მასწავლებლის წიგნი

მარინა სეხნიაშვილი
ავთანდილ შურღაია
ელიზბარ ელიზბარაშვილი

მასწავლებელთა
პროფესიული
განვითარების
ეროვნული
ცენტრი

მასწავლებელთა
პროფესიული განვითარების
ეროვნული ცენტრი

2015

რედაქტორები:

ნატო ინგოროყვა
მანანა ბოჭორიშვილი

სტილისტი:

ირმა ტაველიძე

დიზაინერი:

ბესიკ დანელია

ISBN 978-9941-0-7734-0

საბუნებისმეტყველო საგნების სწავლება

ოცდამეერთე საუკუნეში განსაკუთრებით მნიშვნელოვანი გახდა საბუნებისმეტყველო საგნების სწავლება. საბუნებისმეტყველო საგნების სწავლების აქტუალობის აღსანიშნავად სპეციალისტები ხშირად ამბობენ, რომ **საბუნებისმეტყველო საგნების სწავლება გულისხმობს მოსწავლის აღჭურვას იმ ცოდნითა და უნარ-ჩვევებით, რომლებიც მას საშუალებას მისცემს, ალღო აუღოს კაცობრიობის სწრაფ პროგრესს, გამოიყენოს თანამედროვე საბუნებისმეტყველო მეცნიერების მიღწევები, გახდეს საზოგადოების სრულფასოვანი წევრი.**

ფაქტია, რომ საბუნებისმეტყველო დისციპლინების სწავლისას მოსწავლე ეცნობა საბუნებისმეტყველო მეცნიერების საფუძვლებს და უვითარდება კვლევის უნარ-ჩვევები, რაც მას საშუალებას აძლევს, შეიცნოს და გაითავისოს სამყარო, ჩაერთოს საზოგადოებრივი საქმიანობის სხვადასხვა სფეროში, იგრძნოს პასუხისმგებლობა საკუთარი თავის, საზოგადოებისა და გარემოს მიმართ.

ქიმიის, ფიზიკისა და ბიოლოგიის სწავლებისას ერთნაირად მნიშვნელოვანია აქცენტის გაკეთება ცოდნაზე, უნარებსა და დამოკიდებულებაზე.

ქიმიის, ფიზიკისა და ბიოლოგიის სწავლებისას ყველა პრაქტიკოსი მასწავლებელი ფიქრობს:

როგორ ასწავლოს საბუნებისმეტყველო საგნები ისე, რომ მოსწავლეს გაუჩნდეს ინტერესი გარემომცველი სამყაროს კვლევის, სიახლეთა აღმოჩენისა და შეცნობის მიმართ?

როგორ მიაწოდოს მასალა ისე, რომ მოსწავლეს განუვითარდეს ბუნებისმეტყველისათვის საჭირო ელემენტარული უნარ-ჩვევები?

რა ტიპის აქტივობებს მიანიჭოს უპირატესობა, რომ მოსწავლემ გააცნობიეროს სამყაროში მიმდინარე პროცესების ერთიანობა?

როგორ წარმართოს სასწავლო პროცესი ისე, რომ მოსწავლეს ჩამოუყალიბდეს გარემომცველ სამყაროზე ზრუნვის უნარ-ჩვევები?

რა ტიპის სწავლებით დაეხმაროს მოსწავლეს, რომ მან გააცნობიეროს საბუნებისმეტყველო მეცნიერების როლი კაცობრიობის პროგრესში?

როგორ დააბალანსოს სწავლება ინდუქციური და დედუქციური სწავლებით ისე, რომ მოსწავლეს გამოუმუშავდეს კრიტიკული აზროვნებისა და კომუნიკაციის უნარები?

რა ტიპის ამოცანები ამოახსნევინოს მოსწავლეს, რომ მას განუვითარდეს თვითშეფასებისა და თვითკონტროლის, განსხვავებული აზრის მოსმენისა და შეფასების უნარი?

რა მიდგომების გამოყენებით მისცეს მოსწავლეებს ჯანსაღი და უსაფრთხო ცხოვრების წესის დაუფლების შესაძლებლობა?

როგორ დაგეგმოს და განახორციელოს საბუნებისმეტყველო საგნების ინტეგრირებული სწავლება?

რა მეთოდების გამოყენებით დაეხმაროს მოსწავლეს, რათა მან გააცნობიეროს ადამიანთა თანამშრომლობის აუცილებლობა კაცობრიობის განვითარებისთვის?

წინამდებარე სახელმძღვანელოში ავტორების მიერ პრაქტიკულად არის ახსნილი ქიმიის, ფიზიკისა და ბიოლოგიის უმნიშვნელოვანესი საკითხების სწავლების მეთოდიკა. როგორც პირდაპირი (დედუქციური), ისე არაპირდაპირი (ინდუქციური) სწავლების თვალსაზრისით, ეს მასალები დაეხმარება მასწავლებელს გაკვეთილის დაგეგმვისა და დაგეგმილი გაკვეთილის ეფექტურად ჩატარების პროცესში.

სარჩევი

ბიოლოგია

მეცნიერული კვლევის უნარ-ჩვევების განვითარება მოსწავლეებში ბიოლოგიის სწავლების პროცესში

ცვლადების განსაზღვრა

როგორც მოგეხსენებათ, საბუნებისმეტყველო მეცნიერებების სწავლების ერთ-ერთი მნიშვნელოვანი ამოცანაა მოსწავლეებში მეცნიერული კვლევის უნარ-ჩვევების განვითარება. კერძოდ: დაკვირვება, აღწერა; კვლევის საგნისა და ეტაპების განსაზღვრა; კვლევის მონაცემების აღრიცხვა; კლასიფიკაცია; სიდიდეების/ცვლადების გაზომვა; მონაცემების ინტერპრეტაცია; განჭვრეტა/ჰიპოთეზის გამოთქმა; ცდის დაგეგმვა; ცდის ჩატარება; მონაცემთა ანალიზი და შეფასება; მოდელის შექმნა და გამოყენება.

აქედან გამომდინარე, საბუნებისმეტყველო საგნების მასწავლებელმა ამ საგნების სწავლების პროცესში ხშირად უნდა მოახდინოს სასწავლო ექსპერიმენტებისა და დაკვირვებების ორგანიზება.

საბუნებისმეტყველო საგნების VII-XIIკლასების სტანდარტში არის ასეთი შინაარსის ინდიკატორი: **მოსწავლე განარჩევს მუდმივ და ცვლად (დამოკიდებულ და დამოუკიდებელ) პარამეტრებს.** ქვემოთ გთავაზობთ მუდმივი და ცვლადი პარამეტრების განმარტებებს, ამ ცვლადების აღრიცხვისთვის შესაბამის მონაცემთა ცხრილებს, კონკრეტულ მაგალითებს და სავარჯიშოებს მოსწავლეებისთვის.

ექსპერიმენტის მსვლელობისას მეცნიერი განსაზღვრავს ერთი ცვლადის გავლენას სხვებზე. ცდის დროს აკვირდებიან რაღაც ობიექტს, პროცესს, მოვლენას და აინტერესებთ, ახდენს თუ არა მასზე გავლენას რამე კონკრეტული პირობა/ფაქტორი. სხვაგვარად, აინტერესებთ, არის თუ არა დაკვირვების ობიექტი დამოკიდებული ამ ფაქტორზე და როგორ იცვლება იგი (ობიექტი) ამ ფაქტორზე დამოკიდებულებით. ამრიგად, დაკვირვების ობიექტი **დამოკიდებული ცვლადია**, ხოლო ფაქტორი – **დამოუკიდებელი**.

მეცნიერისთვის მნიშვნელოვანია, ჩართოს თავის ანგარიშში დამოკიდებული და დამოუკიდებელი ცვლადების განმარტება ისე, რომ სხვა მეცნიერებმა, რომლებიც ამ ცდას გაიმეორებენ, იმავე სიზუსტით შეძლონ მონაცემების შეკრება და ჩაწერა.

დამოკიდებული ცვლადი იმის აღწერაა, რა იქნა გამოკვლეული და გაზომილი ცდის დროს და რას წარმოადგენს ეს სიდიდეები.

მაგალითად, დაკვირვების ობიექტია საფუარას გამრავლება. ცდით უნდა გავარკვიოთ, არის თუ არა დამოკიდებული მისი გამრავლების ინტენსივობა გარემო ფაქტორზე – ტემპერატურაზე. აქ საფუარას გამრავლების ინტენსივობა დამოკიდებული ცვლადია. გარემოს დაბალი ან მაღალი ტემპერატურა, თავის მხრივ, არ არის დამოკიდებული საფუარას გამრავლებაზე, ეს პირობა დაკვირვების ობიექტისგან დამოუკიდებლად არსებობს, ამიტომ ტემპერატურა დამოუკიდებელი ცვლადია.

როდესაც აკვირდებიან დამოკიდებულ ცვლადს რომელიმე კონკრეტულ პირობასთან (მაგალითად, მაღალ ან დაბალ ტემპერატურასთან) მიმართებით, ყველა სხვა პირობა მუდმივი უნდა იყოს. მაგალითად, ზემოთ განხილულ შემთხვევაში საფუარასთვის მუდმივი უნდა იყოს განათება, ტენიანობა, შაქრის რაოდენობა.

დამოუკიდებელი ცვლადები მრავალფეროვანია და ცდაში ყველა მათგანის გათვალისწინება ძნელია, ამიტომ ცდის დროს აუცილებელი პირობაა **ცდის კონტროლი (საკონტროლო ცდა)**.

ᲛᲝᲜᲐᲪᲔᲛᲗᲐ ᲪᲮᲠᲘᲚᲘᲡ ᲨᲔᲥᲛᲜᲐ

ექსპერიმენტის მონაცემების ჩასაწერად მეცნიერები იყენებენ მონაცემთა ცხრილს. მონაცემთა ცხრილი მოიცავს დამოკიდებულ და დამოუკიდებელ ცვლადებს. დამოუკიდებელი ცვლადი, ჩვეულებრივ, აღნუსხულია ცხრილის მარცხენა სვეტში, ხოლო დამოკიდებული – მარჯვენაში. ზოგჯერ საჭიროა ფრჩხილებში ცვლადის საზომი ერთეულის მითითება. ყველა ცხრილს უნდა ჰქონდეს ნომერი და სათაური.

მაგალითი 1

ცხრილი 1 ასახავს ჰიპოთეტური ექსპერიმენტის მონაცემებს, რომელიც გვიჩვენებს, როგორ არის დამოკიდებული უჯრედების ზრდა ზრდის ჰორმონის კონცენტრაციაზე.

ᲓᲐᲛᲝᲣᲙᲘᲓᲔᲑᲔᲚᲘ ᲪᲕᲚᲐᲓᲘ

ᲓᲐᲛᲝᲙᲘᲓᲔᲑᲣᲚᲘ ᲪᲕᲚᲐᲓᲘ

ცხრილი 1. ზრდის ჰორმონის კონცენტრაციის გავლენა უჯრედების დაყოფაზე

ზრდის ჰორმონის კონცენტრაცია (%)	უჯრედების ჯგუფის ზომა 24 სთ-ის განმავლობაში (მმ)
0	3
25	4
50	8
75	9
100	9

ᲓᲐᲙᲕᲘᲠᲕᲔᲑᲘᲡ ᲛᲝᲜᲐᲪᲔᲛᲔᲑᲘ

მაგალითი 2

მეცნიერი შეისწავლის, როგორ იცვლება ორგანიზმის მიერ დახარჯული ენერგია სირბილის ხანგრძლივობის მიხედვით. ადამიანები დარბოდნენ სხვადასხვა ხნის – 10, 20 და 30 წუთის – განმავლობაში. ყველა შემთხვევაში იზომებოდა დახარჯული ენერგიის რაოდენობა კალორიებში და შედეგები აღირიცხებოდა მონაცემთა ცხრილში. რა არის ამ შემთხვევაში დამოკიდებული და დამოუკიდებელი ცვლადები? დამოკიდებული ცვლადია დახარჯული ენერგია, რომელიც სირბილის ხანგრძლივობის მიხედვით იცვლება. შესაბამისად, სირბილისთვის დახარჯული დროა დამოუკიდებელი ცვლადი.

ცხრილი 2. სირბილი და დახარჯული კალორიები

დამოუკიდებელი ცვლადი ⇨ | ⇦ დამოკიდებული ცვლადი

სირბილის ხანგრძლივობა (წთ.)	დახარჯული ენერგიის რაოდენობა (კალ.)
10	80
20	170
30	260

მაგალითი 3

პლასტიდები ორგანოიდებია, რომლებსაც მრავალფეროვანი პიგმენტები აქვს. ქლოროპლასტები შეიცავს პიგმენტ ქლოროფილს და შეუძლია ფოტოსინთეზის წარმოება. ფოტოსინთეზის სიჩქარე იმატებს ქლოროპლასტების რიცხვის ზრდასთან ერთად. მოსწავლეებს სურდათ გამოეთვალათ, ზაფხულში უფრო სწრაფად მიმდინარეობდა ფოტოსინთეზი თუ შემოდგომაზე. მათ ზაფხულში და შემოდგომაზე მოაგროვეს დიდი რაოდენობის ფოთოლი და მათში ქლოროპლასტების რაოდენობა შეისწავლეს. ამ ცდაში დამოკიდებული ცვლადია ფოტოსინთეზის სისწრაფე, რაც ფოთლებში ქლოროპლასტების რაოდენობით განისაზღვრება, ხოლო დამოუკიდებელი – ზაფხულში და შემოდგომაზე მოგროვებული სხვადასხვა ხის ფოთლები.

ხის ფოთლები	ქლოროპლასტების რაოდენობა ფოთლებში (რიცხვი/უჯრედი)	
	ზაფხული	შემოდგომა
არყი	192	44
ცაცხვი	182	32
ნეკერჩხალი	183	28
ტირიფი	177	35

სავარჯიშოები

სავარჯიშო 1

დავუშვათ, მეცნიერებმა გადაწყვიტეს გამოეკვლიათ, როგორ არის დამოკიდებული ტემპერატურაზე ქლორელას უჯრედების გამრავლების ინტენსივობა.

1. **მონაცემთა ცხრილის შექმნა:** შექმენით მონაცემთა ცხრილი, რომელშიც ნაჩვენები იქნება, რომ უჯრედების რაოდენობა 20^0C-ზე 3-ჯერ გაიზარდა, 30^0C-ზე – 7-ჯერ, 40^0C-ზე – 12-ჯერ, 50^0C-ზე – 0-ჯერ.
2. **ცვლადების იდენტიფიცირება:** აღნიშნეთ თქვენს ცხრილში დამოუკიდებელი და დამოკიდებული ცვლადები.

ახსენით პასუხი.

სავარჯიშო 2

კომპანიამ, რომელიც აწარმოებს კვების პროდუქტებს, შექმნა ახალი ტიპის პროტეინული სასმელი ათლეტებისთვის. ამ კომპანიის მეცნიერები ცდილობდნენ დაედგინათ pH-ის დონე, რომელიც ყველაზე ხელსაყრელია ფერმენტებისთვის პროტეინული სასმლის ცილების მოსანელებლად. მათ ჩაატარეს შემდეგი ექსპერიმენტული პროცედურა:

- აიღეს 5 სინჯარა 2-2 მლ პროტეინული სასმელით;
- აიღეს 5 სხვადასხვა ხსნარი, რომლებიც შეიცავდა ცილების მომნელებელ ფერმენტებს, მაგრამ თითოეულ ხსნარს ჰქონდა განსხვავებული pH: 1.5, 2.0, 2.5, 3.0 და 3.5. ეს ხსნარები თანაბარი რაოდენობით სათითაოდ დაამატეს სინჯარაში ჩასხმულ პროტეინულ სასმელებს;
- სინჯარები მოათავსეს ერთნაირ ტემპერატურაზე გარკვეული ხნით და გაზომეს თითოეულ მათგანში ცილების რაოდენობა.

იდენტიფიცირება: რომელია ამ ექსპერიმენტში დამოკიდებული ცვლადი და რომელი – დამოუკიდებელი?

ახსენით პასუხი.

სავარჯიშო 3

ერთ-ერთი კვლევის დროს მეცნიერები შეისწავლიდნენ მიტოქონდრიების რაოდენობას სხვადასხვა ასაკის ადამიანების ორგანიზმში. მათ ჩაატარეს შემდეგი ექსპერიმენტული პროცედურა:

- მიიღეს კუნთოვანი ქსოვილი სხვადასხვა ასაკის ადამიანებისგან;
- მიტოქონდრიების მოსანიშნავად ქსოვილებში შეიყვანეს რადიაქტიური ზონდები;
- სპეციალური ხელსაწყოთი უჯრედებში დაითვალეს მიტოქონდრიების რაოდენობა.

ადამიანი #	ასაკი	მიტოქონდრიების რაოდენობა კუნთოვან უჯრედებში
1	47	2026
2	89	2987
3	65	2752
4	38	1989

1. განსაზღვრეთ დამოკიდებული და დამოუკიდებელი ცვლადები ამ ექსპერიმენტისთვის. პასუხი დაასაბუთეთ.
2. ამ მონაცემების მიხედვით გააანალიზეთ, რა კავშირია ასაკსა და მიტოქონდრიების რაოდენობას შორის.

მასწავლებლებისთვის

სავარჯიშო #1: დამოკიდებული ცვლადია ქლორელას გამრავლების ინტენსივობა, ხოლო დამოუკიდებელი – ტემპერატურა.

სავარჯიშო #2: დამოკიდებული ცვლადია პროტეინული სასმელის ცილების მომნელებელი ფერმენტების აქტივობა, ხოლო დამოუკიდებელი – pH.

სავარჯიშო #3:

1. დამოკიდებული ცვლადია მიტოქონდრიების რაოდენობა, ხოლო დამოუკიდებელი – ადამიანების ასაკი.
2. ასაკის მატებასთან ერთად უჯრედებში იზრდება მიტოქონდრიების რაოდენობა.

ექსპერიმენტის მონაცემების მიხედვით გრაფიკის აგება და გრაფიკებზე მოცემული ინფორმაციის ანალიზი

საბუნებისმეტყველო საგნების VIII-XII კლასების სტანდარტში (მიმართულება: მეცნიერული კვლევა-ძიება) არის ასეთი შინაარსის ინდიკატორები: **მოსწავლე იყენებს სხვადასხვა ხერხს (დიაგრამებს, ცხრილებს, გრაფიკებს) მონაცემთა წარმოსადგენად; იყენებს დიაგრამებს, ცხრილებს და გრაფიკებს მონაცემებს ან ცვლადებს შორის დამოკიდებულების აღსაწერად.**

თქვენ ჩაატარეთ ექსპერიმენტი და შეკრიბეთ მონაცემები. როგორ ფიქრობთ, გაამართლა თუ არა მიღებულმა შედეგმა თქვენი ვარაუდი/ჰიპოთეზა? ამ კითხვას მხოლოდ მონაცემთა ჩამონათვალის გადახედვით ვერ გასცემთ პასუხს. ექსპერიმენტის შედეგად მიღებული მონაცემების სათანადო ორგანიზებისა და ანალიზის გარეშე დასკვნების გამოტანა ძნელია. მონაცემების ორგანიზების ერთ-ერთი ფორმა, მონაცემების ორგანიზება ცხრილებად, წინა სტატიაში უკვე განვიხილეთ.

მას შემდეგ, რაც მონაცემებს ჩაწერენ ცხრილში, მეცნიერები ამ მონაცემების მიხედვით ზოგჯერ გრაფიკს ადგენენ, რათა უფრო თვალსაჩინო გახადონ ექსპერიმენტის შედეგები, ამიტომ მეცნიერები თავიანთი ექსპერიმენტების შედეგებს ერთმანეთს ხშირად ცხრილებისა და გრაფიკების სახით უზიარებენ.

გრაფიკი ორ ცვლადს შორის კავშირს აჩვენებს. ეს მეცნიერებს მიღებული მონაცემებიდან დასკვნის გამოტანაში ეხმარება. გრაფიკზე დამოუკიდებელი ცვლადი, ჩვეულებრივ, დატანილია X ღერძზე, დამოკიდებული ცვლადი კი – Y ღერძზე. ორივე ღერძი დასათაურებულია ცვლადის სახელით და საზომი ერთეულით. გრაფიკის აგებამდე აუცილებელია გრაფიკის ღერძებზე ზუსტი მასშტაბის განსაზღვრა, რათა ყველა მონაცემის წერტილი სრულფასოვნად იქნას დატანილი.

მეცნიერები იყენებენ გრაფიკის სხვადასხვა სახეობას: ხაზოვან გრაფიკს, სვეტებიან დიაგრამას, წერტილოვან დიაგრამას. დავიწყოთ ხაზოვანი გრაფიკების განხილვით.

ღერძთა ინტერვალების გამოთვლა

მაგალითი 1

ზოგიერთ სახეობას, რომელიც უსქესოდ მრავლდება, გენერაციის დრო მცირე აქვს (ანუ მრავლდება ძალიან სწრაფად). მათ შეუძლიათ, უფრო სწრაფად მოახდინონ ადაპტირება გარემო პირობების შეცვლისას. მაგალითად, ბაქტერიები უფრო სწრაფად იძენენ ანტიბიოტიკების მიმართ წინააღმდეგობის უნარს. ბაქტერია, რომელიც ანტიბიოტიკების მიმართ წინააღმდეგობის უნარს შეიძენს, ამ თვისებას ძალიან სწრაფად გადასცემს შთამომავლობას გამრავლების სწრაფი ტემპის გამო (ყოველ თაობაში ბაქტერიების რიცხვი ორმაგდება).

განვიხილოთ მონაცემთა ცხრილში (იხ. ცხრილი 1 — ბაქტერიების გენერაციის დრო) წარმოდგენილი მონაცემები, რომლებიც ასახავს ბაქტერიების გამრავლების (გენერაციის) ტემპს 5 თაობის განმავლობაში.

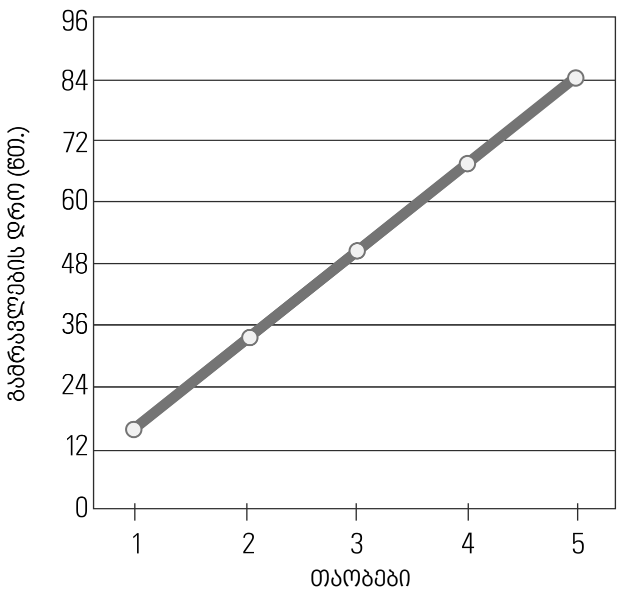
ცხრილი 1. ბაქტერიების გენერაციის დრო

ბაქტერიის სახეობა	1-ლი თაობის გენერაციის დრო (წთ)	მე-2 თაობის გენერაციის დრო (წთ)	მე-3 თაობის გენერაციის დრო (წთ)	მე-4 თაობის გენერაციის დრო (წთ)	მე-5 თაობის გენერაციის დრო (წთ)
	10 ბაქტერია	20 ბაქტერია	40 ბაქტერია	80 ბაქტერია	160 ბაქტერია
ბაქტერია 1	17	34	51	68	85
ბაქტერია 2	25	50	75	100	125
ბაქტერია 3	48	96	144	192	240

ამ მონაცემების მიხედვით უნდა ავაგოთ ხაზოვანი გრაფიკი ბაქტერია 1-ისთვის. პირველი ნაბიჯია ხაზოვან გრაფიკში ღერძთა ინტერვალების დადგენა. ამისთვის საჭიროა:

- გამოვთვალოთ განსხვავება უმცირეს (17 წთ.) და უდიდეს (85 წთ.) მნიშვნელობებს შორის და სხვაობა გავყოთ თაობათა რაოდენობაზე (მონაკვეთთა რაოდენობაზე, რომელიც უნდა გაკეთდეს გრაფიკის X ღერძზე). კერძოდ, 85-17=68. 68/ 5= 13,6.
- დავამრგვალოთ მიღებული შედეგი უახლოეს მთელ რიცხვამდე (თქვენთვის ყველაზე მოხერხებულ რიცხვამდე. ამ შემთხვევაში მიღებული რიცხვი უნდა დამრგვალდეს 12-მდე ან 13-მდე).
- გამოვიყენოთ დამრგვალებული რიცხვი, მაგალითად, 12, როგორც ინტერვალი.
- Y ღერძზე სკალის დატანა დავიწყოთ ნულიდან, შემდეგ მოვნიშნოთ 12, 24, 36 და ა.შ.
- სკალა დავასრულოთ მაქსიმალურ ნიშნულზე მაღლა. ამ შემთხვევაში დიაპაზონი 0-დან 96-მდეა (იხ. გრაფიკი 1).

გრაფიკი 1. ბაქტერია 1-ის გენერაციის დრო



სავარჯიშო 1

ღერძთა ინტერვალების გამოთვლა. გამოთვალეთ ინტერვალები Y ღერძისთვის იმ გრაფიკისთვის, რომელიც ადარებს ცხრილში მოცემული ბაქ-

ტერიის სხვადასხვა სახეობის გენერაციის დროს (იხ. ცხრილი 1. ბაქტერიების გენერაციის დრო). ააგეთ გრაფიკები ბაქტერია 2-ისა და ბაქტერია 3-ისთვის. ნიმუშად გამოიყენეთ გრაფიკი 1.

ცვლადებს შორის კავშირის – კორელაციის განსაზღვრა

მოსწავლეებმა უნდა შეძლონ არა მარტო ექსპერიმენტის შედეგად მიღებული მონაცემების მიხედვით გრაფიკის აგება, არამედ გრაფიკზე მოცემული ინფორმაციის ანალიზი და დასკვნების გამოტანაც.

ხაზოვანი გრაფიკები მოხერხებულია ორ ცვლადს შორის კავშირის საჩვენებლად. ორ ცვლადს შორის შეიძლება იყოს დადებითი კავშირი, ანუ **პოზიტიური კორელაცია** ან უარყოფითი კავშირი, ანუ **ნეგატიური კორელაცია**. თუ ერთი ცვლადის მნიშვნელობის ზრდა უკავშირდება მეორე ცვლადის მნიშვნელობის ზრდას, მაშინ ამ ცვლადებს შორის დადებითი/პოზიტიური კორელაციაა. ორი ცვლადი უკუპროპორციულია, ანუ მათ შორის არის ნეგატიური კორელაცია, თუ ერთი მათგანის მნიშვნელობის ზრდა მეორის მნიშვნელობის შემცირებასთან არის დაკავშირებული. თუ ერთი ცვლადის ცვლილება არ იწვევს მეორე ცვლადის ცვლილებას, ამბობენ, რომ მათ შორის კორელაცია არ არსებობს.

მაგალითი 2

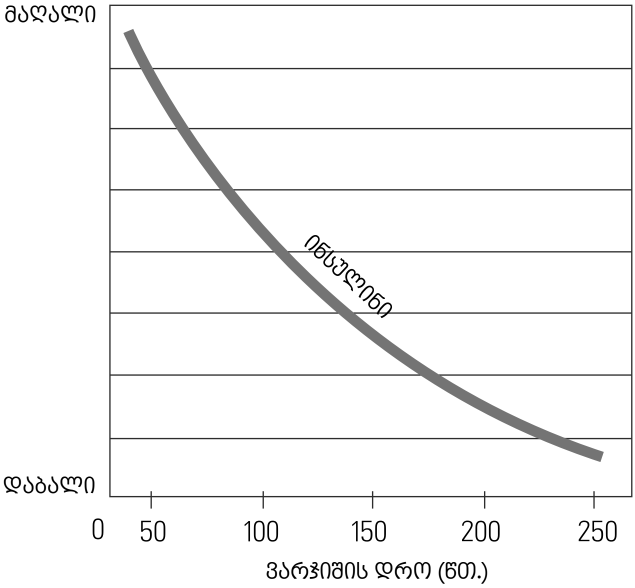
სისხლში ჰორმონ ინსულინის დონეს ფიზიკური ვარჯიშის ხანგრძლივობასთან აქვს უარყოფითი კორელაცია - რაც უფრო იზრდება ვარჯიშის ხანგრძლივობა, მით უფრო მცირდება ინსულინის დონეც (იხ. გრაფიკი 2). ამრიგად, ინსულინის დონე ვარჯიშის ხანგრძლივობის უკუპროპორციულად იცვლება.

სისხლში ჰორმონ გლუკაგონის დონეს ფიზიკური ვარჯიშის ხანგრძლივობასთან აქვს დადებითი კორელაცია – რაც უფრო იზრდება ვარჯიშის ხანგრძლივობა, მით უფრო იმატებს გლუკაგონის დონეც (იხ. გრაფიკი 3).

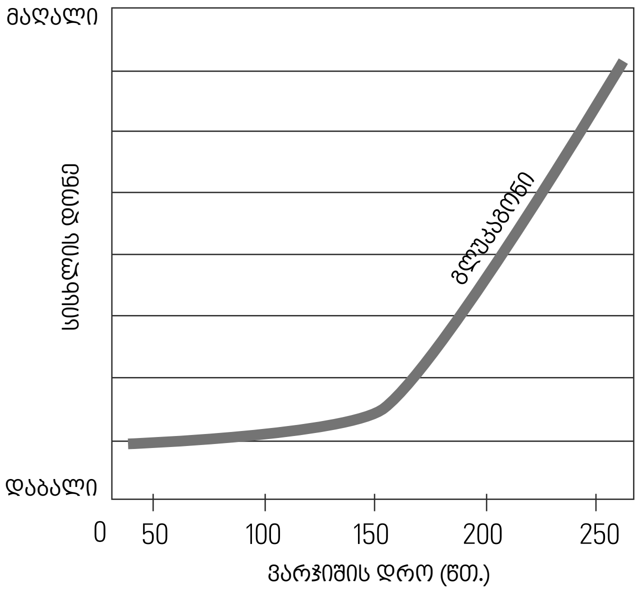
სისხლში ზრდის ჰორმონის დონეს ფიზიკური ვარჯიშის ხანგრძლივობასთან არავითარი კორელაცია არ აქვს – როგორც არ უნდა გაიზარდოს

ვარჯიშის ხანგრძლივობა, ზრდის ჰორმონის დონე არც მოიმატებს და არც მოიკლებს (იხ. გრაფიკი 4).

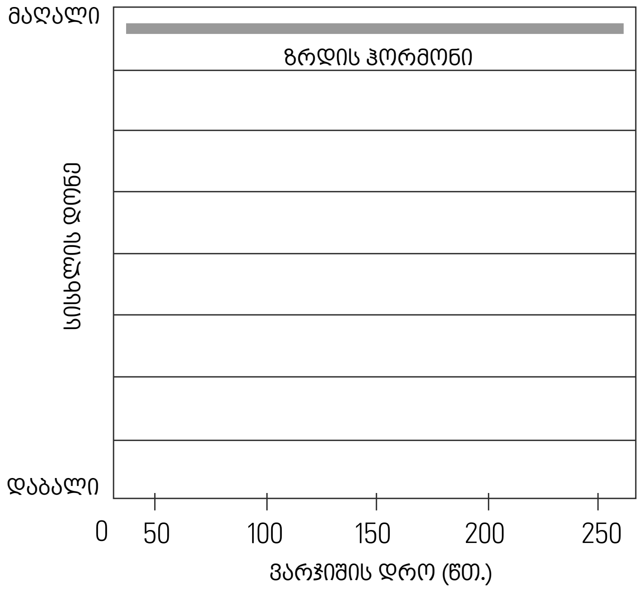
გრაფიკი 2. სისხლში ინსულინის დონე და ვარჯიშის ხანგრძლივობა



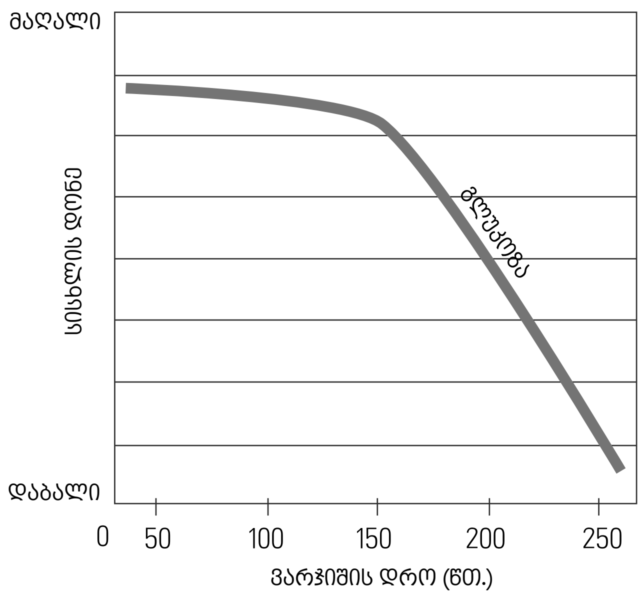
გრაფიკი 3. სისხლში გლუკაგონის დონე და ვარჯიშის ხანგრძლივობა



გრაფიკი 4. სისხლში ზრდის ჰორმონის დონე და ვარჯიშის ხანგრძლივობა



გრაფიკი 5. სისხლში გლუკოზის დონე და ვარჯიშის ხანგრძლივობა



სავარჯიშო 2.

გამოიყენეთ გრაფიკები (2, 3, 4, 5) და უპასუხეთ კითხვებს:

1. **ანალიზი**
   ა) გრაფიკი 5-ის მიხედვით, როგორი დამოკიდებულებაა სისხლში გლუკოზის დონესა და ვარჯიშის ხანგრძლივობას შორის?
   ბ) რა არის ამ შემთხვევაში დამოკიდებული და დამოუკიდებელი ცვლადები?

2. **დასკვნა**
   როგორი კავშირი ჩნდება გლუკაგონსა და ინსულინს შორის? ახსენით ცვლადებს შორის ასეთი დამოკიდებულების ფიზიოლოგიური მექანიზმი. ხანგრძლივი ვარჯიშის დროს, მიუხედავად იმისა, რომ სისხლში გლუკაგონის დონე იმატებს, რატომ მცირდება გლუკოზის დონე?

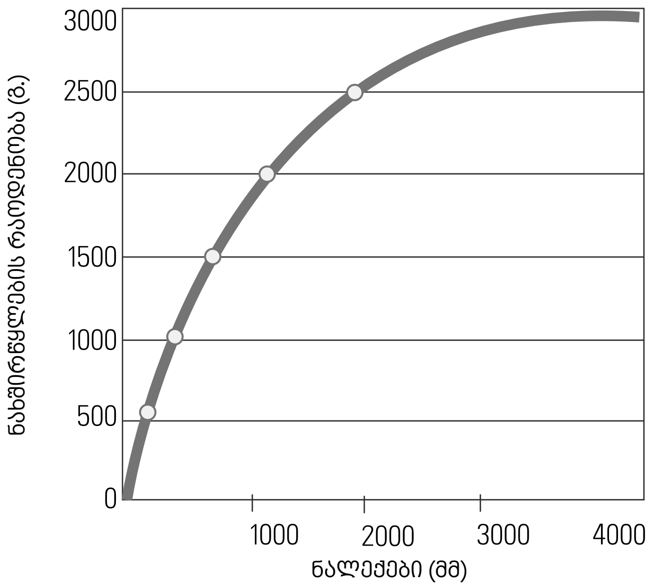
მაგალითი 3

მეცნიერები იკვლევენ, როგორ არის დამოკიდებული მცენარეებში ნახშირწყლების სინთეზის ინტენსივობა ნალექების რაოდენობაზე. მათ გამოთვალეს ერთი წლის განმავლობაში 1მ^2-ზე მცენარეში წარმოქმნილი ნახშირწყლების რაოდენობა მშრალ წონაზე გადაანგარიშებით.

გრაფიკზე (გრაფიკი 6) მოცემული ინფორმაციის **ანალიზი**: როგორც გრაფიკზე ჩანს, თავდაპირველად ნახშირწყლების რაოდენობა მკვეთრად იზრდება ნალექის მატებასთან ერთად, ხოლო მას შემდეგ, რაც ნალექი 2500 მმ-ს მიაღწევს, მისი მატების კვალდაკვალ ნახშირწყლების რაოდენობა თითქმის აღარ იზრდება.

დასკვნა: მეცნიერები ასკვნიან, რომ ტყეს სჭირდება წელიწადში დაახლოებით 2500 მმ წვიმა, რათა ნახშირწყლების მაქსიმალური რაოდენობა აწარმოოს.

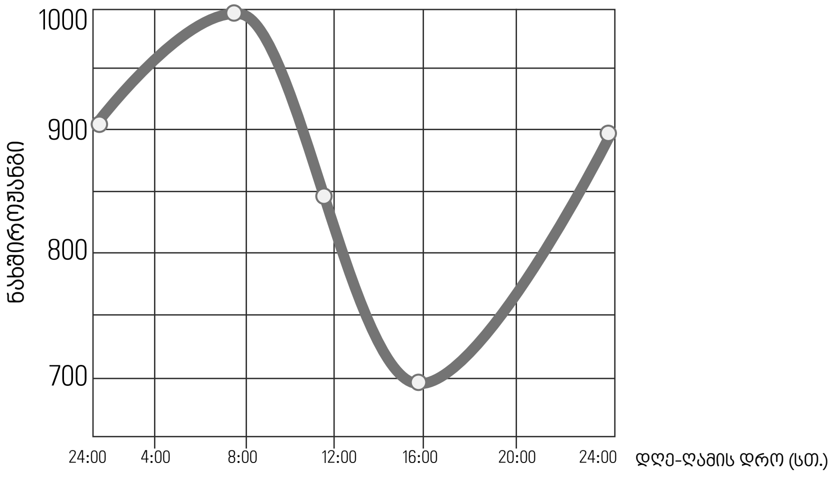
გრაფიკი 6. ნახშირწყლების პროდუქტიულობა



სავარჯიშო 3

დააკვირდით გრაფიკს (გრაფიკი 7). ის გვიჩვენებს ნახშირორჟანგის რაოდენობას ჰაერში დღის სხვადასხვა მონაკვეთში. მონაცემები აღებულია არიზონის საგანმანათლებლო ცენტრში.

გრაფიკი 7. CO_2-ის დონის ცვლილება ჰაერში დღე-ღამის განმავლობაში

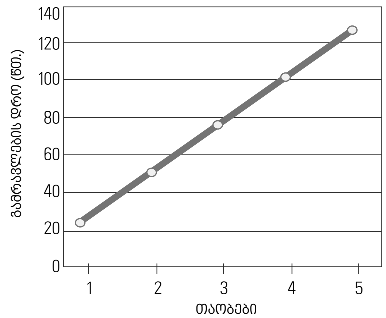


1. **ანალიზი:** როგორი ურთიერთკავშირია დღის მონაკვეთსა და ჰაერში ნახშირორჟანგის რაოდენობას შორის?
2. **დასკვნა:** გამოიყენეთ ფოტოსინთეზის პროცესის ცოდნა და ახსენით მიღებული შედეგები.

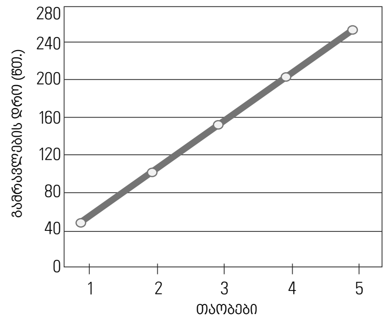
რეკომენდაციები მასწავლებლებისთვის: ზემოთ მოცემული მაგალითები და სავარჯიშოები დაუკავშირეთ გაკვეთილის თემას. მაგალითად, მაგალითი 1 და სავარჯიშო 1 – უჯრედის გაყოფის ინტენსივობას, ბაქტერიების გამრავლებას; მაგალითი 2 და სავარჯიშო 2 – ორგანიზმის ჰომეოსტაზს, ნივთიერებათა ცვლის რეგულაციას; მაგალითი 3 და სავარჯიშო 3 – ფოტოსინთეზსა და ფოტოსინთეზისთვის აუცილებელ პირობებს.

სავარჯიშოების პასუხები

სავარჯიშო 1: ინტერვალი ბაქტერია 2-ისთვის არის 20 (125-25=100; 100/5=20), ხოლო ბაქტერია 3-ისთვის – 40 (240-48=192; 192/5=38). ქვემოთ იხილეთ გრაფიკი 8 და გრაფიკი 9.



გრაფიკი 8. ბაქტერია 2-ის გენერაციის დრო



გრაფიკი 9. ბაქტერია 3-ის გენერაციის დრო

სავარჯიშო 2

ანალიზი:

ა) სისხლში გლუკოზის დონესა და ვარჯიშის ხანგრძლივობას შორის არის უარყოფითი კორელაცია, რადგან ვარჯიშის ხანგრძლივობის ზრდასთან ერთად გლუკოზის კონცენტრაცია მცირდება.

ბ) ამ შემთხვევაში დამოკიდებული ცვლადია გლუკოზის დონე სისხლში, ხოლო დამოუკიდებელი – ვარჯიშის ხანგრძლივობა.

დასკვნა: გლუკაგონსა და ინსულინს შორის არის უარყოფითი კორელაცია – ხანგრძლივი ვარჯიშის დროს სისხლში გლუკაგონის დონე იმატებს, ხოლო ინსულინისა იკლებს. სისხლში გლუკოზის დონეს არეგულირებს ჰორმონები – ინსულინი და გლუკაგონი. ინსულინი სისხლში გლუკოზის დონეს ამცირებს, ხოლო გლუკაგონი ზრდის. მიუხედავად იმისა, რომ ხანგრძლივი ვარჯიშის დროს გლუკაგონის დონე იმატებს, გლუკოზის დონე მაინც იკლებს, რადგან ვარჯიშის დროს კუნთების მუშაობას სჭირდება ენერგია, ამიტომ კუნთოვან უჯრედებში ინტენსიურად ხდება გლუკოზის დაჟანგვა.

სავარჯიშო 3

ანალიზი: დილის 8 საათიდან 16 საათამდე ნახშირორჟანგის რაოდენობა ატმოსფეროში მკვეთრად მცირდება, ხოლო 18 საათის შემდეგ იზრდება.

დასკვნა: დღის სინათლეზე ფოტოსინთეზის პროცესში გარემოდან ხდება ნახშირორჟანგის შთანთქმა, ამ პროცესის ინტენსივობა მკვეთრად არის დამოკიდებული განათების ინტენსივობაზე. განათების ინტენსივობა დილის 7-8 საათიდან იმატებს, საღამოს საათებში კი იკლებს, ამიტომ დღის განმავლობაში ატმოსფეროში ნახშირორჟანგის რაოდენობა ჯერ მცირდება, მერე კი იზრდება.

სისხლის ჯგუფების თავსებადობის/ ანტიგენისა და ანტისხეულის ურთიერთქმედების მოდელი

გთავაზობთ კიდევ ერთ ექსპერიმენტს, რომელიც ხელს შეუწყობს მოსწავლეებში მეცნიერული კვლევის, კერძოდ, მოდელის შექმნისა და გამოყენების, უნარ-ჩვევების განვითარებას.

ექსპერიმენტი: სისხლის ჯგუფების თავსებადობის/ანტიგენისა და ანტისხეულის ურთიერთქმედების მოდელი

თემა: სისხლის ჯგუფები. იმუნიტეტი

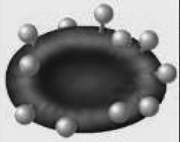
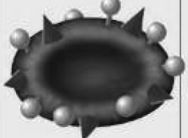
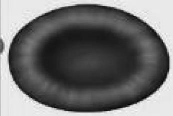
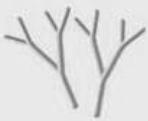
წინარე ცოდნა:
მოსწავლეებმა იციან: იმუნიტეტის არსი; სისხლის ჯგუფები; ცნებები: ანტიგენი, ანტისხეული, დონორი, რეციპიენტი. იციან, რომ სისხლის ჯგუფის სახეობა დამოკიდებულია ერითროციტის მემბრანაში არსებული ანტიგენის სახეობაზე და პლაზმაში ანტისხეულის გვარობაზე (იხ. ცხრილი1). სისხლის გადასხმის დროს ითვალისწინებენ დონორის (ვინც სისხლს გასცემს) ერითროციტებში ანტიგენის სახეობას და რეციპიენტის (ვინც იღებს სისხლს) სისხლის პლაზმაში ანტისხეულის სახეობას. სისხლის ჯგუფების შეუთავსებლობის შემთხვევაში რეციპიენტის სისხლში წარმოიქმნება შესაბამისი ანტისხეულები, რომლებიც დონორის ერითროციტებს აწებებს, ეს კი სიცოცხლისთვის საშიშია.

კავშირი სტანდარტთან:
კვლ. X. 2. მოსწავლეს შეუძლია კვლევითი პროცედურის განხორციელება/ მონაცემების აღრიცხვა.

შედეგი თვალსაჩინოა, თუ მოსწავლე:

- იყენებს შესაბამის მასალას ან/და აღჭურვილობას და ატარებს დაგეგმილ ცდას უსაფრთხოების წესების დაცვით;

ცხრილი 1

ერითროციტები	ანტიგენი A 	ანტიგენი B ბს სარწ 	ანტიგენი A და B 	არც A და არც B ანტიგენი 
პლაზმა	ანტისხეული B 	ანტისხეული A 	არც A და არც B ანტისხეული	A და B ანტისხეული 
სისხლის ჯგუფი	ჯგუფი A	ჯგუფი B	ჯგუფი AB	ჯგუფი 0

- აწარმოებს დაკვირვებას და/ან გაზომვებს, იღებს სარწმუნო მონაცემებს;

კვლ. X. 4. მოსწავლეს შეუძლია მონაცემთა ანალიზი და შეფასება.

შედეგი თვალსაჩინოა, თუ მოსწავლე:

- იყენებს დიაგრამებს, ცხრილებს და გრაფიკებს მონაცემებს ან ცვლადებს შორის დამოკიდებულების აღსაწერად;
- აანალიზებს მონაცემებს (მაგ., საშუალო არითმეტიკული სიდიდის და საშუალოდან გადახრების დადგენა), საჭიროების შემთხვევაში, საკონტროლო ცდის შედეგების გათვალისწინებით, გამოიტანს დასკვნებს.

ბიოლ. X. 9. მოსწავლეს შეუძლია დაასაბუთოს სატრანსპორტო სისტემის მნიშვნელობა ორგანიზმისთვის.

შედეგი თვალსაჩინოა, თუ მოსწავლე:

- ქმნის ანტიგენისა და ანტისხეულის ურთიერთქმედების მოდელს და მსჯელობს ამ ურთიერთქმედების მნიშვნელობაზე.

სასწავლო მიზანი:

მოსწავლეები შეძლებენ:

- დაგეგმილი ცდის ჩატარებას;
- მონაცემების აღრიცხვას;
- მონაცემთა ცხრილის საშუალებით მონაცემების წარმოდგენას;
- მონაცემების ანალიზს და ანალიზის საფუძველზე დასკვნების გამოტანას;
- ანტიგენისა და ანტისხეულის ურთიერთქმედების მოდელის შექმნასა და გამოყენებას;
- მსჯელობას ანტიგენისა და ანტისხეულის ურთიერთქმედების მნიშვნელობის შესახებ.

ექსპერიმენტის მიზანი: ანტიგენისა და ანტისხეულის ურთიერთქმედების მოდელის შექმნა და გამოყენება სისხლის ჯგუფების თავსებადობის განსაზღვრის მიზნით.

მასალა:

- საკვები საღებავებით შეფერილი წყალი: წითელი, ლურჯი, მეწამული;
- სუფთა წყალი;
- სინჯარები;
- სინჯარების სადგამი.

პროცედურა:

1. მასწავლებელმა მოგამარაგათ წითელი წყლით, ლურჯი წყლით, მეწამული წყლით (წითელს + ლურჯი = მეწამულს) და სუფთა წყლით. წითელი ფერის წყალი „A ჯგუფის სისხლია“, ლურჯი – „B ჯგუფისა“, მეწამული – „AB ჯგუფისა“, სუფთა – „O ჯგუფისა“.
2. ოთხივე სინჯარა მოათავსეთ სადგამში და დანომრეთ 1-დან 4-მდე.
3. პირველ სინჯარაში ჩაასხით 1სმ^3 „A ჯგუფის სისხლი“; მეორეში – 1 სმ^3 „B ჯგუფის სისხლი“; მესამეში – 1სმ^3 „AB ჯგუფის სისხლი“; მეოთხეში – 1სმ^3 „O ჯგუფის სისხლი“. თითოეული სინჯარა ასახავს სისხლის რეციპიენტს (მიმღებს).
4. თითოეულ სინჯარას დაამატეთ 1სმ^3 A ჯგუფის სისხლი (დონორის სისხლი). მონაცემთა ცხრილში ჩაწერეთ სინჯარებში – „რეციპიენტის სისხლში“ – მომხდარი ფერის ყველა ცვლილება.
5. თუ წყალმა ფერი იცვალა, ეს ნიშნავს, რომ მოხდა „აგლუტინაცია-შე-

წებება“ და ეს ჯგუფები არათავსებადია. თუ ფერი იგივე დარჩა – სისხლის ეს ჯგუფები თავსებადია. შედეგები ჩაიწერეთ გრაფაში მოცემული ნიმუშის მიხედვით.

6. გაიმეორეთ მე-3-4 ნაბიჯი, შემდეგ დაამატეთ თითოეულ სინჯარას „B ჯგუფის სისხლი“. მონაცემები ჩაიწერეთ.
7. გაიმეორეთ მე-3-4 ნაბიჯი, შემდეგ დაამატეთ თითოეულ სინჯარას „AB ჯგუფის სისხლი“. მონაცემები ჩაიწერეთ.
8. გაიმეორეთ მე-3-4 ნაბიჯი, შემდეგ დაამატეთ თითოეულ სინჯარას „O ჯგუფის სისხლი“. მონაცემები ჩაიწერეთ.

ანალიზი და დასკვნა

1. სისხლის რომელი ჯგუფების კომბინაციის შედეგად მოხდა „აგლუტინაცია“? ახსენით, რატომ.
2. სისხლის რომელი ჯგუფები აღმოჩნდა თავსებადი? ახსენით, რატომ.
3. რომელი ჯგუფის სისხლს შეუძლია გახდეს დონორი ყველა ჯგუფის სისხლისთვის? რატომ?
4. რომელი ჯგუფის სისხლს შეუძლია იყოს რეციპიენტი ყველა ჯგუფის სისხლისთვის? რატომ?

მონაცემთა ცხრილი 2: ანტიგენ-ანტისხეულის რეაქციების სიმულირება

რეციპიენტის სისხლის ჯგუფები	დონორის სისხლის ჯგუფები			
	A (წითელი წყალი)	B (ლურჯი წყალი)	AB (მეწამული წყალი)	O (სუფთა წყალი)
A (წითელი წყალი)	+	–		
B (ლურჯი წყალი)				
AB (მეწამული წყალი)				
O (სუფთა წყალი)				

რეკომენდაცია მასწავლებლებისთვის: დაკვირვება ხდება „რეციპიენტის სისხლის“ ფერის ცვლილებაზე! მაგალითად, როდესაც „AB ჯგუფის რეციპიენტის სისხლს“ (სინჯარაში მეწამული წყალია) ემატება „დონორის B ჯგუფის სისხლი“ (ლურჯი წყალი), სინჯარაში ხსნარის შეფერილობა არ იცვლება, რადგან მეწამული წყალი შეიცავს წითელ საღებავს და ლურჯთან

შერევით მიიღება ისევ მეწამული ფერი. ამრიგად, AB ჯგუფის რეციპიენტისთვის B ჯგუფის სისხლი თავსებადია. როდესაც, პირიქით, B ჯგუფის სისხლია რეციპიენტი (სინჯარაში ლურჯი წყალია), ხოლო დონორის სისხლი AB ჯგუფისაა (მეწამული ხსნარი), „რეციპიენტის სისხლის შეფერილობა" შეიცვლება: სინჯარაში ლურჯი წყალი მეწამული გახდება („დონორის სისხლი" – მეწამული წყალი – შეიცავს წითელ საღებავს და ლურჯთან შერევით მიიღება მეწამული ფერი). ამრიგად, B ჯგუფის რეციპიენტისთვის AB ჯგუფის სისხლი შეუთავსებელია.

რასაკვირველია, ექსპერიმენტის შედეგების შეჯამებისას სისხლის ჯგუფების შეთავსება-შეუთავსებლობა უნდა აიხსნას ანტიგენ-ანტისხეულის ურთიერთქმედების საფუძველზე. მაგალითად, AB ჯგუფის სისხლი არის უმაღლესი ხარისხის რეციპიენტი (იღებს ყველა ჯგუფის სისხლს), რადგან ამ ჯგუფის სისხლის პლაზმაში არც ერთი ანტიგენის (A და B) საწინააღმდეგო ანტისხეულის წარმოქმნა არ ხდება, ხოლო O ჯგუფის სისხლი უმაღლესი ხარისხის დონორია (გადაესხმება ყველა ჯგუფის სისხლს), რადგან ამ ჯგუფის სისხლის ერითროციტებში არ არის ანტიგენი. O ჯგუფის სისხლი მხოლოდ O ჯგუფის სისხლს იღებს, რადგან ნებისმიერი სხვა ჯგუფის სისხლის გადასხმისას რეციპიენტის ერითროციტების მემბრანებში არსებულ ანტიგენებს აღიქვამს, როგორც უცხოს და მათ (A და B ანტიგენების) საწინააღმდეგოდ წარმოქმნის ანტისხეულებს, რაც ერითროციტების შეწებებას იწვევს.

ზოგიერთი მენდელისეული ნიშნის დამემკვიდრება ადამიანში

აღვწერთ დაკვირვებას, რომელიც ხელს შეუწყობს მოსწავლეთა მეცნიერული უნარ-ჩვევების განვითარებას.

დაკვირვება – ზოგიერთი მემკვიდრეობითი ნიშან-თვისების ფენოტიპური გამოვლენის გამოკვლევა

თემა – ადამიანში ზოგიერთი მენდელისეული ნიშნის დამემკვიდრება

წინარე ცოდნა – მოსწავლეები იცნობენ ცნებებს: დომინანტური და რეცესიული ალელი, ფენოტიპი, გენოტიპი, ჰომოზიგოტა, ჰეტეროზიგოტა, მენდელის კანონები.

კავშირი სტანდარტთან

კვლ.IX.2 – მოსწავლეს შეუძლია კვლევითი პროცედურის განხორციელება/მონაცემების აღრიცხვა.

შედეგი თვალსაჩინოა, თუ მოსწავლე:

- აწარმოებს დაკვირვებას და/ან გაზომვებს, აღრიცხავს მონაცემებს.

კვლ.IX.3 – მოსწავლეს შეუძლია მონაცემთა წარმოდგენა სხვადასხვა საკომუნიკაციო საშუალების გამოყენებით.

შედეგი თვალსაჩინოა, თუ მოსწავლე:

- იყენებს სხვადასხვა ხერხს (დიაგრამას, ცხრილს, გრაფიკს, სიას) მონაცემთა წარმოსადგენად.

კვლ.IX.4 – მოსწავლეს შეუძლია მონაცემთა ანალიზი და შეფასება.

შედეგი თვალსაჩინოა, თუ მოსწავლე:

- აანალიზებს მონაცემებს და გამოაქვს დასკვნები.

ბიოლ.IX.6 – მოსწავლეს შეუძლია დაახასიათოს მემკვიდრეობითობა და ცვალებადობა, ჩამოაყალიბოს მემკვიდრეობითობის კანონები, იმსჯელოს გენეტიკის მნიშვნელობაზე სელექციასა და მედიცინაში.

შედეგი თვალსაჩინოა, თუ მოსწავლე:

- აღწერს ადამიანში ზოგიერთი მენდელისეული ნიშნის (მაგ., თვალის ფერის, ყურის ბიბილოს ფორმის) მემკვიდრეობის სქემას.

სასწავლო მიზანი

მოსწავლეები შეძლებენ:

- დაგეგმილი დაკვირვების ჩატარებას შესაბამისი მასალის გამოყენებით;
- მონაცემების აღრიცხვას მონაცემთა ცხრილში;
- მონაცემების გაანალიზებას და დასკვნების გამოტანას;
- ადამიანში ზოგიერთი მენდელისეული ნიშნის დამემკვიდრების აღწერას;
- იმის გააზრებას, რატომ მჟღავნდება რეცესიული ალელი ფენოტიპურად უფრო იშვიათად, ვიდრე დომინანტური.

ექსპერიმენტის მიზანი – ადამიანში ზოგიერთი მენდელისეული ნიშან-თვისების დამემკვიდრების შესწავლა.

მასალა – თაბახის ფურცელი, ფანქარი, სარკე

პროცედურა

1. მონაცემთა ცხრილი (რომელიც მასწავლებელმა წარმოადგინა დაფაზე) გადაწერეთ თაბახის ფურცელზე.
2. მონაცემთა ცხრილში წარმოდგენილია ნიშან-თვისებები, რომლებიც თქვენ უნდა გამოიკვლიოთ. სვეტში სათაურით „ნიშან-თვისება“ თითოეული ნიშან-თვისებისთვის შემოხაზეთ თქვენი ფენოტიპი.
3. თქვენი მონაცემები ცხრილიდან გადაიტანეთ დაფაზე დახაზულ ცხრილში, რომელიც მასწავლებელმა შექმნა მთელი კლასის მონაცემების შესაკრებად.
4. მას შემდეგ, რაც თანაკლასელებიც გადაიტანენ თავიანთ მონაცემებს საერთო ცხრილში, ეს ინფორმაცია გადაიტანეთ თქვენს ცხრილში, შესაბამის გრაფებში.

5. განსაზღვრეთ კონკრეტული ნიშან-თვისების მატარებელ მოსწავლეთა პროცენტული რაოდენობა: კონკრეტული ნიშან-თვისების მატარებელ მოსწავლეთა რაოდენობა გაყავით მოსწავლეთა საერთო რაოდენობაზე და გაამრავლეთ 100-ზე. ჩაწერეთ მიღებული რიცხვი ცხრილის შესაბამის გრაფაში.

ანალიზი და დასკვნა

1. თითოეული ნიშან-თვისებისთვის რომელი ალელი ვლინდება უფრო ხშირად – დომინანტური თუ რეცესიული?
2. გამოკვლეული ნიშან-თვისებებიდან რომელი ვლინდება ყველაზე ხშირად თქვენს კლასში? ყველაზე იშვიათად?
3. როგორია პროცენტული კოეფიციენტი თითოეული ნიშან-თვისებისათვის?
4. დომინანტი ნიშან-თვისებები უფრო ხშირად მჟღავნდება თუ რეცესიული? როგორ ფიქრობთ, რატომ?
5. როგორ შეიცვლება თქვენი მონაცემები, თუ 5 სხვა კლასთან ჩაატარებთ კვლევას და ჩაიწერთ მონაცემებს?

მონაცემთა ცხრილი

ნიშან-თვისება		იმ მოსწავლეების რაოდენობა, რომელთაც აქვთ დომინანტური ფენოტიპი	იმ მოსწავლეების რაოდენობა, რომელთაც აქვთ რეცესიული ფენოტიპი	დომინანტური ფენოტიპის პროცენტული მაჩვენებელი	რეცესიული ფენოტიპის პროცენტული მაჩვენებელი
დომინანტური	**რეცესიული**				
მუქი თმები A	ღია ფერის თმები a				
მუქი თვალები B	ღია ფერის თვალები b				
თავისუფალი ყურის ბიბილო E	მიზრდილი ბიბილო e				

ღრმულები ლოყებზე D	არ არის ღრმული d				
ჭორფლი C	უჭორფლო c				

რეკომენდაცია მასწავლებლებისათვის: კარგი იქნება, თუ დაკვირვების შეჯამების დროს მოსწავლეებს დავაწერინებთ თითოეული ფენოტიპის შესაძლო გენოტიპის ვარიანტებს. ამით უფრო თვალსაჩინო გახდება, რატომ მჟღავნდება ფენოტიპურად უფრო იშვიათად რეცესიული ფენოტიპი (რეცესიული ნიშანი, დომინანტურისგან განსხვავებით, მხოლოდ ჰომოზიგოტურ მდგომარეობაში გამოვლინდება ფენოტიპურად).

გენეტიკური დრეიფი

კვლავ გთავაზობთ ექსპერიმენტს, რომელიც ხელს შეუწყობს მოსწავლეთა მეცნიერული უნარ-ჩვევების განვითარებას. ექსპერიმენტი მნიშვნელოვანია მაღალი სააზროვნო (ანალიზის, სინთეზის, შეფასების) უნარების განვითარებისთვის, ამიტომ ქვემოთ მოცემული ექსპერიმენტის აღწერილობაში, მითითებულია, რომელი სააზროვნო უნარების განვითარებას ემსახურება კითხვები.

ეს ექსპერიმენტი გულისხმობს ერთ-ერთი ბიოლოგიური მოვლენის მოდელის შექმნას.

ექსპერიმენტი: გენეტიკური დრეიფი

თემა: მიკროევოლუციის ფაქტორები

წინარე ცოდნა და უნარ-ჩვევები: მოსწავლეები იცნობენ მიკროევოლუციის მამოძრავებელ ფაქტორებს, მათ შორის – გენთა დრეიფს, მის შედეგებსა და მნიშვნელობას ევოლუციისთვის. კერძოდ:

- თაობების განმავლობაში შემთხვევითი პროცესებით გამოწვეულ ალელთა სიხშირის ცვლილებას პოპულაციაში გენთა დრეიფი ეწოდება.
- იგი დაკავშირებულია პოპულაციურ ტალღებთან.
- გენთა დრეიფი ზრდის ან ამცირებს მასალას ევოლუციური პროცესისთვის.
- გენების დრეიფის ერთ-ერთი შედეგია დამფუძნებლის ეფექტი, რომლის დროსაც პოპულაციიდან გადის ორგანიზმების მცირე რიცხვი და სახლდება სხვა ტერიტორიაზე, აფუძნებს ახალ, ორიგინალურ პოპულაციას.

მოსწავლეებს შეუძლიათ გეგმის მიხედვით პროცედურების განხორციელება, მონაცემების შეგროვება, მათი აღრიცხვა მონაცემთა ცხრილში, ანალიზი და შესაბამისი დასკვნების გამოტანა.

კავშირი სტანდარტთან

ბიოლ.XI.7. მოსწავლეს შეუძლია გამოიყენოს ევოლუციის კონცეფცია ორგანული სამყაროს მრავალფეროვნებისა და მასში მიმდინარე ცვლილებების ასახსნელად.

- მოიპოვებს მასალას სინთეზური ევოლუციური თეორიით მოწოდებული ევოლუციის მამოძრავებელი ფაქტორების შესახებ და აკეთებს პრეზენტაციას.

კვლ.XI.2. მოსწავლეს შეუძლია კვლევითი პროცედურის განხორციელება/მონაცემების აღრიცხვა.

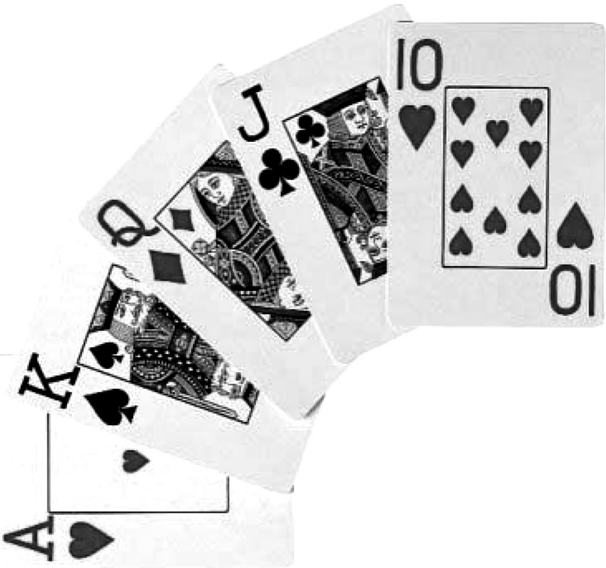
კვლ.XI.4. მოსწავლეს შეუძლია მონაცემთა ანალიზი და შეფასება.

ექსპერიმენტის მიზანი: რა მნიშვნელობა აქვს გენების დრეიფს მიკროევოლუციის პროცესისთვის

მასალა: ბანქოს დასტა.
დასტის მეშვეობით წარმოადგინეთ კუნძულზე დასახლებული ფრინველების პოპულაციის მოდელი. ოთხი სხვადასხვა მასტი („გული“, „ყვავი“, „აგური“, „ჯვარი“) განასახიერებს ამ პოპულაციის სხვადასხვა ალელს. საწყის პოპულაციაში ამ ალელების სიხშირე თანაბარია (ე.ი. თითოეული – 25%).

პროცედურა:

1. აურიეთ მთელი დასტა (52 ბანქოს ქაღალდი) და დააწყეთ მაგიდაზე ილუსტრაციებით ქვემოთ.
   გადმოაბრუნეთ ნებისმიერი 40 ბანქოს ქაღალდი. ისინი განასახიერებენ საწყისი პოპულაციის ინდივიდების შემთხვევითი კავშირის შედეგად მიღებულ 20 შთამომავალს 40 ალელით.
2. ბანქოს ეს 40 ქაღალდი დაალაგეთ მასტების მიხედვით (ცალ-ცალკე გულები, აგურები, ყვავები და ჯვრები). დაადგინეთ შთამომავლობაში თითოეული ალელის შეხვედრის სიხშირე ყოველი სახეობის მასტის წილის გამოთვლით (ამ მიზნით თითოეული „ალელის“ რაოდენობის



მაჩვენებელი რიცხვი გაყავით „ალელების“ საერთო რიცხვზე. მაგალითად, თუ გულის კარტების რიცხვია 10, შესაბამისი ალელის შეხვედრის სიხშირე იქნება: 10/40=1/4).

3. წარმოვიდგინოთ, რომ ქარიშხალმა რამდენიმე ინდივიდი სხვა კუნძულზე წაიღო. ისინი იზოლირებულნი აღმოჩნდნენ და დასაბამი მისცეს ახალ პოპულაციას. აურიეთ იგივე ბანქოს 40 ქაღალდი და მათგან შემთხვევით გამოყავით 10 — ეს 10 ფურცელი განასახიერებს 5 ინდივიდს 10 ალელით. ისინი მცირე პოპულაციას ქმნიან.
4. გაიმეორეთ მე-2 ნაბიჯი და გამოთვალეთ ალელების შეხვედრის სიხშირე.

ანალიზი და დასკვნა:

1. **ანალიზი:** მე-2 და მე-4 პუნქტებში გამოთვლილი ალელების სიხშირე შეადარეთ ალელების სიხშირეს საწყის პოპულაციაში. როგორ იცვლება ის?
2. **ანალიზი:** რომელ ევოლუციურ მოვლენებს ასახავს მე-3 ნაბიჯი?
3. **შეფასება:** არის თუ არა თქვენ მიერ შესრულებული მოქმედება ევოლუციური პროცესის დემონსტრირება? რატომ?
4. **შეფასება:** არის თუ არა იგი ბუნებრივი გადარჩევის დემონსტრირება? პასუხი დაასაბუთეთ.

რეკომენდაცია მასწავლებლებისთვის: მე-3 ნაბიჯი ასახავს გენების დრეიფის დამფუძნებელ ეფექტს. მოსწავლეთა მიერ შესრულებული მოქმედება არის ევოლუციის პროცესის დემონსტრირება, ვინაიდან ამით მათ შექმნეს გენების დრეიფის მოდელი, რომელიც მიკროევოლუციის ერთ-ერთი მამოძრავებელი ფაქტორია. რაც შეეხება ბუნებრივ გადარჩევას, ამ შემთხვევაში მისი დემონსტრირება არ ხდება, რადგან პოპულაციიდან ინდივიდები გადიან შემთხვევით (ქარიშხალმა წაიღო რამდენიმე ინდივიდი სხვა კუნძულზე), მათი ბიოლოგიური ღირებულებისგან დამოუკიდებლად (ანუ განურჩევლად იმისა, ატარებდნენ თუ არა ეს ინდივიდები სახეობისთვის სასარგებლო ალელებს). ამიტომ გენების დრეიფი ევოლუციას მიმართულებას არ აძლევს. ბუნებრივი გადარჩევა ერთადერთი ფაქტორია, რომელიც მიმართულებას აძლევს ევოლუციას, რადგან მისი მოქმედების შედეგად უპირატესად გადარჩებიან უკეთ შეგუებული ინდივიდები.

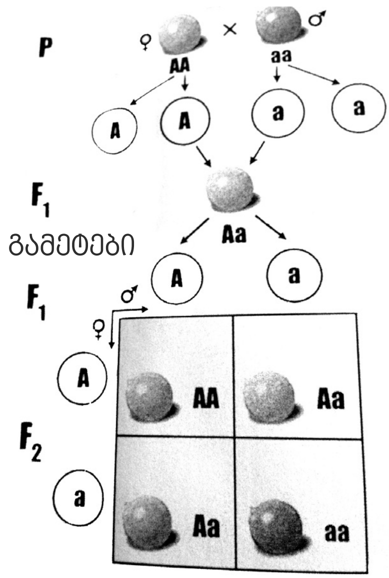
მოსწავლეები ამ დასკვნამდე რომ მივიდნენ, მასწავლებელმა პრეზენტაციების დასასრულს დაფაზე უნდა დააფიქსიროს პროცედურის მე-4 ნაბიჯის შემდეგ გამოთვლილი ალელების სიხშირე (რომელიც, დიდი ალბათობით, სხვადასხვა ჯგუფს სხვადასხვა ექნება) და დაანახოს მოსწავლეებს, რომ გენთა დრეიფის შედეგად შემთხვევით იზრდება რომელიმე ალელის კონცენტრაცია პოპულაციაში, ხოლო რომელიმესი შემთხვევით მცირდება.

ალბათობის თეორია გენეტიკაში

გთავაზობთ ექსპერიმენტს, რომელიც ხელს შეუწყობს მოსწავლეთა მეცნიერული უნარ-ჩვევების განვითარებას. ეს ექსპერიმენტი გამოყენებული რესურსების თვალსაზრისით, მარტივია. ის კლასშიც შეიძლება ჩატარდეს რეფლექსიის ფაზაში და საშინაო დავალებადაც მიეცეს მოსწავლეებს – ეს მათ განუვითარებს თეორიული ცოდნის პრაქტიკაში გამოყენების უნარ-ჩვევებს.

ექსპერიმენტი: ალბათობის თეორია გენეტიკაში

თემა: მენდელის კანონების სტატისტიკური ხასიათი



წინარე ცოდნა და უნარ-ჩვევები: მოსწავლეებმა იციან მონოჰიბრიდული შეჯვარების არსი და დათიშვის კანონი. ამ კანონის თანახმად, მონოჰიბრიდული შეჯვარების დროს მიღებული პირველი თაობის ჰიბრიდების თვითდამტვერვის გზით ან ერთმანეთთან შეჯვარებით გამრავლებისას მეორე თაობაში გამოვლინდება როგორც დომინანტური, ისე რეცესიული ნიშან-თვისება თანაფარდობით 3:1. მოსწავლეებმა იციან, რომ მენდელის კანონებს სტატისტიკური ხასიათი აქვს.

მოსწავლეებს შეუძლიათ პენეტის ცხრილის გამოყენება გენოტიპური და ფენოტიპური დათიშვის თანაფარდობის დასადგენად.

კავშირი სტანდარტთან

კვლ.XI.2. მოსწავლეს შეუძლია კვლევითი პროცედურის განხორციელება/მონაცემების აღრიცხვა.

შედეგი თვალსაჩინოა, თუ მოსწავლე:

- იყენებს შესაბამის მასალას ან/და აღჭურვილობას და ატარებს დაგეგმილ ცდას უსაფრთხოების წესების დაცვით;
- აწარმოებს დაკვირვებას და/ან გაზომვებს, იღებს სარწმუნო მონაცემებს.

კვლ.XI.3. მოსწავლეს შეუძლია მონაცემთა წარმოდგენა სხვადასხვა საკომუნიკაციო საშუალების გამოყენებით.

შედეგი თვალსაჩინოა, თუ მოსწავლე:

- იყენებს სხვადასხვა ხერხს (დიაგრამებს, ცხრილებს, გრაფიკებს, სიებს) მონაცემთა წარმოსადგენად.

კვლ.XI.4.მოსწავლეს შეუძლია მონაცემთა ანალიზი და შეფასება.

შედეგი თვალსაჩინოა, თუ მოსწავლე:

- იყენებს დიაგრამებს, ცხრილებსა და გრაფიკებს მონაცემებს ან ცვლადებს შორის დამოკიდებულების აღსაწერად;
- აანალიზებს მონაცემებს (მაგ., საშუალო არითმეტიკული სიდიდის და საშუალოდან გადახრების დადგენა), საჭიროების შემთხვევაში, საკონტროლო ცდის შედეგების გათვალისწინებით, გამოიტანს დასკვნებს;
- განიხილავს, საკმარისია თუ არა მონაცემები (რაოდენობრივად და თვისებრივად) გამოთქმული ვარაუდის დასადასტურებლად ან დასკვნის გამოსატანად;
- ადარებს დასკვნებს გამოთქმულ ვარაუდს, განსხვავების შემთხვევაში ხსნის მიზეზებს.

ბიოლ.XI.6. მოსწავლეს შეუძლია ჩამოაყალიბოს მემკვიდრეობითობის კანონები და იმსჯელოს ცვალებადობის ფორმებზე.

შედეგი თვალსაჩინოა, თუ მოსწავლე:

- მოიპოვებს ინფორმაციას და ადარებს მემკვიდრეობითობისა და ცვალებადობის მოქმედებას, მსჯელობს მათ ბიოლოგიურ მნიშვნელობაზე;

- გენეტიკური ამოცანების გადაჭრისას იყენებს მონაცემთა ანალიზს, სტატისტიკისა და ალბათობის თეორიის ელემენტებს.

სასწავლო მიზანი:

მოსწავლეები შეძლებენ:
- ჰიპოთეზის გამოთქმას;
- დაგეგმილი ცდის ჩატარებას;
- მონაცემების აღრიცხვას;
- მონაცემთა ცხრილის საშუალებით მონაცემების წარმოდგენას;
- მონაცემების ანალიზს სტატისტიკისა და ალბათობის თეორიის გამოყენებით;
- ანალიზის საფუძველზე დასკვნების გამოტანას;
- დასკვნების შედარებას გამოთქმულ ვარაუდთან;
- საკუთარი მონაცემების სხვებისთვის გაცვლას/გაზიარებას;
- მსჯელობას მენდელის კანონების სტატისტიკური ხასიათის შესახებ.

ექსპერიმენტის მიზანი: როგორ მოქმედებს ალბათობის კანონი გენების კომბინაციაზე

მასალა: 2 მწვანე და 2 ყვითელი მარკერი/ფანქარი, პლასტმასის ჭიქა

პროცედურა

1. ცალკე ფურცელზე ან რვეულში მოამზადეთ ცხრილი მონაცემების აღრიცხვისთვის;
2. ბარდაში თესლის ყვითელი შეფერილობა (A) დომინირებს მწვანეზე (a). გამოიყენეთ პენეტის ცხრილი და განსაზღვრეთ იმ ჰიბრიდების მოსალოდნელი გენოტიპი და ფენოტიპი, რომელთა მშობლებიც არიან ჰეტეროზიგოტურები (Aa) თესლის შეფერილობის მიხედვით;
3. ოთხივე მარკერი (2 ყვითელი და 2 მწვანე) მოათავსეთ ჭიქაში. თითოეული მარკერი ასახავს ალელებს ჰეტეროზიგოტურ მცენარეებში;
4. ჭიქა შეანჯღრიეთ და თვალდახუჭულმა ამოიღეთ რომელიმე 2 მარკერი. 2 მარკერი ასახავს ალელების კომბინაციას კვერცხუჯრედისა და სპერმიის შერწყმის დროს. ეს პროცედურა გაიმეორეთ 10-ჯერ და მარკერების – „ალელების“ – კომბინაცია ჩაინიშნეთ მონაცემთა ცხრილში (ყოველი პროცედურის შემდეგ მარკერები ჭიქაში დააბრუნეთ);

5. მე-4 ნაბიჯი გაიმეორეთ ჯერ 50-ჯერ, შემდეგ – 100-ჯერ;
6. დათვალეთ თითოეული ტიპის გენოტიპი ყველა სერიისთვის;
7. მონაცემების გამოყენებით თითოეული სერიისათვის (10, 50 და 100) განსაზღვრეთ ყვითელი ფენოტიპების რაოდენობა;
8. მონაცემების გამოყენებით თითოეული სერიისათვის (10, 50 და 100) განსაზღვრეთ გენოტიპური და ფენოტიპური დათიშვის თანაფარდობა; დათიშვის თანაფარდობის გამოსათვლელად თითოეული გენოტიპის/ფენოტიპის რაოდენობის განმსაზღვრელი რიცხვი უნდა გაყოთ უმცირეს რიცხვზე და დაამრგვალოთ უახლოეს მთელ რიცხვამდე. მაგალითად, დავუშვათ, სერიისათვის 100, მიღებული გაქვთ ასეთი შედეგი: 23AA, 51Aa და 26aa; ამ შემთხვევისათვის გენოტიპური დათიშვის თანაფარდობა ასე იანგარიშება: 23/23=1, 51/23=2,2, 26/23=1,1. ე.ი. გენოტიპური დათიშვა ასეთია: 1AA:2Aa:1aa.

დაკვირვება

1. რომელი გენოტიპი იქნა მიღებული ყველაზე ხშირად?
2. როგორ გენოტიპურ და ფენოტიპურ დათიშვას მოელოდით?
3. როგორ გენოტიპურ და ფენოტიპურ დათიშვას მოელოდით 10-იან, 50-იან და 100-იან სერიაში?

ანალიზი და დასკვნა:

1. როგორ შეესაბამება ექსპერიმენტში მიღებული დათიშვის თანაფარდობა თეორიულად მოსალოდნელ დათიშვას?
2. რომელი სერიის დათიშვის მონაცემებია ყველაზე ახლოს თეორიულად მოსალოდნელ დათიშვის თანაფარდობასთან? ახსენით შედეგი.
3. როგორ აისახება ალბათობა თქვენი ექსპერიმენტის შედეგთან?
4. თქვენი ჯგუფის ჯამური შედეგები შეადარეთ კლასის ჯამურ შედეგებს. რომელ შემთხვევაშია გენოტიპებისა და ფენოტიპების რეალური თანაფარდობა უფრო ახლოს თეორიულად მოსალოდნელ თანაფარდობასთან? რატომ?
5. გამოთქვით ჰიპოთეზა, როგორ უნდა მიაღწიოთ, რომ რეალური შედეგი უფრო ახლოს იყოს თეორიულად მოსალოდნელ შედეგთან.
6. გამოიტანეთ დასკვნა, რატომ ატარებდა მენდელი ექსპერიმენტებს მრავალ ინდივიდზე და რატომ აგროვებდა დიდი რაოდენობის მონაცემებს.

მონაცემთა ცხრილი 1. ალბათობა გენეტიკაში

ფენოტიპი	ყვითელი		მწვანე	ყვითელი თესლის საერთო რიცხვი (AA+Aa)	თეორიულად მოსალოდნელი გენოტიპური დათიშვის თანაფარდობა	თეორიულად მოსალოდნელი ფენოტიპური დათიშვის თანაფარდობა	ექსპერიმენტში მიღებული გენოტიპური დათიშვის თანაფარდობა	ექსპერიმენტში მიღებული ფენოტიპური დათიშვის თანაფარდობა
გენოტიპი	AA	Aa	aa					
სერია 10								
სერია 50								
სერია 100								
თქვენი ჯგუფის ჯამური შედეგი								
კლასის ჯამური შედეგი								

რეკომენდაცია მასწავლებლებისთვის: თუ საშინაო დავალებად მიეცით, სასურველია, დავალების შესაფასებლად კლასი დაყოთ მცირე ჯგუფებად, სადაც ისინი გაუზიარებენ ერთმანეთს ცდის შედეგებს, მონაცემთა ცხრილში შეიტანენ თავიანთი ჯგუფის ჯამურ შედეგებს და პრეზენტაციის დროს თითოეული ჯგუფი თავის შედეგებს დააფიქსირებს თქვენ მიერ შედგენილ მონაცემთა ცხრილში. ამის შემდეგ კლასის ჯამური შედეგების განხილვა გაადვილდება.

ამ ექსპერიმენტის შედეგების ანალიზის საფუძველზე მოსწავლეებმა უნდა გააკეთონ ასეთი დასკვნა: მენდელი იმიტომ ატარებდა ექსპერიმენტს მრავალ ინდივიდზე, რომ რაც უფრო დიდია შთამომავლობის რიცხვი, მით უფრო თანაბარი ალბათობით არის მოსალოდნელი ყველა ტიპის გამეტის წარმოქმნა და ამ გამეტების ყველა შესაძლო კომბინაციით შეხვედრა.

კროსინგოვერის მოდელი

კვლავ გთავაზობთ ექსპერიმენტს, რომელიც ხელს შეუწყობს მოსწავლეთა მეცნიერული კვლევის უნარ-ჩვევების განვითარებას. სტანდარტში მითითებული ერთ-ერთი კვლევითი უნარი, რომელიც მოსწავლეებს უნდა ჰქონდეთ, მოდელის შექმნა და გამოყენებაა. ქვემოთ სწორედ ასეთი შინაარსის ექსპერიმენტის ინსტრუქციას მოვიყვანთ.

ექსპერიმენტი: კროსინგოვერის მოდელი

თემა: გენთა შეჭიდული დამემკვიდრება

წინარე ცოდნა:

მოსწავლეებმა იციან გენთა შეჭიდულობის კანონისა და კროსინგოვერის არსი: ერთ ქრომოსომაში ლოკალიზებული გენები შეჭიდულად დამემკვიდრდებიან; ერთ ქრომოსომაში ლოკალიზებულ გენებს შეჭიდული გენების ჯგუფს უწოდებენ. შეჭიდულობა ხშირად არასრულია და შესაძლოა დაირღვეს კროსინგოვერის შედეგად. მოცემულ გენებს შორის კროსინგოვერის სიხშირე მათ შორის მანძილის პირდაპირპროპორციულია, ანუ რაც უფრო დაშორებულია ქრომოსომაში გენები ერთმანეთისგან, მით უფრო მაღალია მათ შორის კროსინგოვერის სიხშირე და დაბალია ამ გენებს შორის შეჭიდულობის ხარისხი. მანძილი იზომება პირობითი ერთეულებით — მორგანიდებით. ერთი მორგანიდა (სანტიმორგანიდა) — ეს არის ისეთი მანძილი გენებს შორის, რომლის დროსაც კროსინგოვერის სიხშირე 1%-ია.

კავშირი სტანდარტთან

კვლ. XI.2. მოსწავლეს შეუძლია კვლევითი პროცედურის განხორციელება/მონაცემების აღრიცხვა.

შედეგი თვალსაჩინოა, თუ მოსწავლე:

- იყენებს შესაბამის მასალას ან/და აღჭურვილობას და ატარებს დაგეგმილ ცდას უსაფრთხოების წესების დაცვით;
- აწარმოებს დაკვირვებას და/ან გაზომვებს, იღებს სარწმუნო მონაცემებს.

კვლ. XI.4. მოსწავლეს შეუძლია მონაცემთა ანალიზი და შეფასება.

შედეგი თვალსაჩინოა, თუ მოსწავლე:

- იყენებს დიაგრამებს, ცხრილებსა და გრაფიკებს მონაცემებს ან ცვლადებს შორის დამოკიდებულების აღსაწერად;
- აანალიზებს მონაცემებს (მაგ., საშუალო არითმეტიკული სიდიდისა და საშუალოდან გადახრების დადგენა), საჭიროების შემთხვევაში, საკონტროლო ცდის შედეგების გათვალისწინებით, გამოიტანს დასკვნებს;
- განიხილავს, საკმარისია თუ არა მონაცემები (რაოდენობრივად და თვისებრივად) გამოთქმული ვარაუდის დასადასტურებლად ან დასკვნის გამოსატანად;
- ადარებს დასკვნებს გამოთქმულ ვარაუდს, განსხვავების შემთხვევაში ხსნის მიზეზებს;

ბიოლ. XI.6. მოსწავლეს შეუძლია ჩამოაყალიბოს მემკვიდრეობითობის კანონები და იმსჯელოს ცვალებადობის ფორმებზე.

შედეგი თვალსაჩინოა, თუ მოსწავლე:

- ადგენს გენთა დამოუკიდებლად და შეჭიდულად მემკვიდრეობის სქემებს, ადარებს ერთმანეთს და მსჯელობს მათ შორის განსხვავებაზე.

სასწავლო მიზანი

მოსწავლეები შეძლებენ:

- მოდელის შექმნას და გამოყენებას;
- ჰიპოთეზის გამოთქმას;
- დაგეგმილი ცდის ჩატარებას;
- მონაცემების აღრიცხვას;

- მონაცემთა ცხრილის საშუალებით მონაცემების წარმოდგენას;
- მონაცემების ანალიზს და ანალიზის საფუძველზე დასკვნების გამოტანას;
- დასკვნების შედარებას გამოთქმულ ვარაუდთან;
- მსჯელობას გენთა შეჭიდულობის შესახებ.

ექსპერიმენტის მიზანი:

- კროსინგოვერის მოდელის შექმნა;
- კვლევა, თუ კროსინგოვერის სიხშირე როგორ არის დამოკიდებული ერთ ქრომოსომაში ლოკალიზებულ გენებს შორის მანძილზე;
- იმის დადგენა, თუ როგორ შეიძლება გენებს შორის კროსინგოვერის სიხშირე გამოყენებული იყოს ქრომოსომული რუკის შესადგენად

მასალა:

- ხის 15 სმ სიგრძის ჯოხი, რომლის ქვედა ბოლო შეფერილია მარკერით;
- სახაზავი;
- კალამი;
- თაბახის ფურცელი.

პროცედურა:

1. თაბახის ფურცლის შუაგულში სახაზავით ჩამოუსვით 15 სმ. სიგრძის ხაზი. ხაზის ბოლოში გააკეთეთ პატარა ჰორიზონტალური ხაზი, აქედან გადაზომეთ და გააკეთეთ ხაზზე მონიშვნები 1-3-6-10 და 15 სმ-ზე.
2. თითოეული მონიშვნა დაასათაურეთ ანბანის მიხედვით, A-დან F-მდე (დაიწყეთ ბოლოდან).
3. ვერტიკალური ხაზი ასახავს ქრომოსომას, რომელზეც განლაგებულია 6 გენი (A, B, C, D, E, F). ამ ქრომოსომის ჰომოლოგიური ქრომოსომაა მონიშნულბოლოიანი ხის ჯოხი.
4. თაბახის ფურცელი ისე მოათავსეთ მაგიდაზე, რომ მისი ქვედა კუთხე 15 სმ-ით იყოს დაშორებული მაგიდის კიდიდან. სკამი ისე გასწიეთ უკან, რომ მისი წინა მხარე 30 სმ-ით იყოს დაშორებული მაგიდას.
5. გამოთქვით ჰიპოთეზა: რომელი გენები უფრო ხშირად დასცილდებიან A გენს?
6. ისროლეთ ხის ჯოხი ვერტიკალური ხაზის მიმართულებით, სანამ არ დაეცემა ხაზზე ან ხაზის გასწვრივ. ეს კროსინგოვერის პროცესს ასახავს.

7. როდესაც „კროსინგოვერი“ მოხდება, შეხედეთ ჯოხის ფერად კუთხეს, რათა განსაზღვროთ, სად მოხდა კროსინგოვერი A გენსა და დანარჩენ გენებს შორის. შესაბამისი აღრიცხვა გააკეთეთ მონაცემთა აღრიცხვის ცხრილში. მაგალითად, თუ ჯოხის ფერადი კუთხე დაეცემა D-სა და E-ს შორის, ცხრილში აღნიშვნა გააკეთეთ E დაF გენებზე, რადგან A გენს ეს გენები გამოეყვნენ კროსინგოვერის შედეგად.
8. იქამდე ისროლეთ ჯოხი და დათვალეთ შედეგები, სანამ „კროსინგოვერი“ 100-ჯერ არ მოხდება.
9. შეაჯამეთ რიცხვები ყოველი 5 გენისათვის. ცხრილის შესაბამის გრაფაში ჩაწერეთ, რამდენჯერ დასცილდა თითოეული გენი A გენს.
10. გამოიანგარიშეთ კროსინგოვერის სიხშირე. ამისთვის თითოეული გენის A გენიდან გამოყოფის საერთო რაოდენობა გაყავით 100-ზე. შედეგი ჩაწერეთ მონაცემთა ცხრილის შესაბამის გრაფაში.
11. გამოთვალეთ თითოეული გენის ადგილმდებარეობა A გენთან მიმართებით თქვენს ექსპერიმენტში მიღებული კროსინგოვერის სიხშირის მიხედვით: მათი კროსინგოვერის სიხშირე გაამრავლეთ 15-ზე და დაამრგვალეთ უახლოეს მთელ რიცხვამდე. მიღებული შედეგი ჩაინიშნეთ მონაცემთა ცხრილში.

ანალიზი და დასკვნა

1. ჯოხის ყოველი სროლა იწვევს თუ არა „კროსინგოვერს“?
2. რომელი გენი სცილდება ყველაზე ხშირად A გენს?
3. რომელი გენი სცილდება ყველაზე იშვიათად A გენს?
4. შეადარეთ მიღებული შედეგი თქვენ მიერ გამოთქმულ ჰიპოთეზას.
5. როგორ არის დამოკიდებული კროსინგოვერის შედეგად გენების დაცილების (ანუ კროსინგოვერის) სიხშირე ამ გენებს შორის არსებულ მანძილზე?
6. არის თქვენ მიერ გამოთვლილი გენის ადგილმდებარეობა ზუსტად ისეთი, როგორიც ფაქტობრივი ადგილმდებარეობა (თაბახის ფურცელზე გაკეთებული ნახაზის მიხედვით)? თუ კი, ახსენით, რატომ წარიმართა ექსპერიმენტი ისე, როგორც თეორიულად იყო მოსალოდნელი. თუ არა, ჩამოთვალეთ შეცდომების შესაძლო მიზეზები.
7. როგორ შეიძლება, გენებს შორის კროსინგოვერის სიხშირე გამოყენებულ იქნას ქრომოსომული რუკების შესადგენად?

მონაცემთა ცხრილი 1. კროსინგოვერის მოდელი

გენები, რომლებიც A გენს სცილდება	რამდენჯერ მოხდა A გენისგან დაცილება	კროსინგოვერის სიხშირე	გენების ადგილმდება-რეობა ქრომოსომაში A გენის მიმართ	
			გამოთვლილი	ფაქტობრივი
B				1
C				3
D				6
E				10
F				15

დამატებითი ინფორმაცია მასწავლებლებისთვის: მორგანის ერთ-ერთმა სტუდენტმა, ალფრედ სტარტევანტმა, გენეტიკური რუკის კონსტრუირების მეთოდი შეიმუშავა. გენეტიკურ რუკას, რომელიც რეკომბინაციის სიხშირეების საფუძველზეა შექმნილი, შეჭიდულობის რუკას უწოდებენ.

რეკომენდაცია მასწავლებლებისთვის: სასურველია, ეს ექსპერიმენტი ჩატარდეს გაკვეთილის რეფლექსიის ფაზაში ან მიეცეს მოსწავლეებს საშინაო დავალებად.

ფიზიკა

ავთანდილ შურღაია 47

ფიზიკა ამოცანებში

ფიზიკის სწავლების განუყოფელ ნაწილს წარმოადგენს ამოცანების ამოხსნა სწავლების ნებისმიერ ეტაპზე, იქნება ეს ელემენტარული ფიზიკის თუ სპეციალური ფიზიკური განათლების დონეზე. ფიზიკის კანონების ცოდნა მოიცავს ამ კანონების სწორად გამოყენების უნარს ამა თუ იმ ამოცანების ამოხსნისას. კანონების ღრმა ცოდნა მჟღავნდება მათი გამოყენების უნარში კონკრეტული ფიზიკური მოვლენის ანალიზის დროს. ნებისმიერი ამოცანის ამოხსნა იწყება იმ პროცესის ანალიზით, რომელიც მოცემულია ამოცანაში. ამოცანაში აღწერილი ფიზიკური პროცესის სწორად გაგება ამოცანის სწორად ამოხსნის საწინდარია, ამავე დროს ის მიუთითებს ფიზიკური კანონების გააზრების სიღრმეზე. ამოცანის ამოხსნის დაწყების წინ უმნიშვნელოვანესია გავერკვეთ ამოცანაში ჩამოყალიბებულ მონაცემებში და საძიებელ ფიზიკურ სიდიდეებში; გავერკვეთ, არსებული ფიზიკური კანონებიდან რომელი მიესადაგება დასმულ ამოცანას და რატომ. სწორედ აქ მჟღავნდება ამოცანის გადაწყვეტის სწორი გზის მონახვის უნარი. ჩვენი ღრმა რწმენით, ამოცანების ამოხსნა, თავის მხრივ, იწვევს გამოყენებული ფიზიკური კანონების უფრო ღრმად გააზრებას, იმ თითქოსდა უმნიშვნელო მომენტებზე ყურადღების გამახვილებას, რომლებიც გამორჩენილ იქნა თეორიული მასალის ათვისებისას.

წინამდებარე კრებულში შემოგთავაზეთ ამოცანების ნიმუშებს ამოხსნებით.

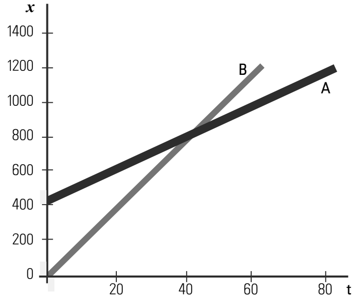
თავი 1. მექანიკა

1.1 კინემატიკა

კინემატიკა არის მექანიკის ნაწილი, რომლის ამოცანას შეადგენს სხეულის მდებარეობის განსაზღვრა სივრცეში და დროში, ანუ ამოცანის „გეომეტრიული“ აღწერა მოძრაობის გამომწვევი მიზეზების შესწავლის გარეშე. კინემატიკის ფარგლებში დგინდება თანაფარდობა მოძრაობის მახასიათებელ ფიზიკურ (კინემატიკურ) სიდიდეებს შორის, როგორიცაა გადაადგილება, სიჩქარე, აჩქარება, მოძრაობის დრო.

მოძრაობის აღწერა, როგორც ცნობილია, მოითხოვს ათვლის სისტემის შემოტანას. მოძრავი სხეულის მდებარეობა განსაზღვრულია, თუ მოცემულია მისი რადიუს-ვექტორი $\vec{r}$, როგორც დროის ფუნქცია, სხეულის სამი კოორდინატი x, y და z. რამდენიმე სხეულის მოძრაობის აღწერის დროს მნიშვნელოვანია შეგვეძლოს ერთმანეთთან დავაკავშიროთ სხეულთა სიჩქარეები უძრავ (დედამიწასთან დაკავშირებულ) ათვლის სისტემაში მათ ფარდობით სიჩარეებთან, ანუ სიჩქარეებთან სხეულებთან დაკავშირებულ ათვლის სისტემაში. განვიხილოთ შემდეგი ამოცანა:

ორი სხეულის ფარდობითი მოძრაობა: ნახ. 1-ზე მოცემულია A და B სხეულების მოძრაობის გრაფიკები უძრავ ათვლის სისტემაში. დაწერეთ A სხეულის მოძრაობის განტოლება და ააგეთ ორივე სხეულის მოძრაობის გრაფიკები B სხეულთან დაკავშირებულ ათვლის სისტემაში.



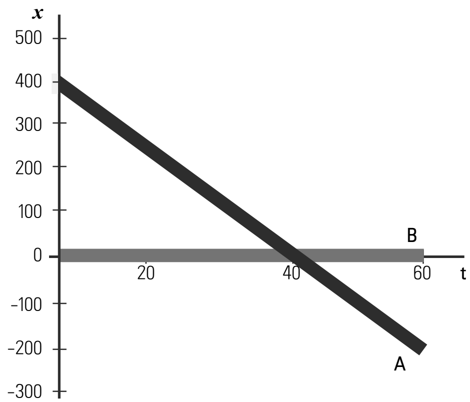
ნახ.1

პირველ რიგში, შევისწავლოთ გრაფიკები. მოცემულია სხეულების კოორდინატების დროზე დამოკიდებულების გრაფიკები უძრავ ათვლის სისტემაში. ორივე მოძრაობა არის წრფივი და თანაბარი, რადგან გრაფიკები წარმოადგენენ წრფეებს. რომ ჩავწეროთ მათი მოძრაობის განტოლებები, გვჭირდება მათი სიჩქარეები უძრავი ათვლის სისტემის მიმართ. გრაფიკებით განსაზღვრულია როგორც მოძრაობის დროის ინტერვალი, ისე მათი გადაადგილებები ამ დროის განმავლობაში. A სხეულის საწყისი კოორდინატია $x_{A0} = 400$, ხოლო სხეული B იმყოფება კოორდინატთა სათავეში. ეს უკანასკნელი მოძრაობს უფრო სწრაფად, რადგან მისი დახრილობის კოეფიციენტი მეტია და, მაშასადამე, ეწევა A სხეულს. A სხეულის კოორდინატი B-სთან დაკავშირებულ ათვლის სისტემაში არის $x = x_A - x_B$, სადაც x_A და x_B სხეულების კოორდინატებია დროის ნებისმიერ მომენტში უძრავი ათვლის სისტემის მიმართ. რადგან A სხეულის სიჩქარე გრაფიკის მიხედვით v_A =10 მ/წმ, ხოლო B სხეულის სიჩქარე v_B =20მ/წმ (გრაფიკების დახრილობის კოეფიციენტები), ეს კოორდინატები ჩაიწერება შემდეგი სახით: $x_A = 400 + 10t$, $x_B = 20t$.

მაშასადამე, საძიებელი განტოლება იქნება

$$x = x_A - x_B = 400 - 10t .$$

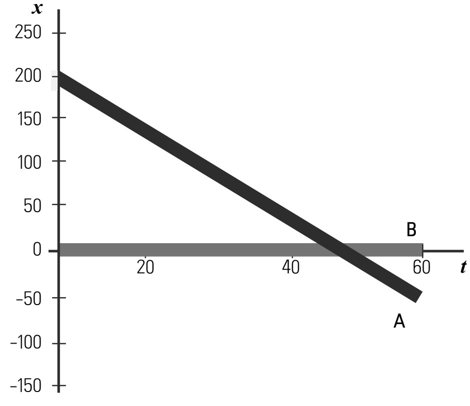
გავაანალიზოთ მიღებული განტოლება. განტოლება გვეუბნება, რომ B სხეულთან დაკავშირებულ ათვლის სისტემაში A სხეული მოძრაობს მისკენ, ანუ A სხეული მოძრაობს კოორდინატთა სათავის მიმართულებით. ამაზე მიუთითებს მინუს ნიშანი. რა თქმა უნდა, B სხეული გაჩერებულია, იმყოფება სათავეში და მისი კოორდინატი არ იცვლება – გრაფიკი ემთხვევა x ღერძს. გრაფიკებს ექნებათ ნახ. 2-ზე მოცემული სახე. მიაქციეთ ყურადღება, რომ A სხეულის კოორდინატი 40 წამის შემდეგ გახდება უარყოფითი, რაც იმას ნიშნავს, რომ იგი B სხეულს შორდება x ღერძის უარყოფითი მიმართულებით.



ნახ. 2

განვიხილოთ ახლა შებრუნებული ამოცანა. ნახ.3-ზე მოცემულია B სხეულის მოძრაობის გრაფიკი A სხეულთან დაკავშირებულ ათვლის სისტემაში.

დავწეროთ სხეულების მოძრაობის განტოლებები უძრავი ათვლის სისტემის მიმართ, თუ ა) A სხეული მოძრაობს x ღერძის დადებითი მიმართულებით 2 მ/წმ სიჩქარით; ბ) A სხეული მოძრაობს x ღერძის დადებითი მიმართულებით 6 მ/წმ სიჩქარით; გ) A სხეული მოძრაობს x ღერძის საწინააღმდეგო მიმართულებით 2 მ/წმ სიჩქარით. გავანალიზოთ მოძრაობის ხასიათი სამივე შემთხვევაში.



ნახ. 3

დროის საწყის მომენტში A სხეული იმყოფება კოორდინატთა სათავეში. გრაფიკის და ამოცანის პირობების ანალიზი გვიჩვენებს, რომ სხეულებს შორის საწყისი მანძილია 200 მ. და მათ შორის მანძილი მცირდება. თუმცა ეს არ ნიშნავს, რომ აუცილებლად A სხეული ეწევა B სხეულს. ეს დამოკიდებულია სხეულების საკუთარ სიჩქარეებზე, მათ მიმართულებებზე. მოცემული გრაფიკი გვეუბნება, რომ A-სთან დაკავშირებულ ათვლის სისტემაში B სხეული მოძრაობს x ღერძის საპირისპირო მიმართულებით. ამიტომ ამ ათვლის სისტემაში გრაფიკის შესაბამისი მოძრაობის განტოლება გრაფიკის დახრილობის გათვალისწინებით იქნება:

$$x = x_B - x_A = 200 - 4t$$

ცხადია, ამ განტოლებაში – 4მ/წმ არის B სხეულის ფარდობითი სიჩქარე A სხეულის მიმართ. მეორე მხრივ, ეს ფარდობითი სიჩქარე არის $v_B - v_A = -4$. განვიხილოთ ცალ-ცალკე პირობაში მოცემული შემთხვევები. ა) v_B = 2, მაშინ v_B = – 2 და მოძრაობის განტოლებები უძრავი ათვლის სისტემის მიმართ იქნება:

$$x_A = 2t, x_B = 200 - 2t.$$

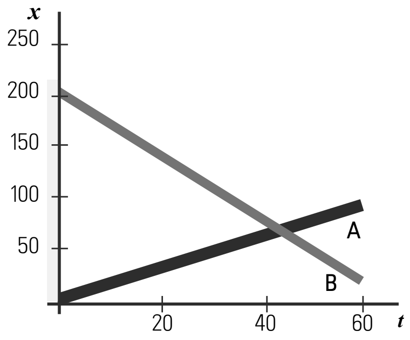
ჩანს, რომ სხეულები მოძრაობენ ერთმანეთის შემხვედრი მიმართულებით – A სხეული x ღერძის დადებითი მიმართულებით, ხოლო B სხეული მის საპირისპიროდ. ბ) $v_A = 6$, მაშინ $v_B = 2$ და მოძრაობის განტოლებები უძრავი ათვლის სისტემის მიმართ იქნება:

$$X_A = 6t, X_B = 200 + 2t.$$

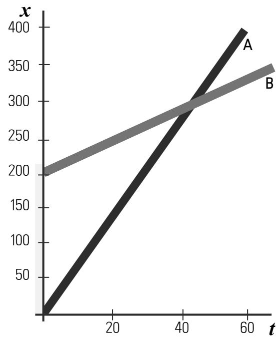
აქ კი ისინი მოძრაობენ x ღერძის დადებითი მიმართულებით და A სხეული ეწევა B სხეულს. გ) $v_A = -2$, მაშინ $v_B = -6$ და მოძრაობის განტოლებები უძრავი ათვლის სისტემის მიმართ იქნება:

$$x_A = -2t, x_B = 200 - 6t.$$

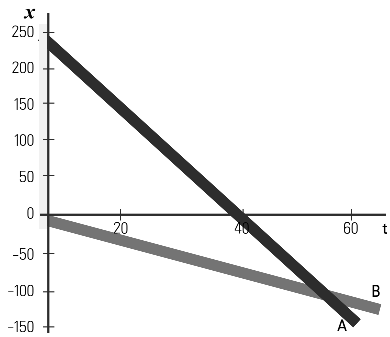
ორივე სხეული მოძრაობს x ღერძის საპირისპირო მიმართულებით და უკვე B სხეული ეწევა A სხეულს. უძრავ ათვლის სისტემაში გრაფიკები მოცემულია ნახ. 4-ზე.



ნახ. 4ა



ნახ. 4ბ



ნახ. 4გ

ესკალატორზე მოძრაობა: ბიჭმა მოძრავ ესკალატორზე დაითვალა 50 საფეხური, სიჩქარის 3-ჯერ გაზრდის შემდეგ მან დაითვალა 75 საფეხური.

რამდენ საფეხურს დაითვლიდა ბიჭი უძრავ ესკალატორზე მოძრაობისას? ესკალატორზე მოძრაობა შეიძლება განვიხილოთ როგორც ესკალატორთან დაკავშირებულ მოძრავ ათვლის სისტემასთან, ასევე უძრავ ათვლის სისტემასთან. პირველ რიგში, გავარკვიოთ, თუ რა მიმართულებით მოძრაობდა ბიჭი ესკალატორის მიმართ. რადგან სიჩქარის გაზრდამ გამოიწვია საფეხურების რაოდენობის გაზრდა, ბიჭი მოძრაობს ესკალატორის მოძრაობის მიმართულებით. წინააღმდეგ შემთხვევაში საფეხურების რაოდენობა შემცირდებოდა. ვთქვათ, საფეხურების რაოდენობა გაჩერებულ ესკალატორზე არის n, ბიჭის სიჩქარე მოძრავი ათვლის სისტემის მიმართ u, ხოლო ესკალატორის სიჩქარე უძრავი ათვლის სისტემის მიმართ c. შემოვიტანოთ დამატებითი სიდიდე s – მანძილი ესკალატორის ქვედა და

ზედა წერტილებს შორის. სიდიდე n/s წარმოადგენს საფეხურების რაოდენობას ერთეულ მანძილზე. u სიჩქარით მოძრაობისას ბიჭმა ესკალატორზე გაიარა მანძილი $s_1 = \dfrac{s}{c+u}u$, ამ დროს არბენილი საფეხურების რაოდენობა იქნება

$$\frac{s}{c+u}u\frac{n}{s} = n_1,$$

ხოლო სიჩქარის სამჯერ გაზრდის შემდეგ

$$\frac{s}{c+3u}3u\frac{n}{s} = n_2 .$$

მივიღეთ ორი განტოლება სამი უცნობით n, c, u, რომლებიც შეიძლება დაყვანილ იქნას განტოლებათა სისტემაზე ორი უცნობის n და c/u მიმართ. ეს განტოლებები შეიძლება გადაიწეროს შემდეგი სახით:

$$\frac{1}{n_1} = \frac{1}{n}(\frac{c}{u}+1),$$

$$\frac{1}{n_2} = \frac{1}{n}(\frac{c}{3u}+1).$$

საიდანაც, თუ გამოვრიცხავთ c/u, მივიღებთ:

$$n = \frac{2n_1 n_2}{3n_1 - n_2} = 100.$$

ბიჭი უძრავ ესკალატორზე აირბენდა 100 საფეხურს.

საშუალო სიჩქარე: ავტომობილმა გზის პირველი ნახევარი გაიარა 60კმ/სთ სიჩქარით. გზის დარჩენილი ნაწილი დროის პირველ ნახევარში გაიარა 15 კმ/სთ სიჩქარით, გზის დანარჩენი ნაწილი კი – 45 კმ/სთ სიჩქარით. განსაზღვრეთ ავტომობილის საშუალო სიჩქარე მთელ გზაზე.

საშუალო სიჩქარე ნებისმიერ მონაკვეთზე გამოითვლება როგორც მოცემული გზის მონაკვეთზე შესრულებული გადაადგილების (წრფივი მოძრაობის შემთხვევაში მისი სიდიდე იგივეა, რაც მანძილი) ფარდობა ამ მანძილის გასავლელად საჭირო დროსთან. თუ გზის სხვადასხვა მონაკვეთზე

სხეულის სიჩქარეები განსხვავებულია, მაშინ ზოგადად უნდა შეიკრიბოს ცალკეულ მონაკვეთებზე გავლილი გზის მანძილები (ვიხილავთ წრფივ მოძრაობას) და შეეფარდოს შესაბამისი დროების ჯამს.

ჩვენს ამოცანაში მთელი გზა დაყოფილია სამ ნაწილად: გზის პირველი ნახევარი და დარჩენილი ნახევარი, რომელზეც სხეულმა სხვადასხვა სიჩქარით გაიარა სხვადასხვა მანძილები, მაგრამ ერთი და იგივე დრო-ში. აღვნიშნოთ სიჩქარეები სამივე უბანზე შესაბამისად u_1, u_2 და u_3. ჩვენ შეგვიძლია გამოვიყენოთ გზის მეორე ნახევრისთვის მოცემული პირობები და ჯერ გამოვიანგარიშოთ საშუალო სიჩქარე გზის მეორე ნახევარზე. ამის შემდეგ მთელ გზაზე საშუალო სიჩქარის გამოსათვლელად გამოვიყენებთ ამ საშუალო სიჩქარეს, როგორც სიჩქარეს, რომლითაც სხეულმა გზის მე-ორე ნახევარი გაიარა. გზის მეორე ნახევარზე საშუალო სიჩქარე უდრის (აღვნიშნოთ იგი u):

$$u = \frac{s_2 + s_3}{t_2 + t_3},$$

სადაც s_2 და s_3 არის მანძილები, რომლებიც ავტომობილმა გაიარა u_2 და u_3 სიჩქარეებით, ხოლო t_2 და t_3 – შესაბამისი დროის მონაკვეთები, ამასთან, $t_2 = t_3$. რადგან $s_2 = u_2 t_2$. ხოლო $s_3 = u_3 t_3$. დროების ტოლობის პირობის გამო-ყენებით მივიღებთ:

$$u = \frac{u_2 + u_3}{2}.$$

გამოვიანგარიშოთ საშუალო სიჩქარე მთელ გზაზე (აღვნიშნოთ იგი v -თი)

$$v = \frac{s}{\tau_1 + \tau_2}$$

სადაც τ_1 და τ_2 არის დროის მონაკვეთები, რომლებიც დასჭირდა შესაბა-მისად გზის პირველი და მეორე ნახევრების გავლას. თუ გზის პირველ ნახევარზე სიჩქარეა u_1 , მაშინ $\tau_1 = \frac{s}{2u_1}$, $\tau_2 = \frac{s}{2u}$. მათი გამოყენებით საძიებე-ლი საშუალო სიჩქარისთვის მივიღებთ:

$$v = \frac{2u_1 (u_2 + u_3)}{2u_1 + u_2 + u_3} = 40\text{კმ/სთ}.$$

შეიძლება ვაჩვენოთ, რომ იგივე შედეგი მიიღება, თუ საშუალო სიჩქარეს გამოვიანგარიშებთ პირდაპირი განმარტების თანახმად.

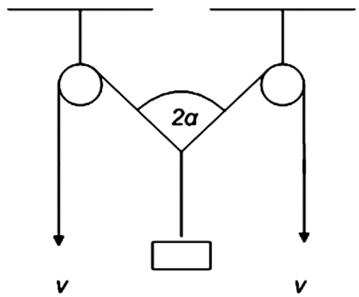
$$v = \frac{s/2 + s_2 + s_3}{\tau_1 + t_2 + t_3}\,.$$

რადგან $s_2 + s_3 = s/2$ და $t_2 = t_3$, ე.ი. $\frac{s_2}{v_2} = \frac{s_3}{v_3}$, $\Rightarrow$ $\frac{s_2}{s/2} = \frac{v_2}{v_2 + v_3}$, მივიღებთ:

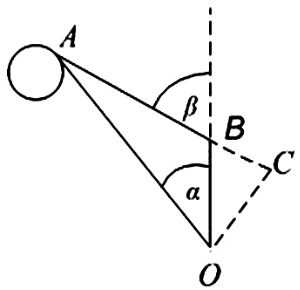
$$v = \frac{1}{\frac{1}{2v_1} + \frac{1}{v_2 + v_3}} = \frac{2v_1(v_2 + v_3)}{2v_1 + v_2 + v_3}\,.$$

მივიღეთ, ცხადია, იგივე გამოსახულება.

უძრავი ჭოჭონაქებით ტვირთის აწევა: ორი მუშა ტვირთს სწევს ზევით უძრავი ჭოჭონაქების გამოყენებით, ერთნაირი v სიჩქარით. რას უდრის ტვირთის სიჩქარე u დროის იმ მომენტში, როდესაც ბაგირებს შორის კუთხე ტვირთის ჩამოკიდების წერტილში ტოლია 2α _ს? (იხ. ნახ. 1)



ნახ.1

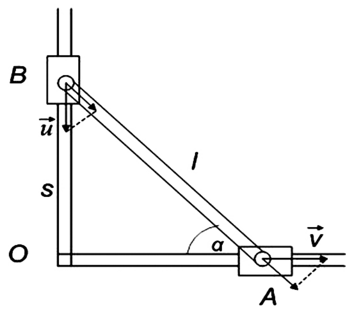


ნახ.2

ამ ამოცანის ამოხსნისას, პირველ რიგში, უნდა დავაკვირდეთ, რა მანძილებით განისაზღვრება თოკის და ტვირთის გადაადგილების სიჩქარეები. მუშების მიერ ტვირთის აწევის სიჩქარე განისაზღვრება ჭოჭონაქიდან ტვირთის დაკიდების წერტილამდე (განვიხილავთ ნახაზის მარცხენა მხარეს) თოკის დამოკლების სიდიდით, ხოლო ტვირთის აწევის სიჩქარე – იმ სიმაღლით, რომელზეც ის იქნა აწეული (ნახ. 2). კერძოდ, თოკი რაღაც t

დროის განმავლობაში მტვირთავმა ჩამოსწია BC ტოლი სიგრძით, ხოლო ტვირთი გადაადგილდა ზევით OB მანძილით. შესაბამისად, სიჩქარეები v და u პროპორციულია ამ სიდიდეების: $\frac{OB}{BC}=\frac{u}{v}$. ჩვენ გვაინტერესებს მყისიერი სიჩქარე B წერტილში, ამიტომ განვიხილავთ უსასრულოდ მცირე გადაადგილებას. ამ დროს კუთხე BCO შეიძლება ჩავთვალოთ მართ კუთხედ და, მაშასადამე, ტვირთის აწევის სიჩქარე წერტილში, სადაც თოკები ქმნიან 2α ტოლ კუთხეს, ტოლია: $u=\frac{v}{\cos\alpha}$.

ორი ერთმანეთთან ხისტად გადაბმული სხეულის მოძრაობა: სიგრძის ღერო შეერთებულია სახსრულად ორ სხეულთან, რომლებიც სრიალებენ ურთიერთმართობული ღეროების გასწვრივ. სხეული A, რომელიც დროის საწყის მომენტში მდებარეობდა O წერტილში, მოძრაობს მუდმივი v =30მ/წმ სიჩქარით. იპოვეთ B სხეულის u სიჩქარე დროის იმ მომენტისთვის, როდესაც სხეულების შემაერთებელი ღერო ჰორიზონტალურ ღეროსთან ქმნის α =60^0 კუთხეს, აგრეთვე მანძილი s =OB და B სხეულის სიჩქარე, როგორც დროის ფუნქციები.



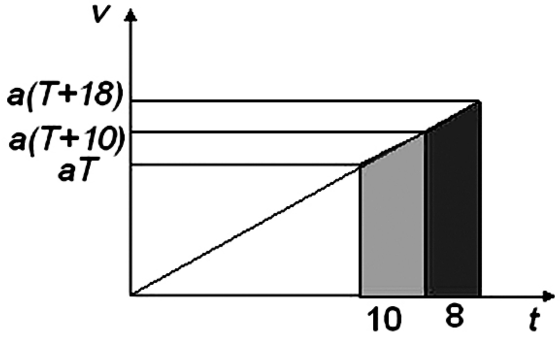
ნახ. 3

A და B სხეულები ერთმანეთთან დამაგრებულები არიან ხისტი ბმით, ღეროთი, რომელიც სხეულების სრიალის დროს დეფორმაციას არ განიცდის. ეს იმას ნიშნავს, რომ ამ სხეულების სიჩქარეების გეგმილები მათ შემაერთებელ ღეროზე უნდა იყოს ერთმანეთის ტოლი (წინააღმდეგ შემთხვევაში ღერომ დეფორმაცია უნდა განიცადოს). მაშასადამე, $u\sin\alpha=v\cos\alpha$, საიდანაც გამომდინარეობს $u=v\cot\alpha$ =17.3 მ/წმ. ვნახოთ, როგორ იქნება დამოკიდებული დროზე მანძილი s. პირობის თანახმად, დროის საწყის მომენტში O სხეული იმყოფებოდა O წერტილში. თუ კოორდინატთა სისტემის სათავეს მოვათავსებთ O წერტილში, მაშინ A სხეულის მოძ-

რაობის განტოლება იქნება $x = vt$, ხოლო s მანძილისთვის, პითაგორას თეორემის გამოყენებით, მივიღებთ: $s = \sqrt{l^2 - v^2t^2}$. B სხეულის სიჩქარის დამოკიდებულებას დროზე მივიღებთ, თუ გავიხსენებთ, რომ სამკუთხედ AOB-ში $\cot\alpha = \frac{x}{s} = \frac{vt}{\sqrt{l^2 - v^2t^2}}$. შევიტანოთ ეს მნიშვნელობა u სიჩქარის ფორმულაში, მივიღებთ: $u = \frac{v^2t}{\sqrt{l^2 - v^2t^2}}$.

მატარებელზე დაგვიანების დროის გამოთვლა გრაფიკულად: მგზავრმა, რომელმაც ვერ მიუსწრო მატარებლის გასვლას, შეამჩნია, რომ ბოლოს წინა ვაგონმა მას ჩაუარა t_1=10 წმ განმავლობაში, ხოლო ბოლო ვაგონმა – t_2 =8 წმ განმავლობაში. ჩათვალეთ, რომ მოძრაობა არის თანაბარაჩქარებული და გამოიანგარიშეთ მატარებელზე დაგვიანების დრო . ამოხსენით ამოცანა გრაფიკულად.

რა თქმა უნდა, ამოცანის ამოხსნა შეიძლება ანალიზურადაც, მაგრამ ვცადოთ ამოვხსნათ გრაფიკულად, რომლის დროსაც დაგვჭირდება სიჩქარის გრაფიკის მნიშვნელოვანი თვისების გახსენება. როგორც ცნობილია, მოძრაობის სიჩქარის გრაფიკით და საკოორდინატო ღერძებით შემოსაზღვრული გეომეტრიული ნაკვთის ფართობი რიცხობრივად მოძრაობის დროს შესრულებული გადაადგილების ტოლია.



ნახ. 4

ნახ. 4-ზე მოცემულია თანაბარაჩქარებულად მოძრავი სხეულის სიჩქარის გრაფიკი. გამუქებული ნაკვთების ფართობები შეესაბამება ბოლოს წინა (ბაცი) და ბოლო (მუქი) ვაგონების მიერ შესრულებულ გადაადგილებებს. რადგან ვაგონის სიგრძე მუდმივია, ამიტომ ამ ფიგურების ფართობები ერთმანეთის ტოლი უნდა იყოს (ნახაზი არ არის შესრულებული ზუსტად

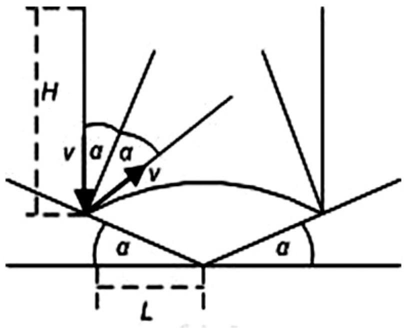
მასშტაბებში). ამოცანის პირობების შესაბამისად, მატარებლის მოძრაობის დრო, რომელშიც მგზავრს ბოლოს წინა ვაგონმა ჩაუარა, არის $(T+10)$ წმ, ხოლო მატარებლის სიჩქარე – $a(T+10)$. ეს სიჩქარე ტოლია ბაცი ფიგურის – ტრაპეციის ერთ-ერთი ფუძის სიგრძის. მეორე ფუძის სიგრძე ტოლია aT-ს. რაც შეეხება მეორე – მუქ ფიგურას (ასევე ტრაპეციას), მისი ფუძეებია $a(T+10)$ და $a(T+18)$. ტრაპეციების სიმაღლეები, შესაბამისად, ტოლია ბოლოს წინა და ბოლო ვაგონების მოძრაობის დროების, რომლებიც აითვალა მგზავრმა, ამრიგად, ვაგონის სიგრძის მუდმივობის გათვალისწინებით

$$\frac{aT+a(T+10)}{2}t_1=\frac{a(T+10)+a(T+18)}{2}t_2.$$

მივიღეთ წრფივი განტოლება T-ს მიმართ, რომლის ამოხსნაა T=31 წმ.

სხეულის ვარდნა დახრილ სიბრტყეზე: მცირე ზომის ბურთულა H სიმაღლიდან ვარდება ჰორიზონტისადმი α კუთხით დახრილ სიბრტყეზე. მისგან ასხლეტის შემდეგ ბურთულა ეცემა მეორე სიბრტყეს, ასევე დახრილს ჰორიზონტისადმი α კუთხით. ეს სიბრტყეები ეხებიან ერთმანეთს და ჰორიზონტს წერტილში, რომელიც პირველ სიბრტყეზე ბურთულას დაცემის წერილიდან დაშორებულია L მანძილით (იხ. ნახ. 5). რა სიმაღლიდან დავარდა ბურთულა, თუ იგი მეორე სიბრტყიდან ასხლეტის შემდეგ ავიდა იმავე სიმაღლეზე? კუთხე $\alpha<\pi/4$. ჰაერის წინააღმდეგობა უგულებელყავით. ბურთულა სიბრტყეებს ეჯახება აბსოლუტურად დრეკადად.

ამოცანის პირობაში მნიშვნელოვანია ის, რომ ბურთულა ადის იმავე სიმაღლეზე და დაჯახება აბსოლუტურად დრეკადია. ეს უფლებას გვაძლევს დავასკვნათ, რომ ბურთულა პირველი სიბრტყიდან აისხლიტება იმავე მოდულის სიჩქარით, რომლითაც დაეცემა. პირველი სიბრტყიდან ასხლეტის შემდეგ სხეული მოძრაობს სიმძიმის ძალის გავლენით, როგორც ჰორიზონტისადმი კუთხით გასროლილი სხეული. რადგან სხეული მეორე სიბრტყიდან ასხლეტის შემდეგ ადის იმავე H სიმაღლეზე, ცხადია, რომ მეორე სიბრტყეზე დაცემის წერტილი ჰორიზონტალური სიბრტყიდან პირველ სიბრტყეზე დაცემის წერტილის დონეზეა. მაშასადამე, მანძილი დაცემის ამ ორ წერტილს შორის $2L$-ს ტოლია. ავირჩიოთ კოორდინატთა სისტემის



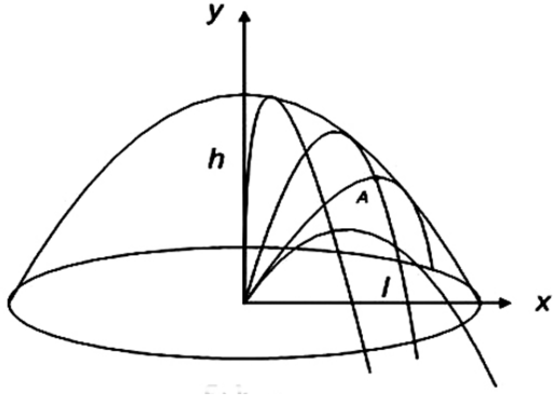
ნახ. 5

x ღერძი ჰორიზონტალურად, ხოლო y ღერძი – ვერტიკალურად ზევით. მაშინ ბურთულა სიბრტყეს დაეცემა $-v$ სიჩქარით (y ღერძის საპირისპირო მომართულებით). სიბრტყიდან არეკვლის შემდეგ სხეული აისხლიტება იმავე მოდულის სიჩქარით, მაგრამ შეიძენს ჰორიზონტალურ მდგენელს. ნახაზიდან ჩანს, რომ ასხლეტის შემდეგ სიჩქარის მდგენელებია: $v_x = v\sin 2\alpha$ და $v_y = v\cos 2\alpha$. ამიტომ სხეული ჰორიზონტალური მიმართულებით L მანძილს გაივლის t დროში, რომელიც ტოლია $t = \frac{L}{v\sin 2\alpha}$, ამავე დროს მოანდომებს ეს სხეული დაცემის წერტილიდან მაქსიმალურ სიმაღლეზე ასვლას, მეორე მხრივ, $t = \frac{v\cos 2\alpha}{g}$ (y ღერძის გასწვრივ მოძრაობა $v_y = v\cos 2\alpha$ საწყისი სიჩქარით). თუ ამ ორი განტოლებიდან გამოვრიცხავთ დროს, მივიღებთ: $L = \frac{v^2 \sin 4\alpha}{2g}$. რადგან სხეული ვარდება H სიმაღლიდან $v^2 = 2gH$. ამრიგად, საძიებელი სიდიდისთვის მივიღებთ შემდეგ ფორმულას: $H = \frac{L}{\sin 4\alpha}$.

კუთხით გასროლილი სხეულის მოძრაობა: საზენიტო იარაღიდან ისვრიან ყუმბარას საწყისი v_0 სიჩქარით. განსაზღვრეთ მიზანში მოხვედრის ზონა, ანუ იმ არის საზღვარი, რომლის მიღმა სამიზნე საზენიტო იარაღისთვის მიუწვდომელია. ჰაერის წინააღმდეგობას მხედველობაში ნუ მიიღებთ.

ამოცანის შინაარსი და პირობა მოითხოვს ყურადღებით ანალიზს. საქმე ის არის, რომ ერთი შეხედვით თითქოს აქ მოითხოვება განისაზღვროს ჰორიზონტალურ სიბრტყეში არსებული წვდომის მაქსიმალური ფართის საზღვარი, რაც არასწორია და აი, რატომ. პირობაში არ არის მითითებული, რომ სამიზნე აუცილებლად ჰორიზონტალურ სიბრტყეშია. იგი შეიძლე-

ბა იყოს საზენიტო იარაღის თავზეც ვერტიკალურად და აგრეთვე რაღაც კუთხით ჰორიზონტის ზემოთ. ამდენად, საძიებელი არის საზღვარი იქნება რაღაც ორგანზომილებიანი ზედაპირის ფართობი, რომლის მიღმა მყოფი სამიზნე მიუწვდომელი იქნება საზენიტო იარაღისთვის. ცხადია, ამ ზედაპირის ფუძე, თუ შეიძლება ასე ითქვას, იქნება წრე, ან სხვანაირად რომ ვთქვათ, საძიებელია რაღაც ზღვრული მრუდე ზედაპირი, რომლის კვეთა ჰორიზონტთან წარმოადგენს წრეწირს. განვიხილოთ ჯერ საზენიტო იარაღის თავზე მყოფი სამიზნე. ამ შემთხვევაში ყუმბარა წავა ვერტიკალურად ზევით, მიაღწევს მაქსიმალურ h სიმაღლეს. სწორედ h სიმაღლის ვერტიკალის გადაკვეთის წერტილი საძიებელ ზედაპირთან იქნება ის საზღვარი, რომლის მიღმაც სამიზნე მიუწვდომელია. ახლა განვიხილოთ ჰორიზონტალურ ზედაპირზე მყოფი სამიზნე. ცხადია, საძიებელი ზედაპირის კვეთა ჰორიზონტალურ სიბრტყესთან შეადგენს წრეწირს, რომლის რადიუსიც იქნება მაქსიმალური ფრენის სიშორე (ჩათვალეთ, რომ საზენიტო იარაღი იმყოფება ამ წრეწირის ცენტრში). ცნობილია, რომ ამ შემთხვევაში ჰორიზონტალური ფრენის მაქსიმალური სიშორე მიიღწევა სხეულის გასროლისას ჰორიზონტისადმი 45^0 კუთხით და იგი ტოლია $l = \frac{v_0^2}{g}$. მაშასადამე, სამიზნე მიუღწეველი იქნება l რადიუსის მქონე წრის გარეთ. თუ სამიზნე მოთავსებულია სივრცეში განხილულ ორ ზღვრულ შემთხვევას შორის, მაშინ უნდა მოიძებნოს განტოლება, რომელიც ამ ზედაპირს აღწერს. ცხადია, სამიზნე შეიძლება იყოს გასროლის ნებისმიერი მიმართულებით და საძიებელი ზედაპირი იქნება კუთხით გასროლილი სხეულის მოძრაობის ყველა შესაძლო ტრეაქტორიის მომვლები ზედაპირი (იხ. ნახ. 6).



ნახ. 6

ჩვენ ვეძებთ ზედაპირს, რომელიც ჩადგმულია სამგანზომილებიან სივრ-ცეში. ამოცანის გამარტივების მიზნით ვიპოვოთ შესაფერისი ტრაექტორია XOY სიბრტყეში. საძიებელი ზედაპირი შეიძლება მივიღოთ მიღებული ტრაექტორიის ბრუნვით ვერტიკალური ღერძის გარშემო, რომელიც გა-დის წრეწირის ცენტრზე. v_0 სიჩქარით კუთხით გასროლილი სხეულის მოძრაობის განტოლებებს XOY სიბრტყეში აქვთ შემდეგი სახე:

$$x = v_0 \cos\alpha \cdot t \qquad y = v_0 \sin\alpha \cdot t - \frac{gt^2}{2}.$$

ტრაექტორიის განტოლების მისაღებად გამოვრიცხოთ ამ განტოლებები-დან დრო. მივიღებთ:

$$y = x\tan\alpha - \frac{gx^2}{2v_0^2}(1+\tan^2\alpha). \qquad (1)$$

ეს არის პარაბოლის განტოლება, რომელშიც x და x^2 კოეფიციენტები წარმოადგენენ α კუთხის ფუნქციებს. ეს ნიშნავს, რომ საწყისი სიჩქარის სხვადასხვა მიმართულებისთვის მიიღება განსხვავებული ტრაექტორიები. ამრიგად მიღებული განტოლება აღწერს ტრაექტორიების ერთობლიობას ერთი და იგივე v_0 სიჩქარისთვის, მაგრამ სიჩქარის განსხვავებული მიმარ-თულებებისთვის. ამ განტოლებას შეიძლება მივცეთ სხვა ინტერპრეტაცია. თუ განვიხილავთ x და y-ს, როგორც სამიზნის კოორდინატებს, მაშინ მოცემული კოორდინატებისთვის ეს განტოლება განსაზღვრავს კუთხეს, რომლითაც უნდა მოხდეს გასროლა v_0 სიჩქარით, რათა ყუმბარა სამიზ-ნეს მოხვდეს. ამ განტოლების ამოხსნა იქნება:

$$\tan\alpha = \frac{1}{gx}(v_0^2 \pm \sqrt{v_0^4 - g(gx^2 + 2v_0^2 y)}.$$

თუ ფესვქვეშა გამოსახულება – დისკრიმინანტი – უარყოფითია, განტო-ლებას არ აქვს ამოხსნა. ეს ნიშნავს, რომ სამიზნე საძიებელი საზღვრის მიღმა არის. სამიზნის კოოდინატები ეკუთვნიან საზღვარს, თუ დისკრიმი-ნანტი ნულის ტოლია ე.ი.

$$v_0^4 - g(gx^2 + 2v_0^2 y) = 0,$$

საიდანაც მივიღებთ:

$$y = \frac{v_0^2}{2g} - \frac{gx^2}{2v_0^2}. \qquad (2)$$

ეს არის პარაბოლის განტოლება, რომლის წვეროს კოორდინატებია $x=0$ და $y=\frac{v_0^2}{2g}$. ამასთან, x^2 კოეფიციენტი უარყოფითია და პარაბოლას ტოტები მიმართულია ქვემოთ. ისინი x ღერძს კვეთენ წერტილებში $x=\pm\frac{v_0^2}{g}$. ეს ის წერტილებია, რომლებშიც გადის საძიებელი საზღვარი და რომლებიც ჩვენ მივიღეთ ამოცანის ამოხსნის დასაწყისში. შევნიშნოთ, რომ მიღებული განტოლება არის საძიებელი ზედაპირის და XOY სიბრტყის კვეთა. თვითონ ზედაპირი მიიღება პარაბოლის ბრუნვით y ღერძის გარშემო. თუ სამიზნის კოორდინატები არ ძევს საზღვარზე, ანუ სამიზნე იმყოფება, დავუშვათ, A წერტილში ზღვრული ზედაპირის შიგნით, მაშინ დისკრიმინანტი აღარ არის ნულის ტოლი, ის დადებითია და განტოლებას $\tan$-თვის აქვს ორი ამოხსნა, ე.ი. ამ წერტილზე გადის ორი სხვადასხვა ტრაექტორია.

ამავე შედეგს მივიღებთ, თუ ტრაექტორიის განტოლებას (1) განვიხილავთ, როგორც x ფუნქციას. წარმოვიდგინოთ, რომ სამიზნე ვერტიკალის ნებისმიერ წერტილშია ერთი რომელიმე x კოორდინატით და ნებისმიერი y კოორდინატით. მაშინ ამოცანა დაიყვანება (1) განტოლების მარჯვენა მხარის მაქსიმუმის პოვნაზე $\tan\alpha$-ს მიმართ. ადვილი საპოვნელია, რომ ეს მაქსიმუმი მდებარეობს $\tan\alpha=\frac{v_0^2}{gx}$-თვის (მაქსიმუმის მდებარეობას ვპოულობთ ან (1) განტოლების გაწარმოებით $\tan\alpha$-ს მიმართ, ან პარაბოლის წვეროს კოორდინატების პოვნით). თუ ჩავსვამთ ამ მნიშვნელობას (1)-ში მივიღებთ განტოლებას, რომელიც ემთხვევა (2).

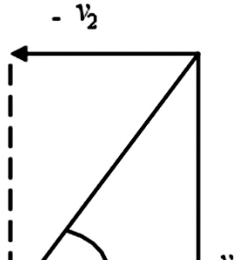
ბგერითი იმპულსების გამოსხივება: წყალქვეშა ნავი რომელიც იძირება წყალში, უშვებს ბგერით იმპულსებს, რომელთა ხანგრძლივობაა t_1=30.1 წმ. ფსკერიდან ბგერის არეკვლის შემდეგ ნავის მიერ მიღებული იმპულსების ხანგრძლივობა შეადგენს t_2=29.9 წმ. გამოიანგარიშეთ ნავის ჩაძირვის სიჩქარე. ბგერის სიჩქარე წყალში v=1500 მ/წმ.

ნავის ჩაძირვის სიჩქარე აღვნიშნოთ u-თი. პირველი გამოსხივებული იმპულსის მიერ გავლილი მანძილი მეორე იმპულსამდე იქნება $s=vt_1$, მაგრამ იმავე დროში ნავი იგივე მიმართულებით გადაადგილდება $s=ut_1$ მანძილით, რაც ნიშნავს, რომ მეორე იმპულსის გამოსხივების მომენტისთვის ბგერამ გაიარა მანძილი $s=(v-u)t_1$. ეს მანძილი მუდმივია ორ მომდევნო იმპულსს შორის. ფსკერიდან ბგერის არეკვლის შემდეგ კი იგი

ტოლი იქნება $s=(v+u)t_2$, რადგან ბგერა და ნავი მოძრაობენ ურთიერთ-შემხვედრი მიმართულებით. განტოლების $(v-u)t_1=(v+u)t_2$ ამოხსნით მივიღებთ $u=\dfrac{t_1-t_2}{t_1+t_2}v$ =5 მ/წმ.

წვიმის წვეთების ვარდნა: ჰორიზონტალურად თანაბრად მოძრავ ურიკაზე დამაგრებულია მილი. რა კუთხით უნდა დავხაროთ ეს მილი, რომ მოძრაობის დროს ვერტიკალურად ვარდნილი წვიმის წვეთი არ შეეხოს მილის კედელს და დაეცეს მილის ძირზე? ჩათვალეთ, რომ ჰაერის წინააღმდეგობის გამო წვიმის წვეთის სიჩქარე მუდმივია და v_2=60მ/წმ, ხოლო ურიკის სიჩქარე v_2 =10მ/წმ.

განვიხილოთ მოძრაობა დედამიწასთან დაკავშირებულ ათვლის სისტემაში. ცხადია, რომ მილი ჰორიზონტისადმი კუთხით უნდა იყოს დახრილი. მოდით, შევხედოთ ამ პროცესს ურიკასთან დაკავშირებულ ათვლის სისტემაში. რადგან ურიკა მოძრაობს წრფივად და თანაბრად, მასთან დაკავშირებული ათვლის სისტემაც იქნება ინერციული ათვლის სისტემა. ამ სისტემაში ურიკა უძრავია, ხოლო წვიმის წვეთი მოძრაობს არა ვერტიკალურად, არამედ ვერტიკალის მიმართ კუთხით და, მაშასადამე, მას გააჩნია სიჩქარის როგორც ვერტიკალური, ასევე ჰორიზონტალური მდგენელები. ამასთან ვერტიკალური მდგენელია სიჩქარე v_1, ანუ წვეთის სიჩქარე უძრავი ათვლის სისტემის მიმართ, ხოლო ჰორიზონტალური მდგენელი იქნება - v_2 (იხ. ნახ. 1).



ნახ. 1

ამოცანის პირობის თანახმად, წვეთი არ უნდა მოხვდეს მილის კედელს. ეს ნიშნავს, რომ წვეთის ორი ურთიერთმართობული სიჩქარის ვექტორული ჯამი უნდა იყოს მილის კედლების პარალელური და საძიებელი კუთხე იქ-

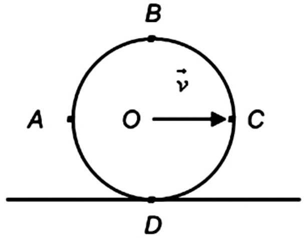
ნება კუთხე ამ ჯამურ ვექტორსა და - v_2 ვექტორს შორის. ეს კუთხე მარტივი გამოსათვლელია:

$$\alpha = \arctan\frac{v_1}{v_2} = \arctan 3 \approx 71^0$$

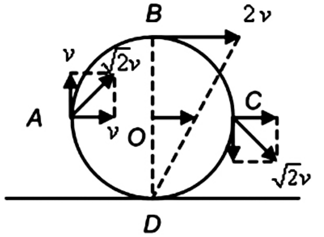
წრიული ფორმის სხეულის წერტილების სიჩქარე: წრიული ფორმის მყარი სხეული მიგორავს ჰორიზონტალურ ზედაპირზე მუდმივი v სიჩქარით სრიალის გარეშე (ნახ. 2).

1) დაამტკიცეთ, რომ რგოლის საზღვრის (წრეწირის) ნებისმიერი წერტილის სიჩქარის სიდიდე სხეულის O ცენტრის მიმართ უდრის სხეულის გადატანითი მოძრაობის სიჩქარის სიდიდეს.
2) განსაზღვრეთ A, B, C, D წერტილების სიჩქარის სიდიდე უძრავი ათვლის სისტემის მიმართ.
3) სხეულის რომელ წერტილებს ექნებათ უძრავი ათვლის სისტემის მიმართ სიდიდით იგივე სიჩქარე, რაც სხეულის ცენტრს?

1) ერთი სრული ბრუნის დროს სხეული გაივლის მანძილს, რომელიც ტოლია $2\pi r$ -ს, სადაც r არის სხეულის რადიუსი. ამ მანძილის დაფარვას სხეულმა უნდა მოანდომოს T პერიოდის ტოლი დრო და, მაშასადამე, გადატანითი მოძრაობის სიჩქარე $v_{გად} = \frac{2\pi r}{T}$. მეორე მხრივ, ბრუნვითი მოძრაობის დროს სხეულის საზღვარზე – წრეწირზე – მყოფი წერტილების წირითი სიჩქარე O ცენტრის მიმართ $v_{წირ} = \omega r$, სადაც ω არის სხეულის ბრუნვის კუთხური სიჩქარე. რადგან $\omega = \frac{2\pi}{T}$, გამოდის, რომ $v_{გად} = v_{წირ}$, რისი დამტკიცებაც მოითხოვებოდა.
2) ვთქვათ, სხეული მოძრაობს მარცხნიდან მარჯვნივ გადატანითი v სიჩქარით. უძრავი ათვლის სისტემის მიმართ A, B, C, D წერტილების სიჩქარის სიდიდის განსაზღვრისთვის გამოვიყენოთ სიჩქარეთა შეკრების წესი, რომელიც აკავშირებს სხეულის სიჩქარეებს უძრავი და მოძრავი ათვლის სისტემების მიმართ ერთმანეთთან და მოძრავი ათვლის სისტემის სიჩქარესთან. ამ წესის თანახმად, სხეულის (მატერიალური წერტილის) სიჩქარე უძრავი ათვლის სისტემის მიმართ ტოლია მოძრავი ათვლის სიტემის სიჩქარის უძრავი ათვლის სისტემის მიმართ და მოძრავი ათვლის სისტემის მიმართ ამ სხეულის (მატერიალური



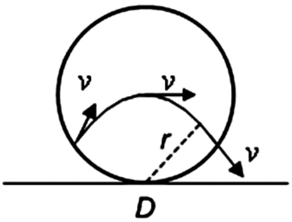
ნახ. 2



ნახ. 3

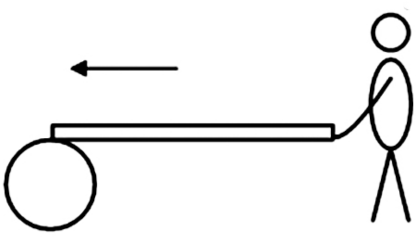
წერტილის) სიჩქარის ვექტორული ჯამის. ჩვენს შემთხვევაში მოძრავი ათვლის სისტემას წარმოადგენს სხეულის გეომეტრიულ O ცენტრთან დაკავშირებული ათვლის სისტემა. წერტილისთვის გვაქვს: ამ წერტილის სიჩქარე ცენტრის მიმართ მიმართულია ვერტიკალურად ზევით A წერტილში წრეწირის მხების გასწვრივ. ცენტრის გადატანითი მოძრაობის სიჩქარე მიმართულია ჰორიზონტალურად მარჯვნივ (ეს სამართლიანია ნებისმიერი განსახილველი წერტილისთვის). ჩვენ უკვე ვაჩვენეთ, რომ ეს ორი სიჩქარე მოდულით ერთმანეთის ტოლია. ნახაზიდან თვალნათლივ ჩანს, რომ A წერტილის სიჩქარე უძრავი ათვლის სისტემის მიმართ მოდულით უდრის $\sqrt{2}v$ -ს, ხოლო ამ სიჩქარის მიმართულება ჰორიზონტთან (და შესაკრებ სიჩქარეებთან) შეადგენს 45^0 კუთხეს. იმავე მოდულის სიჩქარეს მივიღებთ C წერტილისთვის. ეს სიჩქარეც შესაკრებ სიჩქარეებთან ადგენს 45^0 კუთხეს, ჰორიზონტთან კი -45^0 კუთხეს (რაც გამოწვეული იმით, რომ C წერტილის სიჩქარე ცენტრის მიმართ მიმართულია ვერტიკალურად ქვევით. B წერტილის სიჩქარე O ცენტრის მიმართ მოდულითაც და მიმართულებითაც ემთხვევა ცენტრის გადატანითი მოძრაობის სიჩქარეს. ამრიგად, ამ წერტილის სიჩქარის მოდული უძრავი ათვლის სისტემის მიმართ ტოლია $2v$ -ს, ხოლო მიმართულება ემთხვევა გადატანითი მოძრაობის სიჩქარეს. მკითხველისთვის, სავარაუდოდ, ძნელი მისახვედრი არ უნდა იყოს, რომ D წერტილი მყისიერად უძრავია უძრავი ათვლის სისტემის მიმართ, რადგან ამ წერტილის წირითი სიჩქარე ცენტრის მიმართ მიმართულია გადატანითი მოძრაობის საპირისპიროდ და მოდულით მისი ტოლია. ამ შედეგების ილუსტრაციას წარმოადგენს მუხლუხების მქონე სხეულების მოძრაობა. როგორც ცნობილია, მუხლუხას დედამიწის ზედაპირზე მყოფი ნაწილი უძრავია და ბორბლები მასზე მიგორავენ. მუხლუხას ზედა, დედამიწის პარალელური ნაწილი კი მოძრაობს სხეულის გაორმაგებული გადატანითი სიჩქარით.

3) BD დიამეტრზე მყოფი წერტილების მყისიერი სიჩქარე იზრდება D წერტილიდან მანძილის ზრდასთან ერთად. ეს ნიშნავს, რომ სხეულის გორვა შეიძლება წარმოვიდგინოთ, როგორც ბრუნვა D წერტილზე სხეულის სიბრტყის მართობულად გამავალი მყისიერი ღერძის მიმართ. ეს მყისიერი ღერძი ასრულებს გადატანით მოძრაობას. ამიტომ დროის მოცემული მომენტისთვის ყველა ის წერტილი, რომელიც იმყოფება ამ ღერძიდან ერთი და იმავე მანძილზე, იმოძრავებს ტოლი სიდიდის სიჩქარით. ჩვენ გვაინტერესებს წერტილები, რომლებიც მოძრაობენ ცენტრის სიჩქარით. ცხადია, ამ წერტილების გეომეტრიული ადგილი იქნება მრუდი, რომლის წერტილები მყისიერი ღერძიდან დაშორებულია სხეულის რადიუსის ტოლი მანძილით (იხ. ნახ. 4).



ნახ. 4

გორვა და გადატანითი მოძრაობა: ადამიანს ჰორიზონტალურ მდგომარეობაში უჭირავს l სიგრძის ფიცარი ერთი ბოლოთი, რომლის მეორე ბოლო დაყრდნობილია ცილინდრზე (ნახ. 5). ცილინდრს შეუძლია სრიალის გარეშე გორვა. სრიალი არ არის აგრეთვე ფიცარსა და ცილინდრს შორის. რა მანძილი უნდა გაიაროს ადამიანმა, რომ მიაღწიოს ცილინდრს?



ნახ. 5

ამ ამოცანის ამოხსნის დროს უნდა გავითვალისწინოთ, რომ ჰორიზონტალურ ზედაპირზე მუდმივი გადატანითი v სიჩქარით გორვის დროს ცი-

ლინდრის ზედაპირის წერტილები დედამიწასთან დაკავშირებულ უძრავ ათვლის სისტემის მიმართ მოძრაობენ სხვადასხვა სიჩქარით. კერძოდ, დედამიწასთან შეხებაში მყოფი წერტილის სიჩქარე ნულის ტოლია, ხოლო მისი დიამეტრალურად საწინააღმდეგო წერტილის სიჩქარე ორჯერ მეტია იმ სიჩქარეზე, რომლითაც ცილინდრის ღერძი მოძრაობს უძრავი ათვლის სისტემის მიმართ. (იხ. წინა ამოცანა). რადგან ფიცარი წარმოადგენს ცილინდრის მხებს ამ წერტილში, ადამიანიც, რომელიც ფიცარს აწვება, იგივე სიჩქარით მოძრაობს. ამიტომ, თუ მან გაიარა l მანძილი, მაშინ ცილინდრი წინ გადაადგილდება $\frac{l}{2v}v=\frac{l}{2}$ მანძილით. ამრიგად, ცილინდრამდე რომ მივიდეს, ადამიანმა უნდა გაიაროს კიდევ დამატებით l მანძილი, ანუ სულ $2l$ მანძილი.

აჩქარებული მოძრაობა სიბრტყეზე: დახრილ სიბრტყეზე ქვემოდან ზევით ააგორეს ბურთულა. მოძრაობის საწყისი წერტილიდან l =30სმ მანძილზე ბურთულა მოხვდა ორჯერ მოძრაობის დაწყებიდან t_1 =1 წმ და t_2 =2 წმ შემდეგ. გამოთვალეთ ბურთულას აჩქარება a და საწყისი სიჩქარე v_0, თუ აჩქარება მუდმივია.

ამ ამოცანაში ჩვენ არ გვაინტერესებს აჩქარების გამომწვევი ძალები. ვიცით, რომ სხეულს გააჩნია აჩქარება, რომელიც მიმართულია დახრილი სიბრტყის გასწვრივ. რადგან მოძრაობა ერთგანზომილებიანია, მივმართოთ x ღერძი სიბრტყის პარალელურად ზევით ისე, რომ მისი სათავე იყოს მოძრაობის საწყის წერტილში. ამოცანა შეიძლება ამოიხსნას ორი გზით.

პირველი გზა: ბურთულას მოძრაობის განტოლება ათვლის არჩეული სისტემის მიმართ იქნება $x=v_{0x}t+\frac{a_x t^2}{2}$. დროის t_1 და t_2 მომენტებისთვის x $=l$ და დროის ეს მომენტები აკმაყოფილებენ კვადრატულ განტოლებას $t^2+\frac{2v_{0x}}{a_x}t-\frac{2l}{a_x}=0$. ვიეტას თეორემის თანახმად

$$t_1+t_2=-\frac{2v_{0x}}{a_x},\quad t_1t_2=-\frac{2l}{a_x}.$$

ამ განტოლებების ამოხსნა გვაძლევს v_{0x} =45 სმ/წმ, a_x =-30 სმ/წმ^2. როგორც ვხედავთ, საწყისი სიჩქარე მიმართულია x ღერძის გასწვრივ, ხოლო აჩქარება – ღერძის საპირისპიროდ.

მეორე გზა: ბურთულას მოძრაობის სიჩქარე დროის ნებისმიერი მომენტისთვის ათვლის არჩეულ სისტემაში იქნება $v_x = v_{0x} + a_x t$. დროის t_1 და t_2 მომენტებისთვის $v_{1x} = v_{0x} + a_x t_1$, $v_{2x} = v_{0x} + a_x t_2$ შესაბამისად. ამასთან, ამოცანის პირობის შესაბამისად, $v_{2x} = -v_{1x}$. ამ უკანასკნელის გათვალისწინებით მივიღებთ $v_{0x} + a_x t_2 = -v_{0x} - a_x t_1$, ანუ $2v_{0x} = -a_x(t_2 + t_1)$. გვჭირდება კიდევ ერთი განტოლება. გავიხსენოთ, რომ თანაბრაჩქარებული მოძრაობის საშუალო სიჩქარე ტოლია მოძრაობის საწყისი და საბოლოო სიჩქარეების ნახევარჯამის. დროის t_1 შუალედისთვის $v_{\text{საშ}} = \frac{v_0 + v_{1x}}{2} = \frac{2v_0 + a_x t_1}{2}$. მეორე მხრივ $v_{\text{საშ}} = \frac{l}{t_1}$. მივიღებთ მეორე საძიებელ განტოლებას $2v_{0x} + a_x t_1 = \frac{2l}{t_1}$

მიღებული ორი განტოლების ამოხსნა იქნება, $a_x = -\frac{2l}{t_1 t_2}$ =-30 სმ/წმ^2 და $v_{0x} = \frac{l}{t_1} + \frac{l}{t_2}$ =45 სმ/წმ.

ორი სხეულის აჩქარებული მოძრაობა: კოშკიდან ერთმანეთის მიყოლებით ისვრიან ორ სხეულს ერთნაირი საწყისი v_0 სიჩქარით. პირველ სხეულს ისვრიან ვერტიკალურად ზევით, მეორეს რაღაც τ დროის შემდეგ – ვერტიკალურად ქვევით. განსაზღვრეთ სხეულების ფარდობითი სიჩქარე და მანძილი მათ შორის დროის ნებისმიერი $t > \tau$ მომენტისთვის.

აღვნიშნოთ x_1, v_1 პირველი სხეულის კოორდინატი და სიჩქარე კოშკის მიმართ. შესაბამისად, x_2, v_2 მეორე სხეულის კოორდინატი და სიჩქარე. რადგან მოძრაობა ერთგანზომილებიანია, საკმარისია ერთი საკოორდინატო ღერძი და იგი ავირჩიოთ ვერტიკალურად ზევით, რომლის სათავეში იმყოფება კოშკი. ამ ღერძის მიმართ ორივე სხეულის მოძრაობის განტოლებები იქნება:

$$x_1 = v_0 t - \frac{gt^2}{2} \quad \text{და} \quad x_2 = -v_0(t-\tau) - \frac{g(t-\tau)^2}{2}.$$

სხეულების სიჩქარეებისთვის სამართლიანია შემდეგი განტოლებები:

$$v_1 = v_0 - gt \quad \text{და} \quad v_2 = -v_0 - g(t-\tau).$$

ჩვენ გვაინტერესებს სხეულების ფარდობითი სიჩქარე. პირველი სხეულის სიჩქარე მეორის მიმართ იქნება $u = v_1 - v_2 = 2v_0 - g\tau$ და, როგორც ვხედავთ, დროში არ იცვლება (τ არის დროის ფიქსირებული მომენტი და

არა ცვლადი). მაშასადამე, სხეულები ერთმანეთის მიმართ მოძრაობენ თანაბრად და წრფივად. სხეულებს შორის მანძილი გამოითვლება შემდეგი ფორმულით

$$s = x_1 - x_2 = (2v_0 - g\tau)t - v_0\tau + \frac{g\tau^2}{2}.$$

მანძილი სხეულებს შორის დროის მიხედვით წრფივად იცვლება, რაც ადასტურებს, რომ სხეულები ერთმანეთის მიმართ მოძრაობენ წრფივად და თანაბრად.

ორი სხეულის მოძრაობა ვერტიკალის გასწვრივ: სხეული H =45 მ სიმაღლიდან იწყებს თავისუფალ ვარდნას. იმავდროულად პირველი სხეულიდან h =21 მ-ით დაბლა მყოფი წერტილიდან ვერტიკალურად ზევით ისვრიან მეორე სხეულს. განსაზღვრეთ მეორე სხეულის საწყისი სიჩქარე, თუ ორივე სხეული ერთდროულად ვარდება მიწაზე. ჰაერის წინააღმდეგობა უგულებელყავით.

ამოცანა შეიძლება ამოიხსნა ორი გზით.

პირველი გზა: ავირჩიოთ საკოორდინატო ღერძი ვერტიკალურად ზევით და სათავით დედამიწის ზედაპირზე. სხეულების კოორდინატები აღვნიშნოთ შესაბამისად – x_1 და x_2. მაშინ მათი მოძრაობის განტოლებები იქნება:

$$x_1 = H - \frac{gt^2}{2}, x_2 = H - h + v_0 t - \frac{gt^2}{2}.$$

სადაც v_0 არის მეორე სხეულის საწყისი სიჩქარე. რადგან სხეულები ერთდროულად ვარდებიან და დაცემის წერტილში $x_1 = x_2 = 0$, მივიღებთ $H = \frac{gt^2}{2}$ და $v_0 t = h$. საბოლოოდ, საწყისი სიჩქარისთვის მივიღებთ:

$$v_0 = h\sqrt{\frac{g}{2H}} = 7 \text{ მ/წმ}.$$

მეორე გზა: ჩვენ წინა ამოცანაში ვნახეთ, რომ აჩქარებით მოძრავი ორი სხეული ერთმანეთის მიმართ მოძრაობს წრფივად და თანაბრად. რადგან პირველი სხეული ვარდება უსაწყისო სიჩქარით, ხოლო მეორე სხეულის

საწყისი სიჩქარეა v_0 და ისინი ერთდროულად იწყებენ მოძრაობას, მათი ფარდობითი სიჩქარე იქნება v_0. მანძილი მათ შორის არის h და, მაშასადამე, $h = v_o t$ პირველ სხეულთან დაკავშირებულ ათვლის სისტემაში, სადაც t არის პირველი სხეულის ვარდნის დრო: $t = \sqrt{\frac{2H}{g}}$. საბოლოოდ

$$v_0 = h\sqrt{\frac{g}{2H}} = 7 \text{მ/წმ.}$$

გაჩერების მინიმალური დრო: მოციგურავე მუდმივი v სიჩქარით გადის L =500მ მანძილს და შემდეგ იწყებს დამუხრუჭებას a =0.05 მ/წმ² აჩქარებით. როგორი სიდიდის სიჩქარის შემთხვევაშია გაჩერების დრო მინიმალური?

ამ ამოცანის ამოხსნა შესაძლებელია ორი გზით. ერთი გზა გულისხმობს წარმოებულის გამოყენებას, ხოლო მეორე გზა – კვადრატული განტოლების დისკრიმინანტის გამოკვლევას. ორივე გზა დაფუძნებულია ერთი და იმავე განტოლების გამოკვლევაზე. რადგან საძიებელია სიჩქარის სიდიდე, რომლითაც მოძრაობდა მოციგურავე დამუხრუჭების დაწყებამდე და გვაინტერებს გაჩერების მინიმალური დრო, უნდა მოვნახოთ განტოლება, რომელიც ამ დროს აკავშირებს სიჩქარესთან. თუ დამუხრუჭებამდე მოძრაობის დროს აღვნიშნავთ t_1-ით, ხოლო დამუხრუჭების დროს t_2-ით, მაშინ მთელი მოძრაობის დრო იქნება:

$$t = t_1 + t_2 = \frac{L}{v} + \frac{v}{a}.$$

აქ ჩვენ გავითვალისწინეთ, რომ მოციგურავე იწყებს დამუხრუჭებას v სიჩქარით. ამოცანის ამოხსნის **პირველი გზა** მდგომარეობს ამ განტოლების, როგორც სიჩქარის მიმართ კვადრატული განტოლების, დისკრიმინანტის გამოკვლევაში. განტოლება გადავწეროთ შემდეგი სახით: $v^2 - atv + aL = 0$. მისი დისკრიმინანტია $D = a^2t^2 - 4aL$. განტოლებას (და, მაშასადამე, ამოცანას) ამონახსნი აქვს, თუ დისკრიმინანტი $D \geq 0$. დისკრიმინანტი არის დამოკიდებული მოძრაობის სრულ დროზე და ის უნდა იყოს მინიმალური. ცხადია, ეს მოხდება, თუ დისკრიმინანტი ნულის ტოლი იქნება. ამრიგად, დროის მინიმალური, ფიზიკურად დასაშვები მნიშვნელობა იქნება $t = 2\sqrt{\frac{L}{a}}$ (დრო არ შეიძლება იყოს უარყოფითი), ხოლო სიჩქარე, რომელიც შეესაბამება ამ მინიმალურ დროს (კვადრატული განტოლების ამოხსნა ნულოვანი დისკრიმინანტით), ტოლია $v = \sqrt{aL}$ =5 მ/წმ.

ამოხსნის **მეორე გზა:** მოძრაობის სრული დრო t განვიხილოთ, როგორც სიჩქარის ფუნქცია და მოვნახოთ გაწარმოებით ამ ფუნქციის კრიტიკული წერტილები. დროის გაწარმოებით სიჩქარით მიიღება განტოლება:

$$t^{'} = -\frac{L}{v^2} + \frac{1}{a} = 0 .$$

ამ განტოლების ამოხსნებია: $v = \pm\sqrt{La}$. ადვილი საჩვენებელია, რომ უარყოფითი ამოხსნა არ შეესაბამება მინიმალურ დროს. კერძოდ, დროის მეორე რიგის წარმოებული სიჩქარით $t'' = \frac{L}{v^3}$. ფუნქციის მინიმუმი არსებობს იმ წერტილებში, რომლებისთვისაც მეორე რიგის წარმოებული არის დადებითი. ასეთი წერტილია $v = \sqrt{La}$ =5 მ/წმ. გარდა ამისა, უარყოფითი მნიშვნელობა ფიზიკურად არის მიუღებელი, რადგან განტოლებაში ჩვენ გვაქვს სიჩქარის სიდიდე (და არა გეგმილი საკოორდინატო ღერძზე), რომელიც არ შეიძლება იყოს უარყოფითი.

ორ ავტომობილს შორის მანძილი: ორი ავტომობილი მოძრაობს წრფივ გზაზე ერთი და იგივე მიმართულებით. მათ შორის საწყისი მანძილია 300 მ. პირველი ავტომობილის სიჩქარეა 36 კმ/სთ, მეორესი – ორჯერ მეტი. რაღაც მომენტში ორივე ერთდროულად იწყებს აჩქარებულ მოძრაობას მუდმივი აჩქარებით. პირველის აჩქარებაა 1 მ/წმ^2, მეორესი – ორჯერ ნაკლები. იპოვეთ მათ შორის მინიმალური მანძილი.

ეს ამოცანაც, წინა ამოცანების მსგავსად, შეიძლება ამოიხსნას ორი ხერხით. ორივე ავტომობილის მოძრაობა არის წრფივი და თანაბრაჩქარებული. რადგან ვეძებთ მინიმალურ მანძილს (დროის გარკვეული მომენტისთვის), გვჭირდება მოძრაობის განტოლება. საკოორდინატო ღერძი ავირჩიოთ მოძრაობის მიმართულებით, რომლის სათავეშია მეორე ავტომობილი. თუ ავტომობილებს შორის საწყის მანძილს აღვნიშნავთ $s(t)$-თ, სიჩქარეებს შესაბამისად – v_1, v_2-თ, ხოლო აჩქარებებს – a_1, a_2-თ, მაშინ ავტომობილების მოძრაობის განტოლებები იქნება

$$x_1(t) = 300 + v_1 t + \frac{a_1 t^2}{2} \text{ და } x_2(t) = v_2 t + \frac{a_2 t^2}{2},$$

ხოლო მათ შორის მანძილი

$$s(t) = 300 + (v_1 - v_2)t + \frac{(a_1 - a_2)t^2}{2}.$$

ეს არის განტოლება, რომელიც უნდა გამოვიკვლიოთ, კერძოდ, ვიპოვოთ მისი მინიმალური მნიშვნელობა. ვიდრე დავიწყებდეთ, მოხერხებული იქნება, თუ შევიტანთ რიცხვით მნიშვნელობებს (წინასწარ კმ/სთ გადავიყვანოთ მ/წმ-ში). მივიღებთ

$$s(t) = 300 - 10t + 0.5t^2 .$$

პირველი გზა: ფუნქციის მინიმუმი გამოვიკვლიოთ გაწარმოების გზით. რადგან გვაქვს კვადრატული ფუნქცია, გვექნება ერთი კრიტიკული წერტილი. გავაწარმოოთ $s(t)$ დროით. კრიტიკული წერტილი იქნება შემდეგი განტოლების ამოხსნა: $s'(t) = -10 + t = 0$, საიდანაც $t = 10$ წმ. ადვილი მისახვედრია, რომ ამ წერტილში ფუნქციას გააჩნია მინიმუმი, რადგან ფუნქციის მეორე რიგის წარმოებული დროის ამ მნიშვნელობისთვის არის დადებითი. ამრიგად, მინიმალური მანძილი ავტომობილებს შორის მიიღწევა აჩქარებული მოძრაობის დაწყებიდან $t = 10$ წამში და ეს მინიმალური მანძილი ტოლია: $s(10) = 250$ მ.

მეორე გზა: ფუნქციის დისკრიმინანტი ტოლია $D = -500$ და იგი უარყოფითია. ეს ნიშნავს, რომ ფუნქციას არ გააჩნია აბსცისთა ღერძთან (ეს არის დრო) თანაკვეთის წერტილები. მაშასადამე, ფუნქცია დროის მთელ არეში არის დადებითი და მისი მინიმუმი მიიღწევა პარაბოლის წვეროში, რომლის კოორდინატებია (10,250).

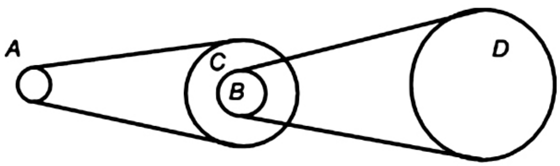
1.2 ბრუნვითი მოძრაობა

საათის ისრები: საათის წუთების ისარი სამჯერ მეტია სიგრძეში, ვიდრე წამების. იპოვეთ ისრების ბოლოების წირითი სიჩქარეების და აჩქარებების სიდიდეების ფარდობა.

საათის ისრების ბოლოების მოძრაობა შეიძლება განვიხილოთ, როგორც მოძრაობა წრეწირზე მუდმივი სიდიდის, მაგრამ მიმართულებით ცვლადი სიჩქარით. სიჩქარე და აჩქარება კი დამოკიდებულია წრეწირზე მოძრავი სხეულის პერიოდზე და წრეწირის რადიუსზე. ამოცანა გვეკითხება ისრების ბოლოებისთვის ამ სიჩქარეების და აჩქარებების ფარდობას. აღვნიშნოთ წუთების ისრის ბოლოს სიჩქარე, პერიოდი და სიგრძე შესაბამი-

სად v_1, T_1, r_1, ხოლო წამების ისრის ბოლოს სიჩქარე, პერიოდი და სიგრძე – v_2, T_2, r_2. , მაშინ, რადგან სიჩქარე $v = \frac{2\pi}{T} r$, საძიებელი ფარდობა იქნება: $\frac{v_1}{v_2} = \frac{T_2}{T_1} \frac{r_1}{r_2}$. ამოცანის პირობის თანახმად $r_1 = 3r_2$. წუთების ისრის პერიოდი კი სამოცჯერ აღემატება წამების ისრის პერიოდს: $T_1 = 60T_2$. ამრიგად, სიჩქარეების შეფარდებისთვის მივიღებთ: $\frac{v_1}{v_2} = \frac{1}{20}$. ე.ი. წამების ისრის ბოლოს სიჩქარის სიდიდე ოცჯერ აღემატება წუთების ისრის ბოლოს სიჩქარის სიდიდეს. თუ გავიხსენებთ, რომ წრეწირზე თანაბრად მოძრავ სხეულს გააჩნია მხოლოდ ცენტრისკენული აჩქარება $a = \frac{4\pi^2}{T^2} r$, აჩქარებების სიდიდეების ფარდობისთვის მივიღებთ: $\frac{a_1}{a_2} = \frac{1}{1200}$ მაშასადამე, წამების ისრის ბოლოს აჩქარება ათას ორასჯერ აღემატება წუთების ისრის ბოლოს აჩქარებას.

ღვედით დაკავშირებული წრიული სხეულები: მოცემულია წრიული სხეულების სისტემა, რომლებიც ბრუნვით მოძრაობას გადასცემენ ღვედების საშუალებით (იხ. ნახ. 1).



ნახ. 1

მოძრაობა გადაეცემა n_1 =1200 ბრ/წთ სიხშირით მოძრავი A სხეულიდან D სხეულს. განსაზღვრეთ D სხეულის ბრუნვის სიხშირე n_4 და კუთხური სიჩქარე ω_4, თუ სხეულების რადიუსები შესაბამისად ტოლია: $r_1 = 8$ სმ, $r_2 = 32$ სმ, $r_3 = 11$ სმ და $r_4 = 55$ სმ. B და C სხეულები დამაგრებულია ხისტად ერთი და იმავე ღერძზე.

სხეულები ასრულებენ ბრუნვით მოძრაობას მუდმივი სიხშირეებით. სხეულები, რომლებიც ერთმანეთთან დაკავშირებულნი არიან ღვედის მეშვეობით, ბრუნავენ განსხვავებული სიხშირეებით, მაგრამ ერთი და იგივე წირითი სიჩქარეებით, ხოლო ერთ ღერძზე ხისტად დამაგრებული სხეულები – ერთი და იგივე სიხშირით, მაგრამ განსხვავებული წირითი სიჩქარეებით. ამის მიზეზი კი არის ის, რომ მათი რადიუსები განსხვავებულია. ცხადია, ტოლი რადიუსების შემთხვევაში ოთხივე სხეულის სიხშირეები

და სიჩქარეები ერთმანეთის ტოლი იქნებოდა. პირველ რიგში, დავწეროთ საძიებელი სიხშირის ფორმულა: $n_4 = \frac{\omega_4}{2\pi}$. გარდა ამისა, ზემოთ ნათქვამიდან გამომდინარე, გვაქვს შემდეგი ტოლობები: $v_1 = v_2, \omega_2 = \omega_{3,} v_3 = v_4$. ამ უკანასკნელი ტოლობების გამოყენებით, აგრეთვე თუ გავიხსენებთ კავშირს წირით სიჩქარეს, კუთხურ სიჩქარესა და ბრუნვის სიხშირეს შორის ($v = \omega r = 2\pi n r$), საძიებელი სიდიდისთვის მივიღებთ შემდეგ ტოლობას: $n_4 = n_1 \frac{r_1 r_3}{r_2 r_4}$ =60ბრ/წთ=1ბრ/წმ. მიაქციეთ ყურადღება, რომ საბოლოო ფორმულაში გვაქვს რადიუსების შეფარდება, ამდენად, გამოანგარიშებისთვის არ არის საჭირო მათი გადაყვანა მეტრებში. კუთხური სიჩქარისთვის მივიღებთ შემდეგ მნიშვნელობას: $\omega_4 = 2\pi$ რად/წმ.

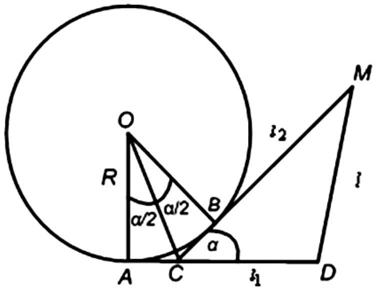
ველოსიპედისტის მიერ გავლილი მანძილი: რა მანძილს გაივლის ველოსიპედისტი პედლების 60 ბრუნის შემთხვევაში, თუ ბორბლის დიამეტრია 70 სმ, წამყვანი კბილანების რიცხვია 48, ხოლო მიმყოლი კბილანების რიცხვი – 18?

ამ ამოცანის ამოხსნის გზა ანალოგიურია წინა ამოცანის. აქ უნდა გავითვალისწინოთ კავშირი კბილანების რაოდენობასა და წრეწირის სიგრძეს შორის. კერძოდ, თუ კბილანების რიცხვია k, მაშინ წრეწირის სიგრძე იქნება $l = l_0 k = 2\pi r$, სადაც l_0 არის მანძილი ორ მეზობელ კბილანას შორის, რომელიც ორივე – წამყვანი და მიმყოლი კბილანებისთვის – უნდა ჩავთვალოთ ერთი და იგივე სიდიდედ. ველოსიპედისტის მიერ გავლილი მანძილი ტოლი იქნება $s = \pi d N_2$, სადაც d არის ბორბლის დიამეტრი, ხოლო N_2 – მიმყოლი ბორბლის ბრუნთა რიცხვი. შევთანხმდეთ და წამყვანი კბილანას მახასიათებელ სიდიდეებს მიუწეროთ ინდექსი ერთი, ხოლო მიმყოლს – ინდექსი 2. მაშინ წინა ამოცანის მიხედვით გვექნება ფორმულების შემდეგი რიგი: $N_2 = \frac{\omega_2}{2\pi} t, \omega_2 = \frac{v_2}{r_2}, v_2 = v_1, v_1 = \omega_1 r_1 = 2\pi \frac{N_1 r_1}{t}$, საიდანაც მივიღებთ $N_2 = \frac{N_1 r_1}{r_2}$, ხოლო რადიუსების შეფარდებისთვის გვექნება: $\frac{r_1}{r_2} = \frac{k_1}{k_2}$. ამრიგად, ველოსიპედისტის მიერ გავლილი მანძილი იქნება: $s = \pi d N_1 \frac{k_1}{k_2} \approx 351$ მ.

მბრუნავი წრიული სხეულიდან ჩამოვარდნილი სხეულები: ბიჭს, რომელიც ზის ω კუთხური სიჩქრით მბრუნავ კარუსელზე ბრუნვის ღერძიდან R მანძილზე, ერთმანეთის მიყოლებით t დროის შუალედით ჯიბიდან

გადმოუვარდა ორი ქვა. ერთმანეთისგან რა მანძილზე დაეცემიან ქვები, თუ ისინი გადმოვარდნენ h სიმაღლიდან?

ამოცანაში აღწერილი მოძრაობა რეალურად არის მოძრაობა სამ განზომილებაში, რადგან ორი ქვა ვარდება რაღაც სიმაღლიდან ერთმანითისადმი კუთხით მიმართული სიჩქარეებით. ბიჭის ჯიბიდან გადმოვარდნილი ქვა იმოძრავებს R რადიუსის მქონე წრეწირის მხების მიმართულებით რაღაც v სიჩქარით, რომელიც მიმართული იქნება ჰორიზონტალურად. მაშასადამე, ადგილი აქვს h სიმაღლიდან ჰორიზონტალურად გასროლილი სხეულის მოძრაობას. ვიცით, რომ ასეთი სხეული ჰორიზონტალური მიმართულებით მოძრაობს თანაბრად და წრფივად, ხოლო ვერტიკალური მიმართულებით ვარდება თავისუფლად g აჩქარებით. უფრო კარგად რომ წარმოვიდგინოთ, მოძრაობას შევხედოთ ზემოდან, ანუ როგორც იტყვიან, ზედხედში (იხ. ნახ. 2).



ნახ. 2

დავუშვათ, პირველი ქვა გადმოვარდა A წერტილიდან და დაეცა დედამიწაზე D წერტილში. კოორდინატთა სისტემა ავირჩიოთ ისე, რომ OX ღერძი იყოს მიმართული AD გასწვრივ, ხოლო მეორე OY ღერძი – მის მართობულად რადიუსის გასწვრივ ცენტრისკენ (მესამე, OZ ღერძი, რომლის გასწვრივ სხეული თავისუფლად ვარდება, მიმართული იქნება წრეწირის სიბრტყის მართობულად). მაშინ ჰორიზონტალური მიმართულებით ქვამ დაცემამდე გაიარა l_1 მანძილი (AD). რაღაც t დროის შემდეგ ბიჭმა შემოწერა α კუთხის შესაბამისი რკალი და მოვიდა B წერტილში. ამ წერტილში მას კიდევ გადმოუვარდა ქვა, რომელმაც გააგრძელა მოძრა-

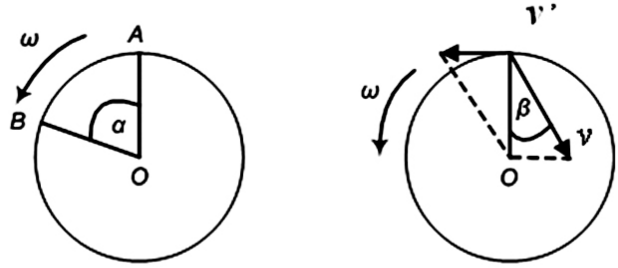
ობა ჰორიზონტალურად წრფივად და თანაბრად, ხოლო ვერტიკალურად – თანაბარაჩქარებულად. იგი დაეცა M წერტილში. მან ჰორიზონტალური მიმართულებით გაიარა l_2 მანძილი (BM). საძიებელია l მანძილი დაცემის წერტილებს შორის (DM). ნახაზიდან ადვილი მისახვედრია, რომ l_1 და l_2 მანძილებს შორის კუთხე ტოლია სწორედ t დროში შემოწერილი α კუთხის. განვიხილოთ სამკუთხედი CMD და გამოვიყენოთ მასში კოსინუსების თეორემა, რომლის თანახმად: $l^2=CM^2+DC^2-2CM\cdot DC\cos\alpha$. სამკუთხედები AOC და COB ერთმანეთის ტოლია (დამტკიცებას ვანდობთ მკითხველს) და ამიტომ $AC=CB=R\tan\frac{\alpha}{2}$. ახლა შეგვიძლია დავწეროთ: $CM=l_2+R\tan\frac{\alpha}{2}$ და $CD=l_1-R\tan\frac{\alpha}{2}$. გარდა ამისა, ჩვენ გვჭირდება ვარდნის დრო, რომელიც ორივე ქვისთვის არის ერთი და იგივე და ტოლია $t_1=\sqrt{\frac{2h}{g}}$. მანძილები l_1 და l_2, შესაბამისად, ტოლი იქნება: $l_1=l_2=vt_1$, ხოლო $\alpha=\omega t$. თუ ჩავსვამთ ამ სიდიდეებს l გამოსათვლელ ფორმულაში, მარტივი გარდაქმნების შემდეგ მივიღებთ:

$$l=2R\,|\sin\frac{\omega t}{2}|\sqrt{1+\frac{2h\omega^2}{g}}\,.$$

საყურადღებოა, რომ სინუსი აღებული, მისი აბსოლუტური მნიშვნელობით, რადგან ჩვენ გამოვთვალეთ მანძილი.

ამ ამოცანის ამოხსნა შეიძლებოდა აგრეთვე სხვა გზითაც, თუ ნაცვლად მანძილებისა შემოვიტანდით გადაადგილებებს, როგორც ვექტორებს. მაშინ საძიებელი მანძილი იქნებოდა ქვების ფარდობითი გადაადგილების სიგრძე ერთმანეთის მიმართ, რომელიც გამოითვლებოდა ასევე მათი მოძრაობის ფარდობითი სიჩქარით ჰორიზონტალურ სიბრტყეში. დაინტერესებულ მკითხველს ვთავაზობთ ამოხსნას ეს ამოცანა ამ გზით.

დუელი კარუსელზე: ორმა ადამიანმა გადაწყვიტა რევოლვერით დუელის გამართვა ω კუთხური სიჩქარით მბრუნავ კარუსელზე, რომლის რადიუსია R. პირველი მოდუელე დგას კარუსელის O ცენტრში, ხოლო მეორე – კარუსელის კიდეზე. როგორ უნდა დაუმიზნონ ერთმანეთს, რომ ორივეს ნასროლი ტყვია მიზანში მოხვდეს? რომელი მათგანია უფრო ხელსაყრელ პირობებში? ჩათვალეთ, რომ პირველი მოდუელის ტყვია გამოიტყორცნება v სიჩქარით.



ნახ. 3

პირველმა მოდუელემ უნდა გაითვალისწინოს, რომ მის მიერ გასროლილი ტყვიის მოძრაობის დროს მოწინააღმდეგე გადაადგილდება წრეწირზე სხვა მდგომარეობაში. ტყვიის ფრენის დრო არ არის დამოკიდებული კარუსელის მოძრაობაზე და იგი ტოლია $t = \frac{R}{v}$. ამ დროის განმავლობაში მოწინააღმდეგე გადაადგილდება A წერტილიდან B წერტილში (იხ. ნახ. 3). რკალის სიგრძე, რომელსაც შემოწერს მოწინააღმდეგე, იქნება $s = \omega Rt$. ამიტომ პირველმა მოდუელემ უნდა ისროლოს არა OA, არამედ OB მიმართულებით, კუთხე α, რომელსაც შემოწერს ამ დროს მოწინააღმდეგე, ტოლია $\alpha = \frac{s}{vt} = \frac{\omega Rt}{vt} = \frac{\omega R}{v}$. კარუსელის კიდეზე მდგომი მოდუელე მოძრაობს წრეწირზე სიჩქარით $v' = \omega R$. ამიტომ ტყვიის სიჩქარე წარმოადგენს ორი სიჩქარის $\vec{v}$ და $\vec{v}'$ ჯამს. მიზანში რომ მოახვედროს კარუსელის ცენტრში, კიდეზე მდგომმა მოდუელემ უნდა ისროლოს არა AO მიმართულებით, არამედ მის მიმართ რაღაც β კუთხით, რომელიც გამოითვლება ფორმულით $\sin\beta = \frac{v'}{v} = \frac{\omega R}{v}$. როგორც ვხედავთ, ორივე მოდუელისთვის სროლის კუთხის განმსაზღვრელი ფორმულების მარჯვენა მხარეები ტოლია. გავაანალიზოთ ეს ფორმულები. ვთქვათ, კარუსელის მოძრაობის სიჩქარე დაბალია, ანუ $v' << v$, მაშინ შეგვიძლია დავწეროთ: $\beta \approx \frac{\omega R}{v}$ და მაშასადამე, ორივე მოდუელემ ერთმანეთს უნდა დაუმიზნოს თითქმის ერთნაირი კუთხით მოწინააღმდეგისგან მარცხნივ (მხედველობაში მიიღეთ კარუსელის ბრუნვის ნახაზზე არჩეული მიმართულება). გავზარდოთ ბრუნვის სიჩქარე. მაშინ კუთხე β უნდა გაიზარდოს, რაც ნიშნავს, რომ ტყვიის ჯამური სიჩქარის სიდიდე უნდა შემცირდეს (გაითვალისწინეთ, რომ ტყვიის გამოტყორცნის სიჩქარე მუდმივია). მაშასადამე, მცირდება ალბათობა იმის, რომ ტყვია მოხვდება ცენტრში მდგომ მოდუელეს. თუ ბრუნვის სიჩქარე გაიზრდება ისე, რომ, $\omega R = v$, მაშინ $\sin\beta = 1$, ეს კი

ნიშნავს, რომ კარუსელის კიდეზე მდგომმა მოდუელემ უნდა დაუმიზნოს $\vec{v}\,'$ სიჩქარის საპირისპირო მიმართულებით და ტყვიის ჯამური სიჩქარის სიდიდე ნულის ტოლი გახდება. ამავე დროს პირველი მოდუელის დამიზნების კუთხე α ერთის ტოლია (რადიანებში, ცხადია). მეორე მოდუელის მიერ გასროლილი ტყვიის მოძრაობის დრო დამოკიდებულია კარუსელის ბრუნვის კუთხურ სიჩქარეზე.

$$t' = \frac{R}{v\cos\beta} = \frac{R}{v\sqrt{1-\frac{\omega^2 R^2}{v^2}}} = \frac{1}{\sqrt{\frac{v^2}{R^2}-\omega^2}}.$$

როგორც ვხედავთ, თუ $\omega R = v$, მნიშვნელი ნულის ტოლია და $t' = \infty$, ანუ ტყვიის მოძრაობის დრო უსასრულოდ დიდია და მსროლელი ასწრებს, კარუსელის ბრუნვისას მიუახლოვდეს თავისივე ნასროლ ტყვიას მას ხვდება თავისივე ნასროლი ტყვია (არ დაგვავიწყდეს, რომ ტყვიის ჯამური სიჩქარის სიდიდე ნულის ტოლია).

თუ $\omega R > v$, მაშინ ჯამური სიჩქარე საერთოდ არ შეიძლება იყოს მიმართული კარუსელის ცენტრისკენ. როგორ ვხედავთ, კარუსელის ცენტრში მდგომი მოდუელე უფრო ხელსაყრელ მდგომარეობაშია, რადგან მას ყოველთვის შეუძლია შეარჩიოს დამიზნების α კუთხე, რომელიც ბრუნვის სიჩქარის გაზრდით მატულობს.

1.3 დინამიკა

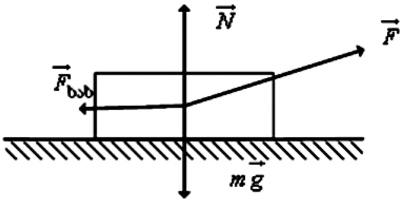
დინამიკის ამოცანების ამოხსნისას ჩვენ ვსარგებლობთ ნიუტონის კანონებით. მკითხველს შევახსენებთ, რომ სხეულის აჩქარება გამოწვეულია ამ სხეულზე მოქმედი ძალების ტოლქმედით და იგი მიმართულია სწორედ ამ ტოლქმედის გასწვრივ. გარდა ამისა, ორი სხეული ერთმანეთზე მოქმედებს სიდიდით ერთმანეთის ტოლი და მიმართულებით ურთიერთსაპირისპირო ძალებით. ეს კანონები მათემატიკურად გამოისახება ვექტორული ტოლობებით.

ყოველი ამოცანის ამოხსნა დინამიკაში, პირველ რიგში, მოითხოვს იმის დადგენას, თუ განსახილველი სხეული რომელ სხეულებთან იმყოფება ურთიერთქმედებაში. აქედან გამომდინარე, უნდა დავადგინოთ, ბუნება-

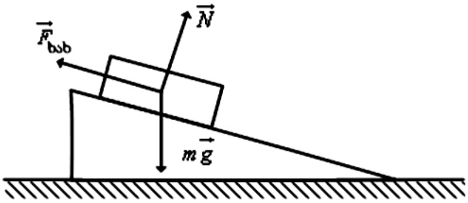
ში არსებული ძალებიდან რომელი მოქმედებს სხეულზე და რა ხასიათის მოძრაობას ასრულებს ეს სხეული. მექანიკაში ჩვენ ვიცით შემდეგი ძალები: მსოფლიო მიზიდულობის ძალა (რომლის გამოვლენაა სიმძიმის ძალა), ხახუნის (უძრაობის, სრიალის, გორვის) ძალა, ჰაერის/სითხის წინააღმდეგობის ძალა, დრეკადობის ძალა. აქვე შევნიშნავთ, რომ დამკვიდრებული ტერმინი „ცენტრისკენული ძალა“ ბუნებაში არ არსებობს. არსებობს ცენტრისკენული აჩქარება, რომელიც გამოწვეულია ზემოთ ჩამოთვლილი რომელიმე ძალით ან მათი ტოლქმედით.

ამოცანების ამოხსნის წინ მნიშვნელოვანია აგრეთვე დავადგინოთ, შესაძლებელია თუ არა განსახილველ სხეულს მივუყენოთ მატერიალური წერტილის მიახლოება. ამ მიახლოების გამოყენება შეიძლება ორი დაშვებით: ა) სხეულის ზომები გაცილებით ნაკლებია იმ მანძილებთან შედარებით, რომლებზეც ამ სხეულის მოძრაობას განვიხილავთ ან/და მასთან ურთიერთქმედი სხეულის ზომებზე. ბ) სხეული ასრულებს მხოლოდ გადატანით მოძრაობას, რომლის დროსაც მისი ყოველი წერტილი ერთნაირად მოძრაობს. ეს უკანასკნელი პირობა კი ირღვევა, თუ სხეულს შეუძლია ბრუნვა მასზე გამავალი რომელიმე ღერძის გარშემო. წინამდებარე წერილში ჩვენ მოვიყვანთ დინამიკის კანონების გამოყენების მაგალითებს. უმარტივესი შემთხვევაა ჰორიზონტისადმი კუთხით გასროლილი სხეულის მოძრაობა. როგორც კი სხეულს გასროლისას მივანიჭებთ რაღაც ენერგიას, მასზე ამ ენერგიის მიმნიჭებელი ძალის მოქმედება წყდება (რაც ნიშნავს, რომ ძალის დაგროვება შეუძლებელია, ძალა არის იქ, სადაც არის სხეულების ურთიერთქმედება) და მოქმედებს მხოლოდ ვერტიკალურად ქვევით მიმართული სიმძიმის ძალა (თუ ჰაერის წინააღმდეგობას არ მივიღებთ მხედველობაში), რადგან ერთმანეთთან ურთიერთქმედებს ორი სხეული – დედამიწა და გასროლილი სხეული. დედამიწის მიზიდულობის ძალა არის ის ძალა, რომელიც გვხვდება პრაქტიკულად ყველა ამოცანაში და იგი მიმართულია ყოველთვის ვერტიკალურად ქვევით. ჰორიზონტალურ სიბრტყეზე მოძრავ სხეულზე (ნახ. 1) მოქმედებს სიმძიმის ძალა $m\vec{g}$, რეაქციის ძალა სიბრტყის მხრიდან $\vec{N}$, სრიალის ხახუნის ძალა $\vec{F}_{\text{ხახ}}$. ნახაზზე მითითებულია აგრეთვე სხეულზე მოქმედი $\vec{F}$ ძალა (ვთქვათ, სხეულზე გამობმული ბაგირის მხრიდან). დახრილ სიბრტყეზე (იხ. ნახ. 2) სხეულზე მოქმედებს სიმძიმის ძალა, სიბრტყის რეაქციის ძალა, უძრაობის/სრიალის

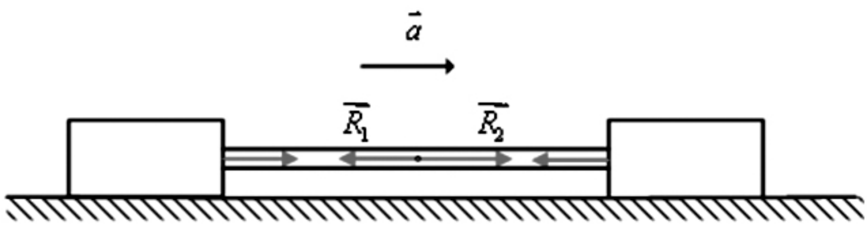
ხახუნის ძალა (ამ უკანასკნელის მიმართულება დამოკიდებულია მოძრაობის მიმართულებაზე. ნახაზზე სხეული მოძრაობს სიბრტყის გასწვრივ ქვევით).



ნახ. 1



ნახ. 2



ნახ. 3

როდესაც რამდენიმე სხეული ურთიერთქმედებს ერთმანეთთან, მკაფიოდ უნდა წარმოვიდგინოთ, თუ რომელი სხეულის მოძრაობას განვიხილავთ და ვიპოვოთ ყველა ის სხეული. რომელთანაც იგი ურთიერთქმედებს. ვთქვათ, ორი სხეული ჰორიზონტალურ სიბრტყეზე გადაბმულია ბაგირით და მოძრაობს აჩქარებით. ასეთ ამოცანებში ბაგირი უმრავლეს შემთხვევაში განიხილება, როგორც უმასო სხეული, რის გამოც შეგვიძლია ვთქვათ, რომ ძალები, რომლებითაც ეს ორი სხეული ერთმანეთთან ურთიერთქმედებს ბაგირის მეშვეობით, ერთმანეთის ტოლია და ურთიერთსაპირისპიროდ მიმართული. ახლა დაუშვათ, რომ ბაგირს გააჩნია მასა m და სისტემა მოძრაობს მარჯვნივ $\vec{a}$ აჩქარებით (იხ. ნახ. 3, ნახაზზე ჩვენ არ გამოვსახეთ სხვა ძალები გარდა ბაგირის დაჭიმულობის ძალებისა).

მაშინ, ნიუტონის მესამე კანონის თანახმად, მარცხენა სხეული და ბაგირი (უფრო ზუსტად, მისი სიმძიმის ცენტრი) ერთმანეთთან ურთიერთქმედებენ მოდულით ერთმანეთის ტოლი R_1 ძალით. ამავე კანონის თანახმად, მარჯვენა სხეული და ბაგირი ერთმანეთთან ურთიერთქმედებენ R_2 ძალით.

ბაგირისთვის კი სრულდება ნიუტონის მეორე კანონი შემდეგი სახით: $R_2 - R_1 = ma$, საიდანაც არ გამომდინარეობს, რომ $R_2 = R_1$.

ჭოჭონაქზე გადაკიდებული ბაგირის შემთხვევაში პრაქტიკულად ყველა ამოცანაში დაშვებულია, რომ ჭოჭონაქი და მასთან ერთად ბაგირიც არის უმასო. ამ დაშვებას მივყავართ იქამდე, რომ თვით ჭოჭონაქის მოძრაობის განტოლებას უგულებელვყოფთ, ხოლო ჭოჭონაქზე სხვადასხვა მხრიდან მოქმედი ძალები მოდულით ერთმანეთის ტოლია, თუმცა მიმართულებით შეიძლება განსხვავდებოდნენ ერთმანეთისგან.

დინამიკის ამოცანების ამოხსნისას სიფრთხილეს და ყურადღებას მოითხოვს ხახუნის ძალების გათვალისწინება. როგორც წესი, საქმე გვაქვს უძრაობის ან სრიალის ხახუნთან (ნაკლებად – გორვის ხახუნთან). უნდა გვახსოვდეს, რომ უძრაობის ხახუნის ძალა დამოკიდებულია სხვა ძალაზე, რომელიც სხეულზე მოქმედებს და იცვლება მასთან ერთად. უძრაობის ხახუნის ძალის მხოლოდ მაქსიმალური მნიშვნელობა არის პირდაპირპროპორციული სხეულის საყრდენი სიბრტყის რეაქციის ძალის მოდულის. ამასთან უძრაობის ხახუნის კოეფიციენტი მცირეოდენ აჭარბებს სრიალის ხახუნის კოეფიციენტს. ეს განსხვავება პრაქტიკულად არ განიხილება ამოცანებში. რაც შეეხება სრიალის ხახუნის ძალას, ის პროპორციულია ყოველთვის საყრდენი სიბრტყის რეაქციის ძალის (ან ძალის, რომლითაც სხეული აწვება საყრდენ სიბრტყეს მისი მართობული მიმართულებით, ეს უკანასკნელი კი მოდულით ტოლია საყრდენის რეაქციის ძალის). აქვე შევნიშნავთ, რომ ხახუნის ძალის გამოვლინებაა აგრეთვე წინააღმდეგობის ძალა ჰაერში ან სითხეში.

ცალკე განხილვას მოითხოვს ძალების გამოყენება სტატიკის ამოცანებში და აქ ჩვენ მასზე არ შევჩერდებით.

მას შემდეგ, რაც გავარკვევთ სხეულზე მოქმედ ყველა ძალას (სასურველია ნახაზის შესრულებაც, განსაკუთრებით მაშინ, როდესაც სხეულზე მოქმედი ძალები სხვადასხვა კუთხით არიან მიმართულნი, თუმცა არის ამოცანები, სადაც ეს აუცილებელი არ არის), გავარკვევთ სხეულის მოძრაობის ხასიათს, ვწერთ ნიუტონის მეორე კანონს, რომელიც წარმოადგენს ვექტო-

რულ განტოლებას. ამოცანის ამოსახსნელად გვჭირდება ექვივალენტური ალგებრული განტოლებები. ამისთვის კი ვირჩევთ კოორდინატთა სისტემას (როგორც წესი, არაუმეტეს ორგანზომილებიანს) და მის ღერძებზე ვაგეგმილებთ ნიუტონის მეორე კანონს. ასეთი დაგეგმილების წყალობით, ჩვენ მოძრაობას წარმოვადგენთ, როგორც მოძრაობების ჯამს ორი ურთიერთმართობული მიმართულებით. კოორდინატთა სისტემის არჩევისას უნდა გავითვალისწინოთ ორი შემთხვევა: ა) მოძრაობა არის თანაბარწრფივი ან სხეული უძრავია; ბ) სხეული მოძრაობს აჩქარებით. პირველ შემთხვევაში კოორდინატთა სისტემის არჩევაში ნაკლებად შეზღუდული ვართ – ერთ-ერთი ღერძი შეგვიძლია ავირჩიოთ რომელიმე ძალის გასწვრივ. რაც შეეხება მეორე შემთხვევას, აქ უმჯობესია ერთ-ერთი ღერძი ავირჩიოთ აჩქარების მიმართულებით (ეს არჩევანი გამოწვეულია გამოანგარიშების გამარტივებით). მაშინ ცხადია, მეორე ღერძის გასწვრივ აჩქარება არ გვექნება. ამის შემდეგ ნიუტონის მეორე კანონს ვაგეგმილებთ არჩეულ საკოორდინატო ღერძებზე.

***m* მასის სხეულის მოძრაობა დახრილ სიბრტყეზე**. განვიხილოთ სიბრტყე, რომელიც ჰორიზონტთან ადგენს α კუთხეს. ხახუნის კოეფიციენტი სიბრტყის ზედაპირსა და სხეულს შორის იყოს μ. სხეულზე სიბრტყისადმი β კუთხით აგრეთვე მოქმედებს $\vec{F}$ ძალა. შევისწავლოთ მოძრაობის ხასიათი კუთხეებზე დამოკიდებულების თვალსაზრისით და გამოვთვალოთ აჩქარება. α და β იცვლებიან ნულსა და $\pi/2$-ს შორის.

ამოცანაში არ არის მითითებული მოძრაობის მიმართულება. ასეთ შემთხვევაში ხახუნის ძალის მიმართულებაც გაურკვეველია, ამიტომ უნდა გავაკეთოთ დაშვება მოძრაობის მიმართულების შესახებ. დავუშვათ, სხეული მოძრაობს დახრილი სიბრტყის გასწვრივ ზევით (ნახ.4). კოორდინატთა ღერძი ავირჩიოთ ისე, როგორც ეს ნახაზზეა, ox ღერძი – სიბრტყის პარალელურად ზევით, ხოლო oy ღერძი – მის მართობულად. ნიუტონის მეორე კანონს აქვს შემდეგი სახე $m\vec{a}$

$$m\vec{a} = \vec{F} + \vec{G} + \vec{F}_{\text{ხახ}}$$

ამ განტოლების დაგეგმილებით საკოორდინატო ღერძებზე მივიღებთ შემდეგ განტოლებათა სისტემას:

$$ma_x = F\cos\beta - G\sin\alpha - F_{\text{ხახ}},$$
$$0 = N + F\sin\beta - G\cos\alpha \cdot$$

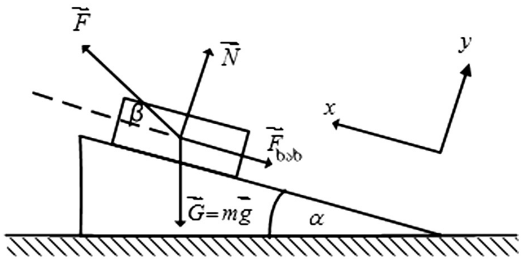
თუ გავითვალისწინებთ, რომ $F_{\text{ხახ}} = \mu N$, აჩქარების გეგმილისთვის ox ღერძზე მივიღებთ:

$$a_x = \frac{F\cos\beta - G\sin\alpha - \mu G\cos\alpha + \mu F\sin\beta}{m} \qquad (1)$$

ამ ტოლობიდან გამომდინარეობს, რომ სხეული იმოძრავებს ზევით აჩქარებით, თუ სრულდება პირობა

$$F\cos\beta - G\sin\alpha - \mu G\cos\alpha + \mu F\sin\beta > 0,$$

ანუ



ნახ. 4

$$F > \frac{\sin\alpha + \mu\cos\alpha}{\cos\beta + \mu\sin\beta} G. \qquad (2)$$

გავარკვიოთ პირობა, რომლის დროსაც ძალა F მინიმალური შეიძლება იყოს. მოცემული მასის და α კუთხისთვის მნიშვნელი $f(\beta) = \cos\beta + \mu\sin\beta$ უნდა იყოს მაქსიმალური. ეს უკანასკნელი სრულდება, თუ $\mu = \tan\beta$. ამ პირობის გამოყენებით მივიღებთ, რომ

$$F > G\sin(\alpha + \beta). \qquad (3)$$

თუ ეს პირობა არ სრულდება, ანუ

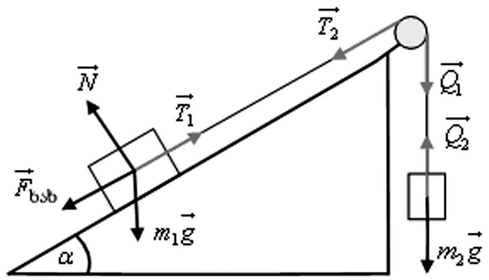
$$F \le G\sin(\alpha + \beta). \qquad (4)$$

მაშინ სხეულის აჩქარება ან ნულის ტოლია (სხეული მოძრაობს წრფივად და თანაბრად), ან აჩქარების გეგმილი ox ღერძზე უარყოფითია და სხეული მოძრაობს შენელებულად. (3) და (4) ტოლობებში შეიძლება გამოვსახოთ ხახუნის კოეფიციენტით, თუ გამოვრიცხავთ β კუთხეს:

$$F > \frac{\sin\alpha + \mu\cos\alpha}{\sqrt{1+\mu^2}} G \quad \text{და} \quad F \le \frac{\sin\alpha + \mu\cos\alpha}{\sqrt{1+\mu^2}} G$$

განვიხილოთ **ორი გადაბმული სხეულის მოძრაობა დახრილ სიბრტყეზე.** მოცემულია დახრილ სიბრტყეზე მყოფი m_2 მასის სხეული და მასთან ძა-

ფით გადაბმული და ჭოჭონაქზე გადაკიდებული m_2 მასის სხეული. იპოვეთ სისტემის აჩქარება და გავანალიზეთ მოძრაობის ხასიათი (ნახ. 5).



სისტემა მოძრაობს სიბრტყის გასწვრივ ქვევიდან ზევით

ნახ. 5

ამოცანაში არ არის განსაზღვრული მოძრაობის მიმართულება. შესაბამისად, უნდა განვიხილოთ ორივე შესაძლებლობა: მოძრაობა ზევით და მოძრაობა ქვევით დახრილი სიბრტყის გასწვრივ. გარდა ამისა, არ გვაქვს მოცემული თანაფარდობა მასებს შორის, ამიტომ საჭიროა ჩატარდეს ანალიზი ამ კუთხით.

ნიუტონის მეორე კანონი ვექტორული სახით, ცხადია, ყველა შემთხვევაში ერთია. ისიც ცხადია, რომ ორივე სხეული მოძრაობს სიდიდით ტოლი და მიმართულებით განსხვავებული აჩქარებით. დახრილ სიბრტყეზე მყოფი სხეულისთვის მას შემდეგი სახე აქვს:

$$\vec{T}_1 + m_1\vec{g} + \vec{N} + \vec{F}_{ხახ} = m_1\vec{a}_1 \tag{5}$$

ძაფზე ჩამოკიდებული სხეულისთვის

$$\vec{Q}_2 + m_2\vec{g} = m_2\vec{a}_2. \tag{6}$$

აჩქარებების მოდულები აღვნიშნოთ a-თი, ანუ $a = |\vec{a}_1| = |\vec{a}_2|$.

ნიუტონის მესამე კანონის თანახმად

$$\vec{T}_1 = -\vec{T}_2 \ , \quad \vec{Q}_1 = -\vec{Q}_2, \tag{7}$$

ხოლო ჭოჭონაქის ორივე მხარეს მოქმედი ძალების მოდული ტოლია.

$$T_2 = Q_{1.} \tag{8}$$

(7) და (8) ტოლობების გათვალისწინებით შეგვიძლია დავწეროთ:

$$T_1 = T_2 = Q_1 = Q_2 = T. \tag{9}$$

კიდევ ერთი განტოლება, რომელიც გვჭირდება, არის სრიალის ხახუნის ძალის ფორმულა:

$$F_{\text{ხახ}} = \mu N. \tag{10}$$

ჩვენ შემოვიღეთ ახალი სიმბოლო *T*, რომლის აზრი მკითხველისთვის გასაგები უნდა იყოს. (5)-(10) ტოლობები ის განტოლებებია, რომლებიც ამოცანის ამოსახსნელად არის აუცილებელი და საკმარისი.

ვთქვათ, სისტემა მოძრაობს დახრილი სიბრტყის გასწვრივ ქვევიდან ზევით (ნახ. 5). ასეთ შემთხვევაში (5)-(10) აჩქარებისთვის მივიღებთ:

$$a = \frac{m_2 - m_1 \sin\alpha - \mu m_1 \cos\alpha}{m_1 + m_2} g\ . \tag{11}$$

თუ სხეული მოძრაობს პირიქით, მაშინ უნდა გავითვალისწინოთ, რომ ხახუნის ძალის მიმართულება შეიცვლება საპირისპიროთი. ასეთ შემთხვევაში აჩქარება (აღვნიშნოთ იგი $\vec{a}'$) იქნება:

$$a' = \frac{m_1 \sin\alpha - m_2 - \mu m_1 \cos\alpha}{m_1 + m_2} g \tag{12}$$

გავაანალიზოთ მიღებული გამოსახულებები სხეულთა მასების ფარდობის m_2 / m_1 მიხედვით. (11) განტოლებიდან ვხედავთ, რომ სისტემა მოძრაობს ქვევიდან ზევით, თუ

$$m_2 - m_1 \sin\alpha - \mu m_1 \cos\alpha \geq 0,$$

ანუ რაც იგივეა

$$\frac{m_2}{m_1} \geq \sin\alpha + \mu\cos\alpha\ . \tag{13}$$

ტოლობის შემთხვევაში სისტემა იმოძრავებს თანაბარი სიჩქარით. იმისათვის, რომ სისტემამ იმოძრაოს ზევიდან ქვევით, საჭიროა შესრულდეს ტოლობა

$$\frac{m_2}{m_1} \leq \sin\alpha - \mu\cos\alpha. \tag{14}$$

ამავე დროს უტოლობის მარჯვენა მხარე უნდა იყოს დადებითი, ანუ კუთხე α უნდა იყოს იმდენად დიდი, რომ შესრულდეს დამატებით პირობა:

$$\tan\alpha > \mu. \tag{15}$$

თუ ეს პირობა არ სრულდება და

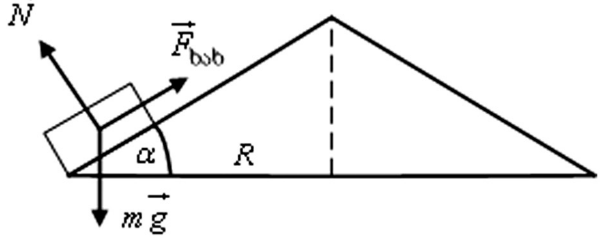
$$\tan\alpha \leq \mu \tag{16}$$

როგორი დიდიც უნდა იყოს მასების ფარდობა m_2 / m_1, სისტემა ვერ იმოძრავებს ზევიდან ქვევით. დასასრულს, თუ სრულდება პირობა (15), მაშინ სისტემა საერთოდ უძრავი იქნება იმ პირობით, რომ m_2 / m_1 აკმაყოფილებს შემდეგ უტოლობას ((13) და (14) უტოლობების საპირისპირო უტოლობა):

$$\sin\alpha - \mu\cos\alpha < \frac{m_2}{m_1} < \sin\alpha + \mu\cos\alpha,$$

რადგან ამ შემთხვევაში (11) და (12) ტოლობით განსაზღვრული აჩქარებების მარჯვენა მხარეები იღებენ უარყოფით მნიშვნელობებს.

სხეული მბრუნავ დახრილ სიბრტყეზე. ჰორიზონტისადმი α კუთხით დახრილი სიბრტყეზე ძევს სხეული (ნახ. 6). დახრილი სიბრტყე ბრუნავს ვერტიკალური ღერძის გარშემო ω კუთხური სიჩქარით. ხახუნის კოეფიციენტი სხეულსა და სიბრტყეს შორის არის μ. რა პირობა უნდა შესრულდეს, რომ სხეული არ ჩამოსრიალდეს დახრილი სიბრტყიდან?



ნახ. 6

სიბრტყე ბრუნავს წყვეტილი ხაზით აღნიშნული ღერძის გარშემო. სხეული მოძრაობს R რადიუსის წრეწირზე ჰორიზონტალურ სიბრტყეში $\vec{a}$ აჩქარებით. კოორდინატთა ღერძები ავირჩიოთ ვერტიკალური და ჰორიზონტალური მიმართულებით. ეს უკანასკნელი მივმართოთ წრეწირის ცენტრისკენ აჩქარების მიმართულებით (მარცხნიდან მარჯვნივ). ნიუტონის მეორე კანონის თანახმად, ღერძებზე დაგეგმილების შემდეგ მივიღებთ შემდეგ განტოლებებს:

$$F_{\text{ხახ}}\cos\alpha - N\cos\alpha = ma,$$

$$F_{\text{ხახ}}\sin\alpha + N\sin\alpha - mg = 0.$$

სხეულს დახრილ სიბრტყეზე ჩამოსრიალებისგან აკავებს უძრაობის ხახუნის ძალა, რომლისთვისაც უნდა ავიღოთ მაქსიმალური მნიშვნელობა $F_{\text{ხახ}} = \mu N$. ჩავსვათ ეს გამოსახულება ნიუტონის მეორე კანონში და გამოვრიცხოთ განტოლებებიდან რეაქციის ძალა N. მარტივი გარდაქმნებით დახრილობის კუთხისთვის მივიღებთ შემდეგ ტოლობას:

$$\tan\alpha = \frac{\mu g - \omega^2 R}{g + \mu\omega^2 R}.$$

ამ გამოსახულებიდან ვასკვნით, რომ სხეული ბრუნვის დროს არ ჩამოსრიალდება, თუ შესრულდება პირობა:

$$\mu g \geq \omega^2 R.$$

მოცემული რადიუსის და კუთხური სიჩქარის მიხედვით შეგვიძლია შევაფასოთ ხახუნის კოეფიციენტის დასაშვები მნიშვნელობა. ზოგადად, ამ ტოლობაში მოცემული ორი პარამეტრის მიხედვით შეგვიძლია შევაფასოთ მესამე სიდიდე. თუ ეს პირობა არ სრულდება, მაშინ სხეული აუცილებლად ჩამოსრიალდება სიბრტყიდან.

ამოცანა ლიფტის მოძრაობაზე. ადამიანი იმყოფება ლიფტში და ქვემოთ ექაჩება თოკს, რომელიც გადაკიდებულია უმასო ჭოჭონაქზე და მიბმულია ლიფტის სახურავზე. ადამიანის მასა $m_2 = 40$ კგ, ხოლო ლიფტის მასა $m_2 = 40$ კგ. გამოთვალეთ ადამიანზე მოქმედი რეაქციის ძალა R და თოკის დაჭიმულობის ძალა T, ლიფტი მოძრაობს $a = 0.5$ მ/წმ^2 აჩქარებით.

განვიხილოთ ლიფტის და ადამიანის, როგორც ერთი სხეულის მოძრაობა. ამ სისტემაზე მოქმედი ძალებია: ლიფტზე მოქმედი ზევით მიმართული თოკის დაჭიმულობის ძალა T, ადამიანზე მოქმედი ზევით მიმართული თოკის დაჭიმულობის ძალა T და სიმძიმის ძალა. რადგან აჩქარება მიმართულია ვერტიკალურად ზევით, ნიუტონის მეორე კანონის თანახმად

$$2T - (m_1 + m_2)g = (m_1 + m_2)a.$$

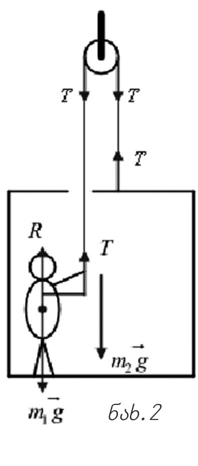
ცალკე ადამიანისთვის ნიუტონის მეორე კანონს აქვს შემდეგი სახე:

$$R + T - m_1 g = m_1 a.$$

ამ განტოლებებიდან მარტივად მიიღება

$$T = \frac{1}{2}(m_1 + m_2)\left(g + a\right) = 630 \text{ ნ},$$

$$R = \frac{1}{2}(m_1 - m_2)\left(g + a\right) = 210 \text{ ნ}$$



ნახ. 2

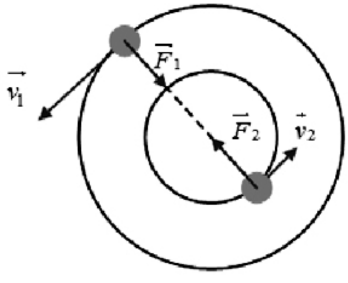
წარმოიდგინეთ უძრავ ლიფტში მყოფი იგივე მასის ადამიანი, რომელიც დგას სასწორზე. აღწერეთ, თუ როგორ შეიცვლება სასწორის ჩვენება ა) ლიფტის ზევით მოძრაობისას მის გაჩერებამდე; ბ) ლიფტის ქვევით მოძრაობისას მის გაჩერებამდე.

ა) ზევით მოძრაობის დროს ლიფტი იწყებს მოძრაობას აჩქარებულად ზევით მიმართული აჩქარებით. ამ დროს ადამიანის

წონა მატულობს და, შესაბამისად, სასწორის ჩვენებაც მატულობს. შემდეგ ლიფტი აგრძელებს მოძრაობას მუდმივი სიჩქარით და სასწორის ჩვენება კვლავ უბრუნდება პირვანდელს. როდესაც ლიფტი იწყებს გაჩერებას, მისი აჩქარება მიმართულია უკვე ქვევით და, მაშასადამე, სასწორის ჩვენება კლებულობს. როგორც კი ლიფტი გაჩერდება, მისი ჩვენება კვლავ პირვანდელს უბრუნდება.

ბ) ქვევით მოძრაობისას ლიფტი მოძრაობას იწყებს ქვემოთ მიმართული აჩქარებით, სასწორის ჩვენება კლებულობს. შემდგომ ლიფტი მოძრაობს მუდმივი სიჩქარით და სასწორის ჩვენება უბრუნდება პირვანდელს. გაჩერებისას აჩქარება მიმართულია ზევით, სასწორის ჩვენება მატულობს.

ვარსკვლავების მოძრაობა: ორი ვარსკვლავი (რომელსაც ვარსკვლავთა ბინარულ სისტემას უწოდებენ) ერთმანეთისგან R მანძილზე იმყოფება და ასრულებს ბრუნვით მოძრაობას ერთმანეთის მიმართ საერთო ცენტრის გარშემო (ნახ. 4). ვარსკვალავებზე მოქმედებს მხოლოდ მსოფლიო მიზიდულობის ძალა მათი შემაერთებელი წრფის გასწვრივ. აჩვენეთ, რომ ა) ვარსკვლავების სრული იმპულსი ინახება და გამოთვალეთ იგი; ბ) ვარსკვლავები მოძრაობისას იმყოფებიან დიამეტრალურად საპირისპირო წერტილებში; გ) ისინი მოძრაობენ ერთი და იმავე პერიოდით და გამოთვალეთ ეს პერიოდი; ე) ნაკლები რადიუსის წრეწირზე მოძრავი ვარსკვლავის მასა უნდა იყოს მეტი.



ნახ. 4

ა) ამოცანის პირობის თანახმად, ვარსკვლავების სისტემა არის ჩაკეტილი, ანუ მასზე არ მოქმედებს გარე ძალა. სისტემა წარმოადგენს ერთმანეთთან მსოფლიო მიზიდულობის ძალით ურთიერთქმედ ორ სხეულს. ამიტომ მათი სრული იმპულსი დროში ინახება და არის მუდმივი სიდიდე. ეს მუდმივი სიდიდე კი ტოლია ნულის. მართლაც, ბრუნვითი მოძრაობის დროს თითოეული ვარსკვლავის იმპულსი ცვლადი სიდიდეა და მაშასადამე, მათი ჯამიც (ვექტორული) უნდა იცვლებოდეს, რაც წინააღმდეგობაში მოდის იმპულსის მუდმივობის კანონთან. სრული იმპულსის ერთადერთი შესაძლო მნიშვნელობა, რომელიც არ ეწინააღმდეგება მის მუდმივობას, შეიძლება იყოს ნული.

ბ) პასუხი ამ კითხვაზე წარმოადგენს წინა კითხვის პასუხის შედეგს. მართლაც, რადგან სრული იმპულსი ნულის ტოლია, ვარსკვლავების იმპულსები და, მაშასადამე, მათი სიჩქარეებიც ურთიერთსაპირისპიროდ არიან მიმართულნი. ეს კი შესაძლებელია, თუ ვარსკვლავები იმყოფებიან დიამეტრალურად საპირისპირო წერტილებში. გ) რადგან სხეულები დიამეტრალურად საპირისპირო წერტილებში იმყოფებიან, ისინი მოძრაობენ ერთი და იმავე ცენტრის გარშემო (ეს ცენტრი არის მათი მასათა ცენტრი) ერთი და იგივე კუთხური სიჩქარით, იმპულსის მუდმივობის გამო მათი სიჩქარეების მოდულები მუდმივი სიდიდეებია. ვთქვათ, m_1 მასის მქონე სხეული r_1 რადიუსის წრეწირზე ბრუნავს, ხოლო m_2 მასის სხეული – r_2 რადიუსის წრეწირზე და ამასთან $r_1 > r_2$. მაშინ, ნიუტონის მეორე კანონის თანახმად, პირველი ვარსკვლავისთვის

$$G\frac{m_1 m_2}{R^2} = m_1\omega^2 r_{1.}$$

მეორე ვარსკვლავისთვის გვექნება:

$$G\frac{m_1 m_2}{R^2} = m_2\omega^2 r_{2.}.$$

ამ ორი განტოლების შეკრებით გამოვთვლით ბრუნვის კუთხურ სიჩქარეს

$$\omega = \sqrt{G\frac{m_1 + m_2}{R^3}}.$$

ბრუნვის პერიოდისთვის მივიღებთ:

$$T = 2\pi R\sqrt{\frac{R}{G(m_1 + m_2)}}.$$

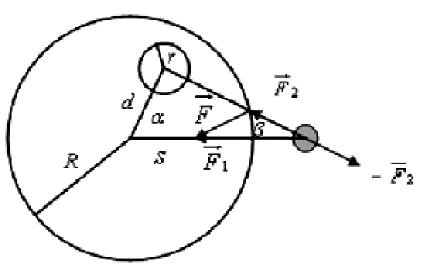
დ) იმპულსის მუდმივობის კანონის თანხმად

$$m_1 v_1 = m_2 v_2.$$

რადგან მეტი რადიუსის წრეწირზე მოძრავი სხეულის წირითი სიჩქარე მეტია, ცხადია, რომ მისი მასა უნდა იყოს ნაკლები. ამრიგად $m_2 > m_1$.

მსოფლიო მიზიდულობის ძალა:

$R = 0.5$ მ რადიუსის მქონე ტყვიის ბირთვში ამოჭრილია $r = 0.05$ მ რადიუსის მცირე ბირთვი. მათ ცენტრებს შორის მანძილი $d = 0.4$ მ (ნახ. 5). ბირთვის ცენტრიდან $s = 0.8$ მ მანძილზე მოთავსებულია m მასის მქონე სხეული. α კუთხე d მონაკვეთსა და ბირ-



ნახ. 5

თვის ცენტრის და სხეულის შემაერთებელი წრფის მონაკვეთს შორის შეადგენს 60^0-ს. იპოვეთ სხეულის მასა, თუ ძალა, რომლითაც ურთიერთქმედებენ ბირთვი და სხეული $F = 5.7 \cdot 10^{-6}$ ნ. ტყვიის სიმკვრივე $\rho \ = \ 11.340 \cdot 10^3$ კგ/მ ^{3}.

m მასის საპოვნელად გამოვთვალოთ სხეულსა და ამოჭრილ ბირთვს შორის მიზიდულობის ძალა. ტყვიის მთლიან ბირთვსა და სხეულს შორის ურთიერთქმედების ძალა $\vec{F}_1$ მოქმედებს მათი ცენტრების შემაერთებელი წრფის გასწვრივ. r რადიუსის ბირთვსა და სხეულს შორის მიზიდულობის ძალა $\vec{F}_2$ მიმართულია ამ ბირთვის ცენტრის და სხეულის შემაერთებელი წრფის გასწვრივ. თუ ბირთვში ამოვჭრით r რადიუსის მქონე სფეროს, დარჩენილი ნაწილის სიმძიმის ცენტრი გადაინაცვლებს ბირთვის და ამოჭრილი სფეროს ცენტრების შემაერთებელი წრფის გასწვრივ. თუ ამოჭრილ ბირთვსა და სხეულს შორის მიზიდულობის ძალას აღვნიშნავთ $\vec{F}$ -ით, რომელიც მიმართული იქნება სხეულისა და ბირთვის ახალი სიმძიმის ცენტრის შემაერთებელი წრფის გასწვრივ, მაშინ ცხადია, რომ $\vec{F}_1 = \vec{F} + \vec{F}_2$. ამ ტოლობიდან გამოვთვალოთ $\vec{F}^2$ ვექტორების სკალარული ნამრავლის ცნების გამოყენებით (β იყოს კუთხე $\vec{F}_1$ და $\vec{F}_2$ ძალებს შორის). რადგან კუთხე $\alpha = 60^0$, d და s მანძილების თანაფარდობა გვაძლევს საშუალებას დავასკვნათ, რომ მანძილებით შედგენილი სამკუთხედი არის მართკუთხა. მაშინ კუთხე $\vec{F}_1$ და $\vec{F}_2$ ვექტორებს შორის შეადგენს $\beta \ = \ 30^0$. კოსინუსების თეორემის თანახმად

$$F^2 = F_1^2 + F_2^2 - 2F_1F_2\cos\beta.$$

მიზიდულობის $\vec{F}_1$ და $\vec{F}_2$ ძალების სიდიდეები შესაბამისად ტოლია:

$$F_1 = \frac{4}{3}G\pi R^3\frac{\rho m}{s^2},\ F_2 = \frac{4}{3}G\pi r^3\frac{\rho m}{s^2 - d^2}\ .$$

ამ ფორმულების გათვალისწინებით მივიღებთ:

$$F = \frac{4}{3}G\pi m\rho\sqrt{\frac{R^3}{s^2} + \frac{r^3}{s^2 - d^2} - 2\frac{R^3r^3}{s^2(s^2 - d^2)}}\ .$$

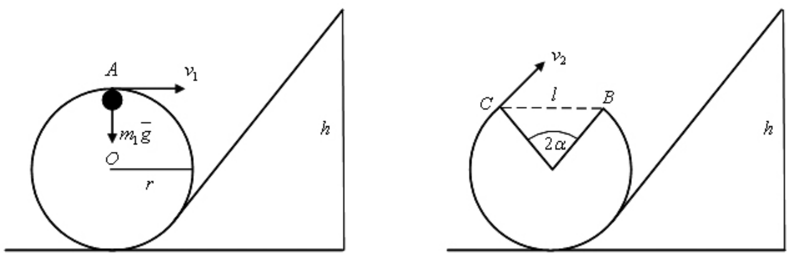
საძიებელი მასისთვის მივიღებთ $m \approx 0.01$ კგ.

ამოჭრილი სფერო შეიძლება ფორმალურად განვიხილოთ, როგორც უარყოფითი მასის მქონე სხეული. მაშინ ამ სფეროს და სხეულს შორის იმოქმედებს განზიდვის ძალა - $\vec{F}_2$. საძიებელი ძალა წარმოადგენს ამ ძა-

ლის და $\vec{F}_1$ ძალის გეომეტრიულ ჯამს. კვლავ კოსინუსების თეორემის გამოყენებით მივიღებთ საძიებელ სიდიდეს.

მკვდარი მარყუჟი. მკვდარი მარყუჟის ფორმის ღარში უხახუნოდ მოძრაობს სხეული. რა მინიმალური h სიმაღლიდან შეიძლება ჩამოსრიალდეს სხეული, რომ მარყუჟის ზედა წერტილიდან არ ჩამოვარდეს? როგორი კუთხის შესაბამისი რკალი შეიძლება ამოიჭრას მარყუჟის ზედა წერტილთან სიმეტრიულად, რომ სხეული კვლავ მარყუჟს დაუბრუნდეს? მარყუჟის რადიუსი $r = 2$ მ (ნახ. 5).

დახრილ ღარში უხახუნოდ მოსრიალე სხეულზე მარყუჟის უმაღლეს წერტილში მოქმედებს ორი ძალა – რეაქციის ძალა $\vec{N}$ და სიმძიმის ძალა $m\vec{g}$ (ნახ. 5). ცხადია, სხეული მარყუჟის უმაღლეს წერტილს მიაღწევს სხვადასხვა სიჩქარით იმის მიხედვით, თუ რა სიმაღლიდან ჩამოსრიალდება. ისეთი მინიმალური სიჩქარე, რომ იგი არ ჩამოვარდეს მარყუჟის ზედა წერტილიდან, სხეულს ექნება მაშინ, როდესაც მასზე მოქმედი რეაქციის



ნახ. 6

ძალა გაუტოლდება ნულს. ამ წერტილში სხეული ინერციით გააგრძელებს იმავე სიდიდის სიჩქარით მოძრაობას და როგორც კი გასცდება მას, კვლავ აღიძვრება რეაქციის ძალა. ამრიგად, A წერტილში ნიუტონის მეორე კანონის თანახმად

$$mg = \frac{mv_1^2}{r}.$$

მექანიკური ენერგიის მუდმივობის კანონის თანახმად, საწყისი პოტენციური ენერგია mgh A წერტილში გადადის კინეტიკური და პოტენციური ენერგიების ჯამში:

$$mgh = \frac{mv_1^2}{2} + 2mgr.$$

ამ ორი განტოლების გამოყენებით მივიღებთ, რომ $h = {}^5\!/_2\, r = 5$ მ.

ვთქვათ, მარყუჟში ამოჭრილია 2α ცენტრალური კუთხის შესაბამისი რკალი, რომელიც სიმეტრიულია ვერტიკალის მიმართ. იგივე h სიმაღლიდან ჩამოსრიალების შემდეგ სხეული C წერტილს მიაღწევს რაღაც $\vec{v}_2$ სიჩქარით, რომელიც CB ქორდასთან ადგენს α კუთხეს. ამ წერტილიდან სხეული მოძრაობს მხოლოდ სიმძიმის ძალის გავლენით – ფაქტიურად, ადგილი აქვს ჰორიზონტისადმი კუთხით გასროლილი სხეულის მოძრაობას. ამოცანის პირობის თანახმად, სხეული B წერტილში კვლავ მარყუჟს უნდა დაუბრუნდეს. მანძილი, რომელიც უნდა გაიაროს სხეულმა ამ წერტილამდე, არის მისი ფრენის სიშორე და ტოლია:

$$l = \frac{v_2^2 \sin 2\alpha}{g} .$$

მეორე მხრივ, წერტილი კვლავ დაუბრუნდება მარყუჟს, თუ მანძილი l ტოლი იქნება

$$l = 2r\sin\alpha..$$

მაშასადამე, $v_2^2 = gr/\cos\alpha$. მეორე მხრივ, მექანიკური ენერგიის მუდმივობის კანონის თანახმად

$$\frac{mv_2^2}{2} = mgh - gr\left(1+\cos\alpha\right).$$

თუ გავიხსენებთ, რომ $h = 5r/2$, მაშინ მივიღებთ შემდეგ კვადრატულ განტოლებას $\cos\alpha$ მიმართ:

$$2\cos^2\alpha - 3\cos\alpha + 1 = 0,$$

რომელსაც აქვს ორი ამოხსნა α კუთხისთვის: $\alpha_1 = 0$ და $\alpha_2 = 60^0$. ამ ორი ამოხსნიდან ჩვენთვის საინტერესოა მეორე ამოხსნა – ცენტრალური კუთხე უდრის 120^0-ს.

1.3 იმპულსი, მუშაობა. იმპულსის და ენერგიის მუდმივობის კანონები მექანიკაში

მუდმივობის კანონები მექანიკაში დაკავშირებულია ისეთ სიდიდეებთან, როგორიცაა სხეულის იმპულსი და სხეულის მექანიკური ენერგია. ეს უკანასკნელი წარმოადგენს სხეულის კინეტიკური და პოტენციური ენერგიების ჯამს.

იმპულსის მუდმივობის კანონი ასე ჩამოყალიბდება: სხეულთა ჩაკეტილი სისტემის იმპულსების გეომეტრიული ჯამი მუდმივ სიდიდეს წარმოადგენს. თუ სისტემა შედგება N სხეულისგან, მაშინ იმპულსის მუდმივობის კანონი მათემატიკურად ასე ჩაიწერება:

$$\Sigma_{i=1}^{N}\overrightarrow{p}_i = \overrightarrow{p}_1 + \overrightarrow{p}_2 + \ldots + \overrightarrow{p}_N = const.$$

სხეულთა სისტემას ეწოდება ჩაკეტილი, თუ ამ სისტემაზე არ მოქმედებს გარეშე ძალა ან გარეშე ძალების ტოლქმედი ნულის ტოლია. ამ კანონის არსი მდგომარეობს იმაში, რომ თუ ჩაკეტილი სისტემის შემადგენელი სხეულები ერთმანეთთან ურთიერთქმედებენ, მათ შორის ხდება იმპულსების გაცვლა ისე, რომ იმპულსების გეომეტრიული ჯამი არ იცვლება. აქვე შევახსენებთ მკითხველს, რომ ნიუტონის მეორე კანონის პირველი ფორმულირება დაკავშირებული იყო სწორედ იმპულსის ცნებასთან, სახელდობრ სხეულზე მოქმედი ძალა ტოლია სხეულის იმპულსის ცვლილების სისწრაფის:

$$\vec{F} = \frac{\Delta\vec{p}}{\Delta t} = \frac{m\vec{v}_2 - m\vec{v}_1}{\Delta t}\ .$$

მკაცრი განმარტებით, ძალა ტოლია იმპულსის წარმოებული დროით:

$$\vec{F} = \frac{d\vec{p}}{dt}\ .$$

რაც, ზოგადად, ნიშნავს, რომ იმპულსის ცვლილება შეიძლება იყოს გამოწვეული არა მარტო სიჩქარის, არამედ მასის ცვლილებითაც.

სხეულის სრული მექანიკური ენერგიის მუდმივობის კანონი შემდეგნაირად ყალიბდება: ჩაკეტილი სისტემის სრული მექანიკური ენერგია მუდმივ სიდიდეს წარმოადგენს, თუ სისტემის სხეულებს შორის მოქმედებენ მხოლოდ კონსერვატიული ძალები.

$$\sum_{i=1}^{N} E_i = E_1 + E_2 + \cdots + E_N = const..$$

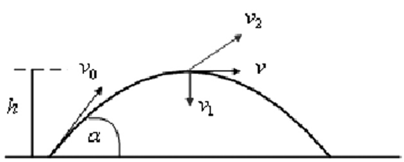
კონსერვატიული ძალის ქვეშ იგულისხმება ძალა, რომლის მიერ შესრულებული მუშაობა დამოკიდებულია მხოლოდ სხეულის საწყის და საბოლოო მდებარეობაზე და არ არის დამოკიდებული არც ტრაექტორიის ფორმაზე და არც მის სიგრძეზე. მექანიკაში ასეთი ძალებია სიმძიმის და დრეკადობის ძალები. ენერგიაზე საუბრისას უნდა გვახსოვდეს, რომ იგი განისაზღვრება ადიტიური მუდმივის სიზუსტით. საქმე ის არის, რომ სხეულზე მოქმედი ძალის მუშაობა გამოისახება სხეულის ენერგიის ცვლილებით, რაც, ცხადია, არ არის დამოკიდებული ენერგიის ნულოვანი დონის არჩევანზე. კინეტიკური ენერგიის შემთხვევაში ენერგიის ნულოვან დონედ ბუნებრივად მიჩნეულია უძრავი სხეული, კინეტიკური ენერგია. ასევე დრეკადად დეფორმირებული სხეულის შემთხვევაში ნულოვან დონედ (აქ საუბარია პოტენციურ ენერგიაზე) მიჩნეულია სხეულის არადეფორმირებული მდგომარეობა. სიმძიმის ძალის ველში პოტენციური ენერგიის ნულოვან

დონეს ვირჩევთ კონკრეტული ამოცანის პირობის შესაბამისად. აქვე შეგახსენებთ, რომ გარეშე ძალების ტოლქმედის მიერ შესრულებული მუშაობა ტოლია სისტემის სრული მექანიკური ენერგიის ცვლილების:

$$A = E_2 - E_1.$$

სხეულთა დაჯახებისას განიხილავენ დრეკად და არადრეკად დაჯახებებს. ამ უკანასკნელის შემთხვევაში სხეულთა საწყისი სრული ენერგიის ნაწილი გარდაიქმნება დეფორმაციის (ან/და ბგერის) ენერგიაში, რაც გამოიხატება სხეულთა გათბობაში, ამ დროს გამოყოფილი სითბოს რაოდენობა უტოლდება სხეულთა საწყისი და საბოლოო ენერგიების სხვაობას.

კუთხით გასროლილი სხეულის მოძრაობა: ყუმბარა გასროლილია ჰორიზონტისადმი $\alpha = 45^0$ კუთხით და $v_0 = 6$ მ/წმ სიჩქარით. ტრაექტორიის უმაღლეს წერტილში იგი გასკდა ორ თანაბარ ნაწილად ისე, რომ ერთი ნაწილი დაეცა დედამიწაზე ზუსტად ამ წერტილის ქვეშ $V = 10$ მ/წმ სიჩქარით (იხ. ნახ. 1). გამოთვალეთ ორივე ნაწილის სიჩქარე უშუალოდ ყუმბარის გასკდომისას. ჰაერის წინაღობა უგულებელყავით.



ნახ. 1

გასროლილი ყუმბარის იმპულსი იცვლება მისი მოძრაობის დროს. თუ სხეულის სიჩქარე ტრაექტორიის უმაღლეს წერტილში ტოლია $\vec{v}$-ს, სხეულის იმპულსი გასკდომამდე იქნება $m\vec{v}$. თუ ყუმბარას განვიხილავთ, როგორც მისი ორი ტოლი ნაწილის ერთობლიობას, მაშინ ამ სისტემისთვის ადგილი აქვს იმპულსის მუდმივობის კანონს. ამ კანონის თანახმად:

$$m\vec{v} = \frac{m\vec{v}_1 + m\vec{v}_2}{2} .$$

კოორდინატთა სისტემის ox ღერძი ავირჩიოთ ჰორიზონტალურად $\vec{v}$ გასწვრივ, ხოლო oy – ვერტიკალურად ზევით. მაშინ, რადგან ჰაერის წინააღმდეგობას მხედველობაში არ ვიღებთ,

$$v = \frac{1}{2} v_0 \cos\alpha.$$

საკოორდინატო ღერძებზე დაგეგმილებით მივიღებთ შემდეგ განტოლებათა სისტემას:

$$\begin{cases} v_0 \cos\alpha = \dfrac{1}{2} v_2 \cos\beta, \\ v_2 \sin\beta - v_1 = 0. \end{cases} \qquad (1)$$

ეს ორი განტოლება შეიცავს სამ უცნობს, მაგრამ ჩვენ არ გამოგვიყენებია ამოცანის კიდევ ერთი პირობა, კერძოდ, პირველი ნამსხვრევი დაეცა დედამიწაზე V სიჩქარით. რადგან პირველი ნამსხვრევის საწყისი სიჩქარე არის v_1

$$V^2 = v_1^2 + 2gh,$$

სადაც h არის v_0 სიჩქარით გასროლილი ყუმბარის ასვლის მაქსიმალური სიმაღლე. ეს უკანასკნელი კი გამოითვლება ფორმულით:

$$h = \frac{v_0^2 \sin^2 \alpha}{2g}.$$

ამ ორი უკანასკნელი განტოლებიდან მივიღებთ:

$$v_1 = \sqrt{V^2 - v_0^2 \sin^2 \alpha} = 9.06 \text{ მ/წმ},$$

რომლის გათვალისწინებით (1) განტოლებათა სისტემიდან მივიღებთ:

$$\tan \beta = \frac{v_1}{v_0 \cos \alpha} = \frac{\sqrt{V^2 - v_0^2 \sin^2 \alpha}}{2v_0 \cos \alpha} = 1.07 \quad => \quad \beta = 46.9°.$$

ამრიგად, მეორე ნამსხვრევი გაიტყორცნება ჰორიზონტის მიმართ $\beta = 64.9°$ კუთხით, ხოლო სიჩქარის მოდული ტოლია:

$$v_2 = \frac{v_1}{\sin \beta} = \frac{\sqrt{V^2 - v_0^2 \sin^2 \alpha}}{\sin \beta} = 12.41 \text{ მ/წმ}.$$

ნავის გადაადგილება: წყლის ზედაპირზე უძრავად მყოფი $L = 5$ მ სიგრძის ნავის ბოლოებში დგას ორი ადამიანი, რომელთა მასებია $m_1 = 90$ კგ და $m_2 = 60$ კგ. ისინი ერთმანეთში გაცვლიან ადგილებს. რა მანძილზე გადაადგილდება ნავი, თუ მისი მასა $M = 150$ კგ.?

1-ლი მეთოდი: საწყის მდგომარეობაში ნავი ადამიანებთან ერთად უძრავია. თუ წყლის მიმართ m_1 მასის ადამიანი იმოძრავებს $\vec{v}_1$ სიჩქარით, m_2 მასის ადამიანი – $\vec{v}_2$ სიჩქარით, ხოლო ნავი – $\vec{v}$ სიჩქარით, მაშინ, იმპულსის მუდმივობის კანონის თანახმად, წყალთან დაკავშირებულ ათვლის სისტემაში

$$m_1\left(\vec{v}_1 + \vec{v}\right) + m_2(\vec{v}_2 + \vec{v}) + M\vec{v} = 0.$$

ავირჩიოთ საკოორდინატო ღერძი $\vec{v}_1$ სიჩქარის გასწვრივ. მაშინ $\vec{v}_2$ სიჩქარე იქნება მისი საპირისპირო. დავუშვათ, ნავი გადაადგილდა $\vec{v}_2$ სიჩქარის მიმართულებით, მაშინ საკოორდინატო ღერძზე დაგეგმილებით მივიღებთ:

$$m_1\left(v_1-v\right)-m_2\left(v_2+v\right)-Mv=0.$$

თუ გავიხსენებთ, რომ ადამიანებმა ადგილები გაცვალეს, ე.ი. თანაბარი მანძილები გაიარეს, ხოლო ნავის გადაადგილებას აღვნიშნავთ Δx -ით, მაშინ ეს ტოლობა შეიცვლება შემდეგით (სამივე გადაადგილება შესრულებულია ერთი და იგივე დროში):

$$m_1\left(L-\Delta x\right)-m_2\left(L+\Delta x\right)-M\Delta x=0,$$

რომლის ამოხსნა Δx მიმართ გვაძლევს:

$$\Delta x=\frac{\left(m_1-m_2\right)L}{m_1+m_2+M}=0.5\text{ მ.}$$

მე-2 მეთოდი: ამ და მსგავსი ამოცანების ამოხსნა შესაძლებელია აგრეთვე მასათა ცენტრის ცნების გამოყენებით. მკითხველს შევახსენებთ, რომ მატერიალურ წერტილთა სისტემის მასათა ცენტრი არის ის მატერიალური წერტილი, რომლის მასა სისტემის შემადგენელი მატერიალური წერტილების მასების ჯამის, ხოლო იმპულსი სისტემის სრული იმპულსის ტოლია. ჩვენს შემთხვევაში ეს განმარტება გამოიხატება ფორმულით:

$$\left(m_1+m_2+M\right)\vec{V}=m_1\vec{v}_1+m_2\vec{v}_2+M\vec{v}\,,$$

სადაც $\vec{V}$ არის მასათა ცენტრის სიჩქარე უძრავი ათვლის სისტემის მიმართ. თუ გავიხსენებთ, რომ სიჩქარე არის გადაადგილების წარმოებული დროით, მაშინ მასათა ცენტრის $\vec{R}$ რადიუს-ვექტორისთვის გვექნება:

$$\left(m_1+m_2+M\right)\vec{R}=m_1\vec{r}_1+m_2\vec{r}_2+M\vec{r}.$$

ამ ტოლობაში $\vec{r}_1$, $\vec{r}_2$ და $\vec{r}$ შესაბამისად ადამიანების და ნავის რადიუს–ვექტორებია იმავე ათვლის სისტემის მიმართ. რადგან ადგილი აქვს წრფივ მოძრაობას, ox ღერძზე დაგეგმილებით მივიღებთ:

$$\left(m_1+m_2+M\right)X=m_1x_1+m_2x_2+Mx.$$

ავირჩიოთ საკოორდინატო ღერძი სათავით მასათა ცენტრში ($X=0$) და გამოვიყენოთ უკანასკნელი ტოლობა ორჯერ – ადამიანების გადაადგილებამდე და გადაადგილების შემდეგ. რადგან მასათა ცენტრი არ იცვლის მდებარეობას საკოორდინატო ღერძის მიმართ, მივიღებთ:

$$0=m_1a+m_2\left(a+L\right)+M\left(a+\frac{L}{2}\right)=m_1\left(L+a+\Delta x\right)+m_2\left(a+\Delta x\right)+M\left(a+\frac{L}{2}+\Delta x\right),$$

სადაც a არის m_1 მასის ადამიანის საწყისი კოორდინატი (საკოორდინატო ღერძი მიმართულია ნავის მასათა ცენტრიდან პირველი ადამიანისკენ). ამ უკანასკნელიდან მივიღებთ:

$$\Delta x = -\frac{(m_1 - m_2)L}{m_1 + m_2 + M} = -0.5\,\text{მ}.$$

ნიშანი მინუსი მიუთითებს იმაზე, რომ ნავი გადაადგილდება ჩვენ მიერ არჩეული საკოორდინატო ღერძის საპირისპირო მიმართულებით.

გარეშე ძალის მუშაობა: $v = 10$ მ/წმ სიჩქარით მოძრავი მოციგურავე ასრიალდა მოყინულ გორაკზე. რა l მანძილს გაივლის იგი გაჩერებამდე, თუ ყოველ $s = 10$ მ. მანძილზე სიმაღლე იცვლება $h = 0.5$ მეტრით? ციგურების ხახუნის კოეფიციენტი ყინულის ზედაპირთან შეადგენს $k = 0.02$.

გორაკზე ასრიალებისას ხახუნის ძალა წარმოადგენს გარეშე ძალას, რომელიც მოქმედებს რა მოძრაობის საპირისპიროდ, ამცირებს მოციგურავის სრულ მექანიკურ ენერგიას. ამიტომ ხახუნის ძალის მუშაობა უტოლდება მოციგურავის სრული მექანიკური ენერგიის ცვლილებას. გორაკის ძირში მას გააჩნია კინეტიკური ენერგია (ვთვლით, რომ საწყისი მდგომარეობა არის ნულოვანი პოტენციური ენერგიის დონე), ხოლო გაჩერებისას საძიებელ H სიმაღლეზე – პოტენციური ენერგია. ამიტომ

$$A = mgH - \frac{mv^2}{2}.$$

მეორე მხრივ, ხახუნის ძალის მუშაობა

$$A = -kmgl\cos\alpha = -kmg\frac{H}{\sin\alpha}\cos\alpha = -kmgH\frac{s}{h}.$$

შეგახსენებთ, რომ დახრილ სიბრტყეზე ხახუნის ძალა $F = kmg\cos\alpha$. თუ გაუტოლებთ ერთმანეთს ხახუნის ძალის მუშაობის ორ გამოსახულებას, საძიებელი სიდიდისთვის მიიღებთ:

$$H = \frac{v^2}{2g\left(1 + \frac{ks}{h}\right)} \approx 3.6\,\text{მ}.$$

დახრილი სიბრტყე: 10კგ მასის ციგა ჩამოსრიალდა $h = 3$ მ სიმაღლის გორაკიდან და გაჩერდა. რა მუშაობა უნდა შევასრულოთ, რომ ციგა ავასრიალოთ, იმავე სიმაღლეზე?

სხეულზე მოქმედი გარეშე ძალის მიერ შესრულებული მუშაობა ტოლია სხეულის სრული მექანიკური ენერგიის ცვლილების. ციგის ჩამოსრიალების დროს სხეულზე მოქმედი გარეშე ძალა არის სრიალის ხახუნის ძალა,

რომლის მიერ შესრულებული მუშაობა სხეულის გაჩერებამდე იქნება

$$A_1 = -mgh.$$

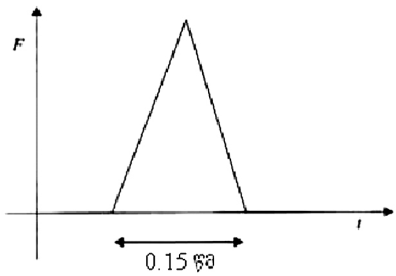
სხეულის ზევით ასრიალების დროს ხახუნის ძალას დაემატება კიდევ ერთი – წევის ძალა, რომლის საშუალებით ციგა უნდა ავასრიალოთ იმავე სიმაღლეზე. ამ უკანასკნელის მუშაობას თუ აღვნიშნავთ A-თი, მაშინ

$$A + A_1 = mgh,$$

საიდანაც საძიებელი A მუშაობისთვის მივიღებთ:

$$A = 2mgh = 588 \text{ ჯ}.$$

იმპულსის ცვლილება: 0.45 კგ მასის სხეული, რომელიც მოძრაობს გლუვ იატაკზე $v = 5$ მ/წმ სიჩქარით, ეჯახება ვერტიკალურ კედელს და აირეკლება მისგან $v = 4$ მ/წმ. სიჩქარით. გამოთვალეთ სხეულზე მოქმედი ძალის საშუალო მნიშვნელობა, თუ კედელთან შეჯახების ხანგრძლივობა იყო 0.15 წმ. ისარგებლეთ ძალის დროზე დამოკიდებულების მოცემული გრაფიკით (ნახ. 2) და განსაზღვრეთ სხეულზე მოქმედი ძალის მაქსიმალური მნიშვნელობა.



ნახ. 2

კედელთან სხეულის შეჯახებასის ორივე განიცდის დეფორმაციას, რის გამოც ისინი ერთმანეთზე მოქმედებენ მოდულით ტოლი და ურთიერთსაპირისპირო ძალებით. სხეულზე მოქმედი ძალა, ნიუტონის მეორე კანონი შესაბამისად, არის სხეულის იმპულსის ცვლილების სისწრაფე, რაც ნიშნავს, რომ

$$\vec{F} = \frac{m\vec{v}_2 - m\vec{v}_1}{t}.$$

თუ საკოორდინატო ღერძს ავირჩევთ არეკლილი სხეულის სიჩქარის მიმართულებით, მაშინ ძალის მოდულისთვის მივიღებთ შემდეგ ტოლობას:

$$F = \frac{m\left(v_2 + v_1\right)}{t} = 30 \text{ ნ}.$$

სხეულზე მოქმედი ძალის მაქსიმალური მნიშვნელობის გამოსათვლელად გავიხსენოთ, რომ ძალის დროზე დამოკიდებულების გრაფიკით შემოსაზღვრული ნაკვთის ფართობი რიცხობრივად ტოლია სხეულის იმპულსის ცვლილების სიდიდის. ჩვენს შემთხვევაში ეს ნაკვთი არის ტოლფერდა სამკუთხედი, რომლის ფართობია $Ft = 4.5$ მ/წმ (საშუალო ძალის იმპულ-

სი). ამიტომ ძალის მაქსიმალური მნიშვნელობა გამოითვლება ტოლობი-დან:

$$\frac{1}{2}F_{max}\cdot 0.15 = 4.5\,\text{ნ},$$

საიდანაც მივიღებთ $F_{max} = 60\,\text{ნ}$.

სითხეში ჩაგდებული სხეულის მოძრაობა: სითხის ზედაპირიდან რა H სი-მაღლიდან უნდა ჩავარდეს სხეული სითხეში, რომ ჩაიძიროს h სიღრმეზე, თუ სხეულის სიმკვრივეა ρ_0, სითხის სიმკვრივე – ρ და $\rho > \rho_0$? რა სიჩქა-რით ჩავარდება სხეული სითხეში და როგორი აჩქარებით იმოძრავებს იგი სითხეში? სითხის და ჰაერის წინააღმდეგობა უგულებელყავით.

ამოცანის პირობის თანახმად, სითხეში ჩავარდნილ სხეულზე მოქმედი გა-რეშე ძალა არის მხოლოდ არქიმედეს ძალა F, რომლის მუშაობა უტოლ-დება სხეულის სრული მექანიკური ენერგიის ცვლილებას. თუ ნულოვანი პოტენციური ენერგიის დონედ ავირჩევთ სხეულის საბოლოო მდგომარე-ობას, ანუ h სიღრმეს სითხის ზედაპირიდან, ეს მუშაობა ტოლი იქნება

$$A = -mg\left(H + h\right).$$

მეორე მხრივ, არქიმედეს ძალის მუშაობა (რომელიც უარყოფითია)

$$A = -Fh = -\ gVh = -mgh \quad .$$

ამ ორი ფორმულის გაერთიანებით საძიებელი სიდიდისთვის მივიღებთ:

$$H = h\frac{\rho - \rho_0}{\rho_0}.$$

ამ შედეგს თუ გავაანალიზებთ, ვნახავთ, რომ რაღაც H სიმაღლიდან სით-ხეში ჩავარდნილი სხეულის ჩაძირვის სიღრმე h მეტია H სიმაღლეზე. ეს არც არის გასაკვირი, თუ გავითვალისწინებთ, რომ წყლის წინააღმდეგო-ბის ძალა უგულებელყოფილია.

სითხეში ჩავარდნისას სხეულის v სიჩქარის გამოსათვლელად ვისარგებ-ლოთ ენერგიის მუდმივობის კანონით სხეულის მოძრაობისთვის სითხის ზედაპირამდე, რომლის თანახმად

$$mgH = \frac{mv^2}{2}$$

მივიღებთ

$$v = \sqrt{2gh\frac{\rho - \rho_0}{\rho_0}}.$$

სითხეში აჩქარების გამოსათვლელად შევნიშნოთ, რომ სხეული მოძრაობს თანაბარშენელებულად და აჩქარება მიმართულია მოძრაობის საპირისპიროდ. აჩქარების მოდული ტოლი იქნება

$$a = \frac{F - mg}{m} = \frac{\rho - \rho_0}{\rho_0} g.$$

სითბოს გამოყოფა: უძრავ გრძელ ჰორიზონტალურ ურიკაზე ძევს $m = 1$ კგ მასის სხეული, რომელსაც ანიჭებენ 10 მ/წმ სიჩქარეს. სხეულსა და ბაქანს შორის ხახუნის კოეფიციენტი ტოლია $\mu = 0.2$. რა მანძილს გაივლის ურიკა დროის იმ მომენტისთვის, როდესაც სხეული ურიკაზე გაჩერდება? ურიკის მასა $M = 100$ კგ. ხახუნი ურიკას და დედამიწას შორის უგულებელყავით.

ურიკა იმოძრავებს აჩქარებულად ჰორიზონტალური მიმართულებით, რადგან მასზე იმოქმედებს სხეულის მხრიდან ხახუნის ძალა. ამიტომ მის მიერ გავლილი მანძილი იქნება

$$s = \frac{u^2}{2a},$$

სადაც u არის ურიკის სიჩქარე, მაშინ როდესაც სხეული გაჩერდება. ეს სიჩქარე შეიძლება გამოვთვალოთ იმპულსის მუდმივობის კანონიდან, რომლის თანახმად

$$mv = (M + m)u.$$

ურიკის აჩქარება, ნიუტონის მეორე კანონის თანხმად

$$a = \frac{\mu mg}{M}.$$

ამ ფორმულების გამოყენებით ურიკის გადაადგილებისთვის მივიღებთ:

$$s = \frac{mMv^2}{2kg(M + m)^2} \approx 0.25 \text{ მ}.$$

გამოყოფილი სითბოს რაოდენობის Q გამოსათვლელად ვისარგებლოთ ენერგიის მუდმივობის კანონით. სითბოს ეს რაოდენობა, ცხადია, ტოლია ენერგიის ცვლილების, კერძოდ

$$Q = \frac{mv^2}{2} - \frac{(M + m)u^2}{2} = \frac{mMv^2}{2(M + m)} = 50 \text{ ჯ}.$$

მაგიდაზე დადებული თოკის მოძრაობა: L სიგრძის ერთგვაროვანი თოკი ძევს გლუვ ჰორიზონტალურ მაგიდაზე ისე, რომ მისი ერთი ბოლო მაგიდის ნაპირზეა. დროის რომელიღაც მომენტში თოკს უბიძგეს და მან დაიწყო ჩამოსრიალება უწყვეტად. იპოვეთ თოკის აჩქარების და სიჩქარის დამოკიდებულება თოკის იმ ნაწილის x სიგრძეზე, რომელიც გადმოკიდებულია მაგიდიდან.

თოკს აჩქარებას ანიჭებს სიმძიმის ძალა, რომელიც მოქმედებს თოკის მაგიდიდან გადმოკიდებულ ნაწილზე. ცხადია, ეს ძალა შეადგენს თოკზე მოქმედი სიმძიმის ძალის რაღაც ნაწილს და იგი ტოლია

$$F = Mg\frac{x}{L},$$

სადაც M არის მთლიანი თოკის მასა. ნიუტონის მეორე კანონის თანახმად, თოკის აჩქარება იქნება

$$a = \frac{F}{M} = g\frac{x}{L}.$$

ამ მომენტისთვის თოკის სიჩქარე გამოვთვალოთ ენერგიის მუდმივობის კანონის გამოყენებით. თოკის x სიგრძის მქონე ნაწილის სიმძიმის ცენტრი მაგიდიდან ჩამოსრიალების დროს დაიწევს მანძილით

$$h = \frac{x}{2}.$$

თუ პოტენციური ენერგიის ნულოვან დონედ ავირჩევთ თოკის გადმოკიდებული ნაწილის (x სიგრძის) სიმძიმის ცენტრის მდებარეობას, მაშინ ენერგიის მუდმივობის კანონის თანახმად

$$Mg\frac{x^2}{2L} = M\frac{v^2}{2}.$$

საიდანაც სიჩქარისთვის მივიღებთ:

$$v = \sqrt{g\frac{x^2}{L}}.$$

როდესაც თოკი მთლიანად ჩამოსრიალდება, მისი სიჩქარე იქნება

$$v = \sqrt{gL}.$$

აბსოლუტურად დრეკადი დაჯახება: m_1 მასის სხეული ეჯახება m_2 მასის უძრავ სხეულს. იპოვეთ, უძრავი სხეულისთვის გადაცემული ენერგია სისტემის საწყისი ენერგიის რა ნაწილს შეადგენს და გამოსახეთ იგი სიდიდით $k = m_1 / m_2$, თუ დაჯახება არის აბსოლუტურად დრეკადი და ცენტრალური.

რადგან დაჯახება არის აბსოლუტურად დრეკადი, ვიყენებთ იმპულსის და მექანიკური ენერგიის მუდმივობის კანონებს. კერძოდ

$$m_1\vec{v} = m_1\vec{v}_1 + m_2\vec{v}_2,$$

$$\frac{m_1v^2}{2} = \frac{m_1v_1^2}{2} + \frac{m_2v_2^2}{2}.$$

კოორდინატთა x ღერძი ავირჩიოთ პირველი სხეულის საწყისი სიჩქარის $\vec{v}$ გასწვრივ. მაშინ პირველი განტოლების დაგეგმილებით ამ ღერძზე მივიღებთ:

$$m_1v = m_1v_{1x} + m_2v_{2x}. \tag{1}$$

დავწეროთ ეს და ენერგიის მუდმივობის კანონის გამომსახველი ფორმულა შემდეგნაირად:

$$m_1\left(v - v_{1x}\right) = m_2v_{2x},$$

$$m_1(v^2 - v_{1x}^2) = m_2v_{2x}^2.$$

თუ მათ შევაფარდებთ ერთმანეთთან, მივიღებთ:

$$v + v_{1x} = v_{2x}.$$

ჩავსვათ v_{2x} – ეს მნიშვნელობა (1)-ში. საბოლოოდ, სხეულების სიჩქარეებისთვის დაჯახების შემდეგ მივიღებთ შემდეგ ტოლობებს.

$$v_{1x} = \frac{m_1 - m_2}{m_1 + m_2}v,$$

$$v_{2x} = \frac{2m_1}{m_1 + m_2}v.$$

როგორც ვხედავთ, მასებს შორის თანაფარდობის მიხედვით პირველი სხეული ან გააგრძელებს მოძრაობას იგივე მიმართულებით $(m_1 > m_2)$, ან ამოძრავდება საპირისპირო მიმართულებით $(m_1 < m_2)$. ორივე შემთხვევაში მეორე სხეულისთვის გადაცემული ენერგია არის ერთი და იგივე

$$E_{2k} = \frac{2m_1^2m_2}{\left(m_1 + m_2\right)^2}v^2.$$

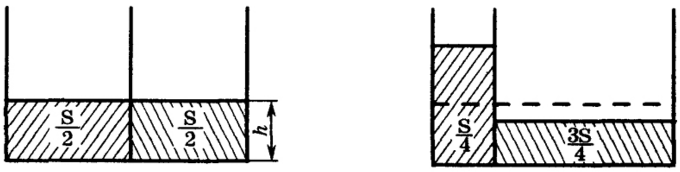
იგი შეადგენს საწყისი ენერგიის $E = m_1v^2/2$ ნაწილს, რომელიც ტოლია

$$f = \frac{4m_1m_2}{\left(m_1 + m_2\right)^2} = \frac{4k}{\left(1+k\right)^2}.$$

როგორც ვხედავთ, ეს ფარდობა მით მეტია, რაც უფრო ახლოს არის კოეფიციენტი k – მასების შეფარდება – ერთთან და მაქსიმალურ მნიშვნელობას აღწევს მასების ტოლობის შემთხვევაში, ანუ როდესაც $k = 1$ და ეს

მაქსიმალური მნიშვნელობა ერთის ტოლია. ამრიგად, მასების ტოლობის შემთხვევაში, დაჯახების შემდეგ პირველი სხეული ჩერდება, ხოლო მეორე ამოძრავდება პირველი სხეულის საწყისი სიჩქარით.

სითხის ენერგიის ცვლილება: აუზი, რომლის ფსკერის ფართობია $S = 100$ მ², ავსებულია წყლით ფსკერიდან $h = 2$ სიმაღლეზე და გაყოფილია ორ ტოლ ნაწილად ვერტიკალური ძგიდით. რა A მუშაობა უნდა შევასრულოთ, რომ ძგიდე ნელა გადავაადგილოთ ჰორიზონტალურად ისე, რომ წყალმა არ გაჟონოს არცერთ ნაწილში და საბოლოო მდგომარეობაში აუზი გაიყოს 1:3 თანაფარდობით (იხ. ნახ. 1)?



ნახ. 1

პირველ რიგში, მივიღოთ მხედველობაში, რომ ძგიდე გადაადგილდება ნელა და, მაშასადამე, წყალს კინეტიკური ენერგია არ შეუძენია. მუშაობა, რომელიც უნდა შევასრულოთ, ტოლი იქნება სისტემის სრული მექანიკური ენერგიის ცვლილების, ამ შემთხვევაში სისტემის პოტენციური ენერგიის ცვლილების. საბოლოო მდგომარეობაში სითხის დონეების სიმაღლე ფსკერიდან განისაზღვრება აუზის ორივე ნაწილში სითხის მოცულობების უცვლელობით. აუზი, მარცხენა და მარჯვენა ნაწილებისთვის შესაბამისად გვაქვს :

$$\frac{S}{2}h = \frac{S}{4}h_1, \qquad \frac{S}{2}h = \frac{3S}{4}h_2\ ,$$

საიდანაც ვასკვნით, რომ

$$h_1 = 2h, \qquad h_2 = \frac{2h}{3}\ .$$

საძიებელი მუშაობა ტოლია $A = E_2 - E_1$, სადაც E_1 და E_2 სისტემის საწყისი და საბოლოო პოტენციური ენერგიებია:

$$E_1 = mgh, \;\; E_2 = \frac{m}{2}g\,2h + \frac{m}{2}g\,\frac{2}{3}h = \frac{4}{3}mgh,$$

ამრიგად

$$A = \frac{1}{3}mgh = \frac{1}{3}\rho g S h^2 = 650 \text{ კჯ}.$$

მუშაობა და პოტენციური ენერგია: ორი ნივთიერი წერტილის ურთიერთქმედების პოტენციური ენერგია არის $E_p = \frac{C}{r}$. აჩვენეთ, რომ ნივთიერი წერტილების ურთიერთქმედების ძალა F არის მანძილის კვადრატის უკუპროპორციული. რა შემთხვევაში იზიდავენ ისინი ერთმანეთს და რა შემთხვევაში განიზიდავენ?

წერტილებს შორის მანძილის Δr სიდიდით გაზრდისას პოტენციური ენერგიის ცვლილება იქნება

$$\Delta E_p = \frac{C}{r+\Delta r} - \frac{C}{r} = -\frac{C\Delta r}{r\left(r+\Delta r\right)} = -\frac{C\Delta r}{r^2} \ .$$

აქ ჩვენ გავითვალისწინეთ Δr სიმცირე. ამ დროს მათ შორის ურთიერთქმედების F ძალა ასრულებს მუშაობას, რომელიც ტოლია პოტენციური ენერგიის ცვლილების საპირისპირო ნიშნით:

$$A = -\Delta E_p = \frac{C\,\Delta r}{r^2} \ .$$

ეს მუშაობა, თავის მხრივ, ტოლია $A = F\Delta r$. ბოლო ორი ტოლობის შედარებით მივიღებთ

$$F = \frac{C}{r^2} \ .$$

რაც შეეხება მიზიდვას/განზიდვას, გავითვალისწინოთ, რომ პოტენციური ენერგიის ნულოვანი მდგომარეობაა, როცა წერტილები უსასრულოდ არიან დაშორებულნი. თუ წერტილებს ერთმანეთს დავუახლოვებთ, მაშინ პოტენციური ენერგია იზრდება, თუ $C > 0$ და პირიქით მცირდება, თუ $C<0$. პირველ შემთხვევაში ძალა ასრულებს უარყოფით მუშაობას (პოტენციური ენერგია იზრდება), რაც იმას ნიშნავს, რომ ძალა გადაადგილების საპირისპიროდ არის მიმართული და, მაშასადამე, სხეულები განიზიდავენ ერთმანეთს. მეორე შემთხვევაში ძალა ასრულებს დადებით მუშაობას და ძალა მიმართულია გადაადგილების გასწვრივ, ანუ სხეულები ერთმანეთს მიიზიდავენ. ამრიგად, სხეულები ერთმანეთს განიზიდავენ, თუ $C>0$ და მიიზიდავენ, თუ $C<0$. გავიხსენოთ, რომ მსოფლიო მიზიდულობის კანონის ძალით, ორი სხეული ერთმანეთს იზიდავს ძალით

$$F = G\frac{mM}{r^2} \ .$$

ეს შეესაბამება უარყოფით C შემთხვევას. ორი სხეულის ურთიერთქმედების პოტენციური ენერგია კი იქნება

$$E_p = -G\frac{mM}{r}.$$

ცილინდრში წყლის მოძრაობა: ჰორიზონტალურად მდებარე D დიამეტრის ცილინდრში მოთავსებულია წყალი და დგუში. დგუში გადაადგილდება ჰორიზონტალურად F ძალის მოქმედებით, ხოლო წყალი იღვრება ცილინდრიდან, ცილინდრის ფუძეში გაკეთებული d დიამეტრის ხვრელიდან. რა u სიჩქარით გადაადგილდება დგუში? ხახუნი უგულებელყავით. სითხის სიმკვრივეა ρ.

დგუშის გადაადგილების დროს ცილინდრიდან იღვრება რაღაც Δm მასის წყალი. დგუშზე მოქმედი ძალა ასრულებს მუშაობას, რომელიც ტოლია გადმოღვრილი სითხის კინეტიკური ენერგიის ცვლილების:

$$A = Fu\Delta t = \frac{\Delta m v^2}{2} - \frac{\Delta m u^2}{2}.$$

აქ v არის გადმოღვრილი სითხის სიჩქარე, ხოლო Δt – დრო, რომლის განმავლობაშიც გადაადგილდება დგუში. ეს სიჩქარე გამოითვლება ფორმულით:

$$\frac{v}{u} = \frac{S}{s} = \frac{D^2}{d^2}.$$

გამოღვრილი წყლის მასა ტოლია

$$\Delta m = \frac{\pi D^2}{4}\rho u\Delta t. \text{ და შემდეგი } \Delta m = \frac{\pi D^2}{4}\rho u\Delta t.$$

ამ ფორმულების გამოყენებით მივიღებთ საძიებელი სიჩქარის შემდეგ გამოსახულებას:

$$u = \frac{d^2}{4}\sqrt{\frac{8F}{\pi\rho(D^4 - d^4)}}.$$

ძაფზე ჩამოკიდებული ბურთულების დაჯახება: ორი ბურთულა ჩამოკიდებულია ორ პარალელურ და ტოლი სიგრძის ძაფეზე. ბურთულების მასებია: $m_1 = 0.2$ და $m_2 = 0.1$ კგ. პირველი ბურთულა გადახარეს ისე, რომ მისი სიმძიმის ცენტრმა აიწია $h = 4.5$ მ სიმაღლეზე და შემდეგ გაუშვეს. რა სიმაღლეზე ავლენ ბურთულები, თუ დაჯახება არის ა) დრეკადი; ბ) არადრეკადი.

ა) დრეკადი დაჯახების დროს ბურთულებისთვის იმპულსის მუდმივობის კანონის თანახმად (პირველი ბურთულას მასა მეტია)

$$m_1 v = m_1 v_1 + m_2 v_2,$$

მაგრამ ენერგიის მუდმივობის კანონის თანახმად (ცალ-ცალკე ბურთულებისთვის) $v=\sqrt{2gh}$, $v_1=\sqrt{2gh_1}$, $v_2=\sqrt{2gh_2}$. აქ h_1 და h_2 შესაბამისად სიმაღლეებია, რომლებზეც ავლენ ბურთულები დაჯახების შემდეგ. ამ ფორმულების გათვალისწინებით იმპულსის მუდმივობის კანონი მიიღებს შემდეგ სახეს

$$m_1\sqrt{2gh}=m_1\sqrt{2gh_1}+m_2\sqrt{2gh_2}\ .$$

ენერგიის მუდმივობის კანონის თანახმად

$$m_1gh=m_1gh_1+m_2gh_2\ .$$

გადავწეროთ ეს განტოლებები შემდეგი სახით:

$$m_1\sqrt{2gh}-m_1\sqrt{2gh_1}=m_2\sqrt{2gh_2}, \tag{1}$$

$$m_1gh-m_1gh_1=m_2gh_2\ . \tag{2}$$

მათი ერთმანეთზე გაყოფით მივიღებთ:

$$\sqrt{h_2}=\sqrt{h_1}+\sqrt{h}. \tag{3}$$

(1) და (3) განტოლებების ამოხსნით მივიღებთ:

$$h_1=h\left(\frac{m_1-m_2}{m_1+m_2}\right)^2=0.5\ \text{მ}.$$

$$h_2=4h\left(\frac{m_1}{m_1+m_2}\right)^2=8\ \text{მ}.$$

1.4 სტატიკა – წონასწორობის პირობები

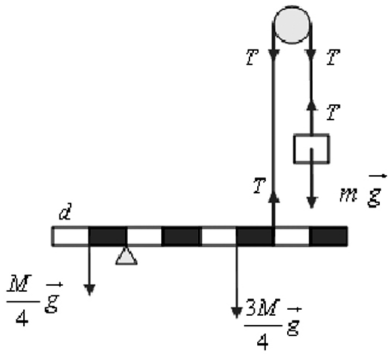
ნიუტონის მეორე კანონის თანახმად, ნივთიერი წერტილის აჩქარება ნულის ტოლია, თუ მასზე მოქმედ ძალთა ტოლქმედი ნულის ტოლია. ამ შემთხვევაში ვამბობთ, რომ ნივთიერი წერტილი წონასწორობაშია. წონასწორობის კონკრეტული სახეა ნივთიერი წერტილის უძრაობა. მაშასადამე, ნივთიერი წერტილის უძრაობის პირობა არის მასზე მოქმედი ძალების ტოლქმედის ნულთან ტოლობა. ეს პირობა არის აუცილებელი, მაგრამ არა საკმარისი, როდესაც ვიხილავთ იმ სხეულის წონასწორობის პირობებს, რომელსაც ვერ მივუყენებთ ნივთიერი წერტილის მიახლოებას. საქმე ის არის, რომ როდესაც სხეულზე მოქმედებენ გარეშე ძალები, იგი განიცდის დეფორმაციას, ხოლო მისი შემადგენელი ნაწილები ერთმანეთზე

მოქმედებენ ძალებით, რომლებსაც ხშირად შიდა ძალებს უწოდებენ. თუ დეფორმაციები მცირეა – როგორც ეს ხშირად ხდება პრაქტიკაში – მათი უგულებელყოფა შესაძლებელია. ამ დროს არ იცვლება სხეულის გეომეტრიული ზომები, მისი ფორმა. ასეთ სხეულებს **აბსოლუტურად მყარ სხეულებს** უწოდებენ. ასეთი სხეულების წონასწორობის პირობების განხილვა შედარებით ადვილია. ამრიგად, **მყარი სხეული წონასწორობაშია, თუ მასზე მოქმედი ძალების ტოლქმედი ნულის ტოლია:** $\sum \vec{F}_k = 0$. ძალების ტოლქმედის გაანგარიშების დროს საჭიროა სიფრთხილე. საქმე ის არის, რომ ვექტორულად ძალების შეკრების დროს ჩვენ ვიყენებთ წესს, რომლის თანახმად ერთი ვექტორის ბოლოს უნდა მოვდოთ მეორე ვექტორის სათავე და ა. შ., ანუ ვექტორები უნდა გადავაადგილოთ. შეკრებით მიღებული ტოლქმედი სხეულზე ისეთივე ქმედებას უნდა იწვევდეს, როგორც შესაკრები ძალების ერთობლიობა. ეს კი მაშინ მოხდება, თუ ძალებს გადავაადგილებთ მათი მოქმედების წრფის გასწვრივ (ამ დროს ძალის მოქმედების შედეგი უცვლელია). ამიტომ, ძალების ტოლქმედის გაანგარიშება მოითხოვს ამ პირობის გათვალისწინებას.

მყარი სხეულის წონასწორობის ზემოთ ჩამოყალიბებული პირობა საკმარისი არ არის იმისთვის, რომ იგი წონასწორობაში იყოს. სხეულზე მოქმედი გარეშე ძალები, როგორც წესი, მოდებულია სხეულის სხვადასხვა ნაწილებზე. წარმოვიდგინოთ ვერტიკალურ ღერძზე მიმაგრებული ჰორიზონტალური ღერო, რომელსაც შეუძლია ბრუნვა ამ ღერძის გარშემო. მოვდოთ ღეროს ბოლოებზე მის მართობულად ურთიერთსაპირისპიროდ მიმართული, სიდიდით ტოლი, ორი ჰორიზონტალური ძალა. ცხადია, მათი ტოლქმედი ნულის ტოლი იქნება, მაგრამ სხეული არ იქნება უძრავი – ის ამ ძალების მოქმედებით იბრუნებს ჰორიზონტალურ სიბრტყეში (მსგავსი მაგალითებია ველოსიპედის ან მანქანის საჭე). ეს იმიტომ ხდება, რომ ძალები მოდებულია სხეულის სხვადასხვა ნაწილებზე. ამრიგად, სხეულზე მოდებული ძალების ტოლქმედი ნულის ტოლია, მაგრამ სხეული არ არის წონასწორობაში – იგი ბრუნავს. მოდებული ძალების მაბრუნებელი მოქმედების დასახასიათებლად, როგორც ვიცით, ფიზიკაში შემოაქვთ სიდიდე, რომელსაც ეწოდება ძალის მომენტი. **ძალის მომენტი განიმარტება, როგორც ძალის სიდიდის და მისი მხრის (მხარი არის მანძილი ბრუნვის ღერძიდან ძალის მოქმედების წრფემდე) ნამრავლი** $M = Fd$. გამოყვანის გარეშე მოვიყვანთ წონასწორობის მეორე პირობას, რომელიც სრულდება დამაგრებული ბრუნვის ღერძის მქონე სხეულებისთვის. აქ მხოლოდ

აღვნიშნავთ, რომ თუ ეს პირობა არ სრულდება, მაშინ სხეულზე მოქმედი ასეთი ძალების მიერ შესრულებული მუშაობა განსხვავდება ნულისგან და სხეულის კინეტიკური ენერგია და, მაშასადამე, მისი სიჩქარეც იცვლება. ამრიგად, წონაწორობის მეორე პირობა ასე ყალიბდება: **სხეული წონაწორობაშია, თუ მასზე მოქმედი ძალების მომენტების ალგებრული ჯამი ბრუნვის ნებისმიერი ღერძის მიმართ ნულის ტოლია:** $\sum M_k = 0$. ამ წესს მომენტების წესსაც უწოდებენ. ალგებრული ჯამი გულისხმობს, რომ ძალის მომენტი შეიძლება იყოს როგორც დადებითი, ისე უარყოფითი. თუ რომელიმე მიმართულებით მაბრუნებელი ძალების მომენტებს მივიჩნევთ დადებითად, მაშინ საპირისპირო მიმართულებით მაბრუნებელი ძალების მომენტები უნდა ჩავთვალოთ უარყოფითად. წონასწორობის ეს პირობა შეიძლება სხვანაირადაც ჩამოყალიბდეს: **საათის ისრის მიმართულებით მაბრუნებელი ძალების მომენტების ჯამი ტოლია საათის ისრის საპირისპიროდ მაბრუნებელი ძალების მომენტების ჯამის.**

ამოცანა წონასწორობის პირობაზე. ნახ. 1-ზე გამოსახულია $M = 10$ კგ მასის მქონე ერთგვაროვანი ღერო, რომელიც იმყოფება წონასწორობაში. ღეროს სიგრძეა $8d$. როგორი უნდა იყოს თოკზე ჩამოკიდებული სხეულის მასა m, თუ ხახუნს ჭოჭონაქსა და თოკს შორის და ჭოჭონაქის და თოკის მასებს მხედველობაში არ მივიღებთ?*)



ნახ.1

ღეროს აქვს საყრდენი, რომელიც შეგვიძლია განვიხილოთ, როგორც ბრუნვის ღერძი. ეს უკანასკნელი ღეროს ყოფს თანაფარდობით 2:6. იგივე თანაფარდობით გაყოფილია ღეროს მასაც. ამიტომ საყრდენი წერტილის მარცხნივ ღეროზე მოქმედებს სამჯერ ნაკლები სიმძიმის ძალა, ვიდრე მარჯვნივ. რადგან ღერო ერთგვაროვანია, მათი მოდების წერტილები არიან ღეროს შესაბამისი ნაწილების შუა წერტილები. მომენტების წესის თანახმად, ვწერთ შემდეგ განტოლებას

$$\frac{M}{4}gd + 4Td = \frac{3M}{4}g3d.$$

*) ამოცანა შეთავაზებული იყო სასკოლო ოლიმპიადაზე 2012 წელს.

მეორე მხრივ, ჭოჭონაქზე გადაკიდებული სხეულის წონასწორობის პირობის თანახმად $2T = mg$. აქ ჩვენ გამოვიყენეთ ამოცანის პირობა, რომლის თანახმად ჭოჭონაქსა და თოკს შორის ხახუნის და და ჭოჭონაქის და თოკის მასების უგულებელყოფა შეიძლება. ჭოჭონაქი და ძაფზე ჩამოკიდებული ტვირთი კი, ნიუტონის მესამე კანონის თანახმად, ერთმანეთთან ურთიერთქმედებენ სიდიდით ტოლი ძალებით. ამ ორი განტოლების ამოხსნით მარტივად მივიღებთ, რომ $m = M / 2 = 5$ კგ. ამოცანა შეიძლება ამოიხსნას მეორენაირად: ღეროზე მოქმედებს ორი ძალა – სიმძიმის Mg და T, რომელთა მხრები ბრუნვის იმავე ღერძის მიმართ ტოლია $2d$ და $4d$. წონასწორობის პირობის თანახმად $2Mgd = 4Td = 4mgd$, საიდანაც მივიღებთ $m = M / 2 = 5$ კგ.

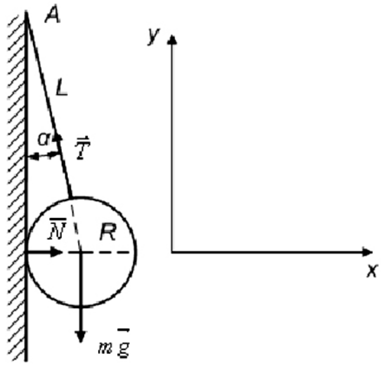
კედელზე ჩამოკიდებული სფერო: ვერტიკალურ კედელზე L სიგრძის თოკზე ჩამოკიდებულია m მასის სფერო, რომლის რადიუსია R. იპოვეთ სფეროზე მოქმედი რეაქციის $\vec{N}$ და თოკის დაჭიმულობის $\vec{T}$ ძალები. ხახუნი კედელთან უგულებელყავით (ნახ. 1).

წონასწორობის პირობის თანახმად, სფეროზე მოქმედ ძალთა ტოლქმედი ნულის ტოლია:

$$\vec{T} + \vec{N} + m\vec{g} = 0. \qquad (1)$$

ნახაზზე მოცემულ კოორდინატთა ღერძებზე დაგეგმილებით მივიღებთ განტოლებათა შემდეგ სისტემას:

$$\begin{cases} N - T\sin\alpha = 0, \\ T\cos\alpha - mg = 0. \end{cases} \qquad (2)$$



ნახ. 1

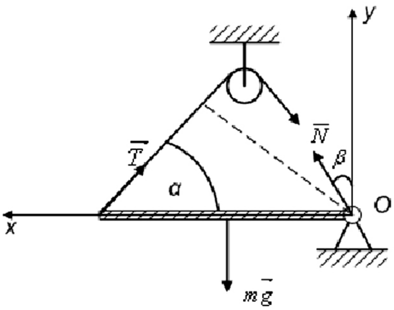
როგორც ვხედავთ, ეს ორი განტოლება საკმარისი არ არის საძიებელი ძალების გამოსათვლელად. გვჭირდება კიდევ ერთი განტოლება. ამ განტოლებას წარმოადგენს წონასწორობის მეორე პირობა – მომენტების წესი. ავირჩიოთ რომელიმე ბრუნვის ღერძი. ამოცანის პირობიდან გამომდინარე, ადვილი მისახვედრია, რომ მოხერხებულია, ბრუნვის ღერძად ავირჩიოთ სფეროს ცენტრზე ნახაზის სიბრტყის მართობულად გამავალი ღერძი. ამ ღერძის მიმართ რეაქციის და სიმძიმის ძალების მომენტები ნულის ტოლია, რადგან მათი მოქმედების წრფე გადის ბრუნვის ღერძზე. მაშასადამე, თოკის დაჭიმულობის $\vec{T}$ ძალის მოქმედების წრფეც უნდა გადიოდეს

სფეროს ცენტრზე, წინააღმდეგ შემთხვევაში ეს ძალა გამოიწვევდა სფეროს ბრუნვას. ამრიგად, თოკის დაჭიმულობის ძალაც რეაქციის და სიმძიმის ძალების მსგავსად სფეროს ზედაპირის მართობულად მოქმედებს. ეს საშუალებას გვაძლევს გამოვთვალოთ $\sin\alpha$, კერძოდ $\sin\alpha = R/\left(L+R\right)$. (2) განტოლებათა სისტემის ამოხსნით მივიღებთ:

$$T = mg\frac{L+R}{\sqrt{L^2+2LR}}, \quad N = mg\frac{R}{\sqrt{L^2+2LR}} .$$

თოკით გაწონასწორებული ჰორიზონტალური ღერო: $m = 30$ კგ მასის ერთგვაროვანი ღერო, რომელიც სახსრულად არის დამაგრებული O წერტილში და რომელსაც შეუძლია ბრუნვა ხახუნის გარეშე, ჰორიზონტალურად არის გაჩერებული ჭოჭონაქზე გადაკიდებული თოკით. თოკი ღეროსთან ადგენს კუთხეს. გამოთვალეთ თოკის დაჭიმულობის $\vec{T}$ და ღეროზე სახსარში მოქმედი რეაქციის $\vec{N}$ ძალები (ნახ. 2). ჩათვალეთ $\alpha = 60^o$

$g = \frac{10\text{მ}}{\text{წმ}^2}$·



ნახ. 2

აქ უნდა მივიღოთ მხედველობაში, რომ სახსარში რეაქციის ძალა მიმართულია რაღაც β კუთხით ვერტიკალის მიმართ. მისი ერთი მდგენელი N_x მოქმედებს ღეროს გასწვრივ, ხოლო მეორე N_y – მის მართობულად. მდგენელებით ვიპოვით რეაქციის ძალის როგორც სიდიდეს, ასევე მის მიმართულებას – β კუთხეს, კერძოდ

$$N = \sqrt{N_x^2 + N_y^2}\ , \qquad \tan\beta = N_y / N_x\ .$$

გამოვიყენოთ წონასწორობის პირობები. ღეროზე მოქმედი ძალებია: რეაქციის, სიმძიმის და თოკის დაჭიმულობის ძალები. წონაწორობის პირობა გეგმილებში შემდეგნაირად ჩაიწერება:

$$\begin{cases} N_x - T\cos\alpha = 0, \\ N_y + T\sin\alpha - mg = 0. \end{cases}$$

ეს ორი განტოლება შეიცავს სამ უცნობს. მესამე განტოლების სახით გამოვიყენოთ მომენტების წესი. ბრუნვის ღერძად ავირჩიოთ სახსარზე ნახაზის სიბრტყის მართობულად გამავალი ღერძი. მის მიმართ რეაქციის ძალის მომენტი ნულის ტოლია, დანარჩენი ორი ძალისთვის (რომლებიც სხეულს ანიჭებენ ურთიერთსაპირისპირო მაბრუნებელ ქმედებას) მომენტების

წესი ასე გამოიყურება:

$$Td\sin\alpha-\frac{mgd}{2}=0.$$

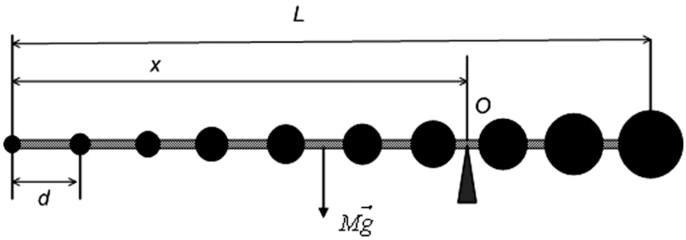
აქ d არის ღეროს სიგრძე. ამ განტოლებიდან მივიღებთ:

$$T=\frac{mg}{2\sin\alpha}\approx 173\text{ ნ}.$$

ამის შემდეგ პირველი ორი განტოლების ამოხსნა სირთულეს არ წარმოადგენს. საბოლოოდ მივიღებთ:

$$N\approx 173\text{ნ},\qquad \tan\beta\approx 0.58 => \beta\approx 30°.$$

ბურთულები ღეროზე: ათი ბურთულა, რომელთა მასებია 1,2,3...10 კგ, დამაგრებულია ერთგვაროვან ღეროზე ერთმანეთისგან თანაბარ $-d=10$სმ მანძილზე. იპოვეთ სისტემის სიმძიმის ცენტრის მდებარეობა, თუ ღეროს მასაა $M=5.5$ კგ.



ნახ. 3

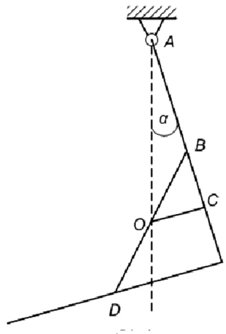
ჩავთვალოთ, რომ სისტემის სიმძიმის ცენტრი მოთავსებულია მარცხენა ბოლოდან x მანძილზე O წერტილში. მოვათავსოთ საყრდენი სიმძიმის ცენტრში და გამოვიყენოთ მომენტების წესი ამ წერტილზე გამავალი ბრუნვის ღერძის მიმართ. ბრუნვის ღერძის მარცხნივ მოქმედი სიმძიმის ძალების მომენტები ჩავთვალოთ დადებითად, ხოლო დანარჩენი ძალების მომენტები – უარყოფითად. ბურთულის მასებისთვის არ შემოვიღებთ ასოთი აღნიშვნას და მომენტების წესში ჩავწერთ პირდაპირ მათი მასების რიცხვით მნიშვნელობებს. ამრიგად

$$1\cdot x+2\cdot(x-d)+3\cdot(x-2d)+4\cdot(x-3d)+5\cdot(x-4d)+6\cdot(x-5d)+$$
$$7\cdot(x-6d)+\frac{ML}{2}\ -8\cdot(L-2d-x)-9\cdot(L-d-x)-10\cdot(L-x)=0.$$

თუ გავითვალისწინებთ, რომ $l=9d$, მივიღებთ $x=55.5$სმ. სიმძიმის ცენტრი მოთავსებულია ღეროს მარცხენა ბოლოდან 55.5 სმ მანძილზე, ანუ მეხუთე და მეექვსე ბურთულებს შორის შუა წერტილში. აქ ერთი შენიშვნა

უნდა გავაკეთოთ. ნახაზზე ჩვენ სურვილისამებრ ავირჩიეთ მანძილი x. მომენტების წესიც შესაბამისად ჩავწერეთ. ეს არჩევანი შეიძლება სხვაც იყოს, მთავარია, სწორად ჩაიწეროს მომენტების წესი.

მოღუნული ღერო წონასწორობაში: ერთგვაროვანი $2l$ სიგრძის ღერო მოღუნეს შუა წერტილში ისე, რომ ნაწილები ერთმანეთის მართობულია. ღერო ჩამოკიდეს და მოიყვანეს წონასწორობაში. იპოვნეთ α კუთხე, რომელსაც ღეროს ერთი ნაწილი ქმნის ვერტიკალთან ჩამოკიდების წერტილში (ნახ. 4).



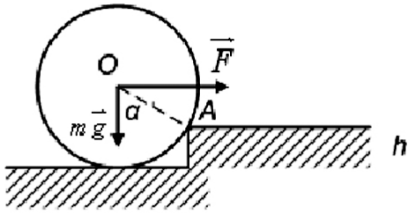
ნახ. 4

თუ ღერო წონასწორობაშია, მაშინ დაკიდების წერტილიდან გავლებული წრფე აუცილებლად გაივლის მოღუნული ღეროს სიმძიმის ცენტრზე, O წერტილზე. წინააღმდეგ შემთხვევაში ღერო დატრიალდებოდა. ამიტომ საძიებელი კუთხე შეიძლება გამოვთვალოთ ფორმულით:

$$\tan\alpha = \frac{OC}{AC}$$

რადგან ღერო ერთგვაროვანია და მოღუნულია შუა წერტილში, ამ ნაწილების სიმძიმის ცენტრებიც მათი შუა წერტილებია, კერძოდ D და B წერტილები. ცხადია, რომ წონასწორობის მდგომარეობაში ამ წერტილების შემაერთებელი წრფეც გაივლის მოღუნული ღეროს სიმძიმის ცენტრზე. ღეროს ნაწილების მასები ტოლია, ამიტომ მათი მხრებიც ტოლი იქნება. ეს კი ნიშნავს, რომ $OD = OB$. შედეგად $OC = BC = l/4$. პირობის თანახმად $AB = l/2$. მაშასადამე $AC = AB + BC = 3/4l$. ამრიგად $\tan\alpha = 1/3$.

ბორბლის აგორება საფეხურზე: რა ძალა უნდა მოვდოთ R რადიუსის და m მასის ბორბლის O ცენტრში, რომ იგი ავაგოროთ h სიმაღლის კიბის საფეხურზე? ხახუნი უგულებელყავით.



ნახ. 5

რადგან ხახუნის ძალას არ ვითვალისწინებთ, მომენტების წესს ვიყენებთ $\vec{F}$ და $m\vec{g}$ ძალებისთვის. ბრუნვის ღერძად ავირჩიოთ A წერტილზე გამავალი ღერძი.

$$F(R-h) - mgR\sin\alpha = 0.$$

სადაც

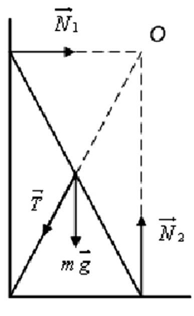
$$\sin\alpha = \frac{\sqrt{R^2-(R-h)^2}}{R}.$$

საბოლოოდ მივიღებთ:

$$F = mg\frac{\sqrt{h(2R-h)}}{R-h}.$$

ცხადია, ბორბლის ასაგორებლად ცენტრში უნდა მოვდოთ ძალა, რომელიც ამ ძალას გადააჭარბებს.

კიბე კედელზე: ერთგვაროვანი m მასის ღერო ეყრდნობა აბსოლუტურად გლუვ იატაკს და კედელს. როგორი უნდა იყოს ღეროს შუა წერტილში მიმაგრებული თოკის დაჭიმულობის ძალა, რომ კიბე არ ჩამოვარდეს?



ნახ. 5

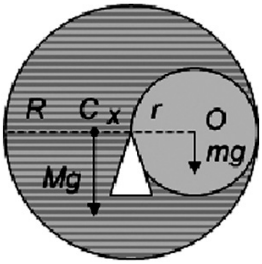
კიბეზე მოქმედი ძალების ტოლქმედის ნულთან ტოლობის პირობის გამოყენებით ამოცანას ვერ ამოვხსნით, რადგან ამ პირობაში სამი უცნობი იქნება. ესენია რეაქციის და თოკის დაჭიმულობის ძალები. გამოვიყენოთ მომენტების წესი. ბრუნვის ღერძი, რომლის მიმართ მომენტების წესს დავწერთ, შეიძლება იყოს ნებისმიერი. ღეროს სიმძიმის ცენტრზე გამავალი ღერძი არ გამოდგება, რადგან თოკის დაჭიმულობის ძალის მომენტი მის მიმართ ნულის ტოლია და ამ ძალას ვერ გავიგებთ. არ გამოგვადგება არც რეაქციის ძალების მოდების წერტილებზე გამავალი ბრუნვის ღერძები – განტოლებაში ერთი უცნობი მაინც იქნება, რომელიც არ არის მოცემული. გამოვიყენოთ მომენტების წესი რეაქციის და თოკის დაჭიმულობის ძალების მოქმედების წრფეების გადაკვეთის O წერტილზე გამავალი ბრუნვის ღერძის მიმართ. ამ ღერძის მიმართ რეაქციის და თოკის დაჭიმულობის ძალების მომენტები ნულის ტოლია. რჩება სიმძიმის ძალა, რომლის ბრუნვის მომენტიც არ უდრის ნულს. ეს კი ნიშნავს, რომ სიმძიმის ძალის მომენტის მოქმედებით კიბე აუცილებლად ჩამოსრიალდება, როგორი სიდიდისაც უნდა იყოს თოკის დაჭიმულობის ძალა.

მანქანის დამუხრუჭება: ახსენით, რატომ იწევს მანქანის ცხვირი დაბლა მკვეთრად დამუხრუჭების დროს.

დამუხრუჭების დროს მანქანის ბორბლებზე მოქმედებს ხახუნის ძალა. ფორმალურად მანქანის სიმძიმის ცენტრზე შეიძლება მოვდოთ სიდიდით ტოლი ორი ძალა, რომელთაგან ერთი მიმართულია მანქანის მოძრაობის

გასწვრივ, ხოლო მეორე – მის საპირისპიროდ. ამით მანქანის მოძრაობის ხასიათი არ შეცვლება, რადგან ამ ძალების ტოლქმედი ნულის ტოლია. მეორე ძალა შეიძლება განვიხილოთ, როგორც წინააღმდეგობის ძალა, ხოლო პირველი – როგორც წყვილი ძალა მოძრაობის მიმართულების საწინააღმდეგოდ მოქმედ ხახუნის ძალასთან ერთად. ეს წყვილი ძალა მოდებულია მანქანის სხვადასხვა წერტილებში და იწვევს მის ბრუნვას სიმძიმის ცენტრის მიმართ. ამიტომაც მანქანის ცხვირი დაბლა დაიწევს.

ამოჭრილი წრიული ფირფიტის სიმძიმის ცენტრი: R რადიუსის ერთგვაროვან თხელ ფირფიტაში ამოჭრილია წრიული ფორმის დისკო, რომლის რადიუსი $r = R/2$. იპოვეთ მიღებული ფირფიტის სიმძიმის ცენტრი.



ნახ.1

მთლიანი ფიფრფიტა წარმოვიდგინოთ, როგორც ორი სხეულისგან შემდგარი სისტემა, რომელთაგან ერთია r რადიუსის დისკო, ხოლო მეორე – ფირფიტა, რომელშიც ამოჭრეს ეს დისკო. ამ სისტემის სიმძიმის ცენტრი, ცხადია, არის ფირფიტის გეომეტრიული ცენტრი (ნახ. 1-ზე ამ წერტილში საყრდენია). ვთქვათ, ამოჭრილი ფირფიტის სიმძიმის საძიებელი ცენტრი მოთავსებულია C წერტილში. r რადიუსის მქონე დისკოს სიმძიმის ცენტრი იქნება მის გეომეტრიულ O ცენტრში. ამოჭრილი ფირფიტის სიმძიმის ძალის მხარი (მანძილი საყრდენიდან C წერტილამდე) აღვნიშნოთ x-ით. მაშინ, მომენტების წესის თანახმად, ფირიფიტა წონასწორობაშია, თუ

$$Mgx - mgr = 0. \tag{1}$$

სადაც M არის ამოჭრილი ფირფიტის მასა, ხოლო m – დისკოს მასა. შემოვიტანოთ დამხმარე სიდიდეები: ფირფიტის სიმკვრივე d და სისქე d (თუ ფირფიტის ზედაპირულ სიმკვრივეს შემოვიტანთ, ფირფიტის სისქე საჭირო აღარ არის). მაშინ მასები გამოისახება შემდეგი ფორმულებით:

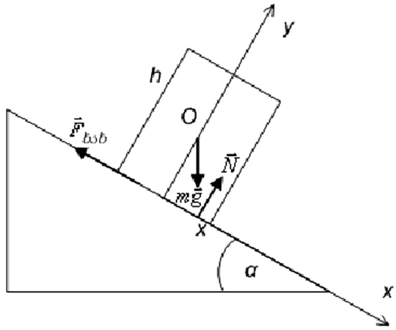
$$M = 4\pi(R^2 - r^2)d\rho, \quad m = 4\pi r^2 d\rho.$$

თუ ჩავსვამთ მათ (1) ფორმულაში, მივიღებთ განტოლებას x მიმართ, რომლის ამოხსნა იქნება $x = R/6$. მაშასადამე, ფირფიტის სიმძიმის ცენტრი მასში r $R/2$ რადიუსის დისკოს ამოჭრის შემდეგ გადაინაცვლებს მისი გეომეტრიული ცენტრიდან მარცხნივ $x = R/6$ მანძილზე.

ამოცანაში გამოყენებული მეთოდი არის ზოგადი. თუ სხეულიდან ამოჭ-

რილია მისი რაიმე ნაწილი (სხეული შეიძლება იყოს ბრტყელი ან სივრცუ-ლი), მაშინ დარჩენილი ნაწილის სიმძიმის ცენტრის საპოვნელად მთლიან სხეულს განიხილავენ, როგორც ორი სხეულისგან შემდგარ სისტემას და მისთვის გამოიყენებენ მომენტების წესს.

ერთგვაროვანი ძელაკი დახრილ სიბრტყეზე: α დახრილობის კუთხის მქონე დახრილ სიბრტყეზე ძევს h სიმაღლის ცილინდრული სხეული, რომლის ფუძის რადიუსია R. განსაზღვრეთ რეაქციის ძალის მოდების წერტილის მდებარეობა (იხ. ნახ. 2).



ნახ. 2

ძელაკზე მოქმედებენ სიმძიმის, უძრაობის ხახუნის და დახრილი სიბრტყის რეაქციის ძალები. რეაქციის ძალის მოდების წერტილი, დახრილობის გამო, წანაცვლებულია ისეთი მიმართულებით, რომ ხახუნის ძალა და რეაქციის ძალა ქმნიან ურთიერთსაპირისპიროდ მაბრუნებელ ძალთა მომენტებს ძელაკის სიმძიმის ცენტრზე გამავალი ბრუნვის ღერძის მიმართ. წონასწორობის პირობის თანახმად, ძელაკზე მოქმედი ძალების ტოლქმედი ნულის ტოლია. თუ ავირჩევთ ბრუნვის ღერძად სიმძიმის ცენტრზე სიბრტყის მართობულად გამავალ ღერძს, მაშინ ძალთა მომენტების ალგებრული ჯამიც ნულის ტოლი უნდა იყოს ამ ღერძის მიმართ (x-ით ა ღვნიშნოთ მანძილი რეაქციის ძალის მოდების წერტილიდან ცილინდრის გვერდით ზედაპირამდე):

$$\vec{F}_{ხახ} + \vec{N} + m\vec{g} = 0, \qquad F_{ხახ} h/2 - N\left(R - x\right) = 0.$$

პირველი განტოლება გეგმილებში ასე გამოიყურება:

$$\begin{cases} -F_{ხახ} + mg\sin\alpha = 0, \\ N - mg\cos\alpha = 0. \end{cases}$$

მეორე განტოლება ამ სისტემასთან ერთად იძლევა შემდეგ ამონახსნს:

$$x = R - \frac{h}{2}\tan\alpha. \qquad (2)$$

გავაანალიზოთ მიღებული შედეგი. დახრილობის კუთხის ნულოვანი მნიშვნელობისთვის $x \quad R$ და რეაქციის ძალა მოდებული იქნება ცილინდრის ფუძის ცენტრში. დახრილობის კუთხის ზრდასთან ერთად x მცირდება და

რეაქციის ძალის მოდების წერტილი თანდათან გადაინაცვლებს ცილინდ-რის გვერდითი ზედაპირისკენ. რეაქციის ძალა იმოქმედებს ამ ზედაპირის გასწვრივ, თუ დახრილობის კუთხის ზღვრული მნიშვნელობა α_0 , როდე-საც ცილინდრი ჯერ კიდევ წონასწორობაშია, დააკმაყოფილებს პირობას

$$\tan\alpha_0 = \frac{2R}{h}. \qquad (3)$$

ამ დროს სიმძიმის ძალის მოქმედების წრფე გადის დახრილი სიბრტყის და ცილინდრის გვერდითი ზედაპირის შეხების წერტილზე (რეაქციის ძა-ლის მოდების წერტილზე). ცილინდრზე მოქმედი სამივე ძალის მომენტი ამ წერტილზე გამავალი ბრუნვის ღერძის მიმართ ამ დროს ნულის ტოლია. დახრილობის კუთხის შემდგომი გაზრდით x-ის განმსაზღვრელ განტო-ლებას აზრი ეკარგება (x უარყოფითი ხდება, რაც დაუშვებელია, რადგან x მანძილია. ეს კი ნიშნავს, რომ წონასწორობის პირობა ირღვევა). ამ დროს თუ ხახუნის კოეფიციენტი ისეთია, რომ ის აჭარბებს $\tan\alpha$ -ს, სხეული გადატანით მოძრაობას ვერ შეასრულებს, მაგრამ დახრილი სიბრტყის და ცილინდრის გვერდითი ზედაპირის შეხების წერტილში გამავალი ბრუნ-ვის ღერძის მიმართ სიმძიმის ძალას გაუჩნდება არანულოვანი ბრუნვის მომენტი, რადგან მისი მოქმედების წრფე გავა ცილინდრის ფუძის გარეთ (ბრუნვის ღერძზე აღარ გაივლის). ამიტომ სხეული ამ ღერძის მიმართ სიმ-ძიმის ძალის გავლენით დაიწყებს ბრუნვას და იგი გადაყირავდება. კუთხის მნიშვნელობა, რომლის დროსაც ეს მოხდება, დამოკიდებულია ცილინდ-რის გეომეტრიულ ზომებზე – რაც მეტია მისი სიმაღლე და ნაკლებია ფუძის რადიუსი, მით ნაკლებია (3) ტოლობით განსაზღვრული კუთხის მნიშვნე-ლობა.

მასათა ცენტრი და სიმძიმის ცენტრი. მასათა ცენტრს ხშირად ვაიგივებთ სიმძიმის ცენტრთან, მაგრამ ეს საზოგადოდ სამართლიანი არ არის. ეს არის ორი განსხვავებული ცნება, თუმცა ეს ცენტრები ხშირ შემთხვევაში ერთმანეთს ემთხვევიან. მასათა ცენტრი არის ის წერტილი, რომელშიც შეიძლება ჩავთვალოთ, რომ სისტემის მთელი მასა არის თავმოყრილი. მასათა ცენტრის კოორდინატები მოცემულ კოორდინატთა სისტემაში გა-ნისაზღვრება სისტემის შემადგენელი ნაწილების რადიუს-ვექტორების მათი მასებით შეწონილი საშუალო მნიშვნელობით.

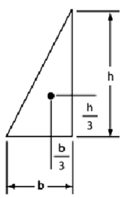
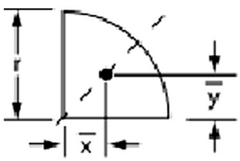
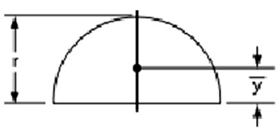
$$\vec{R} = \frac{\vec{r}_1 m_1 + \ldots + \vec{r}_n m_n}{m_1 + \ldots + m_n}.$$

თუ კოორდინატთა სისტემის სათავეს მოვათავსებთ მასათა ცენტრში, მაშინ

$$\vec{r}_1 m_1 + \ldots + \vec{r}_n m_n = 0.$$

გარდა ამისა, მასათა ცენტრი არის ის წერტილი, რომელშიც იკვეთებიან ის წრფეები, რომელთა გასწვრივ მოქმედი ძალები სხეულს ანიჭებენ გადატანით მოძრაობას.

სიმძიმის ცენტრი შეიძლება ასე განვმარტოთ. თუ სისტემის შემადგენელ სხეულებზე მოქმედ სიმძიმის ძალებს შევკრებთ, მაშინ მათი ტოლქმედი მოდებული იქნება სისტემის სიმძიმის ცენტრში. თუ სხეულისთვის ან სხეულთა სისტემისთვის გრავიტაციული ველი შეიძლება ჩაითვალოს ერთგვაროვნად, მაშინ სიმძიმის ცენტრი ემთხვევა მასათა ცენტრს. წინააღმდეგ შემთხვევაში სიმძიმის ცენტრი მცირეოდენ წანაცვლებულია მასათა ცენტრის მიმართ. ყოველდღიურ ცხოვრებაში ჩვენ პრაქტიკულად ვაწყდებით ერთგვაროვანი გრავიტაციული ველის მიახლოებას, ამიტომ ვთვლით, რომ ეს ორი ცენტრი ერთმანეთს ემთხვევა. მასათა ცენტრის პოვნაში ხშირად გვეხმარება ამა თუ იმ სხეულის სიმეტრიის თვისებები და მათი ერთგვაროვნება. თუ სხეული ერთგვაროვანია, მისი მასათა ცენტრი/სიმძი-

	გეომეტრიული ფორმა	გეომეტრიული ცენტრის $\bar{x}$ კოორდინატი	გეომეტრიული ცენტრის $\bar{y}$ კოორდინატი
მართკუთხა სამკუთხედი		$\frac{b}{3}$	$\frac{h}{3}$
მეოთხედი წრე		$\frac{4r}{3\pi}$	$\frac{4r}{3\pi}$
ნახევარწრე		0	$\frac{4r}{3\pi}$

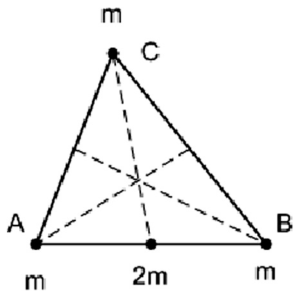
მის ცენტრი ემთხვევა მის გეომეტრიულ ცენტრს. მაგალითად, ბრტყელი მართკუთხა ფორმის სხეულის მასათა ცენტრი/სიმძიმის ცენტრი ემთხვევა დიაგონალების გადაკვეთის წერტილს, სფერული სხეულის შემთხვევაში – მის ცენტრს, ხოლო სამკუთხედის შემთხვევაში – მისი მედიანების გადაკვეთის წერტილს. ცხრილში მოცემულია კიდევ რამდენიმე ბრტყელი სხეულის გეომეტრიული ცენტრის კოორდინატები.

ბრტყელი ასიმეტრიული ერთგვაროვანი სხეულის გეომეტრიული ცენტრის კოორდინატების საპოვნელად ზოგიერთ შემთხვევაში შეიძლება ვისარგებლოთ შემდეგი მეთოდით. სხეული უნდა დავყოთ სიმეტრიულ ნაწილებად (თუ ეს შესაძლებელია), რომელთა გეომეტრიული ცენტრები ცნობილია. მასათა ცენტრის ზემოთ მოყვანილ ფორმულაში მასები გამოვსახოთ სხეულის სიმკვრივის, ზედაპირის ფართობის და სხეულის სისქის საშუალებით (შეიძლება აგრეთვე ფორმალურად შემოვიტანოთ მასის ზედაპირული სიმკვრივე და მასა შევცვალოთ ამ სიმკვრივის და შესაბამისი ზედაპირის ფართობის ნამრავლით). სხეულის სიმკვრივის და სისქის შეკვეცის შემდეგ დაგვრჩება შემდეგი ფორმულა:

$$R = \frac{x_1 S_1 + \cdots + x_n S_n}{S_1 + \cdots + S_n},$$

სადაც S_k და x_k შესაბამისად თითოეული ნაწილის ფართობი და გეომეტრიული ცენტრის კოორდინატია არჩეულ კოორდინატთა სისტემაში.

სამკუთხედის მასათა ცენტრი: სამკუთხედის წვეროებში მოთავსებულია ტოლი m მასის ბურთულები (ნახ. 3). იპოვეთ ამ სისტემის მასათა ცენტრი.

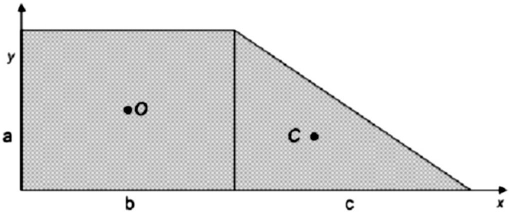


ნახ. 3

სამივე ბურთულას მასათა ცენტრის პოვნით ჩვენ დავამტკიცებთ, რომ სამკუთხედის გეომეტრიული ცენტრი მოთავსებულია მედიანების გადაკვეთის წერტილში, რომელიც მედიანებს ყოფს თანაფარდობით 1:2. მართლაც, A და B წვეროებში მოთავსებული ბურთულების მასათა ცენტრი მოთავსებული იქნება AB გვერდის ცენტრში, სადაც თავმოყრილი იქნება $2m$-ის ტოლი მასა. ახლა ვიპოვოთ ამ უკანასკნელის და C წერტილში მოთავსებული m მასის ბურთულას სიმძიმის ცენტრი. რადგან მათი მასები ორჯერ განსხვავებულია, მათი მხრებიც ორჯერ განსხვავდება ერთმანეთისგან, რაც იმას

ნიშნავს, რომ სიმძიმის ცენტრი C წერტილიდან გავლებულ მედიანას ყოფს თანაფარდობით 1:2. იგივე მსჯელობით BC და AC გვერდების მიმართ მივალთ დასკვნამდე, რომ სისტემის ცენტრი მოთავსებულია მედიანების გადაკვეთის წერტილში და ეს უკანასკნელი მედიანებს ყოფს თანაფარდობით 1:2.

მასათა ცენტრი: იპოვეთ ნახ. 4-ზე მოცემული ბრტყელი სხეულის მასათა ცენტრი, თუ $a = 6,\ b = 8,\ c = 9.$



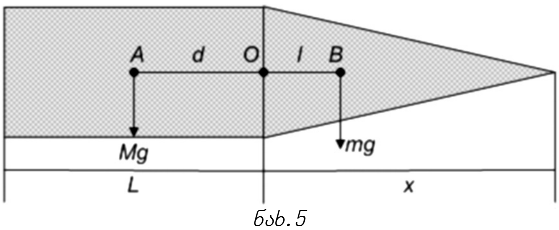
ნახ. 4

მასათა ცენტრის კოორდინატების საპოვნელად ვისარგებლოთ ზემოთ მოყვანილი მეთოდით. მოცემული სხეული გავყოთ ორ ნაწილად, რომელთაგან ერთია მართკუთხედი, ხოლო მეორე – მართკუთხა სამკუთხედი. არჩეულ კოორდინატთა სისტემაში მართკუთხედის მასათა ცენტრის O კოორდინატებია: $x_o = b/2 = 4,\ y_o = a/2 = 3.$ სამკუთხედის მასათა ცენტრის C კოორდინატებია $x_c = b + c/3 = 11,\quad y_c = a/3 = 2,$ ხოლო მათი ფართობებია $S_o = ab = 48,\ S_c = ac/2 = 27.$ მასათა ცენტრის X და Y კოორდინატებისთვის, ზემოთ მოყვანილი (4) ფორმულის შესაბამისად, მივიღებთ:

$$X = \frac{x_o S_o + x_c S_c}{S_o + S_c} = 6.52,\ Y = \frac{y_o S_o + y_c S_c}{S_o + S_c} = 2.64.$$

ამრიგად, მოცემული სხეულის მასათა ცენტრი (იგივე სიმძიმის ცენტრი) მდებარეობს O ცენტრიდან მარჯვნივ და ოდნავ ქვევით.

სიმძიმის ცენტრი: როგორი თანფარდობა უნდა იყოს x და L სიდიდეებს შორის, რომ ნახ. 5-ზე მოცემული სხეულის სიმძიმის ცენტრი იყოს O წერტილში?



ნახ. 5

ნახაზზე მოცემული სხეული წარმოადგენს მართკუთხედის და ტოლფერდა სამკუთხედის ერთობლიობას. მათი სიმძიმის ცენტრები მოთავსებულია A და B წერტილებში. მომენტების წესის თანახმად

$$Mgd - mgl = 0.$$

შემოვიტანოთ ფირფიტის ზედაპირული სიმკვრივე ρ. მაშინ ეს ტოლობა ასე გადაიწერება

$$\rho S_1 d - \rho S_2 l = 0.$$

სადაც S_1 და S_2 შესაბამისად მართკუთხედის და სამკუთხედის ფართობებია. აქედან, თუ გავითვალისწინებთ, რომ $d = L/2,\ \ l = x/3,$ $S_1 = La,\ \ S_2 = xa/3,$ მივიღებთ.

$$x/L = \sqrt{3}.$$

გაჭიმული თოკი: შეიძლება თუ არა m მასის თოკი გაიჭიმოს ისე, რომ მან მიიღოს ზუსტად ჰორიზონტალური მდგომარეობა?

ეს არ შეიძლება შემდეგი მიზეზის გამო. დაჭიმული თოკის სიმძიმის ცენტრზე იმოქმედებს ვერტიკალურად ქვევით მიმართული სიმძიმის ძალა, რომელიც თოკის წონასწორობის გამო აუცილებლად მოითხოვს მის საპირისპიროდ მიმართული და სიდიდით მისი ტოლი ძალის არსებობას. ასეთი ძალა შეიძლება იყოს მხოლოდ თოკის სიმძიმის ცენტრზე ორივე მხრიდან მოდებული დაჭიმულობის ძალების ტოლქმედი. თუ თოკი დაიჭიმება ზუსტად ჰორიზონტალურად, მაშინ დაჭიმულობის ძალებს არ ექნებათ ვერტიკალური მდგენელი და სიმძიმის ძალის გაწონასწორებაც ვერ მოხდება.

თავი 2. სითხეები და აირები

მკითხველს შევახსენებთ ძირითად დებულებებს, დაკავშირებულს სითხეებთან და აირებთან.

წნევა არის სიდიდე, რომელიც ტოლია ზედაპირის ფართობის ერთეულზე მის მართობულად მოქმედი ძალის სიდიდის. თუ ძალა მოქმედებს წრფის გასწვრივ, რომელიც ზედაპირის მართობთან ადგენს α კუთხეს, მაშინ წნევა ტოლი იქნება ზედაპირის ფართობის ერთეულზე მოქმედი ძალის ზედაპირისადმი მართობული მდგენელის სიდიდის. ზოგადად, წნევა

$$P = \frac{F\cos\alpha}{S},$$

სადაც F არის ზედაპირზე მოქმედი ძალა, ხოლო S – ზედაპირის ფართობი. წნევის ერთეულად მიღებულია ზედაპირის მართობულად მოქმედი 1ნ ძალის მიერ 1მ^2 ფართობზე წარმოებული წნევა და მას პასკალი ეწოდება.

თუ ძალა მოქმედებს ზედაპირის მართობულად $\alpha = 0$, და $P = \dfrac{F}{S}$.

წნევა, რომელსაც აწარმოებს h სიმაღლის სითხის სვეტი ჭურჭლის ფსკერზე, განისაზღვრება სითხის სიმკვრივით ρ და ამ სვეტის სიმაღლით:

$$p = \rho g h.$$

აქ g არის თავისუფალი ვარდნის აჩქარება. ეს ფორმულა იმის მაჩვენებელია, რომ ჰორიზონტალური მიმართულებით სითხის მიერ წარმოებული წნევა ერთი და იგივეა. ამ ფორმულაშიც იგულისხმება, რომ სითხის სვეტი ვერტიკალურია. წინააღმდეგ შემთხვევაში წნევას ჭურჭლის ფსკერზე განსაზღვრავს სითხის სვეტის სიმაღლის ვერტიკალური მდგენელი.

ჰიდრავლიკური მანქანის მუშაობის პრინციპი დაფუძნებულია პასკალის კანონზე, რომლის თანახმად სითხის მიერ წარმოებული წნევა თანაბრად გადაეცემა ყველა მიმართულებით. ჰიდრავლიკური მანაქანის მცირე ფართობის დგუშზე მცირე ძალის მოქმედებით შეიძლება დიდ დგუშზე ბევრად მეტი ძალის გადაცემა, რაც გამოიყენება მძიმე ტვირთების ასწევად. ჰიდრავლიკური მანქანის დგუშებზე მოქმედი ძალები დგუშების ფართობების პირდაპირპროპორციულია:

$$\frac{F_1}{F_2} = \frac{S_1}{S_2}.$$

პასკალის კანონის შედეგი არის ის, რომ ზიარჭურჭელში ჩასხმული ორი განსხვავებული სითხის სვეტის სიმაღლე სითხეების სიმკვრივის უკუპროპორციულია:

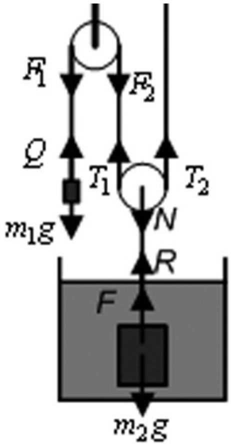
$$\frac{h_1}{h_2} = \frac{\rho_2}{\rho_1}.$$

ატმოსფერული წნევა რიცხობრივად ტოლია 760 მმ ვერცხლისწყლის სვეტის მიერ წარმოებული წნევის და უდრის: $p_0 = 1.01325 \cdot 10^5$ პა. ვერცხლისწყლის 1 მმ სვეტის მიერ წარმოებულ წნევას ეწოდება 1 ტორი. 1 ტორი = 133.3 პა. არსებობს წნევის სისტემგარეშე ერთეული ბარი: 1 ბარი = 10^5 პა. იგი გამოიყენება მანომეტრებში და პნევმატურ ხელსაწყოებში.

არქიმედეს კანონის თანახმად, სითხეში ან აირში ჩაძირულ სხეულზე მოქმედი ძალა ტოლია სხეულის მიერ გამოდენილი სითხის ან აირის მოცულობის წონის:

$F = \rho g V$, სადაც ρ არის სითხის/აირის სიმკვრივე, g – თავისუფალი ვარდნის აჩქარება, ხოლო V – სხეულის მიერ გამოდენილი სითხის/აირის მოცულობა.

ამომგდები ძალა: მოძრავ ჭოჭონაქზე მიბმული V =0.2დმ^3 მოცულობის სხეული ჩაშვებულია წყლიან ჭურჭელში და გაწონასწორებულია უძრავ ჭოჭონაქზე გადადებულ თოკზე ჩამოკიდებული ტვირთით (იხ. ნახ. 4). რამდენით უნდა გავზარდოთ ტვირთის მასა, რომ სხეული ნახევრად ამოტივტივდეს წყლიდან? წყლის სიმკვრივე ρ =1კგ/დმ^3. ჭოჭონაქების და თოკის მასები უგულებელყავით.



ნახ. 4

ჭოჭონაქზე გადადებული თოკი ჭოჭონაქზე ორივე მხრიდან მოქმედებს ერთი და იმავე ძალით. ცხადია ეს არის იდეალიზებული, რეალობაში ეს ასე შეიძლება არ იყოს. უძრავ ჭოჭონაქზე თოკის მხრიდან მოქმედი ძალები აღვნიშნოთ F_1 და F_2-ით, $F_1 = F_2$, უძრავ ჭოჭონაქზე ჩამოკიდებულ ტვირთზე თოკის მხრიდან, ნიუტონის მესამე კანონის თანახმად, მოქმედებს მოდულით F_1-ის ტოლი და მის საპირისპიროდ მიმართული Q_1 ძალა. ამავე ტვირთზე მოქმედებს აგრეთვე სიმძიმის ძალა $m_1 g$, სადაც m_1 არის ტვირთის მასა. ეს ტვირთი წონასწორობაშია. მოძრავ ჭოჭონაქზე მოქმედი ძალები მასზე გადადებული თოკის მხრიდან აღვნიშნოთ T_1 და T_2-ით. ამავე დროს, $T_1 = T_2$, ნიუტონის მესამე კანონის თანახმად, $F_2 = T_1$, როგორც ურთიერთქმედების ძალები თოკით გადაბმულ ჭოჭონაქებს შორის. ამრიგად, შეგვიძლია დავწეროთ

$$m_1 g = Q, \tag{1}$$

$$Q = F_1 = F_2 = T_1 = T_2. \tag{2}$$

მოძრავ ჭოჭონაქზე წყალში ჩაძირული ტვირთის მხრიდან მოქმედებს აგრეთვე თოკის დაჭიმულობის ძალა N. ამავე დროს, ისევ ნიუტონის მესამე კანონის ძალით, სითხეში ჩაძირულ სხეულზე თოკი მოქმედებს მოდულით N ტოლი და მის საპირისპიროდ მიმართული R ძალით. გარდა ამისა, ამ სხეულზე მოქმედებს სიმძიმის ძალა $m_2 g$ და ამომგდები ძალა F. ამრიგად, სხეულზე მოქმედებს სამი ძალა, რომელთა მოქმედებით სხეული წონასწორობაშია. ყოველივე ამის გათვალისწინებით, შეგვიძლია დავწეროთ შემდეგი განტოლებები:

$$m_2 g = F + R, \tag{3}$$

$$N = R = T_1 + T_2 = 2T_1. \tag{4}$$

მიღებული ოთხი განტოლება მარტივად დაიყვანება შემდეგ განტოლებაზე:

$$2m_1 g + F = m_2 g\,. \tag{5}$$

გავზარდოთ უძრავ ჭოჭონაქზე ჩამოკიდებული ტვირთის მასა Δm -ით. მაშინ, თუ ამომგდებ ძალას აღვნიშნავთ F'-ით, ანალოგიური მსჯელობით შეიძლება ჩავწეროთ შემდეგი განტოლება:

$$2(m_1 g + \Delta mg) + F' = m_2 g\,. \tag{6}$$

რადგან წყალში ჩაძირული სხეული უნდა ამოტივტივდეს ნახევრად, $F = 2F'$. თუ გამოვრიცხავთ (5) და (6) განტოლებებიდან m_1 მასას, მივიღებთ:

$$\Delta mg = 0.25F = 0.25\rho gV\,.$$

მოცულობის და სიმკვრივის ერთეულების გადაყვანა არ გვჭირდება, რადგან ორივე სიდიდეში გამოყენებულია დმ^3, რიცხვითი მნიშვნელობების ჩასმით მივიღებთ Δm =0.05კგ.

ატმოსფეროს მასა: შეაფასეთ დედამიწის ატმოსფეროს მასა.

ცნობილია, რომ ნორმალური ატმოსფერული წნევა ტოლია 10^5 პა-ს. ეს ნიშნავს, რომ ატმოსფეროს 1 მ^2 განივკვეთის ფართობის მქონე სვეტის წონაა 10^5 ნ. რადგან წნევის ძალა, რომლითაც ატმოსფერო მოქმედებს დედამიწაზე ატმოსფეროს წონის ტოლია, ატმოსფეროს მიერ წარმოებული წნევა p დედამიწის ზედაპირზე იქნება $p = \frac{mg}{S}$ =10^5 პა, სადაც m არის ატმოსფეროს მასა, ხოლო S – დედამიწის ზედაპირის ფართობი. ჩავთვალოთ, რომ დედამიწას აქვს სფერული ფორმა, მაშინ $S = 4\pi R^2$. აქ R არის დედამიწის რადიუსი და $R = 6.37\cdot 10^8$ მ. ამრიგად, ატმოსფეროს მასა იქნება $m = \dfrac{pS}{g} \approx 5\cdot 10^{18}$ კგ.

წყლის ჭავლის განივკვეთის ფართი: სახანძრო მილიდან გამოედინება წყალი წნევის ქვეშ. წყლის ხარჯი Q =60 ლ/წთ. როგორი იქნება წყლის ჭავლის განივკვეთის ფართი S_2 მილის ბოლოდან h =2 მ სიმაღლეზე, თუ მილის ბოლოს განივკვეთის ფართია S_1 =1.5 სმ^2?

ამ ამოცანის ამოხსნისთვის უნდა გავიხსენოთ, რომ ნებისმიერი განივკვეთის ფართში ერთ წამში გასული წყლის რაოდენობა არის ერთი და იგივე. ეს არის უწყვეტობის განტოლების $S_1 v_1 = S_2 v_2$ შინაარსი. ჩვენს ამოცანაში S_1 და S_2 შესაბამისად განივკვეთის ფართებია მილის ბოლოზე და 2მ სიმაღლეზე, ხოლო v_1 და v_2 – წყლის შესაბამისი სიჩქარეები. მილიდან გამოტყორცნილი წყლის სიჩქარე იქნება $v_1 = \dfrac{Q}{S_1}$. რადგან წყალი მოძრაობს

თანაბარშენელებულად სიმძიმის ძალის გავლენით, $v_2 = \sqrt{v_1^2 - 2gh}$. თუ შევიტანთ ყველა ამ სიდიდეს უწყვეტობის განტოლებაში, მივიღებთ: $S_2 = \dfrac{Q}{\sqrt{(Q/S_1)^2 - 2gh}} \approx 4.37 \cdot 10^{-4}$ მ^2. v_2 სიჩქარის გამოსათვლელად შეიძლება ვისარგებლოთ ბერნულის განტოლებით. ატმოსფერული წნევა ორი მეტრის სიმაღლეზე უმნიშვნელოდ იცვლება. ჩავთვალოთ მილის ბოლო სიმაღლის ათვლის ნულოვან წერტილად, მაშინ ბერნულის განტოლების თანახმად, ვღებულობთ v_2-ის იგივე მნიშვნელობას.

$$\frac{1}{2}\rho v_1^2 = \frac{1}{2}\rho v_2^2 + \rho gh,$$

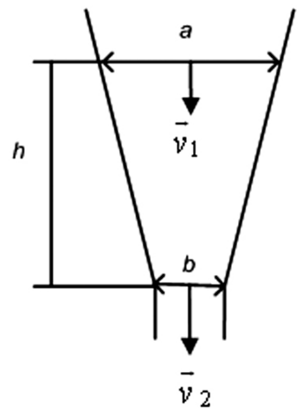
გამოდინებული წყლის რაოდენობა: ონკანიდან გამოედინება წყალი. დაწყებული რაღაც ადგილიდან, ნაკადის დიამეტრი იცვლება a-დან b-მდე წყლის დინების მიმართულებით h მანძილზე (იხ. ნახ. 5). რა რაოდენობის წყალი გადმოიღვრება t დროის განმავლობაში?

სითხის სტაციონარულობის პირობიდან გამომდინარე $v_1 S_1 = v_2 S_2$ ანუ

$$v_1 \frac{\pi a^2}{4} = v_2 \frac{\pi b^2}{4}. \qquad (1)$$

ბერნულის კანონის თანახმად, იდეალური სითხისთვის

$$p + \frac{1}{2}\rho v^2 + \rho gh = const \qquad (2)$$



ნახ. 5

სითხე ონკანიდან მოედინება თავისუფლად, რაც იმას ნიშნავს, რომ შემავალი და გამომავალი სითხის დონეებზე წნევები ტოლია. მაშინ (2) ტოლობა ჩაიწერება ასე:

$$\frac{1}{2}\rho v_1^2+\rho gh=\frac{1}{2}\rho v_2^2 \qquad (3)$$

აქ გათვალისწინებულია, რომ პოტენციური ენერგიის ნულოვან დონედ მიღებულია ონკანის ქვედა ბოლო. t დროის განმავლობაში ნებისმიერი ფართობის განივკვეთში გამავალი წყლის რაოდენობა ერთი და იგივეა. ამიტომ გამოდინებული წყლის მოცულობა იქნება

$$V=v_1\frac{\pi a^2}{4}t. \qquad (4)$$

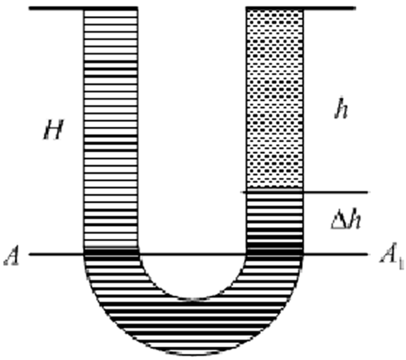
(1) და (3) განტოლებების გამოყენებით სიჩქარე v_1 ამოცანაში მოცემული სიდიდეებით გამოისახება შემდეგი ფორმულით:

$$v_1=b^2\left(\frac{2gh}{a^4-b^4}\right)^{1/2}.$$

ჩავსვათ მიღებული შედეგი (4) ფორმულაში, მივიღებთ:

$$V=\frac{\pi a^2b^2}{4}\left(\frac{2gh}{a^4-b^4}\right)^{1/2}t.$$

ზიარჭურჭელი: U-ს მაგვარ მილში ჩასხმულია ვერცხლისწყალი, მილის მარცხენა მუხლი გაავსეს პირამდე წყლით, ხოლო მარჯვენა მუხლი ზეთით. იპოვეთ ვერცხლისწყლის დონეთა სხვაობა მუხლებში, თუ წყლის სვეტის სიმაღლეა $H=15$ სმ. წყლის სიმკვრივე $\rho_1=1000$ კგ/მ^3, ზეთის სიმკვრივე $\rho_2=800$ კგ/მ^3, ხოლო ვერცხლიწყლის სიმკვრივე $\rho_3=13600$ კგ/მ^3.



ნახ.1

ასეთი ამოცანების ამოხსნის დროს, პირველი რიგში, უნდა გვახსოვდეს, რომ სითხეში ერთი და იგივე დონეზე წნევა ყველგან ერთნაირია. ამოცანის შინაარსიდან გამომდინარე, უნდა ავირჩიოთ ნულოვანი დონე, საიდანაც ავითვლით სითხის სვეტის სიმაღლეს. ორი სხვადასხვა სითხის შემთხვევაში, ბუნებრივია, ასეთ დონედ ავირჩიოთ ამ სითხეების გამყოფი საზღვარი. თუ შერეულია სამი განსხვავებული სითხე, მაშინ ნულოვან დონედ უნდა ავირჩიოთ სითხეების გამყოფი უდაბლესი საზღვარი.

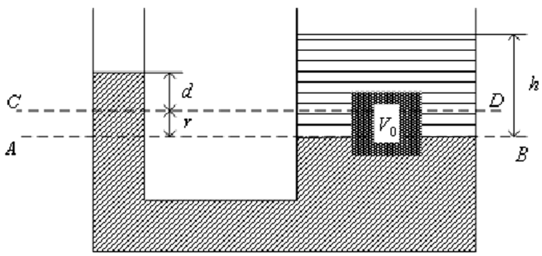
რადგან წყლის სიმკვრივე მეტია ზეთის სიმკვრივეზე, ვერცხლისწყლის დონე მარცხენა მუხლში დაიწევს, ხოლო მარცხენაში, პირიქით, აიწევს (იხ. ნახ. 1). ავირჩიოთ ნულოვან დონედ წყლის და ვერცხლისწყლის გამყოფი საზღვარი AA_1. ნახაზიდან ჩანს, რომ $H = h + \Delta h$ არჩეულ დონეზე ორივე მუხლში ერთი და იგივე წნევა გვექნება. მარცხენა მუხლში ამ დონეზე წნევას ქმნის წყლის სვეტი, ხოლო მარჯვენა მუხლში – ვერცხლისწყალი და ზეთი. ამიტომ

$$\rho_1 gH = \rho_2 gh + \rho_3 g\Delta h,$$

საიდანაც მივიღებთ

$$\Delta h = \frac{(\rho_1 - \rho_2)H}{\rho_3} = 0.22 \text{ სმ}$$

სხეული ზიარჭურჭელში: განსხვავებული დიამეტრის მქონე ორ ვერტიკალურ ცილინდრულ ზიარჭურჭელში ჩასხმულია ვერცხლისწყალი (სიმკვრივე ρ_1). განიერ მუხლში ჩაუშვეს კუბის ფორმის მქონე V_0 მოცულობის რკინის სხეული (სიმკვრივე ρ_0), რის გამოც ვერცხლისწყლის დონემ ორივე მუხლში აიწია. შემდეგ იმავე მუხლში ჩაასხეს იმდენი წყალი (სიმკვრივე ρ_2), რომ ვერცხლისწყლის დონემ განიერ მუხლში დაიწია საწყის ნიშნულამდე. განსაზღვრეთ წყლის სვეტის სიმაღლე, თუ ვიწრო მუხლის განივკვეთის ფართია S_1.



ნახ. 3

სხეულის ჩაშვებამდე მუხლებში ვერცხლისწყალი AB დონეზეა. კუბის ჩაშვების შემდეგ, არქიმედეს კანონის გამო ვერცხლისწყალი ორივე მუხლში r მანძილით აიწევს და ერთ CD დონეზე გაჩერდება. ამის შემდეგ მარჯვენა მუხლში წყლის ჩასხმა გამოიწვევს მარჯვენა მუხლში ვერცხლისწყლის დონის AB ნიშნულზე დაბრუნებას. მარცხენა მუხლში კი, პირიქით, ვერცხლისწყლის დონე CD დონიდან აიწევს d მანძილით. წყლის სვეტის h სიმაღლის საპოვნელად გამოვიყენოთ ორივე მუხლში წნევების ტოლობის პირობა AB დონეზე:

$$\rho_1 g(d + r) = \rho_2 gh.$$

ამავე დროს ორივე მუხლში ვერცხლისწყლის მოცულობის ნამატი მარჯვენა მუხლში კუბის ჩაშვების შემდეგ ერთი და იგივეა:

$$\left(d+r\right)S_1=V_2,$$

სადაც V_2 არის კუბის ვერცხლისწყალში ჩაძირული ნაწილი (კუბი ნაწილობრივ ჩაიძირება, რადგან მისი სიმკვრივე ვერცხლისწყლის სიმკვრივეზე ნაკლებია). ამ ორი განტოლებიდან თუ გამოვრიცხავთ $d+r$-ს, მივიღებთ:

$$h=\frac{\rho_1}{\rho_2 S_1}V_{2.}. \tag{1}$$

V_2-ს მოცულობის გამოსათვლელად დაგვჭირდება არქიმედეს კანონის გამოყენება. აქ ორი შემთხვევა უნდა განვიხილოთ: ა) კუბი მთლიანად დაიფარება წყლით; ბ) კუბი წყლით ნაწილობრივ დაიფარება. განვიხილოთ ა) შემთხვევა. არქიმედეს კანონის გამოყენებით, სხეულის წონასწორობის პირობა ასე ჩაიწერება:

$$\rho_0 g V_0=\rho_1 g V_2+\rho_2 g\left(V_0-V_2\right).$$

აქედან გამოვთვალოთ V_2 და ჩავსვათ h გამოსათვლელ ფორმულაში. მივიღებთ:

$$h=\frac{\rho_1\left(\rho_0-\rho_2\right)}{\rho_2\left(\rho_1-\rho_2\right)}\frac{V_0}{S_1}. \tag{2}$$

გავაანალიზოთ ეს შედეგი. პირველ რიგში, შევნიშნოთ, რომ კუბის წიბოს სიგრძეა $V_0^{1/3}$. h სიმაღლის მინიმალური მნიშვნელობა იქნება

$$h_{min}=\frac{V_0-V_2}{V_0^{2/3}}.$$

ეს მოხდება მაშინ, თუ ვიწრო მუხლის განივკვეთის ფართობი აკმაყოფილებს პირობას:

$$S_1=\frac{\rho_1\left(\rho_0-\rho_2\right)}{\rho_2\left(\rho_1-\rho_0\right)}V_0^{2/3}. \tag{3}$$

რადგან $h\geq h_{min}$ ამ ამოხსნას აზრი ექნება, თუ

$$S_1\leq\frac{\rho_1\left(\rho_0-\rho_2\right)}{\rho_2\left(\rho_1-\rho_0\right)}V_0^{2/3}. \tag{4}$$

განვიხილოთ ბ) შემთხვევა. არქიმედეს კანონს ამ შემთხვევაში ექნება შემდეგი სახე:

$$\rho_0 g V_0=\rho_1 g V_2+\rho_2 g h V_0^{2/3}. \tag{5}$$

აქ V_2 მოცულობა კვლავ კუბის ვერცხლისწყალში ჩაძირული ნაწილის მოცულობაა და, ცხადია, იგი განსხვავებულია წინა შემთხვევაში გამოთვლილი შესაბამისი მოცულობისგან. თუმცა (1) ფორმულა ამ შემთხვევაშიც სამართლიანია. თუ გამოვრიცხავთ (1) და (5) განტოლებებიდან V_2 მოცუ-

ლობას, მარტივი გარდაქმნების შემდეგ მივიღებთ:

$$h = \frac{\rho_0 V_0}{\rho_2 \left(S_1 + V_0^{2/3} \right)}. \qquad (6)$$

აქ h მაქსიმალური მნიშვნელობა იქნება

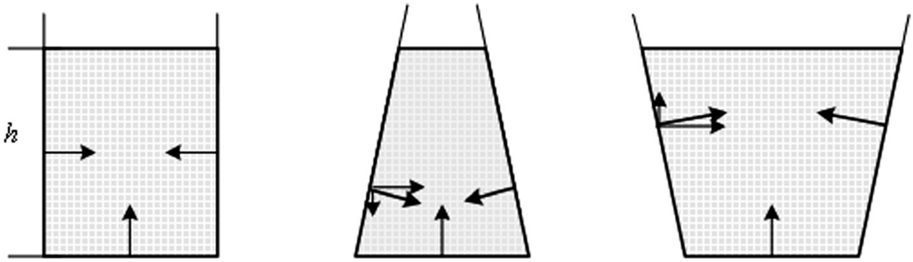
$$h_{max} = \frac{V_0 - V_2}{V_0^{2/3}} .$$

ცხადია, ეს მაქსიმალური მნიშვნელობა მიიღწევა კვლავ S_1-ის (3) ტოლობით განსაზღვრული მნიშვნელობისთვის. რადგან $h \le h_{max}$, (5) ამოხსნას აზრი ექნება, თუ

$$S_1 \ge \frac{\rho_1 \left(\rho_0 - \rho_2 \right)}{\rho_2 \left(\rho_1 - \rho_0 \right)} V_0^{2/3}. \qquad (7)$$

„ჰიდროსტატიკური პარადოქსი“: წაკვეთილი კონუსის ფორმის მქონე ჭურჭელი მოცილებადი ფსკერით ჩაშვებულია წყალში. თუ ჭურჭელში ჩაასხამენ 0.5კგ წყალს, ხუფი მოცილდება ჭურჭელს. მოცილდება თუ არა ხუფი ჭურჭელს, თუ მასში ა) ჩავდებთ 0.5კგ მასის საწონს? ბ) ჩავასხამთ 0.5კგ ზეთს? გ) ჩავასხამთ 200გ ვერცხლისწყალს?

ვიდრე ამ ამოცანის კითხვებს გავცემდეთ პასუხებს, განვიხილოთ ე.წ. **„ჰიდროსტატიკური პარადოქსი“**. იგი მდგომარეობს შემდეგში. გავიხსენოთ, რომ ჭურჭლის ფსკერზე წნევა იქმნება სითხეზე სიმძიმის ძალის მოქმედების გამო. ცნობილია, რომ ფსკერის ერთი და იგივე ფართობის მქონე ჭურჭლებში მოცემული სითხის ერთი და იგივე სიმაღლის სვეტი ქმნის ერთსა და იმავე წნევას, მიუხედავად მათი ფორმისა. განვიხილოთ ცილინდრული ფორმის და წაკვეთილი კონუსის ფორმის (ზევიდან ქვევით ფართოვდება ან ვიწროვდება) მქონე ჭურჭლები. ამ ჭურჭლების მოცულობები განსხვავებულია. თუ მათში ჩავასხამთ ერთი და იგივე სითხეს ისე, რომ სითხის სვეტის სიმაღლე სამივე შემთხვევაში ერთნაირი იქნება, მაშინ ჭურჭლების ფსკერზე წარმოებული წნევებიც ერთი და იგივე იქნება. მეორე მხრივ, ჭურჭლების მოცულობების განსხვავების გამო სითხეზე მოქმედი სიმძიმის ძალები სამივე შემთხვევაში ერთმანეთისგან განსხვავებული იქნება. აქედან გამომდინარეობს, რომ ფსკერზე მოქმედი წნევის ძალებიც განსხვავებული უნდა იყოს. ეს კი ეწინააღმდეგება ფსკერზე წნევების ტოლობას. სწორედ ამაში მდგომარეობს **„ჰიდროსტატიკური პარადოქსი“**. თუ ყურადღებით გავაანალიზებთ სითხეზე მოქმედ ძალებს და, კერძოდ, მხედველობაში მივიღებთ ჭურჭლის კედლების მხრიდან მოქმედ რეაქციის ძალებს, დავრწმუნდებით, რომ პარადოქსი არ არსებობს.



ნახ. 2

ნახ.2-ზე ნაჩვენებია სითხეზე მოქმედი რეაქციის ძალები ჭურჭლის ფსკერის და კედლების მხრიდან. ცილინდრულ ჭურჭელში კედლის მხრიდან მოქმედი რეაქციის ძალები აწონასწორებენ ერთმანეთს და, მაშასადამე, წნევის ძალის სიდიდე რიცხობრივად ტოლია ფსკერის მხრიდან მოქმედი რეაქციის ძალის სიდიდის, რომელიც უტოლდება სითხეზე მოქმედი სიმძიმის ძალის სიდიდეს. კონუსის ფორმის ჭურჭლებში კედლის მხრიდან მოქმედ რეაქციის ძალებს გააჩნიათ როგორც ჰორიზონტალური, ასევე ვერტიკალური მდგენელები. მათი ტოლქმედის ჰორიზონტალური მდგენელი ნულის ტოლია (სიმძიმის ძალის ჰორიზონტალური მდგენელი უდრის ნულს). ამიტომ ძალების ვერტიკალური მდგენელებისთვის სითხის წონასწორობის პირობა ასე ჩაიწერება (საკოორდინატო ღერძი მივმართოთ ვერტიკალურად ზევით):

$$N - mg + R_y = 0,$$

სადაც N არის ფსკერის რეაქციის ძალის სიდიდე, R_y – კედლის რეაქციის ძალების ტოლქმედის ვერტიკალური მდგენელი, ხოლო m – სითხის მასა. ჩვენ გვაინტერესებს ფსკერის რეაქციის ძალა:

$$N = mg - R_y.$$

ნახაზიდან ჩანს, რომ კონუსისთვის, რომელიც ვიწროვდება ქვევიდან ზევით, $R_y < 0,$ რაც იმას მოასწავებს, რომ რეაქციის ძალა (შესაბამისად, სითხის წნევის ძალა ფსკერზე) მეტია სითხეზე მოქმედი სიმძიმის ძალის სიდიდესთან შედარებით. თუ ჭურჭელი ქვევიდან ზევით იშლება, მაშინ $R_y > 0$ და ამიტომ რეაქციის ძალის სიდიდე იმავე სიმძიმის ძალის სიდიდეზე ნაკლებია. ცილინდრული ჭურჭლისთვის $R_y = 0$.

ახლა შევეცადოთ პასუხი გავცეთ ამოცანაში დასმულ კითხვებს. მოცემულია, რომ წაკვეთილი კონუსის ფორმის მქონე ჭურჭელში 0.5კგ წყლის ჩასხმისას ფსკერი მოწყდება ჭურჭელს. კონუსში, რომელიც ვიწროვდება ქვემოდან ზევით, ფსკერზე წნევის ძალა მეტია 0.5კგ მასის სითხეზე მოქმედ

სიმძიმის ძალაზე, ამიტომ თუ ჭურჭელში წყლის მაგივრად ჩავდებთ 0.5კგ მასის საწონს, ფსკერი ვერ მოწყდება ჭურჭელს, რადგან ამ დროს ხუფზე მოქმედი წნევის ძალა სითხის მხრიდან მეტია 0.5კგ-ზე (კედლის მხრიდან მოქმედი რეაქციის ძალა არ გვაქვს). იგივე მოხდება, თუ ჭურჭელში ჩავასხამთ 0.5კგ ვერცხლისწყალს. მისი სვეტის სიმაღლე ნაკლები იქნება 0.5კგ წყლის სვეტის სიმაღლეზე. ამიტომ საშუალო ძალა, რომლითაც ვერცხლისწყალი აწვება ჭურჭლის კედელს (ნიუტონის მესამე კანონის თანახმად, სიდიდით ჭურჭლის კედლის რეაქციის ძალის ტოლი), ამ შემთხვევაში ნაკლები იქნება, ვიდრე წყლის შემთხვევაში, და შესაბამისად, ფსკერზე მოქმედი წნევის ძალაც – ნაკლები. თუ ჩავასხამთ 0.5კგ ზეთს, მაშინ ფსკერი მოწყდება ჭურჭელს. ზეთის სვეტის სიმაღლე მეტი იქნება ჭურჭელში ჩასხმული იმავე რაოდენობის წყლის სვეტის სიმაღლესთან შედარებით. ჭურჭლის კედლის რეაქციის ძალა გაიზრდება წყლის შემთხვევასთან შედარებით და, შესაბამისად, ფსკერზე წნევის ძალა გადააჭარბებს წყლისთვის იმ ძალის მნიშვნელობას, როდესაც ფსკერი ჭურჭელს მოწყდება. ქვევიდან ზევით გაფართოებული ჭურჭლის შემთხვევაში სურათი შეიცვლება საპირისპიროთი – ზეთის შემთხვევაში ფსკერი არ მოწყდება ჭურჭელს, ხოლო საწონის და ვერცხლისწყლის შემთხვევაში მოწყდება.

ჰიდრავლიკური მანქანა: $m = 2000$ კგ ტვირთი აწიეს ჰიდრავლიკური მანქანის დახმარებით. გაიგეთ, რამდენჯერ მეტია დიდი დგუშის ზედაპირის ფართობი პატარა დგუშის ზედაპირის ფართობზე, თუ ტვირთის აწევაზე შესრულდა $A = 500$ ჯ მუშაობა. პატარა დგუშმა შეასრულა $n = 10$ სვლა და ყოველი სვლაზე გადაადგილება შეადგენდა $h = 10$ სმ. მანქანის მარგი ქმედების კოეფიციენტია $k = 80\%$.

ჰიდრავლიკური მანქანის ზემოთ მოყვანილი ფორმულა არ ითვალისწინებს დანაკარგებს ხახუნზე. თუ ხახუნი არსებობს, მაშინ ფორმულა სახეს შეიცვლის. ვთქვათ, მცირე დგუშის ფართობია S_1, ხოლო დიდი დგუშის ფართობი – S_2. თუ მცირე დგუშზე ვიმოქმედებთ F_1 ძალით, მაშინ მის მიერ შესრულებული მუშაობა იქნება

$$A = F_1 nh. \qquad (1)$$

აღვნიშნოთ დიდი დგუშის გადაადგილება ერთ სვლაზე H-ით. თუ დიდ დგუშზე მოქმედი ძალაა F_2, მაშინ ამ დგუშის მიერ შესრულებული მუშაობა იქნება

$$F_2 nH = kA = kF_1 nh. \qquad (2)$$

ამავე დროს შეგვიძლია დავწეროთ:

$$S_1 h = S_2 H \ . \tag{3}$$

(2) და (3) ფორმულების გაერთიანებით მივიღებთ შემდეგ ტოლობას:

$$\frac{S_2}{S_1} = \frac{F_2}{kF_1}.$$

ჩვენს ამოცანაში $F_2 = mg$. (1)-დან შეიძლება განვსაზღვროთ F_1. საბოლოოდ, საძიებელი სიდიდისთვის მივიღებთ:

$$\frac{S_2}{S_1} = \frac{mgnh}{kA} \approx 500.$$

ყინული წყლის ზედაპირზე: S ფუძის ფართობის მქონე წყლიან ჭურჭელში ჩაშვებულია ყინულის ნაჭერი, რომელშიც ა) ჩაყინულია m ტყვიის ბურთულა; ბ) ჩაყინულია იმავე მასის ხის ნაჭერი; გ) ყინულის შიგნით მოთავსებულია ჰაერის ბუშტი; გაიგეთ, როგორ შეიცვლება წყლის დონე ჭურჭელში სამივე შემთხვევაში, თუ ყინული მთლიანად დადნება. წყლის სიმკვრივეა ρ_0, ხოლო ყინულში მოთავსებული ნივთიერების – ρ.

ჯერ გავარკვიოთ თვისობრივად რა მოხდება ყინულის დადნობის შემდეგ. ვთქვათ, გვაქვს ყინულის ნაჭერი მასში მოთავსებული სხეულის გარეშე. ყინულის ნაჭერი ჩაძირულია წყალში ნაწილობრივ. ჩაძირულ ნაწილს უკავია ზუსტად ყინულის მიერ გამოდევნილი სითხის ტოლი მოცულობა და ამ უკანასკნელის მასა ტოლია ყინულის მასის. ყინულის გადნობის შემდეგ ეს მასა დაიკავებს გამოდევნილი სითხის მოცულობის ტოლ მოცულობას და ამის გამო წყლის დონე არ შიცვლება.

თუ ყინულში მოთავსებულია რაიმე ნივთიერება, მაშინ ყინულის ჩაძირული ნაწილის მოცულობა მეტი იქნება, ვიდრე ტყვიის გარეშე. გამოდევნილი წყლის მასა უკვე ტოლია ყინულის და ნივთიერების ტყვიის მასათა ჯამის. ყინულის მთლიანად გადნობის შემდეგ ტყვია ჩაიძირება, ხოლო ჭურჭელში წყალს დაემატება წყალი, რომლის მოცულობა ტოლი იქნება ნივთიერების და წყლად გადაქცეული ყინულის მოცულობების ჯამის. ეს უკანასკნელი ტყვიის შემთხვევაში ნაკლებია, ვიდრე გამოდევნილი წყლის მოცულობა. ამიტომ სითხის დონე ჭურჭელში დაიწევს. ხის ნაჭერი არ ჩაიძირება, იტივტივებს წყლის ზედაპირზე. გამდნარი ყინულის და ხის ნაჭრის ჯამური მოცულობა მეტი იქნება გამოდევნილი წყლის მოცულობაზე და წყლის დონე მოიმატებს. ჰაერის ბუშტის შემთხვევაში ჰაერის მასა იმდენად უმნიშვნელოა, რომ წყლის დონე პრაქტიკულად არ შეიცვლება. ამავე

შედეგებს მივიღებთ, თუ ჩავატარებთ რაოდენობრივ ანალიზს შემდეგი მოსაზრებით: ჭურჭლის ფსკერზე წნევა გამოწვეულია სითხის, ყინულის და მასში ჩაყინული სხეულის/ჰაერის მასით.

$$F = m_1 g + m_2 g + mg = PS. \tag{1}$$

აქ F არის წნევის ძალა სითხის ფსკერზე, m_1, m_2 – სითხის და ყინულის მასები, P – სითხის წნევა (რომლის სიდიდე დამოკიდებულია მხოლოდ სითხის სვეტის სიმაღლეზე). ყინულის მთლიანად დადნობის შემთხვევაში სითხის წნევის ძალა კვლავ (1) ფორმულაში შემავალი სიდიდეებით განისაზღვრება და ე.ი. არც წნევის ძალა და არც წნევა ჭურჭლის ფსკერზე არ შეიცვლება. განსხვავება არის ის, რომ ამ ტყვიის ბურთულას შემთხვევაში იგი უშუალოდ აწარმოებს წნევას ჭურჭლის ფსკერზე, ხის ნაჭრის შემთხვევაში კი – არა (ხის ნაჭერი იტივტივებს). ამიტომ თვით სითხის მიერ წარმოებული წნევა განსხვავებული იქნება P სიდიდისგან. ეს კი ნიშნავს, რომ სითხის დონე უნდა შეიცვალოს. ყინულის დადნობის შემდეგ ფსკერზე წნევის ძალა იქნება

$$F = \rho_0 g\left(h + \Delta h\right)s + mg - F_{ა} = \rho_0 g\left(h + \Delta h\right)S + mg - \rho_0 g\frac{m}{\rho}. \tag{2}$$

სადაც Δh არის სითხის დონის ცვლილება ყინულის მთლიანად დადნობის შემდეგ (რომელიც შეიძლება დადებითიც იყოს და უარყოფითიც). მეორე მხრივ, იგივე წნევის ძალა $F = \rho_0 gh$, რომლის გათვალისწინებით (2) ფორმულიდან მივიღებთ:

$$\Delta h = \frac{\left(\rho_0 - \rho\right)m}{\rho\rho_0 S}. \tag{3}$$

როგორც ვხედავთ, ტყვიის ბურთულას შემთხვევაში $\Delta h < 0,$ რაც იმას ნიშნავს, რომ სითხის დონე დაიწევს. ხის ნაჭრის შემთხვევაში $\Delta h > 0,$ ანუ სითხის დონე აიწევს იგივე სიდიდით. თუ ყინულის შუაში ჰაერის ბუშტი იქნება, (3)-ის მრიცხველი იმდენად მცირე სიდიდეა (მასის სიმცირის გამო), რომ პრაქტიკულად ნულის ტოლად შეიძლება ჩავთვალოთ და სითხის დონე არ შეიცვლება. თუ ეს სივრცე ამოვსებულია ყინულით, მაშინ (3) ტოლობის მრიცხველი ნულის ტოლია და წყლის დონე არ შეიცვლება.

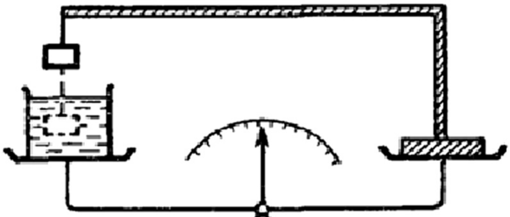
დინამომეტრის ჩვენება: დინამომეტრზე ჩამოკიდებულია წყლით პირამდე სავსე ჭურჭელი. მასში ჩაუშვეს ძაფზე ჩამოკიდებული საწონი ისე, რომ იგი არ ეხება ჭურჭლის ფსკერს. შეიცვლება თუ არა დინამომეტრს ჩვენება?

როდესაც საწონს ჩაუშვებთ წყლიან ჭურჭელში, მასზე იმოქმედებს ამომგდები ძალა და ჩვენება უნდა შეიცვალოს. მეორე მხრივ, ვინაიდან ჭურ-

ჭელი პირამდე სავსეა წყლით, იქიდან გადმოიღვრება ზუსტად საწონის მოცულობის ტოლი რაოდენობის სითხე, რომლის წონა ამომგდები ძალის ტოლია. ამის გამო დინამომეტრის ჩვენება არ შეიცვლება.

ბერკეტიანი სასწორის ჩვენება: ბერკეტიან სასწორზე გაწონასწორებულია ჭურჭელი წყლით და შტატივი, რომელზეც ჩამოკიდებულია $m = 0.1$ კგ მასის საწონი. (ნახ. 4). შემდგომ ეს საწონი ჩაუშვეს წყალში. როგორ უნდა აღვადგინოთ წონასწორობა თუ საწონის სიმკვრივე $\rho = 8 \cdot 10^3$ კგ/მ^3, ხოლო წყლის სიმკვრივე $\rho_0 = 10^3$ კგ/მ^3?

როდესაც საწონს ჩაუშვებთ წყლიან ჭურჭელში, საწონზე იმოქმედებს ამომგდები ძალა, რის გამოც შტატივზე მოქმედი დაჭიმულობის ძალა შემცირდება ამომგდები ძალის ტოლი სიდიდით და სასწორის მარჯვენა მხარე აიწევს. გარდა



ნახ. 4

ამისა, ნიუტონის მესამე კანონის თანახმად, საწონიც იმოქმედებს სითხეზე იმავე სიდიდის ძალით, რაც დამატებით გამოიწვევს სასწორის მარჯვენა მხარის აწევას. ამრიგად, წონასწორობა აღდგება, თუ სასწორის მარჯვენა მხარეს დაუმატებთ საწონს, რომლის წონაც ტოლია ორჯერ არქიმედეს ძალის სიდიდის. შესაბამისად, საწონის მასა

$$M = 2\rho_0 V = \frac{\rho_0 m}{\rho} = 0.025 \text{ კგ}.$$

მუშაობა სითხეში. რა მუშაობას ასრულებს არქიმედეს ამომგდები ძალა ρ_0 სიმკვრივის სითხეში h სიმაღლის და R რადიუსის ცილიდრის ვერტიკალურ მდგომარეობაში თანაბრად ჩაძირვის დროს?

მხედველობაში მივიღოთ, რომ ცილინდრის ვერტიკალურად ჩაძირვის დროს არქიმედეს ამომგდები ძალა იცვლება მანძილის პროპორციულად, კერძოდ ამ ძალის სიდიდე ცილინდრის სითხეში ჩაძირული ნაწილის x სიმაღლის პირდაპირპროპორციულია – $F = \rho g S x$, ხოლო მიმართულება – გადაადგილების საპირისპირო. თუ ჩაძირვის სიღრმეს (ცილინდრის ჩაძირული ნაწილის სიღრმეს) დავყოფთ მცირე უბნებად, სრული ჩაძირვისას არქიმედეს ძალის მუშაობა ტოლი იქნება ცალკეულ უბნებზე შესრულებულ მუშაობათა ჯამის. რაც ნიშნავს ინტეგრალის გამოთვლას ცილინდრის სრული ჩაძირვისას, ანუ საძიებელი მუშაობა ტოლია

$$A = -\int_{o}^{h} \rho g S x dx = -\frac{\rho g \pi R^2 h^2}{2}.$$

ინტეგრალის წინ მინუს ნიშანი მიუთითებს არქიმედეს ძალის და გადაადგილების ურთიერთსაპირისპირო მიმართულებებზე. იგივე მუშაობა შესაძლებელია გამოვთვალოთ, როგორც ცილინდრის გადაადგილების გასწვრივ არქიმედეს ძალის საშუალო მნიშვნელობის მუშაობა. საძიებელი მუშაობა იქნება

$$A = -F_{\text{საშ}} h.$$

არქიმედეს ძალის საშუალო მნიშვნელობა ტოლია გადაადგილების საწყის და საბოლოო მდგომარეობებში ძალების მნიშვნელობების საშუალო არითმეტიკულის, ვინაიდან ძალა მანძილზე წრფივად არის დამოკიდებული:

$$F_{\text{საშ}} = \frac{F_0 + F_h}{2} = \frac{0 + \rho g \pi R^2 h}{2}.$$

ამრიგად, საძიებელი მუშაობა ტოლია

$$A = -\frac{\rho g \pi R^2 h^2}{2}.$$

სხეულის ამოსვლა სითხიდან. სითხეში, რომლის სიმკვრივეა ρ_0, h სიღრმეზე ჩაძირულია ρ სიმკვრივის სხეული. სხეული ამოტივტივდება სითხის ზედაპირზე. რა სიღრმეზე უნდა იყოს ჩაძირული სხეული, რომ იგი ავიდეს სითხის ზედაპირიდან H სიმაღლეზე, თუ სითხის წინააღმდეგობის ძალა შეადგენს სიმძიმის ძალის k ნაწილს? რა პირობას უნდა აკმაყოფილებდეს სითხის სიმკვრივე მოცემული h და H-თვის, რომ სხეული ამოვიდეს სითხიდან? ჰაერის წინააღმდეგობის ძალა უგულებელყავით.

სითხეში ჩაძირულ სხეულზე ზევით მოძრაობის დროს მოქმედებს სამი ძალა: სიმძიმის, ამომგდები ძალა და სითხის წინააღმდეგობის ძალა. ამომგდები და სითხის წინააღმდეგობის ძალების მუშაობა უტოლდება სხეულის მექანიკური ენერგიის ცვლილებას. თუ სხეულის პოტენციური ენერგიის ნულოვან დონედ მივიღებთ სითხის ზედაპირიდან h სიღრმის დონეს, მაშინ ამ ძალების მუშაობა სხეულის მექანიკური ენერგიის ცვლილების ტოლი იქნება და

$$A = mg(h + H).$$

მეორე მხრივ, მუშაობის განმარტების თანახმად

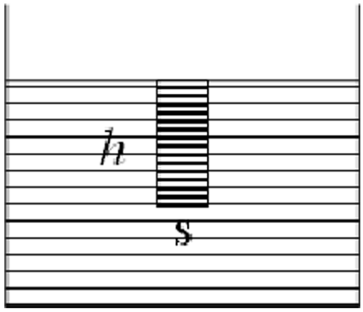
$$A = F_{\text{ა}} h - F_{\text{წ}} h = \frac{\rho_0}{\rho} mgh - kmgh.$$

ამ ორი ტოლობიდან მივიღებთ

$$h = \frac{H\rho}{\rho_0 - (1+k)\rho}.$$

აქედან ჩანს, რომ მოცემული h და H-სთვის სხეული ამოვა სითხიდან, თუ სითხის სიმკვრივე დააკმაყოფილებს შემდეგ პირობას: $\rho_0 > (1+k)\rho$.

სითხიანი ჭურჭლის ვარდნა: ჭურჭელი, რომელშიც ასხია სითხე მასში მოტივტივე სხეულით, ვარდება ვერტალურად ქვევით $a < g$ აჩქარებით. ამოტივტივდება თუ არა სხეული დამატებით სითხიდან ჭურჭლის ვარდნის დროს?



სხეულზე მოქმედი არქიმედეს ამომგდები ძალა, როგორც ცნობილია, განპირობებულია წნევათა სხვაობით სხეულის ქვედა და ზედა ზედაპირებზე. ჯერ გავარკვიოთ, თუ როგორ შეიცვლება წნევა აჩქარებით ვარდნილ სხეულში ჩასხმულ სითხეში. თუ გამოვყოფთ სითხის ზედაპირიდან h სიმაღლის სვეტს, რომლის ფუძის ფართობია S, მაშინ ამ სვეტში მოთავსებული სითხის მასის მოძრაობის განტოლება იქნება

$$ma = mg - pS.$$

აქ p არის სითხის წნევა h სიღრმეზე. სითხის მასა $m = \rho Sh$, სადაც ρ არის სითხის სიმკვრივე. აქედან მივიღებთ, რომ სითხის ზედაპირიდან h სიღრმეზე წნევა $p = \rho h(g-a)$. განვიხილოთ ახლა სითხეში მოტივტივე სხეული. წარმოვიდგინოთ, რომ ცილინდრული ფორმის M მასის სხეული ჩაძირულია სითხეში ისე, რომ მისი ზედა ზედაპირი არის სითხის ზედაპირის დონეზე. მაშინ მასზე მოქმედი ამომგდები ძალა იქნება

$$F = \rho V(g-a),$$

სადაც V არის სხეულის სითხეში ჩაძირული ნაწილის მოცულობა. სხეულის მოძრაობის განტოლებას ექნება შემდეგი სახე $Ma = Mg - \rho V(g-a)$. ეს ტოლობა შესრულდება მხოლოდ მაშინ, თუ $M = \rho V$ (რადგან $a < g$). მაგრამ ეს ტოლობა სრულდება აგრეთვე უძრავი სითხიანი ჭურჭლის შემთხვევაში. ამიტომ სხეული დამატებით არ ამოტივტივდება.

განვიხილოთ რამდენიმე ამოცანა ჰიდრო- და აეროდინამიკაში. გავიხსენოთ, რომ სითხის დინების უწყვეტობიდან გამომდინარე, მილის განივკ-

ვეთში დროის ერთეულში გასული სითხის რაოდენობა მუდმივი სიდიდეა. ეს ნიშნავს, რომ თუ მილის ორ სხვადასხვა ადგილას განივკვეთის ფართობებია S_1 და S_2, მაშინ ამ ადგილებში სითხის სიჩქარეები ამ განივკვეთის ფართობების უკუპროპორციულია: $S_1 v_1 = S_2 v_2$. მილში სითხის დინებისას სრულდება ბერნულის კანონი, რომელიც ფაქტიურად წარმოადგენს სითხის ენერგიის მუდმივობის კანონს (მიაქციეთ ყურადღება, რომ წნევას აქვს ენერგიის სიმკვრივის, ანუ მოცულობის ერთეულში დაგროვილი ენერგიის განზომილება):

$$p + \frac{1}{2}\rho \upsilon^2 + \rho g h = const.$$

ამ განტოლებაში p არის სითხის სტატიკური წნევა, v – მისი დინების სიჩქარე, ხოლო h – სითხის სიმძიმის ცენტრის დაშორება არჩეული ნულოვანი დონიდან. ამ კანონის თანახმად სითხის გადასვლისას მილის განიერი ნაწილიდან ვიწრო ნაწილში მცირდება სითხის წნევა, რადგან სითხის დინების სიჩქარე იზრდება.

სითხის ჭავლი: $d = 1$სმ დიამეტრის მილიდან $v = 1$მ/წმ სიჩქარით გამოედინება წყლის ჭავლი და ეჯახება ვერტიკალურ კედელს. გაიგეთ ძალა, რომლითაც ეს ჭავლი ეჯახება კედელს, თუ მილი კედლის მართობულია და სითხე გამოდინებისას არ იფრქვევა შხეფებად.

ამოცანის პირობის მიხედვით, სითხის ჭავლი კედელს ეჯახება არადრეკადად. სითხის იმპულსის ცვლილება დაჯახების Δt დროის განმავლობაში გამოწვეულია სითხის მასის და არა მისი სიჩქარის ცვლილებით და, ნიუტონის მეორე კანონის თანახმად, ტოლია $\Delta m v = F\Delta t$. სითხის მასა, რომელიც გამოედინება მილიდან Δt დროის განმავლობაში, ტოლია $\Delta m = \rho\pi(d^2/4)v\Delta t$. აქედან მივიღებთ, რომ $F = \rho\pi(d^2/4)v^2 \approx 0.08$ნ.

სითხის ჭავლის გამოდინების სიჩქარე: ჭურჭელში ჩასხმულია სითხე, რომლის სიმაღლეა h. ჭურჭლის ფსკერზე გაკეთებულია ხვრელი, რომლიდანაც სითხე გამოედინება. გაიგეთ სითხის გამოდინების სიჩქარე v.

ჩავთვალოთ ჭურჭლის ხვრელის დონე ნულოვანი პოტენციური ენერგიის დონედ. მაშინ ბერნულის კანონის თანახმად (სითხის ზედაპირის მოძრაობის სიჩქარე პრაქტიკულად ნულის ტოლია)

$$p_1 + \rho g h = p_2 + \frac{1}{2}\rho v^2,$$

სადაც p_1 და p_2 სითხის წნევებია მის ზედაპირზე და ხვრელის დონეზე. რადგან ორივე დონეზე სითხე შეხებაშია ატმოსფეროსთან, ეს წნევები ერთმანეთის ტოლია. ამიტომ $v = \sqrt{2gh}$.

სახლის სახურავი ქარბუქის დროს: როგორც ცნობილია, ძლიერი ქარბუქის შემთხვევაში ხშირად ქარი სახლებს სახურავებს ხდის. ძირითადად გვხვდება ორი განსხვავებული შემთხვევა: ა) თუ სახურავი უფრო სუსტად არის დამაგრებული C წერტილში, ვიდრე A და B წერტილებში (იხ ნახ. ა), მაშინ სახურავი იხსნება C წერტილში. ბ) თუ სახურავი უფრო სუსტად არის დამაგრებული A და B წერტილებში, ვიდრე C წერტილში (ნახ. ბ), მაშინ სახურავი იხსნება A და B წერტილებში. ახსენით ორივე მოვლენა.

ქარბუქის დროს სახლის სახურავის ზედა მხარეს ჰაერის ნაკადის სიჩქარე უფრო მაღალია, ვიდრე ქვედა მხარეს და შესაბამისად, წნევა უფრი დაბალია, ვიდრე ქვედა მხარეს. წნევათა სხვაობის გამო სახურავზე მოქმედებს ქვევიდან ზევით მიმართული ძალა, რომელიც იწვევს სახურავის რღვევას დამაგრების უფრო სუსტ წერტილებში.

გამოყენებული ლიტერატურა

1. Б. Б. Буховцев, В. Д. Кривченков, Г. Я. Мякишев, И. М. Сараева. Сборник задач по элементарной физике. Москва. Наука. 1974г.
2. Е. И. Бутиков, А. А. Быков, А. С. Кондратьев. Физика в примерах и задачах. Москва. Наука. 1979 г.
3. Н. И. Гольдфарб, Физика, Задачник. Москва. Дрофа. 2012 г.
4. А. П. Рымкевич Физика, Задачник. Москва. Дрофа. 2013 г.
5. K. A. Tsokos, Physics for the IB Diploma, Cambridge, University Press, 2008.
6. D. C. Giancoli, Physics, Principles with Application, Pearson Education Inc. 2008.
7. А. Н. Долгов, С.Е. Муравьев, Б.В. Соболев. Задачи вступительных экзаменов и олимпиад по физике с решениями. Молекулярная физика и термодинамика. Под ред. С.Е. Муравьева. – М.: МИФИ, 2008.

ქიმია

ელიზბარ ელიზბარაშვილი 141

ორგანული ქიმია vc არაორგანული ქიმია

მოლეკულათა სამყაროზე მათი გავლენის სფეროები გადანაწილდა. არაორგანულ ქიმიას, როგორც უფრო „ასაკოვანს", პერიოდული სისტემის ყველა ელემენტი ერგო, ახალდაბადებულ ორგანულს კი – მხოლოდ ერთი, ექსცენტრული, თავისებურებებით აღსავსე ნახშირბად ატომი. თუმცა ორგანული ქიმიის ხვედრი უფრო მომგებიანი აღმოჩნდა: დღეისათვის პერიოდულობის სისტემის 107 ელემენტი სამასი ათასამდე ნაერთს წარმოქმნის, ხოლო ორგანული ნივთიერებების რაოდენობამ კი 21 მილიონს გადააჭარბა. გავიდა ხანი და გლობალიზაცია ამ ორ სამყაროსაც შეეხო – ნელ-ნელა წაიშალა მათ შორის გავლებული სადემარკაციო ხაზი. დღეისათვის უამრავი ნაერთია უკვე ცნობილი, რომელთაც ცალსახად ვერც ორგანულ ნაერთებს მივაკუთვნებთ და ვერც არაორგანულს... მაგრამ გლობალიზაცია ერთმანეთში ათქვეფას არ ნიშნავს (რაც ხშირად გვაშინებს!) – იგი სხვადასხვა თვითმყოფადობას შორის საერთო შეხების კავშირების მოძებნაა.

არაორგანული და ორგანული ქიმიის საკითხების აღრევას ყველაზე გამოკვეთილად კი საკლასო ოთახსა და უნივერსიტეტის აუდიტორიაში ვხვდებით...

მოსწავლეები ქიმიის შესწავლას ზოგადი ქიმიით იწყებენ. აქვე ეცნობიან ისინი ქიმიური ფორმულების ჩაწერას. ზოგად ქიმიას არაორგანული ქიმია ანაცვლებს შემდეგ კლასებში. შესწავლის სფერო ფართოვდება, მაგრამ ქიმიური ობიექტების – მოლეკულების ჩაწერის მეთოდი არ იცვლება: წყალი H_2O-ია, გოგირდმჟავა – H_2SO_4, ალუმინის სულფატი – $Al_2(SO_4)_3$...

შემდეგ იწყება ორგანული ქიმიის შესწავლა და მოსწავლეები ისევ (ინერციით, არცოდნით თუ სხვა რაიმე მიზეზით) ამავე მეთოდით აგრძელებენ მოლეკულების ჩაწერას: მეთანს CH_4-ით გამოსახავენ, ეთანს C_2H_6-ით, ბენზოლს C_6H_6-ით, ეთილის სპირტს C_2H_5OH-ით. მაგრამ, სამწუხაროდ, ამით დიდ შეცდომას უშვებენ.

ერთი შეხედვით, არ ღირს პრობლემის ასე დრამატიზება. მეთანზე, ეთანზე, ბენზოლზე და თუნდაც ეთილის სპირტზეც მარტივად შეიძლება რეაქციების დაწერა ბრუტო ფორმულების გამოყენებით:

$$CH_4 + Cl_2 = CH_3Cl + HCl$$
$$C_2H_6 + Cl_2 = C_2H_5Cl + HCl$$
$$C_6H_6 + Cl_2 = C_6H_5Cl + HCl$$
$$C_2H_5OH + HBr = C_2H_5Br + H_2O$$

მაგრამ ბოლო რეაქციაში რატომ ვართ დარწმუნებული, რომ ეთილის სპირტთან გვთხოვენ რეაქციის დაწერას? C_2H_5OH ხომ სპირტთან ერთად დიმეთილეთერსაც აღნიშნავს?

რა მიიღება C_3H_6Oალდეჰიდის აღდგენის რეაქციით? პროპან-1-ოლი თუ პროპან-2-ოლი?

ასეთი „გაუგებრობის“ თავიდან ასაცილებლად საჭიროა ბრუტო ფორმულების ნაცვლად სტრუქტურული ფორმულებით რეაქციის ჩაწერა.

და ზოგადად, ორგანულ ქიმიაში მოლეკულები უნდა გამოისახოს სტრუქტურული ფორმულებით! ბრუტო ფორმულების გამოყენება მოსწავლეს უვითარებს რეალურ პროცესზე არასწორ შეხედულებას, მისთვის ქიმიური გარდაქმნა არითმეტიკულ ოპერაციამდე დადის და „ცდილობს“, რომელიმე ელემენტი არ გამორჩეს ტოლობის მეორე მხარეს. საუკეთესო შემთხვევაში კი ახერხებს სტექიომეტრიული კოეფიციენტების გასწორებასაც...

სამწუხაროდ, ქიმიის სწავლებისას ამაზე ხშირად ჩვენ თვალს ვხუჭავთ და ვკმაყოფილდებით მოსწავლის ასეთი პასუხით. ჩვენი მიდგომის გამართლებაც შეგვიძლია არაერთი ფაქტორით თუ მიდგომით: (ა) ბრუტო ფორმულა ხომ შეესაბამება პროდუქტს; (ბ) მთავარია, რაღაც დაწეროს და სტრუქტურულ ფორმულა რა აუცილებელია და სხვა მისთანა...

მაგრამ კიდევ ერთხელ მინდა გავიმეორო: მოსწავლეს ქიმიური რეაქციის დაწერის დროს უნდა ესმოდეს მიმდინარე პროცესის არსი და ქიმიურ გან-

ტოლებას არითმეტიკული მეთოდებით არ უნდა იყვანდეს. კიდევ უფრო შორს წავალ და თამამად განვაცხადებ: ორგანულ ქიმიაში ამ არსის ცოდნა უფრო მნიშვნელოვნად მიმაჩნია, ვიდრე სტექიომეტრიული კოეფიციენტების გასწორება თუ ყველა თანაური პროდუქტის ჩვენება!

მოსწავლეების (სტუდენტების) დიდ ნაწილს, ვისაც ქიმიაში საშუალოზე მაღალი შეფასება აქვთ, შეუძლიათ დაწერონ რეაქცია:

$$H_3C\text{–}Cl + H_3C\text{–}Cl + 2Na \rightarrow H_3C\text{–}CH_3 + 2NaCl$$

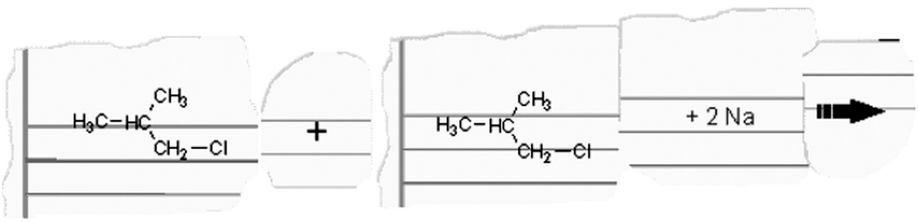
მაგრამ იმავე ვიურცის რეაქციაში 2-ქლოპროპანზე უმეტესობა უშვებს შეცდომას:

$$\underset{\displaystyle Cl}{H_3C\text{–}\overset{}{CH}\text{–}CH_3} + \underset{\displaystyle Cl}{H_3C\text{–}\overset{}{CH}\text{–}CH_3} + 2Na \rightarrow CH_3\text{–}CH\text{–}CH_3\text{–}CH_3\text{–}CH\text{–}CH_3 + 2NaCl$$

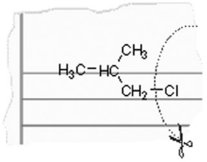
ამის მიზეზი ზემოთ დასახელებული პრობლემაა.

როგორ განვუვითაროთ მოსწავლეს ქიმიური რეაქციის მიმდინარეობის „ქიმიური აღქმის“ უნარი? ამისათვის სულ უმარტივესი მეთოდის გამოყენება შეიძლება.

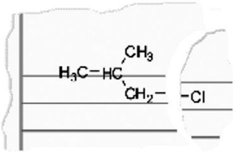
დავწეროთ თითოეული საწყისი მოლეკულა (რეაგენტები) ფურცელზე და გამოვჭრათ:



შემდეგ ავიღოთ ერთ-ერთი რეაგენტი. მოსწავლემ უკვე იცის (უნდა იცოდეს), რომ იგი ჰალოგენის ატომს კარგავს. ამიტომ ამ მოლეკულას ჩამოვაჭრათ ჰალოგენის ატომი ისე, რომ C-Cl ბმა შუაზე გაიჭრას (გაჭრის ადგილს აქვს მნიშვნელობა).

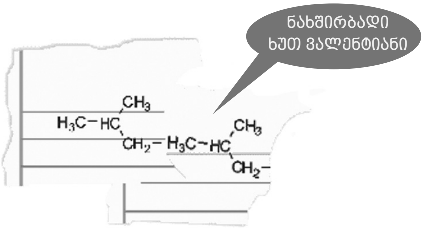


გაჭრის შემდეგ მივიღებთ:

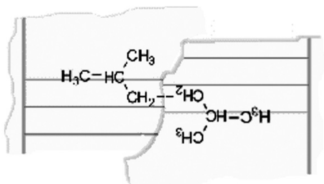


გავაკეთოთ იგივე ჰალოგენალკანის მეორე მოლეკულისათვის.

შემდეგ გადავიდეთ პროდუქტის დაწერაზე. სანამ პროდუქტს განვსაზღვრავთ, ვიპოვოთ მიღებული მოლეკულის ფრაგმენტებში ის ნახშირბად ატომები, რომელთა ვალენტობა არ არის 4-ის ტოლი. პროდუქტში ეს ფრაგმენტები სწორედ ამ ნახშირბადატომებით დაუკავშირდებიან ერთმანეთს, ვინაიდან წინააღმდეგ შემთხვევაში დავარღვევთ ნახშირბადის ოთხვალენტოვნებას:



მაგალითად, თუ ამ ფრაგმენტებს ერთმანეთს პირდაპირ მივაწყობთ გვერდიგვერდ, მაშინ ერთ-ერთი ნახშირბად ატომი ხუთ ვალენტიანი გახდება:



სწორი პასუხის მისაღებად ვაკანტური ბმები (ბმები, რომლებიც ჩვენ გავჭერით) უნდა შევაერთოთ ერთმანეთთან. ამისათვის შეიძლება ერთ-ერთი ფრაგმენტის შემობრუნება დაგვჭირდეს. ეს კი, თავის მხრივ, აჩვენებს, რომ მოლეკულა ფიქსირებული არ არის და მას შეუძლია შემობრუნებაც.

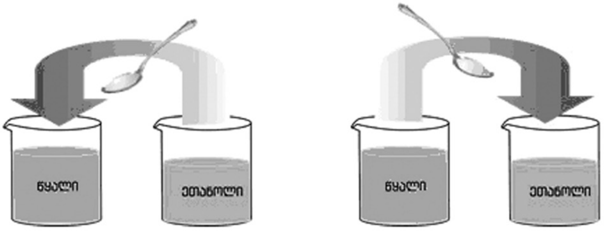
დღეს, როდესაც კომპიუტერული ტექნოლოგიები უკვე ფართოდ არის დანერგილი სწავლების პროცესში (მათ შორის ქიმიაშიც), ქიმიური რეაქციის მოდელირება ფურცლითა და მაკრატლით შეიძლება სამარცხვინოა, მაგრამ კიდევ უფრო დიდი სირცხვილი არცოდნაა და ამიტომ ამ შემთხვევაში „მიზანი ამართლებს საშუალებას“.

წარმოსახვა და ქიმიური ამოცანების ამოხსნა

რა უნდა ვიცოდეთ ქიმიის ამოცანების ამოსახსნელად? ხშირად მხოლოდ ქიმიის ცოდნა არ კმარა – განსაზღვრული მათემატიკური აპარატის ცოდნაც მოგვეთხოვება, თუმცა არის კიდევ ერთი ფაქტორი, რომელიც ძალიან ხშირად გვეხმარება ამოცანის ამოხსნაში. ეს გახლავთ წარმოსახვა. ქიმიის ამოცანების აბსოლუტური უმრავლესობა, წარმოსახვის წყალობით, შეიძლება „იდუმალი პროცესებიდან“ „ხელისგულზე“ მიმდინარე პროცესებად ვაქციოთ, ამ შემთხვევაში კი სწორი მეთოდის შერჩევა და ჭეშმარიტი პასუხის მიღება გაცილებით ადვილია.

ზემოთქმულის სადემონსტრაციოდ მინდა, ერთი მარტივი მაგალითი განვიხილო.

ვთქვათ, მოცემული გვაქვს ორი ჭიქა. ერთში წყალია, მეორეში კი – ეთანოლი. სითხეები აღებულია იმის გათვალისწინებით, რომ ერთი მეორეში უსასრულოდ იხსნებოდეს. დავუშვათ, მეორეჭიქიდან ამოიღეს ერთი კოვზი ეთანოლი, ჩაასხეს წყლიან ჭიქაში და კარგად მოურიეს სრულ გახსნამდე; შემდეგ ერთი კოვზი სითხე წყლიანი ჭიქიდან ამოიღეს და უკან, ეთანოლიან ჭიქაში გადაასხეს.



მოცემულია სამი სავარაუდო პასუხი:
1. ეთანოლი უფრო დიდი რაოდენობით იქნა გადატანილი, ვიდრე წყალი;
2. წყალი უფრო დიდი რაოდენობით იქნა გადატანილი, ვიდრე ეთანოლი;
3. ეთანოლიც და წყალიც თანაბარი რაოდენობით იქნა გადატანილი.

მოცემულ კითხვაზე რესპონდენტების უმეტესობა პასუხის პირველ ვარიანტს ირჩევს. ერთი შეხედვით, იგი ლოგიკურად ჟღერს: ერთი კოვზი

სუფთა ეთანოლი გადავასხით წყალში, განვაზავეთ და შემდეგ მიღებული ხსნარის ერთი კოვზი უკანვე გადმოვიტანეთ.

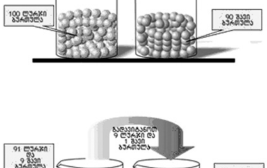
სინამდვილეში მოცემული ამოცანისთვის სწორი პასუხი მესამეა. სად და რატომ დავუშვით შეცდომა? ამოცანის მარტივი და შედარებით ბუნდოვანი პირობა (არ არის მითითებული არავითარი სიდიდე) გვიბიძგებს, პასუხი სწრაფად გავცეთ, სისწრაფე კი პირობის საფუძვლიანად გააზრებაში ხელს გვიშლის.

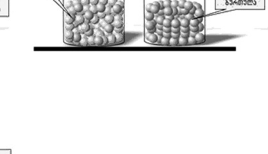
როგორ მოვიქცეთ ასეთ დროს?

ამოცანა, მიუხედავად იმისა, რომ რაოდენობებს არ მიუთითებს, მაინც რაოდენობითია, ამიტომ მის ამოსახსნელად მათემატიკა აუცილებლად უნდა მოვიშველიოთ. შემოტანილი ციფრები პირობას უფრო თვალნათელს გახდის. გარდა ამისა, თუ წყლისა და სპირტის თვალით უხილავ მოლეკულებს იმდენად „გავზრდით“, რომ „ხილული“ გახდეს, ამოცანის შესახებ კიდევ უფრო ნათელი წარმოდგენა შეგვექმნება.

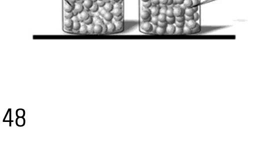
აქედან გამომდინარე, ზემოთ დასმული ამოცანის პირობა ტრანსფორმირებული – „ხილული“ სახით ჩამოვაყალიბოთ:

- მოცემულია ორი ჭიქა. პირველ ჭიქაში მოთავსებულია 100 ლურჯი ბურთულა, ხოლო მეორეში – 90 შავი ბურთულა. გადავიტანოთ 10 შავი ბურთულა პირველ ჭიქაში და თანაბრად გავანაწილოთ (სითხეების შემთხვევაში განაწილება ადვილია). შედეგად პირველ ჭიქაში გვექნება 110 ბურთულა – 100 ლურჯი და 10 შავი, ხოლო მეორეში 80 შავი ბურთულა დარჩება. პირველი ჭიქიდან ავიღოთ 10 ბურთულა. თუ ბურთულებს შორის განაწილება თანაბარი იქნება, როგორც ეს იყო სითხეების შემთხვევაში, მაშინ ამოღებული 10 ბურთულიდან 9 ლურჯი აღმოჩნდება, ხოლო 1 – შავი. ამ 10 ბურთულის მეორე ჭიქაში გადატანის შემდეგ მეორე ჭიქაში გვექნება 91 შავი და 9 ლურჯი ბურთულა, ხოლო პირველში 91 ლურჯი და 9 შავი ბურთულა დარჩება.





საბოლოოდ პირველ ჭიქაში აღმოჩნდება 9 შავი, ხოლო მეორეში – 9 ლურჯი ბურთულა.



რომელი მჟავა უფრო ძლიერია?

მასწავლებელთა სასერტიფიკაციო საგამოცდო საკითხებში ერთ-ერთი ამოცანა შეეხება ორგანული მჟავების განლაგებას, მათი მჟავიანობის შემცირების მიხედვით.

მოცემული ამოცანის შესახებ ინფორმაციის მიწოდება მთხოვეს ქ. ქუთაისის სკოლების ქიმიის მასწავლებლებმა, მასწავლებლის სახლში ონლაინ ტრენინგის დროს. შევპირდი, რომ მათ დეტალურ ინფორმაციას მივაწვდიდი. აღნიშნული საკითხი, ბუნებრივია, სხვა პედაგოგებსაც აინტერესებთ. ამიტომ გადავწყვიტე, მასწავლებელთა გაცილებით ფართო აუდიტორისთვის მიმემართა და ამისათვის ინტერნეტგაზეთ “mastsavlebeli.ge”-ის კედელი გამომეყენებინა.

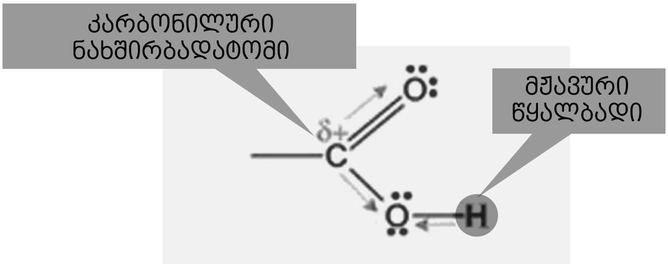
ზოგადად, ნაერთების (მჟავების) მჟავიანობა დამოკიდებულია დისოციაციის ხარისხზე. ნაერთი რაც უფრო ადვილად დისოცირდება, მით უფრო ძლიერი მჟავა თვისებით ხასიათდება. ცხადია, არსებობს ნაერთის მჟავიანობის გაზომვის არაერთი ქიმიური (ინდიკატორები, გატიტვრა და სხვა) თუ ფიზიკურ-აპარატურული (მაგ. pH მეტრები) მეთოდი. მაგრამ როგორ მოვიქცეთ მაშინ, როდესაც ჩვენს ხელთ არც ერთი მათგანი არ გვაქვს? თან თუ საქმე ეხება ორგანულ მჟავეებს? ისინი ხშირად იმდენად მცირედ განსხვავდებიან ერთმათისაგან მჟავიანობით, რომ ინდიკატორების მგრძნობიარობა არ არის საკმარისი მათ შორის სხვაობის დასადგენად?

ცხადია, იმ მეთოდით, რომელზეც ქვემოთ გვექნება საუბარი, შეუძლებელია მჟავიანობის ზუსტი მნიშვნელობის გამოთვლა, მაგრამ შეგვიძლია თამამად გამოვიყენოთ ფარდობითი მჟავიანობის გამოსათვლელად.

როგორც უკვე აღვნიშნეთ, მჟავების მჟავიანობა დამოკიდებულია დისოციაციის ხარისხზე. შესაბამისად, რაც უფრო მოძრავია მჟავური პროტონი, მით უფრო ძლიერი მჟავაა ნაერთი. ორგანულ მჟავებში მჟავური პრო-

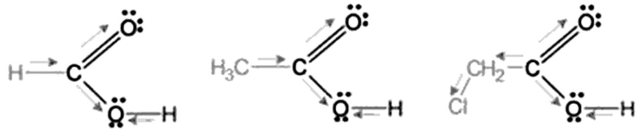
ტონის ძვრადობა პირდაპირპროპორციულ დამოკიდებულებაშია კარ-ბონილურ ნახშირბადატომზე ლოკალიზებულ მუხტთან. რაც უფრო დიდი დადებითი ფარდობითი მუხტია ნახშირბადატომზე, მით უფრო მოძრავია პროტონი და შესაბამისად, მით უფრო ძლიერი მჟავაა.

მაშასადამე, ჩვენი ამოცანა – მჟავებში ფარდობითი მჟავიანობის გამოთ-ვლის შესახებ – დადის კარბონილურ ნახშირბადატომზე ფარდობითი მუხდის სიდიდის დადგენაზე. ზოგადად, კარბონილურ ნახშირბადატომზე ყოველთვის ლოკალიზებულია დადებითი მუხტი, ვინაიდან ნახშირბადა-ტომთან დაკავშირებულია მასზე უფრო ძლიერი ელექტროუარყოფითი თვისებების მქონე ორი ჟანგბადის ატომი. ჟანგბადის ატომები ინდუქციური ეფექტის გავლენით აღარიბებენ ნახშირბადატომის ელექტრონულ სიმკვ-რივეს (თავისკენ გადაქაჩავენ), რის შედეგადაც კარბონილურ ნახშირბადს უჩნდება ფარდობითი დადებითი მუხტი.

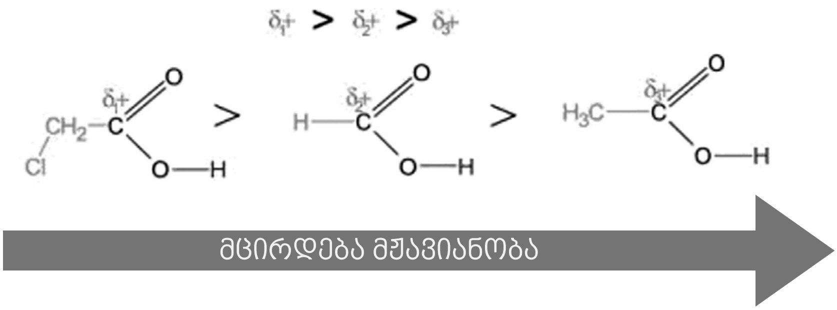


მაგრამ როგორ დავადგინოთ მუხტის სიდიდე? ამისათვის განვიხილოთ რამდენიმე მაგალითი. შევადაროთ ერთმანეთს სამი ნაერთი: ჭიანჭველ-მჟავა, ძმარმჟავა და ქლორძმარმჟავა. ცხადია, სამივე ნაერთი მოიცავს COOH ჯგუფს, რომელშიც კარბონილურ ნახშირბადატომზე ჟანგბადის ატომების გავლენა იქნება ერთნაირი – როგორც ზედა ნახაზზეა ნაჩვენე-ბი. მაგრამ კარბონილურ ნახშირბადატომზე კიდევ არის ჩანაცვლებული ჭიანჭველმჟავაში წყალბადი, ძმარმჟავაში – მეთილი, ხოლო ქლორძმარ-მჟავაში კი – ქლორმეთილის ფრაგმენტი, რომლებიც ასევე ახდენენ გავ-ლენას კარბონილური ნახშირბადატომის მუხტის სიდიდეზე. რითი განსხ-ვავდებიან ეს ჩამნაცვლებლები ერთმანეთისაგან? წყალბადი და მეთილი ელექტრონოდონორია, ხოლო ქლორმეთილი – ელექტრონოაქცეპტორი. შესაბამისად, ქლორმეთილი კიდევ უფრო გააღარიბებს ელექტრონულ სიმკვრივეს კარბონილურ ნახშირბადატომზე და გაზრდის ფარდობით

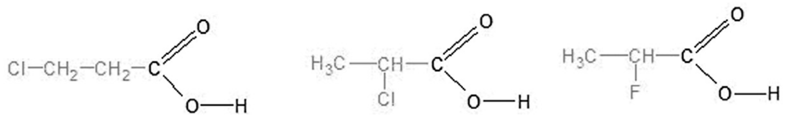
დადებით მუხტს. ელექტროდონირები კი პირიქით მოიქცევიან – შედარებით შეამცირებენ მუხტს, მაგრამ ვინაიდან წყალბადი უფრო სუსტი ელექტრონოდონორია, ვიდრე მეთილი, ნაკლებად მოახდენს ელექტრონებით გაღარიბებულ ნახშირბადატომზე მუხტის დეფიციტის კომპენსაციას.



აქედან გამომდინარე, შეგვიძლია მოცემული ნაერთები მჟავიანობის შემცირების მიხედვით განვალაგოთ შემდეგ მწკრივში:



განვიხილოთ კიდევ ერთი მაგალითი. შევადაროთ 3-ქლორპროპანმჟავას, 2-ქლორპროპანმჟავასა და 2-ფთორპროპანმჟავას მჟავიანობა.



ჩვენ უკვე ვიცით, აღნიშნული ტიპის ამოცანაში მოლეკულის მხოლოდ „მარცხენა“ მხარეს განვიხილავთ და ვადგენთ, იგი ელექტრონოდონორია თუ ელექტრონოაქცეპტორი. მოცემულ კონკრეტულ შემთხვევაში ჰალოგენის შემცველი ფრაგმენტები გვაქვს ჩანაცვლებული, ამიტომ ყველა მათგანი იქნება ელექტრონოაქცეპტორი და შესაბამისად, სამივე ნაერთის მჟავიანობა იქნება უფრო მეტი, ვიდრე ძმარმჟავის (თუ ძმარმჟავას „სტანდარტად“ მივიჩნევთ). მაგრამ როგორ გადანაწილდება მათ შორის მჟავიანობა? ცხადია, 2-ფთორპროპანმჟავა უფრო ძლიერი მჟავა იქნება, ვიდრე ორი დანარჩენი, რადგან ფთორი უფრო ელექტროუარყოფითი

ელემენტია, ვიდრე ქლორი. რაც შეეხება ქლორპროპანმჟავას იზომერებს, უნდა გავითვალისწინოთ ქლორის მდებარეობა კარბონილურ ნახშირბადატომთან მიმართებაში. გვახსოვდეს, ინდუქციური ეფექტი ვრცელდება მხოლოდ ერთ სიგმა ბმაზე. ამდენად, 3-ქლორპროპანმჟავაში ქლორის ატომის გავლენა ძალიან სუსტი იქნება, ვიდრე 2-ქლორპროპანმჟავაში. შესაბამისად, მჟავიანობა შემცირდება მწკრივში:

2-ფთორპროპანმჟავა >2-ქლორპროპანმჟავა > 3-ქლორპროპანმჟავა

დასასრულს დამატებით მინდა შემოგთავაზოთ რამდენიმე რეკომენდაცია:

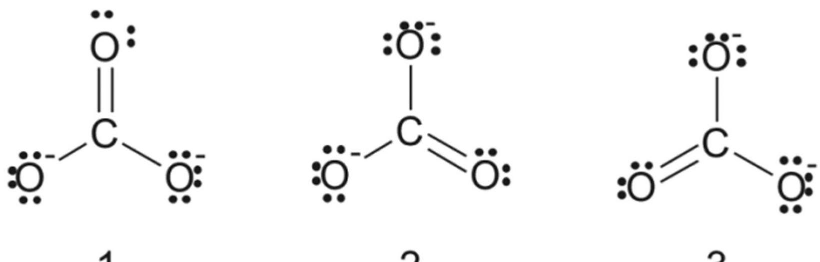
1. ორფუძიანი მჟავები უფრო ძლიერი მჟავებია, ვიდრე ერთფუძიანი მჟავები;
2. ოქსომჟავები უფრო ძლიერი მჟავებია, ვიდრე ერთფუძიანი მჟავები;
3. ჰიდროქსი მჟავები უფრო ძლიერი მჟავებია, ვიდრე ერთფუძიანი მჟავები;
4. ჰალოგენმჟავები უფრო ძლიერი მჟავებია, ვიდრე ერთფუძიანი მჟავები;
5. ჰალოგენმჟავებში მჟავიანობა მცირდება მწკრივში: F>Cl>Br>I, თუ ჰალოგენები ერთი და იმავე მანძილზეა ჩანაცვლებული კარბინილური ნახშირბადატომიდან;
6. პოლიჰალოგენმჟავებში მჟავიანობა მცირდება ჰალოგენის ატომების რაოდენობის შემცირებასთან ერთად.

რეზონანსი

სიტყვა „რეზონანსი“ მრავალი ჩვენგანისთვის ნაცნობია. მას უპირატესად ფიზიკიდან ვიცნობთ და არცთუ იშვიათად ვიყენებთ პირდაპირი თუ გადატანითი მნიშვნელობით. მაგრამ მას კიდევ ერთი – ქიმიური – მნიშვნელობა აქვს. რეზონანსი ქიმიაში ერთ-ერთი ფუნდამენტური ცნებაა ნაერთთა აღნაგობის დასახასიათებლად.

მოლეკულათა აღნაგობის დახასიათებისა და გამოსახვისთვის ხშირად ვიყენებთ ლუისის თეორიას, თუმცა მისი ერთ-ერთი ნაკლი ის არის, რომ იგი მოლეკულაში ელექტრონებს უძრავ მდგომარეობაში განიხილავს. სინამდვილეში ელექტრონები ატომებზე არ არიან ფიქსირებულნი და განსაზღვრულ მდგომარეობაში უნარი შესწევთ, ერთი ატომიდან მეორეზე გადაინაცვლონ. ამ შემთხვევაში ერთი და იმავე სტრუქტურისთვის (ელექტრონების სხვადასხვა განაწილებით) შესაძლებელია რამდენიმე ლუისის სტრუქტურის დაწერა.

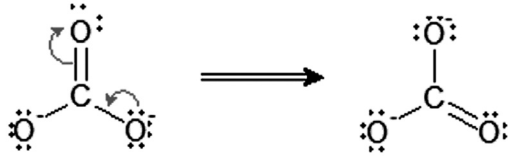
მეტი სიცხადისთვის მოვიყვანოთ კარბონატ იონის მაგალითი. ჩვენ შეგვიძლია დავწეროთ სამი განსხვავებული, მაგრამ ეკვივალენტური სტრუქტურა (1–3):



1 2 3

ყურადღება მივაქციოთ ორ მნიშვნელოვან გარემოებას. პირველი: ყოველ ატომს გარე სავალენტო შრე შევსებული აქვს. მეორე და უაღრესად მნიშვ-

ნელოვანი: ერთი სტრუქტურის მეორედ გარდაქმნა შესაძლებელია მხოლოდ ელექტრონების გადაადგილებით და არ არის საჭირო ატომბირთვების გადანაცვლება. ამ შემთხვევაში ელექტრონების გადაადგილებას მოხრილი ისრების საშუალებით აღწერენ. ისარი გადასაადგილებელ ელექტრონებთან უნდა იწყებოდეს და მის ახალ პოზიციასთან მთავრდებოდეს. ქვემოთ მოყვანილ სქემაზე ჩანს, რომ ისრებით ნაჩვენები ელექტრონების გადანაცვლებით (ატომბირთვების დაუძრავად) სტრუქტურა 1 გარდაიქმნება სტრუქტურა 2-ად:



1 2

ეს ორი სტრუქტურა, მართალია, არ არის იდენტური, მაგრამ ეკვივალენტურია.

კიდევ ერთი საინტერესო მომენტი: კარბონატ იონის რენტგენოსტრუქტურულმა ანალიზმა აჩვენა, რომ ნახშირბადსა და ჟანგბადატომებს შორის ბმა უფრო გრძელია, ვიდრე ორმაგი ბმა. ზემოთ მოყვანილი სამი ლუისის სტრუქტურისთვის ლოგიკური იქნებოდა, რენტგენოსტრუქტურულ ანალიზს ეჩვენებინა, რომ კარბონატ იონში ორი C-O ბმის სიგრძე კლასიკური ორმაგი ბმის სიგრძისაა, ხოლო ერთი C-O ბმა – კლასიკური ერთმაგი ბმის სიგრძის.

რა განაპირობებს ექსპერიმენტული შედეგებისა და თეორიული მოსაზრების განსხვავებას? რომელია ჭეშმარიტებასთან უფრო ახლოს? თუ დავეყრდნობით ექსპერიმენტულ მონაცემებს, რომ კარბონატ იონში ყველა ბმა თანაბარი სიგრძისაა, მაგრამ განსხვავებული კლასიკური ერთმაგი და ორმაგი ბმის სიგრძის, როგორ მივუსადაგოთ იგი ლუისის სტრუქტურას?

ამ პრობლემის მოგვარების ერთ-ერთი გზაა ე.წ. რეზონანსის თეორია. ამ თეორიის თანახმად, თუ მოლეკულა ან იონი გამოისახება ორი ან მეტი

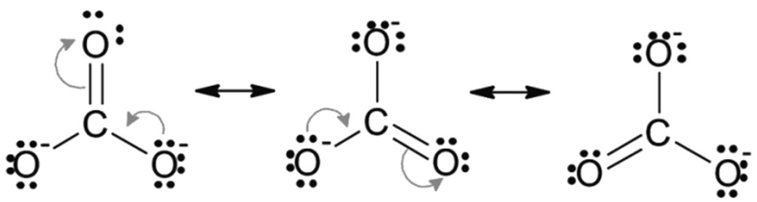
ელექტრონის განაწილებით განსხვავებული, მაგრამ ეკვივალენტური სტრუქტურების სახით, სამართლიანია შემდეგი ორი პოსტულატი:

1. აღნიშნული სტრუქტურებიდან (რომლებსაც რეზონანსული სტრუქტურები ეწოდება) არც ერთი არ შეესაბამება რეალურ სტრუქტურას; არც ერთი მათგანი არ იქნება სრულ თანხვედრაში მოლეკულის ან იონის რეალურ ქიმიურ და ფიზიკურ თვისებებთან.
2. რეალური მოლეკულა ან იონი უნდა გამოისახოს თითოეული რეზონანსული სტრუქტურის ჰიბრიდის სახით.

აქედან გამომდინარე, თუ მოლეკულისთვის შესაძლებელია დაიწეროს რეზონანსული სტრუქტურები, ეს ნიშნავს, რომ ისინი რეალური მოლეკულის მხოლოდ ჰიპოთეზური სტრუქტურებია და მხოლოდ ფურცელზე არსებობს. მათი გამოყოფა ინდივიდუალური სახით შეუძლებელია.

როგორ გამოვსახოთ 1-3 რეზონანსული სტრუქტურების ჰიბრიდული სტრუქტურა? ამისათვის არსებობს ორი მეთოდი.

პირველი მეთოდის თანახმად, უნდა დაიწეროს ყველა რეზონანსული სტრუქტურა და მათ შორის განთავსდეს ორთავიანი («) ისარი, რომელსაც რეზონანსული ისარი ეწოდება. აქვე შევნიშნავ, რომ შექცევადი ისარი (ურთიერთსაპირისპიროდ მიმართული ორი ისარი) წონასწორობას აღნიშნავს, ამიტომ მისი გამოყენება რეზონანსულ სტრუქტურებში არ შეიძლება.

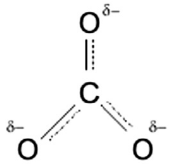


1 2 3

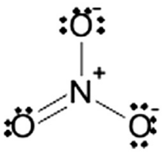
ამ სახით სტრუქტურების ჩაწერისას უნდა გვახსოვდეს, რომ ისინი მხოლოდ ფურცელზე არსებობს, რეალური სტრუქტურა კი სადღაც მათ მიღმაა, მათი ჰიბრიდიზაციით არის მიღებული.

მეორე მეთოდის საშუალებით ბმები უნდა გამოისახოს უწყვეტი და წერტილოვანი ხაზებით:

ასეთი ბმა მიუთითებს, რომ იგი არც ორმაგია და არც ერთმაგი – მათი გასაშუალებული ბმაა.

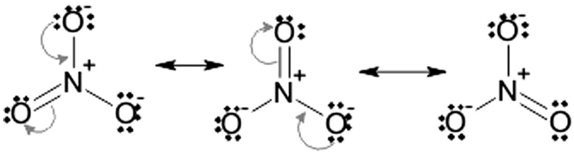


განვიხილოთ კიდევ ერთი მაგალითი. ნიტრატ იონის ჩაწერის ერთ-ერთი ფორმაა:

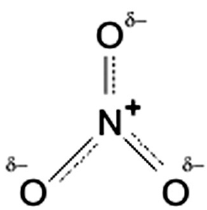


მაგრამ რენტგენოსტრუქტურული ახალიზითა და ქიმიური ექსპერიმენტით დადგენილია, რომ ჟანგბადის სამივე ატომი იდენტურია. რა განაპირობებს მათ იდენტურობას? ახსენით რეზონანსის თეორიის საშუალებით.

მოყვანილი სტრუქტურიდან ჩანს, რომ შესაძლებელია, ელექტრონების განაწილების ვარირებით დაიწეროს სამი განსხვავებული, მაგრამ იდენტური რეზონანსული სტრუქტურა:



რეალური სტრუქტურა იქნება სამი რეზონანსული სტრუქტურის ჰიბრიდი, რომელიც შეიძლება ასე გამოისახოს:

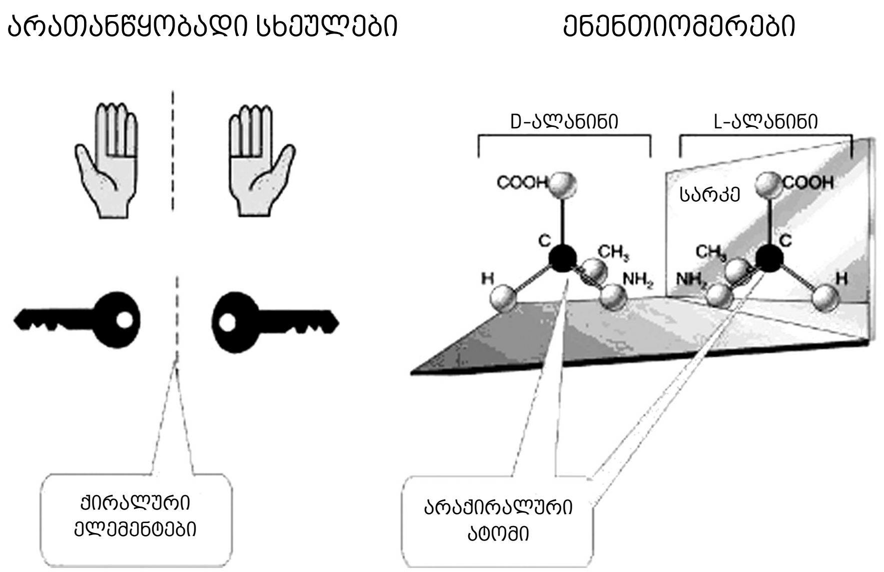


ნიტრატ იონის ჰიბრიდული სტრუქტურა

ოპტიკური იზომერია

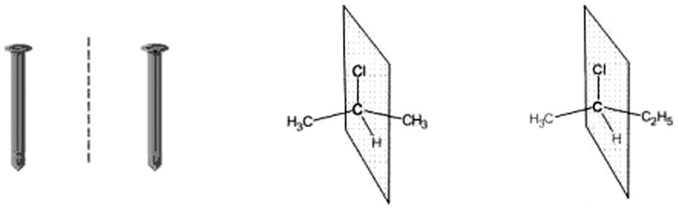
სახლიდან გასვლისას, სარკეში ჩახედვა და „საკუთარი თავისთვის“ თვალის შევლება თითოეული ჩვენგანისათვის თითქმის ინსტიქტის დონემდე დაყვანილი, აუცილებელი პროცედურაა. ვიმზირებით სარკეში და გვგონია, საკუთარ თავს ვხედავთ. მაგრამ ის, ვინც სარკეში მოჩანს, ჩვენ არ ვართ. თუ კარგად დააკვირდებით, ნახავთ, რომ მას ყველაფერი უკუღმა აქვს... ჩვენი სარკული გამოსახულება ჩვენ ისევე გვგავს, როგორც ჩვენი მარჯვენა ხელი ჰგავს მარცხენას... ერთი შეხედვით, ორივე ხელი ხომ ერთნაირი გვაქვს, მაგრამ მათ შორის სხვაობას ადვილად „დავიჭერთ“, თუ ერთ მარტივ ექსპერიმენტს ჩავატარებთ: მოხსენით თოჯინას მარცხენა ხელი და შეეცადეთ დააყენოთ მარჯვენა ხელის ადგილას.

მაშასადამე, სარკეში რასაც ვხედავთ, ჩვენი ანარეკლია, სარკული გამოსახულებაა. ქიმიაში მას ენანთიომერი (სტერეოიზომერი) ეწოდება. სტერეოიზომერები კი ეწოდებათ ისეთ ნაერთებს, რომლებიც შედგებიან ერთი და იმავე მიმდევრობის ერთი და იმავე ატომებისაგან, მაგრამ აქვთ განსხვავებული სივრცითი აღნაგობა.



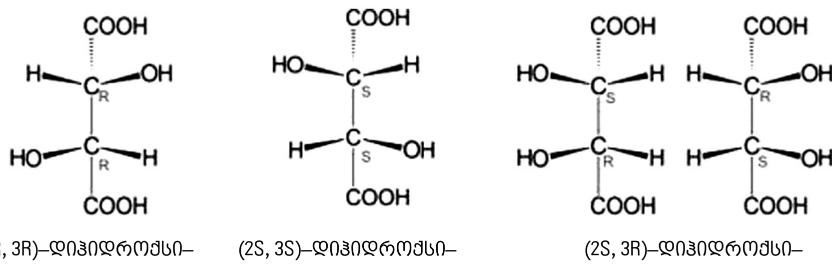
ყველა მოლეკულას შეიძლება ჰქონდეს სტერეოზომერი? ცხადია, არა. სტერეოზომერიის გამოვლინებისათვის მოლეკულა ერთ განსაკუთრებულ თვისებას უნდა ატარებდეს. მას უნდა ჰქონდეს ქირალური ცენტრი ანუ ისეთ ნახშირბადატომს უნდა მოიცავდეს, რომელსაც ოთხი ჩამნაცვლებელი აქვს და იმავდროულად ოთხივე განსხვავებული.

ტესტი ქირალობაზე ადვილი ჩასატარებელია. თუ სხეულს (მოლეკულას) გააჩნია სიმეტრიის ღერძი, მაშინ მას ქირალური ცენტრი არ ექნება და აქირალური იქნება. მაგალითად, 2-ქლორპროპანში C2 ატომი მხოლოდ სამ განსხვავებულ ჩანმაცვლებელს მოიცავს, ამიტომ მასზე სიმეტრიის სიბრტყის გატარება შეიძლება. შესაბამისად, იგი აქილარულია. 2-ქლორბუტანში C2ატომზე სიმეტრიის სიბრტყის გატარება შეუძლებელია და ამიტომ იგი ქირალურია. შესაბამისად, მას ექნება შესაბამისი ოპტიკური იზომერი.



აქირალური აქირალური ქირალური

მოლეკულა შეიძლება მოიცავდეს ერთზე მეტ ქილარულ ცენტრსაც. ასეთ შემთხვევაში ენენთიომერების რიცხვი მნიშვნელოვნად იზრდება და შეიძლება გამოითვალოს ფორმულით: ენენთომერების რაოდენობა = 2n, სადაც n ქირალური ცენტრების რაოდენობაა. შესაბამისად, ღვინომჟავას, რომელსაც ორი (C2 და C3) ქირალური ნახშირბადი აქვს, 4 ენანთიომერი გააჩნია.



(2R, 3R)–დიჰიდროქსი–ბუთანდიმჟავა R-ღვინომჟავა

(2S, 3S)–დიჰიდროქსი–ბუთანდიმჟავა S-ღვინომჟავა

(2S, 3R)–დიჰიდროქსი–ბუთანდიმჟავა R, S-ღვინომჟავა (მეზოღვინომჟავა)

ოპტიკური იზომერიის მოვლენა მოლეკულებზე ჯერ კიდევ ბერცელიუსის დროს იქნა შენიშნული. ბერცელიუსმა აღმოაჩინა, რომ ერთი და იგივე შედგენილობისა და ქიმიური თვისებების მქონე ღვინომჟავის კრისტალები მასზე დაცემულ ბრტყლად პოლარიზებულ სხივს ან მარჯვნივ გადახრიდნენ, ან კუთხის იმავე მნიშვნელობით – მარცხნივ. ვინაიდან მოლეკულები ქიმიურად ერთნაირად იქცეოდნენ, ეს განსხვავებულობა კრისტალურ სტრუქტურას მიეწერა. ბერცელიუსი ამ აღმოჩენას სტუდენტებს ყოველთვის დიდი ენთუზიაზმით აცნობდა წლების განმავლობაში, სანამ მის კლასში არ მოხვდა ლუი პასტერი. პასტერმა, რომელიც ჯერ კიდევ ძალიან ახალგაზრდა იყო, ლექციაზე მხცოვან პროფესორს შეკადრა და განუცხადა მთელი აუდიტორიის წინაშე, რომ იგი ცდებოდა. სხივის გადახრა არა კრისტალის, არამედ მოლეკულის თვისება იყო, ვინაიდან მარჯვნივმაბრუნებელი ღვინომჟავის წყალხსნარი ისევე იქცეოდა, როგორც მისი კრისტალები. ბერცელიუსმა სასტიკად გაკიცხა საჯაროდ ლუი პასტერი და მას თავხედი და პოპულისტი უწოდა. მაგრამ პასტერი იმდენად იყო დარწმუნებული თავის განცხადებაში, რომ მას შესთავაზა ექსპერიმენტით თავისი მოსაზრების დამტკიცება... დაინიშნა სამეცნიერო „დუელი“. ლუი ჩაკეტეს ლაბორატორიაში ღვინომჟავის კრისტალებთან ერთად. მას მეორე დღემდე უნდა მოესწრო მარჯვნივ და მარცხნივ მაბრუნებელი ღვინომჟავის კრისტალების ცალ-ცალკე გადაწყობა... მეორე დღეს იმავე აუდიტორიის წინაშე ლუი პასტერმა დაამტკიცა, რომ სხივის გადახრა მოლეკულის თვისება იყო და არა კრისტალის...

ბერცელიუსმა სოკრატეს ცნობილი ფრაზა მოიშველია: „მე ის ვიცი ქიმიაში, რომ არაფერი ვიცი“, და ისევ ბუმბერაზ მეცნიერად დარჩა...

შეცდომის დაშვებისაგან არც ჩვენ ვართ დაზღვეულები.... მთავარია, მათი აღიარება და გამოსწორება შევძლოთ.

ქიმიური რეაქციის სიჩქარე

ქიმიური რეაქცია არის პროცესი, როდესაც გარკვეული მოლეკულები ერთმანეთთან ურთიერთქმედებენ და სხვა სახის მოლეკულებში გარდაიქმნებიან. თუ რეაქცია პროცესია, მაშინ იგი შეიძლება იყოს ნელი ან სწრაფი. რკინის კოროზია – რკინის ჟანგბადის მოლეკულებთან ურთიერთქმედება – თვეებისა და წლების განმავლობაში მიმდინარეობს, შაქრების სპირტულმა დუღილმა ფერმენტების გავლენით შეიძლება რამდენიმე კვირა გასტანოს, ბარიუმის რომელიმე ხსნად მარილზე სულფატ ანიონების მოქმედებით ნალექის გამოყოფა ჩვენს თვალწინ ხდება, ხოლო ფთორისა და წყალბადის ურთიერთქმედებას თვალს ვერ მოვკრავთ – აფეთქების სიჩქარით მიმდინარეობს.

ქიმიური რეაქციის სიჩქარეს უდიდესი მნიშვნელობა აქვს, განსაკუთრებით კი სამრეწველო თვალსაზრისით, ვინაიდან ინდუსტრიაში ნივთიერების ყოველი ზედმეტი წვეთი, ყოველი ზედმეტი დახარჯული კილოვატი ენერგია და ყოველი ზედმეტი წამი აღიწერება პროდუქტის თვითღირებულებაზე. ამიტომ ქიმიური რეაქციების შესასწავლად, რომლებსაც ხშირად ლაბორატორიაში დიდ ყურადღებას არ ვაქცევთ, ქიმიის ცალკე ქვედარგი გამოიყო და ეწოდა ქიმიური კინეტიკა. ქიმიური კინეტიკის მიზანია, დაადგინოს რეაქციის სიჩქარეზე მოქმედი ფაქტორები, განსაზღვროს რეაქციის სიჩქარე და ნათელი მოჰფინოს რეაქციის მექანიზმს.

როგორც წესი, გარდაქმნა მიმდინარეობს ერთ ან რამდენიმე სტადიად. თითოეულ სტადიაზე გარკვეული რაოდენობის ნაწილაკები (მოლეკულები, რადიკალები, იონები, ატომები) ურთიერთქმედებენ ერთმანეთთან, რის მიხედვითაც განასხვავებენ მონო-, ბი-, ტრიმოლეკულურ რეაქციებს (ამ მოვლენას რეაქციის მოლეკულურობა ეწოდება).

გარდა მოლეკულურობისა, რეაქციის სიჩქარეზე არაერთი სხვა ფაქტორი ახდენს გავლენას, როგორიცაა ურთიერთქმედების ზედაპირის ფართი, ტემპერატურა, კონცენტრაცია და ა.შ. შესაბამისად, სიჩქარის განსაზღვრი-

სას ყველა ფაქტორი უნდა იქნას გათვალისწინებული. ეს კი, ცხადია, გაანგარიშების პროცესს ართულებს. თუმცა ძალიან მარტივად შეიძლება იქნას გამოთვლილი რეაქციის საშუალო სიჩქარე.

მოძრავი ობიექტის (ავტომობილის) საშუალო სიჩქარე როგორ შეიძლება გამოვთვალოთ? უნდა ვიცოდეთ, რა მანძილი გაიარა და რა დროში. როდესაც ავტომობილი მოძრაობდა, იცვლებოდა მისი მდებარეობა, ანუ კოორდინატი. ამიტომ მათემატიკოსები ობიექტის სიჩქარის განსაზღვრისათვის ამბობენ: სიჩქარე არის კოორდინატის წარმოებული დროით. რა იცვლება ქიმიური რეაქციის დროს? ცხადია, მოლეკულების ბროუნის მოძრაობით გამოწვეული „გარბენილი" მანძილი არ იგულისხმება. ქიმიური რეაქციის დროს იცვლება კონცენტრაცია – მცირდება არსებული ნაერთებისათვის, ხოლო იზრდება პროდუქტებისათვის. აქედან გამომდინარე, რეაქციის საშუალო სიჩქარის გამოსათვლელად უნდა ვიცოდეთ საწყისი და საბოლოო კონცენტრაცია და დრო, რომლის განმავლობაშიც მიღწეული იქნა ეს ცვლილება. ვთქვათ, ჩავატარეთ ესტერის ჰიდროლიზის რეაქცია და ერთი საათის განმავლობაში ესტერის საწყისი კონცენტრაცია 1 მოლი/ლ-დან შემცირდა 0,5 მოლი/ლიტრამდე.

მაშინ ჰიდროლიზის საშუალო სიჩქარე იქნება:

$$\text{საშუალო სიჩქარე} = \frac{(1-0{,}5)\ \text{მოლი/ლ}}{100\text{X}60\text{X}60\ \text{წმ}} = 1{,}39\ \text{X}\ 10^{-4}\ \text{მოლი/ლწმ}$$

რეაქციის სიჩქარის განზომილება არის კონცენტრაცია შეფარდებული დროზე – მოლი/ლწმ.

რატომ ვსაუბრობთ რეაქციის საშუალო სიჩქარეზე და, ზოგადად, სიჩქარეზე?

განვიხილოთ მარტივი რეაქცია, რომელიც ზოგადი სახით შეიძლება ასე გამოისახოს:

$$A \rightarrow B$$

ვთქვათ, ერთი მოლი A ნივთიერება გარდაიქმნება 1 მოლ B ნაერთში. რეაქციის საწყის ეტაპზე კოლბაში ჩატვირთული გვაქვს მხოლოდ A ნივთიერება და მისი კონცენტრაცია მაქსიმალურია (100%-ია). გარკვეული დროის შემდეგ ინიცირდება რეაქცია და A ნივთიერება იწყებს გარდაქმნას B ნივთიერებაში. შესაბამისად, A ნივთიერების კონცენტრაცია იწყებს

კლებას, ხოლო B ნივთიერების კონცენტრაცია კი – მატებას (მისი კონცენტრაცია საწყის ეტაპზე ნულის ტოლი იყო). ავიღოთ კალციუმის კარბონატის ნატეხი ან თუთიის გრანულა და დავამატოთ მარილმჟავა. თვალნათლივ დავინახავთ, რომ გაზის გამოყოფა რეაქციის დასაწყისში უფრო ენერგიული იქნება, ვიდრე ფინიშისკენ. ზოგადად, ყველა რეაქცია ასე მიმდინარეობს. გრაფიკულად თუ გამოვსახავთ კონცენტრაციის ცვლილებას, მაშინ A კომპონენტის კონცენტრაციის ცვლილებას ექნება შემდეგი სახე (ლურჯი ფერის მრუდი), ხოლო B ნივთიერების წარმოქმნა კი შეიძლება გამოვსახოთ წითელი ფერის მრუდით. დავაკვირდეთ t_2-t_1 და t_4-t_3 ტოლ შუალედებში კონცენტრაციის ცვლილებას B ნაერთისათვის. პირველ შემთხვევაში იგი უფრო მნიშვნელოვნად იცლება, ვიდრე მეორე შემთხვევაში, ვინაიდან C_2-C_1 სხვაობა მეტია C_4-C_3-ზე.

მაშასადამე, სხვადასხვა წერტილში (დროის სხვადასვა მომენტში) რეაქციის სიჩქარე განსხვავებულია. მოცემული გრაფიკის საშუალებით შესაძლებელია რეაქციის სიჩქარის გამოთვლა დროის გარკვეული მომენტისათვის. ამისათვის საკმარისია ზუსტად გავავლოთ მხები მოცემულ წერტილში და გამოვთვალოთ მისი დახრის კუთხის ტანგენსი. იმავე გრაფიკიდან ადვილად შეინიშნება, რომ t=0 საწყის მომენტში რეაქციის სიჩქარე ნულის ტოლია.

აქედან გამომდინარე, რეაქციის სიჩქარე დროის გარკვეული მომენტისათვის შეიძლება გამოითვალოს როგორც საწყისი ნაერთის (მისი ხარჯვის), ისე პროდუქტის (მისი დაგროვების) მიმართ:

$$\textit{სიჩქარე} = -\frac{[A]}{dt} = \frac{[B]}{dt}$$

სადაც [A] არის A ნივთიერების კონცენტრაცია, ხოლოს [B] პროდუქტის კონცენტრაცია.

დავწეროთ რაიმე რეაქცია:

$$BO_3^- + 5Br^- + 6H^+ \rightarrow 3Br_2 + 3H_20$$

ზემოთ მოყვანილი რეაქციის სიჩქარის ზოგადი განტოლება კონკრეტული რეაქციისათვის სტექიომეტრიული კოეფიეციენტების გათვალისწინებით შემდეგნაირად შეიძლება ჩაიწეროს:

$$\text{სიჩქარე} = -\frac{d[BrO_3^-]}{dt} = -\frac{1}{5}\frac{d[Br^-]}{dt} = -\frac{1}{3}\frac{d[Br_2]}{dt}$$

როგორ გავზომოთ რეაქციის სიჩქარე?

წინა წერილში ქიმიური რეაქციის სიჩქარის თეორიულ ასპექტებს შევეხეთ. მასში მოცემული ფორმულების საშუალებით შესაძლებელია რეაქციის სიჩქარის გამოთვლა, თუ გვექნება გარკვეული მონაცემები – საწყისი და საბოლოო კონცენტრაცია და დრო. მაგრამ როგორ მოვიპოვოთ ეს მონაცემები ექსპერიმენტულად? ალბათ დამეთანხმებით, რომ ქიმიური რეაქციის სიჩქარის განსაზღვრისათვის ეს მომენტი უფრო მნიშვნელოვანია (ქიმიური თვალსაზრისით), ვიდრე მონაცემების ფორმულაში შეტანა და მხოლოდ მათემატიკური აპარატის გამოყენება, რომელიც არაქიმიკოსსაც შეუძლია თავისუფლად განახორციელოს.

ქიმიური რეაქციის სიჩქარის დადგენა ექსპერიმენტალურად არ არის ყოველთვის მარტივი, ვინაიდან ყველა რეაქცია არ მიდის ისეთი თვალნათელი ეფექტებით (ფერის ცვლილება, ნალექისა და გაზის გამოყოფა და ა.შ.), რომელთა გაზომვა დინამიურ რეჟიმში მარტივად მოხერხდება. ქიმიური რეაქციის სიჩქარის გაზომვის მეთოდები შეიძლება ორ ჯგუფად – ქიმიურ და ფიზიკურ მეთოდებად – დავყოთ.

ქიმიური მეთოდების დროს ანათვალის ასაღებად ქიმიური ანალიზის მეთოდები (მაგ. გატიტვრა) გამოიყენება. რეაქციას აუცილებლად ატარებენ მუდმივ ტემპერატურაზე (თერმოსტატირებით), რისთვისაც შეიძლება გამოიყენონ წყლის აბაზანა. ერთმანეთს შეურევენ ცნობილი კონცენტრაციის ხსნარებს და ჩართავენ წამზომს. ანალიზის ასაღებად სინჯს სარეაქციო ნარევიდან პიპეტით იღებენ. ამ დროს, როგორც წესი, რეაქციის მიმდინარეობა წყდება. თუ სინჯის აღების შემდეგ საანალიზო ხსნარშიც შესაძლებელია რეაქციის გაგრძელება, მაშინ რეაქციას ხელოვნურად „ამუხრუჭებენ“, რისთვისაც სინჯში შეაქვთ ისეთი რეაგენტი, რომელიც ერთ-ერთ კომპონენტს შებოჭავს. შესაძლებელია რეაქციის მიმდინარეობის შეწყვეტა მიღწეული იქნას ხსნარის სწრაფად გაცივებით ან განზავებით.

მაგალითის სახით შეიძლება განვიხილოთ ესტერის ტუტე ჰიდროლიზი. მდუღარე წყლის აბაზანაზე მოვათავსოთ ესტერისა და ცნობილი კონცენტრაციის ტუტის ხსნარი. გარკვეული დროის შემდეგ (დროის ჩანიშვნით) სა-

რეაქციო ხსნარიდან ამოვიღოთ სინჯი და განვაზავოთ ყინულიანი წყლის 4–5-ჯერ დიდ რაოდენობაში. განზავებით და გაცივებით რექციის სიჩქარე პრაქტიკულად ნულს გაუტოლდება. დარჩენილი ტუტის რაოდენობა განვსაზღვროთ მჟავის სტანდარტული ხსნარით გატიტვრით. ინდიკატორად გამოვიყენოთ ფენოლფტალეინი, რადგან აცეტატ იონების გავლენით იგი ფერს არ იცვლის. რეაქციის სიჩქარის გამოსათვლელად რამდენიმე გაზომვის შედეგი დაგვჭირდება, ამიტომ ანალიზის აღება უნდა გავიმეოროთ დროის სხვადასხვა მონაკვეთისათვის.

ფიზიკური მეთოდებით რეაქციის სიჩქარის განსაზღვრა ექსპერიმენტულად უფრო მარტივი ჩასატარებელია, თუმცა გარკვეული სპეციფიკური აპარატურისა და მოწყობილობების გამოყენებაა საჭირო, როგორიცაა, მაგალითად, კოლორიმეტრი, პოლარიმეტრი, რეფრაქტომეტრი, მანომეტრი და ა.შ.

ცხადია, ზემოთ მოყვანილი ექსპერიმენტების ჩატარება სკოლაში საკმაოდ რთულია შესაბამისი აპარატურის არქონის (პოლარიმეტრი, კოლორიმეტრი და ა.შ.) გამო. არც გაკვეთილის ფორმატია (ესტერის ჰიდროლიზმა შეიძლება ერთ საათზე მეტხანს გასტანოს) მთლად ხელსაყრელი. მაგრამ ერთი გაკვეთილის პირობებში რეაქციის სიჩქარის გაზომვა მაინც შესაძლებელია. ამისათვის დაგვჭირდება 0,01 გრამი სიზუსტის ელექტროსასწორი, ქიმიური ჭიქა, მარილმჟავა, კირქვა და წამზომი. ამ უკანასკნელის სპეციალურად ქონა სრულებით არ არის საჭირო, რადგან ძალიან ბევრ მობილურ ტელეფონს აპლიკაციებში აქვს ელექტრონული წამზომი.

მოათავსეთ ქიმიური ჭიქა სასწორზე, ჩაასხით გარკვეული კონცენტრაციის მარილმჟავა და ჩააგდეთ კირქვის ნატეხი. სწრაფად ჩართეთ წამზომი და აითვალეთ სასწორის ჩვენება. დაიწყება გაზის გამოყოფა. გარკვეული დროის შემდეგ სასწორის ჩვენება შემცირდება გამოყოფილი ნახშირორჟანგის გამო. დროის სხვადასხვა ინტერვალში აიღეთ სასწორის ჩვენება... მივიღებთ ცხრილს დროისა და მასის კლების დამოკიდებულებით, რომლიდანაც მარტივი არითმეტიკული გარდაქმნებით შეიძლება გამოვთვალოთ რეაქციის სიჩქარე.

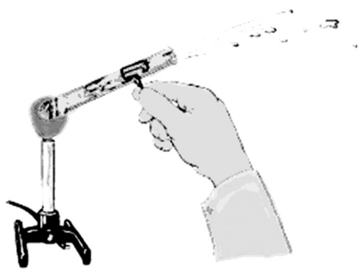
ზემომოყვანილი ექსპერიმენტით ასევე შესაძლებელია ტემპერატურის, კონცენტრაციისა და სარეაქციო ზედაპირის ცვლილების გავლენის შესწავლა რეაქციის სიჩქარეზე. ამისათვის საკმარისია შეიცვალოს ტემპერატურა, კონცენტრაცია ან კირქვის ნატეხების ზომა. ექსპერიმენტი კი იმავე მეთოდით ჩატარდება.

უსაფრთხოების ტექნიკა ქიმიურ ლაბორატორიაში

ქიმიის სწავლება თეორიულ მეცადინეობასთან ერთად მოიცავს უცილობელ ქიმიური ექსპერიმენტების ჩატარებასაც. ამიტომ ქიმიის პედაგოგი უნდა ფლობდეს უმარტივესი ქიმიური ექსპერიმენტების შესრულების ტექნიკას. ლაბორატორიაში ქიმიური რეაქტივები, ჭურჭელი, დანადგარები და მოწყობილობები კი, თავის მხრივ, მოითხოვს კვალიფიციურ მოპყრობას. ამიტომ, ექსპერიმენტატორი ვალდებულია, ასევე ფლობდეს უსაფრთხოების ტექნიკას, ხანძარსაწინააღმდეგო წესებს, უნდა შეეძლოს უბედურების შემთხვევაში დაზარალებულისთვის პირველადი დახმარების აღმოჩენა.

რა უნდა ახსოვდეს ქიმიურ ლაბორატორიაში მომუშავე პერსონალს – მასწავლებელსა და მოსწავლეს:

1) ლაბორატორიაში არსებული ნივთიერებები მეტ-ნაკლებად მომწამვლელი და ცეცხლსაშიშია, ამიტომ აუცილებელია სისუფთავის დაცვა და წესრიგი.
2) არ უნდა დავუშვათ ნივთიერებების კანთან შეხება, ხელებით არ უნდა შევეხოთ სახესა და თვალებს, მუშაობის დროს არ უნდა მივიღოთ კვების პროდუქტები.
3) კატეგორიულად აკრძალულია მოქმედი დანადგარის უყურადღებოდ მიტოვება და ლაბორატორიაში მარტო ერთი პირის მუშაობა.
4) ყველა ჭურჭელზე, რომელშიც რეაქტივი ინახება, უნდა იყოს ზუსტი დასახელება. რეაქტივების გამოყენება უეტიკეტო ჭურჭლიდან აკრძალულია.
5) არავითარ შემთხვევაში არ შეიძლება ცდის ჩატარება ჭუჭყიან ჭურჭელში. შესაბამისად, ცდის დამთავრებისთანავე ჭურჭელი უნდა გაირეცხოს. ახლად გამოყენებული ჭურჭლის გასუფთავება გაცილებით ადვილია, ვიდრე ძველის.
6) ჭურჭელთან, რომელშიც რაიმე ხსნარი დუღს ან რომელშიც რაიმე ხსნარის დამატება ხდება, არ შეიძლება სახის ახლოს მიტანა; სინჯარის პირი, რომელშიც ხდება ხსნარის ან სითხის გაცხელება, არ უნდა იყოს მიმართული ვინმეს მიმართ.



7) კატეგორიულად აკრძალულია ქიმიური ნივთიერებების გემოს გასინჯვა; მათი ყნოსვა შეიძლება იმ შემთხვევაში, თუ დარწმუნებული ხართ, რომ ნაერთი არ არის შხამიანი ან მომწამვლელი. ამასთან, არ შეიძლება პირდაპირ შესუნთქვა, არამედ საჭიროა ხელის მოძრაობით მივიტანოთ ორთქლი სასუნთქ ორგანოსთან.

8) ზოგიერთი ექსპერიმენტის ჩატარებისას, უსაფრთხოების მიზნით, მიზანშეწონილია დამცველი სათვალით ან ორგანული მინისაგან დამზადებული სპეციალური საფარით სარგებლობა.
9) მინის ან სხვა ქიმიური ჭურჭლის გამოყენებისას უნდა დავიცვათ შემდეგი წესები:
   a) სქელკედლიანი ქიმიური ჭურჭელი არ უნდა ცხელდებოდეს ღია ცეცხლზე, არამედ – წყლის ან ზეთის აბაზანაში. ამ დროს ყურადღება უნდა მიექცეს სითხის თანაბარ გაცხელებას. არათანაბარი გაცხელების დროს შესაძლებელია სითხის გაშხეფება და ჭურჭლის გაბზარვა!
   b) დიდ ქიმიურ ჭურჭელს, საჭიროა, ორივე ხელი მოვკიდოთ, ამასთან ერთ-ერთი ხელი – ჭიქის ძირს!
   c) მინის მილების ბასრი ნაწილები უნდა იქნას შემლღვალი სპირტან გაზქურის ალზე! მინის დეტალებზე რეზინის მილების ჩამოცმის

დროს, მინის გატეხის თავიდან აცილების მიზნით, აუცილებელია მათი წინასწარ წყლით დასველება, გლიცერინის ან ვაზელინის წასმა და შემაერთებელ ნაწილებზე ორივე ხელის თითების მაქსიმალურად ახლოს განლაგება.

d) სამუშაოს დაწყების წინ აუცილებელია შემოწმდეს დანადგარი, თუ რამდენად სწორად არის აწყობილი, ხოლო სარეველის გამოყენების წინ საჭიროა შემოწმდეს, მუშაობს თუ არა ის.
e) ავტოკლავებით, შეკუმშული და გათხევადებული გაზის ბალონებით მუშაობა შესაძლებელია მხოლოდ უსაფრთხოების ტექნიკის სპეციალური ინსტრუქციის გავლის შემდეგ.
f) ვაკუუმ-ექსიკატორიდან ჰაერის ამოტუმბვა შეიძლება მხოლოდ წყალჭავლიანი ტუმბოს საშუალებით. ამ დროს საჭიროა, ვაკუუმ-ექსიკატორს შემოხვეული ჰქონდეს ქსოვილი.
g) საჭიროა უსაფრთხოების ტექნიკის სპეციალური ინსტრუქტაჟის გავლა, ვიდრე ვაკუუმზე გამოხდას შეუდგებოდეთ.
h) ამწოვი კარადის ფანჯრები მუშაობისას არ უნდა იყოს კარადის მუშა ფართობის 1/3-ზე მეტად გახსნილი.
i) ამწოვ კარადაში აფეთქების ან აალების შემთხვევაში, პირველ რიგში, უნდა გამოირთოს ვენტილაცია და დაიხუროს დროსელ-სარქველი, რათა არ მოხდეს სავენტილაციო ხაზზე ხანძრის გავრცელება.
j) მჟავების ან ტუტეთა ხსნარების ჩამოსხმა უნდა ხდებოდეს გამწოვ კარადაში. ამ დროს მომუშავეს უნდა ეკეთოს დამცველი სათვალე, ხოლო ამწოვი კარადის ფანჯარა უნდა იყოს დაწეული ისე, რომ ფარავდეს მომუშავის სახეს.
k) ბრომთან ყოველგვარი სამუშაო ტარდება გამწოვ კარადაში. ამ დროს აუცილებელია რეზინის ხელთათმანებისა და დამცველი სათვალის გამოყენება.

l) მინის დიდი ბოცები, რომლებშიც კონცენტრირებული მჟავები, ტუტეები ან ამიაკია, საჭიროა იდგეს კალათებში ან ხის ჩარჩოებში. ამ ნივთიერებების გადმოსხმისას საჭიროა დამცველი სათვალის, რეზინის ხელთათმანების, წინსაფრისა და რეზინის ჩექმების გამოყენება.

m) თუ ორი სითხის შერევაა საჭირო, მაშინ სითხეს, რომელსაც მეტი ხვედრითი წონა აქვს, მორევის პირობებში ასხამენ სითხეში, რომლის ხვედრითი წონა ნაკლებია, მაგალითად, კონცენტრირებული გოგირდმჟავას განზავებისას, კონცენტრირებული გოგირდმჟავას და აზოტმჟავას შერევისას და ა.შ.

n) ნივთიერებების შერევისას, რომლის დროსაც ადგილი აქვს სითბოს გამოყოფას, საჭიროა მხოლოდ თერმომდგრადი მინის ან ფაიფურის ქიმიური ჭურჭლის გამოყენება.

o) ნარჩენი სითხეების ჩასხმა ნიჟარაში კატეგორიულად აკრძალულია. ისინი უნდა განეიტრალდეს ან ჩაისხას სპეციალურ ჭურჭელში.

p) ქლორთან, ბრომთან, გოგირდის ან აზოტის ოქსიდებთან, გოგირდწყალბადთან და სხვა მომწამლავ ნივთიერებებთან მუშაობა აუცილებლად უნდა წარმოებდეს ამწოვ კარადაში.

q) ეთერის გაცხელება, გამოხდა, აორთქლება მიმდინარეობს წყლის აბაზანის საშუალებით. გამოხდისას უნდა გამოვიყენოთ მაქსიმალურად გრძელი მაცივრების ხოლო მიმღები უნდა მოთავსდეს ღია ცეცხლისაგან მოშორებით. რამდენიმეჯერ გამოყენებულ ეთერთან მუშაობის წინ, აფეთქების თავიდინ აცილების მიზნით, საჭიროა, მას მოშორდეს პეროქსიდები, მაგალითად, რკინის სულფატთან შენჯღრევით. არ შეიძლება გამოსახდელი კოლბიდან ეთერის გამოხდა სიმშრალემდე (ბოლომდე) და გამოხდილი ეთერის დიდი რაოდენობით შეგროვება ერთ მიმღებში (არა უმეტეს 300-400 მლ). ეთერის შენახვა (განსაკუთრებით აბსოლუტური ეთერის) შეიძლება მხოლოდ სქელკედლიან, უმჯობესია მუქი ფერის ჭურჭელში, რომელიც დაცობილია საცობით, კალციუმის ქლორიდიანი მილით.

r) მეტალურ ნატრიუმთან მუშაობისას აუცილებელია აბსოლუტურად მშრალი ჭურჭლის გამოყენება. არ შეიძლება ნატრიუმთან მუშაობა წყლის სიახლოვეს (შეიძლება მოხდეს აფეთქება). სამუშაოს დამთავრების შემდეგ აუცილებელია შეგროვდეს რეაქციაში შეუსვლელი ნატრიუმის ნარჩენები ნავთიან ჭურჭელში, ნატრიუმის ნარჩენები კი გაიხსნას სპირტში.

10) ლაბორატორიაში თვალსაჩინო ადგილას უნდა იყოს განთავსებული ხანძარსაწინააღმდეგო საშუალებები – ქვიშის ყუთები და ცეცხლ-მაქრობები. ხანძრის გაჩენის შემთხვევაში, პირველ რიგში, საჭიროა ყველა გამახურებლის გამორთვა, მოშორებულ უნდა იქნას ცეცხლის კერასთან ახლოს მდებარე აალებადი ნივთიერებები, ხოლო შემდეგ მოხდეს ცეცხლის ჩაქრობა ცეცხლსაქრობით, სილით ან ხანძარსაწი-ნააღმდეგო საბნით. ცეცხლზე წყლის დასხმა არ არის მიზანშეწონი-ლი, რადგან უმეტეს შემთხვევებში ეს იწვევს ხანძრის კერის გაფარ-თოებას.

უსაფრთხოების ტექნიკის წესების დაუცველობამ შეიძლება ადვილად მიგვიყვანოს უბედურ შემთხვევებამდე. ასევე, ლაბორატორიული ინ-ციდენტი შეიძლება სულ უბრალო შემთხვევითობამ ან გაუფრთხილებ-ლობამ გამოიწვიოს. ამიტომ პირველადი გადაუდებელი დახმარების გაწევაც უნდა შეეძლოს ქიმიის მასწავლებელს:

1) I ხარისხის თერმული დამწვრობის (სიწითლე, უმნიშვნელო შეწით-ლება) დროს საჭიროა დამწვარი ადგილის სპირტით გაწმენდა. II და III ხარისხის დამწვრობისას – სტერილური სახვევით ან სუფთა ტილოთი შეხვევა.
2) კიდურების დამწვრობისას საჭიროა მათი გათავისუფლება მჭიდრო ტანსაცმლისაგან, რადგან შესაძლებელია გასივება.
3) ტუტით ან მჟავით კანის დამწვრობის დროს საჭიროა წყლის ნაკადით დაახლოებით 20-30 წუთის განმავლობაში ჩარეცხვა, ხოლო ძლიერი დამწვრობის შემთხვევაში ჩარეცხვა ხდება 1.5-2 საათის განმავლობაში (წყალი არ უნდა იყოს ცივი). ჩატარებული პროცედურის შემდეგ დაზა-რალებულს ისევე ექცევიან, როგორც თერმული დამწვრობის შემთხ-ვევაში.
4) ბრომით დამწვრობისას ადებენ სპირტის საფენს ხანგრძლივი დროით.
5) ტუტის ან მჟავის წვეთების თვალში მოხვედრისას, თვალს დიდი ხნის გან-მავლობაში იბანენ ოთახის ტემპერატურის წყლის დიდი რაოდენობით.
6) ფენოლით დამწვრობის შემთხვევაში დაზიანებული ადგილი საჭიროა დამუშავდეს სამედიცინო ეთილის სპირტით.
7) ნაჭრილობევ ადგილებს იოდის სპირტის 5%-იანი ხსნარით ამუშავებენ და ადებენ სტერილურ საფენს.

გარდა ამისა, ექსპერიმენტატორს ყოველთვის უნდა ახსოვდეს:

1. ექსპერიმენტის დაწყებამდე აუცილებლად წაიკითხოს მეთოდიკა გულდასმით. ეს საშუალებას მისცემს, სწორად დაგეგმოს ცდა და თავიდან აიცილოს გაუთვალისწინებელი გართულებები.
2. არ ჩააგდოს ასანთის ღერი, ლაკმუსის ქაღალდი ან სხვა უხსნადი ნაერთები ნიჟარაში. მყარი ნარჩენები უნდა შეგროვდეს სპეციალურ, მათთვის გამოყოფილ ურნაში.
3. საჭირო რეაქტივები ჩამოასხას ადგილზე ჭიქებში ან მენზურებში და რეაქტივების ბოთლები დატოვოს თაროებზე ან გამოყენების შემდეგ დაუყნებლივ დააბრუნოს პირვანდელ ადგილზე.
4. ბოთლიდან რეაქტივის ამოღებისას ეტიკეტზე წარწერა წაიკითხოს ორჯერ.
5. ეცადოს, არ იმუშაოს ნივთიერებების დიდ რაოდენობებთან. კარგი ექსპერიმენტატორი 1-3 მლ-ზე დიდი რაოდენობით არ იყენებს ნივთიერებას.
6. არასოდეს დააბრუნოს ბოთლში გამოუყენებლი ნივთიერება. ამიტომ ყოველთვის ჩამოასხას მხოლოდ ექსპერიმენტისათვის საჭირო რაოდენობა.
7. ეცადოს, ბოთლის საცობი არ დადოს ძირს (მაგიდაზე).
8. არ გააცხელოს სქელკედლიანი მინის ჭურჭელი ან მენზურები, მზომი კოლბები ცეცხლის ალზე.
9. ეცადოს, ფეხზე არ ჩაიცვას სანდლები ან სხვა ღია ფეხსაცმელი. ლაბორატორიაში ხშირია იატაკზე მინის ნატეხების მიმობნევა.
10. ეცადოს, ეცვას ბაბმის ტანსაცმელი ან ხალათი. სინთეზური ბოჭკოს ტანსაცმელი ტეპერატურაზე ადვილად ლღვება და იწვის.
11. მინის ჭურჭელი გამოყენების წინ გულდასმით დაათვალიეროს, რომ არ ჰქონდეს ბზარები. გაბზარული მინის ჭურჭელი გაცხელებისას ან ვაკუუმის ქვეშ ადვილად ტყდება.

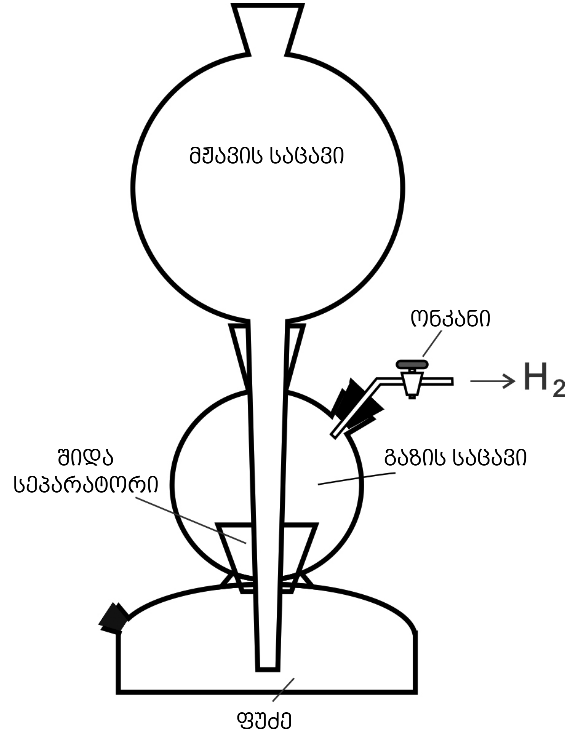
არ მინდა დაგვრჩეს განცდა, რომ ლაბორატორიაში მუშაობა, ერთი შეხედვით, წარმოადგენს მზა რეცეპტურის ან წინასწარ დაგეგმილი ოპერაციების სკურპულოზურ შესრულებას. რეალურად ექსპერიმენტატორის საქმიანობა შემოქმედებით, ხშირად კი ინოვაციური გადაწყვეტილებების მიღებას მოითხოვს. მიუხედავად ცდის ჩატარების წინასწარ გაწერილი მეთოდიკისა, კარგ ექსპერიმენტატორს ყოველთვის შეუძლია გარკვეული კორექტივების შეტანა, რაც მას ექსპერიმენტის ჩატარებას გაუადვილებს ან მის ხელთ არსებული საშუალებების პირობებში შესაძლებელს გახდის.

როგორ მივიღოთ გაზები ლაბორატორიაში?

ქიმიურ ლაბორატორიაში ხშირად საჭიროა გაზების (წყალბადის, ჟანგბადის, ნახშირორჟანგის, ქლორის და ა.შ.) გამოყენება. გაზები ექსპერიმენტში შეიძლება გამოვიყენოთ შესაბამისი ბალონებიდან ან მივიღოთ უშუალოდ ექსპერიმენტის მსვლელობისას სპეციალურ დანადგარში.

გაზების მიღება შესაძლებელია სხვადასხვა ლაბორატორიული ჭურჭლის გამოყენებით. დიდი რაოდენობით გაზის მისაღებად ყველაზე ხელსაყრელი დანადგარია კიპის აპარატი.

კიპის აპარატი შედგება სამი ნაწილისაგან: ფუძისაგან, გაზისა და მჟავის საცავებისაგან.

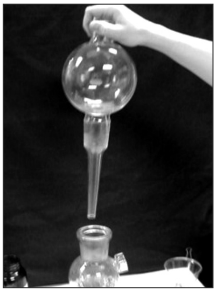


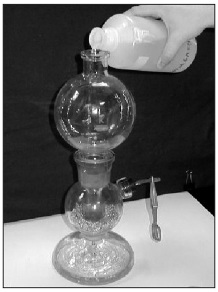
ნახაზი 1. კიპის აპარატი

მაგალითი 1. წყალბადის მიღება კიპის აპარატით:

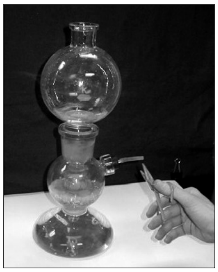
1. მოვხსნათ გაზგამომყვანი მილის საცობი და ძაბრის საშუალებით ჩავტვირთოთ თუთიის გრანულები.
2. მოვხსნათ ბაზის რეზერვუარი და გრძელი წკირის საშუალებით თანაბრად გადავანაწილოთ შიგა სეპარატორის გარშემო თუთიის გრანულები.

3. მოვარგოთ მჟავის რეზერვუარი მჭიდროდ კიპის აპარატს
4. ჩავასხათ მჟავა (HCl) მჟავის რეზერვუარში

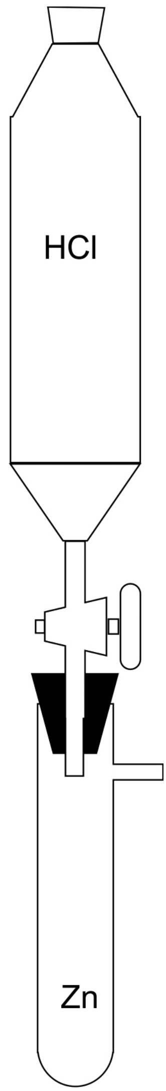




5. გადავკეტოთ ონკანი
6. ან გამოვიყენოთ გაზი დანიშნულებისამებრ

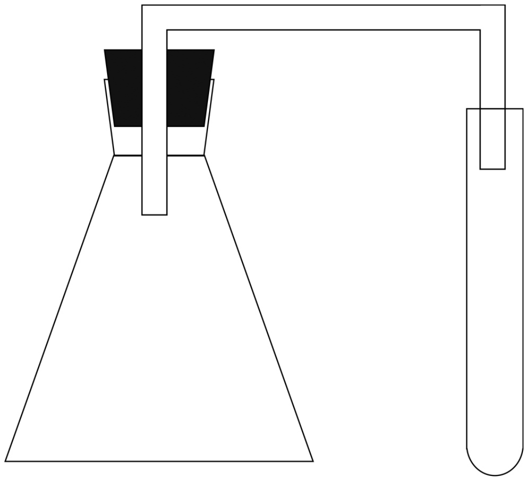


კიპის აპარატიდან გაზის გამოყოფის შეჩერებისათვის საკმარისია დაიკეტოს ონკანი. ონკანის გადაკეტვის შემდეგ გამოყოფილი გაზი გროვდება კიპის აპარატის ქვედა ნაწილში. გაზრდილი წნევა აწვება მარილმჟავას და გამოდევნის მას კიპის აპარატის ქვედა ნაწილიდან. მარილმჟავა ადის მჟავის რეზერვუარში. იგი აღარ ეხება თუთიას და, შესაბამისად, მიმდინარე რეაქციაც ჩერდება. პროცესის ხელახალი დაწყებისათვის საკმარისია ონკანის გაღება.
თუ საჭიროა მცირე რაოდენობის გაზების მიღება, მაშინ მიზანშეწონილია გაზის გენერირებისათვის ვიურცის კოლბის ან გვერდით ტუბუსიანი განიერი სინჯარის გამოყენება (ნახაზი 2).

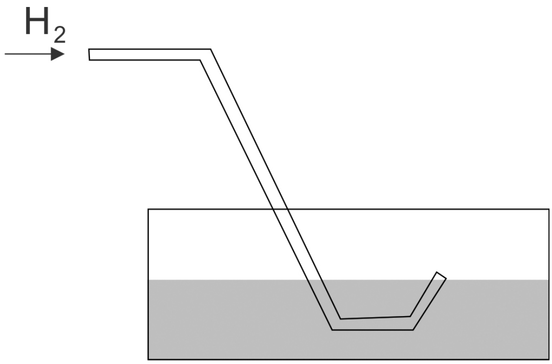


ნახაზი 2. გაზის მისაღები მინი მოწყობილობა

გაზის სინჯარაში შესაგროვებლად გამოიყენება მოხრილი მილი და სინჯარა. მოხრილი მილის ფორმა დამოკიდებულია გაზის სიმკვრივეზე. მძიმე გაზების შეგროვებისათვის გამოიყენება ნახაზი 3-ზე მოცემული დანადგარი, რომელიც შედგება გაზგამყვანიანი მილის მქონე კოლბისა და გაზის შესაგროვებელი ჭურჭლისაგან (სინჯარისაგან). სარეაქციო ჭურჭლად შესაძლებელია როგორც კოლბების, ისე დიდი ზომის სინჯარის გამოყენება. გაზგამყვან მილად კი შესაძლებელია შევარჩიოთ როგორც მოხრილი მილი, ისე რეზინის ან პოლიმერის დრეკადი მილი. გამოყოფილი გაზის ბუნების დასადგენად შესაძლებელია სხვადასხვა მეთოდის გამოყენება. მაგალითად, თუ წყალბადს ვიღებთ, მაშინ ანთებული ასანთის მიტანისათანავე გაისმება სტვენისმაგვარი აფეთქების ხმა. ნახშირბადის დიოქსიდის მიღებისას შესაძლებელია მასში ანთებული ასანთის ღერის შეტანა. იგი უმალ ჩაქრება. თავღია ჭურჭელში შეგროვებული გაზის უფრო ეფექტური დადასტურებაა სანთლის (სპირტქურის საკმაოდ რთულია, საჭიროებს დიდი რაოდენობით CO_2-ს) ჩაქრობა. საკმარისია, ნახშირბადის დიოქსიდით შევსებული ჭურჭელი ანთებული სანთლის თავზე გადავაბრუნოთ – ნახშირორჟანგი „ჩამოიღვრება“ და ცეცხლეს ჩააქრობს.



ნახაზი 3. მძიმე გაზების შესაგროვებელი დანადგარი



ნახაზი 4. მსუბუქი გაზების შესაგროვებელი დანადგარი

მსუბუქი გაზების მიღების შემთხვევაში ნახაზი 4-ზე ნაჩვენები მოწყობილობა დაგვჭირდება. ამ შემთხვევაში მოხრილი მილის ფორმა უნდა იძლეოდეს საშუალებას, მასზე ჩამოვაცვათ სინჯარა. თუ გაზგამყვან მილად რეზინის ან პოლიმერის მასალის მილს გამოვიყენებთ, მაშინ უმჯობესი იქნება, თუ მილის ბოლოში მინის მილს მოვათავსებთ. გაზის შეგროვებისას, დანაკარგების თავიდან აცილების მიზნით, უმჯობესი იქნება, თუ მიმღებ სინჯარას წყლით შევავსებთ და მას წყლიან ექსიკატორში ან წყლის აბაზანაში ჩავუშვებთ. თუ მას სწრაფად გადავაბრუნებთ, მაშინ სინჯარა ისევ შევსებული დარჩება. მასში გაზის დაგროვების შემდეგ სითხე ნელ-ნელა გამოიდევნება, და გაზით შეივსება...

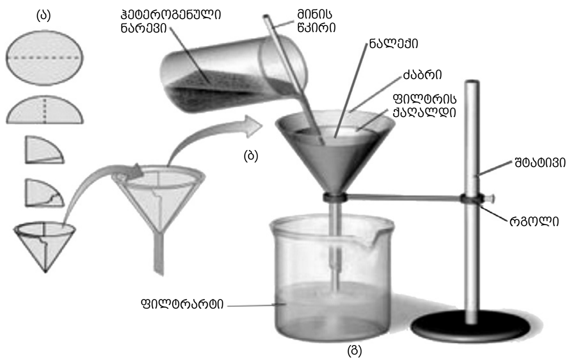
აღნიშნული ტიპის ექსპერიმენტები შეიძლება ჩავატაროთ ძალიან მცირე რაოდენობის რეაგენტებზე, რადგან 1 მოლი გაზი 22,4 ლ მოცულობას იკავებს.

გაფილტვრა

ქიმიკოს ექსპერიმენტატორის პროფესიული უნარები შედგება ცალკეული ლაბორატორიული ტექნიკის ელემენტებისაგან. ერთ-ერთი ასეთი ტექნიკა არის გაფილტვრა, რომელიც გამოიყენება მყარი და თხევადი ფაზის დაცილებისათვის. გაფილტვრა არამარტო ქიმიურ ლაბორატორიაში, არამედ ყოფით საქმიანობაშიც ხშირად გვიწევს, და შეიძლება ითქვას, რომ კარგად „ნაცნობი“ ლაბორატორიული მეთოდია. თუმცა ხშირად ყურადღება არ ექცევა ერთი შეხედვით წვრილმანებს, რომელთა დაცვა აუცილებელია მაღალი ეფექტის მისაღებად.

პირველ რიგში, უნდა შევარჩიოთ, თუ რა პირობებში ჯობია გაფილტვრის ჩატარება — ატმოსფერული წნევის ქვეშ (გრავიტაციული გაფილტვრა) თუ ვაკუუმის პირობებში.

ატმოსფერული წნევის ქვეშ გაფილტვრისათვის საჭირო ჭურჭელია: მინის ან პოლიმერის ჩვეულებრივი ძაბრი, ფილტრის ქაღალდი, შტატივი, წკირი, რგოლი დამჭერით, სუფთა ჭიქა ან ერლენ მეიერის კოლბა ფილტრატისათვის. გაფილტვრა მოიცავს სამ ძირითად პროცედურას: ფილტრის ქაღალდის მომზადებას (ა), გაფილტვრას (ბ) და ფილტრატისა და ნალექის შეგროვებას (გ) (სურათი 1).



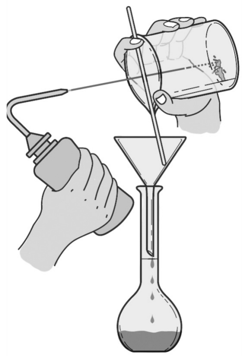
სურათი 1.
გაფილტვრა მოიცავს სამ ძირითად პროცედურას: ფილტრის ქაღალდის მომზადებას (ა), გაფილტვრას (ბ) და ფილტრატისა და ნალექის შეგროვებას (გ)

მაგალითი.

მოცემულია სალიცილმჟავას ზენაჯერი ხსნარი. გამოყავით კრისტალები მინიმალური დანაკარგებით.

ექსპერიმენტი. სალიცილმჟავას ნაჯერი ხსნარის გაფილტვრა.

1. ავიღოთ ფილტრის ქაღალდი და გადავკეცოთ შუაზე. ვეცადოთ, არ მოვახდინოთ დაწოლა ფილტრის ცენტრალურ ნაწილში;
2. კიდევ ერთხელ გადავკეცოთ ფილტრის ქაღალდი. მივიღებთ ოთხად მოკეცილ ფილტრის ქაღალდს;
3. მოვათავსოთ ფილტრის ქაღალდი ძაბრში. ძაბრის ზომა მცირედ უნდა აღემატებოდეს ფილტრის ქაღალდს;
4. შტატივზე დავამაგროთ რგოლი, რომლის დიამეტრი ძაბრის გაშლილი ნაწილის დიამეტრზე მცირეა;
5. რგოლის ქვეშ მოვათავსოთ ერლენ მეიერის კოლბა ან ჭიქა. მიმღები ჭურჭლის სიმაღლის მიხედვით შევარჩიოთ რგოლის სიმაღლე შტატივის ღეროზე;
6. ჩავდოთ ძაბრი ფილტრთან ერთად რგოლში, ისე, რომ ძაბრის ცხვირი ოდნავ ჩაეშვას მიმღებ ჭურჭელში;
7. გასაფილტრ ნარევს ენერგიულად მოვურიოთ წკირით;
8. ნალექის სედიმენტაციის თავიდან აცილების მიზნით შეძლებისდაგვარად სწრაფად გადავიტანოთ გასაფილტრი ხსნარი ძაბრში, რომელიც უნდა ჩავასხათ მინის წკირის საშუალებით;
9. გაფილტვრის დასრულების შემდეგ, რაზეც მიუთითებს წვეთების ჩამოვარდნის შეწყვეტა ძაბრის წვერიდან, ფილტრის ქაღალდი ნალექიანად გადავიტანოთ პეტრის ჯამზე და გავაშროთ;
10. გაშრობის შემდეგ შპატელით ჩამოვფხიკოთ ფილტრის ქაღალდიდან.



სურათი 2.
ნალექის ჩამორეცხვა წყლის მცირე რაოდენობით

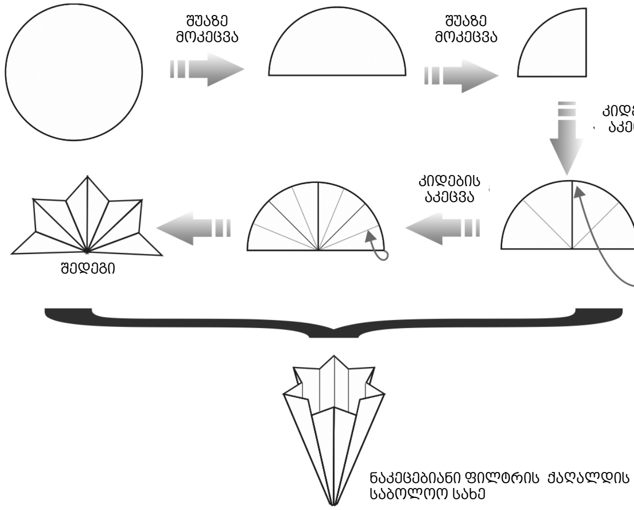
რა უნდა გვახსოვდეს გაფილტვრისას?

გაფილტვრის ხარისხი (და დრო) დამოკიდებულია ფილტრის ქაღალდის სწორად შერჩევაზე. ფილტრის ქაღალდი წარმოადგენს ფოროვან მასალას. არსებობს ფორის სხვადასხვა დიამეტრის მქონე ფილტრის ქაღალდები. წითელი ლენტის მქონე ფილტრის ქაღალდები გამოიყენება სწრაფი ფილტრაციისათვის, თეთრი ლენტის – საშუალო სიჩქარის და ლურჯი ლენტის – დაბალი სიჩქარის ფილტრაციის დროს.

გაფილტვრის სიჩქარის გაზრდისათვის სასურველია გამოვიყენოთ ნაკეცებიანი ფილტრის ქაღალდი. მისი დამზადება სქემატურად ნაჩვენებია სურათი 3-ზე. ყოველი გადაკეცვისას უნდა ვეცადოთ, რომ ხელი არ მოვუჭიროთ ფილტრის წვეროს.

საწყისი ნარევის ჭურჭლის კედლებზე დარჩენილი მყარი მასის გამოსატანად უმჯობესია გამოვიყენოთ მცირე რაოდენობის ფილტრატი, ვიდრე გამხსნელის ახალი ულუფა.

საწყისი ნარევის ჭურჭლის კედლებზე დარჩენილი მყარი მასა შესაძლებელია კედლებიდან ჩამოვრეცხოთ (თუ ნარევი წყალხსნარია ან მიზანი ნალექის შეგროვებაა და არა ფილტრატის) სპეციალური მოწყობილობის საშუალებით (სურათი 3).

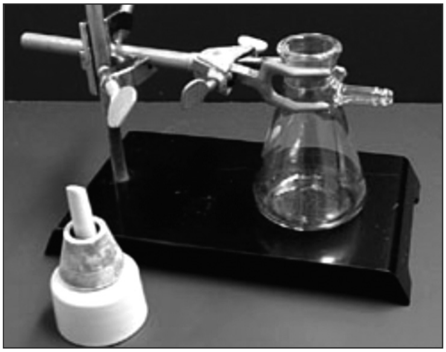


სურათი 3.
ნაკეცებიანი ფილტრის ქაღალდის მომზადება

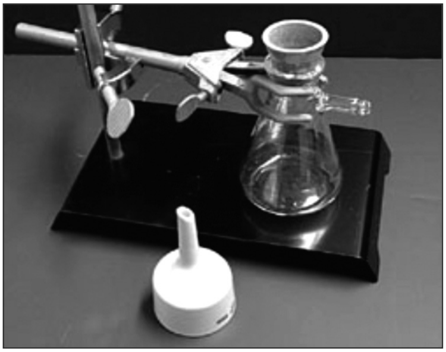
გაფილტვრის პროცესი შეიძლება ჩატარდეს ვაკუუმის პირობებში. ვაკუუმს იყენებენ გაფილტვრის დაჩქარების მიზნით.

ვაკუუმ-ფილტრაციისათვის საჭირო მოწყობილობებია: ბუნზენის კოლბა, ბიუხნერის ძაბრი, ფილტრის ქაღალდი, წყალ- ან ჰაერჭავლიანი ტუმბო, შტატივი და დამჭერი თათი.

ვაკუუმ-ფილტრაციის მოწყობილობის აწყობა და გაფილტვრის პროცედურა სქემატურად ნაჩვენებია ქვემოთ:



1. დავამაგროთ ბუნზენის კოლბა შტატივზე

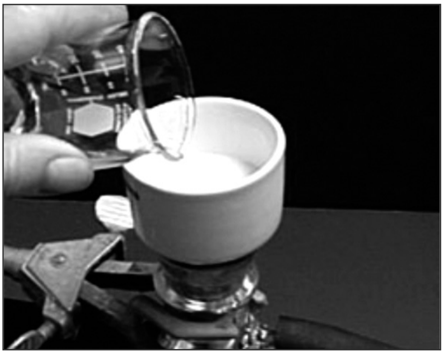


2. ბუნზენის კოლბაში მოვათავსოთ ფართო ხვრელის მქონე რეზინის საცობი

3. მოვარგოთ ფაიფურის (ბიუხნერის) ძაბრი ბუნზენის კოლბას მჭიდროდ

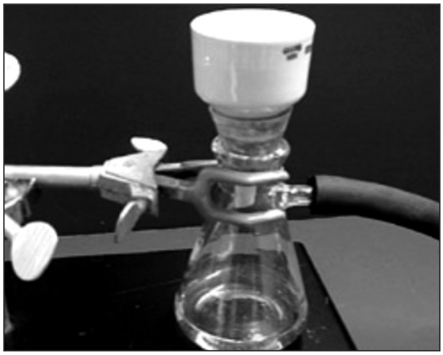
4. მოვათავსოთ ფილტრის ქაღალდი ძაბრში

5. შევაერთოთ ბუნზენის კოლბა რეზინის მილით ვაკუუმ-ტუმბოსთან



6. შევასველოთ ფილტრის ქაღალდი გამხსნელის (წყლის) მცირე რაოდენობით

7. დავიტანოთ გასაფილტრი ნარევი ძაბრზე



8. დავაკვირდეთ, რომ ვაკუუმ-ტუმბო ფილტრის გავლით იწოვს ჰაერს. წინააღმდეგ შემთხვევაში შევასწოროთ შეერთება კოლბასა და ძაბრს შორის

9. გაფილტვრის დამთავრების შემდეგ ჩავრეცხოთ ნალექი მცირე რაოდენობის გამხსნელით ან ფილტრატით

10. ძაბრიდან წვეთების ჩამოვარდნის შეწყვეტის შემდეგ მოვხსნათ ვაკუუმთან შემაერთებელი მილი და შემდეგ გადავკეტოთ წყლის ონკანი

11. პინცეტის ან შპატელის საშულებით ძაბრიდან ამოვიღოთ ნალექი ფილტრის ქაღალდიანად

12. ფილტრის ქაღალდი ნალექთან ერთად მოვათავსოთ პეტრის ჯამზე გასაშრობად

რა უნდა გვახსოვდეს ვაკუუმის ქვეშ გაფილტვრისას?

ვაკუუმ გაფილტვრისას მნიშვნელოვანია ფილტრის ქაღალდის ზომის ზუსტად შერჩევა. ფილტრის ქაღალდის დიამეტრი მცირედ უნდა აღემატებოდეს ფილტრის ნასვრეტებიანი რეგიონის დიამეტრს. ასევე დაუშვებელია ფილტრის უფრო დიდი დიამეტრით აღება, რადგან ვაკუუმის შექმნის შემდეგ იგი გადაიკეცება და გასაფილტრი სითხე მისი გვერდის ავლით მოხვდება კოლბაში.

უნდა გვახსოვდეს, რომ წყალჭავლიანი ტუმბოს ონკანის გადაკეტვა არ შეიძლება მანამ, სანამ არ გავათანაბრებთ წნევას კოლბის შიგნით და კოლბის გარეთ. ამიტომ ჯერ უნდა მოვხსნათ რეზინის მილი, ხოლო შემდეგ დავკეტოთ ონკანი.

მელანი

ჰიპერმარკეტის თაროებს შევავლოთ თვალი... ათასი ჯურის, წარმოშობის, დანიშნულების პროდუქტი თავმომწონედ შემოსკუპებულა და ელის მყიდველს... თითოეული მათგანი ქიმიური ინდუსტრიის ტექნოლოგთა თავებშია ჩასახული, ქიმიურ საწარმოებში დაბადებული და საერთაშორისო დისტრიბიუციის საშუალებით ფეხადგმული. ბევრ მათგანს საბოლოო ჩამოყალიბებამდე ურთულესი პროცესები აქვს გავლილი, ზოგი შედარებით „ადვილი“ შრომის ნაყოფია... ზოგი სულ ახალი პროდუქტია, ზოგი – სტაჟიანი, რამდენიმე კი – უხუცესი, რომელთა ტექნოლოგია საუკუნეებს ითვლის. მათ რიცხვშია ქაღალდი და მელანი.

დღეს ამ უკანასკნელზე მინდა ვისაუბროთ.

მელანი აზიური წარმოშობისაა. ჩვენამდე მოღწეული ისტორიული მასალებიდან ირკვევა, რომ მისი დამზადება ჯერ კიდევ ჩვ. წ. აღ.-მდე 23-ე საუკუნეში სცოდნიათ ჩინეთში. აქედან გავრცელდა იგი მომიჯნავე რეგიონებში – იაპონიასა და ინდოეთში, სადაც ასევე უძველესი მელნებია (მელნით შესრულებული ნახატები და ტექსტები) აღმოჩენილი.

მას შემდეგ მელნის ტექნოლოგიამ სრულყოფისაკენ დიდი გზა განვლო – უფრო მრავალფეროვანი გახდა შედგენილობის, კონსისტენციისა და დანიშნულება-გამოყენების თვალსაზრისით.

რას წარმოადგენს მელანი? ერთი შეხედვით, იგი წყალში გახსნილი საღებარია (და არა საღებავი, როგორც ხშირად იხსენიებენ). მაგრამ ასეთი პრიმიტიული „მელანი“ საუკუნეების წინაც არ მზადდებოდა.

ყველაზე უმარტივესი მელანიც კი მრავალკომპონენტიანი სისტემაა. მასში საღებრისა (პიგმენტის) და გამხსნელის გარდა კიდევ არაერთი კომპონენტი შედის და სწორედ მათ შერჩევაზე არის დამოკიდებული მელნის ხარისხი და გამოყენების არეალი.

პირველი მელანი, რომელიც ჩინელმა ტექნოლოგებმა შექმნეს, იყო პიგმენტური მელანი, რომელსაც „ტუში"-ს სახელით მოიხსენიებენ ჯერ კიდევ. პიგმენტური მელნის ძირითადი თავისებურებაა შემღებავ მასალად პიგმენტის და არა საღებრის გამოყენება. ამ უკანასკნელთა შორის კი ის განსხვავებაა, რომ პირველი, მეორისაგან განსხვავებით, „არაფერში" არ იხსნება. პირველ მელნებში პიგმენტის სახით იყენებდნენ მურს, რომელსაც სხვადასხვა წყაროებიდან იღებდნენ — აგროვებდნენ სანათებიდან, იღებდნენ ძვლის დაწვით და ა.შ. ამ ტიპის მელნების თავისებურება მათი მდგრადობაა. მურზე (ნახშირბადოვან პიგმენტზე) დამზადებული მელნები საუკუნეებს უძლებს და არ ხუნდება. სწორედ ამ თვისების გამო მოაღწიეს ჩვენამდე მათ შორეული ათასწლეულებიდან. ისე, ვინ იცის, შესაძლებელია, მაშინ საღებრებზე დამზადებული მელნებიც იყო ცნობილი, მაგრამ მათ ჟამთა ცვლას (მზის სხივებს) ვერ გაუძლეს და გახუნდნენ.

მელნის კალამი

ბურთულიანი კალამი

გელიანი კალამი

დაფის მარკერი

კიდევ რა კომპონენტებს შეიცავს მელანი? ყველაზე უმარტივესი კალმის მელანი, გამხსნელისა და პიგმენტის გარდა, შეიცავს ფისებს, საპოხ მასალებს, დისპერგატორებს, ზედაპირულად აქტიურ ნაერთებს, ფლუორესცენტულ და არომატულ დანამატებს, შემასქელებლებს, კონსერვანტებს და ა.შ.

ფისების დანიშნულებაა, პიგმენტი ან საღებრის მოლეკულა ზედაპირზე დაამაგროს. ისინი ერთგვარ „წებოებს" წარმოადგენენ. ბუნებრივი წარმოშობის ფისებს ჯერ კიდევ ჩინელები იყენებდნენ. მათ ცხოველური ან მცენარეული მასებიდან გამოყოფდნენ. ერთ-ერთ ცნობილ ასეთ ფისს წარმოადგენს აგარ-აგარი, რომელიც დღესაც გამოიყენება ზოგიერთი მელნის წარმოებაში.

მელნებში მნიშვნელოვანი დანამატია საპოხი საშუალებები. მათი დანიშნულებაა, მელანი რაც შეიძლება თანაბრად და „რბილად" ჩამოცურდეს კალმის წვერიდან. მის გარეშე კალმის წვერი ფურცელზე უსიამოვნოდ „ფხაჭუნობს", ადვილად კაწრავს ფურცელს, რადგან წვრილი კალმის წვერის დაწნევა ფურცელზე ძალიან დიდია.

ზედაპირზე მელნის დატანისას აუცილებელი პირობაა მისი თანაბრად განაწილება. მელნის კვალი უნდა იყოს აუცილებლად თანაბარი. მელანში არსებული საღებრის თანაბარ განაწილებას უზრუნველყოფს ზედაპირულად აქტიური ნაერთები, რომლებიც საპნის ან გამრეცხი საშუალებების იდენტური ან მსგავსი ნაერთები არიან.

მელნის წარმოებაში დიდი მნიშვნელობა აქვს გამოყენებულ ფერის მატარებელ კომპონენტს. როგორც აღვნიშნეთ, მათ პიგმენტები ან საღებრები წარმოადგენენ. მური მხოლოდ შავი ფერის მელნის დამზადების საშუალებას იძლევა. ფერადი მელნის დასამზადებლად საღებრები გამოიყენება. ვინაიდან მელნის ძირითადი ბაზა წყალია, ამიტომ ადრეულ პერიოდში იყენებდნენ წყალში ხსნად საღებრებს. მაგრამ ასეთი მელნით შესრულებული ნაწერები ფურცლის ბოჭკოებში ადვილად გაიწოვება და ნაწერი მკაფიო მოხაზულობას კარგავს („იდღაბნება"). გამოსავალი ან ფურცლის შერჩევაა, ან საღებრის შეცვლა. ცხადია, უკანასკნელი უფრო სწორი გადაწყვეტილებაა. ამიტომ წყალში ხსნადი საღებრები შეცვალა

დისპერსულმა (უხსნადმა) საღებრებმა. მაგრამ ეს ჩანაცვლება დამატებითი კომპონენტების გამოყენების აუცილებლობას წარმოშობს. წყალში უხსნადი საღებარი თანაბრად უნდა განაწილდეს – ამისათვის კი დისპერგატორების გამოყენებაა საჭირო. დისპერსულ საღებრებს, წყალში ხსნადისაგან განსხვავებით, კიდევ ერთი დადებითი თვისება აქვს – ნაწერი წყლის (დასველების) მიმართ უფრო მდგრადია და ადვილად არ ირეცხება.

ზემოთ მოყვანილი მსჯელობა საკანცელარიო (ფურცელზე საწერ) მელანს ეხებოდა. თუმცა დღეისათვის მელნის უამრავი სხვა სახეობა არსებობს, რაც ტექნოლოგიური პროცესის დამსახურებაა. ბურთულიანი კალმები სულ სხვა სახის მელანს „მოიხმარენ“. ეს მელნები ძირითადად ორგანულ გამხსნელებზეა (სპირტები) დამზადებული და შესასქელებელი კომპონენტების გამოყენებით უფრო ბლანტები არიან. ამიტომ ხშირად ცივ გარემოში, სადაც მათი სიბლანტე კიდევ უფრო იზრდება, უჭირთ წერა. აღნიშნული ხაზის მელნების შემდგომი პროგრესის შედეგად გაჩნდა ე.წ. მელან-გელები. მათი სიბლანტე ნაკლებად არის დამოკიდებული ტემპერატურაზე, თუმცა კონსისტენციის ფორმის გამო ტევადობა ნაკლები აქვთ და შედარებით „ნაკლებს წერენ“.

ამავე კატეგორიის მელნებს შეიძლება მივაკუთვნოთ ე.წ. „შტამპელის“ ბეჭდის მელნები. ბეჭდის მელანი უფრო მკაფიო ანაბეჭდს უნდა ტოვებდეს და მალე შრებოდეს. მკაფიო ანაბეჭდისათვის კი იგი ბეჭდის რეზინს (ან სხვა პოლიმერს) ადვილად უნდა ასველებდეს – ამიტომ ასეთ მელნებში დამატებით შეჰყავთ დამატენიანებელი მასალები, როგორიცაა, მაგალითად, პროპილენ გლიკოლი ან გლიცერინი.

საკანცელარიო მელნების სერიაში არსებობს კიდევ ერთი სახის სპეციალური საოფისე მელანი, რომელიც შედარებით დიდი მდგრადობით გამოირჩევა გარეშე ფაქტორებისა (კლიმატი, ტენიანობა, მზის სხივები და ა.შ.) თუ ქიმიური/მექანიკური ზემოქმედების მიმართ. ასეთი სახის მელნებით სრულდება სპეციალური სახელმწიფოებრივი დოკუმენტების ხელმოწერა.

მელნების გამოყენების არეალი დიდი ხანია გასცდა უკვე საკანცელარიო დანიშნულებას. გარდა ქაღალდისა, წარწერის გაკეთება შესაძლებელია

ისეთ მასალებზე, როგორიცაა მეტალი, პოლიმერი, მინა, ფაიფური და სხვა. ასეთ მელნებში აგარ-აგარის ნაცვლად სხვა სინთეზური ადგეზიური საშუალებები გამოიყენება. მინაზე საწერი მელანი თხევად მინაზე მზადებოდა წლების წინ. მაგრამ თუ გვინდა, რომ წარწერა მალე გაშრეს, მაშინ იგი ადვილად აქროლად გამხსენლზე უნდა დამზადდეს. ამიტომ თანამედროვე მარკერები პრონანოლ-2-ისა და ლითონის ან პოლიმერის ზედაპირზე ჩაჭიდების უნარის მქონე ფისის ბაზაზე მზადდება. ამიტომ გამშრალი მარკერების „აღსადგენად“ იზოპროპილის სპირტის წყალხსნარი ჯობია, ვიდრე ეთანოლის. ეს უკანასკნელი შედარებით ნაკლებ აქროლადია.

ცოტა განსხვავებული შედგენილობა აქვს დაფის მარკერებს. მათში ადგეზიურ მასალად კარბოქსიცელულოზები გამოიყენება. ისინი სუსტად ეჭიდებიან ლითონის ზედაპირს, მაგრამ ადვილად იღებებიან მელნით. ამიტომ როდესაც ასეთი მარკერით დაფაზე ვწერთ, სინამდვილეში წარწერას კარბოქსიცელულოზის ფენაზე ვაკეთებთ და არა მეტალზე (დაფაზე). სწორედ ამიტომ გაშრობის შემდეგ დაფა ადვილად იწმინდება.

მელნების ტექნოლოგიის დახვეწას უნდა ვუმადლოდეთ პირველი ფერადი პრინტერების (ჭავლური პრინტერები) შექმნას. დღეისათვის, მიუხედავად ლაზერული ბეჭდვის ტექნოლოგიის შემუშავებისა, მელნებით ჭავლური ბეჭდვა ისევ ფართოდ გამოიყენება და აქტუალობას არ კარგავს. ჭავლური მელნები მთლიანად ორგანულ არაპოლარულ გამხსნელებზეა დამზადებული და წყლის გამოყენება კატეგორიულად აკრძალულია. ამიტომ ფერადი ჭავლური პრინტერის კარტრიჯის შევსებისას დაუშვებელია წყლიანი ინსტრუმენტების გამოყენება. წყლის ერთმა წვეთმა შეიძლება მწყობრიდან გამოიყვანოს მთელი მოწყობილობა.

გარდა ზემოთ ჩამოთვლილი სფეროებისა, მელნები გამოიყენება სხვა უამრავ სფეროში, როგორიცაა ფლოურესცენტული მიკროსკოპია, ფლუორესცენტული ასახვა და ა.შ.

მრავალი ტექსტი შესრულებულა ამა თუ იმ სახის მელნით. ოდითგანვე იწერებოდა და კიდევ მრავალჯერ დაიწერება შედევრები თუ პასკვილები, რომანები თუ განჩინებები, პოემები თუ საჩივრები... მაგრამ ყველაზე მნიშვნელოვანი, თუ ოდესმე რამე დაწერილა ან ოდესმე დაიწერება, არის „აი ია“.

ქიმია და დიზაინი ანუ მოლეკულის არქიტექტურა

დრო ელვისებურად მიჰქრის... და როგორც ჩანს, რაც დრო გავა, კიდევ უფრო აჩქარდება... ცხადია, დედამიწა არ შეიცვლის ბრუნვის სიჩქარეს არც თავისი ღერძის და არც მისი მანათობელ-გამათბობელი მზის გარშემო... ეს ჩვენი სულსწრაფობის სიჩქარე იზრდება.. რაც არ უნდა ვენდობოდეთ მატიანეებსა და მემატიანეებს, მაინც დაუჯერებლად გვეჩვენება, თუ როგორ ახერხებდნენ ძველად ცხენით იერუსალიმში წასვლა-მოსვლას...

ცვალებადობაც დროსავითაა... იცვლება ყველაფერი ჩვენ გარშემო, და რაც დრო გავა, კიდევ უფრო სწრაფად დაიწყებს იგი შეცვლას... იცვლება ჰავა, კლიმატი, რადიაციული ფონი, თვითმფრინავები და მანქანები, კომპიუტერები და ციფრული ტექნოლოგიების სხვა ქმნილებები. ვიცვლებით ჩვენც ჩვენი მისწრაფებებით, იდეალებით თუ კერპებით, ჩაცმულობისა თუ ვარცხნილობის სტილით, კვების რაციონითა და ქცევის მანერებით და ვინ მოთვლის, კიდევ რამდენი რამით...

იცვლება მეცნიერებაც... იცვლებიან მეცნიერებიც და მათთან ერთად მათი თეორიები, დილემები, მეთოდები, მიდგომები...

და ამ გაუთავებელ ცვალებადობასთან ერთად ჩნდება ახალი თეორიები, დილემები, მეთოდები, მიდგომები და... პროფესიები.

სულ ცოტა ხნის წინ პროფესია დიზაინერი არ არსებობდა. დღეს კი წარმოუდგენელია მეცნიერების, ტექნიკის თუ ყოფა-ცხოვრების რომელიმე სფერო, თავისი დარგის დიზაინერი რომ არ ჰყავდეს. დღევანდელი მისწრაფებები, არსებული რეალობა, თვითდამკვიდრებისათვის ურთულესი ბრძოლები და მკაცრი კონკურენცია იძულებელს გვხდის, ერთი-ორი კარგი დიზაინერი მუდმივად ვიყოლიოთ გვერდით...

მაინც რა პროფესიაა? ან რატომ ვიყენებთ ამ უცხო სიტყვას? გამომგონებელი? დიახ, მაგრამ ის უფრო მეტია. შემოქმედი? რა თქმა უნდა, მაგრამ არც ეს ტერმინი აღწერს მას სრულად. იდეების გენერატორი? ცხადია, თუმცა მისი საქმიანობა შედარებით მეტია. კარგი შემსრულებელი? შემსრულებელიც არის, მაგრამ არა მარტო...

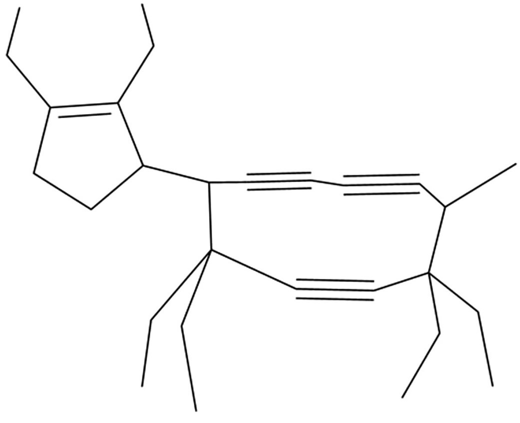
სიტყვა „დიზაინერი“ (და შესაბამისად პროფესიაც) ზემოთ ჩამოთვლილ ტერმინებს აერთიანებს და ერთ მთლიან ჰიბრიდულ პროფესიას წარმოადგენს.

სხვა სფეროებს არც ქიმია ჩამორჩა და გაჩნდა ტერმინი „მოლეკულური დიზაინი“. თუ შესაძლებელია პრაქტიკული მნიშვნელობის მქონე და იმავდროულად ლამაზი შენობის აგება, თუ შესაძლბელია სასიამოვნო მუსიკის დაწერა ისე, რომ პარტიტურაც ლამაზად გამოიყურებოდეს, მაშინ, რა თქმა უნდა, ასევე შესაძლებელია შეიქმნას საინტერესო თვისებების მქონე ლამაზი „ჰაბიტუსის“ მოლეკულების სინთეზიც...

მოლეკულური დიზაინერების წინაშე საკმაოდ დიდი და პრობლემატური ამოცანების გადაჭრის აუცილებლობა დგას. პირველ რიგში, უნდა დაიგეგმოს მოლეკულის თვისებები მისი პრაქტიკული გამოყენებიდან გამომდინარე, შემდეგ ამ თვისებების მატარებელი ჯგუფები და ფრაგმენტები უნდა მოიძებნოს. მათი შეგროვება არ არის მარტივი, მაგრამ გაცილებით რთულია მათი ერთად აკინძვა – საბაზო მოლეკულაში შეყვანა. თუ ვინმეს ერთხელ მაინც ჰქონია საქმე ორგანულ სინთეზთან, ადვილად მიმიხვდება, რა ტიტანურ შრომასთან გვაქვს საქმე.

მოკლედ, შეიძლება ითქვას, რომ მოლეკულის აგების ტექნიკა ძალიან ჰგავს ცათამბჯენის აგებას. ამიტომ ქიმიაში უკვე ხშირად გამოიყენება ტერმინები „მოლეკულური არქიტექტურა“, „მოლეკულური არტი“ და ა.შ.

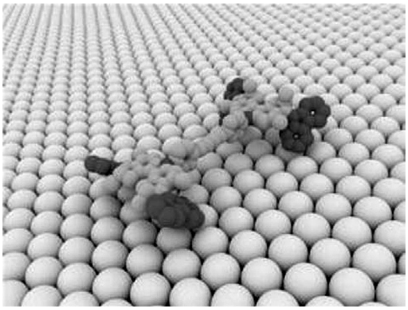
მაგალითად, ნაერთი, რომლის დასახელებაა 5-(2,3-დიმეთილციკლოპე ნტ-2-ენ-1-ილ)-6,6,9,9-ტეტრაეთილ-10-მეტილციკლოდეკა-1,3,7-ტრიენი, რქოსანი პირუტყვის მოლეკულური „ნახატია“:



ქიმიკოსთა გონი და მათ ხელთ არსებული ტექნოლოგიები უკვე იძლევა ასეთი სტრუქტურების მიღების საშუალებას. დღეისათვის უკვე მრავალ უნივერსიტეტში შექმნილია მოლეკულური დიზაინის სამეცნიერო ჯგუფები, ცენტრები, აქა-იქ სპეციალობებიც იხსენება უკვე...

მოლეკულური დიზაინის ერთ-ერთი ბოლო მიღწევის შესახებ სულ ცოტა ხნის წინ გამოქვეყნდა ჟურმალ “Nature”-ში. Empa-ს მკვლევარებმა დანიელ კოლეგებთან ერთად შექმნეს ნანო ზომის ავტომობილი, რომელიც ერთ მოლეკულას წარმოადგენს. იგი უხმაუროდ „დადის“ ყოველგვარი გამონაბოლქვის გარეშე. სამწუხაროდ, ჯერჯერობით მხოლოდ სპილენძის მავთულის გასწვრივ შეუძლია გადაადგილება სწორხაზობრივად თავისი ოთხი საბურავის საშუალებით.

მისი ზომები 4x2 ნანომეტრია და დაახლოებით 2 მილიონჯერ უფრო პატარაა, ვიდრე რომელიმე ელექტრომობილი, თუმცა მასავით იმუხტება ელექტროენერგიით. მისი „საბურავები“ ჯერჯერობით მხოლოდ ერთი მიმართულებით ბრუნავენ, ამიტომ ახალი ნანო ავტომობილი ჯიქურად მხოლოდ წინ მიიწევს. მას მთლიანად „ქიმიური ძრავა“ აქვს და პოტენციალის მოდების შემთხვევაში მოლეკულაში იწყება ცის-ტრანს იზომერიზაციის ფორებს შორის გარდაქმნა. ამ გარდაქმნის შედეგად კი მისი საბურავები იწყებენ ბრუნვას.



დასასრულს, მინდა აღვნიშნო, რომ ქიმიის მომავალი განვითარება მოლეკულურ დიზაინერებზე დიდად არის დამოკიდებული. ქიმიკოსებს ამ პროფესიის განვითარების საშუალებით შეეძლებათ წინასწარ დასახული მიზნის შესაბამისად ააგონ მოლეკულები და არა პირიქით – ჯერ მოლეკულა მივიღოთ და შემდეგ ვიმტვრიოთ თავი, თუ სად შეიძლება გამოვიყენოთ იგი...

მომავლის სკოლაში გაკვეთილიც ასე უნდა დაიგეგმოს და ყოველ მასწავლებელში „პატარა დიზაინერი“ უნდა სახლობდეს... ისე ვერ გავზრდით დიდ დიზაინერებს...

ქიმია და პერსონალური კომპიუტერი

კომპიუტერის დაუფლებას დღეს სხვადასხვა ასაკისა და პროფესიის ადამიანები ცდილობენ. ცხადია, ასევე უდავოდ დიდია მისი როლი განათლების (სწავლების) სფეროში. ამ საკითხთან დაკავშირებით ინტერნეტჟურნალი “mastsavlebeli.ge” რეგულარულად აქვეყნებს წერილებს, რომლებიც ძალიან კარგ რესურსს წარმოადგენს გაკვეთილზე კომპიუტერის „მარჯვედ“ მოსახმარად. მაგრამ ძნელი სათქმელია, რა შეიძლება მივიჩნიოთ კომპიუტერის „კარგად ცოდნის“ კრიტერიუმად. მისი ამოუწურავი შესაძლებლობებიდან გამომდინარე, ჩვენი წინსწრაფვა ჰორიზონტის ხაზისკენ ლტოლვას ჰგავს – რაც უფრო ღრმად ეუფლებით მას, მით მეტი თვალსაწიერი იშლება წინ.

მიუხედავად ამისა, არსებობს მინიმუმი და ეს მინიმუმია საოფისე პროგრამებთან (ძირითადად – MS Word-თან, MS Excel-თან, MS PowerPoint-თან, თუმცა ამ პაკეტში ბევრი სხვა საინტერესო პროგრამაც შედის) და ინტერნეტთან (მათ შორის – ელფოსტასთან) მუშაობა. თუმცა მხოლოდ ამ პროგრამების ცოდნა დაახლოებით იგივეა, რომ კარგად ვიცოდეთ წერა-კითხვა, ვიყოთ პრეზენტაბელურნი, ანგარიშსაც თვალის დახამხამებაში ვახერხებდეთ, ბიბლიოთეკაში ინფორმაციის მოძიებისას არ ვიბნეოდეთ და ყოველთვის ადვილად ვაგნებდეთ სასურველ ინფორმაციას. მაგრამ მასწავლებლისთვის ამ პროფესიულ უნარ-ჩვევებთან ერთად საჭიროა საგნობრივი მასალის ცოდნაც. რაც უნდა კარგი ორატორი იყოთ, რაც უნდა ზედმიწევნით იცოდეთ, რომელი წიგნი რომელ თაროზე დევს, ქიმიას ვერ ასწავლით, თუ ქიმია არ იცით! ამიტომ ქიმიკოსი ზემოთ ჩამოთვლილ პროგრამებთან ერთად აუცილებლად უნდა ფლობდეს ქიმიურ პროგრამებსაც, თუ მას სწავლებაში კომპიუტერის ჩართვა სურს.

სადღეისოდ ქიმიისა და ქიმიური ტექნოლოგიისთვის უამრავი კომპიუტერული პროგრამაა შექმნილი. მათ შესაქმნელად მუშაობენ როგორც მძლავრი კომპანიები და კორპორაციები, ისე ცალკეული სამეცნიერო ჯგუფები. ცნობილი კორპორაციებიდან აღსანიშნავია Advenced Chemistry Development Inc., CambridgeSoft Inc., HyperCube Inc., MDL Information System Inc. და სხვა.

შექმნილი პროგრამული პაკეტებისა და ცალკეული პროგრამების კლასიფიკაცია შესაძლებელია სხვადასხვა პრინციპის მიხედვით. დანიშნულების მიხედვით არჩევენ შემდეგ პროგრამებს:

1. საინფორმაციო და საილუსტრაციო პროგრამები. მათი დანიშნულებაა, ყოველგვარი გაანგარიშების გარეშე წარმოაჩინონ გარკვეული ინფორმაცია. მაგალითად, ქიმიურ ელემენტთა პერიოდულობის ელექტრონული ცხრილი (Table, TableRus, EniG Table), ქიმიური რეაქციების სახელობითი კატალოგი (Named Organic Reactions), ქიმიური და ფიზიკური კონსტანტების მნიშვნელობები (Constants) და სხვა.
2. გრაფიკული პროგრამები, რომელთა საშუალებითაც შესაძლებელია ქიმიური ფორმულების, მოლეკულების, ქიმიური რეაქციის სისტემებისა და ტექნოლოგიური სქემების გრაფიკული რედაქტირება. თავის მხრივ, გრაფიკული პროგრამები შეიძლება დაიყოს ორგანზომილებიან (2D-გრაფიკა) და სამგანზომილებიან (3D-გრაფიკა) გრაფიკულ პროგრამებად. პირველის საშუალებით შესაძლებელია "ბრტყელი" სტრუქტურების აგება, ხოლო მეორის საშუალებით – სივრცული მოლეკულებისა. 2D გრაფიკული პროგრამებია ChemSketch, ChemDraw, ISIS Draw, WinChemDraw, ChemWindow, Chemistry 4-Draw და სხვა, ხოლო 3D პროგრამები – Chem3D, 3D View, HyperChem და სხვა.
3. პროგრამები მარტივი გაანგარიშებისთვის, რომელთა საშუალებითაც წარმოებს მარტივი ქიმიური პროცესებისა და სიდიდეების (მოლეკულური მასა, დუღილის ტემპერატურა, გარდატეხის მაჩვენებელი და სხვა ფიზიკურ-ქიმიური პარამეტრები) გაანგარიშება. ასეთი პროგრამა უამრავია. ზოგჯერ ერთი და იმავე ამოცანის გადასაჭრელად მრავალი სხვადასხვა დასახელების (სხვადასხვა ავტორის მიერ შექმნილი) პროგრამაც კი არსებობს. აღნიშნული ტიპის პროგრამებია ChemAssistant, ChemExpert, ChemMaths და სხვა. აქვე შეიძლება ცალკე დიდ ჯგუფად გამოიყოს სპექტრების დამუშავებისა (SpecViewer) და გრაფიკების აგების (DATAN, Enzfilter, GraFit, PeakFit, SigmaPlot, TableCurve) პროგრამები.
4. ქიმიური მოდელირების პროგრამები, რომელთა საშუალებითაც წარმოებს ქიმიური სისტემების მოდელირება: გეომეტრიული ოპტიმიზაცია, მოლეკულური მექანიკა, კვანტურ-ქიმიური მოდელირება. აღნიშნულ გაანგარიშებათა ჩატარება შესაძლებელია, მაგალითად, Chem3D და HyperChem პროგრამებით.
5. ქიმიური ანიმაციური პროგრამები, რომელთა საშუალებითაც ხორციელდება ქიმიური პროცესების ანიმაცია, რაც ქიმიური რეაქციები-

სა და მათი მექანიზმების თვალსაჩინოდ წარმოჩენას ემსახურება. ამ ტიპის პროგრამებიდან შეიძლება აღვნიშნოთ პროგრამა MoluCad და Chem3D.

6. ქიმიური პროგრამა-ბროუზერები, რომელთა საშუალებითაც წარმოებს როგორც გლობალურ, ისე ლოკალურ ქსელში ქიმიური ინფორმაციის მოძიება. აღნიშნული პროგრამები საგრძნობლად ამარტივებს მსოფლიო ქიმიური მონაცემების ბანკებიდან ინფორმაციის მიღებას. მაგალითად, ცნობილი ბელშტეინის საინფორმაციო სამსახურიდან ინფორმაციის მიღება შეუძლებელია პროგრამა-ბროუზერ Belstein Commander-ის გამოყენების გარეშე. ამ ტიპის პროგრამებიდან აღსანიშნავია ChemOffice-ის პაკეტში შემავალი პროგრამები ChemFinfer და ChemFinfer for Office.
7. ქიმიურ მონაცემთა ბაზების პროგრამები, რომლებიც განკუთვნილია ქიმიურ მონაცემთა ბაზებთან სამუშაოდ. ქიმიურ მონაცემთა ბაზებში, ზოგად მონაცემთა ბაზებისაგან განსხვავებით, ორგანიზებულია ქიმიური სტრუქტურების ჩაწერის შესაძლებლობაც.

მონაცემთა ბაზებთან მომუშავე პროგრამები შეიძლება დაიყოს ორ ტიპად. პირველი სახის პროგრამების, ანუ კატალოგების დანიშნულებაა მზა მონაცემთა ბაზებიდან ინფორმაციის მოძიება და წარმოჩენა. აღნიშნული ბაზები დახურულია, ანუ მათში რაიმე ახალი ინფორმაციის ჩაწერა-დამატება შეუძლებელია. დღეისათვის შექმნილია მრავალი ასეთი კატალოგი:

- **ქიმიურ მონაცემთა ბაზა (Chemical Database)** – იგი მოიცავს არაორგანულ და ორგანულ ნაერთთა ძირითად ფიზიკურ-ქიმიურ კონსტანტებს;
- **სამკურნალო საშუალებების მონაცემთა ბაზა (Prescription Drug Database)** – მოიცავს წამლების დასახელებას, ძირითადი სამკურნალო პრეპარატების დასახელებას, შედგენილობას, სამრეწველო დასახელების სინონიმებს, დანიშნულებას, და ა.შ.
- **ტოქსიკოლოგიურ მონაცემთა ბაზა (Human and Animal Developmental Toxicology, Amphibian Developmental Toxicology, Inductrial Solvent Developmental Toxicology)** – მოიცავს ნაერთების ტოქსიკოლოგიურ პარამეტრებს;
- **იწ, 1H-ბმრ, მას-სპექტრების მონაცემთა ბაზები (Aldrich FT-IR Library, Aldrich vapor-phase FT-IR Library, NIST/EPA/MSDC Mass Spectral Database და სხვა)** – მოიცავს ათიათასობით ნაერთის სპექტრულ მონაცემებს;

- **რეაქციებისა და ქიმიური სინონიმების მონაცემთა ბაზა (Chemical Thesaurus)** – მოიცავს ნაერთების დასახელების სინონიმებს, ქიმიური რეაქციების ტიპებს, ნაერთების ფიზიკურ-ქიმიურ თვისებებსა და მიღების მეთოდებს.

მეორე ტიპის მონაცემთა ბაზებთან მომუშავე პროგრამებს მონაცემთა საკუთარი, მზა ბაზები არ გააჩნია. მათი დანიშნულებაა, თავად უზრუნველყონ მომხმარებლის სურვილის მიხედვით ქიმიურ მონაცემთა ბაზების შექმნა და აწარმოონ ძიება როგორც ტექსტურ, ისე სტრუქტურულ რეჟიმში. ამ სახის პროგრამებიდან აღსანიშნავია ChemFinder (პაკეტი ChemOffice) და MolSearch Database Software. მათი საშუალებით შესაძლებელია 10 მლნ-ზე მეტი ჩანაწერის მქონე ქიმიური ბაზის შედგენა, რომელიც შეიძლება მოიცავდეს ქიმიურ სტრუქტურას (მისი აგება წარმოებს უშუალოდ მონაცემთა ბაზის პროგრამით, ვინაიდან იგი შეიცავს ჩაშენებულ ფორმულების მიკრორედაქტორს), მოლეკულურ მასას, დასახელებას და სხვ.

ქიმიური პროგრამების კლასიფიკაცია შეიძლება დავაფუძნოთ მათი მოქმედების პრინციპზე. ამ მხრივ განასხვავებენ კომპლექსურ და სპეციფიკურ პროგრამებს. კომპლექსური პროგრამები მოიცავს ზემოთ აღნიშნული კლასიფიკაციის ერთდროულად რამდენიმე პუნქტს, ანუ მათი საშუალებით შესაძლებელია როგორც გრაფიკაში მუშაობა, ისე გაანგარიშებათა შესრულება. ამიტომ არის, რომ ერთი და იგივე პროგრამა კლასიფიკაციის რამდენიმე პუნქტში მეორდება. სპეციფიკური პროგრამები გაცილებით მცირე ზომისაა (კომპლექსური პროგრამებისგან განსხვავებით) და მათი დანიშნულებაა რაიმე ერთი, კონკრეტული სახის დავალების შესრულება, მაგალითად, კონცენტრაციის, მოლეკულური მასის, მჟავიანობის და ა.შ. გაანგარიშება.

პროგრამების კლასიფიკაცია შეიძლება მოვახდინოთ ქიმიურ სფეროში გამოყენების თვალსაზრისითაც, ანუ დავყოთ ისინი პროგრამებად, რომლებიც გამოიყენება ორგანულ, არაორგანულ, ფიზიკურ, ანალიზურ და ა.შ. ქიმიაში. აქვე უნდა აღინიშნოს ლაბორატორიის მენეჯმენტისა (STIS-Sample Tracking and Inventory System, IMCSPro-Instrument Maintence & Calibration System Pro, Laboratory Document Control System, LabTrack – ლაბორატორიული ელექტრონული ბლოკნოტი) და გარემოს დაცვის კონტროლის (Control Chart Pro, Control Chart Pro Plus Datalink) პროგრამები.

მიუხედავად პროგრამების ასეთი სიმრავლისა, არ არსებობს უნივერსალური პროგრამა, რომელიც ქიმიკოსის წინაშე დასმულ ყოველგვარი ტიპის ამოცანას გადაჭრიდა. ასეთი უნივერსალური პროგრამის შექმნა მრავალ სირთულესთან არის დაკავშირებული. მათგან, უპირველესად, აღსანიშნავია ასეთი პროგრამების დიდი ზომა და კომპიუტერული ტექნიკისადმი გაზრდილი მოთხოვნები, რაც ამცირებს პრაქტიკული გამოყენების ეფექტურობას. ამასთანავე, პროგრამის მოქმედების სიჩქარე მკვეთრად მცირდება, არადა, ისეთი რთული ქიმიური გაანგარიშებებისთვის, როგორიცაა კვანტურ-ქიმიური გაანგარიშებები, დრო უმნიშვნელოვანესი ფაქტორია. ამ პრობლემის მოსაგვარებლად რამდენიმე წამყვანმა კორპორაციამ (ACD Labs, CambridgSoft) შეიმუშავა მეტად ეფექტური მიდგომა. კერძოდ, ერთი უნივერსალური პროგრამის შექმნის ნაცვლად ისინი აწარმოებენ პროგრამულ პაკეტს, რომელშიც შედის ცალკეული პროგრამები, რომლებიც მუშაობს როგორც ავტონომიურ, ისე კომპლექსურ რეჟიმში, ანუ შესაძლებელია ერთი პროგრამიდან ინფორმაციის მეორეში გადატანა. მაგალითად, CambridgSoft-ის მიერ შექმნილი ქიმიური პროგრამების პაკეტი ChemOffice მოიცავს ხუთ დამოუკიდებელ, მაგრამ ერთმანეთთან ადაპტირებულ პროგრამას: ChemDraw, Chem3Dm, ChemFinder, ChemInfo, Table Editor, – ACD Labs-ის პაკეტი ChemSketch კი რამდენიმე ათეულ დამოუკიდებელ, ქიმიის ნებისმიერი სფეროსათვის გამოსაყენებელ პროგრამას მოიცავს.

აღსანიშნავია, რომ მიუხედავად დიდი პროგრამების პოპულარობისა, ზოგიერთ შემთხვევაში შედარებით მცირე ზომის, მაგრამ მხოლოდ კონკრეტული ამოცანის გადასაწყვეტად შექმნილი პროგრამები უფრო ეფექტურია...

იმედია, ერთხელ მაინც დაგჭირვებიათ ბენზოლის ბირთვის ჩასმა ტექსტში. როგორ „ხატავთ“ ექვსკუთხედს შიგ ჩახაზული წრით? MS Word-ის გრაფიკას მიმართავთ? თუ უფრო კვალიფიციური სპეციალისტი ხართ და შეგიძლიათ მძლავრი გრაფიკული რედაქტორების PhotoShop-ის ან Corel-ის გამოყენება? მათი საშუალებით ბენზოლის „აგება“ არაქიმიკოსებს „ეპატიებათ“, ქიმიკოსებს კი – არა!

ძვირფასო მკითხველო, თუ თქვენი სურვილი იქნება, მომდევნო წერილებში განვიხილავ, რა მარტივად შეიძლება სხვადასხვა სახის ქიმიური ამოცანების გადაწყვეტა „ქიმიის მცოდნე“ პროგრამების საშუალებით.

ორგანზომილებიანი მოლეკულური მოდელების (სტრუქტურული ფორმულების) აგება

ქიმიური ტექსტების (წიგნები, სტატიები, სასტენდო მასალები, ბუკლეტე-ბი და სხვა) გაფორმებისას ხშირად ჩნდება ორგანზომილებიანი ქიმიური სტრუქტურების აგების საჭიროება. როგორ წარმოგვიდგენია ვიტამინ B12-ის სტრუქტურული ფორმულის „დახატვა“? იგი არა მარტო კომპიუტე-რის ჩვეულებრივი მომხმარებლისათვის, არამედ ისეთ გრაფიკულ პროგ-რამებში, როგორიცაა Corel, Photoshop და სხვა, გაწაფული ოპერატორი-სათვისაც კი დიდ თავსატეხს წარმოადგენს.

ამ ამოცანების გადასაჭრელად შექმნილია ორგანზომილებიანი ქიმიური გრაფიკის არაერთი პროგრამა, რომელთაგანაც ყველაზე დიდი პოპუ-ლარობით სარგებლობს ChemDraw, ChemSketch, ChemWindow და ISIS Draw. მათი საშუალებით წარმოებს ორგანზომილებიანი ქიმიური სტრუქ-ტურების აგება და ტრანსფორმაციები.

ჩამოთვლილი პროგრამების ინტერფეისი და მოქმედების მეთოდი მნიშ-ვნელოვნად განსხვავდება ერთმანეთისაგან, თუმცა ისინი ერთ საერთო პრინციპზეა აგებული. მათი დანიშნულებაა ქიმიური სტრუქტურების აგება მზა ქიმიური ელემენტებით (მოწყობილობებით). ამისათვის ყველა პროგ-რამას აქვს ისეთი მზა ელემენტები, როგორიცაა ქიმიური ბმა, ქიმიური ელემენტების ცხრილი (საიდანაც შესაძლებელია ელემენტის არჩევა) და მოლეკულების ფრაგმენტებისა და რადიკალების ბაზა. ქიმიური გრაფიკუ-ლი პროგრამები კლასიკური გრაფიკული პროგრამებისაგან (PhotoShop, Corel Draw) „ქიმიის ცოდნითაც“ გამოირჩევიან. მათ მიერ აგებული სტრუქ-ტურები არ არის გეომეტრიული ფიგურები ან ნახატები. მაგალითად, ქი-მიურ პროგრამაში დახატული კვადრატი არ არის გეომეტრიული ფიგურა. პროგრამა მას განიხილავს, როგორც ციკლობუტანს, ანუ ერთმანეთთან დაკავშირებულ ოთხ $-CH_2-$ ჯგუფს.

და მაინც, რომელი პროგრამის გამოყენება ჯობია? ცხადია, თითოეულ მათგანს თავისი დადებითი და უარყოფითი მხარეები გააჩნია, მაგრამ

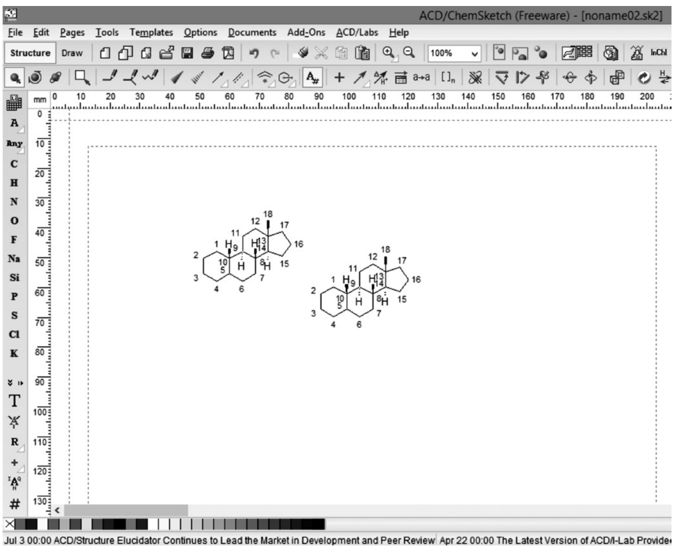
უპირატესობის მინიჭება ChemSketch-ისათვის შეიძლება. იგი გაცილებით მძლავრი საშუალებაა, ვიდრე ISIS Draw, და არაფრით არ ჩამოუვარდება საკმაოდ ძვირადღირებულ ChemDraw-ს. საბედნიეროდ, ChemSketch-ის მწარმოებლები ტორონტოს უნივერსიტეტიდან (ACDLabs Co.) მას უფასო ვერსიის სახითაც ავრცელებენ და შესაძლებელია მისი უფასოდ ჩამოწერა და ინსტალირება შემდეგი ბმულიდან: http://acdlabs.com/resources/freeware/chemsketch/. ჩამოწერისათვის გაითვალისწინეთ, რომ რეგისტრაციის გავლაა საჭირო.

ასევე უფასო კარგი რესურია ISIS Draw. მისი ჩამოწერა შეგიძლიათ შემდეგი ბმულიდან: http://mdlchime.com. პროგრამა ChemDraw მხოლოდ ფასიანი ვერსიის სახითაა გავრცელებული და საკმაოდ ძვირი სიამოვნებაა მისი შეძენა.

მიუხედავად ამისა, განვიხილოთ სტრუქტურული ფორმულების აგება სამივე პროგრამის საშუალებით.

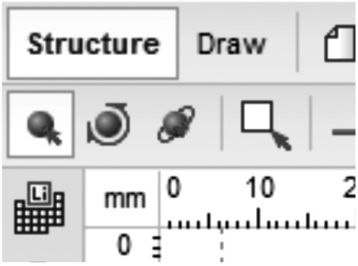
სტრუქტურების აგება პროგრამა CHEMSKETCH-ის გამოყენებით

პროგრამა ChemSretch შედის პროგრამულ პაკეტში ACD Labs. პროგრამის ინტერფეისი მოცემულია ნახ. 1-ზე.



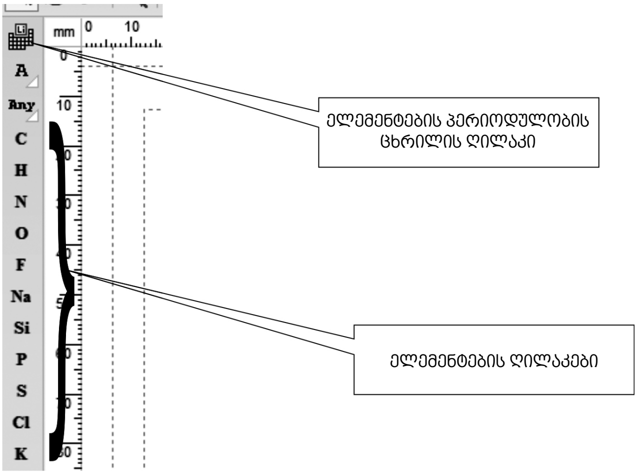
ნახ. 1. პროგრამა ChemSketch-ის ინტერფეისი

პროგრამას აქვს სტრუქტურის აგებისა (Structute) და ხატვის (Draw) რეჟიმი. მათი გადართვა წარმოებს ეკრანის ზედა მარცხენა კუთხეში მოთავსებული ღილაკებით (ნახ. 2).



ნახ. 2 სტრუქტურის აგებისა (Structute და
ხატვის (Draw) რეჟიმების გადასართავი ღილაკები

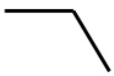
სტრუქტურის აგების დაწყების წინ აუცილებელია პროგრამის გადართვა სტრუქტურის აგების რეჟიმზე. პროგრამის მარცხენა კიდესთან მოთავსებულია ელემენტების სწრაფი მიწვდომის პალიტრა. მასში ვერტიკალურად ჩამოთვლილია ძირითადი (შედარებით ხშირად საჭირო) ელემენტები (C, H, N, O, Cl, Br). თუ ელემენტი არ არის მოცემული ელემენტების სწრაფი მიწვდომის პალიტრაზე, მაშინ მისი გამოძახება შესაძლებელია ელემენტთა პერიოდულობის ცხრილის ღილაკით, რომელიც აღნიშნული პალიტრის თავზეა მოთავსებული (ნახ. 3). პერიოდულ ტაბულაში შერჩეული ელემენტი თავსდება ელემენტების სწრაფი მიწვდომის პალიტრაზე.



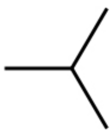
ნახ. 3 ძირითადი მოწყობილობების პალიტრა

სტრუქტურის აგება იწყება ელემენტის შერჩევით და ეკრანზე თაგუნას ღილაკის დაწკაპუნებით.

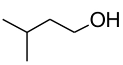
1) შევარჩიოთ ელემენტი C და დავაწკაპუნოთ თავისუფალ სივრცეზე. დაიხატება მეთანის CH_4-ის მოლეკულა.
2) კურსორი მივიყვანოთ ნახშირბადის ატომზე და ხელახლა დავაწკაპუნოთ. დაწკაპუნება უნდა მოვახდინოთ მაშინ, როცა კურსორი შევა არსებული ელემენტის აქტიურ ზონაში, რაც გამოიხატება ელემენტის გარშემო რუხი ფერის მართკუთხედის გაჩენით. დაწკაპუნებით CH_4-ს მიემატება ერთი მეთილის ჯგუფი. ამასთან, პირველი ნაშირბადის ვალენტობა შესწორდება — ერთი წყალბადი დააკლდება. რედაქტირების ოფციებიდან გამომდინარე, ეკრანიდან შესაძლებელია „გაქრეს“ ნახშირბად- და წყალბადატომები და სტრუქტურა მხოლოდ ბმების სახით იყოს გამოსახული.



3) კვლავ დავაწკაპუნოთ კურსორი ერთ-ერთ ნახშირბადზე. ეთანის მოლეკულა გადაიქცევა პროპანის მოლეკულად, რომელიც შემდეგნაირი ტეხილით იქნება გამოსახული.

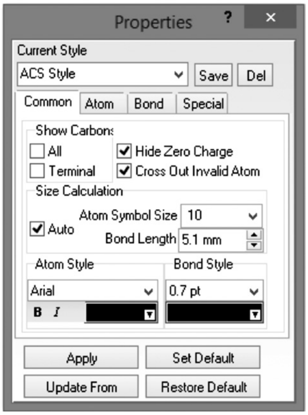


4) მივიყვანოთ კურსორი შუა ნახშირბადზე და დავაწკაპუნოთ. მოლეკულა გადაიქცევა იზობუტანად.



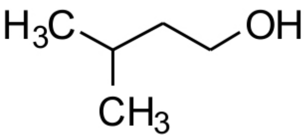
5) ერთ-ერთ განაპირა ნახშირბადატომზე ჩავანაცვლოთ ჰიდროქსილის ჯგუფი. ამისათვის ელემენტების სწრაფი მიწვდომის პალიტრიდან ავირჩიოთ ჟანგბადის ატომი. კურსორი მივიყვანოთ აგებული სტრუქტურის ერთ-ერთ განაპირა ნახშირბადატომთან, დავაჭიროთ მარცხენა ღილაკს და კურსორი გავაცუროთ რაიმე კუთხით. გაიჭიმება დამატებითი ბმა. თაგუნას ღილაკის განთავისუფლების შემდეგ ბმა ეკრანზე დაფიქსირდება და მოლეკულას ჩაენაცვლება OH-ჯგუფი.

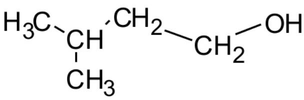
თუ გვინდა, სტრუქტურაზე ყველა ატომი იყოს გამოსახული, მაშინ საჭიროა, სტრუქტურების თვისებების მენიუდან მიეცეს შესაბამისი ბრძანებები.



ნახ. 4. სტრუქტურების თვისებების დიალოგის ფანჯარა

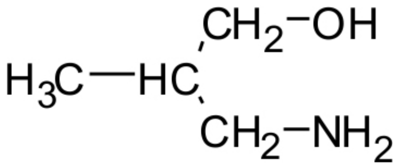
1) გამოვიძახოთ Structure Prooperties (სტრუქტურის თვისებები) მენიუდან Tools (მოწყობილობები).
2) გავააქტიუროთ გადასართავი Common (ძირითადი) (ნახ. 4).
3) თუ მხოლოდ ტერმინალური ნახშირბადატომების ჩვენება გვინდა, ჩავრთოთ ჩასართავი Terminal (ტერმინალური, განაპირა).
4) გადავიდეთ მონიშვნის (სელექციის) რეჟიმში ღილაკზე  დაწკაპუნებით.
5) თაგუნას მარცხენა ღილაკზე თითის დაჭერით გავაცუროთ იგი დიაგონალურად ისე, რომ პუნქტირით გამოსახულ მართკუთხედში მოხვდეს მთელი სტრუქტურა. მონიშნულ სტრუქტურაზე პატარა კვადრატები გაჩნდება, რაც მიუთითებს მის მონიშნულ ფრაგმენტს.
6) გავააქტიუროთ ღილაკი Apply (მიანიჭე) (ნახ. 4). სტრუქტურა მიიღებს შემდეგ სახეს.
7) მოვნიშნოთ სტრუქტურა ხელახლა მთლიანად და ჩავრთოთ ჩასართავი All (ყველა) (ნახ. 4).
8) გავააქტიუროთ ღილაკი Apply (მიანიჭე). ამჯერად სტრუქტურაზე ყველა ნახშირბადატომი იქნება გამოსახული.



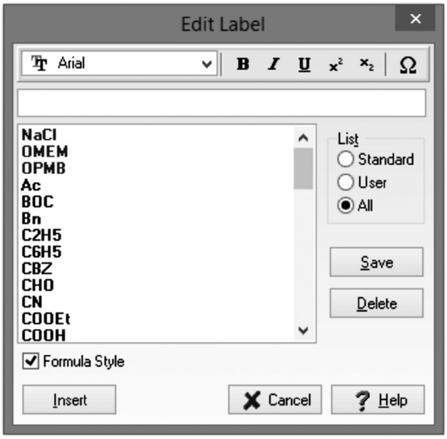


როგორც ვნახეთ ჰიდროქსილის მაგალითზე, ელემენტების სწრაფი მიწვდომის ღილაკების საშუალებით შესაძლებელია ფუნქციური ჯგუფების ჩასმა. მაგრამ აღნიშნული ღილაკებიდან შესაძლებელია მხოლოდ წყალბადებით შევსებული ფუნქციური ჯგუფების ჩანაცვლება. მაგალითად, აზოტის ატომით მიიღება ამინოჯგუფი, გოგირდის ატომით – მერკაპტოჯგუფი და ა.შ. როგორ მოვიქცეთ, თუ საჭიროა ნიტრო ან სულფოჯგუფის ჩასმა? ამისათვის ელემენტების სწრაფი მიღწევის პალიტრაზე დამონტაჟებულია

ღილაკი , რომლის საშუალებითაც შესაძლებელია ნებისმიერი ჯგუფის ჩანაცვლება. ზემოთ აგებულ მოლეკულაში ერთ-ერთ პირველად ნახშირბადატომზე ჩავანაცვლოთ ნიტროჯგუფი. ამისათვის საჭიროა ჯერ ჩანაცვლდეს ნებისმიერი ელემენტი, მაგალითად, აზოტი. მოლეკულა მიიღებს სახეს:

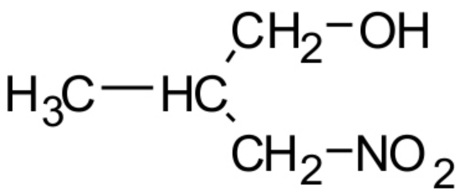


შემდეგ ავირჩიოთ ფუნქციური ჯგუფის ღილაკი. დავუბრუნდეთ აგებულ მოლეკულას და კურსორი მივუახლოვოთ ამინოჯგუფს. იგი მოინიშნება ბაცი მართკუთხედით. მარცხენა ღილაკის დაწკაპუნება ეკრანზე გამოიტანს დიალოგის ფანჯარას (ნახ. 5).

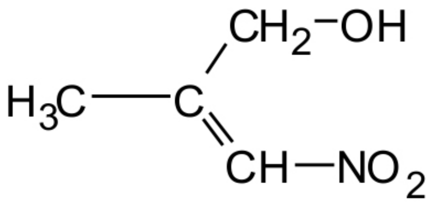


ნახ. 5. ფუნქციური ჯგუფის ჩართვის დიალოგის ფანჯარა

ტექსტურ ფანჯარაში შევიტანოთ “NO2” ან მოვძებნოთ იგი ნუსხაში.
ბოლოს გავააქტიუროთ ღილაკი Insert (ჩასმა) (ნახ. 5). სტრუქტურა მიიღებს სახეს:

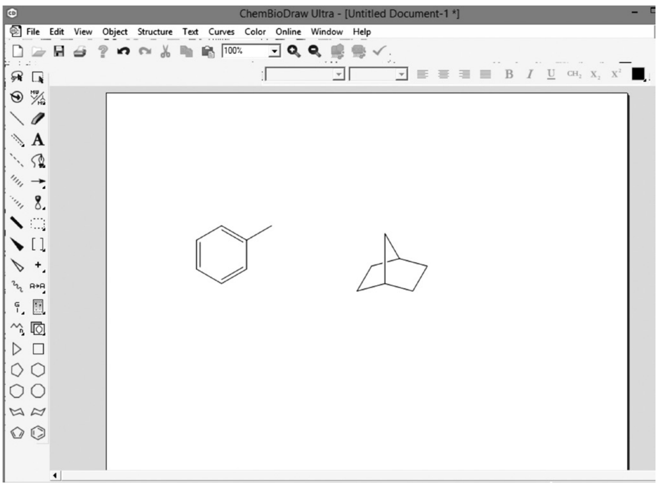


ჯერადი ბმების ასაგებად საჭიროა, კურსორი მივიყვანოთ ერთმაგ ბმაზე და მისი გააქტიურების შემდეგ (ბმა მოექცევა ბაც მართკუთხედში) დავაწკაპუნოთ. ყოველი დაწკაპუნება ბმის ჯერადობას გაზრდის ერთით, ანუ სამმაგი ბმის ასაგებად საჭიროა ორჯერადი დაწკაპუნება. სამმაგ ბმაზე დაწკაპუნება კი მას გადააქცევს ერთმაგ ბმად. მაგალითისათვის ზემომოყვანილი 2-მეთილ-3-ნიტრო-პროპანოლ-1-ის სტრუქტურა გადავაკეთოთ 2-მეთილ-3-ნიტრო-2-პროპენ-1-ოლად. ამისათვის კურსორი მივიყვანოთ ბმაზე, რომელიც მოთავსებულია C_2-C_3-ს შორის და მისი გააქტიურების შემდეგ დავაწკაპუნოთ. სტრუქტურა მიიღებს შემდეგ სახეს:



სტრუქტურების აგება პროგრამა CHEMDRAW-ში

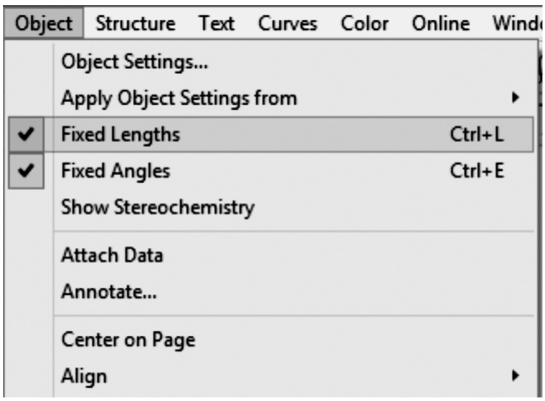
პროგრამის ინტერფეისი მოცემულია yf[& 6-ზე. სამუშაო სივრცის მარცხნივ მოცემულია ძირითადი მოწყობილობების პანელი, რომლის საშუალებითაც შესაძლებელია ავირჩიოთ ქიმიური ბმის ხატვის, საშლელის, ქიმიური ელემენტების ჩართვის, ობიექტის მონიშვნის და ა.შ. რეჟიმები.



ნახ. 6. პროგრამა ChemDraw-ს ინტერფეისი

ნახ. 7. ქიმიური ბმის აგების ღილაკი (ნაჩვენებია ისრით)

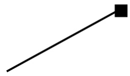
სტრუქტურის აგებისათვის მთავარ იარაღს წარმოადგენს ქიმიური ბმის ღილაკი (მარცხენა სვეტში ზემოდან მესამე ღილაკი). იგი სურათზე ისრით არის აღნიშნული (ნახ. 7). სანამ უშუალოდ სტრუქტურის აგებას შევუდგებოდეთ, აუცილებელია ფიქსირებული ქიმიური ბმისა და ფიქსირებული ბმის კუთხის რეჟიმების ჩართვა. აღნიშნული რეჟიმების ჩართვის შემთხვევაში, სტრუქტურის აგებისას ყველა ბმა და ბმის კუთხე ერთნაირი იქნება, რაც სტრუქტურას უფრო ესტეთიკურ სახეს მიანიჭებს. მათი ჩართვა წარმოებს **Object** (ობიექტი) მენიუდან. თუ ბრძანებების **Fixd Length** (ფიქსირებული სიგრძე) და **Fixd Angles** (ფიქსირებული კუთხე) წინ მონიშვნის სიმბოლო არ არის, როგორც ქვემოთ მოცემულ ნახ. 19-ზე არის ნაჩვენები, მაშინ საჭიროა თითოეულზე თაგუნას მარცხენა ღილაკის დაწკაპუნება.



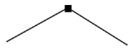
ნახ. 8. Oobject მენიუ.
ჩართულია ფიქსირებული ბმის სიგრძისა და ფიქსირებული ბმის კუთხის რეჟიმი

გავათავისუფლოთ თაგუნას ღილაკი. ეკრანზე დარჩება ხაზი, რომელიც რეალურად წარმოადგენს ეთანის მოლეკულას. ქიმიური ბმის წვეროებში ყოველთვის იგულისხმება წყალბადატომებით შევსებული ნახშირბადატომი. ჩონჩხის გაგრძელებისათვის კურსორი მივიყვანოთ აგებული ქიმიური ბმის ერთ-ერთ ბოლოში. აღნიშნული ატომი მოინიშნება პატარა შავი კვადრატით.

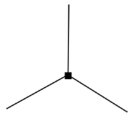
დავაწკაპუნოთ თაგუნას მარცხენა ღილაკზე. აიგება დამატებითი ბმა 120°-იანი კუთხით.



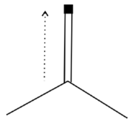
დავუბრუნდეთ წინა ნახშირბადატომს.



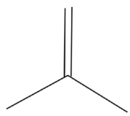
დავაწვეთ მარცხენა ღილაკს და გავაცუროთ ვერტიკალურად ზევით. აიგება განშტოებული ჩონჩხი. დავუბრუნდეთ ისევ წინა ნახშირდაბატომს. მიიღება იზობუტანის მოლეკულა.



კვლავ დავაჭიროთ თაგუნას მარცხენა ღილაკს და გავაცუროთ ვერტიკალურად ზევით, სანამ არ მოინიშნება წინა ოპერაციისას აგებული ბმის მეორე ბოლო.

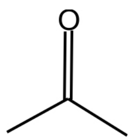


გავათავისუფლოთ თაგუნას ღილაკი. აგებულ სტრუქტურას ექნება შემდეგი სახე. იგი წარმოადგენს იზობუტენის მოლეკულას.

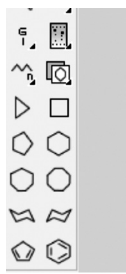


როგორც უკვე იყო აღნიშნული, ბმების ბოლოებში იგულისხმება ნახშირბადატომები. ორმაგი ბმის ზევით მდებარე ნახშირბადატომი შევცვალოთ ჟანგბადის ატომით. ამისათვის კურსორი მივიყვანოთ აღნიშნულ წერტილში და დავაწკაპუნოთ ორჯერ სწრაფად. ეკრანზე გამოვა ტექსტის უჯრა.

კლავიატურის საშუალებით ავკრიფოთ მაღალი რეგისტრის **“O” (Shift-O)**. აგებული სტრუქტურა გარდაიქმნება აცეტონის მოლეკულაში.

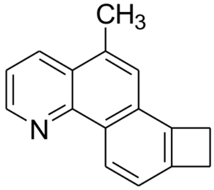


ციკლური ნაერთების სტრუქტურების აგებისათვის პროგრამას აქვს სპეციალური ღილაკები, რომელთა საშუალებითაც შესაძლებელია 3-, 4-, 5-, 6-წევრიანი ციკლების აგება ერთი დაწკაპუნებით. მომხმარებელს აქვს საშუალება, ციკლოჰექსანი აირჩიოს სავარძლისა და ნავის კონფორმერების სახითაც. საკუთარი ღილაკი გააჩნია არომატულ ბირთვსაც (ნახ. 9).

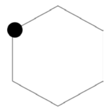


ნახ. 9. ციკლური სტრუქტურების აგების ღილაკები

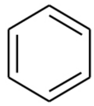
მაგალითად, ავაგოთ შემდეგი სტრუქტურა:



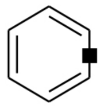
1. ავირჩიოთ არომატული სტრუქტურის შესაბამისი ღილაკი (ნახ. 9). კურსორი მიიღებს მცირე ზომის მუქი წერტილის მქონე ექვსკუთხედის სახეს.



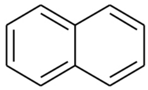
2. დავაწკაპუნოთ ეკრანზე ჩვენთვის სასურველ ადგილას. აიგება ბენზოლის მოლეკულა. კურსორს კი ისევ ექნება ექვსკუთხედის სახე.



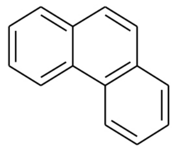
3. კურსორი მივუახლოვოთ ბენზოლის მარჯვენა ვერტიკალურ ბმას მის მონიშვნამდე.



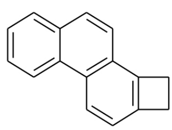
4. დავაწკაპუნოთ. მოლეკულა მიიღებს ნაფთალინის სახეს.



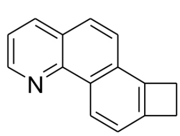
5. ანალოგიურად მოვიქცეთ კიდევ ერთი ფენილის ფრაგმენტის მისაშენებლად.



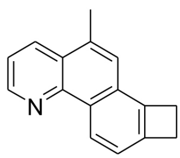
6. ავირჩიოთ ციკლობუტანის ღილაკი და ქვედა ბენზოლის მარჯვენა ვერტიკალური ბმის გააქტიურების შემდეგ დავაწკაპუნოთ:



7. ერთ-ერთი არომატული ბირთვი შევცვალოთ ჰეტეროარომატულად. ამისათვის კურსორი მივიყვანოთ შესაბამის ატომზე და მისი მონიშვნის შემდეგ კლავიატურაზე დავაწვეთ ღილაკს “N”.

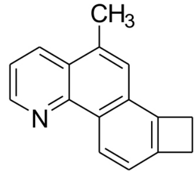


8. ჩავანაცვლოთ მეთილის რადიკალი. ავირჩიოთ ქიმიური ბმის აგების რეჟიმი (როგორც წინა მაგალით-



ში იყო ნაჩვენები). კურსორი მივიყვანოთ შესაბამის ნახშირბადატომზე და დავაწკაპუნოთ.

9. თუ გვინდა, რომ მეთილის რადიკალში ჩანდეს ნახშირბად და წყალბად ატომები, მაშინ კურსორი მივიყვანოთ ახალი ქიმიური ბმის ზედა ბოლოში და კლავიატურაზე ავკრიფოთ “C”.

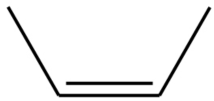


სტრუქტურის აგება დასახელების მიხედვით

პროგრამის ChemDraw 8.00 და უფრო მაღალი ვერსია საშუალებას იძლევა, ნაერთის სტრუქტურა აგებულ იქნას დასახელების მიხედვით. ამისათვის უნდა გავააქტიუროთ ბრძანება **Convert Name to Structure** (დასახელების სტრუქტურაში გარდაქმნა) მენიუდან **Structure** (სტრუქტურა). აღნიშნული ბრძანების გააქტიურების შემდეგ ეკრანზე გამოვა დიალოგის ფანჯარა, რომელშიც ნაერთის დასახელება ინგლისურ ენაზე IUPAC-ის პრინციპების მიხედვით უნდა იყოს შეტანილი. შესაძლებელია სიმბოლოების “(”, “)”, “[“, “]”, “{“, “}”, გამოყენება. ასევე შესაძლებელია E და Z კონფიგურაციის მითითება. მაგალითად, ავაგოთ 2-Z-ბუტენის სტრუქტურული ფორმულა:

1. გავუშვათ პროგრამა **ChemDraw.**
2. გავააქტიუროთ ბრძანება **Convert Name to Structure** (დასახელების სტრუქტურაში გარდაქმნა), რომელიც მოთავსებულია მენიუში Structure (სტრუქტურა).
3. დიალოგის ფანჯარაში ჩავწეროთ ტექსტი 2-Z-butene.
4. თუ გვინდა, რომ მოდელის ფანჯარაში სტრუქტურის აგების შემდეგ მის ქვეშ დაიწეროს ნაერთის დასახელებაც, მაშინ მოვნიშნოთ მონიშვნის უჯრა **Paste name below structure** (სახელის ჩაწებება სტრუქტურის ქვეშ). წინააღმდეგ შემთხვევაში გავაუქმოთ მონიშვნის ნიშანი.
5. გავააქტიუროთ ღილაკი **Ok.**

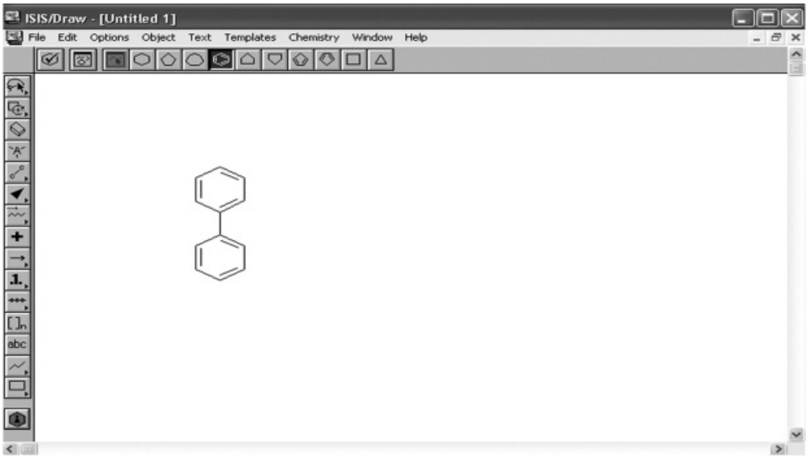
მიღებულ შედეგს ექნება შემდეგი სახე:



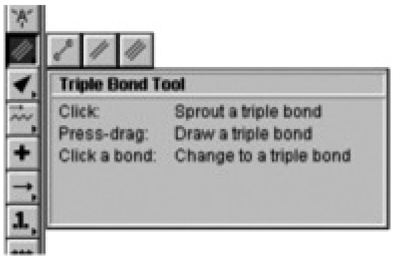
2-Z-butene

ქიმიური სტრუქტურების აგება პროგრამა ISIS DRAW-ში

2D-გრაფიკული პროგრამებიდან ერთ-ერთი საინტერესო პროგრამაა ISIS Draw. იგი საკმაოდ კომპაქტური, მცირე მოცულობისა და კარგად თავსებადი პროგრამაა Windows-ის ყველა ვერსიასთან და MS Office-ის პროგრამებთან. მისი ინტერფეისი მოცემულია ნახ. 10-ზე.

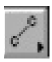


ნახ. 10. პროგრამა ISIS Dკფც-ს ინტერფეისი



ნახ. 11. ბმის აგების მოწყობილობის ღილაკები პროგრამაში ISIS Draw

სტრუქტურის აგებისათვის ძირითად მოწყობილობას წარმოადგენს ქიმიური ბმა (მსგავსად პროგრამისა Chem Draw). იგი მოთავსებულია ეკრანის მარცხენა სვეტში განლაგებული მოწყობილობების პალიტრაზე და აქვს შემდეგი სახე:

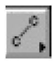


აღნიშნული ღილაკის საშუალებით შესაძლებელია ერთმაგი და ჯერადი (რამდენიმეჯერ დაწკაპუნების შემთხვევაში) ბმების აგება. მაგრამ თუ თა-

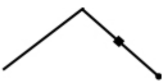
გუნას ღილაკს რამდენიმე წამის განმავლობაში დავაყოვნებთ დაჭერილ მდგომარეობაში აღნიშნულ ღილაკზე, მაშინ გაიხსნება დამატებითი, ჯერადი ბმების შესაბამისი ღილაკებიც (ნახ. 11). მათი არჩევის შემთხვევაში თაგუნას ყოველი ერთჯერადი დაწკაპუნებისას აიგება შესაბამისი ჯერადი (ორმაგი, სამმაგი) ბმა.

ბმის აგებისას ეკრანზე ახლად აგებულ ბმას გააჩნია ორი პატარა კვადრატი (სელექციის წერტილები), რომელთაგან ერთი მოთავსებულია შუაში, ხოლო მეორე – ბმის ბოლოში. ჩონჩხის გაგრძელებისათვის საჭიროა, კურსორი მივიყვანოთ ბმის ბოლოში მოთავსებულ სელექციის წერტილზე და ისე დავაწკაპუნოთ თაგუნას ღილაკზე. თუ სელექციის წერტილი სწორად არ იქნება მონიშნული, მაშინ ბმა აიგება, მაგრამ მას კავშირი არ ექნება წინა აგებულ სტრუქტურასთან, რამაც ზოგიერთ შემთხვევაში შეიძლება არასასურველ შედეგებამდე მიგვიყვანოს. ამიტომ, ყოველი ახალი ბმის აგებისას სწორად უნდა იქნას შერჩეული მისი „მიერთების“ წერტილი.

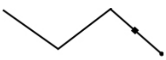
ავაგოთ მეთილვინილკეტონის მოლეკულის სტრუქტურა:

1. ავირჩიოთ ბმის აგების მოწყობილობა 

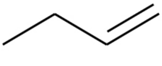
2. დავაწკაპუნოთ სამუშაო მაგიდის თავისუფალ ადგილას. აიგება ერთმაგი ბმა, რომელსაც ექნება ორი სელექციის (შუაში და ბმის ბოლოში) წერტილი.



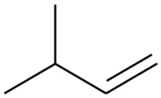
3. კურსორი მივიყვანოთ ბმის ბოლოში მოთავსებულ სელექციის წერტილზე და დავაწკაპუნოთ. აიგება პროპანის მოლეკულა, ხოლო სელექციის წერტილები გადაინაცვლებს ახლადაგებულ ბმაზე.



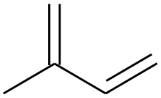
4. წინა ოპერაციის ანალოგიურად კიდევ ავაგოთ ერთი ბმა. მივიღებთ ნ-ბუტანის სტრუქტურას.



5. კურსორი მივიყვანოთ ბმის შუაში მოთავსებულ სელექცის წერტილზე და დავაწკაპუნოთ. ერთმაგი ბმა გადაიქცევა ორმაგ ბმად.



6. ახლა დავაკავშიროთ კეტონის ჯგუფი. კურსორი მივიყვანოთ შესაბამის ნახშირბადატომზე და დავაწკაპუნოთ ერთხელ.



7. ახლადაგებული ბმა გადავაქციოთ ორმაგ ბმად, რისთვისაც კურსორი მივიყვანოთ ბმაზე და დავაწკაპუნოთ.

დავაკავშიროთ ჟანგბადის ატომი. ძირითადი მოწყობილობების პალიტრიდან ავირჩიოთ ელემენტის ჩართვის ინსტრუმენტი  და მივიყვანოთ კურსორი ორმაგი ბმის ბოლოში. დავაწკაპუნოთ. ეკრანზე გამოვა ჩამოსაშლელი ნუსხა, რომელშიც ელემენტებია ჩამოთვლილი. შევარჩიოთ “O”.

როგორ ავაგოთ უფრო რთული მოლეკულური სტრუქტურები? ცხადია, მათი აგება ზემოთ განხილული მარტივი ელემენტების საშუალებით სრულიად შესაძლებელია, მაგრამ შრომატევდია. ამიტომ მათი რედაქტირებისათვის იყენებენ სპეციალურ შაბლონებს, რომელთა საშუალებითაც მარტივდება პროცედურები.

WWW.TPDC.GE