსის ზედაპირზე?

7. ოთხი ერთნაირი მასის პლანეტა განლაგებულია კვადრატის წვეროებზე. რისი ტოლი იქნება კვადრატის ცენტრში მოთავსებული ნივთიერი წერტილის აჩქარება?

8. დედამიწისა და მთვარის მასები, შესაბამისად, $6 \cdot 10^{24}$ კგ და $7{,}4 \cdot 10^{22}$ კგ-ია. მათ შორის მანძილი დაახლოებით – 384 000 კმ (სურ. 2.45). დედამიწისა და მთვარის ცენტრების შემაერთებელ წრფეზე დედამიწიდან რა მანძილზე უნდა მოვათავსოთ ნივთიერი წერტილი, რომ მისი აჩქარება ნულს გაუტოლდეს?

9. რამდენჯერ განსხვავდება ერთმანეთისაგან თავისუფალი ვარდნის აჩქარება იმ ორი პლანეტის ზედაპირზე, რომელთა რადიუსები ერთნაირია, ხოლო ერთ-ერთის სიმკვრივე 2-ჯერ აღემატება მეორისას?

10. რამდენჯერ განსხვავდება ერთმანეთისაგან თავისუფალი ვარდნის აჩქარება იმ ორი პლანეტის ზედაპირზე, რომელთა მასები ერთნაირია, ხოლო ერთ-ერთის სიმკვრივე 8-ჯერ მეტია მეორისაზე?



სურ. 2. 45

მინიშნება: R რადიუსის მქონე სფეროს მოცულობა გამოითვლება ფორმულით $V = \frac{4}{3}\pi R^3$.

§ 2.8 მოძრაობა სიმძიმის ძალის მოქმედებით: თავისუფლად ვარდნილი და ვერტიკალურად ასროლილი სხეულის მოძრაობა

სხეულის ვერტიკალურად მოძრაობის მაგალითები მრავლადაა ბუნებასა და ადამიანის ყოველდღიურ ყოფაში. ეს მოძრაობა შეიძლება თანაბარიც იყოს და არათანაბარიც. მაგალითად, ღრუბლიდან ვარდნილი წვეთის სიჩქარე ჯერ იმატებს, გარკვეული მომენტიდან კი მუდმივი ხდება. ხიდან ვარდნილი ვაშლის მოძრაობა დედამიწაზე დაცემამდე დიდი მიახლოებით შეიძლება თანაბარაჩქარებულად მივიჩნიოთ, ვერტიკალურად ზევით ასროლილი ფოიერვერკის კაფსულის მოძრაობა შენელებულია და ა.შ.

ყველა ზემოთ მოყვანილ მაგალითში სხეულები იმოძრავებდნენ თანაბარაჩქარებულად, $\vec{g}$ აჩქარებით, მათზე მხოლოდ სიმძიმის ძალა რომ მოქმედებდეს. ასეთ შემთხვევაში მექანიკის ძირითადი ამოცანის ამოხსნა რთული არ არის. რეალურ პირობებში კი სხეულზე, გარდა სიმძიმის ძალისა, სხვა ძალებიც მოქმედებს, ამიტომ მოძრაობის შესწავლა უფრო რთულდება. ვერტიკალზე მოძრაობა შეიძლება თანაბარაჩქარებულად მივიჩნიოთ, თუ დავუშვებთ, რომ:

1. სხეული მოძრაობს დედამიწის ზედაპირის მახლობლად. ამ შემთხვევაში დედამიწის სიმრუდე შეიძლება უგულებელვყოთ, ხოლო თავისუფალი ვარდნის აჩქარება მუდმივად მივიჩნიოთ;

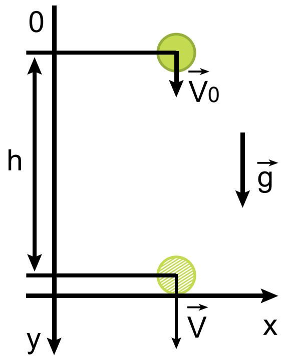
2. სხეული მცირე ზომისაა, მძიმეა და მცირე სიჩქარით მოძრაობს. ამ შემთხვევაში ჰაერის წინააღმდეგობის ძალის გავლენა მოძრაობაზე შეიძლება უგულებელვყოთ;

3. ათვლის სისტემა, რომელიც დაკავშირებულია დედამიწის ზედაპირთან მყოფ სხეულთან, ინერციულია.

როდესაც სხეული რაიმე სიმაღლიდან იწყებს თავისუფალ ვარდნას უსაწყისო სიჩქარით ან ვერტიკალურად ქვევით მიმართული საწყისი სიჩქარით, მაშინ მისი მოძრაობის ტრაექტორია წრფეა. ასევე წრფეზე მოძრაობს შვეულად ზევით მიმართული საწყისი სიჩქარით ასროლილი სხეული. ორივე შემთხვევაში სხეულზე მოქმედებს მხოლოდ ვერტიკალურად ქვევით მიმართული სიმძიმის ძალა, რომელიც იწვევს სხეულის სიჩქარის ცვლილებას: ქვევით მოძრაობისას სიჩქარის მოდული გაიზრდება, ზევით მოძრაობისას კი – შემცირდება. ორივე ეს მოძრაობა თანაბარაჩქარებულია, ამიტომ მათ აღსაწერად უნდა გამოვიყენოთ ის ფორმულები, რომლებიც აღწერს თანაბარაჩქარებულ მოძრაობას. მიღებულია, რომ ამ ფორმულებში აჩქარების a სიმბოლო შევცვალოთ g-თი, გადაადგილების s სიმბოლო h-ით, ხოლო სიჩქარის, აჩქარებისა და გადაადგილების ვექტორები – ვერტიკალურ OY ღერძზე დავაგეგმილოთ. მივიღებთ:

$v_0 \neq 0$	$v_0 = 0$
1. $v_y = v_{0y} + g_y t$	1. $v_y = g_y t$
2. $h_y = v_{0y} t + \frac{g_y t^2}{2}$	2. $h_y = \frac{g_y t^2}{2}$
3. $h_y = \frac{v_y^2 - v_{0y}^2}{2g_y}$	3. $h_y = \frac{v_y^2}{2g_y}$
4. $h_y = \frac{v_{0y} + v_y}{2} t$	4. $h_y = \frac{v_y}{2} t$
5. $y = y_0 + v_{0y} t + \frac{g_y t^2}{2}$	5. $y = y_0 + \frac{g_y t^2}{2}$

ჯერ განვიხილოთ სხეულის თავისუფალი ვარდნა. ამ მოძრაობისას უმჯობესია OY ღერძი მივმართოთ შვეულად ქვევით (სურ. 2.46). მაშინ გვექნება: $v_{0y} = v_0$; $v_y = v$; $g_y = g$; $h_y = h$. ამიტომ სიჩქარის მოდულის, გავლილი მანძილისა და კოორდინატის გამოსათვლელი ფორმულები მიიღებს შემდეგ სახეს:



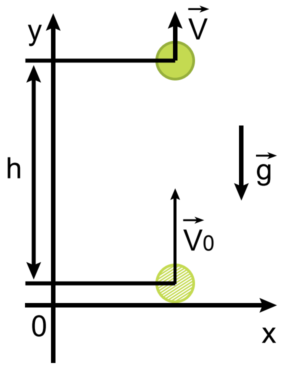
სურ. 2. 46

$v_0 \neq 0$	$v_0 = 0$
1. $v = v_0 + gt$	1. $v = gt$
2. $h = v_0 t + \dfrac{gt^2}{2}$	2. $h = \dfrac{gt^2}{2}$
3. $h = \dfrac{v^2 - v_0^2}{2g}$	3. $h = \dfrac{v^2}{2g}$
4. $h = \dfrac{v_0 + v}{2}t$	4. $h = \dfrac{v}{2}t$
5. $y = y_0 + v_0 t + \dfrac{gt^2}{2}$	5. $y = y_0 + \dfrac{gt^2}{2}$

როდესაც სხეული უსაწყისო სიჩქარით ვარდება, მაშინ ფრენის ხანგრძლივობა და საბოლოო სიჩქარე შეიძლება გამოვსახოთ ამ ცხრილის მეორე სვეტის (2) და (3) ფორმულებიდან. მივიღებთ:

$$t = \sqrt{\frac{2h}{g}} \quad \text{და} \quad v = \sqrt{2gh}.$$

შვეულად ზევით ასროლილი სხეულის მოძრაობის აღწერისას გავითვალისწინოთ, რომ აჩქარების ვექტორის მიმართულება საწყისი სიჩქარის ვექტორის მიმართულების საწინააღმდეგოა. უმჯობესია, OY ღერძი მივმართოთ შვეულად ზევით (სურ. 2.47). მაშინ გვექნება: $v_{0y} = v_0$; $v_y = v$; $g_y = -g$; $h_y = h$. ამიტომ ზემოთ მოძრაობისას სიჩქარის მოდულის, გავლილი მანძილისა და კოორდინატის გამოსათვლელი ფორმულები მიიღებს ასეთ სახეს:



სურ. 2. 47

1. $v = v_0 - gt$
2. $h = v_0 t - \dfrac{gt^2}{2}$
3. $h = \dfrac{v_0^2 - v^2}{2g}$
4. $h = \dfrac{v_0 + v}{2}t$
5. $y = y_0 + v_0 t - \dfrac{gt^2}{2}$

უნდა აღინიშნოს, რომ კოორდინატის გამოსათვლელი ფორმულა მართებულია სხეულის უმაღლეს წერტილში ასვლის შემდეგაც.

ზევით მოძრაობისას სხეულის სიჩქარე იკლებს, ამიტომ დადგება მომენტი, როდესაც სიჩქარე ნულის ტოლი გახდება (v = 0) და სხეული შეწყვეტს ზევით ასვლას. ამ მომენტში

სხეული მიაღწევს მაქსიმალურ სიმაღლეს. ამ სიმაღლეზე ასვლის დრო ტოლი იქნება:

$$t = \frac{v_0}{g}.$$

მაქსიმალური სიმაღლისათვის კი მივიღებთ:

$$h_{\text{მაქს}} = \frac{v_0^2}{2g}.$$

ცხადია, ამ სიმაღლის მიღწევის შემდეგ სხეული დაიწყებს ქვევით თავისუფალ ვარდნას.

გამოიყენეთ მიღებული ფორმულები და დაასაბუთეთ:

1. ვერტიკალურად ასროლილი სხეულის მაქსიმალურ სიმაღლეზე ასვლის დრო და ასროლის წერტილამდე ქვევით ვარდნის დრო ერთმანეთის ტოლია;
2. სხეულის ასროლის საწყისი სიჩქარე მოდულით ტოლია იმ სიჩქარისა, რომელიც მას ასროლის წერტილში დაბრუნებისას ექნება.

კიდევ როგორ შეიძლება დავასაბუთოთ ასროლისა და უკან დაბრუნების სიჩქარეთა მოდულების ტოლობა?

ამოცანების ამოხსნისას, თუ არ არის სპეციალური მითითება, სხეულის ვერტიკალზე მოძრაობა მიიჩნიეთ თანაბარაჩქარებულად, რომლის აჩქარებაა $\vec{g}$.

დასკვნები:

- თუ სხეულზე მხოლოდ სიმძიმის ძალა მოქმედებს, ის მოძრაობს თანაბარაჩქარებულად, $\vec{g}$ აჩქარებით;
- სხეულის თავისუფალი ვარდნისას მისი სიჩქარის მოდული თანაბრად იზრდება, ვერტიკალურად ზევით ასროლილი სხეულის სიჩქარის მოდული კი თანაბრად მცირდება მანამ, ვიდრე ის ნულის ტოლი გახდება და სხეული მაქსიმალურ სიმაღლეს მიაღწევს;
- სიმძიმის ძალის მოქმედებით ვერტიკალზე მოძრავი სხეულის სიჩქარის გეგმილი და კოორდინატი გამოისახება ფორმულებით: $v_y = v_{0y} + g_y t$; $\quad y = y_0 + v_{0y}t + \frac{g_y t^2}{2}$;
- შვეულად, უსაწყისო ან ქვემოთ მიმართული საწყისი სიჩქარით ვარდნილი სხეულის სიჩქარის მოდული და გავლილი მანძილი გამოითვლება ფორმულებით:

$$v = v_0 + gt; \qquad h = v_0 t + \frac{gt^2}{2}; \qquad h = \frac{v^2 - v_0^2}{2g}; \qquad h = \frac{v_0 + v}{2}t;$$

- ვერტიკალურად ზევით ასროლილი სხეულის სიჩქარის მოდული და გავლილი მანძილი მაქსიმალური სიმაღლის მიღწევამდე გამოითვლება ფორმულებით:

$$v = v_0 - gt; \qquad h = v_0 t - \frac{gt^2}{2}; \qquad h = \frac{v_0^2 - v^2}{2g}; \qquad h = \frac{v_0 + v}{2}t;$$

- ვერტიკალურად ასროლილი სხეულის მაქსიმალურ სიმაღლეზე ასვლის დრო და ასროლის წერტილამდე ქვევით ვარდნის დრო ერთმანეთის ტოლია;
- სხეულის ასროლის საწყისი სიჩქარე მოდულით ტოლია იმ სიჩქარისა, რომელიც მას ასროლის წერტილში დაბრუნებისას აქვს.

საკონტროლო კითხვები:

1. რატომაა რთული ჰაერში მოძრაობის შესწავლა?
2. რა უნდა დავუშვათ, რომ სხეულის ვერტიკალზე მოძრაობა $\vec{g}$ აჩქარების მქონე თანაბარაჩქარებულ მოძრაობად მივიჩნიოთ?
3. რას ნიშნავს ვერტიკალურად ასროლილი სხეულის აჩქარების გეგმილი -9,8 მ/წმ²-ია?
4. მთვარის ზედაპირიდან ვერტიკალურად ზევით ასროლილი სხეული 8 წმ-ის შემდეგ ჩამოვარდა. რა დროის განმავლობაში მოძრაობდა ის ზევით? ქვევით?

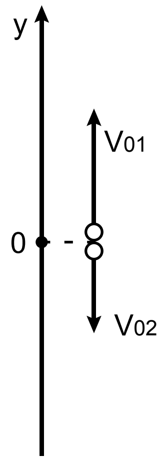
ერთად ამოვხსნათ ამოცანა

ერთი და იმავე წერტილიდან, რომელიც დედამიწის ზედაპირიდან საკმარისად დიდ სიმაღლეზეა, ერთდროულად ისვრიან ორ ბურთულას: ერთს – ვერტიკალურად ზევით, 40 მ/წმ საწყისი სიჩქარით, მეორეს კი – ვერტიკალურად ქვევით 10 მ/წმ საწყისი სიჩქარით. რისი ტოლი იქნება ბურთულების სიჩქარე და მათ შორის მანძილი სროლიდან 2 წამის შემდეგ? ჰაერის წინააღმდეგობას ნუ გაითვალისწინებთ ($g \approx 10$ მ/წმ²).

ამოხსნა:

მოც:
$v_{01}=40$ მ/წმ;
$v_{02}=10$ მ/წმ;
$t=2$წმ;
$g \approx 10$ მ/წმ².
უ.ვ. v_1, v_2, h

საკოორდინატო ღერძი მივმართოთ ვერტიკალურად ზევით, ათვლის სათავედ ავირჩიოთ სროლის წერტილი (სურ. 2.48). მაშინ პირველი ბურთულის სიჩქარის გეგმილის დროზე დამოკიდებულების ფორმულას ექნება შემდეგი სახე: $v_{1y} = v_{01y} + g_y t$. რიცხვითი მნიშვნელობების ჩასმით მივიღებთ: $v_{1y} = 40 - 10 \cdot 2 = 20$ (მ/წმ). ვინაიდან v_{1y} სიჩქარის გეგმილი დადებითია, ეს ნიშნავს, რომ პირველი ბურთულის სიჩქარე ასროლიდან 2 წამის შემდეგ მიმართულია ვერტიკალურად ზევით და მისი მოდულია 20 მ/წმ. მეორე ბურთულის სიჩქარის გეგმილის დროზე დამოკიდებულების ფორმულაა: $v_{2y} = v_{02y} + g_y t = -10 - 10 \cdot 2 = -30$ (მ/წმ). მიღებული შედეგი გვიჩვენებს, რომ მეორე ბურთულის სიჩქარე სროლიდან 2 წამის შემდეგ მიმართულია ვერტიკალურად ქვევით და მისი მოდულია 30 მ/წმ. თითოეული ბურთულის კოორდინატის გამოსათვლელ ფორმულებს აქვს შემდეგი სახე:



სურ. 2. 48

$y_1 = y_0 + v_{01y} \cdot t + \frac{g_y t^2}{2}$, $y_2 = y_0 + v_{02y} \cdot t + \frac{g_y t^2}{2}$. საწყისი y_0 კოორდინატი ორივე ბურთულისთვის ნულის ტოლია. მათ შორის მანძილი დროის ნებისმიერ მომენტში იქნება:

$h = y_1 - y_2 = v_{01y} \cdot t - v_{02y} \cdot t = (v_{01y} - v_{02y}) \cdot t = (40 - (-10))t$. ე.ი. $h = 50t$, მივიღეთ, რომ ბურთულებს შორის მანძილი დროის მიხედვით თანაბრად იზრდება, ანუ ბურთულები ერთმანეთის მიმართ თანაბრად მოძრაობენ. ეს იმითაა გამოწვეული, რომ ორივე ბურთულას დედამიწის მიმართ ერთნაირი აჩქარება აქვს, ამიტომ ერთმანეთის მიმართ აჩქარებით არ მოძრაობენ. ბურთულებს შორის მანძილი მათი სროლის მომენტიდან 2 წამის შემდეგ იქნება: $h = 50 \cdot 2 = 100$ (მ).

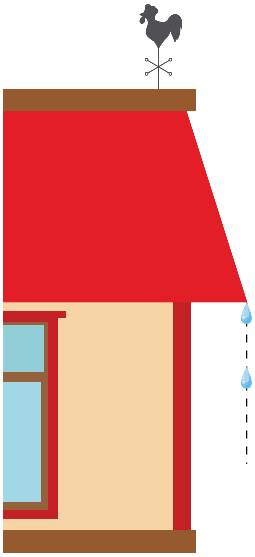
პასუხი: გასროლიდან ორი წამის შემდეგ პირველი ბურთულის სიჩქარეა 20 მ/წმ და მიმართულია ზევით, მეორე ბურთულისა – 30 მ/წმ და მიმართულია ქვევით, მათ შორის მანძილი კი 100 მ-ია.

ამოხსენით ამოცანები:

1. რა მანძილს გაივლის საწყისი სიჩქარის გარეშე სიჩქარით თავისუფლად ვარდნილი ბურთულა 5 წმ-ში? $g \approx 10$ მ/წმ².

2. ვერტიკალურად ზევით 10 მ/წმ სიჩქარით აისროლეს მცირე ზომის ბურთულა. რა დროში მიაღწევს იგი მაქსიმალურ სიმაღლეს? რისი ტოლია ეს სიმაღლე? ჰაერის წინააღმდეგობას ნუ გაითვალისწინებთ ($g \approx 10$ მ/წმ²).

3. სახურავიდან 2 წმ-ის ინტერვალით მოსწყდა წყლის ორი წვეთი (სურ. 2.49). რა მანძილი იქნება წვეთებს შორის მეორე წვეთის მოწყვეტის მომენტში? რა მანძილი იქნება წვეთებს შორის მეორე წვეთის მოწყვეტის მომენტიდან 3 წამის შემდეგ? წვეთის მოძრაობა თავისუფალ ვარდნად მიიჩნიეთ ($g \approx 10$ მ/წმ²).



სურ. 2. 49

4. დიდი სიმაღლიდან თავისუფლად ვარდნას იწყებს ბურთულა ($g \approx 10$ მ/წმ²). განსაზღვრეთ:

ა) ვარდნის დაწყებიდან პირველ წამში გავლილი მანძილი;

ბ) ვარდნის დაწყებიდან ორ წამში გავლილი მანძილი;

გ) ვარდნის დაწყებიდან მეორე წამში გავლილი მანძილი;

დ) ვარდნის დაწყებიდან მესამე წამში გავლილი მანძილი;

ე) როგორ შეეფარდება პირველ, მეორე და მესამე წამში გავლილი მანძილები ერთმანეთს.

5. ვერტიკალურად ზევით 30 მ/წმ სიჩქარით აისროლეს სხეული. ასროლიდან რა დროის შემდეგ იქნება სხეული საწყისი დონიდან 25 მ სიმაღლეზე? ჰაერის წინააღმდეგობას ნუ გაითვალისწინებთ ($g \approx 10$ მ/წმ²).

6. საწყისი სიჩქარის გარეშე თავისუფლად ვარდნილმა სხეულმა ვარდნის ბოლო წამში 55 მ გაიარა. რა დროის განმავლობაში ვარდებოდა სხეული? $g \approx 10$ მ/წმ².

7. საწყისი სიჩქარის გარეშე სიჩქარით თავისუფლად ვარდნილმა სხეულმა ვარდნის ბოლო წამში 45 მ გაიარა. რა სიჩქარე ჰქონდა სხეულს ვარდნის დაწყებიდან სამი წამის შემდეგ? $g \approx 10$ მ/წმ².

8. ვერტიკალურად ზევით 40 მ/წმ საწყისი სიჩქარით აისროლეს ბურთულა. რამდენით მეტია ბურთულის მიერ 6 წამში გავლილი მანძილი მისი გადაადგილების მოდულზე? ჰაერის წინააღმდეგობას ნუ გაითვალისწინებთ ($g≈10$ მ/წმ^2).

9. 30 მ სიმაღლის აივნიდან ვერტიკალურად ზევით 20 მ/წმ სიჩქარით აისროლეს ბურთი. დედამიწის ზედაპირიდან რა სიმაღლეზე გახდება მისი სიჩქარის გეგმილი -30 მ/წმ-ის ტოლი ღერძზე, რომელიც ვერტიკალურად ზევითაა მიმართული?

10. 30 მ სიმაღლის აივნიდან ვერტიკალურად ზევით 30 მ/წმ სიჩქარით აისროლეს ბურთულა. იმავდროულად, დედამიწის ზედაპირიდან 40 მ/წმ საწყისი სიჩქარით აისროლეს მეორე ბურთულა. ჰაერის წინააღმდეგობას ნუ გაითვალისწინებთ ($g≈10$ მ/წმ^2) და განსაზღვრეთ:

ა) საწყისი მომენტიდან რა დროში იქნებიან ისინი ერთსა და იმავე სიმაღლეზე;

ბ) რა მაქსიმალურ სიმაღლეს მიაღწევს თითოეული;

გ) დროის რა ინტერვალით დაეცემიან ბურთულები დედამიწის ზედაპირზე.

საშინაო ცდა:

ცდის მიზანი: ჰორიზონტალურად გასროლილი სხეულის ვარდნის დროის გასროლის სიჩქარეზე დამოკიდებულების დადგენა.

ამ დამოკიდებულების დასადგენად საჭიროა სხეულს მიანიჭოთ სხვადასხვა ჰორიზონტალური სიჩქარე და შეადაროთ ვარდნის დროები.

ცდისთვის საჭიროა: სქელი მუყაოს ნაჭერი, ორი პატარა ბურთულა (შეიძლება გამოიყენოთ ორი მრგვალი თხილი), პლასტილინი, მყარი სახაზავი.

ცდის აღწერა: მუყაოს კიდესთან ახლოს გააკეთეთ ისეთი ზომის მრგვალი ნახვრეტი, რომ მასში ბურთულა (თხილი) არ ეტეოდეს. დადეთ მუყაოს ფირფიტა მაგიდაზე ისე, რომ ნახვრეტი მაგიდის კიდეს იყოს გადაცილებული. ბურთულები პლასტილინით ისე შეაწებეთ ერთმანეთს, რომ ერთი მათგანი ნახვრეტის ქვედა მხარეს აღმოჩნდეს, მეორე – ნახვრეტის ზევით. შეეცადეთ პლასტილინი მხოლოდ ბურთულებს აკავშირებდეს და მუყაოს არსად ეხებოდეს (სურ. 2.50). მუყაოზე სახაზავის სწრაფი გასმით პლასტილინი გაწყდება. ქვედა ბურთულა პირდაპირ შვეულად დაიწყებს ვარდნას უსაწყისო სიჩქარით. იმავდროულად, ზედა ბურთულა მიიღებს ჰორიზონტალურ საწყის სიჩქარეს და მაგიდის ძირიდან შორს გადავარდება.

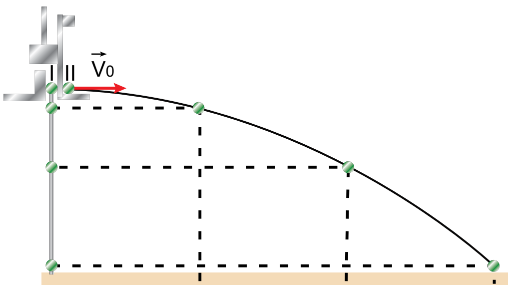
სურ. 2. 50

დააკვირდით ბურთულების ვარდნას და შეადარეთ, ისინი იატაკზე სხვადასხვა დროს დაეცემა, თუ ერთდროულად. ცდა რამდენჯერმე გაიმეორეთ, დაკვირვების შედეგები ჩაინიშნეთ რვეულში და გამოიტანეთ დასკვნა.

§ 2.9 მოძრაობა სიმძიმის ძალის მოქმედებით: ჰორიზონტალურად გასროლილი სხეულის მოძრაობა

საშინაო ცდით, ალბათ, დარწმუნდით, რომ როგორი სიჩქარეც უნდა მიანიჭო I ბურთულას, ის იმავე დროში დავარდება იატაკზე, როგორც II, საწყისი სიჩქარის გარეშე ვარდნილი ბურთულა. ეს ნიშნავს, რომ ორივე ბურთულა ერთსა და იმავე დროის განმავლობაში ვარდებოდა. ე.ი. გასროლილი ბურთულის შვეულ ვარდნას ხელს არ უშლის მისი ჰორიზონტალური მიმართულებით მოძრაობა და პირიქით.

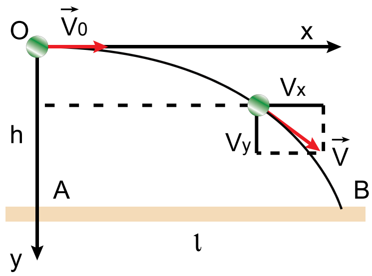
ჩავატაროთ ცდა სურ. 2.51 გამოსახული დანადგარის დახმარებით. რკინის დრეკად ფირფიტაზე ჩაქუჩის დარტყმით II ბურთულა იძენს ჰორიზონტალურად მიმართულ საწყის $\vec{v}_0$ სიჩქარეს. იმავდროულად, I ბურთულა თავისუფლდება ფირფიტის დაწოლისაგან და იწყებს შვეულად ვარდნას საწყისი სიჩქარის გარეშე.



სურ. 2. 51

თუ ბურთულების ვარდნას დროის ტოლი შუალედებით სურათებს გადავუღებთ, დავრწმუნდებით, რომ ორივე ბურთულა შვეული მიმართულებით თანაბარაჩქარებულად, ერთნაირი აჩქარებით მოძრაობს (დროის ტოლ შუალედებში შვეულად შესრულებული გადაადგილებების მოდულები ერთმანეთს ისე შეეფარდება, როგორც 1:3:5:7...). ამასთან, II ბურთულა ჰორიზონტალური მიმართულებით მოძრაობს თანაბრად. ე.ი. II ბურთულას მოძრაობა შეიძლება დავშალოთ ორ უფრო მარტივ მოძრაობად: შვეულ თავისუფალ ვარდნად და ჰორიზონტალურ თანაბარ მოძრაობად. ეს მაგალითი დემონსტრირებაა მოძრაობების დამოუკიდებლობის პრინციპისა, რომლის მიხედვითაც, ნებისმიერი რთული მოძრაობა შეიძლება წარმოვადგინოთ, როგორც რამდენიმე შედარებით მარტივი მოძრაობის ჯამი.

აღვწეროთ II ბურთულის მოძრაობა. ამისათვის მის საწყის მდებარეობას დავამთხვიოთ კოორდინატთა სათავე, OX ღერძი მივმართოთ ჰორიზონტალურად, ხოლო OY ღერძი – ვერტიკალურად ქვევით (სურ. 2.52). ამ მოძრაობის დროს ბურთულაზე მოქმედებს ერთი, OY ღერძის გასწვრივ მიმართული სიმძიმის ძალა, რის გამოც ბურთულის აჩქარების გეგმილები ღერძებზე იქნება: $a_x = 0$ და $a_y = g$. ეს ნიშნავს, რომ ჰორიზონტალური მიმართულებით მოძრაობა თანაბარია, ამიტომ OX ღერძზე სიჩქარის გეგმილისა და კოორდინატისათვის მივიღებთ: $v_x = v_0$ და $x = v_0t$.



სურ. 2. 52

შვეული მიმართულებით ბურთულას საწყისი სიჩქარე არ აქვს და ვარდება $\vec{g}$ აჩქარებით, ამიტომ OY ღერძზე სიჩქარის გეგმილისა და კოორდინატისათვის გვექნება: $v_y = gt$ და $y = \dfrac{gt^2}{2}$.

ბურთულის h-ით დაშვებისათვის $(y = h)$ საჭირო ვარდნის დრო ტოლი იქნება:

$$t_3 = \sqrt{\frac{2h}{g}}.$$

თუ ვარდნის დროის ამ მნიშვნელობას x კოორდინატის გამოსათვლელ ფორმულაში ჩავსვამთ, მივიღებთ ფრენის სიშორის (ჰორიზონტალური მიმართულებით გავლილი მანძილის) მნიშვნელობას:

$$l = AB = v_0\sqrt{\frac{2h}{g}}.$$

ბურთულის სიჩქარე ტრაექტორიის ნებისმიერ წერტილში მიმართულია ამ წერტილში გავლებული მხების გასწვრივ და მისი მოდული ტოლია:

$$v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2} = \sqrt{v_0^2 + g^2t^2},$$

h სიმაღლით დაშვების მომენტში კი სიჩქარის მოდული ტოლი იქნება:

$$v = \sqrt{v_0^2 + 2gh}.$$

როგორ შეიძლება მიიღოთ ეს ფორმულა მექანიკური ენერგიის მუდმივობის კანონის გამოყენებით?

მოძრაობის ტრაექტორიის ფორმის დასადგენად დავამყაროთ კავშირი x და y კოორდინატებს შორის. ამისთვის x-ის ფორმულიდან გამოვსახოთ t დრო და ჩავსვათ y კოორდინატის ფორმულაში, მივიღებთ:

$$y = \frac{g}{2v_0^2} \cdot x^2.$$

ე.ი. ჰორიზონტალურად გასროლილი სხეულის შვეული y კოორდინატი ჰორიზონტალურ x კოორდინატზე კვადრატულადაა დამოკიდებული, ამიტომ მოძრაობის ტრაექტორია იმ პარაბოლის ნაწილია, რომლის წვერო გასროლის წერტილს ემთხვევა.

დასკვნები:

- ჰორიზონტალურად გასროლილი სხეულის მოძრაობა შვეულად თავისუფალი ვარდნისა და ჰორიზონტალური თანაბარი მოძრაობის ერთობლიობაა;
- ერთი და იმავე სიმაღლიდან უსაწყისო და ჰორიზონტალურად მიმართული საწყისი სიჩქარით ვარდნილი სხეულების ვარდნის დრო ერთნაირია;
- h სიმაღლიდან ჰორიზონტალურად $\vec{v}_0$ სიჩქარით გასროლილი სხეულის ვარდნის დრო, გასროლის სიშორე და საბოლოო სიჩქარის მოდული, შესაბამისად, გამოისახება ფორმულებით:

$$t_3 = \sqrt{\frac{2h}{g}}, \qquad l = v_0\sqrt{\frac{2h}{g}}; \qquad v = \sqrt{v_0^2 + 2gh};$$

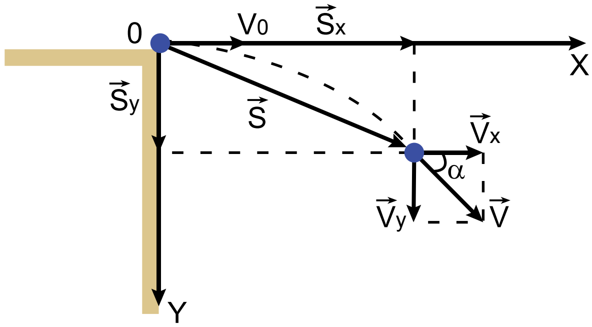
- ჰორიზონტალურად $\vec{v}_0$ სიჩქარით გასროლილი სხეულის სიჩქარის მოდული გასროლიდან t დროის შემდეგ ტოლია: $v = \sqrt{v_0^2 + g^2t^2}$;
- ჰორიზონტალურად $\vec{v}_0$ სიჩქარით გასროლილი სხეული მოძრაობს იმ პარაბოლის ტოტზე, რომლის განტოლებაა $y = \frac{g}{2v_0^2} \cdot x^2$.

საკონტროლო კითხვები:

1. რას ნიშნავს მოძრაობის დამოუკიდებლობის პრინციპი?
2. რატომ არის გასროლილი სხეულის მოძრაობა ჰორიზონტალური მიმართულებით თანაბარი, ხოლო ვერტიკალური მიმათულებით თანაბარაჩქარებული?
3. რისი ტოლია ჰორიზონტალურად გასროლილი სხეულის სიჩქარის ჰორიზონტალური მდგენელი დროის ნებისმიერ მომენტში?
4. როგორ ტრაექტორიაზე იმოძრავებს თვითმფრინავიდან გადმომხტარი პარაშუტისტი გადმოხტომიდან მცირე დროის განმავლობაში?
5. როგორ შეიცვლება გასროლის სიშორე, თუ გასროლა ვაკუუმის ნაცვლად ჰაერში მოხდება?
6. რატომ უმიზნებს მსროლელი შორს მყოფ სამიზნეს ოდნავ ზევით?

ერთად ამოვხსნათ ამოცანა

გარკვეული სიმაღლიდან ჰორიზონტალურად გასროლილი სხეულის სიჩქარემ გასროლიდან 1 წამში ჰორიზონტთან 45^0-იანი კუთხე შეადგინა (სურ. 2.53). განსაზღვრეთ სხეულის გასროლის სიჩქარე და მის მიერ 1 წამში შესრულებული გადაადგილების მოდული. ჰაერის წინააღმდეგობას ნუ გაითვალისწინებთ (g≈10 მ/წმ²).



სურ. 2. 53

ამოხსნა:

მოც.:
t=1 წმ;
$\alpha=45^0$;
g≈10 მ/წმ².
უ.ვ. v_0, S

ვინაიდან გასროლიდან 1 წამის შემდეგ სხეულის სიჩქარის $\vec{v}$ ვექტორსა და ჰორიზონტს შორის კუთხე $\alpha = 45^0$, ამიტომ $\vec{v}$ სიჩქარის ჰორიზონტალური $\vec{v}_x$ მდგენელი და ვერტიკალური $\vec{v}_y$ მდგენელი ამ მომენტში მოდულით ერთმანეთის ტოლია. v_y-ის საპოვნელად დავწეროთ სიჩქარის y ღერძზე გეგმილის დროზე დამოკიდებულების ფორმულა: $v_y = v_{0y} + gt$. რადგან სხეულის საწყისი $\vec{v}_0$ სიჩქარე ჰორიზონტალურადაა მიმართული, ამიტომ $v_{0y} = 0$. შესაბამისად, გასროლიდან 1 წამში $v_y = gt = (10$ მ/წმ), ე.ი. ამ მომენტში v_x=10 მ/წმ. უკვე ვიცით, რომ ჰორიზონტალურად გასროლილი სხეულის სიჩქარის გეგმილი ჰორიზონტალურ x ღერძზე არ იცვლება, ამიტომ $v_0 = v_x = 10$ (მ/წმ). 1 წამში ჰორიზონტალური მიმართულებით შესრულებული გადაადგილების გეგმილი იქნება: $S_x = v_x t = 10$ (მ), ვერტიკალური მიმართულებით კი – $S_y = \frac{gt^2}{2} = 5$ (მ). სხეულის გადაადგილების მოდულისათვის დავწერთ: $S = \sqrt{s_x^2 + s_y^2} = 11{,}2$ (მ).

პასუხი: სხეული ჰორიზონტალურად გაისროლეს 10 მ/წმ სიჩქარით და მან 1 წმ-ში შეასრულა 11,2 მ-ის ტოლი გადაადგილება.

ამოხსენით ამოცანები:

1. ერთი და იმავე სიმაღლიდან ჰორიზონტალური მიმართულებით ისვრიან ორ ბურთულას: პირველს – 10 მ/წმ სიჩქარით, მეორეს – 20 მ/წმ-ით. შეადარეთ მათი დედამიწამდე ვარდნის დროები. ჰაერის წინააღმდეგობას ნუ გაითვალისწინებთ.

2. 20 მ სიმაღლიდან ჰორიზონტალური მიმართულებით გაისროლეს ბურთულა. რა დროში დაეცემა იგი დედამიწის ზედაპირზე? ჰაერის წინააღმდეგობას ნუ გაითვალისწინებთ (g≈10 მ/წმ²).

3. რა სიმაღლიდან უნდა გავისროლოთ ტყვია ჰორიზონტალური მიმართულებით, რომ დედამიწაზე დაცემისას მისი სიჩქარის ვერტიკალური მდგენელის მოდული 20 მ/წმ-ის ტოლი იყოს? ჰაერის წინააღმდეგობას ნუ გაითვალისწინებთ (g≈10 მ/წმ²).

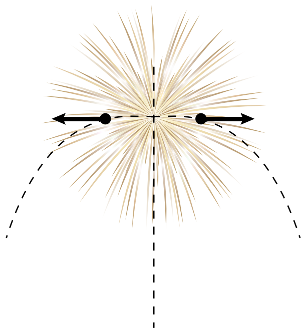
4. ცათამბჯენის 125 მეტრი სიმაღლის აივნიდან სათამაშო დამბაჩით ჰორიზონტალური მიმართულებით ისროლეს „ტყვია“. რისი ტოლი უნდა იყოს ტყვიის საწყისი სიჩქარე, რომ დედამიწის ზედაპირზე დაცემის მომენტში მისი სიჩქარე 60 მ/წმ-ის ტოლი იყოს? ჰაერის წინააღმდეგობას ნუ გაითვალისწინებთ ($g≈10$ მ/წმ²).

5. ცათამბჯენის 125 მეტრი სიმაღლის აივნიდან სათამაშო დამბაჩით ჰორიზონტალური მიმართულებთ ისროლეს „ტყვია“. ტყვიის საწყისი სიჩქარე 20 მ/წმ-ია. რისი ტოლი იქნება მისი ფრენის სიშორე? ჰაერის წინააღმდეგობას ნუ გაითვალისწინებთ ($g≈10$ მ/წმ²).

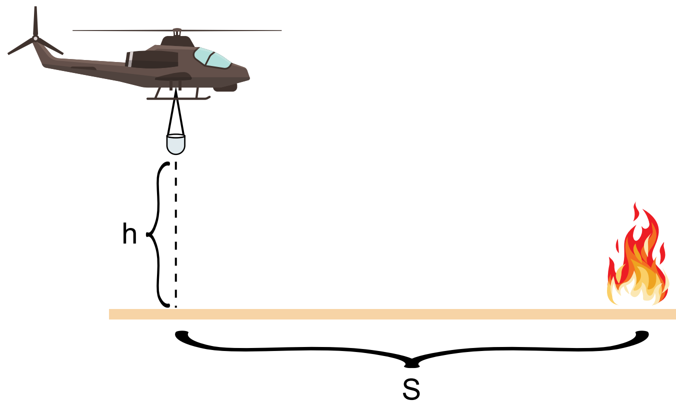
6. ვერტიკალურად ასროლილი ფოიერვერკის კაფსულა მაქსიმალურ სიმაღლეზე გასკდა ორ თანაბარ ნაწილად. თითოეულმა შეიძინა ჰორიზონტალური, ურთიერთსაპირისპიროდ მიმართული 10 მ/სმ სიჩქარე (სურ. 2.54). რა სიმაღლეზე გასკდა ფოიერვერკი, თუ ნამსხვრევები დედამიწის ზედაპირზე ერთმანეთისაგან 60 მ მანძილის დაშორებით დავარდა? ჰაერის წინააღმდეგობას ნუ გაითვალისწინებთ ($g≈10$ მ/წმ²).

7. გარკვეული სიმაღლიდან 12 მ/წმ სიჩქარით ჰორიზონტალურად გაისროლეს ბურთულა, რომელიც დედამიწაზე 1 წამში დაეცა. რისი ტოლა ბურთულის მიერ შესრულებული გადაადგილების მოდული? ჰაერის წინააღმდეგობას ნუ გაითვალისწინებთ ($g≈10$ მ/წმ²).

8. სახანძრო ვერტმფრენი 15 მ/წმ სიჩქარით მიფრინავს ჰორიზონტალურად ისე, რომ მისი წყლით სავსე რეზერვუარი დედამიწის ზედაპირიდან 180 მ სიმაღლეზეა (სურ. 2.55). ხანძრის კერიდან რა S მანძილის დაშორებით უნდა გახსნას რეზერვუარი პილოტმა, რომ წყალი ზუსტად მიზანს დაესხას? ჰაერის წინააღმდეგობას ნუ გაითვალისწინებთ ($g≈10$ მ/წმ²).



სურ. 2. 54



სურ. 2. 55

9. დედამიწიდან 80 მ სიმაღლიდან ჰორიზონტალურად 30 მ/წმ სიჩქარით გაისროლეს ბურთულა. რისი ტოლი იქნება ბურთულის სიჩქარის მოდული დედამიწაზე დავარდნის მომენტში და იმ კუთხის ტანგენსი, რომელსაც ეს სიჩქარე შეადგენს ჰორიზონტთან? ჰაერის წინააღმდეგობას ნუ გაითვალისწინებთ ($g≈10$ მ/წმ²).

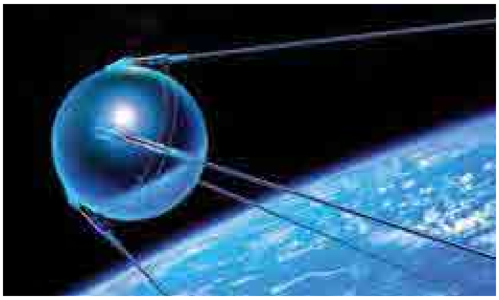
10. წყალმომარაგების მილს გაუჩნდა 3 სმ² ფართობის მქონე ნახვრეტი, რომლიდანაც წყლის ჭავლი 10 მ/წმ სიჩქარით ჰორიზონტალურად გამოედინება. განსაზღვრეთ ჰაერში არსებული წყლის მასა, თუ ნახვრეტი დედამიწის ზედაპირიდან 45 მ სიმაღლეზეა. ჰაერის წინააღმდეგობას ნუ გაითვალისწინებთ ($g≈10$ მ/წმ²).

§ 2.10 მოძრაობა სიმძიმის ძალის მოქმედებით: ჰორიზონტისადმი კუთხით გასროლილი სხეულის მოძრაობა

§ 2.11 პირველი კოსმოსური სიჩქარე

1957 წლის 4 ოქტომბერს ყაზახეთში მდებარე ტიურატამის პოლიგონიდან სტარტი აიღო რაკეტამ უჩვეულო ტვირთით – მცირე ზომის ლითონის ბურთი ოთხი გრძელი ანტენით (სურ. 2.62). ეს ბურთი გახდა დედამიწის პირველი ხელოვნური თანამგზავრი.

ხელოვნური თანამგზავრის იდეა პირველმა ჩამოაყალიბა ისააკ ნიუტონმა თავის ფუნდამენტურ ნაშრომში „ნატურალური ფილოსოფიის მათემატიკური საწყისები" (Philosophiæ Naturalis Principia Mathematica, 1687): „მაღალი მთიდან ჰორიზონტალურად გასროლილი ქვა სიმძიმის ძალის ზეგავლენით გადაუხვევს სწორხაზოვანი გზიდან და შემოხაზავს რა მრუდწირულ ტრაექტორიას, საბოლოოდ დაეცემა დედამიწაზე. თუ მას გავისვრით უფრო დიდი სიჩქარით, მაშინ ის დაეცემა უფრო შორს" (სურ. 2.63). აგრძელებს რა თავის წარმოსახვით ექსპერიმენტს, ნიუტონი მიდის იმ დასკვნამდე, რომ ჰაერის წინააღმდეგობის არარსებობისა და დიდი სიჩქარის შემთხვევაში სხეული შეიძლება საერთოდ არ ჩამოვარდეს დედამიწაზე, ის დაიწყებს წრიული ტრაექტორიის შემოხაზვას და დარჩება დედამიწიდან ერთსა და იმავე სიმაღლეზე. ამ შემთხვევაში სხეული გადაიქცევა დედამიწის ხელოვნურ თანამგზავრად.

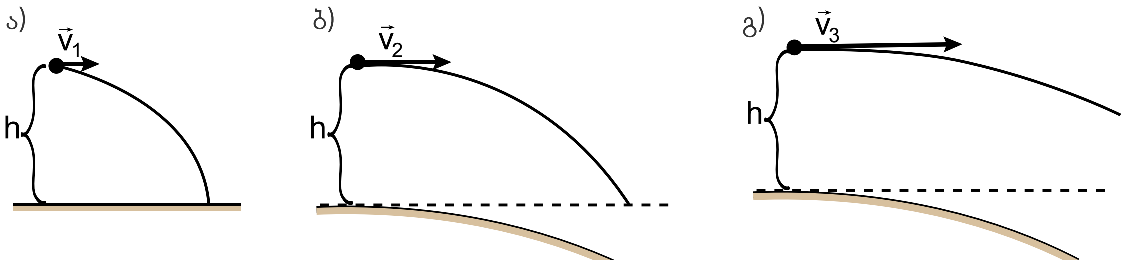


სურ. 2.62

სურ. 2.63

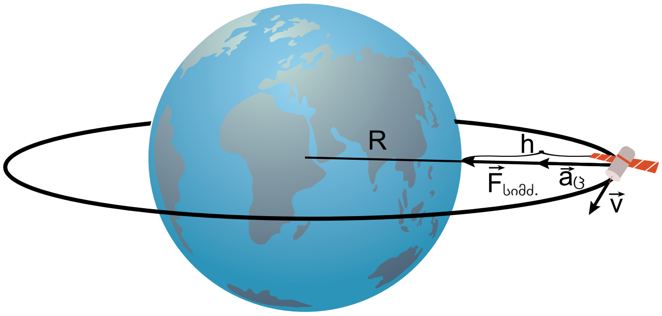
მაინც რა სიჩქარე უნდა მივანიჭოთ სხეულს ჰორიზონტალურად, რომ ის დედამიწის ხელოვნურ თანამგზავრად იქცეს?

თქვენ უკვე იცით, რომ თუ დედამიწის ზედაპირიდან h სიმაღლეზე მყოფ სხეულს მიანიჭებთ ჰორიზონტალური მიმართულების რაიმე $\vec{v}$ სიჩქარეს, ის შემოწერს პარაბოლურ ტრაექტორიას და დავარდება მის ზედაპირზე. ამ მოძრაობის განხილვისას ჩვენ მივიჩნევდით, რომ დედამიწის ზედაპირი ბრტყელია (სურ. 2.64 ა). ასეთი გამარტივება მართებულია სხეულის მცირე სიჩქარით გასროლისას, რა დროსაც მისი ფრენის სიშორე მცირეა. სინამდვილეში დედამიწის სფერული ფორმის გამო მისი ზედაპირი რამდენადმე შორდება ჰორიზონტს (სურ. 2.64 ბ). ანუ, სხეული თავისუფალი ვარდნის გამო უახლოვდება დედამიწის ზედაპირს, ხოლო დედამიწის ზედაპირი სიმრუდის გამო შორდება სხეულს.



სურ. 2. 64

შეიძლება შევარჩიოთ სხეულის გასროლის $\vec{v}$ სიჩქარის ისეთი მნიშვნელობა, რომ რამდენადაც სხეული ვარდნისას მიუახლოვდება დედამიწის ზედაპირს, დედამიწის ზედაპირი თავისი სიმრუდის გამო იმდენადვე დაშორდება მას (სურ. 2.64 გ). ასეთ შემთხვევაში ის იმოძრავებს დედამიწის ზედაპირიდან მუდმივ h სიმაღლეზე, ე.ი. $(R+h)$ რადიუსის წრეწირზე და გადაიქცევა დედამიწის ხელოვნურ თანამგზავრად (სურ. 2.65).



სურ. 2.65

იმისათვის, რომ ეს თვალსაჩინოდ წარმოიდგინოთ, გადადით შემდეგ ბმულებზე:
http://tiny.cc/0j48tz, http://tiny.cc/6j48tz

მინიმალურ სიჩქარეს, რომელიც უნდა მივანიჭოთ სხეულს იმისათვის, რომ მან იმოძრაოს დედამიწის გარშემო წრიულ ორბიტაზე, პირველი კოსმოსური სიჩქარე ეწოდება.

პირველ რიგში, უნდა აღვნიშნოთ, რომ დედამიწის ზედაპირიდან დაშორება, რომელზეც ჰაერის წინააღმდეგობის ძალა პრაქტიკულად ნულის ტოლია, დაახლოებით 300 კმ-ია.

ვთქვათ, თანამგზავრს აქვს პირველი კოსმოსური სიჩქარე და ის წრიულ ორბიტაზე თანაბრად მოძრაობს. თანამგზავრზე მოქმედებს მხოლოდ სიმძიმის ძალა – $\vec{F}_{სიმძ}$, რომელიც მას $\vec{a}_ც$ ცენტრისკენულ აჩქარებას ანიჭებს (სურ. 2.65). ნიუტონის მეორე კანონის თანახმად:

$$F_{სიმძ} = ma_ც, \tag{1}$$

თუ დედამიწის მასას აღვნიშნავთ M-ით, მის რადიუსს – R-ით, თანამგზავრის მასას – m-ით, ხოლო მის დაშორებას დედამიწის ზედაპირიდან h-ით, მაშინ $F_{სიმძ} = G\dfrac{mM}{(R+h)^2}$ და $a_ც = \dfrac{v^2}{R+h}$. მიზიდულობის ძალისა და ცენტრისკენული აჩქარების ამ გამოსახულებების (1) ფორმულაში შეტანით გვექნება:

$$G\frac{mM}{(R+h)^2} = \frac{mv^2}{R+h},$$

საიდანაც მივიღებთ პირველი კოსმოსური სიჩქარის გამოსათვლელ ფორმულას დედამიწის ზედაპირიდან h სიმაღლეზე:

$$v = \sqrt{\frac{GM}{R+h}}. \tag{2}$$

შედარებით მცირე სიმაღლეების შემთხვევაში $h+R \approx R$, ამიტომ

$$v \approx \sqrt{\frac{GM}{R}}. \tag{3}$$

ეს ფორმულა შეიძლება სხვაგვარადაც ჩავწეროთ. გავიხსენოთ, რომ დედამიწის ზედაპირთან თავისუფალი ვარდნის აჩქარების მოდული

$$g = G\frac{M}{R^2}.$$

აქედან, $GM = gR^2$. ამ ტოლობის გათვალისწინებით (3) ფორმულიდან გამარტივების შემდეგ მივიღებთ: $v = \sqrt{gR}$. რადგან g = 9,8 მ/წმ², R = 6,4 · 10⁶ მ, ამიტომ $v = \sqrt{9{,}8 \cdot 6{,}4 \cdot 10^6} \approx 7{,}9 \cdot 10^3$ (მ/წმ) = 7,9 (კმ/წმ). სწორედ ეს არის პირველი კოსმოსური სიჩქარე.

სიმაღლის ზრდასთან ერთად პირველი კოსმოსური სიჩქარე იკლებს. მაგალითად, 500 კმ სიმაღლეზე მისი მნიშვნელობა 7,6 კმ/წმ-ია. თუ h სიმაღლიდან გაშვებული თანამგზავრის სიჩქარე მეტია, ვიდრე ამ სიმაღლის შესაბამისი პირველი კოსმოსური სიჩქარე, მაშინ მისი ორბიტა იქნება ელიფსი. რაც უფრო დიდი იქნება სიჩქარე, მით უფრო გაწელილი იქნება ელიფსი. თუ სხეულს დედამიწის ზედაპირთან ახლოს მივანიჭებთ 11,2 კმ/წმ ჰორიზონტალურ სიჩქარეს, სხეული დაძლევს დედამიწის მიზიდულობას და პარაბოლურ ორბიტაზე იმოძრავებს. ამ სიჩქარეს მეორე კოსმოსური სიჩქარეს უწოდებენ.

(2) და (3) ფორმულებით შეგვიძლია ვიპოვოთ პირველი კოსმოსური სიჩქარე სხვა პლანეტებისთვისაც. მაგალითად, მთვარისათვის პირველი კოსმოსური სიჩქარეა 1,68 კმ/წმ, მერკურისათვის – 3,01 კმ/წმ, ვენერასათვის – 7,33 კმ/წმ.

როგორ გამოთვლით დედამიწის ხელოვნური თანამგზავრის ბრუნვის პერიოდს, თუ იცი პირველი კოსმოსური სიჩქარე? რისი ტოლია მისი მნიშვნელობა?

როგორ ფიქრობთ, გამოდგებათ თუ არა ხელოვნური თანამგზავრის შესახებ მოცემული მსჯელობა დედამიწის გარშემო მთვარის მოძრაობის აღსაწერად?

შესაძლებელია თუ არა, ხელოვნური თანამგზავრი დედამიწის ზედაპირიდან ისეთ სიმაღლეზე მოძრაობდეს, რომ მისი ბრუნვის პერიოდიც 24 სთ იყოს? რა დანიშნულებით შეიძლება ასეთი ხელოვნური თანამგზავრის გამოყენება?

დღეისათვის დედამიწის გარშემო სხვადასხვა ორბიტაზე მოძრაობს რამდენიმე ათასი ხელოვნური თანამგზავრი, რომელთა გარეშე წარმოუდგენელია თანამედროვე ყოფა და მეცნიერება: სატრანსპორტო საშუალებათა ნავიგაცია (მოძრაობის მართვა), კავშირგაბმულობა, ინტერნეტი, ამინდის პროგნოზირება, დაკვირვება დედამიწის ზედაპირზე, შორეული კოსმოსის კვლევა და მრავალი სხვა.

თავისი მნიშვნელობით ერთ-ერთი გამორჩეული თანამგზავრია „საერთაშორისო კოსმოსური სადგური“ (სურ. 2.66), სადაც ყოველთვის იმყოფება მეცნიერთა ჯგუფი. იგი მუდმივი დასახლების ფუნქციით აღჭურვილი თანამგზავრია, რომელიც უზრუნველყოფილია ჟანგბადით, საძილე ოთახებით, საკვები და სავარჯიშო სივრცეებით, ლაბორატორიით და სხვა პირობებით. ამ სადგურზე მყოფი მეცნიერები ატარებენ კვლევებს ფიზიკაში, ბიოლოგიაში, ასტრონომიაში, მეტეოროლოგიასა და მეცნიერების სხვა სფეროებში. იქვე გამოიცდება ისეთი სისტემები და აღჭურვილობები, რომლებიც საჭიროა სხვა პლანეტებზე გასამგზავრებლად.


სურ. 2. 66

მოიძიეთ ინფორმაცია „საერთაშორისო კოსმოსური სადგურის“ შესახებ. გამოიყენეთ საძიებო ფრაზა – „international space station“.

დასკვნები:

- მინიმალურ სიჩქარეს, რომელიც უნდა მივანიჭოთ სხეულს იმისათვის, რომ მან იმოძრაოს დედამიწის გარშემო წრიულ ორბიტაზე, პირველი კოსმოსური სიჩქარე ეწოდება;
- პირველი კოსმოსური სიჩქარე დედამიწის ზედაპირიდან h სიმაღლეზე გამოისახება ფორმულებით: $\sqrt{\frac{GM}{R\quad h}}$ და $v=\sqrt{\frac{GR^2}{R+h}}$;
- ზედაპირიდან სიმაღლის ზრდასთან ერთად, პირველი კოსმოსური სიჩქარე იკლებს;
- დედამიწის ზედაპირიდან მცირე სიმაღლეებისათვის პირველი კოსმოსური სიჩქარე გამოისახება ფორმულებით: $v=\sqrt{\frac{GM}{R}}$ და $v=\sqrt{gR}$;
- დედამიწის ზედაპირის მახლობლად პირველი კოსმოსური სიჩქარე 7,9 კმ/წმ-ის ტოლია.

საკონტროლო კითხვები:

1. რა მოხდება, თუ დედამიწის ზედაპირიდან 10 კმ სიმაღლეზე პირველი კოსმოსური სიჩქარით ჰორიზონტალურად გავისვრით სხეულს?
2. რა პირობა განსაზღვრავს პირველი კოსმოსური სიჩქარის მნიშვნელობას?
3. რა ძალა აკავებს დედამიწის ხელოვნურ თანამგზავრს წრიულ ორბიტაზე?
4. რატომ არ ვარდება დედამიწის ხელოვნური თანამგზავრები დედამიწაზე რამდენიმე ათეული წლის შემდეგაც კი?

ერთად ამოვხსნათ ამოცანა

დედამიწის ზედაპირიდან h სიმაღლეზე, ეკვატორულ სიბრტყეში, დასავლეთიდან აღმოსავლეთის მიმართულებით, ბრუნავს ხელოვნური თანამგზავრი. რამდენჯერ გადაუფრენს თანამგზავრი დღე-ღამეში ეკვატორის ერთსა და იმავე წერტილს? თანამგზავრიდან დედამიწის ზედაპირამდე h მანძილი ისეთია, რომ თანამგზავრის კუთხური ω_1 სიჩქარე უფრო მეტია, ვიდრე საკუთარი ღერძის ირგვლივ დედამიწის ბრუნვის კუთხური სიჩქარე.

ამოხსნა: თანამგზავრის ბრუნვის კუთხური სიჩქარე ტოლია მისი ორბიტაზე ბრუნვის წირითი სიჩქარის შეფარდებისა დედამიწის ცენტრამდე მანძილთან:

$\omega_1=\frac{V}{(R+h)}=\sqrt{\frac{GM}{R+h}}\cdot\frac{1}{R+h}$, რომელშიც M დედამიწის მასაა, ხოლო R – დედამიწის რადიუსი. ვინაიდან მიღებულ გამოსახულებაში შემავალი ყველა სიდიდე ცნობილია, შეგვიძლია გამოვიანგარიშოთ ω_1. ეკვატორის წერტილს, რომლის თავზეც თანამგზავრი საწყის მომენტში იმყოფება, A წერტილი ვუწოდოთ. თანამგზავრი და A წერტილი ბრუნავს დედამიწის ცენტრის გარშემო. ყოველ $T=24$ საათში თანამგზავრი დედამიწის ცენტრის ირგვლივ შემობრუნდება $\alpha_1=\omega_1 T=\sqrt{\frac{GM}{R+h}}\cdot\frac{T}{R+h}$ კუთხით, ხოლო იმავე დროში A

წერტილი შეასრულებს 1 სრულ ბრუნს და შემობრუნდება 2π კუთხით. ამიტომ თუ α_1 კუთხეს გავყოფთ 2π-ზე და ავიღებთ მის მთელ ნაწილს, მივიღებთ საძიებელ სიდიდეს.

პასუხი: თანამგზავრის მიერ დედამიწის ერთსა და იმავე წერტილის თავზე გადაფრენების რაოდენობა დღე-ღამეში იქნება $\sqrt{\frac{GM}{R+h}} \cdot \frac{T}{(R+h)2\pi}$ გამოსახულების მთელი ნაწილი.

ამოხსენით ამოცანები:

1. რატომაა დედამიწის ზედაპირის მახლობლად მბრუნავი ხელოვნური თანამგზავრის ცენტრისკენული აჩქარება, დედამიწის ზედაპირთან თავისუფალი ვარდნის აჩქარების ტოლი?

2. როგორ ფიქრობთ, დედამიწის ხელოვნური თანამგზავრის აღმოსავლეთისკენ გაშვებას უფრო მეტი ენერგია სჭირდება თუ დასავლეთისაკენ? პასუხი დაასაბუთეთ.

3. დედამიწის ზედაპირიდან ერთსა და იმავე სიმაღლეზე, ეკვატორულ სიბრტყეში ბრუნავს ორი ხელოვნური თანამგზავრი. პირველი – აღმოსავლეთიდან დასავლეთის მიმართულებით, მეორე კი – დასავლეთიდან აღმოსავლეთის მიმართულებით. რომელი მათგანის სიჩქარე იქნება უფრო მეტი დედამიწიდან დაკვირვებისას?

4. რისი ტოლია დედამიწის ზედაპირის მახლობლად მბრუნავი ხელოვნური თანამგზავრის ბრუნვის პერიოდი?

5. რამდენჯერ მეტია დედამიწის ზედაპირის მახლობლად მბრუნავი ხელოვნური თანამგზავრის სიჩქარე დედამიწის რადიუსის ტოლ სიმაღლეზე მბრუნავი თანამგზავრის სიჩქარეზე?

6. რისი ტოლია დედამიწის რადიუსის ტოლ სიმაღლეზე მბრუნავი ხელოვნური თანამგზავრის კუთხური სიჩქარე და ბრუნვის პერიოდი?

7. მარსის მასა დაახლოებით დედამიწის მასის 1/10-ნაწილია, ხოლო რადიუსი – დედამიწის რადიუსზე 2-ჯერ ნაკლები. რამდენჯერ მეტია პირველი კოსმოსური სიჩქარე დედამიწისათვის, ვიდრე – მარსისათვის?

8. რისი ტოლია დედამიწის ზედაპირიდან მისი რადიუსის ტოლ სიმაღლეზე მბრუნავი m მასის ხელოვნური თანამგზავრის კინეტიკური ენერგია?

9. ორ პლანეტას ერთნაირი რადიუსი აქვს, მაგრამ პირველის სიმკვრივე 4-ჯერ მეტია მეორისაზე. რამდენჯერ აღემატება პირველი პლანეტის პირველი კოსმოსური სიჩქარე მეორისას?

მინიშნება: სფეროს მოცულობა გამოითვლება ფორმულით – $V = \frac{4}{3}\pi R^3$, რომელშიც R სფეროს რადიუსია.

10. კალკულატორის დახმარებით გამოთვალეთ, დედამიწის ცენტრიდან რა სიმაღლეზე უნდა ბრუნავდეს ხელოვნური თანამგზავრი ეკვატორულ სიბრტყეში, რომ იგი ყოველთვის დედამიწის ერთი და იმავე წერტილის თავზე იმყოფებოდეს.

პროექტი:

ადამიანის ინტერესი კოსმოსის ათვისებისა და საპლანეტთაშორისო მოგზაურობების მიმართ ძალიან დიდია. ჯერ კიდევ გასული საუკუნის 60-იანი წლებიდან კაცობრიობა თამამად საუბრობდა ღია კოსმოსში მოგზაურობის შესახებ. ადამიანთა ამ ოცნებას ფრთე-ბი ნაწილობრივ 1969 წელს შეესხა, როდესაც ადამიანმა მთვარეზე ფეხი პირველად დად-გა. ამის შემდეგ საპლანეტთაშორისო მოგზაურობის იდეა კიდევ უფრო ამბიციური გახდა. კოსმოსური კომპანიის „SpaceX“-ის დამფუძნებელმა ილონ მასკმა განაცხადა, რომ მისი კომპანიის გეგმაა 2020-იანი წლების ბოლოს მარსზე ადამიანთა პირველი ჯგუფი გააგ-ზავნოს. ამ მისიის წარმატებით შესრულება მოითხოვს შესაბამისი გეგმის შედგენასა და სპეციალურ მომზადებას. დედამიწის ირგვლივ მბრუნავი „საერთაშორისო კოსმო-სური სადგურის“ ერთ-ერთი მისია სწორედ საპლანეტთაშორისო მოგზაურობებისათვის მომზადება და შესაბამისი აღჭურვილობების გამოცდაა. მარსზე მოგზაურობის დაგეგ-მვის ერთ-ერთი ძირითადი საკითხი საწვავის მოცულობის სწორად განსაზღვრაა – დიდი ხომალდის დიდი რაოდენობით საწვავით დატვირთვისას მისი მასა იზრდება და ღია კოს-მოსში გასასვლელად კიდევ უფრო მეტი ენერგიაა საჭირო. მცირე რაოდენობის საწვავი კი ხომალდის დანიშნულების ადგილამდე მიღწევას შესაძლოა არ ეყოს. ბოლო წლებში მეც-ნიერებმა შეიმუშავეს გეგმა, თუ როგორ შეიძლება საწვავის მინიმალური დანახარჯითა და დედამიწისა და მარსის გრავიტაციის გამოყენებით მარსისაკენ ხომალდის გაგზავნა. გაეცანით სტატიებს მითითებულ ბმულებზე (https://tinyurl.com/9xppkbkk; shorturl.at/qCHJ5) და მოამზადეთ პრეზენტაცია თემაზე: „მისია მარსზე“. პრეზენტაციაში წარ-მოაჩინეთ:

- რა სირთულეებს შეიძლება წავაწყდეთ მარსზე გაფრენისას;
- როგორ აპირებენ მეცნიერები აღნიშნული სირთულეების დაძლევას;
- როგორია მარსის კოლონიზაციის გეგმა.

საშინაო ცდა:

ცდის მიზანი: სხეულის მხრიდან საყრდენზე მოქმედი ძალის ცვლილებაზე დაკვირვება.

ცდისთვის საჭიროა: რეზინის ბუშტი, მაკრატელი, პოლიეთილენის 1,5 ლიტრიანი ან 2 ლიტრიანი ბოთლი, წებო.

ცდის აღწერა: პოლიეთილენის ბოთლს მოაჭერით ძირი. რეზინის ბუშტიდან გამოჭერით ბოთლის ძირზე დიდი ზომის ნაჭერი და მიაწებეთ ბოთლს ძირის ნაცვლად გარედან ისე, რომ წყალს არ უშვებდეს (სურ 2.67). ამით ბოთლს რეზინის ფსკერს გაუკეთებთ. ჩაასხით ბოთლში იმდენი წყალი, რომ რეზინი შესამჩნევად ჩამოიზნიქოს. ბოთლს საცობი არ გაუკეთოთ. აამოძრავეთ იგი ვერტიკალურად ზევით და ქვევით ჯერ თანაბრად, შემდეგ – სხვადასხვა აჩქარებით და დააკვირდით რეზინის დეფორმაციას. თუ ცდისას რეზინზე დაკვირვება გაგიჭირდებათ, შეგიძლიათ, ცდის მსვლელობა ჩაიწეროთ მობილური ტელეფონის ვიდეო-კამერით და შემდეგ დააკვირდეთ მას. ცდის შედეგების მიხედვით, ეცადეთ უპასუხოთ კითხვებს:

სურ. 2. 67

- იცვლებოდა თუ არა რეზინის დეფორმაცია ბოთლის თანაბარი მოძრაობისას?
- როგორ იცვლებოდა რეზინის დეფორმაცია ბოთლის ზევით დაძვრისას?
- როგორ იცვლებოდა რეზინის დეფორმაცია ბოთლის ქვევით დაძვრისას?
- როგორ იცვლებოდა რეზინის დეფორმაცია ბოთლის სხვადასხვა აჩქარებით დაძვრისას, როგორც ზევით – ასევე ქვევით?
- რომელ შემთხვევაში იცვლებოდა და რომელში არა წყლის მხრიდან რეზინზე (საყრდენზე) მოქმედი ძალა?

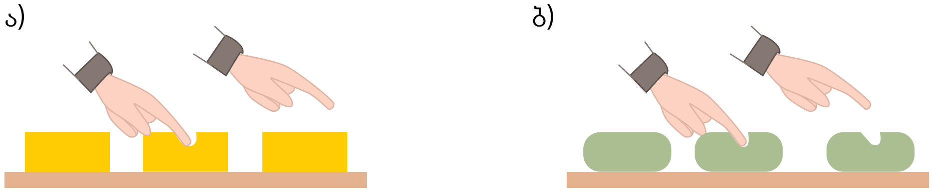
§ 2.12 დრეკადობის ძალა. სხეულის წონა

გიორგი მოგზაურობიდან დაბრუნდა და ფიზიკის გაკვეთილზე ასეთი კითხვა დასვა: „თვითმფრინავის აფრენის დროს ვიგრძენი, რომ რაღაც ძალა მაწვებოდა და უფრო მაგრად ვეფლობოდი სავარძელში, თითქოს უფრო დავმძიმდი. დაშვებისას კი, პირიქით, თითქოს რაღაც ძალა ზემოთ მექაჩებოდა და სავარძელს ნაკლებად ვეყრდნობოდი. რა ძალაა ეს? რამ გამოიწვია ჩემი დამძიმება ან შემსუბუქება?“

ვიდრე გიორგის ამ კითხვას ვუპასუხებდეთ, გავიხსენოთ VII კლასში ნასწავლი დრეკადობის ძალა.

თუ პარალონის ღრუბელს დავაწვებით, ის ჩაიზნიქება – შეიცვლის ფორმას (სურ. 2.68 ა). **სხეულის ფორმისა და (ან) ზომის ცვლილებას დეფორმაცია ეწოდება.** ღრუბელზე ზემოქმედების შეწყვეტის შემდეგ ის დაიბრუნებს თავის პირვანდელ მდგომარეობას.

ა) ბ)

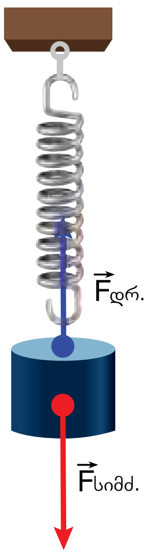


სურ. 2. 68

დეფორმაციას, რომელიც მთლიანად ქრება მისი გამომწვევი გარეშე ძალის მოქმედების შეწყვეტის შემდეგ, დრეკადი ეწოდება.

პლასტილინის ნაჭერზე იგივე ზემოქმედებისას ის დეფორმირდება, მაგრამ ზემოქმედების შეწყვეტის შემდეგ პირვანდელ მდგომარეობას არ იბრუნებს (სურ. 2.68 ბ).

დეფორმაციას, რომელიც რჩება მისი გამომწვევი გარეშე ძალების მოქმედების შეწყვეტის შემდეგ, პლასტიკური ეწოდება.



სურ. 2.69

თუ ერთი ბოლოთი დაკიდებული ზამბარის მეორე ბოლოზე ტვირთს დავკიდებთ, ის ქვევით ამოძრავდება და თან ზამბარის ქვედა ბოლოს წაიყოლებს. ზამბარა გაიჭიმება, მაგრამ გარკვეული დროის შემდეგ ტვირთი გაჩერდება (სურ. 2.69). ვინაიდან ტვირთი აღმოჩნდა წონასწორობაში, ეს ნიშნავს, რომ ზამბარის გაჭიმვის შემდეგ მასში აღიძრა ზევით მიმართული ძალა, რომელმაც ტვირთზე მოქმედი სიმძიმის ძალა გააწონასწორა. ამ ძალას დრეკადობის ძალა უწოდეს. როდესაც ტვირთი გაჩერდა, დრეკადობის ძალა მოდულით სიმძიმის ძალას გაუტოლდა. შეიძლება ითქვას, რომ **დრეკადობის ძალა ეწინააღმდეგება დეფორმაციას.**

ძალას, რომელიც აღიძვრება სხეულის დეფორმაციისას და მიმართულია სხეულის შემადგენელი ნაწილაკების ურთიერთწანაცვლების საწინააღმდეგოდ, დრეკადობის ძალა ეწოდება. მას აღნიშნავენ $\vec{F}_{დრ}$-ით.

დრეკადობის ძალის წარმოქმნის მექანიზმი ასეთია: სხეულის შემადგენელ ნაწილაკებს შორის მანძილის გაზრდა იწვევს მათ შორის მიზიდულობის ძალების გაზრდას, ხოლო შემცირება – განზიდვის ძალების გაზრდას. როდესაც სხეულს ვკუმშავთ, მის შემადგენელ ნაწილაკებს ერთმანეთს ვუახლოვებთ და ისინი ერთმანეთს განიზიდავს. სხეულის გაჭიმვისას კი ნაწილაკებს ერთმანეთს ვაშორებთ და ისინი ერთმანეთს მიიზიდავს. ორი ნაწილაკის ურთიერთქმედების ძალა ძალიან მცირეა, მაგრამ სხეულის დეფორმაციისას ურთიერთქმედებს ნაწილაკების ძალიან დიდი რაოდენობა. ყველა ნაწილაკს შორის ურთიერთქმედების ჯამური ძალა კი უკვე მნიშვნელოვანი სიდიდისაა.

გაჭიმვისა და შეკუმშვის დეფორმაციისას სხეულის სიგრძის ცვლილებას წაგრძელება (წანაცვლება) ეწოდება. მას აღნიშნავენ x ასოთი. თუ სხეულის სიგრძე დეფორმაციამდე არის l_0, დეფორმაციის შემდეგ კი l, მაშინ $x = l - l_0 = \Delta l$.

სწავლობდა რა წვრილი, გრძელი ღეროების დეფორმაციას, ინგლისელმა ფიზიკოსმა რობერტ ჰუკმა (1635-1703) დაადგინა კანონი, რომელსაც შემდგომში ჰუკის კანონი ეწოდა:

გაჭიმვისა და შეკუმშვის მცირე დრეკადი დეფორმაციებისას დრეკადობის ძალა სხეულის წაგრძელების პირდაპირპროპორციულია:

$$F_{\text{დრ}x} = -kx.$$

ნიშანი „–“ მიუთითებს, რომ დრეკადობის ძალა მიმართულია წაგრძელების საწინააღმდეგო მიმართულებით. პროპორციულობის k კოეფიციენტს სხეულის სიხისტეს უწოდებენ. მისი ერთეული SI-ში არის ნ/მ.

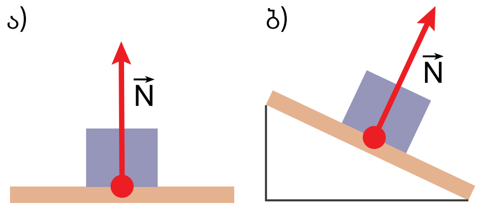
სიხისტე სხეულის მახასიათებელი ფიზიკური სიდიდეა. იგი დამოკიდებულია სხეულის შემადგენელი ნივთიერების დრეკად თვისებებზე და მის გეომეტრიულ ზომებზე. სხეულის სიხისტე შეიძლება ექსპერიმენტულად გამოვთვალოთ ჰუკის კანონის გამოყენებით:

$$k = \frac{F_{\text{დრ}}}{|x|}.$$

გაიხსენეთ მე-7 კლასის ლაბორატორიული სამუშაო.

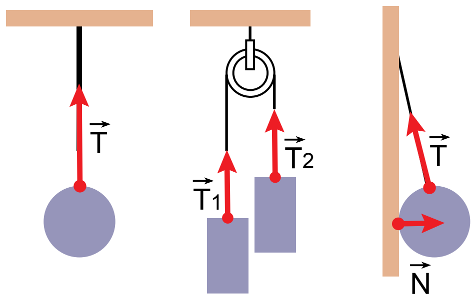
დრეკადობის ძალას, ჩვეულებრივ, აღნიშნავენ $\vec{F}_{\text{დრ}}$-ით, მაგრამ ზოგჯერ სხვა სიმბოლოებსაც იყენებენ. განვიხილოთ ორი შემთხვევა:

ა) როდესაც სხეულს საყრდენზე დავდებთ, საყრდენი დეფორმირდება – ჩაიზნიქება. დეფორმაციის გამო მასში აღიძვრება დრეკადობის ძალა, რომელსაც **საყრდენის რეაქციის ძალას** უწოდებენ და $\vec{N}$-ით აღნიშნავენ. ეს ძალა მიმართულია საყრდენი ზედაპირის მართობულად. სწორედ ამ ძალით მოქმედებს საყრდენი სხეულზე (სურ. 2.70 ა და ბ).



სურ. 2.70

ბ) თუ სხეულს დავკიდებთ საკიდელზე (თოკი, ღერო, რეზინის ზონარი), ის დეფორმირდება – გაიჭიმება. დეფორმაციის გამო საკიდელში აღიძვრება დრეკადობის ძალა, რომელიც მიმართულია მის გასწვრივ დეფორმაციის საწინააღმდეგო მიმართულებით. ამ ძალას **საკიდელის დაჭიმულობის ძალას** უწოდებენ და აღნიშნავენ $\vec{T}$-თი. სწორედ ამ ძალით მოქმედებს საკიდელი სხეულზე (სურ. 2.71).

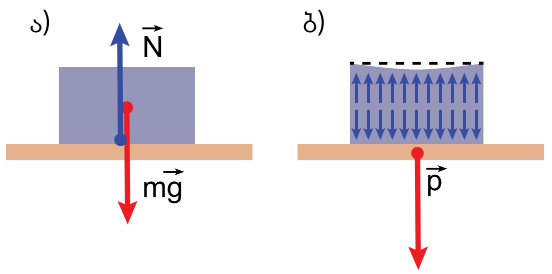


სურ. 2.71

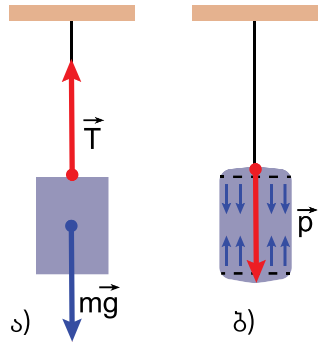
ახლა კი ვნახოთ, რა ემართება თვით სხეულს, როდესაც ის დევს ჰორიზონტალურ საყრდენზე ან კიდია ვერტიკალურ საკიდელზე.

სხეულზე მოქმედი სიმძიმის ძალა და საყრდენის რეაქციის ძალა (სურ. 2.72 ა) იწვევს სხეულის შეკუმშვას. სხეული ცდილობს დაუბრუნდეს არადეფორმირებულ მდგომარეობას და აწვება საყრდენს დრეკადობის ძალით (სურ. 2.72 ბ).

საკიდელის შემთხვევაში სხეულზე მოქმედი სიმძიმის ძალა და საკიდელის დაჭიმულობის ძალა (სურ. 2.73 ა) იწვევს სხეულის გაჭიმვას. სხეული ცდილობს დაუბრუნდეს არადეფორმირებულ მდგომარეობას და ჭიმავს საკიდელს დრეკადობის ძალით (სურ. 2.73 ბ).



სურ. 2. 72



სურ. 2. 73

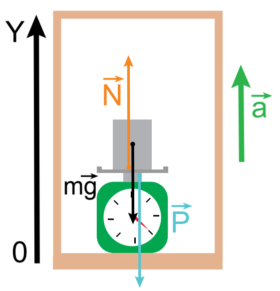
ძალას, რომლითაც სხეული აწვება ჰორიზონტალურ საყრდენს ან ჭიმავს ვერტიკალურ საკიდელს სიმძიმის ძალის გამო, წონა ეწოდება. სხეულის წონას აღნიშნავენ $\vec{P}$-თი.

ნიუტონის მესამე კანონის თანახმად, ჰორიზონტალური საყრდენისა და ვერტიკალური საკიდელის შემთხვევაში, შესაბამისად, $\vec{P}=-\vec{N}$ და $\vec{P}=-\vec{T}$. როცა სხეული უძრავია ან მოძრაობს წრფივად და თანაბრად, მაშინ მასზე მოქმედი საყრდენის რეაქციის ძალა (საკიდელის დაჭიმულობის ძალა) და სიმძიმის ძალა ერთმანეთს აწონასწორებს: $\vec{N}=-m\vec{g}$ ან $\vec{T}=-m\vec{g}$. მივიღებთ: $\vec{P}=m\vec{g}$. მართალია, ეს ორი ძალა ტოლია, მაგრამ **სიმძიმის ძალა მოდებულია სხეულზე, ხოლო წონა – საყრდენზე ან საკიდელზე.**

სხეულის წონა და სიმძიმის ძალა ბუნებითაც განსხვავდება: **სიმძიმის ძალა გრავიტაციული ძალაა, სხეულის წონა კი – დრეკადობის.**

უშუალოდ წონის გაზომვა შეიძლება ზამბარიანი სასწორით. თუ ზამბარიან სასწორზე დავკიდებთ $m = 2$ კგ მასის ტვირთს, სასწორი აჩვენებს $P = 19{,}6$ ნ-ს, ანუ $P = mg$, მაგრამ ყოველთვის ტოლია სიმძიმის ძალისა და სხეულის წონის მოდული?

წარმოსახვით გავაგრძელოთ ეს ცდა ლიფტში. თუ ლიფტი მოძრაობს თანაბრად, მაშინ სასწორის ჩვენება იქნება იგივე, რაც უძრავ ლიფტში.



სურ. 2. 74

ვთქვათ, ლიფტი მოძრაობს შვეულად ზევით მიმართული $\vec{a}$ აჩქარებით. იმავე აჩქარებით მოძრაობს სასწორი ტვირთით (სურ. 2.74). ტვირთზე მოქმედებს ორი ძალა: სიმძიმის $m\vec{g}$ ძალა და საყრდენის რეაქციის $\vec{N}$ ძალა. კოორდინატთა სისტემა დავუკავშიროთ დედამიწას და Y ღერძი მივმართოთ შვეულად ზევით. ნიუტონის მეორე კანონის თანახმად, $m\vec{g}+\vec{N}=m\vec{a}$. ამ ტოლობის Y ღერძზე დაგეგმილებით, გვექნება:

$$-mg+N=ma \Leftrightarrow N=m(g+a).$$

რადგან $P=N$, ამიტომ მივიღებთ:

$$P=m(g+a).$$

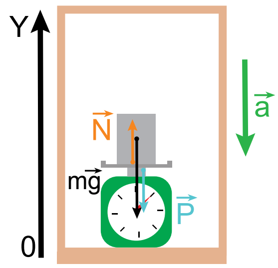
ამრიგად, **ვერტიკალურად ზევით მიმართული აჩქარებით მოძრავი სხეულის წონა მეტია იმავე სხეულის წონაზე გაწონასწორებულ მდგომარეობაში.** ამ შემთხვევაში მხოლოდ სხეული კი არ აწვება უფრო ძლიერად საყრდენს (ჭიმავს საკიდელს), არამედ სხეულის ნაწილებიც უფრო მეტად აწვება ერთმანეთს. სწორედ ამიტომ ვგრძნობთ, რომ ლიფტის ქვემოდან ზევით დაძვრისას მის იატაკს ჩვეულებრივზე მეტად ვაწვებით.

თუ ლიფტის აჩქარება მიმართული იქნება ქვევით (სურ. 2.75), მაშინ $m\vec{g}+\vec{N}=m\vec{a}$ ტოლობის დაგეგმილებით გვექნება, რომ $-mg+N=-ma$, საიდანაც მივიღებთ:

$$P=m(g-a).$$

ამრიგად, **ვერტიკალურად ქვევით მიმართული აჩქარებით მოძრავი სხეულის წონა ნაკლებია იმავე სხეულის წონაზე გაწონასწორებულ მდგომარეობაში.**

იმ შემთხვევაში, თუ საყრდენი (საკიდელი) ქვემოთ $\vec{g}$ აჩქარებით იმოძრავებს ($a = g$), სხეულის წონა ნულის ტოლი გახდება.



სურ. 2. 75

სხეულის მდგომარეობას, რომლის დროსაც მისი წონა ნულის ტოლია, უწონობის მდგომარეობა ეწოდება. ამ მდგომარეობაში სხეულზე მხოლოდ სიმძიმის ძალა მოქმედებს და, პირიქით: **თუ სხეული მოძრაობს მხოლოდ სიმძიმის ძალის მოქმედებით ის უწონობის მდგომარეობაშია.**

უწონობის მდგომარეობაში სხეული არ აწვება საყრდენს და სხეულის ნაწილებიც არ აწვება ერთმანეთს. ორბიტაზე მბრუნავ კოსმოსურ სადგურში მყოფი ადამიანი ვერ გრძნობს თავის წონას, ხელიდან გაშვებული საგანი არ ვარდება. ამის მიზეზი ისაა, რომ სიმძიმის ძალა ყველა სხეულს ერთნაირ აჩქარებას ანიჭებს.

ახლა უკვე შეგიძლიათ გიორგისაც აუხსნათ, რატომ „დამძიმდა“ ის აფრენისას და რატომ იგრძნო თავი მსუბუქად თვითმფრინავის დაშვებისას.

განვიხილოთ კიდევ ერთი მაგალითი. ვთქვათ, კოსმოსური ხომალდი შორსაა ყველა პლანეტისა და მზისაგან. ანუ მათი გრავიტაციული ზემოქმედება ხომალდზე ძალიან მცირეა. ხომალდის ძრავები მას $\vec{a}$ აჩქარებას ანიჭებს. ვინაიდან სიმძიმის ძალა ნულის ტოლია, კოსმონავტი საყრდენს დააწვება მოდულით ma-ს ტოლი ძალით $\vec{a}$ აჩქარების საპირისპირო მიმართულებით.

აჩქარებული მოძრაობით გამოწვეულ სხეულის წონის გაზრდას გადატვირთვა ეწოდება და აღნიშნავენ Q-თი. იგი გვიჩვენებს სხეულის წონის შეფარდების სიმძიმის ძალასთან:

$$Q = \frac{P}{mg}$$

კოსმოსური ხომალდის სტარტისას (სურ. 2.76 ა) კოსმონავტის გადატვირთვა 5-დან 7-მდეა. დაახლოებით ასეთივე გადატვირთვას განიცდის მფრინავი, „მკვდარი მარყუჟის“ შესრულებისას (სურ. 2.76 ბ). ალბათ, ბევრ თქვენგანს განუცდია გადატვირთვა ატრაქციონზე „ამერიკული მთები“ (სურ. 2.76 გ). მის ყველაზე დაბალ A წერტილში თქვენ დამძიმებას გრძნობთ, ხოლო ყველაზე მაღალ B წერტილში კი – შემსუბუქებას. დიდ გადატვირთვებს ყველა ადამიანის ორგანიზმი ვერ უძლებს, ამიტომ კოსმონავტები და მფრინავები სპეციალურ მომზადებას გადიან, მაგალითად, ცენტრიფუგაზე, წყალქვეშ, თვითმფრინავებში და ა.შ.

სურ. 2.76

დასკვნები:

- ძალას, რომელიც აღიძვრება სხეულის დეფორმაციისას და მიმართულია სხეულის შემადგენელი ნაწილაკების წანაცვლების საწინააღმდეგოდ, დრეკადობის ძალა ეწოდება;
- დრეკადობის ძალა სხეულის ნაწილაკებს შორის აღძრული ძალის გამოვლენაა;
- გაჭიმვისა და შეკუმშვის დრეკადი დეფორმაციებისას დრეკადობის ძალა სხეულის წაგრძელების პირდაპირპროპორციულია: $F_{დრx} = -kx$;
- ძალას, რომლითაც სხეული აწვება ჰორიზონტალურ საყრდენს ან ჭიმავს ვერტიკალურ საკიდელს სიმძიმის ძალის გამო, წონა ეწოდება;
- სიმძიმის ძალა მოდებულია სხეულზე, ხოლო წონა – საყრდენზე ან საკიდელზე;
- სიმძიმის ძალა გრავიტაციული ძალაა, სხეულის წონა კი – დრეკადობის;
- ვერტიკალურად ზევით მიმართული აჩქარებით მოძრავი სხეულის წონა მეტია იმავე სხეულის წონაზე გაწონასწორებულ მდგომარეობაში: $P = m(g + a)$;
- ვერტიკალურად ქვევით მიმართული აჩქარებით მოძრავი სხეულის წონა (როცა $a < g$), ნაკლებია იმავე სხეულის წონაზე წონასწორულ მდგომარეობაში: $P = m(g - a)$;
- თუ საყრდენი (საკიდელი) ქვევით $\vec{g}$ აჩქარებით მოძრაობს ($a = g$), სხეულის წონა ნულის ტოლია;
- აჩქარებული მოძრაობით გამოწვეულ სხეულის წონის გაზრდას გადატვირთვა ეწოდება: $Q = \frac{P}{mg}$.

საკონტროლო კითხვები:

1. ყოველთვის შესამჩნევია თუ არა დეფორმაცია? მოიყვანეთ მაგალითები.
2. როგორ გესმით წინადადება: „დრეკადობის ძალა ეწინააღმდეგება დეფორმაციას“?
3. გაჭიმვისა და კუმშვის დეფორმაციების გარდა, კიდევ რა სახის დეფორმაციები არსებობს?
4. რას ნიშნავს: ზამბარის სიხისტეა 50 ნ/სმ?
5. რა განსხვავებებია სიმძიმის ძალასა და წონას შორის?
6. რა შემთხვევაშია სხეულის წონა მოდულით სიმძიმის ძალაზე მეტი?
7. რას ნიშნავს უწონობა და რა შემთხვევაშია სხეული უწონობის მდგომარეობაში?
8. უწონობას ხშირად უჰაერო სივრცეში ყოფნასთან აიგივებენ. თქვენ რას ფიქრობთ?
9. როგორ უნდა მოძრაობდეს სხეული, რომ მისი წონა ორჯერ შემცირდეს?
10. როგორ უნდა მოძრაობდეს სხეული, რომ მისი წონა ხუთჯერ გაიზარდოს?

ერთად ამოვხსნათ ამოცანა

ლიფტის დაძვრისას ადამიანს 1,5-ჯერ მეტი წონა აქვს, ვიდრე – გაჩერებისას. მიიჩნიეთ, რომ ლიფტის აჩქარების მოდული დაძვრისას და გაჩერებისას ერთნაირია და გამოთვალეთ ეს აჩქარება. რა მიმართულებით ამოძრავდა ლიფტი?

ამოხსნა: თავდაპირველად გავარკვიოთ, რა მიმართულებით ამოძრავდა ლიფტი. უძრავ ლიფტში m მასის ადამიანის წონის მოდული mg-ს ტოლია. თუ ლიფტი ზემოდან ქვევით დაიძვრებოდა, მაშინ მისი წონის მოდული შემცირდებოდა და გახდებოდა mg-ზე ნაკლები. დამუხრუჭებისას კი – პირიქით, წონის მოდული გახდებოდა mg-ზე მეტი. ამოცანის პირობის თანახმად, ლიფტის დაძვრისას წონა უფრო მეტია, ვიდრე დამუხრუჭებისას, საიდანაც ვასკვნით, რომ ლიფტი ამოძრავდა ქვევიდან ზევით. ე.ი. ლიფტის დაძვრისას აჩქარება ვერტიკალურად ზევითაა მიმართული.

ლიფტის დაძვრისას ადამიანის წონა იქნება $P_1 = m(g + a)$, რომელშიც a ლიფტის აჩქარებაა. ლიფტის დამუხრუჭებისას მისი აჩქარება ვერტიკალურად ქვევით იქნება მიმართული, ამიტომ დამუხრუჭებისას $P_2 = m(g - a)$. ამოცანის პირობის თანახმად: $P_1 = 1{,}5P_2 \Rightarrow m(g + a) = 1{,}5m(g - a)$. ამ გამოსახულების ორივე მხარე გავყოთ m-ზე და გავხსნათ ფრჩხილები, მივიღებთ: $g + a = 1{,}5g - 1{,}5a \Leftrightarrow 2{,}5a = 0{,}5g \Rightarrow a = \frac{g}{5} \approx 2$ მ/წმ².
პასუხი: ლიფტი ამოძრავდა ქვევიდან ზევით 2 მ/წმ² აჩქარებით.

ამოხსენით ამოცანები:

1. რისი ტოლია იატაკზე მდგარი 20 კგ მაგიდის წონა?
2. ერთ ფეხზე მდგომმა ყანჩამ მიწაზე მეორე ფეხიც დადგა. შეადარეთ ერთმანეთს მისი წონა მეორე ფეხის დადგმამდე და დადგმის შემდეგ (სურ 2.77).
3. ფერდობიდან ციგით დაშვებისას თეკლა გორაკს გადაევლო და მცირე დროით ჰაერში აღმოჩნდა. რისი ტოლია მისი წონა ჰაერში ყოფნისას (სურ. 2.78)?

სურ. 2. 77

სურ. 2. 78

4. 500 ნ/მ სიხისტის ზამბარაზე უძრავად კიდია 10 კგ მასის წყლით სავსე სათლი. განსაზღვრეთ ზამბარის დეფორმაციის სიგრძე და წყლიანი სათლის წონა.
5. ლიფტი დაიძრა ვერტიკალურად ქვევით 2 მ/წმ² აჩქარებით. რამდენით შემცირდა ლიფტში მყოფი 50 კგ მასის მგზავრის წონა? მიიჩნიეთ, რომ $g = 10$ მ/წმ².

6. კოსმოსური ხომალდი ვერტიკალურად აფრინდა $a = 2g$ აჩქარებით. სტარტიდან მცირე დროის შემდეგ აჩქარების მოდული 1,5-ჯერ შემცირდა. რამდენჯერ შემცირდა კოსმონავტის წონა აჩქარების ამ ცვლილებისას? g თავისუფალი ვარდნის აჩქარებაა.

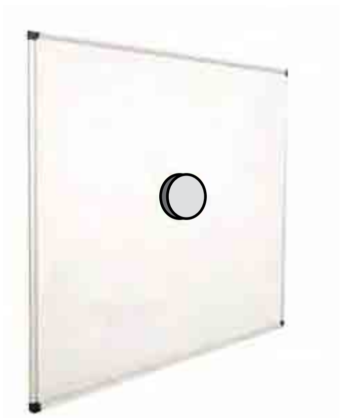
7. 10 კგ მასის სხეულს ამოძრავებენ ვერტიკალურად ზევით 2 მ/წმ^2 აჩქარებით მასზე გამობმული 1000 ნ/მ სიხისტის ზამბარით. რისი ტოლია ზამბარის დეფორმაცია და სხეულის წონა? მიიჩნიეთ, რომ $g = 10$ მ/წმ^2.

8. 500 გ მასის მაგნიტი ვერტიკალურ ლითონის დაფას 20 ნ ძალით ეკვრის. რისი ტოლი გახდება ეს ძალა, თუ დაფას ვერტიკალურ მდგომარეობაში დავტოვებთ და ავამოძრავებთ ჰორიზონტალური მიმართულებით 10 მ/წმ^2 აჩქარებით (სურ. 2.79)? განიხილეთ დაფის ამოძრავების ორი შემთხვევა: დაფიდან მაგნიტის მიმართულებით და მაგნიტიდან დაფის მიმართულებით.

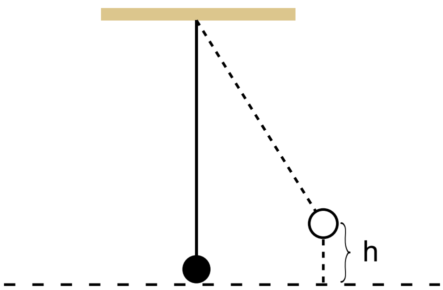
9. მიიჩნიეთ, რომ დედამიწა ერთგვაროვანი ბირთვია და განსაზღვრეთ, რამდენჯერ განსხვავდება სხეულის წონა პოლუსზე ეკვატორზე წონასთან შედარებით. დედამიწის რადიუსი 6400 კმ-ია, ბრუნვის პერიოდი – 24 სთ, ხოლო თავისუფალი ვარდნის აჩქარება პოლუსზე – 9,83 მ/წმ^2.

10. 2 მ სიგრძის თოკზე დაკიდებული 10 კგ მასის სხეული გადახარეს ისე, რომ სხეულმა საწყისი დონიდან $h = 20$ სმ-ით აიწია. რა წონას (დატვირთვას) უნდა უძლებდეს თოკი, რომ სხეულის საწყის მდებარეობაში დაბრუნებისას არ გაწყდეს (სურ. 2.80)? მიიჩნიეთ, რომ $g = 10$ მ/წმ^2.

მინიშნება: გამოიყენეთ მექანიკური ენერგიის მუდმივობის კანონიც.



სურ. 2. 79



სურ. 2. 80

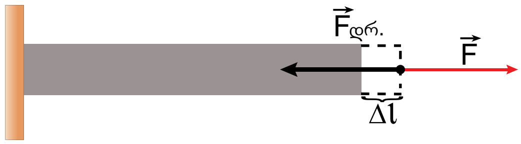
§ 2.13 მყარი სხეულების დეფორმაცია. დეფორმაციის სახეები

წინა პარაგრაფში ჩვენ გავიხსენეთ, რომ დეფორმაცია ორგვარია – პლასტიკური და დრეკადი.

სხეულის ფორმის ცვლილების მიხედვით კი დეფორმაცია იყოფა გაჭიმვის (კუმშვის), ღუნვის, გრეხის და ძვრის დეფორმაციებად.

განვიხილოთ ისინი ცალ-ცალკე.

გაჭიმვის (კუმშვის) დეფორმაცია. ვთქვათ, გვაქვს ერთგვაროვანი დრეკადი ღერო, რომლის ერთი ბოლო დამაგრებულია კედელზე. ღეროს მეორე ბოლოზე მოვდოთ მის გასწვრივ მიმართული $\vec{F}$ ძალა (სურ. 2.81), რომლის მოქმედებითაც ის გაიჭიმება. ღეროს ატომებს შორის მანძილი გაიზრდება, რაც გამოიწვევს მათ შორის მიზიდულობის ძალების ზრდას, შესაბამისად, ღეროში აღიძვრება დრეკადობის ძალა, რომელიც $\vec{F}$ ძალის საპირისპიროდ იქნება მიმართული. ნიუტონის მესამე კანონის თანახმად, ეს ძალები მოდულით ტოლი იქნება: $F_{დრ} = F$. აღვნიშნოთ ღეროს განივკვეთის ფართობი S-ით, საწყისი სიგრძე l-ით. ძალის მოქმედებით წარმოქმნილი წაგრძელება კი Δl-ით. მას აბსოლუტურ წაგრძელებას უწოდებენ. ღეროს დეფორმაციისას სარგებლობენ სხვა ფიზიკური სიდიდითაც, რომელსაც ფარდობითი წაგრძელება ეწოდება და აღნიშნავენ ε-ით.



სურ. 2.81

ფარდობითი წაგრძელება ეწოდება სიდიდეს, რომელიც ტოლია სხეულის აბსოლუტური წაგრძელების ფარდობისა მის საწყის სიგრძესთან:

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l}.$$

ადვილი მისახვედრია, რომ თუ $\varepsilon > 0$, მაშინ სხეული იჭიმება ($\Delta l > 0$), ხოლო, როცა $\varepsilon < 0$, სხეული იკუმშება ($\Delta l < 0$). ფარდობით წაგრძელებას განზომილება არა აქვს.

რით არის საინტერესო ფარდობითი წაგრძელება? თუ ავიღებთ რეზინის ზონარს და მასზე გარკვეულ ტვირთს ჩამოვკიდებთ, ის წაგრძელდება. იმავე რეზინისგან დამზადებულ 2-ჯერ მეტი სიგრძის ზონარზე იმავე ტვირთის დაკიდებისას, წაგრძელება 2-ჯერ გაიზრდება, სამჯერ მეტი სიგრძის ზონრის შემთხვევაში კი წაგრძელება სამჯერ გაიზრდება და ა.შ. შესაბამისად, აბსოლუტური წაგრძელების ფარდობა საწყის სიგრძესთან, ანუ ფარდობითი წაგრძელება, დარჩება მუდმივი:

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l} = \frac{2\Delta l}{2l} = \frac{3\Delta l}{3l} = \ldots$$

რა ხდება სხეულში მისი გაჭიმვისას? განვიხილოთ ის მოდელის საშუალებით: მივიჩნიოთ, რომ სხეულის შემადგენელი ატომები პარალელურ სიბრტყეებზე არის განლაგებული ფენებად. სხეულის გაჭიმვისას ისინი ერთმანეთის მიმართ გადაადგილდებიან სიბრტყის მართობული მიმართულებით, ამასთან, ყოველთვის ერთმანეთის პარალელურნი რჩებიან (სურ. 2.82 ა).

სურ. 2.82

დეფორმირებული სხეულის ნებისმიერ კვეთაში მოქმედებს დრეკადობის ძალა, რომელიც ეწინააღმდეგება მის ნაწილებად დაყოფას. სხეულის ამ მდგომარეობას ახასიათებენ ფიზიკური სიდიდით, რომელსაც მექნიკურ ძაბვას უწოდებენ და აღნიშნავენ σ (სიგმა) ასოთი.

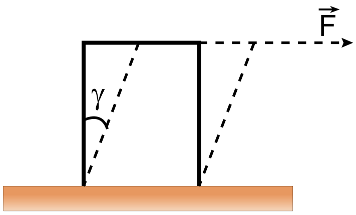
მექანიკური ძაბვა ეწოდება ფიზიკურ სიდიდეს, რომელიც ტოლია დრეკადობის ძალის ფარდობისა იმ განივკვეთის ფართობთან, რომელზეც ის განაწილებულია.

$$\sigma = \frac{F_{დრ}}{S}.$$

განმარტებიდან ჩანს, რომ SI-ში მექანიკური ძაბვა იზომება ნ/მ^2-ში, ანუ პასკალებში (პა). ე.ი მექანიკურ ძაბვას და წნევას ერთნაირი განზომილება აქვს. როდესაც ჩვენ ღეროს ვკუმშავთ, მაშინ ღეროზე განხორციელებული წნევა მასში აღძრული მექანიკური ძაბვის ტოლია.

გაჭიმვის დეფორმაციაზე ჩატარებული მსჯელობის ანალოგიურად შეგვიძლია აღვწეროთ კუმშვის დეფორმაციაც.

ძვრის დეფორმაცია. ავიღოთ დრეკადი ნივთიერებისგან დამზადებული მართკუთხა პარალელეპიპედის ფორმის სხეული. ერთი წახნაგით დავამაგროთ ჰორიზონტალურ ზედაპირზე. ზედა წიბოს შუა წერტილში მოვდოთ საყრდენი ზედაპირის პარალელური $\vec{F}$ ძალა. სხეული დეფორმირდება (სურ. 2.83) ასეთ დეფორმაციას ძვრის დეფორმაცია ეწოდება. ძვრის დეფორმაციის დროსაც ატომების განლაგების სიბრტყეები ერთმანეთის მიმართ გადაადგილდებიან, ოღონდ ამ სიბრტყეების გასწვრივ (სურ, 2.82 ბ). ძვრის დეფორმაციას რაოდენობრივად ახასიათებენ γ კუთხით, რომელსაც ძვრის კუთხე ეწოდება.

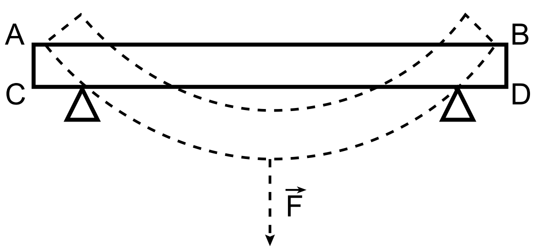


სურ. 2. 83

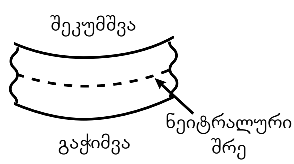
გაჭიმვა, შეკუმშვა და ძვრა დეფორმაციის ძირითადი ფორმებია. ყველა სხვა დეფორმაცია შეიძლება წარმოვადგინოთ, როგორც ამ დეფორმაციათა გარკვეული ჯამი.

ღუნვის დეფორმაცია. დრეკადი ღერო დავდოთ ორ საყრდენზე. ღეროს შუა წერტილზე მოვდოთ ქვევით მიმართული $\vec{F}$ ძალა (სურ. 2.84). ამ ძალის მოქმედებით ღერო დეფორმირდება. ეს ღუნვის დეფორმაციაა (სურ. 2.82 გ). ღუნვის დეფორმაცია შეიძლება წარმოვადგინოთ როგორც ორი სახის დეფორმაციის ჯამი: ღეროს ზედა AB ზედაპირის შემადგენელი ნაწილაკები ერთმანეთს მიუახლოვდებიან – მოხდება შეკუმშვა, ხოლო ღეროს ქვედა CD ნაწილის შემადგენელი ნაწილაკები ერთმანეთს დაშორდებიან – მოხდება გაჭიმვა. ე. ი. ღუნვის დეფორმაციისას სხეულის ნაწილი იკუმშება, ნაწილი – იჭიმება.

წარმოსახვით გავადიდოთ ღეროს რაიმე პატარა ნაწილი (სურ. 2.85). შეკუმშული ზე-



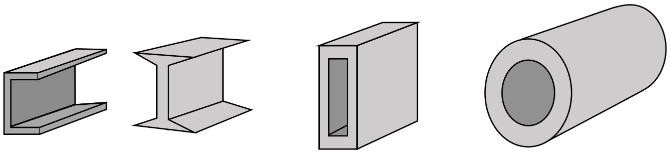
სურ. 2. 84



2.85

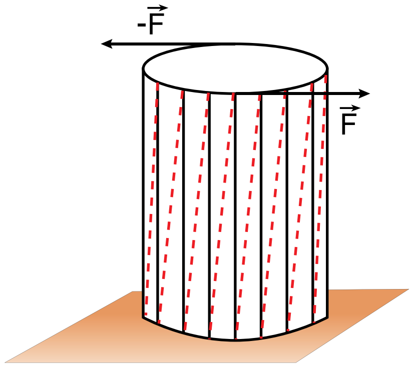
დაპირიდან გაჭიმულის მიმართულებით კუმშვის დეფორმაციის სიდიდე მცირდება, ღეროს შუა ნაწილში იქნება ნეიტრალური – არადეფორმირებული შრე, შემდეგ კი ზრდას დაიწყებს გაჭიმვის დეფორმაცია. რადგან ნეიტრალური შრე არადეფორმირებულია, მასში მექანიკური ძაბვა არ აღიძვრება, ამიტომ ამ ფენის მოშორებით სხეულის დრეკადი

თვისებები და სიმტკიცე ღუნვის მიმართ თითქმის არ შეიცვლება. სამაგიეროდ, შემცირდება სხეულის მასა. ამის გამო მშენებლობაში ხშირად მთლიანი ლითონის კონსტრუქციების ნაცვლად სხვადასხვა პროფილის არამთლიან ლითონის ნაკეთობებს იყენებენ (სურ. 2.86). წარმოიდგინეთ, რაოდენ დიდი იქნებოდა ველოსიპედის მასა, თუ ის დამზადებული იქნებოდა არა მილებისაგან, არამედ ლითონის მთლიანი ღეროებისგან.



სურ. 2. 86

გრეხის დეფორმაცია. დრეკადი მასალისგან დამზადებული ცილინდრული ფორმის სხეული ერთი ფუძეთი დავამაგროთ ჰორიზონტალურ ზედაპირზე, მეორე ფუძეზე კი მოვდოთ ძალთა წყვილი (სურ. 2.87). ცილინდრის გვერდითა ზედაპირზე დახაზული შვეული ხაზები დეფორმაციის შემდეგ გადაიხრებიან. ეს გრეხითი დეფორმაციაა. ამ დეფორმაციისას ატომების სიბრტყეები ერთმანეთის მიმართ გადაადგილდებიან სიბრტყეების გასწვრივ (სურ. 2.82 დ), ამიტომ ის ძვრის დეფორმაციას წარმოადგენს. გრეხის დროს სხეულის სხვადასხვა ნაწილის ძვრის კუთხე ერთმანეთისგან განსხვავებულია.



სურ. 2.87

პრაქტიკაში შეიძლება შეგვხვდეს სხვაგვარი დეფორმაციებიც, მაგრამ ისინი განხილულ დეფორმაციამდე დაიყვანება.

დასკვნები:

- სხეულის ფორმის ცვლილების მიხედვით დეფორმაცია იყოფა გაჭიმვის (კუმშვის), ღუნვის, გრეხისა და ძვრის დეფორმაციებად;
- გაჭიმვის (კუმშვის) დეფორმაციას ახასიათებენ აბსოლუტური წაგრძელებით – Δl, და ფარდობითი წაგრძელებით – $\varepsilon = \frac{\Delta l}{l}$;
- სხეულის მექანიკური ძაბვა ეწოდება ფიზიკურ სიდიდეს, რომელიც ტოლია დრეკადობის ძალის ფარდობისა იმ განიკვეთის ფართობთან, რომელზეც ისაა განაწილებული: $\sigma = \frac{F_{დრ}}{S}$. მექანიკური ძაბვა იზომება პასკალებში;
- ღუნვა გაჭიმვისა და კუმშვის დეფორმაციათა ერთობლიობაა;
- გრეხა ძვრის დეფორმაციაა.

საკონტროლო კითხვები:

1. რატომ არ აქვს ფარდობით წაგრძელებას განზომილება?
2. როგორ გადაადგილდებიან ერთმანეთის მიმართ პარალელურ სიბრტყეებზე განლაგებული ატომთა ფენები, სხეულის გაჭიმვისას?
3. რატომაა ღუნვის დეფორმაცია გაჭიმვისა და კუმშვის დეფორმაციათა ერთობლიობა?
4. რატომ არ იცვლება სხეულის სიმტკიცე ღუნვაზე მისი შუა ფენის მოცილებით?
5. როგორ გადაადგილდებიან ერთმანეთის მიმართ პარალელურ სიბრტყეებზე განლაგებული ატომთა ფენები ძვრის დეფორმაციისას?

ერთად ამოვხსნათ ამოცანა

ავტომობილის ბუქსირებისას (სურ. 2.88) მასზე მობმული 20 სმ^2 განივკვეთისა და 4 მ სიგრძის გვარლი 2 სმ-ით წაგრძელდა. განსაზღვრეთ გვარლის ფარდობითი წაგრძელება და მასში აღძრული მექანიკური ძაბვა, თუ გვარლის სიხისტე 10 კნ/მ-ია.

სურ. 2. 88

ამოხსნა:

მოც:
$S=20$ სმ^2$=20\cdot 10^{-4}$ მ^2;
$l=4$ მ;
($\Delta l=2$ სმ$=0{,}02$ მ;
$k=10$ კნ/მ $= 10000$ ნ/მ
უ.გ. σ, ε.

თავდაპირველად გამოვთვალოთ გვარლში აღძრული დრეკადობის ძალის მოდული: $F_{დრ} = k\cdot\Delta l = 10000\cdot 0{,}02 = 200$ (ნ). გვარლში აღძრული მექანიკური ძაბვა $\sigma = \frac{F_{დრ}}{S} = \frac{200}{20\cdot 10^{-4}} = 100$ (კნ/მ^2).

ფარდობითი წაგრძელება კი იქნება $\varepsilon = \frac{\Delta l}{l} = \frac{0.02}{4} = 5\cdot 10^{-3}$.

პასუხი: გვარლის ფარდობითი წაგრძელებაა 0,005; მასში აღძრული მექანიკური ძაბვაა 100 კნ/მ^2.

ამოხსენით ამოცანები:

1. 500 ნ/მ სიხისტის რეზინის ზონარზე უძრავად კიდია 10 კგ მასის წყლით სავსე სათლი. რისი ტოლია ზონრის აბსოლუტური წაგრძელება? მიიჩნიეთ, რომ $g = 10$ მ/წმ^2.
2. 2 მ სიგრძისა და 400 ნ/მ სიხისტის რეზინის ზონარზე უძრავადაა ჩამოკიდებული 10 კგ მასის სხეული. რისი ტოლია ზონრის ფარდობითი წაგრძელება? მიიჩნიეთ, რომ ზონრის დეფორმაცია დრეკადია და $g = 10$ მ/წმ^2.
3. რეზინის ზონარზე უძრავადაა დაკიდებული სხეული. ის ჩამოხსნეს და ზონარზე ორჯერ მეტი მასის ტვირთი დაკიდეს. შედეგად ზონარი გაიჭიმა და ტვირთი გაჩერ-

და. შეადარეთ ერთმანეთს ზონრის ფარდობითი წაგრძელებები პირველ და მეორე შემთხვევაში. მიიჩნიეთ, რომ ზონრის დეფორმაცია დრეკადია.

4. 10 სმ^2 განივკვეთის ფართობის მქონე ერთგვაროვან ღეროზე დაკიდებულია 50 კგ მასის ბირთვი. რისი ტოლია ღეროში აღძრული მექანიკური ძაბვა? ღეროს მასას ნუ გაითვალისწინებთ. მიიჩნიეთ, რომ $g = 10$ მ/წმ^2.

5. 1000 აგურისაგან აშენებულია 5 მ სიგრძისა და 10 სმ სისქის კედელი. რისი ტოლია კედლის ქვედა ფენაში აღძრული მექანიკური ძაბვა, თუ კედლის თითოეული ფენა 25 ცალი 5 კგ-იანი აგურისგან შედგება? აგურების დამაკავშირებელი ხსნარის მასას ნუ გაითვალისწინებთ. მიიჩნიეთ, რომ $g = 10$ მ/წმ^2.

6. როგორი სახის დეფორმაციას განიცდის სკამის ფეხები და დასაჯდომი ფიცარი, როცა მასზე გოგონა ზის (სურ. 2.89)?

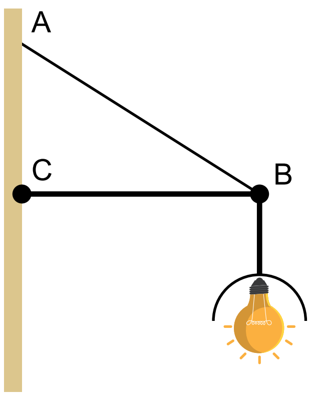
7. როგორი სახის დეფორმაციას განიცდის საქანელას თოკები და დასაჯდომი ფიცარი, როდესაც მასზე ბიჭი ქანაობს (სურ. 2.90)?

სურ. 2. 89

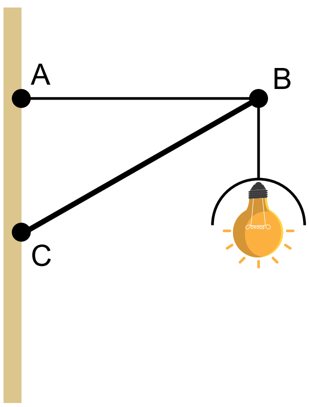
სურ. 2.90

8. როგორი სახის დეფორმაციას განიცდის სანათის საკიდის AB ღერო (სურ 2.91)? BC ღერო? რა მიმართულებით მოქმედებს B წერტილზე AB ღეროში აღძრული დრეკადობის ძალა? BC ღეროში აღძრული დრეკადობის ძალა?

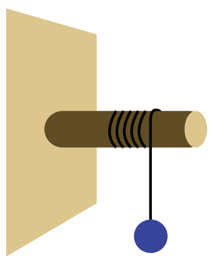
9. სურ. 2.92 მოცემულია კრონშტეინი, რომელზეც ფანარია დაკიდებული. რა მიმართულებით მოქმედებს B წერტილზე AB გვარლში აღძრული დრეკადობის ძალა? BC ღეროში აღძრული დრეკადობის ძალა?



სურ. 2. 91



სურ. 2. 92



სურ. 2. 93

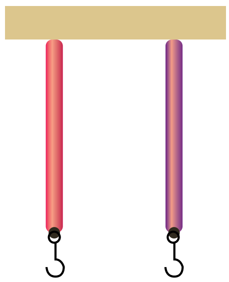
10. სურ. 2.93 გამოსახულია კედელში ჩამაგრებული წრიული განივკვეთის ღერო. მასზე შემოხვეულ თოკზე დაკიდებულია მძიმე ტვირთი. როგორი სახის დეფორმაციას განიცდის ღერო? თოკი?

საშინაო ცდა:

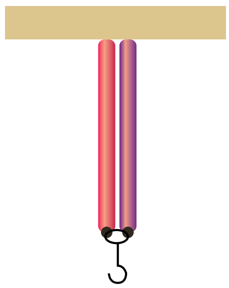
ცდის მიზანი: პარალელურად ჩამოკიდებული რეზინის ზონრების დეფორმაციაზე დაკვირვება.

ცდისთვის საჭიროა: დაახლოებით 20 სმ სიგრძის ორი ერთნაირი რეზინის ზონარი, მავთული, გარკვეული მასის ტვირთი.

ცდის აღწერა: რეზინის ორი ზონრიდან თითოეულის ერთ ბოლოს მიამაგრეთ მავთულისაგან გაკეთებული კაუჭი. ზონრები ერთმანეთის გვერდით ერთ სიმაღლეზე ისე ჩამოკიდეთ, რომ კაუჭებიც ერთ სიმაღლეზე აღმოჩნდეს (სურ 2.94). კაუჭებზე რიგრიგობით ჩამოკიდეთ ერთი და იგივე ტვირთი. გაზომეთ და ჩაინიშნეთ თითოეული ზონრის წაგრძელება.



სურ. 2.94



სურ. 2.95

შემდეგ ზონრები ჩამოკიდეთ ერთ წერტილში. მათი ბოლოები მიამაგრეთ მავთულისაგან გაკეთებულ ერთსა და იმავე კაუჭს (სურ 2.95). ჩამოკიდეთ იგივე ტვირთი კაუჭზე და გაზომეთ ზონრების წაგრძელება. შეადარეთ მიღებული წაგრძელებები და ახსენით მათი ასეთი განსხვავების მიზეზი.

§ 2.14 იუნგის მოდული. ლაბორატორიული სამუშაო

სამუშაოს მიზანი: სხეულის სიხისტის განმსაზღვრელი ფიზიკური სიდიდეების დადგენა.

საჭირო ხელსაწყოები და მასალები: დაახლოებით 50 სმ სიგრძის რეზინის ზონარი (შეიძლება ავიღოთ ორი ერთნაირი დრეკადი ღერო), შტატივი, საწონების ნაკრები, სახაზავი ან საზომი ლენტი.

სამუშაოს მსვლელობა:

- რეზინის ზონარი შუაზე გადაკეცეთ და გაზომეთ მიღებული ნახევრის სიგრძე l;
- ზონარი გადაკეცვის ადგილით შტატივის თათში ჩაამაგრეთ. ზონრის ერთ ბოლოზე ჩამოკიდეთ m მასის ტვირთი. მისი მასა ისე შეარჩიეთ, რომ ზონრის წაგრძელება იყოს მცირე (სურ. 2.96 ა);
- გაჭიმულ ზონარში აღძრული დრეკადობის ძალა მოდულით ტოლი იქნება ტვირთზე მოქმედი სიმძიმის ძალისა. გამოთვალეთ ეს ძალა: $F_{დრ} = F_{სიმ} = mg$;
- გაზომეთ ზონრის Δl წაგრძელება;
- ჰუკის კანონის გამოყენებით გაზომეთ ნახევარი ზონრის სიხისტე: $k = \dfrac{F_{დრ}}{\Delta l}$;
- ცდა რამდენჯერმე გაიმეორეთ და მონაცემები შეიტანეთ რვეულში ამ ნიმუშის მიხედვით შედგენილ ცხრილში:

ზონრის სიგრძე l (მ)	ტვირთის მასა m (კგ)	დრეკადობის ძალა $F_{დრ}$ (ნ)	ზონრის წაგრძელება Δl (მ)	სიხისტე k ნ/მ

- გაშალეთ ზონარი და ერთი ბოლოთი კვლავ ჩაამაგრეთ შტატივის თათში. ამით ზონრის სიგრძე გაორმაგდება და გახდება $2l$ (თუ ცდას დრეკადი ღეროთი ჩაატარებთ, ისინი მიმდევრობით გადააბით ერთმანეთს);
- გაშლილ ზონარზე დაკიდეთ იგივე მასის ტვირთი (სურ. 2.96 ბ). ამით ზონარში აღძრული დრეკადობის ძალის სიდიდე იგივე დარჩება. ცდა გაიმეორეთ და გამოთვალეთ მთლიანი ზონრის სიხისტე;
- შეადარეთ ერთმანეთს ნახევარი და მთლიანი ზონრის სიხისტეები და გამოიტანეთ დასკვნა.

თუ ცდას საკმარისად ზუსტად ჩაატარებთ, მიიღებთ, რომ ზონრის სიგრძის ორჯერ გადიდებით, მისი სიხისტე ორჯერ შემცირდება:

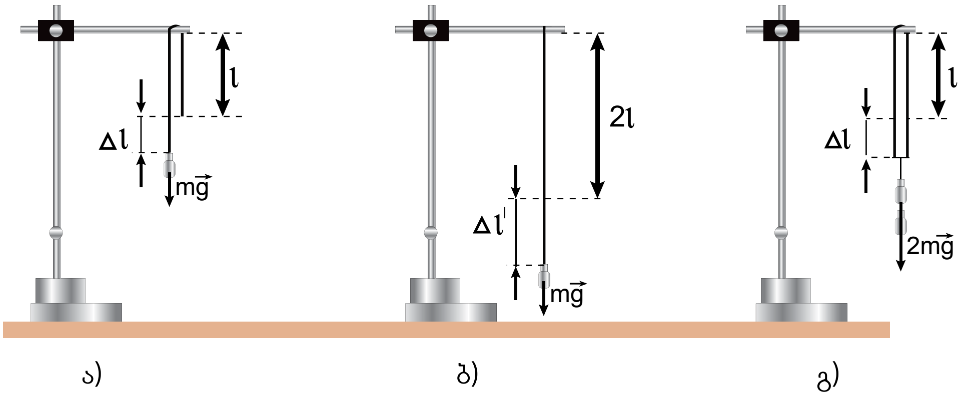
$$k' = \frac{k}{2},$$

ანუ, სხეულის სიხისტე მისი სიგრძის უკუპროპორციულია:

$$k \sim \frac{1}{l}.$$

გავაგრძელოთ ლაბორატორიული სამუშაო:

- ზონარი კვლავ გადაკეცეთ შუაში და გადაკეცვის ადგილით ჩაამაგრეთ შტატივის თათში;
- ორივე ნაწილზე ერთად ჩამოკიდეთ ისეთი მასის ტვირთი, რომ წაგრძელება ისეთივე იყოს, როგორიც პირველ ცდაში (სურ. 2.96 გ). ცდა გაიმეორეთ და გამოთვალეთ ორმაგი სისქის ზონრის სიხისტე;
- შეადარეთ ერთმანეთს ნახევარი და ორმაგი სისქის ზონრების სიხისტეები და გამოიტანეთ დასკვნა.



სურ. 2.96

თუ ცდას საკმარისად ზუსტად ჩაატარებთ, მიიღებთ, რომ ზონრის განივკვეთის ფართობის ორჯერ გაზრდით, სიხისტე ორჯერ გაიზრდება:

$$k'' = 2k,$$

ანუ, სხეულის სიხისტე მისი განივკვეთის ფართობის პირდაპირპროპორციულია:

$$k \sim S.$$

ორივე დასკვნის გაერთიანებით მივიღებთ:

სხეულის სიხისტე პირდაპირპროპორციულია მისი განივკვეთის ფართობისა და უკუპროპორციულია სიგრძისა: $k \sim \dfrac{S}{l}$.

თომას იუნგი

იმისათვის, რომ პროპორციულობიდან ტოლობაზე გადავიდეთ, შემოვიტანოთ პროპორციულობის კოეფიციენტი, რომელიც არ არის დამოკიდებული არც სიგრძეზე და არც განივკვეთის ფართობზე. ის დამოკიდებული იქნება მხოლოდ იმ ნივთიერების დრეკად თვისებებზე, რომლისგანაც სხეულია დამზადებული. პროპორციულობის კოეფიციენტს E ასოთი აღნიშნავენ და იუნგის მოდულს უწოდებენ, ინგლისელი ფიზიკოსის, თომას იუნგის პატივსაცემად. მაშასადამე,

$$k = E\frac{S}{l}. \qquad (1)$$

დავადგინოთ იუნგის მოდულის განზომილება. ამისათვის (1) ფორმულიდან გამოვსახოთ E:

$$E = \frac{kl}{S}.$$

აქედან გამომდინარეობს, რომ იუნგის მოდულის განზომილებაა:

$$[E] = \frac{[k][l]}{[S]} = \frac{\text{ნ} \cdot \text{მ}}{\text{მ} \cdot \text{მ}^2} = \frac{\text{ნ}}{\text{მ}^2} = \text{პა (პასკალი)}.$$

ახლა გავარკვიოთ იუნგის მოდულის ფიზიკური აზრი. წარმოვიდგინოთ, რომ გვაქვს რაიმე ნივთიერებისაგან დამზადებული 1 მ სიგრძისა და 1 მ^2 განივკვეთის ფართობის მქონე სხეული. ტოლობის (1) თანახმად, ამ ნივთიერების იუნგის მოდული რიცხობრივად სხეულის სიხისტის ტოლია. ასეთივე სიგრძე და განივკვეთის ფართობი აქვს 1 მ წიბოს მქონე კუბს, ამიტომ:

რაიმე ნივთიერების იუნგის მოდული რიცხობრივად ტოლია ამ ნივთიერებისგან დამზადებული 1 მ წიბოს მქონე კუბის სიხისტისა.

ჩავწეროთ ჰუკის კანონი იუნგის მოდულის გამოყენებით. ამისათვის ჰუკის კანონში $F_{\text{დრ}} = k \cdot \Delta l$ ჩავსვათ სიხისტის მნიშვნელობა (1) ტოლობიდან, გვექნება:

$$F_{დრ} = E\frac{S}{l}\Delta l. \qquad (2)$$

ამ ტოლობის ორივე მხარე გავყოთ სხეულის განივკვეთის S ფართობზე. მივიღებთ:

$$\frac{F_{დრ}}{S} = E\frac{\Delta l}{l}. \qquad (3)$$

წინა პარაგრაფიდან გავიხსენოთ, რომ $\varepsilon = \frac{\Delta l}{l}$ არის სხეულის ფარდობითი წაგრძელება, $\sigma = \frac{F_{დრ}}{S}$ კი – მექანიკური ძაბვა. ამიტომ,

$$\sigma = E\cdot\varepsilon. \qquad (4)$$

სხეულის მცირე დეფორმაციებისას მექანიკური ძაბვა ფარდობითი წაგრძელების პირდაპირპროპორციულია.

დასკვნები:

- სხეულის სიხისტე პირდაპირპროპორციულია მისი განივკვეთის ფართობისა და უკუპროპორციულია სიგრძისა: $k = E\frac{S}{l}$;
- რაიმე ნივთიერების იუნგის მოდული რიცხობრივად ტოლია ამ ნივთიერებისგან დამზადებული 1 მ წიბოს მქონე კუბის სიხისტისა;
- სხეულის მცირე დეფორმაციებისას, მექანიკური ძაბვა ფარდობითი წაგრძელების პირდაპირპროპორციულია: $\sigma = E\cdot\varepsilon$.

საკონტროლო კითხვები:

1. რამდენჯერ შეიცვლება ღეროს სიხისტე, თუ მას ნახევარს მოვაჭრით?
2. რამდენჯერ შეიცვლება ბაგირის სიხისტე, თუ მას ორჯერ გავამსხვილებთ?
3. როგორ შეეფარდება ერთმანეთს ერთი და იმავე მასალისაგან დამზადებული ერთნაირი სისქის ღეროების იუნგის მოდულები, თუ პირველი ღეროს სიგრძე ორჯერ აღემატება მეორის სიგრძეს?
4. რა ერთეულებში იზომება იუნგის მოდული?
5. რა სახე აქვს ჰუკის კანონს ნივთიერებისათვის?

ერთად ამოვხსნათ ამოცანა

განსაზღვრეთ k_1 და k_2 სიხისტისა და ერთნაირი სიგრძის რეზინის ზონრებისაგან შედგენილი სისტემის საერთო სიხისტე. განიხილეთ ორი შემთხვევა: ა) ზონრები მიმდევრობითაა გადაბმული; ბ) ზონრები პარალელურადაა დამაგრებული. მიიჩნიეთ, რომ პარალელურად ჩამოკიდებისას ზონრების წაგრძელებები ერთნაირია. ზონრების მასას ნუ გაითვალისწინებთ.

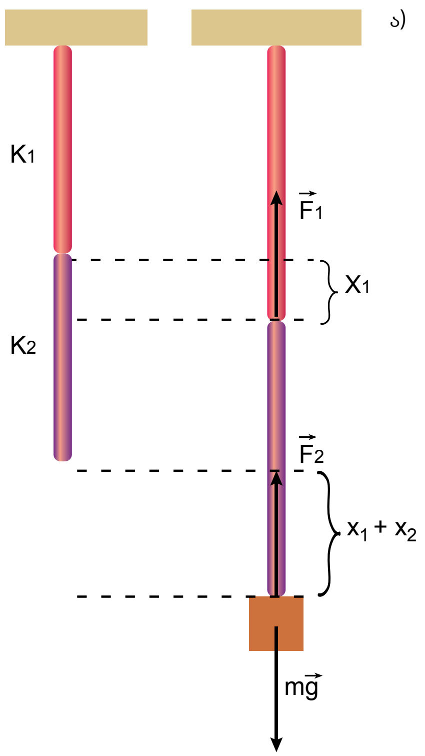
ამოხსნა:

ა) მიმდევრობით გადაბმულ ზონრებზე დავკიდოთ რაიმე m მასის ტვირთი (სურ. 2.97ა).

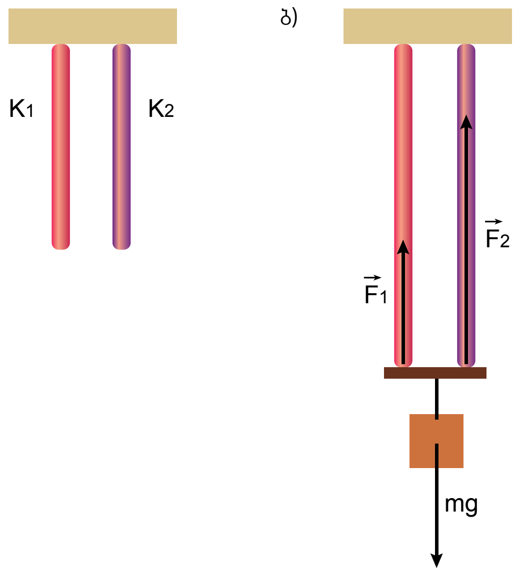
k_1 სიხისტის ზონრის წაგრძელება იყოს x_1. თუ მეორე ზონარსა და მასზე დაკიდებულ ტვირთს ერთ სხეულად ჩავთვლით, ადვილი მისახვედრია, რომ პირველ ზონარს ჭიმავს მოდულით mg-ს ტოლი ძალა. ამიტომ $k_1x_1 = mg \Rightarrow x_1 = \frac{mg}{k_1}$. მეორე ზონრისათვის პირველი წარმოადგენს საკიდელს, ამიტომ მეორე ზონარსაც ჭიმავს მო-

დულით mg-ს ტოლი ძალა. ე.ი. $k_2x_2 = mg \Rightarrow x_2 = \frac{mg}{k_2}$. თუ ამ ზონრებს ჩავანაცვლებთ k სიხისტის ერთი ზონრით, რომელიც იგივე m მასის ტვირთის ჩამოკიდების შემდეგ $x = x_1 + x_2$-ით წაგრძელდება, მივიღებთ: $kx = mg \Rightarrow x = \frac{mg}{k}$. ამ გამოსახულებაში x-ის ნაცვლად შევიტანოთ x_1-ის და x_2-ის გამოსახულებათა ჯამი. მივიღებთ: $\frac{mg}{k_1} + \frac{mg}{k_2} = \frac{mg}{k}$. განტოლების ორივე მხარის mg-ზე გაყოფით გვექნება: $\frac{1}{k} = \frac{1}{k_1} + \frac{1}{k_2}$. იმავე შედეგს მივიღებდით, თუ რეზინის ზონრები სხვადასხვა სიგრძის იქნებოდა. მიღებული ფორმულა შეიძლება გამოვიყენოთ მიმდევრობით გადაბმული ზამბარებისთვისაც. აღვნიშნოთ, რომ მიმდევრობით გადაბმული ზამბარების სისტემის საერთო სიხისტე თითოეული ზამბარის სიხისტეზე ნაკლებია.

ბ) ერთ საკიდზე პარალელურად ჩამოკიდებული ორივე ზონრის ბოლოებზე დავკიდოთ ტვირთი (2.97 ბ). ამ შემთხვევაში ორივე ზონარი ერთნაირად წაგრძელდება. აღვნიშნოთ ეს წაგრძელება x-ით. ზონრებში აღძრული დრეკადობის ძალების ჯამი მოდულით ტვირთზე მოქმედი სიმძიმის ძალის ტოლია: $k_1x + k_2x = mg \Leftrightarrow (k_1+k_2)x = mg$. შევცვალოთ ორივე ზონარი ერთი ისეთი k სიხისტის ზონრით, რომ მასზე იმავე m მასის ტვირთის დაკიდების შემდეგ წაგრძელება კვლავ x-ის ტოლი იყოს. მაშინ მივიღებთ: $kx = mg$. ე.ი. $(k_1+k_2)x = kx$, საიდანაც $k = k_1 + k_2$. ამრიგად, პარალელურად დამაგრებული ტოლი სიგრძის ზონრებისაგან შედგენილი სისტემის საერთო სიხისტე თითოეული ზონრის სიხისტის ჯამის ტოლია. ეს შედეგი შეიძლება გამოვიყენოთ პარალელურად განთავსებული ზამბარებისთვისაც. ასეა, მაგალითად, ზამბარებიანი სავარჯიშო ჰანტელის შემთხვევაში, სადაც ზამბარების რაოდენობის ცვლით შეიძლება ვცვალოთ ჰანტელის ჯამური სიხისტე.



სურ. 2.97 ა



სურ. 2. 97 ბ

პასუხი: ზონრების (ზამბარების) მიმდევრობით გადაბმისას $\frac{1}{k} = \frac{1}{k_1} + \frac{1}{k_2}$, ხოლო პარალელურად განთავსებისას – $k = k_1 + k_2$.

ამოხსენით ამოცანები[2]**:**

1. რეზინის ერთგვაროვან ზონარს მისი სიგრძის მეათედი მოაჭრეს. რამდენჯერ გაიზარდა ზონრის სიხისტე?

2. ზამბარაზე უძრავად კიდია ტვირთი. რამდენჯერ შემცირდება ზამბარის დეფორმაცია, თუ იმავე ტვირთს ორ პარალელურად დაკიდებულ ისეთივე ზამბარებზე დავკიდებთ?

3. ზამბარა მასზე უძრავად დაკიდებული ტვირთით წაგრძელდა 10 სმ-ით. რისი ტოლი იქნება ზამბარის წაგრძელება, თუ იმავე ტვირთს მასთან მიმდევრობით გადაბმულ ისეთივე ზამბარაზე ჩამოვკიდებთ?

4. რეზინის ზონრის სიგრძე და განივკვეთის ფართობი, შესაბამისად, 1 მ და 1 სმ^2-ია. რისი ტოლია ზონრის სიხისტე, თუ რეზინის იუნგის მოდული $0.02 \cdot 10^9$ ნ/მ^2-ია?

5. რეზინის ზონარზე, რომლის სიგრძე და განივკვეთის ფართობი, შესაბამისად, 2 მ და 1 სმ^2-ია, კიდია 10 კგ მასის ტვირთი. განსაზღვრეთ ზონრის წაგრძელება, თუ რეზინის იუნგის მოდული $0.02 \cdot 10^9$ ნ/მ^2-ია. მიიჩნიეთ, რომ $g = 10$ მ/წმ^2.

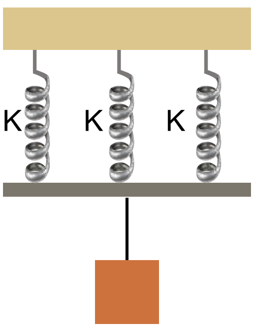
6. განსაზღვრეთ ალუმინის ღეროში აღძრული მექანიკური ძაბვა, თუ მისი ფარდობითი წაგრძელების მოდული 0.001-ის ტოლია. ალუმინის იუნგის მოდული $70 \cdot 10^9$ ნ/მ^2-ია.

7. სურ. 2.98 გამოსახულია ერთმანეთის პარალელურად დაკიდებული სამი ერთნაირი $k = 1000$ ნ/მ სიხისტის მსუბუქი ზამბარა. რისი ტოლია თითოეული ზამბარის წაგრძელება, თუ მათზე ჩამოკიდებული ტვირთის მასა 60 კგ-ია? მიიჩნიეთ, რომ $g = 10$ მ/წმ^2.

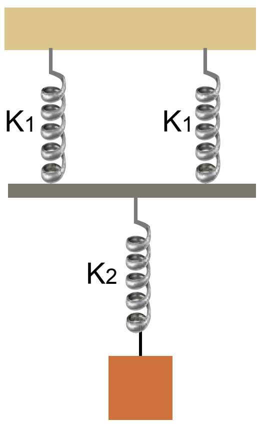
8. სურ. 2.99 გამოსახულია პარალელურად განთავსებული ერთნაირი $k_1 = 500$ ნ/მ სიხისტის ორი ზამბარა და მათზე მიმდევრობით გადაბმული $k_2 = 1000$ ნ/მ სიხისტის ზამბარა. რისი ტოლია ამ სისტემის ჯამური სიხისტე?

9. რისი ტოლი იქნება სურ. 2.99 გამოსახული ზამბარების წაგრძელებები, თუ სისტემაზე დაკიდებული ტვირთის მასა 50 კგ-ია? ზამბარების სიხისტეები $k_1 = 5000$ ნ/მ და $k_2 = 4000$ ნ/მ-ია. მიიჩნიეთ, რომ $g = 10$ მ/წმ^2.

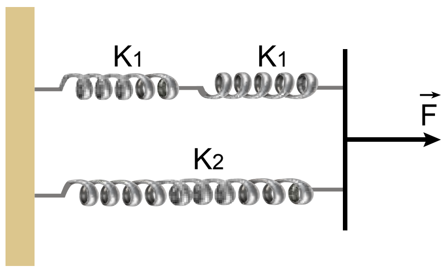
10. სურ. 2.100 გამოსახულია ორი ერთნაირი $k_1 = 2000$ ნ/მ სიხისტისა და მათზე ორჯერ გრძელი $k_2 = 4000$ ნ/მ სიხისტის ზამბარებისაგან შედგენილი სისტემა. რისი ტოლია სისტემის ჯამური სიხისტე? რისი ტოლი იქნება თითოეული ზამბარის წაგრძელება, თუ სისტემაზე ჰორიზონტალურად მიმართული 80 ნ ძალით ვიმოქმედებთ?



სურ. 2. 98



სურ. 2.99



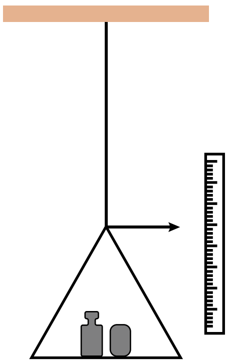
სურ. 2. 100

[2] განხილულ ამოცანებში დეფორმაცია დრეკადად მიიჩნიეთ.

§ 2.15 გაჭიმვის დიაგრამა

წინა პარაგრაფში დავადგინეთ, რომ სხეულის მცირე დეფორმაციებისას მექანიკური ძაბვა პირდაპირპროპორციულია ფარდობითი წაგრძელების – $\sigma = E \cdot \varepsilon$. დეფორმაცია მცირეა მაშინ, თუ Δl აბსოლუტური წაგრძელება გაცილებით ნაკლებია საწყის l სიგრძეზე, ანუ, როცა $|\varepsilon| << 1$. მაგრამ, რეალურ შემთხვევებში, დეფორმაცია შეიძლება საკმაოდ დიდი იყოს. რა ემართება ამ დროს სხეულის შემადგენელ ნივთიერებას?

ამ საკითხის თეორიული კვლევა ძალიან რთულია, ამიტომ მას ექსპერიმენტულად სწავლობენ. ცდების მონაცემები ჯერ შეაქვთ ცხრილებში და შემდეგ აგებენ მექანიკური ძაბვის ფარდობით წაგრძელებაზე დამოკიდებულობის გრაფიკს, რომელსაც **გაჭიმვის დიაგრამას** უწოდებენ.

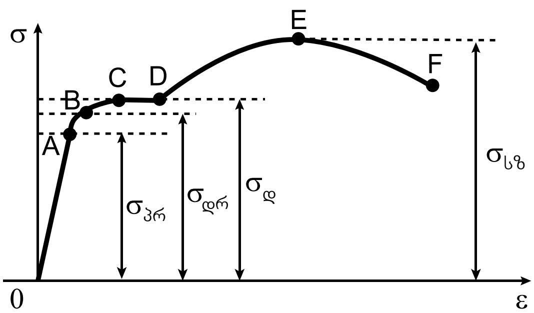


სურ. 2.101

განვიხილოთ ასეთი ცდების ჩასატარებლად საჭირო მოწყობილობის გამარტივებული მოდელი. ვთქვათ, გვინდა ავაგოთ სპილენძის გაჭიმვის დიაგრამა. ამისათვის ავიღოთ სპილენძის მავთული და ერთი ბოლოთი ჩამოვკიდოთ. მავთულის მეორე ბოლოზე დავკიდოთ პინა მასზე საწონების დასადებად. მავთულის ბოლოზე დავამაგროთ ისარი, რომლის გასწვრივ მოვათავსოთ 1 მმ დანაყოფის ფასის მქონე სახაზავი (სურ. 2.101). პინაზე საწონის მოთავსების შემდეგ მავთული გაიჭიმება, ისარი გადაადგილდება, რითაც მავთულის წაგრძელებას ვიპოვით. მისი გაყოფით საწყის სიგრძეზე, გამოვითვლით მავთულის ფარდობით წაგრძელებას. პინაზე დალაგებულ საწონებზე მოქმედი სიმძიმის ძალა მოდულით მავთულში აღძრული დრეკადობის ძალის ტოლია, ამიტომ მისი მავთულის განივკვეთის ფართობზე გაყოფით მივიღებთ მექანიკურ ძაბვას. ცხადია, გაჭიმვის დიაგრამის ასაგებად საჭირო თანამედროვე დანადგარი გაცილებით რთული, ზუსტი და კომპიუტერიზებულია (სურ. 2.102). მასში საკვლევი ნიმუშის მოთავსების შემდეგ ის ავტომატურად იძლევა კვლევის შედეგებს – ცხრილებსა და დიაგრამებს.

გავაანალიზოთ ცდის შედეგად მიღებული გაჭიმვის დიაგრამა (სურ. 2.103).

სურ. 2.102



სურ. 2.103

მცირე დეფორმაციებისათვის მექანიკურ ძაბვასა და ფარდობით წაგრძელებას შორის დამოკიდებულება პირდაპირპროპორციულია, რასაც დიაგრამაზე OA უბანი შეესაბამება. ამ უბნის ნებისმიერ წერტილში ძაბვის (დატვირთვის) მოხსნისას სხეული საწყის მდგომარეობას დაუბრუნდება – დეფორმაცია გაქრება, ანუ დეფორმაცია დრეკადია. მექანიკური ძაბვის მაქსიმალურ მნიშვნელობას, რომლის დროსაც დამოკიდებულება σ-სა და ε-ს შორის პირდაპირპროპორციულია, **პროპორციულობის ზღვარი** ეწოდება – $\sigma_{პრ}$. ძაბვის შემდომი გაზრდისას გარკვეულ AB უბანზე სხეული შეინარჩუნებს დრეკად თვისებებს, თუმცა დამოკიდებულება σ-სა და ε-ს შორის აღარ იქნება წრფივი. მექანიკური ძაბვის მაქსიმალურ მნიშვნელობას, რომლის დროსაც დეფორმაცია ჯერ კიდევ

დრეკადია, **დრეკადობის ზღვარი** ეწოდება – $\sigma_{დრ}$. თუ მექანიკური ძაბვა მეტი გახდება, ვიდრე დრეკადობის ზღვარი, ძაბვის მოხსნის შემდეგ სხეული აღარ დაუბრუნდება საწყის მდგომარეობას. ადგილი ექნება ნარჩენ დეფორმაციას – დეფორმაცია გახდება პლასტიკური. AB უბნის შემდეგ, დრეკადობის ზღვართან ძალიან ახლოს, ძაბვა მიაღწევს ისეთ მნიშვნელობას, როდესაც დეფორმაცია დაიწყებს ზრდას ძაბვის ზრდის გარეშე. ამ მოვლენას **მასალის დენადობა** ეწოდება. ეს პროცესი, მაგალითად სპილენძისათვის, რამდენიმე წუთის განმავლობაში გრძელდება – CD უბანი. მექანიკური ძაბვის მნიშვნელობას, რომლის დროსაც ჯერ კიდევ ადგილი აქვს მასალის დენადობას, **დენადობის ზღვარი** ეწოდება – $\sigma_{დ}$. მასალის დენადობის დამთავრების შემდეგ, დეფორმაციის გაზრდისათვის საჭირო იქნება მექანიკური ძაბვის გაზრდა – DE უბანი. მაგრამ დადგება მომენტი, როდესაც ძაბვა დაიწყებს კლებას, ხოლო დეფორმაცია – ზრდას. მასალაში აღძრული დრეკადობის ძალა ვეღარ უმკლავდება გარეშე ძალას, იწყება **მასალის რღვევა**. მექანიკური ძაბვის მაქსიმალურ მნიშვნელობას, რომელიც შეიძლება შეიქმნას მასალაში მისი რღვევის დაწყებამდე, **სიმტკიცის ზღვარი** ეწოდება – $\sigma_{სზ}$.

უფრო დეტალურად შევჩერდეთ დენადობის CD უბანზე. თუ ძაბვას მოვხსნით D წერტილში (დენადობის დასრულების შემდეგ), საკმაოდ დიდი ნარჩენი დეფორმაცია გვექნება, ანუ შეიძლება მოვახდინოთ მასალის დეფორმაცია მისი რღვევის გარეშე. რაც უფრო დიდი იქნება ეს უბანი, უფრო დიდი იქნება ეს დეფორმაცია.

მასალას, რომელსაც დენადობის დიდი უბანი აქვს, **პლასტიკური მასალა** ეწოდება. ასეთებია, მაგალითად, ტყვია, რკინა ალუმინი და სხვა. პლასტიკური მასალებისაგან დეფორმაციით სხვადასხვა ფორმის სხეულებს ამზადებენ. მასალას, რომელსაც პატარა დენადობის უბანი აქვს (ან საერთოდ არ აქვს), **მყიფე მასალა** ეწოდება. ასეთი მასალისაგან დამზადებული სხეულები მცირე დეფორმაციების დროსაც კი იმტვრევა. ასეთებია, მაგალითად, მინა, თიხა, ფაიფური, თუჯი და სხვა.

როდესაც რაიმე დეტალებს (კონსტრუქციებს) ვამზადებთ, იმედი გვაქვს, რომ დატვირთვები, რომლებსაც მათ უნდა გაუძლონ, სიმტკიცის ზღვარზე მეტი არ იქნება. მაგრამ ზოგჯერ შეიძლება ისეთი სიტუაცია შეიქმნას, როდესაც დატვირთვა რამდენჯერმე იზრდება. მაგალითად, ველოსიპედით მოძრაობისას, ასფალტიანი გზიდან უსწორმასწორო ქვიან დაღმართზე გადასვლისას, ძაბვა მკვეთრად იზრდება და თუ მან სიმტკიცის ზღვარს გადააჭარბა, ველოსიპედის ჩარჩო გატყდება. ამიტომ დეტალის დამზადებისას უნდა გავითვალისწინოთ, რომ ძაბვა, რომელიც შეიძლება შეიქმნას მისი ექსპლუატაციისას, ნაკლები იყოს სიმტკიცის ზღვარზე. სიდიდეს, რომელიც გვიჩვენებს დეტალის (კონსტრუქციის) უნარს, გაუძლოს გათვლილზე მეტ დატვირთვებს, სიმტკიცის მარაგს უწოდებენ და აღნიშნავენ n-ით. სიმტკიცის მარაგი ტოლია სიმტკიცის ზღვარის ($\sigma_{სზ}$) ფარდობისა იმ მაქსიმალურ ძაბვასთან ($\sigma_{მაქ}$), რომელიც შეიძლება შეიქმნას სხეულში: $n = \dfrac{\sigma_{სზ}}{\sigma_{მაქს}}$.

სიმტკიცის მარაგის მნიშვნელობა, ჩვეულებრივ, 2-დან 20-მდე ფარგლებშია. კარის სახელურის სიმტკიცის მარაგი შეიძლება 2-ის ტოლიც იყოს, მაგრამ ლიფტის გვარლისა – აუცილებლად მაქსიმალური.

დასკვნები:

- მექანიკური ძაბვის ფარდობით წაგრძელებაზე დამოკიდებულობის გრაფიკს გაჭიმვის დიაგრამა ეწოდება;
- მექანიკური ძაბვის მაქსიმალურ მნიშვნელობას, რომლის დროსაც დამოკიდებულება σ-სა და ε-ს შორის ჯერ კიდევ პირდაპირპროპორციულია, პროპორციულობის ზღვარი ეწოდება;

- მექანიკური ძაბვის მაქსიმალურ მნიშვნელობას, რომლის დროსაც დეფორმაცია ჯერ კიდევ დრეკადია, დრეკადობის ზღვარი ეწოდება;
- ძაბვის ზრდის გარეშე დეფორმაციის ზრდის მოვლენას მასალის დენადობა ეწოდება;
- მექანიკური ძაბვის მნიშვნელობას, რომლის დროსაც ჯერ კიდევ ადგილი აქვს მასალის დენადობას, დენადობის ზღვარი ეწოდება;
- მექანიკური ძაბვის მაქსიმალურ მნიშვნელობას, რომელიც შეიძლება შეიქმნას მასალაში მისი რღვევის დაწყებამდე, სიმტკიცის ზღვარი ეწოდება;
- სიმტკიცის ზღვარის შეფარდებას იმ მაქსიმალურ ძაბვასთან, რომელიც შეიძლება შეიქმნას სხეულში, სიმტკიცის მარაგი ეწოდება: $n = \frac{\sigma_{სზ}}{\sigma_{მაქს}}$.

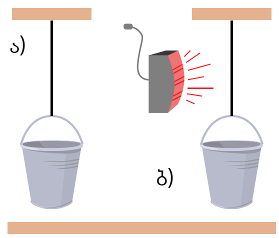
საკონტროლო კითხვები:

1. რა შემთხვევაში მიიჩნევა დეფორმაცია მცირედ?
2. როგორ აგებენ გაჭიმვის დიაგრამას?
3. რა განსხვავებაა გაჭიმვის დიაგრამაზე OA და AB უბნებს შორის?
4. რას ნიშნავს მასალის რღვევა?
5. რომელ მასალას უწოდებენ პლასტიკურს? მყიფეს?
6. როგორ ფიქრობთ, შეიცვლება თუ არა მექანიკური ძაბვის ზღვრული მნიშვნელობები მასალის ტემპერატურის ცვლილებით?
7. მაღლივი ხიდიდან გადმოხტომისას (Rope Jumping) გამოყენებული ბაგირის სიმტკიცის მარაგი უფრო მეტი უნდა იყოს, თუ საქანელას ბაგირისა?

ჯგუფური მუშაობა. ლაბორატორიული სამუშაო

სამუშაოს მიზანი: მავთულის სიმტკიცის ზღვარის ცვლილებაზე დაკვირვება მისი გაცხელებისას.

სამუშაოს აღწერა: მასწავლებლის თანხლებით ლაბორატორიაში ჩაატარეთ ცდა: მყარ სამაგრზე ჩამოკიდეთ ლითონის წვრილი (დაახლოებით ძაფის დიამეტრის ტოლი) მავთული. სასურველია, სხვადასხვა ჯგუფმა სამუშაო სხვადასხვა ნივთიერებისგან დამზადებულ ერთნაირი განივკვეთის მავთულზე შეასრულოთ. დაკიდეთ მავთულზე სათლი ისე, რომ ის იატაკთან ძალიან ახლოს იყოს, მაგრამ არ ეხებოდეს მას (სურ 2.104 ა). სათითაოდ ჩააწყვეთ სათლში მცირე მასის საწონები. როდესაც მავთული გაწყდება აწონეთ სათლი მასში მოთავსებულ საწონებთან ერთად (საწონების ნაცვლად შეიძლება სათლში წყლის თანდათან ჩამატებაც). მიღებული შედეგით დაახლოებით განსაზღვრავთ, თუ რა დატვირთვას უძლებს მოცემული მავთული. გაიმეორეთ ცდა, ოღონდ ამჯერად მავთულთან ახლოს მოათავსეთ ელექტროგამათბობელი ისე, რომ მავთულის ტემპერატურა გაიზარდოს (სურ. 2.104 ბ). (შეიძლება მავთულის რომელიმე უბანი სპირტქურის ალით გავათბოთ). მიღებული შედეგები დააფიქსირეთ და ეცადეთ უპასუხოთ შემდეგ კითხვებს:



სურ. 2.104

- ერთსა და იმავე დატვირთვას გაუძლო თუ არა სხვადასხვა მასალისაგან დამზადებულმა ერთნაირი დიამეტრის მავთულმა?
- ერთნაირ დატვირთვას გაუძლო თუ არა სხვადასხვა ტემპერატურის მქონე ერთმა და იმავე მავთულმა?
- რა ფაქტორი უნდა იქნას გავითვალისწინებული ლითონის კონსტრუქციის აგებისას?

§ 2.16 ხახუნის ძალა

ნიუტონის პირველი კანონის თანახმად, სხეულის სიჩქარის შესანარჩუნებლად მასზე ძალის მოქმედება საჭირო არ არის. მაშ, რა აჩერებს ფერდობიდან ჩამოსრიალებულ ციგას ჰორიზონტალურ უბანზე? გაგორებულ ბურთს მოედანზე? ნავს ტბაში ძრავას გამორთვის შემდეგ (სურ. 2.105)? რა ძალა იწვევს მათი სიჩქარის შემცირებას?

სურ. 2.105

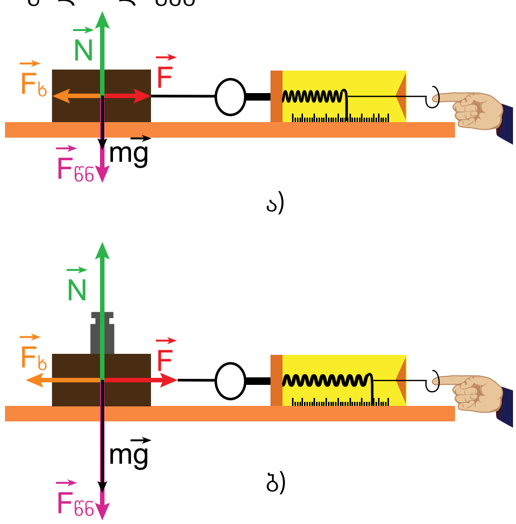
ციგას და ბურთს აჩერებს ხახუნის ძალა, ნავს – გარემოს წინააღმდეგობის ძალა. ეს ძალები სხეულთა მოძრაობის საწინააღმდეგოდაა მიმართული.

რატომ წარმოიქმნება ხახუნის ძალა? თუ ნებისმიერი სხეულის ზედაპირს ლუპით დავაკვირდებით, შევამჩნევთ უამრავ მცირე უსწორმასწორობას – ზედაპირის სიმქისეს (სურ. 2.106). როცა ერთი სხეული სრიალებს ან ცდილობს დაიწყოს სრიალი მეორე სხეულის ზედაპირზე, უსწორმასწორობები ერთმანეთს წამოედება და დეფორმირდება. აღიძვრება დრეკადობის ძალები, რომლებიც დეფორმაციის საწინააღმდეგოდაა მიმართულნი. ეს ხახუნის ძალის წარმოქმნის ერთ-ერთი მიზეზია.

სურ. 2.106

შემხებ ზედაპირებს შორის ხახუნის ძალის წარმოქმნას სხვა მიზეზიც აქვს: ზედაპირების ზოგიერთი უბანი ერთმანეთს ძალიან მჭიდროდ ეკვრის – მათ შორის მანძილი იმდენად მცირეა, რომ შემხები სხეულების მოლეკულებს შორის მიზიდულობა მნიშვნელოვანი ხდება. ეს უბნები თითქოს ეწებებიან ერთმანეთს და სხეულების ერთმანეთის მიმართ გადაადგილებას ეწინააღმდეგებიან.

– ჩავატაროთ ცდა: დინამომეტრის საშუალებით ხის ძელაკს მოვდოთ მაგიდის ზედაპირის პარალელური ძალა და ავამოძრაოთ ის (სურ. 2.107ა). ძელაკზე მოქმედებს სიმძიმის $m\vec{g}$ ძალა, მისი გამაწონასწორებელი საყრდენის რეაქციის $\vec{N}$ ძალა, დინამომეტრის ზამბარის დრეკადობის $\vec{F}$ ძალა და მოძრაობის საწინააღმდეგოდ მიმართული სრიალის ხახუნის $\vec{F}_{ხ}$ ძალა.



სურ. 2.107

ხახუნის ძალას, რომელიც აღიძვრება ერთი სხეულის მეორე სხეულის ზედაპირზე სრიალისას, სრიალის ხახუნის ძალა ეწოდება.

ძელაკის თანაბარი მოძრაობისას $F = F_{ხ}$. ეს ნიშნავს, რომ თუ ძელაკს დინამომეტრით თანაბრად ვამოძრავებთ, მაშინ ის სრიალის ხახუნის ძალის მნიშვნელობას გვიჩვენებს. თუ ძელაკს რაიმე ტვირთს დავადებთ, გაიზრდება ძელაკის მხრიდან მაგიდაზე წარმოებული წნევის ძალა. ცდით შეიძლება დავრწმუნდეთ, რომ რამდენჯერაც გავზრდით წნევის ძალას, იმდენჯერვე გაიზრდება სრიალის ხახუნის ძალაც (სურ. 2.107 ბ). ე.ი. სრიალის ხახუნის ძალის მოდული პირდაპირპროპორციულია სხეულის მიერ საყრდენზე წარმოებული წნევის ძალის:

$$F_{ხ} = \mu F_{წწ}, \qquad (1)$$

რომელშიც μ სრიალის ხახუნის კოეფიციენტია. იგი ორივე მოხახუნე სხეულის მახასიათებელი სიდიდეა. მისი მნიშვნელობა დამოკიდებულია ნივთიერებებზე, რომლებისგანაც არის დამზადებული მოხახუნე სხეულები, მათი ზედაპირების დამუშავების ხარისხზე და სხვა. ხახუნის კოეფიციენტს განზომილება არა აქვს, მის მნიშვნელობას ცდით ადგენენ.

ძელაკი საყრდენ ზედაპირს წნევის $\vec{F}_{წწ}$ ძალით აწვება. თავის მხრივ, საყრდენი რეაქციის $\vec{N}$ ძალით მოქმედებს ძელაკზე. ნიუტონის მესამე კანონის თანახმად, ეს ძალები საპირისპიროდაა მიმართული და მოდულებით ტოლია. ამიტომ,

$$F_{ხ} = \mu N.$$

$\vec{N}$ ძალა ყოველთვის საყრდენის მართობულად (ანუ, ნორმალურად) არის მიმართული, ამიტომ მას ხშირად საყრდენის ნორმალურ რეაქციის ძალას უწოდებენ.

ძელაკი მაგიდაზე მცირე წახნაგით რომ დავდოთ, სრიალის ხახუნის ძალა თითქმის არ შეიცვლება. ე.ი. სრიალის ხახუნის ძალა დამოკიდებული არ არის მოხახუნე შემხები ზედაპირის ფართობზე.

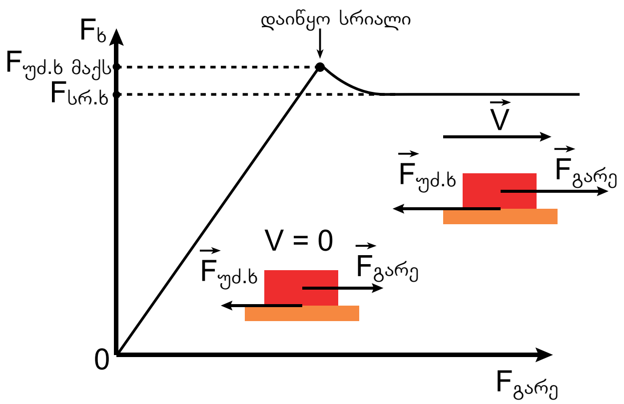
სრიალის ხახუნის ძალა არ არის დამოკიდებული მოხახუნე სხეულების შეხების ზედაპირის ფართობზე და პირდაპირპროპორციულია საყრდენის ნორმალური რეაქციის ძალის მოდულისა.

ეს დებულება ექსპერიმენტულად მიიღო ფრანგმა ფიზიკოსმა გიიომ ამონტონმა (1663 -1705), მისი მართებულობა შეამოწმა ასევე ფრანგმა ფიზიკოსმა შარლ კულონმა (1736 -1806), ამიტომ მას ამონტონ-კულონის კანონი ეწოდება.

შეიძლება თუ არა, ხახუნის ძალა მოქმედებდეს უძრავ სხეულზეც? ამ კითხვაზე პასუხის გაცემა შეგვიძლია იმავე ცდის საშუალებით, მაგრამ „დატვირთული" ძელაკის ამოძრავება ნელ-ნელა უნდა ვცადოთ. თუ დინამომეტრს ოდნავ გავქაჩავთ, ძელაკი უძრავი დარჩება. ეს ნიშნავს, რომ დინამომეტრის მხრიდან ძელაკზე მოქმედ ძალას, რაღაც სხვა ძალა აწონასწორებს. სწორედ ეს არის უძრაობის ხახუნის ძალა – $\vec{F}_{უძ.ხ}$. თუ დინამომეტრს უფრო ძლიერად გავქაჩავთ, უძრაობის ხახუნის ძალაც გაიზრდება. ეს გაგრძელდება იქამდე, ვიდრე უძრაობის ხახუნის ძალა თავის მაქსიმალურ მნიშვნელობას არ მიაღწევს და ძელაკი არ ამოძრავდება. როგორც ცდები გვიჩვენებს, უძრაობის ხახუნის ძალის მაქსიმალური მნიშვნელობა საყრდენის ნორმალური რეაქციის ძალის პროპორციულია:

$$\vec{F}_{უძ.ხ.მაქს} = \mu_{უძ} N.$$

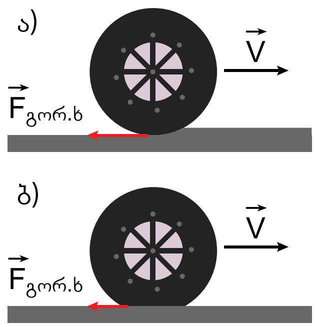
როგორც წესი, უძრაობის ხახუნის კოეფიციენტი მცირედ აღემატება სრიალის ხახუნის კოეფიციენტს ($\mu_{უძ} > \mu$). ამიტომაც სხეულის დაძვრას უფრო მეტი ძალა სჭირდება, ვიდრე მის შემდგომ გადაადგილებას (სურ. 2.108).



სურ. 2.108

თუ იმავე ძელაკს მსუბუქ ურიკაზე დავდებთ, მისი დაძვრა და შემდგომ გადაადგილება გაცილებით ადვილი იქნება. ამ შემთხვევაში მოქმედებს გორვის ხახუნის ძალა. ცდები გვიჩვენებს, რომ ერთნაირ პირობებში გორვის ხახუნის ძალა რამდენიმე ათეულჯერ ნაკლებია სრიალის ხახუნის ძალაზე.

გორვის ხახუნის ძალის წარმოქმნის ერთ-ერთი მიზეზი იმ ზედაპირის დეფორმაციაა (ჩაზნექვაა), რომელზეც სხეული მიგორავს. ამ დროს ბორბალს მუდმივად უწევს, აგორდეს პატარა დახრილ სიბრტყეზე (სურ. 2.109 ა). რაც უფრო დიდია ზედაპირის დეფორმაცია, მით უფრო მეტია წარმოქმნილი სიბრტყის დახრის კუთხე და მით უფრო იზრდება გორვის ხახუნის ძალა. ამიტომ გორვის ხახუნის ძალის შემცირება შესაძლებელია ზედაპირის სიმყარის გაზრდით. სწორედ ამიტომ ჩქაროსნულ მაგისტრალებზე ბეტონის საფარს აგებენ. გორვის ხახუნის ძალის წარმოქმნას თვით ბორბლის ზედაპირის გაბრტყელებაც იწვევს, რის გამოც ასევე მცირე საფეხური ჩნდება (სურ 2.109 ბ) უნდა აღვნიშნოთ, რომ გორვის ხახუნის შემცირება შესაძლებელია ზედაპირზე წარმოებული წნევის შემცირებითაც. მაგალითად, სატვირთო ავტომობილებს წნევის შესამცირებლად ბევრ ბორბალს უყენებენ. გორვის ხახუნის ძალა მგორავი სხეულის სიმყარისა და მისი რადიუსის გაზრდითაც შეგვიძლია შევამციროთ.



სურ. 2.109

ხახუნის ძალა მნიშვნელოვანია როგორც ტექნიკაში, ასევე ყოველდღიურ ცხოვრებაში. ის შეიძლება სასარგებლოც იყოს და საზიანოც. მექანიზმების მუშაობისას ის ზიანის მომტანია – იწვევს დეტალების ცვეთას, მათ გახურებას, ენერგიის დანაკარგებს. ამიტომ მოხახუნე ზედაპირებს აპრიალებენ, ფარავენ საპოხი საშუალებებით, სრიალის ხახუნს გორვის ხახუნით ცვლიან და ა.შ. (სურ. 2.110).


სურ. 2.110

ხახუნის ძალის არარსებობის შემთხვევაში ქვეითი და ავტომობილი ადგილიდან ვერ დაიძვრებოდა, მოძრავი კი – ვერ გაჩერდებოდა. ამიტომ ხახუნის ძალის გასაზრდელად ფეხსაცმლის ლანჩისა და საბურავების ზედაპირებს რელიეფურს ამზადებენ, მოლიპულ გზებზე ყრიან ქვიშას და ა.შ. (სურ. 2.111)

სურ. 2.111

ხახუნის ძალა წარმოიქმნება მყარი სხეულის სითხეში ან აირში მოძრაობის დროსაც. მათ წინააღმდეგობის ძალებს უწოდებენ.

უძრაობის ხახუნის ძალა სითხეებსა და აირებში არ აღიძვრება.

ამიტომაა დედამიწაზე მოთავსებული ნავის ამოძრავება ძალიან ძნელი, წყალში კი – ძალიან ადვილი.

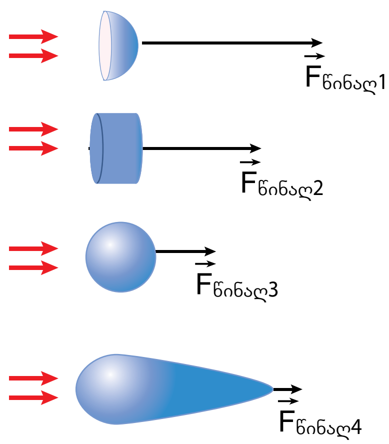
წინააღდეგობის ძალები სითხეებსა და აირებში წარმოიქმნება მხოლოდ სხეულისა და გარემოს ერთმანეთის მიმართ მოძრაობისას.

სითხეში ან აირში წინააღმდეგობის ძალების წარმოქმნის მიზეზებია:

- მყარი სხეულის სითხეში ან აირში მოძრაობისას მისი გარემომცველი ფენები მასთან ერთად მოძრაობს. რაც უფრო ბლანტია სითხე მით უფრო მეტი ფენა აჰყვება სხეულს ამ მოძრაობაში და, შესაბამისად, მეტი იქნება წინააღმდეგობის ძალა;
- გარემოს შემადგენელი ნაწილაკები წინიდან ეჯახება სხეულს და ანელებს მის მოძრაობას. ამას ფრონტალურ წინააღმდეგობას უწოდებენ;
- დიდი სიჩქარით მოძრაობისას სხეულის უკან წარმოიქმნება დაბალი წნევის არე და სხეული თითქოს შეიწოვება მასში, რითაც ფერხდება მისი მოძრაობა.

რაზეა დამოკიდებული გარემოს წინააღმდეგობის ძალის სიდიდე?

- წყალსა და ჰაერში სხეულის ერთნაირი სიჩქარით მოძრაობისას წინააღმდეგობის ძალა წყალში უფრო მეტია, ვიდრე ჰაერში; გლიცერინში უფრო მეტია, ვიდრე წყალში. ე.ი. წინააღმდეგობის ძალა გარემოს თვისებებზეა დამოკიდებული;
- ერთნაირი გეომეტრიული ფორმის სხეულებზე მოქმედი გარემოს წინააღმდეგობის ძალის სიდიდე ამ სხეულთა განივკვეთის ფართობის პირდაპირპროპორციულია;
- ერთნაირი განივკვეთის შემთხვევაში გარემოს წინააღმდეგობის ძალის სიდიდე სხეულის ფორმაზეა დამოკიდებული: ეს ძალა ყველაზე დიდია ჩაზნექილი სფეროს ფორმის სხეულისათვის (მაგალითად, პარაშუტისათვის), ყველაზე მცირე კი წვეთის ფორმის სხეულისათვის (სურ. 2.112). ამიტომ წყალქვეშა ნავებს, გემებს, რაკეტებს, თვითმფრინავებსა და სპორტულ ავტომობილებს განსაკუთრებულ გარსედინ ფორმას აძლევენ (სურ. 2.113). ამას თვითონ ბუნება გვკარნახობს – გაიხსენეთ თევზებისა ან ფრინველების სხეულის ფორმები;



სურ. 2.112

- გარემოს წინააღმდეგობის ძალის სიდიდე მის მიმართ სხეულის მოძრაობის სიჩქარეზეა დამოკიდებული: დაბალი სიჩქარეების შემთხვევაში ის სიჩქარის მოდულის პირდაპირპროპორციულად იზრდება, მაღალი სიჩქარეების შემთხვევაში – სიჩქარის მოდულის კვადრატის პროპორციულად, ზებგერითი სიჩქარით მოძრაობისას კი – უფრო მეტად.

სურ. 2.113

დასკვნები:

- ხახუნის ძალას, რომელიც აღიძვრება ერთი სხეულის მეორე სხეულის ზედაპირზე სრიალისას, სრიალის ხახუნის ძალა ეწოდება;
- სრიალის ხახუნის ძალის მოდული საყრდენის რეაქციის ძალის პირდაპირპროპორციულია: $F_ხ = \mu N$;
- სრიალის ხახუნის ძალა არ არის დამოკიდებული მოხახუნე სხეულების შეხების ზედაპირის ფართობზე. ის დამოკიდებულია ნივთიერებებზე, რომლისგანაცა მოხახუნე სხეულებია დამზადებული, მათი ზედაპირების დამუშავების ხარისხზე და სხვა;
- სხეულზე მოქმედი უძრაობის ხახუნის ძალა მოდულით იმ ძალის ტოლია, რომელიც მის ამოძრავებას ცდილობს;
- ერთნაირ პირობებში გორვის ხახუნის ძალა სრიალის ხახუნის ძალაზე მცირეა;
- უძრაობის ხახუნის ძალა სითხეებსა და აირებში არ აღიძვრება.

საკონტროლო კითხვები:

1. ხახუნის ძალის წარმოქმნის რა მიზეზებს დაასახელებდი?
2. როდის არის ორ სხეულს შორის უძრაობის ხახუნის ძალა ნულის ტოლი?
3. სხეულის ამოძრავებაა უფრო ძნელი, თუ მისი გასრიალება? რატომ?
4. თუ სხეული ზედაპირს სიმძიმის ძალის ტოლი ძალით აწვება, რომელი ფორმულით შეიძლება სრიალის ხახუნის ძალის გამოთვლა?
5. რომელი ბორბალი უფრო ადვილად გორავს, მატარებლის თუ ავტომობილის?
6. როგორ ფიქრობთ, ხახუნის ძალის არსებობა სასარგებლოა თუ საზიანო?
7. რას უწოდებენ გარემოს წინააღმდეგობის ძალას? რაზეა დამოკიდებული ეს ძალა?

ერთად ამოვხსნათ ამოცანა

გზის ჰორიზონტალურ უბანზე მუდმივი $\vec{v}$ სიჩქარით მოძრავი ავტომობილის მძღოლმა მკვეთრად დაამუხრუჭა – ავტომობილი გზაზე გასრიალდა და გაჩერდა. განსაზღვრეთ ავტომობილის აჩქარება და მანძილი, რომელსაც გაივლის ავტომობილი მკვეთრი დამუხრუჭების დაწყებიდან გაჩერებამდე (სამუხრუჭე მანძილი), თუ სრიალის ხახუნის კოეფიციენტი ავტომობილის საბურავებსა და გზის საფარს შორის μ-ს ტოლია. მიიჩნიეთ, რომ დამუხრუჭებისას გზაზე ავტომობილის ოთხივე ბორბალი სრიალებს და ის თანაბარშენელებულად მოძრაობს.

ამოხსნა:

ამ შემთხვევაში ავტომობილის თანაბარშენელებული მოძრაობის გამომწვევი მხოლოდ ჰორიზონტალური მიმართულების სრიალის ხახუნის ძალაა, რომლის მოდული

$F_ხ = \mu N$-ის ტოლია. N ავტომობილზე მოქმედი გზის საფარის რეაქციის ძალის მოდულია. ავტომობილი ვერტიკალური მიმართულებით არ გადაადგილდება, ამიტომ მასზე მოქმედი რეაქციის ძალა მოდულით სიმძიმის ძალის ტოლია: $N=mg$. თუ რეაქციის ძალის ამ მნიშვნელობას ხახუნის ძალის გამოსათვლელ ფორმულაში ჩავსვამთ, მივიღებთ: $F_ხ = \mu mg$. ნიუტონის მეორე კანონის თანახმად, ავტომობილის აჩქარების მოდული $a = \frac{F_ხ}{m} = \frac{\mu mg}{m} = \mu g$. ე.ი. $a = \mu g$. მივიღეთ, რომ ავტომობილის ჰორიზონტალურ გზაზე სრიალისას მისი აჩქარება ავტომობილის მასაზე დამოკიდებული არ არის. ვინაიდან ავტომობილის მოძრაობა თანაბარშენელებულია და მისი საბოლოო სიჩქარე ნულის ტოლია, სამუხრუჭე მანძილის საპოვნელად შეგვიძლია ვისარგებლოთ ფორმულით: $S = \frac{v^2}{2a}$, ე.ი. $S = \frac{v^2}{2\mu g}$. მიღებული ფორმულიდან ჩანს, რომ ერთნაირ პირობებში ავტომობილის სამუხრუჭე მანძილი მისი საწყისი სიჩქარის კვადრატის პროპორციულია. ასე მაგალითად, ავტომობილის სიჩქარის 2-ჯერ გაზრდისას მისი სამუხრუჭე მანძილი 4-ჯერ იზრდება, 3-ჯერ გაზრდისას – 9-ჯერ და ა. შ. **ეს ფაქტი ყველა მძღოლმა აუცილებლად უნდა გაითვალისწინოს!**

პასუხი: ავტომობილის სამუხრუჭე მანძილი გამოითვლება ფორმულით $S = \frac{v^2}{2\mu g}$.

ამოხსენით ამოცანები:

1. ღრმა წყალსაცავში ჩაშვებული ლითონის ბურთულის სიჩქარე თავდაპირველად იმატებს, შემდეგ კი მუდმივი სიჩქარით იძირება. რით აიხსნება ეს?
2. რატომ ვერ ავითარებენ გემები დიდ სიჩქარეს?
3. შესაძლებელია თუ არა მატარებელი გამორთული ძრავით თანაბრად მოძრაობდეს ჰორიზონტალურ ლიანდაგზე?
4. რატომ არის უფრო ძნელი წელამდე წყალში გაქცევა, ვიდრე ხმელეთზე სირბილი?
5. რისი ტოლია ავტომობილის აჩქარება დამუხრუჭებისას, თუ მისი საბურავების გზის საფართან სრიალის ხახუნის კოეფიციენტი 0,6-ია? მიიჩნიეთ, რომ დამუხრუჭებისას ავტომობილის ოთხივე საბურავი გზაზე სრიალებს. $g=10$ მ/წმ².
6. განსაზღვრეთ, რა დროში გაჩერდება ავტომობილი მკვეთრი დამუხრუჭებისას, თუ დამუხრუჭების დაწყებამდე ის 30 მ/წმ სიჩქარით მოძრაობდა. სრიალის ხახუნის კოეფიციენტი საბურავებსა და გზის საფარს შორის 0,5-ია. მიიჩნიეთ, რომ დამუხრუჭებისას ავტომობილის ოთხივე საბურავი გზაზე სრიალებს. $g=10$ მ/წმ².
7. განსაზღვრეთ 25 მ/წმ სიჩქარით მოძრავი ავტომობილის სამუხრუჭე მანძილი, თუ სრიალის ხახუნის კოეფიციენტი საბურავებსა და გზის საფარს შორის 0,5-ია. მიიჩნიეთ, რომ დამუხრუჭებისას ავტომობილის ოთხივე საბურავი გზაზე სრიალებს. $g=10$ მ/წმ².
8. ჰორიზონტალურ ზედაპირზე მოთავსებული 20 კგ მასის ყუთის ადგილიდან დასაძრავად საკმარისია მასზე ჰორიზონტალურად მიმართული 100 ნ ძალა მოვდოთ. რა აჩქარებით იმოძრავებს ყუთი, თუ მასზე ჰორიზონტალურად მიმართული 300 ნ ძალით ვიმოქმედებთ? სრიალის ხახუნის ძალა უძრაობის ხახუნის ძალის მაქსიმალური მნიშვნელობის ტოლად მიიჩნიეთ.
9. სრიალის ხახუნის კოეფიციენტი ჰორიზონტალურ ზედაპირსა და მასზე მოთავსებულ 20 კგ მასის ყუთს შორის 0,4-ია. ყუთზე მოქმედება დაიწყო ჰორიზონტალური მიმართულების მქონე 180 ნ-ის ტოლმა მუდმივმა ძალამ. რა მანძილს გაივლის ყუთი მოძრაობის დაწყებიდან 2 წამში? $g=10$ მ/წმ².
10. ჰორიზონტალურ ზედაპირზე უძრავად მოთავსებულ 10 კგ მასის ძელს მოსდეს ზედაპირის პარალელური 180 ნ ძალა. 100 მ-ის გავლის შემდეგ ძალის მიმართულება საპირისპიროთი შეცვალეს. ამ მომენტიდან, რა დროში გაჩერდება ძელი, თუ სრიალის ხახუნის კოეფიციენტი ძელსა და ზედაპირს შორის 0,2-ია? $g=10$ მ/წმ².

§ 2.17 სხეულების მოძრაობა რამდენიმე ძალის მოქმედებით: გადაბმული სხეულების მოძრაობა

ყოფა-ცხოვრებასა და „ტექნიკაში“ ხშირად გვხვდება ისეთი სხეულების მოძრაობა, რომლებიც ერთმანეთთან გადაბმულია ბაგირით, ზამბარით, თოკით, მყარი ღეროთი. ასეთებია, მაგალითად, სატვირთო მანქანა და მისაბმელი, მატარებლის ვაგონები; ვერტ-მფრენი და მასზე ბაგირით ჩამოკიდებული ტვირთი, სკუტერი და მასთან ბაგირით მიბ-მული წყლის მოთხილამურე (სურ. 2.114), უძრავ ჭოჭონაქზე გადადებული თოკის ბო-ლოებზე ჩამოკიდებული ტვირთები და მრავალი სხვა.

ერთმანეთთან გადაბმული სხეულებიდან თითოეულის მოძრაობა მასთან მიბმული სხვა სხეულით (სხეულებით) შეზღუდულია, ანუ, ისინი ქმნიან სხეულთა ერთ მთლიან სისტემას. მაგალითად, ვერტმფრენი და მასზე დაკიდებული ტვირთი სხეულთა ერთობ-ლიობას ქმნის, რომელშიც ვერტმფრენის მოძრაობას ზღუდავს ტვირთი და – პირიქით.

სურ. 2.114

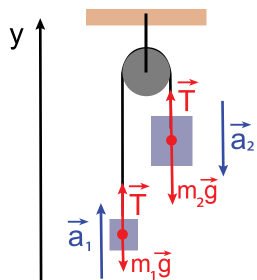
გადაბმული სხეულების შემთხვევაში დინამიკის ძირითადი ამოცანის ამოხსნისათვის საჭიროა თითოეული სხეულისათვის დავწეროთ ნიუტონის მეორე კანონი. ამისათვის კი, უპირველესად, უნდა განვსაზღვროთ თითოეულ სხეულზე მოქმედი ძალები. ასევე უნდა დავწეროთ პირობები, რომლებიც სისტემის განტოლებებს ერთმანეთთან დააკავშირებს.

ამოხსნის გასამარტივებლად საჭიროა გავაკეთოთ გარკვეული დაშვებებიც. მაგა-ლითად, სხეულების თოკით გადაბმისას თოკის სიგრძის ცვლილება და მისი მასა უგულე-ბელვყოთ. ასევე, მხედველობაში არ მივიღოთ ჭოჭონაქის მასა და ჭოჭონაქის თავის ღერძთან ხახუნის ძალაც. ასეთ შემთხვევაში მთელ სიგრძეზე თოკის დაჭიმულობა შეიძ-ლება ერთნაირად მივიჩნიოთ – როდესაც თოკი გადადებულია ჭოჭონაქზე, მისი დაჭიმუ-ლობა ჭოჭონაქის ორივე მხარეს ერთნაირი იქნება.

განვიხილოთ გადაბმული სხეულების მოძრაობის ორი მაგალითი:

1. ორი ტვირთი, რომელთა მასებია m_1 და m_2 ($m_2 > m_1$), გადაბმულნი არიან უჭიმვა-დი და უწონო თოკით. თოკი გადადებულია უძრავ ჭოჭონაქზე. დავადგინოთ, რა აჩქარებით იმოძრავებენ სხეულები და რისი ტოლი იქნება თოკის დაჭიმულობის ძალა.

უპირველესად, განვსაზღვროთ სხეულებზე მოქმედი ძალები: პირველ სხეულზე მოქმედებს სიმძიმის $m_1\vec{g}$ ძალა და თოკის და-ჭიმულობის $\vec{T}$ ძალა. მეორე სხეულზე – სიმძიმის $m_2\vec{g}$ ძალა და თოკის დაჭიმულობის $\vec{T}$ ძალა (სურ. 2.115). ვინაიდან $m_2 > m_1$, პირველი სხეულის აჩქარება მიმართული იქნება შვეულად ზევით, მეორე სხეულისა კი – შვეულად ქვევით.



სურ. 2.115

დავწეროთ თითოეული სხეულისთვის ნიუტონის მეორე კანონი:

$$\begin{cases} m_1\vec{g} + \vec{T} = m_1\vec{a}_1 \\ m_2\vec{g} + \vec{T} = m_2\vec{a}_2 \end{cases} \quad (1)$$

ეს განტოლებები ქმნიან სისტემას, იმიტომ, რომ ერთი სხეულის მოძრაობა მეორის მოძრაობასთანაა დაკავშირებული.

Y ღერძი შვეულად ზევით მივმართოთ და დავაგეგმილოთ მასზე (1) სისტემის განტოლებები. მივიღებთ:

$$\begin{cases} T - m_1g = m_1a_1 \\ T - m_2g = -m_2a_2 \end{cases} \quad (2)$$

რადგან სხეულები უჭიმვადი თოკით არიან გადაბმულნი, ამიტომ მათი აჩქარებების მოდულები ტოლია: $a_1 = a_2 = a$. ამის გათვალიწინებით (2) სისტემა შემდეგნაირად ჩაიწერება:

$$\begin{cases} T - m_1g = m_1a \\ T - m_2g = -m_2a \end{cases} \quad (3)$$

თუ ამ სისტემის პირველ განტოლებას მეორეს გამოვაკლებთ, მივიღებთ:

$$(m_2 - m_1)g = (m_2 + m_1)a,$$

მოძრაობის ეს განტოლება ასევე შეიძლება მივიღოთ სხვაგვარადაც, თუ სხეულთა სისტემას წარმოვიდგენთ, როგორც ერთ მთლიან სხეულს. ამ შემთხვევაში თოკის დაჭიმულობის $\vec{T}$ ძალა სისტემის შიგნით არსებული ძალაა, რომელიც გავლენას ვერ ახდენს მთელი სისტემის მოძრაობაზე. ორივე სხეულის მოძრაობის გამომწვევია $m_2\vec{g}$ ძალა, რომელსაც $m_1\vec{g}$ ძალა ეწინააღმდეგება. ანუ ტოლქმედი ძალა, რომელიც ორივე სხეულების აჩქარებულ მოძრაობას იწვევს მოდულით $(m_2g - m_1g)$-ის ტოლია. ამიტომ

$$(m_2 - m_1)\, g = (m_2 + m_1)a.$$

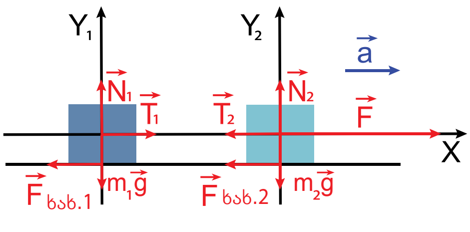
საიდანაც,

$$a = \frac{m_2 - m_1}{m_2 + m_1} g \quad (4)$$

თოკის დაჭიმულობის ძალის მოდულის საპოვნელად აჩქარების მიღებული მნიშვნელობა ჩავსვათ (3) სისტემის ერთ-ერთ განტოლებაში, მივიღებთ:

$$T = m_1(a + g) = m_1g\left(\frac{m_2 - m_1}{m_2 + m_1} + 1\right) = \frac{2m_1m_2g}{m_1 + m_2}.$$

2. ორი ძელაკი, რომელთა მასებია m_1 და m_2 გადაბმულნი არიან უჭიმვადი და უწონო თოკით (სურ 2.116). ძელაკები დევს ჰორიზონტალურ მაგიდაზე. ვთქვათ, ძელაკებსა და მაგიდის ზედაპირს შორის ხახუნის კოეფიციენტი μ-ს ტოლია. ერთ-ერთ მათგანს მოვდოთ ჰორიზონტალურად მიმართული ისეთი $\vec{F}$ ძალა, რომელიც ძელაკების აჩქარებულ მოძრაობას გამოიწვევს? ვიპოვოთ ეს აჩქარება.



სურ. 2.116

პირველ ძელაკზე მოქმედებს სიმძიმის $m_1\vec{g}$ ძალა, საყრდენის რეაქციის $\vec{N}_1$ ძალა, სრიალის ხახუნის $\vec{F}_{\text{ხახ1}}$ ძალა და თოკის დაჭიმულობის $\vec{T}_1$ ძალა. ნიუტონის მეორე კანონის თანახმად:

$$m_1\vec{g}+\vec{N}_1+\vec{F}_{\text{ხახ1}}+\vec{T}_1=m_1\vec{a}_1 \qquad (5)$$

მეორე ძელაკზე მოქმედებს $\vec{F}$ ძალა, სიმძიმის $m_2\vec{g}$ ძალა, საყრდენის რეაქციის $\vec{N}_2$ ძალა, სრიალის ხახუნის $\vec{F}_{\text{ხახ2}}$ ძალა და თოკის დაჭიმულობის $\vec{T}_2$ ძალა. ნიუტონის მეორე კანონის თანახმად:

$$m_2\vec{g}+\vec{N}_2+\vec{F}_{\text{ხახ2}}+\vec{T}_2+\vec{F}=m_2\vec{a}_2 \qquad (6)$$

დავაგეგმილოთ (5) და (6) ტოლობები OX და OY ღერძებზე. მივიღებთ ორ ერთმანეთთან დაკავშირებულ განტოლებათა სისტემას:

$$\begin{cases} T_1-F_{\text{ხახ1}}=m_1a_1 \\ N_1-m_1g=0 \end{cases} \qquad (7)$$

$$\begin{cases} F-T_2-F_{\text{ხახ2}}=m_2a_2 \\ N_2-m_2g=0 \end{cases} \qquad (8)$$

წინა მაგალითის ანალოგიურად, თუ გავითვალისწინებთ, რომ $T_1=T_2=T$ და $a_1 = a_2 = a$, მაშინ (7) და (8) სისტემები მიიღებს ასეთ სახეს:

$$\begin{cases} T-F_{\text{ხახ1}}=m_1a \\ N_1-m_1g=0 \end{cases} \qquad (9)$$

$$\begin{cases} F-T-F_{\text{ხახ2}}=m_2a \\ N_2-m_2g=0 \end{cases} \qquad (10)$$

ერთი სხეულის მეორის ზედაპირზე სირალისას აღიძვრება სრიალის ხახუნის ძალა, რომლის მოდული განისაზღვრება ფორმულით: $F_{\text{ხახ}} = \mu N$. შესაბამისად, $F_{\text{ხახ1}} =\mu N_1$ და $F_{\text{ხახ2}} =\mu N_2$. (9) და (10) სისტემების მეორე განტოლებების თანახმად: $N_1 = m_1g$ და $N_2 = m_2g$. ამიტომ ძელაკებზე მოქმედი სრიალის ხახუნის ძალები ტოლი იქნება:

$$F_{\text{ხახ1}} =\mu m_1g; \qquad F_{\text{ხახ2}} =\mu m_2g.$$

თუ ხახუნის ძალების ამ მნიშვნელობებს (9) და (10) სისტემების პირველ განტოლებებში ჩავსვამთ, მივიღებთ:

$$\begin{cases} T-\mu m_1g=m_1a \\ F-T-\mu m_2g=m_2a. \end{cases}$$

ამ განტოლებების შეკრებით კი გვექნება:

$$F-\mu m_1g-\mu m_2g=a(m_1+m_2),$$

მსგავსად წინა შეთხვევისა, ეს განტოლებაც შეიძლება სხვაგვარად მივიღოთ, თუ გადაბმულ სხეულებს ერთ მთლიან სხეულად მივიჩნევთ: თოკის დაჭიმულობის ძალები სისტემის მოძრაობაზე გავლენას ვერ ახდენს, ხოლო თითოეულ სხეულზე მოქმედი

სიმძიმისა და საყრდენის რეაქციის ძალები ერთმანეთს აკომპენსირებს. სისტემის ჰორიზონტალურად მოძრაობას განაპირობებს $\vec{F}$ ძალა, რომელსაც წინააღმდეგობას უწევს $\vec{F}_{\text{ხახ1}}$ და $\vec{F}_{\text{ხახ2}}$ ძალები. ამიტომ $F-(\mu m_1 g+\mu m_2 g)=a(m_1+m_2)$. საიდანაც,

$$a=\frac{F-\mu g(m_1+m_2)}{m_1+m_2}.$$

ცხადია, გადაბმული სხეულების მოძრაობის მრავალი მაგალითი არსებობს. ჩვენ მხოლოდ ორი მათგანი განვიხილეთ, კიდევ რამდენიმეს ამოცანების სახით გაეცნობით.

დასკვნები:

- ერთმანეთთან გადაბმული სხეულებიდან თითოეულის მოძრაობა მასთან მიბმული სხვა სხეულით (სხეულებით) არის შეზღუდული;
- გადაბმული სხეულები ერთმანეთთან დაკავშირებულ სხეულთა სისტემას ქმნის;
- გადაბმული სხეულების მოძრაობისას, დინამიკის ამოცანის გადასაწყვეტად, თითოეული სხეულისათვის უნდა დავწეროთ ნიუტონის მეორე კანონი და მათგან შევადგინოთ განტოლებათა სისტემა;
- გადაბმულ სხეულებზე ამოცანების ამოხსნისას ვაკეთებთ გარკვეულ დაშვებებს: სხეულების თოკით გადაბმისას, მისი სიგრძის ცვლილებასა და მასას მხედველობაში არ ვიღებთ, თოკის დაჭიმულობას მთელ სიგრძეზე ერთნაირად მივიჩნევთ, უგულებელვყოფთ ჭოჭონაქის მასას და ჭოჭონაქის ღერძთან ხახუნს.

საკონტროლო კითხვები:

1. გადაბმული სხეულების რომელ მაგალითებს დაასახელებთ?
2. რატომ ქმნიან გადაბმული სხეულები სხეულთა ერთიან სისტემას?
3. რატომ მოქმედებს თოკი მისი საშუალებით გადაბმულ სხეულებზე ერთი და იმავე მოდულის დაჭიმულობის ძალით?
4. რა შემთხვევაში შეიძლება ტოლად მივიჩნიოთ გადაბმული სხეულების აჩქარების მოდულები?
5. რა მოსაზრებაზე დაყრდნობით შეიძლება პირველ მაგალითში სისტემის შექმნის გარეშე დავწეროთ $(m_2-m_1)g=(m_2+m_1)a$ განტოლება?
6. რა მოსაზრებაზე დაყრდნობით შეიძლება მეორე მაგალითში სისტემის შექმნის გარეშე დავწეროთ $F-\mu m_1 g-\mu m_2 g=a(m_1+m_2)$ განტოლება?

ერთად ამოვხსნათ ამოცანა

ვერტმფრენს ვერტიკალურად ზევით 2 მ/წმ² აჩქარებით ააქვს ერთმანეთზე თოკით გადაბმული ორი ტვირთი (სურ 2.117). თითოეული ტვირთის მასა 50 კგ-ია. თოკების მასას, ასევე სხეულებზე მოქმედ წინააღმდეგობის ძალებს ნუ გაითვალისწინებთ და განსაზღვრეთ:

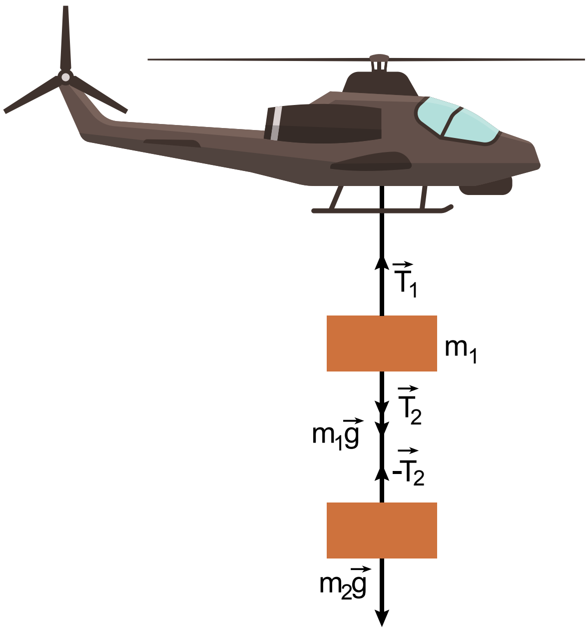
ა) რისი ტოლია ვერტმფრენზე მობმული თოკის დაჭიმულობის ძალა;

ბ) რა მინიმალურ დაჭიმულობას უნდა უძლებდეს ტვირთების გადასაბმელი თოკი, რომ ის არ გაწყდეს. მიიჩნიეთ, რომ $g = 10$ მ/წმ².

ამოხსნა:

მოც:
$m_1=m_2=50$ კგ;
$a=2$ მ/წმ²;
$g=10$ მ/წმ².
უ.ვ. T_1, T_2

წარმოვიდგინოთ, რომ ერთმანეთზე თოკით გადაბმული ტვირთები ერთი ტვირთია, რომლის მასა $m = 100$ კგ-ია. მის აჩქარებაზე გავლენას არ ახდენს ტვირთების დამაკავშირებელი თოკის დაჭიმულობის ძალები, ვინაიდან ისინი სისტემის შიგნით აღძრული ძალებია. ტვირთების სისტემის აჩქარებაზე გავლენას ახდენს მხოლოდ მასზე სისტემის გარედან მოქმედი სიმძიმისა და ვერტმფრენზე მობმული თოკის მხრიდან მოქმედი T_1 დაჭიმულობის ძალა. ნიუტონის მეორე კანონის თანახმად: $T_1 - mg = ma \Rightarrow T_1 = mg + ma = 1200$ ნ.



სურ. 2. 117

გამოვთვალოთ ტვირთების დამაკავშირებელი თოკის დაჭიმულობის ძალა. ამისათვის ნიუტონის მეორე კანონი დავწეროთ, ვთქვათ, მხოლოდ m_2 მასის ტვირთისათვის. მის აჩქარებაზე გავლენას ახდენს ვერტიკალურად ზევით მიმართული T_2 დაჭიმულობისა და ქვევით მოქმედი სიმძიმის ძალები. ამიტომ $T_2 - m_2g = m_2a$. აქედან მივიღებთ, რომ $T_2 = 600$ ნ. იმისათვის, რომ ტვირთების გადასაბმელი თოკი არ გაწყდეს, იგი უნდა უძლებდეს მინიმუმ 600 ნ დაჭიმულობას.

პასუხი: ა) ვერტმფრენზე მობმული თოკის დაჭიმულობის ძალის მოდული 1200 ნ-ია; ბ) ტვირთების გადასაბმელი თოკი, სულ მცირე, 600 ნ დატვირთვას უნდა უძლებდეს.

ამოხსენით ამოცანები:

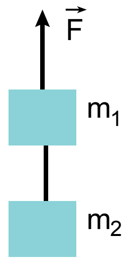
1. სურ. 2.118 გამოსახულია ჰორიზონტალურ ზედაპირზე მოთავსებული მსუბუქი თოკით გადაბმული $m_1 = 10$ კგ და $m_2 = 8$ კგ მასის ორი სხეული. 8 კგ-იან სხეულზე მოქმედება დაიწყო მარჯვნივ მიმართულმა, მოდულით 36 ნ-ის ტოლმა ჰორიზონტალურმა ძალამ. განსაზღვრეთ სხეულების აჩქარება და თოკის დაჭიმულობის ძალა. ზედაპირსა და სხეულებს შორის ხახუნს ნუ გაითვალისწინებთ.

სურ. 2. 118

2. სურ. 2.118 გამოსახულია $m_1 = 15$ კგ და $m_2 = 10$ კგ მასის ორი სხეული, რომლებიც გადაბმულია მსუბუქი თოკით. 10 კგ-იან სხეულზე მოქმედებენ მარჯვნივ მიმართული, მოდულით 125 ნ ძალით. რა დაჭიმულობას უნდა უძლებდეს გადასაბმელი თოკი, რომ იგი არ გაწყდეს? ზედაპირსა და სხეულებს შორის ხახუნის ძალას ნუ გაითვალისწინებთ.

3. ჰორიზონტალურ ლიანდაგზე მოძრაობს 20 ვაგონისგან შემდგარი მატარებელი. თითოეული ვაგონის მასა 30 ტონაა. რისი ტოლია გადაბმის დაჭიმულობის ძალა მე-15 და მე-16 ვაგონებს შორის, თუ თითოეულ ვაგონზე მოქმედი წინაღმდეგობის ძალაა 1 კნ, ხოლო მატარებლის აჩქარება 1 მ/წმ^2-ია?

4. მსუბუქი თოკი გადაბმულ $m_1 = 5$ კგ და $m_2 = 2$ კგ მასის სხეულებს ამოძრავებენ ვერტიკალურად ზევით მიმართული ძალით (სურ. 2.119). განსაზღვრეთ ამ ძალის მოდული და სხეულების აჩქარება, თუ თოკის დაჭიმულობის ძალა 40 ნ-ია. მიიჩნიეთ, რომ $g = 10$ მ/წმ^2.



სურ. 2.119

5. $m_1 = 10$ კგ და $m_2 = 2$ კგ მასის ორი სხეული გადაბმულია 2 კგ მასის თოკით (სურ. 1.119). 10 კგ მასის სხეულზე მოდებულია ვერტიკალურად ზევით მიმართული 168 ნ ძალა. განსაზღვრეთ თოკის დაჭიმულობის ძალა პირველ და მეორე სხეულთან მისი მიბმის წერტილებში. მიიჩნიეთ, რომ $g = 10$ მ/წმ^2.

მინიშნება: თოკი m_1 და m_2 მასის სხეულებს შორის მოთავსებულ მესამე სხეულად მიიჩნიეთ.

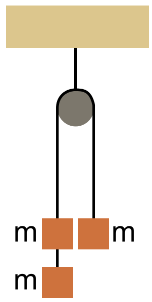
6. უძრავ ჭოჭონაქზე გადადებულ მსუბუქ თოკზე დაკიდებულია ერთნაირი m მასის სხეულები (სურ. 2.120). ჭოჭონაქის ღერძთან ხახუნს ნუ გაითვალისწინებთ და განსაზღვრეთ:

ა) სხეულთა სისტემის აჩქარება;

ბ) ჭოჭონაქზე გადადებული თოკის დაჭიმულობის ძალა;

გ) ჭოჭონაქის მარცხენა მხარეს მყოფი სხეულების დამაკავშირებელი თოკის დაჭიმულობის ძალა;

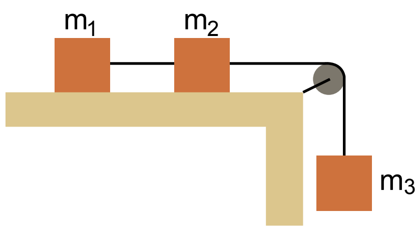
დ) ჭოჭონაქის მხრიდან ჭერზე მოქმედი ძალა.



სურ. 2. 120

7. სურ. 2.121 გამოსახული სხეულების მასები ერთნაირია და 10 კგ-ის ტოლია. განსაზღვრეთ სხეულთა სისტემის აჩქარება და თითოეული თოკის დაჭიმულობის ძალა. ხახუნის ძალებს და თოკების მასას ნუ გაითვალისწინებთ. მიიჩნიეთ, რომ $g = 10$ მ/წმ^2.

8. სურ. 2.121 გამოსახული სხეულთა მასები $m_1 = 5$ კგ, $m_2 = 5$ კგ და $m_3 = 20$ კგ-ია. ხახუნის კოეფიციენტი მაგიდის ზედაპირსა და სხეულებს შორის 0,2-ის ტოლია. რა აჩქარებით იმოძრავებს სხეულთა სისტემა? ჭოჭონაქის ღერძთან ხახუნს ნუ გაითვალისწინებთ. მიიჩნიეთ, რომ $g = 10$ მ/წმ^2.



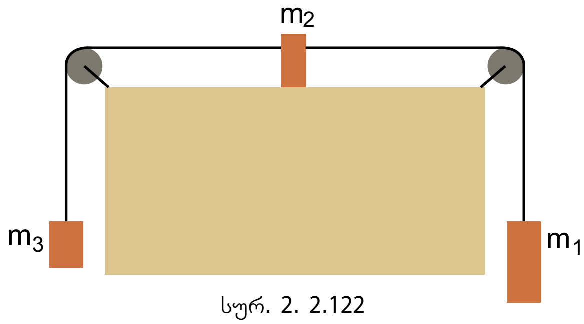
სურ. 2.121

9. სურ. 2.122 გამოსახული სხეულთა მასებია $m_1 = 10$ კგ, $m_2 = 5$ კგ და $m_3 = 5$ კგ. ხახუნის ძალებს, ასევე თოკების მასას ნუ გაითვალისწინებთ და განსაზღვრეთ:

ა) სხეულთა აჩქარება;

ბ) რამდენით მეტია მარჯვენა თოკის დაჭიმულობის ძალა მარცხენა თოკის დაჭიმულობის ძალაზე? მიიჩნიეთ, რომ $g = 10$ მ/წმ^2.

10. სურ. 2.122 გამოსახული სხეულების მასებია $m_1 = 20$ კგ, $m_2 = 5$ კგ და $m_3 = 10$ კგ. ხახუნის კოეფიციენტი m_2 მასის სხეულსა და მაგიდის ზედაპირს შორის 0,6-ია. ჭოჭონაქების ღერძთან ხახუნს, ასევე თოკების მასას ნუ გაითვალისწინებთ და განსაზღვრეთ:



სურ. 2. 2.122

ა) სხეულების აჩქარება;

ბ) თითოეული თოკის დაჭიმულობის ძალა.

მიიჩნიეთ, რომ $g = 10$ მ/წმ^2.

საშინაო ცდა

ცდის მიზანი: დახრილ ფიცარზე მოსრიალე სხეულის მოძრაობაზე დაკვირვება.
ცდისთვის საჭიროა: დაახლოებით 1,5 მ სიგრძის ფიცარი (შეგიძლიათ გამოიყენოთ თაბაშირ-მუყაოს ან მყარი მუყაოს ნაჭერი), ასანთის კოლოფი, წამზომი, დანაყოფებიანი სახაზავი ან საზომი ლენტი.

ცდის აღწერა:

ა) ჰორიზონტალური ფიცრის ერთ ბოლოში დადეთ ცარიელი ასანთის კოლოფი. ეს ბოლო ნელ-ნელა ზევით ასწიეთ და დააფიქსირეთ ფიცრის მდებარეობა, როდესაც კოლოფი სრიალს დაიწყებს. გაზომეთ სიმაღლე, რომელზეც ფიცრის ბოლო ასწიეთ, ფიცრის სიგრძე და მათი საშუალებით გამოთვალეთ ჰორიზონტისადმი ფიცრის დახრის კუთხე. ჩააწყვეთ ასანთის კოლოფში მონეტები და ცდა გაიმეორეთ. მიღებულ შედეგებზე დაყრდნობით შეეცადეთ უპასუხოთ კითხვას:

- იცვლება თუ არა კოლოფის სრიალის დასაწყებად საჭირო ფიცრის დახრის კუთხე კოლოფის მასის შეცვლით?

ბ) ფიცარი დახრილად ისე დაამაგრეთ, რომ მასზე დადებული კოლოფი გათავისუფლების შემდეგ ფიცარზე სრიალებდეს. ცარიელი ასანთის კოლოფი ფიცრის ყველაზე მაღალ წერტილში დადეთ, ბიძგის გარეშე გაათავისუფლეთ და გაზომეთ მის ჩამოსასრიალებლად საჭირო დრო. შემდეგ კოლოფში მონეტები ჩააწყვეთ და ცდა გაიმეორეთ. მიღებულ შედეგებზე დაყრდნობით შეეცადეთ უპასუხოთ კითხვას:

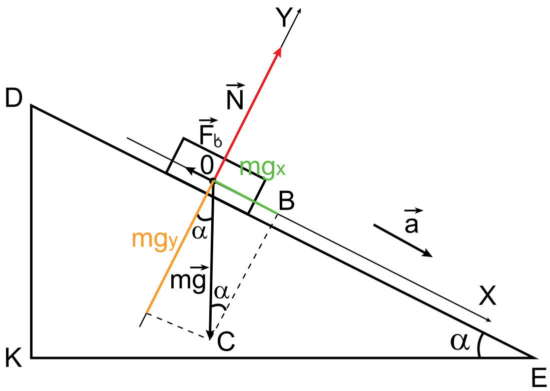
- იცვლება თუ არა მოცემულ დახრილ სიბრტყეზე სხეულის ჩამოსრიალების დრო სხეულის მასის ცვლილებით?

§ 2.18 მოძრაობა დახრილ სიბრტყეზე

აქამდე ჩვენ ვიხილავდით სხეულის მოძრაობას მხოლოდ ჰორიზონტალურ საყრდენზე. მაგრამ ხშირად სხეულები მოძრაობენ ისეთ საყრდენზე, რომელიც ჰორიზონტთან ნულისაგან განსხვავებულ კუთხეს ქმნის. მაგალითად, ავტომობილის მოძრაობა აღმართზე ან დაღმართზე, მძიმე ტვირთის გადაადგილება დახრილ საყრდენზე, მოთხილამურის მოძრაობა ტრამპლინზე დაშვებისას, ბავშვის დაშვება სასრიალოზე (სურ. 2.123) და სხვა.

სურ. 2.123

დავუშვათ, ჰორიზონტისადმი α კუთხით უძრავ დახრილ სიბრტყეზე სრიალებს m მასის მქონე ძელაკი (სურ. 2.124). დახრილი სიბრტყის ზედაპირსა და ძელაკს შორის ხახუნის კოეფიციენტია μ. ვიპოვოთ აჩქარება, რომლითაც ძელაკი ეშვება.



სურ. 2.124

ძელაკზე მოქმედებს სამი ძალა: შვეულად ქვევით მიმართული სიმძიმის $m\vec{g}$ ძალა, დახრილი სიბრტყის მართობულად ზევით მიმართული საყრდენის რეაქციის $\vec{N}$ ძალა და მოძრაობის საწინააღმდეგოდ, სიბრტყის გასწვრივ ზევით მიმართული სრიალის ხახუნის $\vec{F}_{\text{ხ}}$ ძალა. პირობის თანახმად, ძელაკის $\vec{a}$ აჩქარება სიბრტყის პარალელურად ქვევითაა მიმართული.

დავწეროთ ნიუტონის მეორე კანონი ძელაკისათვის:

$$m\vec{g}+\vec{N}+\vec{F}_{\text{ხ}}=m\vec{a}. \qquad (1)$$

ამ ვექტორული ტოლობის გეგმილების სახით ჩასაწერად საკოორდინატო სისტემის OX ღერძი მივმართოთ სიბრტყის გასწვრივ ქვევით, ხოლო OY ღერძი – მის მართობულად ზევით.

ვექტორებზე გარხორციელებული მათემატიკური მოქმედებები ვრცელდება მათ გეგმილებზეც. კერძოდ,რამდენიმე ვექტორის ჯამის გეგმილი შესაკრებ ვექტორთა გეგმილების ჯამის ტოლია.

მოცემულ ღერძზე ვექტორის გეგმილის ნიშანი განისაზღვრება კუთხით, რომელსაც ის ღერძის დადებით მიმართულებასთან ადგენს: თუ ეს კუთხე 0^0-ია ან მახვილია, გეგმილი დადებითია თუ ბლაგვია ან 180^0-ია – უარყოფითი.

დავაგეგმილოთ (1) ტოლობა OX ღერძზე, მივიღებთ:

$$mg_x+N_x+F_{\text{ხ}x}=ma_x. \qquad (2)$$

ΔOBC და ΔDKE მართკუთხა სამკუთხედებია, თანაც $\angle DEK = \angle OCB = \alpha$, როგორც ურთიერთმართობული გვერდებით შედგენილი კუთხეები.

გავიხსენოთ მართკუთხა სამკუთხედში კათეტებსა და ჰიპოტენუზას შორის ტრიგონომეტრიული თანაფარდობები.

სიმძიმის $m\vec{g}$ ძალა OX ღერძთან მახვილ კუთხეს ქმნის, ამიტომ მისი გეგმილი ამ ღერძზე დადებითია და ტოლია:

$$mg_x = mg\sin\alpha. \qquad (3)$$

$\vec{N}$ ვექტორი OX ღერძის მართობულია, ამიტომ მისი გეგმილი ნულის ტოლია:

$$N_x = 0. \qquad (4)$$

სრიალის ხახუნის ძალა OX ღერძის პარალელურია და მის საპირისპიროდ არის მიმართული, ამიტომ მისი გეგმილი ამ ღერძზე უარყოფითი და ტოლია:

$$F_{ხx} = -F_ხ. \qquad (5)$$

ვინაიდან ძელაკის აჩქარება OX ღერძის მიმართულებისაა, ამიტომ

$$a_x = a. \qquad (6)$$

(3), (4), (5) და (6) ჩავსვათ (2) ტოლობაში, გვექნება:

$$mg\sin\alpha - F_ხ = ma. \qquad (7)$$

ახლა (1) განტოლება დავაგეგმილოთ OY ღერძზე, მივიღებთ:

$$mg_y + N_y + F_{ხy} = ma_y. \qquad (8)$$

ხახუნის ძალა და ძელაკის აჩქარება OY ღერძის მართობული ვექტორებია, ამიტომ:

$$F_{ხy} = 0 \text{ და } a_y = 0. \qquad (9)$$

სიმძიმის ძალა OY ღერძის დადებით მიმართულებასთან ადგენს ბლაგვ კუთხეს, ამიტომ მისი გეგმილი ამ ღერძზე უარყოფითი და ტოლია:

$$mg_y = -mg\cos\alpha. \qquad (10)$$

$\vec{N}$ ვექტორი OY ღერძის გასწვრივ არის მიმართული, ამიტომ:

$$N_y = N. \qquad (11)$$

(9), (10) და (11) ტოლობების გათვალისწინებით (8) განტოლება შემდეგ სახეს მიიღებს:

$$N - mg\cos\alpha = 0, \text{ საიდანაც } N = mg\cos\alpha. \qquad (12)$$

გავიხსენოთ, რომ სრიალის ხახუნის ძალა $F_ხ = \mu N$, ამიტომ

$$F_ხ = \mu mg\cos\alpha. \qquad (13)$$

ხახუნის ძალის ეს მნიშვნელობა ჩავსვათ (7) განტოლებაში, მივიღებთ:

$$mg\sin\alpha - \mu mg\cos\alpha = ma.$$

ამ ტოლობის m-ზე შეკვეცით გვექნება:

$$a = g(\sin\alpha - \mu\cos\alpha). \qquad (14)$$

ამ ფორმულაზე დაყრდნობით, ახსენით, საშინაო ცდაში რატომ არ შეიცვალა დახრილ სიბრტყეზე ასანთის კოლოფის ჩამოსრიალების დრო მასში მონეტების ჩაწყობის შემდეგ?

მიღებული შედეგიდან გამომდინარეობს, რომ:

1. თუ $a>0$, $\sin\alpha - \mu\cos\alpha > 0$. აქედან გამომდინარე, $\mu < \mathrm{tg}\alpha$. თუ ხახუნის კოეფიციენტი სიბრტყის დახრის კუთხის ტანგენსზე ნაკლებია, სიბრტყეზე დადებული სხეული მასზე ისრიალებს თანაბარაჩქარებულად.

2. ძელაკი თანაბრად ჩამოსრიალდება დახრილ სიბრტყეზე ან იქნება უძრავი (ანუ $a=0$), როცა $\sin\alpha - \mu\cos\alpha = 0$. საიდანაც $\mu = \dfrac{\sin\alpha}{\cos\alpha} = \mathrm{tg}\alpha$.

ახსენით, საშინაო ცდაში რატომ არ შეიცვალა ასანთის კოლოფის სრიალის დასაწყებად საჭირო კუთხის მოშვენელობა მასში მონეტების ჩამატებით.

3. თუ $\mu > \mathrm{tg}\alpha$, მაშინ სიბრტყეზე მოთავსებული სხეული არ ჩამოსრიალდება, ხოლო ბიძგით გასრიალებული სხეული დამუხრუჭდება და გაჩერდება.

4. თუ დახრილი სიბრტყე გლუვია, ანუ $\mu = 0$, მაშინ $a = g\sin\alpha$.

მოიფიქრეთ ცდა, რომლითაც გაზომავ რაიმე ფიცარსა და ძელაკს შორის ხახუნის კოეფიციენტს.

თუ ძელაკს დახრილი სიბრტყის გასწვრივ ზევით მიმართულ სიჩქარეს მივანიჭებთ, მაშინ ის შენელებულად იმოძრავებს. ვიდრე სხეული გაჩერდება მისი აჩქარება მიმართულია დახრილის სიბრტყის გასწვრივ ქვევით და მისი მოდული ტოლია:

$$a = g(\sin\alpha + \mu\cos\alpha).$$

ჩვეულებრივ, დახრილ სიბრტყეზე მოძრავ სხეულზე, გარდა ზემოთ ნახსენები ძალებისა, შეიძლება მოქმედებდეს ზედაპირის პარალელური სხვა ძალაც. მაგალითად, ფერდობზე ციგის ასრიალებისას მასზე დაჭიმული თოკით ბავშვი მოქმედებს. ამ შემთხვევაში, ნიუტონის მეორე კანონის გამომსახველ (1) განტოლებაში დაემატება ეს ძალაც.

დასკვნები:

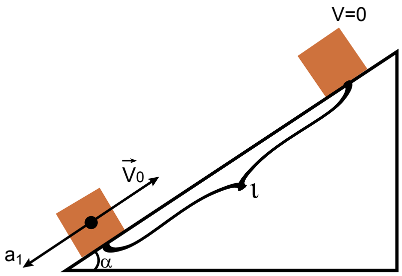
- თუ სხეული დახრილ სიბრტყეზე მისრიალებს ზევიდან ქვევით, მხოლოდ სიმძიმის, სრიალის ხახუნისა და რეაქციის ძალების მოქმედებით, მისი აჩქარების მოდული გამოისახება ფორმულით $a = g(\sin\alpha - \mu\cos\alpha)$;
- თუ სხეული გლუვ დახრილ სიბრტყეზე მისრიალებს ზევიდან ქვევით, მხოლოდ სიმძიმისა და რეაქციის ძალების მოქმედებით, მისი აჩქარების მოდული გამოისახება ფორმულით $a = g\sin\alpha$;
- თუ სხეული დახრილ სიბრტყეზე თანაბრად მისრიალებს ზევიდან ქვევით, მხოლოდ სიმძიმის, სრიალის ხახუნისა და რეაქციის ძალების მოქმედებით, მაშინ $\mu = \mathrm{tg}\alpha$;
- თუ სხეული დახრილ სიბრტყეზე მისრიალებს ქვევიდან ზევით, მხოლოდ სიმძიმის, სრიალის ხახუნისა და რეაქციის ძალების მოქმედებით, მისი აჩქარების მოდული გამოისახება ფორმულით $a = g(\sin\alpha + \mu\cos\alpha)$.

საკონტროლო კითხვები:

1. იმოძრავებს თუ არა ერთნაირი აჩქარებით სხვადასხვა მასის ორი ერთნაირი ძელაკი დახრილ სიბრტყეზე მხოლოდ სიმძიმის, სრიალის ხახუნისა და რეაქციის ძალების მოქმედებით?
2. რა პირობა უნდა შესრულდეს, რომ დახრილ სიბრტყეზე დადებული სხეული არ ჩამოსრიალდეს?
3. თუ ძელაკს მქისეზედაპირიანი დახრილი სიბრტყის გასწვრივ ზევით მიმართულ სიჩქარეს მივანიჭებთ გარკვეული მანძილის გავლის შემდეგ ის გაჩერდება და შემდეგ უკან ჩამოსრიალდება. შეაფასეთ ზევით მოძრაობას დასჭირდა მეტი დრო თუ ქვევით ჩამოსრიალებას?

ერთად ამოვხსნათ ამოცანა

სურ. 2.125 ჰორიზონტისადმი 45^0-იანი კუთხით დახრილი სიბრტყის ქვედა წერტილში მდებარე ძელაკს მიანიჭეს სიბრტყის პარალელური ზევით მიმართული სიჩქარე. გარკვეული მანძილის გავლის შემდეგ ის შეჩერდა და შემდეგ უკან ჩამოსრიალდა. განსაზღვრეთ ძელაკის ქვევით და ზევით მოძრაობის დროების შე-



სურ. 2.125

ფარდება, თუ ხახუნის კოეფიციენტი ძელაკსა და დახრილ სიბრტყეს შორის 0,2-ია. მიიჩნიეთ, რომ $g = 10$ მ/წმ^2.

ამოხსნა:

მოც:
$\alpha=45^0$;
$\mu=0{,}2$;
$g=10$ მ/წმ^2.
უ.ვ. t_2/t_1.

ძელაკი ქვევიდან ზევით მოძრაობს თანაბარშენელებულად მოდულით $a_1 = g(\sin\alpha + \mu\cos\alpha)$ აჩქარებით. გაჩერებამდე გავლილი l მანძილის გამოსათვლელად გამოვიყენოთ ფორმულა: $l = v_0 t_1 - \frac{a_1 t_1^2}{2}$, რომელშიც v_0 ძელაკის საწყისი სიჩქარის მოდულია, t_1 კი – ქვევიდან ზევით ძელაკის მოძრაობის დრო. ამ დროის შემდეგ ძელაკი ჩერდება, ამიტომ $0 = v_0 - a_1 t_1$, საიდანაც $v_0 = a_1 t_1$. თუ მიღებულ შედეგს შევიტანთ წინა გამოსახულებაში, მივიღებთ:

$l = a_1 t_1^2 - \frac{a_1 t_1^2}{2} = \frac{a_1 t_1^2}{2}$. ქვევით ჩამოსრიალებისას ძელაკი იწყებს მოძრაობას თანაბარაჩქარებულად მოდულით $a_2 = g(\sin\alpha - \mu\cos\alpha)$ აჩქარებით. შესაბამისად, საწყის წერტილამდე ჩასრიალებისას გავლილი l მანძილისთვის მივიღებთ: $l = \frac{a_2 t_2^2}{2}$. ვინაიდან ზევით და ქვევით მოძრაობისას გავლილი l მანძილები ტოლია, ამიტომ

$$\frac{a_1 t_1^2}{2} = \frac{a_2 t_2^2}{2} \Leftrightarrow \frac{t_2}{t_1} = \sqrt{\frac{a_1}{a_2}} = \sqrt{\frac{g(\sin\alpha + \mu\cos\alpha)}{g(\sin\alpha - \mu\cos\alpha)}} = \frac{\sqrt{3}}{\sqrt{2}} \approx 1{,}23.$$

პასუხი: ძელაკი ქვემოთ ჩამოსრიალებას დაახლოებით 1,23-ჯერ მეტ დროს მოანდომებს, ვიდრე ზევით მოძრაობას.

ამოხსენით ამოცანები:

1. ჰორიზონტისადმი 30^0-იანი კუთხით დახრილი სიბრტყის უმაღლესი წერტილიდან სრიალს იწყებს ძელაკი. განსაზღვრეთ ძელაკის აჩქარება და დახრილი სიბრტყის სიგრძე, თუ ძელაკი მასზე 2 წამში ჩამოსრიალდა. წინააღმდეგობის ძალებს ნუ გაითვალისწინებთ. მიიჩნიეთ, რომ $g = 10$ მ/წმ^2.

2. რისი ტოლი უნდა იყოს ჰორიზონტისადმი 30^0-იანი კუთხით დახრილი სიბრტყის ზედაპირსა და ძელაკს შორის ხახუნის კოეფიციენტი, რომ ძელაკი სიბრტყეზე თანაბრად სრიალებდეს?

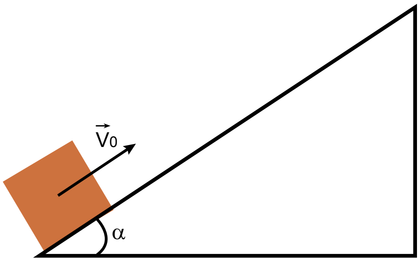
3. ჰორიზონტისადმი 30^0-იანი კუთხით დახრილ სიბრტყეზე უძრავად დევს 10 კგ მასის ძელაკი. რისი ტოლია ძელაკზე მოქმედი ხახუნის ძალის მოდული? მიიჩნიეთ, რომ $g = 10$ მ/წმ^2.

4. დაამტკიცეთ, რომ თუ ძელაკსა და დახრილი სიბრტყის ზედაპირს შორის ხახუნის კოეფიციენტი მეტია სიბრტყის ჰორიზონტის მიმართ დახრის კუთხის ტანგენსზე, ძელაკი სიბრტყეზე უძრავი იქნება.

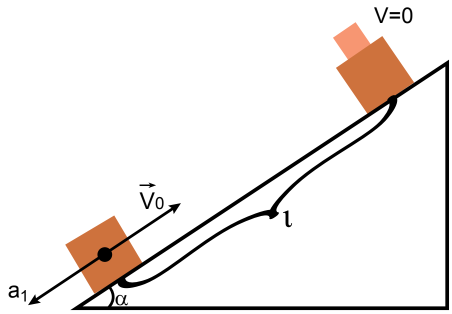
5. ჰორიზონტისადმი 45^0-იანი კუთხით დახრილი სიბრტყის უმაღლესი წერტილიდან სრიალს იწყებს ძელაკი. ხახუნის კოეფიციენტი ძელაკსა და დახრილი სიბრტყის ზედაპირს შორის 0,15-ია. განსაზღვრეთ ძელაკის ჩამოსასრიალებლად საჭირო დრო და ძელაკის სიჩქარე დახრილი სიბრტყის ბოლოს, თუ მისი სიგრძე 3 მ-ია. მიიჩნიეთ, რომ $g = 10$ მ/წმ^2.

6. გლუვი დახრილი სიბრტყის ქვედა წერტილში მოთავსებულ ძელაკს მიანიჭეს სიბრტყის პარალელური სიჩქარე (სურ. 2.126). ძელაკი დახრილი სიბრტყის გარკვეულ წერტილამდე ავიდა და შემდეგ უკან ჩამოსრიალდა. შეადარეთ ერთმანეთს ძელაკის ზევით და ქვევით მოძრაობის დროები.

7. მქისეზედაპირიანი დახრილი სიბრტყის ქვედა წერტილში მოთავსებულ ძელაკს მიანიჭეს სიბრტყის პარალელური სიჩქარე (სურ. 2.127). ძელაკი სიბრტყის გარკვეულ წერტილამდე ავიდა, სადაც მას დაადეს მეორე ძელაკი. ამის შემდეგ იგი უკან ჩამოსრიალდა. შეადარეთ ერთმანეთს ზევით და ქვევით მოძრაობის დროები.



სურ. 2. 126



სურ. 2.127

8. ჰორიზონტისადმი 45^0-იანი კუთხით დახრილ სიბრტყის ქვედა წერტილში მოთავსებულ ძელაკს მიანიჭეს სიბრტყის პარალელური სიჩქარე. ძელაკი დახრილი სიბრტყის გარკვეულ წერტილამდე ავიდა და შემდეგ უკან ჩამოსრიალდა. ქვევიდან ზევით ასრიალებისას მისი აჩქარების მოდული 1,5-ჯერ მეტია, ვიდრე ქვევით ჩამოსრიალებისას. განსაზღვრეთ ხახუნის კოეფიციენტი სხეულსა და დახრილ სიბრტყის ზედაპირს შორის.

9. 4 მ სიმაღლისა და 5 მ სიგრძის დახრილი სიბრტყის ქვედა წერტილში მდებარე ძელაკს მიანიჭეს სიბრტყის პარალელური 9 მ/წმ საწყისი სიჩქარე. ამ მომენტიდან რა დროის შემდეგ დაიწყებს ძელაკი უკან ჩამოსრიალებას, თუ ხახუნის კოეფიციენტი ძელაკსა და დახრილ სიბრტყეს შორის 1/6-ია? მიიჩნიეთ, რომ $g = 10$ მ/წმ^2.

10. 4 მ სიმაღლისა და 5 მ სიგრძის დახრილი სიბრტყის ქვედა წერტილში მდებარე ძელაკს მიანიჭეს სიბრტყის პარალელური 9 მ/წმ საწყისი სიჩქარე. რა სიჩქარე ექნება ძელაკს საწყის წერტილში დაბრუნებისას, თუ ხახუნის კოეფიციენტი ძელაკსა და დახრილ სიბრტყეს შორის 1/6-ია? მიიჩნიეთ, რომ $g = 10$ მ/წმ^2.

ჯგუფური მუშაობა. ლაბორატორიული სამუშაო

სამუშაოს მიზანი: თავისუფალი ვარდნის აჩქარების მნიშვნელობის განსაზღვრა.
სამუშაოს აღწერა:

დაახლოებით 1,5 მ სიგრძის ფიცარზე მოათავსეთ ხის ძელაკი. თანდათანობით გაზარდეთ ფიცრის დახრის კუთხე მანამ, ვიდრე ძელაკი სრიალს დაიწყებს. დააფიქსირეთ დახრის ეს კუთხე. ცდა რამდენჯერმე გაიმეორეთ და დახრის კუთხეების საშუალო არითმეტიკული ჩაინიშნეთ რვეულში. პარაგრაფში მოყვანილი მსჯელობების თანახმად, მიღებული კუთხის ტანგენსი ძელაკსა და ფიცარს შორის ხახუნის კოეფიციენტის ტოლია.

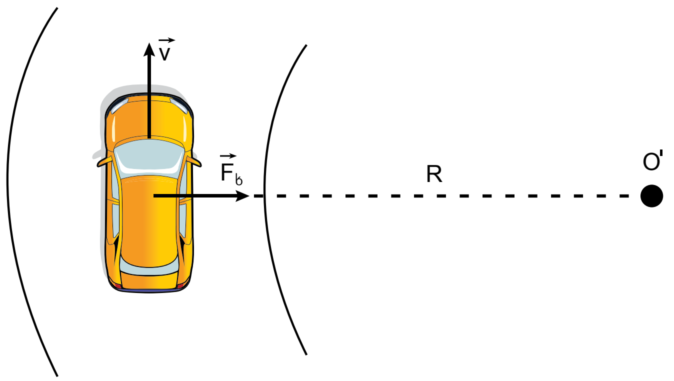
დახარეთ ფიცარი ჰორიზონტისადმი უფრო დიდი კუთხით. ამ შემთხვევაში მასზე დადებულ ძელაკი დასრიალდება. ჩაინიშნეთ ეს კუთხე. ფიცარზე მონიშნული ერთი ადგილიდან ძელაკი მრავალჯერ დაასრიალეთ, გაზომეთ ძელაკის ფიცრიდან (ზიძგის გარეშე) ჩამოსრიალების დროის შუალედების საშუალო არითმეტიკული. ძელაკის მიერ გავლილი მანძილითა და ამ მანძილის გასავლელად საჭირო დროის შუალედით გამოიანგარიშეთ ძელაკის აჩქარება: $s = \frac{at^2}{2}$. => $a = \frac{2s}{t^2}$. ძელაკის აჩქარებით, ფიცრის დახრის კუთხითა და ხახუნის კოეფიციენტით (რომელიც უკვე განსაზღვრული გვაქვს) გამოიანგარიშეთ თავისუფალი ვარდნის აჩქარება: a=g(sin a-μcos a) => $g = \frac{a}{(\sin a - \mu \cos a)}$.

§ 2.19 მოძრაობა მოსახვევში

„მოძრაობა მოსახვევში“ – ძალიან ხშირად გვხვდება ყოველდღიურ ცხოვრებაში. სხვადასხვა ტრანსპორტი მოხვევისას გარკვეული რადიუსის წრეწირის რკალზე მოძრაობს. თქვენ იცით, რომ ასეთი მოძრაობისას სხეულს ცენტრისკენული აჩქარება აქვს. ნიუტონის მეორე კანონის თანახმად კი, ცენტრისკენული აჩქარების არსებობისათვის საჭიროა სხეულზე ცენტრისკენ მიმართული ძალა მოქმედებდეს. სხეულზე რამდენიმე ძალის მოქმედების შემთხვევაში კი წრეწირის ცენტრისკენ მიმართული უნდა იყოს ამ ძალების ტოლქმედი. როგორ უხვევს სხეული მოსახვევში და რა ძალა უზრუნველყოფს მოხვევას? ჩვენ სწორედ ამ მთავარ კითხვებს უნდა გავცეთ პასუხი.

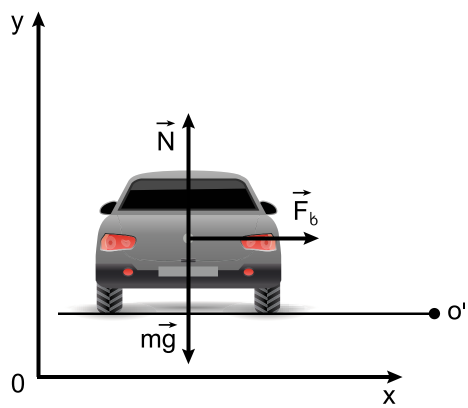
განვიხილოთ მოსახვევში მოძრაობის რამდენიმე მაგალითი:

1. ვთქვათ, R რადიუსიან მოსახვევში მოძრაობს ავტომობილი მოდულით მუდმივი $\vec{v}$ სიჩქარით (სურ. 2.128). მის საბურავებსა და გზის საფარს შორის ხახუნის კოეფიციენტი μ-ს ტოლია. დავადგინოთ, რა ძალა აიძულებს ავტომობილს მოუხვიოს და რა მაქსიმალური სიჩქარით შეიძლება იმოძრაოს მან, რომ არ მოსრიალდეს.



სურ. 2.128

თუ მოსახვევში მოძრავ ავტომობილს უკანა მხრიდან შევხედავთ, მაშინ მასზე მოქმედი ძალები ისე იქნება გამოსახული, როგორც სურ. 2.129 ნაჩვენები. რადგან ავტომობილის სიჩქარის მოდული მუდმივია, წინ მიმართული წევისა და უკან მიმართული წინააღმდეგობის ძალები ერთმანეთს აწონასწორებს. ისინი მოხვევის პროცესში არ მონაწილეობს, რის გამოც სურათზე არ არის აღნიშნული. ავტომობილზე მოქმედებს სიმძიმის $m\vec{g}$ ძალა, გზის საფარის მართობულად მოქმედი საყრდენის რეაქციის $\vec{N}$ ძალა და მოსახვევში წინა ბორბლების მობრუნების გამო აღძრული ხახუნის $\vec{F}_ხ$ ძალა, რომელიც მოსახვევის სიმრუდის O' ცენტრისკენ არის მიმართული. რადგან ავტომობილი რადიუსის გასწვრივ არ გადაადგილდება, ამიტომ ეს ძალა უძრაობის ხახუნის ძალას წარმოადგენს. სწორედ მისი მოქმედებით უხვევს ავტომობილი.



სურ. 2.129

ახლა დავადგინოთ, რა მაქსიმალური სიჩქარით შეიძლება იმოძრაოს მან, რომ არ მოსრიალდეს. დავწეროთ ნიუტონის მეორე კანონი ავტომობილისათვის:

$$m\vec{g} + \vec{N} + \vec{F}_ხ = m\vec{a}, \qquad (1)$$

რომელშიც $\vec{a}$ ავტომობილის ცენტრისკენული აჩქარებაა. OX ღერძი მივმართოთ რადიუსის გასწვრივ სიმრუდის ცენტრისკენ, OY კი – მის მართობულად ზევით. დავაგეგმილოთ (1) ტოლობა ღერძებზე, მივიღებთ:

$$OX: \qquad F_{\text{ხ}} = ma; \qquad (2)$$

$$OY: \qquad N - mg = 0. \qquad (3)$$

როგორც იცით, უძრაობის ხახუნის ძალის მოდული არ აღემატება სრიალის ხახუნის ძალის მნიშვნელობას – $F_{\text{ხ}} \leq \mu N$. (3) ტოლობის თანახმად კი, $N = mg$, ამიტომ გვექნება:

$$F_{\text{ხ}} \leq \mu mg. \qquad (4)$$

მეორე მხრივ, თუ (2) ტოლობაში გავითვალისწინებთ, რომ a —, უძრაობის ხახუნის ძალა ასეც შეგვიძლია ჩავწეროთ:

$$F_{\text{ხ}} = m\frac{v^2}{R}. \qquad (5)$$

(5)-ის (4)-ში ჩასმით მივიღებთ:

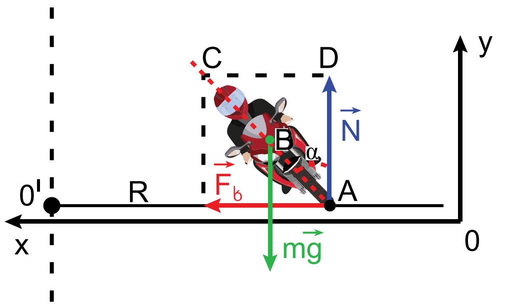
$$m\frac{v^2}{R} \leq \mu mg, \text{ საიდანაც, } v^2 \leq \mu Rg,$$

სიჩქარის მოდულის მაქსიმალური მნიშვნელობა კი იქნება:

$$v_{\text{მაქს}} = \sqrt{\mu Rg}.$$

რა სიდიდეები განსაზღვრავს მოსახვევში ავტომობილის სიჩქარის მაქსიმალურ მნიშვნელობას, როდესაც იგი ჯერ კიდევ არ სრიალებს? რა სიდიდეზე არაა დამოკიდებული სიჩქარის ეს მნიშვნელობა? რატომაა საჭირო მოსახვევთან დიდი სიჩქარით მიახლოებისას მისი შემცირება?

2. ვისაც ველოსიპედით გივლიათ, თხილამურებით ან ციგურებით გისრიალიათ, შეამჩნევდით, რომ მოსახვევში მისი ცენტრისკენ იხრებით. რატომ არის აუცილებელი დახრა? რამდენად შეიძლება დავიხაროთ შვეულიდან, რომ გვერდზე არ დავეცეთ?



სურ. 2.130

დავუშვათ, მოტოციკლისტი მოძრაობს R რადიუსის მქონე მოსახვევში. ხახუნის კოეფიციენტი საბურავებსა და გზის საფარს შორის μ-ს ტოლია. სურ. 2.130 გამოსახულია მოსახვევის ცენტრისაკენ დახრილი მოტოციკლი წინიდან. შევეცადოთ გამოვსახოთ მოტოციკლისტზე მოქმედი ძალები. აქამდე, თითქმის ყველა შემთხვევაში, სხეულზე მოქმედ ძალებს მოვდებდით ხოლმე ერთი წერტილში, რადგან ვიხილავდით სხეულის მხოლოდ გადატანით მოძრაობას. ახლა კი უნდა უზრუნველვყოთ მოტოციკლისტის მდგრადობა

– ის არ უნდა დავარდეს, ანუ მეტად არ უნდა შემოტრიალდეს სიმძიმის ცენტრის – B წერტილის მიმართ. ამ შემთხვევაში ძალები სხვადასხვა წერტილშია მოდებული და აუცილებელი მათი მოდების წერტილების სწორად გამოსახვა.

ვთქვათ, მოტოციკლი – მოტოციკლისტი სისტემის სიმძიმის ცენტრია B წერტილი. სწორედ ამ წერტილზეა მოდებული სიმძიმის $m\vec{g}$ ძალა. გზის საფარი მოტოციკლზე მოქმედებს A წერტილში მოდებული ორი ურთიერთმართობული ძალით: შვეულად ზევით მიმართული საყრდენის რეაქციის $\vec{N}$ ძალით და მოსახვევის ცენტრისკენ მიმართული უძრაობის ხახუნის $\vec{F}_ხ$ ძალით.

მე-8 კლასის ფიზიკის კურსიდან თქვენ იცით, რომ სხეულის მასათა ცენტრი იმ ძალთა მოქმედების წრფეების გადაკვეთის წერტილია, რომელთაგან თითოეული იწვევს სხეულის მხოლოდ გადატანით მოძრაობას.

მოტოციკლისტისა და მოტოციკლის მასათა ცენტრი მის სიმძიმის ცენტრს ემთხვევა. სიმძიმის ძალა გადის მასათა ცენტრზე, ამიტომ ის მოტოციკლს B წერტილის მიმართ ვერ მოატრიალებს. ე.ი. მოტოციკლისტი ისე უნდა გადაიხაროს, რომ დახრის შედეგად გაჩენილი უძრაობის ხახუნის $\vec{F}_ხ$ ძალისა და საყრდენის რეაქციის $\vec{N}$ ძალის ტოლქმედის მოქმედების წრფემაც მასათა ცენტრზე გაიაროს, ანუ მიმართული იყოს AB წრფის გასწვრივ. ასეთ შემთხვევაში მოტოციკლი არ ამოტრიალდება, ხოლო მოსახვევის ცენტრისკენ მიმართული $\vec{F}_ხ$ ძალა გამოიწვევს მის მოძრაობას წრეწირის რკალზე.

ახლა გამოვითვალოთ მოტოციკლის მოსახვევში მოძრაობის მაქსიმალური სიჩქარე და შვეულიდან გადახრის კუთხის დამოკიდებულება სიჩქარეზე. ამისათვის დავწეროთ ნიუტონის მეორე კანონი მოტოციკლისათვის:

$$m\vec{g} + \vec{N} + \vec{F}_ხ = m\vec{a},$$

რომელშიც m მოტოციკლისა და მოტოციკლისტის მასათა ჯამია, $\vec{a}$ – მათი ცენტრისკენული აჩქარება.

OX ღერძი მივმართოთ რადიუსის გასწვრივ სიმრუდის ცენტრისაკენ, OY კი – მის მართობულად, ზევით. თუ წინა შემთხვევის ანალოგიურ მოქმედებებს ჩავატარებთ, მივიღებთ, რომ მაქსიმალური სიჩქარე იმავე ფორმულით განისაზღვრება, რაც ავტომობილის შემთხვევაში – $v_{მაქს} = \sqrt{\mu Rg}$.

შვეულიდან დახრის α კუთხის საპოვნელად გამოვიყენოთ მიღებული ფორმულები:

$$F_ხ = m\frac{v^2}{R} \text{ და } N = mg.$$

როგორც სურათიდან ჩანს,

$$tg\alpha = \frac{F_ხ}{N} = \frac{m\frac{v^2}{R}}{mg} = \frac{v^2}{Rg}.$$

მიღებული ფორმულა გვიჩვენებს, რომ რაც უფრო დიდია მოსახვევში მოტოციკლის სიჩქარე, მით უფრო დიდი კუთხით უნდა დაიხაროს ის ვერტიკალიდან.

მაქსიმალური სიჩქარით მოხვევისას რისი ტოლია მოტოციკლის ვერტიკალიდან დახრის კუთხის ტანგენსი?

3. მატარებლით მგზავრობისას, ალბათ, შეგიმჩნევიათ, რომ მოსახვევში მოძრაობისას ისმის ლითონის ღრჭიალის ხმა. საიდან წარმოიქმნება ეს ხმა? როგორ უხვევს მატარებელი?

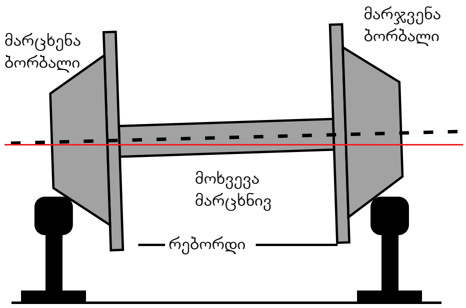
ავტომობილის მოხვევისას, მოსახვევის ცენტრის მხარეს მყოფი წინა ბორბალი გადის ნაკლებ მანძილს, ვიდრე გარე ბორბალი. შესაბამისად, წინა გარე ბორბალი უფრო სწრაფად ტრიალებს, ვიდრე შიდა ბორბალი. ავტომობილისათვის ეს შესაძლებელია იმიტომ, რომ ყველა ბორბალს დამოუკიდებლად შეუძლია ბრუნვა.

მატარებლის შემთხვევაში ეს შეუძლებელია, რადგან ერთ ღერძზე მყოფი ბორბლები ერთმანეთთან მყარად არიან დაკავშირებულნი. ამიტომ მატარებლის ბორბალს განსაკუთრებული აგებულება აქვს: ბორბლის გარე მხარის რადიუსი ნაკლებია, ვიდრე შიდა მხარისა. ამასთან, შიდა მხარის ბოლოში ბორბალს აქვს დისკო, რომელსაც გააჩნია უფრო დიდი დიამეტრი, ვიდრე ბორბალს (სურ. 2.131). ამ დისკოს რებორდი ეწოდება. ორი ასეთი ერთნაირი ბორბალი ჩამოცმულია ღერძზე და მასზე უძრავადაა დამაგრებული.

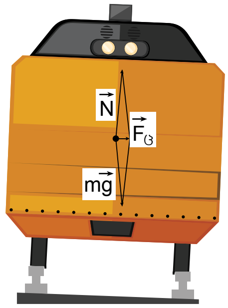
რებორდი საშუალებას არ აძლევს მატარებელს ლიანდაგიდან გადავიდეს.

სურ. 2.132 ნაჩვენებია მატარებლის ბორბლების ერთი წყვილი უკანა მხრიდან, როცა მატარებელი უხვევს მარცხნივ. ვიდრე მატარებელი მოძრაობდა სწორ რელსებზე, ბორბლები მათ ეხებოდა ერთნაირი დიამეტრის მქონე ზედაპირებით – ისინი ერთნაირ მანძილს გადიოდა. მაგრამ როცა რელსები მარცხნივ მოუხვევს, მატარებელი ინერციით ჯერ კიდევ წინ მიდის, ამიტომ მარცხენა რელსზე აღმოჩნდება ბორბლის მცირე დიამეტრის ზედაპირი, მარჯვენაზე კი – დიდი დიამეტრის ზედაპირი. შედეგად, მარცხენა ბორბალი გაივლის ნაკლებ მანძილს, ვიდრე მარჯვენა ბორბალი და მატარებელი მარცხნივ მოუხვევს. მისი ლიანდაგებიდან გადასვლას ხელს უშლის მარჯვენა ბორბლის რებორდი, რომელსაც რელსი მარცხნივ აწვება და ლიანდაგიდან მარჯვნივ გადასვლის საშუალებას არ აძლევს. ლიანდაგის დაგებისას მოსახვევებს ისე გეგმავენ, რომ რებორდი რაც შეიძლება იშვიათად შეეხოს რელსს. მაგრამ რელსთან შეხებისას რელსიც და რებორდიც დეფორმირდება, რელსში აღიძვრება დრეკადობის ძალა, რომლითაც ის მოქმედებს მატარებელზე მოსახვევის ცენტრის მიმართულებით და ეხმარება მას მოხვევაში.


სურ. 2.131



სურ. 2.132



სურ. 2.133

იმისათვის, რომ მოსახვევში მატარებელმა ძალიან არ შეამციროს სიჩქარე (უსაფრთხოების გამო) და რებორდზე დაწოლაც შემცირდეს, მოსახვევში რკინიგზის ვაკისს ოდნავ ხრიან მოსახვევის ცენტრისკენ. სურ 2.133 გამოსახულ შემთხვევაში მატარებელი უხვევს მარჯვნივ. ამ შემთხვევაში მატარებელზე მოქმედი სიმძიმის $m\vec{g}$ ძალა და რელსის რეაქციის $\vec{N}$ ძალა ერთმანეთს აღარ გააწონასწორებს და მათი ტოლქმედის სახით გაჩნდება მოსახვევის ცენტრისაკენ მიმართული დამატებითი ძალა. ხშირად ასეთ დახრას აკეთებენ ჩქაროსნულ ავტომაგისტრალებზე და ველოტრეკებზე (სურ 2.134).



სურ. 2.134

დასკვნები:

- ჰორიზონტალურ გზაზე ავტომობილის მოხვევას მის საბურავებსა და გზის საფარს შორის აღძრული უძრაობის ხახუნის ძალა იწვევს;
- ჰორიზონტალურ გზაზე მოსახვევში მოძრაობის მაქსიმალური სიჩქარე გამოითვლება ფორმულით: $v_{მაქს} = \sqrt{\mu R g}$;
- ჰორიზონტალურ გზაზე მოტოციკლის მოხვევისას შვეულიდან დახრის კუთხის ტანგენსი გამოითვლება ფორმულით: $tg\alpha = \frac{v^2}{Rg}$;
- რაც უფრო დიდია მოსახვევში მოტოციკლის სიჩქარე (დასაშვებ მაქსიმალურ მნიშვნელობამდე), მით უფრო დიდი კუთხით უნდა დაიხაროს ის ვერტიკალიდან;
- მოხვევის გასაადვილებლად გზის პროფილს მოხვევის მხარეს ხრიან.

საკონტროლო კითხვები:

1. შეძლებს თუ არა ავტომობილი აბსოლუტურად გლუვ ყინულზე მოხვევას?
2. რატომ იხრება მოტოციკლისტი მოხვევის დროს?
3. რა დანიშნულება აქვს მატარებლის ბორბლის რებორდს?
4. რატომ არის მატარებლის ბორბლის გარე მხარეს რადიუსი უფრო მცირე, ვიდრე შიდა მხარისა?

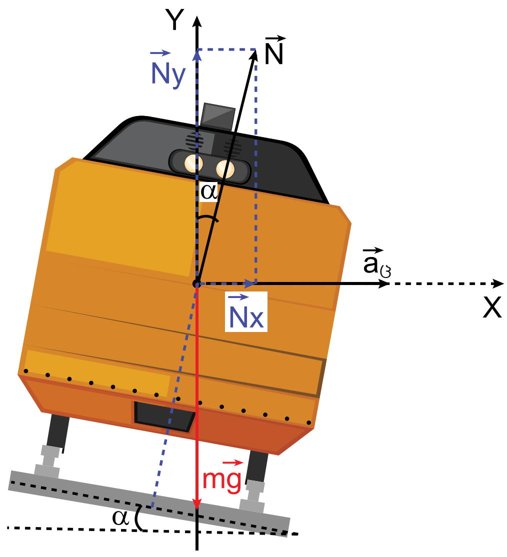
ერთად ამოვხსნათ ამოცანა

მატარებელი მოძრაობს 100 მ სიმრუდის რადიუსის მოსახვევში 36 კმ/სთ სიჩქარით (სურ 2.135). რა კუთხით უნდა იყოს დახრილი ლიანდაგების სიბრტყე ჰორიზონტისადმი, რომ მატარებლის ბორბლების რებორდებზე რელსების მხრიდან ძალა არ მოქმედებდეს?

ამოხსნა:

მოც:
$R = 100$ მ
$v = 10$ მ/წმ²
უ.ვ. α

მოცემულ სურათზე გამოსახული ვაგონი გადაადგილდება სურათის სიბრტყის მართობულად სურათისკენ და უხვევს ჩვენგან მარჯვნივ. შესაბამისად, მისი ცენტრისკენული აჩქარებაც მარჯვნივაა მიმართული – მოსახვევის სიმრუდის ცენტრისაკენ. დავშალოთ რეაქციის ძალა ჰორიზონტალურ – $\vec{N}_x$ და ვერტიკალურ – $\vec{N}_y$ მდგენელებად. კუთხე ლიანდაგების სიბრტყესა და ჰორიზონტს შორის იგივეა, რაც კუთხე რეაქციის ძალასა და ვერტიკალს შორის. ვინაიდან მატარებლის ბორბლებზე (რებორდებზე) ლიანდაგი არ მოქმედებს, ვაგონის ცენტრისკენულ აჩქარებას მხოლოდ რეაქციის ძა-

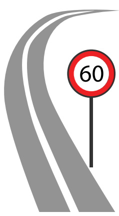


სურ. 2.135

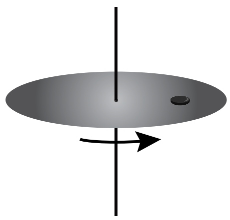
ლის $\vec{N}_x$ მდგენელი იწვევს. ნიუტონის მეორე კანონის თანახმად, $N_x = ma_ც$ (1). სურათიდან ჩანს, რომ $N_x = N\sin\alpha$, ხოლო ცენტრისკენული აჩქარება $a_ც = \frac{v^2}{R}$. შევიტანოთ მიღებული გამოსახულებები (1) ფორმულაში, მივიღებთ: $N\sin\alpha = m\frac{v^2}{R}$ (2). ვინაიდან ვაგონი y ღერძის გასწვრივ არ გადაადგილდება: $N_y = mg \Leftrightarrow N\cos\alpha = mg$ (3). თუ მეორე განტოლებას შევაფარდებთ მესამესთან, მივიღებთ: $tg\alpha = \frac{v^2}{gR} = 0{,}1$. აქედან, $\alpha \approx 6^0$.
პასუხი: ლიანდაგების სიბრტყე ჰორიზონტისადმი დახრილი უნდა იყოს 6^0-იანი კუთხით.

ამოხსენით ამოცანები:

1. რატომ ამცირებენ მძღოლები ავტომობილის სიჩქარეს მოსახვევთან მიახლოებისას?
2. რატომ უნდა შევიდეს ავტომობილი მოსახვევში წვიმიან ამინდში უფრო დაბალი სიჩქარით, ვიდრე მშრალ ამინდში?
3. ჰორიზონტალური გზის მოსახვევამდე დგას დასაშვები მაქსიმალური სიჩქარის შემზღუდავი ნიშანი (სურ 2.136). როგორ ფიქრობთ, რატომ ვრცელდება ეს შეზღუდვა ერთნაირად ყველა ავტომობილზე?
4. ავტომობილი უხვევს 100 მ სიმრუდის რადიუსის მქონე ჰორიზონტალურ მოსახვევში. რა მაქსიმალური სიჩქარით შეუძლია მას იმოძრაოს ამ მოსახვევში, რომ ასფალტზე არ მოსრიალდეს? ხახუნის კოეფიციენტი ავტომობილის საბურავებსა და ასფალტის ზედაპირს შორის 0,625-ია. $g \approx 10$ მ/წმ^2.
5. 50 ტ მასის ელმავალი 18 კმ/სთ სიჩქარით უხვევს 100 მ სიმრუდის რადიუსის მქონე მოსახვევში. რა ძალით მოქმედებს ლიანდაგი ელმავლის ბორბლების რებორდებზე, თუ ლიანდაგი ჰორიზონტალურადაა დაგებული?
6. ჰორიზონტალურ სიბრტყეში მბრუნავ დისკოზე დევს მცირე ზომის მონეტა (სურ 2.137). დისკოს ბრუნვის სიხშირის რა მაქსიმალური მნიშვნელობისთვის არ გასრიალდება მონეტა დისკოზე? ხახუნის კოეფიციენტი დისკოს ზედაპირსა და მონეტას შორის 0,2-ია. მიიჩნიეთ, რომ რიცხობრივად $\pi^2 \approx g$.
7. ჰორიზონტალურ სიბრტყეში მბრუნავ დისკოზე, ბრუნვის ღერძიდან 20 სმ მანძილზე, დევს მცირე ზომის მონეტა (სურ 2.137). როდესაც დისკოს ბრუნვის სიხშირე ორჯერ გაზარდეს, მონეტა დისკოზე არ გასრიალდა და მასზე მოქმედი უძრაობის ხახუნის ძალის მოდული 6 ნ-ით გაიზარდა. რისი ტოლი იყო უძრაობის ხახუნის ძალის მოდული თავდაპირველად?



სურ. 2. 136


სურ. 2. 137

8. გზის ჰორიზონტალურ უბანზე, მოსახვევში, მოძრაობს მოტოციკლი ისე, რომ მისი საბურავები ასფალტზე გასრიალების ზღვარზეა. რისი ტოლი უნდა იყოს მოტოციკლის ვერტიკალიდან დახრის კუთხის ტანგენსი, რომ იგი არ გადაბრუნდეს? ხახუნის კოეფიციენტი მოტოციკლის საბურავებსა და ასფალტის ზედაპირს შორის 0,7-ია.

სურ. 2. 138

9. გზის ჰორიზონტალურ უბანზე, 40 მ სიმრუდის რადიუსის მქონე მოსახვევში, უხვევს მოტოციკლი ისე, რომ იგი ვერტიკალიდან 45^0-იანი კუთხითაა დახრილი. განსაზღვრეთ მოტოციკლის სიჩქარის მოდული. მიიჩნიეთ, რომ $g \approx 10$ მ/წმ^2.

10. ახსენით, რატომ არის ჩქაროსნული ავტომაგისტრალის გზის პროფილი ჰორიზონტისადმი დახრილი (სურ 2.138)?

საშინაო ცდა.

ცდის მიზანი: ამომგდები ძალის წარმოქმნის მიზეზის დადგენა.

ცდისთვის საჭიროა: წყალი, ჭურჭელი სწორი და პრიალა ფსკერით, რამდენიმე ვაშლი.

ცდის აღწერა: ჩამოაჭერით ვაშლს ნახევარზე ნაკლები ნაწილი ისე, რომ განაჭერი საკმაოდ ბრტყელი და ერთგვაროვანი იყოს. ერთი ნაჭერი წყლიან ჭურჭელში ჩადეთ და დააკვირდით, ამოტივტივდება თუ არა ის. მეორე ნაჭერი გაჭრილი ზედაპირით ცარიელი ჭურჭლის ფსკერს მჭიდროდ დაადეთ და ფრთხილად დაასხით წყალი. დააკვირდით, ამოტივტივდება თუ არა ეს ნაჭერი. ცდა რამდენჯერმე გაიმეორეთ. მიღებული შედეგები ჩაიწერეთ რვეულში და გააანალიზეთ, რა არის საჭირო იმისათვის, რომ წყალმა სხეული ამოატივტივოს?

§ 2.20 არქიმედეს კანონი

მე-7 კლასში თქვენ ექსპერიმენტულად შეისწავლეთ სითხეებსა და აირებში მოთავსებულ სხეულებზე მოქმედი ამომგდები ძალა. ამ ძალის მოქმედების შედეგია გემის ცურვა, საჰაერო ბურთის ფრენა, დუღილისას ბუშტულების წყლის ზედაპირისაკენ მოძრაობა (სურ. 2.139) და სხვა.

სურ. 2. 139

გავიმეოროთ ადრე ჩატარებული ცდა: დინამომეტრზე ჩამოვკიდოთ რაიმე ტვირთი. ზამბარაზე იმოქმედებს ტვირთის სიმძიმის ძალის ტოლი ძალა და გაჭიმავს მას (სურ 2.140 ა). ჩავინიშნოთ დინამომეტრის ჩვენება. ცხადია, ის ტვირთის სიმძიმის ძალის მოდულის ტოლია. ჩავუშვათ ტვირთი წყლიან ჭურჭელში. დინამომეტრის ჩვენება შემცირდება (სურ. 2.140 ბ). ეს ნიშნავს, რომ წყალში ჩაშვების შემდეგ ტვირთზე, სიმძიმისა და ზამბარის დრეკადობის ძალების გარდა, სითხის მხრიდან იმოქმედა შვეულად ზემოთ მიმართულმა ძალამ, რომელსაც ამომგდები ძალა ვუწოდეთ. მისი მოდული დინამომეტრის საწყისი და საბოლოო ჩვენებების სხვაობის ტოლია. ასევე დავადგინეთ, რომ:

სურ. 2.140

სითხეში (აირში) ჩაძირულ სხეულზე მოქმედი ამომგდები ძალა მოდულით ამ სხეულის მიერ გამოდევნილ სითხეზე (აირზე) მოქმედი სიმძიმის ძალის ტოლია:

$$F_ა = \rho g V,$$

რომელშიც ρ სითხის (აირის) სიმკვრივეა, g – თავისუფალი ვარდნის აჩქარება, V სხეულის მოცულობაა. თუ სხეული სითხეში მთლიანად არ არის ჩაძირული, მაშინ V სხეულის სითხეში მოთავსებული ნაწილის მოცულობაა.

ამ დებულებას არქიმედეს კანონი ეწოდება, ხოლო ამომგდებ ძალას ხშირად არქიმედეს ძალასაც უწოდებენ, მისი აღმომჩენის, გამოჩენილი ძველი ბერძენი მოაზროვნის, არქიმედეს, პატივსაცემად.

ახლა შევეცადოთ, იგივე კანონი დავადგინოთ თეორიულად. ამისათვის ჯერ გაიხსენეთ წნევა, მისი გამომსახველი ფორმულები და პასკალის კანონი.

- სიდიდეს, რომელიც განისაზღვრება წნევის ძალის (ზედაპირის მართობულად მოქმედი ძალის) მოდულის ფარდობით იმ ზედაპირის ფართობთან, რომელზეც ის მოქმედებს, წნევა ეწოდება:

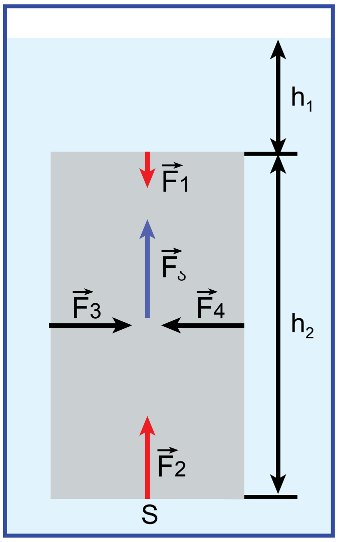
$$p = \frac{F}{S}.$$

წნევა გვიჩვენებს ფართობის ერთეულზე მოქმედ წნევის ძალას. მისი ერთეული საერთაშორისო სისტემაში არის 1 ნ/მ^2 = 1 პასკალი (პა);

- პასკალის კანონი: დახშულ ჭურჭელში მოთავსებულ აირზე ან სითხეზე წარმოებული წნევა უცვლელად გადაეცემა მათ ნებისმიერ წერტილს ყველა მიმართულებით;
- უძრავი სითხის წნევას, რომელსაც ის აწარმოებს სიმძიმის ძალის მოქმედებით, ჰიდროსტატიკური წნევა ეწოდება. ეს წნევა გამოისახება ფორმულით:

$$p = \rho g h,$$

რომელშიც ρ სითხის სიმკვრივეა, g – თავისუფალი ვარდნის აჩქარება, h – სითხის სვეტის სიმაღლე.



სურ. 2.141

სიმარტივისთვის დავუშვათ, რომ ρ სიმკვრივის სითხეში ჩაშვებულია მართკუთხა პარალელეპიპედის ფორმის სხეული (სურ. 2.141). ამ სურათზე სხეულის მხოლოდ წინა ხედია გამოსახული. მისი ზედა და ქვედა წახნაგის ფართობია S, სიმაღლე – h_2, ხოლო მანძილი სითხის თავისუფალი ზედაპირიდან ზედა წახნაგამდე – h_1.

პარალელეპიპედის ზედა წახნაგზე სითხე აწარმოებს წნევას, რომელიც ტოლია:

$$p_1 = \rho g h_1.$$

შესაბამისად, პარალელეპიპედის ზედა წახნაგზე სითხე მოქმედებს ქვევით მიმართული წნევის ძალით, რომლის მოდულია

$$F_1 = \rho g h_1 S \qquad (1)$$

ვინაიდან ერთსა და იმავე სიღრმეზე სითხის მიერ წარმოებული წნევა ყველა მიმართულებით ერთნაირია, ამიტომ პარალელეპიპედის მოპირდაპირე წახნაგებზე მოქმედი წნევის ძალები ერთმანეთს აწონასწორებს: $\vec{F}_3 = -\vec{F}_4$. პარალელეპიპედის ქვედა წახნაგი სითხის თავისუფალი ზედაპირიდან $(h_1 + h_2)$ სიღრმეზეა. პასკალის კანონის თანახმად, სითხე მასზე აწარმოებს წნევას, რომლის მნიშვნელობა ტოლი იქნება:

$$p_2 = \rho g (h_1 + h_2).$$

ამიტომ ქვედა წახნაგზე სითხე მოქმედებს ზევით მიმართული წნევის ძალით, რომლის მოდული ტოლია:

$$F_2 = \rho g(h_1 + h_2)S \qquad (2)$$

(1) და (2) ტოლობებიდან ჩანს, რომ $F_2 > F_1$, ამიტომ ეს ძალები ერთმანეთს ვერ გააწონასწორებს, მათი ტოლქმედი ზევითაა მიმართული. სწორედ ეს არის ამომგდები ძალა, რომლის მოდული ტოლი იქნება:

$$F_ა = F_2 - F_1 = \rho g(h_1 + h_2)S - \rho g h_1 S = \rho g h_2 S. \qquad (3)$$

ახლა თქვენ შეგიძლიათ ახსნათ საშინაო ცდაში მიღებული შედეგი, თუ რატომ არ ამოტივტივდა ჭურჭლის ფსკერზე დადებული ვაშლის ნაჭერი ჭურჭელში წყლის ჩასხმის შემდეგ.

დავუბრუნდეთ (3) ტოლობას. თუ გავითვალისწინებთ, რომ $h_2S = V$ პარალელეპიპედის მოცულობაა, მაშინ:

$$F_ა = \rho g V. \qquad (4)$$

მივიღეთ იგივე შედეგი, რაც ადრე ექსპერიმენტულად გვქონდა დადგენილი ნებისმიერი ფორმის სხეულისთვის.

არქიმედეს ძალა მოქმედებს აირში მყოფ სხეულზეც, მაგრამ აირის სიმკვრივის სიმცირის გამო მისი მოდული სითხეში იმავე სხეულზე მოქმედ არქიმედეს ძალასთან შედარებით მცირეა.

ჩვეულებრივ, სითხეში მოთავსებულ სხეულზე მოქმედებს ორი ძალა: შვეულად ზევით მიმართული ამომგდები და ქვევით მიმართული სიმძიმის ძალა. ამ ძალთა თანაფარდობა განსაზღვრავს სხეულის ცურვის პირობებს, რომლებიც მე-7 კლასში ასე ჩამოვაყალიბეთ:

1. თუ სხეულზე მოქმედი სიმძიმის ძალა მოდულით ამომგდებ ძალაზე მეტია, სხეული იძირება;

2. თუ სხეულზე მოქმედი სიმძიმის ძალა მოდულით ამომგდები ძალის ტოლია, ჩაძირულ მდგომარეობაში მყოფი სხეული სითხეში ნებისმიერ ადგილას წონასწორობაში იქნება;

3. თუ სხეულზე მოქმედი სიმძიმის ძალა მოდულით ამომგდებ ძალაზე ნაკლებია, სხეული წყლის ზედაპირზე ამოვა და იტივტივებს.

შეეცადეთ დამოუკიდებლად დაასაბუთოთ, რომ ცურვის იგივე პირობები, სითხისა და სხეულის სიმკვრივეების თანაფარდობით, ასე ჩამოყალიბდება:

1. თუ სხეულის სიმკვრივე მეტია სითხის სიმკვრივეზე – $\rho_{სხ} > \rho_{სით}$, სხეული ჩაიძირება;

2. თუ სხეულისა და სითხის სიმკვრივეები ტოლია – $\rho_{სხ} = \rho_{სით}$, სხეული სითხეში ნებისმიერ ადგილას წონასწორობაში იქნება;

3. თუ სხეულის სიმკვრივე ნაკლებია სითხის სიმკვრივეზე – $\rho_{სხ} < \rho_{სით}$, სხეული ამოვა სითხის ზედაპირზე და ნაწილობრივ ჩაძირული წონასწორულ მდგომარეობაში იქნება.

როდესაც სხეული ერთგვაროვანია (მისი სიმკვრივე ყველგან ერთნაირია), მაშინ $\rho_{სხ}$-ში იგულისხმება იმ ნივთიერების სიმკვრივე, რომლისგანაც ის არის დამზადებული. არაერთგვაროვანი სხეულების შემთხვევაში სითხის სიმკვრივეს უნდა შევადაროთ სხეულის საშუალო სიმკვრივე. მაგალითად, თანამედროვე გემები დამზადებულია ლითონისაგან, რომლის სიმკვრივე წყლის სიმკვრივეზე ბევრად დიდია. მაგრამ გემს აქვს დიდი მოცულობა, შიგნიდან ის ღრუა და ამიტომ მისი საშუალო სიმკვრივე წყლის სიმკვრივეზე ნაკლებია. სწორედ ამის გამო გემი ტივტივებს და არ იძირება. უსაფრთხოების მიზნით მისი ქვედა ნაწილი ერთმანეთისგან ჰერმეტულად გამოყოფილი სექციებისაგან შედგება. ავარიისას, ერთ-ერთ სექციაში წყლის შესვლის შემთხვევაში, დანარჩენი სექციები მშრა-

ლი დარჩება. მართალია, გემზე მოქმედი სიმძიმის ძალა გაიზრდება, მაგრამ ამომგდები ძალა მაინც საკმარისი იქნება გემის წყლის ზედაპირზე დარჩენისათვის.

წყალქვეშა ნავებს აქვს დიდი მოცულობის ცარიელი რეზერვუარები. სიღრმეში ჩასასვლელად რეზერვუარებს ავსებენ წყლით. ამ დროს სიმძიმის ძალა იზრდება და ნავი იძირება. ჩაძირვის შესაწყვეტად წყალს ნაწილობრივ განდევნიან რეზერვუარიდან, სიმძიმის ძალა მოდულით ამომგდებ ძალას გაუტოლდება და წყალქვეშა ნავი ამ სიღრმეზე წონასწორობაში იქნება. ზედაპირზე ამოსასვლელად რეზერვუარებს წყლისაგან ცლიან, რის შედეგადაც წყალქვეშა ნავზე მოქმედი სიმძიმის ძალა მოდულით ამომგდები ძალაზე ნაკლები ხდება.

თევზებს ცურვის პირობების შეცვლა შეუძლიათ ორგანიზმში არსებული საჰაერო ბუშტით, რომლის მოცულობის რეგულირებით მათზე მოქმედ ამომგდებ ძალას ცვლიან.

თუ საჰაერო ბურთს ავავსებთ ცხელი ჰაერით (ცხელი ჰაერის სიმკვრივე ცივი ჰაერის სიმკვრივეზე ნაკლებია) ან ჰაერთან შედარებით მსუბუქი აირით, ის აფრინდება. სწორედ ამომგდები ძალის მეშვეობით ადის მაღლა ჰელიუმით სავსე საჰაერო ბურთი.

დასკვნები:

- სითხეში (აირში) ჩაძირულ სხეულზე მოქმედი ამომგდები ძალა მოდულით ამ სხეულის მიერ გამოდევნილ სითხეზე (აირზე) მოქმედი სიმძიმის ძალის ტოლია: $F_ა = \rho g V$;
- თუ სხეულის სიმკვრივე მეტია სითხის სიმკვრივეზე – $\rho_{სხ} > \rho_{სით}$, სხეული ჩაიძირება;
- თუ სხეულისა და სითხის სიმკვრივეები ტოლია – $\rho_{სხ} = \rho_{სით}$, სხეული სითხეში ნებისმიერ ადგილას წონასწორობაში იქნება;
- თუ სხეულის სიმკვრივე ნაკლებია სითხის სიმკვრივეზე – $\rho_{სხ} < \rho_{სით}$, სხეული ამოვა სითხის ზედაპირზე და ნაწილობრივ ჩაძირული წონასწორულ მდგომარეობაში იქნება.

საკონტროლო კითხვები:

1. დამოკიდებულია თუ არა არქიმედეს ძალა სხეულის ფორმაზე?
2. რა არის ამომგდები ძალის წარმოქმნის მიზეზი?
3. ერთი და იმავე მასის ალუმინისა და ტყვიის ბირთვებიდან, რომელზე იმოქმედებს მეტი ამომგდები ძალა? რატომ?
4. რატომ ტივტივებს ნავთობი წყლის ზედაპირზე?

ერთად ამოვხსნათ ამოცანა

40 ტ მასის გემი შედის ზღვიდან მდინარეში. რამდენით უნდა შემცირდეს გემზე მოთავსებული ტვირთის მასა, რომ მდინარეში შესვლისას გემის ჩაძირული ნაწილის მოცულობა არ შეიცვალოს?

ამოხსნა:

მოც:
$\rho_{ზღ} = 1030$ კგ/მ^3;
$\rho_{მდ} = 1000$ კგ/მ^3;
$m = 40$ ტ $= 4 \cdot 10^4$ კგ.
უ.გ. m_1

ზღვის წყლის სიმკვრივე მდინარის წყლის სიმკვრივეზე მეტია, ამიტომ ჯერ დავადგინოთ კავშირი გემის ჩაძირული ნაწილის მოცულობასა და წყლის სიმკვრივეს შორის. წონასწორობისას გემზე მოქმედი შვეულად ზევით მიმართული ამომგდები ძალა მოდულით შვეულად ქვევით მიმართული მისი სიმძიმის ძალის ტოლია: $mg = \rho g V \Rightarrow V = \dfrac{m}{\rho}$, რომელშიც V გემის ჩაძირული ნაწილის მოცულობაა, m – გემის მასა, ხოლო ρ – წყლის სიმკვრივე. როდესაც გემი ზღვაშია, მისი ჩაძირული ნაწილის მოცულობა $V_1 = \dfrac{m}{\rho_{ზღ}}$. ვინაიდან მდინარის წყლის სიმკვრივე ნაკლებია ზღვის წყლისაზე, გემის მდინარეში შესვლის შემდეგ მისი ჩაძირული ნაწილის მოცულობა რომ არ შეიცვალოს, გემის მასა გარკვეული m_1 მნიშვნელობით უნდა შემცირდეს. ამიტომ $V_2 = \dfrac{(m - m_1)}{\rho_{მდ}}$. ამოცანის პირობის თანახმად:

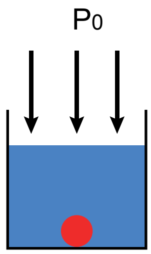
$$V_1 = V_2 \Leftrightarrow \frac{m}{\rho_{ზღ}} = \frac{(m - m_1)}{\rho_{მდ}} \Rightarrow m_1 = \frac{m(\rho_{ზღ} - \rho_{მდ})}{\rho_{ზღ}} \approx 1165 \text{ კგ}.$$

პასუხი: გემის მასა დაახლოებით 1165 კგ-ით უნდა შემცირდეს.

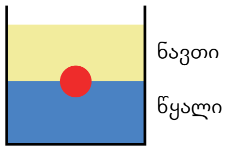
ამოხსენით ამოცანები:

1. წყალში ცურავს 5 კგ მასის სფერო. რისი ტოლია სფეროზე მოქმედი ამომგდები ძალის მოდული? მიიჩნიეთ, რომ g=10 მ/წმ^2.
2. განსაზღვრეთ წყალში ჩაძირულ 10 სმ^3 მოცულობის სხეულზე მოქმედი ამომგდები ძალის მოდული. მიიჩნიეთ, რომ g=10 მ/წმ^2.
3. განსაზღვრეთ წყალზე მოტივტივე ყინულის წყალში ჩაძირული ნაწილისა და წყლის ზემოთ არსებული ნაწილის მოცულობების შეფარდება.
4. ჭურჭელში ჩასხმული წყლის ზედაპირზე ტივტივებს ყინულის ნაჭერი. შეიცვლება თუ არა წყლის დონე ჭურჭელში ყინულის მთლიანად გადნობის შემდეგ? პასუხი დაასაბუთეთ.
5. ჭურჭელში ჩასხმულ წყალზე ტივტივებს ყინულის ნაჭერი, რომელშიც ჩაყინულია მცირე ზომის ტყვიის ბურთულა. როგორ შეიცვლება წყლის დონე ჭურჭელში ყინულის მთლიანად გადნობის შემდეგ? პასუხი დაასაბუთეთ.
6. თავღია ცილინდრულ ჭურჭლში ჩასხმულია წყალი, რომელშიც ჩაძირულია ლითონის სფერო. შეიცვლება თუ არა სფეროზე მოქმედი ამომგდები ძალა, თუ წყლის ზედაპირზე ატმოსფერული წნევა მოიმატებს (სურ. 2.142)?
7. წყლისა და ნავთის გამყოფ საზღვარზე წონასწორულ მდგომარეობაშია 900 კგ/მ^3 სიმკვრივის ბურთულა. განსაზღვრეთ ბურთულის წყალში და ნავთში მოთავსებული ნაწილების მოცულობების შეფარდება (სურ. 2.143).

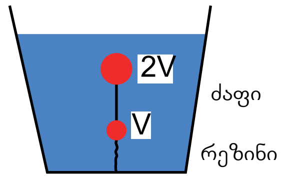
8. ერთმანეთზე წვრილი ძაფით გადაბმული V და 2V მოცულობის მსუბუქი ღრუ სფეროები ჩაძირეს წყალში და რეზინის ზონარით მიაბეს ფსკერზე (სურ. 2.144). რამდენჯერ მეტია ზონრის დაჭიმულობის ძალის მოდული სფეროების შემაერთებელი ძაფის დაჭიმულობის ძალის მოდულზე? სფეროების მასას ნუ გაითვალისწინებთ.



სურ. 2.142



სურ. 2.143



სურ. 2.144

9. წყლის ზედაპირიდან 0.5 მ სიღრმეზე თოკით ფსკერზე მიბმულია მცირე ზომის ბურთულა, რომლის სიმკვრივე 800 კგ/მ^3-ია. რა სიჩქარით ამოვარდება ბურთულა წყლიდან, თუ მას გავათავისუფლებთ? ბურთულაზე მოქმედი არქიმედეს ძალა მიიჩნიეთ მუდმივად, წყლის წინააღმდეგობის ძალებს ნუ გაითვალისწინებთ. $g=10$ მ/წმ^2.

10. რა სიღრმეზე ჩაძირეს წყალში 950 მ^3 სიმკვრივის ბურთულა, თუ გათავისუფლების შემდეგ ის წყლის ზედაპირზე 1 წამში ამოვიდა? ბურთულაზე მოქმედი არქიმედეს ძალა მიიჩნიეთ მუდმივად, წყლის წინააღმდეგობის ძალებს ნუ გაითვალისწინებთ. $g=10$ მ/წმ^2.

პროექტი:

არქიმედეს კანონის აღმოჩენამ დიდი ტექნიკური პროგრესი მოუტანა კაცობრიობას, მისმა შესწავლამ კი მნიშვნელოვნად გაზარდა საზღვაო და საჰაერო ტრანსპორტის უსაფრთხოება. გემის მშენებლობისას მნიშვნელოვანია წინასწარ განისაზღვროს, თუ რა მაქსიმალური მასის ტვირთის მოთავსებაა მასზე დასაშვები, რათა გემმა უსაფრთხოდ იცუროს.

ამომგდები ძალის მართვაზეა დამყარებული წყალქვეშა ნავების ცურვის პრინციპიც. წყალქვეშა ნავის ეკიპაჟი სპეციალური რეზერვუარებითა და ტუმბოებით ცვლის ნავზე მოქმედ ამომგდებ ძალას, რის შედეგადაც ნავს ცურვა შეუძლია როგორც წყლის ზედაპირზე, ასევე წყალქვეშ.

საჰაერო ბურთის ასაფრენად მის შიგნით არსებულ ჰაერს ათბობენ. ქვევით დასაშვებად კი – აცივებენ. რატომ იწვევს ჰაერის გათბობა საჰაერო ბურთის მაღლა აწევას?

მოიძიეთ ინფორმაცია გემების ცურვისა და ჰაერნაოსნობის შესახებ და მოამზადეთ პრეზენტაცია თემაზე: „ამომგდები ძალის როლი“.

პრეზენტაციაში მკაფიოდ წარმოაჩინეთ და ახსენით:

- რატომ ტივტივებს ლითონისაგან დამზადებული გემი წყლის ზედაპირზე, როდესაც ლითონის საგნები წყალში იძირება;
- როგორ განსაზღვრავენ გემზე მოსათავსებელი ტვირთის დასაშვებ მასას;
- რა პრინციპს ეფუძნება წყალქვეშა ნავების ცურვა;
- როგორ იძირება და როგორ ამოდის წყალქვეშა ნავი;
- რატომ ადის საჰაერო ბურთი მაღლა მასში ჰაერის გათბობისას და რატომ ეშვება ქვევით ჰაერის გაცივებისას.

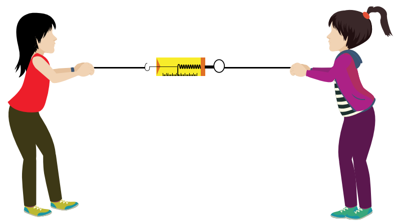
გამოიყენეთ ბმულები: shorturl.at/ryWZ5; https://tinyurl.com/35bndh7b; https://tinyurl.com/t4enxmdd; shorturl.at/myDL8; shorturl.at/mtDS3; shorturl.at/iEHN8.

მეორე თავის თავის შემაჯამებელი ამოცანები

1. შესაძლებელია თუ არა, რომ თვითმფრინავი ჰორიზონტალური მიმართულებით თანაბრად მიფრინავდეს, როდესაც მისი ძრავა გამორთულია?

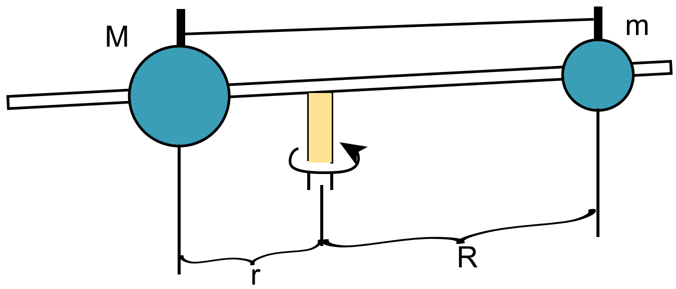
2. შესაძლებელია თუ არა, რომ ნავზე მდგომმა მეთევზემ კიჩოზე მიწოლით ნავს სიჩქარე შეუცვალოს?

3. ორი მოსწავლე ცდილობს დინამომეტრის ზამბარის გაჭიმვას მასზე გამობმული თოკების დაქაჩვით (სურ. 2.145). რისი ტოლი იქნება დინამომეტრის ჩვენება, თუ თითოეული მოსწავლე თოკს 100 ნ ძალით ექაჩება?



სურ. 2.145

4. გლუვ ჰორიზონტალურ ღეროზე ჩამოცმულია ორი სხვადასხვა მასის ბირთვი, რომლებიც ერთმანეთზე გადაბმულია მსუბუქი, უჭიმვადი თოკით (სურ. 2.146). ღერო ჰორიზონტალურ სიბრტყეში ბრუნავს გარკვეული კუთხური სიჩქარით. განსაზღვრეთ დიდი ბირთვის M მასა, თუ მცირე ბირთვის მასა m=10 კგ-ია, ხოლო დიდი და მცირე ბირთვების ბრუნვის ღერძამდე დაშორებების შეფარდებაა $\frac{R}{r}=\frac{4}{1}$.



სურ. 2.146

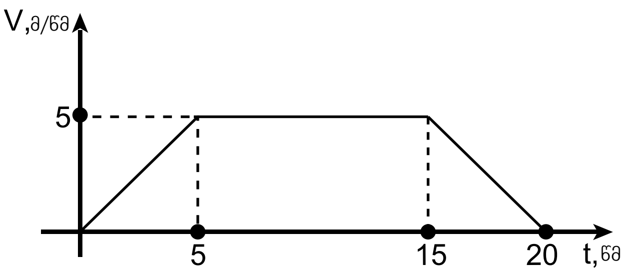
5. ადგილიდან დაძვრისას 2 ტ მასის ცარიელი ავტომობილი ჰორიზონტალურ გზაზე 2 მ/წმ^2 აჩქარებით მოძრაობს. იგივე დატვირთული ავტომობილი კი – 1,6 მ/წმ^2 აჩქარებით. განსაზღვრეთ ტვირთის მასა, თუ ავტომობილზე მოქმედი წევის ძალა ორივე შემთხვევაში ერთნაირია.

6. ფეხბურთელმა 400 გ მასის უძრავ ბურთს დარტყმისას 30 მ/წმ სიჩქარე მიანიჭა. რა დროის განმავლობაში გრძელდებოდა დარტყმა, თუ ფეხბურთელი ბურთზე საშუალოდ 600 ნ ძალით მოქმედებდა?

7. ელმავალი სამგზავრო ვაგონს 0,3 მ/წმ^2 აჩქარებას ანიჭებს, ხოლო სატვირთო ვაგონს – 0,15 მ/წმ^2-ს. რა აჩქარებას მიანიჭებს ელმავალი ორივე ვაგონს ერთად, თუ ელმავალი ვაგონებს სამივე შემთხვევაში ერთნაირი ძალით ეწევა.

8. ელმავალმა ცარიელი ვაგონი ადგილიდან დაიძრა და ვაგონმა გარკვეულ დროში 6 მ გაიარა. როდესაც ვაგონზე 20 ტ მასის ქვიშა დაყარეს, ვაგონმა დაძვრიდან იმავე დროში 4 მ გაიარა. იპოვეთ ცარიელი ვაგონის მასა, თუ ცნობილია, რომ ორივე შემთხვევაში ელმავალი ვაგონს მუდმივი და ერთნაირი ძალით ეწეოდა.

9. სურ. 2.147 გამოსახულია გზის ჰორიზონტალურ უბანზე მოძრავი 4 კგ მასის სხეულის სიჩქარის დროზე დამოკიდებულების გრაფიკი. ღერძი სხეულის მოძრაობის მიმართულებით მიმართეთ და განსაზღვრეთ სხეულზე მოქმედი ჰორიზონტალური ძალის გეგმილი (0-5 წმ), (5 წმ-15 წმ) და (15 წმ-20 წმ) დროის შუალედებში.



სურ.2.147

10. განსაზღვრეთ საწყისი სიჩქარის გარეშე თავისუფლად ვარდნილი სხეულის გადაადგილება ვარდნის მე-n წამში. მიიჩნიეთ, რომ $g=10$ მ/წმ^2.

11. რამდენჯერ უფრო მაღლა ავა ვერტიკალურად ზევით asროლილი სხეული, თუ ასროლის საწყის სიჩქარეს 3-ჯერ გავზრდით? ჰაერის წინააღმდეგობას ნუ გაითვალისწინებთ.

12. რამდენჯერ უნდა გავზარდოთ ვერტიკალურად ზევით ასროლილი სხეულის საწყისი სიჩქარე, რომ ასვლის მაქსიმალური სიმაღლე 16-ჯერ გაიზარდოს? ჰაერის წინააღმდეგობას ნუ გაითვალისწინებთ.

13. ორი სხეული ვარდნას იწყებს სხვადასხვა სიმაღლიდან. რამდენჯერ აღემატება პირველის სიჩქარე მეორისას დედამიწის ზედაპირზე დაცემამდე, თუ პირველი სხეული 3-ჯერ უფრო მეტ ხანს ვარდებოდა, ვიდრე მეორე. წინააღმდეგობის ძალებს ნუ გაითვალისწინებთ.

14. ორი სხეული ვარდნას იწყებს სხვადასხვა სიმაღლიდან. რამდენჯერ მეტი სიმაღლიდან ჩამოვარდა პირველი სხეული ვიდრე მეორე, თუ პირველი სხეული 4-ჯერ უფრო მეტ ხანს ვარდებოდა, ვიდრე – მეორე. წინააღმდეგობის ძალებს ნუ გაითვალისწინებთ.

15. სხეული იწყებს თავისუფალ ვარდნას 125 მ სიმაღლიდან. განსაზღვრეთ მის მიერ ვარდნის ბოლო ორ წამში გავლილი მანძილი. წინააღმდეგობის ძალებს ნუ გაითვალისწინებთ. მიიჩნიეთ, რომ $g=10$ მ/წმ^2.

16. რამდენჯერ აღემატება 180 მ სიმაღლიდან საწყისი სიჩქარის გარეშე ვარდნილი სხეულის ვარდნის ბოლო ორ წამში გავლილი მანძილი პირველ ორ წამში გავლილ მანძილს? წინააღმდეგობის ძალებს ნუ გაითვალისწინებთ. მიიჩნიეთ, რომ $g=10$ მ/წმ^2.

17. გარკვეული სიმაღლიდან საწყისი სიჩქარის გარეშე ვარდნილი ბურთულა დედამიწაზე 3 წამში ეცემა. რა დროში დაეცემა იგი დედამიწაზე, თუ იმავე სიმაღლეზე ბურთულას მივანიჭებთ ვერტიკალურად ზევით მიმართულ 20 მ/წმ საწყის სიჩქარეს? წინააღმდეგობის ძალებს ნუ გაითვალისწინებთ. მიიჩნიეთ, რომ $g=10$ მ/წმ^2.

18. გარკვეული სიმაღლიდან 10 მ/წმ საწყისი სიჩქარით ისვრიან ორ ბურთულას: პირველს – ვერტიკალურად ქვევით, ხოლო მეორეს – ვერტიკალურად ზევით. რამდენი წამით ადრე დაეცემა პირველი ბურთულა დედამიწაზე, ვიდრე მეორე? წინააღმდეგობის ძალებს ნუ გაითვალისწინებთ. მიიჩნიეთ, რომ $g=10$ მ/წმ^2.

19. საჰაერო ბურთი მოძრაობს ვერტიკალურად ზევით მუდმივი 0,5 მ/წმ სიჩქარით. იმ მომენტში, როდესაც ბურთი დედამიწის ზედაპირიდან 120 მ სიმაღლეზე იყო, მის მიმართ 9,5 მ/წმ სიჩქარით ვერტიკალურად ზევით აისროლეს მცირე ზომის სხეული. განსაზღვრეთ, დედამიწის ზედაპირიდან, რა მაქსიმალურ სიმაღლეს მიაღწევს სხეული და ასროლიდან, რა დროში დაეცემა იგი დედამიწაზე. წინააღმდეგობის ძალებს ნუ გაითვალისწინებთ. მიიჩნიეთ, რომ $g=10$ მ/წმ^2.

20. საჰაერო ბურთი მოძრაობს ვერტიკალურად ზევით მუდმივი 0,5 მ/წმ სიჩქარით. ბურთიდან დედამიწის მიმართ 10,5 მ/წმ საწყისი სიჩქარით ვერტიკალურად ზევით აისროლეს ბურთულა. განსაზღვრეთ მაქსიმალური მანძილი, რომლითაც გაუსწრებს ბურთულა საჰაერო ბურთის იმ წერტილს, რომლიდანაც იგი აისროლეს. წინააღმდეგობის ძალებს ნუ გაითვალისწინებთ. მიიჩნიეთ, რომ $g=10$ მ/წმ^2.

21. ბურთულა აისროლეს 30 მ/წმ საწყისი სიჩქარით. ასროლიდან რა დროის შემდეგ გახდება მისი სიჩქარე ასროლის სიჩქარეზე 3-ჯერ ნაკლები? რა სიმაღლეზე იქნება ბურთულა ამ მომენტში? წინააღმდეგობის ძალებს ნუ გაითვალისწინებთ. მიიჩნიეთ, რომ g=10 მ/წმ^2.

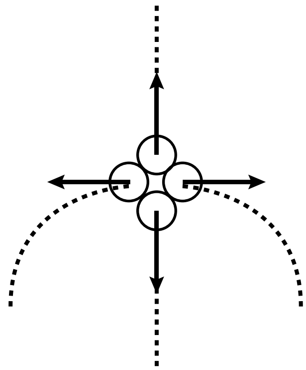
22. დედამიწის ზედაპირიდან 60 მ სიმაღლეზე მდებარე წერტილიდან ვერტიკალურად ზევით, 20 მ/წმ საწყისი სიჩქარით აისროლეს ბურთულა. საკოორდინატო ღერძი მიმართეთ ვერტიკალურად ქვევით, ათვლის სათავე დაუკავშირეთ ასროლის წერტილს და დაწერეთ ბურთულის კოორდინატისა და სიჩქარის გეგმილის დროზე დამოკიდებულების ფორმულები. ასროლიდან რა დროის შემდეგ დაეცემა ბურთულა დედამიწაზე? წინააღმდეგობის ძალებს ნუ გაითვალისწინებთ. მიიჩნიეთ, რომ g=10 მ/წმ^2.

23. 45 მ სიმაღლის აივნიდან ჰორიზონტალური მიმართულებით 5 მ/წმ საწყისი სიჩქარით გაისროლეს სხეული. განსაზღვრეთ, რა დროის შემდეგ და სახლის ძირიდან რა მანძილზე დაეცემა სხეული დედამიწის ზედაპირზე. წინააღმდეგობის ძალებს ნუ გაითვალისწინებთ. მიიჩნიეთ, რომ g=10 მ/წმ^2.

24. ორ ბურთულას ისვრიან ჰორიზონტალური მიმართულებით. პირველს – ორჯერ უფრო მაღალი აივნიდან, ვიდრე მეორეს. რამდენჯერ უნდა აღემატებოდეს მეორე ბურთულის გასროლის საწყისი სიჩქარე პირველისას, რომ მათი ფრენის სიშორეები ერთნაირი იყოს? წინააღმდეგობის ძალებს ნუ გაითვალისწინებთ. მიიჩნიეთ, რომ g=10 მ/წმ^2.

25. რა სიმაღლიდან უნდა გავისროლოთ სხეული 20 მ/წმ საწყისი სიჩქარით ჰორიზონტალურად, რომ გასროლის სიმაღლე ფრენის სიშორის ტოლი იყოს? წინააღმდეგობის ძალებს ნუ გაითვალისწინებთ. მიიჩნიეთ, რომ g=10 მ/წმ^2.

26. დედამიწის ზედაპირიდან, გარკვეულ სიმაღლეზე, მოდულით ერთნაირი საწყისი სიჩქარით გაისროლეს 4 სხეული (სურ. 2.148). დაამტკიცეთ, რომ ეს სხეულები დავარდნამდე, დროის ნებისმიერ მომენტში კვადრატის წვეროებზე იქნებიან განლაგებული. დროის მიხედვით როგორ იცვლება ამ კვადრატის დიაგონალის სიგრძე? წინააღმდეგობის ძალებს ნუ გაითვალისწინებთ.


სურ. 2.148

27. ჰორიზონტისადმი 45^0-იანი კუთხით გასროლილმა ჭურვმა 50 მ სიმაღლეს მიაღწია. განსაზღვრეთ მისი ფრენის სიშორე. წინააღმდეგობის ძალებს ნუ გაითვალისწინებთ. მიიჩნიეთ, რომ g=10 მ/წმ^2.

28. რა მაქსიმალურ სიმაღლეს მიაღწია ჰორიზონტისადმი მახვილი კუთხით გასროლილმა ისარმა, თუ მისი ფრენის დრო 8 წმ-ია? წინააღმდეგობის ძალებს ნუ გაითვალისწინებთ. მიიჩნიეთ, რომ g=10 მ/წმ^2.

29. ჰორიზონტისადმი 20^0-იანი კუთხით და 17 მ/წმ საწყისი სიჩქარით გაისროლეს ბურთულა. რა სიჩქარით და ჰორიზონტისადმი რა კუთხით დაეცემა ბურთულა გასროლის დონეზე? წინააღმდეგობის ძალებს ნუ გაითვალისწინებთ.

30. ჰორიზონტისადმი 30^0-იანი კუთხით და 60 მ/წმ საწყისი სიჩქარით გასროლილი სხეული რაღაც სიმაღლეზე იმყოფებოდა ორჯერ, ორი წამის ინტერვალით. განსაზღვრეთ ეს სიმაღლე. წინააღმდეგობის ძალებს ნუ გაითვალისწინებთ.

31. ჰორიზონტისადმი გარკვეული კუთხით გასროლილმა ბურთულამ 20 მ სიმაღლეს მიაღწია. რისი ტოლი იქნება ბურთულის სიჩქარის მოდული გასროლიდან სამი წამის შემდეგ, თუ მისი ფრენის სიშორე 96 მ-ია? წინააღმდეგობის ძალებს ნუ გაითვალისწინებთ.

32. განსაზღვრეთ თავისუფალი ვარდნის აჩქარება იმ პლანეტის ზედაპირზე, რომლის სიმკვრივე 2500 კგ/მ^3-ია, ხოლო რადიუსი – 5000 კმ.

33. დედამიწის ზედაპირიდან რა სიმაღლეზე გახდება თავისუფალი ვარდნის აჩქარება 5-ჯერ ნაკლები, ვიდრე დედამიწის ზედაპირზე? მიიჩნიეთ, რომ დედამიწის რადიუსი 6400 კმ-ია.

34. დედამიწის ზედაპირიდან რა სიმაღლეზე უნდა ბრუნავდეს ხელოვნური თანამგზავრი, რომ მისი ცენტრისკენული აჩქარება დედამიწის ზედაპირზე თავისუფალი ვარდნის აჩქარებაზე 9-ჯერ ნაკლები იყოს? მიიჩნიეთ, რომ დედამიწის რადიუსი 6400 კმ-ია.

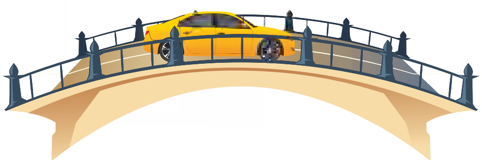
35. დედამიწის ზედაპირიდან რა სიმაღლეზე უნდა ბრუნავდეს ხელოვნური თანამგზავ-რი ეკვატორულ სიბრტყეში, რომ მისი ბრუნვის პერიოდი დედამიწის საკუთარი ღერძის ირგვლივ ბრუნვის პერიოდზე 5-ჯერ მეტი იყოს? მიიჩნიეთ, რომ დედამიწის რადიუსი 6400 კმ-ია.

36. რეზინის ზონარი დაჭრეს 10 ტოლ ნაწილად, მიღებული ნაწილები ერთმანეთის პარალელურად დააწყვეს და ერთიანად შეკრეს. რამდენჯერ მეტი იქნება მიღებული ზონრის სიხისტე თავდაპირველი ზონრის სიხისტესთან შედარებით?

37. კვადრატული განივკვეთის მქონე რეზინის ზონარი გაჭრეს მისი სიგრძის გას-წვრივ ისე, რომ მიღებული ზონრების განივკვეთი თავდაპირველის ნახევარი იყოს. მიღე-ბული ნაჭრების თითო ბოლო ერთმანეთზე გადააბეს. რამდენჯერ ნაკლები იქნება მიღე-ბული ზონრის სიხისტე თავდაპირველის სიხისტეზე?

38. საბუქსირე გვარლით 1,6 ტ მასის ავტომობილი 0.625 მ/წმ^2 აჩქარებით აამოძ-რავეს. განსაზღვრეთ, რამდენით წაგრძელდა გვარლი, თუ მისი სიხისტე 100 კნ/მ-ია. ავტომობილზე მოქმედი წინააღმდეგობის ძალები არ გაითვალისწინოთ.

39. რა სიჩქარით უნდა მოძრაობდეს ავტო-მობილი ამოზნექილ ხიდზე (სურ. 2.149), რომლის სიმრუდის რადიუსი 250 მ-ია, რომ მისი წონა ხი-დის ზედა წერტილში ნულს გაუტოლდეს?



სურ. 2. 149

40. მკვეთრი დამუხრუჭების დაწყებიდან რა დროში გაჩერდება 25 მ/წმ სიჩქარით მოძრავი ავტომობილი, თუ სრიალის ხახუნის კოეფიციენ-ტი ავტომობილის საბურავებსა და გზის საფარს შორის 0,5-ია? მიიჩნიეთ, რომ დამუხრუ-ჭების დაწყებიდან გაჩერებამდე ავტომობილის ოთხივე ბორბალი სრიალებს (g=10 მ/წმ^2).

41. სხეული ვარდნას იწყებს 25 მ სიმაღლიდან და დედამიწის ზედაპირს 2.5 წამში ეცემა. მიიჩნიეთ, რომ სხეულზე მოქმედი ჰაერის წინააღმდეგობის ძალა მუდმივია და იპოვეთ სიმძიმის ძალის რა ნაწილს შეადგენს ის (g=10 მ/წმ^2).

42. რა მინიმალური ძალა უნდა მოვდოთ ჰორიზონტისადმი 45^0-იანი კუთხით დახრილ ფიცარზე მოთავსებულ 20 კგ მასის ყუთს, რომ იგი ფიცარზე თანაბრად ავასრიალოთ? ხა-ხუნის კოეფიციენტი ფიცრის ზედაპირსა და ყუთს შორის 0,2-ია. მიიჩნიეთ, რომ g=10 მ/წმ^2.

43. დახრილ სიბრტყეზე, რომლის სიგრძე და სიმაღლე, შესაბამისად, 1 მ და 20 სმ-ია, უძრავად დევს 5 კგ მასის ძელაკი. ის დინამომეტრის მეშვეობით ჯერ ზევით თანაბრად აასრიალეს, შემდეგ კი ქვევით თანაბრად ჩამოასრიალეს. მიიჩნიეთ, რომ ორივე შემთ-ხვევაში ყუთზე სიბრტყის პარალელური ძალით მოქმედებდნენ და განსაზღვრეთ დი-ნამომეტრის ჩვენებათა სხვაობა (g=10 მ/წმ^2).

44. ჰორიზონტისადმი 45^0-იანი კუთხით დახრილ სიბრტყეზე დადებული ძელაკი უძ-რავად რომ შევაკავოთ, საკმარისია მასზე მოვდოთ სიბრტყის გასწვრივ ზევით მიმარ-თული 100 ნ ძალა. იმავე ძელაკის ზევით თანაბრად ასასრიალებლად კი 200 ნ ძალაა საჭირო. განსაზღვრეთ ხახუნის კოეფიციენტი ძელაკსა და დახრილ სიბრტყეს შორის.

45. ჰორიზონტისადმი 30^0-იანი კუთხით დახრილ სიბრტყეზე მოთავსებულ 10 კგ მა-სის ძელაკზე გამობმული მსუბუქი და უჭიმვადი თოკი გადადებულია ჭოჭონაქზე. თოკის მეორე ბოლოზე დაკიდებულია ისეთივე მეორე ძელაკი (სურ. 2.150). ხახუნის ძალები ძელაკისა დახრილ სიბრტყესთან, აგრეთვე, ჭოჭონაქისა თავის ღერძთან არ გაითვა-ლისწინოთ და განსაზღვრეთ ძელაკების აჩქარება (g=10 მ/წმ^2).

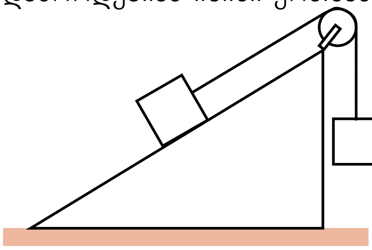
46. ჰორიზონტისადმი 30^0-იანი კუთხით დახრილი სიბრტყის წვეროდან ხახუნის გარე-შე სრიალს იწყებს ძელაკი. იმავე სიმაღლიდან შვეულად ვარდნას იწყებს მეორე ძელაკი (სურ. 2.151). შეადარეთ ერთმანეთს ძელაკების საბოლოო სიჩქარეები (g=10 მ/წმ^2).

47. ჰორიზონტისადმი 30^0-იანი კუთხით დახრილი სიბრტყის წვეროდან ხახუნის გარე-შე სრიალს იწყებს ძელაკი. იმავე სიმაღლიდან შვეულად ვარდნას იწყებს მეორე ძელაკი (სურ. 2.151). განსაზღვრეთ მათი მოძრაობის დროების შეფარდება (g=10 მ/წმ^2).

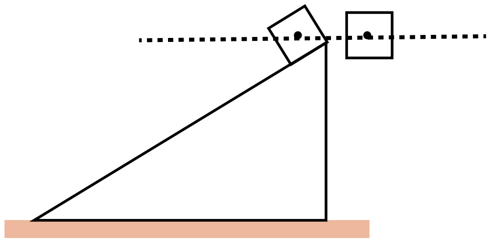
48. ჭერზე მიმაგრებულ უძრავ ჭოჭონაქზე გადადებულია უჭიმვადი მსუბუქი თოკი, რომლის ბოლოებზე m_1=20 კგ და m_2=10 კგ მასის ორი ტვირთია დაკიდებული (სურ.

2.152). წინააღმდეგობის ძალები არ გაითვალისწინოთ და განსაზღვრეთ ძალა, რომლითაც ჭოჭონაქი მოქმედებს ჭერზე ($g=10$ მ/წმ²).

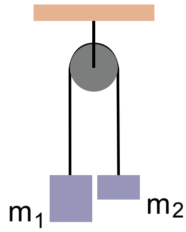
49. უძრავ ჭოჭონაქზე გადადებულ საკმარისად გრძელ, უჭიმვად და მსუბუქი თოკის ბოლოებზე $m_1=20$ კგ და $m_2=10$ კგ მასის ორი ტვირთია დაკიდებული (2.152). თავდაპირველად ორივე ტვირთი უძრავია და ერთ სიმაღლეზე იმყოფება. წინააღმდეგობის ძალები არ გაითვალისწინოთ და განსაზღვრეთ ტვირთების გათავისუფლებიდან რა დროში დაშორდებიან ისინი ერთმანეთს 20 სმ-ით ($g=10$ მ/წმ²).



სურ. 2.150



სურ. 2.151



სურ. 2.152

50. უძრავ ჭოჭონაქზე გადადებულ უჭიმვად და მსუბუქ თოკის ბოლებზე ჩამოკიდეს $m_1=10$ კგ და $m_2= 4,5$ კგ მასის ორი ტვირთი (სურ. 2.153). თავდაპირველად ტვირთები უძრავად უჭირავთ. m_2 მასის ტვირთზე დადეს $m_3 = 0,5$ კგ მასის მცირე ზომის საწონი. განსაზღვრეთ ძალა, რომლითაც საწონი დააწვება ტვირთს მათი გათავისუფლების შემდეგ.

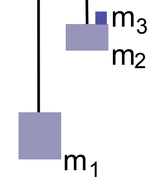
51. ჰორიზონტალურ ლიანდაგზე მდგარი 21 ერთნაირი ვაგონისაგან შემდგარი მატარებელი დაიძრა a აჩქარებით. იპოვეთ, რამდენჯერ მეტია პირველ და მეორე ვაგონებს შორის გადაბმის დაჭიმულობის ძალა მეთერთმეტე და მეთორმეტე ვაგონებს შორის გადაბმის დაჭიმულობის ძალაზე. წინააღმდეგობის ძალები არ გაითვალისწინოთ.

52. მოძრავი და უძრავი ჭოჭონაქებისაგან შემდგარ სისტემაზე დაკიდეს ორი ერთნაირი მასის ტვირთი ისე, როგორც სურ. 2.154 ნაჩვენები. განსაზღვრეთ ტვირთების აჩქარება მათი გათავისუფლების შემდეგ. თოკისა და ჭოჭონაქების მასას, წინააღმდეგობის ძალებსა და თოკის სიგრძის ცვლილებას ნუ გაითვალისწინებთ ($g=10$ მ/წმ²).

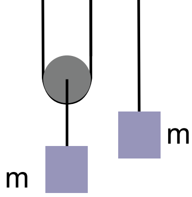
53. რა ძალით მოქმედებს სურ. 2.154 გამოსახული ჭოჭონაქების სისტემა ჭერზე, თუ მასზე დაკიდებული ტვირთების მასა ერთნაირია? თოკისა და ჭოჭონაქების მასას, წინააღმდეგობის ძალებსა და თოკის სიგრძის ცვლილებას ნუ გაითვალისწინებთ ($g=10$ მ/წმ²)

54. გასართობ შოუზე 20 მ სიმრუდის რადიუსის მქონე მოსახვევში უხვევს კვადროციკლი (სურ. 2.155). გზის პროფილი ჰორიზონტისადმი 45^0-იანი კუთხითაა დახრილი. რისი ტოლია კვადროციკლის სიჩქარე, თუ კვადროციკლი მოსახვევში ხახუნის ძალის დაუხმარებლად უხვევს? მიიჩნიეთ, რომ $g\approx10$ მ/წმ².

55. გასართობ შოუზე 20 მ სიმრუდის რადიუსის მქონე მოსახვევში უხვევს კვადროციკლი (სურ. 2.155). გზის პროფილი ჰორიზონტისადმი 45^0-იანი კუთხითაა დახრილი. რა მაქსიმალური სიჩქარე შეიძლება ჰქონდეს კვადროციკლს მოსახვევში, რომ იგი არ მოცურდეს, თუ ხახუნის კოეფიციენტი კვადროციკლის საბურავებსა და გზის საფარს შორის $\frac{1}{\sqrt{2}}$-ის ტოლია? მიიჩნიეთ, რომ $g\approx10$ მ/წმ².



სურ. 2.153

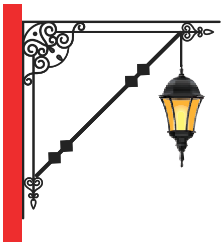


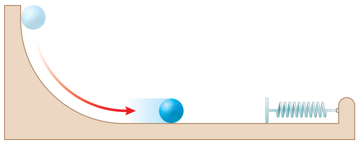
სურ. 2.154

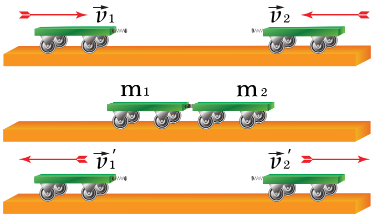
სურ. 2. 155

თავი III

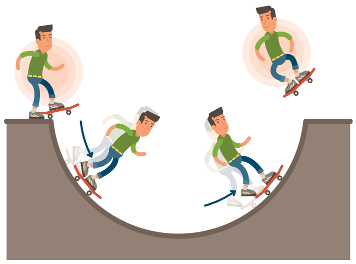
მუდმივობის კანონები. სტატიკა







$m_1\vec{v}_1 + m_2\vec{v}_2 = m_1\vec{v}_1' + m_2\vec{v}_2'$



ამ თავში თქვენ გაიხსენებთ და გაეცნობით:

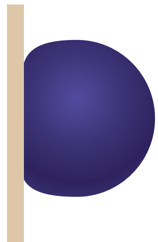
- იმპულსის მუდმივობის კანონს;
- მექანიკური ენერგის მუდმივობის კანონს;
- სხეულთა წონასწორობის პირობებს.

§3.1 სხეულის იმპულსი

მექანიკის ძირითადი ამოცანაა სხეულის მდებარეობის განსაზღვრა დროის ნებისმიერ მომენტში. ამ ამოცანის ამოსახსნელად ჩვენ ჯერ სხეულზე (სხეულთა სისტემაზე) მოქმედ ძალებს ვადგენდით, შემდეგ ნიუტონის მეორე კანონის გამოყენებით სხეულის (სხეულთა სისტემის) აჩქარებას ვპოულობდით და ბოლოს, კინემატიკის განტოლებებით გამოვსახავდით სიჩქარისა და კოორდინატების დროზე დამოკიდებულებას. ზოგადად, ეს ძალიან რთული ამოცანაა და ჩვენ ის მხოლოდ რამდენიმე კერძო შემთხვევაში ამოვხსენით. კერძოდ, მაშინ როდესაც: ა) სხეულზე ძალები არ მოქმედებს ან მოქმედ ძალთა ტოლქმედი ნულის ტოლია – სხეული უძრავია ან მოძრაობს თანაბრად; ბ) სხეულზე მოქმედი ძალების ტოლქმედი ნულისაგან განსხვავებულია, მუდმივია და სხეული მოძრაობს თანაბარაჩქარებულად; გ) სხეულზე მოქმედი ძალების ტოლქმედი ნულისაგან განსხვავებულია, მოდულით მუდმივია, მაგრამ ყოველთვის მიმართულია სხეულის მოძრაობის მართობულად – სხეული თანაბრად ბრუნავს წრეწირზე.

ხშირად სხეულზე მოქმედი ძალა იცვლება. ამ დროს რთულია სხეულის აჩქარების, სიჩქარის და კოორდინატის პოვნა.

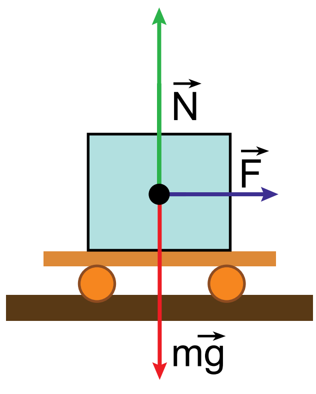
განვიხილოთ მაგალითი: ბურთი მიფრინავს და ეჯახება კედელს. დაჯახებამდე ბურთზე მხოლოდ სიმძიმის ძალა მოქმედებს და მისი მოძრაობა თანაბარაჩქარებულია, მაგრამ კედელთან შეჯახების დაწყებისთანავე ბურთი იწყებს დეფორმირებას (სურ. 3.1). დეფორმაცია თანდათან იზრდება, რის გამოც იზრდება ბურთში აღძრული დრეკადობის ძალაც. ამ ძალის ცვლილების კანონზომიერების დადგენა რთულია, ამიტომ ჩვენ ვერ დავადგენთ კედელთან ურთიერთქმედების განმავლობაში ბურთის აჩქარებასა და სიჩქარეს. მაგრამ ხშირად ჩვენ ბურთის აჩქარება, სიჩქარე და კოორდინატი დაჯახების პროცესში არც გვაინტერესებს. ჩვენთვის უფრო საინტერესო კედლიდან ასხლეტის მომენტში ბურთის სიჩქარის ცოდნა – ანუ, სისტემის საწყისი მონაცემებით მისი საბოლოო მონაცემების განსაზღვრაა.



სურ.3.1

ასეთი და მსგავსი ამოცანების ამოხსნისათვის ფიზიკაში შემოაქვთ სხეულის (სხეულთა სისტემის) მახასიათებელი სხვა ფიზიკური სიდიდეები. რა სიდიდეებია ეს?

ვთქვათ, $\vec{v}_0$ სიჩქარით მოძრავ m მასის სხეულზე მოქმედებას იწყებს მუდმივი $\vec{F}$ ძალა. სხეულზე მოქმედი საყრდენის რეაქციის $\vec{N}$ ძალა და სიმძიმის $m\vec{g}$ ძალა ერთმანეთს აწონასწორებს (სურ. 3.2). თუ წინააღმდეგობის ძალებს უგულებელვყოფთ, მაშინ სხეულზე მოქმედი ძალების ტოლქმედი ტოლი იქნება $\vec{F}$ ძალის, რომელიც სხეულს $\vec{a}$ აჩქარებას მიანიჭებს. ნიუტონის მეორე კანონის თანახმად:



სურ. 3.2

$$\vec{F} = m\vec{a}. \qquad (1)$$

თუ სხეულის სიჩქარეს $\vec{F}$ ძალის მოქმედების დაწყებიდან t დროის შემდეგ $\vec{v}$-თი აღვნიშნავთ, მაშინ სხეულის აჩქარება

$$\vec{a} = \frac{\vec{v} - \vec{v}_0}{t}, \qquad (2)$$

აჩქარების ეს მნიშვნელობა ჩავსვათ ნიუტონის მეორე კანონის გამომსახველ (1) ფორმულაში. მივიღებთ:

$$\vec{F}t = m\vec{v} - m\vec{v}_0 \qquad (3)$$

ამ ტოლობის მარჯვენა ნაწილი წარმოადგენს სხეულის მასისა და მისი სიჩქარის ნამრავლის ცვლილებას.

სხეულის მასის ნამრავლს მის სიჩქარეზე სხეულის იმპულსს უწოდებენ და აღნიშნავენ p ასოთი.

სხეულის იმპულსი ვექტორული სიდიდეა, რომელიც სხეულის მასისა და სიჩქარის ნამრავლის ტოლია:

$$\vec{p} = m\vec{v}. \qquad (4)$$

როგორც ფორმულიდან ჩანს, სხეულის იმპულსს მისი სიჩქარის მიმართულება აქვს. SI-ში იმპულსის ერთეულია 1 კგ.მ/წმ. ეს არის იმპულსი, რომელიც 1 მ/წმ სიჩქარით მოძრავ 1 კგ მასის სხეულს აქვს.

თუ (3) ტოლობაში იმპულსის ფორმულას გამოვიყენებთ, მივიღებთ:

$$\vec{F}t = \vec{p} - \vec{p}_0. \qquad (5)$$

ამ ტოლობის მარცხენა ნაწილში გვაქვს სიდიდე – $\vec{F}t$, რომელსაც ძალის იმპულსს უწოდებენ.

ძალის იმპულსი ვექტორული სიდიდეა, რომელიც ძალისა და ამ ძალის მოქმედების დროის ნამრავლის ტოლია.

სხეულის იმპულსი სხეულის მდგომარეობის მახასიათებელია, ხოლო ძალის იმპულსი – სხეულზე ქმედების მახასიათებელი. ძალის იმპულსის განზომილება SI-ში არის ნ·წმ. (5) ტოლობიდან გამომდინარეობს, რომ ნ·წმ =კგ·$\frac{მ}{წმ}$.

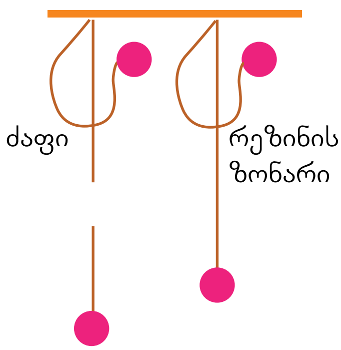
(5) ტოლობა სამართლიანია მხოლოდ იმ შემთხვევაში, როცა სხეულზე მოქმედი ძალა მუდმივია. როგორ უნდა მოვიქცეთ როცა ძალა ცვლადია? ამ შემთხვევაში მისი მოქმედების დრო უნდა დავყოთ ისეთ მცირე Δt შუალედებად, რომ ძალის ცვლილება დროის ამ შუალედში პრაქტიკულად ნულის ტოლი იყოს. შემდეგ კი (5) ტოლობა გამოვიყენოთ თითოეული შუალედისთვის ცალ-ცალკე:

$$\vec{F}\Delta t = \Delta\vec{p} \qquad (6)$$

(5) და (6) ფორმულები წარმოადგენს იმპულსის გამოყენებით ჩაწერილ ნიუტონის მეორე კანონს: **სხეულის იმპულსის ცვლილება სხეულზე მოქმედი ძალის იმპულსის ტოლია.**

იმპულსის გამოყენებით ჩაწერილი ნიუტონის მეორე კანონი საშუალებას გვაძლევს ავხსნათ მრავალი მოვლენა.

ჩავატაროთ მარტივი ცდა: ავიღოთ ერთნაირი სიგრძისა და სიმტკიცის ძაფი და რეზინის ზონარი (ერთნაირი სიმტკიცე ნიშნავს, რომ ორივე ერთნაირი დატვირთვის დროს წყდება). ისინი ერთი ბოლოთი დავკიდოთ საკიდელზე, მეორე ბოლოზე კი ერთნაირი მასის ბურთულები მივაბათ. ავწიოთ ისინი ერთნაირ სიმაღლეზე და ხელი გავუშვათ (სურ. 3.3). ძაფი გაწყდება, ზონარი კი – არა. რატომ მოხდა ასე?



სურ. 3.3

საქმე ისაა, რომ ორივე ბურთულა ვარდნისას შეიძენს ერთნაირ სიჩქარეს, მაგრამ ზონარზე დაკიდებული ბურთულის დამუხრუჭების დრო რამდენჯერმე მეტია ძაფზე დაკიდებულ ბურთულის დამუხრუჭების დროსთან შედარებით (რეზინი ადვილად იჭიმება, ძაფი კი – არა). დამუხრუჭებისას ორივე ბურთულის იმპულსის ცვლილება ერთნაირია, ამიტომ $\vec{F}\Delta t = \Delta\vec{p}$ ფორმულის თანახმად, ტოლი უნდა იყოს მათზე მოქმედი დამამუხრუჭებელი ძალების იმპულსებიც: $\vec{F}_1\Delta t_1 = \vec{F}_2\Delta t_2$. აქედან გამომდინარეობს, რომ რამდენჯერაც ნაკლებია ძაფზე დაკიდებული ბურთულის დამუხრუჭების დრო, იმდენჯერ მეტი ძალით იჭიმება ძაფი ზონართან შედარებით, სწორედ ამიტომ წყდება ძაფი და არა ზონარი

ამავე მოსაზრებით, არ შეიძლება გვარლით ტვირთის მკვეთრად აწევა, ის შეიძლება მოულოდნელად გაწყდეს. ავტოსაგზაო შემთხვევის დროს უსაფრთხოების ბალიში ზრდის თავზე და გულმკერდზე ზემოქმედების დროის შუალედს, რითაც მცირდება მათზე ზემოქმედების ძალა (სურ. 3.4).

სურ. 3.4

დასკვნები:

- სხეულის მასის ნამრავლს მის სიჩქარეზე, სხეულის იმპულსი ეწოდება: $\vec{p} = m\vec{v}$;
- სხეულის იმპულსს მისი სიჩქარის მიმართულება აქვს;
- SI-ში სხეულის იმპულსის ერთეულია 1 კგ მ/წმ.
- ძალის ნამრავლს მისი მოქმედების დროზე ძალის იმპულსი ეწოდება – $\vec{F}t$;
- სხეულის იმპულსის ცვლილება სხეულზე მოქმედი ძალის იმპულსის ტოლია: $\vec{F}t = \vec{p} - \vec{p}_0$. ეს ფორმულა გამოსახავს ნიუტონის მეორე კანონს, ჩაწერილს იმპულსის გამოყენებით.

საკონტროლო კითხვები:

1. რა შემთხვევაშია მოსახერხებელი მექანიკის ძირითადი ამოცანის ამოსახსნელად იმპულსის გამოყენება?
2. შეიძლება თუ არა, მოძრავ ავტობუსს და მატარებელს მოდულით ერთნაირი იმპულსი ჰქონდეთ?
3. რა არის ძალის იმპულსის განზომილება?
4. ფარდობითია თუ არა იმპულსი? რატომ?
5. რატომაა შეუძლებელი სხეულის იმპულსის მყისიერად შეცვლა?

ერთად ამოვხსნათ ამოცანა

გლუვ ჰორიზონტალურ ზედაპირზე მოთავსებულ უძრავ სხეულზე მოქმედება დაიწყო ჰორიზონტალური მიმართულების მუდმივმა 10 ნ-ის ტოლმა ძალამ. 3 წამის შემდეგ ძალის მიმართულება 90^0-ით შეცვალეს ისე, რომ ძალა კვლავ ჰორიზონტალური დარჩა და მისი მოქმედება სხეულზე კიდევ 4 წამი გაგრძელდა. განსაზღვრეთ მთელი დროის განმავლობაში სხეულის მიერ შეძენილი იმპულსის მოდული.

ამოხსნა:

მოც:
$F = 10$ ნ;
$t_1 = 3$ წმ;
$t_2 = 4$ წმ;
$\alpha = 90^0$.
უ.ვ. P

ძალის თავდაპირველ მიმართულებას პირობითად ვუწოდოთ აღმოსავლეთი, ხოლო მიმართულების 90^0-ით შეცვლის შემდეგ – სამხრეთი. აღმოსავლეთის მიმართულებით სხეულის მიერ შეძენილი იმპულსის მოდული იქნება $P_1 = Ft_1 = 30$ კგ·მ/წმ. როდესაც სხეულზე მოქმედი ძალის მიმართულება 90^0-ით შეიცვლება, მისი იმპულსი აღმოსავლეთის მიმართულებით აღარ შეიცვლება, ვინაიდან სამხრეთის მიმართულების მქონე ძალას აღმოსავლეთის მიმართულების გასწვრივ გეგმილი არ აქვს. ძალის მიმართულების შეცვლის შემდეგ სხეული იმპულსს უკვე სამხრეთის მიმართულებითაც შეიძენს: $P_2 = Ft_2 = 40$ კგ·მ/წმ. ძალის მოქმედების შეწყვეტის შემდეგ სხეულის იმპულსს ორი ურთიერთმართობული მდგენელი ექნება, რომელთა მოდულებია P_1 და P_2. სხეულის იმპულსი კი ამ მდგენელების ვექტორული ჯამი იქნება. სხეულის საბოლოო იმპულსის მოდულისთვის მივიღებთ:

$$P_3 = \sqrt{P_1^2 + P_2^2} = 50 \text{ კგ·მ/წმ.}$$

პასუხი: სხეულის მიერ შეძენილი იმპულსის მოდული 50 კგ·მ/წმ-ია.

ამოხსენით ამოცანები:

1. ერთი და იმავე სიმაღლიდან ვარდნას იწყებს ხიდან მოწყვეტილი ორი კაკალი. ერთი ეცემა ფხვიერ ნიადაგზე, მეორე – ქვაზე. რომელი კაკლის გატეხვაა მეტად მოსალოდნელი? რატომ?

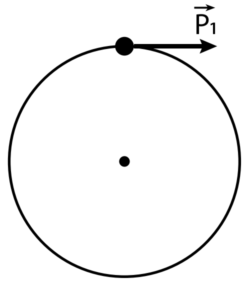
2. განსაზღვრეთ 5 კგ მასის სხეულის იმპულსი, თუ მისი სიჩქარე 18 კმ/სთ-ია.

3. წრეწირზე თანაბრად ბრუნავს 0,1 კგ მასის ნივთიერი წერტილი, რომლის სიჩქარის მოდული 5 მ/წმ-ია (სურ. 3.5). განსაზღვრეთ:

ა) იმპულსის ცვლილების მოდული ბრუნვის ერთი პერიოდის განმავლობაში;

ბ) იმპულსის ცვლილების მოდული ბრუნვის პერიოდის ნახევრის განმავლობაში;

გ) იმპულსის ცვლილების მოდული ბრუნვის პერიოდის მეოთხედში.



სურ. 3.5

4. შვეულად ვარდნილი რეზინის ბურთი იატაკზე 10 მ/წმ სიჩქარით დაეცა და მოდულით იმავე სიჩქარით შვეულად ზევით აირეკლა. იპოვეთ ბურთის იმპულსის ცვლილების მოდული.

5. რისი ტოლი იქნება საწყისი სიჩქარის გარეშე შვეულად ვარდნილი 200 გ მასის სხეულის იმპულსის მოდული 5 მ-ის გავლის შემდეგ? მიიჩნიეთ, რომ $g = 10$ მ/წმ^2.

6. გლუვ ჰორიზონტალურ ზედაპირზე მდებარე 20 კგ მასის სხეულზე მოქმედება დაიწყო ამ ზედაპირის პარალელურმა 100 ნ-ის ტოლმა ძალამ. რისი ტოლი გახდება სხეულის სიჩქარე 5 წამის შემდეგ?

7. გლუვ ჰორიზონტალურ ზედაპირზე 2 მ/წმ სიჩქარით მოსრიალე სხეულზე მოქმედება დაიწყო მოძრაობის მიმართულების მქონე 60 ნ-ის ტოლმა ძალამ. შედეგად სხეულის სიჩქარის მოდული 0,5 წმ-ში 8 მ/წმ-მდე გაიზარდა. განსაზღვრეთ სხეულის მასა.

8. 500 გ მასის რეზინის ბურთი 10 მ/წმ ჰორიზონტალური მიმართულების სიჩქარით ეჯახება ვერტიკალურ კედელს და უკან იმავე მოდულის, მაგრამ საპირისპირო მიმართულების სიჩქარით ირეკლება. განსაზღვრეთ კედლის მხრიდან ბურთზე მოქმედი საშუალო ძალა, თუ ბურთის კედელთან შეჯახების ხანგრძლივობა წამის მეათედია.

9. იატაკზე უძრავად მდებარე სხეულზე მოქმედება დაიწყო ჰორიზონტალურად მიმართულმა 200 ნ-ის ტოლმა ძალამ, რომელმაც 5 წამის შემდეგ შეწყვიტა სხეულზე მოქმედება. ამ მომენტიდან რა დროში გაჩერდება სხეული, თუ მასზე იატაკის მხრიდან მოქმედი სრიალის ხახუნის ძალის მოდული 80 ნ-ია?

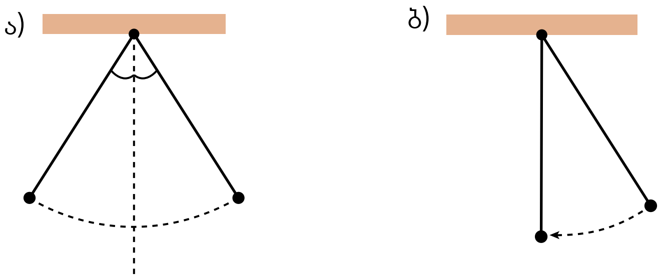
10. იატაკზე უძრავად მდებარე 20 კგ მასის სხეულზე მოქმედება დაიწყო ჰორიზონტალური მიმართულების 200 ნ-ის ტოლმა ძალამ. 6 წამის შემდეგ ძალის მიმართულება საპირისპიროთი შეცვალეს ისე, რომ მისი მოდული არ შეუცვლიათ. ამ მომენტიდან რა დროში გაჩერდება სხეული, თუ ხახუნის კოეფიციენტი მასსა და იატაკს შორის 0,2-ია? მიიჩნიეთ, რომ $g=10$ მ/წმ^2.

საშინაო ცდა:

ცდის მიზანი: სხეულთა იმპულსის ცვლილებაზე დაკვირვება.

ცდისთვის საჭიროა: ძაფი და პლასტილინი.

ცდის აღწერა: პლასტილინისაგან დაამზადეთ ორი ერთნაირი ზომის ბურთულა. ორივე ბურთულას მიამაგრეთ ტოლი სიგრძის ძაფები და ერთ-ერთი ჩამოკიდეთ რაიმე საკიდზე (ბურთულის დაკიდებისას დახმარება თხოვეთ უფროსებს).



სურ. 3.6

გადახარეთ ბურთულა გარკვეული კუთხით, ჩაინიშნეთ ძაფის გადახრის კუთხე (სურ. 3.6 ა). ბურთულას ხელი გაუშვით და დააფიქსირეთ კუთხე, რომელზეც გადაიხრება ძაფი მეორე მხარეს. შემდეგ ორივე ბურთულა დაკიდეთ ერთ წერტილში ისე, რომ ბურთულები ერთმანეთს ეხებოდნენ. გადახარეთ ერთ-ერთი ბურთულა იმავე კუთხით, როგორც პირველ შემთხვევაში (სურ. 3.6 ბ) და გაუშვით ხელი. ის დაეჯახება მეორე ბურთულას, შეეწებება მას და როგორც ერთი სხეული, გადაიხრება მეორე მხარეს (თუ ცდა ზუსტად არ გამოგივიდათ, გაიმეორეთ). დააფიქსირეთ მათი გადახრის კუთხე. შეადარეთ ერთმანეთს ვერტიკალიდან ძაფის გადახრის კუთხეები პირველ და მეორე შემთხვევაში. ცდის შედეგების მიხედვით შეეცადე უპასუხო კითხვებს:

- როგორ შეიცვალა ძაფის გადახრის კუთხე მეორე ცდაში პირველთან შედარებით?
- ტრაექტორიის ყველაზე დაბალი წერტილის გავლის შემდეგ რომელ ცდაში უფრო მეტი სიჩქარით გააგრძელა გადახრილმა ბურთულამ მოძრაობა?

§ 3.2 იმპულსის მუდმივობის კანონი. რეაქტიული მოძრაობა

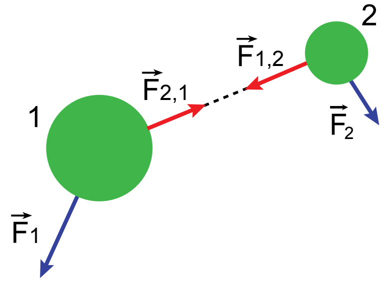
წინა პარაგრაფში ნიუტონის მეორე კანონი იმპულსის გამოყენებით ასე ჩამოვაყალიბეთ: სხეულის იმპულსის ცვლილება სხეულზე მოქმედი ძალის იმპულსის ტოლია – $\vec{F}\Delta t = \Delta\vec{p}$. თუ დავუშვებთ, რომ სხეულზე ძალა არ მოქმედებს, მაშინ ძალის იმპულსი ნულის ტოლი იქნება და სხეულის იმპულსიც არ შეიცვლება. ეს ადრეც იცოდით: თუ სხეულზე ძალა არ მოქმედებს, მისი სიჩქარე არ იცვლება. მაშ, რაში დაგვჭირდა იმპულსის ცნების შემოღება? ამას მიხვდებით, თუ განვიხილავთ არა ერთ, ცალკე აღებულ სხეულს, არამედ რამდენიმე ურთიერთქმედ სხეულს ერთად. ისეთ სხეულთა ჯგუფს, რომელთა მოძრაობა ერთმანეთთანაა დაკავშირებული, **მექანიკურ სისტემას** უწოდებენ, ხოლო სხეულებს, რომლებიც შედიან ამ სისტემაში – შიდა სხეულებს.

მექანიკური სისტემის ყველა სხეულს გააჩნია თავისი იმპულსი. სისტემაში სხეულების იმპულსების ვექტორულ ჯამს მექანიკური სისტემის იმპულსი ეწოდება:

$$\vec{p} = \vec{p}_1 + \vec{p}_2 + \vec{p}_3 + \cdots + \vec{p}_n,$$

რომელშიც n სისტემაში შემავალ სხეულთა რაოდენობაა.

სიმარტივისათვის განვიხილოთ ორი სხეულისაგან შემდგარი სისტემა (სურ. 3.7). სხეულები ერთმანეთთან ურთიერთქმედებენ $\vec{F}_{12}$ და $\vec{F}_{21}$ შიდა ძალებით. ვთქვათ, მათზე მოქმედებს $\vec{F}_1$ და $\vec{F}_2$ გარე ძალებიც. დროის რაიმე შუალედის შემდეგ 1 და 2 სხეულების იმპულსები შეიცვლება, შესაბამისად, $\Delta\vec{p}_1$-ით და $\Delta\vec{p}_2$-ით:



სურ. 3.7

$$\Delta\vec{p}_1 = (\vec{F}_1 + \vec{F}_{21})\Delta t, \qquad (1)$$

$$\Delta\vec{p}_2 = (\vec{F}_2 + \vec{F}_{12})\Delta t. \qquad (2)$$

მთელი სისტემის იმპულსის ცვლილების მისაღებად საჭიროა ორივე სხეულის იმპულსის ცვლილება შევკრიბოთ. ამიტომ:

$$\Delta\vec{p} = \Delta\vec{p}_1 + \Delta\vec{p}_2 = (\vec{F}_1 + \vec{F}_{21})\Delta t + (\vec{F}_2 + \vec{F}_{12})\Delta t = (\vec{F}_1 + \vec{F}_{21} + \vec{F}_2 + \vec{F}_{12})\Delta t. \qquad (3)$$

ნიუტონის მესამე კანონის თანახმად, $\vec{F}_{21} = -\vec{F}_{12}$. ამის გათვალისწინებით (3) განტოლება მიიღებს ასეთ სახეს:

$$\Delta\vec{p} = (\vec{F}_1 + \vec{F}_2)\Delta t.$$

როცა სისტემაში 2-ზე მეტი სხეულია, შიდა ძალების ჯამი კვლავ ნულის ტოლია და სისტემის იმპულსის ცვლილება ტოლი იქნება:

$$\Delta\vec{p} = \vec{F}\Delta t, \qquad (4)$$

რომელშიც $\vec{F}$ არის სისტემაში შემავალ სხეულებზე მოქმედი ყველა გარე ძალის ტოლქმედი.

ამრიგად, **მექანიკური სისტემის იმპულსის ცვლილება სისტემაში შემავალ სხეულებზე მოქმედი გარე ძალების ტოლქმედის იმპულსის ტოლია.**

მართალია, შიდა ძალები ვერ გამოიწვევს სისტემის იმპულსის ცვლილებას, მაგრამ შეუძლია სისტემაში შემავალ ცალკეულ სხეულთა იმპულსი შეცვალოს.

რა მოხდება მაშინ, როცა სისტემაზე გარე ძალები არ მოქმედებს?

მექანიკურ სისტემას, რომელზეც გარე ძალები არ მოქმედებს ან მათი მოქმედება კომპენსირებულია, ჩაკეტილი სისტემა ეწოდება.

ჩაკეტილი სისტემისათვის $\vec{F}=\vec{0}$, ამიტომ (4) ტოლობიდან იმპულსის ცვლილება $\Delta\vec{p}=\vec{0}$, ე.ი. ამ შემთხვევაში სისტემის იმპულსი არ იცვლება:

$$\vec{p}=\vec{p}_1+\vec{p}_2+\vec{p}_3+\cdots+\vec{p}_n=\text{const} \qquad (5)$$

ჩაკეტილ სისტემაში შემავალ სხეულთა იმპულსების ჯამი მუდმივია ამ სხეულებს შორის ნებისმიერი ურთიერთქმედების დროს.

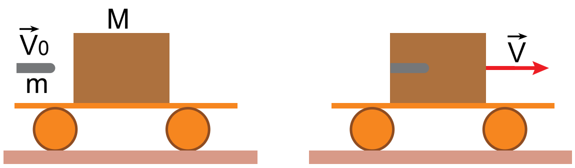
ამ დებულებას **იმპულსის მუდმივობის კანონი** ეწოდება.

იმპულსის მუდმივობის კანონის თანახმად, ჩაკეტილ სისტემაში შემავალი ცალკეული სხეულის იმპულსი შეიძლება შეიცვალოს, მაგრამ ამ სხეულების იმპულსების ჯამი უცვლელი დარჩება.

რეალური მექანიკური სისტემები არ არის ჩაკეტილი. ასეთია, მაგალითად, სისტემა სხეული – დედამიწა. გარდა ერთმანეთთან ურთიერთქმედებისა, ისინი ურთიერთქმედებენ დედამიწაზე არსებულ სხვა სხეულებთან, მთვარესთან, მზესთან და ა.შ. მიუხედავად ამისა, რიგ შემთხვევებში, მაინც შესაძლებელია იმპულსის მუდმივობის კანონის გამოყენება. ეს შესაძლებელია მაშინ, როცა: ა) გარე ძალები მცირეა და ისინი შეიძლება უგულებელვყოთ; ბ) გარე ძალები მოქმედებს, მაგრამ მათი მოქმედება კომპენსირებულია.

განვიხილოთ რამდენიმე მაგალითი:

ვთქვათ, ხის კუბი დამაგრებულია უძრავ ურიკაზე. მათი საერთო მასა იყოს M. კუბს ხვდება ჰორიზონტალურად $\vec{v}_0$ სიჩქარით მოძრავი m მასის ტყვია და რჩება მასში (სურ.3.8). ურიკა ამოძრავდება. როგორ ვიპოვოთ ურიკის მიერ შეძენილი სიჩქარე?



სურ. 3.8

სისტემა ურიკა–კუბი–ტყვია არ არის ჩაკეტილი, მაგრამ ურიკა–კუბზე მოქმედი სიმძიმის ძალა გაწონასწორებულია საყრდენის რეაქციის ძალით, ხოლო ხახუნის ძალა მცირეა. ე.ი. გარე ძალების მოქმედება შეიძლება უგულებელვყოთ და სისტემის საწყისი და საბოლოო იმპულსები ერთმანეთს გავუტოლოთ:

$$m\vec{v}_0=(m+M)\vec{v},$$

საიდანაც

$$\vec{v}=\frac{m\vec{v}_0}{m+M}.$$

დაჯახებას, რომლის შედეგად სხეულები ერთიანდებიან და იქცევიან, როგორც ერთი სხეული, **აბსოლუტურად არადრეკადი დაჯახება** ეწოდება. ტყვიისა და კუბის დაჯახება აბსოლუტურად არადრეკადი დაჯახების მაგალითია. აბსოლუტურად დრეკადი დაჯახების მაგალითს თქვენ პარაგრაფის ბოლოს განხილულ ამოცანაში გაეცნობით.

გაიხსენეთ საშინაო ცდა. რა იქნება პლასტილინის ბურთულების ერთობლივი სიჩქარე დაჯახების შემდეგ, თუ პირველი ბურთულის სიჩქარის მოდული შეჯახებამდე v-ს ტოლი იყო?

ვთქვათ, M მასის ზარბაზანმა, რომელიც მოყინულ ზედაპირზე დგას, ჰორიზონტალური მიმართულებით $\vec{v}_1$ სიჩქარით გასროლა m მასის ჭურვი (სურ. 3.9). რისი ტოლი იქნება ზარბაზნის უკუცემის $\vec{v}_2$ სიჩქარე?

ზარბაზანზე მოქმედი სიმძიმის ძალა გაწონასწორებულია საყრდენის რეაქციის ძალით, ხახუნის ძალა შეგვიძლია მხედველობაში არ მივიღოთ. ე.ი. როგორც წინა შემთხვევაში, აქაც შეიძლება გამოვიყენოთ იმპულსის მუდმივობის კანონი.

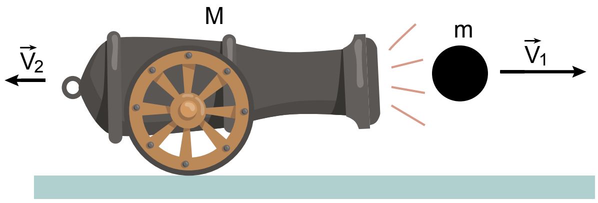
რადგან გასროლამდე ზარბაზნისა და ჭურვის იმპულსები ნულის ტოლია, ამიტომ გასროლის შემდეგაც მათი იმპულსების ჯამი ნულის ტოლი უნდა იყოს:

$$m\vec{v}_1 + M\vec{v}_2 = 0,$$

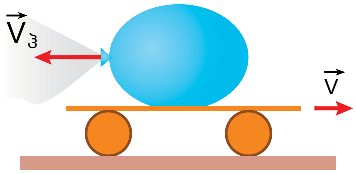
საიდანაც

$$\vec{v}_2 = -\frac{m}{M}\vec{v}_1.$$

ამ ტოლობაში ნიშანი „მინუსი“ მაჩვენებელია იმისა, რომ გასროლის შემდეგ ჭურვი და ზარბაზანი საპირისპირო მიმართულებით ამოძრავდებიან.



სურ. 3.9



სურ. 3.10

ანალოგიური მოვლენას დავინახავთ ასეთი მარტივი ცდის ჩატარებისას: მსუბუქ ურიკაზე წებოვანათი დავამაგროთ გაბერილი ბუშტი, გავხსნათ ბუშტის ჰაერის ჩასაბერი. ამ დროს წარმოიქმნება ბუშტიდან გამოსული ჰაერის ნაკადი, ურიკა კი საწინააღმდეგო მიმართულებით ამოძრავდება (სურ. 3.10). ამის მიზეზი ურიკა-ბუშტის სისტემიდან მისი გარკვეული ნაწილის (ჰაერის) გამოტყორცნაა. ასეთ მოძრაობას **რეაქტიული მოძრაობა** ეწოდება, ხოლო ძალას, რომელიცააჩქარებს სხეულს – **რეაქტიული ძალა.**

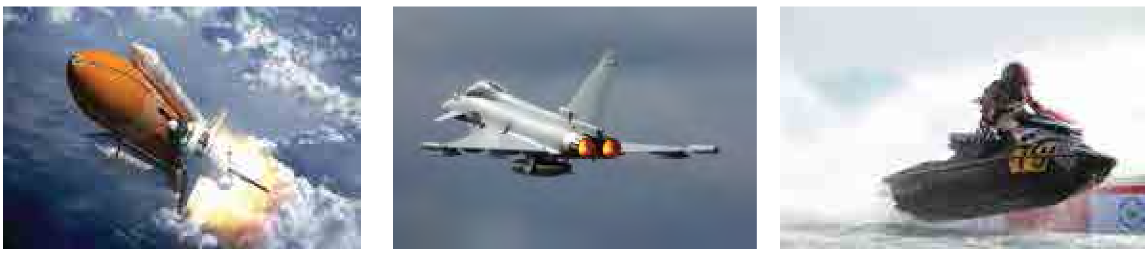
რეაქტიული ძალა წარმოიქმნება სხეულიდან მისი ნაწილის რაიმე სიჩქარით (სხეულის მიმართ) გატყორცნისას.

რეაქტიული ძალის განსაკუთრებული თვისება ისაა, რომ ის წარმოიქმნება სხეულის ნაწილების ურთიერთქმედების შედეგად გარე სხეულებთან ურთიერთქმედების გარეშე.

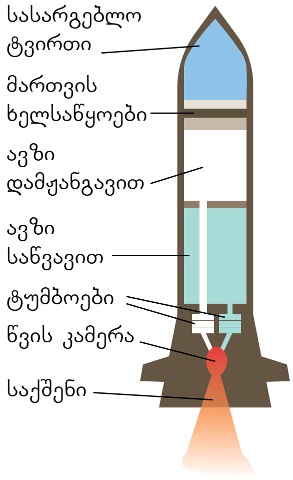
რა უპირატესობა შეიძლება ჰქონდეს რეაქტიულ მოძრაობას სხვა მოძრაობებთან შედარებით?

მოწყობილობას, რომელიც რეაქტიულ ძალას ქმნის, **რეაქტიულ ძრავას** უწოდებენ.

ამ ძრავებითაა აღჭურვილი კოსმოსური ხომალდები, თანამედროვე ჩქაროსნული თვითმფრინავები, რეაქტიული კატერები (სურ. 3.11) და მრავალი სხვა.


სურ. 3.11

სურ. 3.12 გამოსახულია რაკეტის მუშაობის გამარტივებული სქემა. საწვავი და დამჟანგავი ტუმბოებით მიეწოდება წვის კამერას. საწვავის წვის შედეგად მიიღება მაღალი ტემპერატურისა და წნევის აირი, რომელიც დიდი სიჩქარით გამოიტყორცნება საქშენიდან. რადგან სისტემის (რაკეტა, დამჟანგავი და საწვავი) საწყისი იმპულსი ნულის ტოლი იყო, ნულის ტოლი უნდა იყოს მათი საბოლოო იმპულსების ჯამიც. ამიტომ გახურებული აირის გამოტყორცნისას, რაკეტა საპირისპირო მიმართულებით ამოძრავდება. თუ ვიგულისხმებთ, რომ რაკეტიდან მთელი საწვავი ერთბაშად გამოიტყორცნება, ზემოთ განხილული მაგალითის ანალოგიურად, შეგვიძლია დავწეროთ:



$$v_{რაკ} = \frac{m_{საწ}}{m_{რაკ}} v_{საწ},$$

სურ. 3.12.

რომელშიც $v_{საწ}$ საწვავის გამოტყორცნის სიჩქარეა, $v_{რაკ}$ – რაკეტის სიჩქარე, $m_{რაკ}$ – რაკეტის მასაა, ხოლო $m_{საწ}$ – საწვავის მასა. სინამდვილეში, საწვავი ერთბაშად არ იწვის. ამიტომ ამ და კიდევ სხვა მიზეზთა გამო ეს ფორმულა რაკეტის სიჩქარის ზუსტ მნიშვნელობას არ გვაძლევს.

როგორ ფიქრობთ, რის ხარჯზე შეიძლება გაიზარდოს რაკეტის სიჩქარე?

სურ. 3.13

მოიძიეთ ინფორმაცია და ახსენით სურ. 3.13 მოცემული მოწყობილობებისა და არსებების მოძრაობის პრინციპი.

დასკვნები:

- ისეთ სხეულთა ჯგუფს, რომელთა მოძრაობა ერთმანეთთანაა დაკავშირებული, მექანიკური სისტემა ეწოდება;
- მექანიკური სისტემის იმპულსის ცვლილება სისტემაში შემავალ სხეულებზე მოქმედი გარე ძალების ტოლქმედის იმპულსის ტოლია;
- მექანიკურ სისტემას, რომელზეც გარე ძალები არ მოქმედებს ან მათი მოქმედება კომპენსირებულია, ჩაკეტილი სისტემა ეწოდება;
- ჩაკეტილ სისტემაში შემავალ სხეულთა იმპულსების ჯამი მუდმივია ამ სხეულებს შორის ნებისმიერი ურთიერთქმედების დროს: $\vec{p} = \vec{p}_1 + \vec{p}_2 + \vec{p}_3 + \cdots + \vec{p}_n = \text{const}$;
- სხეულთა დაჯახებას, რომლის შედეგად სხეულები ერთიანდებიან და იქცევიან როგორც ერთი სხეული, აბსოლუტურად არადრეკადი დაჯახება ეწოდება;
- სხეულის მოძრაობას, რომელიც აღიძვრება სხეულიდან მისი ნაწილის გარკვეული სიჩქარით გამოტყორცნის შედეგად, რეაქტიული მოძრაობა ეწოდება;
- მოწყობილობას, რომელიც რეაქტიულ ძალას ქმნის, რეაქტიული ძრავა ეწოდება.

საკონტროლო კითხვები:

1. იწვევს თუ არა მექანიკური სისტემის შიდა ძალები მისი იმპულსის ცვლილებას?
2. ნიშნავს თუ არა იმპულსის მუდმივობის კანონი სისტემის ცალკეული სხეულის იმპულსის მუდმივობას?
3. რა პირობებში შეიძლება ჩაითვალოს რეალური მექანიკური სისტემა სხეულთა ჩაკეტილ სისტემად?
4. რაში მდგომარეებს რეაქტიული ძალის განსაკუთრებულობა?
5. თოფის გასროლისას რატომ არის საჭირო კონდახის მხარზე მიბჯენა?

ერთად ამოვხსნათ ამოცანა

$\vec{v}$ სიჩქარით მოძრავი $2m$ მასის ბურთულა ცენტრულად ეჯახება m მასის უძრავ ბურთულას (სურ. 3.14 ა). გარე ძალების მოქმედება არ გაითვალისწინოთ და განსაზღვრეთ ბურთულების სიჩქარე შეჯახების შემდეგ.

განიხილეთ ორი შემთხვევა:

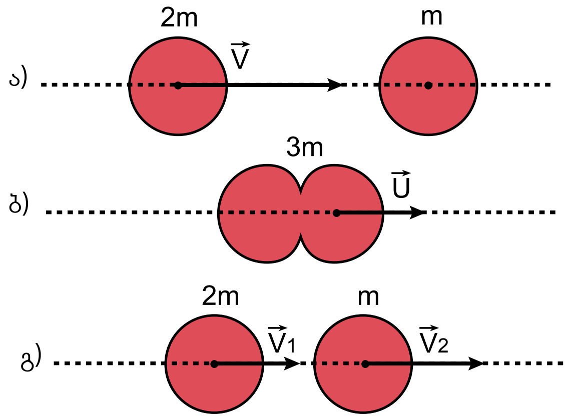
ა) როდესაც შეჯახება აბსოლუტურად არადრეკადია;

ბ) როდესაც შეჯახება აბსოლუტურად დრეკადია.

ამოხსნა:

ა) როდესაც ბურთულების შეჯახება აბსოლუტურად არადრეკადია, ისინი შეჯახებისას დეფორმირდებიან, აღარ აღიდგენენ პირვანდელ ფორმას და ამიტომ ერთად აგრძელებენ მოძრაობას (სურ 3.14 ბ). შეჯახებამდე მხოლოდ პირველი ბურთულა მოძრაობდა, ამიტომ სისტემის საწყისი იმპულსი $2m\vec{v}$-ს ტოლი იქნება. შეჯახების შემდეგ მათი ერთობლივი მოძრაობის სიჩქარე აღვნიშნოთ $\vec{u}$-თი. მათი იმპულსი შეჯახების შემდეგ იქნება $3m\vec{u}$. იმპულსის მუდმივობის კანონის თანახმად, $2m\vec{v} = 3m\vec{u} \;\Rightarrow\; \vec{u} = \dfrac{2\vec{v}}{3}$. მივიღეთ,

რომ შეჯახების შემდეგ ბურთულების ერთობლივი მოძრაობის სიჩქარე შეჯახებამდე პირველი ბურთულის სიჩქარის თანხვედრილი მიმართულებისაა, ხოლო მოდული $\frac{2v}{3}$-ის ტოლია.



სურ. 3.14

ბ) როდესაც დაჯახება ცენტრულია და დრეკადი, ბურთულების სიჩქარეები დაჯახების შემდეგ იმავე წრფის გასწვრივ იქნება მიმართული, რომელზეც მოძრაობდა პირველი ბურთულა დაჯახებამდე (სურ. 3.14 გ). ამასთან, უძრავი ბურთულა პირველი ბურთულის თავდაპირველი სიჩქარის მიმართულებით ამოძრავდება. დაჯახების შემდეგ პირველი ბურთულის სიჩქარე აღვნიშნოთ $\vec{v}_1$-ით, ხოლო მეორესი – $\vec{v}_2$-ით. იმპულსის მუდმივობის კანონის თანახმად, $2m\vec{v} = 2m\vec{v}_1 + m\vec{v}_2$. პირობითად მივიჩნიოთ, რომ დაჯახების შემდეგ პირველ ბურთულას მოძრაობის მიმართულება არ შეუცვლია. მაშინ მათი იმპულსის გეგმილებისათვის მივიღებთ: $2mv = 2mv_1 + mv_2 \Leftrightarrow 2v = 2v_1 + v_2$ (1). ვინაიდან შეჯახება აბსოლუტურად დრეკადია, მუდმივი რჩება სისტემის მექანიკური ენერგიაც. შეჯახებისას ბურთულების პოტენციალური ენერგია არ იცვლება, ამიტომ მუდმივია სისტემის კინეტიკური ენერგია: $\frac{2mv^2}{2} = \frac{2mv_1^2}{2} + \frac{mv_2^2}{2} \Leftrightarrow 2v^2 = 2v_1^2 + v_2^2$ (2). მივიღეთ განტოლებათა სისტემა:

$$\begin{cases} 2v = 2v_1 + v_2 \\ 2v^2 = 2v_1^2 + v_2^2 \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} 2(v - v_1) = v_2 \\ 2(v^2 - v_1^2) = v_2^2 \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} 2(v - v_1) = v_2 \\ 2(v - v_1)(v + v_1) = v_2^2 \end{cases}$$

ვინაიდან $v \neq v_1$ და $v_2 \neq 0$, შეგვიძლია სისტემის ქვედა განტოლება გავყოთ ზედა განტოლებაზე და მივიღებთ: $v+v_1=v_2$ (3). თუ ამ შედეგს (1)-ში გავითვალისწინებთ, მივიღებთ: $2v=2v_1+v+v_1 \Rightarrow v_1 = \frac{v}{3}$. ამ ტოლობის (3) განტოლებაში შეტანით, გვექნება: $v_2 = \frac{4v}{3}$.

პასუხი: ა) $v_1 = \frac{v}{3}$ ა) $u = \frac{2v}{3}$; ბ) $v_1 = \frac{v}{3}$ და $v_2 = \frac{4v}{3}$.

ამოხსენით ამოცანები:

1. პლანეტა იუპიტერს მზარდი სიჩქარით უახლოვდება კომეტა. მივიჩნიოთ, რომ სისტემა იუპიტერი-კომეტა ჩაკეტილია და უპასუხეთ, იცვლება თუ არა:

ა) კომეტის იმპულსი;

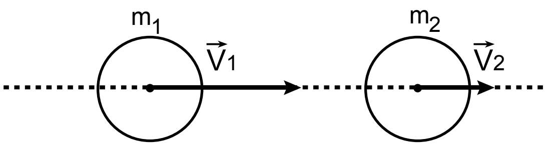
ბ) იუპიტერისა და კომეტისაგან შემდგარი სხეულთა სისტემის იმპულსი.

2. პლასტილინის უძრავ ბურთულას შეეჯახა და შეეწება ისეთივე მეორე ბურთულა. განსაზღვრეთ მათი ერთობლივი მოძრაობის სიჩქარე, თუ დაჯახებამდე მეორე ბურთულის სიჩქარე 10 მ/წმ იყო.

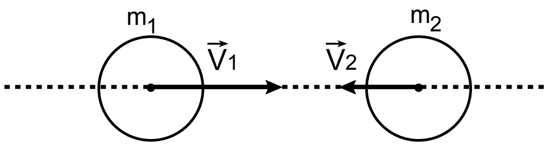
3. 20 გ მასის პლასტილინის ბურთულა მოძრაობს 3 მ/წმ სიჩქარით. იგი ეჯახება და ეწებება 10 გ მასის უძრავ პლასტილინის ბურთულას. რისი ტოლი იქნება მათი ერთობლივი მოძრაობის სიჩქარე დაჯახების შემდეგ?

4. ერთი წრფის გასწვრივ, ერთი მიმართულებით, მოძრაობს ორი აბსოლუტურად არადრეკადი ბურთულა (სურ. 3.15), რომელთა მასები და სიჩქარეები, შესაბამისად, ტოლია: m_1=100 გ, v_1=20 მ/წმ და m_2=200 გ, v_2=5 მ/წმ. განსაზღვრეთ მათი ერთობლივი მოძრაობის სიჩქარე დაჯახების შემდეგ.

5. ერთი წრფის გასწვრივ, შემხვედრი მიმართულებით, მოძრაობს ორი აბსოლუტურად არადრეკადი ბურთულა (სურ. 3.16), რომელთა მასები და სიჩქარეები, შესაბამისად, ტოლია: m_1=300 გ, v_1=20 მ/წმ და m_2=200 გ, v_2=15 მ/წმ. განსაზღვრეთ მათი ერთობლივი მოძრაობის სიჩქარე დაჯახების შემდეგ.



სურ. 3.15



სურ. 3.16

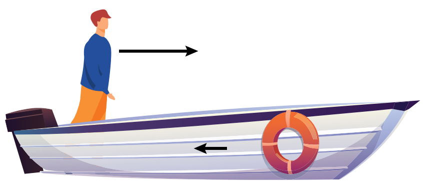
6. ურთიერთმართობული მიმართულებით მოძრავი ორი პლასტილინის ბურთულა, რომელთა მასები 20 გ და 30 გ-ია, ეჯახება ერთმანეთს და ერთად აგრძელებს მოძრაობას 2 მ/წმ სიჩქარით. რისი ტოლი იყო 30 გ მასის ბურთულის სიჩქარის მოდული დაჯახებამდე, თუ 20 გ მასის ბურთულის სიჩქარის მოდული დაჯახებამდე 3 მ/წმ-ის ტოლი იყო?

7. ვერტიკალურად ასროლილი ჭურვი მაქსიმალურ სიმაღლეზე ასვლის მომენტში გასკდა ორ თანაბარ ნაწილად, რომელთაგან ერთმა შეიძინა შვეულად ქვევით მიმართული 20 მ/წმ სიჩქარე. რა მიმართულებისა და მოდულის სიჩქარეს შეიძენს ჭურვის მეორე ნაწილი?

8. ჰორიზონტისადმი 60^0-იანი კუთხითა და 20 მ/წმ საწყისი სიჩქარით გასროლილი ჭურვი მაქსიმალურ სიმაღლეზე ასვლის მომენტში გასკდა ორ თანაბარ ნაწილად, რომელთაგან ერთმა საწყისი სიჩქარის გარეშე შვეულად ქვევით დაიწყო ვარდნა. რა მიმართულებისა და მოდულის სიჩქარეს შეიძენს ჭურვის მეორე ნაწილი? ჰაერის წინააღმდეგობას ნუ გაითვალისწინებთ.

9. ჰორიზონტისადმი კუთხით გასროლილი ჭურვის ფრენის სიშორე l-ის ტოლი უნდა ყოფილიყო, მაგრამ მაქსიმალურ სიმაღლეზე ასვლის მომენტში გასკდა ორ თანაბარ ნაწილად, რომელთაგან ერთმა საწყისი სიჩქარის გარეშე შვეულად ქვევით დაიწყო ვარდნა. გასროლის წერტილიდან რა მანძილზე დაეცემა ჭურვის თითოეული ნაწილი? ჰაერის წინააღმდეგობას ნუ გაითვალისწინებთ.

10. 200 კგ მასის უძრავ ნავზე დგას 50 კგ მასის მეთევზე. რა სიჩქარით ამოძრავდება ნავი დედამიწის მიმართ, თუ მეთევზე ნავის მიმართ მისი ბოლოსაკენ 1 მ/წმ სიჩქარით ამოძრავდა? წყლის მხრიდან ნავზე მოქმედი წინააღმდეგობის ძალას ნუ გაითვალისწინებთ (სურ 3.17).



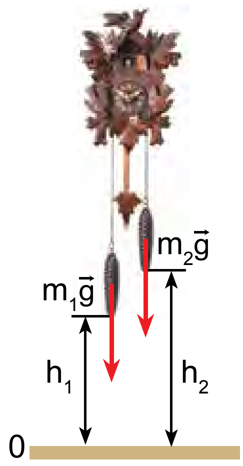
სურ. 3.17

§ 3.3 მექანიკური მუშაობა. სიმძლავრე

§ 3.4 თეორემა კინეტიკური ენერგიის შესახებ

§ 3.5 თეორემა პოტენციალური ენერგიის შესახებ

ალბათ, გინახავთ „გუგულიანი საათი“, ზოგ თქვენგანს შეიძლება ის სახლშიც აქვს. რა პრინციპით მუშაობს ის? საათის ასამუშავებლად m_1 და m_2 მასის ტვირთები გარკვეული დონიდან h_1 და h_2 სიმაღლეზე ააქვთ (სურ. 3.31). საათის მუშაობისას ტვირთები ნელ-ნელა ქვევით ეშვება და საწყის მდებარეობას უბრუნდება. პირველ ტვირთზე მოქმედი სიმძიმის $m_1\vec{g}$ ძალა უზრუნველყოფს საათის მუშაობას, ხოლო მეორე ტვირთზე მოქმედი სიმძიმის $m_2\vec{g}$ ძალა – „გუგულის“ მექანიზმის მუშაობას. რადგან სიმძიმის ძალა ტვირთისა და დედამიწის ურთიერთქმედების ძალაა, ამიტომ მუშაობის შესრულების უნარი აქვს არა ცალკე აღებულ ტვირთს, არამედ ტვირთს და დედამიწას ერთად. მართლაც, დედამიწასთან ურთიერთქმედების გარეშე ტვირთები მუშაობას ვერ შეასრულებდნენ.

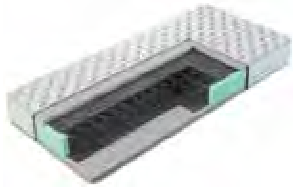


სურ. 3.31

სავარძელში ჩაჯდომისას ის ჩაიზნიქება (სურ. 3.32 ა). ადგომისას სავარძელი თავის ფორმას აღიდგენს – შესრულდება მუშაობა. ეს მუშაობა დეფორმირებულ ზამბარებში აღძრული დრეკადობის ძალების მიერ სრულდება. დაჯდომისას თქვენ მოახდენთ ზამბარების დეფორმაციას (სურ. 3.32 ბ), რის შედეგადაც ურთიერთქმედებას თითოეული ზამბარის შემადგენელი ნაწილები იწყებს. მაშასადამე, მუშაობის შესრულების უნარი აქვს სხეულს, რომლის შემადგენელი ნაწილები ურთიერთქმედებენ.

ა)

ბ)



სურ. 3.32

პირველ მაგალითში მუშაობის შესრულების უნარი დაკავშირებულია სხეულების ურთიერთქმედებასთან, ხოლო მეორე მაგალითში – სხეულის ნაწილების ურთიერთქმედებასთან. მუშაობის შესრულების ასეთი უნარის საზომს წარმოადგენს ფიზიკური სიდიდე, რომელსაც პოტენციალური[1] ენერგია ეწოდება.

პოტენციალური ენერგია გვიჩვენებს, რა მუშაობის შესრულების უნარი აქვს ურთიერთმოქმედ სხეულებს ან სხეულს მისი ნაწილების ურთიერთქმედების გამო.

მომავალში, სხეულების ურთიერთქმედების განხილვისას, სიმარტივისათვის ვიტყვით, რომ პოტენციალური ენერგია აქვს ერთ რომელიმე სხეულს, თუმცა ამ დროს ვიგულისხმებთ ურთიერთმოქმედ სხეულთა სისტემის პოტენციალურ ენერგიას.

როგორ ვიპოვოთ სხეულის პოტენციალური ენერგია?

პირველ რიგში, უნდა ავირჩიოთ პოტენციალური ენერგიის ნულოვანი დონე – მდგომარეობა, რომელშიც ეს ენერგია ნულის ტოლია. პირველ მაგალითში უმჯობესია ეს იყოს ტვირთის უკიდურესი ქვედა წერტილი, რომლის ქვემოთ ტვირთს ჯაჭვი აღარ გაუშვებს (სურ. 3.31). მეორე მაგალითში კი – ზამბარის არადეფორმირებული მდგომარეობა.

[1] ტერმინ „პოტენციალური ენერგიის“ მაგივრად, ხშირად იყენებენ – „პოტენციურ ენერგიას“.

შემდეგ საჭიროა ვიპოვოთ A მუშაობა, რომელსაც შეასრულებს სისტემაში შემავალი სხეულების (სხეულის ნაწილების) ურთიერთქმედების ძალები, მოცემული მდგომარეობიდან სხეულის ნულოვან მდგომარეობაში გადასვლისას. ეს მუშაობა არჩეული ნულოვანი დონის მიმართ, სხეულის პოტენციალური ენერგიის ტოლია: $E_პ = A$.

საათის მაგალითში მუშაობას ასრულებს ტვირთებზე მოქმედი სიმძიმის ძალები. ამიტომ ტვირთების პოტენციალური ენერგიები ტოლი იქნება:

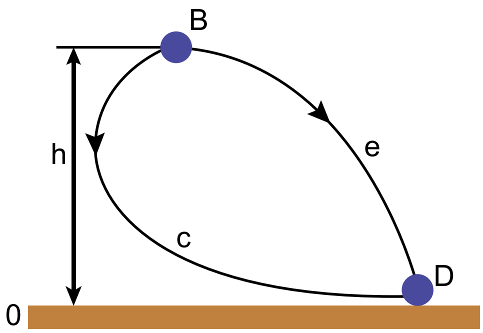
$$E_{პ1} = m_1gh_1; \qquad E_{პ2} = m_2gh_2. \quad (1)$$

მეორე მაგალითში მუშაობას ასრულებს ზამბარებში აღძრული დრეკადობის ძალები, ამიტომ თითოეული ზამბარის პოტენციალური ენერგია იქნება:

$$E_პ = \frac{kx^2}{2}, \qquad (2)$$

რომელშიც k ზამბარის სიხისტეა, ხოლო x – მისი დეფორმაციის სიდიდე.

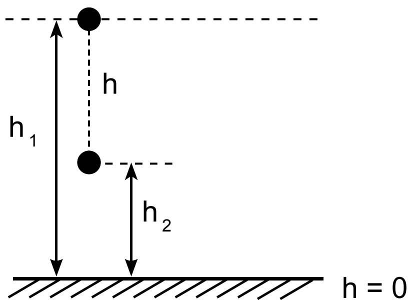
ამ ფორმულით განისაზღვრება ნებისმიერი დრეკადი სხეულის პოტენციალური ენერგია გაჭიმვისა და შეკუმშვის დეფორმაციების დროს.



სურ. 3.33

მოცემული მდგომარეობიდან ნულოვან მდგომარეობაში სხეული შეიძლება სხვადასხვა გზით გადავიდეს. მაგალითად, m მასის ბურთულა B წერტილიდან D წერტილში შეიძლება გადავიდეს c ტრაექტორიით ან e ტრაექტორიით (სურ. 3.33). ორივე შემთხვევაში სიმძიმის ძალის მიერ შესრულებული მუშაობა ტოლი უნდა იყოს საწყისი მდგომარეობის პოტენციალური mgh ენერგიის. ე.ი. ორივე მუშაობა ერთმანეთს უნდა უდრიდეს: $A_c = A_e$. აქედან შეიძლება დავასკვნათ, რომ პოტენციალური ენერგია განსაზღვრულია მხოლოდ იმ ძალებისათვის, რომელთა მუშაობა ერთი მდგომარეობიდან მეორე მდგომარეობაში გადასვლის გზაზე (ტრაექტორიის ფორმაზე) დამოკიდებული არ არის.

ასეთ ძალებს **კონსერვატული (პოტენციალური) ძალები** ეწოდება. მათი მუშაობა შეკრულ ტრაექტორიაზე ნულის ტოლია. მე-8 კლასში ჩვენ დავამტკიცეთ, რომ სიმძიმისა და დრეკადობის ძალა კონსერვატული ძალებია.



სურ. 3.34

ბუნებაში არსებობს ძალები, რომელთა შესრულებული მუშაობა ტრაექტორიის ფორმაზეა დამოკიდებული. ამის მაგალითია სრიალის ხახუნისა და გარემოს წინააღმდეგობის ძალები. მათი მუშაობა შეკრულ წირზე ნულის ტოლი არ არის, რადგან ის ყოველთვის უარყოფითია. ასეთ ძალებს **დისიპაციური ძალები** ეწოდება.

რა მუშაობას შეასრულებს სიმძიმის ძალა, თუ სხეული მოცემული მდგომარეობიდან არ გადავიდა ნულოვან მდგომარეობაში? მაგალითად, m მასის ბურთულა დედამიწის ზედაპირიდან h_1 სიმაღლიდან h_2 სიმაღლემდე ჩამოვარდა. ნულოვან დონედ დედამიწის ზედაპირი მივიჩნიოთ (სურ. 3.34) ამ მოძრაობისას სიმძიმის ძალა შეასრულებს დადებით მუშაობას: $A = mgh = mg(h_1 - h_2) > 0$, ხოლო პოტენციალური ენერგიის ცვლილება უარყოფითი

იქნება: $\Delta E_პ = E_{პ2} - E_{პ1} = mgh_2 - mgh_1 = mg(h_2 - h_1) = -mg(h_1 - h_2) < 0.$
ანუ,

$$A = -\Delta E_პ. \qquad (3)$$

მე-8 კლასში თქვენ ისწავლეთ ზამბარის დრეკადობის ძალის მიერ შესრულებული მუშაობა, რომელიც გამოისახება ფორმულით: $A = \frac{kx_1^2}{2} - \frac{kx_2^2}{2}$, მასში k ზამბარის სიხისტეა, x_1 ზამბარის საწყისი დეფორმაციაა x_2 კი – საბოლოო. ეს მუშაობა ზამბარის პოტენციალური ენერგიის ფორმულის გამოყენებით ასე ჩაიწერება: $A = E_{პ1} - E_{პ2} = -(E_{პ2} - E_{პ1}) = -\Delta E_პ$. ანუ მივიღეთ იგივე ფორმულა, რაც სიმძიმის ძალის მუშაობის შემთხვევაში. ე.ი. (3) ფორმულა მართებულია ნებისმიერი კონსერვატული ძალისათვის.

ამრიგად, **სხეულზე მოქმედი ყველა კონსერვატული ძალის ჯამური მუშაობა ტოლია სხეულის პოტენციალური ენერგიის ცვლილებისა საწინააღმდეგო ნიშნით.**

ეს დებულება წარმოადგენს **თეორემას პოტენციალური ენერგიის შესახებ.**

$A = -\Delta E_პ$ ფორმულის თანახმად, როდესაც კონსერვატული (სიმძიმის, დრეკადობის) ძალები დადებით მუშაობას ასრულებს, სხეულის პოტენციალური ენერგია მცირდება, ხოლო, როდესაც უარყოფით მუშაობას – პოტენციალური ენერგია იზრდება.

პოტენციალური ენერგიის მნიშვნელობა დამოკიდებულია ნულოვანი დონის არჩევაზე. მაგრამ, როგორც წესი, ამოცანების გადაწყვეტისას ჩვენ გვაინტერესებს არა თვით პოტენციალური ენერგია, არამედ მისი ცვლილება, რომელიც ნულოვანი დონის არჩევაზე დამოკიდებული არ არის.

დასკვნები:

- პოტენციალური ენერგია გვიჩვენებს, რა მუშაობის შესრულების უნარი აქვს ურთიერთმოქმედ სხეულებს ან სხეულს მისი ნაწილების ურთიერთქმედების გამო;
- სხეულის პოტენციალურ ენერგიას განსაზღვრავს არჩეული ნულოვანი დონე;
- სხეულის პოტენციალური ენერგია მოცემულ მდგომარეობაში ტოლია ამ მდგომარეობიდან ნულოვან მდგომარეობაში გადასვლისას ურთიერთქმედების ძალების მიერ შესრულებული მუშაობისა: $E_პ = A$;
- ძალებს, რომელთა მიერ შესრულებული მუშაობა შეკრულ ტრაექტორიაზე ნულის ტოლია, კონსერვატული (პოტენციალური) ძალები ეწოდება;
- სხეულზე მოქმედი ყველა კონსერვატული ძალის ჯამური მუშაობა ტოლია სხეულის პოტენციალური ენერგიის ცვლილებისა საწინააღმდეგო ნიშნით: $A = -\Delta E_პ$ – თეორემა პოტენციალური ენერგიის შესახებ.

საკონტროლო კითხვები:

1. ბატუტიდან ახტომისას რომელი ძალა ასრულებს დადებით მუშაობას და რომელი – უარყოფითს?
2. არის თუ არა დამოკიდებული სიმძიმის ძალის მუშაობა სხეულის ტრაექტორიის ფორმაზე?
3. როგორი ბუნებისაა სიმძიმისა და დრეკადობის ძალები?
4. დამოკიდებულია თუ არა ტრაექტორიის ფორმაზე სრიალის ხახუნის ძალის მუშაობა?
5. დამოკიდებულია თუ არა პოტენციალური ენერგიის ცვლილება ნულოვანი დონის არჩევაზე?

ერთად ამოვხსნათ ამოცანა

მრავალსართულიანი სახლის აივნიდან, რომელიც დედამიწის ზედაპირიდან 80 მ სიმაღლეზეა, ჰორიზონტალური მიმართულებით გაისროლეს 100 გ მასის მცირე ზომის ბურთულა. განსაზღვრეთ ბურთულის პოტენციალური ენერგია გასროლიდან 3 წამის შემდეგ და გასროლიდან 3 წამის განმავლობაში მასზე მოქმედი სიმძიმის ძალის მიერ შესრულებული მუშაობა. წინააღმდეგობის ძალებს ნუ გაითვალისწინებთ ($g \approx 10$ მ/წმ²).

ამოხსნა:

მოც:
$h_1 = 80$ მ;
$m = 0{,}1$ კგ;
$g \approx 10$ მ/წმ²
$t = 3$ წმ.
უ.ვ. A

ვინაიდან ბურთულა ჰორიზონტალურადაა გასროლილი, მისი საწყისი სიჩქარის გეგმილი ვერტიკალურ ღერძზე ნულის ტოლია. ამიტომ ბურთულის ვერტიკალური მიმართულებით გადაადგილების მოდულის საპოვნელად შეიძლება ვისარგებლოთ ფორმულით: $h = \frac{gt^2}{2} = 45$ მ. ბურთულის დედამიწის ზედაპირიდან დაშორება გასროლიდან 3 წამის შემდეგ კი იქნება: $h_2 = h_1 - h = 35$ მ. ბურთულის საწყისი და საბოლოო პოტენციალური ენერგიებისთვის მივიღებთ: $E_{პ1} = mgh_1 = 80$ ჯ, $E_{პ2} = mgh_2 = 35$ ჯ. პოტენციალური ენერგიის შესახებ თეორემის თანახმად, სიმძიმის ძალის მიერ შესრულებული მუშაობა ტოლია ბურთულის პოტენციალური ენერგიის ცვლილებისა მინუს ნიშნით: $A = -(E_{პ2} - E_{პ1}) = 45$ ჯ. ან, ასე: $A = mgh = 45$ ჯ.

პასუხი: ბურთულის პოტენციალური ენერგია გასროლიდან 3 წმ-ის შემდეგ 35 ჯ-ის ტოლია, ხოლო გასროლიდან 3 წმ-ის განმავლობაში სიმძიმის ძალა შეასრულებს 45 ჯ მუშაობას.

ამოხსენით ამოცანები:

1. რისი ტოლია დედამიწის ხელოვნური თანამგზავრის პოტენციალური ენერგიის ცვლილება დედამიწის ირგვლივ წრიულ ორბიტაზე ერთი შემობრუნებისას?

2. რისი ტოლია 50 კგ მასის ბიჭზე მოქმედი სიმძიმის ძალის მიერ შესრულებული მუშაობა მესამე სართულიდან მერვე სართულზე ლიფტით ასვლისას? კიბით ასვლისას? სართულებს შორის სიმაღლე ერთნაირია და 3 მ-ის ტოლია ($g \approx 10$ მ/წმ²).

3. ერთი ბოლოთი დამაგრებული 800 ნ/მ სიხისტის ზამბარა გაჭიმულია 5 სმ-ით. რა მუშაობა უნდა შევასრულოთ, რომ ზამბარა კიდევ 3 სმ-ით გავჭიმოთ? რა მუშაობას შეასრულებს ამ გაჭიმვისას დრეკადობის ძალა?

4. ვერტიკალურად დაკიდებულ ორ ზამბარაზე ჩამოკიდებული ტვირთები წონასწორობაშია. პირველი ზამბარის წაგრძელება 4-ჯერ მეტია მეორე ზამბარის წაგრძელებაზე. განსაზღვრეთ პირველი ზამბარის პოტენციალური ენერგიის შეფარდება მეორე ზამბარის პოტენციალურ ენერგიასთან, თუ:

ა) ზამბარებზე ჩამოკიდებული ტვირთების მასა ერთნაირია;

ბ) პირველ ზამბარაზე 4-ჯერ მეტი მასის ტვირთია ჩამოკიდებული, ვიდრე – მეორეზე.

5. 50 მ სიმაღლიდან ჰორიზონტალური მიმართულებით გაისროლეს 2 კგ მასის სხეული. განსაზღვრეთ, რა მუშაობას შეასრულებს სხეულზე მოქმედი სიმძიმის ძალა გასროლიდან 2 წამის განმავლობაში. წინააღმდეგობის ძალებს ნუ გაითვალისწინებთ ($g \approx 10$ მ/წმ²).

6. ჰორიზონტისადმი 30^0-იანი კუთხითა და 40 მ/წმ საწყისი სიჩქარით შურდულიდან გაისროლეს კენჭი. ჰაერის წინააღმდეგობის ძალას ნუ გაითვალისწინებთ ($g \approx 10$ მ/წმ²) და განსაზღვრეთ:

ა) კენჭის პოტენციალური ენერგიის ცვლილება გასროლიდან 1 წამში;

ბ) კენჭის პოტენციალური ენერგიის ცვლილება გასროლიდან 2 წამში;

გ) კენჭზე მოქმედი სიმძიმის ძალის მიერ შესრულებული მუშაობა გასროლიდან 3 წამის განმავლობაში.

7. ვერტიკალურად ასროლილი 2 კგ მასის სხეულის კოორდინატის დროზე დამოკიდებულებას აქვს შემდეგი სახე: $h=20+40t-5t^2$, რომელშიც დრო იზომება წამებში, ხოლო კოორდინატი – მეტრებში. განსაზღვრეთ სხეულზე მოქმედი სიმძიმის ძალის მიერ შესრულებული მუშაობა გასროლიდან 5 წამის განმავლობაში.

8. 15 მ სიღრმის ტბის ფსკერიდან ზედაპირზე ამოტივტივდა 10 სმ^3 მოცულობის კორპის ბურთულა. განსაზღვრეთ არქიმედეს ძალისა და სიმძიმის ძალის მიერ შესრულებული მუშაობა ამ მოძრაობისას. არქიმედეს ძალა მიიჩნიეთ მუდმივად ($g \approx 10$ მ/წმ^2).

9. ჭიქაში ჩასხმულ წყალში უშვებენ ლითონის ბურთულას. როგორ იცვლება წყლისა და ბურთულის ჯამური პოტენციალური ენერგია ბურთულის ჩაძირვისას?

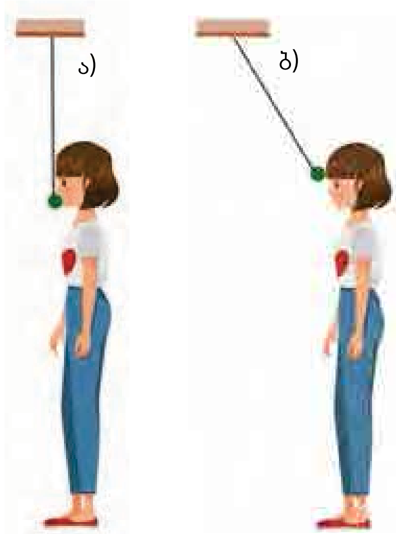
10. წყლიანი ჭიქის ფსკერიდან ზედაპირისაკენ მოძრაობს კორპის ბურთულა. როგორ იცვლება კორპის ბურთულისა და წყლის ჯამური პოტენციალური ენერგია ბურთულის ზევით მოძრაობისას?

საშინაო ცდა:

ცდის მიზანი: კინეტიკური და პოტენციალური ენერგიების ურთიერთგარდაქმნაზე დაკვირვება.

ცდისთვის საჭიროა: ძაფი და პლასტილინი.

ცდის აღწერა: მსუბუქ ძაფზე მიამაგრეთ პლასტილინისაგან დამზადებული მაგიდის ჩოგბურთის ბურთის ზომის ბურთულა. ბურთულა ძაფით ჩამოკიდეთ ჭერზე ან ჭაღზე ისე, რომ ბურთულას ნიკაპით ეხებოდეთ (სურ. 3.35 ა) (უსაფრთხოების მიზნით, ბურთულის დაკიდებისას დახმარება სთხოვეთ უფროსებს). გადახარეთ ძაფი ისე, რომ ბურთულა შუბლზე მიიდოთ (სურ. 3.35 ბ) (ამ დროს ძაფი არ უნდა იყოს მოშვებული). ბიძგის გარეშე გაათავისუფლეთ ბურთულა და თავი არ გაანძრიოთ! როგორ ფიქრობთ, უკან დაბრუნებისას ბურთულა დაგეჯახებათ? რატომ?



სურ 3.35

დააკვირდით ბურთულის მოძრაობას და შეეცადეთ უპასუხოთ კითხვებს:

- რომელ მდებარეობაშია ბურთულის კინეტიკური ენერგია მაქსიმალური და რომელში – მინიმალური?
- მოძრაობის რომელ ეტაპზე იზრდება და რომელზე მცირდება კინეტიკური ენერგია?
- მოძრაობის რომელ ეტაპზე იზრდება და რომელზე მცირდება პოტენციალური ენერგია?

თქვენი დასკვნები ჩაწერეთ რვეულში.

§ 3.6 ენერგიის მუდმივობის კანონი

სურ. 3.36

ვთქვათ, m მასის პარაშუტისტი ეშვება დედამიწისაკენ (სურ. 3.36). დროის რაღაც მომენტში მას აქვს $\vec{v}$ სიჩქარე და იმყოფება დედამიწის ზედაპირიდან h სიმაღლეზე. მოძრაობის გამო პარაშუტისტს კინეტიკური ენერგია აქვს, ხოლო სიმაღლეზე ყოფნის გამო – პოტენციალური ენერგია. პარაშუტისტის კინეტიკური და პოტენციალური ენერგიების ჯამი იქნება:

$$E_{კინ} + E_{პოტ} = \frac{mv^2}{2} + mgh.$$

სხეულის კინეტიკური და პოტენციალური ენერგიების ჯამს მისი სრული მექანიკური ენერგია ეწოდება:

$$E_{მექ} = E_{კინ} + E_{პოტ}. \qquad (1)$$

მექანიკური ენერგიის გარდა, კიდევ რა ენერგია აქვს სხეულს?

თქვენ უკვე იცით, რომ ნებისმიერი სხეული შედგება ნივთიერებისაგან, ხოლო ნივთიერება ძალიან მცირე ნაწილაკების – ატომებისა და მოლეკულებისაგან. ეს ნაწილაკები განუწყვეტლივ ქაოსურ მოძრაობაშია და ერთმანეთთან ურთიერთქმედებენ. მოძრაობის გამო მათ გააჩნიათ კინეტიკური ენერგია, ურთიერთქმედების გამო კი – პოტენციალური ენერგია.

სხეულის შემადგენელი ყველა ნაწილაკის ქაოსური მოძრაობის კინეტიკური და მათი ურთიერთქმედების პოტენციალური ენერგიების ჯამს სხეულის შინაგანი ენერგია ეწოდება.

შინაგან ენერგიას U ასოთი აღნიშნავენ.

თუ სხეულის მექანიკურ ენერგიას დავუმატებთ მის შინაგან ენერგიას, მივიღებთ სხეულის სრულ ენერგიას, რომელიც W ასოთი ავღნიშნოთ. ე.ი. სხეულის სრული ენერგია ტოლია:

$$W = E_{მექ} + U. \qquad (2)$$

როცა სხეულთა სისტემა გვაქვს, მაშინ მისი სრული ენერგია სისტემაში შემავალ ცალკეულ სხეულთა სრული ენერგიების ჯამი იქნება.

გავარკვიოთ, რა პირობებში იცვლება და რა პირობებში რჩება მუდმივი სხეულთა სისტემის მექანიკური და სრული ენერგიები.

განვიხილოთ მაგალითი. ვთქვათ, m მასის ლიფტი მოძრაობს ზევით. მისი მდებარეობა დაკვირვების დაწყების მომენტში პოტენციალური ენერგიის ნულოვან დონედ მივიჩნიოთ, ამ მდებარეობაში კი სიჩქარე აღვნიშნოთ $\vec{v}_0$-ით. ლიფტს ზევით გვარლის დაჭიმულობის $\vec{T}$ ძალა ექაჩება. ლიფტი – დედამიწა მექანიკური სისტემაა, რომლისთვისაც $\vec{T}$ გარე ძალაა. თუ გარკვეული დროის განმავლობაში ლიფტზე მოქმედი გვარლის დაჭიმულობის ძალა მოდულით სიმძიმის ძალაზე მეტი იქნება, მაშინ h სიმაღლეზე ასვლის გარდა, ის გამოიწვევს ლიფტის სიჩქარის $\vec{v}_0$-დან $\vec{v}$-მდე გაზრდას (სურ. 3.37). ე.ი. გაიზრდება ლიფტის როგორც პოტენციალური, ასევე კინეტიკური ენერგია. კინეტიკური ენერგიის შესახებ თეორემის თანახმად, ლიფტზე მოქმედი ძალების ტოლქმედის მუშაობა მისი კინეტიკური ენერგიის ცვლილების ტოლია:

$$\frac{mv^2}{2} - \frac{mv_0^2}{2} = A \qquad (3)$$

$\vec{F} = \vec{T} + m\vec{g}$ ტოლქმედი ძალა მიმართულია შვეულად ზევით და მისი მოდული ტოლია $F = T - mg$. ამიტომ ტოლქმედის მიერ შესრულებული მუშაობა ტოლი იქნება:

$$A = Fh = (T - mg)h. \qquad (4)$$

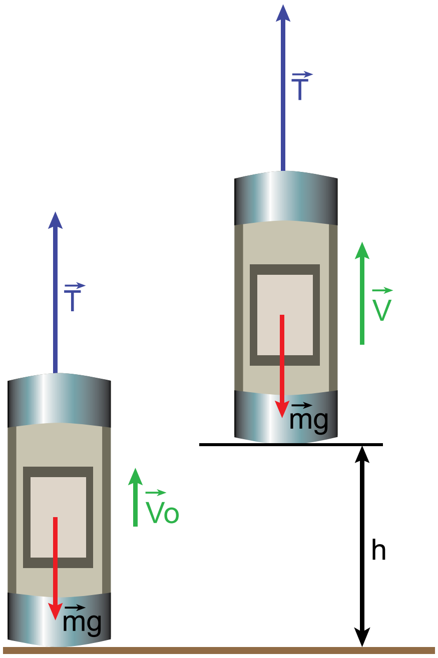
(3) და (4) ტოლობებიდან გამომდინარეობს, რომ

$$Th = \frac{mv^2}{2} - \frac{mv_0^2}{2} + mgh. \qquad (5)$$

ჩვენს შემთხვევაში, $\frac{mv^2}{2} - \frac{mv_0^2}{2}$ კინეტიკური ენერგიის ცვლილებაა – $\Delta E_{კინ}$, ხოლო mgh – პოტენციური ენერგიისა – $\Delta E_{პოტ.}$ ამიტომ,

$$\Delta E_{კინ} + \Delta E_{პოტ} = Th. \qquad (6)$$

(6) ტოლობის მარცხენა ნაწილი წარმოადგენს სრული მექანიკური ენერგიის ცვლილებას – $\Delta E_{მექ}$, მარჯვენა ნაწილი კი – გარე ძალების მიერ შესრულებულ მუშაობას – $A_{გარე}$. ამრიგად,



სურ. 3.37

$$\Delta E_{მექ} = A_{გარე}. \qquad (7)$$

იმ სისტემის მექანიკური ენერგიის ცვლილება, რომელშიც მხოლოდ კონსერვატული ძალები მოქმედებს, გარე ძალების მიერ შესრულებული მუშაობის ტოლია.

გარე ძალა შეიძლება იყოს ნებისმიერი, მათ შორის დისიპაციურიც.

თუ სისტემაზე გარე ძალები არ მოქმედებს, ანუ სისტემა ჩაკეტილია, მაშინ $A_{გარე} = 0$ და მექანიკური ენერგიის ცვლილებაც ნულის ტოლი იქნება – $\Delta E_{მექ} = 0$. **ე.ი.** მექანიკური ენერგია მუდმივი დარჩება.

ამრიგად, **თუ ჩაკეტილ სისტემაში სხეულები ურთიერთქმედებენ მხოლოდ კონსერვატული ძალებით, მაშინ სისტემის სრული მექანიკური ენერგია მუდმივია.**

ეს დებულება წარმოადგენს **მექანიკური ენერგიის მუდმივობის კანონს.**

მექანიკური ენერგიის მუდმივობის კანონიდან გამომდინარეობს, რომ ჩაკეტილ სისტემაში კინეტიკური ენერგიის ზრდისას პოტენციალური ენერგია იმავე სიდიდით მცირდება და, პირიქით. მაგალითად, ასროლილი ბურთის ზევით მოძრაობისას მისი სიჩქარე და, შესაბამისად, კინეტიკური ენერგია მცირდება, სამაგიეროდ, იზრდება მისი სიმაღლე და პოტენციალური ენერგია. კინეტიკური ენერგია ზუსტად იმდენით იკლებს, რამდენითაც იმატებს პოტენციალური ენერგია. მაქსიმალურ სიმაღლეზე კინეტიკური ენერგია ნულის ტოლი გახდება, სამაგიეროდ, პოტენციალური ენერგია მაქსიმალურ მნიშვნელობას მიაღწევს. ანუ ასროლისას მინიჭებული საწყისი კინეტიკური ენერგია მაქსიმალურ სიმაღლეზე მთლიანად პოტენციალურ ენერგიაში გადადის. ვარდნისას პროცესი პირიქით წარიმართება. ეს ნიშნავს, რომ $\Delta E_{კინ} = -\Delta E_{პოტ}$.

რა მოხდება, თუ სისტემა ჩაკეტილია, მაგრამ მის სხეულებს შორის მოქმედებს დისიპაციური ძალებიც?

ვთქვათ, მთის ფერდობის ბოლოს m მასის მოთხილამურეს ჰქონდა $\vec{v}_0$ სიჩქარე. ჰორიზონტალურ უბანზე გარკვეული მანძილის გავლის შემდეგ ის ჩერდება. გაჩერების მი-

ზეზი თოვლის ზედაპირსა და თხილამურებს შორის მოქმედი სრიალის ხახუნის ძალაა. ამ შემთხვევაში სრიალის ხახუნის ძალა სისტემისთვის, თოვლი – მოთხილამურე, შიდა ძალაა. მიუხედავად იმისა, რომ მოთხილამურეზე მოქმედი გარე ძალა – სიმძიმის ძალა მუშაობას არ ასრულებს (ის გადაადგილების მართობულია), მისი მექანიკური ენერგია თანდათან მცირდება და ბოლოს ნულს გაუტოლდება.

იქმნება შთაბეჭდილება, რომ მექანიკური ენერგია უკვალოდ გაქრა. მაგრამ ეს ასე არ არის: მოთხილამურის თოვლზე სრიალისას თხილამურებისა და თოვლის ზედაპირი თბება. მაგრამ ამ მაგალითში სხეულების გათბობა უმნიშვნელოა. მისგან განსხვავებით, ველოსიპედით გრძელი დაღმართის გავლისას სამუხრუჭე ხუნდები და ბორბლის დისკო საკმაოდ ხურდება. ატმოსფეროში დიდი სიჩქარით შემოჭრილი მეტეორიტების ჰაერთან ხახუნი მათ აალებას იწვევს (სურ. 3.38).


სურ. 3.38

ყველა მოყვანილ მაგალითში ხახუნისა და წინააღმდეგობის ძალების მოქმედებით იზრდება სხეულების შინაგანი ენერგია. გათბობის შედეგად იზრდება სხეულის შემადგენელი ნაწილაკების ქაოსური მოძრაობის კინეტიკური ენერგია. როდესაც ყინულის ნაჭერი მოყინულ ზედაპირზე მისრიალებს და დნება, მაშინ მისი შემადგენელი ნაწილაკების ურთიერთქმედების პოტენციალური ენერგია იზრდება, კინეტიკური კი არ იცვლება (დნობისას ტემპერატურა არ იცვლება).

ჩატარებული მრავალრიცხოვანი ცდითა და მათი შედეგების ანალიზის საფუძველზე დადგენილია, რომ ნებისმიერ ჩაკეტილ სისტემაში რამდენითაც მცირდება სისტემის მექანიკური ენერგია, იმდენითვე იზრდება მისი შინაგანი ენერგია, შესაბამისად, მუდმივი დარჩება მათი ჯამი – სისტემის სრული ენერგია. ზემოთ მოყვანილ მაგალითში მოთხილამურის მექანიკური ენერგია შემცირდა $\frac{mv_0^2}{2}$-ით, ზუსტად ამდენით გაიზარდა თხილამურებისა და თოვლის ჯამური შინაგანი ენერგია.

ამრიგად, **ჩაკეტილი სისტემის სრული ენერგია მუდმივია:**

$$W = E_{მექ} + U = \text{const.}$$

ეს დებულება წარმოადგენს ბუნების უმნიშვნელოვანეს კანონს – **ენერგიის მუდმივობის კანონს.** იგი მართებულია ყველა ფიზიკური, ქიმიური და ბიოლოგიური მოვლენის დროს.

დასკვნები:

- სხეულის კინეტიკური და პოტენციალური ენერგიების ჯამს მისი სრული მექანიკური ენერგია ეწოდება: $E_{მექ} = E_{კინ} + E_{პოტ}$;
- სხეულის შემადგენელი ყველა ნაწილაკის ქაოსური მოძრაობის კინეტიკური და მათი ურთიერთქმედების პოტენციალური ენერგიების ჯამს სხეულის შინაგანი ენერგია (U) ეწოდება;
- სხეულის მექანიკური და შინაგანი ენერგიების ჯამს სხეულის სრული ენერგია ეწოდება: $W = E_{მექ} + U$;
- იმ სისტემის მექანიკური ენერგიის ცვლილება, რომელშიც მხოლოდ კონსერვატული ძალები მოქმედებს, გარე ძალების მიერ შესრულებული მუშაობის ტოლია: $\Delta E_{მექ} = A_{გარე}$;
- თუ ჩაკეტილ სისტემაში სხეულები ურთიერთქმედებენ მხოლოდ კონსერვატული ძალებით, მაშინ სისტემის სრული მექანიკური ენერგია მუდმივია: $E_{მექ} = const$;
- ჩაკეტილი სისტემის სრული ენერგია მუდმივია: $W = E_{მექ} + U = const$.

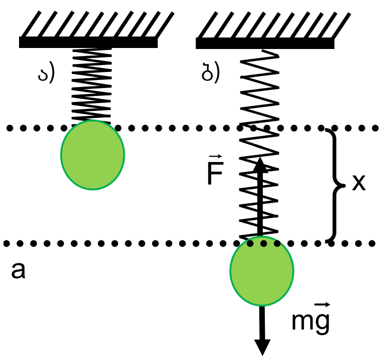
საკონტროლო კითხვები:

1. რა შემთხვევაში ექნება ვერტმფრენს დედამიწის მიმართ მხოლოდ პოტენციალური ენერგია? პოტენციალური ენერგიაც და კინეტიკურიც?
2. რომელს უფრო მეტი შინაგანი ენერგია აქვს: ცხელ წყალს თუ იმავე მასის ცივ წყალს? რატომ?
3. თუ სხეულთა ჩაკეტილი სისტემის კინეტიკური ენერგია 25 ჯოულით გაიზარდა, როგორ შეიცვლება მისი პოტენციალური ენერგია?
4. ჰაერში ვარდნილი სხეულის სრული მექნიკური ენერგია მცირდება. რომელი გარე ძალის მუშაობის შედეგია ეს? სად „გაქრა“ დაკარგული მექანიკური ენერგია?

ერთად ამოვხსნათ ამოცანა

ჭერზე მიმაგრებულ არადეფორმირებულ ზამბარაზე ჩამოკიდეს ბურთულა (სურ. 3.39ა.).

სურ. 3.39 ბ გამოსახულია ზამბარის გაჭიმვის ის მომენტი, როდესაც ზამბარაში აღძრული დრეკადობის ძალა მოდულით ბურთულაზე მოქმედ სიმძიმის ძალას გაუტოლდა. გააგრძელებს თუ არა ბურთულა ქვევით მოძრაობას? პასუხი დაასაბუთეთ. ზამბარის მასასა და წინააღმდეგობის ძალებს ნუ გაითვალისწინებთ.



სურ. 3.39

ამოხსნა: პოტენციალური ენერგიის ნულოვან დონედ a წრფეზე გამავალი ჰორიზონტალური დონე მივიჩნიოთ. საწყის მომენტში ბურთულა უძრავია, ხოლო ზამბარა – არადეფორმირებული, ამიტომ სისტემის მექანიკური ენერგია მხოლოდ ბურთულის დედამიწასთან ურთიერთქმედების პოტენციალური ენერგიის ტოლია: $E_1=mgx$. სურ. ბ-ზე გამოსახულ მდგომარეობაში ბურთულა

ნულოვან დონეზეა, ამიტომ მისი პოტენციალური ენერგია ნულის ტოლია. ამოცანის პირობის თანახმად, ამ მდგომარეობაში $kx = mg$ (1), ზამბარის პოტენციალური ენერგიაა: $E_{პოტ} = \frac{kx^2}{2} = \frac{(kx)x}{2}$ (2). თუ ამ ფორმულაში (1) ტოლობას გავითვალისწინებთ, მივიღებთ: $E_{პოტ} = \frac{mgx}{2}$. ეს კი ორჯერ ნაკლებია სისტემის თავდაპირველ პოტენციალურ ენერგიაზე, ამიტომ ბურთულას ამ მდებარეობაში კინეტიკური ენერგიაც ექნება. აღვნიშნოთ ის $E_{კინ}$-ით. მექანიკური ენერგიის მუდმივობის თანახმად, სისტემის საწყისი და საბოლოო მექანიკური ენერგიები ერთმანეთის ტოლი უნდა იყოს: $E_1 = E_{პოტ} + E_{კინ} \Rightarrow E_{კინ} = E_1 - E_{პოტ} = \frac{mgx}{2}$. ე.ი. ბურთულის საწყისი პოტენციალური ენერგიის ნახევარი გარდაიქმნა მის კინეტიკურ ენერგიად, მეორე ნახევარი კი – ზამბარის პოტენციალურ ენერგიად.

პასუხი: ნულოვან დონეზე ჩამოსვლისას ბურთულას ექნება კინეტიკური ენერგია, შესაბამისად, ის გააგრძელებს ქვევით მოძრაობას.

ამოხსენით ამოცანები:

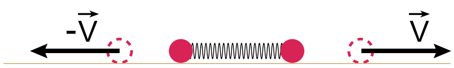
1. 20 მ/წმ საწისი სიჩქარით შვეულად ზევით აისროლეს მცირე ზომის ბურთულა. ჰაერის წინააღმდეგობას ნუ გაითვალისწინებთ და განსაზღვრეთ მაქსიმალური სიმაღლე, რომელზეც იგი ავა ($g \approx 10$ მ/წმ²).

2. 20 მ/წმ საწყისი სიჩქარით შვეულად ზევით აისროლეს მცირე ზომის ბურთულა. ჰაერის წინააღმდეგობას ნუ გაითვალისწინებთ და განსაზღვრეთ სიმაღლე, რომელზეც სხეულის პოტენციალური ენერგია კინეტიკურზე 3-ჯერ მეტი იქნება ($g \approx 10$ მ/წმ²).

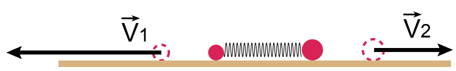
3. შვეულად ასროლილი 2 კგ მასის სხეულის კინეტიკური ენერგია 5 მ სიმაღლეზე ასროლის კინეტიკურ ენერგიასთან შედარებით 1,5-ჯერ შემცირდა. განსაზღვრეთ სხეულის კინეტიკური ენერგია ასროლისას. წინააღმდეგობის ძალებს ნუ გაითვალისწინებთ ($g \approx 10$ მ/წმ²).

4. გლუვ ჰორიზონტალურ მაგიდაზე დევს 5 კგ მასის ორი ერთნაირი ბირთვი. მათ შორის ჩადეს 10 სმ-ით შეკუმშული 4000 ნ/მ სიხისტის მსუბუქი ზამბარა (სურ. 3.40). შემდეგ ზამბარა გაათავისუფლეს. განსაზღვრეთ ბირთვების სიჩქარე ზამბარიდან მოცილებისას.

5. გლუვ ჰორიზონტალურ მაგიდაზე დევს 1,25 კგ და 5 კგ მასის ორი ბირთვი. მათ შორის მოათავსეს 10 სმ-ით შეკუმშული 4000 ნ/მ სიხისტის მსუბუქი ზამბარა სურ 3.41. განსაზღვრეთ ბირთვების სიჩქარე მათი ზამბარიდან მოცილების შემდეგ.



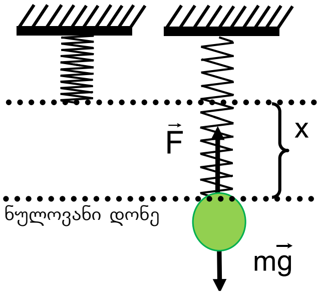
სურ. 3.40



სურ. 3.41

6. ჭერზე დაკიდებულ არადეფორმირებულ მსუბუქ ზამბარაზე ჩამოკიდეს ბურთულა და გაუშვეს ხელი (სურ. 3.42). სურათზე გამოსახულია ბურთულის ის მდებარეობა, როდესაც ზამბარაში აღძრული დრეკადობის ძალა მოდულით ბურთულის სიმძიმის ძალას გაუტოლდა. რისი ტოლია ბურთულის კინეტიკური ენერგია

ამ მდებარეობაში, თუ საწყის მომენტში მისი დედამიწასთან ურთიერთქმედების პოტენციალური ენერგია 200 ჯ-ის ტოლი იყო. ნულოვან დონედ, ბურთულის სურათზე აღნიშნული მდებარეობა მიიჩნიეთ.

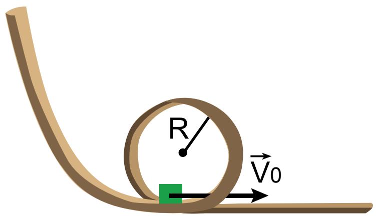


სურ. 3.42

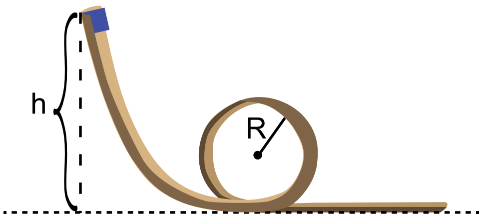
7. ჰორიზონტალური მიმართულების რა მინიმალური სიჩქარე უნდა მივანიჭოთ მსუბუქ ძაფზე დაკიდებულ მცირე ზომის ბურთულას, რომ იგი საკიდის სიმაღლემდე გადაიხაროს? წინააღმდეგობის ძალებს ნუ გაითვალისწინებთ ($g \approx 10$ მ/წმ²).

8. ჰორიზონტალური მიმართულების რა მინიმალური სიჩქარე უნდა მივანიჭოთ მცირე ზომის ძელაკს R რადიუსიანი „მკვდარი მარყუჟის" ქვედა წერტილში, რომ მარყუჟის შემოწერისას იგი ღარს არ მოწყდეს (სურ 3.43)? ხახუნისა და წინააღმდეგობის ძალებს ნუ გაითვალისწინებთ ($g \approx 10$ მ/წმ²).

9. რა მინიმალური სიმაღლიდან უნდა დაიწყოს სრიალი მცირე ზომის ძელაკმა, რომ R რადიუსიანი „მკვდარი მარყუჟის" შემოწერისას იგი ღარს არ მოწყდეს (სურ 3.44). ხახუნისა და წინააღმდეგობის ძალებს ნუ გაითვალისწინებთ.



სურ. 3.43



სურ. 3.44

10. $h=4R$ სიმაღლიდან საწყისი სიჩქარის გარეშე სრიალს იწყებს m მასის მცირე ზომის ძელაკი და შემოწერს R რადიუსიან „მკვდარ მარყუჟს". ხახუნისა და წინააღმდეგობის ძალებს ნუ გაითვალისწინებთ და განსაზღვრეთ:

ა) ძელაკის სიჩქარე მარყუჟის ქვედა წერტილში;

ბ) ძელაკის სიჩქარე მარყუჟის ზედა წერტილში;

გ) მარყუჟის ქვედა და ზედა წერტილებში ძელაკზე მარყუჟის მხრიდან მოქმედი რეაქციის ძალის მოდულების სხვაობა.

§3.7 მყარი სხეულის წონასწორობა. წონასწორობის პირველი პირობა

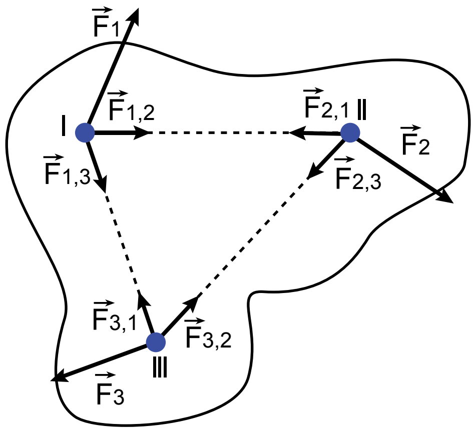
მე-8 კლასში თქვენ დაიწყეთ მექანიკის ნაწილის – სტატიკის შესწავლა.

სტატიკა სწავლობს სხეულის წონასწორობის პირობებს. **სხეულის წონასწორობა დროის განმავლობაში სხეულის უძრაობის ან წრფივი თანაბარი მოძრაობის მდგომარეობის შენარჩუნებაა.** თქვენ ცალ-ცალკე შეისწავლეთ არამბრუნავი სხეულისა და უძრავი ბრუნვის ღერძის მქონე სხეულის წონასწორობის პირობები, გაეცანით სხეულის სიმძიმის ცენტრის პოვნის მეთოდებს, წონასწორობის სახეებს, მარტივ მექანიზმებს, მექანიკის ოქროს წესს.

ახლა საკითხი ზოგადად დავსვათ. როდის იქნება ნებისმიერი სხეული წონასწორობაში? რა პირობებში დაირღვევა ეს წონასწორობა? ამ კითხვებზე პასუხის გაცემა მნიშვნელოვანია ტექნიკის ისეთ სფეროებში, როგორიცაა სამშენებლო საქმიანობა, მანქანათმშენებლობა, ხელაწყოების შექმნა და მრავალი სხვა.

თქვენ უკვე იცით, რომ ნებისმიერი სხეული მასზე რაიმე ძალის (ძალების) მოქმედებისას დეფორმირდება – იცვლის ფორმასა და ზომას. დეფორმაციის სიდიდე დამოკიდებულია სხეულის შემადგენელ მასალაზე, მის ფორმაზე, ზომასა და მასზე მოდებულ ძალებზე. ამასთან, დეფორმაციის სიდიდე შეიძლება იყოს დიდი ან მცირე.

თუ სხეულზე მოქმედმა ძალამ დიდი დეფორმაცია გამოიწვია და სხეული ველარ იბრუნებს საწყის ზომებსა და ფორმას, მაშინ წონასწორობის პირობები შესასწავლი იქნება „ახალი“ სხეულისათვის. ასეთი შემთხვევების განხილვა საკმაოდ რთულია, ამიტომ ჩვენ განვიხილავთ ისეთ ამოცანებს, რომლებშიც სხეულის დეფორმაცია უმნიშვნელოა და მისი უგულებელყოფა შეიძლება. სხეულის ისეთ მოდელს, რომელიც საერთოდ არ დეფორმირდება, **აბსოლუტურად მყარი** სხეული ეწოდება.



სურ. 3.45

ნიუტონის კანონების თანახმად, ნივთიერი წერტილი წონასწორობაშია, თუ მასზე მოქმედი ძალების ჯამი (ტოლქმედი) ნულის ტოლია. რეალური სხეული შეგვიძლია წარმოვიდგინოთ, როგორც უამრავი ნივთიერი წერტილის ერთობლიობა. სხეულის წონასწორობა კი მისი შემადგენელი მცირე ნაწილების წონასწორობას ნიშნავს. სხეული წარმოსახვით დავყოთ ძალიან მცირე ზომის ნაწილებად ისე, რომ თითოეული მათგანი შეიძლება ნივთიერ წერტილად მივიჩნიოთ (სურ. 3.45). სურათის გამარტივების მიზნით მასზე მხოლოდ სამი მათგანია გამოსახული – I, II, III. ვთქვათ, თითოეულ ამ წერტილზე მოქმედი გარე ძალებია $\vec{F}_1$, $\vec{F}_2$ და $\vec{F}_3$. გარდა ამისა, ეს ნაწილები შეიძლება ერთმანეთთანაც ურთიერთქმედებდნენ ძალებით, რომლებსაც შიდა ძალებს უწოდებენ. სურათზე ეს ძალებიცაა აღნიშნული. მაგალითად, $\vec{F}_{1,2}$-ით აღნიშნულია ძალა, რომლითაც I წერტილზე მოქმედებს II წერტილი, $\vec{F}_{2,1}$-ით კი ძალა, რომლითაც II წერტილზე მოქმედებს I წერტილი და ა.შ. $\vec{F}_{1,2}$, $\vec{F}_{2,1}$, $\vec{F}_{2,3}$ და ა.შ. ცხადია, ყოველ წერტილზე უამრავი სხვა შიდა ძალაც მოქმედებს, ყველა ამ ძალის სურათზე გამოსახვა შეუძლებელია. თითოეულ წერტილზე მოქმედი შიდა ძალების ჯამი (ტოლქმედი) $\vec{F}'_1$-ით, $\vec{F}'_2$-ით, $\vec{F}'_3$-ით, ... აღვნიშნოთ.

თუ სხეული წონასწორობაშია, მაშინ თითოეული წერტილის აჩქარება ნულის ტოლია. ამიტომ, ნიუტონის მეორე კანონის თანახმად, სხეულის წონასწორობისათვის აუცილებელი და საკმარისია, რომ მის თითოეულ წერტილზე მოქმედი გარე და შიდა ძალების ტოლქმედი ნულის ტოლი იყოს:

$$\vec{F}_1 + \vec{F}_1' = 0; \qquad \vec{F}_2 + \vec{F}_2' = 0; \qquad \vec{F}_3 + \vec{F}_3' = 0; \ldots \qquad (1)$$

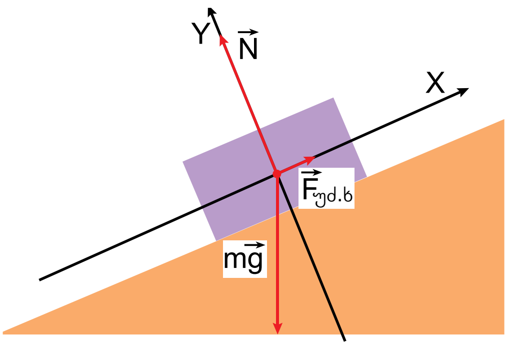
შევკრიბოთ (1) განტოლებები და, ამასთან, გარე და შიდა ძალები ცალ-ცალკე დავაჯგუფოთ:

$$(\vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_3 + \cdots) + (\vec{F}_1' + \vec{F}_2' + \vec{F}_3' + \cdots) = 0.$$

მეორე ფრჩხილებში სხეულის წერტილებზე მოქმედი ყველა შიდა ძალის ვექტორული ჯამია. ნიუტონის მესამე კანონის თანახმად, ნებისმიერ შიდა ძალას შეესაბამება მოდულით ტოლი და საპირისპიროდ მიმართული ძალა. მართალია, ეს ძალები სხეულის სხვადასხვა წერტილზეა მოდებული, მაგრამ ყველა წერტილზე მოქმედი შიდა ძალების ვექტორული ჯამი ნულის ტოლი იქნება, ამიტომ მივიღებთ:

$$\vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_3 + \cdots = 0. \qquad (2)$$

აბსოლუტურად მყარი სხეულის წონასწორობისათვის ეს პირობა აუცილებელია, მაგრამ არა საკმარისი, რადგან სხეულზე მოქმედი გარე ძალების ტოლქმედი შეიძლება ნულის ტოლი იყოს, თუმცა ამ ძალებმა სხეულის მობრუნება მაინც გამოიწვიოს. ამიტომ (2) პირობა აუცილებელიცაა და საკმარისიც მხოლოდ ნივთიერი წერტილის წონასწორობისათვის.



სურ. 3.46

როდესაც მყარი სხეული გაწონასწორებულია, მაშინ მასზე მოდებული გარე ძალების გეომეტრიული ჯამი (ტოლქმედი) ნულის ტოლია.

ეს არის აბსოლუტურად მყარი სხეულის **წონასწორობის პირველი პირობა.**

რადგან წონაწორობისას გარე ძალების ვექტორული ჯამი ნულის ტოლია, მაშინ ნულის ტოლი იქნება ამ ძალების გეგმილების ჯამიც ნებისმიერ ღერძზე.

მაგალითად, ძელაკი დახრილ სიბრტყეზე წონასწორობაშია (სურ. 3.46), ამიტომ:

$$m\vec{g} + \vec{N} + \vec{F}_{უძ.ხ} = 0.$$

ნულის ტოლი იქნება ამ ძალების გეგმილების ჯამიც OX და OY ღერძებზე.

დასკვნები:

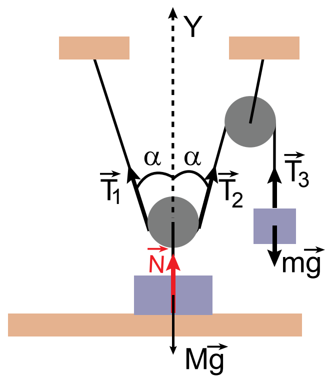
- დროის განმავლობაში სხეულის უძრაობის ან თანაბარი მოძრაობის მდგომარეობის შენარჩუნებას სხეულის წონასწორობა ეწოდება;
- სხეულის ისეთ მოდელს, რომელიც საერთოდ არ დეფორმირდება, აბსოლუტურად მყარი სხეული ეწოდება;
- როდესაც მყარი სხეული გაწონასწორებულია, მაშინ მასზე მოდებული გარე ძალების გეომეტრიული ჯამი (ტოლქმედი) ნულის ტოლია.

საკონტროლო კითხვები:

1. რატომ ვიხილავთ აბსოლუტურად მყარი სხეულის წონასწორობას?
2. რას ნიშნავს, რომ სხეულის ყველა შემადგენელი ნაწილი გაწონასწორებულია?
3. რატომ არის სხეულის ყველა წერტილზე მოქმედი შიდა ძალების ვექტორული ჯამი ნულის ტოლი?
4. ჭეშმარიტია თუ არა მესამე დასკვნის შებრუნებული დებულება? რატომ?

ერთად ამოვხსნათ ამოცანა

ჰორიზონტალურ მაგიდაზე დევს $M = 20$ კგ მასის ძელაკი (სურ 3.47). განსაზღვრეთ ძალა, რომლითაც ძელაკი აწვება მაგიდის ზედაპირს, თუ თოკზე უძრავად დაკიდებული ტვირთის მასა $m = 10$ კგ-ია, ხოლო კუთხე თითოეულ თოკსა და ვერტიკალს შორის – $\alpha = 30^0$. ჭოჭონაქებისა და თოკის მასას, აგრეთვე ჭოჭონაქების ღერძთან ხახუნს ნუ გაითვალისწინებთ ($g \approx 10$ მ/წმ²).



სურ. 3.47

ამოხსნა:

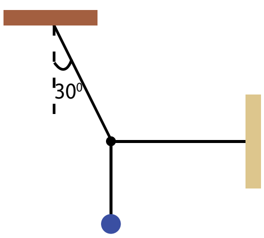
თავიდანვე აღვნიშნოთ, რომ თოკის დაჭიმულობის ძალის მოდული მის ყველა წერტილში ერთნაირია: $T_1 = T_2 = T_3 = T$. ვინაიდან სისტემა გაწონასწორებულია, m მასის სხეულზე მოქმედი თოკის დაჭიმულობის ძალის მოდული მასზე მოქმედი სიმძიმის ძალის მოდულის ტოლი უნდა იყოს: $T = mg = 100$ ნ. M მასის ძელაკზე მოქმედებს y ღერძის გასწვრივ ზევით მიმართული საყრდენის რეაქციის ძალა, რომლის მოდულია N, ვერტიკალისადმი 30^0-იანი კუთხით მიმართული ორი T მოდულის მქონე ძალა და ვერტიკალურად ქვევით მიმართული სიმძიმის ძალა. ვინაიდან M მასის სხეულიც გაწონასწორებულია, ზევით მიმართული ძალების y ღერძზე გეგმილების ჯამი მოდულით იმავე ღერძზე Mg ძალის გეგმილის ტოლია:

$N + 2T\cos 30^0 = Mg \Rightarrow N = Mg - 2T\cos 30^0 \approx 30$ ნ. ნიუტონის მესამე კანონის თანახმად, რა ძალითაც საყრდენი მოქმედებს ძელაკზე, მოდულით იმავე ძალით ძელაკი დააწვება საყრდენს.

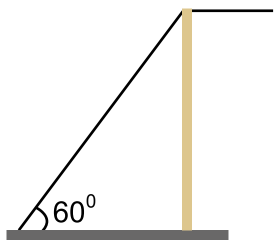
პასუხი: ძელაკი მაგიდას აწვება ≈30 ნ ძალით.

ამოხსენით ამოცანები:

1. იატაკზე მოთავსებულ 20 კგ მასის ყუთზე მოქმედებს იატაკის პარალელური 100 ნ ძალა. განსაზღვრეთ ყუთზე მოქმედი სიმძიმის, რეაქციისა და ხახუნის ძალის მოდულები, თუ ხახუნის კოეფიციენტი ყუთსა და იატაკის ზედაპირს შორის 0,6-ია. მიიჩნიეთ, რომ $g=10$ მ/წმ².
2. ჰორიზონტისადმი 30^0-იანი კუთხით დახრილ სიბრტყეზე უძრავად დევს ძელაკი, რომლის მასა 5 კგ-ია. განსაზღვრეთ ძელაკზე მოქმედი სიმძიმის, რეაქციისა და ხახუნის ძალის მოდულები.
3. თოკზე ჩამოკიდებული 10 კგ მასის ბურთულა მავთულით მიაბეს კედელზე ისე, რომ თოკმა ვერტიკალთან 30^0-იანი კუთხე შეადგინა (სურ 3.48). განსაზღვრეთ თოკსა და მავთულში აღძრული დაჭიმულობის ძალის მოდულები. მიიჩნიეთ, რომ $g=10$ მ/წმ².
4. ვერტიკალური ბოძის ზედა წერტილში მობმულია მავთული, რომელიც ჰორიზონტალურადაა დაჭიმული 500 ნ ძალით (სურ 3.49). მდგრადობისათვის ბოძი ზედა წერტილით მიბმულია მიწაზე ბაგირით, რომელიც ჰორიზონტთან 60^0-იან კუთხეს ქმნის. განსაზღვრეთ ბაგირში აღძრული დაჭიმულობის ძალის მოდული.



სურ. 3.48



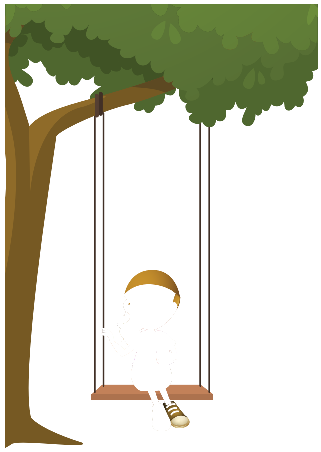
სურ.3.49

5. საქანელაზე, რომელიც 4 თოკზეა დაკიდებული, ზის 40 კგ მასის ბავშვი სურ 3.50. საქანელას მასას ნუ გაითვალისწინებთ და განსაზღვრეთ თითოეული თოკის დაჭიმულობის ძალის მოდული. მიიჩნიეთ, რომ თოკები თანაბრადაა დაჭიმული და $g=10$ მ/წმ^2.

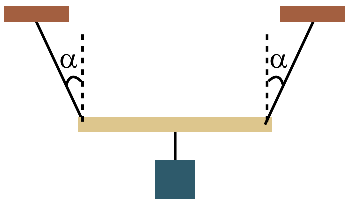
6. მყარი ღერო ჩამოკიდებულია ორ თოკზე, რომლებიც შვეულთან 30^0-იან კუთხეს ქმნის (სურ 3.51ა). ღეროს მასა მასზე დაკიდებულ ტვირთთან ერთად 17 კგ-ია. განსაზღვრეთ თითოეულ თოკში აღძრული დაჭიმულობის ძალის მოდული. მიიჩნიეთ, რომ $g=10$ მ/წმ^2.

7. ღერო მასზე დაკიდებული ტვირთით ჯერ ისეა ჩამოკიდებული ორ თოკზე, როგორც სურ. 3.51ა ნაჩვენები, შემდეგ კი იმავე თოკებზე ისე, როგორც – სურ. 3.51ბ. რომელ შემთხვევაშია თოკების გაწყვეტა უფრო მეტად მოსალოდნელი?

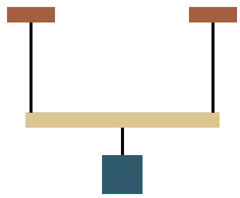
8. ნივთიერ წერტილზე მოდებულია სამი ჰორიზონტალური ძალა ისე, რომ თითოეული დანარჩენთან 120^0-იან კუთხეს ადგენს. ორი მათგანის მოდული 100 ნიუტონია. რისი ტოლია მესამე ძალის მოდული, თუ ნივთიერი წერტილი წონასწორობაშია?



სურ. 3.50



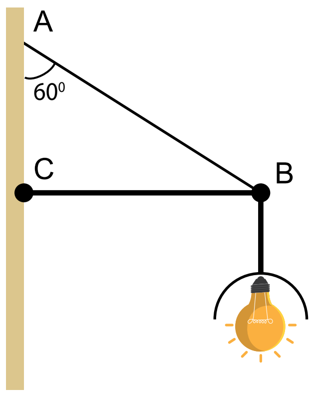
სურ.3.51ა



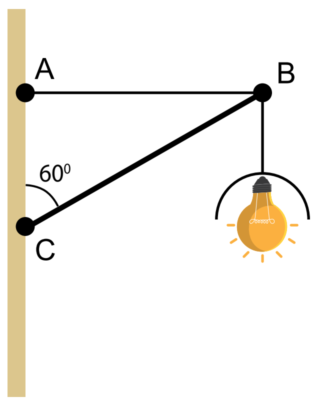
სურ. 3.51ბ

9. სურ. 3.52 გამოსახული კრონშტეინი შედგება BC ღეროსა და AB გვარლისაგან. მის B წერტილში დაკიდებულია 2 კგ მასის სანათი. რისი ტოლია გვარლსა და ღეროში აღძრული დრეკადობის ძალის მოდულები, თუ AB გვარლი ვერტიკალთან 60^0-იან კუთხეს ადგენს? მიიჩნიეთ, რომ $g=10$ მ/წმ^2.

10. სურ. 3.53 გამოსახულ ABC კრონშტეინზე დაკიდებულია სანათი. BC ღეროში აღძრული დრეკადობის ძალის მოდული 100 ნ-ია. განსაზღვრეთ სანათის მასა და AB ღეროში აღძრული დრეკადობის ძალა, თუ BC ღერო ვერტიკალთან 60^0-იან კუთხეს ადგენს.



სურ. 3.52

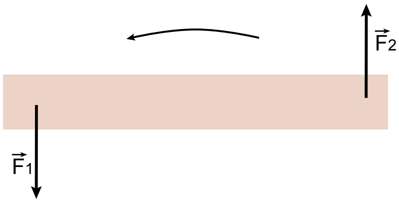


სურ. 3.53

§ 3.8 მყარი სხეულის წონასწორობის მეორე პირობა

წინა პარაგრაფში ჩვენ აღვნიშნეთ, რომ მყარი სხეულისათვის გარე ძალების ვექტორული ჯამის ნულთან ტოლობა აუცილებელია, მაგრამ არასაკმარისი პირობაა მისი წონასწორობისათვის.

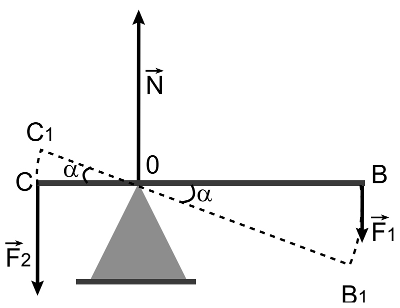
რა შემთხვევაში შეიძლება, რომ მყარ სხეულზე მოქმედი გარე ძალების ჯამი ნულის ტოლი იყოს, მაგრამ სხეული გაწონასწორებული არ იყოს? განვიხილოთ მაგალითი:



სურ. 3.54

მაგიდაზე დავდოთ სახაზავი და მის სხვადასხვა წერტილში მოვდოთ მოდულით ტოლი და სახაზავის მართობულად მიმართული ორი ურთიერთსაპირისპირო ძალა (სურ. 3.54). მათი ჯამი ნულის ტოლია: $\vec{F}_1 + \vec{F}_2 = 0$. მიუხედავად ამისა, სახაზავი მობრუნდება, ანუ ამოძრავდება – გამოვა წონასწორობის მდგომარეობიდან. რა არის ამის მიზეზი?

სხეულის წონასწორობისათვის აუცილებელი და საკმარისი პირობაა, რომ მის ყველა (რაგინდ მცირე) ნაწილზე მოქმედი ძალების ჯამი ნულის ტოლი იყოს. ჩვენს შემთხვევაში ეს პირობა დარღვეულია – მართალია, მთელ სახაზავზე მოქმედი გარე ძალების ჯამი ნულის ტოლია, მაგრამ სახაზავის ცალკეულ ელემენტზე მოქმედი გარე ძალების ჯამი ნულისაგან განსხვავდება. რა დამატებითი პირობაა საჭირო მყარი სხეულის წონასწორობისათვის?



სურ. 3.55

ამ კითხვაზე პასუხის გასაცემად თქვენთვის ნაცნობი მოწყობილობა – ბერკეტი გამოვიყენოთ. ბერკეტი იმდენად მსუბუქი ავიღოთ, რომ მასზე მოქმედი სიმძიმის ძალის უგულებელყოფა შეგვეძლოს. ვთქვათ, ბერკეტზე მის მართობულად მოდებულია ორი $\vec{F}_1$ და $\vec{F}_2$ ძალა ისე, როგორც ეს სურ. 3.55 არის გამოსახული. ამ ძალების გარდა, ბერკეტზე საყრდენის მხრიდან მოქმედებს შვეულად ზევით მიმართული რეაქციის $\vec{N}$ ძალა. ამასთან, უნდა შესრულდეს პირობა: $\vec{N} + \vec{F}_1 + \vec{F}_2 = 0$.

გამოვთვალოთ მუშაობა, რომელსაც გარე ძალები ბერკეტის ძალიან მცირე α კუთხით შემოტრიალებისას ასრულებს. $\vec{F}_1$ და $\vec{F}_2$ ძალების მოდების წერტილები ამ მობრუნებისას $s_1 = BB_1$ და $s_2 = CC_1$ მანძილებს გაივლის. α კუთხის სიმცირის გამო $\overset{\frown}{BB_1}$ და $\overset{\frown}{CC_1}$ რკალები შეიძლება მონაკვეთებად მივიჩნიოთ. შემობრუნებისას B წერტილი $\vec{F}_1$ ძალის მიმართულებით გადაადგილდება, ამიტომ მის მიერ შესრულებული მუშაობა დადებითია – $A_1 = F_1 s_1$. C წერტილი კი $\vec{F}_2$ ძალის მიმართულების საწინააღმდეგოდ გადაადგილდება, ამიტომ მის მიერ შერულებული მუშაობა უარყოფითია – $A_2 = -F_2 s_2$. საყრდენის რეაქციის ძალა მუშაობას არ ასრულებს, რადგან მისი მოდების წერტილი ბერკეტის მობრუნებისას არ გადაადგილდება.

მანძილს ბრუნვის ღერძიდან ძალის მოქმედების წრფემდე ძალის მხარი ეწოდება და მას d ასოთი აღნიშნავენ.

ძალის მოდულის ნამრავლს მის მხარზე ძალის მომენტი (მაბრუნებელი მომენტი) ეწოდება. ის M ასოთი აღინიშნება. ძალის მომენტი შეიძლება იყოს როგორც დადებითი, ასევე უარყოფითი. თუ ძალა სხეულს საათის ისრის მიმართულებით აბრუნებს, მისი მომენტი დადებითად მიიჩნევა, თუ საათის ისრის საწინააღმდეგოდ – უარყოფითად.

სურათიდან ჩანს, რომ $OB = d_1$, $\vec{F}_1$ ძალის მხარია, ხოლო $OC = d_2$, – $\vec{F}_2$ ძალის მხარი.

თუ α კუთხეს რადიანებში გავზომავთ, B და C წერტილების გადაადგილებები ტოლი იქნება: $s_1 = \alpha d_1$ და $s_2 = \alpha d_2$. თუ გადაადგილებების ამ მნიშვნელობებს მუშაობის გამომსახველ ტოლობებში ჩავსვამთ, მივიღებთ:

$$A_1 = F_1 \alpha d_1, \; A_2 = F_2 \alpha d_2. \qquad (1)$$

რადგან $M_1 = F_1 d_1$ და $M_2 = F_2 d_2$, ამიტომ ამ ტოლობების მარჯვენა მხარეები ძალის მომენტისა და კუთხის ნამრავლს წარმოადგენს და (1) ტოლობები ასე ჩაიწერება:

$$A_1 = M_1 \alpha, \; A_2 = M_2 \alpha. \qquad (2)$$

(2) ტოლობების შეკრებით მივიღებთ გარე ძალების მიერ შესრულებულ მთლიან მუშაობას:

$$A = A_1 + A_2 = (M_1 + M_2)\alpha. \qquad (3)$$

როცა სხეულზე მოქმედი გარე ძალების მუშაობათა ჯამი ნულისაგან განსხვავებულია, მისი კინეტიკური ენერგია იცვლება, ანუ იცვლება მისი სიჩქარე, რაც იმას ნიშნავს, რომ სხეული გამოვა წონასწორული მდგომარეობიდან. სხეულის წონასწორობისათვის გარე ძალების მთლიანი მუშაობა ნულის ტოლი უნდა იყოს. (3) ტოლობიდან გამომდინარეობს, რომ ეს შესაძლებელია მაშინ, როცა სხეულზე მოქმედი გარე ძალების მომენტების ჯამი ნულის ტოლია:

$$M_1 + M_2 = 0$$

მყარი სხეულის წონასწორობისას მასზე მოქმედი გარე ძალების მომენტების ჯამი ნებისმიერი ღერძის მიმართ ნულის ტოლია.

ეს დებულება მყარი სხეულის **წონასწორობის მეორე პირობაა.**

ამრიგად, წონასწორობის პირველი და მეორე პირობების გაერთიანებით შეგვიძლია ჩამოვაყალიბოთ მყარი სხეულის წონასწორობის ზოგადი პირობა – **მყარი სხეული გაწონასწორებულია, თუ მასზე მოქმედი გარე ძალების ტოლქმედი და ამ ძალების მომენტების ჯამი ნებისმიერი ღერძის მიმართ ნულის ტოლია:**

$$\begin{cases} \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_3 + \cdots = 0 \\ M_1 + M_2 + M_3 + \cdots = 0 \end{cases} \qquad (4)$$

თუ სხეული არ არის აბსოლუტურად მყარი, (4) პირობის შესრულების მიუხედავად, სხეული შეიძლება არ იყოს წონასწორულ მდგომარეობაში. მაგალითად, როცა რეზინის ზონარს ბოლოებში მოვდებთ ზონრის გასწვრივ საპირისპიროდ მიმართულ მოდულით ტოლ ძალებს, ის გაწონასწორებული არ იქნება (გაიწელება), თუმცა მასზე მოქმედი გარე ძალების ჯამი ნულის ტოლია და ასევე ნულის ტოლია ამ ძალების მომენტების ჯამი ზონრის ნებისმიერ წერტილზე გამავალი ღერძის მიმართ.

დასკვნები:

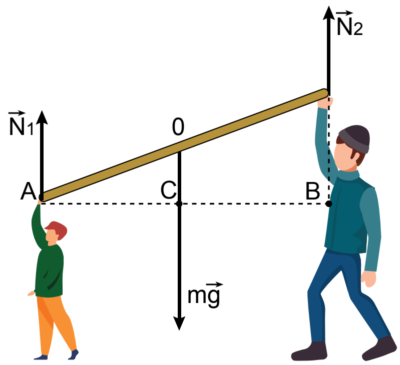
- მყარი სხეულის წონასწორობისას მასზე მოქმედი გარე ძალების მომენტების ჯამი ნებისმიერი ღერძის მიმართ ნულის ტოლია;
- მყარი სხეული გაწონასწორებულია, თუ მასზე მოქმედი გარე ძალების ტოლქმედი და ამ ძალების მომენტების ჯამი ნებისმიერი ღერძის მიმართ ნულის ტოლია.

საკონტროლო კითხვები:

1. როდესაც მყარ სხეულს აქვს რეალური უძრავი ბრუნვის ღერძი, მისი წონასწორობისათვის რატომაა საკმარისი მხოლოდ მომენტების ჯამის ნულთან ტოლობა?
2. ჭეშმარიტია თუ არა მეორე დასკვნის შებრუნებული მტკიცება ნებისმიერი სხეულისათვის?

ერთად ამოვხსნათ ამოცანა

შვილმა გადაწყვიტა მამას მიხმარებოდა m მასის ერთგვაროვანი მილის გადატანაში. მამამ იფიქრა, მილს მაღლა ავწევ და ამით შვილს ნაკლები სიმძიმე დააწვება (სურ 3.56). როგორ გგონიათ, მამის აზრი მართებულია?



სურ. 3.56

განსაზღვრეთ შვილისა და მამის მხრიდან მილზე მოქმედი რეაქციის ძალები, თუ ისინი მილზე ვერტიკალურად ზევით მოქმედებენ და მილი წონასწორობაშია (g = 10 მ/წმ²).

ამოხსნა:

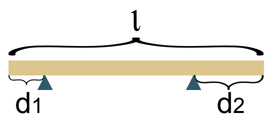
ერთგვაროვან მილზე მოქმედი სიმძიმის ძალა მოდებულია მის გეომეტრიულ ცენტრში, O წერტილში. ვინაიდან მილი წონასწორობაშია, მასზე მოქმედი ძალების მომენტები ერთმანეთს უნდა აბათილებდეს მილის ნებისმიერ წერტილზე გავლებული ღერძის მიმართ. ბრუნვის ღერძად მივიჩნიოთ A წერტილში გავლებული სურათის სიბრტყის მართობული ღერძი. მაშინ ბიჭის მხრიდან მოქმედ $\vec{N}_1$ რეაქციის ძალის მომენტი ნულის ტოლი იქნება, რადგან ის ბრუნვის ღერძზე გადის. A წერტილის მიმართ $m\vec{g}$ ძალის მომენტის მოდული – $M_1 = mg \cdot AC$, ხოლო $\vec{N}_2$ რეაქციის ძალისა – $M_2 = N_2 \cdot AB$. ეს სიდიდეები ერთმანეთის ტოლია: $mg \cdot AC = N_2 \cdot AB$ (1). მართკუთხა სამკუთხედების მსგავსებით ადვილად დავადგენთ, რომ $AB = 2AC$. თუ მიღებულ შედეგს გავითვალისწინებთ (1) განტოლებაში, მივიღებთ: $mg \cdot AC = N_2 \; 2AC \Rightarrow N_2 = \dfrac{mg}{2}$ (2). ვინაიდან მილი წონასწორობაშია და მასზე მხოლოდ ვერტიკალური ძალები მოქმედებს, N_1 და N_2 რეაქციის ძალების ჯამი მოდულით mg-ს ტოლი უნდა იყოს: $N_1 + N_2 = mg$ (3). ამ ფორმულაში (2) ტოლობის გათვალისწინებით მივიღებთ: $N_1 = \dfrac{mg}{2}$.

პასუხი: მამაც და შვილიც მილზე ერთნაირი $\dfrac{mg}{2}$-ის ტოლი ძალით მოქმედებენ.

ამოხსენით ამოცანები:

1. ჰორიზონტალურ იატაკზე დევს ერთგვაროვანი 20 კგ მასის ღერო. რა მინიმალური ძალა უნდა მოვდოთ მის ერთ ბოლოს, რომ იატაკიდან ოდნავ წამოვწიოთ? ($g \approx 10$ მ/წმ²).

2. ორ სადგამზე ჰორიზონტალურ მდგომარეობაში გაწონასწორებულია l =2 მ სიგრძისა და 60 კგ მასის ერთგვაროვანი ძელი (სურ 3.57). მანძილი თითოეული სადგამიდან ძელის უახლოეს ბოლომდე d_1=20 სმ და d_2=40 სმ-ია. მიიჩნიეთ, რომ g=10 მ/წმ² და განსაზღვრეთ:



სურ. 3.57

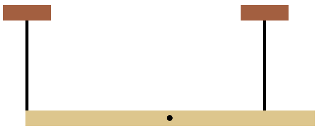
ა) რა მინიმალური ძალა უნდა მოვდოთ ძელის მარცხენა ბოლოს, რომ იგი წამოვწიოთ?

ბ) რა მინიმალური ძალა უნდა მოვდოთ ძელის მარჯვენა ბოლოს, რომ იგი წამოვწიოთ?

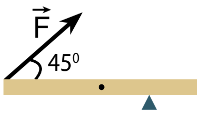
3. ჰორიზონტალურ იატაკზე დევს 10 კგ მასის ერთგვაროვანი კუბი. რა მინიმალური ჰორიზონტალური ძალა უნდა მოვდოთ კუბის ზედა წახნაგს წიბოს მართობულად, რომ კუბმა გადაბრუნება დაიწყოს? მიიჩნიეთ, რომ კუბი იატაკზე არ სრიალებს ($g≈10$ მ/წმ^2).

4. ორ ვერტიკალურ თოკზე ჰორიზონტალურად კიდია 20 კგ მასისა და 1 მ სიგრძის ერთგვაროვანი ღერო (სურ. 3.58). განსაზღვრეთ თოკის დაჭიმულობის ძალები, თუ მანძილი ღეროს მარჯვენა ბოლოდან მარჯვენა თოკის მობმის წერტილამდე 20 სმ-ია. მიიჩნიეთ, რომ $g=10$ მ/წმ^2.

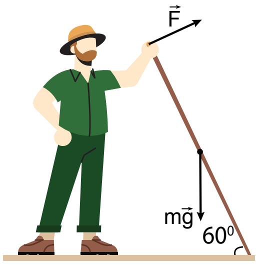
5. 1 მ სიგრძისა და 40 კგ მასის ერთგვაროვანი ღერო ეყრდნობა მახვილი წვეროს მქონე საყრდენს (სურ. 3.59). ჰორიზონტალურ მდგომარეობაში ღეროს იჭერენ მარცხენა ბოლოზე მოდებული და ჰორიზონტისადმი 45^0-იანი კუთხით მიმართული ძალით. განსაზღვრეთ ამ ძალის მოდული, თუ მანძილი ღეროს მარცხენა ბოლოდან საყრდენამდე 70 სმ-ია. მიიჩნიეთ, რომ ღერო ძალის მოქმედებისას საყრდენზე არ სრიალებს ($g=10$ მ/წმ^2).



სურ. 3.58



სურ. 3.59

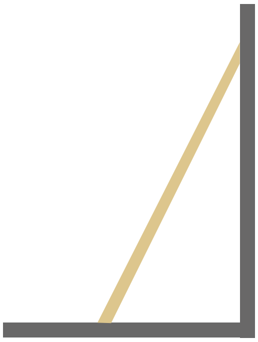


სურ. 3.60

6. ხელოსანი 30 კგ მასის ერთგვაროვან ღეროს აკავებს მის ბოლოზე მოდებული და ღეროს მართობულად მიმართული ძალით ისე, რომ ღერო ჰორიზონტთან 60^0-იან კუთხეს ადგენს (სურ. 3.60). განსაზღვრეთ იმ ძალის მოდული, რომლითაც ხელოსანი ღეროზე მოქმედებს. მიიჩნიეთ, რომ $g=10$ მ/წმ^2.

7. წინა ამოცანის პირობის მიხედვით, განსაზღვრეთ ღეროს ქვედა ბოლოზე მოქმედი საყრდენის რეაქციისა და ხახუნის ძალის მოდულები.

8. ვერტიკალურ კედელს ეყრდნობა იატაკზე დადგმული კიბე, რომლის პროფილიც გამოსახულია სურ. 3.61. ნახაზი რვეულში გადაიხაზეთ და გამოსახეთ კიბეზე მოქმედი სიმძიმის, კედლისა და იატაკის მხრიდან მოქმედი ხახუნისა და რეაქციის ძალები.



სურ. 3.61

9. ვერტიკალურ გლუვ კედელს ეყრდნობა იატაკზე დადგმული 30 კგ მასის ერთგვაროვანი კიბე, რომლის პროფილიც გამოსახულია სურ. 3.61. კუთხე კიბესა და იატაკს შორის 60^0-ია. მიიჩნიეთ, რომ $g=10$ მ/წმ^2 და განსაზღვრეთ:

ა) კიბეზე კედლის მხრიდან მოქმედი რეაქციის ძალის მოდული;

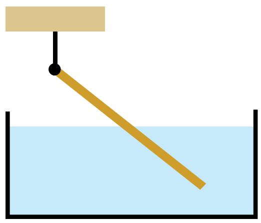
ბ) კიბეზე იატაკის მხრიდან მოქმედი რეაქციის ძალის მოდული;

გ) კიბეზე იატაკის მხრიდან მოქმედი ხახუნის ძალის მოდული.

10. ვერტიკალურ თოკზე ერთი ბოლოთი ჩამოკიდებული 3 კგ მასის ერთგვაროვანი ღერო წონასწორულ მდგომარეობაშია ისე, რომ მისი ნახევარი წყალშია ჩაძირული (სურ 3.62). მიიჩნიეთ, რომ $g=10$ მ/წმ^2 და განსაზღვრეთ:

ა) რამდენჯერ მეტია ღეროზე მოქმედი ამომგდები ძალა მის მარცხენა ბოლოზე მოქმედ თოკის დაჭიმულობის ძალაზე?

ბ) ღეროზე მოქმედი ამომგდები და თოკის დაჭიმულობის ძალები.



სურ. 3.62

მესამე თავის თავის შემაჯამებელი ამოცანები

1. 240 კგ მასისა და 4 მ სიგრძის უძრავი ნავის ერთი ბოლოდან მეორეში გადავიდა 60 კგ მასის მეთევზე. რამდენით გადაინაცვლებს ნავი წყლის მიმართ? წინააღმდეგობის ძალებს ნუ გაითვალისწინებთ.

2. 240 კგ მასისა და 3 მ სიგრძის უძრავი ნავის თავსა და ბოლოში დგას ორი მეთევზე, რომელთა მასები 80 კგ და 60 კგ-ია. რამდენით გადაინაცვლებს ნავი წყლის მიმართ, თუ მეთევზეები ადგილებს გაცვლიან? წინააღმდეგობის ძალებს ნუ გაითვალისწინებთ. მიიჩნიეთ, რომ მეთევზეები ერთდროულად ამოძრავდნენ და ერთდროულად გაჩერდნენ.

3. ჰორიზონტალური წრფის გასწვრივ მოძრავი 200 გ და 300 გ მასის პლასტილინის ორი ბურთულა დაჯახების შემდეგ ერთმანეთს შეეწება და გაჩერდა. რისი ტოლი იყო 300 გ-იანი ბურთულის სიჩქარის მოდული დაჯახებამდე, თუ 200 გ-იანი ბურთულის სიჩქარის მოდული 3 მ/წმ-ის ტოლი იყო?

4. ჰორიზონტალურ ლიანდაგზე 0,5 მ/წმ სიჩქარით მოძრავი 50 ტ მასის ვაგონი ეჯახება და ებმება უძრავად მდგომი ვაგონების 200 ტ-იან შემადგენლობას. განსაზღვრეთ ახალი შემადგენლობის სიჩქარის მოდული შეჯახების შემდეგ. წინააღმდეგობის ძალებს ნუ გაითვალისწინებთ.

5. 240 კგ მასის უძრავი ნავიდან, მის მიმართ 2 მ/წმ სიჩქარით ჰორიზონტალური მიმართულებით, გადახტა 80 კგ მასის მაშველი. განსაზღვრეთ ნავის მიერ შეძენილი სიჩქარე.

6. 800 ტ მასის უძრავი გემიდან ჰორიზონტისადმი 60^0-იანი კუთხითა და დედამიწის მიმართ 200 მ/წმ სიჩქარით ქვემეხიდან გაისროლეს 80 კგ მასის ჭურვი. ჰორიზონტალური მიმართულების რა სიჩქარეს შეიძენს გემი გასროლის შედეგად?

7. რა სიჩქარე შეიძინა 1 ტ მასის უძრავმა რეაქტიულმა თვითმფრინავმა, თუ მან 50 კგ მასის წვის პროდუქტები თვითმფრინავის მიმართ 300 მ/წმ სიჩქარით ერთბაშად გამოტყორცნა? თვითმფრინავზე მოქმედი წინააღმდეგობის ძალები უგულებელყავით (სურ 3.63).

სურ. 3.63

8. ყინულზე ციგურებით მდგომმა 60 კგ მასის ბიჭმა 3 მ/წმ სიჩქარით ჰორიზონტალურად გაისროლა 2 კგ მასის სხეული. განსაზღვრეთ, რა კინეტიკურ ენერგიას შეიძენს ბიჭი გასროლისას და რა მანძილზე გასრიალდება ის გასროლის საწინააღმდეგო მიმართულებით, თუ ხახუნის კოეფიციენტი ციგურებსა და ყინულს შორის 0,04-ია ($g \approx 10$ მ/წმ²).

9. $\vec{v}$ სიჩქარით მოძრავი ბილიარდის ბურთულა ეჯახება ისეთივე უძრავ ბურთულას. განსაზღვრეთ მათი სიჩქარეები დაჯახების შემდეგ, თუ დაჯახება აბსოლუტურად დრეკადია და ცენტრული.

10. 2 მ/წმ სიჩქარით მოძრავი ბილიარდის ბურთულა ეჯახება ისეთივე უძრავ ბურთულას. დაჯახების შემდეგ ბურთულები ამოძრავდნენ ურთიერთმართობული მიმართულებით მოდულით ტოლი სიჩქარით. განსაზღვრეთ ბურთულების სიჩქარე დაჯახების შემდეგ, თუ დაჯახება აბსოლუტურად დრეკადია.

11. 3 მ/წმ სიჩქარით მოძრავი 2 კგ მასის ბირთვი ეჯახება 1 კგ მასის უძრავ ბირთვს. განსაზღვრეთ მათი კინეტიკური ენერგიები დაჯახების შემდეგ, თუ დაჯახება აბსოლუტურად დრეკადია და ცენტრული.

12. ერთი წრფის გასწვრივ შემხვედრი მიმართულებით მოძრაობს ორი ბირთვი. პირველის მასა და სიჩქარე, შესაბამისად, 10 კგ და 2 მ/წმ-ია, მეორისა კი – 4 კგ და 5 მ/წმ. რა სიჩქარითა და მიმართულებით გააგრძელებენ ბირთვები მოძრაობას დაჯახების შემდეგ, თუ დაჯახება აბსოლუტურად დრეკადია და ცენტრული?

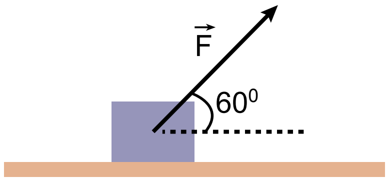
13. 4 კგ მასისა და 10 მ/წმ სიჩქარით მოძრავი ბირთვი დაეწია იმავე მიმართულებით 2 მ/წმ სიჩქარით მოძრავ 2 კგ მასის ბირთვს და შეეჯახა მას. განსაზღვრეთ მათი სიჩქა-

რეები დაჯახების შემდეგ, თუ ბირთვები ერთი წრფის გასწვრივ მოძრაობენ, დაჯახება აბსოლუტურად დრეკადია და ცენტრული.

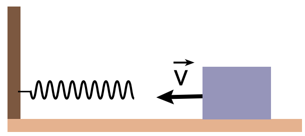
14. 100 გ მასის ჩოგბურთის ბურთი 5 მ/წმ სიჩქარით ეჯახება იატაკს და სიჩქარის მოდულის შეუცვლელად ირეკლება მისგან. ბურთის სიჩქარე როგორც დაცემამდე, ასევე არეკვლის შემდეგ იატაკთან 30^0-იან კუთხეს ქმნის. იპოვეთ ბურთის იმპულსის ცვლილება.

15. ჰორიზონტალურ იატაკზე მოთავსებულ 10 კგ მასის უძრავ ხის ძელს მოსდეს ჰორიზონტისადმი 60^0-იანი კუთხით მიმართული 100 ნ ძალა (სურ 3.64) განსაზღვრეთ ძელის მიერ 50 მ მანძილის გავლისას შეძენილი კინეტიკური ენერგია, თუ მისი ზედაპირთან ხახუნის კოეფიციენტი 0,2-ია ($g \approx 10$ მ/წმ^2).

16. ერთი ბოლოთი კედელზე მიმაგრებულ ჰორიზონტალურ ზამბარას ძელაკი დაეჯახა (სურ 3.65) და ის 5 სმ-ით შეკუმშა. რამდენით შეიკუმშება ზამბარა, თუ ძელაკი მას 2-ჯერ მეტი სიჩქარით დაეჯახება? წინააღმდეგობის ძალებს ნუ გაითვალისწინებთ. მიიჩნიეთ, რომ ზამბარა დრეკადი დეფორმაციის ფარგლებში იკუმშება.



სურ.3.64



სურ. 3.65

17. დედამიწის ზედაპირიდან ვერტიკალურად ზევით 20 მ/წმ საწყისი სიჩქარით აისროლეს ბურთულა. რა სიმაღლეზე გაუტოლდება მისი კინეტიკური ენერგია პოტენციალურს? რისი ტოლი იქნება ბურთულის სიჩქარე ამ სიმაღლეზე? წინააღმდეგობის ძალებს ნუ გაითვალისწინებთ ($g \approx 10$ მ/წმ^2).

18. 100 მ სიმაღლიდან ვარდნას იწყებს ბურთულა. იპოვეთ დედამიწის ზედაპირიდან რა სიმაღლეზე გაუტოლდება ბურთულის კინეტიკური ენერგია პოტენციალურს და რისი ტოლი იქნება მისი სიჩქარე ამ სიმაღლეზე? ჰაერის წინააღმდეგობას ნუ გაითვალისწინებთ ($g \approx 10$ მ/წმ^2).

19. ჰორიზონტისადმი კუთხით გასროლილმა ბურთულამ 5 მ სიმაღლეს მიაღწია. განსაზღვრეთ ბურთულის გასროლის სიჩქარის მოდული, თუ მაქსიმალურ სიმაღლეზე მისი სიჩქარე 10 მ/წმ-ის ტოლია. წინააღმდეგობის ძალებს ნუ გაითვალისწინებთ ($g \approx 10$ მ/წმ^2).

20. 8 კგ მასის ციგაზე მჯდომი 22 კგ მასის ბიჭი 2 მ/წმ საწყისი სიჩქარით ეშვება 10 მ სიმაღლის გორაკიდან და მის ბოლოს 10 მ/წმ სიჩქარეს ავითარებს. განსაზღვრეთ, ბიჭისა და ციგის მექანიკური ენერგიიდან რამდენი ჯოული ენერგია გარდაიქმნა შინაგან ენერგიად ($g \approx 10$ მ/წმ^2).

21. ნავზე მოქმედი წყლის წინააღმდეგობის ძალა მისი სიჩქარის პროპორციულია. ნავის სიჩქარე ორჯერ გაზარდეს. როგორ შეიცვალა ამ დროს მისი ძრავის სიმძლავრე? მიიჩნიეთ, რომ ნავი სიჩქარის გაზრდამდე და მისი გაზრდის შემდეგაც თანაბრად მოძრაობდა.

22. ნავზე მოქმედი წყლის წინააღმდეგობის ძალა მისი სიჩქარის კვადრატის პროპორციულია. რამდენჯერ უნდა გავზარდოთ ნავის ძრავის სიმძლავრე, რომ მისი სიჩქარე ორჯერ გაიზარდოს? მიიჩნიეთ, რომ ნავი სიჩქარის გაზრდამდე და მისი გაზრდის შემდეგაც თანაბრად მოძრაობს.

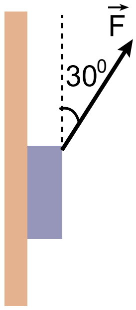
23. თვითმფრინავი მიფრინავს 800 კმ/სთ სიჩქარით, რომლის ორი ძრავიდან თითოეული 40 მგვტ სიმძლავრეს ავითარებს. განსაზღვრეთ თითოეული ძრავის წევის ძალა.

24. 150 მ სიგრძისა და 12 მ სიმაღლის ფერდობის უმაღლესი წერტილიდან გოგონა საწყისი სიჩქარის გარეშე ციგით დაეშვა. რისი ტოლია ციგაზე მოქმედი წინააღმდეგობის

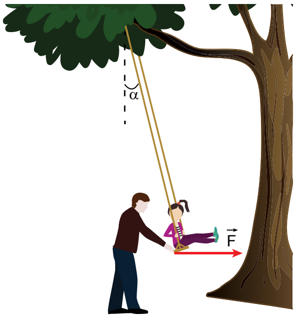
ძალის მოდული, თუ გოგონასა და ციგის სიჩქარე ფერდობის ბოლოს 12,2 მ/წმ-ის ტოლია? ციგისა და გოგონას საერთო მასა 80 კგ-ია ($g \approx 10$ მ/წმ²).

25. 500 გ მასის მაგნიტს, რომელიც ლითონის ვერტიკალურ დაფას 50 ნ ძალით ეკვრის, ზევით თანაბრად მიასრიალებენ დაფისადმი 30^0-იანი კუთხით მიმართული 40 ნ ძალით (სურ 3.66). ამ ძალის ვექტორი სურათის სიბრტყეშია. განსაზღვრეთ ხახუნის კოეფიციენტი მაგნიტსა და დაფას შორის ($g \approx 10$ მ/წმ²).

26. საქანელაზე მჯდომი 30 კგ ბავშვის გასაქანებლად მამა მას ჰორიზონტალურად მიმართული 400 ნ ძალით მიაწვა. შედეგად საქანელას თოკები ვერტიკალიდან გარკვეული კუთხით გადაიხარა (სურ. 3.67). რისი ტოლია საქანელას ორი თოკიდან თითოეულის დაჭიმულობის ძალა გადახრილ მდგომარეობაში?



სურ.3.66

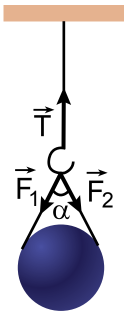


სურ.3.67

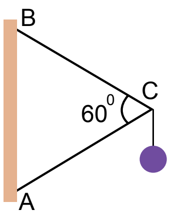
27. 50 კგ მასის ბირთვი მასზე გამობმული ორი თოკით ჩამოკიდებულია კაუჭზე (სურ 3.68). განსაზღვრეთ ბირთვზე გამობმული თოკებისა და კაუჭის დამჭერი თოკის დაჭიმულობის ძალის მოდულები, თუ კუთხე ბირთვზე მიმაგრებულ თოკებს შორის 60^0-ია ($g \approx 10$ მ/წმ²). თოკების მასას ნუ გაითვალისწინებთ.

28. ABC კრონშტეინზე დაკიდებულია 10 კგ მასის ბირთვი (სურ 3.69). განსაზღვრეთ AC და BC ღეროებში აღძრული დრეკადობის ძალის მოდულები, თუ AC და BC ღეროების სიგრძე ერთნაირია, ხოლო კუთხე მათ შორის – 60^0 ($g \approx 10$ მ/წმ²). ღეროების მასა უგულებელყავით.

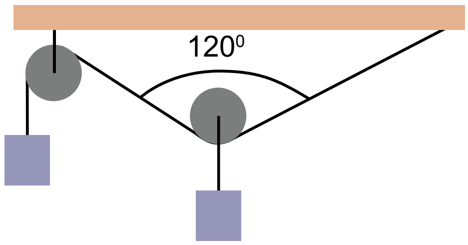
29. განსაზღვრეთ უძრავ და მოძრავ ჭოჭონაქებზე დაკიდებული ტვირთების მასების შეფარდება, თუ სისტემა გაწონასწორებულია (სურ 3.70). კუთხე მოძრავ ჭოჭონაქზე ამოდებულ თოკებს შორის 120^0-ია. ჭოჭონაქებისა და თოკის მასას ნუ გაითვალისწინებთ.



სურ. 3.68



სურ.3.69



სურ. 3.70

30. წინა ამოცანის პირობის მიხედვით, განსაზღვრეთ, როგორ უნდა შევცვალოთ მოძრავ ჭოჭონაქზე დაკიდებული ტვირთის მასა, რომ თოკებს შორის კუთხის გაზრდისას სისტემა კვლავ წონასწორულ მდგომარეობაში აღმოჩნდეს? უძრავ ჭოჭონაქზე დაკიდებული ტვირთის მასა ამ დროს უცვლელად მიიჩნიეთ.

ზოგიერთი ნივთიერების სიმკვრივე

ნივთიერება	χ, კგ/მ³	ρ, გ/სმ³	ნივთიერება	ρ, კგ/მ³	ρ, გ/სმ³
მყარი ნივთიერება, 20 °C (გარდა ყინულისა)					
ოსმიუმი	22 600	22,6	მარმარილო	2 700	2,7
ირიდიუმი	22 400	22,4	ფანჯრის მინა	2 500	2,5
პლატინა	21 500	21,5	ფაიფური	2 300	2,3
ოქრო	19 300	19,3	ბეტონი	2 300	2,3
ტყვია	11 300	11,3	სუფრის მარილი	2 200	2,2
ვერცხლი	10 500	10,5	აგური	1 800	1,8
სპილენძი	8 900	8,9	პოლიეთილენი	920	0,92
ფოლადი, რკინა	7 800	7,8	პარაფინი	900	0,9
კალა	7 300	7,3	ყინული	900	0,9
თუთია	7 100	7,1	მუხა (მშრალი)	700	0,7
თუჯი	7 000	7	ფიჭვი (მშრალი)	400	0,4
ალუმინი	2 700	2,7	კორპი	240	0,24
თხევადი ნივთიერება, 20 °C					
ვერცხლისწყალი	13 600	13,6	ნავთი	800	0,8
გოგირდმჟავა	1 800	1,8	სპირტი	800	0,8
გლიცერინი	1 200	1,2	ნავთობი	800	0,8
ზღვის წყალი	1 030	1,03	აცეტონი	790	0,79
წყალი	1 000	1	ბენზინი	710	0,71
მზესუმზირის ზეთი	930	0,93	თხევადი კალა 400 °C	6 800	6,8
მანქანის ზეთი	900	0,9	თხევადი ჟანგბადი −194°C	860	0,86
აირადი ნივთიერება, 0 °C (ნორმალური პირობებისას)					
ქლორი	3,21	0,00321	ბუნებრივი აირი	0,8	0,0008
ჟანგბადი	1,43	0,00143	წყლის ორთქლი 100 °C	0,59	0,00059
ჰაერი	1,29	0,00129	ჰელიუმი	0,18	0,00018
აზოტი	1,25	0,00125	წყალბადი	0,09	0,00009

საგნობრივი საძიებელი

პასუხები

თავი I

§ 1.1 1) დ) სამივე სხეული; 2) დ) მრუდი; 3)გ) 7-ჯერ; 4) ბ) 13 კმ-ის; 5) დ) 700 მ-ს.

§ 1.2 1) გოგონამ გაიარა 14 მ; გადაადგილების სიგრძე 10მ; 2) მოძრაობა გააგრძელა ჩრდილო-დასავლეთით; 30მ/წმ; 5) გავლილი მანძილი 7 კმ; გადაადგილება 5 კმ; 7) 2 ნ; 8) 13 ნ; 9) 19 ნ; 10) 25 ნ.

§ 1.3 3) 2 მ; 4) –2 მ; 5) 5 მ; 2 მ; 6) –5 მ; –2 მ; 7) 4 მ; 8) (14 მ, 8 მ); 9) 10 მ; 10) ა) 5 მ, –5 მ; ბ) 0, –10 მ; გ) –5 მ, –5 მ;

§ 1.4 3) ≈17 ნ, 10 ნ; 4) 35 ნ; 5) 30^0, 15 მ/წმ; 6) 150 კმ/სთ; 8) mg sinα, mgcosα; 9) $\alpha = 30^0$; 10) $\alpha = 30^0$.

§ 1.5 1) 10 წმ-ში; 2) 20 წმ-ში; 3) 20 წმ; 4) 750 მ; 5) 12 ვაგონი; 6) 225 მ; 7) 10 მ/წმ; 8) 90კმ/სთ; 9) 20 მ; 10) 2L/3.

§ 1.6 1) 30 მ; 2) 30 მ; 3) v = tgα;; 4) x = 100 +25 t, 500 მ; 5) x = 10 + 5t, 6) x = 300-15t, -750 მ; 7) -15 მ/წმ, 45 მ, x = 60-15t; 8) 200 მ; 100 მ; 9) -25 მ /წმ,x = 200-15t; 10) 20 მ, 16 მ/წმ, x = 20 + 16t.

§ 1.7 1) 35 მ/წმ, 10წმ; 2) 26 მ/წმ, 10 წმ; 3) 40წმ, 20წმ; 4) 0,3 მ, 0,5 მ; 5) 60 წმ, 0,5 მ/წმ; 6) 3-ჯერ; 7) x = 200 + 5t; 8) 40 წმ, $\sqrt{29}$ მ/წმ, 80 მ; 9) 90^0; 10) 8 მ/წმ; 30 წმ.

§ 1.8 1) $v_2=8/7v_1$; 2) 10 მ/წმ; 3) 15 მ/წმ; 4) 17,3 მ/წმ; 5) 20 მ/წმ; 6) $v_{AD} < v_{AC}$; 7) 45 მ/წმ; 8) 6 მ/წმ; 9) დაარღვია მოძრაობის წესი.

§ 1.9 1) რადგან აჩქარება არის სიჩქარის ცვლილების ფარდობა იმ დროსთან რა დროშიც მოხდა ცვლილება, ამიტომ მეორე მოსწავლეა სწორი; 2) ჩრდილოეთით; 3) სამხრეთით; 4) 10 მ/წმ; 5) მატარებლების სიჩქარის ცვლილების მოდულები შესაძლებელია ერთნაირი იყოს, მაგრამ სიჩქარის ცვლილების მიმართულება საპირისპიროა; 6) არ არის საკმარისი; 7) 2 მ/წმ^2; 8) 2 წმ; 9) საშუალო აჩქარება მეორე 3 წამში უფრო მეტია; 10) არ არის საკმარისი.

§1.10 1) ა) 25 მ/წმ; ბ) 8 წმ; 2) 20 მ/წმ; 3) 10 მ/წმ, 3მ/წმ^2 ; 4) 27 მ/წმ; 5) მართკუთხედის ფართობი რიცხობრივად ტოლია სიჩქარის ცვლილების 4-დან 10 წამამდე შუალედში; 6) 85 მ/წმ; 7) 2მ/წმ^2, 4 მ/წმ; 8) -3 მ/წმ^2, -9 მ/წმ; 9) 8 მ/წმ, 5 მ/წმ^2, v = 8 + 5t; 10) 20 მ/წმ, -8 მ/წმ^2, 0.

§1.11 1) 100 მ; 2) 100 მ, 5 მ/წმ, 2 მ/წმ^2; 3) 8 მ/წმ^2; 4) 5/3 მ/წმ^2, 12 წმ; 5) 2 მ/წმ^2, 10 წმ; 6) 10 მ/წმ, 2 მ/წმ^2; 7) v = -10 + 4t, 2,5 წმ; 8) 10 მ, 4 მ/წმ^2; 9) 0, 49 მ; 10) 5 მ/წმ^2.

§1.12 1) 2 წმ; 2) 5024 წმ; 3) 0,00000269 რად/წმ; 4) 0,02მ/წმ; 5) 500 მ; 6) 10 რად, 573,2^0; 7) 3,14 რად/წმ; 8) 0,03 ჰც; 9) 1,8-ჯერ; 10) 1,3-ჯერ.

§1.13

1) 2 წმ; 2) 5024 წმ; 3) 0,00000269 რად/წმ; 4) 0,02 მ/წმ; 5) 0,08 მ; 6) 573,2^0 7) 3,14 რად/წმ; 8) 0,03 წმ$^{-1}$; 9) 1.8 ჯერ; 10) 1,3.

§1.14 1) 4მ/წმ^2; 2) 20მ/წმ^2; 3) ≈11მ/წმ^2; 4) 2 მ; 5) 0,02მ/წმ; 6) 6,25; 7) 2-ჯერ; 8) 5 მ/წმ^2; 9) a_1=50 მ/წმ^2, a_2=30 მ/წმ^2, 10) 2 მ/წმ^2.

§1.16 1) 0; 2) ≈465 მ/წმ, 3) 2-ჯერ; 4) 2-ჯერ; 5) 0.003 მ/წმ^2; 6) 0,4 მ/წმ; 7) 0.1 მ/წმ; 8) 1 რად/წმ; 9) 0,5წმ$^{-1}$; 10) 34657კმ.

პირველი თავის შემაჯამებელი ამოცანები

1)30 მ და -2,5 მ/წმ; 2) 5 მ/წმ და 16 წმ; 3) ა) 1,5 (მ/წმ); ბ) გაივლის საკორდინატო სისტემის სათავეზე; გ) დახრის კუთხის ტანგენსი გაიზრდება; 4) ა) 10 მ/წმ, 5 მ/წმ; ბ) 610 მ, x_1=10+10t; x_2=5t; 5) x_1=10+10t; x_2=5t, 5 წმ; 6) 2 წმ და 7,5 მ/წმ; 7) 9 წმ და 130 მ; 8) 40 წმ და 600 მ; 9) 900 მ; 10) 10 მ/წმ. 11) x_{12}=350-35t; 12) სურათზე მითითებულ წერტილებში სხეულის სიჩქარის ჰორიზონტალური და ვერტიკალური მდგენელები მოდულით ერთმანეთის ტოლი

იქნება; 13) ა) ბორბლის ცენტრის მიმართ ოთხივე წერტილს ერთნაირი სიჩქარე ექნება; ბ) დედამიწის მიმართ D წერტილი უძრავი იქნება, B წერტილის სიჩქარის მოდული 2v იქნება, A და C წერტილების სიჩქარის მოდულები $v\sqrt{2}$ იქნება; 14) მეორე მორბენლის მწვრთნელთან შეხვედრის მომენტში მორბენლებს შორის მანძილი 2 მ იქნება; 15) 4,21 სთ; 16) 2400 მ; ა) x=20t; ბ) x=15t; 17) ა) x=7t; ბ) x=11,5t; გ) x=12t; 18) 3-ჯერ მეტია; 19) 120 საფეხურს; 20) 2,1 მ-ით; 21) 3 წმ; 22) 3-ჯერ; 23) ნულის ტოლი; 24) 1 მ/წმ; 25) 3-ჯერ მეტია; 26) 16-ჯერ აღემატება; 27) 3 მ/წმ^2; 28) 3-ჯერ აღემატება; 29) ≈0.28მ/წმ; 30) 3.75 მ/წმ; 31) ბ) v=5მ/წმ; გ) v=20-t; 32) v=40 მ/წმ; 34) 25 მ; 35) 1 მ/წმ^2; -1 მ/წმ^2; 10 წამის შემდეგ; 36) 1 მ/წმ^2; 37) 75 მ; 38) 14 მ/წმ^2; 39) v_1=12-12t; v_2=15+8t; 40) -10 მ/წმ, 2 მ/წმ^2; 41) v_1= 8მ/წმ, v_2= 2მ/წმ; 42) ა) 1,6 მ/წმ^2; ბ) 16 მ/წმ; გ) 3,2 მ/წმ^2; 43) 6,7 წმ$^{-1}$; 44) 0,4 წმ$^{-1}$; 45) ა) 2; ბ) 1/2; 46) 20; 47) 90000; 48) 80 ბრ/წმ; 50) 250 ბრ/წმ.

თავი II

§ 2.2 1) ინერციულია; ინერციულია; 2) არაინერციული; 3) არა; 4) რადგან ავტომობილის მკვეთრი დამუხრუჭებისას სხეულმა შეინარჩუნოს უძრაობის მდგომარეობა; 5) სხეული მოძრაობს წრფივად და თანაბრად როცა მასზე ძალა არ მოქმედებს. სხეულზე ძალის მოქმედება სხეულის სიჩქარის შეცვლის მიზეზია; 6) არა; 7) სხეულზე მოქმედი ძალები მოდულით ტოლი და მიმართულებით საპირისპირო უნდა იყოს; 8) 2,5ნ; 9) რადგან კატერი წრფივად და თანაბრად მოძრაობს მასზე მოქმედი საერთო წინააღმდეგობის ძალა 1კნ-ია; 10) 120°.

§ 2.3 1) ფრენბურთელებისთვის მსუბუქი ფეხსაცმლი უფრო მოსახერხებელია სხეულის ინერტულობის გამო; 2) მცირე მასის ავტომობილი მცირე დროში შეძლებს სხეულის სიჩქარის გაზრდას; 3) უფრო ადვილია მსუბუქი ბურთის ტყორცნა, რადგან მცირე დროში შევძლებთ დიდი სიჩქარის მინიჭებას; 4) უფრო ძლიერად შეუბერა გოგამ, რადგან გოგამ ნავში ჩააწყო 5 ცალი 20 თეთრიანი მონეტა რომელთა მასა მეტი არის 5 ცალ 10 თეთრიანი მონეტის მასაზე; 5) მეტი მასის სხეულზე პროპორციულად მეტი ძალით უნდა ვიმოქმედოთ. პროპორციულად; 6) მსუბუქ ავტომობილზე მოქმედი წევის ძალა მეტია, რადგან მისი მასა მეტია მოტოციკლის მასაზე; 7) ორივე სხეულის აჩქარება ერთნაირი იქნება, რადგან მათზე მოქმედი ძალების ფარდობა მასები ფარდობის პროპორციულია; 8) უფლისწულმა ბერკეტიანი სასწორის სხვადასხვა მხარეს უნდა მოათავსოს თითო-თითო მონეტა თუ ბერკეტი წონასწორობაში აღმოჩნდა, მაშინ ყალბია მესამე მონეტა, ხოლო თუ წონასწორობა დაირღვა ის მონეტაა ყალბი რომლის მხარი ზემოთ აიწევს; 9) 15კგ ბრინჯი; 10) თუ გავითვალისწინებთ, რომ 1კგ ბამბის მოცულობა გაცილებით დიდია 1 კგ საწონის მოცულობაზე, მაშინ სასწორი, რომ გაწონასწორდეს ბამბის მასა მეტი უნდა იყოს 1 კგ-ზე (რადგან ბამბაზე მოქმედი ამწევი ძალა მეტი იქნება საწონზე მოქმედ ამწევ ძალაზე).

§ 2.4 1) სხეულის მასა სხეულის ინერტულობის ზომაა და ის დამოკიდებული არ არის სხეულზე მოქმედ ძალასა და აჩქარებაზე; 2) 4მ/წმ^2; 3) 100 კგ; 4) 50 მ; 5) 6 მ/წმ^2; 6) 90ნ, 50ნ; 7) 2მ/წმ^2; 8) 4მ/წმ^2; 9) 0; 10) 10ნ.

§ 2.5 1) 4ნ; 2) რა ძალითაც დედამიწას იზიდავს მზე ისეთივე სიდიდის ძალით იზიდავს მზეს დედამიწა; 3) გოგონამ და ძაღლმა ერთმანეთზე იმოქმედეს მოდულით ტოლი ძალით; 4) ჭერზე ჩამოკიდებულ ჭაღზე მოქმედებს 50ნ სიმძიმის ძალა, ხოლო ჭერზე მოქმედებს ჭაღის წონით გამოწვევული ძალა, რომელიც ასევე 50ნ-ია. ერთმანეთს აწონასწორებენ სიმძიმის ძალა და დრეკადობის ძალა რომელიც აღიძვრება ჭერზე ჭლის მოქმედებით; 9) 22000 ნ; 10) 200ნ, 200ნ.

§ 2.6 1) ორ მასიურ სხეულს შორის მიზიდულობის ძალა ნულისკენ მიისწრაფის როცა ეს სხეულები უსასრულოდ დაშორდებიან ერთმანეთს,ხოლო მაქსიმალური იქნება როცა მათ მასათა ცენტრებს შორის მანძილი იქნება ყველა შესაძლო მნიშვნელობაზე მცირე; 2) 4-ჯერ

შემცირდება; 3) გაიზრდება 6-ჯერ; 4) $\boldsymbol{x}$ $\frac{\sqrt{M_{ded}}}{\sqrt{M_{ded}}+\sqrt{M_{mTv}}}R$; 7) 5F; 8) $F_1=2F/3$; 9) $F=G\frac{2\sqrt{2}m^2}{a^2}$; 10) $a\sqrt{2}$.

§ 2.7 1) $g_1 \approx 9.4$მ/წმ^2; 2) გრავიტაციული ურთიერთქმედება მანძილის კვადრატის უკუპროპორციულად იცვლება,რაც იწვევს ველის შესუსტებას; 4) $\approx 6{,}4$ მ/წმ^2; 5) 4R; 6) $g_{დედ}=5g_{მარ}$; 7) 0; 8) $3{,}4 \cdot 10^8$მ; 9) 2-ჯერ; 10) 8-ჯერ.

§ 2.8 1) 125 მ; 2) 1წმ, 5 მ; 3) 20მ, 80მ; 4) ა) 5 მ; ბ) 20 მ; გ) 15 მ; დ) 25 მ; ე) $1:3:5$; 5) 1 წმ, 5 წმ; 6) 6 წმ; 7) 30მ/წმ<v≤50მ/წმ; 8) 40 მ; 9) 5წმ, 5მ; 10) ა) 3 წმ; ბ) 75 მ, 80 მ; გ) $(5-2\sqrt{15})$ წმ

§ 2.9 1) მათი ვარდნის დრო ერთმანეთის ტოლია; 2) 2 წმ; 3) 20 მ; 4) 33 მ/წმ; 5) 100 მ; 6) 45 მ; 7) 13 მ; 8) 90 მ; 9) 50 მ/წმ; $tg\alpha$ 3/4; 10) 9 კგ.

§ 2.10 1) 3 წმ; 2) 30°; 3) 45°; 5) 100 მ/წმ; 6) ა) 6,8 მ/წმ, 4 მ/წმ; ბ) 6,8 მ, –1 მ; გ) ≈ 6.9მ; 7) 14 მ/წმ; 8) 1; 9) 2 წმ; 10) 45°.

§ 2.11 2) დასავლეთისკენ გაშვებას უფრო მეტი ენერგია დასჭირდება; 4) 90 წთ; 5) $\sqrt{2}$-ჯერ; 6) $8{,}8 \cdot 10^{-4}$რად/წმ, 118 წთ; 7) $\sqrt{5}$-ჯერ; 8) mgR/4; 9) 2-ჯერ; 10) $3{,}6 \cdot 10^4$ კმ.

§ 2.12 1) 200 ნ: 2) წონა იგივე დარჩება; 3) 0 (უწონობის მდგომარეობაშია); 4) 0,2 მ; 100 ნ; 5) 100 ნ-ით; 6) 9/7 ჯერ; 7) 0, 24 მ, 120 ნ; 9) ≈1,02-ჯერ; 10) 120 ნ;

§ 2.13 1) 0,2 მ; 2) 0,125; 3) 2-ჯერ მეტი; 4) 500 კპა.

§2.14 1) 10/9 ჯერ; 2) 2 ჯერ; 3) 0,2 მ; 4) 2000 ნ/მ; 5) 0,1 მ; 6) $70 \cdot 10^6$ პა; 7) 0,2 მ; 8) 500 ნ/მ; 9) 1 მ; 10) 5000 ნ/მ.

§ 2.16 5) 6 მ/წმ^2; 6) 6 წმ; 7) 90 მ; 8) 200 ნ, 10 მ/წმ^2; 9) 10 მ; 10) 2,8 წმ.

§ 2.17 1) 2 მ/წმ^2, 20 ნ; 2) 75 ნ; 3) 465 კნ; 4) 10 მ/წმ^2; 100 ნ; 5) 48 ნ, 24 ნ; 6) 3,3 მ/წმ^2; 7) 33 ნ; 8) 6 მ/წმ^2; 9) ა) 2.5 მ/წმ^2; ბ) 1,2; 10) 2 მ/წმ^2, 160 ნ, 120 ნ.

§ 2.18 1) 5 მ/წმ^2, 10 მ; 2) $\frac{\sqrt{3}}{3}$; 3) 50 ნ; 5) 3 წმ, 1,8 მ/წმ; 6) $\frac{t_1}{t_2}$ $\sqrt{\frac{(\sin\alpha-\mu\cos\alpha)}{(\sin\alpha+\mu\cos\alpha)}}$; 7) ტოლი იქნება; 8) 0,2; 9) 1 წმ; 10) $3\sqrt{3}$.

§ 2.19 4) 25 მ/წმ; 5) 12,5 კნ; 6) $n=\frac{1}{2}\sqrt{\frac{\mu\pi^2}{Rg}}$; 7) 2 ნ; 8) $tg\alpha=\mu$; 9) 20 მ/წმ.

§ 2.20 1) 50 ნ; 2) 0,1 ნ; 3) 1/9; 4) არ შეიცვლება; 6) არ შეიცვლება; 7) $\frac{V_w}{V_n}$ $\frac{\rho-\rho_n}{\rho-\rho_w}$; 8) 1,5; 9) 0,45 მ/წმ; 10) 0,025 მ.

მეორე თავის შემაჯამებელი ამოცანები

1) შეუძლებელია; 2) შეუძლებელია; 3) 100 ნ; 4) 40 კგ; 5) 500 კგ; 6) 0,02 წმ; 7) 0,1 მ/წმ^2; 8) 40 ტ; 9) 4 ნ; 0; -4 ნ; 10) $5(2n-1)$; 11) 9; 12) 4; 13) 3; 14) 16; 15) 80 მ; 16) 6 წმ; $1:3:5:7:9:11$, 5; 17)$(2+\sqrt{13})$ წმ; 18) 2 წმ; 19) 6 წმ; 20) 5 მ; 21) 40 მ; 22) 6 წმ; 23) 15 მ; 24) $\sqrt{2}$; 25) 80 მ; 27) 200 მ; 28) 80 მ; 29) 17 მ/წმ; 30) 40 მ; 31) 26 მ/წმ; 32) $\approx 3{,}5$ მ/წმ^2; 33) 7910 კმ; 34) 12 800კმ; 35) 120 000 კმ; 36) გაიზრდება 100-ჯერ; 37) შემცირდება 4-ჯერ; 38) 0,01 მ; 39) 50 მ/წმ; 40) 5 წმ; 41) 1/5; 42) 170 ნ; 43) 20 ნ; 44) 1/3; 45) 2,5 მ/წმ^2; 46) $v_1=v_2$; 47) 2; 48) 266,6 ნ; 49) $\sqrt{0{,}06}$ წმ; 50) 10 ნ; 51) 2; 52) 2 მ/წმ^2; 4 მ/წმ^2.

თავი III

§ 3.1 1) ქვაზე დაცემული კაკლის გატეხვაა მეტად მოსალოდნელი; 2) 25 კგმ/წმ; 3) ა) 0; ბ) 1კგმ/წმ; გ)$\sqrt{2}$ კგმ/წმ; 4) 20მ; 5) 2 კგმ/წმ; 6) 1მ/წმ; 7) 5 კგ; 8) 100 ნ; 9) 12,5 მ/წმ; 10) 25 წმ.

§ 3.2 1) ა) იზრდება; ბ) არ იცვლება; 2) 5 მ/წმ; 3) 20 მ/წმ; 4) 10 მ/წმ; 5) 10 მ/წმ; 7) მეორე ნატეხი წავა პირველის საპირისპირო მიმართულებით, მოდულით იგივე სიჩქარით; 8) 20 მ/წმ, ნატეხი გააგრძელებს სვლას ჰორიზონტალური მიმართულებით; 9) $\frac{3}{2}L$; 10) 0,2 მ/წმ.

§ 3.3 1) $00\sqrt{3}$ჯ; 2) ა) $0\sqrt{3}$ნ; ბ) $-2500\sqrt{3}$ ჯ; 3) 250 ჯ; 4) 250 ჯ; 5) –250ჯ; 6) 10 კჯ; 7) 300 ჯ, $2400\sqrt{3}$ ჯ; 8) –4800 ჯ; 9) –150 ჯ; 10) 50 კვტ.

§ 3.4 1) 50 ჯ 2) 3/40 ჯ 3) 0,4; 4) $15\sqrt{3}$ მ/წმ; 5) $\frac{8E_0}{l}$; 6) 3750 ჯ 7) 3 კნ; 8) 1 მგჯ 9) 10 კჯ 10) 20 მ/წმ.

§ 3.5 1) 0; 2) 7,5 კჯ 3) 15, 6 ჯ —15,6 ჯ 4) ა) 8; ბ) 16; 5) 400 ჯ 7) -1,5 კჯ 8) 1,5 ჯ -0,036 ჯ 9) როცა ბურთულა წყალში იძირება, წყლის დონე და შესაბამისად მისი სიმძიმის ცენტრი მაღლა იწევს, ამიტომ ჯამური ენერგიის ცვლილება 0-ის ტოლია. 10) როდესაც ბურთულა ამოტივტივდება, წყლის სიმძიმის ცენტრი დაბლა იწევს, ამიტომ ჯამური პოტენციალური ენერგია არ იცვლება.

§ 3.6 1) 20 მ; 2) 15 მ; 3) 300 ჯ 4) $2\sqrt{2}$ მ/წმ; 5) $8\sqrt{\frac{2}{5}}$ მ/წმ; $2\sqrt{\frac{2}{5}}$ მ/წმ; 6) მიუხედავად იმისა, რომ სხეულზე მოქმედი ძალების ტოლქმედი 0-ია, ის მაინც განაგრძნობს ქვევით მოძრაობას ინერციით; 7) $V = \sqrt{2gL}$; 8) $V_0 = \sqrt{5gR}$; 9) $h = \frac{5}{2}R$; 10) $V_0 = \sqrt{8gR}$;

$V = 2\sqrt{gR}$; $N_1 - N_2 = 6mg$.

§ 3.7 1) $F = mg = 200n$; $N = 200n$; ხახუნის ძალა რომელიც იატაკსა და ყუთს შორის აღიძვრება 100ნ-ია. 2) F =50 ნ; N≈ 43 ნ; $F_x = 25$ ნ; 3) $T_2 \approx$ 8 ნ; $T_1 \approx 29$ნ; 4) 1000 ნ;
5) 100ნ; 6) 100 ნ; 7) ა) სურათზე გამოსახული თოკების გაწყვეტა მეტად მოსალოდნელია, ვიდრე ბ.სურათზე მოცემულითოკების; 8) 100ნ; 9) 40ნ და 23ნ;
10) 5კგ.

§ 3.8 1) F=mg/2; 2) ა) $F_1 = mg\frac{L/_2 - d_2}{L - d_2}$, ბ) $F_2 = mg\frac{L/_2 - d_1}{L - d_1}$; 3) 50ნ; 4) $F_1 = mg\frac{L/_2 - d_2}{L - d_2}$, $F_2 = mg\frac{L/_2 - d_1}{L - d_1}$; 5) $\frac{\mathrm{mg(d - L/2)}}{\mathrm{dsin\alpha}}$ 6) 75 ნ; 7) 262,5 ნ, 65 ნ; 9) $mg\frac{ctg\alpha}{2}$, mg, $mg\frac{ctg\alpha}{2}$;
10) T=2Fა, Fა=20 ნ, T=10 ნ.

მესამე თავის შემაჯამებელი ამოცანები
1) 80 სმ; 2) 20 სმ; 3) 2 მ/წმ; 4) 0,1 მ/წმ; 5) 0.5 მ/წმ; 6) 1 სმ/წმ; 7) 15 მ/წმ; 8) 1.25 მ; 9) პირველი ბურთულა გაჩერდება. მეორე ბურთულა გააგრძელებს მოძრაობას $\vec{v}$ სიჩქარით; 10) $\sqrt{2}$ მ/წმ; 11) 1 ჯ; 8 ჯ; 12) 2 მ/წმ; 5 მ/წმ; 14) 0,5 კგ·მ/წმ; 15) 1500 ჯ; 16) 10 სმ; 17) 10მ; 18) 0 მ; 44,7 მ/წმ; 19) 14,1 მ/წმ; 20) 1560 ჯ; 21) 4-ჯერ; 22) 8-ჯერ; 23) 360 კნ; 24) 24 ნ; 25) μ = 0,6; 26) T=250 ნ; 27) 290 ნ; 500 ნ; 28) $T_1 = T_2$ =500 ნ; 29) $m_1/m_2 = 1$; 30) უნდა შევამციროთ.