

რუსუდან ქანთარია
ლეილა ჩიჩუა

ფიზიკა 9

მოსწავლის წიგნი

გრიფინიჭებულია საქართველოს განათლებისა და მეცნიერების
სამინისტროს მიერ 2021 წელს



2022

რუსუდან ქანთარია, ლეილა ჩიჩუა

ფიზიკა

IX კლასი, მოსწავლის წიგნი

რედაქტორები

თეიმურაზ ჩიჩუა

პედაგოგიურ მეცნიერებათა დოქტორი, პროფესორი

თეიმურაზ გაჩეჩილაძე

აკად. ილია ვეკუას სახელობის ფიზიკა-მათემატიკის ქალაქ თბილისის
42-ე საჯარო სკოლის ფიზიკის მასწავლებელი

დინა ქიმერიძე

ფიზიკა-მათემატიკის მეცნიერებათა დოქტორი

ნუგზარ მოსულიშვილი

თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტის ფიზიკის მიმართულების
მეცნიერ-თანამშრომელი

ტექსტის რედაქტორი **ნელი ელიზბარაშვილი**

კომპიუტერული უზრუნველყოფა **მანანა კვერნაძე**

© გამომცემლობა „კლიო“, 2021

© გამომცემლობა „მერიდიანი“, 2021

© ლეილა ჩიჩუა, რუსუდან ქანთარია, 2021

ყველა უფლება დაცულია

ISBN 978-9941-496-12-7

პირველი გამოცემა (2021)



შპს „გამომცემლობა კლიო“
აღმაშენებლის გამზ., №181-2,
თბილისი, 0112
ტელ.: (+995 32) 234 04 30
E-mail: book@klio.ge; www.klio.ge



შპს გამომცემლობა „მერიდიანი“
აღ. ყაზბეგის №47, თბილისი
ტელ.: (+995 32) 239 15 22
E-mail: meridiani777@gmail.com

სარჩევი

თავი 1. თანაბარი მოძრაობა

1.1. ფიზიკა ჩვენ გარშემო! რისთვის სჭირდება ფიზიკის ცოდნა სხვადასხვა პროფესიის ადამიანს?	8
1.2. მოძრაობის ფარდობითობა	10
1.3. მოძრაობის ფარდობითობის ექსპერიმენტული კვლევა	13
1.4. გადაადგილება. მატერიალური წერტილი	14
1.5. ვექტორები. მოქმედებები ვექტორებზე	18
1.6. გადაადგილების ვექტორის გეგმილი კოორდინატთა ღერძებზე	20
1.7. წრფივი თანაბარი მოძრაობა. სიჩქარე	22
1.8. წრფივი თანაბარი მოძრაობის გრაფიკები	25
1.9. ამოცანების ამოხსნა.....	28
1.10. სიჩქარეთა შეკრების კანონი	30
1.11. შემაჯამებელი გაკვეთილი	33
პირველი თავის მოკლე დასკვნები	34

თავი 2. არათანაბარი მოძრაობა

2.1. არათანაბარი მოძრაობა. საშუალო სიჩქარე	36
2.2. წრფივი თანაბარაჩქარებული მოძრაობა. აჩქარება	38
2.3. თანაბარაჩქარებული მოძრაობის გრაფიკული გამოსახვა	40
2.4. გადაადგილება თანაბარაჩქარებული მოძრაობისას	42
2.5. ამოცანების ამოხსნა	45
2.6. თავისუფალი ვარდნა	46
2.7. მრუდწირული მოძრაობა	48
2.8. სიჩქარე წრეწირზე მოძრაობისას	50

2.9. აჩქარება მრუდწირული მოძრაობისას	53
2.10. არათანაბარი მოძრაობის ექსპერიმენტული კვლევა	55
2.11. შემაჯამებელი გაკვეთილი	57
მეორე თავის მოკლე დასკვნები.....	60

თავი 3. გუნების ძალები

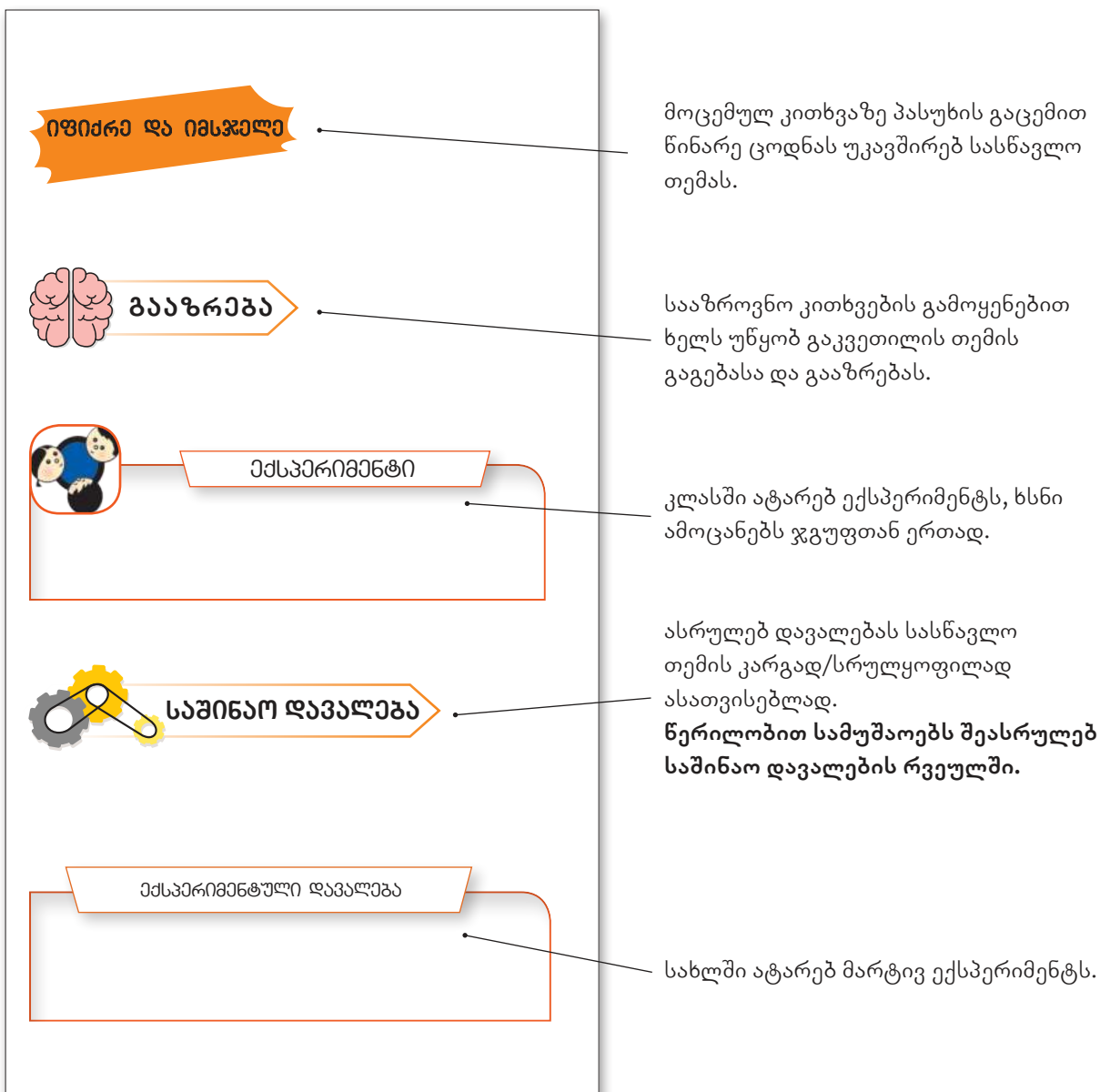
3.1. ძალა	62
3.2. ამომგდები ძალის ექსპერიმენტული კვლევა	67
3.3. არქიმედეს კანონი.....	69
3.4. სხეულის ცურვის პირობების ექსპერიმენტული კვლევა.....	72
3.5. სხეულის ცურვის პირობები.....	73
3.6. გემების ცურვა და ჰაერნაოსნობა.....	75
3.7. მშრალი ხახუნი.....	77
3.8. სველი ხახუნი	81
3.9. შემაჯამებელი გაკვეთილი	83
მესამე თავის მოკლე დასკვნები	84

თავი 4. სხეულთა ურთიერთქმედება

4.1. ინერციის მოვლენის ექსპერიმენტული კვლევა.....	86
4.2. ნიუტონის პირველი კანონი	87
4.3. სხეულის ინერტულობის ექსპერიმენტული კვლევა.....	90
4.4. სხეულების ინერტულობა. მასა	91
4.5. ნიუტონის მეორე კანონი	92
4.6. სხეულთა ურთიერთქმედების ექსპერიმენტული კვლევა.....	94
4.7. ნიუტონის მესამე კანონი	95
4.8. ამოცანების ამოხსნა.....	97
4.9. მსოფლიო მიზიდულობის კანონი	98

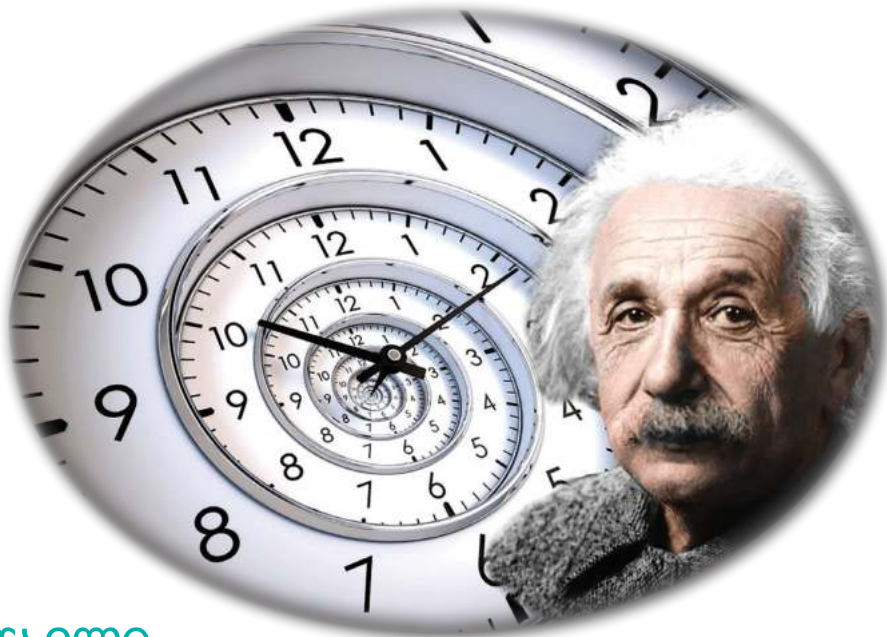
4.10. ერთი ძალით გამონვეული სხეულის მოძრაობა	100
4.11. სხეულის წონის ექსპერიმენტული კვლევა	102
4.12. წონა და უწონობა.....	103
4.13. ამოცანების ამოხსნა.....	105
4.14. მოძრაობა წრეწირზე	106
4.15. პირველი კოსმოსური სიჩქარე	108
4.16. ხელოვნური თანამგზავრები	111
4.17. სხეულთა წონასწორობის პირობები	115
4.18. გადაბმული სხეულების მოძრაობა.....	119
4.19. ჰორიზონტისადმი კუთხით გასროლილი სხეულის მოძრაობა.....	120
4.20. ამოცანების ამოხსნა.....	122
4.21. მოძრაობის ექსპერიმენტული კვლევა.....	124
4.22. სხეულისა და ძალის იმპულსი	125
4.23. იმპულსის მუდმივობის კანონი	127
4.24. მექანიკური მუშაობა	130
4.25. მექანიკური ენერგიის მუდმივობის კანონი	134
4.26. ამოცანების ამოხსნა.....	138
4.27. შემაჯამებელი გაკვეთილი	140
 მეოთხე თავის მოკლე დასკვნები.....	143
 ცოდნის შეჯამება	144
მცირე განმარტებითი ლექსიკონი	147
ზოგიერთი ნივთიერების სიმკვრივის ცხრილი	148
ზოგიერთი სხეულის საშუალო სიჩქარის ცხრილი	148
საშინაო დავალების პასუხები.....	149
საგნობრივი საძიებელი.....	151

წიგნზე მუშაობის პირობითი ნიშნები



თავი 1. თანაბარი მოძრაობა

მექანიკური მოძრაობა



შეისწავლი:

- მოძრაობის ფარდობითობას;
- მექანიკური მოძრაობის მახასიათებელ სიდიდეებს;
- მოძრაობის სახეებს;
- წრფივი თანაბარი მოძრაობის აღწერას ანალიზურად;
- წრფივი თანაბარი მოძრაობის მახასიათებელი სიდიდეების აღწერას გრაფიკულად;
- სიჩქარეთა შეკრების კლასიკურ კანონს.

შეკლუ და დაეუფლები:

- მსჯელობას მოძრაობის მახასიათებელი სიდიდეების ფარდობითობის შესახებ;
- მსჯელობას თანაბარი მოძრაობის მახასიათებელ პარამეტრებზე;
- მსჯელობას მატერიალური წერტილის, როგორც ფიზიკური მოდელის შესახებ;
- თანაბარი მოძრაობის აღწერას გრაფიკული სქემების გამოყენებით;
- ექსპერიმენტების ჩატარებას მოძრაობის ფარდობითობის კვლევისთვის;
- მსჯელობას სხეულების ფარდობით სიჩქარეზე სიჩქარეთა შეკრების წესის გამოყენებით;
- ექსპერიმენტების ჩატარებას გადატანითი და ბრუნვითი მოძრაობის კვლევისთვის;
- პრობლემაზე დაფუძნებული ამოცანების ამოხსნას თანაბარ მოძრაობაზე;
- სხეულთა სიჩქარის როლის შეფასებას ბუნებასა და ყოფა-ცხოვრებაში.

1.1. ფიზიკა ჩვენ გარშემო!

რისთვის სჭირდება ფიზიკის ცოდნა სხვადასხვა პროფესიის ადამიანს?

იზიძრა და იმსჯელე

სად და რატომ
იყენებენ
უპილოტო მფრინავ
აპარატს —
დრონს?



სურ. 1



სურ. 2

სამყარო, რომელშიც ფიზიკის შესწავლის შედეგად აღმოჩნდები, საკმაოდ მრავალფეროვანია. ფიზიკა შეისწავლის ბუნებაში მიმდინარე მოვლენებს და იძლევა მისი შეცნობის საშუალებას. მიღებული ცოდნა კი ეხმარება ადამიანებს პრაქტიკული პრობლემების გადაჭრაში.

ფიზიკის განვითარებაში დიდი როლი შეასრულა ასტრონომიულმა გამოკვლევებმა. თუმცა, ფიზიკის ცოდნის გარეშე წარმოუდგენელია სამყაროს კვლევა. დედამიწის გარშემო მფრინავი თანამედროვე კოსმოსური ობსერვატორიების (მაგ., Hubble) შექმნაში სხვა დარგის სპეციალისტებთან ერთად ფიზიკოსებსაც წამყვანი ადგილი უჭირავთ (სურ. 2).

ფიზიკის სამეცნიერო მიღწევების საფუძველზე შეიქმნა ისეთი სამედიცინო საკვლევი ხელსაწყოები, როგორიცაა ტომოგრაფიისა და ექოსკოპიის დანადგარები (სურ. 3). ექიმის პროფესიას დაემატა სამედიცინო ფიზიკის სპეციალისტის პროფესიაც. ეს განაპირობა სწორედ თანამედროვე ელექტრონულმა აპარატურამ, რომელთა გამოყენება ფიზიკის ცოდნის გარეშე შეუძლებელია.

ნებისმიერი სპორტსმენისთვისაც ფიზიკის ცოდნა წარმატების საწინდარია. მაგ., ძალოსნები და ტანმოვარჯიშეები ხელზე ტალკს იყრიან ხახუნის ძალის გასაზრდელად (სურ. 4). მოციგურავეები კი ყინულის მოედანზე სრიალისას ითვალისწინებენ, როგორ უნდა შეცვალონ სიჩქარე მოხვევისას და რა კუთხით გადაიხარონ, რომ არ წაიქცნენ (სურ. 6).

ბევრს უოცნებია ეფრინა ცაში ჩიტივით, თანამედროვე ადამიანს ეს ოცნება ინჟინრებმა აუხდინეს. ფიზიკისა და სხვა მეცნიერებების მიღწევების საფუძველზე შექმნილმა მასალებმა უზრუნველყო ისეთი აპარატის შექმნა, რომელსაც



სურ. 3

ადამიანებს სხეულზე უმაგრებენ და მათ შეუძლიათ გარკვეულ სიმაღლესა და მანძილზე იფრინონ (სურ. 5 ა).

ასევე მნიშვნელოვანია უპილოტო თვითმფრინავებისა და დრონების შექმნა, რომელიც ფიზიკის სამეცნიერო მიღწევებსაც ეყრდნობა. დრონი გამოიყენება სხვადასხვა მიზნით. ბევრ ქვეყანაში გადააქვთ საფოსტო გზავნილები, მათი გამოყენებით შესაძლებელია გზატკეცილებისა და სხვა ობიექტების გაკონტროლება. მათ ასევე იყენებენ გარემოს ფოტოგრაფირებისა და სხვა დანიშნულებით.



სურ. 4



სურ. 5

შექმნილია მინიატიურული დრონები. მათ შორის ყველაზე პატარაა 7 გ მასის დრონი, რომელსაც „ჯიბის დრონსაც“ უწოდებენ (სურ. 5. ბ).

ფიზიკის ცოდნა ეხმარება ადამიანებს საკუთარი პროფესიის წარმატებით ათვისებაში. ისწავლეთ ფიზიკა და მისი საშუალებით თქვენ შეძლებთ ცხოვრებისეული სირთულეებისა და დაბრკოლებების გადალახვას!

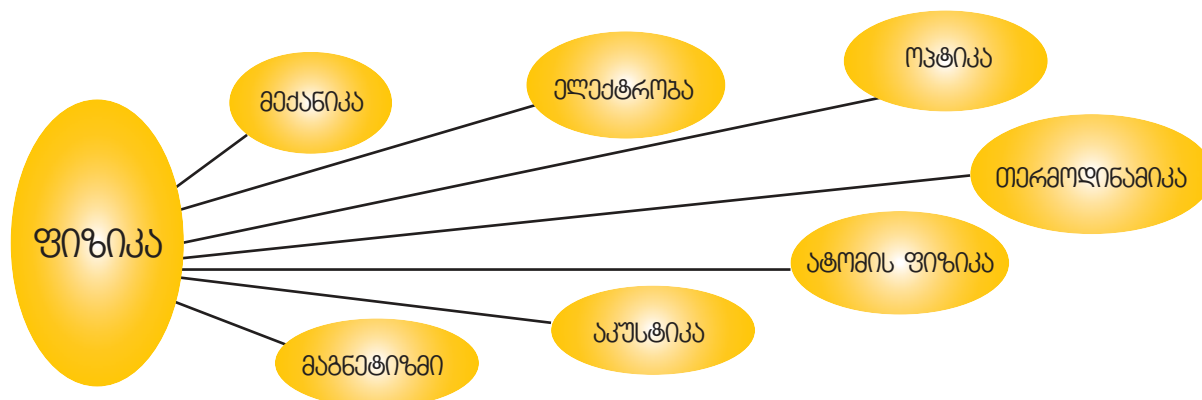


სურ. 6



ბაზრება

სქემის მიხედვით იმსჯელე, რას შეისწავლის ფიზიკა.



საშინაო დავალება

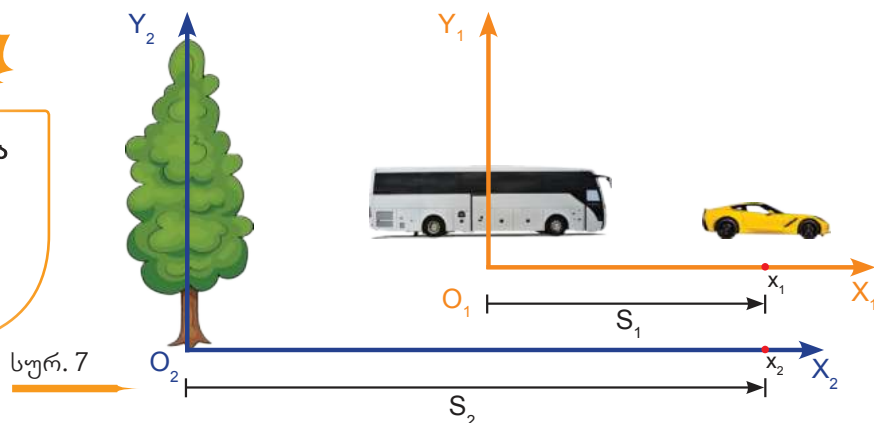
მოიძიე ინფორმაცია და მოამზადე პრეზენტაცია თემაზე:

- „ფიზიკა და ჩემი საყვარელი პროფესია“;
- „თანამედროვე საფრენი აპარატები“.

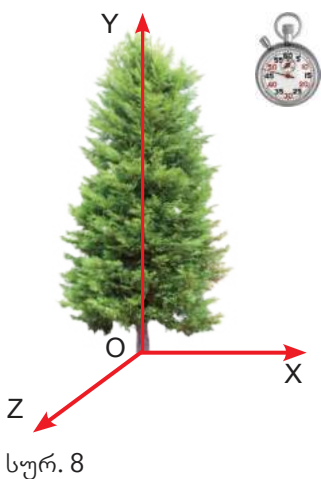
1.2. მოძრაობის ფარდობითობა

იფიქრე და იმსჯელე

რატომ განსხვავდება მოძრავი მანქანის მდებარეობები ხისა და უძრავი ავტობუსის მიმართ?



სურ. 7



სურ. 8



სურ. 9

მოძრაობა მატერიის დამახასიათებელი ზოგადი თვისებაა. სამყარო განუწყვეტელ, მუდმივ მოძრაობაშია. მოძრაობა მრავალი სახისაა: ცოცხალი ორგანიზმები იბადებიან, იზრდებიან, ნივთიერება წარმოიქმნება და იშლება, ატომები გარდაიქმნება, დედამიწა სხვა პლანეტებთან ერთად მზის გარშემო მოძრაობს და სხვ.

სხვადასხვა მოძრაობას შორის უმარტივესია **მექანიკური მოძრაობა**.

სხეულების მექანიკურ მოძრაობასა და ურთიერთქმედებას შეისწავლის ფიზიკის ნაწილი — **მექანიკა**. მექანიკის ძირითადი ამოცანაა სხეულის მდებარეობის დადგენა სივრცეში დროის ნებისმიერი მომენტისთვის. თავად მექანიკა შედგება **კინემატიკის, დინამიკისა და სტატიკისაგან**.

კინემატიკა შეისწავლის მოძრაობას მისი გამომწვევი მიზეზების გარეშე.

ყოველ სხეულს განსაზღვრული მდებარეობა უკავია სივრცეში სხვა სხეულების მიმართ. თუ დროის განმავლობაში სხეულის მდებარეობა სივრცეში იცვლება სხვა სხეულის მიმართ, მაშინ თვლიან, რომ სხეული მოძრაობს.

სხეულის მდებარეობის ცვლილებას სივრცესა და დროში სხვა სხეულის მიმართ, მექანიკური მოძრაობა ეწოდება.

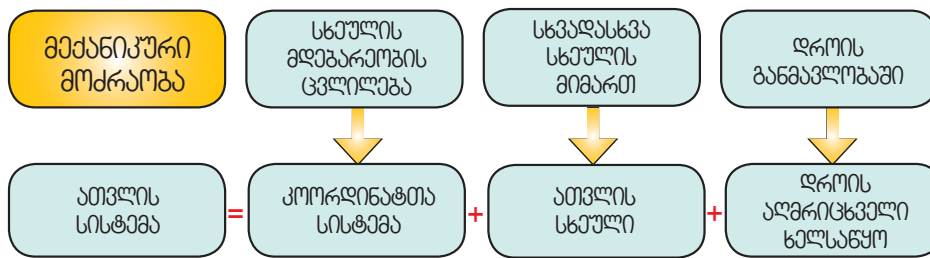
ე. ი. სხეულების მოძრაობის ან უძრაობის დასადგენად განიხილება მათი მდებარეობის ცვლილება რომელიმე სხვა სხეულის მიმართ.

სხეულს, რომლის მიმართაც განიხილავენ მოცემული სხეულის მოძრაობას ან მდებარეობას, ათვლის სხეულს უწოდებენ.

ათვლის სხეულად შესაძლებელია მივიჩნიოთ ნებისმიერი სხეული, მაგალითად, დედამიწა, სახლი, მანქანა და სხვ.

როცა ათვლის სხეული შერჩეულია, მაშინ მის რომელიმე წერტილს უკავშირებენ საკოორდინატო სისტემის ღერძებს (მაგ., დეკარტეს კოორდინატთა სისტემის). სხეულის მოძრაობაზე დაკვირვებისთვის აუცილებელია მოძრაობის დროის შუალედის გაზომვა. ამიტომ ათვლის სხეულს უკავშირებენ დროის გამზომ ხელსაწყოს (სურ. 8).

ათვლის სხეული, მასთან დაკავშირებული კოორდინატთა სისტემა და დროის ათვლის ხელსაწყო ქმნიან ათვლის სისტემას.



სურ. 10

ათვლის სისტემის გამოყენებით შესაძლებელია სხეულის მდებარეობის დადგენა სივრცეში დროის ნებისმიერი მომენტისთვის.

მექანიკაში იყენებენ კოორდინატთა სისტემას, რომელიც შეიძლება იყოს ერთი, ორ ან სამგანზომილებიანი.

მაგალითად, მანქანის წრფივ ტრასაზე მოძრაობისას მხოლოდ ერთი კოორდინატი* იცვლება. ამიტომ მანქანის მდებარეობის დასახასიათებლად ერთი საკოორდინატო ღერძია საკმარისი და კოორდინატთა სისტემაც ერთგანზომილებიანია (სურ. 9 ა).

ნავის ზღვაში მოძრაობისას იცვლება ორი კოორდინატი. ამიტომ მისი მდებარეობის დასახასიათებლად ორი საკოორდინატო ღერძია საჭირო და კოორდინატთა სისტემაც ორგანზომილებიანია (სურ. 9 ბ).

ვერტმფრენისა და აეროსტატის მოძრაობისას სამი კოორდინატი იცვლება და შესაბამისად, სამი საკოორდინატო ღერძია საჭირო. ამიტომ კოორდინატთა სისტემაც სამგანზომილებიანია (სურ. 11).

სხეულის მოძრაობის დასადგენად შეიძლება რამდენიმე ათვლის სისტემის გამოყენება. მაგალითად, მოძრაე მანქანაში მჯდომი მგზავრი მოძრაობს დედამიწასთან დაკავშირებულ ათვლის სისტემის მიმართ, მაგრამ უძრავია მანქანასთან დაკავშირებული ათვლის სისტემის მიმართ. ანუ ერთი და იგივე სხეული უძრავიცაა და მოძრავიც, იმისდა მიხედვით, თუ რომელი ათვლის სისტემის მიმართ განიხილება მისი მოძრაობა.

ამიტომ **მოძრაობა** და **უძრაობა** ფარდობითია.

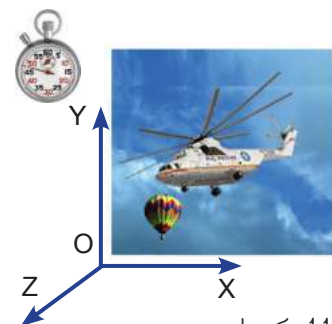
სხეულის მდებარეობის მახასიათებელი კოორდინატი ფარდობითი სიდიდეა და დამოკიდებულია ათვლის სისტემის არჩევაზე. მაგ., მანქანის კოორდინატი ავტობუსთან და ხესთან დაკავშირებულ ათვლის სისტემების მიმართ განსხვავებულია (სურ. 7).

სხეულის კოორდინატი ფარდობითი სიდიდეა.

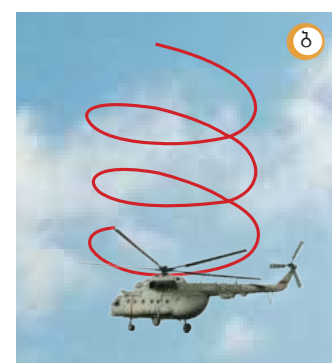
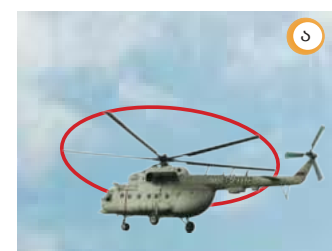
ტრაექტორია არის წირი, რომელზეც მოძრაობს სხეული სივრცეში არჩეული ათვლის სისტემის მიმართ.

ტრაექტორია დამოკიდებულია ათვლის სისტემის არჩევაზე. მაგალითად, ვერტმფრენის პროპელერის მოძრაობას აკვირდება ორი მგზავრი, ერთი ვერტმფრენში, მეორე კი — დედამიწაზე. დედამიწაზე დაშვებისას ვერტმფრენში მჯდომი მგზავრისათვის პროპელერის ფრთის კიდურა წერტილის ტრაექტორიაა წრეწირია (სურ. 12 ა), ხოლო დედამიწაზე მყოფი დამკვირვებლისათვის კი — სპირალის ფორმისა (სურ. 12 ბ).

ტრაექტორია განსხვავებულია სხვადასხვა ათვლის სისტემის მიმართ. **ტრაექტორია ფარდობითია.**

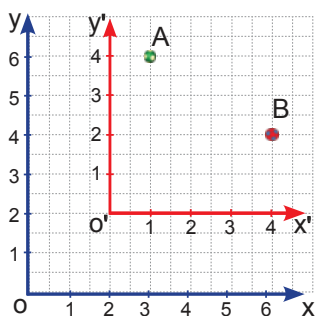


სურ. 11



სურ. 12

* კოორდინატი — სიდიდე, რომელიც განსაზღვრავს სხეულის მდებარეობას წრფეზე, სიბრტყეზე ან სივრცეში.



სურ. 13



გაანზრება

1. იმსჯელე მე-10 სურათზე გამოსახული სქემის მიხედვით მექანიკური მოძრაობისა და ათვლის სისტემის შესახებ.
2. დაადგინე A და B წერტილების კოორდინატები xOy და $x'O'y'$ კოორდინატთა სისტემაში და შეადარე ერთმანეთს. იმსჯელე, რატომ განსხვავდებიან ისინი (სურ. 13).
3. მე-14 სურათზე გამოსახულია წრფივ გზატკეცილზე მოძრავი ველომობილე. დაადგინე:

ა. ველომობილელის ტრაექტორია გზატკეცილის მიმართ (სურ. 14 ა).

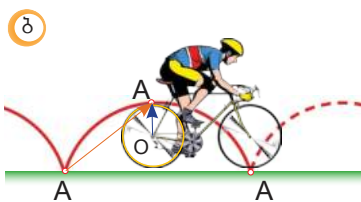
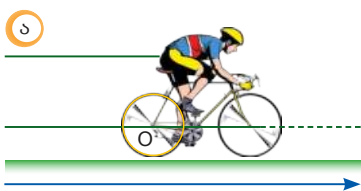
ბ. ბორბლის ღერძის (O ცენტრის) ტრაექტორია გზატკეცილის მიმართ (სურ. 14 ა).

გ. ბორბლის კიდურა A წერტილის ტრაექტორია O ცენტრის მიმართ (სურ. 14 ბ, გ).

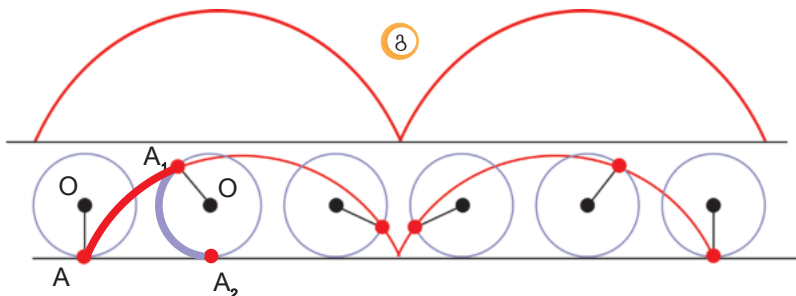
დ. ბორბლის კიდურა A წერტილის ტრაექტორია გზატკეცილის მიმართ (სურ. 14 ბ, გ).

შეადარე A წერტილის ტრაექტორიები სხვადასხვა ათვლის სისტემაში ერთმანეთს. რატომ განსხვავდებიან მისი ტრაექტორიები?

დაადგინე A წერტილის მოძრაობის მიმართულება და შეადარე ველოსიპედის მოძრაობის მიმართულებას.



სურ. 14

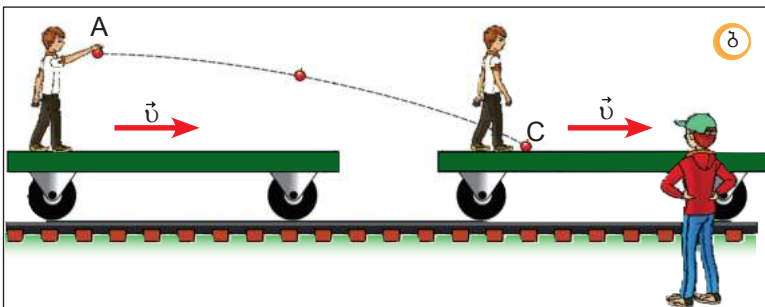
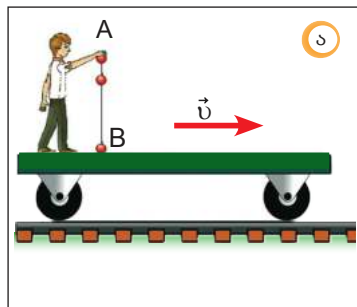


საშინაო დავალება

აზრობრივი ექსპერიმენტი

მოძრაობის ფარდობითობა

წარმოიდგინე, მოძრავ ურიკაზე მდგომი დამკვირვებელი ძირს აგდებს ბურთს და აკვირდება მის ტრაექტორიას (სურ. 15 ა). იმავე ბურთის მოძრაობას აკვირდება მიწაზე მდგომი დამკვირვებელი (სურ. 15. ბ). შეადარე ბურთის ტრაექტორიები ერთმანეთს. გამოიტანე დასკვნა, რატომ განსხვავდებიან ისინი?



სურ. 15

1.3. მოძრაობის ფარდობითობის ექსპერიმენტული კვლევა



დაკვირვება ტრაექტორიის ფარდობითობაზე



ა



ბ



გ

მოცემული გაქვს: ასანთის კოლოფი, წებოვანი ლენტი, ფანქარი (ან ფლომასტერი), სახაზავი, პატარა საკანცელარიო დანა, ქაღალდი და მაკრატელი.

მსვლელობა: მოათავსე სახაზავი კოლოფზე და სახაზავის გასწვრივ საკანცელარიო დანით ჩაჭერი კოლოფი ისე რომ ფანქრის წვერი ჩაეტიოს მასში (სურ. ა).

დაამაგრე შიგა კოლოფისგან თავისუფალი, გარე ცარიელი კოლოფი მაგიდაზე წებოვანი ლენტით (სურ. ბ).

გამოჭერი ქაღალდის ზოლი, რომლის სიგანე ნაკლები იქნება კოლოფის სიგანეზე.

გადმოყარე შიგა კოლოფიდან ასანთის ღერები, მოათავსე ზედ ქაღალდის ზოლი (სურ. გ) და ჩადე მაგიდაზე დამაგრებულ ცარიელ კოლოფში (სურ. დ).

ა. კოლოფზე გაკეთებულ ღარში ამოძრავე ფანქარი ზევით-ქვევით (სურ. ე).

ბ. ერთი ხელით ამოძრავე ფანქარი ზევით-ქვევით, მეორე ხელით გამოსწიე ქაღალდის ზოლი და ამოძრავე იგი თანაბრად.

იმსჯელე და შეადარე: ფანქრის წვერის ტრაექტორია კოლოფის (უძრავი სისტემის) მიმართ, ტრაექტორიას მოძრავი ქაღალდის (მოძრავი სისტემის) მიმართ (სურ. ვ). აღწერე დამზერილი მოვლენა და გამოიტანე დასკვნა.



დ



ე



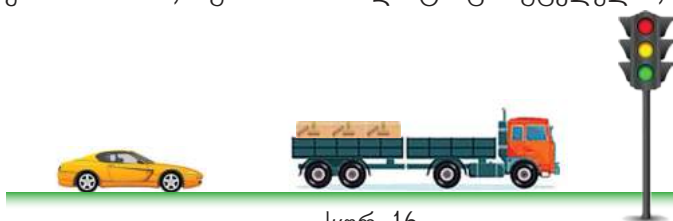
ვ



საშინაო დავალება

სატვირთო ავტომანქანამ მისაბმელით და მსუბუქმა ავტომანქანამ გზატკეცილზე მოძრაობისას ჩაუარა შუქნიშანს (სურ. 16). დაადგინე მოძრაობს თუ არა:

- მისაბმელი სატვირთო მანქანის მიმართ;
- სატვირთო მანქანის მძლოლი მისაბმელის მიმართ;
- მსუბუქი ავტომანქანა სატვირთო მანქანის მიმართ, თუ მათ შორის დისტანცია უცვლელია;
- მისაბმელში არსებული ტვირთი მსუბუქი ავტომანქანის მიმართ;
- მსუბუქი და სატვირთო ავტომანქანა შუქნიშნის მიმართ;
- შუქნიშანი მსუბუქი და სატვირთო ავტომანქანის მიმართ.

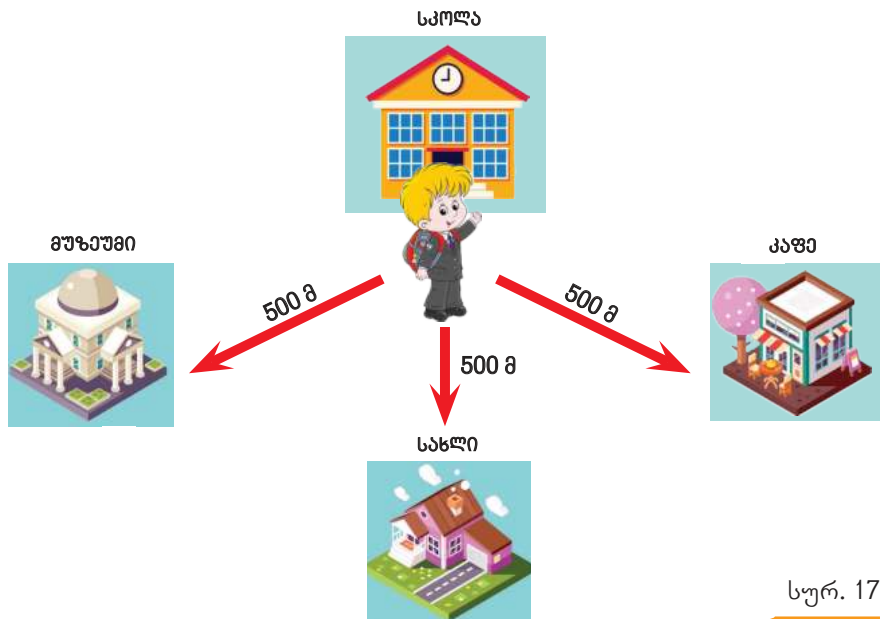


სურ. 16

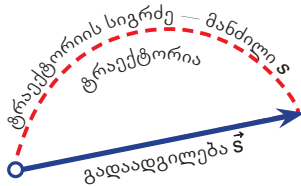
1.4. გადაადგილება. მატერიალური წერტილი

იზიძრა და იმსჯელე

სად აღმოჩნდება მოსწავლე, თუ იგი სკოლიდან 500 მეტრს გაივლის?



სურ. 17



სურ. 18

მოძრაობისას სხეული გარკვეულ მანძილს გადის.

გავლილი მანძილი არის ტრაექტორიის სიგრძე, რომელიც სხეულმა გაიარა დროის რაიმე შუალედში.

სხეულის საბოლოო მდებარეობის დასადგენად გავლილი მანძილის ცოდნა არ არის საკმარისი, აგრეთვე აუცილებელია ცნობილი იყოს სხეულის მოძრაობის მიმართულება (სურ. 18).

მოძრავი სხეულის მდებარეობის დადგენა სივრცესა და დროში შესაძლებელია, თუ ცნობილია ერთ-ერთი მათგანი:

1. საბოლოო კოორდინატი;
2. მოძრაობის ტრაექტორია და ამ ტრაექტორიის გასწვრივ გავლილი მანძილი;
3. გადაადგილება.

გადაადგილება ეწოდება წრფის მიმართულ მონაკვეთს, რომელიც სხეულის საწყის მდებარეობას აერთებს საბოლოო მდებარეობასთან.

გადაადგილება მექანიკური მოძრაობის მახასიათებელი ვექტორული სიდიდეა. როგორც ყველა ვექტორულ სიდიდეს, გადაადგილებასაც აქვს მოდული და მიმართულება. გადაადგილებისაგან განსხვავებით გავლილი მანძილი სკალარული სიდიდეა და იგი მხოლოდ მოდულით ხასიათდება.

დავუშვათ, ბათუმში, ზღვის სანაპიროდან სოხუმისკენ ერთდროულად გაემართა თვითმფრინავი, მანქანა და კატერი. გარკვეული დროის შემდეგ ისინი სოხუმში, ზღვის სანაპიროზე მივიდნენ. სამივე მოძრავმა ტრანსპორტმა განსხვავებული მანძილი გაიარა, თუმცა მათი გადაადგილება $\vec{s}$ ერთი და იგივე იქნება (სურ. 19).

გადაადგილება გვიჩვენებს, რა მიმართულებით მოძრაობდა სხეული და რამდენით დაშორდა იგი საწყის მდებარეობას.



სურ. 19

გავლილი მანძილი კი არის იმ რეალური გზის სიგრძე, რომელიც სხეულმა გაიარა.

თუ სხეულის მოძრაობის ტრაექტორია მრუდი წირია, მაშინ გადაადგილების მოდული და გავლილი მანძილი არ ემთხვევა ერთმანეთს (სურ. 18).

თუ სხეული წრფივად მოძრაობს, მიმართულების შეუცვლელად, მაშინ გადაადგილების მოდული და გავლილი მანძილი ემთხვევა ერთმანეთს და ტოლია (სურ. 20).

გადაადგილების მოდული არასდროს აღემატება გავლილ მანძილს.

მექანიკური მოძრაობა შეიძლება იყოს გადატანითი, ბრუნვითი ან რხევითი. მათგან ყველაზე მარტივი გადატანითი მოძრაობაა.

სხეულის მოძრაობას, როდესაც მისი ყველა წერტილი ერთნაირად მოძრაობს, გადატანითი მოძრაობა ეწოდება.

მაგალითად, გადატანით მოძრაობას ასრულებენ მეტროს ესკალატორის მოძრავ კიბეზე მდგომი მგზავრები, ასევე, ყუთები კონვეიერით გადაადგილებისას (სურ. 21 ა, ბ).

გადატანითი მოძრაობა ტრაექტორიის მიხედვით შეიძლება იყოს წრფივი (სურ. 22) და მრუდწირული (სურ. 23).

გადატანითი მოძრაობისას სხეულის ორი ნებისმიერი წერტილის შემაერთებელი წრფე ურთიერთპარალელურია (სურ. 23). ამ შემთხვევაში სხეულის ყველა წერტილი ერთნაირ გადაადგილებებს ასრულებს.

რადგან გადატანითი მოძრაობისას სხეულის ყველა წერტილი ერთნაირად გადაადგილდება, ამიტომ მოძრაობის დასახასიათებლად აუცილებელი არ არის სხეულის ცალკეული წერტილების მოძრაობის განხილვა. ამ დროს საკმარისია სხეულის მხოლოდ ერთი წერტილის მოძრაობაზე დაკვირვება. უმეტესად ეს წერტილი სხეულის სიმძიმის ცენტრია.

სხეული წერტილად მიიჩნევა აგრეთვე მაშინ, როდესაც მისი ზომები გაცილებით ნაკლებია იმ მანძილთან შედარებით, რომელზეც განიხილება მისი მოძრაობა. მაგალითად, ვარსკვლავები დედამიწასთან შედარებით გაცილებით დიდები არიან, თუმცა დედამიწიდან იმდენად შორს არიან, რომ შეიძლება მატერიალურ წერტილად ჩაითვალოს (ისინი ცაზე მართლაც წერტილებივით ჩანან).

მატერიალურ წერტილად ჩაითვლება სხეული, რომლის ზომები მოძრაობის მოცემულ პირობებში შეიძლება მხედველობაში არ იქნეს მიღებული.

მატერიალური წერტილი ბუნებაში არ არსებობს. იგი სხეულის ისეთი მოდელია*, რომელსაც აქვს მასა, მაგრამ მისი ზომები უგულებელყოფილია. მატერიალური წერტილის ცნების გამოყენება ბევრ შემთხვევაში აიოლებს ფიზიკის ამოცანების ამოხსნას.

მაშასადამე, სხეული მატერიალურ წერტილად შეიძლება მივიჩნიოთ, როცა:

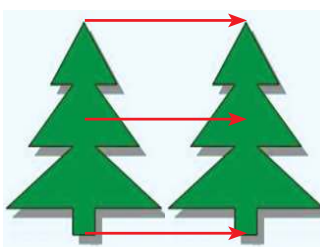
* მოდელი — ისეთი ობიექტი, რომელიც ასახავს შესასწავლი საგნის კვლევისათვის მნიშვნელოვან ნიშანს.



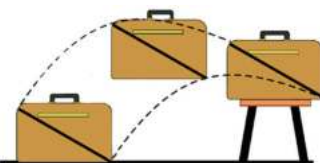
სურ. 20



სურ. 21



სურ. 22



სურ. 23



სურ. 24



სურ. 25



სურ. 26



სურ. 27

1. მისი ზომები მოცემულ პირობებში შეიძლება მხედველობაში არ იქნეს მიღებული;

2. სხეული ასრულებს მხოლოდ გადატანით მოძრაობას.

სხეულის ბრუნვითი მოძრაობისას მისი მატერიალურ წერტილად მიჩნევა არ შეიძლება, რადგან მისი ყველა წერტილი ერთნაირად არ გადაადგილდება. მაგალითად, დედამიწა წარმოსახვითი ღერძის გარშემო დღეღამური ბრუნვისას არ შეიძლება ჩაითვალოს მატერიალურ წერტილად, ხოლო მზის გარშემო ბრუნვისას კი შეიძლება მატერიალურ წერტილად იქნეს მიჩნეული (სურ. 24).



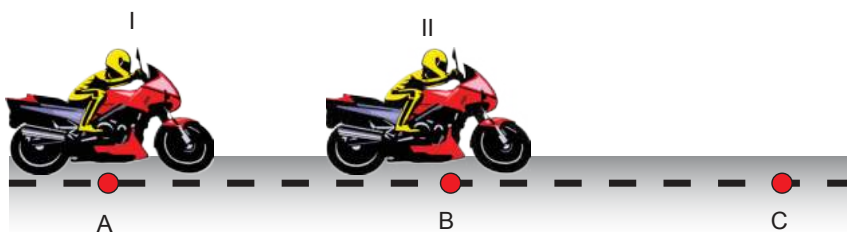
გაანზრება

1. სურათზე გამოსახული მოგზაური მიდის რკინიგზის სადგურში. სადგური გზის გასაყარიდან 1 კმ-ით არის დაშორებული. იმსჯელე, რატომ არ არის ეს პირობა საკმარისი მოგზაურის სადგურში მისასვლელად (სურ. 25)?
2. იმსჯელე, როდის შეიძლება სხეული ჩაითვალოს მატერიალურ წერტილად (სურ. 26 ა, ბ)?
3. იმსჯელე სხეულების მოძრაობის შესახებ (სურ. 27 ა, ბ).



საშინაო დავალება

1. ბურთი ააგდეს ვერტიკალურად ზევით 3 მ-ის სიმაღლეზე და უკან დაბრუნებისას დაიჭირეს იმავე წერტილში. რისი ტოლია გავლილი მანძილი და გადაადგილება?
2. ტურისტულმა ჯგუფმა ჩრდილოეთით გაიარა 12 კმ. შემდეგ აღმოსავლეთით კიდევ 5 კმ. გამოთვალე ჯგუფის მიერ გავლილი მანძილი და გადაადგილება.
3. საათის წუთების ისრის სიგრძე 3,5 სმ-ია. გამოთვალე ორ საათში ისრის წვეროს მიერ გავლილი მანძილი და გადაადგილება.
4. ბურთი 2 მ სიმაღლიდან ჩამოვარდა იატაკზე, ახტა 1 მ სიმაღლეზე და კვლავ დაეცა იატაკზე. გამოთვალე გავლილი მანძილი და გადაადგილება.
5. მანქანამ წრფივად მოძრაობისას გაიარა 10 მ, შემდეგ მოუხვია 5 მ რადიუსიან რკალზე, გაიარა წრეწირის სიგრძის ნახევარი და გაჩერდა. გამოთვალე გავლილი მანძილი და გადაადგილება.
6. გზატკეცილის A და B წერტილებიდან ერთდროულად ორი მოტომობილელი გამოვიდა. C წერტილში ორივემ მოუხვია და

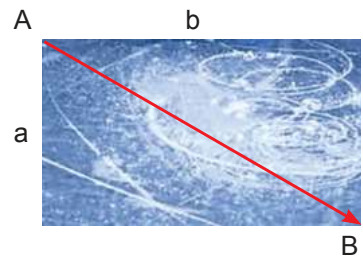


სურ. 28

უკან დაბრუნდა. რა გადაადგილება შეასრულა თითოეულმა მოტომბოლელმა იმ მომენტში, როდესაც პირველი C წერტილში აღმოჩნდება. მოტომბოლელების სიჩქარეები ტოლია და $AB = BC$ (სურ. 28).

7. მოციგურავემ მართკუთხა საციგურაო მოედანი დიაგონალურად, AB-ს გასწვრივ, გადაკვეთა. მწვრთნელი A წერტილიდან B-ში მივიდა მოედნის გვერდების გასწვრივ მოძრაობის შედეგად. მოედნის ზომებია 60×80 მ². გამოთვალე (სურ. 29):

- ა. მოციგურავის გადაადგილების მოდული და გავლილი მანძილი;
- ბ. მწვრთნელის გადაადგილების მოდული და გავლილი მანძილი.



სურ. 29

ქმსპერიმენტული ღვაწლეთა გადატანითი და ბრუნვითი მოძრაობის კვლევა

მოცემული გაქვს: მოკლე სახაზავი (10-15 სმ), თაბახის ფურცლები, ორი სხვადასხვა ფერის პლასტილინის პატარა ბურთულა, ფანქარი.

1. **მსვლელობა:** მოათავსე სახაზავი თაბახის ფურცელზე. სახაზავზე დაამაგრე პლასტილინის ორი ბურთულა. მონიშნე თაბახის ფურცელზე პლასტილინის ბურთულების გასწვრივ წერტილები. აამოძრავე სახაზავი ჰორიზონტალურად და კვლავ მონიშნე ბურთულების საბოლოო მდებარეობა. შეაერთე ბურთულების საწყისი და საბოლოო მდებარეობები წყვეტილი ხაზებით. შეადარე ბურთულების გადაადგილებები (სურ. 30 ა).

გამოიტანე დასკვნა: როგორ მოძრაობს სახაზავი?

მოიფიქრე, ცდის მონაცემებზე დაყრდნობით, რა დამატებით არგუმენტებს მოიყვანდი შენი დასკვნის მართებულობის გამამყარებლად.

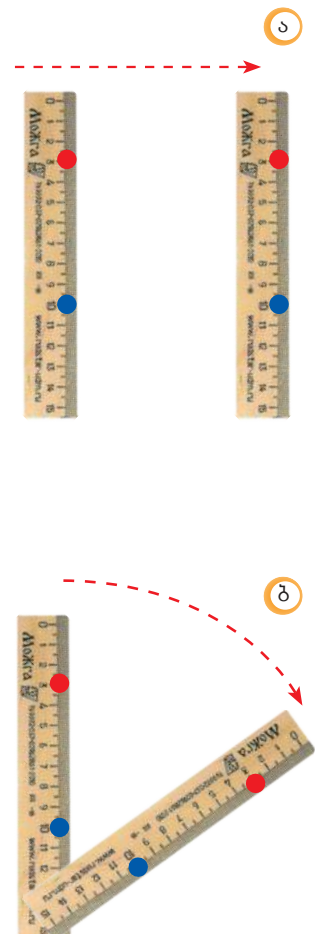
2. **მსვლელობა:** მოათავსე იგივე სახაზავი პლასტილინის ბურთულებით თაბახის ფურცელზე. მონიშნე თაბახზე პლასტილინის ბურთულების გასწვრივ საწყისი წერტილები. დააჭირე მარცხენა ხელის საჩვენებელი თითი სახაზავის ქვედა კიდე. მეორე ხელით შემოაბრუნე სახაზავი რაიმე კუთხით და წერტილებით მონიშნე ბურთულების საბოლოო მდებარეობა. შეაერთე ბურთულების საწყისი და საბოლოო მდებარეობები წყვეტილი ხაზებით. შეადარე ბურთულების გადაადგილებები (სურ. 30 ბ).

გამოიტანე დასკვნა: როგორ მოძრაობს სახაზავი?

მოიფიქრე, ცდის მონაცემებზე დაყრდნობით, რა დამატებით არგუმენტებს მოიყვანდი შენი დასკვნის მართებულობის გამამყარებლად.

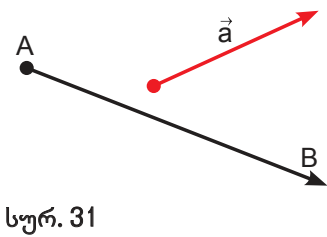
შეადარე ცდების შედეგები ერთმანეთს.

გამოიტანე დასკვნა: რომელ შემთხვევაში შეიძლება სახაზავის მოძრაობის შესწავლა მხოლოდ ერთ წერტილზე დაკვირვებით.

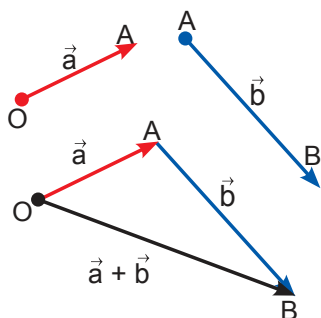


სურ. 30

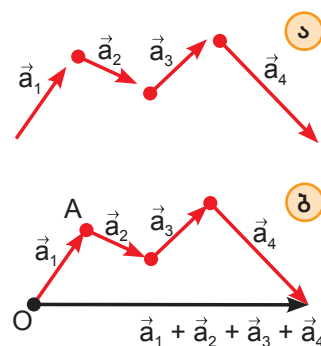
1.5. ვექტორები. მოქმედებები ვექტორებზე



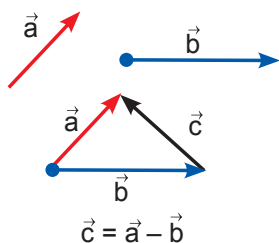
სურ. 31



სურ. 32



სურ. 33



სურ. 34

ფიზიკის და სხვა მეცნიერებების შესწავლისას გვხვდება სხვადასხვა სახის სიდიდეები. ზოგი მათგანი სავსებით განისაზღვრება მისი რიცხვითი მნიშვნელობით. ასეთ სიდიდეებს **სკალარული** სიდიდეები ეწოდება. არსებობს სხვა სახის სიდიდეებიც, რომელთა განსაზღვრისათვის, გარდა რიცხვითი მნიშვნელობისა, საჭიროა აგრეთვე მათი მიმართულების ცოდნა.

ასეთ სიდიდეებს **ვექტორული სიდიდეები** ეწოდება.

წრფის მიმართული მონაკვეთი, რომელსაც აქვს სათავე და ბოლო წერტილი, არის ვექტორი.

ვექტორი, რომლის სათავეა A, ხოლო ბოლო წერტილია B, აღინიშნება სიმბოლოთი $\vec{AB}$. ზოგჯერ ვექტორი აღინიშნება აგრეთვე ერთი ასოთი, მაგალითად, $\vec{a}$ (სურ. 31).

ვექტორის მოდულს შეესაბამება მანძილი მის სათავესა და ბოლო წერტილს შორის. $\vec{AB}$ ვექტორის მოდული არის $|\vec{AB}|$ ან AB . ვექტორს, რომლის მოდული ერთის ტოლია, **ერთეულოვანი ვექტორი** ეწოდება.

• ვექტორების შეკრება

დავუშვათ, მოცემულია ორი $\vec{a}$ და $\vec{b}$ ვექტორი. ავიღოთ სივრცის ნებისმიერი O წერტილი (სურ. 32) და მოვდოთ $\vec{OA} = \vec{a}$ ვექტორი, შემდეგ $\vec{a}$ ვექტორის ბოლო A წერტილში მოვდოთ $\vec{AB} = \vec{b}$ ვექტორი. $\vec{OB}$ ვექტორს ეწოდება $\vec{a}$ და $\vec{b}$ ვექტორების ჯამი და აღინიშნება $\vec{a} + \vec{b}$ -თი. ვექტორთა შეკრების ამ წესს **სამკუთხედის წესი** ეწოდება.

ვექტორთა შეკრების ეს წესი შეიძლება განვაზოგადოთ შესაყრებ ვექტორთა ნებისმიერი სასრული რაოდენობისათვის. ვთქვათ, მოცემულია რამდენიმე ვექტორი $\vec{a}_1, \vec{a}_2, \dots, \vec{a}_n$ (სურ. 33 ა). იმისათვის, რომ ეს ვექტორები შევკრიბოთ, ავიღოთ სივრცის ნებისმიერი O წერტილი და მოვდოთ $\vec{AB} = \vec{a}_1$ ვექტორი, შემდეგ ვექტორის ბოლო წერტილში მოვდოთ $\vec{a}_2$ ვექტორის სათავე, $\vec{a}_2$ ვექტორის ბოლო წერტილში მოვდოთ $\vec{a}_3$ ვექტორის სათავე და ა. შ.

ვექტორს, რომელიც აერთებს $\vec{a}_1$ ვექტორის სათავესა და $\vec{a}_n$ ვექტორის ბოლო წერტილს, ეწოდება $\vec{a}_1, \vec{a}_2, \dots, \vec{a}_n$ **ვექტორების ჯამი** და ასე აღინიშნება,

$$\vec{a}_1 + \vec{a}_2 + \dots + \vec{a}_n.$$

33-ე (ბ) სურათზე ნაჩვენებია ოთხი ვექტორის შეკრების შედეგი.

ვექტორთა შეკრების ოპერაციას გააჩნია შემდეგი თვისებები:

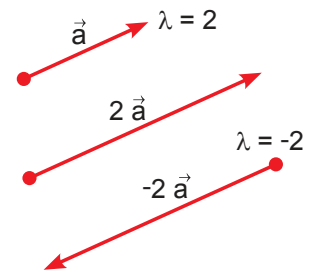
$$\vec{a} + \vec{b} = \vec{b} + \vec{a},$$

$$\vec{a} + (\vec{b} + \vec{c}) = (\vec{a} + \vec{b}) + \vec{c}$$

● ვექტორის სკალარზე გამრავლება

ვექტორის სკალარზე ნამრავლი ეწოდება ისეთ ვექტორს, რომელიც აკმაყოფილებს შემდეგ ორ პირობას:

- $|\vec{b}| = |\lambda \vec{a}|$ ე. ი. λ -ჯერ მეტია $\vec{a}$ სიგრძეზე. სადაც λ სკალარია.
- $\vec{a}$ და $\vec{b}$ ვექტორებს აქვთ ერთნაირი მიმართულება, თუ $\lambda > 0$ და ურთიერთსაწინააღმდეგო მიმართულება, თუ $\lambda < 0$ (სურ. 35).

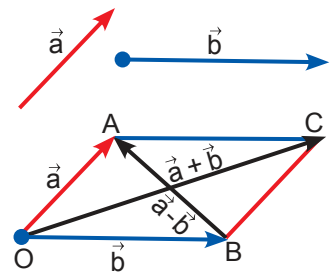


სურ. 35

● ვექტორების სხვაობა

$\vec{a}$ და $\vec{b}$ ვექტორების სხვაობა ეწოდება $\vec{a} + (-\vec{b})$ ვექტორს და ასე აღინიშნება $\vec{a} - \vec{b}$. ცხადია, $\vec{a}$ და $\vec{b}$ ვექტორების სხვაობა არის ისეთი $\vec{c}$ ვექტორი, რომ $\vec{b} + \vec{c} = \vec{a}$ (სურ. 34).

36-ე სურათზე ნაჩვენებია ვექტორთა შეკრების კიდევ ერთი წესი, ე. წ. **პარალელოგრამის წესი**, რომელიც გვაძლევს აგრეთვე ვექტორთა სხვაობის აგების წესს. ვთქვათ, მოცემულია ორი $\vec{a}$ და $\vec{b}$ ვექტორი. ავიღოთ სივრცის ნებისმიერი O წერტილი და მოვდოთ $\vec{OA} = \vec{a}$ ვექტორი და $\vec{OB} = \vec{b}$ ვექტორი, ამ ორ ვექტორზე ავაგოთ $OACB$ პარალელოგრამი. O წერტილიდან გამოსული $\vec{OC}$ დიაგონალი არის $\vec{a}$ და $\vec{b}$ ვექტორების ჯამი, ხოლო მეორე დიაგონალი $\vec{BA}$ $\vec{a}$ და $\vec{b}$ ვექტორების სხვაობაა.



სურ. 36



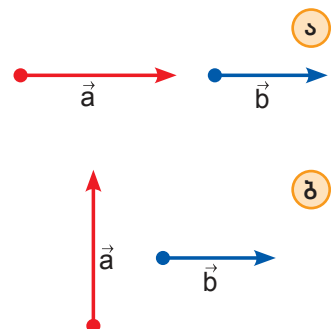
ბაზრება

1. იმსჯელე და დაასაბუთე, რომ ორი ვექტორის ჯამი არ არის დამოკიდებული შესაკრებთა ადგილების შეცვლაზე?
ე. ი. $\vec{a} + \vec{b} = \vec{b} + \vec{a}$.
2. იმსჯელე, $|\vec{a}| = |\vec{b}|$ ვექტორებს შორის კუთხის რომელი მნიშვნელობისათვის შეიძლება მათი ჯამის მოდული ტოლი იყოს შესაკრები ვექტორების მოდულისა?



საშინაო დავალება

1. ორ ვექტორს შორის კუთხის როგორი მნიშვნელობისათვის შეიძლება მათი ჯამის მოდული ნაკლები იყოს თითოეული შესაკრები ვექტორის მოდულზე?
2. როგორი კუთხისათვის შეიძლება იყოს ორი ვექტორის სხვაობის მოდული მეტი საკლები და მაკლები ვექტორების მოდულებზე?
3. რა შემთხვევაში იქნება ორი, მოდულით ტოლი, ვექტორის ჯამი ნულის ტოლი?
4. იპოვე ვექტორების ჯამი და სხვაობა:
 - ა) $\vec{a}$ და $\vec{b}$ მიმართულია ერთი წრფის გასწვრივ;
 - ბ) $\vec{a}$ და $\vec{b}$ მიმართულია ერთმანეთის მართობულად (სურ. 37 ა, ბ).

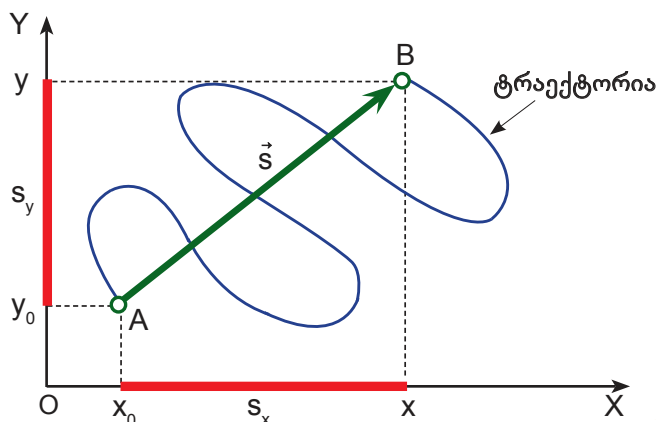


სურ. 37

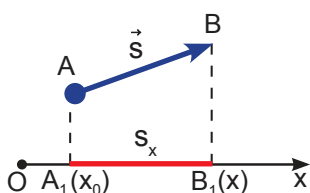
1.6. გადაადგილების ვექტორის გეგმილი კოორდინატთა ღერძებზე

იზიარე და იმსჯელე

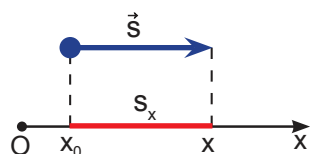
რატომ აგეგმილებენ საკოორდინატო ღერძებზე გადაადგილების ვექტორს?



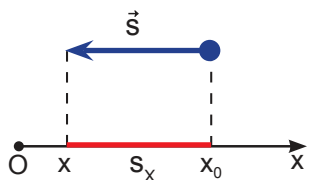
სურ. 38



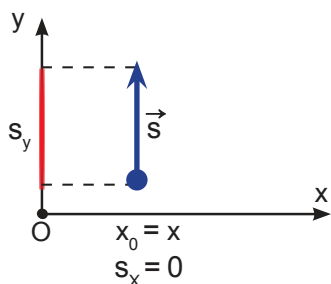
სურ. 39



სურ. 40



სურ. 41



სურ. 43

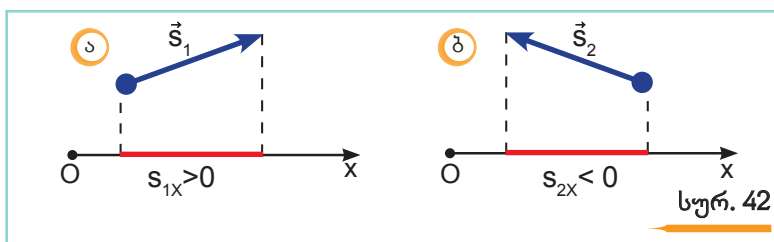
ათვლის სისტემის მიმართ მოძრავი სხეულის გადაადგილების მოდულის დასადგენად აუცილებელია გადაადგილების ვექტორის საწყისი და საბოლოო კოორდინატების მნიშვნელობების ცოდნა. ამისთვის იყენებენ საკოორდინატო ღერძებზე ვექტორების დაგეგმილების მეთოდს.

გადაადგილების გეგმილის საპოვნელად ვექტორის სათავიდან და ბოლოდან საკოორდინატო ღერძზე უნდა დავუშვათ მართობი. მაგალითად, $\vec{s}$ ვექტორის OX ღერძზე დასაგეგმილებლად მისი სათავიდან (A წერტილი) და ბოლოდან (B წერტილი) ღერძზე უნდა დავუშვათ მართობები (სურ. 39). მართობის მიერ ღერძის გადაკვეთაზე მდებარე A_1 წერტილი იქნება A წერტილის გეგმილი, ბოლო B_1 კი B წერტილის გეგმილია. შესაბამისად, A_1 წერტილის კოორდინატი OX ღერძზე იქნება x_0 , ხოლო B წერტილის კოორდინატი კი — x . $\vec{s}$ ვექტორის გეგმილი OX ღერძზე იქნება $s_x = x - x_0$ (სურ. 39).

გადაადგილების გეგმილი არის ვექტორის სათავიდან და ბოლოდან საკოორდინატო ღერძზე დაშვებული მართობების ღერძთან გადაკვეთის წერტილებს შორის მონაკვეთი, რომელიც შეიძლება იყოს დადებითი ან უარყოფითი.

საკოორდინატო ღერძის პარალელური ვექტორის გეგმილი $s_x = |\vec{s}|$ (სურ. 40). თუ ვექტორი ღერძის საპირისპიროდაა მიმართული, მაშინ $s_x = -|\vec{s}|$ (სურ. 41).

გეგმილის ნიშანი დამოკიდებულია ვექტორის მიმართულებაზე ღერძის მიმართ. $\vec{s}_1$ ვექტორის გეგმილი s_{1x} დადებითია, ხოლო $\vec{s}_2$ ვექტორის გეგმილი კი — s_{2x} უარყოფითი (სურ. 42 ა,ბ)



სურ. 42

საკოორდინატო ღერძის მართობი გადაადგილების ვექტორის გეგმილი ამ ღერძზე ნულის ტოლია. მაგალითად, OX სა-

კოორდინატო ღერძის მართობი $\vec{S}$ ვექტორის საწყისი და ბოლო წერტილების გეგმილები ერთ წერტილშია. ამიტომ მისი გეგმილი ამ ღერძზე ნულის ტოლია, $s_x = x - x_0 = 0$. $\vec{S}$ ვექტორის გეგმილი OY ღერძზე იქნება: $s_y = |\vec{S}|$ (სურ. 43).

სხეულის სიბრტყეზე მოძრაობისას გადაადგილების $\vec{S}$ ვექტორს ორი გეგმილი აქვს: OX ღერძზე s_x და OY ღერძზე s_y (სურ. 44).

s_x გეგმილი OX ღერძზე იქნება $s_x = x - x_0$, ხოლო OY ღერძზე $s_y = y - y_0$. თუ ცნობილია ამ ვექტორის s_x და s_y გეგმილები, მაშინ $\triangle ABC$ -დან, პითაგორას თეორემის თანახმად, $\vec{S}$ ვექტორის მოდული

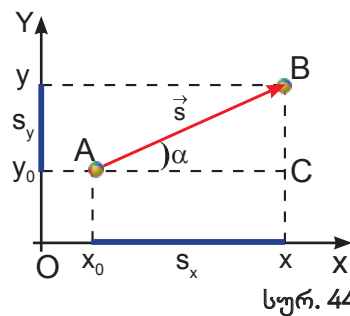
$$s = \sqrt{s_x^2 + s_y^2}.$$

$\vec{S}$ ვექტორის მიმართულების დასადგენად უნდა გამოვთვალოთ კუთხე α ფორმულიდან:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{s_y}{s_x}$$

თუ ცნობილია $\vec{S}$ ვექტორის მოდული და α კუთხე OX ღერძსა და $\vec{S}$ ვექტორს შორის, მაშინ მისი გეგმილები იქნება:

$$s_x = s \cdot \cos \alpha, \quad s_y = s \cdot \sin \alpha.$$



სურ. 44

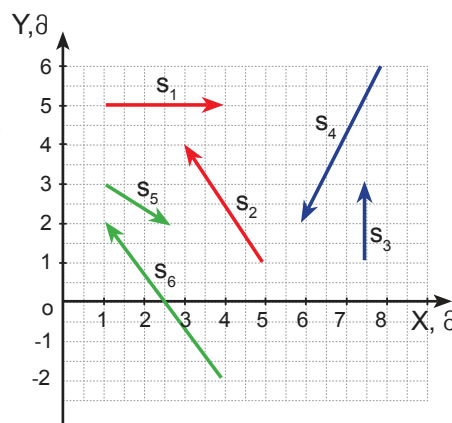
გადაადგილების ვექტორის დაგეგმილების წესი სამართლიანია სხვა ფიზიკური ვექტორული სიდიდეებისთვისაც. მაგალითად: სიჩქარის, ძალისა და სხვ.



ბაზრება

გამოთვალე სურათზე გამოსახული ვექტორების გეგმილები OX და OY ღერძებზე. დაუკავშირე გრაფიკზე გამოსახული ვექტორები შესაბამის გეგმილებს და შეავსე ცხრილი (სურ. 45).

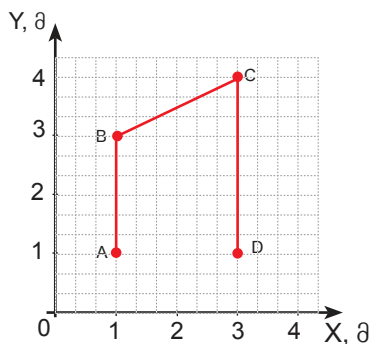
	s_1	s_2	s_3	s_4	s_5	s_6
s_x						
s_y						



სურ. 45



საშინაო დავალება



სურ. 46

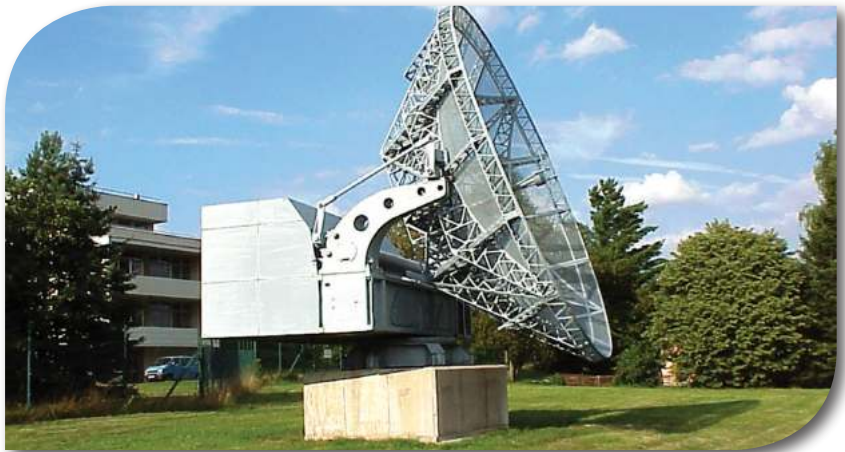
1. სხეული, რომლის კოორდინატია $x_0 = -1,4$ მ, გადაადგილდა წერტილში კოორდინატით $x = 4$ მ. გამოთვალე გადაადგილების გეგმილი OX ღერძზე და დახაზე შესაბამისი ნახაზი.
2. ავტობუსი წრფივად გადაადგილდა კინოთეატრამდე, რომლის კოორდინატია $x = 100$ მ. განსაზღვრე ავტობუსის საწყისი მდებარეობის კოორდინატი, თუ ავტობუსის გადაადგილების გეგმილი OX ღერძზე 90 მ-ია.
3. 46-ე სურათზე გამოსახულია მგზავრის მოძრაობის ტრაექტორია A პუნქტიდან D პუნქტამდე. გამოთვალე: ა. მგზავრის საწყისი და საბოლოო მდებარეობების კოორდინატები; ბ. გადაადგილების მოდული; გ. გავლილი მანძილი.

1.7. წრფივი თანაბარი მოძრაობა. სიჩქარე

იზიძრა და იმსჯელო

სად და რისთვის
იყენებენ რადარებს
(რადიოლოკატორებს)?

სურ. 47



იცი, რომ...

წრფივი თანაბარი
მოძრაობისას სხეული
დროის ნებისმიერ ტოლ
შუალედებში ტოლ
მანძილებს გადის და
ტრაექტორია წრფეა



სურ. 48



სურ. 49

მექანიკური მოძრაობა შეიძლება იყოს წრფივი ან მრუდწირული, თანაბარი ან არათანაბარი. მექანიკური მოძრაობის მახასიათებელი სიდიდეებია: გავლილი მანძილი, გადაადგილება და აგრეთვე — სიჩქარე.

მექანიკის ძირითადი ამოცანის თანახმად, შესაძლებელია სხეულის მდებარეობის დადგენა დროის ნებისმიერი მომენტისთვის, თუ ცნობილია საწყისი მდებარეობა, საწყისი სიჩქარე და მოძრაობის ხასიათი (მაგ., თანაბარია მოძრაობა თუ არათანაბარი).

სიჩქარე ვექტორული ფიზიკური სიდიდეა, რომელიც ტოლია გადაადგილების შეფარდებისა დროის იმ შუალედთან, რომლის განმავლობაშიც ეს გადაადგილება შესრულდა. იგი გამოისახება ფორმულით:

$$\vec{v} = \frac{\vec{s}}{t}, \quad \text{აქედან} \quad \vec{s} = \vec{v}t.$$

თანაბარწრფივი მოძრაობისას სხეული დროის ნებისმიერ ტოლ შუალედებში ერთნაირ გადაადგილებებს ასრულებს.

წრფივი თანაბარი მოძრაობისას გადაადგილების მოდული გავლილი მანძილის ტოლია. აგრეთვე, თანაბარწრფივი მოძრაობისას სხეულის სიჩქარე არ იცვლება, მუდმივი სიდიდეა როგორც მოდულით, ასევე მიმართულებით. ამიტომ, თუ წრფივი თანაბარი მოძრაობისას სიჩქარე და აგრეთვე, მოძრაობის მიმართულებაც ცნობილია, მაშინ სიჩქარე გამოისახება ფორმულით:

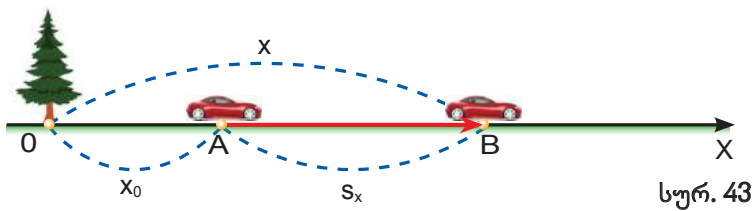
$$v = \frac{s}{t}.$$

ამიტომ გავლილი მანძილი იქნება:

$$s = vt,$$

სადაც, v არის თანაბარწრფივი მოძრაობის სიჩქარე, s — გავლილი მანძილი და t — მოძრაობის შესაბამისი დროის შუალედი.

დავუშვათ, წრფივი მოძრაობისას შესაძლებელია სხეულის ნაცვლად განვიხილოთ მატერიალური წერტილის მოძრაობა.



სურ. 43

თუ მატერიალური წერტილი მოძრაობს წრფივად, მაშინ მისი ტრაექტორია იქნება წრფე. საკოორდინატო OX ღერძი მივმართოთ მატერიალური წერტილის მოძრაობის გასწვრივ.

მატერიალური წერტილის საწყისი და საბოლოო კოორდინატების დასადგენად გადაადგილების ვექტორს აგეგმილებენ საკოორდინატო ღერძებზე. წრფივი მოძრაობისას სხეულის გადაადგილების მოდული და მისი გეგმილი OX ღერძზე ერთმანეთს ემთხვევა და გავლილი მანძილის ტოლია (სურ. 43), საწყისი მდებარეობის, A წერტილის კოორდინატია x_0 , ხოლო საბოლოო მდებარეობის, B წერტილის კოორდინატია x . მაშინ სხეულის საბოლოო მდებარეობის კოორდინატი ამ საკოორდინატო სისტემაში იქნება:

$$x = x_0 + s_x.$$

სადაც, s_x თანაბარი მოძრაობისას გადაადგილების გეგმილია OX ღერძზე. გადაადგილების ფორმულის თანახმად:

$$s_x = v_x t,$$

v_x სიჩქარის გეგმილია OX ღერძზე. სხეულის საბოლოო კოორდინატი დროის t მომენტისათვის იქნება:

$$x = x_0 + v_x t.$$

ამ განტოლებას წრფივი თანაბარი მოძრაობის კინემატიკური განტოლება ეწოდება.

განტოლების თანახმად, თუ ცნობილია სხეულის სიჩქარე და საწყისი კოორდინატი, შეიძლება დადგინდეს სხეულის მდებარეობა დროის ნებისმიერ მომენტში.

სხეულის სიჩქარეს სპეციალური ხელსაწყოებით ზომავენ. ავტომატურად სიჩქარის გასაზომად იყენებენ სპიდომეტრებს (სურ. 48), თვითმფრინავებში სპეციალურ სიჩქარის მაჩვენებელს, წყალში მცურავი სხეულების სიჩქარის გასაზომად — ექოლოკატორებს (სურ. 49), ჰაერში და დედამიწის ზედაპირზე სიჩქარეს ლოკატორით ზომავენ. ლოკატორით შესაძლებელია საჰაერო სივრცეში მოძრავი სხეულის აღმოჩენა, მისი კოორდინატებისა და სიჩქარის დადგენა (სურ. 47).

გზებზე მოძრავი მანქანების სიჩქარეს ზომავენ ბოძებზე, ჭკვიან კამერებში დამონტაჟებული ლოკატორებითა და ასევე პორტატული ლოკატორებით (სურ. 50 ა, ბ. სურ. 51).

სხეულები და ელემენტარული ნაწილაკები ერთმანეთისგან მკვეთრად განსხვავებული სიჩქარით მოძრაობენ. მაგალითად, კუს სიჩქარე დაახლოებით 5 სმ/წმ-ია, მიკრონაწილაკები კი ამაჩქარებლებში საკმაოდ დიდი სიჩქარით მოძრაობენ (სურ. 52). მათი სიჩქარე თითქმის 300 000 კმ/წმ-ს აღწევს. ეს ის მაქსიმალური სიჩქარეა, რომლის მიღებაც პრაქტიკულად შესაძლებელია.



ა

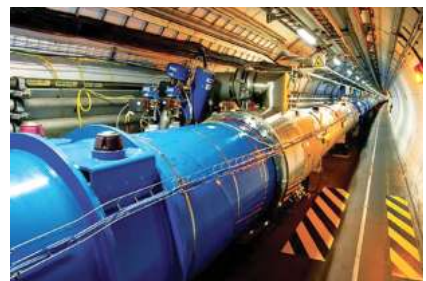


ბ

სურ. 50



სურ. 51



სურ. 52

ა



ბ



სურ. 53

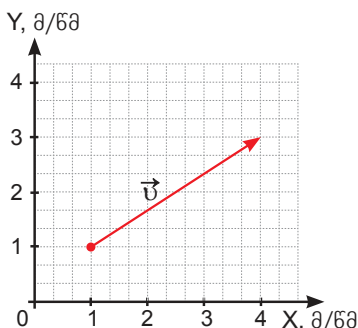


ბაზრება

- რა დრო დასჭირდება თანაბრად, 80 კმ/სთ სიჩქარით მოძრავე 200 მ სიგრძის მატარებელს 80 მ-იანი გვირაბის გასავლელად? იმსჯელე, მატარებლის მოძრაობის შესახებ და რატომ არ შეიძლება იგი ჩაითვალოს მატერიალურ წერტილად (სურ. 53 ა)?
- რა დრო დასჭირდება თანაბრად, 80 კმ/სთ სიჩქარით მოძრავე 200 მ სიგრძის მატარებელს 10 კმ მანძილის გასავლელად? იმსჯელე, მატარებლის მოძრაობის შესახებ და რატომ შეიძლება იგი ჩაითვალოს მატერიალურ წერტილად (სურ. 53 ბ)?
- სხეულის მოძრაობის განტოლებაა $x = 50 + 3t$. იმსჯელე და დაახასიათე მოძრაობა. დაადგინე:
 - საწყისი მდებარეობის კოორდინატი. სხეულის მოძრაობის სიჩქარის გეგმილი და მიმართულება.
 - სხეულის მდებარეობის კოორდინატი 5 წმ-ის შემდეგ.

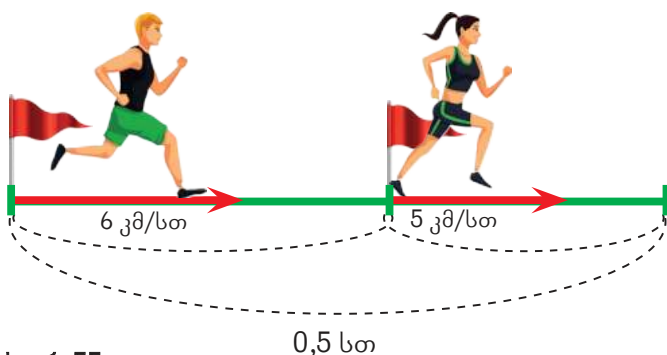


საშინაო ღვალება



სურ. 54

- 54-ე სურათის მიხედვით გამოთვალე სიჩქარის მოდული.
- გამოთვალე სხეულის სიჩქარის მოდული, თუ მისი გეგმილი OX ღერძზე $v_x = 6$ მ/წმ-ია; OY ღერძზე $v_y = 8$ მ/წმ.
- სხეულის საწყისი კოორდინატია 5 მ, 4 წმ-ის შემდეგ მისი საბოლოო კოორდინატი გახდა 25 მ. გამოთვალე სხეულის სიჩქარე.
- წრფივად და თანაბრად მოძრავი სხეულის სიჩქარის გეგმილია - 5 მ/წმ. მისი საწყისი კოორდინატია 3 მ. დაადგინე, რა მიმართულებით მოძრაობს სხეული x ღერძის მიმართ და შეადგინე მოძრაობის განტოლება.
- OX ღერძის გასწვრივ მატერიალური წერტილის მოძრაობის განტოლებაა $x = 5t$. რა მანძილს გაივლის იგი 3 წამში?
- ორი სხეულის მოძრაობის განტოლებები შესაბამისად არის: $x_1 = 40 - 4t$ და $x_2 = 4 + 2t$. დაადგინე მათი შეხვედრის დრო და ადგილი.
- ორი ავტომანქანა ერთდროულად გავიდა თბილისის ავტოსადგურიდან ქუთაისისკენ (280 კმ). ერთი მოძრაობს 90 კმ/სთ სიჩქარით, მეორე — 15 მ/წმ სიჩქარით. რომელი ავტომანქანა ჩავა ქუთაისში უფრო ნაკლებ დროში და რამდენით (მოძრაობა თანაბარია)?



სურ. 55

- სხეულის მოძრაობის განტოლებაა $x = 25t$. რა დროში გაივლის იგი 25 კმ-ს?
- სხვადასხვა ადგილზე მდებარე სახლებიდან ერთდროულად გამოვიდა ორი მორბენალი და გაემართა სტადიონისკენ სავარჯიშოდ. ბიჭი, რომლის სიჩქარეა 6 კმ/სთ, ნახევარ საათში დაეწია 5 კმ/სთ სიჩქარით მოძრავე გოგონას. რა მანძილით არის დაშორებული მათი სახლები (სურ. 55)?

1.8. წრფივი თანაბარი მოძრაობის გრაფიკები



იფიქრა და იმსჯელე

ფორმულების გარდა, როგორ შეიძლება აღინეროს სპორტსმენების მოძრაობისას სიჩქარისა და გადაადგილების დროზე დამოკიდებულება?

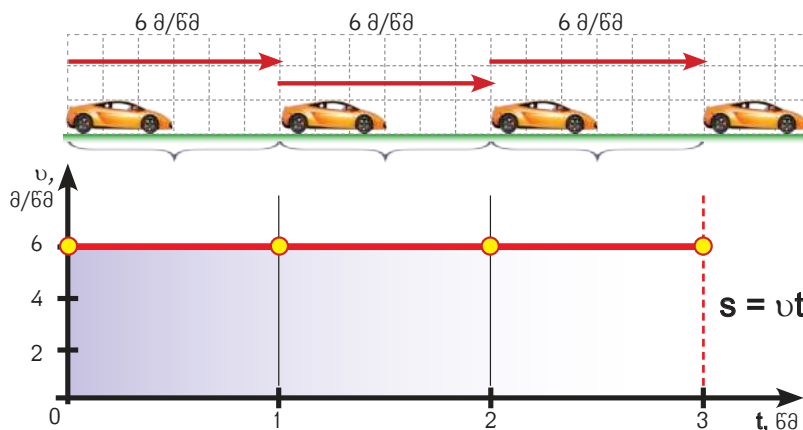
სურ. 56

ფიზიკური მოვლენების კანონზომიერებები შეიძლება გამოისახოს ცხრილის სახით, გრაფიკულად და ანალიზურად (ფორმულებით) (სურ. 57).

დავუშვათ, მანქანა გზატკეცილზე მოძრაობს თანაბრად 6 მ/წმ სიჩქარით. მანქანის სიჩქარის დროზე დამოკიდებულების გრაფიკის ასაგებად აბსცისთა ღერძზე უნდა გადაიზომოს მოძრაობაზე დაკვირვების დრო, ხოლო ორდინატთა ღერძზე — სიჩქარე.

რადგან მოძრაობა თანაბარია, დროის ნებისმიერ შუალედში, სიჩქარე ტოლია 6 მ/წმ-ის (ცხრ. 1).

ცხრილში მოცემულ მნიშვნელობებზე დაყრდნობით, სიჩქარის ვექტორის მოდულის დროზე დამოკიდებულების გრაფიკი დროთა ღერძის პარალელური წრფეა (სურ. 58).

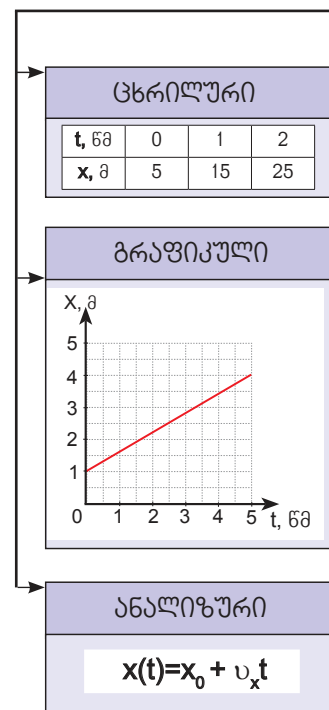


სურ. 58

დაკვირვების დროის განმავლობაში (მაგ., 3 წმ-ში) გავლილი მანძილის გამოსათვლელად, დროის ღერძიდან უნდა აღიმართოს მართობი სიჩქარის გრაფიკის გადაკვეთამდე. მიღებული მართკუთხედის ფართობის რიცხვითი მნიშვნელობა გავლილი მანძილის რიცხვითი მნიშვნელობის ტოლი იქნება. თანაბარ-წრფივი მოძრაობისას გავლილი მანძილისა და გადაადგილების ვექტორის რიცხვითი მნიშვნელობები ტოლია.

$$s = v \cdot t.$$

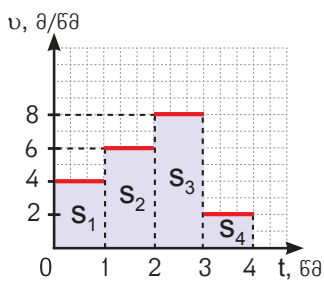
მოძრაობის აღწერის
მეთოდები



სურ. 57

ცხრილი 1

t, წმ	v, მ/წმ
0	6
1	6
2	6
3	6



სურ. 59

წრფივი თანაბარი მოძრაობისას გადაადგილება რიცხვითი მნიშვნელობით ტოლია იმ მართკუთხედის ფართობისა, რომელიც შემოსაზღვრულია სიჩქარის გრაფიკითა და სხეულის მოძრაობის გამომსახველი დროის მონაკვეთით. ასევე გამოითვლება გადაადგილების მოდული ნებისმიერი სიჩქარით სხეულის მოძრაობისას.

მაგალითად, თუ სხეულის სიჩქარე 59-ე სურათზე გამოსახული გრაფიკის მიხედვით იცვლება, მაშინ სხეულის გადაადგილების მოდულის დასადგენად უნდა გამოითვალოს დროის თითოეული მონაკვეთზე მართკუთხედების ფართობი და შემდეგ ყველა შეიკრებოს.

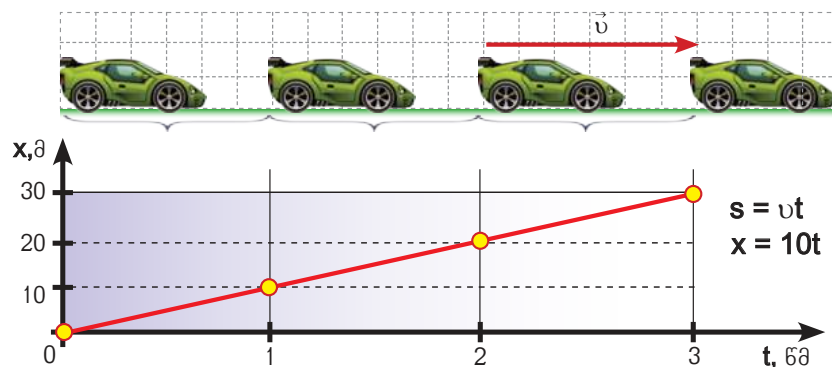
$$S = S_1 + S_2 + S_3 + S_4$$

თანაბარი მოძრაობისას კოორდინატის დროზე დამოკიდებულების გრაფიკის ასაგებად აბცისთა ღერძზე უნდა გადაიზომოს დრო, ხოლო ორდინატთა ღერძზე კოორდინატი.

მაგალითად, გზატკეცილზე თანაბრად $v_x = 10$ მ/წმ სიჩქარით

ცხრილი 2

t, წმ	x, მ
0	0
1	10
2	20
3	30



სურ. 60

მოძრავი მანქანის კოორდინატის დროზე დამოკიდებულება გამოისახება განტოლებით:

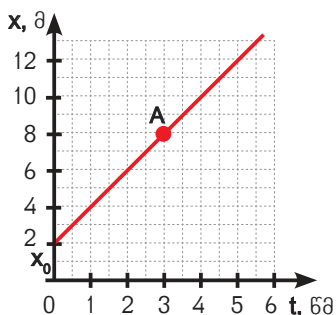
$$x = 10t, \text{ როცა } x_0 = 0.$$

ცხრილში მოცემულია (ცხრ. 2) დაკვირვების დროის შუალედები და სხეულის მიერ შესრულებული გადაადგილებების შესაბამისი კოორდინატების მნიშვნელობები.

ცხრილში მოცემულ მნიშვნელობებზე დაყრდნობით, მიღებული თანაბარი მოძრაობის კოორდინატის დროზე დამოკიდებულების გრაფიკი კოორდინატთა სათავეზე გამავალი წრფეა (სურ. 60).

როცა საწყისი კოორდინატი $x_0 = 0$, მაშინ გრაფიკი კოორდინატთა სათავეზე გამავალი წრფეა, ხოლო თუ საწყისი კოორდინატი არ უდრის ნულს, მაგალითად, $x_0 = 2$ მ, მაშინ გრაფიკი ღერძს კვეთს x_0 წერტილში (სურ. 61).

კოორდინატის დროზე დამოკიდებულების გრაფიკის მიხედვით შესაძლებელია სხეულის მოძრაობის სიჩქარის გამოთვლა. მაგალითად, 55-ე სურათზე გამოსახულ გრაფიკზე რაიმე A წერტილის შესაბამისი სიჩქარის მოდულის გამოსათვლელად უნდა დადგინდეს გადაადგილების რიცხვითი მნიშვნელობა და

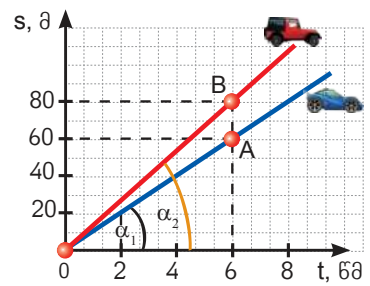


სურ. 61

მოძრაობის შესაბამისი დრო. სიჩქარის ფორმულის თანახმად:

$$v_x = \frac{s_x}{t} = \frac{x - x_0}{t}, \text{ სადაც } x = 8 \text{ მ, } x_0 = 2 \text{ მ, } t = 3 \text{ წმ, } v_x = 2 \text{ მ/წმ.}$$

სხვადასხვა სიჩქარით მოძრავი სხეულების კოორდინატის დროზე დამოკიდებულების გრაფიკების დახრის კუთხე განსხვავებულია (სურ. 62). რაც უფრო დიდია გრაფიკის დახრის კუთხე, მით მეტია ამ სხეულის მოძრაობის სიჩქარე. გრაფიკის მიხედვით, წითელმა მანქანამ იმავე დროში უფრო მეტი მანძილი გაიარა, ვიდრე ლურჯმა. ცხადია, წითელი მანქანის სიჩქარე უფრო მეტი იქნება.



სურ. 62

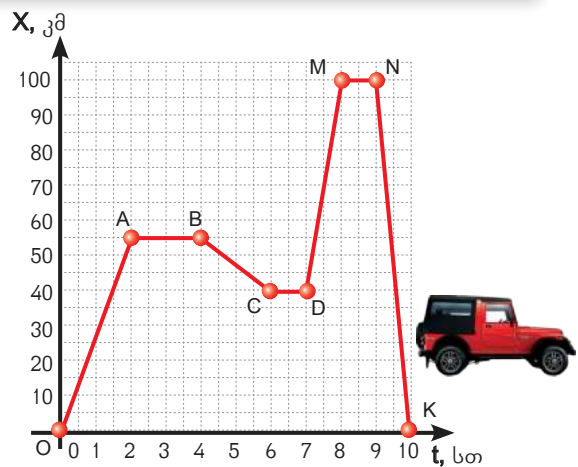


ბაზრება

თანაბარი მოძრაობის გრაფიკული კვლევა

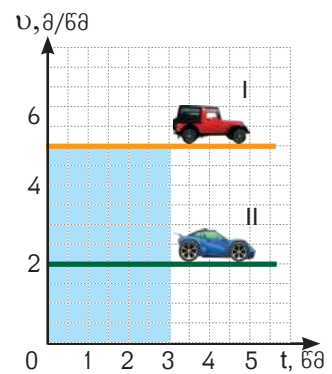
წარმოიდგინე, რომ ჯგუფთან ერთად წასასვლელი ხარ სამოგზაუროდ. ხელთ გაქვს მოძრაობის გრაფიკი, რომლითაც უნდა გაითვალისწინო რა სიჩქარით იმოძრავე ცალკეულ უბნებზე, რა დრო დაგჭირდება მოგზაურობისთვის და რა მანძილი უნდა გაიარო ამ დროში.

აღწერე გრაფიკის უბნების მიხედვით მოძრაობის ხასიათი და გამოთვალე თითოეულ უბანზე შესაბამისი სიჩქარე, გავლილი მანძილი და მოგზაურობისთვის საჭირო დრო. შეადგინე $v(t)$ გრაფიკი. გისურვებთ წარმატებულ მოგზაურობას.

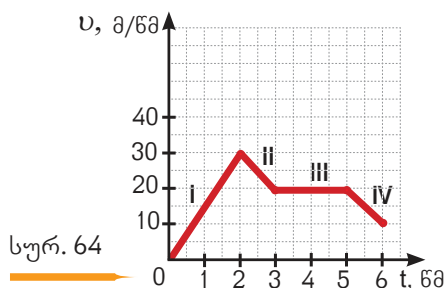


საშინაო დავალება

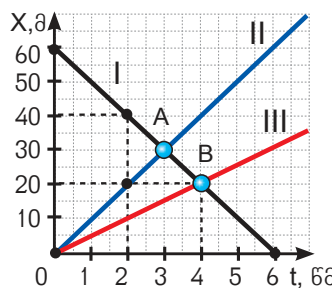
1. გრაფიკის მიხედვით გამოთვალე და შეადარე ერთმანეთს ავტომანქანის სიჩქარეები. რა დამოკიდებულებაა გრაფიკის დახრის კუთხესა და სხეულის სიჩქარეს შორის (სურ. 62)?
2. გრაფიკის მიხედვით გამოთვალე წითელი და ლურჯი მანქანების მიერ 3 წმ-ში გავლილი მანძილები (სურ. 63).
3. გამოთვალე თანაბარი მოძრაობისას სხეულის მიერ გავლილი მანძილი (სურ. 64).
4. გრაფიკის მიხედვით გამოთვალე I, II და III სხეულების სიჩქარე, იპოვე ამ სხეულების შეხვედრის დრო და ადგილი როგორც გრაფიკულად, ასევე ანალიზურად (სურ. 65).



სურ. 63



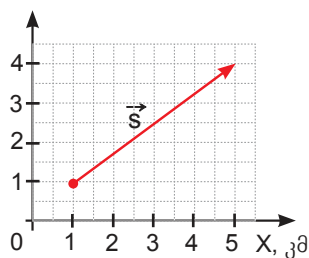
სურ. 64



სურ. 65

1.9. ამოცანების ამოხსნა

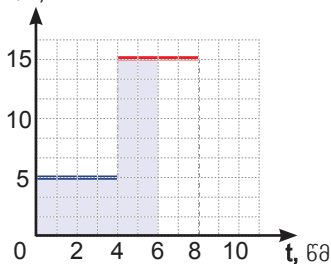
Y, კმ



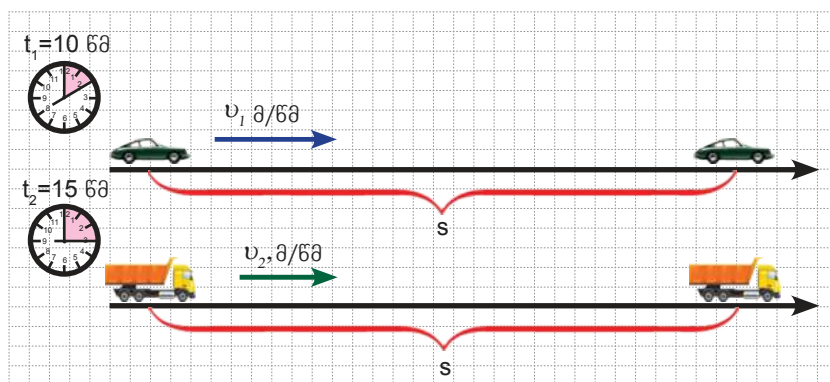
სურ. 66

- 66-ე სურათის მიხედვით გამოთვალე გადაადგილების ვექტორის მოდული. რა სიჩქარით მოძრაობდა სხეული, თუ მან ეს გადაადგილება შეასრულა 15 წთ-ში (სიჩქარე გამოთვალე კმ/სთ-ში)?
- გამოთვალე სხეულის მიერ 6 წმ-ში გავლილი მანძილი. რა მანძილს გაივლიდა იგი 8 წმ-ში (სურ. 67)?
- შეადარე სატვირთო და მსუბუქი ავტომობილების სიჩქარე ერთმანეთს (სურ. 68)?

v, მ/წმ

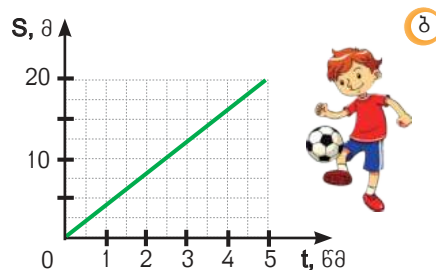
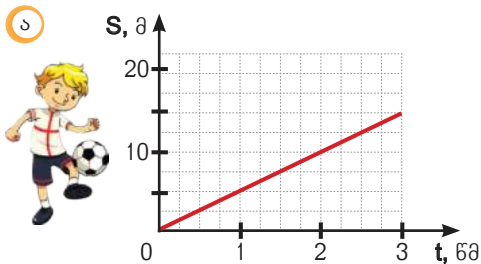


სურ. 67



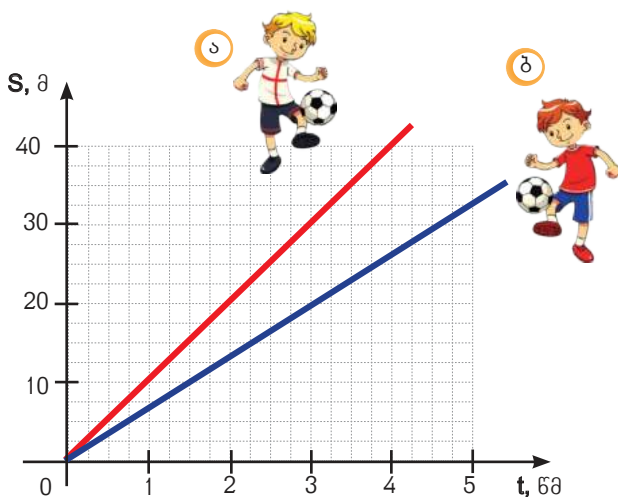
სურ. 68

- სურათზე გამოსახული გრაფიკის მიხედვით რომელი ფეხბურთელი დარბის უფრო სწრაფად (სურ. 69)?



სურ. 69

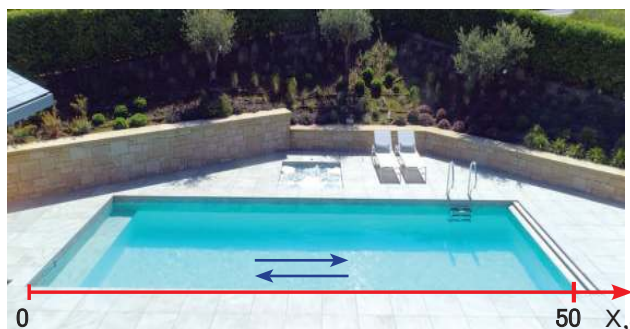
5.



რომელი ფეხბურთელი დარბის უფრო სწრაფად და რა მანძილს გაივლის თითოეული მათგანი თანაბარი მოძრაობისას 5 წუთში (სურ. 70)?

სურ. 70

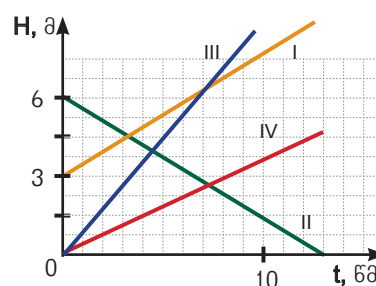
6. სურათზე გამოსახულია მოცურავე სპორტსმენის მოძრაობის გრაფიკი, რომელიც აუზის ერთი ბოლოდან მეორე ბოლოსკენ მიცურავს და ბრუნდება უკან. გამოთვალე მოცურავის სიჩქარე აუზში წინ და უკან ცურვისას და შეადარე ერთმანეთს (სურ. 71).



სურ. 71

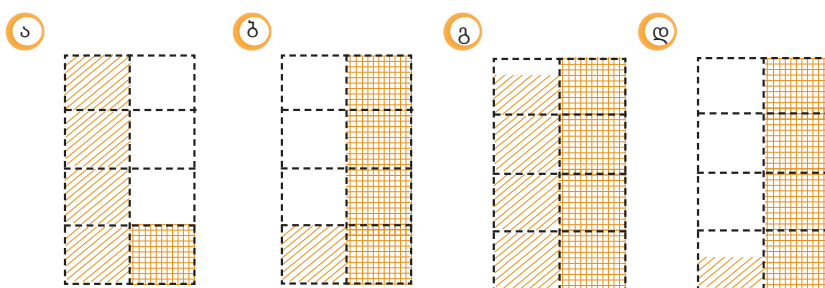
7. სურათზე გამოსახულია სპორტსმენის წყალში ჩაყვინთვის სიღრმის ცვლილების დროზე დამოკიდებულების ცხრილი და გრაფიკები. დაადგინე, რომელი გრაფიკი შეესაბამება ცხრილის მონაცემებს (სურ. 72).

t, წმ	0	4	8	12	16
H, მ	0	1,5	3	4,5	6

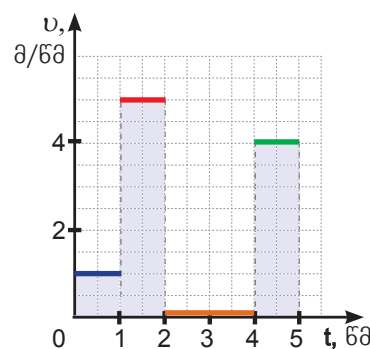


სურ. 72

8. ტურისტმა მოძრაობის დროის პირველი ნახევარი საათი 4 კმ/სთ სიჩქარით იმოძრავა, ხოლო მეორე ნახევარი საათი 1 კმ/სთ სიჩქარით. დაადგინე ამ მოძრაობის შესაბამისი დიაგრამა. პასუხი დაასაბუთე.



9. რომელი მტკიცებულება არ შეესაბამება სურათზე გამოსახულ გრაფიკს (სურ. 73);
 ა. სხეულმა მეხუთე წამში 4 მ გაიარა.
 ბ. ორი წამის განმავლობაში სხეული არ მოძრაობდა;
 გ. სხეულმა 5 წამში 10 მ გაიარა;
 დ. მოძრაობის დაწყებიდან 4 წამში სხეულმა 8 მ გაიარა.



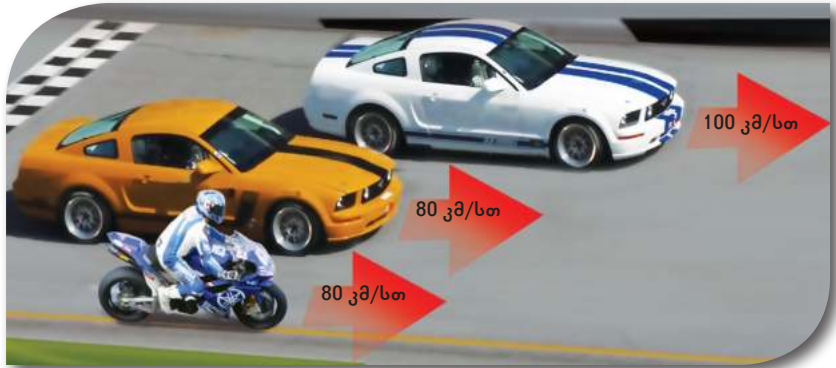
სურ. 73

1.10. სიჩქარეთა შეკრების კანონი

იზიარა და იმსჯელე

რომელი მანქანის მიმართ მოძრაობს მოტოციკლისტი და რომლის მიმართ არის უძრავი?

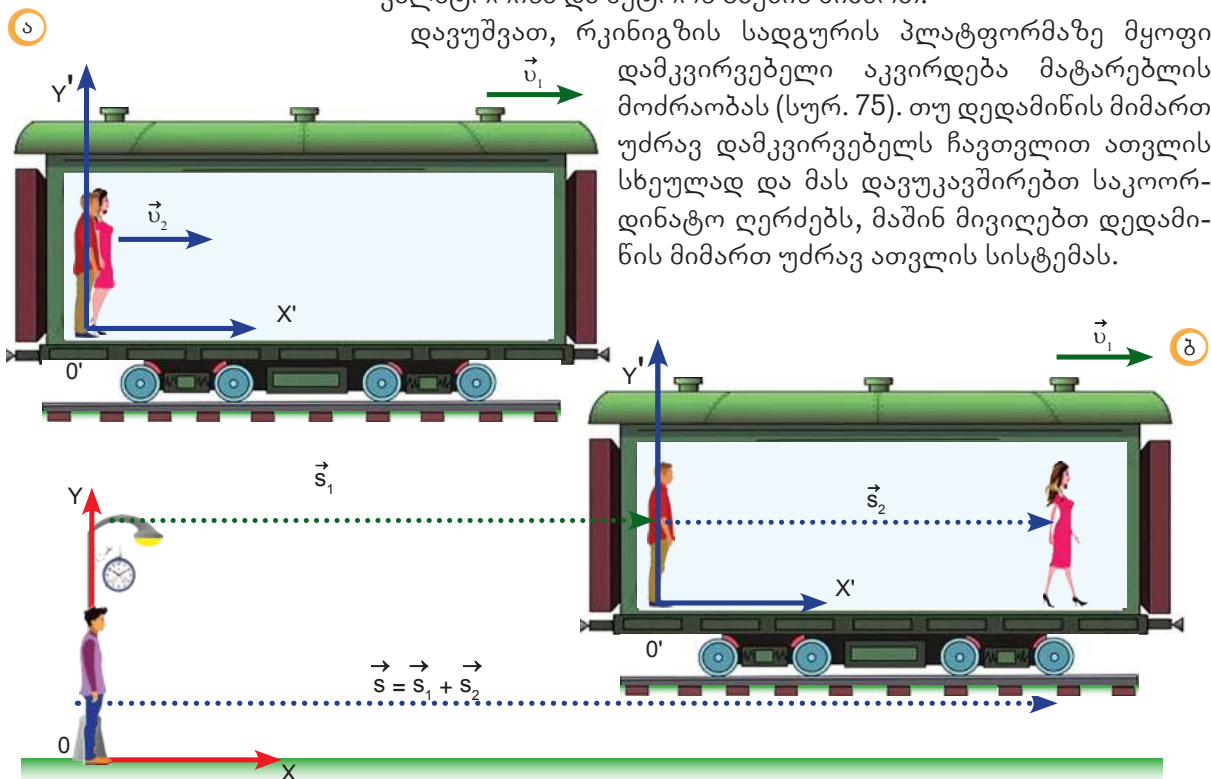
სურ. 74



მოძრაობის ფარდობითობა ვლინდება იმაში, რომ სხეულის ტრაექტორიის ფორმა, გავლილი მანძილი, მისი გადაადგილება და ასევე მოძრაობის სიჩქარე დამოკიდებულია ათვლის სისტემის შერჩევაზე. ე. ი. სხეულის სიჩქარე დროის მოცემულ მომენტში განსხვავებულია სხვადასხვა ათვლის სისტემის მიმართ.

ათვლის სისტემები შეიძლება იყოს მოძრავი და უძრავი. მაგალითად, თუ მეტროს მოძრავ ესკალატორს დაუკავშირებთ საკოორდინატო ღერძებს და დროის ათვლის ხელსაწყოს, ის იქნება მოძრავი ათვლის სისტემა. ამდენად, სხეულის მოძრაობა შეიძლება განხილული იყოს როგორც მოძრავი, ასევე უძრავი ათვლის სისტემების მიმართ. ბიჭი, რომელიც არბის მეტროს მოძრავ კიბეზე, სხვადასხვა სიჩქარით მოძრაობს ესკალატორისა და მეტროს ბაჟნის მიმართ.

დავუშვათ, რკინიგზის სადგურის პლატფორმაზე მყოფი დამკვირვებელი აკვირდება მატარებლის მოძრაობას (სურ. 75). თუ დედამიწის მიმართ უძრავ დამკვირვებელს ჩავთვლით ათვლის სხეულად და მას დაუკავშირებთ საკოორდინატო ღერძებს, მაშინ მივიღებთ დედამიწის მიმართ უძრავ ათვლის სისტემას.



სურ. 75

მატარებელში მეორე დამკვირვებელია, რომელიც უძრავია მატარებლის მიმართ, თუმცა მატარებელთან ერთად მოძრაობს Σ_1 სიჩქარით უძრავი ათვლის სისტემის, ანუ პირველი დამკვირვებლის მიმართ. დავუკავშიროთ მეორე დამკვირვებელს $\mathbf{o'x'y'}$ კოორდინატთა სისტემა, მაშინ მივიღებთ დედამიწის მიმართ მოძრავ ათვლის სისტემას.

მატარებელში იმყოფება მგზავრი, რომელიც Σ_2 სიჩქარით გადაადგილდება ვაგონის მიმართ.

დაკვირვების საწყის მომენტში მგზავრის საწყისი კოორდინატი მოძრავი ათვლის სისტემისა და უძრავი ათვლის სისტემის მიმართ ნულის ტოლია. ე.ი. მგზავრს, უძრავ და მოძრავ ათვლის სისტემებს ერთი და იგივე საწყისი კოორდინატი აქვთ (სურ. 76 ა, ბ).

მოძრაობაზე დაკვირვების t დროის განმავლობაში მგზავრი უძრავი ათვლის სისტემის მიმართ გადაადგილდა $\vec{S}$ -ით, ხოლო მოძრავი ათვლის სისტემის მიმართ $\vec{S}_2$ -ით. თავად მოძრავი ათვლის სისტემა კი უძრავის მიმართ გადაადგილდება $\vec{S}_1$ -ით, მაშინ,

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

რადგან მოძრაობა მიმდინარეობდა t დროის განმავლობაში, ამიტომ

$$\frac{\vec{S}}{t} = \frac{\vec{S}_1 + \vec{S}_2}{t} = \frac{\vec{S}_1}{t} + \frac{\vec{S}_2}{t}, \quad \text{აქედან}$$

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

სადაც, $\vec{v}$ არის მგზავრის სიჩქარე უძრავი ათვლის სისტემის მიმართ, $\vec{v}_2$ — მგზავრის სიჩქარე მოძრავი ათვლის სისტემის მიმართ, ხოლო $\vec{v}_1$ კი — მოძრავი ათვლის სისტემის სიჩქარე უძრავის მიმართ.

სხეულის სიჩქარე უძრავი ათვლის სისტემის მიმართ ტოლია სიჩქარეთა გეომეტრიული ჯამისა: მოძრავი ათვლის სისტემის სიჩქარისა უძრავის მიმართ და სხეულის სიჩქარისა მოძრავი ათვლის სისტემის მიმართ.

მაგალითად, თუ ფუტკარი მიფრინავს მოძრავ ვაგონში, მაშინ მისი სიჩქარე დედამიწის მიმართ ტოლია სიჩქარეთა ვექტორული ჯამისა: ფუტკრის სიჩქარისა ვაგონის მიმართ და ვაგონის სიჩქარისა დედამიწის მიმართ.

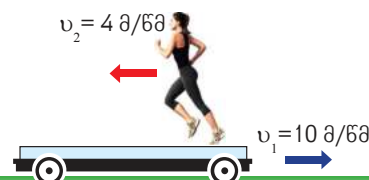


ბააზრება

- ორ მოძრავ ესკალატორზე დგანან მგზავრები. იმსჯელე, როდის იქნებიან ისინი ერთმანეთის მიმართ უძრავი, თუ ორივე ესკალატორი მოძრაობს (სურ. 76 ა, ბ):

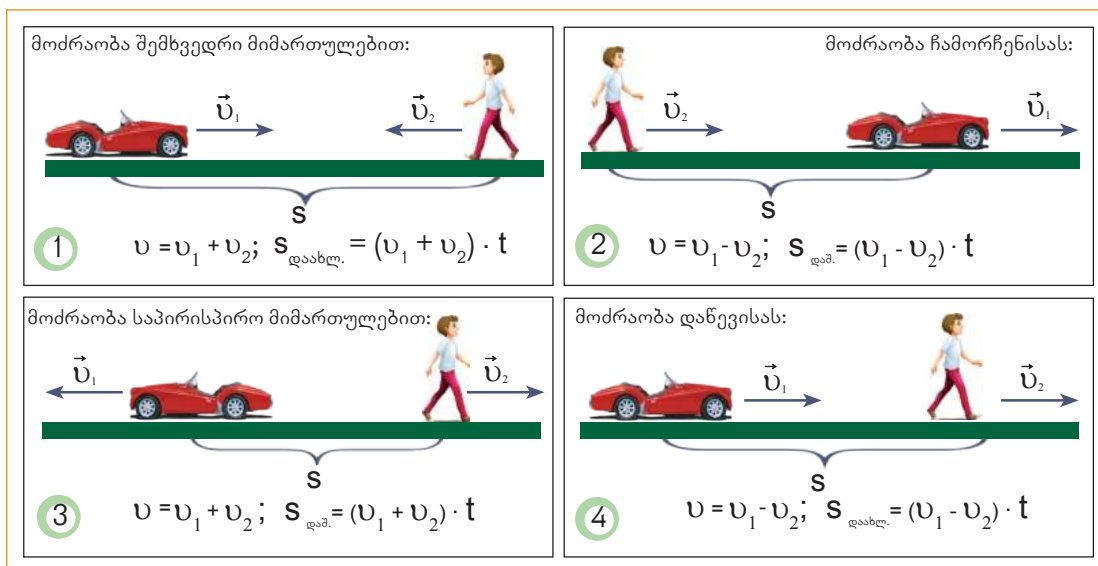
- ერთი მიმართულებით;
- ურთიერთსაწინააღმდეგოდ.

- იმსჯელე და გამოთვალე, რა სიჩქარით მოძრაობს სპორტსმენი ხის მიმართ (სურ. 77).



სურ. 77

3. სურათზე გამოსახული სიტუაციების მიხედვით იმსჯელე ფარდობითი სიჩქარის შესახებ. $\vec{v}$ არის ფარდობითი სიჩქარე, ანუ მოძრავი სხეულების სიჩქარე ერთმანეთის მიმართ. $\vec{v}_1$ და $\vec{v}_2$ არის სხეულების სიჩქარე დედამიწის მიმართ, $\vec{s}$ — სხეულების გადაადგილება ერთმანეთის მიმართ (სურ. 78).

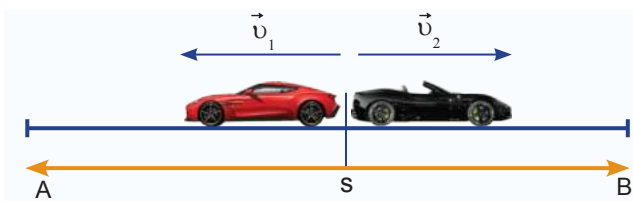


სურ. 78



საშინაო დავალება

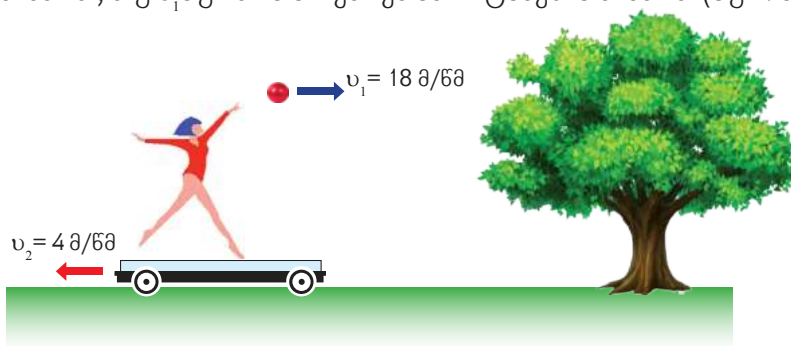
1. ერთი და იმავე ადგილიდან, ერთდროულად, საპირისპირო მიმართულებით გამოვიდა ორი ავტომანქანა, რომელთა სიჩქარეები შესაბამისად 25 მ/წმ და 90 კმ/სთ-ია (სურ. 79).



სურ. 79

- ა. გამოთვალე მანქანების სიჩქარეები ერთმანეთის მიმართ.
ბ. გამოთვალე მანძილი მანქანებს შორის 1,5 საათის შემდეგ.

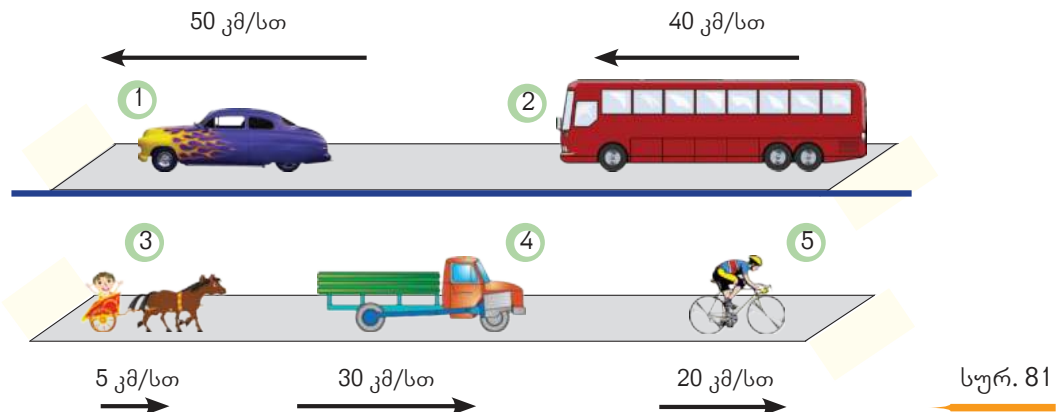
2. წრფივ გზატკეცილზე ერთდროულად, ერთი მიმართულებით, ბენზინგასამართი სადგურიდან დაიძრა წითელი და მწვანე ფერის ავტომანქანები. შესაბამისად, წითელი ავტომანქანის სიჩქარეა 60 კმ/სთ, მწვანესი — 90 კმ/სთ. გამოთვალე ფარდობითი სიჩქარე, რა მანძილს გაივლის თითოეული ავტომანქანა: ა) 1 სთ-ში; ბ) 2 სთ-ში? რა მანძილი იქნება ავტომანქანებს შორის 2 სთ-ის შემდეგ?
3. სურათის მიხედვით გამოთვალე, რა სიჩქარით მოძრაობს სპორტსმენის მიერ ნასროლი ბურთი ხის მიმართ, თუ $\vec{v}_1$ ბურთის სიჩქარეა სპორტსმენის მიმართ (სურ. 80).



სურ. 80

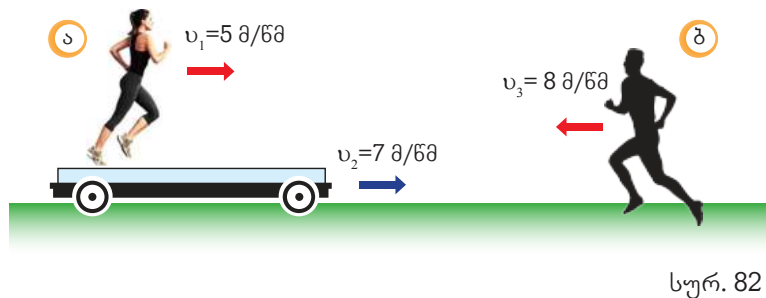
1.11. შემაჯამებელი გაკვეთილი

- სურათზე გამოსახულია მოძრავი სხეულების სიჩქარეები დედამიწის მიმართ. ათვლის სისტემებად რიგრიგობით მიიჩნიე თითოეული დანომრილი სხეული და გამოთვალე სურათზე გამოსახული დანარჩენი სხეულების სიჩქარეები ამ ათვლის სისტემების მიმართ (სურ. 81).

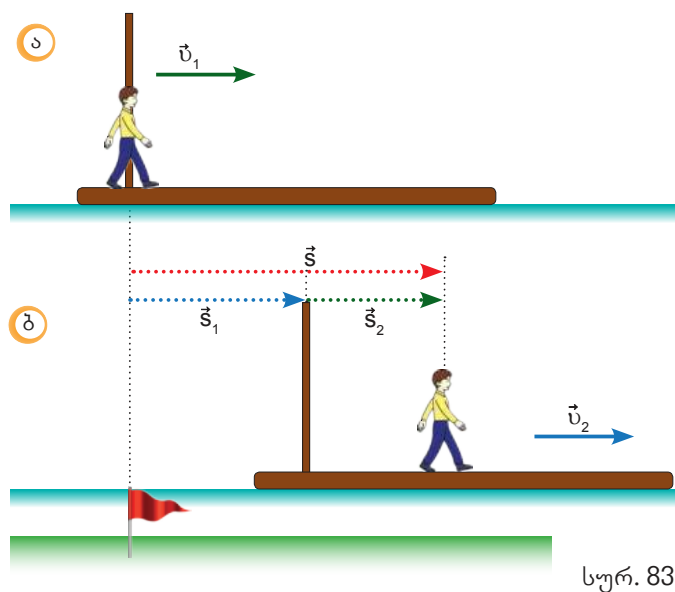


- რა სიჩქარით მოძრაობს გოგონა (სურ. 82):

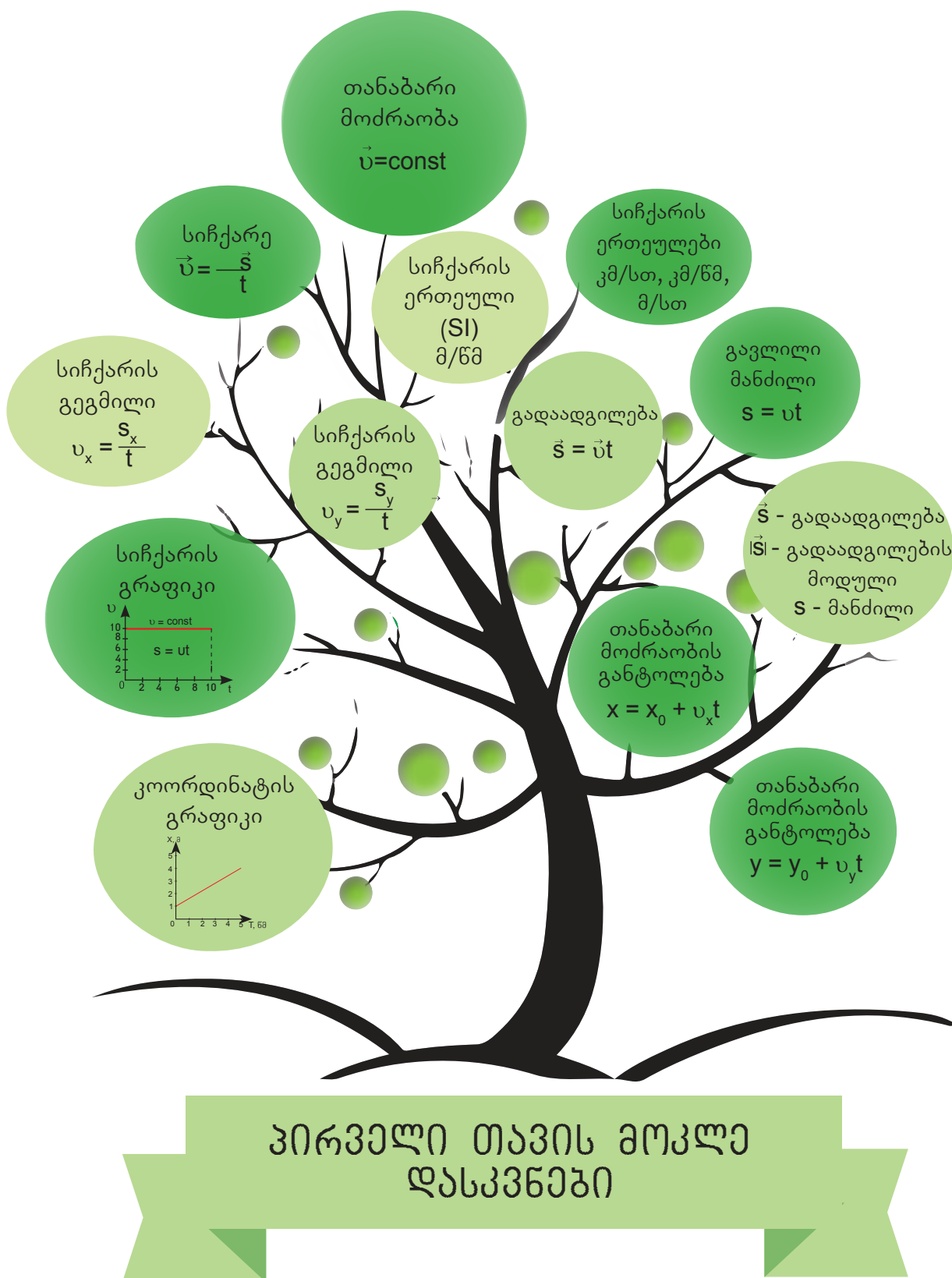
- დედამიწის მიმართ;
- ურეკის მიმართ;
- შემხვედრი მიმართულებით მოძრავი ბიჭის მიმართ;
- ბიჭი ურეკის მიმართ.



- ორ ნავსადგურს შორის მანძილი 30 კმ-ია. რა დროში გაივლის ძრავიანი ნავი ამ მანძილს მდინარის დინების მიმართულებით, თუ მისი სიჩქარე მდინარის მიმართ 50 კმ/სთ, მდინარის სიჩქარე კი 10 კმ/სთ? რა დროში გაივლის იმავე მანძილს დინების საწინააღმდეგოდ? შეადარე დროები ერთმანეთს.



- ტივი 5 წმ-ში მდინარის ნაპირზე აღმართული დროშის მიმართ გადაადგილდა 18 მ-ზე. იმავე დროში ბიჭმა ტივზე 7 მ გაიარა. გამოთვალე ბიჭის ფარდობითი სიჩქარე და გავლილი მანძილი ნაპირის მიმართ (სურ. 83 ა, ბ).



თავი 2. არათანაბარი მოძრაობა

მექანიკური მოძრაობა



შეისწავლი:

- არათანაბარი მოძრაობის მახასიათებელ სიდიდეებს: საშუალო სიჩქარეს, მყის სიჩქარესა და აჩქარებას;
- წრფივი თანაბარაჩქარებული მოძრაობის მახასიათებელი პარამეტრების გრაფიკულად გამოსახვას;
- თავისუფალ ვარდნას;
- წრენირზე მოძრაობის მახასიათებელ სიდიდეებს: პერიოდს, სიხშირეს, წირით და კუთხურ სიჩქარეს, აჩქარებას.

შეძლებ და დაეუფლები:

- მსჯელობას არათანაბარი მოძრაობის მახასიათებელ პარამეტრებზე;
- არათანაბარი მოძრაობის აღწერას გრაფიკული სქემების გამოყენებით;
- მოდელის საშუალებით წრფივი თანაბარაჩქარებული მოძრაობის შესწავლას;
- მოდელის საშუალებით მრუდწირული მოძრაობის შესწავლას;
- ექსპერიმენტული კვლევების ჩატარებას თანაბარაჩქარებული მოძრაობის პარამეტრების დასადგენად;
- პრობლემაზე დაფუძნებული ამოცანების ამოხსნას არათანაბარ მოძრაობაზე;
- სხეულთა სიჩქარის ცვლილების როლის შეფასებას ბუნებასა და ყოფა-ცხოვრებაში;
- სხეულების აჩქარებული მოძრაობის პრინციპების დაკავშირებას სხვადასხვა პროფესიასა და საქმიანობასთან.

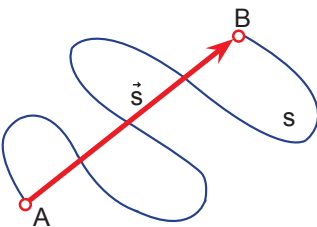
2.1. არათანაბარი მოძრაობა. საშუალო სიჩქარე

იფიქრე და იმსჯელე

რატომ ახასიათებენ არათანაბარ მოძრაობას საშუალო სიჩქარით?



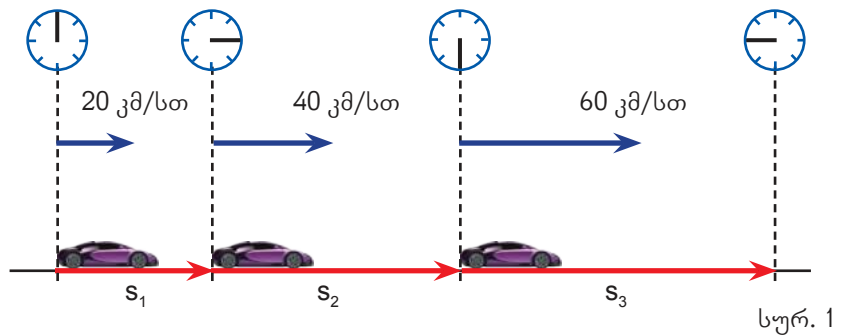
სურ. 2



სურ. 3



სურ. 4



უმეტესად სხეულები არათანაბრად მოძრაობენ. მანქანა, თვითმფრინავი, გემი მოძრაობის დანეშებისას იცვლიან სიჩქარეს ნულიდან რაღაც მნიშვნელობამდე. სხეულის სიჩქარე მოძრაობის პროცესშიც ხშირად იცვლება.

მოძრაობას, როდესაც სხეულის სიჩქარე დროის განმავლობაში იცვლება, არათანაბარ მოძრაობას უწოდებენ.

არათანაბარი მოძრაობა ხასიათდება მყისი და საშუალო სიჩქარით.

ავტომანქანები გზატკეცილზე უმეტესად არათანაბრად მოძრაობენ, ხან წრფივ (სურ. 1), ხან მრუდწირულ ტრაექტორიაზე (სურ. 2).

არათანაბარი მოძრაობის საშუალო სიჩქარის გამოსათვლელად სხეულის მიერ მთლიანად გავლილ მანძილს ყოფენ მოძრაობის მთელ დროზე, რომელიც ამ მანძილის გავლას დასჭირდა.

$$v_{\text{საშ}} = \frac{s}{t} = \frac{s_1 + s_2 + s_3}{t_1 + t_2 + t_3}$$

წრფივი არათანაბარი მოძრაობისას გავლილი მანძილი მთელი დროისთვის იქნება:

$$s = v_{\text{საშ}} t$$

მრუდწირული მოძრაობისას საშუალო სიჩქარე გადაადგილების მიხედვით ვექტორული სიდიდეა და გამოითვლება ფორმულით:

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

წრფივი არათანაბარი მოძრაობისას, თუ გავლილი მანძილი და გადაადგილების მოდული ერთმანეთს, საშუალო სიჩქარე გავლილი მანძილისა და გადაადგილების მიხედვით ერთმანეთის ტოლია.

თუ მატერიალური წერტილის მოძრაობის ტრაექტორია მრუდი წირია, მაშინ გავლილი მანძილი და გადაადგილების მოდული არ არის ერთმანეთის ტოლი (სურ. 3).

$$\vec{s} = \vec{v}_{\text{საშ}} t$$

რადგან მრუდწირული მოძრაობისას გადაადგილების მოდ-

ული ნაკლებია გავლილ მანძილზე, ამიტომ გადაადგილებით გამოთვლილი საშუალო სიჩქარის მოდული ნაკლებია გავლილი მანძილით გამოთვლილ საშუალო სიჩქარის მოდულზე.

ზოგადად, საშუალო სიჩქარეს ითვლიან გავლილი მანძილის მიხედვით, თუ არ არის სპეციალური მითითება.

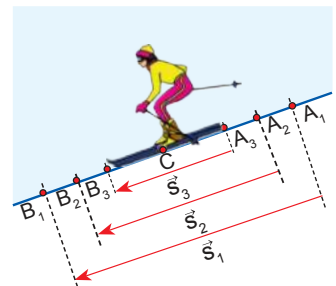
ხშირად არათანაბარი მოძრაობის დასახასიათებლად აუცილებელია სხეულის სიჩქარის ცოდნა ტრაექტორიის მოცემულ წერტილში ან დროის მოცემულ მომენტში.

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

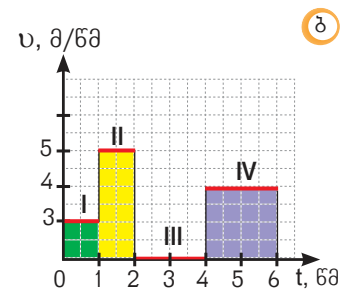
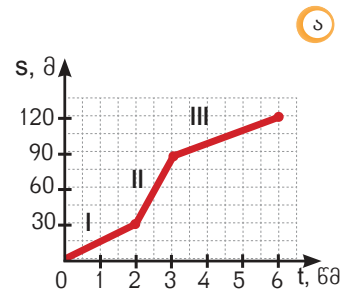
მყისი სიჩქარის გამოსათვლელად სხეულის საშუალო სიჩქარეს ითვლიან დროის მცირე მონაკვეთებში, მაგ., 1 წუთში, შემდეგ 10 წამში, 1 წამში და ა.შ. (სურ. 5).

დროის შემცირების გამო სხეულის მიერ გავლილი მანძილიც მცირდება და საშუალო სიჩქარეც იცვლება. დროის შემდგომი შემცირებისას საშუალო სიჩქარე პრაქტიკულად არ იცვლება. ეს ნიშნავს, რომ დროის ძალიან მცირე შუალედში სხეული თითქმის თანაბრად მოძრაობს. ამ თანაბარი მოძრაობის სიჩქარე მყისი სიჩქარეა.

ამრიგად, მყისი სიჩქარე დროის მოცემულ მომენტში არის სხეულის საშუალო სიჩქარე დროის ძალიან მცირე შუალედში. დროის ამ მცირე მონაკვეთში სხეულის მოძრაობა შეიძლება თანაბარ მოძრაობად ჩაითვალოს. ამდენად, თანაბარი მოძრაობაც შეიძლება დახასიათდეს მყისი სიჩქარით, რომელიც მოძრაობის მთელი დროის განმავლობაში არ იცვლება.



სურ. 5



სურ. 6



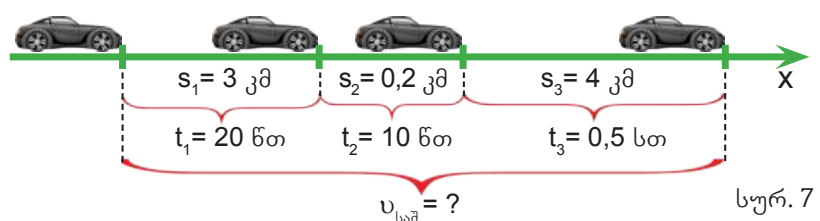
ბაზრება

სურათზე გამოსახული გრაფიკების მიხედვით იმსჯელე სხეულის სიჩქარის შესახებ თითოეულ უბანზე და გამოთვალე საშუალო სიჩქარე 6 წმ-ში (სურ. 6 ა, ბ).



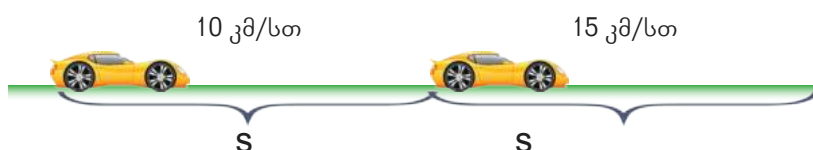
საშინაო დავალება

1. გამოთვალე ავტომანქანის საშუალო სიჩქარე მთელ გზაზე (სურ. 7).



სურ. 7

2. ავტომანქანამ გზის პირველი ნახევარი გაიარა 10 მ/წმ სიჩქარით, მეორე ნახევარი გაიარა 15 მ/წმ სიჩქარით. გამოთვალე საშუალო სიჩქარე მთელ გზაზე?

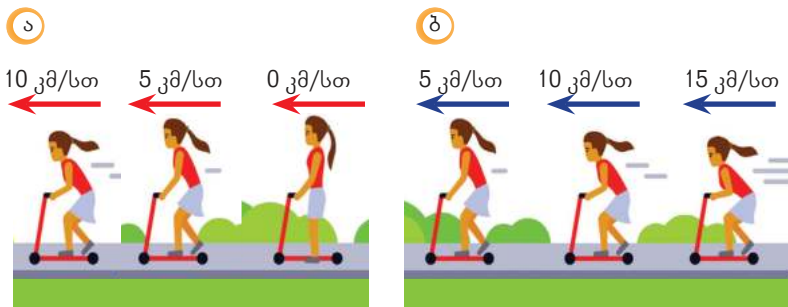


სურ. 8

2.2. წრფივი თანაბრაჩქარებული მოძრაობა. აჩქარება

იზიარე და იმსჯელე

როგორ მოძრაობს სკუტერი და რა სისწრაფით იცვლება მისი სიჩქარე?



სურ. 9

არათანაბარი მოძრაობისას სიჩქარის ცვლილების სისწრაფეს ახასიათებენ ვექტორული ფიზიკური სიდიდით — **აჩქარებით**.

დავუშვათ, სხეული მოძრაობს წრფივად და არათანაბრად. მისი საწყისი სიჩქარეა $\vec{v}_0$, საბოლოო სიჩქარე — $\vec{v}$ და t — დრო, რომლის განმავლობაშიც შეიცვალა სიჩქარე.

$\vec{v} - \vec{v}_0$ — სიჩქარის ცვლილებაა t დროში, ხოლო $\frac{\vec{v} - \vec{v}_0}{t}$ სიჩქარის ცვლილება დროის ერთეულში.

აჩქარება არის ფიზიკური სიდიდე, რომელიც ტოლია სხეულის სიჩქარის ცვლილების შეფარდებისა დროის იმ შუალედთან, რომელშიც ეს ცვლილება მოხდა.

აჩქარება ვექტორული სიდიდეა და აღინიშნება $\vec{a}$ ასოთი. იგი გვიჩვენებს სიჩქარის ცვლილებას დროის ერთეულში.

$$\vec{a} = \frac{\vec{v} - \vec{v}_0}{t}$$

რადგან სიჩქარის ერთეული (SI) სისტემაში მ/წმ-ია, ამიტომ აჩქარების ერთეული (SI) სისტემაში იქნება:

$$1 \frac{\text{მ/წმ}}{\text{წმ}} = 1 \text{ მ/წმ}^2.$$

ასევე აჩქარების ერთეულებია: 1 სმ/წმ^2 , 1 მ/წთ^2 და სხვ.

აჩქარების ფორმულიდან გამომდინარე, სიჩქარე დროის ნებისმიერი მომენტისთვის გამოითვლება ფორმულით:

$$\vec{v} = \vec{v}_0 + \vec{a}t$$

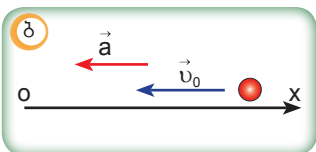
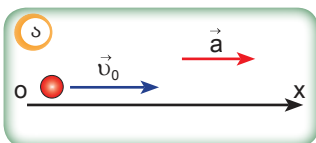
OX ღერძზე დაგეგმილებით: $v_x = v_{0x} + a_x t$.

თუ სიჩქარე დროის ნებისმიერ ტოლ შუალედში ერთი და იმავე სიდიდით, ანუ თანაბრად იცვლება (იზრდება ან მცირდება), მაშინ მოძრაობა თანაბრაჩქარებულია, ე. ი. $\vec{a} = \text{const}$.

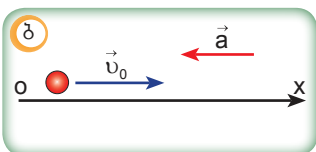
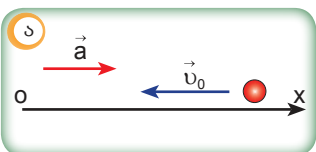
რაც მეტია სიჩქარის ცვლილება დროის ერთეულში, მით მეტია აჩქარება და, პირიქით.

თანაბრაჩქარებული მოძრაობისას აჩქარება მუდმივი სიდიდეა.

წრფივი თანაბრაჩქარებული მოძრაობისას, თუ სიჩქარისა და აჩქარების ვექტორები ერთსა და იმავე მხარესაა მიმართული, სიჩქარის მოდული იზრდება (სურ. 10). თუ სიჩქარისა



სურ. 10



სურ. 11

და აჩქარების ვექტორები ერთმანეთის საპირისპიროდ არის მიმართული, მაშინ სიჩქარის მოდული მცირდება (სურ. 11).

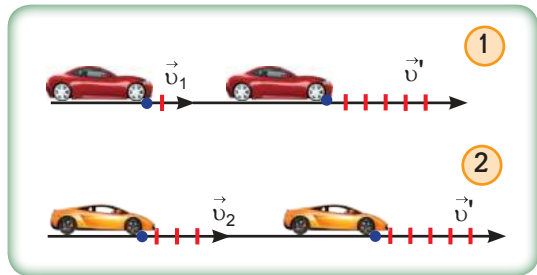
თუ OX საკოორდინატო ღერძი მიმართულია სხეულის მოძრაობის მიმართულებით, მაშინ:

$$v = v_0 + at, \text{ თუ } v_{0x} > 0, a_x > 0 \text{ (სურ. 10 ა)}$$

$$v = v_0 - at, \text{ თუ } v_{0x} > 0, a_x < 0 \text{ (სურ. 11 ბ)}$$



ზანაზანა



სურ. 12

- ერთსა და იმავე დროში პირველი ავტომანქანის სიჩქარე შეიცვალა s_1 -დან s' -მდე, მეორისა კი — s_2 -დან s' -მდე. რომელი ავტომანქანის სიჩქარე იზრდება უფრო სწრაფად და რომელი მოძრაობდა მეტი აჩქარებით (სურ. 12)?
- ცხრილის მიხედვით იმსჯელე და დაადგინე:
 - ავტომანქანის, ცხენის, მატარებლისა და ველოსიპედის აჩქარება თითოეულ შემთხვევაში;
 - რომელი სხეული მოძრაობდა ცვალებადი აჩქარებით?
 - შეადარე ავტომანქანისა და მატარებლის აჩქარებები.

ცხრილი

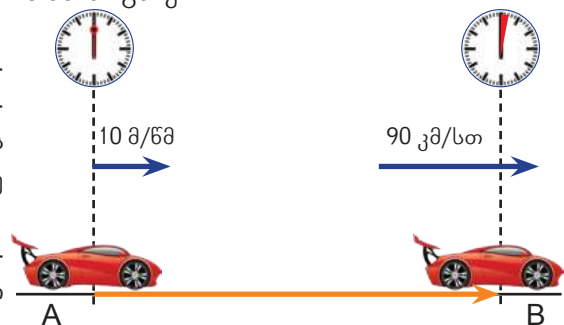
№	დრო, წმ.	სიჩქარე, მ/წმ			
		ავტომანქანა	ცხენი	მატარებელი	ველოსიპედი
1	0	1	0	12	12
2	1	4	2	9	4
3	2	7	4	6	2
4	3	10	6	3	5
5	4	13	8	0	7

- იმსჯელე და შეადარე თანაბარაჩქარებული მოძრაობები ერთმანეთს (სურ. 10-11.).



საშინაო დავალება

- მოთხილამურე გორაკიდან ეშვება $0,2 \text{ მ/წმ}^2$ აჩქარებით 1 წთ-ში. გამოთვალე მისი სიჩქარე გორაკის ბოლოს, თუ საწყისი სიჩქარე 0-ის ტოლია.
- ავტომანქანა მოძრაობდა 10 მ/წმ სიჩქარით და 10 წმ -ში გაჩერდა. გამოთვალე ავტომანქანის აჩქარება.
- სხეული მოძრაობდა წრფივად და თანაბარაჩქარებულად. რამდენჯერ შეიცვლება მისი აჩქარება, თუ 2-ჯერ ნაკლებ დროში სხეულის სიჩქარე 6-ჯერ გაიზრდება ($v_0 = 0$)? სიჩქარე და აჩქარება ერთმხრივია მიმართული.
- წრფივად და თანაბარაჩქარებულად მოძრავი ავტომანქანა A-დან B წერტილში 2 წუთში გადაადგილდა. გამოთვალე ავტომანქანის აჩქარება (სურ. 13).



სურ. 13

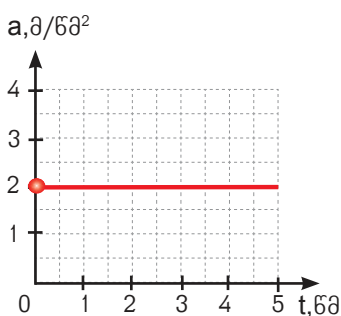
2.3. თანაბარჩქარეული მოძრაობის გრაფიკული გამოსახვა

იზიძრე და იმსჯელე

როგორ გამოისახება გრაფიკულად მოთხილამურის თანაბარჩქარეული მოძრაობისას სიჩქარისა და აჩქარების დროზე დამოკიდებულება?



სურ. 14



სურ. 15

თანაბარჩქარეული მოძრაობის მახასიათებელი სიდიდეები გარდა ფორმულებისა, შესაძლებელია გრაფიკულადაც გამოისახოს.

თანაბარჩქარეული მოძრაობისას აჩქარება მუდმივი სიდიდეა, რადგან მოძრაობის მთელი დროის განმავლობაში არ იცვლება. ამიტომ აჩქარების დროზე დამოკიდებულების გრაფიკი დროის ღერძის პარალელური წრფეა (სურ. 15).

თანაბარჩქარეული მოძრაობის სიჩქარის დროზე დამოკიდებულების გრაფიკის ასაგებად აბსცისთა ღერძზე გადავზომოთ დრო, ხოლო ორდინატთა ღერძზე — სიჩქარე.

დავუშვათ, წრფივ გზატკეცილზე თანაბარჩქარეულად მოძრაობს ავტომანქანა, რომლის საწყისი სიჩქარე $v_0 = 4$ მ/წმ, ხოლო აჩქარება $a = 2$ მ/წმ². სიჩქარე და აჩქარება თანამიმართულია. თანაბარჩქარეული მოძრაობის სიჩქარის დროზე დამოკიდებულების ფორმულის თანახმად:

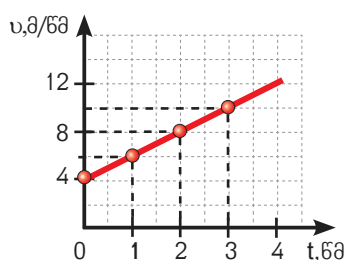
$$v = 4 + 2t.$$

ცხრილში (ცხრ. 1) მოცემული დაკვირვების დროის შუალედებისა და შესაბამისი სიჩქარის მნიშვნელობების მიხედვით აგებული გრაფიკი ორდინატთა ღერძს კვეთს წერტილში, რომლის კოორდინატი შეესაბამება საწყის სიჩქარეს (სურ. 16).

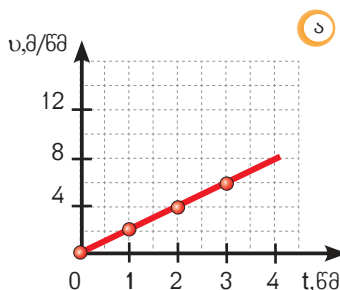
თუ საწყისი სიჩქარე v_0 ნულის ტოლია, მაშინ $v = 2t$ და თანაბარჩქარეული მოძრაობის სიჩქარის შესაბამისი გრაფიკი

ცხრილი 1

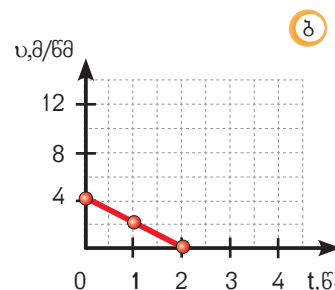
t, წმ	v, მ/წმ
0	4
1	6
2	8
3	10



სურ. 16



ა



ბ

სურ. 17

კოორდინატთა სათავეში გამავალი წრფე იქნება (სურ. 17 ა).

თუ თანაბარჩქარეული მოძრაობისას სხეულის სიჩქარე მცირდება, მაშინ თანაბარჩქარეული მოძრაობის სიჩქარის დროზე დამოკიდებულება იქნება: $v = 4 - 2t$ და შესაბამისი გრაფიკი გამოსახულია მე-17 ბ სურათზე.

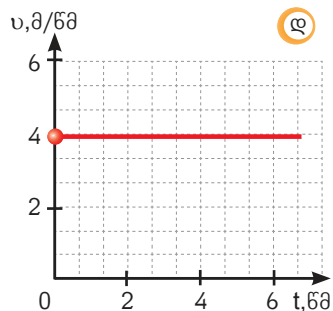
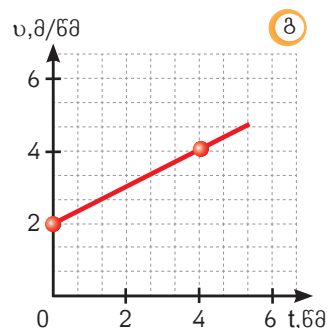
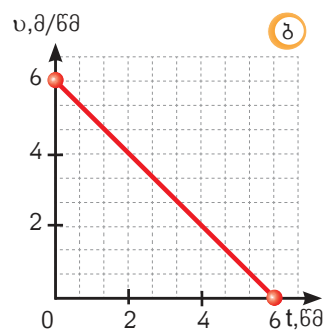
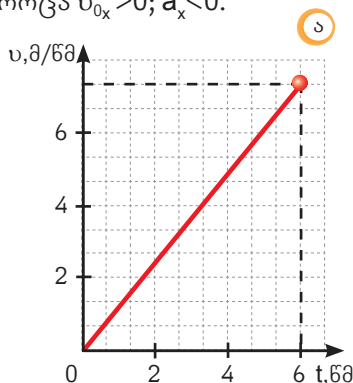


ზაადრება

იმსჯელე და მოძრაობის სახეები აზრობრივად დაუკავშირე შე-
საბამის გრაფიკებს. შეაესე ცხრილი (სურ. 18):

1. თანაბარი მოძრაობა;
2. თანაბარჩქარეული მოძრაობა, $v_{0x} = 0$; $a_x > 0$;
3. თანაბარჩქარეული მოძრაობა, როცა $a_x > 0$ და $v_{0x} > 0$;
4. თანაბარჩქარეული მოძრაობა, როცა $v_{0x} > 0$; $a_x < 0$.

	ა	ბ	გ	დ
1				
2				
3				
4				

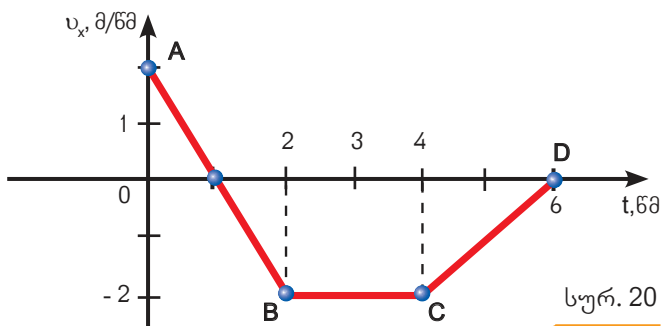


სურ. 18

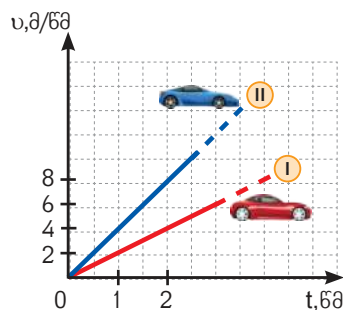


საშინაო დავალება

1. მე-18 სურათზე სიჩქარის დროზე დამოკიდებულების გრაფიკები გამოსახე ანალიზურად, ფორმულების სახით.
2. გამოთვალე და შეადარე ერთმანეთს გრაფიკზე გამოსახული მან-
ქანების აჩქარებები (სურ. 19).
3. მოთხილამურე მთიდან ეშვება $0,2 \text{ მ/წმ}^2$ აჩქარებით (სურ. 14). ააგე
სიჩქარის დროზე დამოკიდებულების გრაფიკი. რა დროის შემდეგ
გახდება მისი სიჩქარე 56 მ/წმ ?
4. მე-20 სურათზე გამოსახული მატერიალური წერტილის სიჩქარის
დროზე დამოკიდებულების გრაფიკის მიხედვით:
ა. რამდენ ხანს მოძრაობდა მატერიალური წერტილი?
ბ. რაზე მიუთითებს დროთა ღერძზე გრაფიკის გადაკვეთის წერტი-
ლები;
გ. აღწერე და დაახასიათე მოძრაობა გრაფიკის ცალკეული უბნე-
ბის მიხედვით;
დ. გამოთვალე აჩქარება გრაფიკის ცალკეული უბნების მიხედვით.



სურ. 20



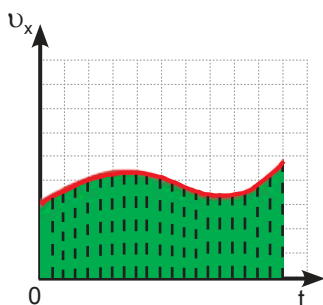
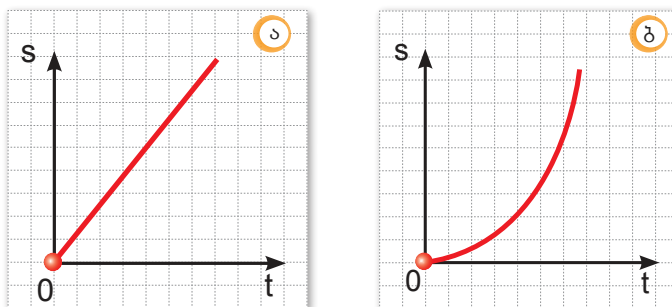
სურ. 19

2.4. გადაადგილება თანაბარჩქარეული მოძრაობისას

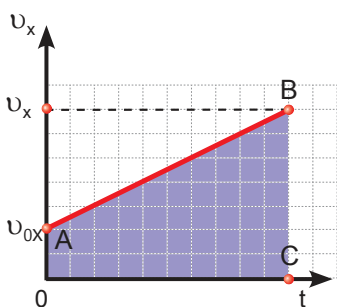
იზიძრა და იმსჯელე

როგორ მოძრაობს
სხეული ა და ბ
გრაფიკების
მიხედვით?

სურ. 21



სურ. 22



სურ. 23

ნებისმიერი მექანიკური მოძრაობის სიჩქარის დროზე დამოკიდებულების გრაფიკიდან შესაძლებელია გადაადგილების რიცხვითი მნიშვნელობის გამოთვლა. სხეულის მიერ გავლილი მანძილი რიცხობრივად სიჩქარის გრაფიკით შემოსაზღვრული ფიგურის ფართობის ტოლია. ფიგურის ფორმა დამოკიდებულია მოძრაობის ხასიათზე. თანაბარჩქარეული მოძრაობისას იგი მართკუთხეა, არათანაბარი მოძრაობისას კი იგი შეიძლება ნებისმიერი ფორმისა იყოს (სურ. 22).

დავუშვათ, ავტომანქანა წრფივად და თანაბარჩქარეულად მოძრაობს გზატკეცილზე v_0 საწყისი სიჩქარით. t დროის შემდეგ მისი სიჩქარე გახდა v .

23-ე სურათზე გამოსახულია ამ მოძრაობის სიჩქარის გეგმილის დროზე დამოკიდებულების გრაფიკი. v_{0x} სხეულის საწყისი სიჩქარის გეგმილია, v_x კი – სიჩქარის გეგმილი t დროის შემდეგ. t დროში შესრულებული s_x გადაადგილების გეგმილის რიცხვითი მნიშვნელობა ტოლია $OABC$ ტრაპეციის ფართობის. ტრაპეციის ფართობი ფუძეების ნახევარჯამისა და სიმაღლის ნამრავლის ტოლია.

$$s_x = \frac{OA + BC}{2} \cdot OC, \quad s_x = \frac{v_{0x} + v_x}{2} \cdot t.$$

სადაც,

$$\frac{v_{0x} + v_x}{2} = v_{\text{საშ}} \quad (1)$$

ე. ი. თანაბარჩქარეული მოძრაობის საშუალო სიჩქარე საწყისი და საბოლოო სიჩქარეების საშუალო არითმეტიკულის ტოლია.

თანაბარჩქარეული მოძრაობისას გადაადგილების გეგმილის რიცხვითი მნიშვნელობა გამოითვლება ფორმულით:

$$s_x = v_{\text{საშ}} \cdot t, \quad (2)$$

რადგან $v_x = v_{0x} + a_x t$, ამიტომ (1)-ის გათვალისწინებით:

$$s_x = \frac{(v_{0x} + v_{0x} + a_x t) \cdot t}{2} = \frac{(2v_{0x} + a_x t) \cdot t}{2}, \quad (3)$$

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

თანაბარჩქარებული მოძრაობისას გადაადგილების გეგმილი შეიძლება ასეც გამოითვალოს:

$$a_x = \frac{v_x - v_{0x}}{t}, \text{ აქედან } t = \frac{v_x - v_{0x}}{a_x}. \quad (5)$$

მაშინ ფორმულა (2)-ში (1)-სა და (5)-ს ჩასმით მიიღება:

$$s_x = \frac{v_x + v_{0x}}{2} \cdot \frac{v_x - v_{0x}}{a_x}, \text{ აქედან}$$

$$s_x = \frac{v_x^2 - v_{0x}^2}{2 a_x}. \quad (6)$$

თუ სხეული მოძრაობს თანაბარჩქარებულად, როცა საწყისი სიჩქარე $v_0 = 0$, მაშინ საბოლოო სიჩქარეა $v = at$. ამიტომ სიჩქარის გრაფიკით შემოსაზღვრული ფიგურა მართკუთხა სამკუთხედი, რომლის კათეტებია t და at (სურ. 24 ა). ამ სამკუთხედის ფართობი ტოლია $\frac{at^2}{2}$, შესაბამისად, გადაადგილების მოდული იქნება:

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

თუ სხეული v_0 საწყისი სიჩქარით მოძრაობს ისე, რომ მისი სიჩქარე იზრდება, $v = v_0 + at$, ამიტომ სიჩქარის გრაფიკით შემოსაზღვრული ფიგურა ტრაპეცია (სურ. 24 ბ). ის შედგება მართკუთხედისაგან, რომლის ფართობია $v_0 t$ და მართკუთხა სამკუთხედისაგან, რომლის ფართობია $\frac{at^2}{2}$. შესაბამისად, გადაადგილების მოდული იქნება:

$$s = v_0 t + \frac{at^2}{2}.$$

თუ სხეული v_0 საწყისი სიჩქარით მოძრაობს ისე, რომ მისი სიჩქარე მცირდება — $v = v_0 - at$ (სურ. 24 გ), მაშინ გრაფიკით შემოსაზღვრული ფიგურის ფართობის შესაბამისად გავლილი მანძილი იქნება:

$$s = v_0 t - \frac{at^2}{2}.$$

ფორმულიდან ჩანს, რომ გადაადგილების დროზე დამოკიდებულია თანაბარჩქარებული მოძრაობისას არ არის წრფივი.

დავუშვათ, სხეული წრფივად და თანაბარჩქარებულად მოძრაობს OX ღერძის გასწვრივ (სურ. 25). საწყისი მდებარეობის A წერტილის კოორდინატია x_0 , ხოლო საბოლოო მდებარეობის B წერტილის კოორდინატია x . მაშინ სხეულის საბოლოო მდებარეობის კოორდინატი ამ სისტემაში იქნება:

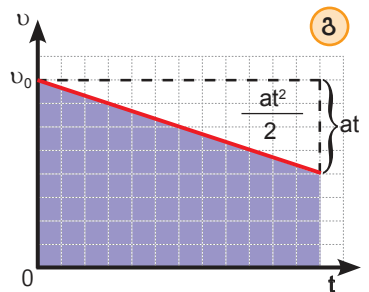
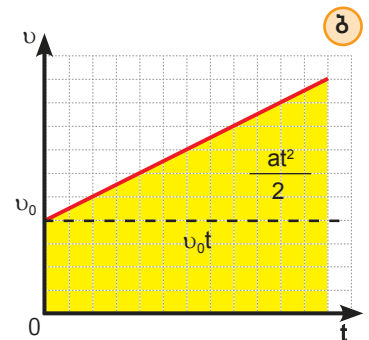
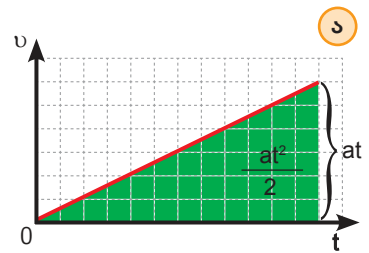
$$x = x_0 + s_x, \quad (7)$$

სადაც, s_x თანაბარჩქარებული მოძრაობისას გადაადგილების გეგმილია OX ღერძზე. (4)-ის (7)-ში ჩასმით მიიღება:

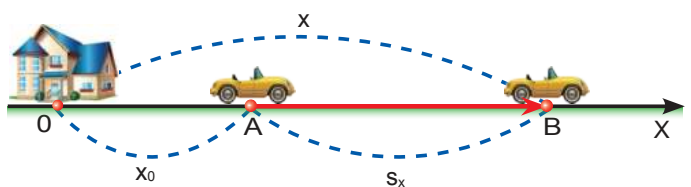
$$x = x_0 + v_{0x} t + \frac{a_x t^2}{2}. \quad (8)$$

ამ განტოლებას წრფივი თანაბარჩქარებული მოძრაობის კინემატიკური განტოლება ეწოდება.

(8) განტოლების შესაბამისი გრაფიკი პარაბოლაა (სურ. 21 ბ).



სურ. 24

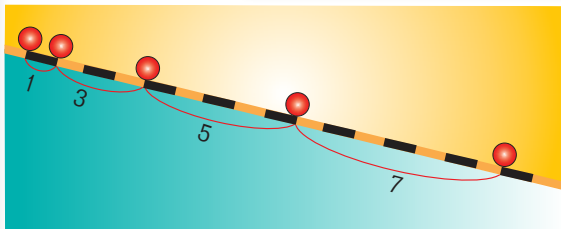


სურ. 25



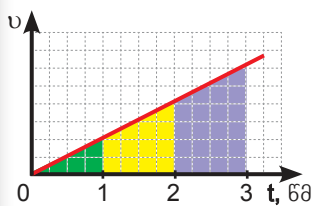
ბაზრება

თანაბარჩქარებული მოძრაობის კვლევა

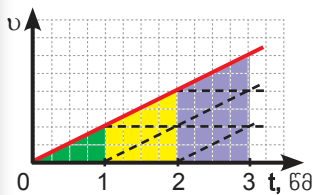


სურ. 26

ა



ბ



სურ. 27

უსაწყისო სიჩქარით თანაბარჩქარებულად მოძრაობისას სხეულის მიერ პირველ, მეორე, მესამე და მეოთხე და ა.შ. წამში გავლილ მანძილებს შორის შემდეგი თანაფარდობაა:

$$s_1 : s_2 : s_3 : s_4 \dots = 1 : 3 : 5 : 7 \dots \text{ (სურ. 26).}$$

ამ თანაფარდობის მართებულობის დასამტკიცებლად საჭიროა გამოთვალო:

1. პირველ წამში გავლილი მანძილი;
2. მეორე წამში გავლილი მანძილი;
3. მესამე წამში გავლილი მანძილი;
4. მეოთხე წამში გავლილი მანძილი;
5. მე- n წამში გავლილი მანძილი.
6. შეადარე რამდენჯერ მეტია: მეორე წამში გავლილი მანძილი პირველ წამში გავლილ მანძილზე, მესამე წამში გავლილი მანძილი მეორე წამში გავლილ მანძილზე, მეოთხე წამში გავლილი მანძილი მესამე წამში გავლილ მანძილზე.

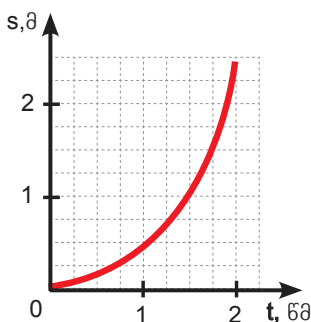
შეადარე პირობაში მოცემული მტკიცებულებები შენს გამოთვლებს.

იმსჯელე და შეადარე 27-ე სურათზე გამოსახულ გრაფიკზე სხვადასხვა ფერის ფიგურების ფართობები. ისინი თანმიმდევრულად შეესაბამება დროის ტოლ შუალედებში გავლილ მანძილებს. მწვანე ფიგურის ფართობი შეესაბამება პირველ წამში გავლილ მანძილს. ყვითელი ფიგურის ფართობი მეორე წამში გავლილ მანძილს, იისფერი ფიგურის ფართობი კი მესამე წამში გავლილ მანძილს.

შეადარე გრაფიკულად მიღებული შედეგები პირობაში მოცემულ მტკიცებულებას.



საშინაო დავალება



სურ. 28

1. უძრავი მანქანა იწყებს წრფივ მოძრაობას 2 მ/წმ^2 აჩქარებით. რა დროში გაივლის იგი 36 მ-ს ?
2. თანაბარჩქარებულად მოძრაობა სხეულმა პირველ წამში გაიარა 2 მ . რა მანძილს გაივლის იგი მე-4 წამში ($v_0 = 0$)?
3. სხეული 3 წმ-ის განმავლობაში მოძრაობდა თანაბრად 4 მ/წმ სიჩქარით. შემდეგი 3 წმ-ის განმავლობაში თანაბარჩქარებულად 3 მ/წმ^2 აჩქარებით. რა მანძილს გაივლიდა იგი 5 წმ-ში ;
4. 28-ე სურათზე გამოსახულია უძრაობის მდგომარეობიდან წრფივად, თანაბარჩქარებულად მოძრაობა სხეულის მიერ გავლილი მანძილის დროზე დამოკიდებულების გრაფიკი. გამოთვალე აჩქარება და სიჩქარე 2 წმ-ის შემდეგ;
5. სხეულის მოძრაობის განტოლება $x = 3 + 4t + 5t^2 \text{ (SI)}$. გამოთვალე სხეულის სიჩქარე $t = 2 \text{ წმ-ის}$ მომენტისათვის.

2.5. ამოცანების ამოხსნა

1. სურათზე გამოსახული გრაფიკები აზრობრივად დაუკავშირე შესაბამის ფორმულებს და შეავსე ცხრილი (სურ. 4).

ა. $v = v_0 + at$;

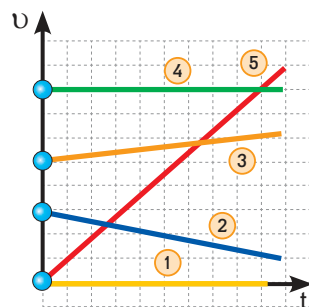
ბ. $v = v_0 - at$;

გ. $v = 0$;

დ. $v = at$;

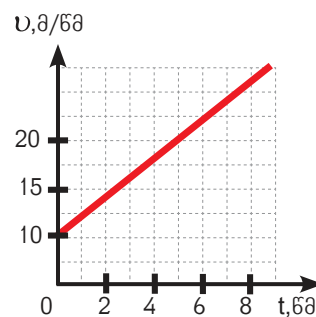
ე. $a = 0$.

	ა	ბ	გ	დ	ე
1					
2					
3					
4					
5					



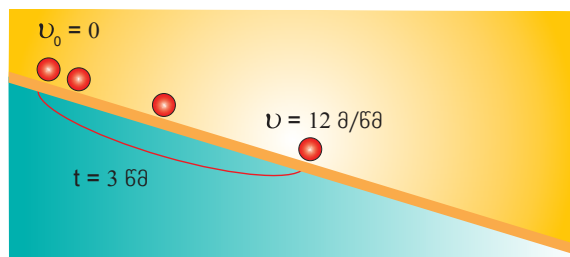
სურ. 29

2. 30-ე სურათზე გამოსახულია ავტომანქანის სიჩქარის დროზე დამოკიდებულების გრაფიკი. რა მანძილს გაივლის იგი 0-8 წმ-ში?
3. ავტომანქანის დამუხრუჭების დროა 5 წმ. ამასთან, მისი სიჩქარე 30 მ/წმ-დან შემცირდა 10 მ/წმ-მდე. რა მანძილს გაივლიდა იგი დამუხრუჭებისას?
4. სხეულის მოძრაობის განტოლება $x = 2 + 3t - 4t^2$. დაახასიათე მოძრაობა (სიდიდეები მოცემულია SI სისტემაში).
5. დახრილ სიბრტყეზე ბურთულამ უძრაობის მდგომარეობიდან დაიწყო თანაბარჩქარებული მოძრაობა. რა დროში გაივლის ბურთულა 50 მ სიგრძის დახრილ სიბრტყეს (სურ. 31)?



სურ. 30

6. თანაბარჩქარებული მოძრაობისას ავტომანქანამ უსაწყისო სიჩქარით პირველ წამში გაიარა 3 მ. რა მანძილს გაივლის იგი 2 წმ-ში; 3 წმ-ში?
7. ავტომანქანამ გზატკეცილზე გზის პირველი მესამედი 45 კმ/სთ სიჩქარით გაიარა, მეორე მესამედი — 70 კმ/სთ სიჩქარით, დარჩენილ მანძილზე კი 90 კმ/სთ სიჩქარით იმოძრავა. გამოთვალე ავტომანქანის საშუალო სიჩქარე მთელ გზაზე.



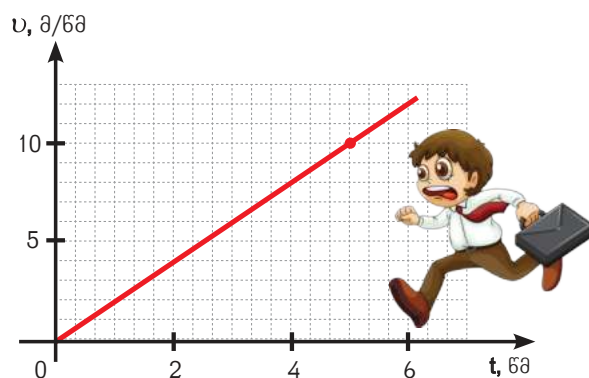
სურ. 31

8. 32-ე სურათზე გამოსახული გრაფიკის მიხედვით გამოთვალე აჩქარება და 5 წმ-ში გავლილი მანძილი.

9. გამოთვალე ავტომანქანის საშუალო სიჩქარე მანძილი, თუ იგი მოძრაობდა 20 მ/წმ სიჩქარით, ხოლო აჩქარების მოდული დამუხრუჭების მომენტში იყო 2 მ/წმ².

10. ავტომანქანამ მოძრაობის მთელი დროის პირველი ნახევარი გაიარა 15 მ/წმ სიჩქარით, მეორე ნახევარი — 20 მ/წმ სიჩქარით. გამოთვალე საშუალო სიჩქარე მთელ გზაზე?

11. სხეულმა დაიწყო სწრაფივად და თანაბარჩქარებულად მოძრაობა და პირველ წამში გაიარა 2 მ. რა მანძილს გაივლის იგი მეექვსე წამში?



სურ. 32

2.6. თავისუფალი ვარდნა

იზიძრე და იმსჯელე

რა აჩქარებით
მოძრაობენ ვარდნილი
სხეულები?



გალილეო გალილეი
(1564-1642)

ცხრილი 2

h, კმ	g, მ/წმ ²
პოლუსზე	9,83216
განედზე 45°	9,80616
ეკვატორზე	9,78030

ცხრილი 3

h, კმ	g, მ/წმ ²
0	9,8066
1	9,8036
10	9,7759
100	9,505
500	8,45
5000	3,08
10000	1,50
50000	0,13
400000	0,0025



სურ. 33

მიზიდულობის გამო სხეულები დედამიწაზე ვარდებიან.

XVI საუკუნის მიწურულს გალილეო გალილეი აკვირდებოდა და იკვლევდა სხეულების მოძრაობას.

ექსპერიმენტების შედეგად გალილეიმ დაასკვნა, რომ დედამიწის მიზიდულობა ყველა ვარდნილ სხეულს ერთსა და იმავე აჩქარებას ანიჭებს, როცა ვარდნისას ჰაერის წინააღმდეგობა უმნიშვნელოა ან საერთოდ არ არის.

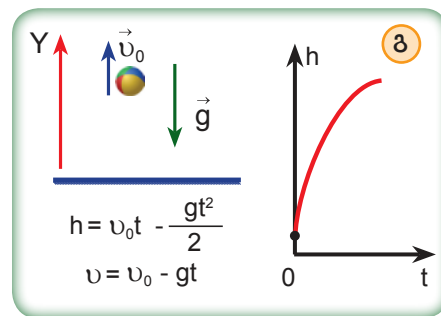
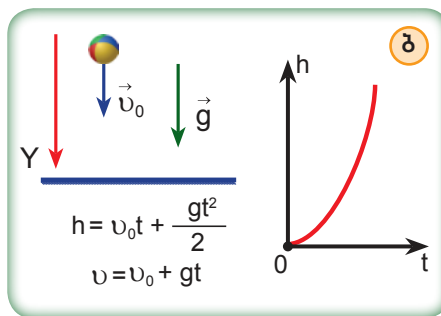
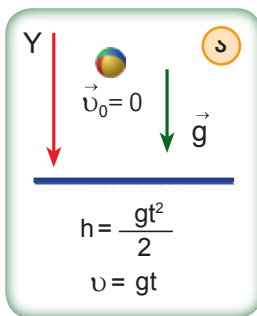
თავისუფალი ვარდნა ეწოდება სხეულის მოძრაობას მხოლოდ სიმძიმის ძალის მოქმედებით.

გალილეო გალილეიმ აღმოაჩინა, რომ თავისუფალი ვარდნა არის თანაბარაჩქარებული მოძრაობა. თავისუფალი ვარდნის აჩქარება ვექტორული სიდიდეა. ის ყოველთვის მიმართულია დედამიწის ცენტრისაკენ და ერთი და იმავეა ნებისმიერი მასის სხეულისათვის. თავისუფალი ვარდნის აჩქარების საშუალო მნიშვნელობაა $g = 9,8 \text{ მ/წმ}^2$ და დედამიწის სხვადასხვა ადგილზე მცირედ განსხვავდება ერთმანეთისაგან (ცხრ. 2). განსხვავება განპირობებულია დედამიწის არასფერული ფორმით, დღელამური ბრუნვითა და დედამიწის წიაღში ნივთიერების არათანაბარი განაწილებით.

თავისუფალი ვარდნის აჩქარების რიცხვითი მნიშვნელობა იცვლილება, აგრეთვე, დედამიწის ზედაპირიდან დაშორების მიხედვით (ცხრ. 3).

რადგან **თავისუფალი ვარდნა თანაბარაჩქარებული მოძრაობაა**, ამიტომ თანაბარაჩქარებული მოძრაობის ყველა ფორმულა სამართლიანია თავისუფალი ვარდნისთვისაც, თუ a აჩქარების ნაცვლად ვიგულისხმებთ g აჩქარებას.

სხეულის თავისუფალი ვარდნისას, ისევე როგორც თანაბარაჩქარებული მოძრაობისას, ვარდნის სიმაღლის დროზე დამოკიდებულების გრაფიკი პარაბოლაა, რომლის შტო ზევითაა მიმართული (სურ. 34 ბ). გრაფიკს ასევე პარაბოლის ფორმა აქვს ზევით ასროლილი სხეულისთვისაც, მხოლოდ მისი შტო ქვევითაა მიმართული (სურ. 34 გ).



სურ. 34



გაანზრება

- თავისუფალი ვარდნის გამოსაკვლევად ნიუტონმა ჩაატარა შემდეგი ცდა: მინის გრძელი და ვინრო მილის ფსკერზე მოათავსა საფანტი, მონეტა, კორპის ნაჭერი და ბუმბული. როცა ჰაერი მილიდან ამოტუმბული არ იყო, პირველად ვარდებოდა საფანტი, შემდეგ — მონეტა, მერე — კორპი, ბოლოს კი — ბუმბული. მილიდან ჰაერის ამოტუმბვისა (სურ. 35) და მილის ამოატრიალების შემდეგ დაინახა, რომ ყველა ეს საგანი ვარდნას ერთსა და იმავე დროს ანდომებდა. ეს დრო უფრო მცირე იყო, ვიდრე სჭირდებოდა საფანტის ვარდნას ჰაერში. იმსჯელე და ახსენი ექსპერიმენტის შედეგი?
- იმსჯელე სურათზე გამოსახული გრაფიკებიდან, რომელი შეესაბამება ყველაზე მეტად პარაშუტისტის ვარდნას დედამიწაზე პარაშუტის გახსნამდე და გახსნის შემდეგ (სურ. 36).
- ორი სხეული უსაწყისო სიჩქარით თავისუფლად ვარდება დედამიწის ზედაპირზე ერთი და იმავე სიმაღლიდან. პირველის მასაა m , ხოლო მეორის — $3m$. იმსჯელე და შეადარე სხეულების სიჩქარეები ერთმანეთს დედამიწაზე დაცემის მომენტში.

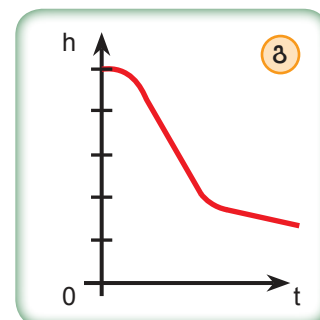
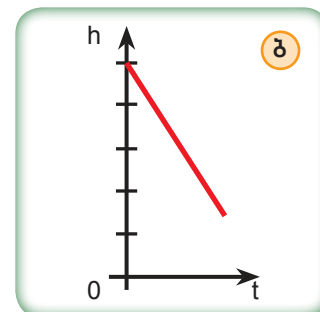
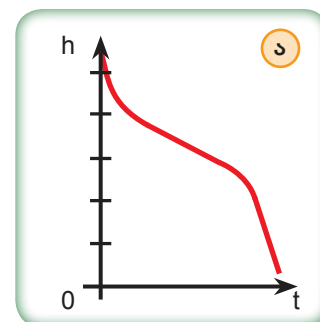


სურ. 35



საშინაო დავალება

- დედამიწიდან ვერტიკალურად ასროლილი სხეული 8 წამის შემდეგ ჩამოვარდა. რა სიმაღლეს მიაღწია სხეულმა? გამოთვალე მისი საწყისი სიჩქარე.
- 180 მ სიღრმის ხეობაში ჩავარდა ქვა. რამდენ ხანში მიაღწევს ქვა ხეობის ძირს ($v_0 = 0$)?
- 40 მ/წმ სიჩქარით ვერტიკალურად აისროლეს სხეული. რა სიმაღლეზე იქნება იგი 3 და 5 წამის შემდეგ? რა სიჩქარე ექნება მას ამ დროს?
- სხვადასხვა საწყისი სიჩქარით ვერტიკალურად აისროლეს ორი სხეული. ერთმა 4-ჯერ მეტ სიმაღლეს მიაღწია, ვიდრე მეორემ. რამდენჯერ მეტი ყოფილა მისი საწყისი სიჩქარე მეორე სხეულის საწყის სიჩქარეზე?
- ბურთი აისროლეს 20 მ-ის სიმაღლეზე და დაბრუნდა ასროლის წერტილში. გამოთვალე ბურთის მოძრაობის დრო? ჰაერის წინააღმდეგობა უგულებელყავი.



სურ. 36

2.7. მრუდწირული მოძრაობა

იზიძრა და იმსჯელე

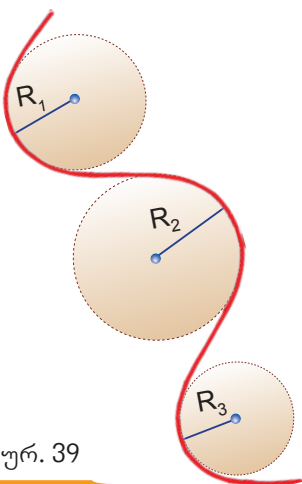
როგორ
ტრაექტორიაზე
მოძრაობს წყლის
ჭავლი შადრევანში?



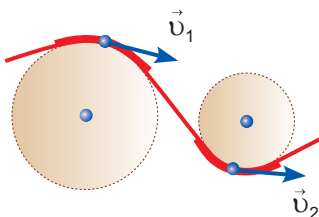
სურ. 37



სურ. 38



სურ. 39



სურ. 40

სამყაროში არსებული ციური სხეულები: მზე, მთვარე, პლანეტები, ხელოვნური თანამგზავრები მრუდ წირზე მოძრაობენ. ასევე მრუდ წირზე მოძრაობენ მანქანები, რომლებიც მთაში გზატკეცილზე გადაადგილდებიან (სურ. 38).

მრუდწირული მოძრაობის უმარტივესი სახეა წრეწირზე მოძრაობა. მრუდი წირი შეიძლება წარმოვიდგინოთ როგორც სხვადასხვა რადიუსის წრეწირის რკალების ერთობლიობა (სურ. 39).

სხეულების მოძრაობაზე დაკვირვებებისა და ექსპერიმენტების შედეგად დადგინდა, რომ მრუდწირული მოძრაობისას სიჩქარის მიმართულება მუდმივად იცვლება, თუმცა სიჩქარის მოდული შეიძლება იყოს მუდმივი. სხეულის სიჩქარე ნებისმიერ წერტილში სხვადასხვა ფორმის მრუდ წირზე (წრეწირზეც) მოძრაობისას ყოველთვის მიმართულია ამ წერტილზე გავლებული მხების გასწვრივ (სურ. 40).

მაგალითად, დეტალის გაჭრისას საჭრისით, მისი ბორბლის ბრუნვისას მოწყვეტილი ნაწილაკების სიჩქარე მიმართულია მოწყვეტის წერტილში გავლებული მხების გასწვრივ. დეტალიდან მოწყვეტილი ნაწილაკები იმავე სიჩქარით აგრძელებენ მოძრაობას, რომელიც მოწყვეტის მომენტში ჰქონდათ (სურ. 41).

მრუდ წირზე მოძრაობისას სხეულის მყის სიჩქარეს ტრაექტორიის ნებისმიერ წერტილში ამ წერტილზე გავლებული მხების მიმართულება აქვს.

სხეულის მრუდ წირზე მოძრაობისას სიჩქარის მოდული შეიძლება არ იცვლებოდეს. მრუდწირულ მოძრაობას, როდესაც სხეულის სიჩქარის მოდული მუდმივია, ხოლო მიმართულება იცვლება, უწოდებენ თანაბარ მოძრაობას მრუდ წირზე.

მრუდწირზე თანაბარი მოძრაობის სიჩქარის მოდული გამოითვლება ფორმულით:

$$v = \frac{s}{t},$$

სადაც s მრუდი წირის სიგრძეა, t — მოძრაობის დრო.

წრენივზე მოძრაობისას სხეული რაღაც დროის შემდეგ კვლავ უბრუნდება იმ წერტილს, საიდანაც დაიწყო მოძრაობა. ასეთ მოძრაობას პერიოდულ მოძრაობას უწოდებენ. წრენივზე მოძრაობა პერიოდულია.

დროს, რომლის განმავლობაშიც სხეული ერთ სრულ ბრუნს ასრულებს, ბრუნვის პერიოდი ეწოდება.

ბრუნვის პერიოდი აღინიშნება T ასოთი. SI სისტემაში მისი ერთეულია წამი. სისტემგარეშე ერთეულებია: წუთი, საათი, დღე-ღამე.

თუ სხეული რაიმე t დროში N ბრუნს ასრულებს, მაშინ ბრუნვის პერიოდია:

$$T = \frac{t}{N} \quad (1)$$

წრენივზე მოძრაობა აგრეთვე ხასიათდება ფიზიკური სიდიდით — ბრუნვის სიხშირით.

დროის ერთეულში შესრულებულ ბრუნთა რიცხვს ბრუნვის სიხშირე ეწოდება.

სიხშირეს აღნიშნავენ ν (ნიუ) ასოთი.

$$\nu = \frac{N}{t} \quad (1)\text{-ის გათვალისწინებით } \nu = \frac{1}{T}.$$

SI სისტემაში ბრუნვის სიხშირის ერთეულია წმ⁻¹. პერიოდული მოძრაობის სიხშირის ამ ერთეულს **ჰერცი** (შემოკლებით **ჰც**) ეწოდება გერმანელი მეცნიერის ჰენრიხ ჰერცის პატივსაცემად. 1 ჰერცი ისეთი სიხშირეა, როდესაც სხეული ერთ წამში ერთ სრულ ბრუნს ასრულებს.

$$1 \text{ ჰერცი} = \frac{1}{\text{წმ}} = \text{წმ}^{-1}.$$

პერიოდი და სიხშირე ურთიერთშებრუნებული სიდიდეებია.

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



ბაზრება

1. ლურჯი ბურთულა 1 წმ-ში ერთ სრულ ბრუნს ასრულებს, წითელი კი — იმავე დროში 5 ბრუნს. იმსჯელე და შეადარე ამ ბურთულების ბრუნვის პერიოდები და სიხშირეები (სურ. 42).
2. იმსჯელე და გამოთვალე საათების, წუთებისა და წამების ისრების ბრუნვის პერიოდი და ბრუნვის სიხშირე (სურ. 43)?

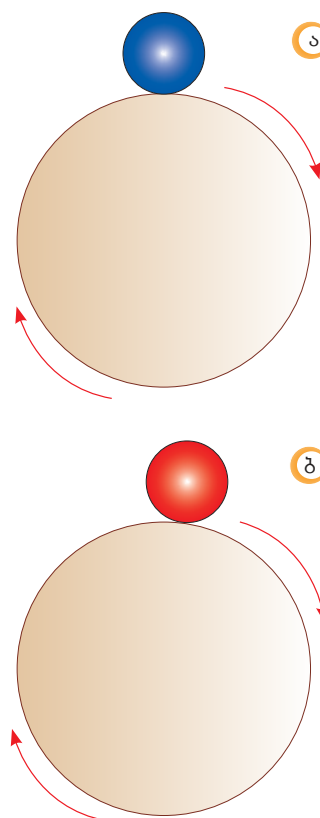


საშინაო დავალება

1. საბავშვო ატრაქციონის კარუსელი 1 წუთში 12 ბრუნს ასრულებს. რა სიხშირით ბრუნავს კარუსელი? გამოთვალე კარუსელის ბრუნვის პერიოდი.
2. რამდენი ჰერცია 2400 ბრ/წთ? 360 ბრ/წთ? 1800 ბრ/წთ?
3. ელექტროძრავას ბრუნვის სიხშირეა 1500 ბრ/წთ. გამოთვალე ბრუნვის პერიოდი.



სურ. 41



სურ. 42



სურ. 43

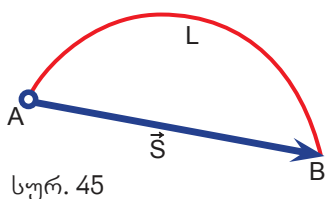
2.8. სიჩქარე წრეწირზე მოძრაობისას

იფიქრე და იმსჯელე

რატომ ატრიალებს ბირთვის სპორტსმენი გატყორცნამდე?



სურ. 44



წრეწირზე სხეულის მოძრაობა ხასიათდება წირითი და კუთხური სიჩქარით.

● წირითი სიჩქარე

დავუშვათ, სხეული, რომელიც შეიძლება მატერიალურ წერტილად ჩაითვალოს, მოძრაობს L სიგრძის AB რკალზე (სურ. 45). ამ მოძრაობისას გადაადგილების $\vec{S}$ ვექტორი ქორდის გასწვრივაა მიმართული. სხეულის გადაადგილების $\vec{S}$ ვექტორის მოდული და L გავლილი მანძილი ერთმანეთის ტოლი არ არის.

თუ სხეული A და B წერტილებს შორის გავლებულ ქორდების გასწვრივ მოძრაობს (სურ. 46 ა), მაშინ სხეულის მოძრაობის სიჩქარე ქორდის გასწვრივაა მიმართული. წრფივი უბნების სიგრძის უსასრულო შემცირებით ქორდები შეიძლება წერტილებად გადაიქცეს და ტეხილი წირი მდოვრე მრუდი გახდეს. სხეულის სიჩქარე ყოველ წერტილში მიმართული იქნება ამ წერტილზე გავლებული მხების გასწვრივ (სურ. 46 ბ).

მყისი სიჩქარე წრეწირზე მოძრაობისას ტრაექტორიის ნებისმიერ წერტილში მიმართულია ამ წერტილზე გავლებული მხების გასწვრივ (სურ. 47).

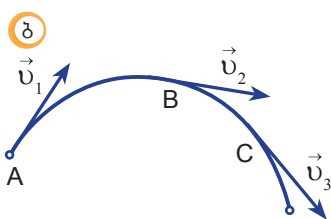
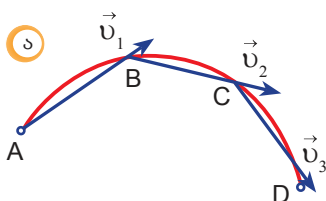
სხეულის მრუდ წირზე მოძრაობას ახასიათებენ წირითი სიჩქარით.

დავუშვათ, სხეული მოძრაობს L სიგრძის რკალზე A წერტილიდან B წერტილისკენ t დროის განმავლობაში. მაშინ წირითი სიჩქარე გამოითვლება ფორმულით:

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

თუ სხეული ბრუნვის T პერიოდში R რადიუსის წრეწირზე მოძრაობისას ერთ ბრუნს ასრულებს, გავლილი მანძილი წრეწირის სიგრძის ტოლია $L = 2\pi R$ და წირითი სიჩქარე გამოითვლება ფორმულით:

$$v = \frac{2\pi R}{T},$$



სურ. 46

რადგან $v = \frac{1}{T}$, ამიტომ $v = 2\pi Rv$.

სპორტსმენებს ფიზიკა ეხმარება წარმატებების მიღწევაში სხვადასხვა შეჯიბრების დროს. მაგალითად, მძლეოსანი ბირთვის ტყორცნამდე რამდენიმე ბრუნს ასრულებს (სურ. 44). ამ მოძრაობის შედეგად ბირთვი გატყორცნამდე გარკვეულ სიჩქარეს იძენს და მოწყვეტის მომენტში მისი სიჩქარე მიმართულია იმ წრეწირის მხების გასწვრივ, რომელზეც მოძრაობდა ბირთვი. ბირთვს სპორტსმენის ხელიდან გატყორცნის მომენტში დიდი სიჩქარე აქვს. ამიტომ მისი ფრენის სიშორეც დიდი იქნება.

● კუთხური სიჩქარე

დავუშვათ, სხეული R -რადიუსიან წრეწირზე A წერტილიდან B წერტილში თანაბრად გადაადგილდება t დროის განმავლობაში. ამავე დროში წრეწირის R რადიუსი, რომელიც გავლებულია O ცენტრიდან A წერტილამდე φ კუთხით შემობრუნდება (სურ. 48). მაშინ ω კუთხური სიჩქარე გამოითვლება ფორმულით:

$$\omega = \frac{\varphi}{t}.$$

წრეწირზე მოძრავ ნივთიერ წერტილზე გავლებული რადიუსის ბრუნვის ცენტრის მიმართ შემობრუნების კუთხის შეფარდებას დროსთან, რომლის განმავლობაშიც ეს შემობრუნება შესრულდა, კუთხური სიჩქარე ეწოდება.

კუთხური სიჩქარის ერთეულია 1 რად/წმ.

1 რადიანი არის წრეწირის ცენტრალური კუთხე, რომლის შესაბამისი რკალი რადიუსის ტოლია.

წრეწირზე სხეულის ერთი სრული ბრუნვისას რადიუსი 360° ცენტრალურ კუთხეს შემოწერს, რომელიც 2π რადიანს შეესაბამება. ე.ი. სხეულის ერთი სრული ბრუნვისას T პერიოდის განმავლობაში შემობრუნების კუთხე $\varphi = 2\pi$. ამიტომ კუთხური სიჩქარე წრეწირზე მოძრაობისას გამოითვლება ფორმულით:

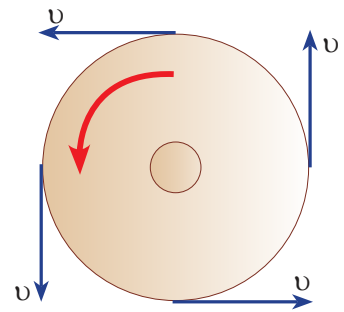
$$\omega = \frac{2\pi}{T},$$

რადგან $v = \frac{1}{T}$, ამიტომ $\omega = 2\pi v$.

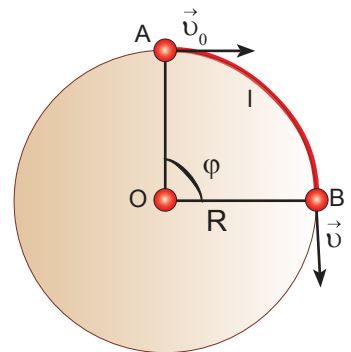
კუთხური და წირითი სიჩქარეების კავშირი გამოისახება ფორმულით:

$$v = \omega R.$$

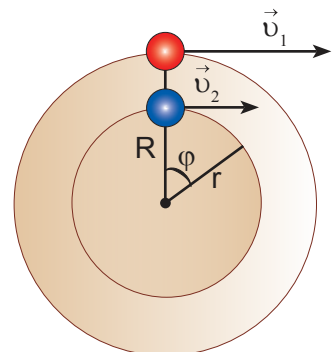
დავუშვათ, წითელი და ლურჯი ბურთულები თანაბრად ბრუნავენ დისკოს სხვადასხვა რადიუსის წრეწირზე (სურ. 49). მათი კუთხური სიჩქარეები ტოლი იქნება, მაგრამ წირითი სიჩქარეები განსხვავდება. წითელი ბურთულის სიჩქარე მეტია ლურჯი ბურთულის სიჩქარეზე.



სურ. 47



სურ. 48



სურ. 49

ა



სურ. 50

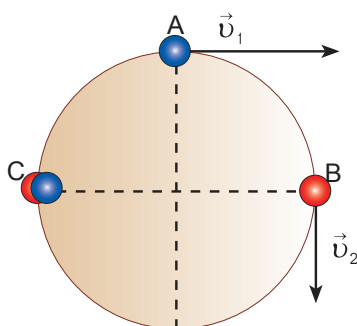


გაანგარიშება

ბ



1. იმსჯელე და შეადარე ერთმანეთს სურათზე გამოსახული საათების, წუთების მაჩვენებელი ისრების წვეროების წირითი და კუთხური სიჩქარეები. გამოიტანე დასკვნა (სურ. 50 ა, ბ).
2. ერთი ველოსიპედის ბორბლის ბრუნვის პერიოდი 4-ჯერ მეტია მეორე ველოსიპედის ბორბლის ბრუნვის პერიოდზე, ხოლო პირველი ველოსიპედის ბორბლის რადიუსი 2-ჯერ ნაკლებია მეორისაზე. შეადარე ველოსიპედების ბორბლის კიდურა წერტილების წირითი სიჩქარეები ერთმანეთს.



სურ. 51



საშინაო დავალება

1. წითელმა და ლურჯმა ბურთულამ ერთდროულად დაიწყეს მოძრაობა წრეწირზე A და B წერტილებიდან და ერთდროულად მივიდნენ C წერტილში. შეადარე ბურთულების პერიოდები, სიხშირე და სიჩქარეები ერთმანეთს (სურ. 51);
2. გამოთვალე ლერძის გარშემო დედამიწის ბრუნვისას ეკვატორის წერტილების წირითი და კუთხური სიჩქარე, თუ დედამიწის რადიუსი $R = 6400$ კმ-ია;
3. მანქანის ბორბლის ბრუნვის სიხშირეა 12 ბრ/წთ. გამოსახე იგი რად/წმ-ით;
4. საათის წუთების ისარი სამჯერ გრძელია წამების ისარზე. გამოთვალე ისართა ბოლოების წირითი სიჩქარეთა ფარდობა;
5. ველოსიპედის ბორბლის რადიუსი 40 სმ-ია. რა სიჩქარით მოძრაობს ველოსიპედი, თუ ბორბალი წუთში 1200 ბრუნს ასრულებს? გამოთვალე ბორბლის ბრუნვის სიხშირე;
6. სპორტსმენი ვარჯიშისას ჯერ დარბის პატარა წრეწირზე, რომლის რადიუსია 5 მ, შემდეგ დიდ წრეწირზე რადიუსით 10 მ. შეადარე სპორტსმენის წირითი სიჩქარე ამ წრეწირებზე სირბილისას, თუ იგი თითოეულ წრეწირზე ერთი ბრუნის შესრულებას ერთსა და იმავე დროს ანდომებს (სურ. 52);
7. სარეცხ მანქანაში სარეცხის გასაწურად საჭირო დისკო ბრუნავს 600 წთ⁻¹ სიხშირით. დისკის დიამეტრია 40 სმ. გამოთვალე დისკის ბრუნვის პერიოდი, კუთხური სიჩქარე და მისი ზედაპირის კიდურა წერტილის წირითი სიჩქარე;
8. „ემშაკის ბორბალი“ თანაბრად მოძრაობს და ერთ სრულ ბრუნს ასრულებს 15 წთ-ში. გამოთვალე ვაგონეტების კუთხური და წირითი სიჩქარე, თუ მათი დაშორება ბრუნვის ცენტრიდან 15 მ-ია (სურ. 53).



სურ. 52



სურ. 53

2.9. აჩქარება მრუდწირული მოძრაობისას



იფიქრე და იმსჯელე

რატომ მოძრაობენ პლანეტები ორბიტაზე მზის გარშემო აჩქარებულად?

სურ. 54

წრეწირზე მატერიალური წერტილის (ან სხეულის) მოძრაობისას სიჩქარის მიმართულება მუდმივად იცვლება. ამიტომ წრეწირზე მოძრაობა, სიჩქარის მიმართულების ცვლილების გამო, ყოველთვის აჩქარებული მოძრაობაა, თუმცა სხეული წრეწირზე შეიძლება მოძულდეს მუდმივი სიჩქარით მოძრაობდეს.

თანაბარი მოძრაობა წრეწირზე ისეთი მოძრაობაა, როდესაც სიჩქარის მოდული მუდმივი სიდიდეა, მიმართულება კი იცვლება.

ე.ი. სხეულის წრეწირზე თანაბარი მოძრაობისას მაინც არსებობს აჩქარება, რომელიც მოძრავი სხეულის სიჩქარის მიმართულების ცვლილებითაა გამოწვეული.

დავუშვათ, სხეული თანაბრად, მოძულდეს მუდმივი სიჩქარით A წერტილიდან B წერტილში გადაადგილდა t დროში (სურ. 55). A წერტილში მისი საწყისი სიჩქარეა $\vec{v}_0$, ხოლო B -ში — $\vec{v}$.

მაშინ სხეულის აჩქარება წრეწირზე მოძრაობისას გამოისახება ფორმულით:

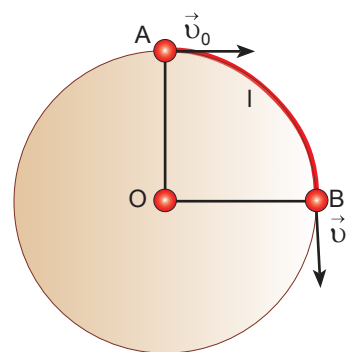
$$\vec{a} = \frac{\vec{v} - \vec{v}_0}{t} = \frac{\Delta \vec{v}}{t},$$

სადაც, $\Delta \vec{v}$ სხეულის სიჩქარის ცვლილების ვექტორია, რომლის მიმართულებასაც ემთხვევა აჩქარების ვექტორის მიმართულება.

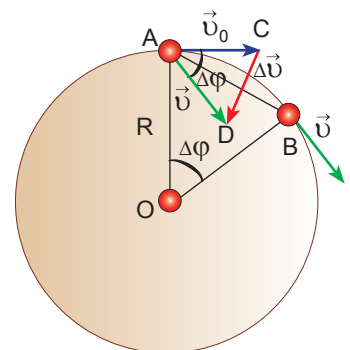
$\Delta \vec{v}$ ვექტორის მიმართულების დასადგენად $\vec{v}$ და $\vec{v}_0$ ვექტორები ერთ A წერტილში (სურ. 56) უნდა გადავიტანოთ. სამკუთხედის წესით ვექტორების შეკრების თანახმად:

$$\Delta \vec{v} = \vec{v} - \vec{v}_0.$$

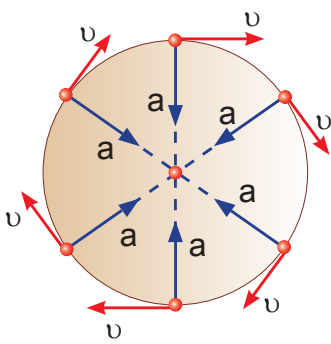
თუ $\vec{v}_0$ და $\vec{v}$ -ს შორის რკალის სიგრძეს უსასრულოდ შევამცირებთ, მაშინ $\Delta \vec{v}$ ვექტორსა და სიჩქარის ვექტორს შორის კუთხე უახლოვდება 90° -ს. ამდენად, $\Delta \vec{v}$ რადიუსის გასწვრივაა და ცენტრისკენაა მიმართული.



სურ. 55



სურ. 56



სურ. 57

რადგან $\Delta \vec{v}$ ვექტორის მიმართულება ემთხვევა აჩქარების ვექტორის მიმართულებას, ამიტომ წრეწირზე მოძრაობის სხეულების აჩქარებას **ცენტრისკენულ აჩქარებას** უწოდებენ.

აჩქარების მოდული წრეწირზე მოძრაობისას პირდაპირპროპორციულია წირითი სიჩქარის კვადრატისა და უკუპროპორციულია ამ წრეწირის რადიუსის.

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

რადგან $v = \frac{2\pi R}{T}$ და $T = \frac{1}{\nu}$, ამიტომ

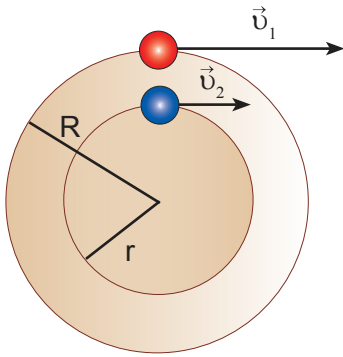
$$a = \left(\frac{2\pi R}{T}\right)^2 \frac{1}{R} = \frac{4\pi^2 R}{T^2} = 4\pi^2 R \nu^2, \text{ ანუ } a = \omega^2 R.$$

წრეწირზე მოძრაობისას აჩქარების სიდიდე დამოკიდებულია წრეწირის R რადიუსზე და ν წირითი სიჩქარის მოდულზე. წრეწირზე სხეულის თანაბარი მოძრაობისას აჩქარება ნებისმიერ წერტილში მიმართულია ცენტრისკენ (სურ. 57).

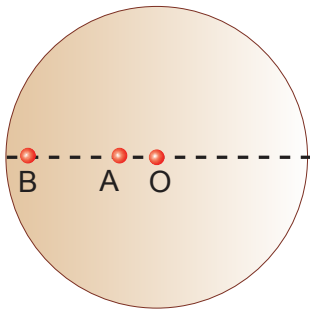


ბაზრება

- სურათზე გამოსახულია წითელი და ლურჯი ბურთულა, რომელთა ბრუნვის პერიოდები ტოლია. ისინი თანაბრად მოძრაობენ სხვადასხვა რადიუსის წრეწირებზე (სურ. 58). შეადარე ბურთულების:
 - წირითი სიჩქარეები;
 - კუთხური სიჩქარეები;
 - აჩქარებები.
- იმსჯელე, რატომ არის აჩქარება წრეწირზე თანაბარი მოძრაობისას მოდულით მუდმივი სიდიდე და როგორ იცვლება მისი მიმართულება?



სურ. 58

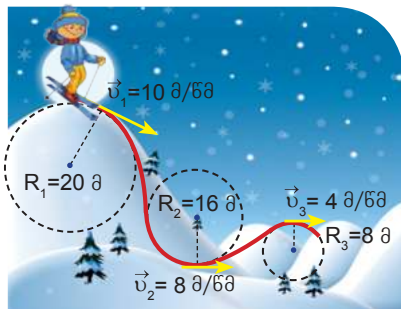


სურ. 59



საშინაო დავალება

- ველოსიპედის ბორბლის დიამეტრი 80 სმ-ია, ბრუნვის პერიოდი — 0,4 წმ. როგორი იქნება კიდეურა წერტილების ცენტრისკენული აჩქარება?
- როგორია დედამიწის ცენტრისკენული აჩქარება ორბიტაზე მოძრაობისას, თუ მზიდან დაშორება 150 მილიონი კმ-ია?
- როგორ შეეფარდება ერთმანეთს მბრუნავი დისკოს A და B წერტილების ცენტრისკენული აჩქარებები, თუ $OB = 3 OA$ (სურ. 59)?
- გამოთვალე მატარებლის ცენტრისკენული აჩქარება, თუ იგი 800 მ რადიუსის რკალზე 20 მ/წმ სიჩქარით მოძრაობს.
- მოთხილამურე მთიდან დაშვებისას, მრუდწირულ ტრაექტორიაზე სხვადასხვა სიმაღლის რადიუსიან მონაკვეთებზე მოძრაობს. რა თანაფარდობაა აჩქარებებს შორის (სურ. 60)?



სურ. 60

2.10. არათანაბარი მოძრაობის ექსპერიმენტული კვლევა



I ექსპერიმენტი

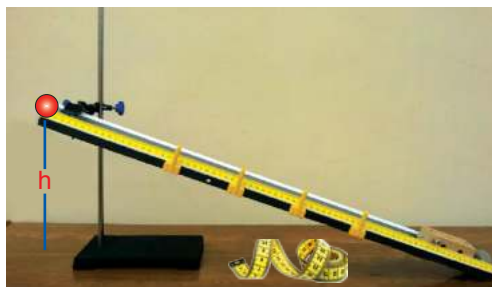
არათანაბარი მოძრაობის სიჩქარისა და აჩქარების კვლევა

1. მოცემული გაქვს: 50 სმ-ის სიგრძის ღარი ან ფიცარი (ან სახაზავი), საზომი ლენტა, სადგარი, ბურთულა, ძელაკი, წამმზომი (მობილური ტელეფონი).

მსვლელობა: სადგარზე, მაგიდიდან 10 სმ-ის სიმაღლეზე, მოათავსე ფიცარი, ფიცრის ბოლოში ძელაკი ბურთულის შესაჩერებლად. ფიცრის თავში მოათავსე ბურთულა და გაუშვი ხელი. ამასთან ერთად ჩართე წამმზომი და გამორთე ბურთულის ძელაკთან დაჯახებისას. აითვალე წამმზომზე დრო და გაზომე ბურთულის მოძრაობის მანძილი. ცდა გაიმეორე 3-ჯერ ფიცრის სხვადასხვა სიმაღლეზე მოთავსებისას. ცდის შედეგები შეიტანე ცხრილში. გამოთვალე საშუალო სიჩქარე და აჩქარება.

გამოიტანე დასკვნა: როგორ არის დამოკიდებული სიჩქარისა და აჩქარების ცვლილება ფიცრის ერთი ბოლოს სხვადასხვა სიმაღლეზე მოთავსებისას.

ცდის №	სიმაღლე, h, მ	მანძილი, s, მ	დრო, t, წმ	სიჩქარე, $u_{\text{საშ}}$, მ/წმ	აჩქარება, a, მ/წმ ²
1					
2					
3					



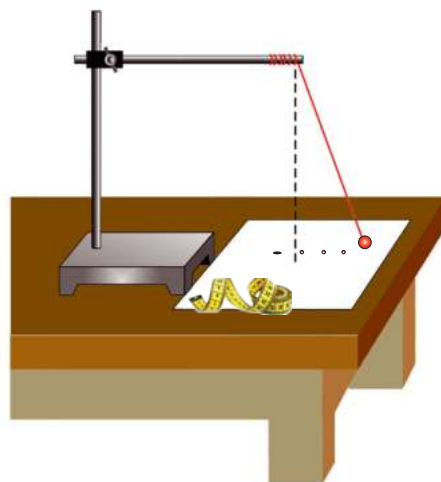
2. მოცემული გაქვს: სადგარი, 30-40 სმ-ის თოკზე დაკიდებული ბურთულა (საქანი), საზომი ლენტა, წამმზომი (მობილური ტელეფონი).

მსვლელობა: დაკიდე საქანი სადგარზე. გადახარე მცირე კუთხით, გაუშვი ხელი და ჩართე წამმზომი. გაზომე საქანის წონასწორობიდან გადახრის მანძილი, რხევების რიცხვი და დრო, რომლის განმავლობაშიც ირხეოდა საქანი. ცდა გაიმეორე 3-ჯერ ბურთულის სხვადასხვა კუთხით გადახრისას. ცდის შედეგები შეიტანე ცხრილში. გამოთვალე არათანაბრი მოძრაობის საშუალო სიჩქარე u_1 გავლილი მანძილისა და u_2 გადაადგილების მიხედვით.

გაითვალისწინე: სრული რხევისას ბურთულა უბრუნდება საწყის მდებარეობას. ერთი სრული რხევისას ბურთულის მიერ გავლილი მანძილი არის წონასწორობიდან გადახრის მანძილზე 4-ჯერ მეტი.

გამოიტანე დასკვნა: საშუალო სიჩქარის ცვლილების შესახებ გადახრის კუთხის მიხედვით. რატომ არ ემთხვევა ერთმანეთს საშუალო სიჩქარე გავლილი მანძილის მიხედვით u_1 , და საშუალო სიჩქარე გადაადგილების მიხედვით u_2 .

ცდის №	წონასწორობიდან გადახრა, l მ	რხევათა რიცხვი, N	გავლილი მანძილი, s მ	დრო, t წმ	საშუალო სიჩქარე, u_1 , მ/წმ	საშუალო სიჩქარე, u_2 , მ/წმ
1						
2						
3						





II ექსპერიმენტი

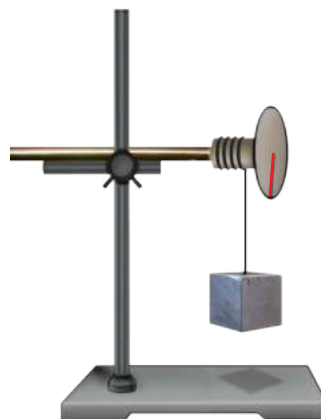
წირითი სიჩქარის გაზომვა წრეწირზე მოძრაობისას

მოცემული გაქვს: შტატივი, ძაფზე ჩამოკიდებული ტვირთი, მუყაოს ცილინდრი დისკოთი.

მსვლელობა: შტატივზე მოთავსებულ ღეროზე წამოაყვები შენ მიერ წინასწარ დამზადებული, ღრუ ცილინდრზე დაწებებული, 20-30 სმ დიამეტრის მუყაოს დისკო ისე, როგორც სურათზეა გამოსახული. ღრუ ცილინდრის დიამეტრი ოდნავ მეტი უნდა იყოს ღეროს დიამეტრზე. გადაახვიე ცილინდრზე ძაფი და დაკიდე მასზე ტვირთი, რომელიც თანაბრად იმოდრავებს ქვევით. დისკოზე მოცემული ნიშნულის მიხედვით დაითვალე ბრუნთა რიცხვი – N ტვირთის ბოლომდე დაშვებისას. აღრიცხე შესაბამისი დრო – t . ცდა გაიმეორე 3-ჯერ. ცდის შედეგების მიხედვით გამოთვალე ბრუნვის სიხშირე, პერიოდი და დისკოს კიდურა წერტილის წირითი სიჩქარე. შეადარე სიჩქარეები ერთმანეთს.

აღწერე ცდა.

გამოიტანე დასკვნა: წირითი სიჩქარის გაზომვის შესახებ.



III ექსპერიმენტი

ცენტრისკენული აჩქარების კვლევა

მოცემული გაქვს: 50 სმ-ის სიგრძის თოკი ბოლოში გაბოზებული ბურთულით, წამმზომიანი საათი.

მსვლელობა: დაატრიალე თოკი ჰორიზონტალურ სიბრტყეში, შეეცადე ბრუნვის პერიოდი იყოს მცირე და მუდმივი. დაითვალე ბრუნთა რიცხვი და შესაბამისი დრო. დაამოკლე თოკი და კვლავ გაიმეორე ცდა. ცდა გაიმეორე 3-ჯერ. გამოთვალე ბრუნვის პერიოდი. ცდის მონაცემები შეიტანე შენ მიერ შედგენილ ცხრილში. გამოთვალე ბურთულის ცენტრისკენული აჩქარება.

აღწერე ცდა.

გამოიტანე დასკვნა: როგორ იცვლება ცენტრისკენული აჩქარება თოკის სიგრძის ცვლილების მიხედვით სხეულის სხვადასხვა რადიუსის წრეწირზე ბრუნვისას.



საშინაო დავალება

აზრობრივი ექსპერიმენტი

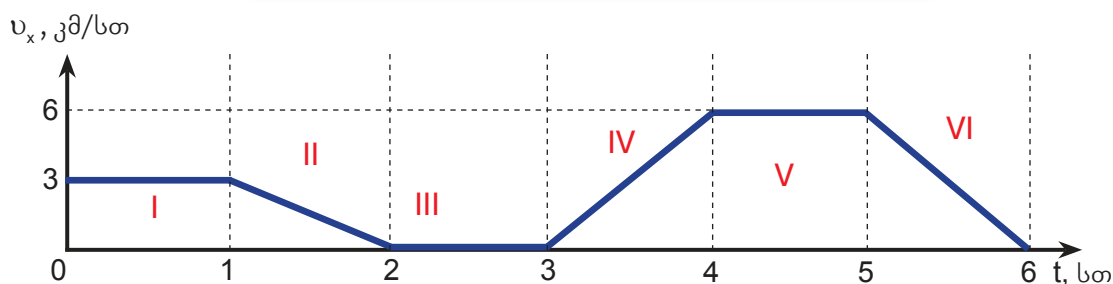
წარმოიდგინე, გაქვს სურათზე გამოსახული ველოსიპედი. სახაზავის გამოყენებით გაზომე წინა და უკანა ბორბლების რადიუსები. შეადარე ველოსიპედის წინა და უკანა ბორბლების კუთხური და წირითი სიჩქარეები.

გამოიტანე დასკვნა.



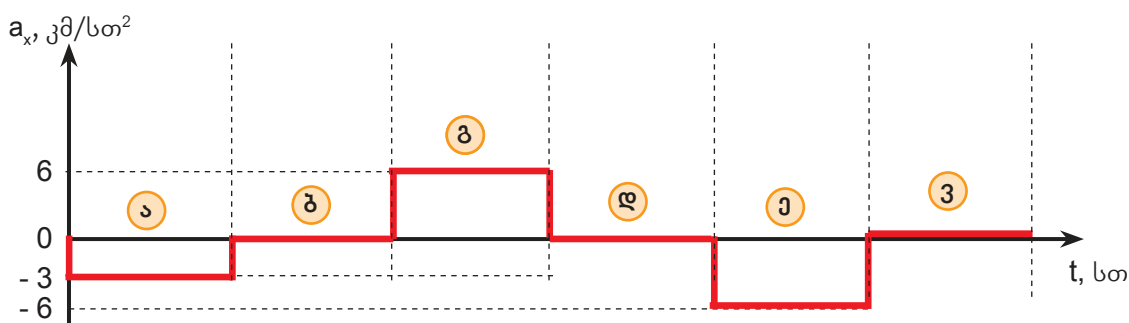
2.11. შემაჯამებელი ბაკვეთილი

I. მექანიკური მოძრაობის გრაფიკული კვლევა



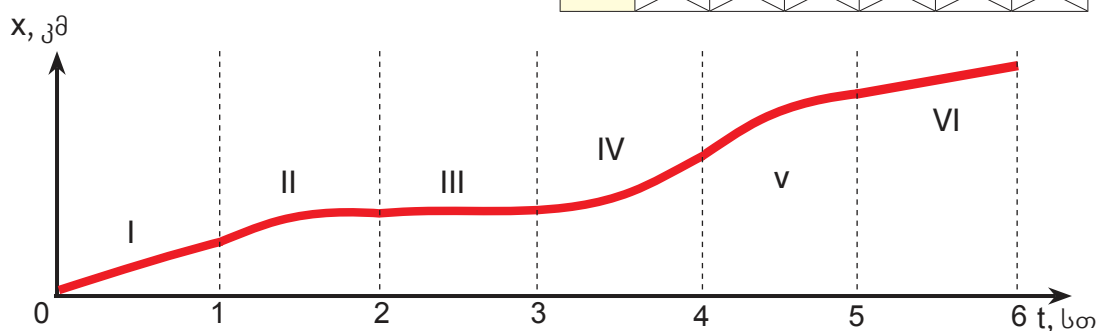
სურათზე გამოსახული გრაფიკი ასახავს მოგზაურის სიჩქარეს დროის სხვადასხვა შუალედში. დაადგინე მოგზაურის მოძრაობის ხასიათი და მოძრაობის დრო. გამოთვალე:

- საშუალო სიჩქარე და გავლილი მანძილი თითოეულ უბანზე;
- საშუალო სიჩქარე მთელი დროის განმავლობაში.



გ. დაუკავშირე სიჩქარის დროზე დამოკიდებულების გრაფიკის უბნებს აჩქარების გრაფიკიდან შესაბამისი უბნები. შეავსე ცხრილი.

	ა	ბ	გ	დ	ე	ვ
I						
II						
III						
IV						
V						
VI						



დ. შეადარე სიჩქარისა და კოორდინატის დროზე დამოკიდებულების გრაფიკების შესაბამისი უბნები მოძრაობის ხასიათის მიხედვით. გამოიტანე დასკვნა, რას შეესაბამება კოორდინატის დროზე დამოკიდებულების გრაფიკი?

II. მრუდწირული ტრაექტორიის კვლევა

ნათიას უმცროსმა ძმამ სთხოვა დახმარებოდა — რუკაზე გაეზომა საქართველოს საზღვრის სიგრძე. რადგან საზღვრის ტრაექტორია მრუდი წირია, ისინი სახაზავს ვერ გამოიყენებდნენ. ნათიას გაახსენდა, რომ მას ნანახი ჰქონდა მინი კურვიმეტრი, რომლითაც მცირე სიგრძის მრუდ-



წირული ტრაექტორიის გაზომვაა შესაძლებელი.

ინტერნეტში მოძიებული ლიტერატურის მიხედვით ნათიამ ასევე იცოდა, რომ კურვიმეტრს სოფლის გზების, მთების და მიხვეულ-მოხვეული ბილიკების სიგრძის გასაზომადაც იყენებენ (არსებობს გეოგრაფიული რუკები, რომლებზეც ბილიკებია დატანილი).

ასევე კურვიმეტრს აქტიურად იყენებენ მეცნიერებიც სხვადასხვა კვლევის დროს. მაგალითად, როდესაც აინტერესებთ არანესიერი ფორმის ფიგურის ფართობის გამოთვლა, მრუდწირული გვერდების სიგრძეს კურვიმეტრით ზომავენ. ოსტატებიც, სხვადასხვა ფორმის ნაკეთობის ორნამენტის სიგრძეს კურვიმეტრით ზომავენ.

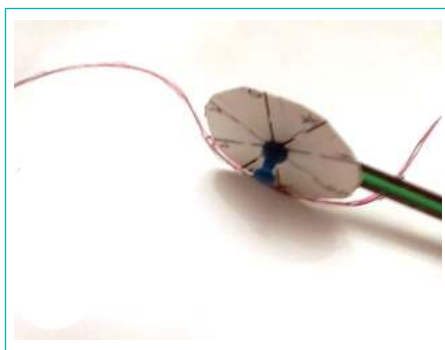
ნათიამ და მისმა ძმამ გადაწყვიტეს კურვიმეტრი დაემზადებინათ. მოიძიეს მარტივი ექსპერიმენტის ჩატარების გეგმა და დაამზადეს კურვიმეტრი.

მარტივი ექსპერიმენტის ჩატარების გეგმა. კურვიმეტრის დამზადება

მოცემული გაქვს: მუყაოს ფურცელი, სახაზავი, მაკრატელი, ჭიკარტი, საშლელიანი ფანქარი, თაბახის ფურცლები.

მსვლელობა: მუყაოს ფურცლისგან გამოჭერი 60 მმ დიამეტრის წრე. გამოთვალე წრეწირის სიგრძე. დააგრა-დუირე კურვიმეტრი: წრის კიდეზე მონიშნე ნულოვანი შტრიხი. დაყავი წრეწირი ტოლ ნაწილებად. გამოთვა-ლე თითოეული ნაწილის სიგრძე, გაიგე დანაყოფის ფასი და შტრიხებზე მიუთითე შესაბამისი რიცხვითი მნიშვნელობები. მონიშნე წრეწირის ცენტრი და გაუ-ყარე ჭიკარტი. ჭიკარტის წვეტი ჩაარჭე ფანქრის საშ-ლელში ისე რომ წრემ თავისუფლად იმოძრაოს. დახაზე რვეულში რამდენიმე მრუდი წირი. კურვიმეტრის ბორბლის ნულოვანი დანაყოფი მოათავსე ტრაექტორიის საწყის წერტილში. აამოძრავე ბორბალი ტრაექტორიის გასწვრივ და დანაყოფის ფასის გამოყენებით გამოთვა-ლე გავლილი მანძილი.

მოიფიქრე, როგორ დაამზადებდი დიდი მანძილის გამზომ კურვიმეტრს.





თვითნაკეთი კურვიმეტრის გამოყენებით ნათიამ ძმასთან ერთად გაზომა რამდენიმე მრუდი წირის (მაგ., სურათზე გამოსახული ორნამენტის სიგრძე) და რუკაზე საქართველოს საზღვრებისა და ზოგიერთი მდინარის სიგრძე. ხაზოვანი მასშტაბის გამოყენებით გამოთვალეს მათი სიგრძეები.

წარმოიდგინე, რომ ნათიას ძმა შენთან მოვიდა და იმავე თხოვნით მოგმართა.

მარტივი ექსპერიმენტის გეგმის მიხედვით დაამზადე კურვიმეტრი და გაზომე სხვადასხვა მრუდი წირის სიგრძე.

კურვიმეტრით რუკაზე გაზომე საქართველოს საზღვრის სიგრძე. ხაზოვანი მასშტაბის გამოყენებით გამოთვალე მისი სიგრძე.

დაფუშვით, სოხუმიდან მანქანით ბათუმისკენ მიემგზავრები სანაპირო ზოლის გასწვრივ.

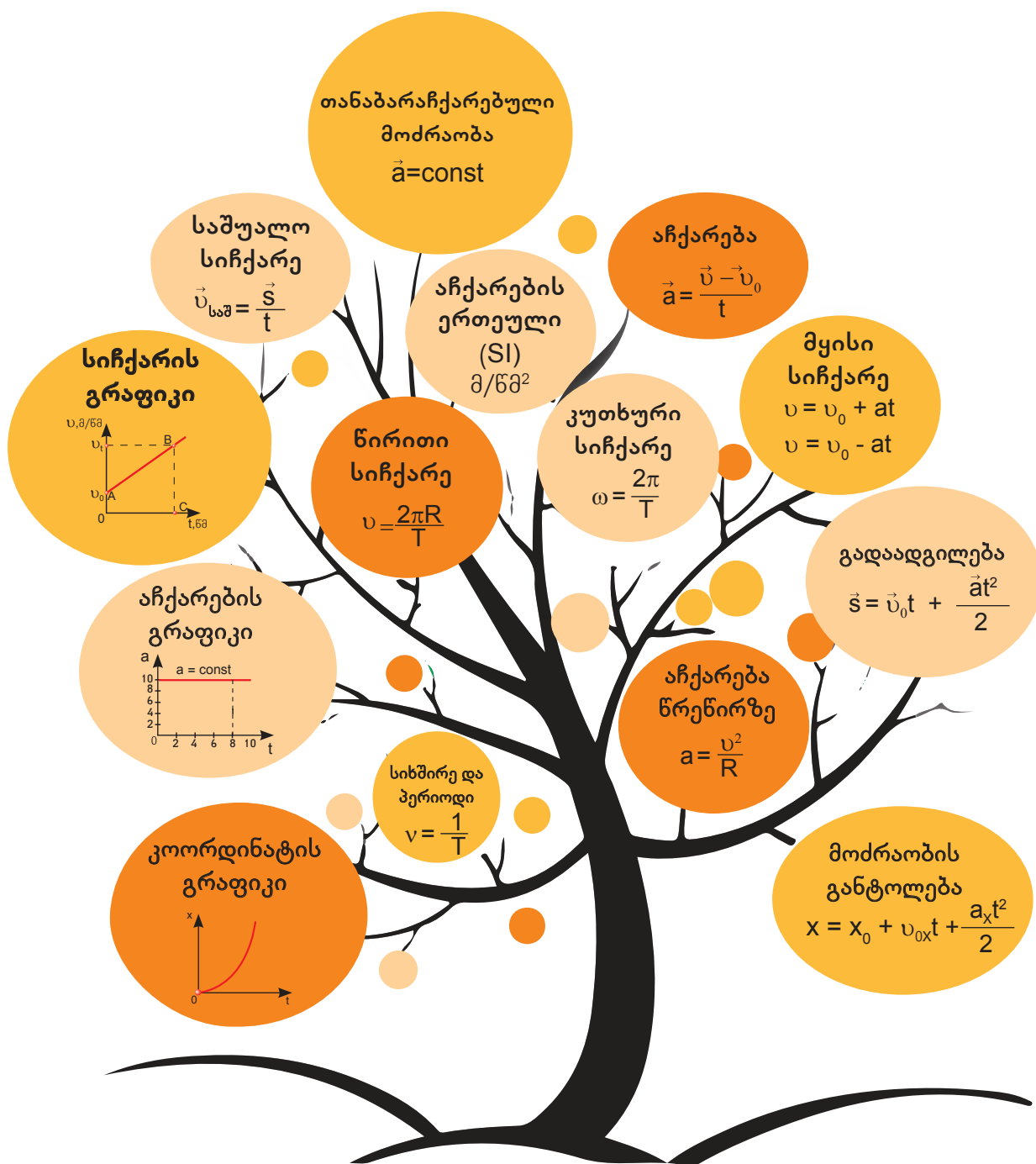
კურვიმეტრით რუკაზე გაზომე სანაპირო ზოლის სიგრძე და ხაზოვანი მასშტაბის გამოყენებით გამოთვალე შენ მიერ გავლილი მანძილი და გადაადგილების მოდული.

ინტერნეტით მოიძიე საქართველოს საზღვრის სიგრძე და შეადარე შენი გაზომვის შედეგებს.



აღწერე შენ მიერ შესრულებული სამუშაო და პასუხი გაეცი კითხვებს:

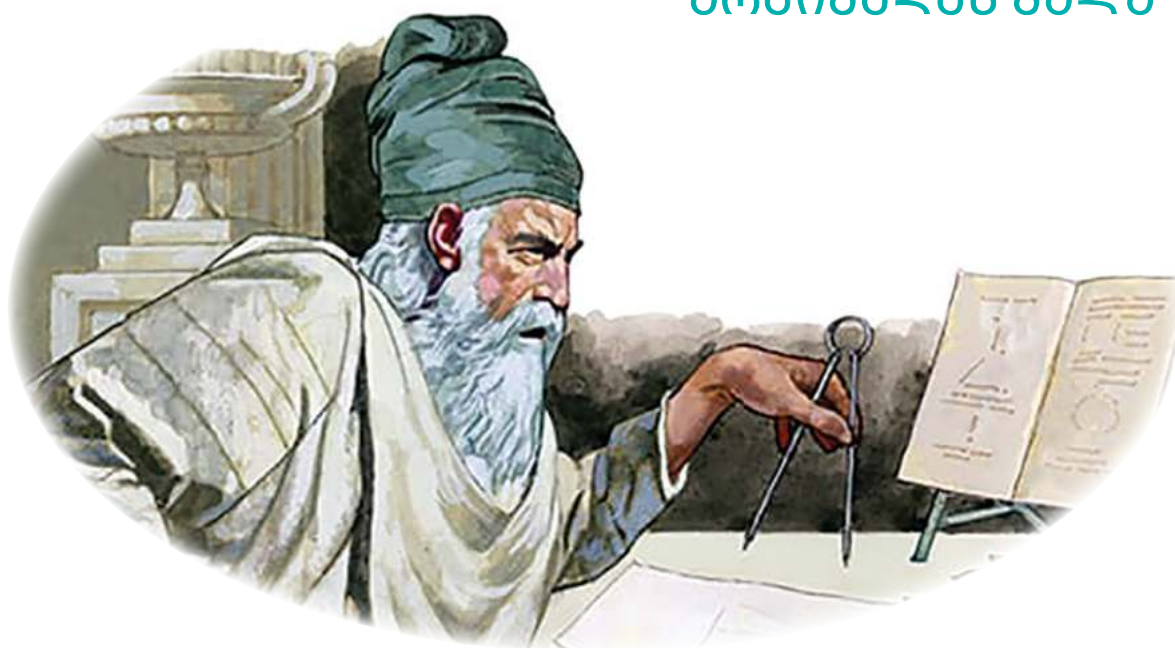
1. რას ეწოდება ტრაექტორია?
2. რა სახისაა ტრაექტორიები?
3. რატომ არის ტრაექტორია დამოკიდებული ათვლის სისტემის არჩევაზე?
4. რა დანიშნულებით იყენებენ კურვიმეტრს?



მეორე თავის მოკლე
დასკვნები

თავი 3. ბუნების ძალები

არქიმედეს ძალა



შეისწავლი:

- სითხესა და აირში მოქმედ ამომგდებ (არქიმედეს) ძალას;
- სხეულების ცურვის პირობებს;
- გემების ცურვისა და ჰაერნაოსნობის საფუძვლებს.

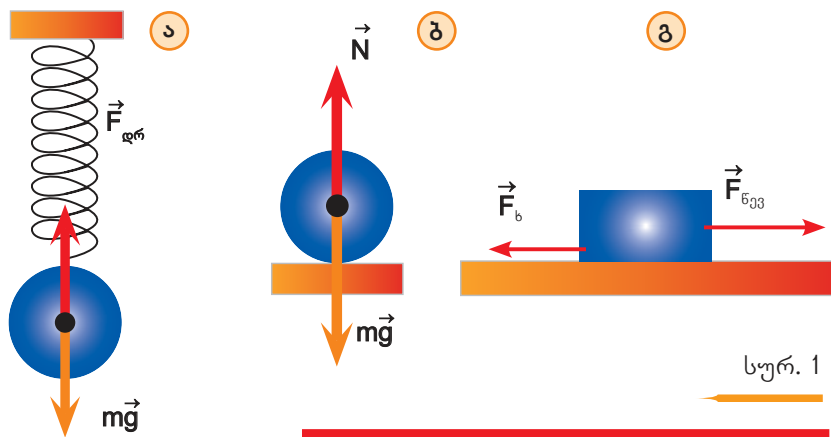
შეძლებ და დაეუფლები:

- მსჯელობას ბუნების ძალების შესახებ;
- დრეკადობის, ხახუნის, სიმძიმისა და არქიმედეს ძალების დახასიათებას და სხეულზე ამ ძალების მოქმედების ერთმანეთისგან განსხვავებას;
- ამომგდები ძალის ექსპერიმენტულ კვლევას.

3.1. ძალა

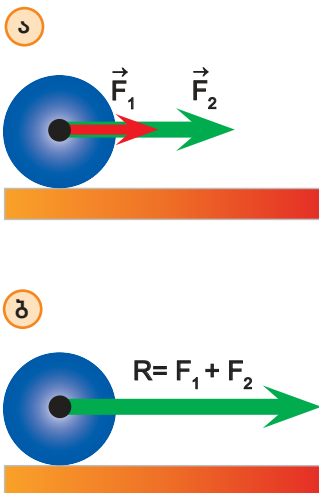
იზიარე და იმსჯელე

რა ძალები მოქმედებენ სხეულებზე?

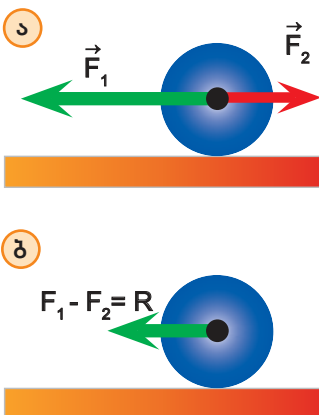


სურ. 1

გავლილი მასალის გაშეორება



სურ. 2



სურ. 3

ბუნებაში ურთიერთქმედების გამოვლენის სხვადასხვა მაგალითს ხვდებით: დედამინა იზიდავს სხეულებს სიმძიმის ძალით, გაჭიმული ზამბარა იკუმშება დრეკადობის ძალით, სხეულების რაიმე ზედაპირზე მოძრაობისას წარმოიქმნება ხახუნის ძალა, რომელიც მოძრაობას აფერხებს, დამუხტული სხეულები იზიდავენ ან განიზიდავენ ერთმანეთს. მაგნიტი იზიდავს რკინის სხეულებს. სიტხეში ჩაშვებულ სხეულებზე სიმძიმის ძალის გარდა მოქმედებს ამომგდები ძალა.

მეცნიერებმა შეისწავლეს სხეულზე მოქმედი ძალები და მივიდნენ დასკვნამდე, რომ ურთიერთქმედების განსხვავებული ბუნების ძალები არსებობს: გრავიტაციული, ელექტრომაგნიტური, ძლიერი და სუსტი (გრავიტაციული ყველაზე სუსტია).

მექანიკის შესწავლის დროს განიხილება ისეთი ძალები, რომლებიც მიეკუთვნება გრავიტაციულ ან ელექტრომაგნიტურ ურთიერთქმედებას. მაგალითად, სიმძიმის ძალა გრავიტაციული ურთიერთქმედების ბუნებისაა, ხოლო დრეკადობისა და ხახუნის ძალა ელექტრომაგნიტური ბუნების.

ძალის მოქმედების შედეგად სხეულები იცვლიან სიჩქარეს ან დეფორმირდებიან.

ძალა ვექტორული სიდიდეა. იგი სამი არსებითი ნიშნით ხასიათდება:

1. მოდების წერტილით; 2. მიმართულებით; 3. მოდულით.

სხეულზე შეიძლება ერთდროულად რამდენიმე ძალა მოქმედებდეს. თუმცა ამ ძალების მოქმედების ისეთივე შედეგი შეიძლება გამოიწვიოს ერთმა ძალამ (სურ. 2, 3).

ძალას, რომელიც სხეულზე ისევე მოქმედებს, როგორც რამდენიმე ძალა ერთად, ძალთა ტოლქმედი ეწოდება.

წონა.

ძალა, რომლითაც სხეული აწვებს საყრდენს ან ჭიმავს საკიდელს, არის წონა (P).

წონა მოდებულია საყრდენზე ან საკიდელზე (სურ. 4 ა,ბ).

რადგან სხეულის წონა ძალაა, ამიტომ მისი ერთეულია ნიუტონი (ნ). როცა სხეული დედამიწის მიმართ უძრავ პოზი-

ზონტალურ საყრდენზე მოთავსებული ან უძრავ საკიდელზე კიდია, მაშინ წონის რიცხვითი მნიშვნელობა სხეულის სიმძიმის ძალის ტოლია. იგივეა წონის რიცხვითი მნიშვნელობა, თუ საყრდენი და საკიდელი მოძრაობს წრფივად და თანაბრად.

$$P = F_{\text{სიმ}} = mg$$

● წნევა.

ძალის რაიმე ზედაპირზე ზემოქმედების შედეგის დამახასიათებელია ფიზიკური სიდიდე, რომელსაც წნევა ეწოდება.

წნევა (p) არის ფიზიკური სიდიდე, რომელიც გამოითვლება საყრდენ (S) ფართობზე მართობულად მოქმედი (F) ძალის შეფარდებით ამ საყრდენის ფართობთან.

$$p = \frac{F}{S},$$

წნევა რიცხობრივად საყრდენი ფართობის ერთეულზე მართობულად მოქმედი ძალის ტოლია (სურ. 5).

SI სისტემაში წნევის ერთეულია პასკალი.

$$1 \text{ პა} = 1 \frac{\text{ნ}}{\text{მ}^2}$$

ჭურჭელში, რომლის ფუძის ფართობია S, ჩასხმულია სითხე h სიმაღლეზე (სურ. 6). უძრავი სითხის წნევა ჭურჭლის ფსკერსა და კედლებზე გამოითვლება ფორმულით:

$$p = \rho gh.$$

უძრავი სითხის წნევა ჭურჭლის ფსკერსა და კედლებზე დამოკიდებულია სითხის სიმკვრივეზე, თავისუფალი ვარდნის აჩქარებასა და ფსკერის მართობული სითხის სვეტის სიმაღლეზე.

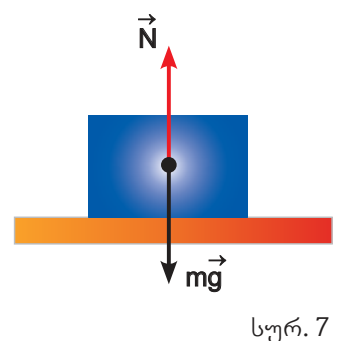
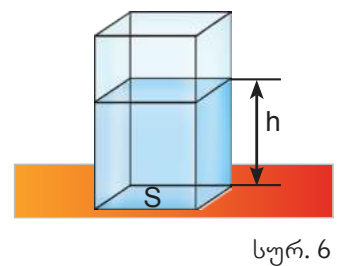
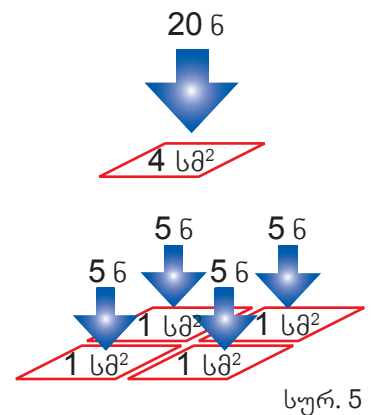
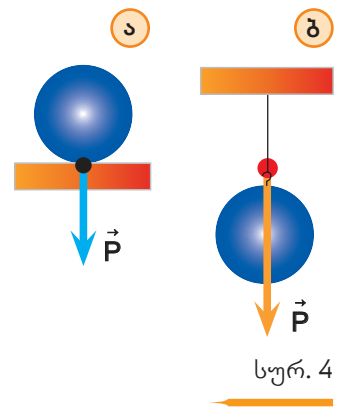
სითხის წნევა არ არის დამოკიდებული ჭურჭლის ფორმაზე.

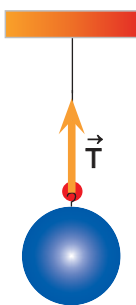
● დრეკადობის ძალა.

მყარ სხეულზე ძალების მოქმედების შედეგად უმეტეს შემთხვევაში იცვლება მათი ან ფორმა, ან ზომა (მოცულობა), ან ორივე ერთად. სხეულის ფორმისა და მოცულობის ცვლილებას **დეფორმაცია** ეწოდება.

მადეფორმირებელი ძალის მოქმედების შედეგად სხეულში აღიძვრება დრეკადობის ძალა, რომელიც ეწინააღმდეგება დეფორმაციას. საყრდენზე მოთავსებულ სხეულზე მოქმედ დრეკადობის ძალას საყრდენის (N) **რეაქციის ძალას** უწოდებენ (სურ. 7), ხოლო საკიდელში აღძრულ დრეკადობის ძალას ($\vec{T}$) **დაჭიმულობის ძალას** (სურ. 8).

დეფორმაციისას იცვლება სხეულის შემადგენელ უმცირეს ნაწილაკებს — ატომებს შორის მანძილი. ატომებს შორის მანძილის ცვლილება იწვევს მათ შორის არსებული როგორც მიზიდვის, ასევე განზიდვის ძალის ცვლილებას. ამიტომ სხეულის გაჭიმვისას ატომებს შორის არსებული მიზიდვის ძალა ცდილობს შეაფერხოს ჭიმვის პროცესი, ხოლო შეკუმშვისას კი ატომებს შორის არსებული განზიდვის ძალა ეწინააღმდეგება შეკუმშვას.





სურ. 8

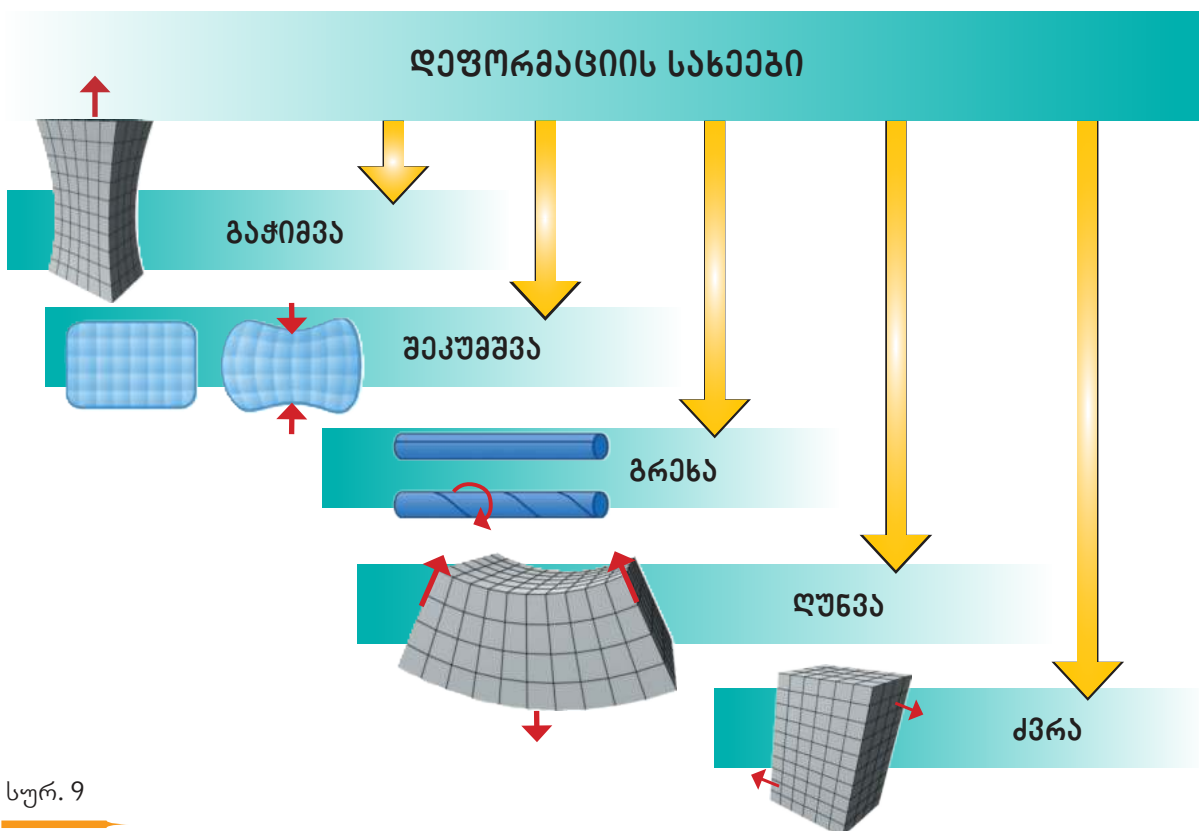
თუ ძალის მოქმედების შეწყვეტის შემდეგ სხეული აღიდგენს საწყის ფორმას, მაშინ ასეთ დეფორმაციას **დრეკადი დეფორმაცია** ეწოდება.

დეფორმაციას, რომელიც ძალის მოქმედების შეწყვეტის შემდეგ არ ქრება, ე. ი. სხეული არ აღიდგენს საწყის ფორმას, **პლასტიკური დეფორმაცია** ეწოდება. თუ დეფორმაციის შედეგად სხეული ნაწილობრივ დეფორმირებული რჩება, მაშინ დეფორმაციის სიდიდე აღემატება დრეკადი დეფორმაციის ფარგლებს და სხეულს აქვს ნარჩენი დეფორმაცია. შესაბამისად, არსებობს **დრეკადი და პლასტიკური სხეულები**. მაგალითად, ფოლადი და რეზინა დრეკადია, პლასტილინი – პლასტიკური. სხეულების დრეკადი და პლასტიკური თვისებების გარდა გამოარჩევენ მათ **სიმყიფეს**. მასალა მყიფეა, თუ ის ირღვევა მცირე დეფორმაციისას. მაგალითად, მინა და ფაიფური. უნდა აღინიშნოს აგრეთვე, რომ ბუნებაში აბსოლუტურად დრეკადი სხეული არ არსებობს.

ფორმის ცვლილების ხასიათის მიხედვით შეიძლება განვასხვაოთ დეფორმაციის სახეები: გაჭიმვა, შეკუმშვა, გრეხა, ღუნვა, ძვრა (სურ. 9).

გაჭიმვისას სხეულის წაგრძელებით მისი განივკვეთის ფართობი მცირდება. ეს მოვლენა ვლინდება: რეზინის ზონარის, გიტარის სიმების, ელექტროგადამცემი ხაზების და სხვათა გაჭიმვისას. შეკუმშვის დეფორმაცია კარგად ჩანს რბილ რეზინზე.

ძვრის დეფორმაცია გამოწვეულია ორი, მოდულით ტოლი და საწინააღმდეგოდ მიმართული ძალის მოქმედებით. ძვრის დროს სხეულში აზრობრივად გამოხატული ყველა მართკუთ-



სურ. 9

ხედი გარდაიქმნება პარალელოგრამად. ძვრის დეფორმაცია აღიძვრება ყველა სხეულში მათი უძრაობისა და სრიალის ხახუნის დროს.

გრეხვის დეფორმაციაზე დაკვირვებისათვის რეზინის მოგრძო ფორმის საშლელი შეიძლება მოვატრიალოთ სხვადასხვა მიმართულებით. მაშინ ამ რეზინაში გატარებული გრძივი ხაზი მიიღებს ხრახნის ფორმას. გრეხით დეფორმაციას განიცდის ქანჩის სახელური ჩახრახნისას.

ლუნვის დეფორმაციას განიცდის შენობის ჭერის ფილები, რკინიგზის რელსები, ბერკეტები. ყველა სახის დეფორმაცია შეიძლება განხილულ იქნეს, როგორც ჭიმვის, კუმშვისა და ძვრის დეფორმაცია.

● ჰუკის კანონი.

ჰუკის კანონის თანახმად, სხეულის დრეკადი დეფორმაციისას აღძრული დრეკადობის ძალა დეფორმაციის სიდიდის პირდაპირპროპორციულია და მიმართულია დეფორმაციის გამომწვევი ძალის საწინააღმდეგოდ (სურ. 10).

$$F_{\text{დრ}} = -kx,$$

სადაც k არის სიხისტე, x – დეფორმაციის სიდიდე, ანუ ზამბარის წაგრძელების ან შეკუმშვის სიდიდე. ნიშანი „–“ მიუთითებს, რომ დრეკადობის ძალისა და მადეფორმირებელი ძალის მოქმედებით გამოწვეული დეფორმაცია ურთიერთსაწინააღმდეგოა.

სხეულის სიხისტე:

$$k = \frac{F_{\text{დრ}}}{|x|}.$$

სიხისტის ერთეულია (SI სისტემაში) $\frac{6}{9}$.

სხეულის სიხისტე დამოკიდებულია სხეულის ფორმაზე, ზომასა და სხეულის მასალაზე.

ჰუკის კანონი სამართლიანია მხოლოდ დრეკადი დეფორმაციისთვის.

სხეულის დეფორმაციისას მასში წარმოიქმნება მექანიკური ძაბვა.

მექანიკური ძაბვა არის ფიზიკური სიდიდე, რომელიც ტოლია სხეულზე მართობულად მოქმედი F დრეკადობის ძალის შეფარდებისა სხეულის განივკვეთის S ფართობთან.

$$\sigma = \frac{F}{S}. \quad (1)$$

მექანიკური ძაბვის ერთეულია: $1 \frac{6}{9^2} = 1 \text{ პა.}$

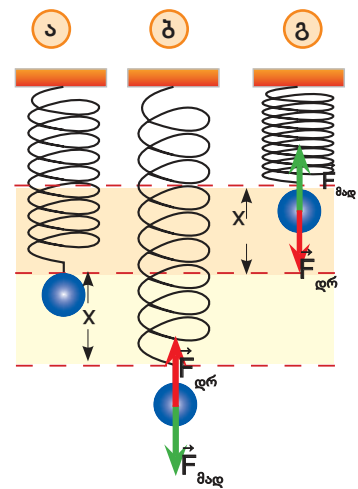
დეფორმირებული სხეულის L_0 საწყისი და საბოლოო L სიგრძის სხვაობას აბსოლუტური დეფორმაცია ეწოდება.

$$\Delta L = L - L_0$$

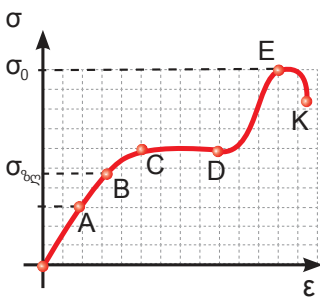
აბსოლუტური დეფორმაციის შეფარდებას მის საწყის სიგრძესთან ფარდობითი დეფორმაცია ეწოდება.

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0}. \quad (2)$$

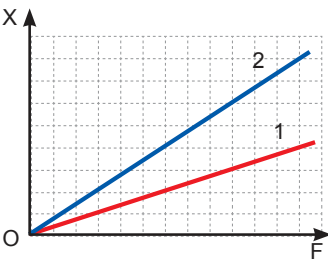
სხეულის დეფორმაციისას მექანიკური ძაბვის დამოკიდებულებას ფარდობით დეფორმაციაზე რთული სახე აქვს. მას



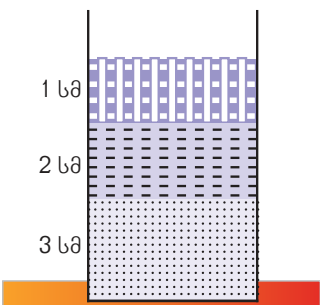
სურ. 10



სურ. 11



სურ. 12



სურ. 13

გაჭიმვის დიაგრამას უწოდებენ (სურ. 11). OA უბანზე σ -ს დამოკიდებულება ϵ -ზე წრფივია, პირდაპირპროპორციულია. ამ უბანზე სრულდება ჰუკის კანონი.

მაქსიმალური ძაბვა, რომელზედაც ჯერ კიდევ არ წარმოიქმნება შესამჩნევი ნარჩენი დეფორმაცია, ეწოდება $\sigma_{\text{ზღ}}$ **დრეკადობის ზღვრული ძაბვა**. CD უბანზე სხეულის წაგრძელება პრაქტიკულად აღარ არის დამოკიდებული დატვირთვის მომატებაზე. ამ მოვლენას **ნივთიერების დენადობა** ჰქვია. ასეთი დეფორმაციისას სხეული ჯერ კიდევ ინარჩუნებს მთლიანობას. შემდგომი დეფორმაციისას, E წერტილში, ძაბვა არის მაქსიმალური, რომელზე მეტსაც ეს სხეული ვერ უძლებს და იგი ირღვევა. σ_0 ძაბვას სხეულის **სიმტკიცის ზღვარი** ეწოდება.

ექსპერიმენტებით მტკიცდება, რომ დრეკადობის ძალა დრეკადი დეფორმაციისას პირდაპირპროპორციულია სხეულის განივკვეთის ფართობისა, მისი აბსოლუტური დეფორმაციის და უკუპროპორციულია საწყისი სიგრძის.

$$F = E \frac{\Delta L}{L_0} \cdot$$

აქედან, (1) და (2) ფორმულების გათვალისწინებით, მივიღებთ:

$$\sigma = E \epsilon \cdot$$

ამგვარად, ჰუკის კანონი ასე გამოითქმის:

მექანიკური ძაბვა დრეკადი დეფორმაციისას პირდაპირპროპორციულია სხეულის ფარდობითი დეფორმაციისა.

E-ს ეწოდება **დრეკადობის მოდული**, ანუ **იუნგის მოდული**. იუნგის მოდული იზომება პასკალებში.

შენიშვნის დაპროექტებისას ითვალისწინებენ ისეთი მასალების გამოყენებას, რომელთა სიმტკიცის ზღვარი დიდია.



ბაზრება

1. იპოვე ძაბვა ფოლადის ბაგირში მისი 0,001 ფარდობითი წაგრძელებისას (იუნგის მოდული $E_{\text{ფოლ}} = 200$ გპა).
2. იმსჯელე, სურათზე გამოსახული გრაფიკის მიხედვით, რომელი ზამბარაა უფრო ხისტი (სურ. 12)?



საშინაო დავალება

1. სხეულზე მოქმედებს 3 ნ და 4 ნ ჩრდილოეთით მიმართული ორი ძალა და 2 ნ სამხრეთით მიმართული ერთი ძალა. რა ძალა გაანონასწორებს მათ მოქმედებას და რომელ მხარეს იქნება მიმართული?
2. ჭიქაში ჩასხმულია სამი სითხე: ზეთი, ვერცხლისწყალი და წყალი. გამოთვალე სითხეების წნევა ფსკერზე. როგორი თანმიმდევრობით განლაგდებიან ისინი ჭიქაში. გამოთვალე წნევა ჭურჭლის ფსკერზე (სურ. 13)?

ცხრილი 1

ნივთიერება	სიმკვრივე (გ/სმ³)
ზეთი	0,9
წყალი	1
ვერცხლისწყალი	13,6

3.2. ამომგდები ძალის ქსპერიმენტული კვლევა



I ქსპერიმენტი დაკვირვება ამომგდებ ძალაზე

მოცემული გაქვს: წყლიანი ჭურჭელი, ბურთი (მაგ., მაგიდის ჩოგ-ბურთის), რომელსაც შეუძლია წყალში ტივტივი.

მსვლელობა: უბიძგე წყალში მოთავსებულ სხეულს ზემოდან ისე რომ ჩაიძიროს. დააკვირდი, როგორ ამოძრავდება სხეული ბიძგის შემდეგ. აღწერე დამზერილი მოვლენა.

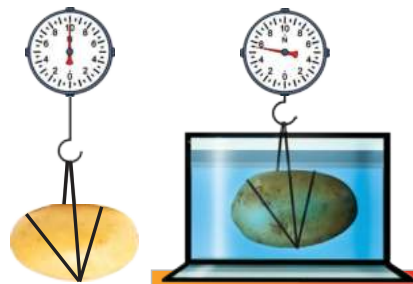
გამოიტანე დასკვნა: როგორია იმ ძალის მიმართულება, რომელმაც ამოაგდო სხეული წყლიდან?



II ქსპერიმენტი დაკვირვება ამომგდებ ძალაზე

მოცემული გაქვს: ჭიქა, დინამომეტრი, წყალი, ზეთი, ნებისმიერი სხეული (მაგ., კარტოფილის პატარა ბოლქვი).

მსვლელობა: დინამომეტრის გამოყენებით აწონე სხეული ჰაერში და ჩვენება შეიტანე ცხრილში. იგივე სხეული მოათავსე წყალში. კვლავ აითვალე დინამომეტრის ჩვენება. გამოთვალე სხეულის წონათა სხვაობა ჰაერსა და წყალში. ცდის შედეგები შეიტანე ცხრილში. აღწერე დამზერილი მოვლენა. გამოიტანე დასკვნა. რატომ შემცირდა სხეულის წონა წყალში? იგივე ცდა ჩაატარე ისე რომ წყლის ნაცვლად ჭიქაში ჩაასხი ზეთი. ცდის შედეგები შეიტანე ცხრილში.



აღწერე დამზერილი მოვლენა. შეადარე სხეულზე მოქმედი ამომგდები ძალები წყალსა და ზეთში.

გამოიტანე დასკვნა: ამომგდები ძალის სიძიხის სიმკვერვეზე დამოკიდებულის შესახებ.

ცდის №	სხეულის წონა ჰაერში	სხეულის წონა სითხეში	ამომგდები ძალა
1			



III ქსპერიმენტი დაკვირვება ამომგდებ ძალაზე

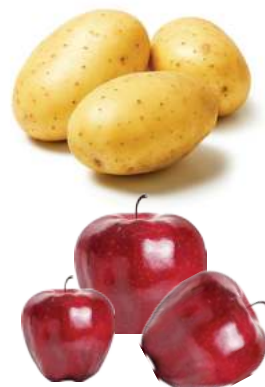
მოცემული გაქვს: ჭიქა, დინამომეტრი, წყალი, ერთი ჯიშის სხვადასხვა ზომის კარტოფილი ან ვაშლი.

მსვლელობა: დინამომეტრის გამოყენებით აწონე მცირე ზომის კარტოფილი ჰაერში და ჩვენება შეიტანე ცხრილში. იგივე კარტოფილი მოათავსე წყალში. კვლავ აითვალე დინამომეტრის ჩვენება. გამოთვალე სხეულის წონათა სხვაობა ჰაერსა და წყალში. ცდის შედეგები შეიტანე ცხრილში. იგივე ცდა ჩაატარე სხვადასხვა ზომის კარტოფილზე. ცდის შედეგები შეიტანე ცხრილში.

აღწერე დამზერილი მოვლენა. შეადარე სხეულზე მოქმედი ამომგდები ძალები.

გამოიტანე დასკვნა. როგორ არის დამოკიდებული ამომგდები ძალა სხეულის მოცულობაზე?

ცდის №	დიდი სხეულის წონა ჰაერში	დიდი სხეულის წონა წყალში	ამომგდები ძალა	მცირე სხეულის წონა ჰაერში	მცირე სხეულის წონა წყალში	ამომგდები ძალა
1						





IV ექსპერიმენტი ამომგდები ძალის გაზომვა

მოცემული გაქვს: სასხმელიანი ჭიქა, დინამომეტრი, წყალი, ცარიელი ჭიქა წყლისათვის, სხელი.

მსვლელობა: სხელი დაჰკიდე დინამომეტრზე და გაზომე მისი წონა ჰაერში P_3 .

სასხმელიანი ჭიქა შეავსე წყლით (სურ. ა). ცარიელი ჭიქა მიადგი ისე რომ ტუჩიდან წყალი მასში ჩაიღვაროს. შემდეგ დინამომეტრიანი სხელი ჩაუშვი სასხმელიან ჭიქაში (სურ. ბ). გაიხსენე, რომ სითხეში ჩაძირული სხელი თავისი მოცულობის ტოლი მოცულობის წყალს გამოდევნის. აითვალე დინამომეტრის ჩვენება წყალში ჩაშვების შემდეგ – $P_{წყ}$. გაიგე სასხმელიანი ჭიქიდან სხელის მიერ გამოდევნილი წყლის წონა.

(მითითება: ჯერ აწონე ჭიქა გამოდევნილი წყლით, შემდეგ იგივე ცარიელი ჭიქა. გამოთვალე მათ შორის სხვაობა).

შეადარე გამოდევნილი წყლის წონა ამომგდები ძალის სიდიდეს $P_3 - P_{წყ}$. გააანალიზე ცდის შედეგი და **გამოიტანე დასკვნა**.



აზრობრივი ექსპერიმენტი

- წარმოიდგინე, ბერკეტისანი სასწორის მხრებზე დაკიდებულია ორი ერთნაირი მასისა და მოცულობის ბურთულა. სასწორი გაწონასწორებულია. ერთი ბურთულა მოათავსეს წყალში (სურ. ა), მეორე — ზეთში (სურ. ბ). დაირღვევა თუ არა სასწორის წონასწორობა?

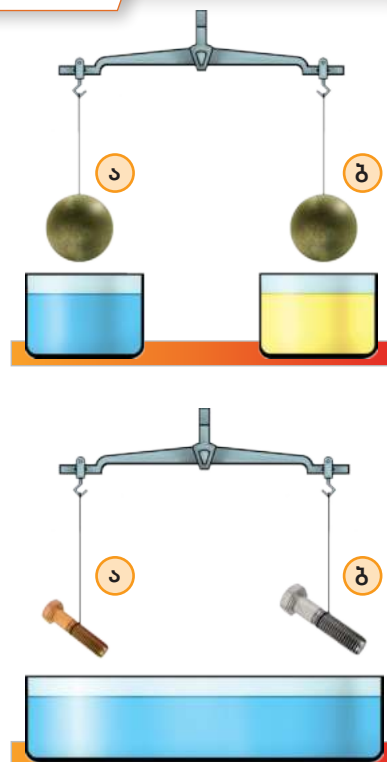
გამოიტანე დასკვნა: რატომ დაირღვა სასწორის წონასწორობა. რომელ ბურთულაზე იმოქმედებს მეტი ამომგდები ძალა?

- წარმოიდგინე, ბერკეტისანი სასწორის მხრებზე დაკიდებულია სპილენძისა (სურ. ა) და ფოლადის (სურ. ბ) ჭანჭიკები. სასწორი გაწონასწორებულია. ივარაუდე, დაირღვევა თუ არა წონასწორობა, თუ ორივე ჭანჭიკს ჩაუშვებ წყალში?

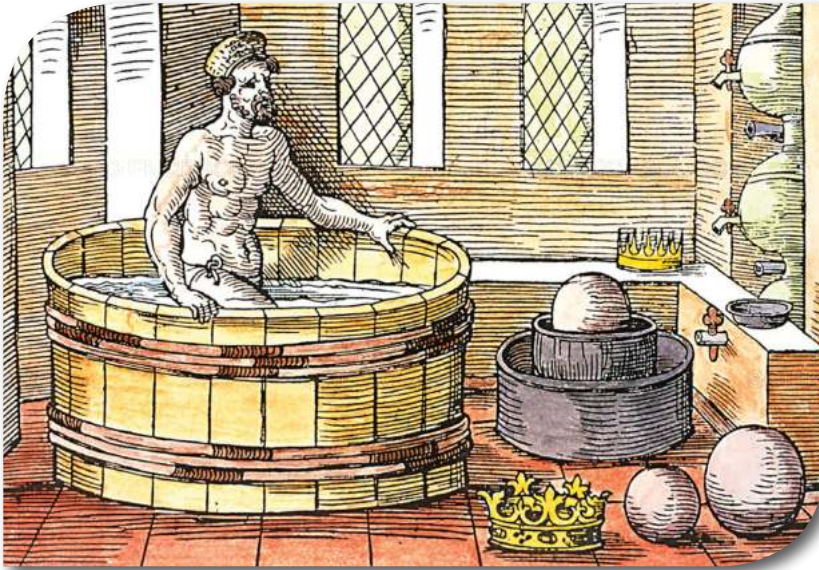
გამოიტანე დასკვნა: რატომ დაირღვა სასწორის წონასწორობა. რომელ ჭანჭიკზე იმოქმედებს მეტი ამომგდები ძალა?

შენ მიერ გამოტანილი დასკვნების ექსპერიმენტულად შემოწმების მიზნით შეადგინე ექსპერიმენტების ჩატარების გეგმა და ჩაატარე ცდები. აზრობრივად მიღებული დასკვნები და ექსპერიმენტების შედეგები შეადარე ერთმანეთს.

გამოიტანე დასკვნა.



3.3. არქიმედეს კანონი



იზიარა და იმსჯელე

რა აღმოაჩინა
არქიმედემ?

სურ. 14

სითხეში მოთავსებულ სხეულზე მოქმედი ამომგდები ძალის არსებობა არქიმედემ აღმოაჩინა. ამიტომ ამომგდებ ძალას **არქიმედეს ძალასაც** უწოდებენ.

ისტორიული ლეგენდის თანახმად, ჩვენს წელთაღრიცხვამდე III საუკუნეში ძველი საბერძნეთის ქალაქ სირაკუზის მეფემ ჰერონ II-მ გადაწყვიტა უკვდავი ღმერთებისთვის მადლიერების ნიშნად სამეფო გვირგვინი შეეწირა. მან ოსტატს საჭირო რაოდენობის ოქრო გადასცა და გვირგვინი შეუკეთა. დანიშნულ დროს ოსტატმა მეფეს გვირგვინი მიუტანა.

მეფემ ცნობილ მეცნიერს – არქიმედეს სთხოვა დაედგინა სუფთა ოქროსგან დაუმზადა თუ არა ოსტატმა მას გვირგვინი.

დიდი მეცნიერი განუწყვეტლივ ფიქრობდა ამ პრობლემაზე და ერთხელ, როცა აბაზანაში იწვა, ბრწყინვალე აზრი მოუვიდა თავში: სხეული სითხეში ჩაშვებისას საკუთარი მოცულობის ტოლ სითხეს გამოდევნის. შესაბამისად, თუ გვირგვინს წყალში ჩაუშვებდა, გამოდევნილი წყლის მოცულობა გვირგვინის მოცულობის ტოლი იქნებოდა (სურ. 15). ლეგენდის თანახმად, არქიმედე თავის მიგნებამ ისე გაახარა, რომ შიშველი გამოვარდა ქუჩაში შედახილით: „ევრიკა!“ რაც ნიშნავდა „ვიპოვე!“, „აღმოვაჩინე!“. ასე „დაიბადა“ არქიმედეს კანონი.

ცდის შედეგების ანალიზიდან გამომდინარეობს, რომ უძრავ სითხეში მოთავსებულ სხეულზე მოქმედი ამომგდები ძალის სიდიდე ამ სხეულის მიერ გამოდევნილი სითხის წონის ტოლია:

$$F_a = P_{\text{სითხ.}}$$

სითხის წონა:

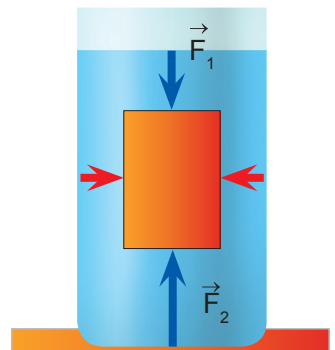
$$P_{\text{სითხ.}} = g m_{\text{სითხ.}}$$

სითხეში ჩაძირული სხეულის ან სხეულის ჩაძირული ნაწილის მიერ გამოდევნილი სითხის მოცულობა აღვნიშნოთ $V_{\text{სხ.}}$ -ით (გაიხსენე, რომ გამოდევნილი სითხის მოცულობა მასში მთლიანად ჩაშვებული სხეულის მოცულობის ტოლია).

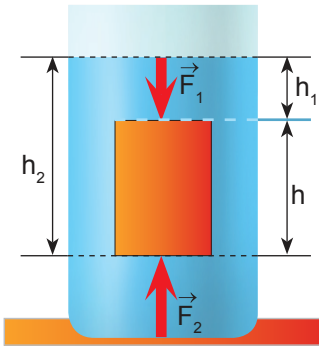
$$V_{\text{სხ.}} = V_{\text{სითხ.}}$$



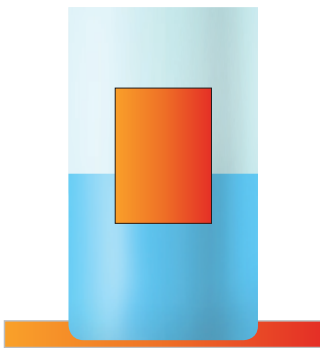
სურ. 15



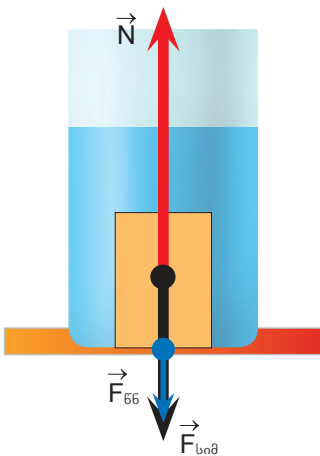
სურ. 16



სურ. 17



სურ. 18



სურ. 19

სითხის მასა:

$$m_{\text{სითხ}} = \rho_{\text{სითხ}} V_{\text{სხ}}$$

მაშინ:

$$F_{\text{ა}} = \rho_{\text{სითხ}} g V_{\text{სხ}}.$$

არქიმედეს (ამომგდები) ძალა დამოკიდებულია სითხის სიმკვრივეზე, მასში ჩაძირული სხეულის მიერ გამოდევნილი სითხის მოცულობაზე, თავისუფალი ვარდნის აჩქარებაზე და მიმართულია სიმძიმის ძალის საპირისპიროდ.

სითხეში მოთავსებულ სხეულზე მოქმედი ამომგდები ძალის გამოთვლა ექსპერიმენტული მეთოდის გარდა, შესაძლებელია თეორიულად, მათემატიკური ფორმულებით.

დავუშვათ, წყლიან ჭიქაში მოთავსებულია პარალელეპიპედის ფორმის სხეული. სხეულზე მოქმედი წნევის ძალა გვერდით ნახნაგებზე ერთმანეთის ტოლია და ურთიერთსაწინააღმდეგოდ არის მიმართული. ამიტომ მათი ტოლქმედი ნულის ტოლი იქნება. ქვედა ნახნაგზე მოქმედი სითხის წნევის ძალა მეტია, ვიდრე ზედა ნახნაგზე (სურ. 16).

მართკუთხა პარალელეპიპედის ფორმის სხეულის ზედა ნახნაგზე სითხე იმოქმედებს F_1 წნევის ძალით (სურ. 17).

$$F_1 = p_1 S = \rho_{\text{სითხ.}} g S h_1.$$

სადაც

$$p_1 = \rho_{\text{სითხ.}} g h_1.$$

შესაბამისად, ქვედა ფუძეზე მოქმედი წნევის ძალა F_2 იქნება:

$$F_2 = p_2 S = \rho_{\text{სითხ.}} g S h_2.$$

სხეულის ქვედა ნახნაგზე h_2 სიმაღლის სითხის სვეტი მოქმედებს, ხოლო ზედა ნახნაგზე — h_1 სიმაღლის სვეტი. რადგან $h_2 > h_1$, ამიტომ ქვედა ნახნაგზე მოქმედი ძალაც $F_2 > F_1$. ამ ძალების ტოლქმედი მიმართულია ზევით და მოდულით ამომგდები ძალის ტოლია.

$$F_{\text{ა}} = F_2 - F_1 \quad \text{ანუ}$$

$$F_{\text{ა}} = \rho_{\text{სითხ.}} g S h_2 - \rho_{\text{სითხ.}} g S h_1 = \rho_{\text{სითხ.}} g S (h_2 - h_1).$$

$$\text{რადგან } h_2 - h_1 = h, \quad \text{ამიტომ } F_{\text{ა}} = \rho_{\text{სითხ.}} g S h.$$

სხეულის მოცულობა ტოლია ფუძის ფართობის ნამრავლისა სიმაღლეზე. $V = S h$, ამიტომ **არქიმედეს ძალა** გამოითვლება ფორმულით:

$$F_{\text{ა}} = \rho_{\text{სითხ.}} g V.$$

რადგან სხეულის მიერ გამოდევნილი სითხის მასაა:

$$m_{\text{სითხ.}} = \rho_{\text{სითხ.}} V, \quad \text{ამიტომ}$$

$$F_{\text{ა}} = m_{\text{სითხ.}} g = P_{\text{სითხ.}}$$

არქიმედეს ძალა რიცხობრივად ტოლია სხეულის მიერ გამოდევნილი სითხის წონისა.

არქიმედეს კანონი სამართლიანია არა მარტო სითხეებში, არამედ აირში მოთავსებული ნებისმიერი ფორმის სხეულებისთვისაც. ასევე, კანონი სამართლიანია, როცა სითხეში მხოლოდ სხეულის ნაწილია ჩაძირული, ნაწილი კი ზემოთაა (სურ. 18). მაშინ არქიმედეს ძალის გამოსათვლელ ფორმულაში სხეულის სრული მოცულობის ნაცვლად გასათვალისწინებელია მხოლოდ სითხეში ჩაშვებული ნაწილის მოცულობა.

თუ სხეული წყალში სრულადაა ჩაძირული და ფსკერზე დევს (სურ. 19), სხეულსა და ფსკერს შორის წყალი ვერ აღწევს, მაშინ მასზე ამომგდები ძალა აღარ მოქმედებს. წყალი აწევს სხეულს და მისი ამოღება წყლიდან გარეშე ძალის მოქმედების გარეშე შეუძლებელია. სხეულის სითხიდან ამოსაღებად საჭირო ძალის სიდიდემ უნდა გადააჭარბოს სხეულის სიმძიმისა და სხეულის ზედაპირზე მოქმედ სითხის წნევის ძალებს. ამიტომ წყალქვეშა გემები თუ წყლის ფსკერზე მოხვდებიან, მათთვის წყლიდან ამოსვლა დამოუკიდებლად შეუძლებელია.



ზაადრება

1. იმსჯელე, რატომ არის ძნელი ზღვის ან ოკეანის ფსკერზე ჩაძირული გემის ამოტანა წყლის ზედაპირზე?
2. იმსჯელე, წყალში მოთავსებულ რომელ ბურთულაზე მოქმედებს მეტი ამომგდები ძალა (სურ. 20)?
3. სხეული ჰაერში იწონის 10 ნ, ხოლო წყალში — 8 ნ. იმსჯელე და გამოთვალე, რა სიდიდის არქიმედეს ძალა მოქმედებს სხეულზე.
4. წყალში ჩაძირული კუბის წიბო 4სმ-ია. გამოთვალე კუბზე მოქმედი ამომგდები ძალა. იმსჯელე არქიმედეს ძალის სიდიდისა და მიმართულების შესახებ (სურ. 21).
5. სასწორზე მოთავსებული წყლიანი ჭურჭელი გაწონასწორებულია. იმსჯელე, როგორ შეიცვლება წონასწორობა წყალში ძაფზე დაკიდებული ბურთულის ჩაშვების შედეგად (სურ. 22)?

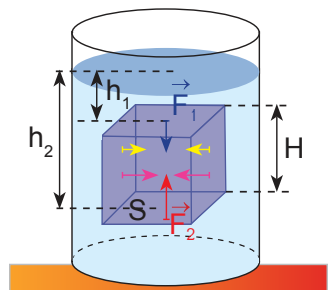


საშინაო დავალება

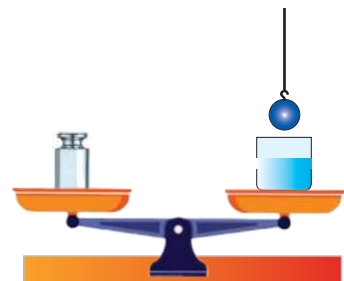
1. წყალში სრულად ჩაძირულია ორი ერთნაირი მოცულობის სხეული, რომელთა სიმკვრივეების შეფარდებაა 4 : 3. პირველ სხეულზე იმოქმედა 6 ნ-ის ტოლმა ამომგდებმა ძალამ. რისი ტოლია მეორე სხეულზე მოქმედი ამომგდები ძალა?
2. ნავთში მთლიანად ჩაძირული ფოლადის ბურთის მოცულობაა 400 სმ³. გამოთვალე არქიმედეს ძალა;
3. ვერცხლისწყალში სრულად ჩაძირულ ბურთულაზე მოქმედებს 136 ნ არქიმედეს ძალა. რა მოცულობისაა ბურთულა?
4. წყალში ნაწილობრივ ჩაძირულ 2,7 კგ ალუმინის სხეულზე 2,56 არქიმედეს ძალა მოქმედებს. სხეულის რა ნაწილია ჩაძირული წყალში?
5. რა მასის წყალს გამოდევნის სასხმელიან ჭიქაში მოთავსებული ფოლადის კუბის ფორმის სხეული, რომლის მასაა 500 გ? გამოთვალე ამომგდები ძალა (სურ. 23).
6. თუჯის ბურთულა ჰაერში იწონის 4,9 ნ, წყალში — 3,9 ნ. აქვს თუ არა ბურთულას სიღრუე?



სურ. 20



სურ. 21



სურ. 22



სურ. 23

3.4. სხეულის ცურვის პირობების ემსპერიმენტული კვლევა



I ემსპერიმენტი

1. მოცემული გაქვს: ჭიქა, წყალი. კორპის საცობი (მაგ., ღვინის ბოთლის), პატარა ლურსმნები.

მსვლელობა: წყლიან ჭიქაში ჩაყარე რამდენიმე რკინის ლურსმანი და კორპის საცობი. ცხრილში მოიძიე წყლის, რკინისა და კორპის სიმკვრივები. შეადარე ერთმანეთს. აღწერე ცდის შედეგი.

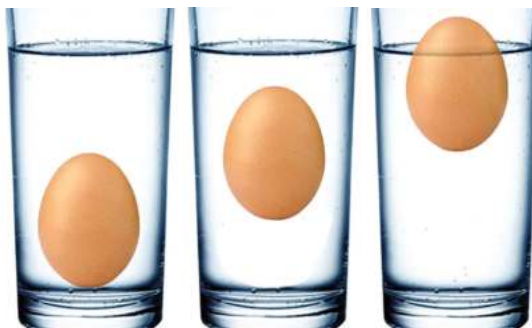
გამოიტანე დასკვნა: როგორ არის დამოკიდებული ცურვის პირობები სითხისა და სხეულის სიმკვრივზე? როდის ჩაიძრა და როდის ტივტივებდა სხეული სითხის ზედაპირზე?



2. მოცემული გაქვს: ჭიქა, წყალი, მარილი, უმი კვერცხი (ან კარტოფილის ბოლქვი).

მსვლელობა: მოათავსე ჭიქაში კვერცხი. დააკვირდი კვერცხის მდებარეობას. ჩაყარე ჭიქაში მარილი ისე, რომ ნაჯერი მარილწყალი მიიღო. აღწერე ცდა.

გამოიტანე დასკვნა: როგორ არის დამოკიდებული სხეულის ცურვის პირობები სითხის სიმკვრივეზე. რატომ ამოტივტივდა კვერცხი?



II ემსპერიმენტი

დაკვირვება სხეულის ცურვის პირობებზე მოდელის გამოყენებით

მოცემული გაქვს: ბურღულეული (მაგ., წინიბურა ან ბრინჯი), მინის ქილა, მაგიდის ჩოგბურთის ბურთი, რკინის პატარა ბურთულა.

მსვლელობა: 1. ჩაყარე ბრინჯი მინის ქილაში. მოათავსე მის ზედაპირზე მაგიდის ჩოგბურთის ბურთი. დახუფე ქილა და გადამოაბრუნე. გაითვალისწინე, რომ ბურთულა ფსკერს არ უნდა ეხებოდეს და ფსკერიდან დაშორებული უნდა იყოს რამდენიმე სანტიმეტრით. ამოძრავე ქილა ვერტიკალურ სიბრტყეში ზევით-ქვევით. აღწერე ცდის შედეგი.

2. მოათავსე რკინის ბურთულა ქილაში ბრინჯის ზედაპირზე და დახუფე. ამოძრავე ქილა ვერტიკალურ სიბრტყეში ზევით-ქვევით. აღწერე ცდის შედეგი;

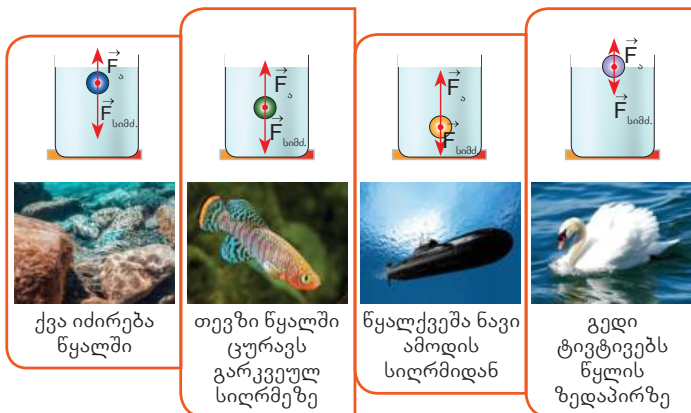
წარმოიდგინე, ბრინჯის მარცვლები სითხის მოლეკულებია, რომლებიც განუწყვეტლივ მოძრაობენ;

შეადარე ცდის შედეგები.

გამოიტანე დასკვნა: რა ანალოგიაა მოდელირებულ ცდებსა და რეალურ სითხეებში ცურვის პირობების დადგენის ცდებს შორის?



3.5. სხეულის ცურვის პირობები



იზიძრა და იმსჯელებს

რა შესაბამისობაა სქემებსა და სურათზე გამოსახულ სიტუაციებს შორის?

სურ. 24

სიმძიმისა და ამომგდები ძალების შედარებით დადგინდა:

● თუ სხეულზე მოქმედი **სიმძიმის ძალა მეტია არქიმედეს ძალაზე**, მაშინ სხეული იწყებს მოძრაობას სითხის ფსკერისკენ და იძირება (სურ. 25, ა).

$F_{\text{სიმ}} > F_{\text{ა}}$ ანუ $\rho_{\text{სხ}} g V_{\text{სხ}} > \rho_{\text{სითხ}} g V_{\text{სხ}}$. ე. ი. $\rho_{\text{სხ}} > \rho_{\text{სითხ}}$.

სხეული სითხეში იძირება, თუ მისი სიმკვრივე მეტია სითხის სიმკვრივეზე.

● თუ სხეულზე მოქმედი **სიმძიმის ძალა ტოლია არქიმედეს ძალისა**, მაშინ სხეული წონასწორობაშია სითხის შიგნით ნებისმიერ ადგილას (სურ. 25, ბ).

$F_{\text{სიმ}} = F_{\text{ა}}$ ანუ $\rho_{\text{სხ}} g V_{\text{სხ}} = \rho_{\text{სითხ}} g V_{\text{სხ}}$. ე. ი. $\rho_{\text{სხ}} = \rho_{\text{სითხ}}$.

სხეული ცურავს სითხეში ნებისმიერ სიღრმეზე, თუ სხეულისა და სითხის სიმკვრივები ტოლია.

● თუ **სიმძიმის ძალა ნაკლებია არქიმედეს ძალაზე**, მაშინ სხეული სითხის ზედაპირისკენ მოძრაობს (სურ. 25, გ).

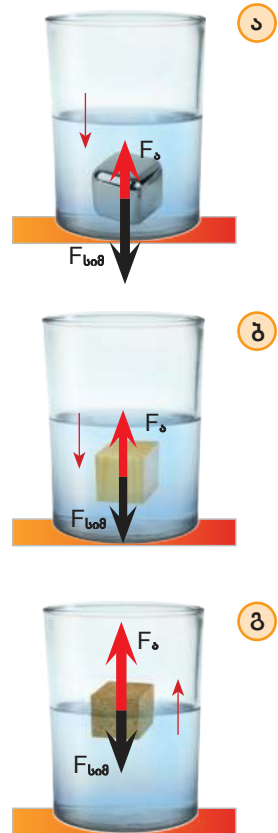
$F_{\text{სიმ}} < F_{\text{ა}}$ ანუ $\rho_{\text{სხ}} g V_{\text{სხ}} < \rho_{\text{სითხ}} g V_{\text{სხ}}$. ე. ი. $\rho_{\text{სხ}} < \rho_{\text{სითხ}}$.

სხეული ამოტივტივდება სითხის ზედაპირზე, თუ მისი სიმკვრივე ნაკლებია სითხის სიმკვრივეზე.

როდესაც სითხეში მოთავსებული სხეული იწყებს სითხის ზედაპირისკენ ამოტივტივებას, მასზე მოქმედი არქიმედეს ძალა იწყებს შემცირებას, რადგან მცირდება სხეულის მოცულობის ის ნაწილი, რომელიც სითხეშია ჩაძირული. ამ შემთხვევაში არქიმედეს ძალა ტოლია იმ სითხის წონისა, რომელიც გამოდევნა სხეულის სითხეში ჩაძირულმა ნაწილმა. როდესაც არქიმედეს ძალა გაუტოლდება სიმძიმის ძალას, სითხიდან ამოტივტივებული სხეული ცურავს სითხის ზედაპირზე.

სითხეში ცურვისას სხეულის წონა მცირდება, ამიტომ ადამიანებს აქვთ სიმსუბუქის შეგრძნება. ასეთი კომფორტული შეგრძნებები აქვთ ყველაზე დიდი მასის ცხოველებს, ვეშაპებს წყალში ცურვისას. მათ სანაპიროზე გამორიყვისას არსებობა უჭირთ და იღუპებიან.

წყალში ბინადარ ბევრ ცხოველს აქვს ისეთი შინაგანი ორგანოები, რომელთა დახმარებითაც შეუძლიათ ცვალონ საკუთარი მოცულობა. შესაბამისად, ისინი ცვლიან ჩაძირვის სიღრმეს. მაგ., მოლუსკი ნაუტილუსი ცურვისას მუდმივად იცვლის მოცულობას (სურ. 26).



სურ. 25



სურ. 26

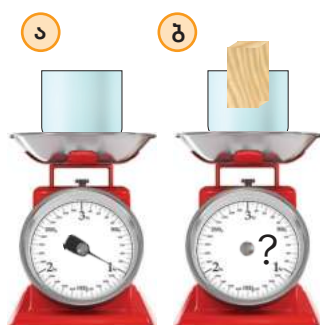
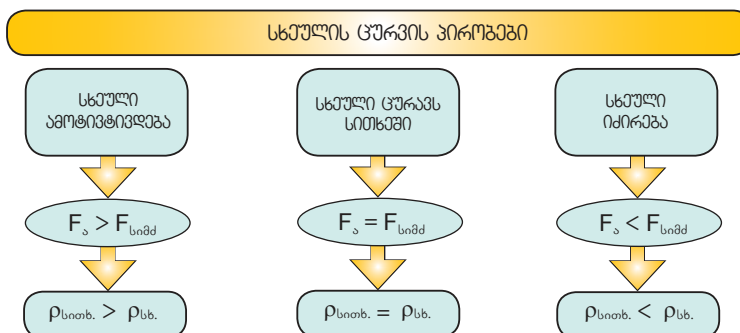


ბაზრება

1. სქემის მიხედვით იმსჯელე სხეულის ცურვის შესახებ.



სურ. 27

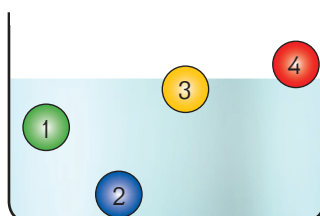


სურ. 28

- იმსჯელე, როგორ ცვლის თევზი წყალში ჩაძირვის სიღრმეს საცურაო ბუშტით, რომელიც მუცლის ღრუში აქვს (სურ. 27)?
- სასწორზე მოთავსებულია ჭურჭელი წყლით (სურ. 28, ა). იმსჯელე, როგორ შეიცვლება სასწორის ჩვენება ჭურჭელში ხის ძელაკის ჩაშვების შემდეგ, თუ ძელაკი წყალში ტივტივებს (სურ. 28, ბ)?
- იმსჯელე და დაალაგე წყალში მოთავსებული სხეულები სიმკვრივის ზრდადობის მიხედვით (სურ. 29).



საშინაო დავალება



სურ. 29

- სხეული ჰაერში იწონის 39 ნ-ს, წყალში კი — 34 ნ. დაადგინე სხეულის სიმკვრივე.
- წყალში მოტივტივე ერთგვაროვანი სხეული ჩაძირულია თავისი მოცულობის $\frac{3}{5}$ -ით. გამოთვალე სხეულის სიმკვრივე.
- სპილენძის ბურთულას, რომლის მასაა 445 გ, აქვს 450 სმ^3 მოცულობის სიღრუე. იტივტივებს თუ ჩაიძირება ასეთი ბურთულა წყალში?

აზრობრივი ექსპერიმენტი

სხეულის ცურვის პირობების კვლევა

წარმოიდგინე, ჭურჭელში, რომელშიც ასხია ვერცხლისწყალი, სიმინდის ნაყენი, გლიცერინი, წყალი და სიმინდის ზეთი, ჩაყარეს კუპრის ნაჭერი, პლასტმასის ნაჭერი, ხის ძელაკი, რეზინის ნაჭერი და სპილენძის ბურთულა. სიმკვრივის ცხრილის გამოყენებით დაადგინე თითოეული სხეულის მდებარეობა ჭურჭელში და წარმოადგინე სქემის სახით.

ცხრილი 2

სიმინდის ზეთი	900 კგ/მ ³
წყალი	1000 კგ/მ ³
გლიცერინი	1260 კგ/მ ³
სიმინდის ნაყენი	1380 კგ/მ ³
ვერცხლისწყალი	13600 კგ/მ ³

ცხრილი 3

კუპრი	1016 კგ/მ ³
სპილენძი	8800 კგ/მ ³
ხე	700 კგ/მ ³
რეზინი	1340 კგ/მ ³
პლასტმასი	930 კგ/მ ³



3.6. გემების ცურვა და ჰაერნაოსნობა

იფიქრე და იმსჯელე

ლურსმანი
წყალში
იძირება.
რატომ არ
იძირება გემი?



ასროლილი
ბურთი
ვარდება,
აფრენილი
აეროსტატი
კი – არა.
რატომ?

სხეულის ცურვის პირობების ცოდნა და არქიმედეს კანონი ადამიანებმა გამოიყენეს წყალში მცურავი ობიექტებისა და საფრენი აპარატების შესაქმნელად (სურ. 31, 32, 33).

ჰაერსა და წყალში ნაოსნობის განვითარების შედეგად კონსტრუქტორებმა და ინჟინრებმა შეძლეს შეერჩიათ მცურავი და მფრინავი ობიექტების შესაქმნელად საჭირო მასალები და მათთვის სპეციალური ფორმები მიეცათ.

წინათ ადამიანები თვლიდნენ, რომ მცურავი სხეულის დამზადებისთვის რკინა გამოუსადეგარი იყო, რადგან მისი სიმკვრივე გაცილებით მეტია წყლის სიმკვრივეზე. რკინის ფირფიტა წყალში იძირება, თუმცა რკინისგან აგებული გემი ცურავს.

გემი წყალში იმიტომ არ იძირება, რომ გემის ჩაძირული ნაწილი ღრუა და მის მიერ გამოდევნილი წყლის წონა აწონასწორებს გემის სიმძიმის ძალას (წონას). ე.ი. გემის საშუალო სიმკვრივე მასში არსებული ჰაერის გამო ნაკლებია წყლის სიმკვრივეზე. ამიტომ გემი ცურავს წყლის ზედაპირზე და მცირედ არის ჩაძირული წყალში. ეს პრინციპი საფუძვლად უდევს გემთმშენებლობასა და გემების ცურვას.

როდესაც ახალ გემს უშვებენ ზღვაში, ის იწყებს ჩაძირვას. გემის ქვედა ნაწილი იწყებს წყლის გამოდევნას, წარმოიქმნება არქიმედეს ძალა. როდესაც არქიმედეს ძალა გაუწონასწორდება გემის სიმძიმის ძალას, ჩაძირვა შეწყდება.

სიღრმეს, რომელზედაც გემის ნაწილი იძირება, ჩაძირვის სიღრმე ეწოდება. ჩაძირვის სიღრმე იცვლება გემის დატვირთვასთან ერთად, დამოკიდებულია აგრეთვე იმაზე, სად უნდა იცუროს გემმა, ზღვაში თუ მდინარეში, რადგან მდინარესა და ზღვაში წყლის სიმკვრივე განსხვავებულია.

გემს კორპუსზე აქვს **წყალწყვის ხაზი**. ეს ხაზი მიუთითებს გემის ჩაძირვის მაქსიმალურ სიღრმეზე, რომელზეც გემს შეუძლია უსაფრთხოდ ცურვა. წყალში მყოფი, მთლიანად დატვირთული გემი იმყოფება წყალწყვის ხაზის სიღრმეზე (სურ. 32).

გემის მიერ წყალწყვის ხაზამდე გამოდევნილი წყლის წონა და გემზე მოქმედი არქიმედეს ძალა ტოლია და გემი წონასწორებაშია. ამ წყლის წონას უწოდებენ გემის **სრულ წყალწყვას**.

გემის **ტვირთამწეობა** არის მაქსიმალური ტვირთის წონა, რომელიც შეიძლება მოთავსდეს გემზე და იგი ტოლია გემის წონისა და მის სრულ წყალწყვას შორის სხვაობის.

სურ. 30

მსოფლიოში ყველაზე დიდი წყალქვეშა ნავი



სურ. 31

ტანკერი



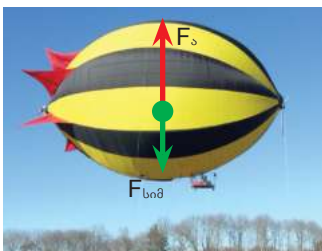
სურ. 32

ბატისკაფი



სურ. 33

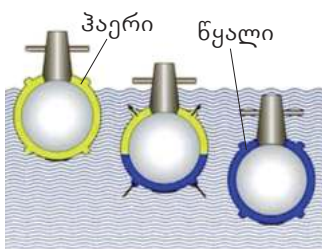
ა



ბ



სურ. 34



სურ. 35

ჰაერნაოსნობა. ადამიანები დიდი ხანია იყენებენ საჰაერო ბუშტებს (აეროსტატებს, დირიჟაბლებს). საჰაერო ბუშტები გავსებულია თბილი ჰაერით ან მსუბუქი აირებით, ძირითადად, ჰელიუმით. ჰაერის მაღალ ტემპერატურას ინარჩუნებენ გაზის სანთურით. ჰაერში ბუშტზე მოქმედებს ამომგდები ძალა. ბუშტის საშუალო სიმკვრივე ნაკლებია ჰაერის სიმკვრივეზე. ამიტომ ამომგდები ძალა მეტია სიმძიმის ძალაზე და ბუშტი ადის ზევით (სურ. 34 ა, ბ).

სხვაობა ამომგდებ (არქიმედეს) ძალასა და ბუშტის წონას შორის არის საჰაერო ბუშტის ამწევი ძალა.

საჰაერო ბუშტებს იყენებენ მეტეოროლოგიური გამოკვლევებისთვის, ტურისტული და შემეცნებითი მოგზაურობისა და მგზავრთა გადაყვანისთვის.

ვინაიდან ატმოსფეროს ზედაფენაში ჰაერის სიმკვრივე მცირდება, საჰაერო ბუშტები ძალიან მაღლა ვერ ადიან. მათ შეუძლიათ ისეთ სიმაღლეზე ასვლა, რომელზეც ჰაერის სიმკვრივე ტოლია ბუშტის საშუალო სიმკვრივისა ტვირთთან ერთად.



ბაზრება

1. სურათზე გამოსახულია წყალქვეშა ნავის ერთ-ერთი მთავარი ნაწილი — კონტინერი, რომლის გამოყენებით შესაძლებელია გემის ცურვის სიღრმის ცვლილება. იმსჯელე, კონტინერის მუშაობის პრინციპზე, რომელი კანონის გამოვლენა ხდება ამ დროს (სურ. 35)?



საშინაო დავალება

მძაპერიმენტული დავალება

I. მოცემული გაქვს: პლასტილინი, ლურსმნები, სასწორი, წყლიანი თასი.

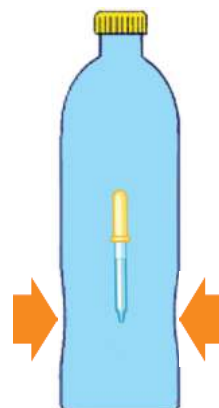
მსვლელობა: პლასტილინისგან გამოძერწე ნავი და აწონე, მოათავსე წყალში, მასზე თანმიმდევრობით დააწყვე ლურსმნები, სანამ ნავი არ დაიწყებს ჩაძირვას. აწონე ეს ლურსმნები და ნავი, გამოთვალე ნავის ტვირთამწეობა და გემის წყალწყვა.



II. მოცემული გაქვს: პოლიეთილენის ბოთლი, წყალი, პიპეტი.

მსვლელობა: ბოთლში, რომელიც ჰერმეტიკულად იხურება, ჩაასხი წყალი და მოათავსე მასში წყლით ნაწილობრივ შევსებული პიპეტი. პიპეტში წყალი იმდენი უნდა იყოს, რომ იგი ოდნავ მაღლა ჩერდებოდეს წყლის ზედაპირზე. დაახურე ბოთლს სახურავი და ბოთლის გვერდებს მიაჭირე ხელი. აღწერე დამზერილი მოვლენა. გამოიტანე დასკვნა.

ანალოგიური სათამაშო პირველად შექმნა ფრანგმა მეცნიერმა **რენე დეკარტმა** და უწოდა „**კარტენზიანელი მყვინთავი**“.



3.7. მშრალი ხახუნი

იფიქრე და იმსჯელე



რომელი ძალა წარმოიქმნება გორგოლაჭიანი ციგურებით გადაადგილებისას?



რატომ გვისხლტება თევზი ხელიდან?

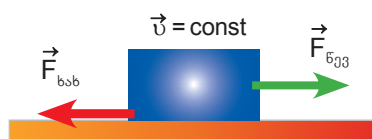


რომელი ძალა ეხმარება ალპინისტებს კლდეზე ასვლისას?

სურ. 36

ერთი სხეულის მეორე სხეულის ზედაპირზე ამოძრავებისას აღიძვრება ხახუნის ძალა, რომელიც ხელს უშლის სხეულების ერთმანეთის მიმართ მოძრაობას.

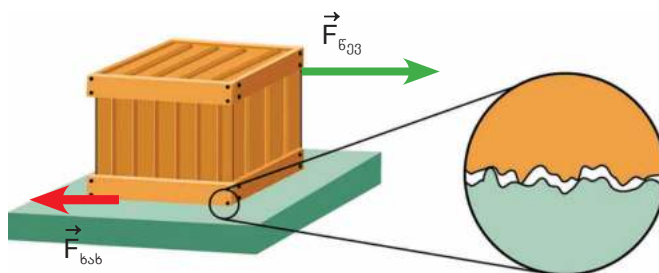
ხახუნის ძალა მიმართულია ურთერთშემხები ზედაპირების გასწვრივ მოძრავი სხეულის ფარდობითი სიჩქარის საპირისპიროდ. ჰორიზონტალურ ზედაპირზე თანაბრად მოძრავ სხეულზე მოძრაობის მიმართულებით მოქმედი წევის ძალა ხახუნის ძალის ტოლია (სურ. 37).



სურ. 37

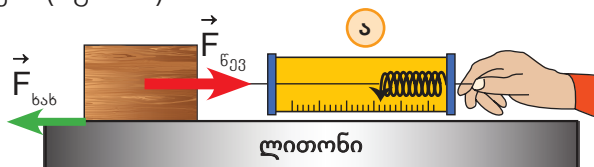
ხახუნის ძალის წარმოქმნის ერთ-ერთი მიზეზი მოხახუნე მყარი სხეულების ზედაპირების უსწორმასწორობაა. როგორი გლუვიც არ უნდა იყოს ზედაპირი, მასზე ყოველთვის უამრავი ბურცოები და ღრმულია (სურ. 38).

ისინი მიკროსკოპით თვალსაჩინოდ დაიმზირება. ასეთი უსწორმასწორობა ხაოიან ზედაპირზე გაცილებით მეტია გლუვ ზედაპირთან შედარებით. ეს ხელს უშლის ერთი სხეულის გადაადგილებას მეორე სხეულის ზედაპირზე. შესაბამისად, ხახუნის ძალა ხაოიან ზედაპირზე მოძრაობისას მეტია, ვიდრე გლუვზე.

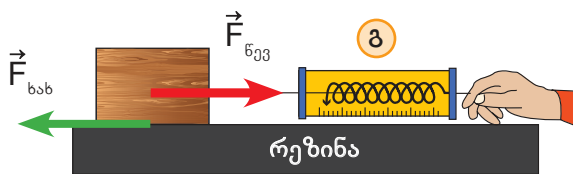
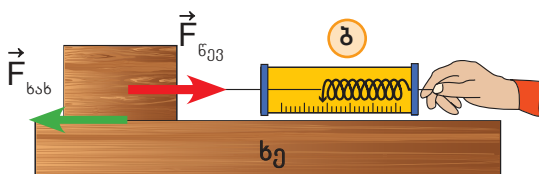


სურ. 38

ხახუნის ძალის სიდიდე დამოკიდებულია შემხები ზედაპირების გვარობაზე. მაგალითად, ხის ძელაკის ლითონის, ხისა და რეზინის ზედაპირზე თანაბარი მოძრაობისას სხვადასხვა სიდიდის ხახუნის ძალა მოქმედებს (სურ. 39).

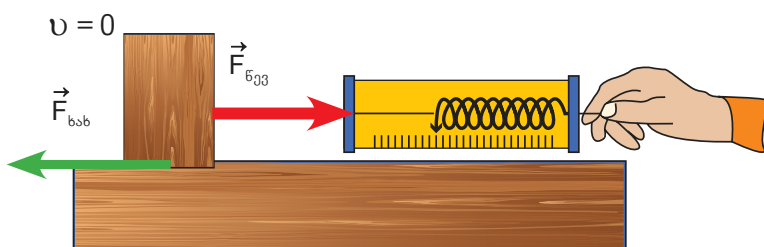


სურ. 39



ხახუნის ძალა ასევე წარმოიქმნება მოხახუნე გაპრიალებული სხეულების ზედაპირების ერთმანეთზე ხახუნისას. ზედაპირების მჭიდროდ შეხებისა და სიახლოვის გამო წარმოიქმნება ნივთიერების შემადგენელი ატომების ელექტრული მიზიდვის ძალა. ზედაპირების შემდგომი დამუშავებისას იზრდება ზედაპირის სიახლოვეს მყოფი ატომების რიცხვი, რაც ზრდის მოხახუნე ზედაპირებს შორის შეჭიდულობის ძალასა და შესაბამისად ხახუნის ძალას. ხახუნის ძალა ელექტრომაგნიტური ბუნების ძალაა.

არსებობს მშრალი და სველი ხახუნის ძალა. მშრალი ხახუ-



სურ. 40

ნი აღიძვრება მყარი სხეულების შეხების არეში, როცა მათ შორის სითხე ან აირი არ არის. თუ სხეულების შეხების არეში, მაგ., დეტალების დაზეთვისას, არის სითხე ან აირი, წარმოიქმნება სველი ხახუნი.

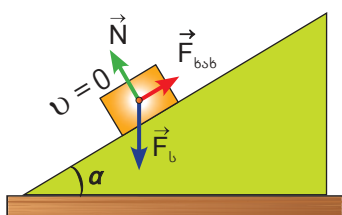
მშრალი ხახუნის ძალებია: უძ-

რაობის, სრიალისა და გორვის.

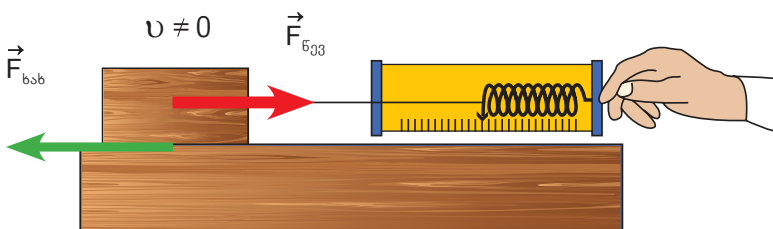
● **უძრაობის ხახუნის ძალა.**

უძრაობის ხახუნის ძალა აღიძვრება და მოქმედებს უძრავ სხეულზე მაშინ, როდესაც რაიმე ძალის მოქმედებით ცდილობენ მის ამოძრავებას. ამიტომ სხეულის ადგილიდან დაძვრა ძნელია. მაგალითად, მასიური კარადის ადგილიდან დაძვრა უფრო ძნელია, ვიდრე მისი გასრიალება. ამოძრავების მომენტში აღძრული უძრაობის ხახუნის ძალა მაქსიმალურია (სურ. 40).

ასევე, სხეული შეიძლება უძრავად იყოს მოთავსებული დახრილ სიბრტყეზე, რადგან მასზე სხვა ძალებთან ერთად მოქმედი ხახუნის ძალა ხელს უშლის მის ამოძრავებას (სურ. 41). ბუნებასა და ყოფა-ცხოვრებაში ხშირია აგრეთვე, მოვლენები, რომლებიც წარმოუდგენელია უძრაობის ხახუნის გარეშე. მაგალითად, უძრაობის ხახუნის ძალის მოქმედება განაპირობებს ადამიანის გადაადგილებას სიარულისას.



სურ. 41



სურ. 42

ტრანსპორტის ბორბლებსა და მიწას შორის არსებული უძრაობის ხახუნის ძალა უზიდავს მათ ამოძრავებისკენ. ასევე ღვედური გადაცემისას უძრაობის ხახუნის ძალა არის ბიძგის მიმცემი ბორბლის ამოძრავებისთვის.

● **სრიალის ხახუნის ძალა.**

სრიალის ხახუნის ძალა აღიძვრება ერთი სხეულის მეორეზე სრიალისას (სურ. 42). სრიალის ხახუნის ძალა ოდნავ ნაკლებია უძრაობის ხახუნის მაქსიმალურ ძალაზე. ის წარმოიქმნება მაშინ, როდესაც სხეული რაიმე ძალის მოქმედებით უძრაობის მდგომარეობიდან იწყებს მოძრაობას.

ექსპერიმენტული კვლევებით დადგინდა, რომ ხახუნის ძალა

პირდაპირპროპორციულია საყრდენის მართობულად მოქმედი რეაქციის ძალის მოდულისა და არ არის დამოკიდებული შემხები ზედაპირების ფართობზე.

$$F_b = \mu N,$$

N საყრდენის რეაქციის ძალის მოდულია. μ ხახუნის კოეფიციენტი, რომელიც დამოკიდებულია მოხახუნე სხეულების ზედაპირის ნივთიერების გვარობასა და დამუშავების ხარისხზე. ხახუნის კოეფიციენტს განზომილება არ აქვს და სიდიდით, იშვიათი გამონაკლისის გარდა, 1-ზე ნაკლებია.

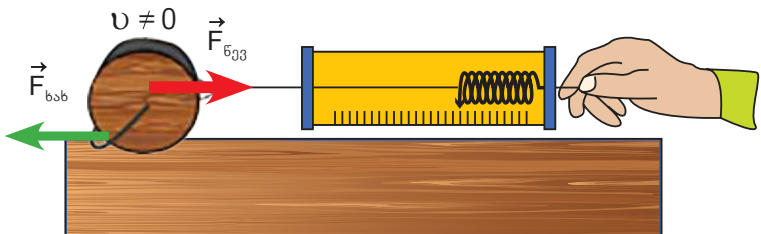
$$\mu = \frac{F_b}{N}.$$

ჰორიზონტალურ ზედაპირზე მოძრაობისას საყრდენის რეაქციის ძალის მოდული სიმძიმის ძალის ტოლია — $N = mg$, ამიტომ,

$$F_b = \mu mg.$$

● **გორვის ხახუნის ძალა.** სხეულების გორვისას აღიძვრება გორვის ხახუნის ძალა (სურ. 43). ამ დროს სხეულები ერთმანეთს მხოლოდ მცირე ნაწილით ეხებიან. გორვის ხახუნის ძალა ნაკლებია სრიალის ხახუნის ძალაზე. ამოტიმაც ბორბლის გამოგონებამ ადამიანებს შესაძლებლობა მისცა თავისუფლად გადაადგილებულიყვნენ ბორბლებიანი ტრანსპორტით.

მექანიზმების მუშაობისას დეტალების ხახუნი საზიანოა, რადგან იწვევს მათ ცვეთას, გახურებასა და ენერგიის კარგვას. ამიტომ ხახუნის შესამცირებლად იყენებენ შეზეთვას, სითხით დაფარვას, რაც ამცირებს ხახუნის კოეფიციენტს. თუ ზედაპირები სითხით არის დაფარული, მაშინ ისინი უფრო ადვილად სრიალებენ ერთმანეთზე (სურ. 44).



სურ. 43



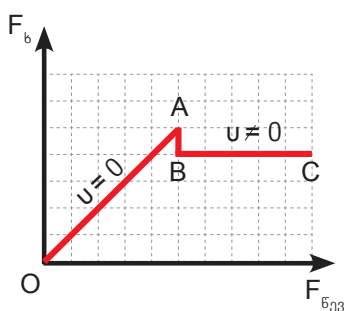
სურ. 44

ზოგიერთი ნივთიერების სრიალის ხახუნის კოეფიციენტი

სრიალის პირობები	ხახუნის კოეფიციენტი
ხე ხეზე	0,2 - 0,5
ლითონი ხეზე	0,12 - 0,08
ლითონი ლითონზე	0,2 - 0,15
რეზინა ხეზე	0,5 - 0,6
ბურთულასაკისარი შეზეთილი	0,02 - 0,08
ლითონი ყინულზე (ციგურები)	0,015
საბურავი მშრალ ასფალტზე	0,5 - 0,7
საბურავი სველ ასფალტზე	0,3 - 0,45
ყინული ყინულზე	0,03 - 0,031
ლითონი ყინულზე	0,02
თხილამურები თოვლზე	0,045 - 0,055

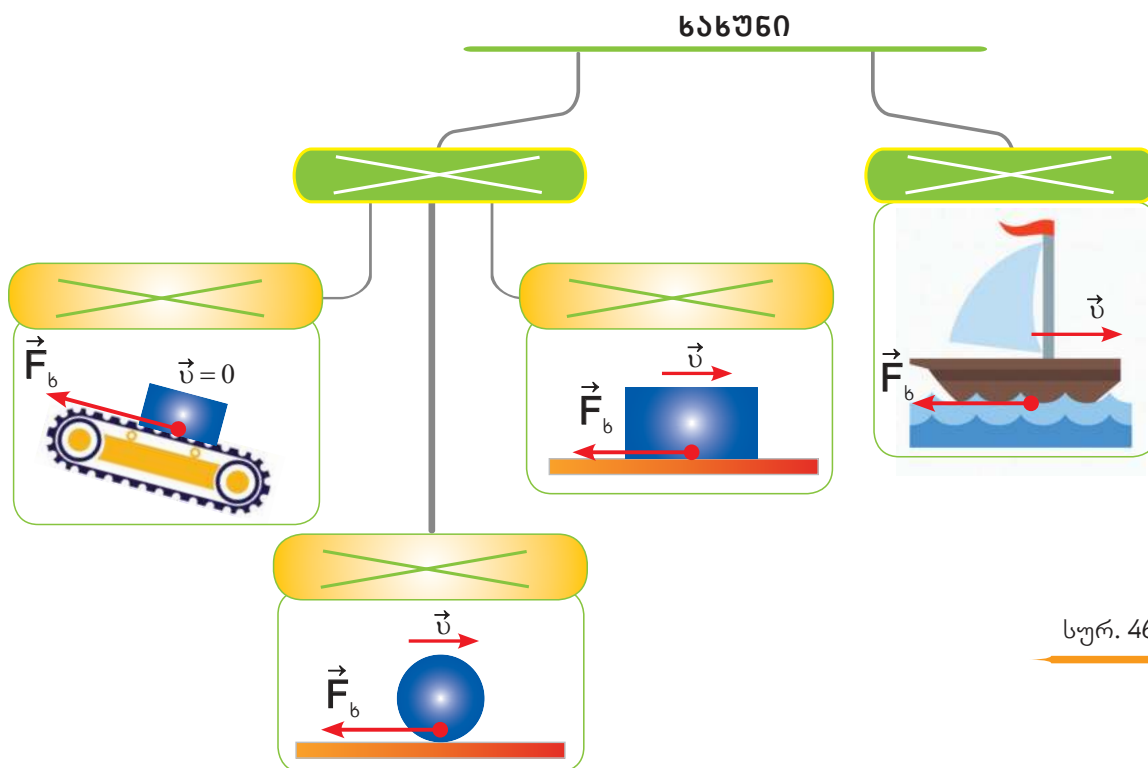


განზრება



სურ. 45

1. იმსჯელე და შეადარე 39-ე სურათზე გამოსახული ხახუნის ძალები ერთმანეთს.
2. იმსჯელე, რატომ არის აუცილებელი კარების ანჯამების პერიოდულად დაზეთვა.
3. იმსჯელე მე-45 სურათზე გამოსახული ჰორიზონტალურად მოძრავი სხეულის ხახუნის ძალის წევის ძალაზე დამოკიდებულებების გრაფიკის მიხედვით: ა. რომელი სახის ხახუნის ძალა მოქმედებს სხეულზე გრაფიკის თითოეული უბნის მიხედვით; ბ. შეადარე ხახუნის ძალები ერთმანეთს; გ. რატომ არ მოძრაობს სხეული გრაფიკის OA უბნის მიხედვით.
4. იმსჯელე ხახუნის ძალების შესახებ და აზრობრივად დაასრულე სქემა (სურ. 46).



სურ. 46



საშინაო დავალება

1. 5 კგ მასის ძელაკი მისრიალებს თანაბრად ჰორიზონტალურ ზედაპირზე. სრიალის ხახუნის ძალაა 20 ნ. გამოთვალე ხახუნის ძალა, თუ ძელაკის მასა 2-ჯერ შემცირდება? (ხახუნის კოეფიციენტი უცვლელი რჩება).
2. იატაკზე ჰორიზონტალურად მოთავსებულ 10 კგ მასის ყუთსა და იატაკს შორის ხახუნის კოეფიციენტი 0,25. დაიძვრება თუ არა ყუთი ადგილიდან, თუ მას ჰორიზონტალური მიმართულების მოდულით 16 ნ წევის ძალას მოსდებენ? გამოთვალე ხახუნის ძალა იატაკსა და ყუთს შორის.

3.8. სველი ხახუნი



იფიქრე და იმსჯელე

რატომ აქვს გემს დელფინის ფორმა?

სურ. 47

სხეულის სითხეში ან აირში მოძრაობისას აღიძვრება ხახუნი, რომელსაც **სველ ხახუნს** უწოდებენ. სხეულსა და სითხეს, ან აირს შორის აღძრულ ხახუნის ძალას **წინააღმდეგობის ძალა ეწოდება**. წინააღმდეგობის ძალა მიმართულია სხეულის მოძრაობის მიმართულების საწინააღმდეგოდ. შინაგანი ხახუნი (სიბლანტე) იქმნება სითხესა და აირის ფენებს შორის მათი გადაადგილებისას.

სველი ხახუნისას წარმოქმნილი **წინააღმდეგობის ძალა** მიმართულია სხეულის მოძრაობის მიმართულების საწინააღმდეგოდ. მაგალითად, მდინარის დინების საწინააღმდეგოდ ცურვას უფრო დიდი ძალა სჭირდება, ვიდრე დინების მიმართულებით. ასევე, ქარის საწინააღმდეგოდ გადაადგილება ძნელია.

სითხესა და აირში სხეულების მოძრაობისას მათზე მოქმედი წინააღმდეგობის ძალა დამოკიდებულია სხეულის მოძრაობის სიჩქარეზე (სურ. 48), გარემოს სიმკვრივეზე, სიბლანტეზე, სხეულის განიკვეთის ფართობსა და სხეულის ფორმაზე. რაც უფრო დიდი სიჩქარით მოძრაობს სხეული ჰაერში ან წყალში, წინააღმდეგობის ძალა უფრო მეტად შესამჩნევია (სურ. 49).

სხეულის მცირე სიჩქარით მოძრაობისას წინააღმდეგობის ძალაა:

$$F_{\text{სიბ}} = k_1 v,$$

დიდი სიჩქარისას: $F_{\text{სიბ}} = k_2 v^2,$

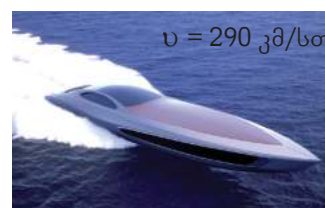
სადაც k_1 და k_2 წინააღმდეგობის კოეფიციენტებია.

აირსა და სითხეებში უძრაობის ხახუნის ძალა ნულის ტოლია. ეს სითხეების დამახასიათებელი თვისებაა. მართლაც, ქვიშიან სანაპიროზე ნავის ადგილიდან დაძვრა თითქმის შეუძლებელია, წყალში კი მცირე ძალაც საკმარისია მის ასამოძრავებლად.

წინააღმდეგობის ძალა დამოკიდებულია სითხის სიბლანტეზე. მაგალითად, თაფლში სხეულის მოძრაობა უფრო ძნელია, ვიდრე წყალში.

წინააღმდეგობის ძალა დამოკიდებულია აგრეთვე სითხესა და აირში მოძრაობის სხეულის ფორმაზე. ყველაზე ნაკლები წინააღმდეგობის ძალა მოქმედებს იმ სხეულზე, რომელიც ფორმით წვეთს წააგავს (სურ. 50).

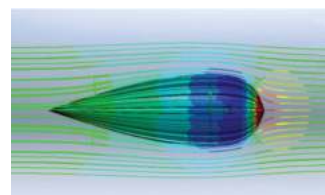
სხეულებს, რომლებზედაც მცირე წინააღმდეგობის ძალა მოქმედებს, **გარსმდენ ფორმას** უწოდებენ.



სურ. 48



სურ. 49



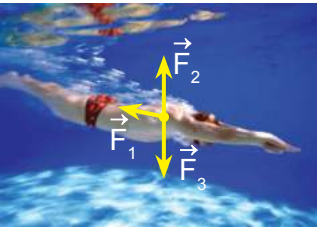
სურ. 50



სურ. 51



სურ. 52



სურ. 53



სურ. 54

ბუნებამ თვითონ შექმნა ცხოველების ისეთი ფორმები, რომლებსაც **შუბლა ფართობი*** ძალიან მცირე აქვთ. მაგალითად, წყლის ცხოველებისა და ფრინველების: ჩიტების, ზვიგენების, დელფინების ფორმა ისეთია, რომ ჰაერსა და წყალში მოძრაობისას მათზე ნაკლები წინააღმდეგობის ძალა მოქმედებს.

სითხეში მოძრაობისას, ზოგჯერ მნიშვნელოვანია წინააღმდეგობის ძალის გაზრდა. მაგალითად, ხახუნის ძალის გაზრდისათვის ზღვის ვარსკვლავს სხეულზე აქვს ხაოიანი წამონაზარდები. ამის გამო ვარსკვლავს შეუძლია ნელა ჩაეშვას წყალში და ასევე ნელა ცვალოს ჩასვლის სიღრმე, რათა სიმძიმის ძალის მოქმედებით სწრაფად არ ჩაიძიროს. ამით მას ადვილად შეუძლია საკვების მოპოვება (სურ. 51).

მეცნიერებმა და კონსტრუქტორებმა შექმნეს ფრინველებისა და ცხოველების ფორმის მსგავსი ტრანსპორტი: თვითმფრინავები, მატარებლები, მანქანები, გემები და სხვა, რომლებსაც დიდი სიჩქარით მოძრაობა შეუძლიათ (სურ. 52).



ბაზრება

1. იმსჯელე, რა განსხვავებაა „მშრალ“ და „სველ“ ხახუნს შორის?
2. იმსჯელე, რატომ შეიძლება აძლევდნენ გარსმდენ ფორმას რაკეტას, რომელსაც გაჰყავს კოსმოსში კოსმოსური ხომალდი და თვით კოსმოსურ ხომალდს — არა?
3. იმსჯელე, რა ძალები მოქმედებს მყვინთავზე წყალში? რატომ იღებს მყვინთავი წყალში ჩახტომისას და ცურვისას სურათზე გამოსახულ ფორმას (სურ. 53).
4. იმსჯელე, რატომ აქვს პარაშუტს სურათზე გამოსახული ფორმა, როგორ იცვლება ამ ფორმის გამო პარაშუტის წინააღმდეგობის ძალა და პარაშუტისტის სიჩქარე (სურ. 54)?



საშინაო დავალება

1. სხეული, რომლის მასაა 100 კგ, თანაბრად მოძრაობს ჰორიზონტალურ გზაზე. ხახუნის კოეფიციენტი 0,05. როგორი წევის ძალა მოქმედებს სხეულზე?

ექსპერიმენტული დავალება

I. მოცემული გაქვს: კოვზი, ჭიქები წყლით, ზეთითა და თაფლით.

მსვლელობა: მოათავსე კოვზები წყლიან, ზეთიან და თაფლიან ჭიქებში და მოურიე. დააკვირდი, რომელი სითხის მორევაა უფრო ძნელი. აღწერე დამზერილი მოვლენა.

გამოიტანე დასკვნა: რომელი სითხის წინააღმდეგობის ძალაა მეტი? რომელი სითხეა უფრო ბლანტი? შეადარე წყალი და ზეთი სიბლანტისა და სიმკვრივის მიხედვით ერთმანეთს.

* შუბლა ფართობი — სხეულის, მოძრაობისადმი მართობი, განიკვეთის ფართობი.

3.9. შემაჯავებელი გაკვეთილი



მძაპრიმენტი

ცურვის პირობების თეორიული და ექსპერიმენტული კვლევა

ნინო ბათუმში ისვენებდა. ისრაელიდან მეგობარმა გამოუგზავნა სურათი, რომელიც მკვდარ ზღვაზე იყო გადაღებული. სურათზე ნინოს მეგობარი ზღვის ზედაპირზე ტივტივებდა და წიგნს კითხულობდა (სურ. 55).

ნინო დაინტერესდა, შეძლებდა თუ არა იგი მეგობრის მსგავსად თავისუფლად ეტივტივა შავი ზღვის ზედაპირზე და წიგნი წაეკითხა.

ამ პრობლემით დაინტერესებულმა ნინომ გადაწყვიტა ექსპერიმენტული კვლევის ჩატარება სხეულის ცურვის პირობების დასადგენად. მან შეადგინა მარტივი ექსპერიმენტის გეგმა. მოიძია საჭირო მასალები: მინის ჭურჭელი, რომელშიც ჩაასხა სამი შეურეველი სითხე: გლიცერინი, წყალი და მზესუმზირის ზეთი. ასევე ჩაყარა ხის ძელაკი, ფისის, რეზინისა და პლასტმასის პატარა ნაჭერები.

სითხეებში ჩაშვებული სხეულებიდან ზოგიერთი ჩაიძირა, ზოგიერთმა კი იმავე სითხეში ტივტივი დაიწყო (სურ. 56).

ნინომ ექსპერიმენტის შედეგების შესამოწმებლად გამოიყენა სიმკვრივის ცხრილი, რომლის დახმარებითაც დაადგინა, რატომ იძირებიან ზოგიერთ სითხეში ის სხეულები, რომლებიც სხვა სითხეში ტივტივებენ.

ნინომ ექსპერიმენტული კვლევის შედეგები შეადარა ნივთიერების სიმკვრივის ცხრილის მონაცემებს.

ნინოს გეოგრაფიაში ნასწავლი მასალიდან ახსოვდა, რომ მკვდარი ზღვის წყალი შავი ზღვის წყალთან შედარებით უფრო მარილიანია და დიდი სიმკვრივე აქვს. ამიტომ მკვდარი ზღვის სიღრმეზე ჩაყვინთვა შეუძლებელია. თუმცა წყალში მოტივტივე ადამიანები თავისუფლად წერენ, კითხულობენ, არ იძირებიან და ამისთვის ცურვა არ სჭირდებათ.

ნინომ კვლევის შედეგად დაადგინა, თუ რატომ არის შესაძლებელი მკვდარი ზღვის ზედაპირზე ტივტივისას კითხვა.

შენც ჩაატარე ექსპერიმენტული კვლევა.

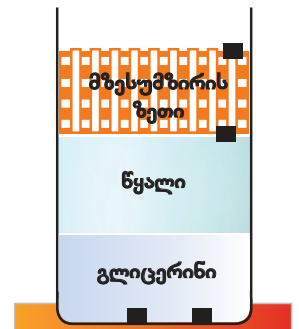
შეადგინე მარტივი ექსპერიმენტის ჩატარების გეგმა და ჩაატარე ექსპერიმენტი. ექსპერიმენტის შედეგების მიხედვით დაადგინე, რომელი სხეულები იძირება და რომელი ტივტივებს სითხეებში. გაიხსენე:

1. არქიმედეს კანონი;
2. სხეულის ცურვის პირობები: როდის ცურავს, იძირება და ტივტივებს სხეული;
3. რატომ განლაგდა მენზურაში სითხეები სურათზე გამოსახული თანმიმდევრობით?
4. სიმკვრივის ცხრილის გამოყენებით დაადგინე, მოცემული სხეულებიდან, რომელი სხეულები ჩაიძირება და რომელი იტივტივებს სითხეებში.
5. შეადარე შავი ზღვისა და მკვდარი ზღვის სიმკვრივეები ერთმანეთს. რატომ არ იძირებიან ადამიანები მკვდარ ზღვაში?

შეადარე ექსპერიმენტით მიღებული შედეგი და ცხრილით განსაზღვრული შედეგები ერთმანეთს და გამოიტანე დასკვნა.



სურ. 55



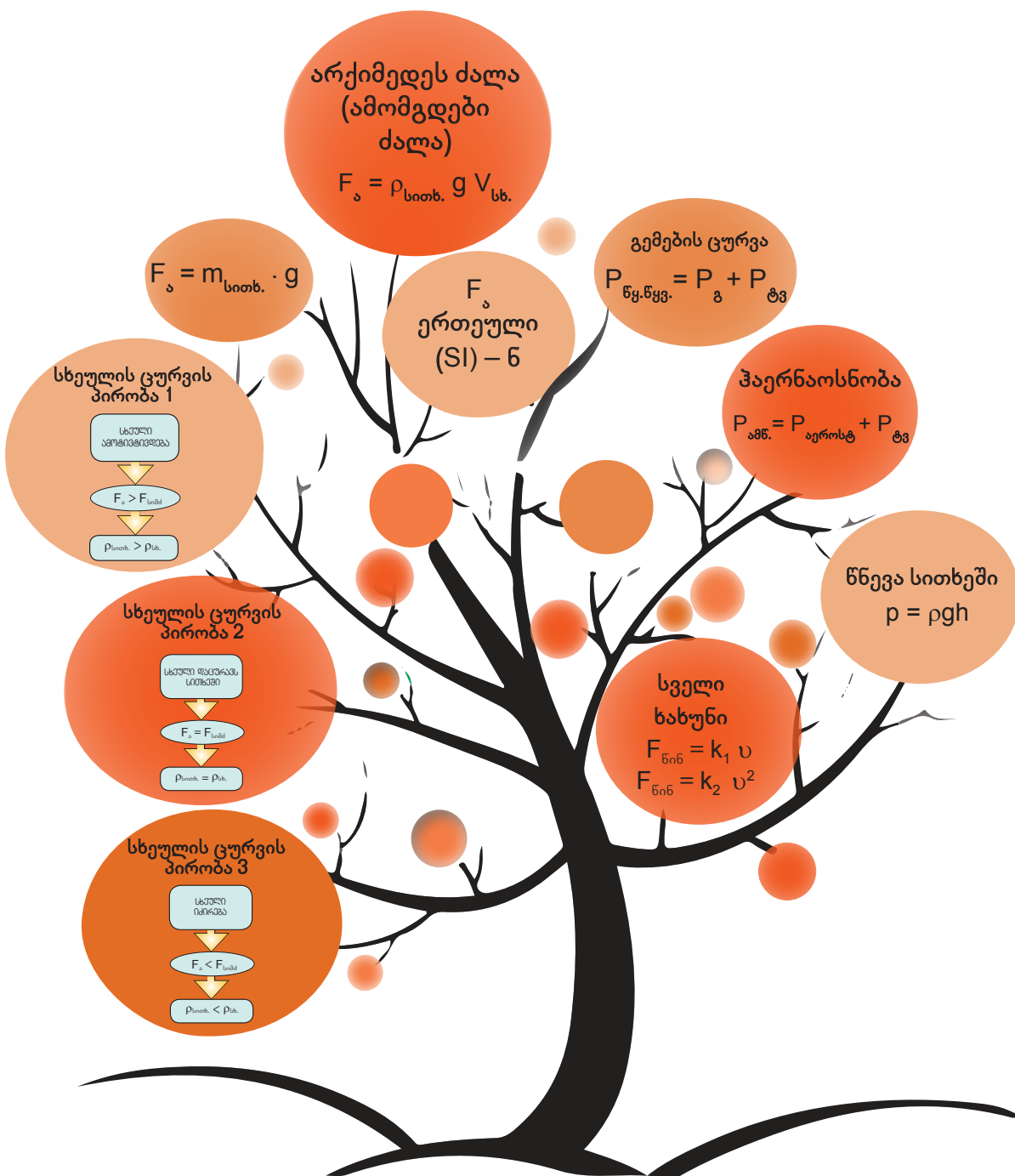
სურ. 56

ცხრილი 4

მზესუმზირის ზეთი	930 კგ/მ ³
წყალი	1000 კგ/მ ³
გლიცერინი	1260 კგ/მ ³

ცხრილი 5

ფისი	2023 კგ/მ ³
ხე	700 კგ/მ ³
პლასტმასი	930 კგ/მ ³
რეზინი	1340 კგ/მ ³



მესამე თავის მოკლე
დასკვნები

თავი 4. სხელთა ურთიერთქმედება

ნიუტონის კანონები



შეისწავლი:

- ნიუტონის კანონებს;
- მასას, როგორც ინერტულობის ზომას;
- მსოფლიო მიზიდულობის კანონს;
- აჩქარებულად მოძრავი სხეულის წონას, უწონობას;
- სხეულის წონას წრეწირზე მოძრაობისას;
- ხელოვნურ თანამგზავრებს;
- ჰორიზონტისადმი კუთხით გასროლილი სხეულის მოძრაობას;
- დრეკადობისა და ხახუნის ძალების მუშაობას;
- მექანიკური ენერგიის მუდმივობის კანონს;
- სხეულისა და ძალის იმპულსს და იმპულსის მუდმივობის კანონს.

შეკლუ და დაეუფლები:

- ჩაატარო ცდები ინერციის მოვლენისა და სხელთა ინერტულობის კვლევისთვის;
- დაახასიათო ათევის ინერციული და არაინერციული სისტემები;
- ჩაატარო ცდები სხელთა ურთიერთქმედების ექსპერიმენტული კვლევისთვის;
- გამოიყენო ცნებები, კანონები, ფორმულები ამოცანების ამოსახსნელად;
- ამოცანების ამოსხნას დახრილ სიბრტყეზე სხეულების მოძრაობაზე;
- ამოცანების ამოსხნას გადაბმული სხეულების მოძრაობაზე.

4.1. ინერციის მოვლენის ექსპერიმენტული კვლევა

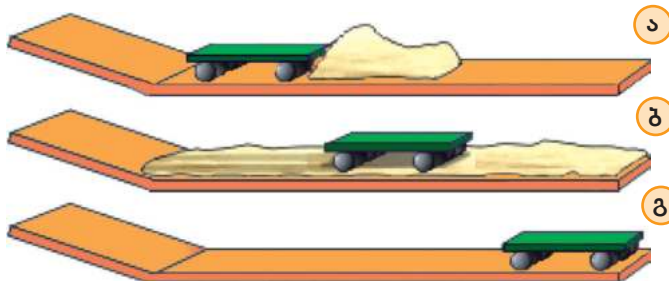


I ექსპერიმენტი

მოცემული გაქვს: დახრილი სიბრტყე, ქვიშა, ცარცი, ურიკა (ან პატარა სათამაშო მანქანა).

მსვლელობა: დახრილი სიბრტყის ბოლოში, ჰორიზონტალურ ზედაპირზე, დაყარე ქვიშა პატარა გორაკის სახით. დააგორე ურიკა დახრილი სიბრტყის ზედა წერტილიდან (სურ. ა). ცარცით მონიშნე ურიკის მიერ გავლილი მანძილი ჰორიზონტალურ ზედაპირზე. მიმოფინე ქვიშა ჰორიზონტალურ ზედაპირზე და კვლავ ზევიდან დააგორე ურიკა (სურ. ბ). მონიშნე ურიკის მიერ გავლილი მანძილი. ქვიშისგან გაასუფთავე ჰორიზონტალური ზედაპირი (სურ. გ). კვლავ დააგორე ზევიდან ურიკა. მონიშნე ჰორიზონტალურ ზედაპირზე ურიკის მიერ გავლილი მანძილი. შეადარე ურიკის მიერ გავლილი მანძილები ერთმანეთს თითოეულ სიტუაციაში. აღწერე ცდა.

გამოიტანე დასკვნა: რატომ განსხვავდება გავლილი მანძილები ერთმანეთსაგან.

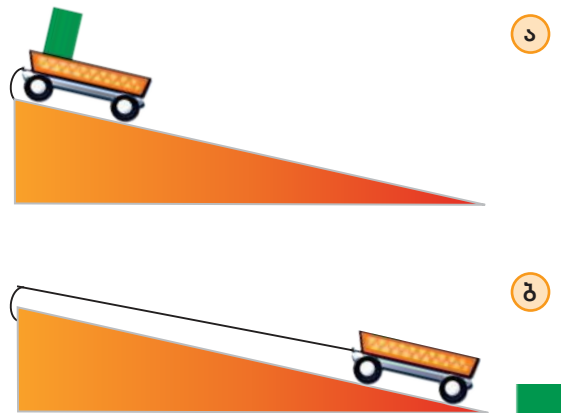


II ექსპერიმენტი

მოცემული გაქვს: დახრილი სიბრტყე, ურიკა, რომელიც ძაფით არის დამაგრებული დახრილი სიბრტყის წვერზე (ძაფის სიგრძე დახრილი სიბრტყის სიგრძეზე ნაკლები უნდა იყოს), ძელაკი.

მსვლელობა: მოათავსე ძელაკი ურიკაზე, რომელიც დახრილი სიბრტყის ზედა წერტილში მდებარეობს (სურ. ა) და გაუშვი ხელი. აღწერე ცდა.

გამოიტანე დასკვნა: რატომ გააგრძელა ძელაკმა მოძრაობა, როდესაც ძაფმა აიძულა ურიკა გაჩერებულიყო.



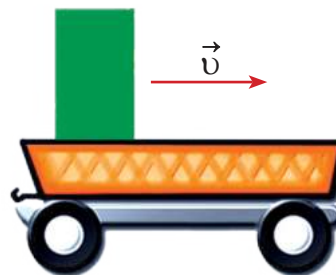
III ექსპერიმენტი

მოცემული გაქვს: ურიკა, ხის ძელაკი.

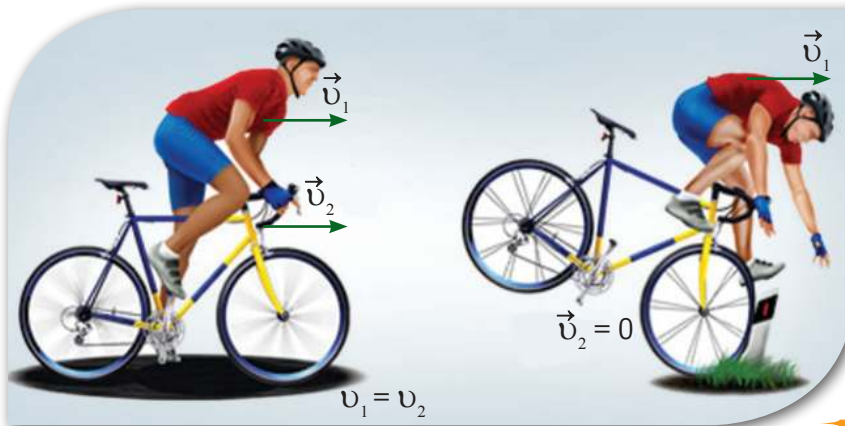
მსვლელობა: მოათავსე ძელაკი ურიკაზე. ამოძრავე იგი ნელა და თანაბრად. შემდეგ სწრაფად გააჩერე ურიკა. აღწერე დამზერილი მოვლენა.

გაჩერებულ ურიკას უბიძგე ისე რომ სწრაფად ამოძრავდეს. აღწერე დამზერილი მოვლენა.

გამოიტანე დასკვნა: ძელაკის მოძრაობის შესახებ.



4.2. ნიუტონის პირველი კანონი



იფიქრე და იმსჯელე

რატომ გადაეცლება ველომრბოლელი ველოსიპედს ზევიდან მკვეთრად დამუხრუჭებისას?

სურ. 1

ისტორიული ლეგენდის თანახმად, გენიალური იტალიელი მეცნიერი გალილეო გალილეი XVII საუკუნეში აკვირდებოდა პიზას კოშკიდან დედამიწაზე ვარდნილი სხეულების მოძრაობას. მექანიკურ მოძრაობაზე ექსპერიმენტული კვლევების შედეგად გალილეიმ ბევრი საინტერესო თეორია შექმნა.

აზრობრივი ექსპერიმენტის მიხედვითა და ლოგიკური მსჯელობით (გალილეის აზრობრივი ექსპერიმენტის ანალოგიური ცდა იხილე გვ. 78. პირველი ექსპერიმენტი), გალილეო გალილეი მივიდა დასკვნამდე, რომ სხეულებზე შეიძლება მოქმედებდეს ძალები, რომლებიც აკომპენსირებენ ერთმანეთს $\vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \dots + \vec{F}_n = 0$, თუმცა სხეული მაინც მოძრაობდეს წრფივად და თანაბრად.

თუ სხეულზე ძალები არ მოქმედებს ან მასზე მოქმედი ძალები კომპენსირებულია, სხეული ინარჩუნებს უძრაობის ან წრფივი თანაბარი მოძრაობის მდგომარეობას.

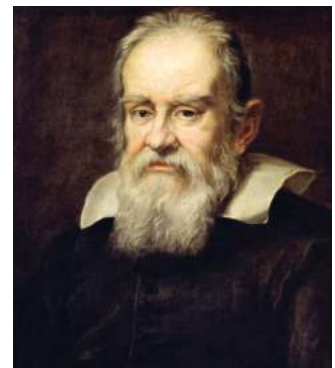
ამ მოვლენას გალილეიმ **ინერცია** უწოდა და ეს მტკიცებულება ცნობილია **ინერციის კანონის** სახელწოდებით.

ნიუტონმა ინერციის მოვლენაზე დაკვირვებისას აღმოაჩინა, რომ ინერციის კანონი ყოველთვის არ სრულდება.

წარმოიდგინე, რომ წრფივად და თანაბრად მოძრავი გემის კაიუტაში აკვირდები ქვრზე უძრავად დაკიდებულ ნათურას. უცაბედად ნათურა გადაიხარა გემის მოძრაობის მიმართულების საწინააღმდეგო მხარეს, თუმცა მასზე ძალას არ უმოქმედა. როგორც ჩანს, ეს მოვლენა არ ეთანადება ინერციის კანონს. ნათურაზე ძალას არ უმოქმედა. მისი ამოძრავება გემის სიჩქარის ცვლილებამ გამოიწვია.

ნიუტონმა დაკვირვებების საფუძველზე დაასკვნა, რომ ინერციის კანონი სამართლიანია მხოლოდ ისეთი სისტემებისათვის, რომლებიც დედამიწის მიმართ უძრავნი არიან, ან წრფივად და თანაბრად მოძრაობენ.

გალილეის იდეების განზოგადების შედეგად 1687 წელს ისააკ ნიუტონი მივიდა დასკვნამდე, რომ მოძრაობის კანონები, რომლებიც მან დაადგინა, სამართლიანია მხოლოდ **ათვის ინერციული სისტემებისათვის**.

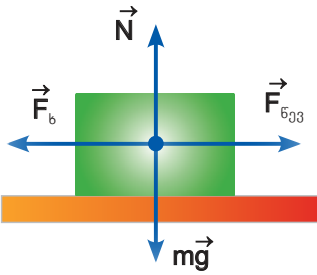


გალილეო გალილეი
(1564 - 1642 წ.წ.)

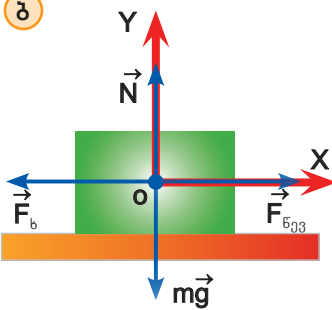


ისააკ ნიუტონი
(1643 - 1727 წ.წ.)

ა



ბ



სურ. 2

დედამიწასთან დაკავშირებული ათვლის სისტემები ინერციულ ათვლის სისტემებად შეიძლება ჩაითვალოს, ხოლო დედამიწის მიმართ აჩქარებულად მოძრავი სისტემები არა-ინერციულად. მაგ., არაინერციული სისტემებია ლიფტთან, აჩქარებულად მოძრავ ტრანსპორტთან, დედამიწიდან გაშვებულ რაკეტასთან დაკავშირებული ათვლის სისტემები.

თანამედროვე წარმოდგენების მიხედვით ნიუტონის პირველი კანონი ასე ჩამოყალიბდა:

დინამიკის კანონები სამართლიანია ათვლის ისეთი სისტემებისთვის, რომელთა მიმართ სხეულები ინარჩუნებენ უძრაობის ან წრფივი, თანაბარი მოძრაობის მდგომარეობას, თუ მათზე სხვა სხეულების მოქმედება კომპენსირებულია. ასეთ სისტემებს ათვლის ინერციული სისტემები ეწოდება.

ნიუტონის პირველ კანონში ვლინდება მექანიკის, კონკრეტულად კი — დინამიკის უმთავრესი იდეა — ძალა არ არის სხეულის თანაბარწრფივი მოძრაობის მიზეზი. თანაბარწრფივი მოძრაობა სხეულის ისეთივე „ბუნებრივი“ მდგომარეობაა, როგორიც უძრაობაა. ძალა სხეულის სიჩქარის ცვლილების მიზეზია.

დინამიკა მექანიკის ის ნაწილია, რომელიც შეისწავლის მექანიკური მოძრაობის ცვლილების გამომწვევ მიზეზებს.

დავუშვათ, საყრდენზე მოთავსებულ სხეულზე (სურ. 2ა) მოქმედებს ოთხი ძალა: mg სიმძიმის ძალა, N საყრდენის რეაქციის ძალა, $F_{წეგ}$ წვევის ძალა და F_b ხახუნის ძალა. ინერციის კანონის თანახმად, თუ ამ ძალების ტოლქმედი უდრის ნულს, მაშინ ეს სხეული იქნება უძრავი ან იმოძრაავებს წრფივად და თანაბრად.

$$mg + F_b + N + F_{წეგ} = 0$$

თუ სხეულს დავუკავშირებთ ათვლის ინერციულ სისტემას (სურ. 2 ბ), მაშინ ძალების გეგმილები OX და OY ღერძებზე იქნება:

$$(OX) \quad F_{წეგ} - F_b = 0, \quad \text{ანუ} \quad F_{წეგ} = F_b.$$

$$(OY) \quad N - mg = 0, \quad \text{ანუ} \quad N = mg.$$

ე. ი. სხეული თანაბარწრფივად მოძრაობს, თუ მასზე მოქმედი წვევის ძალა ტოლია ხახუნის ძალისა და ასევე ტოლია სიმძიმისა და საყრდენის რეაქციის ძალები, ანუ სხეულზე მოქმედი ძალები კომპენსირებულია.

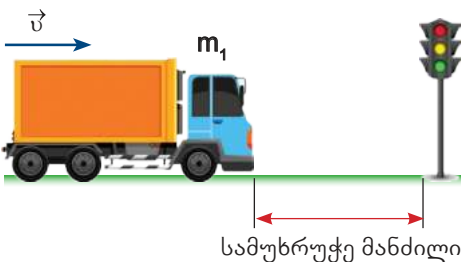
სხეულზე სხვა სხეულების მოქმედება კომპენსირებულია, თუ მათი ერთობლივი მოქმედების შედეგი ისეთივეა, როგორიც იქნებოდა მათი მოქმედების გარეშე.



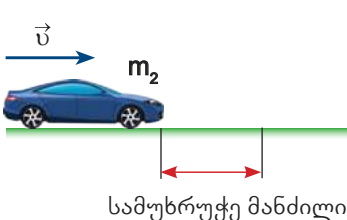
ბაზრება

მანქანები ერთდროულად იწყებენ დამუხრუჭებას. იმსჯელე, როგორ ვლინდება ინერციის მოვლენა ამ სიტუაციაში (სურ. 3 ა, ბ)?

ა



ბ

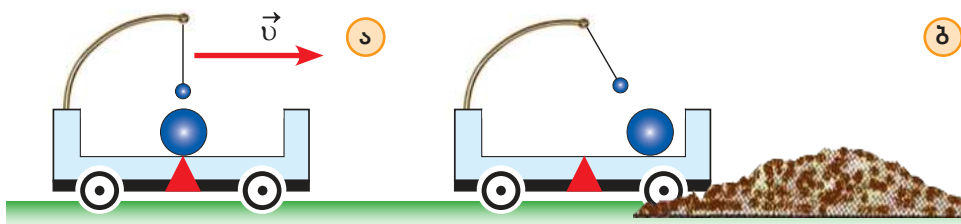


სურ. 3

აზრობრივი ექსპერიმენტი ნიუტონის I კანონის კვლევა

წარმოიდგინე, რომ თანაბრად მოძრავ ურიკის საკიდელზე ძაფით კიდია ერთი ბურთულა და მეორე ბურთულა მოთავსებულია იატაკზე (სურ. ა), გარკვეული დროის შემდეგ ურიკა მუხრუჭდება (სურ. ბ). იმსჯელე:

- ა. რა ძალები მოქმედებენ ბურთულებზე ურიკის თანაბარი მოძრაობისას და რას უდრის მათი ტოლქმედი?
- ბ. რატომ დამუხრუჭდა ურიკა? დამუხრუჭებისას რომელ მხარეს ამოძრავდებიან ბურთულები?
- გ. რატომ ამოძრავდნენ ბურთულები ურიკის მიმართ?
- დ. ურიკის დამუხრუჭებისას რა მიმართულება ექნება თითოეულ ბურთულაზე მოქმედ ტოლქმედ ძალას?
- ე. როგორ მოძრაობს ურიკა დამუხრუჭებისას?
- ვ. შეადარე ბურთულების მდგომარეობები ერთმანეთს ურიკის თანაბარი მოძრაობისას და მისი დამუხრუჭებისას.
- ზ. ურიკის როგორი მოძრაობისას არ არის სამართლიანი ინერციის კანონი? როდის არის სამართლიანი ინერციის კანონი. გამოიტანე დასკვნა.



საშინაო დავალება

I. ექსპერიმენტული დავალება ინერციის მოვლენის კვლევა

მოცემული გაქვს: მინის ჭიქა, მუყაოს ფურცელი, 20-თეთრიანი მონეტა.

მსვლელობა: მოათავსე მუყაოს ფურცელი მონეტასთან ერთად ჭიქაზე. გამოსწიე ფურცელი ნელა. კვლავ მოათავსე ფურცელი მონეტასთან ერთად და სწრაფად უბიძგე ან გამოსწიე ფურცელი. აღწერე დამზერილი მოვლენა. შეადარე ცდის შედეგები. გამოიტანე დასკვნა.



II. ექსპერიმენტული დავალება ინერციის მოვლენის კვლევა

მოცემული გაქვს: წყლით სავსე პოლიეთილენის ბოთლი, მაგიდა, ქაღალდის ფურცელი.

მსვლელობა: დააფინე მაგიდაზე ქაღალდის ფურცელი და ზედ მოათავსე წყლიანი ბოთლი. გამოსწიე ქაღალდი ნელა. შემდეგ კვლავ მოათავსე წყლიანი ბოთლი ქაღალდზე და სწრაფად და მკვეთრად გამოსწიე ქაღალდი. აღწერე დამზერილი მოვლენა. შეადარე ცდის შედეგები და გამოიტანე დასკვნა.



4.3. სხეულის ინერტულობის ექსპერიმენტული კვლევა

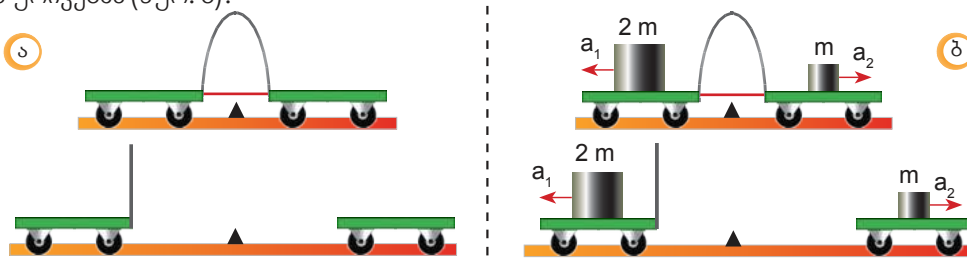


I ექსპერიმენტი

მოცემული გაქვს: ორი ერთნაირი ურიკა, ლითონის დრეკადი სახაზავი (ან ფირფიტა), ძაფი, 1 და 2-კილოგრამიანი საწონები (ან განსხვავებული მასის სხეულები), ასანთი.

მსვლელობა: დაამაგრე ფოლადის სახაზავი ერთ-ერთ ურიკაზე. გადალუნე სახაზავი და ძაფით დააკავშირე ბოლოები ისე, რომ სახაზავი დარჩეს დეფორმირებულ მდგომარეობაში. მოათავსე მეორე ურიკა დეფორმირებული სახაზავის ბოლოსთან ისე რომ მჭიდროდ შეეხოს მას (სურ. ა). გადანვი ძაფი. მონიშნე ურიკების მიერ გავლილი მანძილები. შეადარე ისინი. იგივე ცდა გაიმეორე, მხოლოდ ერთ-ერთ ურიკაზე მოათავსე m მასის სხეული, მეორეზე კი — $2m$ მასის. ძაფის გადანვის შემდეგ მონიშნე ურიკების მიერ გავლილი მანძილები და შეადარე ისინი ერთმანეთს (სურ. ბ). აღწერე ცდა.

გამოიტანე დასკვნა: რატომ გაიარა განსხვავებული მანძილები ერთნაირმა (სურ. ა) და სხვადასხვა მასის ურიკებმა (სურ. ბ)?

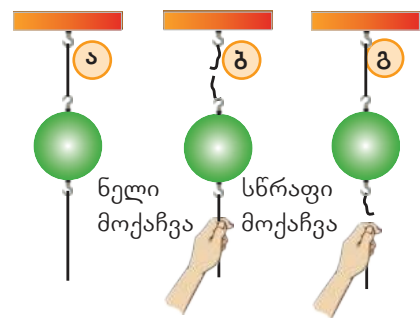


II ექსპერიმენტი

მოცემული გაქვს: ბურთულა ორი კაუჭით (ან ცილინდრული ფორმის სხეული), ძაფი.

მსვლელობა: ზედა კაუჭით დაჭიდე ბურთულა ძაფზე. ქვედა კაუჭს გამოაბი ძაფი (სურ. ა). ნელა მოქაჩე ქვედა ძაფი (სურ. ბ). აღწერე დამზერილი მოვლენა. შემდეგ სწრაფად მოქაჩე ქვედა ძაფი (სურ. ბ). აღწერე დამზერილი მოვლენა. შეადარე ცდის შედეგები ერთმანეთს.

გამოიტანე დასკვნა: რატომ განყდა ზედა ძაფი პირველ სიტუაციაში, მეორეში კი — ქვედა?



აზრობრივი ექსპერიმენტი

წარმოიდგინე, ორ შტატივზე დაკიდებულია ქაღალდის ჯაჭვი. ჯაჭვის ბოლო რგოლებზე კიდევით დევს ხის თხელი სახაზავი.

დაუშვათ, პირველად სახაზავზე იმოქმედე ხელით ნელა და ფრთხილად. ივარაუდე, ქაღალდის ბოლო რგოლი განყდება თუ სახაზავი გატყდება. პასუხი დაასაბუთე.

შემდეგ კვლავ მოათავსე ხის თხელი სახაზავი ჯაჭვების ბოლო რგოლებზე და სწრაფად და ძლიერად იმოქმედე სახაზავზე მეორე ხის სახაზავით. ივარაუდე, ქაღალდის ბოლო რგოლი განყდება თუ რგოლებზე მოთავსებული სახაზავი გატყდება. პასუხი დაასაბუთე.

შეგიძლია შენი ვარაუდი შეამოწმო ცდით, შეადგინო მარტივი ექსპერიმენტის გეგმა და ჩაატარო ექსპერიმენტი.



4.4. სხეულების ინერტულობა. მასა



იფიქრე და იმსჯელე

კატაპულტით* გაისროლეს ორი სხვადასხვა მასის ბირთვი. რომელი ბირთვი შეიძენს უფრო მეტ სიჩქარეს – მძიმე თუ მსუბუქი?

სურ. 4

ძალის მოქმედებით ზოგიერთი სხეული სწრაფად იცვლის სიჩქარეს, ზოგიერთს კი იმავე ძალის მოქმედებით სიჩქარის შესაცვლელად მეტი დრო სჭირდება. მაგ., დაღმართზე დაგორებული კენჭი მალევე ჩერდება, ხოლო დიდი ლოდი გაჩერებამდე დიდ მანძილს გადის.

სხეულის მიერ სიჩქარის შენარჩუნების მოვლენას **ინერციას** უწოდებენ.

სხეულის თვისებას, შეინარჩუნოს სიჩქარე, **ინერტულობა** ეწოდება.

სხეული, რომელსაც სიჩქარის შესაცვლელად მეტი დრო სჭირდება, უფრო ინერტულია, ვიდრე სხეული, რომელიც იმავე ძალის მოქმედებით უფრო სწრაფად იცვლის სიჩქარეს.

ექსპერიმენტებით დამტკიცდა, რომ ორი სხეულის ურთიერთქმედებისას მათი სიჩქარის ცვლილების* სისწრაფე, ანუ აჩქარება, მასების უკუპროპორციულია.

$$\frac{|a_1|}{|a_2|} = \frac{|\Delta v_1|}{|\Delta v_2|} = \frac{m_2}{m_1}$$

ამგვარად, რაც უფრო მეტია სხეულის მასა, მით უფრო ინერტულია იგი.

მასა სხეულის ინერტულობის ზომაა.

სხეულის მასის დასადგენად შესაძლებელია ამ სხეულის სიჩქარის ცვლილება შევადაროთ ეტალონური მასის სხეულის სიჩქარის ცვლილებას მათზე ერთი და იმავე ძალის მოქმედებისას და გამოვთვალოთ ამ სხეულის მასა.

$$\frac{|\Delta v_1|_{\text{მტ}}}{|\Delta v_2|} = \frac{m_2}{m_{1\text{მტ}}} \quad \text{აქედან,} \quad m_2 = m_{1\text{მტ}} \frac{|\Delta v_1|_{\text{მტ}}}{|\Delta v_2|}$$

სხეულის მასა მისი სხვა ადგილზე გადატანით არ იცვლება. მაგ., გეოგრაფიული მდებარეობის შეცვლით, აგრეთვე მთვარეზე ან მარსზე მისი გადატანით. ასევე, სხეულის მასა არ არის დამოკიდებული ათვლის სისტემის არჩევაზე.

ხშირად სხეულის მასასა და წონას აიგივებენ, რაც სწორი არ არის. **მასა სხეულის მახასიათებელი სიდიდეა, წონა ძალაა**, რომელიც ახასიათებს სხეულისა და მისი საყრდენის ან საკიდელის ურთიერთქმედებას.



გააზრება

იმსჯელე, რომელი ბურთია მეტად ინერტული, წითელი თუ ნაცრისფერი (სურ. 5)?



საშინაო დავალება

მ მასის ბურთულა დაეჯახა 7 მ მასის უძრავ მეორე ბურთულას, რის გამოც ორივე აჩქარებით ამოძრავდა. რომელი ბურთულას აჩქარება იქნება მეტი და რამდენჯერ?



სურ. 5

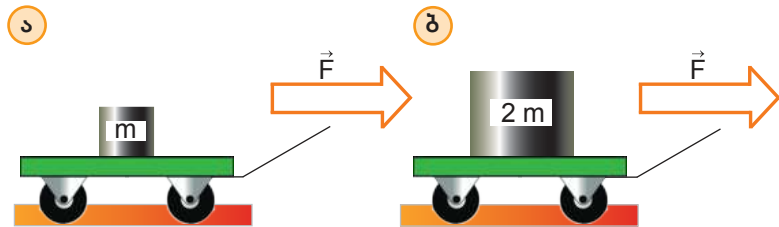
* კატაპულტა – სატყორცნი მანქანა, რომელსაც ძველი რომაელები იყენებდნენ ქვების, ისრების სატყორცნად.

* სიჩქარის ცვლილება — $\Delta v = v_1 - v_0$; v_0 სხეულის საწყისი სიჩქარეა, v_1 — საბოლოო.

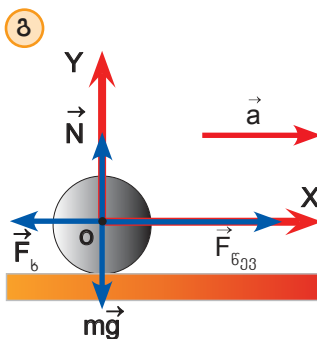
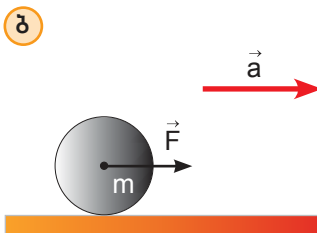
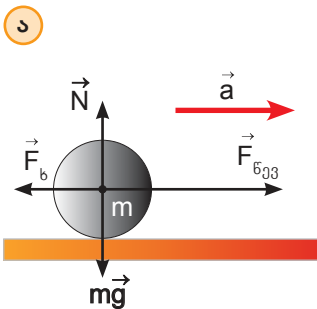
4.5. ნიუტონის მეორე კანონი

იზიძრა და იმსჯელე

რომელი ურიკა იმოძრავებს მეტი აჩქარებით, თუ ორივე ურიკაზე ტოლი სიდიდის ძალა იმოქმედებს?



სურ. 6



სურ. 7

სხეულზე ერთდროულად შეიძლება რამდენიმე ძალა მოქმედებდეს. თუ ეს ძალები ერთმანეთს არ აკომპენსირებს, მაშინ სხეული აჩქარებით მოძრაობს. ე.ი სხეულის სიჩქარე მხოლოდ ურთიერთქმედების შედეგად იცვლება, ძალის მოქმედებით.

სიჩქარის ცვლილების სისწრაფე, ანუ აჩქარება დამოკიდებულია ძალაზე (ურთიერთქმედების ზომაზე) და ასევე სხეულის ინერტულობის ზომაზე — მასაზე.

ექსპერიმენტული კვლევების შედეგად მიღებული დასკვნა, რომელიც **ნიუტონის მეორე კანონის** სახელითაა ცნობილი, ამყარებს დამოკიდებულებას სხეულზე მოქმედ ძალას, მასასა და აჩქარებას შორის.

სხეულზე მოქმედი ძალა ამ სხეულს ანიჭებს აჩქარებას, რომელიც პირდაპირპროპორციულია სხეულზე მოქმედი ძალის და უკუპროპორციულია სხეულის მასის.

$$\vec{a} = \frac{\vec{F}}{m}, \quad \text{აქედან} \quad \vec{F} = m\vec{a}$$

ძალის ერთეულია ნიუტონი. $1 \text{ ნ} = 1 \text{ კგ} \cdot \text{მ/წმ}^2 \text{ (SI)}$.

1 ნ არის ძალა, რომელიც 1 კგ მასის სხეულს ანიჭებს 1 მ/წმ^2 აჩქარებას.

სხეულზე ერთდროულად რამდენიმე ძალის მოქმედებისას (სურ. 7 ა) აჩქარება მიმართულია ამ ძალების $\vec{F}$ ტოლქმედის მიმართულებით (სურ. 7 ბ).

დავუშვათ, ბურთულაზე, რომელიც საყრდენზე დევს, ოთხი ძალა მოქმედებს: $m\vec{g}$ — სიმძიმის ძალა, $\vec{F}_\text{ბ}$ — ხახუნის ძალა, $\vec{N}$ — საყრდენის რეაქციის ძალა და $\vec{F}_\text{წვ}$ — წევის ძალა. ეს ძალები ჯერ აკომპენსირებენ ერთმანეთს, ამიტომ მათი ტოლქმედი $\vec{F}$ ძალა არ უდრის ნულს და სხეულს ანიჭებს $\vec{a}$ აჩქარებას (სურ. 7 გ). მაშინ

$$m\vec{g} + \vec{F}_\text{ბ} + \vec{N} + \vec{F}_\text{წვ} = m\vec{a}.$$

აჩქარების სიდიდის გამოსათვლელად ვექტორული ტოლობა სკალარულით უნდა შეიცვალოს. ამისათვის არჩეული ათვლის სისტემის მიმართ ძალების გეგმილები OX და OY ღერძებზე იქნება:

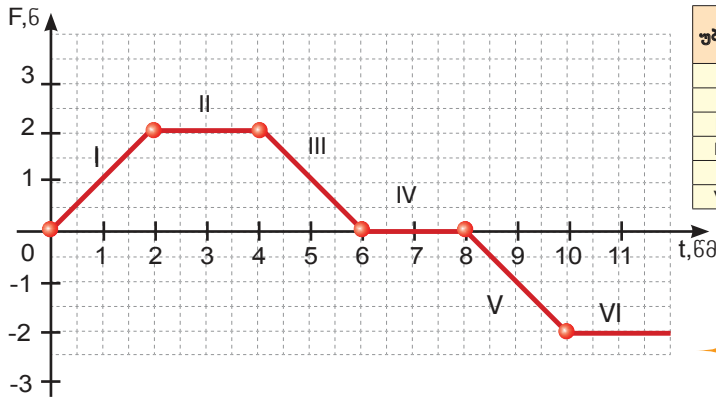
$$(OX) \quad F_\text{წვ} - F_\text{ბ} = ma, \quad F_\text{წვ} = ma + F_\text{ბ}.$$

$$(OY) \quad N - mg = 0, \quad N = mg.$$



გააზრება

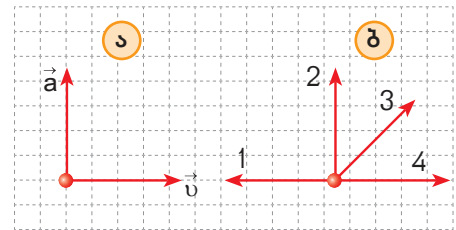
1. გრაფიკზე გამოსახული ცალკეული უბნების მიხედვით დაუკავშირე სხეულზე მოქმედი ძალა შესაბამისი მოძრაობის სახეს.



უბანი	თანაბარი $a=0$	თანაბარ- აჩქარებული, $a>0$	თანაბარ- აჩქარებული, $a<0$	არათანაბარი $a \neq \text{const}$
I				
II				
III				
IV				
V				
VI				

სურ. 8

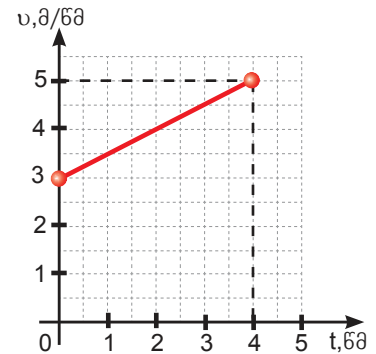
2. იმსჯელე და დაადგინე, სხეულის აჩქარებისა და სიჩქარის ვექტორების მიმართულების მიხედვით (სურ. 9 ა), რომელი ვექტორი გამოსახავს ძალის მიმართულებას (სურ. 9 ბ)?



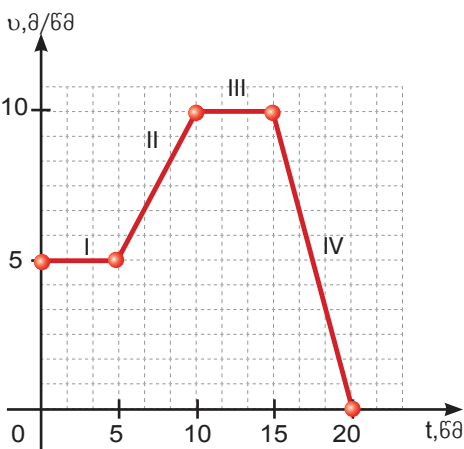
სურ. 9

საშინაო დავალება

1. რა ძალა მოქმედებს 50 კგ მასის სხეულზე, თუ იგი 0.5 მ/წმ^2 აჩქარებით მოძრაობს?
2. გამოთვალე 6 ნ ძალის მიერ 0,3 კგ მასის ბურთისთვის მინიჭებული აჩქარება.
3. სხეულის სიჩქარის მოდულის დროზე დამოკიდებულების გრაფიკის მიხედვით გამოთვალე სხეულზე მოქმედი ძალა, თუ ამ სხეულის მასაა 80 გ (სურ. 10).
4. სხეულს $0,6 \text{ მ/წმ}^2$ აჩქარებას ანიჭებს 30 ნ ძალა. რა ძალა მიანიჭებს ამ სხეულს $1,8 \text{ მ/წმ}^2$ აჩქარებას?
5. რალაც ძალამ 5 კგ მასის სხეულს 2 მ/წმ^2 აჩქარება მიანიჭა. რა აჩქარებას შეიძენს იმავე ძალის მოქმედებით 10 კგ მასის სხეული?



სურ. 10



სურ. 11

6. რა ძალით მოქმედებს ჩოგბურთელი 100 გ მასის ბურთზე, თუ დარტყმის ხანგრძლივობა $0,05 \text{ წმ}$ -ია და დარტყმის შედეგად ბურთი 90 კმ/სთ სიჩქარეს იძენს?
7. ელმავალი ცარიელ მატარებელს ანიჭებს $0,5 \text{ მ/წმ}^2$ აჩქარებას, ხოლო დატვირთულს – $0,1 \text{ მ/წმ}^2$ -ს. გამოთვალე ტვირთის მასა, თუ წევის ძალა ორივე შემთხვევაში 15 კნ -ის ტოლია.
8. სიჩქარის დროზე დამოკიდებულების გრაფიკის მიხედვით, გამოთვალე 2 კგ მასის სხეულზე მოქმედი ძალა თითოეული უბნისათვის. რომელ უბანზე გაივლიდა სხეული მეტ მანძილს (სურ. 11)?

4.6. სხეულთა ურთიერთქმედების ექსპერიმენტული კვლევა



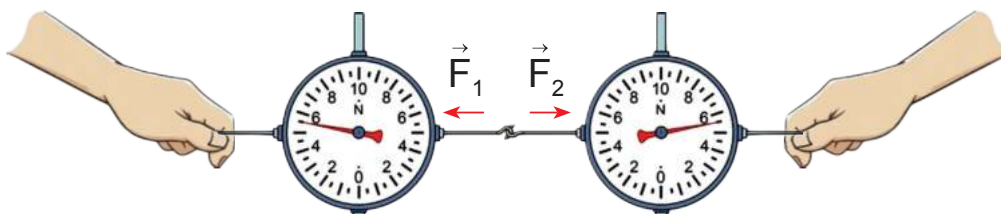
I ექსპერიმენტი

მოცემული გაქვს: ორი სასკოლო დინამომეტრი, თოკი.

მსვლელობა: დინამომეტრები კაუჭებით დაუკავშირე ერთმანეთს და მათ ბოლოებს გამოაბი თოკები. ორმა მოსწავლემ გამოსწიეთ თოკის ბოლოები ისე, რომ არ მიუახლოვდეთ ერთმანეთს.

აღწერე დამზერილი მოვლენა.

გამოიტანე დასკვნა: რაზე მიუთითებს დინამომეტრების ერთნაირი ჩვენებები? რატომ გადაიხარა დინამომეტრების ისრები ურთიერთსაწინააღმდეგო მხარეს?



II ექსპერიმენტი

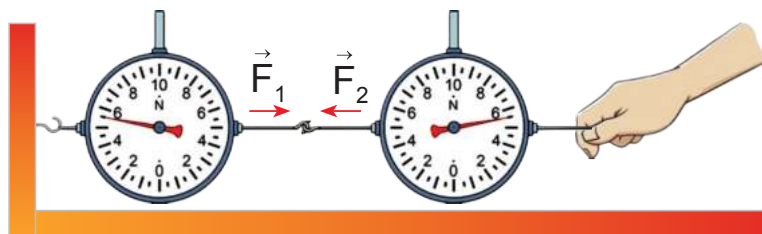
მოცემული გაქვს: ორი სასკოლო დინამომეტრი.

მსვლელობა: დაამაგრე დინამომეტრი საყრდენზე და გამოაბი კაუჭით მეორე დინამომეტრი.

იმოქმედე ძალით მეორე დინამომეტრზე. დააკვირდი დინამომეტრების ჩვენებებს. შემდეგ დინამომეტრზე იმოქმედე მეტი ძალით. ისევ დააკვირდი დინამომეტრების ჩვენებებს.

აღწერე დამზერილი მოვლენა.

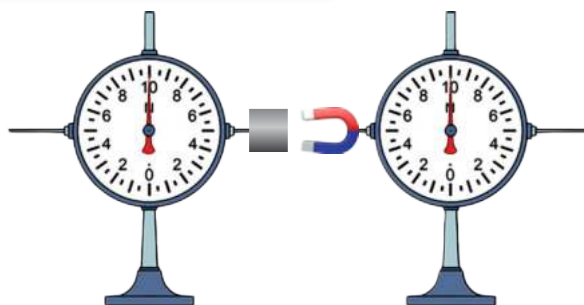
გამოიტანე დასკვნა: რატომ გადაიხარა დინამომეტრების ისრები ურთიერთსაწინააღმდეგო მხარეს?



აზრობრივი ექსპერიმენტი

წარმოიდგინე, ერთ დინამომეტრზე დამაგრებულია რკინის სხეული, მეორეზე — მაგნიტი. დინამომეტრები მიუახლოვებს ერთმანეთს.

ივარაუდე, როგორი იქნება (ერთნაირი თუ განსხვავებული) დინამომეტრების ჩვენებები. დაასაბუთე შენი ვარაუდი.



4.7. ნიუტონის მესამე კანონი



იზიძრა და იმსჯელე

რომელი გემი უფრო მეტად ჭიმავს ბაგირს?

სურ. 12

ნიუტონის კანონები ურთიერთკავშირშია ერთმანეთთან. კავშირი ნიშნავს, რომ ნიუტონის კანონები ადგენენ მოძრაობის კანონზომიერებებს ათვლის ინერციული სისტემების მიმართ. თუმცა, ნიუტონის ყველა ეს კანონი დამოუკიდებელია. ისინი არ გამომდინარეობენ ერთმანეთისგან და არც ერთი კანონი არ არის მეორის კერძო შემთხვევა.

მაგიდაზე მოთავსებული წიგნი $\vec{P}$ ძალით მოქმედებს საყრდენზე. ასევე მაგიდაც მოქმედებს წიგნზე $\vec{N}$ დრეკადობის ძალით (სურ. 13). ეს ძალები ერთნაირი ბუნებისაა. ერთნაირი ნიშნით დამუხტული ბურთულები განიზიდებიან. ანუ პირველი ბურთულა განიზიდვის ძალით მოქმედებს მეორეზე და მეორე ბურთულა — პირველზე. ეს ძალებიც ერთნაირი ბუნებისაა (სურ. 14). ექსპერიმენტებით მტკიცდება, რომ ეს ძალები მოდულით ერთმანეთის ტოლია, მიმართულებით საპირისპიროა.

ნიუტონმა კვლევების შედეგად დაადგინა თანაფარდობა ურთიერთქმედ სხეულებში აღძრულ ძალებს შორის (სურ. 15). იგი **ნიუტონის მესამე კანონის** სახელითაა ცნობილი:

ძალები, რომლითაც ორი სხეული ერთმანეთზე მოქმედებს, სიდიდით ტოლია და ერთი წრფის გასწვრივ ურთიერთსაპირისპიროდაა მიმართული.

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

ნიუტონის მეორე კანონის თანახმად, $\vec{F}_1 = m_1 \vec{a}_1$ და $\vec{F}_2 = m_2 \vec{a}_2$,

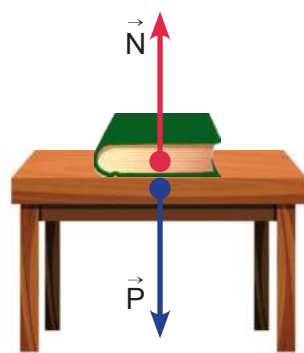
რადგან $F_1 = F_2$, ამიტომ, $m_1 a_1 = m_2 a_2$,

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

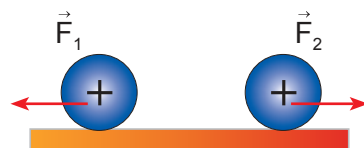
ნიუტონის მესამე კანონის თანახმად, ძალები ყოველთვის წყვილად აღიძვრებიან. ამ ძალებს ხშირად ქმედებისა და უკუქმედების ძალებს უწოდებენ (სურ. 15).

მნიშვნელოვანია, რომ **ქმედებისა და უკუქმედების ძალები სხვადასხვა სხეულზეა მოდებული და ამიტომ არ აკომპენსირებენ ისინი ერთმანეთს. ეს ძალები ერთნაირი ბუნებისაა.**

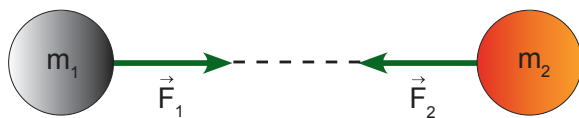
დავუშვათ, ორი ნავი ერთმანეთთან თოკითაა გადაბმული. ერთ-ერთ ნავში მჯდომი ბიჭი F_1 ძალით ეწევა მეორე ცარიელ ნავს. F_1 ძალა მოდებულია მეორე ნავზე. თავის მხრივ ცარიელი



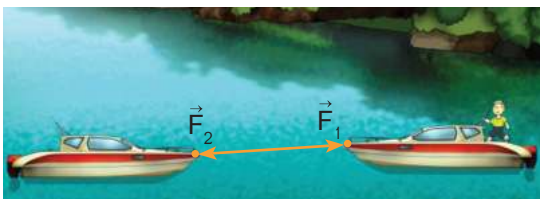
სურ. 13



სურ. 14



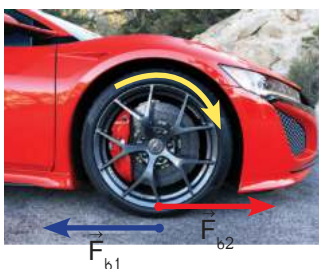
სურ. 15



სურ. 16



სურ. 17



სურ. 18

ნავიც მოქმედებს პირველ ნავზე $\vec{F}_2$ ძალით, რომელიც მოდებულია პირველ ნავზე. რადგან ეს ძალები მოდებულია სხვადასხვა სხეულზე, ისინი არ აკომპენსირებენ ერთმანეთს და ამავე დროს, ერთი ბუნების არიან (სურ. 16).

ნიუტონის მესამე კანონი ისევე, როგორც პირველი და მეორე, სამართლიანია მხოლოდ ათვლის ინერციული სისტემებისთვის, რადგან ერთი ინერციული სისტემიდან მეორე სისტემაში გადასვლისას არ იცვლება სხეულის არც მასა, არც აჩქარება, არც ძალა.

მექანიკის კანონები სამართლიანია ათვლის ინერციული სისტემების მიმართ, ანუ ყველა მექანიკური მოვლენა ერთნაირად მიმდინარეობს ყველა ინერციულ სისტემაში ერთნაირი საწყისი პირობებისას.

ნიუტონის მესამე კანონი ყოველდღიურად ვლინდება ბუნებასა და ყოფა-ცხოვრებაში.

სიარულის დაწყებისას ადამიანი აჩქარებით მოძრაობს. ნიუტონის მეორე კანონის თანახმად, ამ აჩქარებას იწვევს ფეხსაცმლის ლანჩზე დედამიწის მხრიდან მოქმედი ხახუნის ძალა (სურ. 17). მოძრაობისას ადამიანი უბიძგებს მიწას უკან და თავის მხრივ, ნიუტონის მესამე კანონის თანახმად, მიწაც მოდულით ტოლი ძალით წინ უბიძგებს ადამიანს. დედამიწა გაცილებით დიდი მასის გამო იღებს ისეთ მცირე აჩქარებას, რომ პრაქტიკულად რჩება ადგილზე, ადამიანი კი წინ გადაადგილდება.

ავტომანქანის მოძრაობისას ძრავა აბრუნებს ბორბალს. მბრუნავი ბორბალი უბიძგებს მიწას უკან. ნიუტონის მესამე კანონის თანახმად, მიწაც უბიძგებს ბორბალს და მანქანა წინ გადაადგილდება (სურ. 18).



გაანჯრება

- მე-19 სურათის მიხედვით იმსჯელე, როგორ ვლინდება ნიუტონის მესამე კანონი ნავის მოძრაობისას:
 - როგორ გადაადგილდება ნავი?
 - რა ძალები აღიძვრება ნავის მოძრაობისას?
 - რა თანაფარდობაა ამ ძალებს შორის?
 - რატომ არ ამოძრავდება ნავი, თუ სპორტსმენი ნავის კედლებზე შიგნიდან ძალით იმოქმედებს?
- ნიუტონის მესამე კანონის გამოყენებით ახსენი, რატომ დაირღვევა სასწორის წონასწორობა (გვ. 67, სურ. 20)?



სურ. 19



სურ. 20

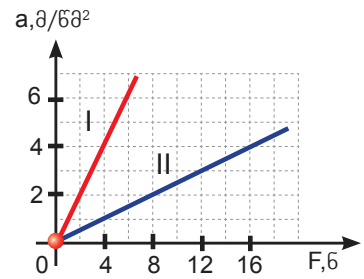


საშინაო დავალება

ბიჭებისა და გოგონების ორი ჯგუფი თოქს ეწევა ურთიერთსაწინააღმდეგო მიმართულებით (სურ. 20) – თითოეული 400 ნ ძალით. განყდება თუ არა თოქი, თუ ის უძლებს 700 ნ დატვირთვას?

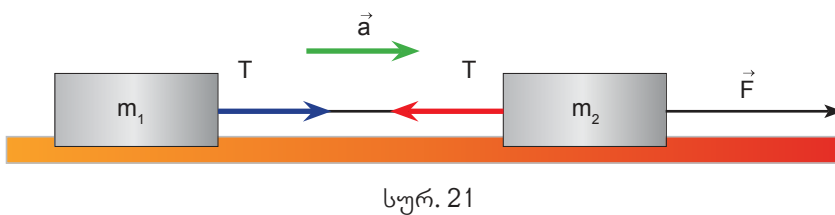
4.8. ამოცანების ამოხსნა

1. თანაბარჩქარებულად მოძრავი 14 ტ მასის თვითმფრინავი 800 მ საფრენი ბილიკის გავლის შემდეგ დედამიწიდან მოწყვეტისას იძენს 144 კმ/სთ სიჩქარეს. გამოთვალე გარბენის დრო, აჩქარება და ტოლქმედი ძალა, რომელიც მოქმედებს თვითმფრინავზე ამ აჩქარების მისანიჭებლად. ჰაერის წინააღმდეგობა უგულებელყოფილია.

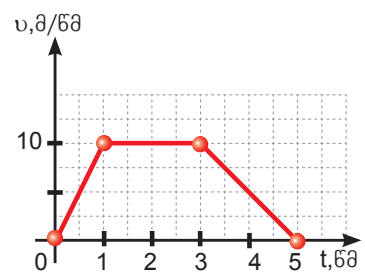


სურ. 22

2. 1 კგ და 2 კგ მასის უჭიმავი ძაფით გადაბმული სხეულები მოძრაობენ ჰორიზონტალურ გლუვ ზედაპირზე. მეორე სხეულზე მოდებულია 12 ნ ძალა. გამოთვალე აჩქარება, რომლითაც მოძრაობს ორივე სხეული (სურ. 21).



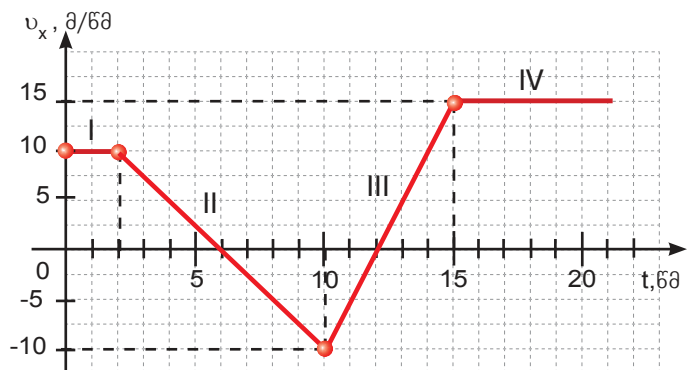
სურ. 21



სურ. 23

3. სხეულების აჩქარების ძალაზე დამოკიდებულების თითოეული გრაფიკის მიხედვით გამოთვალე სხეულის მასები (სურ. 22).

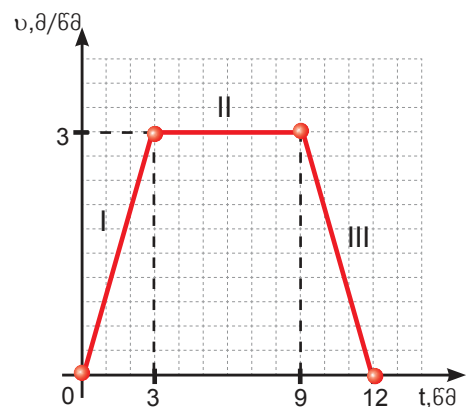
4. სხეულის სიჩქარის დროზე დამოკიდებულების გრაფიკის თითოეული უბნისათვის გამოთვალე 200 კგ მასის სხეულზე მოქმედი ძალა და 5 წმ-ში გავლილი მანძილი (სურ. 23).



სურ. 24

5. 500 კგ სხეულის სიჩქარის გეგმილის დროზე დამოკიდებულების გრაფიკის მიხედვით გამოთვალე თითოეულ უბანზე სხეულზე მოქმედი ძალა (სურ. 24).

6. გრაფიკის მიხედვით შეადგინე მოძრაობის განტოლებები $x = x(t)$, გამოთვალე თითოეულ უბანზე სხეულზე მოქმედი ძალები, თუ სხეულის მასაა 50 კგ (სურ. 25).



სურ. 25

7. 600 გ მასის 0,2 მ/წმ სიჩქარით მოძრავი ბურთულა დაეჯახა 0,4 მ/წმ სიჩქარით შემხვედრი მიმართულებით მოძრავ მეორე ბურთულას, რის შედეგადაც პირველი ბურთულის სიჩქარე გახდა 0,1 მ/წმ, მეორემ კი შეიცვალა მოძრაობის მიმართულება და შეიძინა სიჩქარე 0,2 მ/წმ. გამოთვალე მეორე ბურთულის მასა.

8. 3 კგ მასის სხეული 16,5 ნ ძალის მოქმედებით მოძრაობს ჰორიზონტალურ ზედაპირზე. ხახუნის კოეფიციენტი $\mu = 0,5$. გამოთვალე სხეულის აჩქარება.

4.9. მსოფლიო მიზიდულობის კანონი

იზიძრა და იმსჯელე

რატომ მოძრაობს მთვარე დედამიწის გარშემო და დედამიწა მთვარესთან ერთად მზის გარშემო?

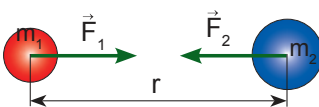
სურ. 27



სურ. 28



სურ.29



სურ. 30

დედამიწიდან ზევით აწეული ნებისმიერი სხეული მიზიდულობის გამო ვარდება დედამიწაზე. ექსპერიმენტებით დადგინდა, რომ სხეულებს იზიდავს არა მარტო დედამიწა, არამედ თავად სხეულებიც იზიდავენ როგორც ერთმანეთს, ასევე დედამიწას. დედამიწაზე ზღვებისა და ოკეანეების მიქცევ-მოქცევა მზისა და მთვარის მიზიდულობით არის გამოწვეული.

1687 წელს ნიუტონმა ასტრონომიული დაკვირვებების შედეგად, დინამიკის კანონები მთვარის მოძრაობას მიუსადაგა. მისთვის ცნობილი იყო, რომ მთვარე დედამიწის გარშემო თითქმის წრიულ ორბიტაზე მოძრაობს (სურ. 28). წრიულ ორბიტაზე მოძრაობა სხეულს მხოლოდ მაშინ შეუძლია, როდესაც მასზე მოქმედებს ძალა, რომელიც ცენტრისკენულ აჩქარებას ანიჭებს. ეს ძალა რომ არ მოქმედებდეს, მაშინ მთვარე იმოძრაებდა წრფივად და თანაბრად.

ნიუტონმა გამოთქვა მოსაზრება, რომ ძალა, რომელიც მთვარეს „აიძულებს“ დედამიწის გარშემო წრიულ ორბიტაზე იმოძრაოს, არის დედამიწასა და მთვარეს შორის ურთიერთმიზიდულობის ძალა. მათემატიკური გამოთვლებით ნიუტონმა მიიღო ფორმულა, რომლის საფუძველზეც დაადგინა მთვარისა და დედამიწის ურთიერთმიზიდვის ძალა.

შემდგომი კვლევების შედეგად ნიუტონმა ასევე დაადგინა, რომ მის მიერ მიღებული ფორმულით შესაძლებელი იყო ნებისმიერი ორი სხეულის მიზიდულობის ძალის (გრავიტაციული ძალა) გამოთვლა. თუმცა ამ სხეულების ზომები გაცილებით ნაკლები უნდა ყოფილიყო მათ შორის მანძილზე. ნიუტონის ამ აღმოჩენას **მსოფლიო მიზიდულობის კანონი** ეწოდა:

ნებისმიერი ორი სხეული ურთიერთმიზიდება ძალით, რომლის მოდული პირდაპირპროპორციულია ამ სხეულების მასების ნამრავლისა და უკუპროპორციულია მათ შორის მანძილის კვადრატისა.

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

სადაც m_1 და m_2 სხეულის მასებია, r — მათ შორის მანძილი

(სურ. 30). ძალა მიმართულია სხეულების შემაერთებელი წრფის გასწვრივ.

მსოფლიო მიზიდულობის კანონი სამართლიანია მატერიალური წერტილებისთვის და ერთგვაროვანი სფერული ფორმის სხეულებისათვის.

G-ს მსოფლიო მიზიდულობის, ანუ **გრავიტაციული მუდმივა** ეწოდება.

$$G = \frac{F r^2}{m_1 m_2}, \quad G = 6,674 \cdot 10^{-11} \frac{\text{ნმ}^2}{\text{კგ}^2}.$$

თუ ორი, თითოეული 1 კგ მასის მატერიალური წერტილი დაშორებულია 1 მ-ით, მაშინ

$$F = 6,674 \cdot 10^{-11} \text{ ნ}.$$

გრავიტაციული მუდმივა რიცხობრივად ტოლია 1 მ-ით დაშორებული თითო კგ მასის ორ სხეულს შორის გრავიტაციული ურთიერთმიზიდულობის ძალისა.

გრავიტაციული მუდმივა პირველად ექსპერიმენტულად, გრეხითი სასწორის (სურ. 29) საშუალებით გაზომა ინგლისელმა მეცნიერმა, **ჰენრი კავენდიშმა** 1797-1798 წლებში.

დავუშვათ, სხეული დედამიწიდან რაიმე h სიმაღლეზეა (სურ. 31). თუ დედამიწის რადიუსს აღვნიშნავთ R -ით, მასას M -ით, სხეულის მასას m -ით, მაშინ მსოფლიო მიზიდულობის კანონი გამოისახება ფორმულით:

$$F = G \frac{M m}{(R + h)^2}.$$



ბააზრება

1. მთვარესა და მზეს შორის მიზიდულობის ძალა ორჯერ ნაკლებია, ვიდრე მთვარესა და დედამიწას შორის. იმსჯელე, როგორ იმოძრაებდა მთვარე დედამიწასა და მთვარეს შორის მიზიდულობა რომ შემცირებულიყო?
2. გამოთვალე ურთიერთმიზიდულობის ძალა 56 ტ თვითმფრინავსა და დედამიწას შორის და შეადარე თვითმფრინავის სიმძიმის ძალას. დედამიწის რადიუსია 6 400 კმ და მასა $6 \cdot 10^{24}$ კგ-ია (სურ. 32).
3. სურათზე გამოსახული გრაფიკის მიხედვით იმსჯელე დედამიწის მიზიდულობის ძალის მანძილზე დამოკიდებულების შესახებ (სურ. 33).

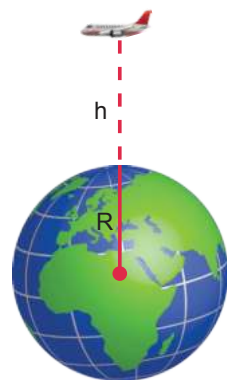


საშინაო დავალება

1. 10 კგ მასის ტყვიის ორი სფერო ერთმანეთისგან დაშორებულია 0,15 მ მანძილით. გამოიანგარიშე მათ შორის ურთიერთმიზიდულობის ძალა.
2. რა ძალით მიიზიდავს 158 კგ მასის ტყვიის ბურთულა 0,73 კგ ტყვიის მასის ბურთულას, თუ ამ სხეულების ცენტრებს შორის მანძილი 22,5 სმ-ია (გრეხითი სასწორით ჩატარებული ცდის მიხედვით)?
3. გამოთვალე 1 კგ მასის სხეულის მიზიდულობის ძალა ვენერას ზედაპირზე. ვენერას მასა დაახლოებით $4 \cdot 10^{24}$ კგ-ია, რადიუსი – 6100 კმ.



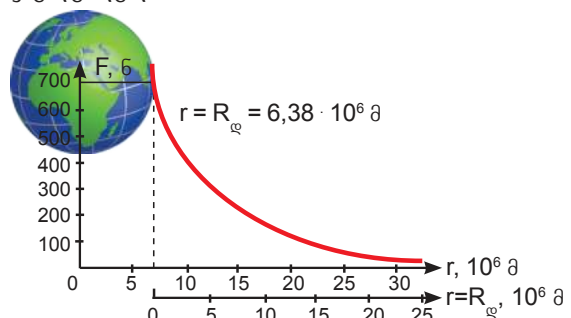
ჰენრი კავენდიში
(1730 - 1810 წ.წ.)



სურ. 31



სურ. 32



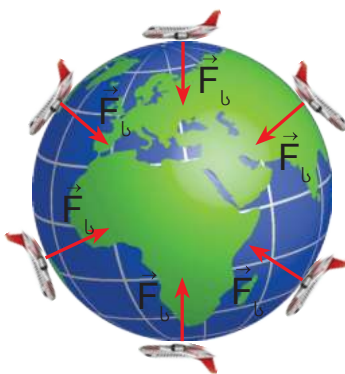
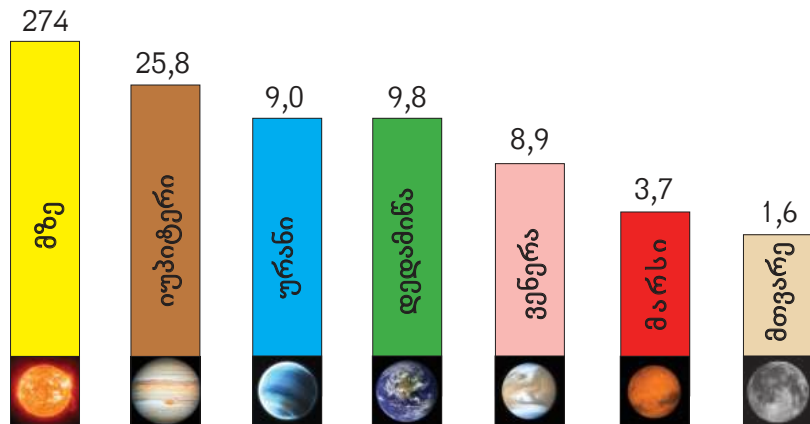
სურ. 33

4.10. ერთი კალით გამოწვეული სხეულის მოძრაობა

იზიძრა და იმსჯელე

რატომ განსხვავდება თავისუფალი ვარდნის აჩქარება პლანეტებზე?

სურ. 34



სურ. 35

დედამიწის ზედაპირთან ახლომდებარე სხეულზე მოქმედ მიზიდულობის ძალას **სიმძიმის ძალა** ეწოდება.

სიმძიმის ძალა დამოკიდებულია სხეულის მასაზე და მიმართულია დედამიწის ცენტრისკენ (სურ. 35). ერთი და იმავე სხეულის სიმძიმის ძალა დედამიწის ზედაპირის სხვადასხვა ადგილას განსხვავებულია. სიმძიმის ძალას ზომავენ ხელსაწყო გრავიმეტრით. ზუსტი გაზომვებით შესაძლებელია სიმძიმის ძალის მიმართულების დადგენა. გაზომვის მონაცემების ანალიზით ადგენენ დედამიწის ქანებში სასარგებლო წიაღისეულის არსებობას (სურ. 36).

ექსპერიმენტებით დადგინდა, რომ ნებისმიერი 1 კგ მასის სხეულს დედამიწა მოცემულ წერტილში იზიდავს დაახლოებით 9,8 ნ ძალით, ხოლო m მასის სხეულს m - ჯერ მეტი ძალით. ე.ი.

$$F_g = m \cdot 9,8 \text{ ნ/კგ.}$$

9,8 ნ/კგ არის სიდიდე, რომელიც აღნიშნება g ასოთი. დედამიწისთვის იგი საშუალოდ 9,8 მ/წმ²-ის ტოლია და უწოდებენ **თავისუფალი ვარდნის აჩქარებას**. მასზე დამოკიდებულია სიმძიმის ძალა.

$$\vec{g} = \frac{\vec{F}_g}{m}.$$

სხეულის სიმძიმის ძალის შეფარდება ამ სხეულის მასასთან მუდმივი სიდიდითაა ნებისმიერი მასის სხეულისთვის.

სხეულზე მოქმედი სიმძიმის ძალა მსოფლიო მიზიდულობის ძალის გამოვლენაა. სხეულზე მოქმედი მსოფლიო მიზიდულობის ძალა და სიმძიმის ძალა ერთმანეთის ტოლია.

$$mg = G \frac{Mm}{R^2}, \quad \text{აქედან} \quad g = G \frac{M}{R^2}.$$

ეს ფორმულა სამართლიანია ნებისმიერი ციურის სხეულისათვის. g თავისუფალი ვარდნის აჩქარების სიდიდე დამოკიდებულია ციური სხეულის მასასა და რადიუსზე.

$$\frac{6}{38} = \frac{38 \cdot 9,8 \text{ მ/წმ}^2}{38} = 9,8 \text{ მ/წმ}^2$$

ე.ი. გარდა დედამიწისა, სხვა პლანეტები და მათი თანამგზავრებიც სხეულებს სიმძიმის ძალით იზიდავენ. რადგან პლანეტების მასები და რადიუსები განსხვავებულია, ამიტომ ერთი და იმავე მასის სხეულზე მოქმედი სიმძიმის ძალა და, შესაბამისად, g — თავისუფალი ვარდნის აჩქარებაც, განსხვავებულია.

დიაგრამაზე მოცემულია მზის სისტემის პლანეტებზე თავისუფალი ვარდნის აჩქარებებს შორის თანაფარდობა (სურ. 34).

მთვარეზე სიმძიმის ძალა თითქმის 6-ჯერ ნაკლებია, ვიდრე დედამიწაზე. თუ ადამიანი დედამიწაზე 1 მ სიმაღლეზე ხტება, იგი მთვარეზე 6 მ სიმაღლეზე ახტება, თუ ზედაპირიდან მოწყვეტის სიჩქარე ერთნაირია.



სურ. 36



გაანზრება

1. იმსჯელე, რატომ არის სხეულების ვარდნა (თუ ჰაერის წინააღმდეგობას უგულებელვყოფთ) ერთი ძალის მოქმედებით მოძრაობა (სურ. 37)?
2. სხეულის სიმძიმის ძალა დედამიწაზე 60 ნ-ია. რა სიმძიმის ძალა იმოქმედებს იმავე სხეულზე — მთვარეზე.



სურ. 37



საშინაო დავალება

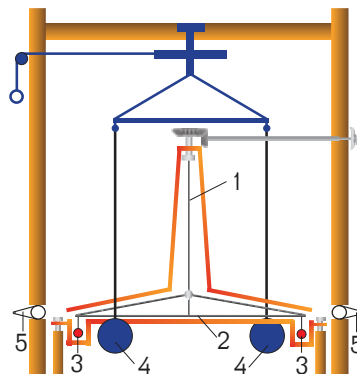
აზრობრივი ექსპერიმენტი „დედამიწის აწონვა“

XVIII საუკუნის ბოლოს ინგლისელმა მეცნიერმა ჰენრი კავენდიშმა გრეხითი სასწორის გამოყენებით ექსპერიმენტულად შეამოწმა მსოფლიო მიზიდულობის კანონი და გაზომა მიზიდულობის ძალა ორ ლითონის ბურთულას შორის. ამ გაზომვებზე დაყრდნობით მან შეძლო გრავიტაციული მუდმივას გამოთვლა. G -ს დადგენის შემდეგ კავენდიშმა გამოთვალა დედამიწის მასა. ამ ექსპერიმენტს „დედამიწის აწონას“ უწოდებენ. სურათზე გამოსახულია კავენდიშის ცდის სქემა.

გრეხითი სასწორის წვრილი, დრეკადი სიმი (1), ზედა ბოლოთი ისეა დამაგრებული, რომ შეიძლება მისი შემობრუნება და შემობრუნების კუთხის გაზომვა. სიმის ქვედა ბოლო ჩამაგრებულია მსუბუქი, ჰორიზონტალური ღეროს შუაში (2). ღეროს ბოლოებზე მიმაგრებულია პატარა ზომის ტყვიის ბურთულები (3). გაცილებით დიდი მასის ტყვიის ორი სფერო (4) დამაგრებულია მბრუნავ ხარისზე ისე, რომ შეიძლება მისი შემობრუნებისას მივუახლოვოთ სფეროები ბურთულებს ჯერ ერთი მხრიდან, შემდეგ მეორე მხრიდან. დიდი და პატარა ბურთულების გრავიტაციული მიზიდვის ძალა იწვევს მსუბუქი (2) ღეროს შემობრუნებას და სიმის გრეხვას, რაც დაიზიარება თვალთ(5). ამ კუთხის გაზომვით კავენდიშმა გამოთვალა ბურთულებს შორის ურთიერთქმედების გრავიტაციული ძალა.

წარმოიდგინე, ატარებ კავენდიშის ცდის ანალოგიურ ექსპერიმენტს. შენთვის ცნობილია, რომ ურთიერთქმედი თითოეული ბურთულის მასა 1 კგ-ია და მანძილი მათი სიმძიმის ცენტრებს შორის — 1 მ. გრეხითი სასწორის შემობრუნების კუთხის მნიშვნელობის გათვალისწინებით გამოთვლილი ძალაა $F = 6,754 \cdot 10^{-11}$ ნ. ამ მონაცემით გამოთვალე გრავიტაციული მუდმივა G . რას უდრის G ?

როგორ გამოიყენებ გრავიტაციული მუდმივას რიცხვით მნიშვნელობას მთვარეზე თავისუფალი ვარდნის აჩქარების გასაგებად, თუ მთვარის რადიუსია $R = 1738,14$ კმ და მასა $M = 7,35 \cdot 10^{22}$ კგ.



4.11. სხეულის წონის ექსპერიმენტული კვლევა



I ექსპერიმენტი

მოცემული გაქვს: კაუჭიანი საწონი, ზამბარიანი დინამომეტრი (ან მცირე სიხისტის ზამბარა).

მსვლელობა:

ა. ჩამოჰკიდე საწონი დინამომეტრზე და გაზომე სხეულის წონა (სურ. ა).

ბ. ასწიე საწონიანი დინამომეტრი დაახლოებით 60 სმ სიმაღლეზე და ხელით აჩქარებულად ამოძრავე ქვევით (სურ. ბ). დააკვირდი დინამომეტრის ჩვენებას.

აღწერე დამზერილი მოვლენა. გამოიტანე დასკვნა: რატომ შეიკუმშა ზამბარა. როგორ იცვლება სხეულის წონა ქვევით, აჩქარებულად მოძრაობისას?

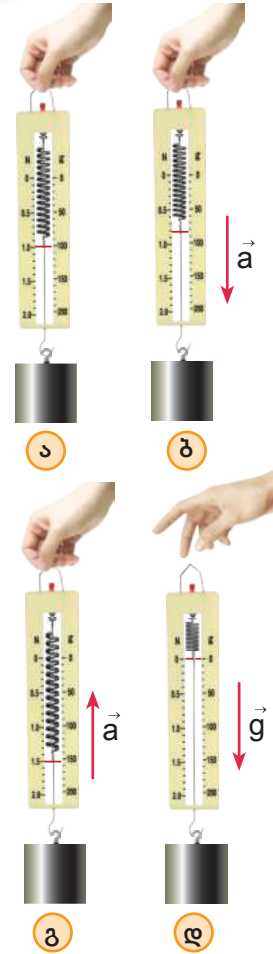
გ. საწონიანი დინამომეტრი სწრაფად, აჩქარებულად ასწიე დაახლოებით 60 სმ სიმაღლეზე (სურ. გ). დააკვირდი დინამომეტრის ჩვენებას.

აღწერე დამზერილი მოვლენა. გამოიტანე დასკვნა: რატომ დაიჭიმა ზამბარა. როგორ იცვლება სხეულის წონა ზევით, აჩქარებულად მოძრაობისას?

დ. ასწიე საწონიანი დინამომეტრი დაახლოებით 60 სმ სიმაღლეზე და გაუშვი ხელი (სურ. დ). დააკვირდი დინამომეტრის ჩვენებას.

აღწერე დამზერილი მოვლენა.

გამოიტანე დასკვნა: ვარდნისას რატომ არ დაიჭიმა ზამბარა და რატომ არის სხეული უწონოების მდგომარეობაში?



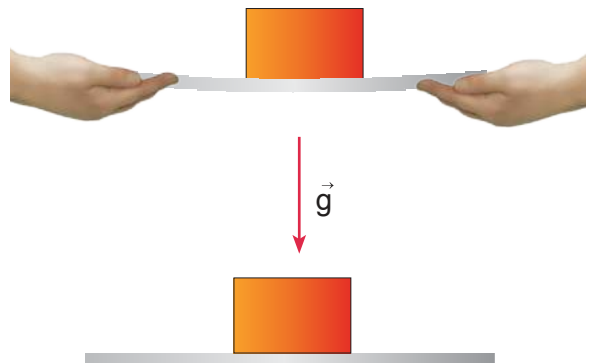
II ექსპერიმენტი

მოცემული გაქვს: ქაღალდის ფურცელი, ხის პატარა ძელაკი (ან საშლელი).

მსვლელობა: მოათავსე ფურცელზე ხის ძელაკი. ასწიე ფურცელი ძელაკთან ერთად 60 სმ სიმაღლეზე და გაუშვი ხელი.

აღწერე დამზერილი მოვლენა.

გამოიტანე დასკვნა: რატომ დაცა ერთდროულად ხის ძელაკი და ქაღალდის ფურცელი? ვარდნისას რატომ არ აწვება ხის ძელაკი ქაღალდის ფურცელს?



4.12. წონა და უწონობა



იზიძრა და იმსჯელებს

რატომ არიან
სხეულები
კოსმოსურ
სივრცეში
უწონობის
მდგომარეობაში?

სურ.38

თანაბრად მოძრავი ან უძრავი სხეულის წონა განსხვავდება თანაბარაჩქარებულად მოძრავი სხეულის წონისაგან.

უძრავი სხეულის წონა, როდესაც უძრავ ჰორიზონტალურ საყრდენზეა მოთავსებული, სიმძიმის ძალის ტოლია და მოდებულია საყრდენზე. სიმძიმის ძალა იწვევს საყრდენის დეფორმაციას. **ძალა, რომლითაც დეფორმირდება საყრდენი, არის წონა.** იგი საყრდენზეა მოდებული (სურ. 39 ა), ანუ **წონა მადეფორმირებული ძალაა.**

საყრდენის დეფორმაციისას აღიძვრება დრეკადობის ძალა, რომელიც მოდებულია სხეულზე და მოდულით სხეულის წონის ტოლია. სხეულის წონა და საყრდენის რეაქციის ძალა საპირისპიროდ არიან მიმართული (სურ. 39 ბ).

სხეულის წონა და სიმძიმის ძალა სხვადასხვა ბუნების ძალებია.

სიმძიმის ძალა გრავიტაციული ბუნებისაა, ხოლო წონა მოლეკულათა შორის ურთიერთქმედების ძალის გამოვლენაა და ელექტრომაგნიტური ბუნებისაა.

თუ სხეული უძრავად კიდეა საკიდელზე, მაშინ სხეულის წონა და საკიდელში აღძრული დრეკადობის ძალა (დაჭიმულობის ძალა), ნიუტონის მესამე კანონის თანახმად, ერთმანეთის ტოლია. სხეულის წონა ყოველთვის მოდებულია საკიდელზე ან საყრდენზე.

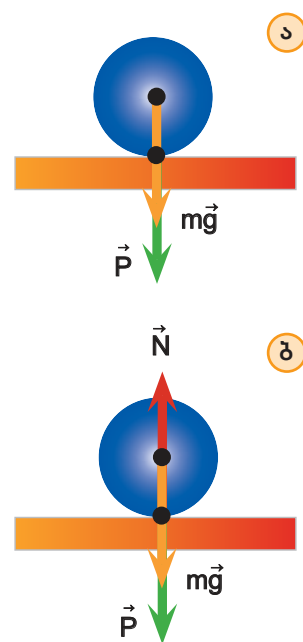
დავუშვათ, ზამბარიან დინამომეტრზე დაკიდებულ სხეულს ხელით ქვევით მიმართული $\vec{a}$ აჩქარებით ამოძრავებენ (სურ. 40). სხეულზე მოქმედებს $m\vec{g}$ სიმძიმისა და $\vec{F}_{\text{დრ}}$ დრეკადობის ძალები. OY ღერძი მიმართულია ვერტიკალურად ქვევით. ნიუტონის მეორე კანონის თანახმად, სხეულზე მოქმედი ტოლქმედი ძალა, რომელიც სხეულს $\vec{a}$ აჩქარებას ანიჭებს, იქნება:

$$m\vec{a} = \vec{F}_{\text{დრ}} + m\vec{g}$$

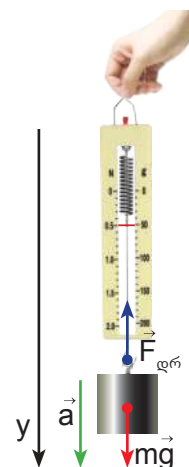
OY ღერძზე გეგმილი იქნება:

$$(OY) \quad ma = -F_{\text{დრ}} + mg$$

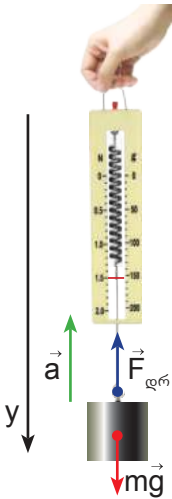
$$F_{\text{დრ}} = mg - ma$$



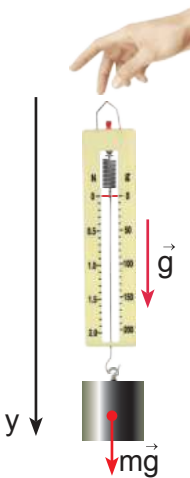
სურ. 39



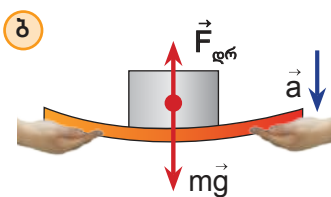
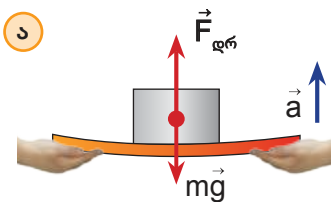
სურ. 40



სურ. 41



სურ. 42



სურ. 43

ნიუტონის მესამე კანონის თანახმად, რა ძალითაც სხეული მოქმედებს ზამბარაზე, იმავე ძალით ზამბარა მოქმედებს სხეულზე. ანუ $F_{\text{დრ}}$ დრეკადობის ძალა მოდულით P სხეულის წონის მოდულის ტოლია.

$$P = F_{\text{დრ}},$$

ე.ი

$$P = mg - ma, \quad P = m(g - a).$$

აჩქარებულად ქვევით ან შენელებულად ზევით მოძრაობის სხეულზე მოქმედი სიმძიმის ძალა მეტია დრეკადობის ძალაზე და სხეულის წონა ნაკლებია სიმძიმის ძალაზე.

თუ სხეული ზევით მიმართული $\vec{a}$ აჩქარებით მოძრაობს (სურ. 41), მაშინ სხეულზე მოქმედი ძალთა ტოლქმედი, რომელიც სხეულს $\vec{a}$ აჩქარებას ანიჭებს, იქნება:

$$m\vec{a} = \vec{F}_{\text{დრ}} + m\vec{g}$$

OY ღერძზე გეგმილი იქნება:

$$(OY) \quad -ma = -F_{\text{დრ}} + mg$$

$$F_{\text{დრ}} = mg + ma, \quad P = F_{\text{დრ}}, \quad P = mg + ma,$$

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

აჩქარებულად ზევით ან შენელებულად ქვევით მოძრაობის სხეულზე მოქმედი სიმძიმის ძალა ნაკლებია დრეკადობის ძალაზე და სხეულის წონა მეტია სიმძიმის ძალაზე.

თუ სხეული საკიდელთან ან საყრდენთან ერთად ვარდება ვაკუუმში (უჰაერო სივრცეში) (სურ. 42), მაშინ მისი აჩქარება

$$a = g \quad \text{და} \quad P = m(g - g) = 0.$$

თუ სხეული არ ჭიმავს საკიდს და არ აწევს საყრდენს, მაშინ მისი წონა ნულის ტოლია.

სხეულის ასეთ მდგომარეობას უწოდებენ უწონობას. უწონობაშია ყველა ის სხეული, რომელიც თავისუფალი ვარდნის მდგომარეობაშია.



გაანვიხილოთ

1. იმსჯელე და გამოთვალე, რა აჩქარებით და რომელი მიმართულებით უნდა ავამოძრაოთ ჰორიზონტალურ საყრდენზე მოთავსებული სხეული, რომ მისი წონა სამჯერ გაიზარდოს?
2. იმსჯელე, რა თანაფარდობაა სურათზე გამოსახულ სხეულზე მოქმედ სიმძიმის ძალის მოდულსა და სხეულის წონის მოდულს შორის (სურ. 43 ა,ბ).

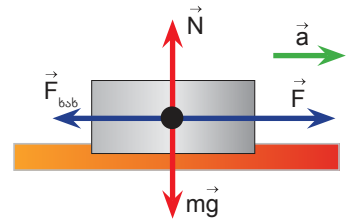


საშინაო დავალება

1. დაფი წყდება მასზე 40 ნ ძალის ზემოქმედებით. განწყდება თუ არა დაფი მასზე 2 კგ მასის ტვირთის დაკიდებისას? ტვირთიანი დაფის ზევით მიმართული 7 მ/წმ^2 აჩქარებით ამოძრავებისას?
2. დინამომეტრის მაქსიმალური ჩვენებაა 10 ნ. რა აჩქარებითაა შესაძლებელი ასეთ დინამომეტრზე ჩამოკიდებული 0,5 კგ მასის ტვირთის აწევა?

4.13. ამოცანების ამოხსნა

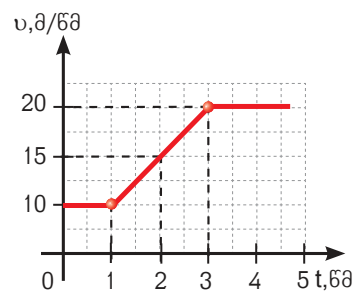
1. ჰორიზონტალურ სიბრტყეზე მოთავსებულ 2 კგ მასის ხის ძელაკს ეწევიან F ძალით. ძელაკის აჩქარებაა 0.2 მ/წმ^2 , ხახუნის კოეფიციენტი 0.2 . გამოთვალე წევის ძალა (სურ. 44).



სურ. 44

2. 15 კგ მასის სხეულის მოძრაობისას კოორდინატის დროზე დამოკიდებულებაა: $x = 5 - 12t$. გამოთვალე სხეულზე მოქმედი ძალების ტოლქმედის მოდული.

3. 500 კგ მასის ავტომანქანის სიჩქარის მოდულის დროზე დამოკიდებულების მიხედვით გამოთვალე ტოლქმედი ძალის მოდული 2 წმ-თვის (სურ. 45).



სურ. 45

4. $m_1 = 1$ კგ და $m_2 = 2$ კგ მასის სხეულები, მათზე 15 ნ წევის ძალის მოქმედებით აჩქარებულად გადაადგილდებიან მაგიდის ზედაპირზე. ხახუნის კოეფიციენტი 0.1 . გამოთვალე თოკის დაჭიმულობის ძალა (გვ. 89, სურ. 21).

5. რა საშუალო აჩქარებას შეიძენს მშვილდიდან გასროლისას 50 გ მასის ისარი, თუ მშვილდის დაჭიმვის მაქსიმალური ძალაა 100 ნ? გამოთვალე ისრის საბოლოო სიჩქარე, თუ გასროლის დროის ხანგრძლივობა 0.01 წმ (სურ. 46).



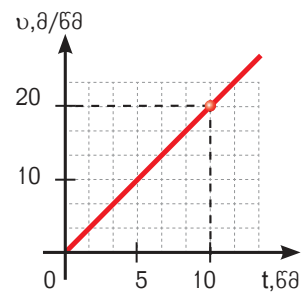
სურ. 46

6. რა დაჭიმულობის ძალა მოქმედებს ლიფტის ბაგიზე, თუ დატვირთული ლიფტის მასაა 1000 კგ და ლიფტი 0.2 მ/წმ^2 აჩქარებით მოძრაობს ($g = 9.8 \text{ მ/წმ}^2$).

7. ლიფტის იატაკზე მოთავსებულია 50 კგ მასის ყუთი. ლიფტის სიჩქარე ზევით მოძრაობისას 3 წმ-ში შეიცვალა 8 მ/წმ-დან 2 მ/წმ-მდე. გამოთვალე ყუთის იატაკზე დაწოლის ძალა.

8. ორთქლმავალმა უბიძგა 30 ტ მასის ვაგონს, რომელიც ჰორიზონტალურ გზაზე იდგა. ვაგონმა დაიწყო მოძრაობა 0.5 მ/წმ სიჩქარით. გამოთვალე დარტყმის ძალა, თუ იგი 1 წმ-ს გრძელდებოდა.

9. სხეულის სიჩქარის დროზე დამოკიდებულების გრაფიკის მიხედვით, გამოთვალე 1500 კგ მასის ავტომანქანის წევის ძალა, თუ ხახუნის ძალა 2000 ნ-ია (სურ. 47).



სურ. 47

10. რას უდრის 1 კგ მასის სხეულისა და დედამიწის ურთიერთმიზიდულობის ძალა დედამიწის ზედაპირიდან მისი რადიუსის ნახევრის ტოლ მანძილზე?

11. დედამიწისა და მთვარის ცენტრებს შორის საშუალო მანძილი დედამიწის რადიუსზე 60-ჯერ მეტია. მთვარის მასა 81-ჯერ ნაკლებია დედამიწის მასაზე. მათი ცენტრების შემაერთებული წრფის რომელ წერტილში იქნება სხეულზე მოქმედი მთვარისა და დედამიწის მიზიდულობის ძალები ტოლი?

12. დედამიწასა და მზეს შორის მანძილი $1.5 \cdot 10^{11}$ მ-ია. რა წირითი სიჩქარით მოძრაობს დედამიწა მზის გარშემო?

13. დედამიწიდან რა მანძილზე უნდა ავიდეს კოსმოსური ხომალდი, რომ მიზიდულობის ძალა 100-ჯერ შემცირდეს.

4.14. მოძრაობა წრეწირზე

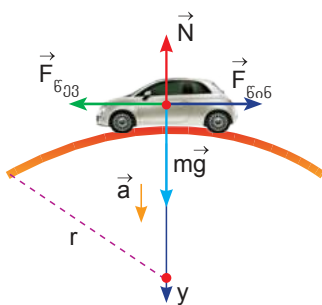
იზიძრა და იმსჯელო

როდის უფრო მსუბუქია მანქანა, ამოზნექილ ხიდზე მოძრაობისას, თუ როცა დგას ხიდზე?



სურ. 48

$v = \text{const}$



სურ. 49

წონა დამოკიდებულია სხეულის მოძრაობის ხასიათზე. წრეწირზე მოძრავი სხეულის წონა განსხვავებულია უძრავი სხეულის წონისგან. დავუშვათ, მანქანა r -რადიუსიან თაღოვან ხიდზე v მუდმივი სიჩქარით მოძრაობს (სურ. 49).

ხიდის უმაღლეს წერტილში აჩქარება, რომლითაც მანქანა მოძრაობს, წრეწირის ცენტრისკენაა მიმართული და მისი მოდული გამოისახება ფორმულით:

$$a = \frac{v^2}{r}$$

კოორდინატა OY ღერძი მიემართოთ ვერტიკალურად ქვევით. a აჩქარებას მანქანას ანიჭებს მისი სიმძიმის ძალისა $F_{სიმ} = mg$ და ხიდის N რეაქციის ძალის ტოლქმედი. ნიუტონის II კანონის თანახმად, ავტომანქანის მოძრაობის განტოლებაა:

$$\vec{F}_{წიგ} + \vec{F}_{სიმ} + m\vec{g} + \vec{N} = m\vec{a}, \quad \vec{F}_{წიგ} = -\vec{F}_{სიმ}$$

განტოლებაში შემავალი ვექტორების OY ღერძზე დაგეგმილებით განტოლებას ექნება ასეთი სახე:

$$(OY) \quad mg - N = ma$$

$$\text{რადგან} \quad a = \frac{v^2}{r}, \quad \text{ამიტომ} \quad mg - N = m \frac{v^2}{r},$$

$$\text{საიდანაც} \quad N = m \left(g - \frac{v^2}{r} \right).$$

ძალა, რომლითაც მანქანა აწევა ხიდს (სხეულის წონა $-P$), მოდულით ხიდის N რეაქციის ძალის მოდულის ტოლია. ნიუტონის III კანონის თანახმად,

$$P = N, \quad P = m \left(g - \frac{v^2}{r} \right), \quad P < mg.$$

ამგვარად, ხიდზე მოძრაობისას უმაღლეს წერტილში მანქანის წონა ნაკლებია მისი უძრაობის წონაზე.

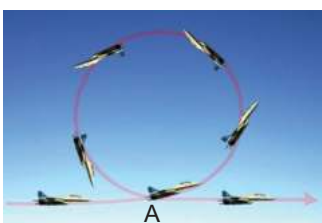
ასევე, „მსუბუქებიან“ მანქანაში მსხდომი მგზავრები.

დავუშვათ, თვითმფრინავი ასრულებს მკვედარ მარყუჟს (სურ. 50 ა, ბ), მისი მრუდწირული ტრაექტორიის ქვედა A წერტილში მფრინავზე მოქმედი ძალთა ტოლქმედი, ნიუტონის II კანონის თანახმად, იქნება (სურ. 51):

ა



ბ



სურ. 50

$\vec{mg} + \vec{N} = m\vec{a}$
 OY ღერძი მივმართოთ ვერტიკალურად ქვევით. მაშინ გეგმილი OY ღერძზე იქნება:

(OY) $mg - N = -ma$
 $ma = N - mg$, აქედან

$N = mg + ma$

რადგან $P = N$, ამიტომ

$P = m \left(g + \frac{v^2}{r} \right)$, $P > mg$.

ამგვარად, თვითმფრინავის მოძრაობისას, მრუდწირული ტრაექტორიის უდაბლეს წერტილში, მფრინავის წონა მეტია მის უძრავობის წონაზე.

თუ პიკირებიდან გამოსვლისას თვითმფრინავის აჩქარება n -ჯერ მეტია თავისუფალი ვარდნის g აჩქარებაზე

$a = \frac{v^2}{r} = ng$.

მაშინ, მფრინავის წონა $P = m(g + ng) = mg(n + 1)$.

მფრინავის წონა ტრაექტორიის უდაბლეს წერტილში $(n + 1)$ -ჯერ მეტი იქნება მფრინავის უძრავობის წონაზე და მისი დაწოლის ძალა საყრდენზე იზრდება.



გაანვიხილოთ

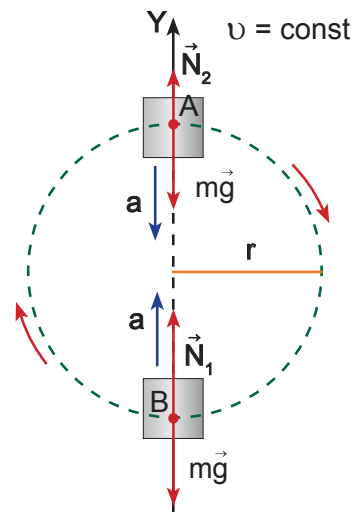
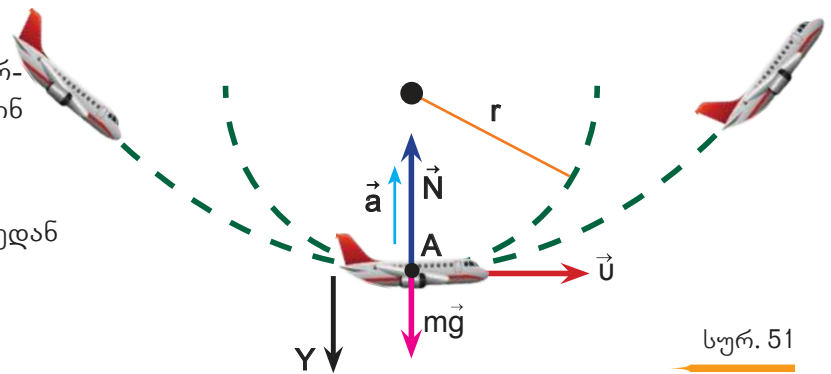
იმჯერე „ეშმაკის ბორბალის“ კაბინაში მოთავსებული სხეულის წონის ცვლილებაზე ვერტიკალურ სიბრტყეში წრეწირზე თანაბარი მოძრაობისას A და B წერტილებში (სურ. 52).

- როგორი თანაფარდობა იქნება სხეულის წონასა და სიმძიმის ძალას შორის, თუ სხეული უძრავადაა A წერტილში? B წერტილში?
- როგორი თანაფარდობაა სხეულის წონასა და მის სიმძიმის ძალას შორის A წერტილში, თუ სხეული წრეწირზე a აჩქარებით მოძრაობს?
- როგორი თანაფარდობაა სხეულის წონასა და მის სიმძიმის ძალას შორის B წერტილში, თუ სხეული a აჩქარებით მოძრაობს?



საშინაო დავალება

- 40 კგ მასის ბიჭი ქანაობს საქანელაზე, რომლის საკიდელის სიგრძეა 4 მ. რა ძალით აწევს ბიჭი სკამს მაშინ, როცა წონასწორობის მდებარეობის გავლისას მისი სიჩქარეა 6 მ/წმ?
- 1 ტ მასის ავტომანქანა 40 მ რადიუსის ამოზნექილ ხიდზე 36 კმ/სთ სიჩქარით მოძრაობს. როგორია მისი წონა ხიდის შუა ადგილას? შეადარე იგი უძრავი მანქანის წონას. გამოიტანე დასკვნა.
- რა უმცირესი სიჩქარით უნდა ვაბრუნოთ 1 მეტრი სიგრძის თოკზე გამოშვებული წყლით სავსე სათლი ვერტიკალურ სიბრტყეში ისე რომ სათლიდან წყალი არ გადმოიღვაროს?

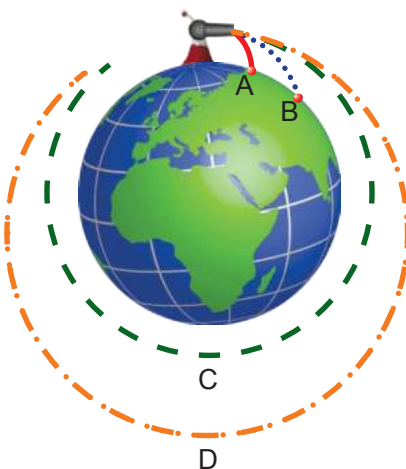


4.15. პირველი კოსმოსური სიჩქარე

იზიარა და იმსჯელე

რა სიჩქარე უნდა მიანიჭოს რაკეტამ კოსმოსურ ხომალდს, რომ მან მთვარესავით დედამიწის გარშემო იმოძრაოს?

სურ. 53



სურ. 54

სხეულების მექანიკური მოძრაობის კვლევისას ნიუტონი აზრობრივ ექსპერიმენტებსაც ატარებდა. მან წარმოიგინა, რომ ძალიან მაღალ მთის მწვერვალზე (რომლის წვერი ატმოსფეროს ზევითაა) იდგა ზარბაზანი, რომელიც ჭურვებს ისროდა ჰორიზონტალურად (სურ. 54). მცირე სიჩქარით გასროლილი ტყვია გაცილებით ახლოს უნდა დაცემულიყო ზარბაზანთან (მაგ., A წერტილში), ვიდრე დიდი სიჩქარით გასროლილი (B წერტილში). ნიუტონის აზრით, გასროლის სიჩქარის შემდგომი ზრდით უნდა გაზრდილიყო ჭურვის დაცემის მანძილი. აზრობრივი ექსპერიმენტიდან გამომდინარე, ნიუტონმა ლოგიკური მსჯელობის შედეგად გამოიტანა დასკვნა, რომ ჭურვს შეიძლება მიენიჭოს ისეთი სიჩქარე, რომ იგი არ დაბრუნდეს დედამიწაზე, არამედ მთვარესავით იმოძრაოს დედამიწის გარშემო C ან D ორბიტაზე. ნიუტონმა გამოთვალა ეს სიჩქარე, რომელსაც **პირველი კოსმოსური სიჩქარე** ეწოდა.

ნიუტონის იდეები საფუძვლად დაედო კოსმოსის კვლევას.

თანამგზავრის დედამიწის გარშემო ორბიტაზე გაშვებისთვის მთავარია, თანამგზავრი ავიტანოთ დედამიწის ზევით, კოსმოსში, ზუსტად საჭირო სიმაღლეზე და მივანიჭოთ ზუსტად საჭირო სიჩქარე. ეს არის აუცილებელი და საკმარისი პირობა. დანარჩენს დედამიწის მიზიდულობის ძალა „თვითონ მოიმოქმედებს“.

დედამიწიდან რაკეტის სტარტისას კოსმონავტების წონა რამდენჯერმე იზრდება მნიშვნელოვანი აჩქარების გამო. სიმძიმის ძალის საპირისპიროდ მიმართული აჩქარებით მოძრავი სხეულის წონის შეფარდებას ამავე სხეულის სიმძიმის ძალასთან **გადატვირთვა (n)** ეწოდება.

$$n = \frac{P}{F_g} = \frac{m(g + a)}{mg} = \frac{(g + a)}{g}.$$

გადატვირთვა უარყოფითად მოქმედებს ადამიანის ორგანიზმზე. მაგ., $n = 5$ -დან $n = 7$ -მდე გადატვირთვის



სურ. 55

შემთხვევაში გაუფარჯიშებელი ადამიანი დროებით კარგავს მხედველობასა და გონებას. გადატირთვასთან დაკავშირებულ უარყოფით ფიზიოლოგიურ ზემოქმედებას სპეციალურად მომზადებული კოსმონავტი გაცილებით ადვილად იტანს, რადგან კაბინაში მისი სხეული აჩქარების მიმართულების მართობულად არის ორიენტირებული (სურ. 55). ამ შემთხვევაში კოსმონავტი უძლებს წონის 10-12-ჯერ მატებას.



სურ. 56

რაკეტით გაშვებულ კოსმოსურ ხომალდს, რომელიც ისე ბრუნავს დედამიწის გარშემო, როგორც მთვარე, დედამიწის **ხელოვნური თანამგზავრი** ეწოდება. მთვარე დედამიწის ბუნებრივი თანამგზავრია.

კოსმოსში სხეულებზე სიმძიმის ძალის გარდა სხვა შესამჩნევი ძალა არ მოქმედებს. რაკეტა-მატარებლიდან განცალკევებისთანავე თანამგზავრი დაუყოვნებლივ იწყებს თავისუფლად ვარდნას (სურ. 57). თანამგზავრი განუწყვეტლივ ვარდება, მაგრამ არ ვარდება დედამიწაზე ორბიტაზე მინიჭებული სიჩქარით მოძრაობის გამო.



სურ. 57

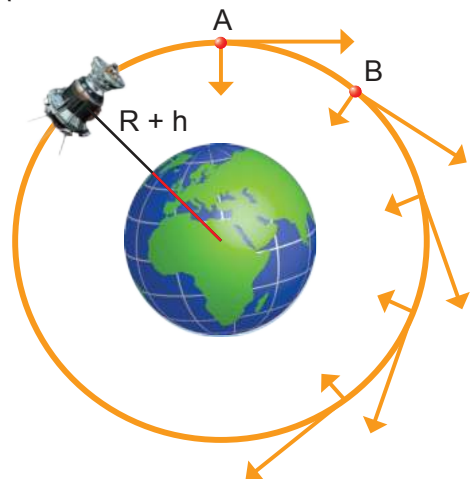
58-ე სურათზე გამოსახულია თანამგზავრის მოძრაობა დედამიწის გარშემო $R + h$ რადიუსის ორბიტაზე. ჰორიზონტალურად გასროლილი სხეულის ანალოგიურად, თანამგზავრი ერთდროულად მონაწილეობს ორ მოძრაობაში: ორბიტის მხების გასწვრივ თანაბარ მოძრაობაში რაკეტის მიერ მინიჭებული სიჩქარით და დედამიწის ცენტრისკენ თავისუფალი ვარდნის მოძრაობაში. რადგან თანამგზავრი განუწყვეტლივ თავისუფალი ვარდნის მდგომარეობაში იმყოფება, თანამგზავრში მყოფი ყველა სხეული (მათ შორის – კოსმონავტებიც) უწონობის მდგომარეობაშია იმის მიუხედავად, თანამგზავრის შიგნით არის თუ არა ჰაერი (სურ. 56). მთავარი ის არის, რომ თანამგზავრის გარეთ არის ვაკუუმი, ანუ უჰაერო სივრცე და ამიტომ თანამგზავრის თავისუფალ ვარდნას არაფერი ეწინააღმდეგება.

დავუშვათ, თანამგზავრი რაკეტას გამოეყო დედამიწის ზედაპირიდან h სიმაღლეზე მდებარე წერტილში. მიზიდულობის ძალა რომ არ არსებობდეს, მაშინ რაკეტიდან მოწყვეტის შემდეგ თანამგზავრი იმოძრაებდა თანაბრად და წრფივად ჰორიზონტალურად მიმართული v სიჩქარით. ის თანდათან დაშორდებოდა დედამიწას. მიზიდულობის ძალის გამო თანამგზავრი ბრუნავს პლანეტის გარშემო წრიულ, $R + h$ რადიუსის, ორბიტაზე. თანამგზავრის წრიული მოძრაობისას ცენტრისკენული აჩქარება გამოწვეულია სიმძიმის ძალის მოქმედებით. ამიტომ:

$$\frac{m v^2}{R + h} = mg.$$

დედამიწიდან h მანძილზე: $g = G \frac{M}{(R + h)^2}$, ამიტომ

$$v = \sqrt{G \frac{M}{R + h}}.$$



სურ. 58



დედამიწა



მერკური



მარსი



სატურნი



ვენერა

სურ. 59

ამ ფორმულის მიხედვით, რაც უფრო მცირეა თანამგზავრის ორბიტის h დაშორება დედამიწის ზედაპირიდან, მით უფრო დიდია თანამგზავრის სიჩქარე.

$$\text{თუ } h = 0, \text{ მაშინ } v_1 = \sqrt{\frac{GM}{R}}.$$

პლანეტის ზედაპირის უშუალო მახლობლობაში წრიული ორბიტისთვის გამოთვლილ სიჩქარეს პირველ კოსმოსურ სიჩქარეს უწოდებენ.

ფორმულაში სიდიდეების ჩასმისა და გამოთვლის შედეგად მივიღებთ, რომ **პირველი კოსმოსური სიჩქარეა**

$$v = 7,91 \text{ კმ/წმ.}$$

ასეთი სიჩქარე უზრუნველყოფს თანამგზავრის ბრუნვას დედამიწის გარშემო, წრიულ ორბიტაზე.

თანამგზავრის წრიულ ორბიტაზე ბრუნვისათვის საჭირო სიჩქარე დამოკიდებულია მხოლოდ ორბიტის რადიუსზე და იმ ციური სხეულის მასაზე, რომლის გარშემოც ბრუნავს თანამგზავრი.

დედამიწის ზედაპირიდან 200 კმ მანძილზე უფრო ახლოს თანამგზავრები ხანგრძლივად ვერ იფრენენ, რადგან 200 კმ-ზე უფრო დაბლა ატმოსფეროა და თანამგზავრი განიცდის ატმოსფერული ჰაერის შემაფერხებელ მოქმედებას (წინააღმდეგობის ძალის მოქმედებას).



გაანჯრება

გამოთვალე და შეადარე პირველი კოსმოსური სიჩქარეები, რომელიც უნდა მიენიჭოს თანამგზავრებს სხვადასხვა პლანეტიდან კოსმოსში გასაშვებად (ცხრ. 1), (სურ. 59).

ცხრილი 1

პლანეტა	პლანეტის მასა, კგ	პლანეტის რადიუსი, კმ	პირველი კოსმოსური სიჩქარე, კმ/წმ
დედამიწა	$6 \cdot 10^{24}$	6400	7,9
მერკური	$0,33 \cdot 10^{24}$	2440	
მარსი	$0,6 \cdot 10^{24}$	3395	
სატურნი	$562 \cdot 10^{24}$	58232	
ვენერა	$4,9 \cdot 10^{24}$	6100	



საშინაო დავალება

1. გამოთვალე თანამგზავრის სიჩქარე დედამიწის ზედაპირიდან 300 კმ სიმაღლეზე.
2. გამოთვალე დედამიწის ხელოვნური თანამგზავრის მიმოქცევის პერიოდი 250 კმ-ის სიმაღლეზე.
3. გამოთვალე პირველი კოსმოსური სიჩქარე დედამიწიდან მისივე რადიუსის ტოლი სიმაღლისათვის.
4. დედამიწიდან რა სიმაღლეზე იქნება პირველი კოსმოსური სიჩქარე 7 კმ/წმ?

4.16. ხელოვნური თანამგზავრები



იზიარა და იმსჯელა

რა სიჩქარე უნდა მიანიჭოს რაკეტამ კოსმოსურ ხომალდს, რომ იგი მთვარისაკენ „გაემგზავროს“?

სურ. 60

ამჟამად დედამიწის გარშემო დაახლოებით 2500-ზე მეტი ხელოვნური თანამგზავრი ბრუნავს. იმის მიხედვით, თუ რა მიზნისთვისაა გაშვებული თანამგზავრი, ისინი სხვადასხვა სიმაღლეზე და სხვადასხვა სიჩქარის შესაბამისი ფორმის ორბიტებზე გაჰყავთ (სურ. 61).

თანამგზავრის გაშვების სირთულე მისთვის ორბიტის სიმაღლის შესაბამისი, ზუსტად საჭირო სიჩქარის მინიჭებაში მდგომარეობს. კერძოდ, რა მოხდება საერთაშორისო კოსმოსური სადგურის სიჩქარე მხოლოდ ერთი პროცენტით (ანუ 0.079 კმ/წმ-ით) რომ შემცირდეს? კოსმოსური სიჩქარის შემცირების მომენტიდან 15 წუთში თანამგზავრი დიდი სიჩქარით შემოიჭრება ატმოსფეროში. კოსმოსური სადგურის კონსტრუქცია ასეთი სიჩქარით ატმოსფეროში შემოჭრისთვის არ არის გათვლილი. ამიტომ ჰაერთან ხახუნისგან ის რამდენიმე ათას გრადუსამდე გაცხელდება და დაინვება.

დედამიწას გარს აკრავს 40 000 კმ სიგანის მქონე რადიაციული სარტყელი, რომლის ქვედა კიდე 400 კმ სიმაღლეზეა დედამიწის ზედაპირიდან. ამიტომ პილოტირებული კოსმოსური ხომალდები-სათვის 400 კმ-ზე უფრო მაღალი ორბიტები არ არის რეკომენდებული, რადგან ასტრონავტების ჯანმრთელობაზე რადიაციის საშიში ზემოქმედების გამო სახიფათოა.

გარდა კოსმოსური კვლევებისა, თანამგზავრები საყოფაცხოვრებო მიზნითაც გამოიყენება. მაგალითად, დედამიწის ზედაპირიდან 35 786 კმ სიმაღლეზე ეკვატორულ სიბრტყეში უშვებენ ისეთ თანამგზავრებს, რომლებიც დედამიწის ბრუნვის თანხვედრი მიმართულებით დედამიწასთან ერთად სინქრონულად ბრუნავენ. ამიტომ ისინი დედამიწის მიმართ უძრავნი არიან. ამ თანამგზავრებს თანამგზავრ-რეტრანსლატორებს უწოდებენ (სურ. 62).

თანამგზავრ-რეტრანსლატორები განკუთვნილია სატელევიზიო, სატელეფონო, ინტერნეტ-კომუნიკაციებისათვის. მათი გამოყენებით შესაძლებელია დედამიწაზე არსებული სადგურიდან მიიღოს სიგნალი და დედამიწაზე არსებულ სხვა სადგურს გადასცეს (სურ. 62 ა, ბ).



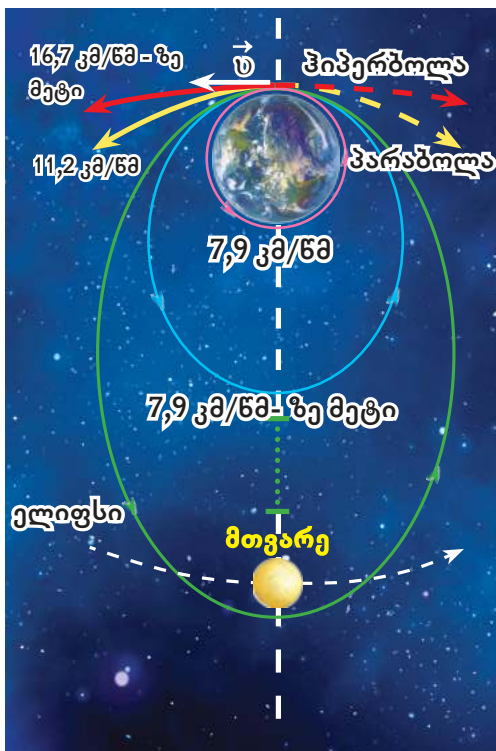
სურ. 61



სურ. 62



სურ. 63



სურ. 64

პარაბოლური ორბიტისათვის გათვალისწინებულ სიჩქარეს მეორე კოსმოსურ სიჩქარეს უწოდებენ.

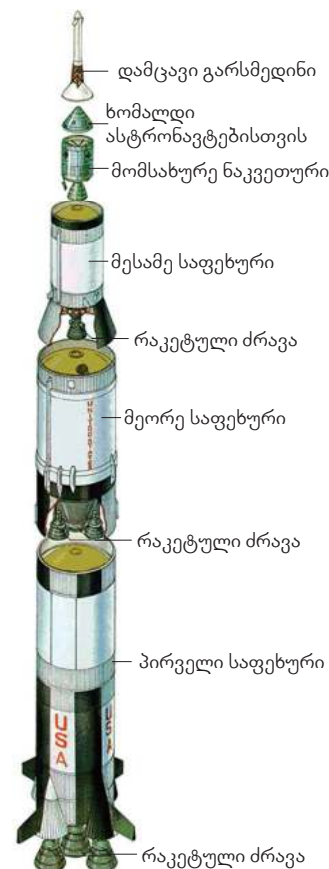
$$v_2 = 11,2 \text{ კმ/წმ.}$$

მთვარეზე გასაფრენად საჭიროა თანამგზავრის სიჩქარე 7,9 კმ/წმ-ზე მეტი იყოს (სურ. 64).

თუ თანამგზავრის სიჩქარე (გაქცევის სიჩქარე) აღემატება მეორე კოსმოსურ სიჩქარეს, იგი გადის დედამიწის მიზიდულობის ველიდან და იწყებს მზის გარშემო განელილ ელიფსურ ორბიტაზე მოძრაობას. ასეთი ტრაექტორია აქვთ დედამიწიდან სხვა პლანეტებისკენ გაშვებულ კოსმოსურ აპარატებს. ამ შემთხვევაშიც არსებობს ზღვრული სიჩქარე, მასზე უფრო დიდი სიჩქარით გაშვებული კოსმოსური აპარატები ტოვებენ მზის სისტემას და ჩვენი გალაქტიკის სხვა ვარსკვლავებისაკენ მიემართებიან.

1977 წლის 20 აგვისტოს გაშვებული „ვოიაჯერ 2“ (სურ. 63) აპარატის ფრენის ტრაექტორია ისე იყო შერჩეული, რომ მან მიმდევრობით ჩაუფრინა იუპიტერს, სატურნს, ურანსა და ნეპტუნს. ახლა ის დედამიწიდან 152-ჯერ უფრო მეტადაა დაშორებული, ვიდრე მზე და კვლავ აგრძელებს მზის სისტემიდან გასვლას ვარსკვლავ სირიუსის მიმართულებით.

მესამე კოსმოსური სიჩქარე ტოლია $v_3 = 16,7 \text{ კმ/წმ}$, რომლითაც შესაძლებელია მზის სისტემიდან გასვლა.



სურ. 65

● ცნობისმოყვარეთათვის!

კოსმოსში თანამგზავრის დედამიწის გარშემო ორბიტაზე გასაცანად, სათანადო კოსმოსური სიჩქარის მისაღწევად (7,9 კმ/წმ ან 11,2 კმ/წმ), იყენებენ მრავალსაფეხურიან რაკეტებს. საფეხური რაკეტის ის ნაწილია, რომელიც შეიცავს ძრავას და ავზებს სანვავით და დამჟანგველით. ამჟამად სანვავად იყენებენ წყალბადს, მეთანს, ნავთს ან არასიმეტრიულ დიმეთილჰიდრაზინს. დამჟანგველად — თხევად ჟანგბადს ან აზოტმჟავას. მაგალითად, სამსაფეხურიან რაკეტას ასეთი, ერთმანეთის მიყოლებით განთავსებული სამი საფეხური აქვს (სურ. 65, 101). მასთან ერთად აქვს ასტრონავტების კაბინა და ხელსაწყოებისთვის მომსახურე ნაკვეთური. სანვავი ტუმბოთი მიენოდება წვის კამერას. კამერაში წვის შედეგად სანვავი გარდაიქმნება მაღალი ტემპერატურისა და დიდი წნევის აირად. სანვავ კამერასა და გარე სივრცეში წნევათა დიდი სხვაობის გამო ნამწვავი აირი ძლიერი ნაკადით, საქმენის გავლით გარეთ გამოიტყორცნება. რაკეტა კი, ნიუტონის მესამე კანონის თანახმად, საწინააღმდეგო მიმართულებით ლებულობს ზიძგს.

მას შემდეგ, რაც პირველი საფეხურის სანვავი მთლიანად დაიხარჯება, ეს საფეხური ავტომატურად მოსცილდება რაკეტას და მუშაობაში ირთვება მეორე საფეხურის ძრავა. ნიუტონის მეორე კანონის თანახმად, საერთო მასის კლებით, რაკეტის აჩქარება იზრდება. მასში სანვავის ამოწურვის შემდეგ მეორე საფეხურიც სცილდება რაკეტას. სიჩქარის კიდევ უფრო გაზრდისთვის

იყენებენ მესამე საფეხურს. ხოლო, თუ ფრენის გაგრძელებას არ აპირებენ, მესამე საფეხურს იყენებენ ხომალდის დაჯდომისთვის. დაჯდომის წინ, ხომალდის დამუხრუჭებისთვის, რაკეტას აბრუნებენ 180°-ით, იმისთვის, რომ საქმენი წინ მოექცეს. რაკეტიდან გამოსული ნამწვავი აირი ხომალდს ანიჭებს მისი მოძრაობის სანინალმდეგო სიჩქარეს, რაც იწვევს რაკეტის დამუხრუჭებას და იძლევა მისი დაჯდომის საშუალებას.

ზოგიერთი რაკეტა (Space Shuttle, Delta ან Ariane) დამატებით იყენებს მყარსაწვავიან ამაჩქარებლებს ზესაფეხურის (SuperStage) სახით. მაგალითად, Space Shuttle (სურ. 66) შედგება ძირითადი საფეხურისგან და ორი მყარსაწვავიანი ამაჩქარებელი ზესაფეხურისგან, რომლებიც სტარტიდან ორი წუთის განმავლობაში ქმნიან დამატებით წევის ძალას. საწვავის გამოწვის მერე სცილდებიან ძირითად საფეხურს და ეშვებიან პარაშუტით ხელახლა გამოყენებისათვის. ძირითადი საფეხური შედგება მრავალჯერადი გამოყენების კოსმოსური ხომალდის (ორბიტერისა) და ერთჯერადად გამოსაყენებელი თხევადი წყალბადის და ჟანგბადის გიგანტური ავზისაგან (1700 ტონა, რაკეტის მთლიანი 2000 ტონიდან). ორბიტერი, რომელიც დაახლოებით 100 ტ მასისაა, დედამიწის გარშემო წრიულ ორბიტაზე გადის სასარგებლო ტვირთით და ასტრონავტებით და მისი დასრულებისას თვითმფრინავით ფრინდება აეროდრომზე (სურ. 67).

ამგვარად, Space Shuttle ფაქტობრივად ერთსაფეხურიანი, მაგრამ ორი მყარსაწვავიანი ამაჩქარებლით (დამატებითი საფეხურით) გაძლიერებული რაკეტაა, რომლის საფეხურები ერთდროულად ფუნქციონირებენ და რომელსაც ასაჩქარებელი მასის სამი კონფიგურაცია გააჩნია. ესენია: 1. მთელი კონსტრუქციის მასა და მასში არსებული საწვავი - საწყისი პირველადი კონფიგურაცია; 2.

მხოლოდ ორბიტერი რაკეტული ძრავით და გიგანტური ავზი — შემსუბუქებული მეორე კონფიგურაცია; 3. კონფიგურაცია — მხოლოდ ორბიტერი რაკეტის ძრავებით. მყარსაწვავიანი ამაჩქარებლის ჩამოცილების შემდეგ მიიღწევა ის, რომ ჩამოცილებული, ცარიელი კონსტრუქციის აჩქარებაზე საწვავის ფუჭი ხარჯვა არ ხდება.

რაკეტა Saturn 5 გამოიყენებოდა 1969-1972 წლებში მთვარეზე ასტრონავტების ფრენისას (კონსტრუქტორი ვერნერ ფონ ბრაუნი), რაკეტის საერთო სიგრძე 110 მ-ს აღწევდა, ხოლო სასტარტო მასა 2950 ტ იყო (აქედან საწვავი იყო 2770 ტ) (სურ. 68).

ორსაფეხურიანი რაკეტაა Falcon 9, სასტარტო მასით 550 ტ (სურ. 69), რომლის პირველ საფეხურს, რაკეტა „სოიუზ“-ისგან (სურ. 70) განსხვავებით, სასტარტო მასით 300 ტ, შეუძლია დამუხრუჭება და უსაფრთხოდ დაშვება დედამიწაზე. აღნიშნული უპირატესობა მიიღწევა უმთავრესად მართვის უნიკალური კომპიუტერული სისტემების გამოყენებით.

უახლოეს პერიოდში მთვარეზე ადამიანების ხელახლა გასაგზავნად და შემდგომში მარსის ათვისებისათვის NASA-ს მიერ



სურ. 66



სურ. 67



სურ. 68



სურ. 69



სურ. 70



სურ. 71

შექმნილია ახალი, ზემდგომი, ორსაფეხურიანი რაკეტა SLS გაძლიერებული, Space Shuttle ანალოგიური, ორი დამატებითი მყარსაწვავიანი ამაჩქარებელი. მისი მასა 3000 ტ-ს აღემატება და უფრო მაღალია (დაახლოებით 108 მ), ვიდრე თავისუფლების ქანდაკება ნიუ-იორკში.

მიუხედავად კოლოსალური შრომისა, რაც რაკეტული ტექნიკის სრულყოფისთვისაა შესრულებული, თანამედროვე რაკეტულ ძრავებში სითბური ენერგიის მექანიკურ ენერგიად გარდაქმნის სიდიდე მაინც ძალიან მცირეა. ამიტომაც გამოტყორცნილი წვის პროდუქტების ტემპერატურა ასეთი მაღალი და შესაბამისად, დიდია ენერგეტიკული დანაკარგები. თეორიულად, თხევადი წყალბადისა და თხევადი ჟანგბადის ნარევეზე მომუშავე რაკეტული ძრავის მარგი ქმედების კოეფიციენტი გამოთვლებით უნდა იყოს 7%, რეალურად კიდეც უფრო ნაკლებია და 5,6%-ს არ აღემატება. შედარებისათვის, მსუბუქი მანქანის შიდაწვის ძრავის მ.ქ.კ. აღწევს 38%-ს, ხოლო თვითმფრინავების ძრავებისა 30%-ს. მიუხედავად ასეთი მცირე მ.ქ.კ.-ისა, არ არსებობს უჰაერო სივრცეში სხეულების აჩქარებისათვის რეაქტიული მოძრაობისაგან განსხვავებული სხეულის ამოძრვების სხვა პრაქტიკულად გამოსაყენებელი პრინციპი.

ამჟამად, კოსმოსური სივრცის ათვისებისთვის სხვადასხვა ქვეყნის მრავალი პროექტი არსებობს. ეს პროექტები ითვალისწინებენ მთვარეზე, მარსსა და სხვა პლანეტებზე ექსპედიციების მოწყობას, ახალი და არსებული კოსმოსური სადგურების აღჭურვას საჭირო მასალებით, კოსმოსური ტურიზმის განვითარებას გართობის მიზნით და სხვ.



ბაზრება

- იმსჯელე და დაახასიათე ხელოვნური თანამგზავრების სიჩქარეები (სურ. 64);
 - რა სიჩქარე უნდა ჰქონდეს ხელოვნურ თანამგზავრს, რომ მან დედამიწის გარშემო წრიულ ორბიტაზე იმოძრაოს? რას უწოდებენ ამ სიჩქარეს?
 - რა სიჩქარე უნდა ჰქონდეს ხელოვნურ თანამგზავრს, რომ მან დატოვოს დედამიწის გარშემო მოძრაობის წრიული ორბიტა და სხვა პლანეტისაკენ გაემგზავროს? რას უწოდებენ ამ სიჩქარეს?
 - რა სიჩქარე უნდა ჰქონდეს ხელოვნურ თანამგზავრს, რომ მან დატოვოს მზის სისტემა და ჩვენი გალაქტიკის სხვა ვარსკვლავებისკენ გაემგზავროს?
- იმსჯელე და დაახასიათე, როგორია თანამგზავრ-რეტრანსლატორის ბრუნვის პერიოდი ორბიტაზე მოძრაობისას (სურ. 71).



საშინაო ღვაწლუბა

- შეადარე დედამიწის R-რადიუსს და 4 R-რადიუსს ორბიტებზე ხომალდის პირველი კოსმოსური სიჩქარეები ერთმანეთს (R – დედამიწის რადიუსია).
- მოიძიე ინფორმაცია მრავალჯერადი რაკეტების გამოყენებისა და დედამიწის ხელოვნური თანამგზავრების შესახებ.

4.17. სხეულთა წონასწორობის პირობები



იფიქრე და იმსჯელე

რატომ არის სხეული წონასწორობის მდგომარეობაში?

სურ. 72

სტატიკა შეისწავლის სხეულთა წონასწორობის პირობებს მასზე მოდებული ძალების მოქმედებისას. გამეორების მიზნით გავიხსენოთ სხეულთა წონასწორობის პირობები.

წონასწორობისას სხეულის ყველა წერტილი ძალების ზემოქმედების მთელი დროის განმავლობაში რჩება უძრავი რაიმე ათვის სისტემის მიმართ. ნიუტონის მეორე კანონის თანახმად, წონასწორობისთვის, სხეულზე მოქმედი ყველა ძალის ვექტორული ჯამი, ანუ ტოლქმედი უნდა იყოს 0-ის ტოლი.

არამბრუნავი სხეული წონასწორობაშია, თუ მასზე მოქმედი ყველა ძალის ტოლქმედი 0-ის ტოლია.

$$\vec{F} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_3 + \dots = 0. \quad (1)$$

73-ე ა სურათზე გამოსახულია მყარი სხეულის წონასწორობა. C არის m მასის სხეულის სიმძიმის ცენტრი, რომელზეც მოდებულია ამ სხეულზე მოქმედი ყველა ძალა. ამგვარად, თუ

$$\vec{F}_1 + \vec{F}_2 + m\vec{g} = 0,$$

სხეული წონასწორობაშია (სურ. 73 ბ).

უძრავ სითხეში მოთავსებული სხეული წონასწორობაშია, თუ სხეულის სიმძიმის ძალა ამომგდები ძალის ტოლია (სურ. 74):

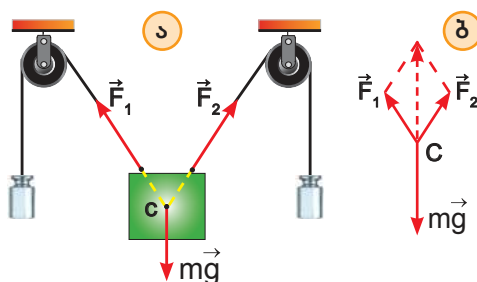
$$F_b = \rho_{\text{სითხ.}} \cdot g \cdot V_{\text{სხ.}} \quad (2)$$

სადაც, $\rho_{\text{სითხ.}}$ — სითხის სიმკვრივეა, g — თავისუფალი ვარდნის აჩქარება, $V_{\text{სხ.}}$ — სხეულის იმ ნაწილის მოცულობა, რომელიც სითხეშია მოთავსებული.

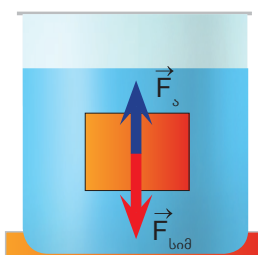
● **ბრუნვის ღერძის მქონე სხეულის წონასწორობის პირობა.**

თუ სხეული ბრუნავს რაიმე ღერძის ირგვლივ, მაშინ მხოლოდ სხეულზე მოქმედი ძალების ნულთან ტოლობა არ არის საკმარისი წონასწორობის პირობისთვის.

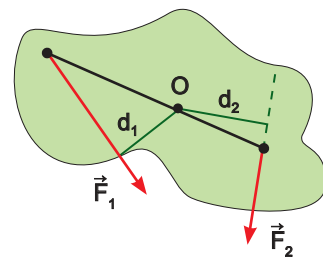
სხეულის მამრუნებელი ძალის ნამრავლს ამ ძალის მხარზე ძალის მომენტი ეწოდება. ძალის მხარი არის უმოკლესი მანძილი საყრდენ წერტილსა და ძალის მოქმედების წრფეს შორის. 75-ე სურათის მიხედვით, d_1 არის $\vec{F}_1$ ძალის მხარი, d_2 — $\vec{F}_2$ ძალის



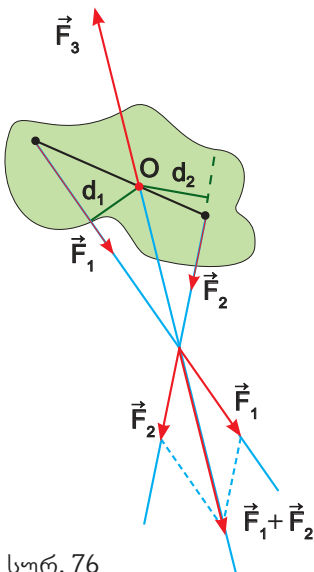
სურ. 73



სურ. 74



სურ. 75



სურ. 76

მხარი. ძალის მომენტებია: $M_1 = F_1 d_1$, $M_2 = F_2 d_2$.

თუ სხეულზე მოქმედი ძალა ცდილობს სხეული შემოაბრუნოს საათის ისრის მოძრაობის მიმართულებით, ითვლება, რომ ამ ძალის მომენტი დადებითია და $M_2 > 0$. თუ ძალა ცდილობს სხეული შემოაბრუნოს საათის ისრის მოძრაობის საწინააღმდეგო მიმართულებით, ამ ძალის მომენტი უარყოფითია $M_1 < 0$.

(SI) სისტემაში ძალის მომენტის ერთეულია ნ · მ.

თუ სხეულზე მოქმედი ყველა ძალის მომენტების ალგებრული ჯამი რაიმე ათვლის სისტემაში უძრავი ღერძის მიმართ ნულის ტოლია, მაშინ სხეული იმყოფება წონასწორობის მდგომარეობაში.

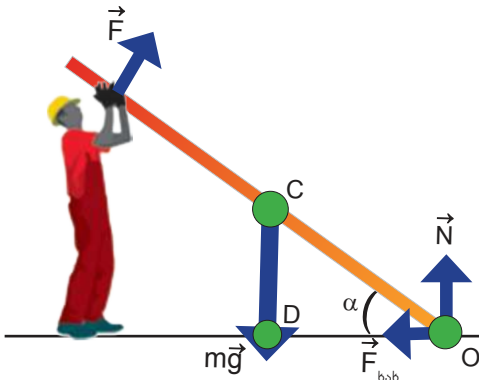
$$M_1 + M_2 + \dots + M_n = 0.$$

(3)

ამიტომ ზოგადად, სხეულის წონასწორობისას რაიმე ათვლის სისტემის მიმართ უნდა სრულდებოდეს ორი პირობა (სურ. 76):

1. სხეულზე მოქმედი ძალების ვექტორული ჯამი უნდა იყოს ნულის ტოლი (1);

2. სხეულზე მოქმედი ყველა ძალის მომენტების ალგებრული ჯამი უნდა იყოს ნულის ტოლი (3).



სურ. 77

● ამოცანების ამოხსნა ამოცანა 1.

მუშამ 50 კგ მასის ფიცარი ასწია ერთი ბოლოთი, რომელიც ჰორიზონტისადმი 30° -იან კუთხეს ქმნის. რა ძალით უნდა იმოქმედოს მუშამ ფიცარზე მის შესაკავებლად, თუ ფიცრისკენ მოდებული ძალა მის მართობულად არის მიმართული (სურ. 77).

ამოხსნა

$F = ?$	ფიცარზე მოქმედებს: სიმძიმის $m\vec{g}$ ძალა, რომელიც სიმძიმის ცენტრზეა მოდებული, მუშის ძალა — $\vec{F}$, ხახუნის ძალა — $\vec{F}_{\text{ხახ}}$ და საყრდენის რეაქციის ძალა — $\vec{N}$.
$\alpha = 30^\circ$	განვიხილოთ O წერტილის მიმართ სხეულზე მოქმედის ძალების მომენტები. ამ წერტილის მიმართ $\vec{F}$ ძალის მხარი ფიცრის L სიგრძის ტოლია, $m\vec{g}$ ძალის მხარი — OD მონაკვეთის სიგრძის, $\vec{N}$ და $\vec{F}_{\text{ხახ}}$ ძალების მხარი ნულის ტოლი იქნება.

$$\Delta OCD \text{ -დან, } OD = \frac{L}{2} \cos \alpha, \text{ მაშინ,}$$

ფიცარზე მოქმედი ძალების მომენტების განტოლება O წერტილის მიმართ იქნება:

$$mg \frac{L}{2} \cos \alpha - F L = 0, \text{ აქედან}$$

$$F = \frac{mg}{2} \cos \alpha. \quad \cos 30^\circ = 0,87$$

რიცხვების ჩასმით მიიღება:

$$F = 217,5 \text{ ნ.}$$

პასუხი: მუშამ უნდა იმოქმედოს 217,5 ნ ძალით.

● მოძრაობა დახრილ სიბრტყეზე

მარტივი მექანიზმების ერთ-ერთი სახეა დახრილი სიბრტყე. დახრილი სიბრტყით შესაძლებელია მძიმე ტვირთის ატანა რაიმე სიმაღლეზე მცირე ძალის გამოყენებით.

დახრილ სიბრტყეზე მოძრაობისას სხეულზე მოქმედებს რამდენიმე ძალა ერთად. ამიტომ სხეულის მოძრაობის ხასიათს განაპირობებს ამ ძალების ტოლქმედი ძალა და წონასწორობის პირობები. დახრილ სიბრტყეზე სხეულის მოძრაობის შესწავლისათვის იყენებენ ნიუტონის კანონებს.

ამოცანა 2.

დახრილ სიბრტყეზე მოძრაობს m მასის ძელაკი, დახრის კუთხეა α , ხახუნის კოეფიციენტი μ . გამოთვალე ძელაკის აჩქარება.

ამოხსნა

$a = ?$ ძელაკზე სამი ძალა მოქმედებს (სურ. 78):

m $\vec{F}_{\text{სიმძიმის ძალა, საყრდენის } \vec{N} \text{ რეაქციის ძალა და } \vec{F}_{\text{ბახუნის ძალა. სამივე ძალის მოქმედება ერთად ძელაკს ანიჭებს } \vec{a} \text{ აჩქარებას, რომელიც სიბრტყის გასწვრივ ქვევით არის მიმართული.}$

X ღერძი მივმართოთ აჩქარების მიმართულებით, Y ღერძი კი – მის მართობულად.

ნიუტონის მეორე კანონის თანახმად, სხეულზე მოქმედი ტოლქმედი ძალა იქნება:

$$m\vec{a} = m\vec{g} + \vec{N} + \vec{F}_{\text{ბახუნის ძალა}} \quad (1)$$

აჩქარების რიცხვითი მნიშვნელობის გამოსათვლელად დავაგეგმილოთ ძალები OX და OY ღერძებზე.

რადგან, $a_x = a, \quad mg_x = mg \sin \alpha,$

$$F_{\text{ბახუნის ძალა } X} = -F_{\text{ბახუნის ძალა}} \quad N_x = 0,$$

$$(OX): \quad ma = mg \sin \alpha - F_{\text{ბახუნის ძალა}}, \quad (2)$$

რადგან, $a_y = 0, \quad mg_y = -mg \cos \alpha,$

$$N_y = N \quad F_{\text{ბახუნის ძალა } y} = 0.$$

$$(OY): \quad 0 = N - mg \cos \alpha, \quad \text{აქედან } N = mg \cos \alpha, \quad (3)$$

რადგან, $F_{\text{ბახუნის ძალა}} = \mu N, \quad F_{\text{ბახუნის ძალა}} = \mu mg \cos \alpha$

$$\text{ამიტომ } ma = mg \sin \alpha - \mu mg \cos \alpha,$$

$$a = g (\sin \alpha - \mu \cos \alpha), \quad (4)$$

თუ $\mu = 0$, მაშინ $a = g \sin \alpha$.

თუ სხეული თანაბრად მოძრაობს ან უძრავია დახრილ სიბრტყეზე, მაშინ

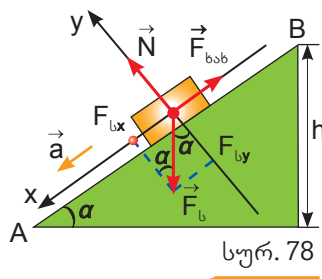
$$a = 0 \quad \text{და} \quad mg \sin \alpha = \mu mg \cos \alpha, \quad \text{აქედან} \quad \mu = \frac{\sin \alpha}{\cos \alpha} = \tan \alpha \quad (5)$$

თუ $\mu > \tan \alpha$ -ზე სხეული არ ჩამოსრიალდება ან ასრიალებული გაჩერდება.

თუ $\mu < \tan \alpha$ -ზე სხეული მოძრაობს თანაბარაჩქარებულად.

ამოცანა 3.

4 მ სიგრძისა და 2 მ სიმაღლის დახრილი სიბრტყით მძიმე ტვირთი თანაბრად ააქვთ მანქანის ძარაზე. ხახუნის კოეფიციენტი $0,2$. გამოთვალე, რა თანაფარდობაა F წევის ძალასა და სხეულის სიმძიმის ძალას შორის. გამოთვალე წევის ძალა, თუ სხეულის მასა 50 კგ-ია (სურ. 79).



$F, \frac{F}{mg} - ?$

$h = 2 \text{ მ}$

$l = 4 \text{ მ}$

$\mu = 0,2$

$g = 10 \text{ ნ/კგ}$

$m = 50 \text{ კგ}$

$a = 0$

ამოხსნა

სხეულის მოძრაობის განტოლება:

$$\vec{F}_{\text{ბაბ}} + \vec{N} + \vec{mg} + \vec{F} = 0 \quad (1)$$

OX ღერძი მიმართულია სხეულის მოძრაობის მიმართულებით, ხოლო OY ღერძი მის მართობულად.

რადგან, $F_{\text{ბაბ}x} = -F_{\text{ბაბ}}$, $N_x = 0$, $mg_x = -mg \sin \alpha$, $F_x = F$,

$$(OX): -F_{\text{ბაბ}} - mg \sin \alpha + F = 0 \quad (2)$$

რადგან, $N_y = N$, $F_{\text{ბაბ}y} = 0$, $mg_y = -mg \cos \alpha$, $F_y = 0$,

$$(OY): N - mg \cos \alpha = 0, \quad N = mg \cos \alpha, \quad (3)$$

რადგან, $F_{\text{ბაბ}} = \mu N$, $F_{\text{ბაბ}} = \mu mg \cos \alpha$ და

$$F = mg (\sin \alpha + \mu \cos \alpha).$$

$$\text{აქედან, } \frac{F}{mg} = (\sin \alpha + \mu \cos \alpha) \quad (4)$$

$$\text{ვინაიდან, } \sin \alpha = \frac{h}{l} = \frac{1}{2} \quad \sin \alpha = 0,5, \quad \alpha = 30^\circ \quad \text{და} \quad \cos \alpha = 0,85$$

$$\frac{F}{mg} = 0,67; \quad mg = 50 \text{ კგ} \cdot 10 \text{ ნ/კგ} = 500 \text{ ნ.}$$

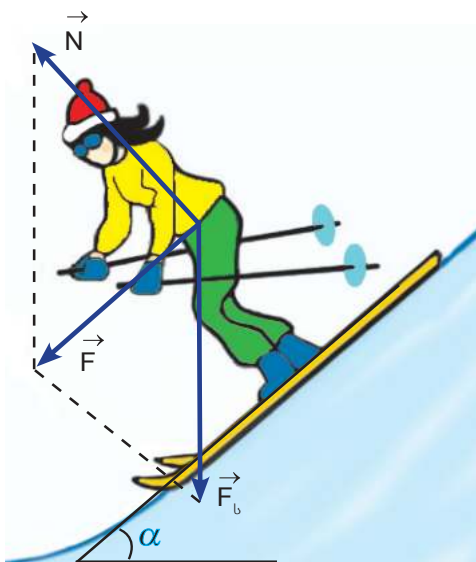
$$F = 0,67 \cdot 500 \text{ ნ} = 335 \text{ ნ.}$$

დასკვნა: წევის ძალა 33 %-ით ნაკლებია სხეულის სიმძიმის ძალაზე. დახრილი სიბრტყის საშუალებით სხეული მის სიმძიმის ძალაზე ნაკლები ძალით შეგვიძლია ავიტანოთ სასურველ სიმაღლეზე.



საშინაო დავალება

1. ციგა 2 წამში 15 მ სიგრძის გორაკიდან ჩამოსრიალდა. როგორია დახრილი სიბრტყის სიმაღლის შეფარდება მის სიგრძესთან, თუ ხახუნს მხედველობაში არ მივიღებთ.
2. როგორი აჩქარებით მოძრაობს სხეული დახრილ სიბრტყეზე, თუ დახრილი სიბრტყის ფუძის სიგრძე და სიმაღლე ტოლია, ხახუნის კოეფიციენტი კი 0,2-ია.



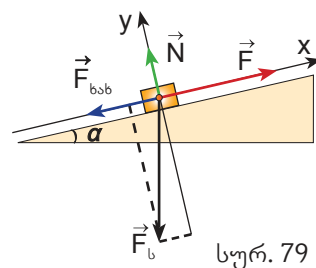
სურ. 80

3. რა აჩქარებით იმოძრავენ მოთხილამურე, თუ ფერდობის დახრის კუთხე 30° -ია, ხოლო ხახუნი იმდენად მცირეა, რომ შეიძლება არ გავითვალისწინოთ (სურ. 80)?

4. რა ძალით უნდა იმოქმედონ 50 კგ მასის ყუთის თანაბარი სიჩქარით ატანისას დახრილი სიბრტყეზე, თუ დახრის კუთხე 30° და ხახუნის კოეფიციენტი — 0,2?

5. გამოთვალე 40 კგ მასის ძელაკის აჩქარება, თუ იგი თანაბარაჩქარებულად მისრიალებს ქვევით დახრილ სიბრტყეზე, რომლის დახრის კუთხეა 45° და ხახუნის კოეფიციენტი — 0,7.

6. 8 ტ მასის ავტობუსი 5 კნ წევის ძალის მოქმედებით თანაბრად ადის დახრილ გზაზე, რომლის დახრის კუთხე დაახლოებით 3° -ია ($\sin \alpha = 0,05$). გამოთვალე ხახუნის ძალა.



სურ. 79

4.18. გადაბმული სხეულების მოძრაობა

უძრავ ჭოჭონაქზე გადაკიდებული უზონო და უჭიმვადი ძაფის ბოლოებზე დამაგრებულია m_1 და m_2 სხეულები ($m_1 > m_2$) (სურ. 81).

გამოთვალე აჩქარება, ძაფის დაჭიმულობის ძალა და თითოეული სხეულის მიერ t დროში გავლილი მანძილი (ჭოჭონაქის მასა და ღერძთან ხახუნის ძალა უგულებელყოფილია).

ამოხსნა

a, T, s _ ?

m_1
 m_2
 t

ჭოჭონაქზე დაკიდებული ორივე სხეული მოძრაობს ერთნაირი აჩქარებით, ამიტომ ძაფის დაჭიმულობის ძალა ყველა წერტილში ერთნაირია. რადგან $m_1 > m_2$, ამიტომ m_1 მასის სხეული იმოძრაავებს ქვევით, ხოლო m_2 მასის — ზევით. OY ღერძი მიმართულია m_1 სხეულის მოძრაობის მიმართულებით. m_1 მასის სხეულზე მოქმედებს ვერტიკალურად ქვევით მიმართული $m_1 g$ ძალა და ძაფის დაჭიმულობის ძალა T , მიმართული ვერტიკალურად ზევით. მოძრაობის განტოლებებია:

$$m_1 g + T = m_1 a, \quad m_2 g + T = m_2 a,$$

m_1 მასის სხეულზე მოქმედი ძალების გეგმილები OY ღერძზე იქნება:

$$(OY): \quad m_1 g_y = m_1 g, \quad T_y = -T, \quad m_1 a_y = m_1 a$$

$$m_1 g - T = m_1 a$$

m_2 სხეულზე მოქმედი ძალების გეგმილები OY ღერძზე იქნება:

$$(OY): \quad m_2 g_y = m_2 g,$$

რადგან m_2 სხეული იმოძრაავებს ზევით, $m_2 a_y = -m_2 a$ დაჭიმულობის ძალის გეგმილი იქნება:

$$T_y = -T.$$

$$m_2 g - T = -m_2 a, \quad \text{აქედან} \quad T = m_2 g + m_2 a = m_2 (g + a)$$

$$m_1 g - T = m_1 a \quad \text{და} \quad m_2 g - T = -m_2 a \quad \text{ტოლობების გამოკლებით მიიღება:}$$

$$a = \frac{m_1 g - m_2 g}{m_1 + m_2} \quad \text{ანუ} \quad a = g \frac{m_1 - m_2}{m_1 + m_2}$$

$$T = m_2 (g + a) - \text{ში } a\text{-ს ჩასმითა და გამარტივებით მიიღება:}$$

$$T = \frac{2m_1 m_2}{m_1 + m_2} \cdot g$$

ტვირთები მოძრაობენ თანაბარაჩქარებულად უსაწყისო სიჩქარით, ამიტომ თითოეული ტვირთის მიერ t დროში გავლილი მანძილი იქნება:

$$s = \frac{at^2}{2} \quad \text{ან} \quad s = g \frac{m_1 - m_2}{2(m_1 + m_2)} \cdot t^2.$$



საშინაო დავალება

1. მცირე მასის უძრავ ჭოჭონაქზე გადადებულ უზონო და უჭიმვად თოკზე დაკიდებულია 0,3 და 0,2 კგ მასის ტვირთები. რა აჩქარებით მოძრაობს ტვირთები?
2. მცირე მასის უძრავ ჭოჭონაქზე გადადებულ უზონო და უჭიმვად თოკზე დაკიდებულია 0,4 და 0,8 კგ მასის ტვირთები. გამოთვალე თოკის დაჭიმულობის ძალა.

4.19. ჰორიზონტისადმი კუთხით გასროლილი სხეულის მოძრაობა

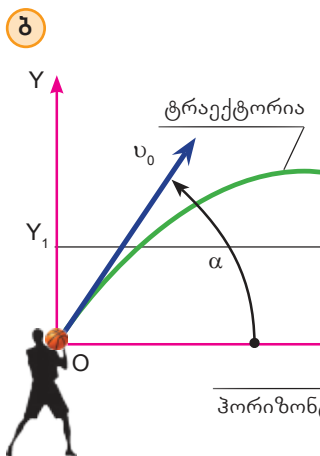
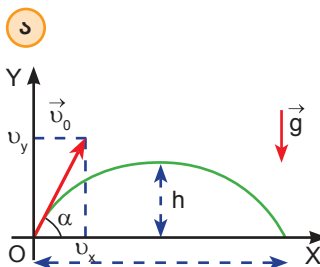
იზიარა და იმსჯელე

რატომ მოძრაობს ფეხბურთელის მიერ დარტყმული ბურთი მრუდწირულ ტრაექტორიაზე?

სურ. 82



სურ. 83



სურ. 84

მოძრაობა, რომლის საწყისი სიჩქარე ჰორიზონტისადმი კუთხით არის მიმართული, ყოველდღიურ ცხოვრებაში მუდმივად გვხვდება. მაგ., ფეხბურთელი ბურთის დარტყმისას ითვალისწინებს ჰორიზონტისადმი რა კუთხით უნდა მიმართოს ბურთი, გოლი რომ გაიტანოს (სტრობოსკოპული*, სურ. 82). ასევე იქცევიან კალათბურთელები კალათში ბურთის სროლისას (სურ. 83), ბირთვის მტყორცნელები, ჩოგბურთელები და სხვ.

თუ ჰაერის წინააღმდეგობის ძალას არ გავითვალისწინებთ, მაშინ ჰორიზონტისადმი კუთხით გასროლილი სხეულების ტრაექტორია პარაბოლაა.

დავუშვათ, რაიმე O წერტილიდან ჰორიზონტისადმი α კუთხით $\vec{v}_0$ საწყისი სიჩქარით გაისროლეს ბურთი (სურ. 84 ა, ბ. h — ბურთის ასროლის მაქსიმალური სიმაღლე). ათვლის სათავე დავუკავშიროთ O წერტილს და გავავლოთ მასზე საკოორდინატო ღერძები OX და OY . დროის ათვლის დასაწყისად ჩავთვალოთ დროის ის მომენტი, როდესაც ისროლეს ბურთი. მაშინ $\vec{v}_0$ საწყისი სიჩქარის გეგმილები OX და OY ღერძებზე შესაბამისად იქნება:

$$v_{0x} = v_0 \cos \alpha, \quad v_{0y} = v_0 \sin \alpha.$$

v_0 საწყისი სიჩქარის მოდულია.

ჰორიზონტისადმი α კუთხით გასროლილი სხეული ერთდროულად ორ მოძრაობაში იღებს მონაწილეობას: ჰორიზონტალურად იგი მოძრაობს ინერციით, მუდმივი სიჩქარით, სიმძიმის ძალის მოქმედებით ვერტიკალურად ქვევით და ვარდება მიწაზე. ამიტომ სხეულის მოძრაობისას იცვლება მხოლოდ $\vec{v}$ სიჩქარის ვექტორის გეგმილი OY ღერძზე, OX ღერძზე კი მისი გეგმილი არ შეიცვლება.

რადგან სხეულის მოძრაობა OX ღერძის გასწვრივ თანაბარია, X კოორდინატი იქნება:

$$x = v_{0x} t.$$

*სტრობოსკოპული — სტრობოსკოპით ან ფოტოკამერით გადაღებული სურათები დროის ტოლი შუალედებით.

$$v_x = v_{0x} = \text{const}, \quad t = \frac{x}{v_{0x}},$$

ხოლო y კოორდინატი ისევე იცვლება, როგორც წრფივი თანაბარჩქარეული მოძრაობის დროს.

$$y = v_{0y}t - \frac{gt^2}{2}, \quad v_y = v_{0y} - gt.$$

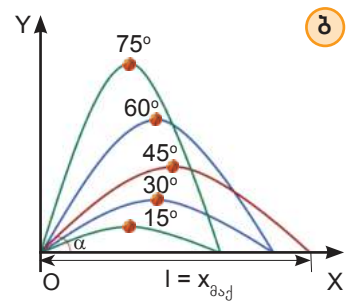
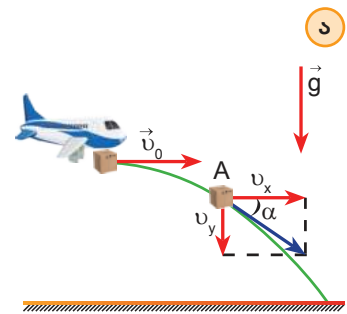
თუ ცნობილია სხეულის გასროლის სანყისი სიჩქარე, ამ განტოლებებით შესაძლებელია დადგინდეს სად იმყოფება სხეული დროის ნებისმიერ მომენტში. რადგან სხეულზე ერთი და იმავე სიმძიმის ძალა მოქმედებს ტრაექტორიის აღმავალ და დაღმავალ უბანზე, ამიტომ ორივე უბანზე სხეულის მოძრაობის დრო ერთმანეთის ტოლია.

● ჰორიზონტალურად გასროლილი სხეულის მოძრაობა.

ჰორიზონტალურად, სანყისი სიჩქარით გასროლილი სხეულების ტრაექტორია შეიძლება ჩავთვალოთ პარაბოლის ნახევარშტოდ. მაგ., ჰორიზონტალურად მოძრავი თვითმფრინავიდან გადმოგდებული ამანათი ინერციით, მუდმივი სიჩქარით, აგრძელებს მოძრაობას ჰორიზონტალურად, მიზიდულობის ძალის გამო კი $\vec{g}$ აჩქარებით ვარდება დედამიწაზე. ამიტომ ამანათის ტრაექტორია პარაბოლის ნახევარშტოა (სურ. 85 ა).

ერთდროულად ერთი და იმავე სიმაღლიდან სხეულების თავისუფალი ვარდნისას ვარდნის დრო ერთმანეთის ტოლია. ჰორიზონტისადმი კუთხით გასროლილი სხეული სიმძიმის ძალის მოქმედებით მოძრაობს თავისუფალი ვარდნის $\vec{g}$ აჩქარებით. ამიტომ, თუ ადამიანი ერთ სხეულს გაისვრის ჰორიზონტალურად, მეორეს კი ხელს გაუშვებს იმავე სიმაღლიდან, ორივე შემთხვევაში ვარდნის დრო ერთი და იგივე იქნება.

ცდები და გამოთვლები აჩვენებს, რომ ფრენის მაქსიმალური სიშორე მიიღწევა მაშინ, როცა სხეულის სანყისი სიჩქარის ვექტორი ჰორიზონტისადმი 45° -ის ტოლი კუთხით არის მიმართული (სურ. 85 ბ).

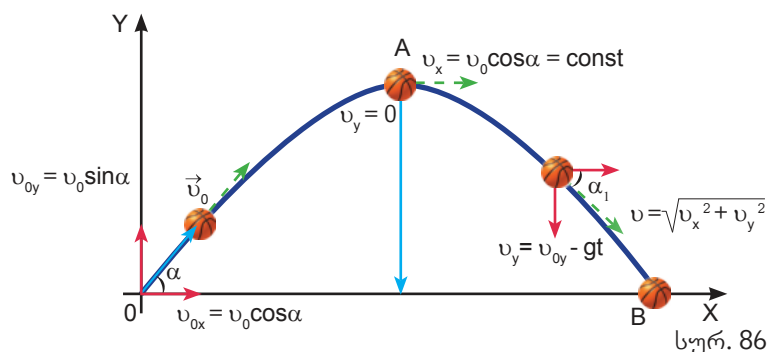


სურ. 85



ბაზრება

86-ე სურათზე გამოსახული ტრაექტორიის მიხედვით დაახასიათე ბურთის მოძრაობა. იმსჯელე, როგორ იცვლება ბურთის სიჩქარის გეგმილები v_x და v_y .



სურ. 86



საშინაო დავალება

აღწერე სარწყავი მილიდან ჰორიზონტისადმი კუთხით მიმართული წყლის ჭავლის ტრაექტორია. რატომ განსხვავდება წყლის ჭავლის ტრაექტორიის ნახევარშტოები ერთმანეთისგან (სურ. 87)?



სურ. 87

4.20. ამოცანების ამოხსნა

სხეულების მოძრაობა სიმძიმის ძალის მოქმედებით

1. ბურთი ჩამოვარდა 20 მ სიმალიდან. გამოთვალე ბურთის ვარდნის დრო და სიჩქარე დედამიწაზე დავარდნის მომენტში (სურ. 88).

$t, v - ?$	ამოხსნა:
$h_0 = 20 \text{ მ}$	ათვლის სათავედ ირჩევენ სხეულის დედამიწაზე ვარდნის წერტილს და ავლებენ კოორდინატა ღერძს (სურ. 62).
$g = 10 \text{ მ/წმ}^2$	სხეულის მოძრაობის განტოლებაა:
$v_0 = 0$	

$$h = h_0 + v_0 t + \frac{gt^2}{2}$$

$$(OY) \quad Y = h_0 + \frac{g_y t^2}{2}, \text{ რადგან } g_y = -g, \quad v_y = -v, \quad v_{0y} = 0;$$

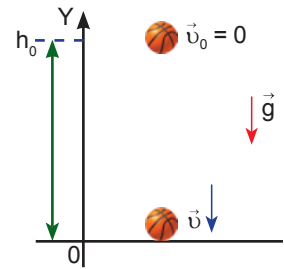
$$Y = h_0 - \frac{gt^2}{2}.$$

საბოლოო სიჩქარის გეგმილი იქნება: $v_y = v_{0y} + g_y t$, ანუ $-v = -gt$.

ვარდნის მომენტში $Y = 0$. მაშინ: $h_0 = \frac{gt^2}{2}$, ვარდნის დრო $t = \sqrt{\frac{2h_0}{g}}$.

რიცხვითი მნიშვნელობების შეტანით: $t = 2 \text{ წმ}$. საბოლოო სიჩქარე $v = gt$.

რიცხვითი მნიშვნელობების შეტანით: $v = 20 \text{ მ/წმ}$.



სურ. 88

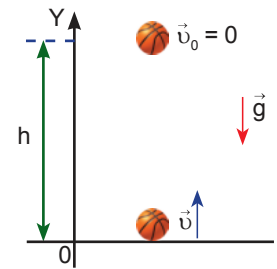
2. ბურთი აისროლეს 20 მ/წმ საწყისი სიჩქარით. გამოთვალე ბურთის ასვლის მაქსიმალური სიმაღლე და ასვლის დრო.

$t, h - ?$	ამოხსნა:
$v_0 = 20 \text{ მ/წმ}$	89-ე სურათის მიხედვით:
$g = 10 \text{ მ/წმ}^2$	(OY) ღერძზე გეგმილები იქნება:
	$v_{0y} = v_0, \quad g_y = -g$.
	ტრაექტორიის უმაღლეს წერტილში $v = 0$.

$$\text{ამიტომ: } Y = h_0 + v_{0y} t + \frac{g_y t^2}{2}, \text{ ანუ } h = v_{0y} t - \frac{gt^2}{2} \text{ და}$$

$$v = v_{0y} + g_y t \text{ ანუ } 0 = v_0 - gt. \text{ აქედან } t = \frac{v_0}{g}.$$

რიცხვითი მნიშვნელობების შეტანით: $t = 2 \text{ წმ}$ და $h = 20 \text{ მ}$.



სურ. 89

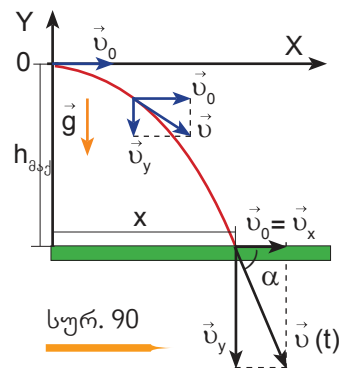
3. დედამიწის ზედაპირიდან 10 მ სიმაღლეზე სახლის აივნებიდან გაისროლეს ბურთი ჰორიზონტალურად 10 მ/წმ სიჩქარით. გამოთვალე ბურთის მოძრაობის დრო და ფრენის სიშორე (სურ. 90).

$t, x - ?$	ამოხსნა:
$h = 10 \text{ მ}$	სხეულის მოძრაობა ორი დამოუკიდებელი მოძრაობის შედეგია: ინერციით, ჰორიზონტალური მიმართულებით და ვერტიკალურად, სიმძიმის ძალის მოქმედებით. ჰორიზონტალური მიმართულებით გადაადგილება, ანუ ფრენის სიშორე, გამოისახება ფორმულით:
$v = 10 \text{ მ/წმ}$	(OX) ღერძზე $s = v_0 t$ ან $v_x = v_0, \quad x = v_x t$.
$g = 10 \text{ მ/წმ}^2$	(OY) ღერძზე საწყისი სიჩქარის გეგმილი ნულის ტოლია. ვერტიკალური მიმართულებით გადაადგილება გამოისახება ფორმულით:

$$(OY) \text{ ღერძზე } v_{0y} = 0, \quad h = \frac{gt^2}{2} \text{ ან } Y = \frac{g_y t^2}{2}. \text{ აქედან } t = \sqrt{\frac{2h}{g}}.$$

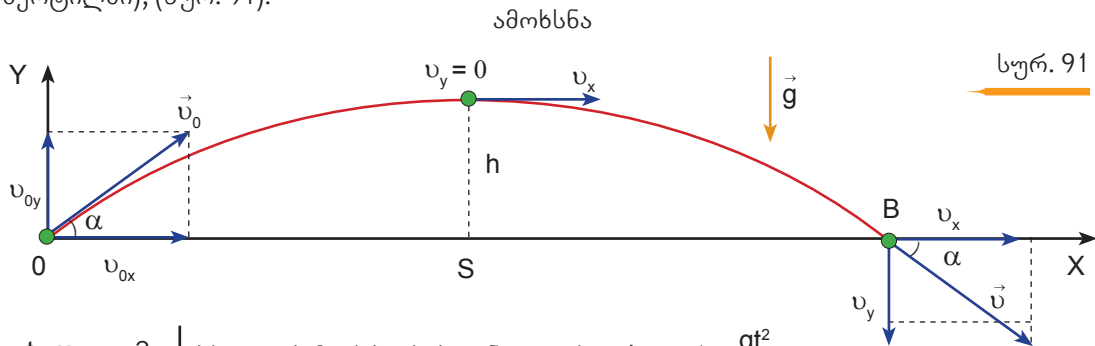
რიცხვითი მნიშვნელობების ჩასმით მივიღებთ: $t = 1,41 \text{ წმ}$

ფრენის სიშორე $s = v_{0x} t = v_0 \sqrt{\frac{2h}{g}}$. რიცხვითი მნიშვნელობების ჩასმით $s = 14,1 \text{ მ}$.



სურ. 90

4. ფრენბურთელმა ბურთი ისროლა ჰორიზონტისადმი 30° კუთხით 10 მ/წმ სიჩქარით. გამოთვალე ბურთის ასვლის მაქსიმალური სიმაღლე ასროლის წერტილიდან, ფრენის მთელი დრო, ფრენის სიშორე და ბურთის სიჩქარე ტრაექტორიის B წერტილში (ბურთის დავარდნის წერტილში), (სურ. 91).



$h_{\text{მაქს}}, t_1, x, v$ — ?

$\alpha = 30^\circ$

$v_0 = 10$ მ/წმ

სხეულის მოძრაობის განტოლებაა: $h = v_0 t - \frac{gt^2}{2}$.

საწყისი სიჩქარის კოორდინატები და მოძრაობის განტოლებები ღერძებზე შესაბამისად იქნება:

(OX) $v_{0x} = v_0 \cos \alpha$ $x = v_{0x} t_1 = v_0 \cos \alpha t_1$

(OY) $v_{0y} = v_0 \sin \alpha$ $g_y = -g$, $v_y = v_0 \sin \alpha - gt$

$$h = v_0 \sin \alpha \cdot t - \frac{gt^2}{2}.$$

მაქსიმალურ სიმაღლეზე ასვლისას სიჩქარის ვერტიკალური მდგენელი ნულის ტოლია. ამიტომ $0 = v_0 \sin \alpha - gt$. აქედან:

$$v_0 \sin \alpha = gt \quad \text{და} \quad t = v_0 \frac{\sin \alpha}{g}.$$

რადგან ასვლას და ჩამოსვლას ერთნაირი დრო სჭირდება, მთელი ფრენის დრო იქნება: $t_1 = \frac{2v_0 \sin \alpha}{g}$, რიცხვითი მნიშვნელობების შეტანით მივიღებთ: $t_1 = 1$ წმ.

ასვლის მაქსიმალური სიმაღლე იქნება:

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

რიცხვითი მნიშვნელობების შეტანით მივიღებთ: $h_{\text{მაქს}} = 1,25$ მ.

ფრენის სიშორე იქნება:

$$x = s = v_0 \cos \alpha t_1 = v_0 \cos \alpha \frac{2v_0 \sin \alpha}{g} = \frac{2v_0^2 \sin \alpha \cos \alpha}{g} = \frac{v_0^2 \sin 2\alpha}{g}.$$

რიცხვითი მნიშვნელობების შეტანით მივიღებთ: $s = 8,65$ მ. ფრენის სიშორის ფორმულიდან გამომდინარეობს, რომ მაქსიმალური ფრენის სიშორე მიიღწევა მაშინ, როდესაც გასროლის კუთხე 45° , თუ ჰაერის წინააღმდეგობას არ გავითვალისწინებთ.

სიჩქარე მიწაზე დაცემისას იქნება: $v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2} = \sqrt{v_0^2 (\cos^2 \alpha + \sin^2 \alpha)} = \sqrt{v_0^2} = v_0$. ე.ი. $v = 10$ მ/წმ (ასვლისა და ჩამოსვლის სიჩქარეები ტოლია).



საშინაო დავალება

1. ბურთი ისროლეს ჰორიზონტისადმი 30° -იანი კუთხით 5 მ/წმ საწყისი სიჩქარით. გამოთვალე ბურთის ასვლის სიმაღლე.
2. სპორტსმენმა ბირთვი ისროლა 60° -იანი კუთხით 10 მ/წმ სიჩქარით. გამოთვალე ფრენის დრო და ფრენის სიშორე.
3. ქვემეხიდან ყუმბარა გაისროლეს 45° -იანი კუთხით 10 მ/წმ სიჩქარით. გამოთვალე ფრენის სიშორე და შეადარე წინა ამოცანის შედეგს.

4.21. მოძრაობის ექსპერიმენტული კვლევა



I. სხვადასხვა სიმაღლიდან ვარდნილი განსხვავებული მასის სხეულების ქვიშაზე ზემოქმედების ექსპერიმენტული კვლევა

მოცემული გაქვს: მუყაოს ყუთი ქვიშით, ფოლადისა და რეზინის ერთნაირი ზომის ბურთულები, სახა-ზავი.

მსვლელობა: მოასწორე ქვიშის ზედაპირი, 15 სმ-ს სიმაღლიდან ერთდროულად ჩამოაგდე ფოლადისა და რეზინის (ანუ სხვადასხვა მასის) ბურთულები (სურ. ა).

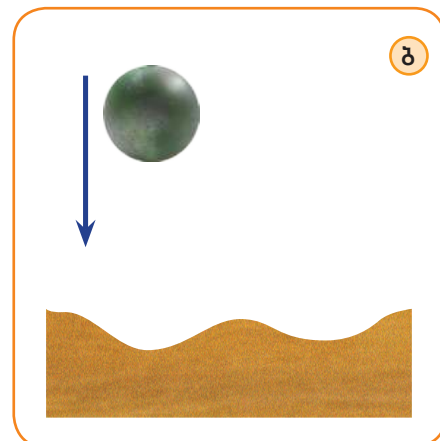
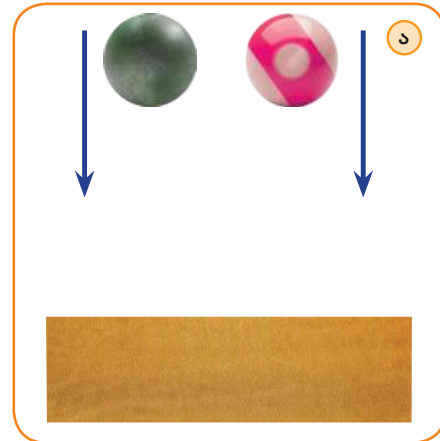
დაცემის ადგილას ქვიშაში გაჩენილი ღრმულების მიხედვით, შეადარე ბურთულების ზემოქმედება ქვიშაზე: რომელმა ბურთულამ იმოქმედა უფრო მეტად ქვიშის ზედაპირზე?

შემდეგ, ფოლადის ბურთულა ხელმეორედ ჩამოაგდე 30 სმ-ის სიმაღლიდან. დაცემის ადგილას ქვიშაში გაჩენილი ღრმული შეადარე იმავე ბურთულის მიერ წინა ექსპერიმენტში გაჩენილ ღრმულს (სურ. ბ).

გამოთვალე და შეადარე ერთმანეთს ბურთულების საბოლოო სიჩქარეები სხვადასხვა სიმაღლიდან ჩამოგდებისას. როდის აქვს მეტი სიჩქარე ბურთულას?

აღწერე დამზერილი მოვლენები.

იმსჯელე და გამოიტანე დასკვნა: როგორ არის დამოკიდებული ბურთულის ქვიშაზე ზემოქმედების შედეგად გაჩენილი ღრმულის სიდიდე ბურთულის მასასა და სიჩქარეზე.



II. ენერგიისა და იმპულსის მუდმივობის კვლევა

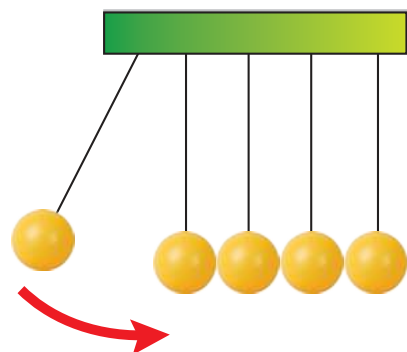
მოცემული გაქვს: ტოლი სიგრძის ძაფზე დაკიდებული ერთნაირი მასის რამდენიმე ბურთულა, შტატივი, ღერო.

მსვლელობა: დაამაგრე შტატივის თათში ღერო ჰორიზონტალურად და დაჰკიდე რამდენიმე ბურთულა ისე, რომ ისინი ეხებოდნენ ერთმანეთს. წონასწორობიდან გამოიყვანე პირველი ბურთულა და გაუშვი ხელი. შეაფასე პირველი და ბოლო ბურთულების გადახრის კუთხეები.

ცდა გაიმეორე, როდესაც წონასწორობიდან გამოიყვან ორ ბურთულას ერთდროულად და გაუშვებ ხელს.

აღწერე დამზერილი მოვლენა.

გამოიტანე დასკვნა: ბურთულების დაჯახებისას მიმდინარე მოვლენების შესახებ.



4.22. სხეულისა და ძალის იმპულსი



იზიარა და იმსჯელე

რატომ აქვს ავტომანქანებს უსაფრთხოების ბალიშები?

სურ. 92

ჯერ კიდევ XVII საუკუნეში მექანიკაში ახალი სიდიდე — „მოძრაობის რაოდენობა“ გაჩნდა. თანამედროვე ფიზიკაში მას **სხეულის იმპულსს** უწოდებენ.

სხეულის იმპულსი ($\vec{p}$) ვექტორული სიდიდეა. იგი სხეულის მასისა და სიჩქარის ნამრავლის ტოლია.

$$\vec{p} = m\vec{v}.$$

სხეულის იმპულსი მიმართულია ისევე, როგორც სხეულის სიჩქარე. იმპულსის ერთეულია კგ · მ/წმ (SI).

ექსპერიმენტით დადასტურდა, რომ სხეულის იმპულსი დამოკიდებულია ამ სხეულის მასასა და სიჩქარეზე. ერთნაირი სიჩქარით მოძრავი დატვირთული სატვირთო ავტომანქანის იმპულსი მეტია ცარიელი ავტომანქანის იმპულსზე (სურ. 93 ა, ბ).

თუ სხეულზე ძალა არ მოქმედებს, ან მოქმედი ძალები კომპენსირებულია, მაშინ სხეული მუდმივი სიჩქარით მოძრაობს და სხეულის იმპულსი მუდმივი სიდიდეა. აჩქარებულად მოძრაობისას სხეულის იმპულსი მუდმივად იცვლება სიჩქარის ცვლილების გამო.

დავუშვათ, m მასის ურიკა თანაბრაჩქარებულად $\vec{a}$ აჩქარებით მოძრაობს (სურ. 94). ნიუტონის მეორე კანონის თანახმად, ძალთა ტოლქმედი $\vec{F}$ ურიკას $\vec{a}$ აჩქარებას ანიჭებს Δt დროში და სიჩქარეს ცვლის $\vec{v}_0$ -დან $\vec{v}$ -მდე.

$$\vec{F} = m\vec{a}, \text{ სადაც } \vec{a} = \frac{\vec{v} - \vec{v}_0}{\Delta t},$$

$$\text{ანუ } \vec{F} = m \frac{\vec{v} - \vec{v}_0}{\Delta t} \text{ და } \vec{F} \Delta t = m (\vec{v} - \vec{v}_0),$$

$$\vec{F} \Delta t = m\vec{v} - m\vec{v}_0,$$

$m\vec{v}_0$ სხეულის საწყისი იმპულსია, $m\vec{v}$ — სხეულის საბოლოო იმპულსი, $m\vec{v} - m\vec{v}_0 = \Delta\vec{p}$ — სხეულის იმპულსის ცვლილება.

ფიზიკურ სიდიდეს $\vec{F} \Delta t$ **ძალის იმპულსს** უწოდებენ.

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

ძალის იმპულსი სხეულის იმპულსის ცვლილების ტოლია.

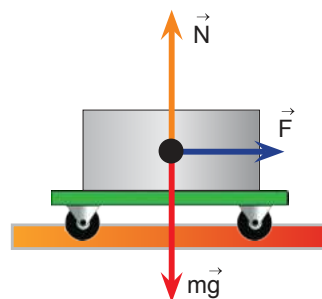


ა



ბ

სურ. 93



სურ. 94



სურ. 95



სურ. 96

სხეულის იმპულსის ცვლილება მიმართულია სხეულზე მოქმედი ტოლქმედის მიმართულებით.

სხეულის იმპულსის ცვლილება მით მეტია, რაც უფრო მეტია სხეულზე მოქმედი ძალთა ტოლქმედი და ძალის მოქმედების დრო.

სხეულის იმპულსის ცვლილება სხეულზე მოქმედი ძალთა ტოლქმედის პროპორციულია. ამგვარად, **ძალის მოქმედებით სხეულის იმპულსი იცვლება.**

$$\vec{F} = \frac{\Delta \vec{p}}{\Delta t}.$$

სხეულების ძლიერმა ურთიერთქმედებამ, მაგ., შეჯახებამ, შესაძლებელია ამ სხეულების დაზიანება გამოიწვიოს. ამ შედეგის თავიდან ასაცილებლად ძალა უნდა შემცირდეს და გაიზარდოს ურთიერთქმედების დრო, რის შედეგადაც შესაძლებელია სხეულის იმპულსის ნულამდე შემცირება.

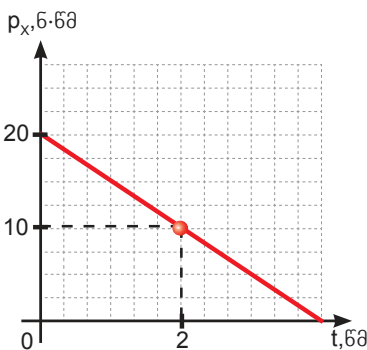
მაგ., იმისათვის, რომ აიცილონ მატარებლის ვაგონების დაჯახებისა და დაზიანება, გადაბმის ადგილზე აყენებენ ზამბარიან ამორტიზატორებს, ბუფერებს (სურ. 95). ასევე, დარტყმის ძალის შესამცირებლად ავტომობილებში იყენებენ უსაფრთხოების ქამრებსა და ბალიშებს.

სამშენებლო სამუშაოების შესრულებისას ხშირად დიდი ძალის გამოყენებაა საჭირო. მაგ., კედლის სამტვრევ ხელსაწყოებში (სურ. 96) დიდი ძალის მისაღებად ზრდიან დარტყმითი მოძრაობის სიხშირეს და ამცირებენ ურთიერთქმედების დროს, რის გამოც ძალა ძალიან სწრაფად იზრდება.



გაანზრება

სურათზე გამოსახულია სხეულის იმპულსის გეგმილის დროზე დამოკიდებულების გრაფიკი (სურ. 97). გამოთვალე ძალის გეგმილის სიდიდე, რომლის მოქმედებითაც სხეული მოძრაობდა გაჩერებამდე.

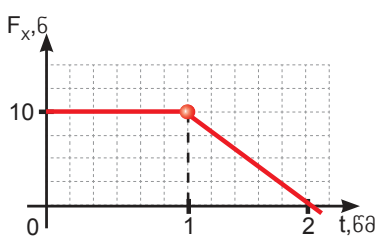


სურ. 97



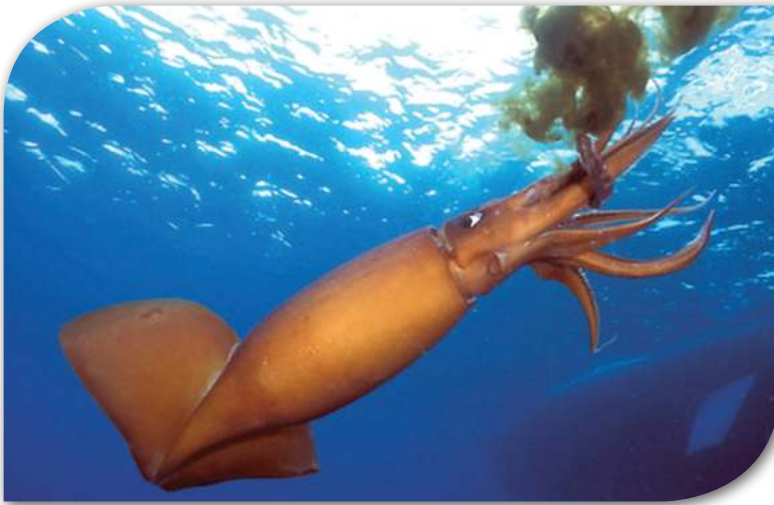
საშინაო დავალება

- ავტომაქანა, რომლის მასაა 1 ტ, წრფივ ავტომაგისტრალზე თანაბარაჩქარებულად მოძრაობს. გამოთვალე მანქანის იმპულსის ცვლილება, როდესაც იგი სიჩქარეს 10 მ/წმ-იდან ცვლის 72 კმ/სთ-მდე. რისი ტოლია მანქანაზე მოქმედი ტოლქმედი ძალა, თუ იგი 4 წმ-ის განმავლობაში მოქმედებდა.
- 2 კგ მასის სხეულის მოძრაობის განტოლებაა $x = 5 - 8t + 4t^2$. გამოთვალე მოძრაობის გამომწვევი ძალის სიდიდე, იმპულსი მოძრაობის დაწყებიდან 2 წმ-ისა და 4 წმ-ის შემდეგ (სიდიდეები მოცემულია SI სისტემაში).
- 5 კგ მასის 10 მ/წმ სიჩქარით მოძრავ სხეულზე იწყებს მოქმედებას ცვლადი ძალა. სურათზე გამოსახულია ამ ძალის დროზე დამოკიდებულების გრაფიკი (სურ. 98). შეადარე (0; 2) წმ და (1; 2) წმ დროის ინტერვალებში სხეულის იმპულსის ცვლილებები ერთმანეთს.



სურ. 98

4.23. იმპულსის მუდმივობის კანონი



იზიძრა და იმსჯელებ

როგორ მოძრაობს კალმარი?

სურ. 99

მექანიკაში სხეულთა გარკვეულ ერთობლიობას **მექანიკურ სისტემას** უწოდებენ.

მექანიკურ სისტემაში შემავალ ნებისმიერ სხეულს საკუთარი იმპულსი გააჩნია. სისტემაში შემავალი სხეულების იმპულსების ჯამს მექანიკური სისტემის იმპულსს უწოდებენ.

დავუშვათ, მექანიკური სისტემა შედგება ორი m_1 და m_2 მასის ყვითელი და მწვანე ბურთულისაგან, რომლებიც შესაბამისად $\vec{v}_1$ და $\vec{v}_2$ სიჩქარით მოძრაობენ. რადგან $v_1 > v_2$ -ზე ყვითელი ბურთულა დაენევა მწვანე ბურთულას და ეჯახება მას და მათი სიჩქარეები იცვლება (სურ. 100 ა, ბ). ნიუტონის მესამე კანონის თანახმად, ეს ბურთულები ერთმანეთზე მოქმედებენ სიდიდით ტოლი და საწინააღმდეგოდ მიმართული ძალებით:

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

ნიუტონის მეორე კანონის თანახმად,

$$\vec{F}_1 = m_1 \vec{a}_1, \quad \vec{F}_2 = m_2 \vec{a}_2, \quad \text{ამიტომ } m_1 \vec{a}_1 = -m_2 \vec{a}_2, \quad \text{სადაც}$$

$$\vec{a}_1 = \frac{\vec{v}'_1 - \vec{v}_1}{t}, \quad \vec{a}_2 = \frac{\vec{v}'_2 - \vec{v}_2}{t}$$

$\vec{a}_1$ და $\vec{a}_2$ არის t დროის განმავლობაში ბურთების ურთიერთქმედების შედეგად შეძენილი აჩქარებები, ხოლო $\vec{v}'_1$ და $\vec{v}'_2$ ბურთულების სიჩქარეები დაჯახების შემდეგ.

$$\vec{F}_1 = m_1 \frac{\vec{v}'_1 - \vec{v}_1}{t}, \quad \vec{F}_2 = m_2 \frac{\vec{v}'_2 - \vec{v}_2}{t}.$$

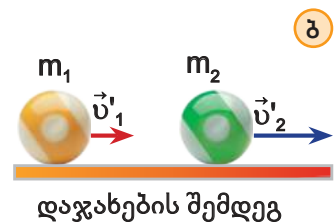
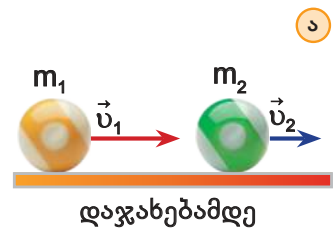
ნიუტონის მესამე კანონი თანახმად:

$$m_1 \frac{\vec{v}'_1 - \vec{v}_1}{t} = -m_2 \frac{\vec{v}'_2 - \vec{v}_2}{t}, \quad \text{ანუ } m_1(\vec{v}'_1 - \vec{v}_1) = -m_2(\vec{v}'_2 - \vec{v}_2).$$

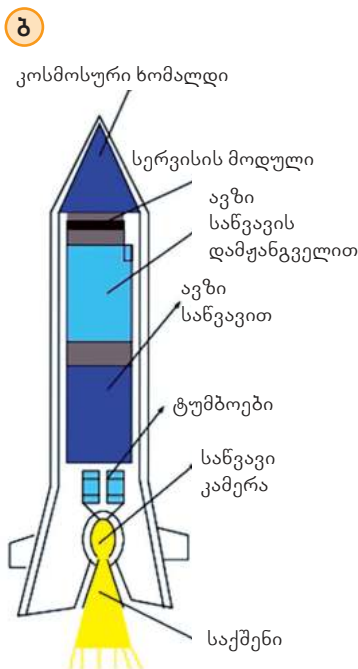
აქედან,

$$m_1 \vec{v}'_1 + m_2 \vec{v}'_2 = m_1 \vec{v}_1 + m_2 \vec{v}_2.$$

$\vec{p}_1 = m_1 \vec{v}_1$ და $\vec{p}_2 = m_2 \vec{v}_2$ ბურთულების იმპულსებია დაჯახე-



სურ. 100



სურ. 101

ბამდე, $\vec{p}_3 = m_1 \vec{v}_1'$ და $\vec{p}_4 = m_2 \vec{v}_2'$ – დაჯახების შემდეგ. განტოლება, რომელიც გამოსახავს იმპულსის მუდმივობის კანონს, იქნება:

$$\vec{p}_1 + \vec{p}_2 = \vec{p}_3 + \vec{p}_4.$$

ჩაკეტილ სისტემაში სხეულების იმპულსების ჯამი ურთიერთქმედებამდე ტოლია ამავე სხეულების იმპულსების ჯამისა ურთიერთქმედების შემდეგ.

კანონი სამართლიანია ჩაკეტილი მექანიკური სისტემისათვის, ანუ სხეულთა ისეთი ჯგუფისათვის, რომლებიც მხოლოდ ერთმანეთთან ურთიერთქმედებენ.

იმპულსის მუდმივობის კანონით აიხსნება კოსმოსური რაკეტის მოძრაობა. მოძრაობის დაწყებამდე რაკეტისა და მის საფეხურებში არსებული საწვავის იმპულსების ჯამი ნულის ტოლია. ძრავის ამუშავებისას საწვავ კამერაში წვის შედეგად გამოყოფილი აირი საქშენით დიდი სიჩქარით გამოიტყორცნება (სურ. 101 ა, ბ). რაკეტა კი საწვავის დაწვით მიმართულებით ამოძრავდება ისე, რომ მისი და გამოტყორცნილი აირის იმპულსების ჯამი ისევ ნულის ტოლი დარჩება. ასეთ მოძრაობას **რეაქტიული მოძრაობა** ეწოდება. ანალოგიურად შეიძლება აიხსნას გასროლისას ზარბაზნისა და ყუმბარის ურთიერთ-საწინააღმდეგო მიმართულებით მოძრაობა.

იმპულსის მუდმივობის კანონის გამოყენებით შესაძლებელია ურთიერთქმედი სხეულების სიჩქარის გამოთვლა, მაშინაც კი, თუ ძალის მოდული უცნობია.

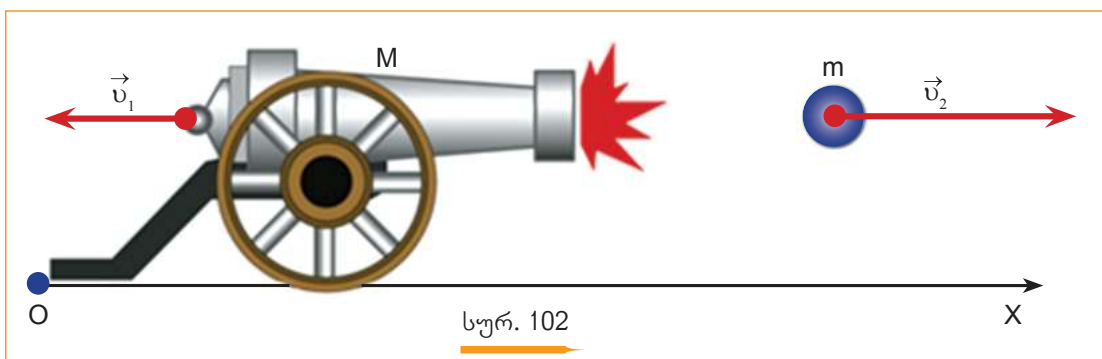
მაგ., ზარბაზნიდან ყუმბარის გასროლის შედეგად ზარბაზნი უკუცემის შედეგად უკან, ყუმბარის მოძრაობის მიმართულების საწინააღმდეგოდ ამოძრავდება (სურ. 102). ყუმბარა და ზარბაზნი ჩაკეტილ მექანიკურ სისტემას ქმნიან. ზარბაზნიდან ყუმბარის გასროლამდე მათი იმპულსი ნულის ტოლია და გასროლის შემდეგაც ნულის ტოლი იქნება.

$$0 = M \vec{v}_1 + m \vec{v}_2, \quad M \vec{v}_1 = -m \vec{v}_2, \quad \vec{v}_1 = -\frac{m}{M} \vec{v}_2.$$

ამრიგად, ზარბაზნისა და ყუმბარის სიჩქარეები ურთიერთ-საწინააღმდეგოდ არის მიმართული.

OX ღერძზე განტოლების დაგეგმილების შედეგად:

$$-M v_1 + m v_2 = 0. \quad \text{აქედან,} \quad v_1 = \frac{m}{M} v_2.$$



სურ. 102

რვაფეხების, მედუზების (სურ. 103 ა, ბ), მოლუსკებისა და კალმარების მოძრაობა რეაქტიული მოძრაობაა. ისინი წყლის ვიწრო ჭავლის გამოფრქვევის შედეგად ჭავლის მიმართულების სანინალმდეგო მხარეს გადაადგილდებიან. ამიტომ მათ ზოგჯერ „ბიოლოგიურ რაკეტებს“ უწოდებენ. ასევე რეაქტიული მოძრაობაა კიტრანას მოძრაობა. მასთან შეხებისას ნაყოფიდან თესლები გამოიტყორცნება, ნაყოფი კი მის სანინალმდეგო მხარეს მოძრაობს (სურ. 103 გ).

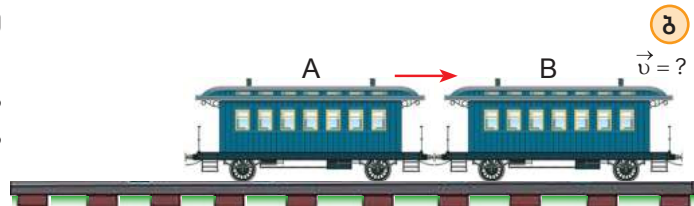
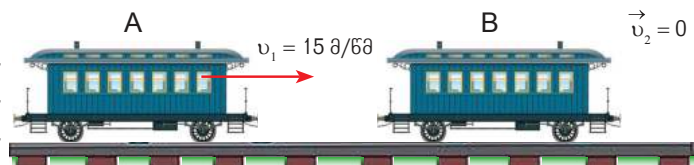


სურ. 103



ბაზრება

1. A ვაგონი $\vec{v}_1$ სიჩქარით მოძრაობს და ეჯახება უძრავ იმავე მასის B ვაგონს (სურ. 104 ა). იმსჯელე, რატომ აქვთ ვაგონებს ბუფერი. გამოთვალე რა სიჩქარით იმოძრავენ ვაგონები, თუ დაჯახების შემდეგ ისინი გადაენერტან (სურ. 104 ბ).
2. 2 ტ მასის ზარბაზანმა ჰორიზონტალურად გაისროლა 20 კგ მასის ყუმბარა. რას უდრის ყუმბარის სიჩქარე, თუ ზარბაზანი ყუმბარის სანინალმდეგო მიმართულებით 2 მ/წმ სიჩქარით ამოძრავდა?
3. გამოთვალე 800 გ მასის კალმარის სიჩქარე, თუ იგი 100 გ მასის წყალს 20 მ/წმ სიჩქარით გამოაფრქვევს.

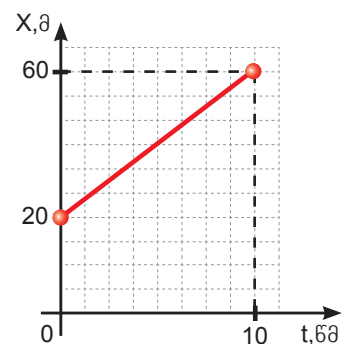


სურ. 104



საშინაო დავალება

1. სურათზე გამოსახულია სხეულის კოორდინატის დროზე დამოკიდებულების გრაფიკი (სურ. 105). გამოთვალე რამდენჯერ შეიცვლება სხეულის იმპულსი 10 წმ-ში.
2. 100 კგ მასის უძრავი ნავიდან ჰორიზონტალური მიმართულებით ტვირთის 2 მ/წმ სიჩქარით გადაგდების შემდეგ ნავი ამოძრავდა 0,05 მ/წმ სიჩქარით. რა მასის ტვირთი გადაუგდიათ ნავიდან?
3. რა სიდიდის იმპულსს შეიძენს ადგილიდან დაძრული 300 კგ მასის კატერი 1 წუთში, თუ მან ამ დროში თანაბარჩქარებულად 900 მ მანძილი გაიარა.
4. 12 კგ უძრავი ნავიდან 1,8 მ/წმ სიჩქარით გადახტა 36 კგ მასის ბიჭი. რა სიჩქარით ამოძრავდება ნავი?
5. ჭურვი აისროლეს ვერტიკალურად და ტრაექტორიის უმაღლეს წერტილში აფეთქდა. პირველი ნაწილი, 1 კგ მასით, ამოძრავდა ჰორიზონტალურად, 400 მ/წმ სიჩქარით. მეორე, 1,5 კგ მასის ნაწილი აფრინდა ვერტიკალურად ზევით, 200 მ/წმ სიჩქარით. რა სიჩქარე შეიძინა მესამე ნაწილმა, რომლის მასაა 2 კგ?



სურ. 105

4.24. მექანიკური მუშაობა

იზიძრა და იმსჯელო

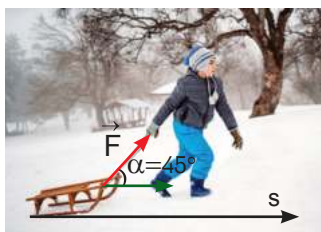
რა ძალა ასრულებს მუშაობას ავტომანქანის სამუხრუჭე მანძილზე მოძრაობისას?



სურ. 106



რა ძალა ასრულებს მუშაობას დეფორმირებულ ზამბარაში?



სურ. 107

მექანიკური მუშაობა არის ფიზიკური სიდიდე, რომელიც ტოლია სხეულზე მოქმედი ძალის მოდულის ნამრავლისა სხეულის გადაადგილების მოდულზე და იმ კუთხის კოსინუსზე, რომელსაც ადგენს ძალის ვექტორი გადაადგილების ვექტორთან. იგი გამოისახება ფორმულით:

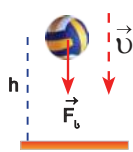
$$A = Fscos\alpha.$$

სადაც F სხეულზე მოქმედი მუდმივი ძალის მოდულია, s — სხეულის გადაადგილების მოდული, α კუთხეა, რომელსაც ქმნის ძალა და გადაადგილება ერთმანეთთან (სურ. 107).

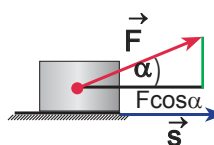
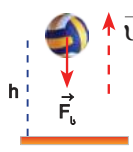
სქემაზე მოცემულია მექანიკური მუშაობის მნიშვნელობები, როდესაც კუთხე იცვლება 0° -დან 180° -მდე.

იცი, რომ...
სიმძიმის
ძალის მუშაობა

$$A = mgh$$



$$A = -mgh$$



$$A = Fscos\alpha$$

$$[A] = 1 \text{ ჯ} = 1 \text{ ნ} \cdot \text{მ}$$

A სკალარული სიდიდეა

$\alpha = 0^\circ$ $\cos 0^\circ = 1$	$90^\circ > \alpha > 0^\circ$	$\alpha = 90^\circ$ $\cos 90^\circ = 0$	$180^\circ < \alpha > 90^\circ$	$\alpha = 180^\circ$ $\cos 180^\circ = -1$
$A = Fs$	$A > 0$	$A = 0$	$A < 0$	$A = -Fs$

• დრეკადობის ძალის მუშაობა

დეფორმაციის შედეგად სხეულებში აღიძვრება დრეკადობის ძალა, რომელიც სხეულს აბრუნებს არადეფორმირებულ, საწყის მდგომარეობაში. დეფორმაციის შედეგად აღძრული დრეკადობის ძალა ასრულებს მექანიკურ მუშაობას.

დავუშვათ, ზამბარა არადეფორმირებულ მდგომარეობაშია (სურ. 108 ა). მისი ერთი ბოლო უძრავადაა დამაგრებული, მეორე ბოლოს 0 წერტილი შეესაბამება OX ღერძზე დაუჭიმავი

ზამბარის ბოლო წერტილის საწყის მდებარეობას.

მადეფორმირებელი ძალის მოქმედებით ზამბარა დეფორმირდება x_1 -ით (სურ. 108 ბ). მასში აღძრული დრეკადობის ძალა ცდილობს ზამბარა დააბრუნოს საწყის მდებარეობაში და რაღაც მომენტისთვის ზამბარის ბოლოს შესაბამისი კოორდინატი იქნება x_2 . ზამბარის ბოლოს გადაადგილება იქნება: $x = x_1 - x_2$. რადგან ზამბარის შეკუმშვისას დრეკადობის ძალა იცვლება ზამბარის ბოლო წერტილის x_1 -დან x_2 -ში გადასვლისას, დრეკადობის ძალის მიერ შესრულებული მუშაობა იქნება: $A = F_{საშ} x$.

$F_{დრ1} = kx_1$, $F_{დრ2} = kx_2$. ამიტომ დრეკადობის ძალის საშუალო მნიშვნელობა ტოლია:

$$F_{საშ} = \frac{F_1 + F_2}{2} = \frac{kx_1 + kx_2}{2},$$

შესრულებული მუშაობა $x = x_1 - x_2$ -ზე იქნება,

$$A = \frac{k(x_1 + x_2)}{2} \cdot (x_1 - x_2), \text{ მივიღებთ, რომ } A = - \left(\frac{kx_2^2}{2} - \frac{kx_1^2}{2} \right).$$

ამგვარად, დრეკადობის ძალის მუშაობა დამოკიდებულია დეფორმირებული სხეულის საწყის და საბოლოო კოორდინატებზე და შეკრულ წირზე ნულის ტოლია.

დრეკადად დეფორმირებული სხეულის პოტენციური ენერგიაა $E = \frac{kx^2}{2}$.

დრეკადად დეფორმირებული სხეულის მუშაობა დეფორმირებული სხეულის პოტენციური ენერგიის ცვლილების ტოლია.

● ხახუნის ძალის მუშაობა

სხეულის რაიმე ზედაპირზე მოძრაობისას აღძრული ხახუნის ძალა ასრულებს მუშაობას. დავუშვათ, მაგიდაზე მოთავსებული ხის ძელაკი C-დან D წერტილში წევის ძალის მოქმედებით გადაადგილდება (სურ. 109). მაგიდაზე ძელაკის მოძრაობას ეწინააღმდეგება სრიალის ხახუნის ძალა, რომელიც ყოველთვის წევის ძალის საწინააღმდეგოდ არის მიმართული. ამიტომ ძელაკის მოძრაობისას სრიალის ხახუნის ძალის მიერ შესრულებული მუშაობა უარყოფითია:

$$A_1 = -F_b(x_2 - x_1) = -F_b x$$

სხეულის D-დან C წერტილში გადაადგილებისას, ხახუნის ძალის მიერ შესრულებული მუშაობა იქნება:

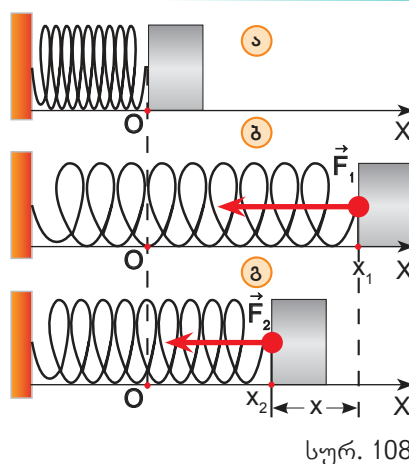
$$A_2 = F_b(x_1 - x_2) = -F_b(x_2 - x_1) = -F_b x.$$

შეკრულ წირზე სრიალის ხახუნის ძალის მიერ შესრულებული მუშაობა:

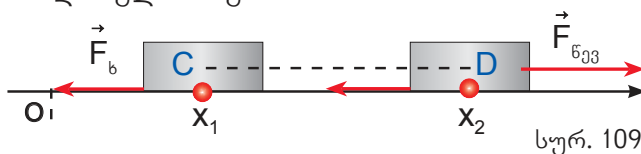
$$A = A_1 + A_2 = -F_b x - F_b x = -2F_b x \neq 0.$$

ამრიგად, ხახუნის ძალის მუშაობა გავლილ მანძილზეა დამოკიდებული.

ხახუნის ძალის მიერ შესრულებული მუშაობა შეკრულ წირზე ნულის ტოლი არ არის.



სურ. 108



სურ. 109

● ტოლქმედი ძალების მუშაობა

გზატკეცილზე მოძრაობისას ავტომანქანაზე რამდენიმე ძალა შეიძლება მოქმედებდეს. მაგ.: სიმძიმის, საყრდენის რეაქციის, ხახუნის, წინააღმდეგობისა და წევის ძალა. სხეული (ავტომანქანა) მოძრაობს ამ ძალების ტოლქმედი ძალის მოქმედებით.

ტოლქმედი ძალის მოქმედებით სხეული ტრაექტორიის A წერტილიდან, რომელშიც მისი მყისი სიჩქარე იყო v_1 , გადაადგილდება B წერტილში, რომელშიც სიჩქარე v_2 -ის ტოლია (სურ. 110).

მაშინ ტოლქმედი ძალის მუშაობა იქნება:

$$A = Fs \quad (1), \quad F = ma \quad (2), \quad a = \frac{v - v_0}{t} \quad (3).$$

(2)-ში (3)-ის ჩასმით მიიღება, რომ

$$F = m \frac{v - v_0}{t}. \quad (4)$$

(1)-ში (4)-ის ჩასმით, მიიღება:

$$A = m(v - v_0) \frac{s}{t}. \quad (5)$$

თუ მოძრაობისას ძალა არ იცვლება, მოძრაობა თანაბარაჩქარებულა და

$$v_{\text{საშ}} = \frac{s}{t} = \frac{v + v_0}{2}. \quad (6)$$

ჩავსვათ (6) ფორმულა (5)-ში. მაშინ, ტოლქმედი ძალის მუშაობა:

$$A = m(v - v_0) \frac{(v + v_0)}{2}. \quad (7)$$

აქედან,

$$A = \frac{mv^2}{2} - \frac{mv_0^2}{2}$$

ცნობილია, რომ სხეულის კინეტიკური ენერგია:

$$E_k = \frac{mv^2}{2}.$$

ამრიგად, სხეულზე მოქმედი ტოლქმედი ძალის მუშაობა ტოლია სხეულის კინეტიკური ენერგიის ცვლილებისა მისი საწყისი მდებარეობიდან საბოლოო მდებარეობაში გადაადგილებისას.

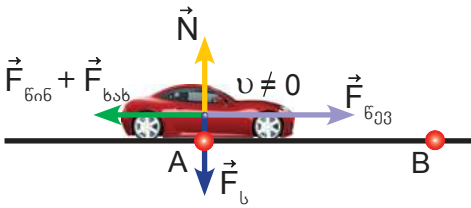
ეს კანონი ცნობილია „კინეტიკური ენერგიის თეორემის“ სახელწოდებით.

● სიმძიმის ძალის მუშაობა

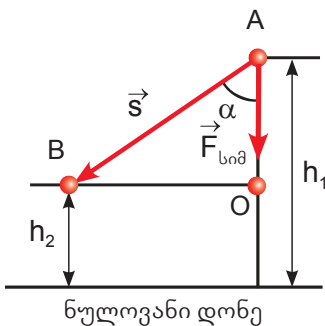
დავუშვათ, სხეული სრიალებს დახრილ სიბრტყეზე. მაგალითად, მოთხილამურე ეშვება მთიდან და A წერტილიდან B -ში გადაადგილდება (სურ. 111).

A წერტილი h_1 სიმაღლეზეა, B წერტილი – h_2 სიმაღლეზე. h_1 და h_2 სხეულის კოორდინატებია. ამ წერტილებში სხეულზე შეიძლება სხვადასხვა ძალა მოქმედებდეს. განვიხილოთ მხოლოდ სიმძიმის ძალის ($F = mg$) მოქმედება.

გადაადგილების $\vec{s}$ ვექტორი სიმძიმის ძალასთან ქმნის α კუთხეს. მაშინ სიმძიმის ძალის მუშაობა:



სურ. 110



სურ. 111

$$A = F \cdot s \cdot \cos \alpha, \quad \Delta AOB\text{-დან} \quad s \cdot \cos \alpha = h_1 - h_2$$

$$A = F \cdot (h_1 - h_2).$$

$h_1 - h_2$ არის სხეულის მდებარეობის ცვლილება.

თუ სხეული A-დან B წერტილში გადაადგილდება არა წრფის გასწვრივ, არამედ მრუდ წირზე (სურ. 112), მაშინ სიმძიმის ძალის მუშაობის გამოსათვლელად შეიძლება განვიხილოთ მუშაობა ცალკეულ უბნებზე და შემდეგ შევკრიბოთ.

სიმარტივისათვის განვიხილოთ სიმძიმის ძალის მუშაობა მხოლოდ სამ უბანზე (ჩავთვალოთ, რომ რკალებისა და ქორდების სიგრძეები ერთმანეთის ტილოა).

პირველ უბანზე მუშაობა: $A_1 = F_{\text{სიძ}} s_1 \cos \alpha_1 = F_{\text{სიძ}} h_1$.

მეორეზე – $A_2 = F_{\text{სიძ}} s_2 \cos \alpha_2 = F_{\text{სიძ}} h_2$.

მესამეზე – $A_3 = F_{\text{სიძ}} s_3 \cos \alpha_3 = F_{\text{სიძ}} h_3$.

თუ შევკრიბებთ A-დან B წერტილში გადაადგილებისას შესრულებულ მუშაობებს, მაშინ:

$$A = F_{\text{სიძ}} (h_1 + h_2 + h_3), \quad h_1 + h_2 + h_3 = H_1 - H_2.$$

$H_1 - H_2$ — ვერტიკალურად სხეულის გადაადგილებაა.

ე. ი.

$$A = F_{\text{სიძ}} (H_1 - H_2).$$

ამგვარად, სხეულის ვერტიკალურად მრუდ წირზე გადაადგილებისას შესრულებული მუშაობა ისეთივეა, როგორც დახრილ სიბრტყეზე მოძრაობისას შესრულებული მუშაობა.

აქედან შეიძლება დავასკვნათ, რომ სიმძიმის ძალის მუშაობა არ არის დამოკიდებული სხეულის ტრაექტორიის ფორმაზე. იგი დამოკიდებულია სხეულის საწყის და საბოლოო მდებარეობებზე (კოორდინატებზე).

ძალებს, რომელთა მუშაობა არ არის დამოკიდებული სხეულის მოძრაობის ტრაექტორიაზე, ეწოდება პოტენციური (კონსერვატიული) ძალები.

ამგვარად, პოტენციური ძალების მუშაობა დამოკიდებულია მხოლოდ სხეულის საწყის და საბოლოო კოორდინატებზე.

სიმძიმის ძალა ან ზოგადად მიზიდულობის ძალა არის პოტენციური ძალა.

თუ $F_{\text{სიძ}} = mg$ -ს, $H_1 = h_1$ და $H_2 = h_2$, მაშინ:

$$A = - (mgh_2 - mgh_1).$$

$E = mgh$ – არის სხეულის პოტენციური ენერგია. პოტენციური ენერგიის გამოთვლისთვის მნიშვნელოვანია პოტენციური ენერგიის ნულოვანი დონის არჩევა. სიმძიმის ძალის მიერ შესრულებული მუშაობის სიდიდე არ არის დამოკიდებული ნულოვანი დონის არჩევაზე.



ბაზრება

130-ე გვერდზე გამოსახული სქემის მიხედვით იმსჯელე მუშაობის შესახებ, როდესაც ძალასა და გადაადგილებას შორის α კუთხე 0° -დან 180° -მდე იცვლება.



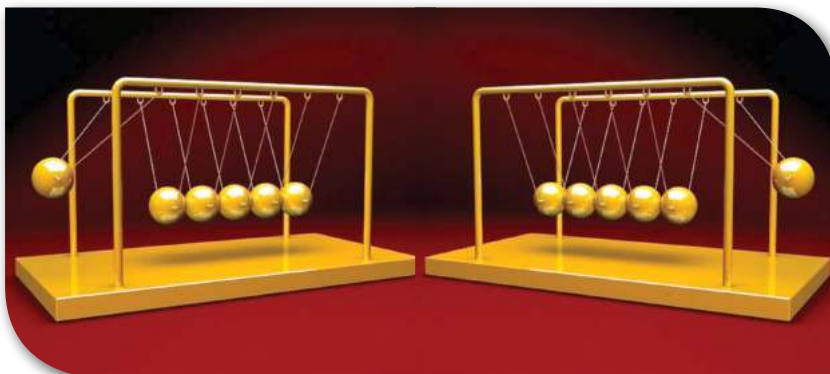
საშინაო დავალება

- რა მუშაობა სრულდება 40 კნ/მ სიხისტის ზამბარის 0,5 სმ-ით გაჭიმვისას?
- ყუთს ეწევიან თანაბრად ჰორიზონტალურ ზედაპირზე. თოკი, რომლითაც ეწევიან ყუთს, ჰორიზონტალს შეადგენს 30° -იან კუთხეს. თოკის დაჭიმულობის ძალა 25 ნ-ია. რა მუშაობას ასრულებს ხახუნის ძალა ყუთის 20 მ მანძილზე გადაადგილებისას.

4.25. მექანიკური ენერგიის მუდმივობის კანონი

იზიარა და იმსჯელე

რატომ
ამოძრავდება
ბოლო ბურთულა
პირველი ბურთულის
მეორესთან
ურთიერთქმედების
შედეგად?



სურ. 113

მექანიკური ენერგია სხეულის მექანიკური მდგომარეობის მახასიათებელი სიდიდეა. იგი ორი სახისაა:

პოტენციური ($E_p = mgh$, $E_p = \frac{kx^2}{2}$) და კინეტიკური ($E_k = \frac{mv^2}{2}$).

სხეულის კინეტიკური და პოტენციური ენერგიების ჯამს სრული მექანიკური ენერგია ეწოდება.

$$E_k + E_p = E$$

ურთიერთქმედებისას სხეულის მექანიკური ენერგიის სახეები შეიძლება მუდმივად იცვლებოდეს. მაგალითად, კინეტიკური ენერგია გარდაიქმნას პოტენციურში და პირიქით.

ერთი სახის მექანიკური ენერგიის მეორეში გარდაქმნის თვალსაჩინო მაგალითია მაქსველის ქანქარაში დისკოს მოძრაობისას მიმდინარე პროცესები (სურ. 114).

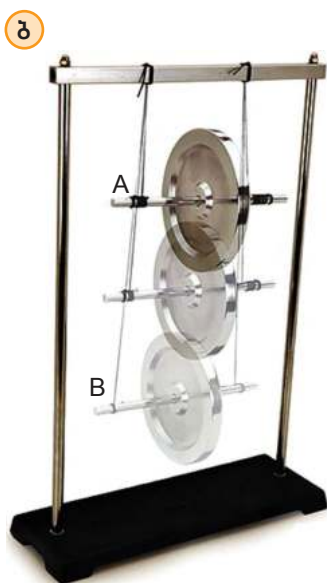
მაქსველის ქანქარა შედგება მასიური დისკოსგან, რომელიც მჭიდროდაა დამაგრებული ლითონის ღერძზე. ღერძი ორივე მხრიდან საყრდენზე თოკებითაა დაკიდებული (სურ. 114 ა).

ღერძზე თოკების გადახვევით დისკო ზევით ადის. ხელის გაშვების შემდეგ იგი ქვევით ეშვება (სურ. 114 ბ). A და B დონეზე დისკოს სხვადასხვა სახის მექანიკური ენერგია აქვს. მისი მოძრაობისას, ასვლა-ჩამოსვლისას, ენერგიის სახეები იცვლება. თუ ენერგიის დანაკარგებს არ გავითვალისწინებთ, დისკოს სრული მექანიკური ენერგია უცვლელი დარჩება. პრაქტიკულად, ქანქარა გარკვეული დროის განმავლობაში განაგრძობს მოძრაობას ზევით-ქვევით.

დისკოსა და დედამიწის სისტემისთვის (ანუ ჩაკეტილი სისტემისთვის) სრული მექანიკური ენერგია მუდმივი სიდიდეა.

ასევე ზამბარაზე დამაგრებული სხეულის რხევისას მისი პოტენციური ენერგია გარდაიქმნება კინეტიკურ ენერგიად, და პირიქით. ამიტომ შეიძლება დავასკვნათ:

ჩაკეტილ სისტემაში შემავალი, მიზიდულობისა და დრეკადობის ძალით ურთიერთქმედი, სხეულების კინეტიკური



სურ. 114

და პოტენციური ენერგიების ჯამი, ანუ სრული მექანიკური ენერგია, მუდმივი სიდიდეა.

$$E_k + E_p = \text{const}$$

ეს მტკიცებულება სამართლიანია ისეთი პროცესებისთვის, როდესაც მექანიკური ენერგია შინაგან ენერგიაში არ გარდაიქმნება.

სრული მექანიკური ენერგია იცვლება ხახუნის ძალის (წინააღმდეგობის ძალის) მოქმედებით. მაგალითად, ქანქარა რამდენიმე რხევის შემდეგ ჩერდება, მისი მექანიკური ენერგია მცირდება თოკსა და საკიდელს შორის ხახუნის ძალის მოქმედების შედეგად. მაგრამ მექანიკური ენერგია უკვალოდ არ იკარგება. ხახუნისას სხეულების შემადგენელი მოლეკულებისა და ატომების ქაოსური მოძრაობის სიჩქარე იმატებს, იზრდება სითბური ენერგია და ამგვარად, მექანიკური ენერგია გარდაიქმნება შინაგან ენერგიაში.

მექანიკური ($E_{\text{მექ}}$) და შინაგანი (U) ენერგიების ჯამს სხეულის სრული ენერგია ეწოდება.

$$W = E_{\text{მექ}} + U$$

მატერიალური სხეულები მუდმივად ურთიერთქმედებენ. მაგ., ეჯახებიან ერთმანეთს. ურთიერთქმედების შედეგად იცვლება მათი მექანიკური ენერგია და იმპულსი.

სხეულების დაჯახებები შეიძლება იყოს დრეკადი და არადრეკადი.

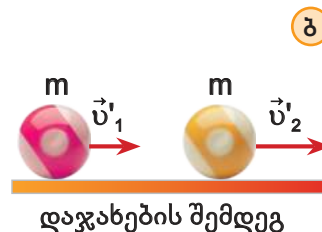
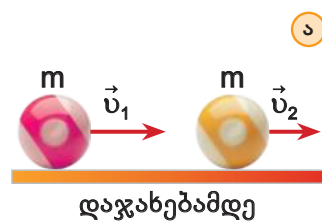
დავუშვათ, ორი ერთნაირი მასის ბურთულა, რომლებიც ქმნიან ჩაკეტილ მექანიკურ სისტემას, ერთი და იმავე მიმართულებით მოძრაობს, შესაბამისად, $\vec{u}_1$ და $\vec{u}_2$, სიჩქარით, $u_1 > u_2$ (სურ. 115 ა). დრეკადი დაჯახების შემდეგ ბურთულები იცვლიან სიჩქარის მოდულს და აგრძელებენ მოძრაობას იმავე მიმართულებით (სურ. 115 ბ).

დრეკადი დაჯახების შემდეგ იცვლება ცალკეული ურთიერთქმედი სხეულების როგორც იმპულსი, ასევე მათი კინეტიკური ენერგია, თუმცა არ იცვლება (ანუ მუდმივი რჩება) მექანიკური სისტემის სრული იმპულსი და სრული მექანიკური ენერგია.

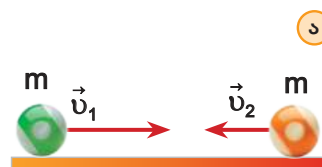
არადრეკადი დაჯახებისას იცვლება ურთიერთქმედი სხეულების იმპულსი, მაგრამ არ იცვლება სისტემის სრული იმპულსი და მექანიკური ენერგიის ნაწილი სხვა ენერგიად გარდაიქმნება (სურ. 116 ბ).

„ნიუტონის აკვანში“, როგორც ბილიარდის თამაშისას, ბურთულების დაჯახება დრეკადია (სურ. 113).

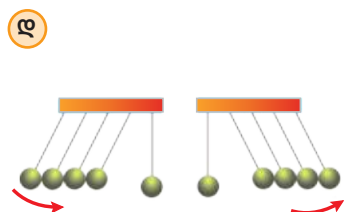
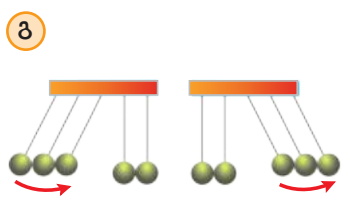
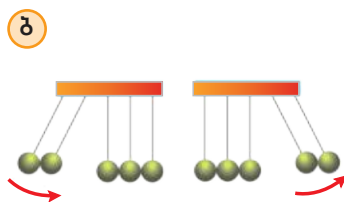
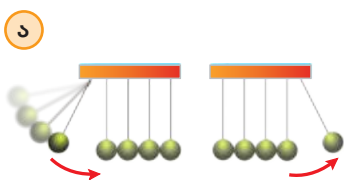
„ნიუტონის აკვანი“ არის მოწყობილობა, რომელიც შედგება საკიდზე დაკიდებული რამდენიმე ერთნაირი მასის ბურთულისაგან. ისინი ჩაკეტილ სისტემას ქმნიან. წონასწორობიდან გამოყვანილი პირველი ბურთულა დრეკადად ეჯახება მეზობელ ბურთულას, რომელსაც გადასცემს კინეტიკურ ენერგიასა და იმპულსს. მეორე ბურთულა ვერ „ახერხებს“ სიჩქარის ცვლილებას (ურთიერთქმედების ძალიან მცირე დროისა და ბურთულებს შორის ძალიან მცირე შუალედების არსებობის გამო). იგი



სურ. 115



სურ. 116



სურ. 117

მიღებულ ენერგიასა და იმპულსს გადასცემს უახლოეს მეზობელს. შემდგომ ბურთულებზე ენერგიის გადაცემის შედეგად ბოლო ბურთულა ამოძრავდება. იგი ისევე გადაიხრება, როგორც პირველი ბურთულა.

ამრიგად, „ნიუტონის აკვანში“ ბურთულების დაჯახებისას ვლინდება როგორც იმპულსის, ისე ენერგიის მუდმივობის კანონი.

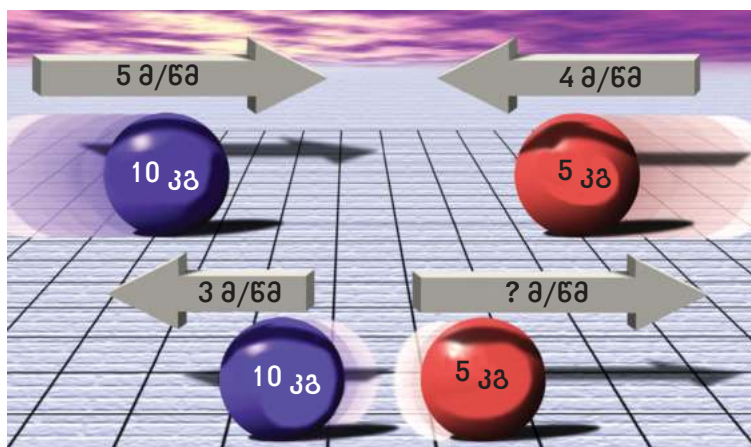
ბუნებაში მიმდინარე პროცესებისას ერთი სხეულის ენერგია გადაეცემა მეორეს ან გარდაიქმნება ერთი სახიდან მეორე სახის ენერგიად.

ჩაკეტილი სისტემის სრული ენერგია მუდმივი სიდიდეა.



ბაზრება

- მაქსველის ქანქარის მიხედვით (სურ. 114. ბ) იმსჯელე მექანიკური ენერგიის გარდაქმნის შესახებ:
 - რომელი სახის მექანიკური ენერგია გააჩნია მაქსიმალურ სიმაღლეზე (A დონეზე) აწეულ უძრავად მყოფ დისკოს და როგორ იცვლება ეს ენერგია მოძრაობისას (იზრდება თუ მცირდება)?
 - რომელი სახის მექანიკური ენერგიას იძენს დისკო მოძრაობისას და როგორ იცვლება იგი?
 - რა სახის მექანიკური ენერგია გააჩნია მოძრავ დისკოს, როდესაც იგი B დონეზეა?
 - რატომ ჩერდება მაქსველის ქანქარა გარკვეული დროის შემდეგ? რატომ არ სრულდება ამ დროს მექანიკური ენერგიის მუდმივობის კანონი?
 - რა შემთხვევაში იმოძრავებდა ქანქარა მუდმივად და როგორ გამოვლინდებოდა ამ დროს ენერგიის მუდმივობის კანონი?
- იმსჯელე, „ნიუტონის აკვნის“ სქემატური სურათის მიხედვით იმპულსის მუდმივობისა და ენერგიის მუდმივობის კანონების შესახებ (სურ. 117 ა, ბ, გ, დ).
- იმსჯელე და გამოთვალე: ა. წითელი ბურთულის სიჩქარე ურთიერთქმედების შემდეგ; ბ. წითელი და იისფერი ბურთულების კინეტიკური ენერგია ურთიერთქმედების შემდეგ (სურ. 118).



სურ. 118

● ამოცანების ამოხსნა

ამოცანა

430 მ/წმ სიჩქარით მოძრაობა ტყვიამ გახვრიტა კედელი და მისი სიჩქარე შემცირდა 200 მ/წმ-მდე. ტყვიის რა ნაწილი გალღვება ამ დროს, თუ მისი საწყისი ტემპერატურა იყო 50°C. ტყვიის ნაწილის გაღლობაზე დაიხარჯა დაკარგული კინეტიკური ენერგიის 50%.

ამოხსნა

$\beta = \frac{\Delta m}{m} - ?$ $\alpha = 50\% = 0,5$ $v_0 = 430 \text{ მ/წმ}$ $v = 200 \text{ მ/წმ}$ $t_0 = 50^\circ\text{C}$ $t_{\text{ღვ}} = 327^\circ\text{C}$ $C = 130 \text{ ჯ/კგ}^\circ\text{C}$ $\lambda = 25 \text{ კჯ/კგ}$	აღვნიშნოთ m-ით ტყვიის მასა, Δm-ით — ტყვიის მასის ნაწილი, რომელიც გალღვა კედლის გახვრეტისას. კედლის გახვრეტისას ტყვიის მიერ დაკარგული კინეტიკური ენერგია იქნება: $E = m \left(\frac{v_0^2}{2} - \frac{v^2}{2} \right) . \quad (1)$ აღვნიშნოთ Q-ით სითბოს რაოდენობა, რომელიც ტყვიის ნაწილის გაღლობას დასჭირდა. $Q = Cm (t_{\text{ღვ}} - t_0) + \lambda \Delta m \quad (2)$ ენერგიის მუდმივობის კანონის გათვალისწინებით, ამოცანის პირობის თანახმად, $Q = \alpha E \quad (3)$ ფორმულა (2) ჩავსვათ ფორმულა (3)-ში: $Cm (t_{\text{ღვ}} - t_0) + \lambda \Delta m = \alpha E \quad (4)$ (1) ფორმულის გათვალისწინებით: $Cm (t_{\text{ღვ}} - t_0) + \lambda \Delta m = \alpha m \frac{(v_0^2 - v^2)}{2} . \quad (5)$ განტოლების ორივე მხარე გავყოთ m-ზე. გავითვალისწინოთ, რომ $\beta = \frac{\Delta m}{m}$, მაშინ მივიღებთ: $C (t_{\text{ღვ}} - t_0) - \alpha \frac{(v_0^2 - v^2)}{2} = \lambda \beta . \quad (6)$ $\beta = \frac{C (t_{\text{ღვ}} - t_0) - 0,5 \alpha (v_0^2 - v^2)}{\lambda} \quad (7)$ (7) ფორმულაში რიცხვითი მნიშვნელობების ჩასმით მივიღებთ: $\beta = 0,86\% .$
--	--

პასუხი: 0,86%



საშინაო დავალება

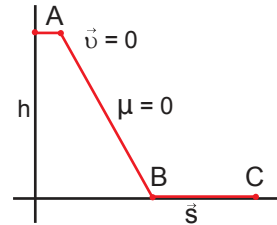
- 2 მ/წმ სიჩქარით მოძრავი $4 \cdot 10^{-4}$ კგ მასის ვაგონი დაეჯახა ამორტიზატორს (ბუფერს). გამოთვალე ზამბარის დეფორმაციის სიდიდე, თუ მისი სიხისტეა $2,25 \cdot 10^6$ ნ/მ.
- ძაფზე უძრავად ჩამოკიდულ 150 გ მასის ძელაკს ხვდება 2 მ/წმ სიჩქარით ჰორიზონტალურად მოძრავი 50 გ მასის პლასტილის ბურთულა. რა სიმაღლეზე აიწევა ძელაკი მასთან შენეებულ ბურთულასთან ერთად? საწყისი კინეტიკური ენერგიის რა ნაწილი გარდაიქმნა შინაგან (სითბურ) ენერგიად?

4.26. ამოცანების ამოხსნა

1. 60 კგ მასის ელენე ციგით ჩამოსრილდა ყინულიანი გორაკიდან და ჰორიზონტალურ ზედაპირზე 40 მ გავლის შემდეგ გაჩერდა. რა სიმაღლისაა გორაკი, თუ წინააღმდეგობის ძალა ჰორიზონტალური გზის მონაკვეთზე 60 ნ-ია. გორაკზე ჩამოსრიალებისას ხახუნის კოეფიციენტი ნულის ტოლია.

ამოხსნა:

$h - ?$	$E_{\text{სრ}} = E_{\text{კ}} + E_{\text{პ}}$
$m = 60 \text{ კგ}$	
$s = 40 \text{ მ}$	A წერტილში — $E_{\text{კ}} = mgh$; $E_{\text{პ}} = 0$
$F_{\text{წინ61}} = 60 \text{ ნ}$	B წერტილში $E_{\text{სრ}} = mgh + \frac{mv^2}{2}$
	$mgh = 0$; $E_{\text{სრ}} = \frac{mv^2}{2}$



C წერტილში: $E_{\text{სრ}} = 0$; AB მონაკვეთზე: $\mu = 0$; $\frac{mv^2}{2} = mgh$

BC მონაკვეთზე: $\mu \neq 0$; წინააღმდეგობის ძალის მუშაობა: $A_{\text{წინ6}} = E_{\text{კ}} - E_{\text{პ}}$

B წერტილში: $E_{\text{კ}} = \frac{mv^2}{2}$

C წერტილში: $E_{\text{კ}} = 0$; ამიტომ მუშაობა იქნება: $A_{\text{წინ6}} = 0 - \frac{mv^2}{2}$; $A_{\text{წინ6}} = -mgh$

C წერტილში წინააღმდეგობის ძალა გადაადგილების სანიაღმრედგოდაა მიმართული

$A_{\text{წინ6}} = F_{\text{წინ61}} \cdot s \cdot \cos \alpha$, $\alpha = 180^\circ$ $\cos 180^\circ = -1$

$A_{\text{წინ6}} = -F_{\text{წინ61}} s$; $-mgh = -F_{\text{წინ61}} s$; $h = \frac{F_{\text{წინ61}} s}{mg}$; $h = 4 \text{ მ}$

2. ორი საფეხურისგან შემდგარი რაკეტის სიჩქარეა 6 კმ/წმ. პირველი საფეხურის მოშორების შემდეგ ამ საფეხურის სიჩქარე გახდა 2 კმ/წმ. რა სიჩქარით იმოძრავენ მეორე საფეხური პირველის ჩამოშორებზე შემდეგ, თუ პირველი საფეხურის მასაა 1 ტ, მეორესი კი — 2 ტ?

ამოხსნა:

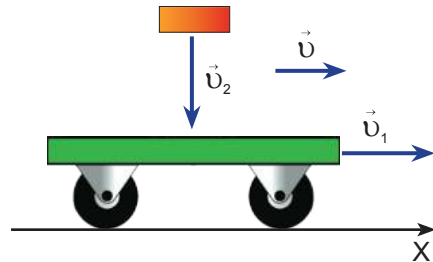


$v_2 - ?$	იმპულსის მუდმივობის კანონის თანახმად:
$m_1 = 1000 \text{ კგ}$	$Mv_0 = m_1 v_1 + m_2 v_2$
$v_0 = 6 \text{ კმ/წმ} = 6000 \text{ მ/წმ}$	$M = m_1 + m_2$
$m_2 = 2000 \text{ კგ}$	OX ღერძი მივმართოთ რაკეტის მოძრაობის მიმართულებით.
$v_1 = 2 \text{ კმ/წმ} = 2000 \text{ მ/წმ}$	ღერძზე განტოლების დაგვეგმილების შედეგად:
	$v_2 = \frac{Mv_0 - m_1 v_1}{m_2}$
	$v_2 = 8000 \text{ მ/წმ} = 8 \text{ კმ/წმ}$

3. სხეული, რომლის მასაა 2 კგ, მოძრაობს გლუვ, ჰორიზონტალურ ზედაპირზე. მისი კინეტიკური ენერგია გარკვეულ დროში 400 ჯ-დან 900 ჯ-მდე გაიზარდა. გამოთვალე რამდენჯერ შეიცვალა სხეულის იმპულსი.

4. 1 მ/წმ სიჩქარით ჰორიზონტალურად მოძრავი 10 კგ მასის ურიკიდან ხტება 40 კგ მასის გოგონა ურიკის მოძრაობის მიმართულების საწინააღმდეგოდ 1 მ/წმ სიჩქარით. გამოთვალე ურიკის სიჩქარე გოგონას გადმოხტომის შემდეგ.

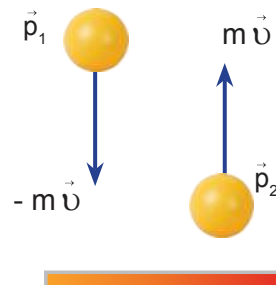
5. 2 მ/წმ სიჩქარით მოძრავი 6 კგ მასის ურიკაზე ზევიდან ვერტიკალურად ვარდება 2 კგ მასის აგური. გამოთვალე რა სიჩქარით იმოძრავებს ურიკა.



6. 0.3 მ/წმ სიჩქარით მოძრავი 20 ტ მასის ვაგონი დაენია 0,2 მ/წმ სიჩქარით მოძრავ 30 ტ მასის ვაგონს და დაეჯახა მას. დაჯახება არადრეკადია. გამოთვალე ვაგონების სიჩქარე დაჯახების შემდეგ.

7. 500გ ტყვიის ბურთულა, რომელიც 0,6 მ/წმ სიჩქარით მოძრაობდა, დაეჯახა 100გ მასის უძრავ ცვილის ბურთულას და მიენება მას. დაჯახების შემდეგ ორივე ბურთულამ ერთად განაგრძო მოძრაობა. გამოთვალე მათი კინეტიკური ენერგია დაჯახების შემდეგ.

8. 1 კგ მასის სხეული ააგდეს ვერტიკალურად ზევით, 20 მ სიმაღლეზე. რა სიჩქარე ექნება სხეულს 10 მ სიმაღლეზე.



9. 20 მ/წმ სიჩქარით მოძრავი 100 გ მასის ბურთულა დრეკადედ ეჯახება იატაკს და იატაკიდან უკუეგდება იმავე სიჩქარით. გამოთვალე ბურთულის იმპულსის ცვლილება.

10. 1 კგ მასის სხეული აისროლეს დედამიწიდან ვერტიკალურად ზევით $v_0 = 19,6$ მ/წმ სიჩქარით. გამოთვალე პოტენციური ენერგიის ცვლილება ასროლის შემდეგ 2 წმ-ში ($g = 9,8$ მ/წმ²).

11. 60 კგ მასის 6 მ/წმ სიჩქარით მორბენალი ბიჭი დაენია 20 კგ მასის 2 მ/წმ სიჩქარით მოძრავ ურიკას და ახტა მასზე. რა სიჩქარით იმოძრავებს ურიკა.

12. რეაქტიული ძრავა ყოველ წამში 10 კგ მასის წამწვს აფრქვევს 3 კმ/წმ სიჩქარით რაკეტის მიმართ. რა წევის ძალას ავითარებს იგი?

13. მოციგურავე, რომლის მასაა 70 კგ, ჰორიზონტალურად ისვრის 800გ მასის ბურთს 14 მ/წმ სიჩქარით ყინულის საციგურაო მოედნის მიმართ. რა მანძილს გაივლის მოციგურავე, თუ ხახუნის კოეფიციენტი 0,02.

4.27. შემაჯავებელი გაკვეთილი

I.

ნიუტონის აზრობრივი ექსპერიმენტი პრაქტიკულად განხორციელდა 1957 წლის 4 ოქტომბერს, როდესაც პირველი ხელოვნური თანამგზავრი რაკეტით გაუშვეს კოსმოსში.

რაკეტის მოძრაობა, რომელსაც თანამგზავრი მიაქვს კოსმოსში, დედამიწიდან აფრენის მომენტში რეაქტიული მოძრაობაა.

რეაქტიული მოძრაობის კვლევა

მოცემული გაქვს: ურიკა, ბუშტი და საწრუპი ჩხირი, სკოჩი.

მსვლელობა: საწრუპი ჩხირის ერთი ბოლო მოათავსე ბუშტის ჩასაბერში და დაამაგრე სკოჩით. მეორე ბოლოთი გაბერე ბუშტი და მჭიდროდ მიადე თითი ისე, რომ ჰაერი არ გამოვიდეს. საწრუპიანი ბუშტი სკოჩით დაამაგრე ურიკაზე და საწრუპს მოაშორე თითი.

აღწერე დამზერილი მოვლენა.

გამოიტანე დასკვნა და უპასუხე კითხვებს:

1. რატომ ამოძრავდა ჰაერის ნაკადი და ურიკა ურთიერთსაწინააღმდეგო მიმართულებით?
2. რატომ არის ჰაერის ნაკადისა და ბუშტი/ურიკის მოძრაობა რეაქტიული მოძრაობა?
3. როგორ ვლინდება ნიუტონის მესამე კანონი რეაქტიული მოძრაობისას?
4. კოსმოსური რაკეტის აფრენის მომენტში როგორ ვლინდება იმპულსის მუდმივობის კანონი?
5. რაკეტის დედამიწიდან აფრენის მომენტში საწვავის წვის შედეგად გამოყოფილი ენერგია რომელ ენერგიად გარდაიქმნება?
6. ბუნებაში, რომელი ცხოველის გადაადგილებისას ვლინდება რეაქტიული მოძრაობა? აღწერე როგორ გადაადგილდებიან ისინი.



II.

აზრობრივად დაუკავშირე კანონებს შესაბამისი ფორმულები:

1. არქიმედეს კანონი
2. ნიუტონის მეორე კანონი
3. ნიუტონის მესამე კანონი
4. მსოფლიო მიზიდულობის კანონი
5. მექანიკური ენერგიის მუდმივობის კანონი
6. იმპულსის მუდმივობის კანონი
7. ინერტულობა

ა. $\vec{p}_1 + \vec{p}_2 = \vec{p}_3 + \vec{p}_4$

ბ. $F_s = \rho_{\text{სითხ.}} \cdot g \cdot V_{\text{სხ.}}$

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

დ. $E_2 + E_3 = \text{const}$

ე. $\vec{F}_1 = -\vec{F}_2$

ვ. $\vec{a} = \frac{\vec{F}}{m}$

ზ. $F = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$

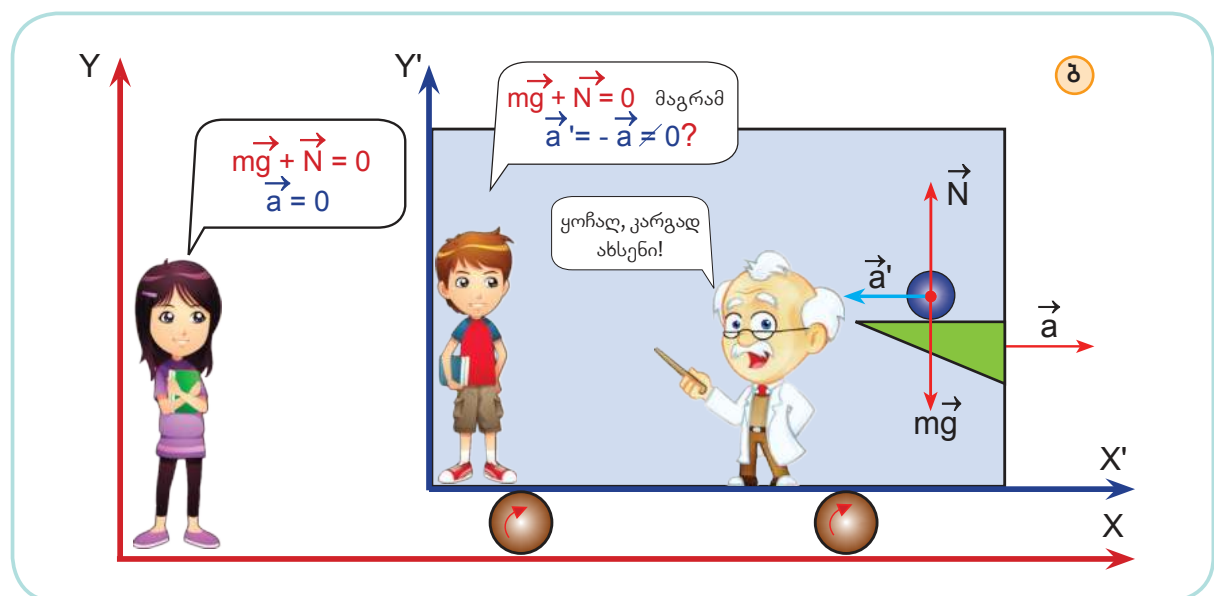
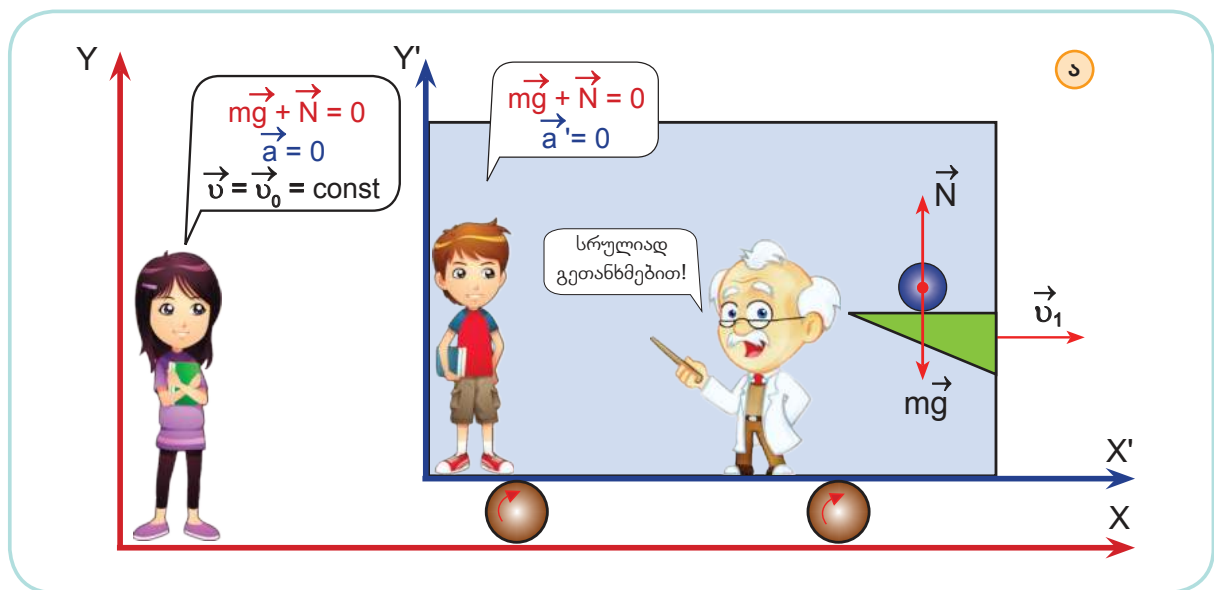
	ა	ბ	გ	დ	ე	ვ	ზ
1							
2							
3							
4							
5							
6							

III.

სურათზე გამოსახულია მასწავლებელი და ორი მოსწავლე: ანა და კახა.

მასწავლებელი დადებითად აფასებს მოსწავლეების პასუხებს კითხვებზე:

1. დაახასიათე (ა) სურათზე გამოსახული ანასა და კახასთან დაკავშირებული ათვლის სისტემები;
2. დაახასიათე (ბ) სურათზე გამოსახული ანასა და კახასთან დაკავშირებული ათვლის სისტემები;
3. ახსენი ბურთის ამოძრავების მოვლენა ათვლის ინერციულ და არაინერციულ სისტემებში.
4. რატომ ამოძრავდება (ბ) სურათზე გამოსახულ სიტუაციაში თაროზე მყოფი ბურთი?
5. რომელ მხარეს ამოძრავდება ბურთი?
6. იმსჯელე, ნიუტონის კანონების სამართლიანობის შესახებ ინერციული და არაინერციული სისტემების მიმართ.



IV.

გამოთვალე 60 კგ მასის ბიჭის წონა, როდესაც ბიჭი:

- უძრავ ლიფტში დგას;
- ლიფტთან ერთად $a = 0,2 \text{ მ/წმ}^2$ აჩქარებით მოძრაობს ქვევით;
- ლიფტთან ერთად $a = 0,2 \text{ მ/წმ}^2$ აჩქარებით მოძრაობს ზევით;
- ლიფტთან ერთად g აჩქარებით მოძრაობს ქვევით.



V.

აზრობრივად დაუკავშირე ერთმანეთს ფიზიკური სიდიდეები და შესაბამისი ერთეულები

- სიჩქარე
- აჩქარება
- ძალა
- სხეულის იმპულსი
- ძალის იმპულსი
- მექანიკური ენერგია
- გრავიტაციული მუდმივა
- წონა

- კგ·მ/წმ²
- კგ·მ²/წმ²
- ნ·მ²/კგ²
- მ/წმ²
- მ/წმ
- კგ·მ/წმ
- ნ·წმ

	ა	ბ	გ	დ	ე	ვ	ზ	თ
1								
2								
3								
4								
5								
6								
7								
8								

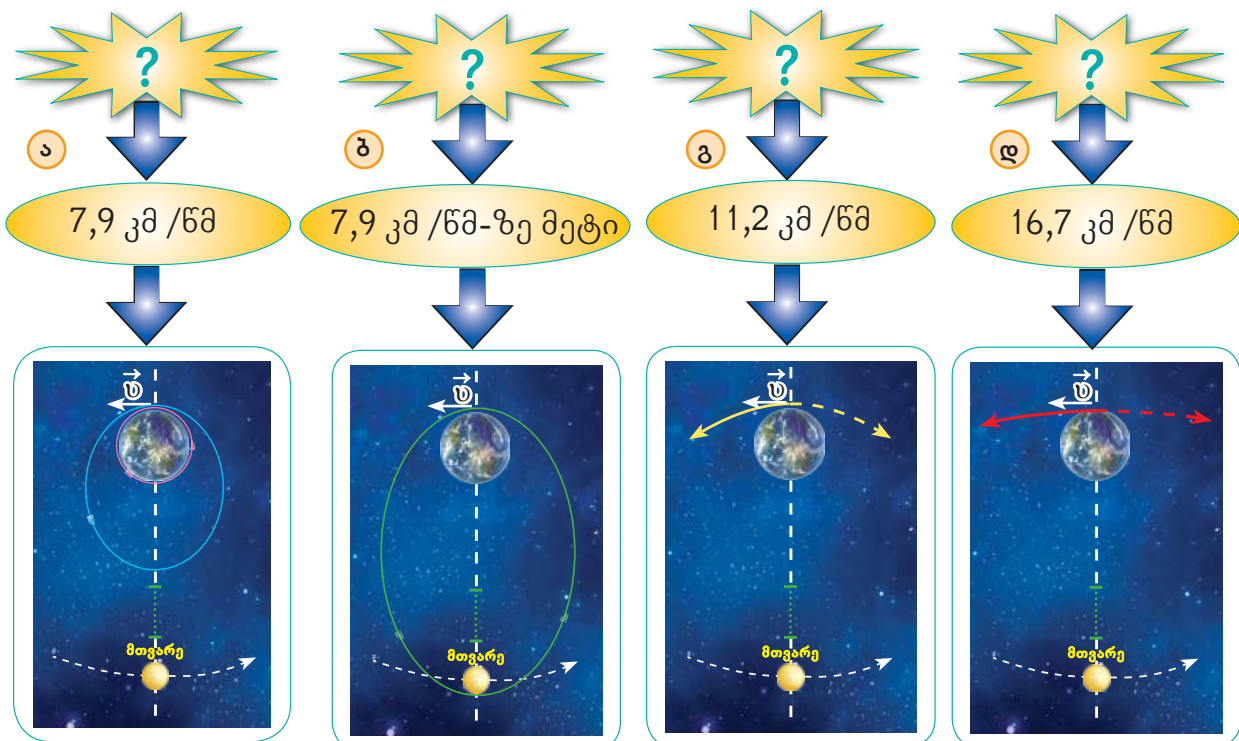
VI.

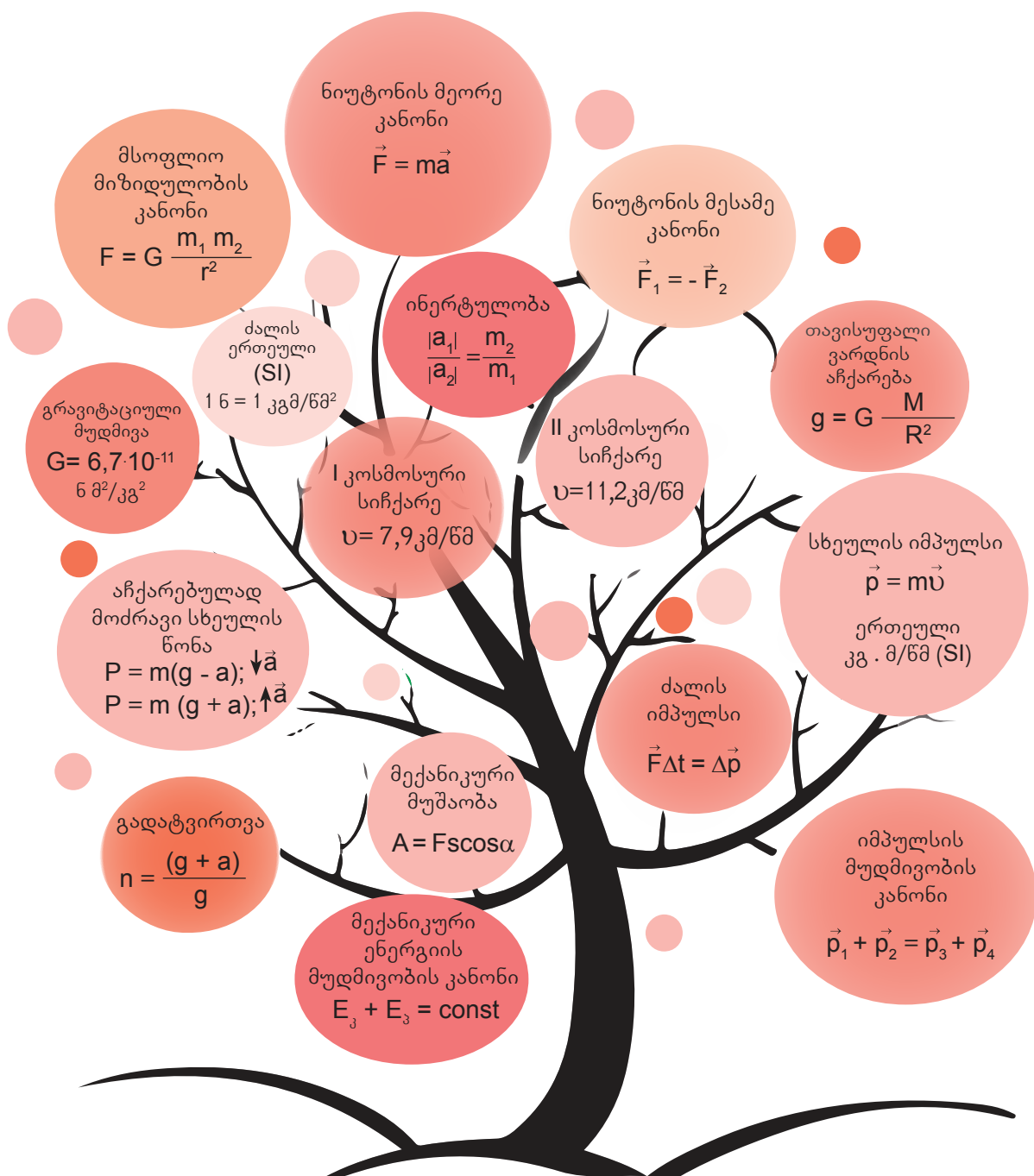
იმსჯელე თანამგზავრ-რეტრანსლატორების გამოყენების შესახებ ყოფა-ცხოვრებაში.



VII.

აზრობრივად დაასრულე სქემა და იმსჯელე კოსმოსური ხომალდების სიჩქარეებისა და შესაბამისი ტრაექტორიების შესახებ.





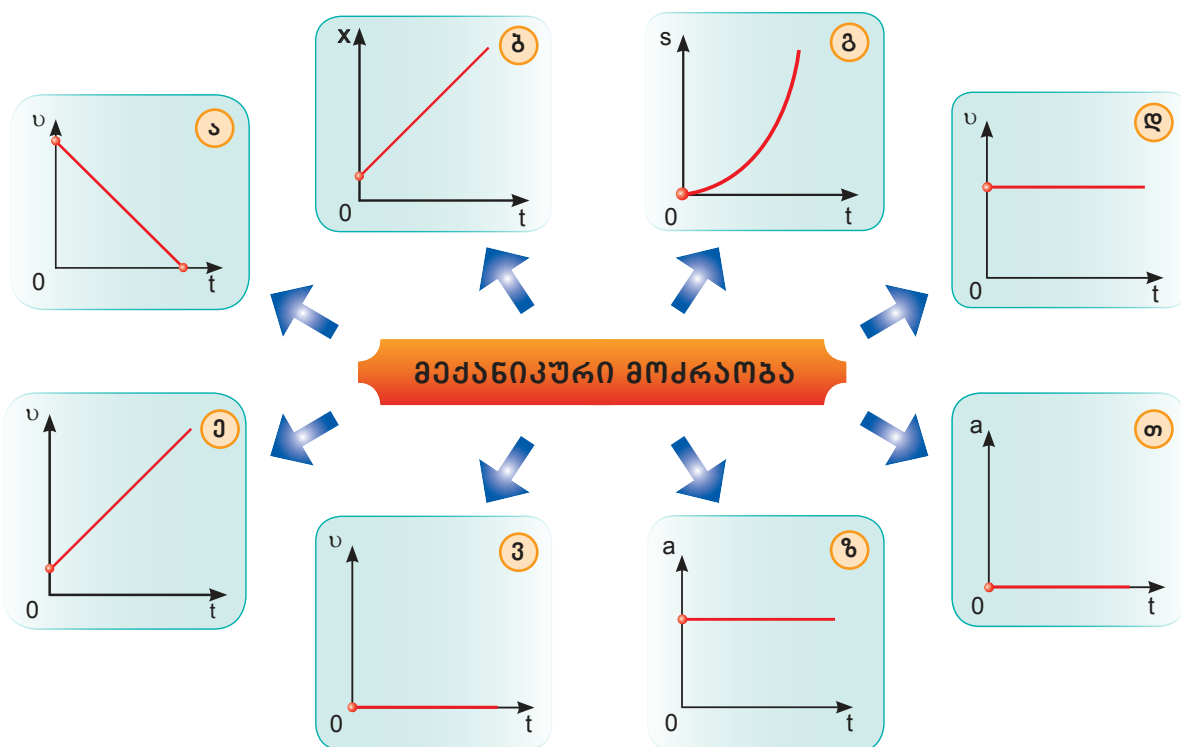
მეოთხე თავის მოკლე
დასკვნები

ცოდნის შეჯამება

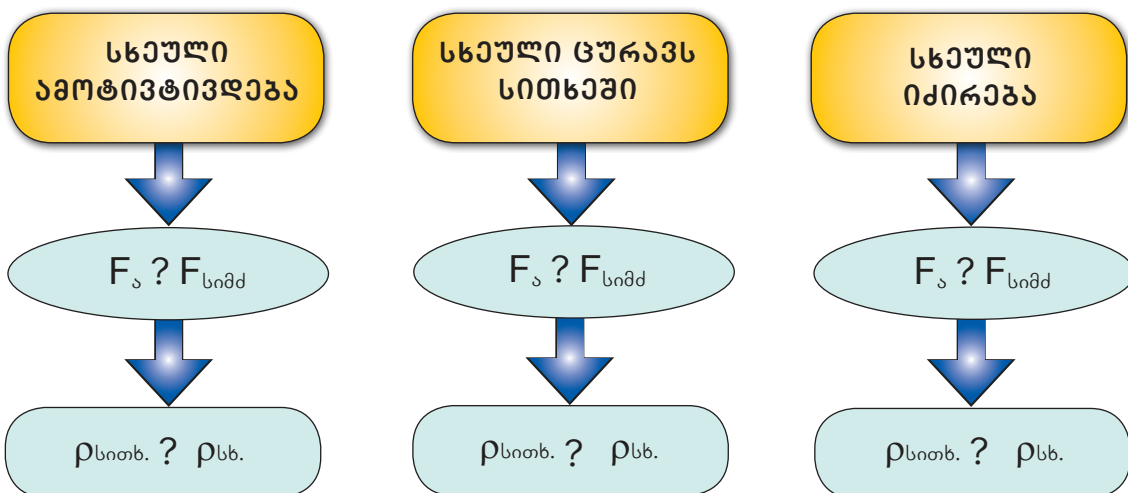
I - II - III - IV თავი

შეამონმე შენი ცოდნა

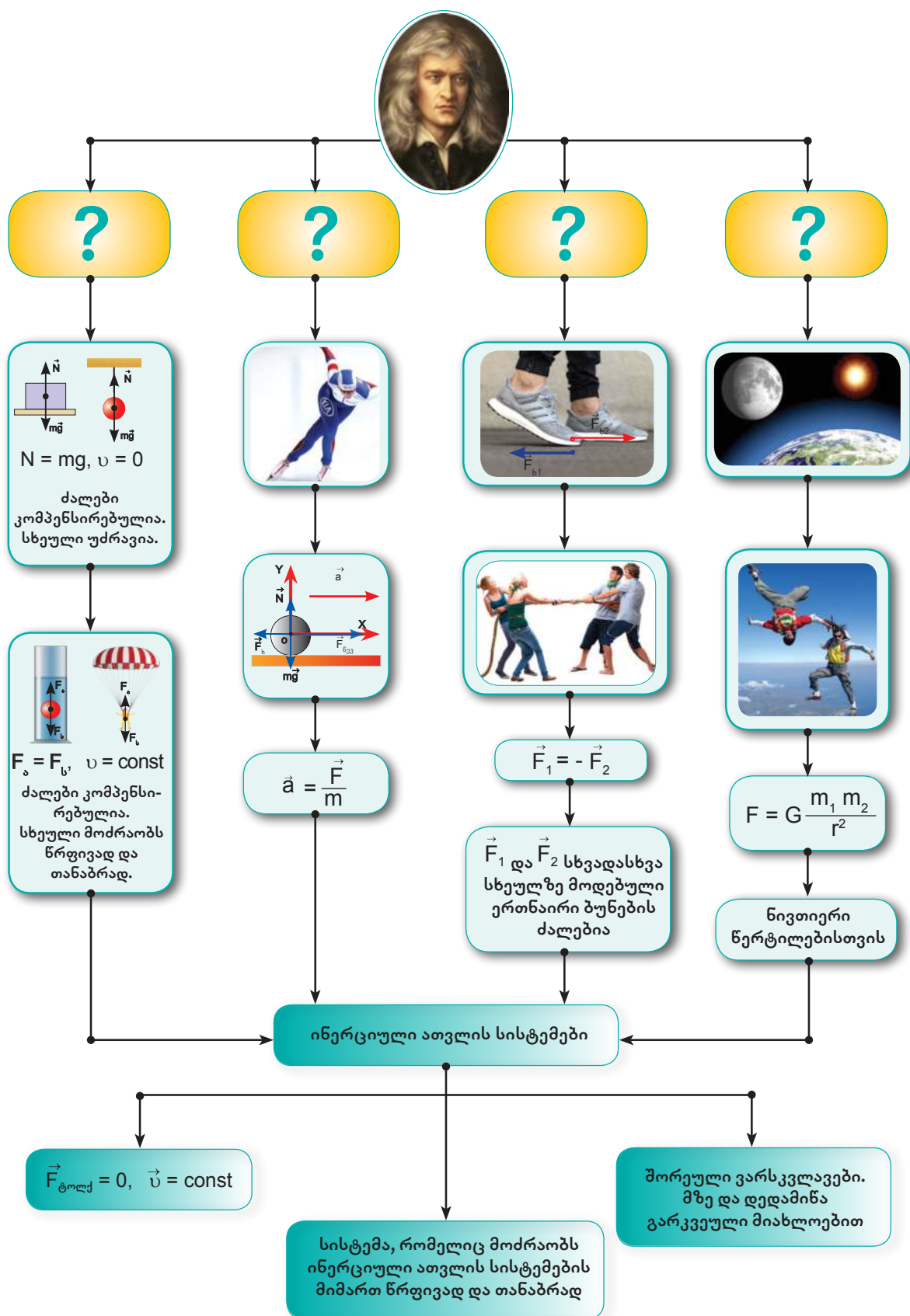
1 იმსჯელე თითოეული გრაფიკის შესაბამისი მექანიკური მოძრაობის სახეზე.



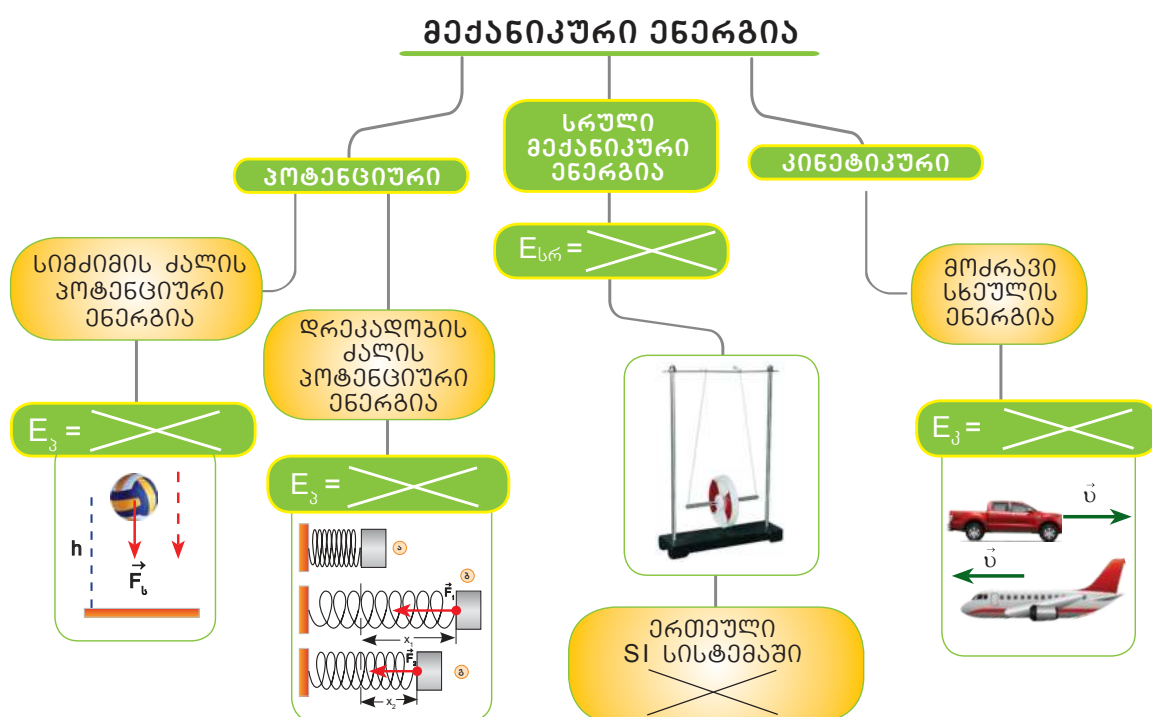
2 იმსჯელე და დაასრულე სქემა. კითხვის ნიშნის ნაცვლად გამოიყენე მათემატიკური სიმბოლოები: ა. მეტობა ($>$); ბ. ნაკლებობა ($<$); გ. ტოლობა ($=$).



3 იმჯელე სხეულთა ურთიერთქმედების შესახებ და აზრობრივად დაასრულე სქემა.



- 4 იმსჯელე მექანიკური ენერგიის შესახებ და აზრობრივად დაასრულე სქემა.



- 5 იმსჯელე მუდმივობის კანონების შესახებ და აზრობრივად დაასრულე სქემა.



მცირე განმარტებითი ლექსიკონი

მატერია — არის ყველაფერი, რაც რეალურად არსებობს სამყაროში. მატერია არსებობს ნივთიერებისა და ველის სახით. მატერია არ არსებობს მოძრაობის გარეშე. მოძრაობა მატერიის ძირითადი თვისებაა. სამყარო მოძრავი მატერიაა.

ფიზიკური სისტემა — ერთი ფიზიკური ობიექტი (სხეული) ან ფიზიკური ობიექტების ერთობლიობა, რომელთა ურთიერთქმედება და მოძრაობა დაკავშირებულია ერთმანეთთან ან სხვა სხეულებთან.

ფიზიკური სისტემის მდგომარეობა — მდგომარეობა, რომელიც ხასიათდება კოორდინატითა და სიჩქარით.

ფიზიკური მოვლენა — ფიზიკური სისტემის მდებარეობის ან მდგომარეობის ცვლილება.

ფიზიკის კანონი — ფიზიკური სიდიდეების აუცილებელი და უცვლელი კავშირის გამოსახვა სიტყვიერად და ფორმულით.

ფიზიკის კანონის გამოყენების პირობები (საზღვრები) — პირობები (საზღვრები), რომლის შესრულებისას სამართლიანია ფიზიკის კანონი.

ფიზიკის კანონის გამოყენების მეთოდი — ალგორითმი, რომლის შესრულება აუცილებელია ამ კანონის გამოყენებისთვის.

მოდელირება — შემეცნების მეთოდი, რომელიც გულისხმობს კვლევითი მოდელების შექმნას.

მოდელი — ობიექტი, რომელიც ასახავს შესასწავლი მოვლენის ან პროცესის ზოგიერთ არსებით თვისებას, რომელიც მნიშვნელოვანია მოცემული მოვლენის ან პროცესის კვლევისთვის.

ანალიზური მეთოდი მოითხოვს პროცესისა და პარამეტრების ცვლილების გაანალიზებასა და თანაფარდობების მიღებას რიცხვითი მნიშვნელობების გარეშე.

გრაფიკულ მეთოდს ახასიათებს პროცესის გათვალსაზრისება. ის ხშირად მართვია, ყოველთვის არ მოითხოვს ზუსტი რიცხვითი მონაცემების გამოსახვას. ამიტომ იგი ხშირად გამოიყენება მარტივი მოდელირებისთვის.

ყველაზე ზოგადია **რიცხვითი მეთოდი**. რიცხვითი გამოთვლების სქემა მოითხოვს ფორმულისა და ალგორითმის ცოდნას.

ძალების კომპენსაცია — სხეულზე მოქმედი ყველა ძალის ჯამი, ტოლქმედი, ნულის ტოლია.

ზოგიერთი ნივთიერების სიმკვრივე (ρ) 20°C-ზე

ნივთიერება	ρ , კგ/მ ³	ρ , გ/სმ ³	ნივთიერება	ρ , კგ/მ ³	ρ , გ/სმ ³
აგური	1800	1,8	ოქრო	19300	19,3
ალუმინი	2700	2,7	ორგანული მინა	1200	1,2
გრანიტი	2600	2,6	პლატინა	21500	21,5
ვერცხლი	10500	10,5	რეზინი	910-1400	0,9-1,4
თითბერი	8500	8,5	სანერი ქაღალდი	1000	1,0
თუფი	7000	7,0	სპილენძი	8900	8,9
თუთია	7100	7,1	სუფრის მარილი	2160	2,16
კალა	7300	7,3	ფაიფური	2300	2,3
კორპი	240	0,24	ქარვა	1070	1,07
მინა ფანჯრის	2500	2,5	ყინული	900	0,90
ნიკელი	8900	8,9	ცარცი	2200	2,2
ბენზინი	710	0,71	წყალი	1000	1,0
მანქანის ზეთი	900	0,90	ჰაერი (0°C-ზე)	1,290	0,00129
სპირტი	800	0,80	წყლის ორთქლი (100°C-ზე)	0,590	0,00059
გლიცერინი	1260	1,26	ვერცხლისწყალი	13600	13,6
თაფლი	1350	1,35	მზესუმზირის ზეთი	930	0,93
რძე	1030	1,03	ზღვის წყალი	1030	1,03
ტყვია	11300	11,3	შაქარი-რაფინირებული	1600	1,6
წყალბადი	0,09	0.00009	ჰელიუმი	0,18	0,00018
მკვდარი ზღვის წყალი	1190	1,19	ფისი	2023	2,023
კუპრი	1016	1,016	ჟანგბადი	1,430	0,00143

ზოგიერთი სხეულის საშუალო სიჩქარე

სხეული	საშუალო სიჩქარე
	1,5 მ/წმ
	18 კმ/სთ
	42 მ/წმ
	850 კმ/სთ
	30 კმ/სთ
	20 მ/წმ

სხეული	საშუალო სიჩქარე
	0,07 მ/წმ
	10 მ/წმ
	60 კმ/სთ
	31 მ/წმ
	17 მ/წმ
	33 მ/წმ

1.4

- 0
- 17 მ; 13მ
- 44 სმ; 0.
- 4მ; 2 მ
- 25,7 მ; 20 მ
- I - აც; II - ბბ = 0
- 100 მ; 140 მ; 100 მ.

1.5

- $\alpha = 180^\circ$
- $120^\circ < \alpha < 180^\circ$
- $\alpha = 180^\circ$

1.6

- 5,4 მ
- 10 მ
- 2მ; 7.24 მ

1.7

- 5 მ/წმ;
- 10 მ/წმ;
- 5 მ/წმ;
- $x = 3 - 5t$;
- 15 მ;
- 6 წმ; 16 მ.
- 2,1 სთ-ით.
- 6,7 წთ.
- 0,5 კმ.

1.8

- 10 მ/წმ; 13 მ/წმ.
- 18 მ; 6 მ.
- 40 მ.
- 3 წმ, 30 მ; 4 წმ, 20 მ.

1.9

- 20 კმ/სთ.
- 50 მ; 80 მ.
- 5 მ/წმ; 4 მ/წმ.
- 3 კმ; 1,8 კმ.
- 1,25 მ/წმ; -5/6 მ/წმ; 1,5.
- IV გრაფიკი.
- „ა“
- „დ“.

1.10

- 180 კმ/სთ; 270 კმ.
- 30 კმ/სთ; 45 კმ.
- 14 მ/წმ.

2.1

- 7.2 კმ/სთ
- 12 მ/წმ.

2.2

- 2 მ/წმ.
- 1 მ/წმ².
- 12-ჯერ.
- 0,125 მ/წმ².

2.3

- $4/3 t$; $v = 6 - t$; $v = 2 + 0,5t$;
 $v = \text{const.}$
- 2 მ/წმ²; 4 მ/წმ²
- 4,6 წთ.

2.4

- 6 წმ.
- 14 მ.
- 26 მ.
- 1 მ/წმ²; 2 მ/წმ.
- 24 მ/წმ.

2.5

- 144 მ.
- 100 მ.
- 5 წმ.
- 12 მ; 27 მ.
- 12 მ/წმ.
- 2 მ/წმ²; 25 მ.
- 100 მ.
- 17,5 მ/წმ.
- 22 მ.

2.6

- 80 მ; 40 მ/წმ.
- 6 წმ.
- 75 მ; 10 მ/წმ.
- 2-ჯერ მეტი.
- 4 წმ.

2.7

- 0,2 ჰც; 5 წმ.
- 40 ჰც; 6 ჰც; 30 ჰც;
- 0,04 წმ.

2.8

- 2/3.
- 1675 კმ/სთ; 0,26 რად/სთ.
- 1, 25 რად/წმ.
- 20.
- 0,2 ჰც; 5 მ/წმ.
- 2.
- 0,1 წმ; 62,8 რად/წმ;
12,56 მ/წმ.
- 0,1 მ/წმ; 0,007 რად/წმ.

2.9

- 98,56 მ/წმ².
- $6 \cdot 10 (-6)$ მ/წმ².
- 1/3.
- 0,5 მ/წმ.
- 5 : 4 : 2.

3.1

- 5 წ.
- 4,37 კმ.
- 1250 წ/მ.

3.3

- 6 წ.
- 3,2 წ.
- 1 ლ.
- 1/4.
- 0,064 კგ ; 0,64 წ.
- აქვს სიღრუე.

3.5

- ფოლადი.
- 600კგ/მ³.
- ტივტივებს.

3.7

- 10 წ.
- არ დაიძვრება; 25 წ.

3.8

50 გ.

4.4

7-ჯერ.

4.5

1. 25 გ.
2. 20 მ/წმ².
3. 40 მგ.
4. 90 გ.
5. 1 მ/წმ².
6. 50 გ.
7. 120 ტ.
8. 0 გ; 2 გ; 0 გ; 4 გ; III.

4.8

1. 40 წმ; 1 მ/წმ²; 14 კგ.
2. 4 მ/წმ².
3. 1 კგ; 4 კგ.
4. 2000გ; 0გ; 1000გ; 35 მ.
5. 0გ; 1250გ; 2500გ; 0 გ.
6. $v_1(t) = t$; $v_2(t) = 3$;
 $v_3(t) = 3 - t$; 50 გ ; 0; 50 გ.
7. 0,1 კგ.
8. 0,5 მ/წმ²

4.9

1. 2,96 10⁻⁷ გ.
2. 1,5 10⁻⁷ გ.
3. 7,17 გ

4.10

1. 1,6 მ/წმ².

4.12

1. არ განყდება.
2. 10 მ/წმ².

4.13

1. 4.4 გ.
2. 0 გ.
3. 2500 გ.
4. 4 მ/წმ²; 5 გ.
5. 10³ მ/წმ²; 10 მ/წმ.
6. 10 კგ.
7. 400 გ.
8. 15 კგ.

9. 5 კგ.

10. 4.3 გ.

11. 54 ლდ.

12. 30 კმ/წმ.

13. 99 ლდ.

4.14

1. 760 გ.
2. 10 კგ; 7,5 კგ.
3. 3.2 მ/წმ.

4.15

1. $\approx 7,75$ კმ/წმ.
2. ≈ 1.42 სთ.
3. ≈ 5.6 კმ/წმ.
4. 1.8 კმ

4.16

1. 1,6-ჯერ შემცირდება.

4.17

1. 0,75.
2. $\approx 5,7$ მ/წმ².
3. 5 მ/წმ².
4. ≈ 337 გ.
5. 2,1 მ/წმ².
6. 1000 გ.

4.18

1. 2 მ/წმ².
2. $\approx 5,3$ გ.

4.20

1. 31 სმ.
2. 1,74 წმ; 8,7 მ.
3. 10 მ.

4.22

1. 2,5 კგ.
2. 16 კგ.მ/წმ; 48 კგ.მ/წმ; 16 გ.
3. 10 კგ.მ/წმ; 5კგ.მ/წმ; 15 კგ.მ/წმ.

4.23

1. არ იცვლება
2. 2,5 კგ.
3. 9000 კგ.მ/წმ
4. 5,4 მ/წმ
5. 250 მ/წმ

4.24

1. 0,5 ჯ.
2. - 435ჯ.

4.25

1. 13 სმ
2. 1,25 სმ; 3/4.

4.26

3. 1,5-ჯერ გაიზარდა
4. 9 მ/წმ
5. 1,5 მ/წმ
6. 0,24 მ/წმ
7. 75 მჯ
8. 14,1 მ/წმ
9. 4 კგ.მ/წმ
10. 192 ჯ
11. 5 მ/წმ
12. 30 კგ
13. 0,064 მ

ათვლის სისტემა — გვ. 10, 87, 88
ათვლის სხეული — გვ. 10
აბსოლუტური დეფორმაცია — გვ. 65
ამომგდები ძალა — გვ. 63
არქიმედეს კანონი — გვ. 69, 70
არაინერციული სისტემა — გვ. 88
აჩქარება — გვ. 38, 53, 54
გადაადგილება — გვ. 14
გადატანითი მოძრაობა — გვ. 15
გადატვირთვა — გვ. 108
გავლილი მანძილი — გვ. 14
გრავიტაციული მუდმივა — გვ. 99
გარსმდენი ფორმა — გვ. 81
გეგმილი ვექტორის — გვ. 20
გრაფიკები — გვ. 25, 40, 42
დინამიკა — გვ. 88
დრეკადობის ძალა — გვ. 63, 64
ექოლოკატორი — გვ. 23
ვექტორები — გვ. 18, 19
თავისუფალი ვარდნა — გვ. 46, 100
თანაბარი მოძრაობა — გვ. 22
თანაბარი მოძრაობა წრეწირზე — გვ. 53
თანაბარაჩქარებული მოძრაობა — გვ. 38
თანაბარაჩქარებული მოძრაობის საშუალო სიჩქარე — გვ. 42
თანაბარაჩქარებული მოძრაობისას გადაადგილება — გვ. 42, 43
იმპულსი — გვ. 125
იმპულსის მუდმივობის კანონი — გვ. 127
ინერციის მოვლენა — გვ. 87
ინერციის კანონი — გვ. 79
ინერტულობა — გვ. 91
იუნგის მოდული — გვ. 66
კინემატიკური განტოლება — გვ. 23, 43
კინეტიკური ენერგია — გვ. 132
კომპენსაცია — გვ. 88
კოორდინატი — გვ. 11
კოსმოსური ობსერვატორია — კოსმოსში გაშვებული თანამგზავრი ჰაბლე — გვ. 8
კოსმოსური სიჩქარეები — გვ. 108, 110, 112
კუთხური სიჩქარე — გვ. 51
მასა — გვ. 91
მატერიალური წერტილი — გვ. 15
მექანიკური მოძრაობა — გვ. 10
მექანიკური მუშაობა — გვ. 130
მექანიკური ძაბვა — გვ. 65
მექანიკის ძირითადი ამოცანა — გვ. 10
მექანიკური ენერგიის მუდმივობის კანონი — გვ. 135
მოძრაობის ფარდობითობა — გვ. 13

მსოფლიო მიზიდულობის კანონი — გვ. 98
მყისი სიჩქარე — გვ. 37, 48, 50
ნიუტონის პირველი კანონი — გვ. 87
ნიუტონის მეორე კანონი — გვ. 92
ნიუტონის მესამე კანონი — გვ. 95
პასკალი — გვ. 63
პერიოდი — გვ. 49
პოტენციური ენერგია — გვ. 133, 134
პლასტიკური დეფორმაცია — გვ. 64
რადიოლოკატორი — გვ. 22
რეაქტიული მოძრაობა — გვ. 128
რეაქციის ძალა — გვ. 63, 79
სიჩქარე — გვ. 22, 30, 31, 36, 48, 50
საშუალო სიჩქარე — გვ. 36
სველი ხახუნი — გვ. 81
სითხის წნევა — გვ. 63
სიმძიმის ძალა — გვ. 100
სიმყიფე — გვ. 64
სიმტკიცის ზღვარი — გვ. 66
სიხშირე — გვ. 49
სრიალის ხახუნის ძალა — გვ. 78
სხეულის იმპულსი — გვ. 125
სხეულის ცურვის პირობები — გვ. 73, 74
სხეულის წონა — გვ. 62
ტრაექტორია — გვ. 11
ტვირთამწეობა — გვ. 75
უწონობა — გვ. 104
ფარდობითი დეფორმაცია — გვ. 65
შუბლა ფართობი — გვ. 82
ჩაკეტილი სისტემა — გვ. 35, 128
ცენტრისკენული აჩქარება — გვ. 54
ძალა — გვ. 62, 88, 126
ძალის იმპულსი — გვ. 125
წინააღმდეგობის ძალა — გვ. 81
წირითი სიჩქარე — გვ. 50
წნევა — გვ. 63
წონა — გვ. 62, 103, 104
წონასწორობის პირობები — გვ. 112
წყალწევა — გვ. 75
ხახუნის ძალა — გვ. 77, 79, 81
ჰუკის კანონი — გვ. 65, 66