

მერაბ ტულუში, თეიმურაზ შენგელია,
თემურ შენგელია, გიორგი ლომიძე

ფიზიკა

მოსწავლის წიგნი

8



გამომცემლობა „საქართველოს მაცნე“

გრიფინიჭებულია საქართველოს განათლების, მეცნიერების,
კულტურისა და სპორტის სამინისტროს მიერ 2020 წელს

ფიზიკა 8

მოსწავლის წიგნი

ავტორები:

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

თეიმურაზ შენგელია, კერძო სკოლა „მერმისის“ ფიზიკის მასწავლებელი;

თემურ შენგელია, ქართულ-ამერიკული სკოლის ფიზიკის მასწავლებელი;

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

რედაქტორები: **ეკა მაჭარაშვილი**, **ნათელა თუხარელი**

დიზაინერ-დამკაბადონებელი **ლია მოსეშვილი**

გამომცემლობა „საქართველოს მაცნე“

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

ტელ: 568 10 54 67; 574 40 08 57

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

www.saqmatsne.ge

© გამომცემლობა „საქართველოს მაცნე“, 2020

© მერაბ ტულუში, თეიმურაზ შენგელია, თემურ შენგელია, გიორგი ლომიძე

გამოცემის წელი და რეგისტრაცია 2020 წელი

ISBN 978-9941-16-727-0

სარჩევი

ძვირფასო მეგობარო!.....	6
თავი I. მექანიკური მუშაობა. სიმძლავრე. ენერგია	7
§ 1.1 განვლილი მასალის გამეორება	8
§ 1.2 მექანიკური მუშაობა	10
§ 1.3 სიმძიმის ძალის მუშაობა.....	14
§ 1.4 დრეკადობის ძალის მუშაობა.....	18
§ 1.5 ხახუნის ძალის მუშაობა.....	23
§ 1.6 სასარგებლო და სრული მუშაობა. მარგი ქმედების კოეფიციენტი.....	26
§ 1.7 სიმძლავრე. სიმძლავრის ერთეულები.....	29
§ 1.8 ენერგია	33
§ 1.9 მექანიკური ენერგიის მუდმივობის კანონი	38
§ 1.10 შინაგანი ენერგია. სრული ენერგიის მუდმივობის კანონი	42
ეს საინტერესოა	46
პირველი თავის შემაჯამებელი კითხვები და ამოცანები	49
თავი II. სხეულთა წონასწორობა. მარტივი მექანიზმები	55
§ 2.1 სხეულის წონასწორობა. მასათა ცენტრი. სიმძიმის ცენტრი	56
§ 2.2 არამბრუნავი სხეულის წონასწორობა	58
§ 2.3 უძრავი ბრუნვის ღერძის მქონე სხეულის წონასწორობა.....	62
§ 2.4 მომენტების წესი	66
§ 2.5 სხეულის სიმძიმის ცენტრის პოვნა. წონასწორობის სახეები.....	69
§ 2.6 საყრდენი ფართობის მქონე სხეულის წონასწორობა	75
§ 2.7 მარტივი მექანიზმები – ბერკეტი	80
§ 2.8 უძრავი და მოძრავი ჭოჭონაქის შესწავლა	85
§ 2.9 მექანიკის ოქროს წესი.....	91
§ 2.10 დახრილი სიბრტყე.....	96
§ 2.11 მექანიზმის მქც	99
ეს საინტერესოა	102
მეორე თავის შემაჯამებელი კითხვები და ამოცანები	105
თავი III. სითბური მოვლენები	112
§ 3.1 შინაგანი ენერგია და მისი შეცვლის გზები	113
§ 3.2 თბოგამტარობა	117
§ 3.3 მყარი სხეულების, სითხეებისა და აირების სითბური გაფართოება	120

§ 3.4 ტემპერატურის გაზომვა. თერმომეტრი	123
§ 3.5 კონვექცია	127
§ 3.6 გამოსხივება	131
§ 3.7 სითბოს რაოდენობა. ნივთიერების კუთრი სითბოტევადობა.	133
§ 3.8 სითბური ბალანსის განტოლება (ლაბორატორიული სამუშაო)	138
§ 3.9 საწვავის წვის კუთრი სითბო.....	142
§ 3.10 დნობა და გამყარება	146
§ 3.11 დნობისა და კრისტალიზაციის კუთრი სითბო	150
§ 3.12 აორთქლება და კონდენსაცია	154
§ 3.13 დუღილი	158
§ 3.14 ორთქლადქცევის კუთრი სითბო.....	162
§ 3.15 სითბური ძრავა	165
§ 3.16 სითბური მანქანებით გამოწვეული ეკოლოგიური პრობლემები.....	170
მესამე თავის შემაჯამებელი კითხვები და ამოცანები	172
საგნობრივი საძიებელი.....	177
პასუხები.....	178

პირობითი ნიშნები



– ცდა



– ჯგუფური მუშაობა



– გაიხსენეთ



– ერთად ამოვხსნათ ამოცანა



– დაფიქრდით



– აქტივობა



– ამოხსენით ამოცანები

ძვირფასო მეგობარო!

გასულ სასწავლო წელს შენ პირველად შეაბიჯე ფიზიკის სამყაროში. ისწავლე ბუნების სხვადასხვა მოვლენაზე დაკვირვება, ცდების ჩატარება, გაეცანი ბევრ საინტერესო ფაქტს და სიახლეს.

წინამდებარე სახელმძღვანელო დაგეხმარება, კიდევ უფრო გაიღრმავო მიღებული ცოდნა და გაეცნო ახალ ფიზიკურ მოვლენებს.

სახელმძღვანელო შედგება თავებისაგან, თავები – პარაგრაფებისაგან, რომლებშიც განხილულია შესასწავლი საკითხი, არის შეკითხვები და დავალებები. ნუ დატოვებ მათ პასუხის გარეშე. დაკვირვებით წაიკითხე ცდების პირობები, ყურადღება გაამახვილე დასკვნებზე, რომლებიც განსაზღვრავს ძირითადს პარაგრაფის შინაარსში. იმის შესამოწმებლად, რამდენად გაიგე ახალი მასალა, პარაგრაფის ბოლოს დასმულია საკონტროლო კითხვები, შეეცადე უპასუხო მათ. თითქმის ყველა პარაგრაფის ბოლოს მოცემულია საკითხთან დაკავშირებული ათი კითხვა და ამოცანა, რომელთა შესრულება დაგეხმარება საკითხის უკეთ გააზრებაში. ყოველი თავის ბოლოს არის დამატებითი კითხვები და ამოცანები, რომლებიც მოიცავს ამ თავში განვლილ მთელ მასალას.

ზოგიერთი პარაგრაფის ბოლოს აღწერილია საშინაო ცდა. ყურადღებით გაეცანი ცდის პირობებს, შეეცადე ზუსტად შეასრულო მითითებები, საჭიროების შემთხვევაში დაიხმარე უფროსები, დააფიქსირე ცდის შედეგები და შეეცადე, გამოიტანო დასკვნები.

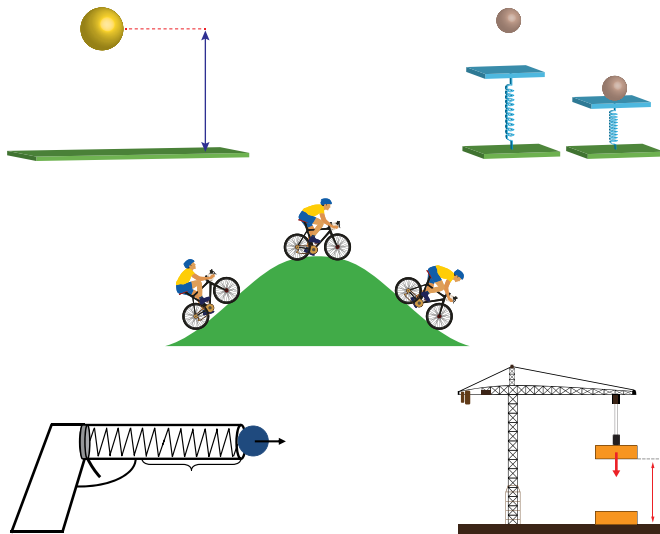
ეს ყველაფერი დაგეხმარება მომდევნო საკითხის უკეთ გააზრებაში.

სახელმძღვანელოს უფრო ეფექტიანად გამოიყენებ, თუ ყურადღებას მიაქცევ სპეციალურ პირობით ნიშნებს, რომელთა დანიშნულება მოცემულია წიგნის დასაწყისში.

გისურვებ წარმატებას!

თავი I

მექანიკური მუშაობა. სიმძლავრე. ენერგია



ამ თავში თქვენ გაეცნობით:

- მექანიკურ მუშაობასა და სიმძლავრეს;
- მექანიკურ ენერგიას;
- კავშირს მუშაობას, ენერგიასა და სიმძლავრეს შორის;
- პოტენციალური და კინეტიკური ენერგიების ურთიერთგარდაქმნას;
- მექანიკური ენერგიის მუდმივობის კანონს;
- მექანიკური ენერგიის შინაგან ენერგიად გარდაქმნას;
- ენერგიის მუდმივობის კანონის მნიშვნელობას ყოველდღიურ ცხოვრებაში.

§ 1.1 განვლილი მასალის გამეორება

ვიდრე ამ თავის ძირითად საკითხებს შევისწავლით, გავიხსენოთ VII კლასში ნასწავლი ფიზიკური სიდიდე – ძალა და მისი კერძო სახეები.

ძალა ფიზიკური სიდიდეა, რომელიც რაოდენობრივად ახასიათებს ერთი სხეულის მეორე სხეულზე მოქმედებას. ძალა ვექტორული სიდიდეა.

ძალას, რომლითაც დედამიწა იზიდავს მისი ზედაპირის მახლობლად მყოფ სხეულს, სიმძიმის ძალა ეწოდება. სიმძიმის ძალა მიმართულია ვერტიკალურად ქვევით, დედამიწის ცენტრისაკენ და მისი მოდული გამოითვლება ფორმულით: $F_{\text{სიმძ}} = mg$, რომელშიც m სხეულის მასაა, ხოლო g ყველა სხეულისათვის მუდმივი სიდიდეა და დაახლოებით 9,8 ნ/კგ-ის ტოლია.

ძალას, რომელიც აღიძვრება სხეულის დეფორმაციისას და მიმართულია სხეულის შემადგენელი ნაწილაკების წანაცვლების საწინააღმდეგოდ, დრეკადობის ძალა ეწოდება. ზამბარაში აღძრული დრეკადობის ძალის მოდული დეფორმაციის სიდიდის პროპორციულია და გამოითვლება ფორმულით: $F_{\text{დრ}} = kx$, რომელშიც x დეფორმაციის სიდიდეა, ხოლო k – ზამბარის სიხისტე. დრეკადობის ძალის მაგალითებია საყრდენის რეაქციის ძალა და საკიდელის დაჭიმულობის ძალა.

ძალას, რომელიც აღიძვრება ერთი სხეულის მეორე სხეულის ზედაპირზე სრიალისას, სრიალის ხახუნის ძალა ეწოდება. უძრავ ზედაპირზე მოსრიალე სხეულზე მოქმედი სრიალის ხახუნის ძალა მიმართულია სხეულის მოძრაობის საწინააღმდეგოდ. როცა მოსრიალე სხეული ზედაპირს mg -ს ტოლი ძალით აწევა, სრიალის ხახუნის ძალა გამოითვლება ფორმულით: $F_{\text{ხახ}} = \mu mg$, რომელშიც μ ხახუნის კოეფიციენტი.

ძალას, რომლითაც სითხე მოქმედებს მასში მოთავსებულ სხეულზე, ამომგდები (არქიმედეს) ძალა ეწოდება. ეს ძალა მოდებულია სხეულზე, მიმართულია ვერტიკალურად ზევით და იგი მოდულით ამ სხეულის მიერ გამოდევნილი სითხის სიმძიმის ძალის ტოლია: $F_{\text{არქ}} = \rho V g$, რომელშიც ρ სითხის სიმკვრივეა, V კი – სხეულის სითხეში მოთავსებული ნაწილის მოცულობა. ამომგდები ძალა მოქმედებს აირში მოთავსებულ სხეულზეც და იმავე ფორმულით გამოითვლება.



შევასრულოთ რამდენიმე ტესტური დავალება:

1. ძალას ზომავენ
ა) სასწორით;
ბ) დინამომეტრით;
გ) მენზურით;
დ) ბარომეტრით.
2. ძალის მოქმედების შედეგი დამოკიდებულია
ა) მხოლოდ ძალის მოდულზე;
ბ) მხოლოდ ძალის მიმართულებაზე;
გ) ძალის მოდების წერტილსა და მოდულზე;
დ) ძალის მოდების წერტილზე, მოდულზე და მიმართულებაზე.
3. რა არის ძალის ერთეული SI-ში?
ა) 1 კილოგრამი;
ბ) 1 პასკალი;
გ) 1 ნიუტონი;
დ) 1 ლიტრი.

4. სიმძიმის ძალა მოდებულია
 - ა) დედამიწაზე და მიმართულია ვერტიკალურად ზევით;
 - ბ) სხეულზე და მიმართულია ჰორიზონტალურად;
 - გ) სხეულზე და მიმართულია ვერტიკალურად ქვევით;
 - დ) სხეულზე და მიმართულია ვერტიკალურად ზევით.

5. დრეკადობის ძალა აღიძვრება
 - ა) ზამბარის შეკუმშვისას;
 - ბ) ზამბარის გაჭიმვისას;
 - გ) დრეკადი სხეულის დეფორმაციისას;
 - დ) ყველა ზემოთ ჩამოთვლილ შემთხვევაში.

6. ზამბარის სიხისტის განზომილებაა
 - ა) ნ·მ; ბ) ნ/მ; გ) მ/ნ; დ) ნ/კგ.

7. მაგიდაზე მოთავსებულ უძრავ სხეულზე მოქმედებს ზედაპირის პარალელური წევის ძალა. სხეულზე მოქმედი უძრავობის ხახუნის ძალა
 - ა) მოდულით ტოლია ამ სხეულზე მოქმედი წევის ძალის;
 - ბ) მოდულით ნაკლებია ამ სხეულზე მოქმედ წევის ძალაზე;
 - გ) მოდულით მეტია ამ სხეულზე მოქმედ წევის ძალაზე;
 - დ) არ არის დამოკიდებული ამ სხეულზე მოქმედ წევის ძალაზე.

8. ქვემოთ მოყვანილთაგან შეარჩიე მცდარი წინადადება
 - ა) ხახუნის კოეფიციენტს განზომილება არ აქვს;
 - ბ) ხახუნის კოეფიციენტი დამოკიდებულია შემხები ზედაპირების მასალაზე;
 - გ) ხახუნის კოეფიციენტი დამოკიდებულია ზედაპირზე მოსრიალე სხეულის მასაზე;
 - დ) ხახუნის კოეფიციენტი დამოკიდებულია შემხები ზედაპირების დამუშავების ხარისხზე.

9. სხეულზე მოქმედებს ერთი წრფის გასწვრივ მარჯვნივ მიმართული 20 ნ-ის ტოლი ძალა და მარცხნივ მიმართული 14 ნ-ის ტოლი ძალა. ამ ძალების ტოლქმედი მიმართულია
 - ა) მარცხნივ და მოდულით 6 ნ-ის ტოლია;
 - ბ) მარჯვნივ და მოდულით 34 ნ-ის ტოლია;
 - გ) მარცხნივ და მოდულით 34 ნ-ის ტოლია;
 - დ) მარჯვნივ და მოდულით 6 ნ-ის ტოლია.

10. გვაქვს ალუმინისაგან, სპილენძისაგან და ტყვიისაგან დამზადებული ერთი და იმავე მოცულობის სამი სხეული. მათი წყალში ჩაშვების შემდეგ
 - ა) ყველაზე მეტი ამომგდები ძალა იმოქმედებს ალუმინის სხეულზე;
 - ბ) ყველაზე მეტი ამომგდები ძალა იმოქმედებს სპილენძის სხეულზე;
 - გ) ყველაზე მეტი ამომგდები ძალა იმოქმედებს ტყვიის სხეულზე;
 - დ) სამივე სხეულზე იმოქმედებს ერთნაირი ამომგდები ძალა.

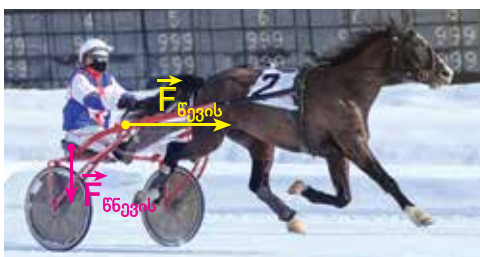
§ 1.2 მექანიკური მუშაობა

ჩვეულებრივ, სიტყვა „მუშაობაში“ ჩვენ ვგულისხმობთ ადამიანის ან რაიმე მოწყობილობის მოქმედებას. მაგალითად, ვამბობთ: მშენებელი მუშაობს, ექიმი მუშაობს, სარეცხი მანქანა მუშაობს, კომპიუტერი მუშაობს და ა.შ. (სურ. 1.1).



სურ. 1.1

ყველაფერი, რასაც ყოველდღიურ ცხოვრებაში მუშაობას ვუწოდებთ ხოლმე, ფიზიკის თვალსაზრისით მუშაობას არ წარმოადგენს – ფიზიკაში „მუშაობას“ გააჩნია უფრო კონკრეტული აზრი. ავხსნათ ეს მაგალითით. განვიხილოთ ცხენიანი ეტლის მოძრაობა ჰორიზონტალურ გზაზე (სურ. 1.2).



სურ. 1.2

ცხენი ექაჩება ეტლს ჰორიზონტალურად მიმართული ძალით, აღვნიშნოთ ეს ძალა $F_{წევის}$ -ით. ეტლზე მჯდომი ადამიანი აწვება მას ვერტიკალურად ქვევით მიმართული ძალით, რომელიც აღვნიშნოთ $F_{წევის}$ -ით. ეტლი მოძრაობს ცხენის წევის ძალის მიმართულებით, წნევის ძალის გასწვრივ (ქვევით) კი – ეტლი არ გადაადგილდება. ამიტომ ამბობენ, რომ $F_{წევის}$ ძალა მუშაობას ასრულებს, $F_{წევის}$ ძალა კი – არა.

ძალის მიერ შესრულებული მუშაობა ძალის მოდულის და ამ ძალის მიმართულებით გავლილი მანძილის პირდაპირპროპორციულია.

რაც უფრო დიდია ცხენის წევის ძალა და ეტლის მიერ გავლილი მანძილი, მით მეტია ამ ძალის მიერ შესრულებული მუშაობა.

თუ სხეულზე მოქმედებს მუდმივი ძალა და იგი ამ ძალის მოქმედების მიმართულებით s მანძილს გადის, მაშინ ძალა ასრულებს მექანიკურ მუშაობას, რომელიც ძალის მოდულისა და გავლილი მანძილის ნამრავლის ტოლია:

მუშაობა = ძალის მოდული $\times$ გავლილი მანძილი

მექანიკურ მუშაობას აღნიშნავენ A ასოთი, ამიტომ

$$A = F \cdot s$$



ჯეიმს ჯოული (1818-1889), ცნობილი ინგლისელი ფიზიკოსი. ექსპერიმენტულად დაამტკიცა ენერგიის მუდმივობის კანონი, განსაზღვრა სითბოს მექანიკური ეკვივალენტი.

ერთეულთა საერთაშორისო სისტემაში (SI) მუშაობის ერთეულს ეწოდება ჯოული (ჯ), ინგლისელი მეცნიერის ჯეიმს ჯოულის პატივსაცემად.

1 ჯოული არის მექანიკური მუშაობა, რომელსაც ასრულებს 1 ნ ძალა ამ ძალის მიმართულებით ძალის მოდულის წერტილის 1 მ-ით გადაადგილებისას:

$$1 \text{ ჯოული} = 1 \text{ ნიუტონი} \cdot 1 \text{ მეტრი}$$

1 ჯოულზე ბევრად დიდი მუშაობის გასაზომად იყენებენ ჯოულის ჯერად ერთეულებს:

$$1 \text{ კგ} = 1000 \text{ გ} = 10^3 \text{ გ};$$

$$1 \text{ მგ} = 1000000 \text{ გ} = 10^6 \text{ გ}.$$

1 ჯოულზე ბევრად მცირე მუშაობის გასაზომად კი გამოიყენება ჯოულის წილადი ერთეულები:

$$1 \text{ მჯ} = 0,001 \text{ ჯ} = 10^{-3} \text{ ჯ};$$

$$1 \text{ მკჯ} = 0,000001 \text{ ჯ} = 10^{-6} \text{ ჯ}.$$

მიაქციეთ ყურადღება: ვინაიდან სხეულზე ძალის მოქმედება არის მასზე სხვა სხეულის მოქმედების შედეგი (ეტლზე მოქმედებს ცხენი), ამიტომ ხშირად საუბრობენ არა ძალის მიერ შესრულებულ, არამედ სხეულის მიერ შესრულებულ მუშაობაზე (მუშაობას ასრულებს ცხენი).

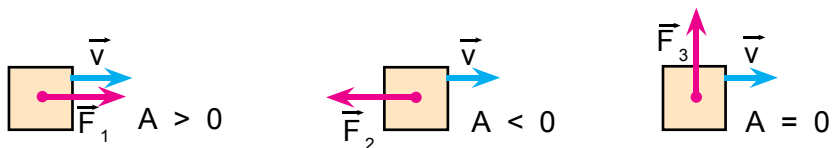
 თქვენ უკვე იცით, რომ ძალას გააჩნია მიმართულება, ანუ ძალა ვექტორული სიდიდეა. მუშაობას მიმართულება არ გააჩნია – ის სკალარული სიდიდეა. ამასთან, როცა ძალის მიმართულება მოძრაობის მიმართულების თანხვედნილია, მის მიერ შესრულებული მუშაობა დადებითია. დავსვათ კითხვა: რა მუშაობას ასრულებს მოძრაობის საპირისპიროდ მოქმედი ძალა?

განვიხილოთ წრფივად და თანაბრად მოძრავი სხეული, რომელზეც მოქმედებს მოძრაობის წრფის გასწვრივ მიმართული ორი ძალა, ეს ძალები მოდულით ტოლია და ურთიერთსაპირისპიროდაა მიმართული. ამ ძალების ტოლქმედი (ჯამი) ნულის ტოლია. ნულის ტოლი იქნება მათი ჯამური მუშაობაც. მაგრამ მოძრაობის მიმართულების თანხვედნილი ძალის მუშაობა დადებითია, ამიტომ მოძრაობის საპირისპიროდ მოქმედი ძალის მუშაობა უარყოფითი უნდა იყოს. ე.ი. მოძრაობის საპირისპიროდ მოქმედი ძალა უარყოფით მუშაობას ასრულებს და იგი გამოსახება ფორმულით:

$$A = -F \cdot s$$

თუ სხეულზე მოქმედი ძალა მოძრაობის მიმართულებასთან მართ კუთხეს ქმნის, მის მიერ შესრულებული მუშაობა ნულის ტოლია.

ამრიგად, **ძალის მიერ შესრულებული მუშაობა შეიძლება იყოს დადებითი, უარყოფითი ან ნულის ტოლი.** ეს შემთხვევები სქემატურად გამოსახულია სურ. 1.3-ზე.

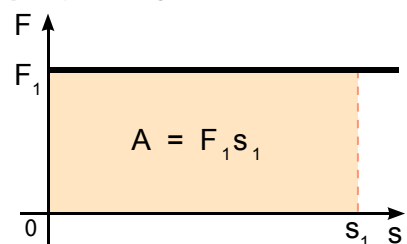


სურ. 1.3

სხეულზე მოქმედმა ერთმა და იმავე ძალამ სხვადასხვა შემთხვევაში შეიძლება შეასრულოს როგორც დადებითი, ასევე უარყოფითი და ნულის ტოლი მუშაობაც.

გავარკვიოთ მექანიკური მუშაობის გეომეტრიული აზრი.

ვთქვათ, სხეული მოძრაობს მუდმივი F_1 ძალის მოქმედებით, რომლის მიმართულება ყოველთვის ემთხვევა მოძრაობის მიმართულებას. ავაგოთ ძალის სხეულის მიერ გავლილ მანძილზე დამოკიდებულების გრაფიკი. ეს გრაფიკი წარმოადგენს OS ღერძის პარალელური წრფის მონაკვეთს (სურ. 1.4).



სურ. 1.4

ერთი მხრივ, ამ ძალის მუშაობა ტოლია მისი მოდულისა და გავლილი s_1 მანძილის ნამრავლის: $A = F_1 \cdot s_1$. მეორე მხრივ, სურათიდან ჩანს, რომ ნამრავლი $F_1 \cdot s_1$ არის მართკუთხედის სიგრძისა და სიგანის ნამრავლი, რაც რიცხობრივად მოცემული მართკუთხედის ფართობის ტოლია.

ამრიგად, **ძალის მიერ შესრულებული მუშაობა რიცხობრივად ტოლია მისი გრაფიკის ქვეშ მოთავსებული ფიგურის ფართობისა.**

ეს მტკიცება სამართლიანია იმ შემთხვევაშიც, როცა ძალა იცვლება მანძილის მიხედვით (დროის განმავლობაში). სწორედ ესაა **მექანიკური მუშაობის გეომეტრიული აზრი.**

დასკვნები:

- როცა სხეულზე მოქმედი მუდმივი ძალის მიმართულება ემთხვევა მოძრაობის მიმართულებას, მაშინ ძალის მიერ შესრულებული მუშაობა დადებითია და გამოითვლება ფორმულით: $A = F s$;
- როცა სხეულზე მოქმედი მუდმივი ძალა მოძრაობის საპირიპიროდაა მიმართული, მაშინ ძალის მიერ შესრულებულ მუშაობა უარყოფითია და გამოითვლება $A = -Fs$ ფორმულით;
- როცა სხეულზე მოქმედი ძალა მოძრაობის მიმართულებასთან მართ კუთხეს ქმნის, მის მიერ შესრულებული მუშაობა ნულის ტოლია;
- SI-ში მუშაობის ერთეულია ჯოული (ჯ). 1 ჯოული არის მექანიკური მუშაობა, რომელსაც ასრულებს 1 ნ ძალა, ამ ძალის მიმართულებით ძალის მოდულის წერტილის 1 მ-ით გადაადგილებისას;
- ერთმა და იმავე ძალამ სხვადასხვა შემთხვევაში შეიძლება შეასრულოს როგორც დადებითი, ასევე უარყოფითი მუშაობა ან არ შეასრულოს მუშაობა;
- ძალის მიერ შესრულებული მუშაობა რიცხობრივად ტოლია ძალის მანძილზე დამოკიდებულების გრაფიკის ქვეშ მოთავსებული ფიგურის ფართობის.

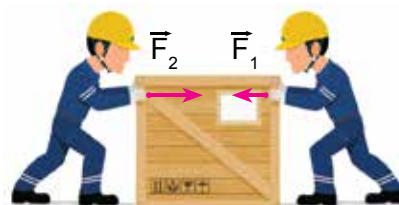
საკონტროლო კითხვები:

1. რა განსხვავებაა ყოველდღიურ ცხოვრებაში გამოყენებულ სიტყვა „მუშაობასა“ და ფიზიკურ სიდიდე „მუშაობას“ შორის?
2. რა შემთხვევაშია სხეულზე მოქმედი ძალის მიერ შესრულებული მუშაობა დადებითი?
3. რა შემთხვევაშია სხეულზე მოქმედი ძალის მიერ შესრულებული მუშაობა უარყოფითი?
4. რა შემთხვევაშია სხეულზე მოქმედი ძალის მიერ შესრულებული მუშაობა ნულის ტოლი?



ერთად ამოვხსნათ ამოცანა

ორი მუშა აწევს ყუთს ურთიერთსაპირიპიროდ მიმართული $F_1 = 100$ ნ და $F_2 = 200$ ნ ძალით. ყუთი მოდულით მეტი ძალის მიმართულებით 50 მ მანძილს გადის. განსაზღვრეთ თითოეული მუშის მიერ შესრულებული მუშაობა და ამ ძალების ტოლქმედის მუშაობა (სურ. 1.5).



სურ. 1.5

ამოხსნა:

მოც:

$$F_1 = 100 \text{ ნ}$$

$$F_2 = 200 \text{ ნ}$$

$$S = 50 \text{ მ}$$

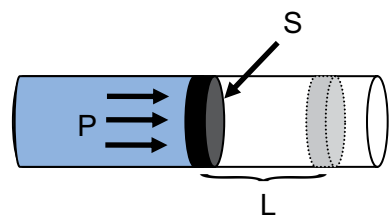
$$\text{უ.ვ. } A_1, A_2$$

რადგან ყუთი გადაადგილდება $\vec{F}_2$ ძალის მიმართულებით, ამ ძალის მუშაობა დადებითა და ტოლია: $A_2 = F_2 \cdot s = 200 \cdot 50 = 10000 = 10^4$ (ჯ). $\vec{F}_1$ ძალა მიმართულია ყუთის გადაადგილების საწინააღმდეგოდ, ამიტომ მისი მუშაობა უარყოფითია და ტოლია: $A_1 = -F_1 \cdot s = -100 \cdot 50 = -5$ (კჯ). ყუთზე მოქმედი ძალების ტოლქმედი მოდულით ტოლია $F = F_2 - F_1 = 100$ ნ-ის და მიმართულია ყუთის გადაადგილების მიმართულებით, ამიტომ ტოლქმედი ძალის მუშაობა იქნება დადებითი: $A_{\Sigma} = F \cdot s = 100 \cdot 50 = 5$ (კჯ).



ამოხსენით ამოცანები:

- დაფიქრდით და ივარაუდეთ, სრულდება თუ არა მექანიკური მუშაობა:
 - კალმით წერისას;
 - სუნთქვისას;
 - ფიქრისას;
 - თვალის დახამხამებისას.
 მოიყვანეთ მექანიკური მუშაობის შესრულების მაგალითები და ჩაწერეთ რვეულში.
- შეუძლია თუ არა მუშაობის შესრულება ქარს? მდინარეს? მოიყვანეთ სათანადო მაგალითები და იმსჯელეთ ამ მხრივ მიღებულ სარგებელზე.
- ამწე 1 კნ ძალის მოქმედებით ტვირთი 10 მ სიმაღლეზე აიტანა. განსაზღვრეთ ამწის მიერ შესრულებული მუშაობა.
- მოდრავ ავტომობილზე მოქმედი წევის ძალა 750 ნ-ია. განსაზღვრეთ ამ ძალის მიერ შესრულებული მუშაობა ავტომობილის მიერ 3 კმ-ის გავლისას.
- ჰორიზონტალურად მიმართული რა ძალით აწევს მუშა ყუთს, თუ ყუთის ამ ძალის მიმართულებით 10 მ მანძილზე გასრიალებისას შესრულებული მუშაობა 150 ჯ-ია?
- პირველ სხეულზე მოქმედი ძალა მოდულით 10-ჯერ მეტია მეორეზე მოქმედ ძალაზე. განსაზღვრეთ პირველ სხეულზე მოქმედი ძალის მიერ შესრულებული მუშაობის შეფარდება მეორე სხეულზე მოდებული ძალის მიერ შესრულებულ მუშაობასთან, თუ პირველმა სხეულმა ძალის მიმართულებით 500 მ გაირა, მეორემ კი – ასევე ძალის მიმართულებით – 1000 მ.
- მარხილი ჰორიზონტალურ ზედაპირზე გადაადგილდება თანაბრად ისე, რომ მასზე მოქმედი სრული წინააღმდეგობის ძალა 750 ნ-ია. განსაზღვრეთ მარხილზე მოქმედი წევის ძალა და მის მიერ შესრულებული მუშაობა 1 კმ მანძილის გავლისას.
- ცილინდრულ ჭურჭელში მოთავსებულ დგუშზე სითხე აწარმოებს P წნევას და გადაადგილებს მას L მანძილზე. განსაზღვრეთ ამ დროს სითხის მიერ შესრულებული მუშაობა, თუ დგუშის ფართობია S (სურ. 1.6)
- გლუვ ჰორიზონტალურ ზედაპირზე მოთავსებულ სხეულზე მოსდეს ერთი მიმართულების მქონე, ზედაპირის პარალელური ორი ძალა. პირველი ძალის მოდული 200 ნ-ია, მეორესი კი – 300 ნ. განსაზღვრეთ:
 - თითოეული ძალის მიერ შესრულებული მუშაობა სხეულის 15 მ მანძილის გავლისას;
 - ამ ძალების ტოლქმედის მუშაობა იმავე 15 მ მანძილის გავლისას.
- გლუვ ჰორიზონტალურ ზედაპირზე მოთავსებულ სხეულზე მოსდეს ურთიერთსაპირისპიროდ მიმართული ზედაპირის პარალელური ორი ძალა. პირველი ძალის მოდულია 100 ნ, მეორისა კი – 150 ნ. განსაზღვრეთ:
 - თითოეული ძალის მიერ შესრულებული მუშაობა სხეულის 10 მ მანძილის გავლისას;
 - ამ ძალების ტოლქმედის მიერ შესრულებული მუშაობა იმავე 10 მ მანძილის გავლისას.



სურ. 1.6

§ 1.3 სიმძიმის ძალის მუშაობა

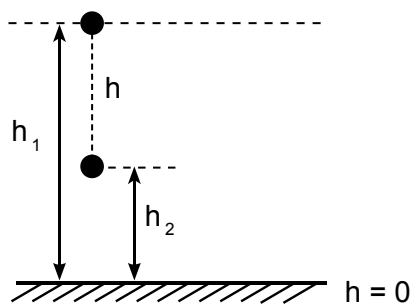
მე-7 კლასში თქვენ შეისწავლეთ სიმძიმის, დრეკადობისა და ხახუნის ძალები. გავეცნოთ თითოეული ამ ძალის მიერ შესრულებული მუშაობა. დავიწყეთ სიმძიმის ძალის მუშაობის შესწავლით.



გავიხსენოთ: სხეულზე მოქმედი სიმძიმის ძალა პირდაპირპროპორციულია სხეულის მასის, მიმართულია ვერტიკალურად ქვევით და მისი მოდული გამოითვლება ფორმულით: $F = mg$. პროპორციულობის g კოეფიციენტი დედამიწის ზედაპირის მახლობლად შეიძლება მივიჩნიოთ მუდმივად (დედამიწისთვის $g \approx 9,8$ ნ/კგ), შესაბამისად, მუდმივად მივიჩნიოთ ერთსა და იმავე სხეულზე მოქმედი სიმძიმის ძალაც.

განვიხილოთ სხეულის მოძრაობის სხვადასხვა შემთხვევა:

1. სხეულის ვერტიკალურად ქვევით მოძრაობისას სიმძიმის ძალის მიმართულება ემთხვევა გადაადგილების მიმართულებას, ამიტომ მის მიერ შესრულებული **მუშაობა დადებითია**. როდესაც სხეული გადაადგილება რაიმე დონიდან ათვლილი h_1 სიმაღლიდან h_2 სიმაღლემდე, ის გაივლის $h = h_1 - h_2$ მანძილს (სურ. 1.7). სიმძიმის ძალის მუშაობა ტოლი იქნება: $A = F_{\text{სიმძ}} \cdot h = F_{\text{სიმძ}} \cdot (h_1 - h_2)$. რადგან $F_{\text{სიმძ}} = mg$, მივიღებთ: $A = mg \cdot (h_1 - h_2)$.



სურ. 1.7

h_1 და h_2 სიმაღლეები სავალდებულო არაა ავითვალთ დედამიწის ზედაპირიდან. სიმაღლის ათვლა შეიძლება ნებისმიერი დონიდან, რომელსაც **ნულოვან დონეს** ვუწოდებთ. იგი შეიძლება იყოს მერხის ან სკამის ზედაპირი, საკლასო ოთახის იატაკი და ა. შ. განვლილ მანძილს ვითვლით სიმაღლეთა სხვაობით, რომელიც არაა დამოკიდებული ნულოვანი დონის არჩევაზე. ნულოვანი დონიდან ათვლილი h სიმაღლიდან ამ დონეზე სხეულის დაშვებისას სიმძიმის ძალის მუშაობა ტოლი იქნება:

$$A = mgh$$

2. სხეულის ჰორიზონტალური მიმართულებით მოძრაობისას სიმძიმის ძალის მიმართულება მოძრაობის მიმართულებასთან 90° -იან კუთხეს ქმნის. ამიტომ ამ ძალის მიერ შესრულებული **მუშაობა ნულის ტოლია**.

სხეულის ჰორიზონტალური მიმართულებით მოძრაობისას სიმძიმის ძალის მუშაობა ნულის ტოლია.

3. სხეულის ვერტიკალურად ზევით მოძრაობისას სიმძიმის ძალა მიმართულია მოძრაობის საპირისპიროდ, ამიტომ მისი **მუშაობა უარყოფითია**. სხეულის ასვლისას ნულოვანი დონიდან h სიმაღლემდე სიმძიმის ძალის მიერ შესრულებული მუშაობა ტოლი იქნება:

$$A = -mgh$$

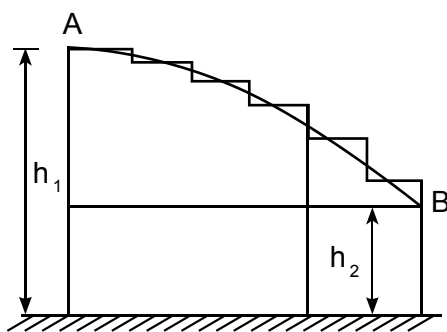
4. სხეული მოძრაობს ნებისმიერი AB მრუდის გასწვრივ (სურ. 1.8). წარმოვადგინოთ ეს მრუდი საფეხურების მსგავსი ისეთი ტეხილის სახით, რომელიც შედგება იმდენად მცირე ვერტიკალური და ჰორიზონტალური უბნებისგან, რომ მრუდზე მოძრაობა შეგვიძლია ტეხილზე მოძრაობით შევცვალოთ. მის ჰორიზონტალურ უბნებზე მოძრაობისას სიმძიმის ძალა მუშაობას არ ასრულებს. ამიტომ, განვიხილოთ მუშაობა ვერტიკალურ

უბნებზე. ვინაიდან ვერტიკალური უბნების სიმაღლეთა ჯამი $(h_1 - h_2)$ -ის ტოლია, ამიტომ სხეულის ამ უბნებზე მოძრაობისას შესრულებული ჯამური მუშაობა ტოლია მუშაობის, რომელსაც შეასრულებდა სიმძიმის ძალა სხეულის ვერტიკალური გადაადგილებისას $(h_1 - h_2)$ სიმაღლეზე. ამრიგად, სიმძიმის ძალის მუშაობა AB მრუდის გასწვრივ გამოითვლება იმავე ფორმულით: $A = mg(h_1 - h_2)$.

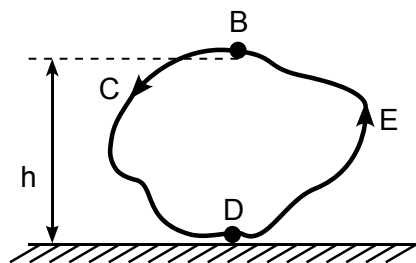
სიმძიმის ძალის მუშაობა არ არის დამოკიდებული ტრაექტორიის ფორმაზე, ის დამოკიდებულია მხოლოდ ტრაექტორიის საწყისი და საბოლოო წერტილების სიმაღლეთა სხვაობაზე.

5. სხეული მოძრაობს შეკრულ (ჩაკეტილ) ტრაექტორიაზე, ვთქვათ, BCDEB მრუდის გასწვრივ (სურ. 1.9) სხეულის გადაადგილებისას B-დან D წერტილში BCD მრუდის გასწვრივ სიმძიმის ძალის მუშაობა ტოლია: $A_1 = mgh$, ხოლო D-დან B წერტილში DEB მრუდის გასწვრივ მისი მუშაობაა $A_2 = -mgh$. ჯამური მუშაობა მთელ ტრაექტორიაზე ტოლი იქნება:

$$A = A_1 + A_2 = mgh + (-mgh) = 0.$$



სურ. 1.8



სურ. 1.9

შეკრულ ტრაექტორიაზე სხეულის მოძრაობისას სიმძიმის ძალის მიერ შესრულებული მუშაობა ნულის ტოლია.

ძალებს, რომელთა მუშაობა შეკრულ ტრაექტორიაზე ნულის ტოლია, კონსერვატიული ძალები ეწოდება.

სიმძიმის ძალა კონსერვატიული ძალაა. მომავალში ჩვენ სხვა კონსერვატიულ ძალებსაც გავეცნობით.

დასკვნები:

- სიმძიმის ძალის მუშაობა სხეულის ქვემოთ მოძრაობისას დადებითია და h სიმაღლით დაშვებისას გამოითვლება ფორმულით: $A = mgh$;
- სიმძიმის ძალის მუშაობა სხეულის ზემოთ მოძრაობისას უარყოფითია და h სიმაღლით აწევისას გამოითვლება ფორმულით: $A = -mgh$;
- სხეულის ჰორიზონტალურ ზედაპირზე მოძრაობისას სიმძიმის ძალის მუშაობა ნულის ტოლია: $A = 0$;
- სიმძიმის ძალის მუშაობა დამოკიდებული არ არის ნულოვანი დონის არჩევაზე, სხეულის მოძრაობის ტრაექტორიის ფორმაზე და იგი მუდამ ტოლია სიმძიმის ძალის მოდულის ნამრავლისა საწყისი და საბოლოო მდებარეობების სიმაღლეთა სხვაობაზე: $A = mg(h_1 - h_2)$;
- შეკრულ (ჩაკეტილ) ტრაექტორიაზე სიმძიმის ძალის მუშაობა ნულის ტოლია;
- სიმძიმის ძალა კონსერვატიული ძალაა.

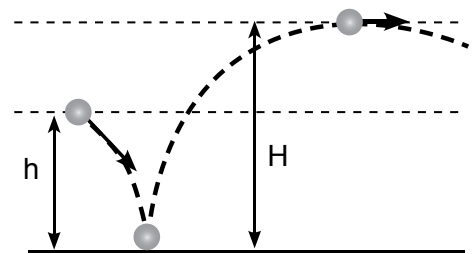
საკონტროლო კითხვები:

1. რა შემთხვევაში ასრულებს სიმძიმის ძალა დადებით მუშაობას? უარყოფით მუშაობას? არ ასრულებს მუშაობას?
2. რატომ არ არის დამოკიდებული სიმძიმის ძალის მუშაობა ნულოვანი დონის არჩევაზე?
3. არის თუ არა დამოკიდებული სიმძიმის ძალის მუშაობა ტრაექტორიის ფორმაზე?
4. რისი ტოლია სიმძიმის ძალის მუშაობა შეკრული მრუდის შემოვლისას?
5. შემცირდება, გაიზრდება თუ უცვლელი დარჩება მოსწავლეზე მოქმედი სიმძიმის ძალის მუშაობა, თუ ის სკოლაში წასვლისას ლიფტის ნაცვლად კიბით ისარგებლებს?
6. რა მუშაობა შეასრულა თქვენზე მოქმედმა სიმძიმის ძალამ მთელი დღის განმავლობაში, თუ დილით გასული სალამოს სახლში დაბრუნდით?
7. რისი ტოლია იატაკის მხრიდან ადამიანზე მოქმედი რეაქციის ძალის მუშაობა მისი მოძრაობისას?
8. როგორი ტიპის ძალაა სიმძიმის ძალა?
9. შეიცვლება თუ არა პარაგრაფში მოყვანილი დებულებები, თუ დედამიწიდან მარსზე გადავინაცვლებთ?



ერთად ამოვხსნათ ამოცანა

ბიჭი $h = 50$ სმ სიმაღლიდან გარკვეული სიჩქარით იატაკისკენ ისვრის 50 გ მასის რეზინის ბურთს. ბურთი ირეკლება იატაკიდან და ადის მაქსიმალურ $H = 80$ სმ სიმაღლემდე (სურ. 1.10). განსაზღვრეთ ბურთზე მოქმედი სიმძიმის ძალის მიერ შესრულებული მუშაობა: ა) იატაკამდე მოძრაობისას; ბ) ბურთის იატაკიდან მაქსიმალურ სიმაღლეზე ასვლისას ($g \approx 10$ ნ/კგ).



სურ. 1.10

ამოხსნა:

მოც:

$h=50$ სმ $=0,5$ მ;
 $H=80$ სმ $=0,8$ მ;
 $m=50$ გ $=0,05$ კგ;
 $g \approx 10$ ნ/კგ.
 უ.პ. A_1, A_2

ა) ბურთის გატყორცნიდან იატაკზე დაცემამდე სიმძიმის ძალა ასრულებს დადებით მუშაობას. რადგან სიმძიმის ძალის მიერ შესრულებული მუშაობა დამოკიდებულია მხოლოდ სხეულის საწყის და საბოლოო მდებარეობებს შორის დონეთა სხვაობაზე, ამიტომ:

$$A_1 = mgh = 0,05 \cdot 10 \cdot 0,5 = 0,25 \text{ ჯ.}$$

ბ) იატაკიდან არეკვლის შემდეგ მაქსიმალურ სიმაღლეზე ასვლამდე სიმძიმის ძალის მუშაობა უარყოფითია. ამ შემთხვევაშიც მნიშვნელობა არ აქვს ბურთის მოძრაობის ტრაექტორიას, ამიტომ

$$A_2 = -mgH = -0,05 \cdot 10 \cdot 0,8 = -0,4 \text{ ჯ.}$$

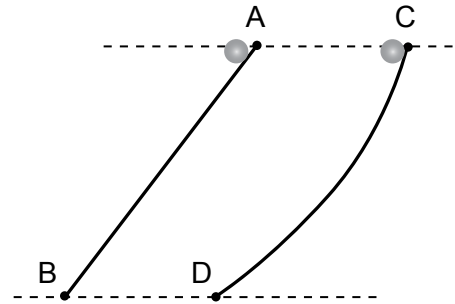


ამოხსენით ამოცანები:

1. დედამიწის ზედაპირიდან 3 მეტრი სიმაღლის აივნიდან გადმოვარდა 500 გ მასის ბურთი. განსაზღვრეთ ვარდნისას ბურთზე მოქმედი სიმძიმის ძალის მიერ შესრულებული მუშაობა ($g \approx 10$ ნ/კგ).
2. 10 კგ მასის სხეული ვარდება 20 მეტრი სიმაღლიდან, ხოლო $2,5$ კგ მასის სხეული – 10 მეტრი სიმაღლიდან. განსაზღვრეთ, რამდენჯერ აღემატება ვარდნისას პირველ

სხეულზე მოქმედი სიმძიმის ძალის მიერ შესრულებული მუშაობა მეორე სხეულზე მოქმედ სიმძიმის ძალის მუშაობას.

3. ერთი და იგივე სხეული გორდება ჯერ A წერტილიდან B-ში, შემდეგ კი C-დან D-ში. ივარაუდეთ, რომელ შემთხვევაში იქნება მეტი სიმძიმის ძალის მიერ შესრულებული მუშაობა, თუ AC და BD წრფეები ჰორიზონტალურია (სურ. 1.11)?



სურ. 1.11

4. ნინა ამოცანის პირობის მიხედვით, განსაზღვრეთ სიმძიმის ძალის მიერ შესრულებული მუშაობა, თუ სხეულის მასა 5 კგ-ია, მანძილი A წერტილიდან BD წრფემდე კი 10 მეტრი ($g=10 \text{ ნ/კგ}$).

5. ჰორიზონტალური გზის ერთი მხრიდან მეორეზე გადასასვლელად მოსწავლემ მიწისქვეშა გადასასვლელით ისარგებლა. განსაზღვრეთ სიმძიმის ძალის მიერ შესრულებული მუშაობა:

- ა) გადასასვლელში ჩასვლისას;
- ბ) გადასასვლელიდან ამოსვლისას;
- გ) გადასასვლელით სარგებლობისას.

მოსწავლის მასა 50 კგ-ია, მიწისქვეშა გადასასვლელის სიღრმე კი 4 მეტრია ($g=10 \text{ ნ/კგ}$).

6. დედამიწის გარშემო ბრუნავს ხელოვნური თანამგზავრი სახელად „საერთაშორისო კოსმოსური სადგური“ ისე, რომ მისი დაშორება დედამიწიდან არ იცვლება. განსაზღვრეთ თანამგზავრზე დედამიწის მხრიდან მოქმედი მიზიდულობის ძალის მიერ შესრულებული მუშაობა თანამგზავრის ერთი ბრუნის შესრულებისას (სურ. 1.12).

მოიძიეთ ინფორმაცია „საერთაშორისო კოსმოსური სადგური“-ს შესახებ. ვებგვერდზე www.youtube.com ჩაწერეთ საძიებო ფრაზა „international space station live“.

7. ატრაქციონ „ამერიკული მთების“ ვაგონებები მოძრაობისას რთული ფორმის ტრაექტორიას აღწერს. რისი ტოლი იქნება ვაგონებზე მოქმედი სიმძიმის ძალის მიერ ერთ სრულ გზაზე შესრულებული მუშაობა (სურ. 1.13).



სურ. 1.12



სურ. 1.13

8. 5 კგ მასის აგური ჯერ მაღლა ასწიეს 20 მეტრით, შემდეგ კი 5 მეტრით ქვევით დაუშვეს. განსაზღვრეთ აგურზე მოქმედი სიმძიმის ძალის მიერ შესრულებული მუშაობა ა) აწევისას; ბ) დაწევისას; გ) მთლიან გზაზე.

9. დედამიწის ზედაპირიდან h სიმაღლეზე m მასის სხეულის აწევისას სხეულზე მოქმედი სიმძიმის ძალა ასრულებს A-ს ტოლ მუშაობას. რისი ტოლი იქნება სიმძიმის ძალის მუშაობა, თუ $2m$ მასის სხეულს მარსის ზედაპირიდან $5h$ სიმაღლეზე ავიტანთ? მიიჩნიეთ, რომ $g_{\text{დედამიწა}} = 2,5 \cdot g_{\text{მარსი}}$.

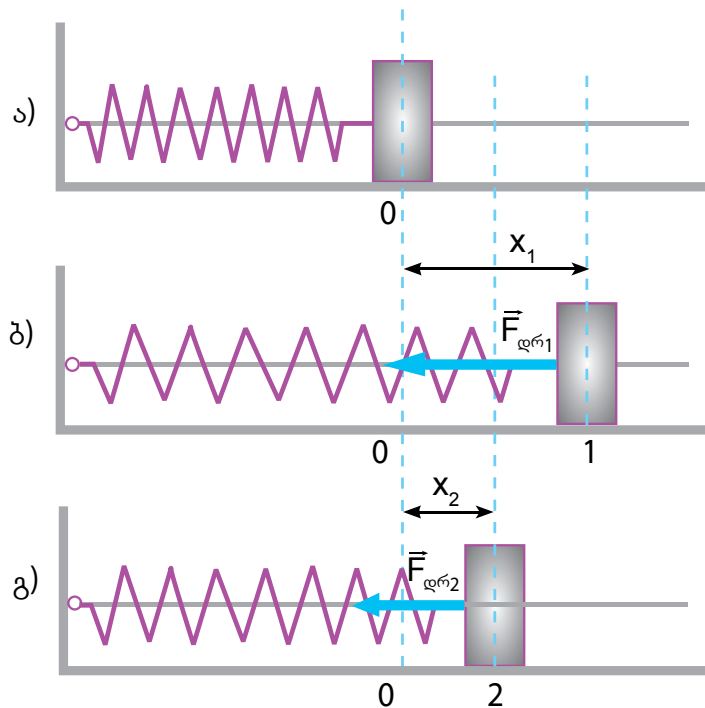
10. გვანცა პირველი სართულიდან მეორეზე ავიდა. ამ დროს მასზე მოქმედმა სიმძიმის ძალამ -800 ჯ მუშაობა შეასრულა. რისი ტოლია გვანცას მასა, თუ სართულის სიმაღლე 4 მეტრია? რისი ტოლი იქნება სიმძიმის ძალის მიერ შესრულებული მუშაობა, თუ ის მეორე სართულიდან მეხუთეზე ავა ($g=10 \text{ ნ/კგ}$)?

§ 1.4 დრეკადობის ძალის მუშაობა

ჩვენთვის ცნობილია, რომ დრეკადობის ძალა წარმოიქმნება დრეკადი სხეულების დეფორმაციისას. ჰუკის კანონის თანახმად, ამ ძალის მოდული პროპორციულია დეფორმაციის მოდულის და მიმართულია სხეულის შემადგენელი ნაწილაკების გადაადგილების საწინააღმდეგოდ.

განვიხილოთ არადეფორმირებული ზამბარა, რომლის მარცხენა ბოლო დამაგრებულია, მეორე ბოლოზე კი მიმაგრებულია ძელაკი (სურ. 1.14 ა). ძელაკს შეუძლია მოძრაობა გლუვ ზედაპირზე. გადავაადგილოთ ის x_1 მანძილით მარჯვნივ (სურ. 1.14 ბ), ძელაკი წაიყოლებს ზამბარის ბოლოს, ზამბარა გაიჭიმება და მასში აღიძვრება დრეკადობის ძალა, რომელიც ძელაკზე მოქმედებს მარცხნივ – მისი საწყისი მდებარეობისაკენ. ამ ძალის მოდული ტოლია: $F_{\text{დრ1}} = kx_1$, რომელშიც k ზამბარის სიხისტეა.

გავათავისუფლოთ ძელაკი. დრეკადობის ძალის მოქმედებით ის ამოძრავდება მარცხნივ და ეს ძალა შეასრულებს დადებით მუშაობას. გამოვთვალოთ ეს მუშაობა.

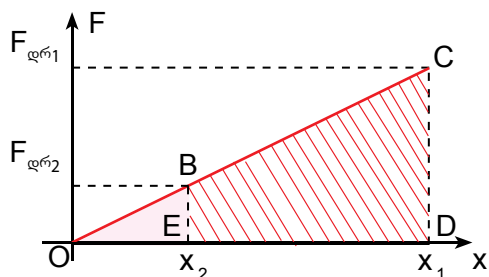


სურ. 1.14

ვთქვათ, ძელაკი გადაადგილდა 1-დან მე-2 მდებარეობაში (სურ. 1.14 გ), რომელშიც ზამბარის დეფორმაციაა x_2 . ამ მოძრაობისას ძელაკმა გაიარა $s = x_1 - x_2$ მანძილი. მუშაობის გამოსათვლელად საჭიროა ეს მანძილი გავამრავლოთ დრეკადობის ძალის მოდულით. მაგრამ დრეკადობის ძალის მოდული ძელაკის მოძრაობისას მუდმივი არ არის. თუ საწყის წერტილში ის kx_1 -ის ტოლი იყო, საბოლოო წერტილში kx_2 -ის ტოლია. ჩვენ კი მუშაობის გამოთვლა ჯერ მხოლოდ მუდმივი ძალისათვის ვიცით.

იბადება კითხვა: როგორ ვიპოვოთ დრეკადობის ძალის მიერ შესრულებული მუშაობა ამ შემთხვევაში? ამისათვის გამოვიყენოთ მუშაობის გეომეტრიული აზრი. ავავოთ ზამბარის დრეკადობის F ძალის მის x წაგრძელებაზე დამოკიდებულების გრაფიკი, რომელიც წარმოადგენს კოორდინატთა სათავეზე გამავალ OC წრფის მონაკვეთს (სურ. 1.15).

ძელაკის $(x_1 - x_2)$ მანძილზე გადაადგილებისას დრეკადობის ძალის მიერ შესრულებული მუშაობა ტოლია BCDE ოთკუთხედის ფართობის. სურ. 1.15-დან ჩანს, რომ $S_{BCDE} = S_{COD} - S_{BOE}$. COD და BOE სამკუთხედები მართკუთხაა. მართკუთხა სამკუთხედის ფართობი კი კათეტების ნამრავლის ნახევრის ტოლია:



სურ. 1.15

$$S_{COD} = \frac{OD \cdot CD}{2}; S_{BOE} = \frac{OE \cdot BE}{2}.$$

თუ გავითვალისწინებთ, რომ $OD = x_1$, ხოლო $OE = x_2$, აგრეთვე, CD ტოლია $F_{დრ1}$ -ის, BE კი $F_{დრ2}$ -ის, მივიღებთ:

$$A = \frac{F_{დრ1} x_1}{2} - \frac{F_{დრ2} x_2}{2} = \frac{kx_1 \cdot x_1}{2} - \frac{kx_2 \cdot x_2}{2} = \frac{kx_1^2}{2} - \frac{kx_2^2}{2}.$$

მუშაობის ამ ფორმულის მიღება შეიძლება შემდეგი მსჯელობითაც: ვინაიდან დრეკადობის ძალა დეფორმაციის პროპორციულია, დრეკადობის ძალის საშუალო მნიშვნელობა შეიძლება ვიპოვოთ შემდეგნაირად:

$$F_{საშ.} = \frac{F_{დრ1} + F_{დრ2}}{2} = \frac{kx_1 + kx_2}{2} = \frac{k}{2} (x_1 + x_2),$$

მუშაობის გამოსათვლელად ძალის საშუალო მნიშვნელობა უნდა გავამრავლოთ გავლილ მანძილზე $-(x_1 - x_2)$ -ზე. მივიღებთ:

$$A = \frac{k}{2} (x_1 + x_2) \cdot (x_1 - x_2) = \frac{kx_1^2}{2} - \frac{kx_2^2}{2}.$$

თუ ზამბარის საწყისი დეფორმაციაა $x_1 = x$ და იგი უბრუნდება არადეფორმირებულ მდგომარეობას ($x_2 = 0$), მაშინ დრეკადობის ძალა შეასრულებს მუშაობას:

$$A = \frac{kx^2}{2}$$

ეს ფორმულა შეიძლება ასეც ჩავწეროთ: $A = \frac{kx \cdot x}{2}$. მაგრამ $kx = F$ არის დრეკადობის ძალა ზამბარის x დეფორმაციისას, ამიტომ დრეკადობის ძალის მუშაობა, ამ შემთხვევაში, შეიძლება ასეც გამოვსახოთ:

$$A = \frac{F \cdot x}{2}$$

საინტერესოა, რომ არსებობს გარკვეული მსგავსება სიმძიმისა და დრეკადობის ძალის მუშაობებს შორის. თუ დავაკვირდებით ამ ძალების მუშაობის გამომსახველ ფორმულებს, შევამჩნევთ, რომ ორივე შემთხვევაში მუშაობა დამოკიდებულია სხეულის სანყის და საბოლოო მდებარეობაზე. სიმძიმის ძალის მუშაობის ფორმულაში h სიმაღლე განსაზღვრავს სხეულის მდებარეობას, მაგალითად, დედამიწის ზედაპირის მიმართ. დრეკადო-

ბის ძალის მუშაობის ფორმულაში X წაგრძელება განსაზღვრავს, მაგალითად, ზამბარის მოძრავი ბოლოს მდებარეობას მისი სანყისი მდებარეობის მიმართ.

ზამბარის გაჭიმვისას (შეკუმშვისას) დრეკადობის ძალა მიმართულია ზამბარის ნაწილების გადაადგილების სანინალმდეგოდ, ამიტომ მისი მუშაობა უარყოფითია. უკვე გაჭიმული (შეკუმშული) ზამბარის არადეფორმირებულ მდგომარეობაში დაბრუნებისას დრეკადობის ძალა მიმართულია გადაადგილების მიმართულებით, შესაბამისად, მისი მუშაობა დადებითია. ეს მუშაობა მოდულით ტოლია, ესე იგი, თუ ზამბარას გავჭიმავთ (ან შევკუმშავთ) და შემდეგ სანყის მდგომარეობაში დავაბრუნებთ, დრეკადობის ძალის სრული მუშაობა ნულის ტოლი იქნება. მივიღეთ: სხეულის შეკრულ ტრაექტორიაზე მოძრაობისას მასზე მოქმედი დრეკადობის ძალის მუშაობა ნულის ტოლია.

სიმძიმის ძალის მუშაობის მსგავსად **დრეკადობის ძალის მუშაობა დამოკიდებული არ არის ტრაექტორიის ფორმაზე. ის დამოკიდებულია მხოლოდ ზამბარის სანყის და საბოლოო დეფორმაციაზე და შეკრულ ტრაექტორიაზე ნულის ტოლია.**

დრეკადობის ძალა კონსერვატიული ძალაა.

დასკვნები:

- ერთი ბოლოთი დამაგრებული ზამბარის გაჭიმვისა და შეკუმშვისას დრეკადობის ძალა უარყოფით მუშაობას ასრულებს;
- ერთი ბოლოთი დამაგრებული ზამბარის დეფორმირებულიდან არადეფორმირებულ მდგომარეობაში დაბრუნებისას დრეკადობის ძალის მუშაობა დადებითია;
- ზამბარის დეფორმაციის ცვლილებისას X_1 -დან X_2 -მდე, დრეკადობის ძალის მიერ შესრულებული მუშაობა გამოითვლება ფორმულით: $A = \frac{kx_1^2}{2} - \frac{kx_2^2}{2}$;
- X -ით დეფორმირებული ზამბარის არადეფორმირებულ მდგომარეობაში გადასვლისას დრეკადობის ძალა ასრულებს მუშაობას, რომელიც გამოითვლება $A = \frac{kx^2}{2}$ ფორმულით;
- დრეკადობის ძალის მუშაობა დამოკიდებულია მხოლოდ ზამბარის სანყის და საბოლოო დეფორმაციაზე;
- შეკრულ ტრაექტორიაზე დრეკადობის ძალის მიერ შესრულებული მუშაობა ნულის ტოლია;
- დრეკადობის ძალა კონსერვატიული ძალაა.

საკონტროლო კითხვები:

- ერთი ბოლოთი დამაგრებული ზამბარის შეკუმშვის ან გაჭიმვისას, რატომ ასრულებს დრეკადობის ძალა უარყოფით მუშაობას?
- ერთი ბოლოთი დამაგრებული დეფორმირებული ზამბარის არადეფორმირებულ მდგომარეობაში დაბრუნებისას რატომ ასრულებს დრეკადობის ძალა დადებით მუშაობას?
- რა ნიშანი აქვს ზამბარის გაჭიმვისას (შეკუმშვისას) დეფორმაციის გამომწვევი გარეშე ძალის მუშაობას?
- რატომაა შედარებით რთული დრეკადობის ძალის მუშაობის გამოთვლა?
- რა მსგავსებაა სიმძიმისა და დრეკადობის ძალის მუშაობას შორის?



ერთად ამოვხსნათ ამოცანა

ჯოხის მინაში ჩარჭობისას მასზე მოქმედი წინააღმდეგობის ძალა თანაბრად იზრდება ჯოხის ჩარჭობის სიღრმის მიხედვით, ამიტომ თანაბრად უნდა ვზარდოთ ჩასარჭობად საჭირო დაწოლის ძალაც. განსაზღვრეთ ჯოხის 30 სმ-ით ჩარჭობისას შესრულებული მუშაობა, თუ ჩარჭობის დასრულებისას დაწოლის ძალა 200 ნ-ს აღწევს. ჯოხის მასას ნუ გაითვალისწინებთ.

ამოხსნა:

მოც:

$h=30$ სმ $=0,3$ მ;

$F_1=0$ ნ;

$F_2=200$ ნ;

უ.ვ. A

ჯოხის მინაში ჩარჭობის დაწყების მომენტში დაწოლის ძალის მნიშვნელობაა $F_1 = 0$ ნ. ჩარჭობის დამთავრებისას დაწოლის ძალაა $F_2 = 200$ ნ. რადგან ჩარჭობასთან ერთად ჯოხზე დაწოლის ძალა თანაბრად იზრდება, შეგვიძლია ვთქვათ, რომ ჩარჭობისას ჯოხზე დაწოლის ძალის საშუალო მნიშვნელობაა: $F_{\text{საშ}} = \frac{F_1 + F_2}{2}$.

ჩარჭობისას შესრულებული მუშაობა იქნება: $A = F_{\text{საშ}} \cdot h = 30$ ჯ.

ეს მეთოდი შეიძლება გამოიყენოთ ისეთი ამოცანების ამოხსნისას, რომლებშიც გავლილი მანძილის მიხედვით თანაბრად ცვლადი ძალის მუშაობის გამოთვლაა საჭირო.



ამოხსენით ამოცანები:

1. განსაზღვრეთ, დადებითია თუ უარყოფითი დრეკადობის ძალის მიერ შესრულებული მუშაობა:

- არადეფორმირებული ზამბარის გაჭიმვისას;
- არადეფორმირებული ზამბარის შეკუმშვისას.

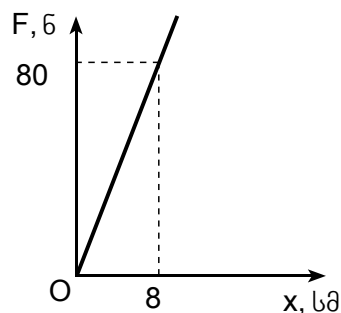
2. ალბათ გინახავთ, კარი გაღებული რომ არ დარჩეს, მასზე ერთი ბოლოთი მიბმულია ზამბარა, რომლის მეორე ბოლო უძრავადაა დამაგრებული. დადებითია თუ უარყოფითი კარზე მოქმედი დრეკადობის ძალის მიერ შესრულებული მუშაობა, როდესაც კარს ვაღებთ? როდესაც გაჭიმული ზამბარა გაღებულ კარს ხურავს?

3. რა მუშაობა უნდა შევასრულოთ, რომ 500 ნ/მ სიხისტის არადეფორმირებული ზამბარა 10 სმ-ით გავჭიმოთ? რისი ტოლია ამ დროს დრეკადობის ძალის მიერ შესრულებული მუშაობა?

4. ზამბარა ისეა გაჭიმული, რომ მასში აღძრული დრეკადობის ძალა 100 ნ-ია. ზამბარა კიდევ 10 სმ-ით გაჭიმეს, რის გამოც დრეკადობის ძალა 500 ნ-ის ტოლი გახდა. განსაზღვრეთ ზამბარის მეორედ გაჭიმვაზე შესრულებული მუშაობა და ზამბარის სიხისტე.

5. სურ. 1.16-ზე გამოსახულია ერთი ბოლოთი დამაგრებულ ზამბარაში აღძრული დრეკადობის ძალის ზამბარის დეფორმაციაზე დამოკიდებულების გრაფიკი. განსაზღვრეთ ზამბარის სიხისტე და მისი 8 სმ-ით გაჭიმვისას შესრულებული მუშაობა.

6. ჰორიზონტალურად მოთავსებული 200 ნ/მ სიხისტის არადეფორმირებული ზამბარა ერთი ბოლოთი გამოხეულია კედელზე. განსაზღვრეთ ზამბარის 10 სმ-ით გაჭიმვისას შესრულებული მუშაობა და დახაზეთ დრეკადობის ძალის წაგრძელებაზე დამოკიდებულების გრაფიკი. რა ფიზიკური აზრი აქვს ამ გრაფიკის ქვეშ არსებულ ფიგურის ფართობს?



სურ. 1.16

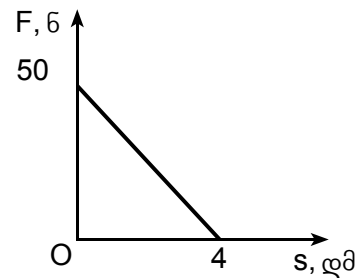
7. 800 ნ/მ სიხისტის მქონე 5 სმ-ით გაჭიმული ზამბარა კიდევ 3 სმ-ით გაჭიმეს. განსაზღვრეთ ზამბარის მეორედ გაჭიმვისას შესრულებული მუშაობა.

მინიშნება: გამოითვალეთ ზამბარაში აღძრული დრეკადობის ძალის მოდულები 5 და 8 სმ დეფორმაციების დროს. შემდეგ გამოითვალეთ ძალის საშუალო მნიშვნელობა.

8. კიდევ რამდენი სანტიმეტრით უნდა გავჭიმოთ 1000 ნ/მ სიხისტის ზამბარა, რომ მასში აღძრული დრეკადობის ძალა 100 ნ-დან 300 ნ-მდე გაიზარდოს? განსაზღვრეთ ამ გაჭიმვისას შესრულებული მუშაობა.

მინიშნება: განსაზღვრეთ ზამბარის სანყისი და საბოლოო დეფორმაციები.

9. სურ. 1.17-ზე მოცემული გრაფიკი გვიჩვენებს, თუ როგორ იცვლება სხეულზე მოდებული ძალა სხეულის გავლილი მანძილის მიხედვით. გრაფიკის გამოყენებით უპასუხეთ შემდეგ კითხვებს:



სურ. 1.17

ა) რისი ტოლია ძალის სანყისი მნიშვნელობა? ძალის მნიშვნელობა იმ მომენტში, როცა სხეულმა 4 დმ გაიარა?

ბ) როგორ იცვლება სხეულზე მოდებული ძალა?

გ) რისი ტოლია ძალის საშუალო მნიშვნელობა სხეულის მიერ 4 დმ-ის გავლისას?

დ) რა კავშირია ძალის მიერ შესრულებულ მუშაობასა და გრაფიკის ქვეშ გამოსახულ სამკუთხედის ფართობს შორის?

10. ფიცარში 10 სმ-ზე ჩარჭობილმა ლურსმანმა ამოძრობა დაიწყო, როცა მასზე მოსდეს ლურსმნის გასწვრივ მიმართული 100 ნ ძალა. ეს ძალა ლურსმნის ამოძრობისას თანაბრად მცირდება და ბოლოს ნულის ტოლი ხდება. განსაზღვრეთ ლურსმნის ბოლომდე ამოძრობისას შესრულებული მუშაობა. ლურსმნის მასას ნუ გაითვალისწინებთ.



საშინაო ცდა:

ცდის მიზანი: დრეკადობის ძალის მუშაობის განსაზღვრა.

ცდისთვის საჭიროა: ასანთის ორი კოლოფი, სასწორი, ხის ან ლითონის ორი სახაზავი, ქიქა და წყალი.

ცდის აღწერა: ასანთის ორ კოლოფზე ბოლოებით დადეთ სახაზავი. დადგით მის შუაში ქიქა და დაიწყეთ მასში წყლის ჩასხმა. ჩაასხით იმდენი წყალი, რომ სახაზავი მცირედ ჩაიღუნოს (სურ. 1.18), გაზომეთ h მანძილი, რომლითაც ჩაიწია სახაზავის შუა ნაწილმა. შემდეგ სასწორით განსაზღვრეთ წყლიანი ქიქის m მასა. მიიჩნიეთ, რომ ლუნვის დეფორმაციისას აღძრული დრეკადობის ძალა h -ის პროპორციულია და $A = -F_{\text{საშ}} \cdot h = -\frac{mg}{2} \cdot h$ ფორმულით გამოთვალეთ სახაზავის დრეკადობის ძალის მუშაობა.



სურ. 1.18

§ 1.5 ხახუნის ძალის მუშაობა

§ 1.6 სასარგებლო და სრული მუშაობა. მარგი ქმედების კოეფიციენტი

§ 1.7 სიმძლავრე. სიმძლავრის ერთეულები

ერთსა და იმავე სამუშაოს ორი განსხვავებული მანქანა ან მექანიზმი, საზოგადოდ, სხვადასხვა დროში ასრულებს – ერთი სწრაფად, მეორე – ნელა.

განვიხილოთ ასეთი მაგალითი: სახლის მშენებლობაზე მუშაობს ორი ამწე. ორივეს ააქვს ერთნაირი – 4 ტ მასის ტვირთი ერთსა და იმავე, 24 მ სიმაღლეზე. ასეთ შემთხვევაში ორივე ამწის მიერ შესრულებული მუშაობა ერთნაირია. გამოვთვალოთ ეს მუშაობა:

$$A_1 = A_2 = Fh = mgh = 4000 \text{ კგ} \cdot 106/\text{კგ} \cdot 24\text{მ} = 960000 \text{ ჯ}.$$

ვთქვათ, პირველი ამწე ტვირთის ატანას ანდომებს 2 წუთს, მეორე კი – 4 წუთს. რომელი ამწე ასრულებს დროის ერთეულში, მაგალითად, 1 წამში, მეტ მუშაობას?

ერთ წამში შესრულებული მუშაობის საპოვნელად საჭიროა მუშაობა გავყოთ მასზე დახარჯულ დროზე. აღვნიშნოთ მიღებული სიდიდე N -ით. პირველი ამწისათვის მივიღებთ:

$$N_1 = \frac{A_1}{t_1} = \frac{960000 \text{ ჯ}}{120 \text{ წმ}} = 8000 \text{ ჯ/წმ},$$

მეორე ამწისათვის:

$$N_2 = \frac{A_2}{t_2} = \frac{960000 \text{ ჯ}}{240 \text{ წმ}} = 4000 \text{ ჯ/წმ}.$$

N_1 და N_2 სიდიდეების მნიშვნელობები გვიჩვენებს, რომ პირველი ამწე წამში ორჯერ მეტ მუშაობას ასრულებს, ვიდრე – მეორე, ანუ ორჯერ უფრო სწრაფად მუშაობს, ვიდრე მეორე ამწე.

მუშაობის შესრულების სისწრაფეს ახასიათებენ ფიზიკური სიდიდით – სიმძლავრით.

სიმძლავრე ფიზიკური სიდიდეა, რომლითაც ხასიათდება მუშაობის შესრულების სისწრაფე და ტოლია შესრულებული მუშაობის ფარდობისა დროის იმ შუალედთან, რომლის განმავლობაშიც ეს მუშაობა შესრულდა:

$$N = \frac{A}{t}$$

რომელშიც N სიმძლავრეა, A – მუშაობა, t – ამ მუშაობის შესრულების დრო.

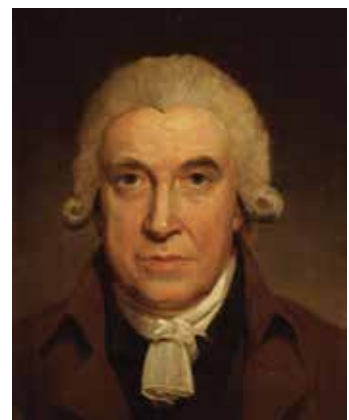
თუ სიმძლავრე დროის განმავლობაში იცვლება, მაშინ $\frac{A}{t}$ შეფარდებით განისაზღვრება საშუალო სიმძლავრე:

$$N_{\text{საშ}} = \frac{A}{t}$$

სიმძლავრის ერთეულს SI-ში ეწოდება ვატი (ცნობილი ბრიტანელი გამომგონებლის ჯეიმს უატის პატივსაცემად.

1 ვატი (ვტ) სიმძლავრე აქვს ისეთ მანქანას ან მექანიზმს, რომელიც 1 წმ-ში 1 ჯ მუშაობას ასრულებს: 1 ვტ = 1 ჯ/1 წმ.

დიდი სიმძლავრეების გასაზომად იყენებენ ვატის ჯერად ერთეულებს:



ჯეიმს უატი (1736-1819),
ბრიტანელი გამომგონებელი
– მექანიკოსი, უნივერსალური
ორთქლის მანქანის მშენებელი

1 კილოვატი = 1კვტ=10³ ვტ; 1 მეგავატი = 1 მგვტ=10⁶ ვტ; 1 გეგავატი = 1 გვტ=10⁹ ვტ.
 პატარა სიმძლავრეებისთვის იყენებენ ვატის წილად ნაწილებს:
 1 მილივატი = 1 მვტ = 10⁻³ ვტ; 1 მიკროვატი = 1 მკვტ = 10⁻⁶ ვტ.

სიმძლავრე გვიჩვენებს, რა მუშაობა სრულდება დროის ერთეულში. ამიტომ, თუ ცნობილია მექანიზმის N სიმძლავრე, შეგვიძლია ვიპოვოთ მის მიერ t დროში შესრულებული მუშაობა:

$$A = N \cdot t$$

ავტომობილის ძრავას სიმძლავრეს ხშირად ზომავენ არა ვატით, არამედ ცხენის ძალით (ცხ.ძ.). მისი კავშირი ვატთან ასეთია:

$$1 \text{ ცხ.ძ.} = 735,5 \text{ ვტ.}$$

დავუშვათ, საჭიროა გამოვთვალოთ მუდმივი v სიჩქარით მოძრავი ავტომობილის ძრავას სიმძლავრე. ძრავას მუშაობის შედეგად ავტომობილზე მოქმედებს F წევის ძალა. თუ ავტომობილმა s მანძილი გაიარა, მაშინ ძრავა შეასრულებს მუშაობას: $A = Fs$. ამასთან, თანაბარი მოძრაობისას $s = vt$, ამიტომ ძრავას სიმძლავრისთვის მივიღებთ:

$$N = \frac{A}{t} = \frac{Fs}{t} = Fv. \text{ ამრიგად,}$$

$$N = Fv$$

ამ ფორმულიდან ჩანს, რომ როდესაც ძრავას წევის ძალა მუდმივია, სიჩქარე სიმძლავრის პროპორციულია. მუდმივი სიმძლავრისას კი – რაც უფრო მცირეა სიჩქარე, მით უფრო დიდია წევის ძალა. სწორედ ამიტომ, ველოსიპედისტი აღმართში ასვლისას კბილანური გადაცემის (სურ. 1.27) რეგულირებით ამცირებს მოძრაობის სიჩქარეს და სიმძლავრის შეუცვლელად ზრდის წევის ძალას. ასევე იქცევა ავტომობილის მძღოლიც, რომელიც გადაცემათა კოლოფის მეშვეობით არეგულირებს სიჩქარეს და წევის ძალას.



სურ. 1.27

დასკვნები:

- სიმძლავრე ახასიათებს მუშაობის შესრულების სისწრაფეს;
- სიმძლავრე ტოლია შესრულებული მუშაობის ფარდობისა დროის იმ შუალედთან, რომლის განმავლობაშიც ეს მუშაობა შესრულდა: $N = \frac{A}{t}$;
- სიმძლავრის ერთეული SI-ში არის 1 ვატი (ვტ);
- სიმძლავრის საშუალებით შეგვიძლია ვიპოვოთ გარკვეულ დროში შესრულებული მუშაობა: $A = N \cdot t$;
- თანაბრი მოძრაობისას ძრავას სიმძლავრე წევის ძალისა და სიჩქარის ნამრავლის ტოლია: $N = Fv$;
- მუდმივი სიმძლავრისას წევის ძალა სიჩქარის უკუპროპორციულია: $F = \frac{N}{v}$.

საკონტროლო კითხვები:

1. რას გვიჩვენებს მანქანის ან მექანიზმის სიმძლავრე?
2. შესაძლებელია თუ არა ორი მანქანა ავითარებდეს ერთნაირ სიმძლავრეს, თუ მათი შესრულებული მუშაობები განსხვავებულია?
3. რატომ ამცირებს მძღოლი სიჩქარეს აღმართში ასვლისას?
4. როგორ გამოთვლით თქვენ მიერ განვითარებულ სიმძლავრეს ერთი სართულიდან მეორეზე კიბით ასვლისას?

მოიძიეთ ინფორმაცია, როგორაა დამოკიდებული ავტომობილზე (თვითმფრინავზე, გემზე) მოქმედი წინააღმდეგობის ძალა მის სიჩქარეზე.



დაფიქრდით, რატომ აქვთ სპორტულ ავტომობილებს დიდი სიმძლავრის ძრავები?



ერთად ამოვხსნათ ამოცანა

500 გ მასის მაგნიტს, რომელიც ლითონის ვერტიკალურ დაფას 40 ნიუტონი ძალით ეკვრის, 50 სმ/წმ სიჩქარით მიასრიალებენ ვერტიკალურად ზევით მიმართული F ძალის მოქმედებით. მაგნიტის დაფასთან ხახუნის კოეფიციენტი 0,2-ია. განსაზღვრეთ წევის ძალის მიერ განვითარებული სიმძლავრე ($g \approx 10$ ნ/კგ).

ამოხსნა:

მოც:
 $m=0,5$ კგ;
 $N=40$ ნ;
 $v=0,5$ მ/წმ;
 $\mu=0,2$;
 $g \approx 10$ ნ/კგ.
უ.ვ. P

რადგან მაგნიტს თანაბრად მიასრიალებენ, მასზე ვერტიკალურად ზევით მიმართული $\vec{F}$ ძალა მოდულით ტოლია მაგნიტზე მოქმედი სიმძიმისა და დაფასთან სრიალის ხახუნის ძალების ჯამისა: $F = mg + F_{\text{ხახუნი}}$. მაგნიტის დაფასთან სრიალის ხახუნის ძალა $F_{\text{ხახუნი}} = \mu N = 8$ ნ. რიცხვითი მნიშვნელობების ჩასმით მივიღებთ $F = 13$ ნ. მაგნიტის სიჩქარე მასზე მოქმედი წევის ძალის მიმართულებისაა, ამიტომ წევის ძალის მიერ განვითარებული სიმძლავრე იქნება: $P = Fv = 13 \cdot 0,5 = 6,5$ (ვტ).



ამოხსენით ამოცანები:

1. რას ნიშნავს გამონათქვამი: მექანიზმის სიმძლავრეა 100 ვტ? 2500 ვტ?
2. ტუმბოს სიმძლავრე 3 კვტ-ია. განსაზღვრეთ ტუმბოს მიერ 2 წმ-ში შესრულებული მუშაობა.
3. განსაზღვრეთ დროის შუალედი, რომელშიც 2 კვტ სიმძლავრის ამწე 10 კგ მუშაობას შეასრულებს.
4. განსაზღვრეთ მუშაობა, რომელსაც 14 კვტ სიმძლავრის ძრავა შეასრულებს 6 წმ-ის განმავლობაში.
5. ავტომობილზე მოქმედი წევის ძალა 700 ნ-ია. განსაზღვრეთ ავტომობილის თანაბარი მოძრაობისას განვითარებული სიმძლავრე, თუ მან ჰორიზონტალურ გზაზე 1 კმ მანძილი 50 წმ-ში გაიარა.
6. ამწემ 500 კგ მასის ტვირთი თანაბრად აიტანა 10 მ სიმაღლეზე. განსაზღვრეთ ტვირთის ასატანად საჭირო დრო, თუ ამწის მიერ განვითარებული სასარგებლო სიმძლავრე 5 კვტ-ია ($g \approx 10$ ნ/კგ). წინააღმდეგობის ძალები არ გაითვალისწინოთ.

7. ტუმბომ 5 მ სიღრმის ჭიდან 15 მ სიმაღლეზე არსებულ რეზერვუარში 50 ლ მოცულობის წყალი თანაბრად აიტანა 20 წმ-ში. განსაზღვრეთ ტუმბოს მიერ განვითარებული სიმძლავრე ($g \approx 10$ ნ/კგ). მიიჩნიეთ, რომ ტუმბოს მიერ შესრულებული მთელი მუშაობა წყლის ატანას მოხმარდა.

8. კატერი ტბაში მოძრაობს მუდმივი 15 მ/წმ სიჩქარით. მასზე მოქმედი წყლის წინააღმდეგობის ძალა 100 ნ-ია. განსაზღვრეთ კატერის ძრავას მიერ განვითარებული სიმძლავრე.

9. ამწემ 1 ტ მასის ტვირთი მუდმივი 1 მ/წმ სიჩქარით აიტანა გარკვეულ სიმაღლეზე. განსაზღვრეთ ამწის მიერ განვითარებული სიმძლავრე ($g \approx 10$ ნ/კგ).

10. მიწაზე უდიდესი წახნაგით დევს 5 ერთნაირი აგური. თითოეული აგურის სიგრძე, სიგანე და სიმაღლე შესაბამისად არის: 20 სმ, 10 სმ და 5 სმ. განსაზღვრეთ ხუთივე აგურის იმავე წახნაგებით ერთმანეთზე დაწყობისას განვითარებული სიმძლავრე, თუ დასაწყობად საჭირო დრო 9 წამია ($g \approx 10$ ნ/კგ).



საშინაო ცდა:

ცდის მიზანი: ბურთულის მიერ მუშაობის შესრულების უნარის შესწავლა.

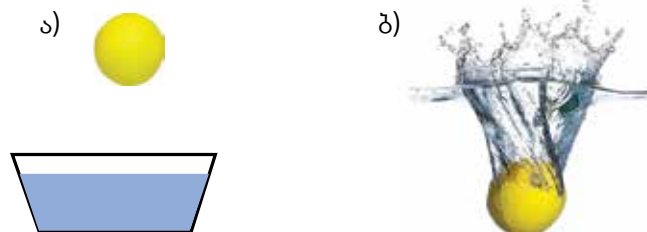
ცდისთვის საჭიროა: პლასტმასის განიერი წელიანი ჭურჭელი; სხვადასხვა ზომის პლასტელინის ბურთულები.

ცდის აღწერა: აიღეთ ყველაზე პატარა პლასტელინის ბურთულა. ფრთხილად მიიტანეთ წყლის ზედაპირთან და გაუშვით ხელი (სურ. 1.28 ა). შემდეგ ბურთულა სხვადასხვა სიმაღლიდან ჩააგდეთ წყალში. რომელ შემთხვევაში გადაისხმება წყლის შხეფები ყველაზე დიდ მანძილზე (სურ. 1.28 ბ)?



დაფიქრდით და ეცადეთ უპასუხოთ კითხვებს:

- ასრულებს, თუ არა მუშაობას ბურთულა წყალში ჩავარდნისას?
- რომელ შემთხვევაშია შესრულებული მუშაობა მეტი?
- რომელ შემთხვევაში იქნება ბურთულის სიჩქარე მეტი წყლის ზედაპირთან შეხებისას?
- გაიმეორეთ ცდა უფრო დიდი ბურთულით. დააკვირდით, ერთი და იმავე სიმაღლიდან ჩამოვარდნისას, რომელი ბურთულა გამოიწვევს მეტ შხეფებს – დიდი თუ პატარა?
- თქვენი აზრით, რომელი ბურთულა ასრულებს მეტ მუშაობას?
- გააანალიზეთ მიღებული შედეგები და ჩაინერეთ რვეულში.



სურ. 1.28

§ 1.8 ენერგია

განვიხილოთ საშინაო ცდაში მიღებული შედეგები:

ბურთულის წყალში ჩავარდნისას წარმოიქმნებოდა შხეფები, ე.ი. ბურთულა ასრულებდა მუშაობას.

რაც უფრო დიდი სიმაღლიდან აგდებდით ბურთულას წყალში, წარმოიქმნებოდა უფრო დიდი შხეფები, ე.ი. ბურთულა ასრულებდა მეტ მუშაობას. დიდი ბურთულის ჩაგდებისას შხეფების ზომა იზრდებოდა – იგი მეტ მუშაობას ასრულებდა.

რატომ გაუჩნდა ბურთულას მუშაობის შესრულების უნარი? მას იზიდავს დედამიწა – დედამიწა და ბურთულა ურთიერთქმედებს. სიმაღლეზე ატანილი ბურთულა იწყებს ვარდნას, მატულობს მისი სიჩქარე და წყალში ჩავარდნისას ის ასრულებს მუშაობას.

თუ სხეულს (სხეულთა სისტემას) შეუძლია შეასრულოს მუშაობა, ამბობენ, რომ მას აქვს ენერგია. ენერგია ძველი ბერძნული სიტყვაა და ქმედებას ნიშნავს.

ენერგია ფიზიკური სიდიდეა, რომელიც განისაზღვრება იმ მუშაობით, რომლის შესრულებაც შეუძლია სხეულს (სხეულთა სისტემას).

რაც უფრო მეტი მუშაობის შესრულება შეუძლია სხეულს (სხეულთა სისტემას), მით უფრო მეტი ენერგია აქვს მას.

ენერგიის განსაზღვრებიდან გამომდინარეობს, რომ იგი იზომება მუშაობის ერთეულებში. SI-ში ენერგიის ერთეულია 1 ჯოული (ჯ). ენერგია სკალარული სიდიდეა. მას აღნიშნავენ E ასოთი.

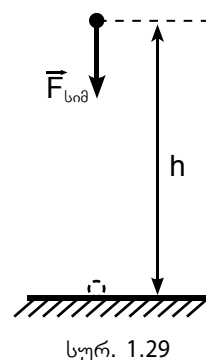
მუშაობის შესრულების შედეგად სხეულის ენერგია იცვლება.

დავუბრუნდეთ საშინაო ცდას. როგორც დავრწმუნდით, ბურთულას, რომელიც აწეულია დედამიწის ზედაპირიდან (სურ. 1.29), დედამიწის მიზიდულობის გამო აქვს ენერგია. ასეთ ენერგიას პოტენციალური ენერგია* უწოდეს (პოტენცია – ლათინური სიტყვაა და შესაძლებლობას, უნარს ნიშნავს).

პოტენციალური ენერგია გვიჩვენებს რა მუშაობის შესრულების უნარი აქვს ურთიერთმოქმედ სხეულებს, ან სხეულს მისი ნაწილების ურთიერთქმედების გამო.

დედამიწის ზედაპირიდან რაიმე h სიმაღლეზე ატანილი სხეულის პოტენციალური ენერგია ტოლია მუშაობის, რომელსაც შეასრულებს სხეულზე მოქმედი სიმძიმის ძალა მოცემული სიმაღლიდან ამ ზედაპირამდე ვარდნისას:

$$E_{\text{პოტ}} = mgh$$



სურ. 1.29

სხეულის პოტენციალური ენერგია დამოკიდებულია სიმაღლეზე. თავის მხრივ, სიმაღლე დამოკიდებულია ნულოვან დონეზე, საიდანაც აითვლება ის. ამიტომ ნულოვანი დონის არჩევა განსაზღვრავს პოტენციალური ენერგიის მნიშვნელობას. მუშაობის შესრულების უნარი აქვს არა ცალკე აღებულ სხეულს, არამედ სისტემას, რომელიც სხეულისა და დედამიწისაგან შედგება. მაგრამ ხშირად დედამიწას არ ახსენებენ და ამბობენ, რომ ენერგია აქვს სხეულს.

პოტენციალური ენერგია აქვს დრეკად-დეფორმირებულ სხეულსაც. ასეთი დეფორმაციის დროს სხეულის ნაწილების ურთიერთქმედების შედეგად წარმოიქმნება დრეკადობის ძალა. თუ სხეულს „გავათავისუფლებთ“, მაშინ დრეკადობის ძალა დააბრუნებს მას არადეფორმირებულ მდგომარეობაში და ის შეასრულებს მექანიკურ მუშაობას.

* „პოტენციალური ენერგია“ იგივეა, რაც „პოტენციური ენერგია“.

როგორც ვიცით, x -ით დეფორმირებული ზამბარის არადეფორმირებულ მდგომარეობაში დაბრუნებისას დრეკადობის ძალა ასრულებს $A = \frac{kx^2}{2}$ მუშაობას, ამიტომ x -ით დეფორმირებული ზამბარის პოტენციალური ენერგია გამოისახება ფორმულით:

$$E_{\text{პოტ}} = \frac{kx^2}{2}$$

რაც უფრო მეტად გაჭიმავს მშვილდოსანი სიმს, მით უფრო დიდი პოტენციალური ენერგია ექნება მას და მშვილდის მხრებს (სურ. 1.30), შესაბამისად, ისარიც უფრო დიდი სიჩქარით გაიტყორცნება.

დეფორმირებულ ზამბარას შეუძლია „შეინახოს“ პოტენციალური ენერგია და შემდეგ მის ხარჯზე შეასრულოს მუშაობა. ამ პრინციპით მუშაობს დასაქოქი სათამაშო, მექანიკური საათი და სხვა.



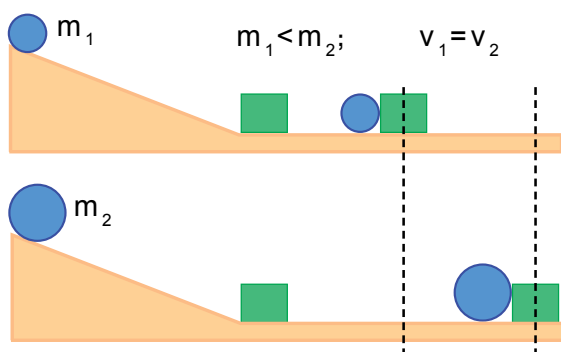
სურ. 1.30



სურ. 1.31

ალბათ გინახავთ, როგორ თამაშობენ ბოულინგს. ბოულინგის ბურთს გააგორებენ გლუვ ჰორიზონტალურ ბილიკზე. გაგორებიდან კეგლთან დაჯახებამდე ბურთი ინერციით მოძრაობს და მუშაობას არ ასრულებს. კეგლთან შეჯახებისას ბურთი დაშლის მას და შეასრულებს მუშაობას (სურ. 1.31). ე.ი. მოძრავ სხეულს აქვს მუშაობის შესრულების უნარი – ენერგია. მუშაობის შესრულების შემდეგ ბურთის სიჩქარე შემცირდება. ამავე დროს ბურთის პოტენციალური ენერგია არ შეცვლილა – ის იმყოფებოდა ერთსა და იმავე ჰორიზონტალურ დონეზე. შეიცვალა მხოლოდ მისი სიჩქარე. ამიტომ ენერგია, რომლის ხარჯზეც ბურთმა მუშაობა შეასრულა, დაკავშირებულია მის მოძრაობასთან. ფიზიკაში ამ ენერგიას კინეტიკურ ენერგიას უწოდებენ (ბერძ. კინეტიკოს – მოძრაობაში მომყვანი).

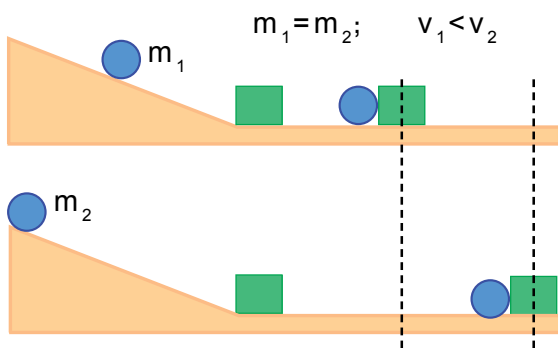
კინეტიკური ენერგია $E_{\text{კინ}}$ – ენერგია, რომელიც სხეულს მოძრაობის გამო აქვს.



სურ 1.32

კინეტიკური ენერგია დამოკიდებულია სხეულის მასასა და სიჩქარეზე. ერთნაირი სიჩქარით მოძრავი ორი ბურთიდან დიდი მასის ბურთი უფრო შორს გასწევს ერთსა და იმავე ძელაკს, ანუ შეასრულებს უფრო დიდ მუშაობას (სურ. 1.32). ეს იმას ნიშნავს, რომ ერთნაირი სიჩქარის შემთხვევაში დიდი მასის ბურთს აქვს მეტი კინეტიკური ენერგია.

თუ ბურთების მასები ერთნაირია, მაშინ მეტ მუშაობას შეასრულებს ის ბურთი,



სურ. 1.33

$$E_{\text{კინ}} = \frac{mv^2}{2}$$

რომლის მოძრაობის სიჩქარე მეტია, ანუ მეტი სიჩქარის მქონე ბურთს მეტი კინეტიკური ენერგია აქვს (სურ. 1.33).

სხეულის კინეტიკური ენერგიის სიდიდე დამოკიდებულია სხეულის მასაზე და სიჩქარეზე. დადგენილია, რომ v სიჩქარით მოძრავი m მასის სხეულის კინეტიკური ენერგია გამოითვლება ფორმულით:

ისევე, როგორც სხეულის სიჩქარე, კინეტიკური ენერგიაც სხვადასხვა დამკვირვებლის მიმართ შეიძლება სხვადასხვა იყოს. მაგალითად, მოძრავ ავტომობილს მასში მჯდომი მგზავრის მიმართ კინეტიკური ენერგია არ აქვს, ხოლო გზის პირას მდგომი ადამიანის მიმართ აქვს ნულისაგან განსხვავებული კინეტიკური ენერგია.

m მასის უძრავი სხეულისათვის v სიჩქარის მისანიჭებლად საჭიროა სხეულზე მოქმედმა ძალამ შეასრულოს $\frac{mv^2}{2}$ -ის ტოლი მუშაობა. გაჩერებისას კი სხეული თვითონ ასრულებს იმავე მუშაობას.

სხეულს (სხეულთა სისტემას) შეიძლება ერთდროულად ჰქონდეს როგორც პოტენციური, ასევე კინეტიკური ენერგია. მაგალითად, აივნებიდან გასროლილ ბურთს აქვს კინეტიკური ენერგია იმიტომ, რომ აქვს სიჩქარე და აქვს პოტენციური ენერგია, რადგან გარკვეულ სიმაღლეზე იმყოფება.

დასკვნები:

- სხეულის (სხეულთა სისტემის) ენერგია განისაზღვრება იმ მუშაობით, რომლის შესრულებაც სხეულს (სხეულთა სისტემას) შეუძლია;
- SI-ში ენერგია იზომება ჯოულებში;
- პოტენციური ენერგია ურთიერთქმედების ენერგიაა;
- კინეტიკური ენერგია მოძრაობის ენერგიაა;
- h სიმაღლეზე მოთავსებული m მასის სხეულის პოტენციური ენერგია გამოისახება ფორმულით: $E_{\text{პოტ}} = mgh$;
- x -ით დეფორმირებული k სიხისტის ზამბარის პოტენციური ენერგია ტოლია:

$$E_{\text{პოტ}} = \frac{kx^2}{2};$$
- v სიჩქარით მოძრავი m მასის სხეულის კინეტიკური ენერგია გამოითვლება ფორმულით: $E_{\text{კინ}} = \frac{mv^2}{2}$;
- სხეულს (სხეულთა სისტემას) შეიძლება ერთდროულად ჰქონდეს როგორც პოტენციური, ასევე კინეტიკური ენერგია.

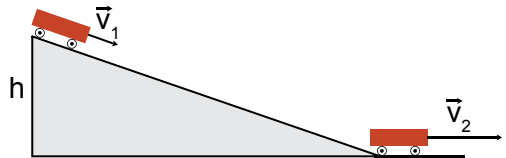
საკონტროლო კითხვები:

1. რითი განისაზღვრება სხეულის (სხეულთა სისტემის) ენერგია?
2. რატომ აქვს სიმაღლეზე ატანილ სხეულს ენერგია?
3. რატომ აქვს დეფორმირებულ ზამბარას ენერგია?
4. რატომ აქვს რაიმე სიჩქარით მოძრავ სხეულს ენერგია?
5. არის თუ არა ფარდობითი პოტენციალური და კინეტიკური ენერგია?
6. როგორ იცვლება სხეულის პოტენციალური ენერგია ქვემოთ მოძრაობისას?
7. როგორ იცვლება აივნიდან გადმოვარდნილი კენჭის კინეტიკური ენერგია?



ერთად ამოვხსნათ ამოცანა

20 მეტრი სიმაღლის ფერდობიდან 2 მ/წმ საწყისი სიჩქარით გორდება 50 კგ მასის ურიკა. ფერდობის ბოლოს მისი სიჩქარე 15 მ/წმ-ს აღწევს (სურ. 1.34). პოტენციალური ენერგიის ნულოვან დონედ ფერდობის ბოლო მიიჩნით და განსაზღვრეთ:



სურ. 1.34

- ა) ურიკის საწყისი კინეტიკური ენერგია;
- ბ) ურიკის საწყისი პოტენციალური ენერგია ($g \approx 10$ ნ/კგ);
- გ) ურიკის საბოლოო კინეტიკური ენერგია;
- დ) ურიკის საბოლოო პოტენციალური ენერგია.

ამოხსნა:

მოც:

$$h_1 = 20 \text{ მ};$$

$$v_1 = 2 \text{ მ/წმ};$$

$$v_2 = 15 \text{ მ/წმ};$$

$$m = 50 \text{ კგ};$$

$$g \approx 10 \text{ ნ/კგ};$$

$$\text{უ.ზ. } E_{\text{კ1}}, E_{\text{პ1}},$$

$$E_{\text{კ2}}, E_{\text{პ2}}.$$

ა) ურიკის საწყისი კინეტიკური ენერგია ტოლია:

$$E_{\text{კ1}} = \frac{mv_1^2}{2} = 100 \text{ ჯ};$$

ბ) რადგან ფერდობის ბოლო პოტენციალური ენერგიის ნულოვან დონედ მივიჩნიეთ, ურიკის საწყისი პოტენციალური ენერგია ტოლია:

$$E_{\text{პ1}} = mgh_1 = 10000 \text{ ჯ} = 10 \text{ კჯ};$$

გ) ურიკის კინეტიკური ენერგია ფერდობის ბოლოს ტოლია:

$$E_{\text{კ2}} = \frac{mv_2^2}{2} = 5625 \text{ ჯ};$$

დ) რადგან ურიკა ნულოვან დონეზე ჩამოვიდა, მისი საბოლოო პოტენციალური ენერგია ნულის ტოლია $E_{\text{პ2}} = 0$.



ამოხსენით ამოცანები:

1. განსაზღვრეთ ფრენბურთის ბურთის კინეტიკური ენერგია ჩაწოდებისას, თუ მისი მასა 500 გ-ია, საწყისი სიჩქარე კი – 126 კმ/სთ.

2. რამდენჯერ აღემატება მზის გარშემო მოძრაობისას დედამიწის კინეტიკური ენერგია მარსის კინეტიკურ ენერგიას, თუ დედამიწის მასა დაახლოებით 10-ჯერ მეტია მარსის მასაზე, ხოლო დედამიწის და მარსის ორბიტაზე მოძრაობის სიჩქარეების მიახლოებითი მნიშვნელობები, შესაბამისად, 30 კმ/წმ და 24 კმ/წმ-ია.

3. რამდენჯერ აღემატება საქალაქთაშორისო ავტობუსის მასა მსუბუქი ავტომობილის მასას, თუ ავტობუსის კინეტიკური ენერგია 1,25-ჯერ მეტია ავტომობილის ენერგიაზე, მათი სიჩქარეები კი შესაბამისად არის: $v_{\text{ავტ}} = 54$ კმ/სთ და $v_{\text{მსუბ}} = 30$ მ/წმ.

4. განსაზღვრეთ დედამიწის ზედაპირიდან 10 მ სიმაღლეზე მყოფი 200 გ მასის ვამლის პოტენციალური ენერგია. პოტენციალური ენერგიის ნულოვან დონედ დედამიწის ზედაპირი მიიჩნით ($g \approx 10$ ნ/კგ).

5. რა სიმაღლეს მიაღწია ჰაერში ასროლილმა 500 გ მასის ბურთმა, თუ მისი პოტენციალური ენერგია ამ სიმაღლეზე 100 ჯ გახდა. პოტენციალური ენერგიის ნულოვან დონედ დედამიწის ზედაპირი მიიჩნით ($g \approx 10$ ნ/კგ).

6. პირველი სართულიდან მეხუთემდე 16 მეტრია. განსაზღვრეთ მეათე სართულზე მყოფი 40 კგ მასის ყმანვილის პოტენციალური ენერგია. პოტენციალური ენერგიის ნულოვან დონედ პირველი სართულის იატაკი მიიჩნით ($g \approx 10$ ნ/კგ).

7. მოიფიქრეთ, რა პრაქტიკული გამოყენება შეიძლება ჰქონდეს დეფორმირებული ზამბარის ან რეზინის ზონრის პოტენციალურ ენერგიას?

8. განსაზღვრეთ 5 სმ-ით გაჭიმული ზამბარის პოტენციალური ენერგია, თუ მისი სიხისტე 800 ნ/მ-ია.

9. 800 ნ/მ სიხისტის ზამბარა გაჭიმულია 5 სმ-ით. რისი ტოლი გახდება მისი პოტენციალური ენერგია, თუ ზამბარას კიდევ 3 სმ-ით გავჭიმავთ?

10. პირველი ზამბარის სიხისტეა 400 ნ/მ, მეორესი 3000 ნ/მ. განსაზღვრეთ ზამბარების დეფორმაცია, თუ მეორე ზამბარის პოტენციალური ენერგია 60 ჯ-ია და იგი 30-ჯერ მეტია პირველი ზამბარის პოტენციალურ ენერგიაზე.



საშინაო ცდა:

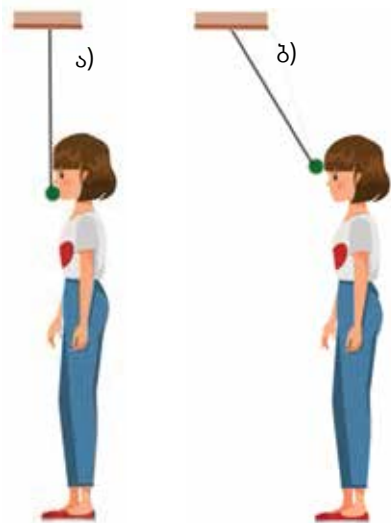
ცდის მიზანი: კინეტიკური და პოტენციალური ენერგიების ურთიერთგარდაქმნაზე დაკვირვება.

ცდისთვის საჭიროა: ძაფი და პლასტილინი.

ცდის აღწერა: მსუბუქ ძაფზე მიამაგრეთ პლასტილინისაგან დამზადებული მაგიდის ჩოგბურთის ბურთის ზომის ბურთულა. ბურთულა ძაფით ჩამოკიდეთ ჭერზე ან ჭალზე ისე, რომ ბურთულას ნიკაპით ეხებოდეთ (სურ. 1.35 ა) (უსაფრთხოების მიზნით, ბურთულის დაკიდებისას დახმარება სთხოვეთ უფროსებს). გადახარეთ ძაფი ისე, რომ ბურთულა შუბლზე მიიღოთ (სურ. 1.35 ბ) (ამ დროს ძაფი არ უნდა იყოს მოშვეებული). ბიძგის გარეშე გაათავისუფლეთ ბურთულა და თავი არ გაანძრიოთ! როგორ ფიქრობთ, უკან დაბრუნებისას ბურთულა დაგეგახებათ? რატომ?

დააკვირდით ბურთულის მოძრაობას და შეეცადეთ უპასუხოთ კითხვებს:

- რომელ მდებარეობაშია ბურთულის კინეტიკური ენერგია მაქსიმალური და რომელში – მინიმალური?
- მოძრაობის რომელ ეტაპზე იზრდება კინეტიკური ენერგია და რომელზე მცირდება?
- მოძრაობის რომელ ეტაპზე იზრდება მისი პოტენციალური ენერგია და რომელზე მცირდება? თქვენი დასკვნები ჩაწერეთ რვეულში.



სურ 1.35

§ 1.9 მექანიკური ენერგიის მუდმივობის კანონი

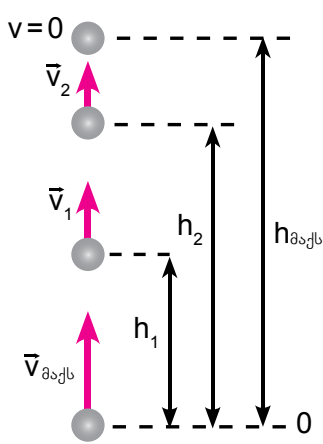
წინა პარაგრაფში ჩვენ გავეცანით ენერგიის ორ სახეს – პოტენციალურსა და კინეტიკურს, რომელთაც მექანიკური ენერგია ეწოდება.

 გაიხსენეთ, შესაძლებელია თუ არა სხეულს ერთდროულად ჰქონდეს პოტენციალური და კინეტიკური ენერგია?

აქვს თუ არა პოტენციალური ენერგია თვითმფრინავს, რომელიც გარკვეულ სიმაღლეზე მიფრინავს? რატომ?

აქვს თუ არა იმავე თვითმფრინავს კინეტიკური ენერგია? რატომ?

სხეულის მოძრაობის პროცესში შესაძლებელია შეიცვალოს მისი როგორც კინეტიკური, ასევე პოტენციალური ენერგია. ენერგიათა ეს ცვლილება გარკვეული კანონზომიერებით მიმდინარეობს. აღვწეროთ ეს კანონზომიერება.



სურ. 1.36

დავაკვირდეთ გარკვეული სიჩქარით ვერტიკალურად ზევით ასროლილი ბურთულის მოძრაობას (სურ. 1.36). ასროლის წერტილში ბურთულას მივანიჭეთ კინეტიკური ენერგია და იგი მოძრაობს ქვევით ზევით. ბურთულაზე მოქმედებს სიმძიმის ძალა, რომელიც ვერტიკალურად ქვემოთაა მიმართული, ამიტომ მისი სიჩქარე და, შესაბამისად, კინეტიკური ენერგია იკლებს. იმავედროულად, სიმაღლის მატებასთან ერთად, ბურთულა იძენს მეტ პოტენციალურ ენერგიას: $E_{\text{პოტ}} = mgh$. ე.ი. ზევით მოძრაობისას კინეტიკური ენერგია მცირდება, ხოლო პოტენციალური ენერგია იზრდება. მაქსიმალური სიმაღლის მიღწევისას ბურთულის სიჩქარე და კინეტიკური ენერგია ნულის ტოლი ხდება, პოტენციალური ენერგია კი – მაქსიმალური. მაშასადამე, ერთი სახის მექანიკური ენერგია (კინეტიკური) გადავიდა მეორე სახის მექანიკურ

ენერგიაში (პოტენციალურში). უკან ჩამოვარდნისას კვლავ მოხდება მექანიკური ენერგიის ერთი სახიდან მეორეში გადასვლა: სიმაღლის კლებისას შემცირდება ბურთულის პოტენციალური ენერგია, სამაგიეროდ, მოიმატებს მისი კინეტიკური ენერგია.

ჰაერის წინააღმდეგობა რომ არ ყოფილიყო, ბურთულა ასროლის წერტილს იმავე კინეტიკური ენერგიით დაუბრუნდებოდა.

განვიხილოთ ბურთულის ენერგია რაიმე ორ შუალედურ h_1 და h_2 სიმაღლეზე. ვთქვათ, ამ სიმაღლეებზე მისი სიჩქარეებია შესაბამისად v_1 და v_2 . h_1 სიმაღლეზე ბურთულას აქვს კინეტიკური ენერგია $E_{\text{კინ}1} = \frac{mv_1^2}{2}$ და პოტენციალური ენერგია $E_{\text{პოტ}1} = mgh_1$.

სხეულის კინეტიკური და პოტენციალური ენერგიების ჯამს სხეულის სრული მექანიკური ენერგია ეწოდება:

$$E_{\text{სრ}} = E_{\text{კინ}} + E_{\text{პოტ}}$$

h_2 სიმაღლეზე ბურთულის კინეტიკური ენერგია იქნება უფრო მცირე, ვიდრე h_1 სიმაღლეზე ($v_2 < v_1$), მაგრამ პოტენციალური ენერგია უფრო დიდი იქნება ($h_2 > h_1$). კვლევების შედეგად დადგინდა, რომ თუ წინააღმდეგობის ძალები არ გვექნება, რამდენითაც შემცირდება კინეტიკური ენერგია, იმდენითვე გაიზრდება პოტენციალური ენერგია, ამიტომ მათი ჯამი – სრული მექანიკური ენერგია – არ შეიცვლება:

$$E_{\text{კინ}1} + E_{\text{პოტ}1} = E_{\text{კინ}2} + E_{\text{პოტ}2}$$

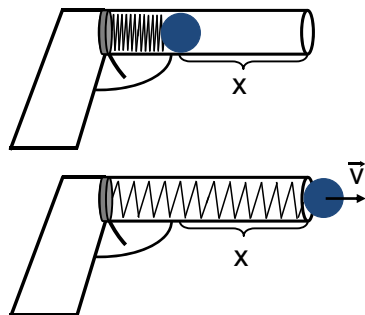
ანუ,

$$E_{\text{სრ1}} = E_{\text{სრ2}}$$

შეიძლება დავასკვნათ: წინააღმდეგობის ძალების არარსებობის დროს სისტემის (ბურთულა – დედამინა) სრული მექანიკური ენერგია არ იცვლება.

დადგენილია, რომ სრული მექანიკური ენერგია არ შეიცვლება იმ შემთხვევაშიც, თუ სხეულები ურთიერთქმედებენ დრეკადობის ძალებით.

აღბათ გითამაშიათ საბავშვო ზამბარიანი დამბახით, რომელიც სურ. 1.37-ზეა გამოსახული. გასროლამდე დამბახის ზამბარას კუმშავენ. შეკუმშულ ზამბარას მიადებენ გასასროლ „ტყვიას“, შემდეგ სასხლეტით ზამბარას ათავისუფლებენ. იგი იწყებს გაშლას და „ტყვიას“ გარკვეულ სიჩქარეს ანიჭებს.



სურ. 1.37

დაფიქრდით და აღწერეთ გასროლისას მიმდინარე ენერგიების ურთიერთგარდაქმნა. როგორ გამოსახავთ მას ფორმულით?

განხილულ მაგალითებში სხეულები მხოლოდ ერთმანეთთან ურთიერთქმედებენ (სხეული – დედამინა, ზამბარა – ბურთულა), ანუ სხეულთა სისტემა არის **ჩაკეტილი**.

ამრიგად, **თუ სხეულთა ჩაკეტილ სისტემაში სხეულები ურთიერთქმედებენ მხოლოდ სიმძიმის ან დრეკადობის ძალებით, მაშინ სისტემის სრული მექანიკური ენერგია მუდმივია.**

ეს დებულება მექანიკური ენერგიის მუდმივობის კანონის სახელითაა ცნობილი.

დასკვნები:

- კინეტიკური და პოტენციალური ენერგია მექანიკური ენერგიის ორი სახეა;
- კინეტიკური და პოტენციალური ენერგიების ჯამს სრული მექანიკური ენერგია ეწოდება;
- რამდენითაც მცირდება (იზრდება) სხეულის კინეტიკური ენერგია, იმდენითვე იზრდება (მცირდება) მისი პოტენციალური ენერგია;
- სისტემის სრული მექანიკური ენერგია მუდმივია, თუ სისტემის სხეულებს შორის მოქმედებს მხოლოდ სიმძიმის ან დრეკადობის ძალები:

$$E_{\text{კინ1}} + E_{\text{პოტ1}} = E_{\text{კინ2}} + E_{\text{პოტ2}}, \text{ ანუ } E_{\text{სრ1}} = E_{\text{სრ2}}$$

საკონტროლო კითხვები:

1. რატომ იკლებს ბურთულის სიჩქარე ვერტიკალურად ზევით მოძრაობისას?
2. როგორ იცვლება ბურთულის პოტენციალური ენერგია ზევით მოძრაობისას?
3. რისი ტოლია ბურთულის კინეტიკური ენერგია მაქსიმალურ სიმაღლეზე?
4. რატომ არის ასროლისას ბურთულის კინეტიკური ენერგია მაქსიმალურ სიმაღლეზე მისი პოტენციალური ენერგიის ტოლი?
5. რომელი ენერგიის ხარჯზე იძენს „ტყვია“ კინეტიკურ ენერგიას ზამბარიან დამბახში?
6. შესრულდება თუ არა მექანიკური ენერგიის მუდმივობის კანონი, თუ ჩაკეტილი სისტემის სხეულებს შორის მოქმედებს წინააღმდეგობის ძალები?



ერთად ამოვხსნათ ამოცან

100 მეტრი სიმაღლის ცათამბჯენის სახურავიდან ვერტიკალურად ზევით 20 მ/წმ სიჩქარით აისროლეს მცირე ზომის სხეული (სურ. 1.38). დედამიწის ზედაპირიდან რა სიმაღლეზე გახდება ამ სხეულის სიჩქარე 5 მ/წმ-ის ტოლი? წინააღმდეგობის ძალებს ნუ გაითვალისწინებთ ($g \approx 10$ ნ/კგ).

ამოხსნა:

მოც:

$h_1 = 100$ მ;
 $v_1 = 20$ მ/წმ;
 $v_2 = 5$ მ/წმ;
 $g \approx 10$ ნ/კგ.
 უ.ვ. H.

პოტენციალური ენერგია ნულის ტოლად ცათამბჯენის სახურავზე მივიჩნიოთ. მაშინ ასროლის მომენტში სხეულის სრული მექანიკური ენერგია მხოლოდ მისი კინეტიკური ენერგიის

ტოლია: $E_{სრ1} = \frac{mv_1^2}{2}$. დავუშვათ, ცათამბჯენის

სახურავიდან h_2 სიმაღლეზე სხეულის სიჩქარე 5 მ/წმ-ის ტოლი გახდა. მაშინ ამ სიმაღლეზე სხეულის სრული

მექანიკური ენერგია ტოლი იქნება: $E_{სრ2} = \frac{mv_2^2}{2} + mgh_2$. რადგან

წინააღმდეგობის ძალები არ გვაქვს, სხეულის სრული მექანიკური ენერგია ნებისმიერ სიმაღლეზე ერთნაირია, ამიტომ

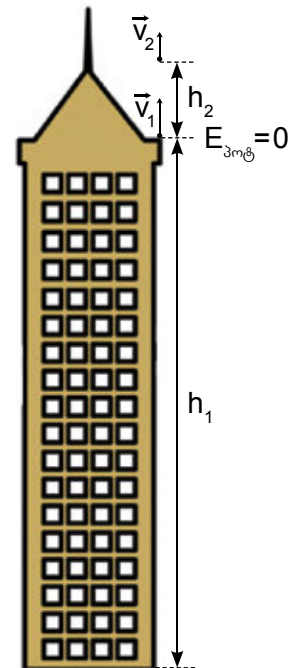
$E_{სრ1} = E_{სრ2}$ ანუ $\frac{mv_1^2}{2} = \frac{mv_2^2}{2} + mgh_2$. გამოსახულების ორივე მხა-

რე გავყოთ სხეულის მასაზე, მივიღებთ, $\frac{v_1^2}{2} = \frac{v_2^2}{2} + gh_2$. $\Rightarrow$

$h_2 = \frac{v_1^2 - v_2^2}{2g}$. რიცხვითი მნიშვნელობების შეტანით მივიღებთ

$h_2 = 18,75$ მ.

პასუხი: სხეულის სიჩქარე 5 მ/წმ-ის ტოლი გახდება დედამიწის ზედაპირიდან $H = h_1 + h_2 = 118,75$ მეტრ სიმაღლეზე.



სურ. 1.38



ამოხსენით ამოცანები:

1. სხეულის კინეტიკური ენერგია დროის გარკვეულ მომენტში 400 ჯ-ია. განსაზღვრეთ მისი პოტენციალური ენერგია ამავე მომენტში, თუ სხეულის სრული მექანიკური ენერგია 1 კჯ-ის ტოლია.

2. დედამიწის ზედაპირიდან გარკვეულ სიმაღლეზე მყოფი სხეულის პოტენციალური ენერგია 500 ჯ-ია. განსაზღვრეთ ამ სხეულის სრული მექანიკური ენერგია, თუ იმავე სიმაღლეზე მისი კინეტიკური ენერგია პოტენციალურზე 2-ჯერ მეტია.

3. დედამიწის ზედაპირიდან ვერტიკალურად ასროლილი სხეულის კინეტიკური ენერგია ასროლის მომენტში 100 ჯ-ია. განსაზღვრეთ მისი მაქსიმალური პოტენციალური ენერგია. წინააღმდეგობის ძალები არ გაითვალისწინოთ. ნულოვან დონედ დედამიწის ზედაპირი მიიჩნეოთ.

4. დედამიწის ზედაპირიდან ვერტიკალურად აისროლეს 5 კგ მასის სხეული. ასროლის მომენტში მისი კინეტიკური ენერგია 100 ჯ-ია. ჰაერის წინააღმდეგობა არ გა-

ითვალისწინოთ და განსაზღვრეთ მაქსიმალური სიმაღლე, რომელსაც ეს სხეული მიაღწევს ($g \approx 10 \text{ ნ/კგ}$).

5. რა მაქსიმალურ სიმაღლეს მიაღწევს დედამიწის ზედაპირიდან ვერტიკალურად 5 მ/წმ სიჩქარით ასროლილი სხეული? წინააღმდეგობის ძალები არ გაითვალისწინოთ ($g \approx 10 \text{ ნ/კგ}$).

6. გარკვეული სიმაღლიდან ვერტიკალურად ერთნაირი სიჩქარით ისვრიან ორ სხეულს, ერთს – ზევით, მეორეს – ქვევით. შეადარეთ სიჩქარეები, რომლებითაც ეს სხეულები დაეცემიან დედამიწაზე. წინააღმდეგობის ძალები არ გაითვალისწინოთ.

7. დედამიწის ზედაპირიდან 40 მ სიმაღლეზე მდებარე აივნიდან ერთნაირი 10 მ/წმ სიჩქარით ისვრიან ორ სხეულს: ერთს – ვერტიკალურად ზევით, მეორეს – ვერტიკალურად ქვევით. წინააღმდეგობის ძალებს ნუ გაითვალისწინებთ და განსაზღვრეთ:

ა) დედამიწის ზედაპირიდან რა მაქსიმალურ სიმაღლეზე ავა ზევით ასროლილი სხეული;

ბ) რა სიჩქარით დაეცემა თითოეული სხეული დედამიწაზე ($g \approx 10 \text{ ნ/კგ}$).

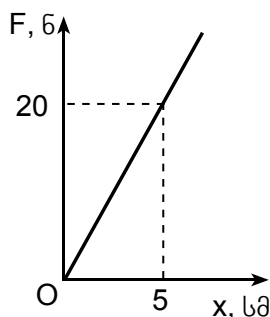
8. სურ. 1.39-ზე მოცემულია ზამბარის გამჭიმავი ძალის მის წაგრძელებაზე დამოკიდებულების გრაფიკი. განსაზღვრეთ:

ა) ზამბარის სიხისტე;

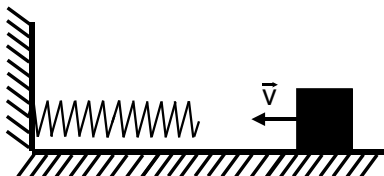
ბ) ზამბარის დეფორმაცია, როცა მასში აღძრული დრეკადობის ძალა 15 ნ-ია .

გ) 5 სმ-ით გაჭიმული ზამბარის პოტენციალური ენერგია.

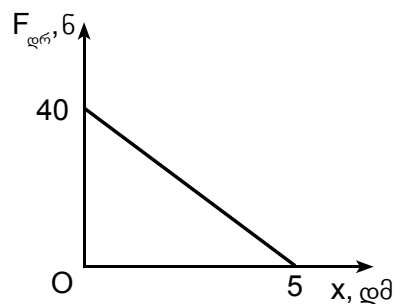
9. ერთი ბოლოთი კედელზე მიმაგრებულ ჰორიზონტალურ ზამბარას ეჯახება v სან-ყისი სიჩქარით მოძრავი სხეული და კუმშავს მას x -ით (სურ. 1.40.) რამდენით შეიკუმშება ზამბარა, თუ მას იგივე სხეული დაეჯახება $2v$ სიჩქარით? წინააღმდეგობის ძალები არ გაითვალისწინოთ და მიიჩნიეთ, რომ ზამბარა იკუმშება მისი დრეკადობის ფარგლებში.



სურ. 1.39



სურ. 1.40



სურ. 1.41

10. ერთი ბოლოთი კედელზე მიმაგრებული გაჭიმული ზამბარა თანდათან უბრუნდება არადეფორმირებულ მდგომარეობას. სურ. 1.41-ზე ნაჩვენებია ამ დროს ზამბარაში აღძრული დრეკადობის ძალის დამოკიდებულება ზამბარის ბოლო წერტილის მიერ გაწეულ მანძილზე. ამ პირობით უპასუხეთ შემდეგ კითხვებს:

ა) რამდენი სმ-ით იყო ზამბარა გაჭიმული?

ბ) რისი ტოლია ზამბარაში აღძრული დრეკადობის ძალის საშუალო მნიშვნელობა?

გ) რისი ტოლია დრეკადობის ძალის მიერ შესრულებული მუშაობა?

დ) რას გვიჩვენებს ნახაზზე გამოსახული სამკუთხედის ფართობი?

§ 1.10 შინაგანი ენერგია. სრული ენერგიის მუდმივობის კანონი



სურ. 1.42

ალბათ, გინახავთ თვითმფრინავის აფრენა (სურ. 1.42). ამ დროს ძრავას წვეის ძალა ასრულებს მუშაობას. თვითმფრინავის კინეტიკური ენერგია იზრდება, რადგან ასვლასთან ერთად იზრდება მისი სიჩქარე. იზრდება მისი პოტენციალური ენერგიაც, რადგან იზრდება თვითმფრინავის ასვლის სიმაღლე დედამიწის ზედაპირიდან. მაშასადამე, იზრდება ამ ენერგიების ჯამი, ანუ თვითმფრინავის სრული მექანიკური ენერგია.

ვიცით, რომ სხეულის მიერ დადებითი მუშაობის შესრულებისას მისი ენერგია მცირდება. მაგრამ თვითმფრინავის ზევით ასვლისას მექანიკური ენერგია კი არ მცირდება, არამედ იზრდება. რითი აიხსნება ეს წინააღმდეგობა?

საქმე ისაა, რომ ბუნებაში მექანიკური ენერგიის გარდა არსებობს ენერგიის სხვა სახეც – შინაგანი ენერგია – სხეულის შემადგენელი ნაწილაკების ენერგია. სწორედ საწვავის დაწვის დროს გამოყოფილი შინაგანი ენერგიის ხარჯზე სრულდება მექანიკური მუშაობა, რასაც თან ახლავს თვითმფრინავის მექანიკური ენერგიის ზრდა.



სურ. 1.43

შინაგანი ენერგია აქვს ნებისმიერ სხეულს. ის იზრდება სხეულის ტემპერატურის ზრდისას და შეიძლება გარდაიქმნას მექანიკურ ენერგიად.



ჩავატაროთ ცდა: წყლიან კოლბას დავახუროთ საცობი, დავამაგროთ შტატივზე და გავაცხელოთ სპირტქურის ალზე. როდესაც წყალი კოლბაში ადუღდება, წყლის ორთქლი გაფართოვდება და საცობს ამოაგდებს – შეასრულებს მექანიკურ მუშაობას (სურ. 1. 43).

რომელი ენერგიის ხარჯზე შესრულდა მუშაობა? ცხადია, წყლის ორთქლის შინაგანი ენერგიის ხარჯზე. ორთქლის შინაგანი ენერგია საცობის ამოგდებისას მოიკლებს.

ამრიგად, შინაგანი ენერგია ეს სხეულის ისეთი ენერგიაა, რომლის ხარჯზეც შეიძლება შესრულდეს მექანიკური მუშაობა.

საიდან აქვთ სხეულებს შინაგანი ენერგია?



გაიხსენეთ: ყველა სხეული შედგება ნაწილაკებისაგან – მოლეკულებისგან და ატომებისგან. ნაწილაკები ქაოსურად მოძრაობს და ურთიერთქმედებს. მოძრაობის გამო მათ გააჩნიათ კინეტიკური ენერგია, ურთიერთქმედების გამო – პოტენციალური ენერგია.

სხეულის შემადგენელი ყველა ნაწილაკის ქაოსური მოძრაობის კინეტიკური და მათი ურთიერთქმედების პოტენციალური ენერგიების ჯამს სხეულის შინაგანი ენერგია ეწოდება.

სხეულის შინაგანი ენერგიის აღნიშნავენ U -თი.

ნებისმიერი სხეულის შინაგანი ენერგია დამოკიდებულია ბევრ ფაქტორზე: ნივთიერების გვარობასა და მდგომარეობაზე, სხეულის მასასა და ტემპერატურაზე და სხვ. შინაგანი ენერგია აქვს ყველა სხეულს: დიდსა თუ პატარას, ცხელსა თუ ცივს, მყარს, თხევადსა და აირადს.

შესაძლებელია მექანიკური ენერგია გარდაიქმნას შინაგან ენერგიად. მაგალითად, როდესაც ველოსიპედით მოძრაობისას ვანვებით მუხრუჭს, სამუხრუჭე ხუნდები უჭერს ბორბლის დისკოს (სურ. 1.44). სრილის ხახუნის ძალის მოქმედებით ბორბლის ბრუნვის სიჩქარე და, შესაბამისად, ველოსიპედის კინეტიკური ენერგია მცირდება, ანუ იკლებს მისი მექანიკური ენერგია. თუ დამუხრუჭების შემდეგ შევხებით ხუნდებს და დისკოს, შევიგრძნობთ მათ გაცხელებას. ტემპერატურის მატება მიუთითებს, რომ ამ სხეულების შინაგანი ენერგია გაიზარდა.



სურ. 1.44

ველოსიპედის კინეტიკური ენერგია გარდაიქმნა ხუნდების, დისკოსა და გარემოს შინაგან ენერგიად.

ჩატარებული მრავალრიცხოვანი ცდითა და მათი შედეგების გაანალიზებით დადგინდა, რომ სისტემის სრული ენერგია – მექანიკური და შინაგანი ენერგიების ჯამი – უცვლელია. ველოსიპედის მაგალითში რამდენითაც შემცირდა მექანიკური ენერგია, იმდენით გაიზარდა შინაგანი ენერგია. აღვნიშნოთ სრული ენერგია W -თი. მივიღებთ:

$$W = E + U = \text{const}$$

ჩამოვაცალიბოთ სამყაროს ერთ-ერთი ძირითადი კანონი – ენერგიის გარდაქმნისა და მუდმივობის კანონი:

ენერგია არც ქრება და არც არაფრისგან წარმოიქმნება. ენერგია ერთი სხეულიდან გადაეცემა მეორე სხეულს ან ერთი სახიდან გარდაიქმნება მეორე სახის ენერგიად. სრული ენერგია უცვლელი რჩება.

დასკვნები:

- სხეულს გარდა მექანიკური ენერგიისა აქვს შინაგანი – მის შიგნით არსებული – ენერგია;
- სხეულის შინაგანი ენერგია მისი შემადგენელი ყველა ნაწილაკის ქაოსურად მოძრაობის კინეტიკური ენერგიისა და ერთმანეთთან ურთიერთქმედების პოტენციალური ენერგიების ჯამის ტოლია;
- სხეულის შინაგანი ენერგიის ხარჯზე შეიძლება შესრულდეს მექანიკური მუშაობა;
- შინაგანი ენერგიის ხარჯზე შეიძლება გაიზარდოს სხეულის მექანიკური ენერგია;
- სხეულის მექანიკური ენერგია შეიძლება გარდაიქმნას შინაგან ენერგიად;
- ენერგია არც ქრება და არც არაფრისგან წარმოიქმნება. ენერგია ერთი სხეულიდან გადაეცემა მეორე სხეულს ან ერთი სახიდან გარდაიქმნება მეორე სახის ენერგიად. სრული ენერგია კი უცვლელი რჩება.

საკონტროლო კითხვები:

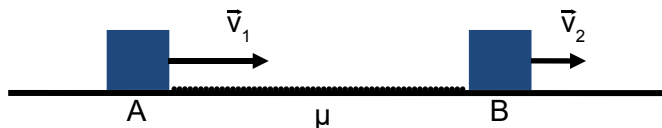
1. რა სახის ენერგიის ხარჯზე იზრდება თვითმფრინავის მექანიკური ენერგია?
2. რომელი ენერგია იზრდება სპირტქურაზე კოლბის გაცხელებისას?
3. რატომ ცხელდება ველოსიპედის ხუნდები დამუხრუჭებისას?



ერთად ამოვხსნათ ამოცანა

გლუვ ჰორიზონტალურ ზედაპირზე 10 მ/წმ სიჩქარით მისრიალებს 10 კგ მასის ძელაკი (სურ. 1.45). შემდეგ მან გაიარა $|AB| = 8 \text{ მეტრი}$ სიგრძის მქისე ზედაპირი, რომლის ძელაკთან ხახუნის კოეფიციენტი $0,2$ -ია. AB უბნის შემდეგ ზედაპირი კვლავ გლუვია ($g \approx 10 \text{ ნ/კგ}$). განსაზღვრეთ:

- ხახუნის ძალის მიერ შესრულებული მუშაობა;
- სხეულის მექანიკური ენერგიის ცვლილება;
- ძელაკის მქისე ზედაპირზე სრიალისას ძელაკისა და ზედაპირის შინაგანი ენერგიის ნაზრდი.



სურ. 1.45

ამოხსნა:

მოც:

$v_1 = 10 \text{ მ/წმ}$;

$m = 10 \text{ კგ}$;

$|AB| = 8 \text{ მ}$;

$g \approx 10 \text{ ნ/კგ}$;

$\mu = 0,2$.

უ.ვ. A , ΔE , ΔU .

ა) რადგან ზედაპირი ჰორიზონტალურია, რეაქციის ძალა $N = mg$, ხოლო სრიალის ხახუნის ძალა – $F_{\text{ხახ}} = \mu N = \mu mg = 20 \text{ ნ}$. სრიალის ხახუნის ძალის მიერ შესრულებული მუშაობა ტოლია:

$$A_{\text{ხახ}} = -F_{\text{ხახ}} \cdot |AB| = -\mu mg |AB| = -160 \text{ ჯ.}$$

ბ) სხეულზე მოქმედი სრიალის ხახუნის ძალის მიერ შესრულებული უარყოფითი მუშაობა ამცირებს მექანიკურ ენერგიას. ძელაკის მექანიკური ენერგია შეიცვლება იმდენით, რა მუშაობაც შეასრულა

სრიალის ხახუნის ძალამ, ანუ ძელაკის მექანიკური ენერგია შემცირდება 160 ჯოულით : $\Delta E = -160 \text{ ჯ.}$

გ) ძელაკისა და ზედაპირის მექანიკური და შინაგანი ენერგიების ჯამი მუდმივი სიდიდეა. რადგან ძელაკი უძრავ ზედაპირზე სრიალებს, მათი შინაგანი ენერგია გაიზარდა იმდენი ჯოულით, რამდენითაც შემცირდა ძელაკის მექანიკური ენერგია ($\Delta E = -160 \text{ ჯ.}$). ე.ი. ძელაკისა და ზედაპირის შინაგანი ენერგია გაიზარდა $\Delta U = 160 \text{ ჯ.}$ -ით.

შეგვიძლია დავასკვნათ, რომ მოხახუნე სხეულების შინაგანი ენერგიის ნაზრდი მოდულით სრიალის ხახუნის ძალის მუშაობის ტოლია.



ამოხსენით ამოცანები:

1. მოიყვანეთ მექანიკური ენერგიის შინაგან ენერგიად გარდაქმნის მაგალითები და ჩანერეთ რვეულში.

2. ალბათ შეგიძინებიათ, სიცივეში ხელებს ერთმანეთზე გასმით ითბობენ. ახსენით, რატომ?

3. ალბათ შეგიძინებიათ, ზამთარში სირბილისას თბებით, დგომისას ან ნელი სიარულისას კი გცივათ. რატომ ხდება ასე?

4. გამათბობელთან ახლოს მოთავსებული გაბერილი რეზინის ბუშტი ზომამი იზრდება და შეიძლება გასკდეს. როგორ გარდაქმნება ენერგია გასკდომისას?

5. 1 ტ მასის ავტომობილი გამორთული ძრავითი იწყებს მოძრაობას 100 მ სიმაღლის დაღმართზე და მის ბოლოს ავითარებს 40 მ/წმ სიჩქარეს. განსაზღვრეთ, რამდენი ჯოული მექანიკური ენერგია გარდაიქმნა შინაგან ენერგიად ($g \approx 10 \text{ ნ/კგ}$).

6. იატაკზე გასრიალებული 200 ჯ კინეტიკური ენერგიის მქონე ყუთი ხახუნის ძალის მოქმედებით გაჩერდა. რამდენი ჯოულით მოიმატა ყუთის შინაგანმა ენერგიამ, თუ მექანიკური ენერგიის დანაკარგი ყუთსა და იატაკზე თანაბრად განაწილდა?

7. იატაკზე მდებარე 10 კგ მასის ძელაკს ბიძგიტ მიაწიჭეს 2 მ/წმ სიჩქარე. განსაზღვრეთ ძელაკის სრიალისას იატაკისა და ძელაკის შინაგანი ენერგიის ცვლილება, თუ ძელაკი ხახუნის ძალის მოქმედებით გაჩერდა.

8. დაფის გასუფთავებისას საშლელზე მოქმედმა სრიალის ხახუნის ძალამ -10 ჯ მუშაობა შეასრულა. რამდენი ჯოულით მოიმატა საშლელის შინაგანმა ენერგიამ, თუ შინაგანი ენერგიის ნაზრდის 50% საშლელს გადაეცა?

9. 8 კგ მასის ციგაზე მჯდომი 22 კგ მასის ბიჭი 2 მ/წმ სიჩქარით იწყებს დაშვებას 10 მეტრი სიმაღლის გორაკიდან და მის ბოლოს ავითარებს 10 მ/წმ სიჩქარეს. განსაზღვრეთ, რამდენი ჯოული მექანიკური ენერგია გარდაიქმნა შინაგან ენერგიად ($g \approx 10$ ნ/კგ).

10. 50 კგ მასის პარაშუტისტი დაშვებისას სიმაღლის ბოლო 50 მეტრს გადის თანაბრად. პარაშუტის მასა 20 კგ-ია ($g \approx 10$ ნ/კგ). განსაზღვრეთ:

ა) პარაშუტზე მოქმედი ჰაერის წინააღმდეგობის ძალა ბოლო 50 მეტრზე;

ბ) პარაშუტზე მოქმედი ჰაერის წინააღმდეგობის ძალის მუშაობა ბოლო 50 მეტრზე;

გ) რამდენით მოიმატა პარაშუტის შინაგანმა ენერგიამ, თუ შინაგანი ენერგიის ნაშთის 40% მას გადაეცა.



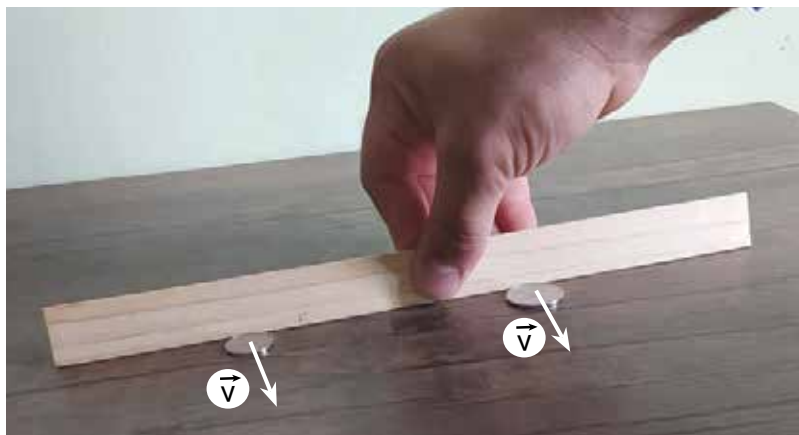
საშინაო ცდა:

ცდის მიზანი: ზედაპირზე გასრიალებული სხეულის მიერ გავლილი მანძილის მასაზე დამოკიდებულების დადგენა.

ამ დამოკიდებულების დასადგენად საჭიროა სხვადასხვა მასის სხეულებს მივანიჭოთ ერთნაირი სიჩქარე და შევადაროთ გაჩერებამდე გავლილი მანძილები.

ცდისთვის საჭიროა: 5 თეთრიანი და 20 თეთრიანი მონეტები, მყარი სახაზავი.

ცდის აღწერა: მაგიდაზე ერთმანეთის გვერდით დადეთ 5 და 20 თეთრიანი მონეტები. დაიჭირეთ სახაზავი ისე, რომ ამოძრავებისას თან წაიყოლოს მონეტები (სურ. 1.46). ამოძრავით სახაზავი და შემდეგ მკვეთრად გააჩერეთ. ამით მონეტები შეიძენენ ერთნაირ სიჩქარეს. ისინი ინერციით გააგრძელებენ მოძრაობას და ბოლოს გაჩერდებიან. ცდის შედეგიდან გამოვძინარე, გამოიტანეთ დასკვნა და ახსენით შედეგი.



სურ. 1.46

ეს საინტერესოა

ადამიანი უძველესი დროიდან ცდილობს ენერგიის სხვადასხვა წყაროს მოძიებას და მის გამოყენებას. ჯერ კიდევ პირველყოფილი ადამიანები სითბური ენერგიის მისაღებად შეშას წვავდნენ. განვითარებასთან ერთად კაცობრიობამ აღმოაჩინა ენერგიის სხვადასხვა წყარო და დაიწყო მათი გამოყენება.

ქარის მექანიკური ენერგიის გამოყენების ერთ-ერთი პირველი მაგალითია იალქნიანი გემები (სურ. 1.47), რომლებმაც მნიშვნელოვანი წვლილი შეიტანა ნაოსნობის განვითარებაში. ჩვენს წელთაღრიცხვამდე უკვე არსებობდა ქარის ენერგიაზე მომუშავე ნისქეილები (სურ. 1.48). მათი მუშაობის პრინციპი ასეთია: ჰაერის ნაკადი ეჯახება ნისქეილის დამრეც ფრთას, უბიძგებს მას გარკვეული ძალით და იწვევს ბრუნვას, რომელიც გადაეცემა ნისქეილის ქვებს.



სურ. 1.47



სურ. 1.48

ზოგიერთი ისტორიული წყაროს მიხედვით, ქარის ნისქეილები პირველად ჩინეთში შეიქმნა.

ქარის ენერგიას სხვა დანიშნულებით იყენებდნენ ძველ საბერძნეთში. ბერძნებს ქარის ნისქეილის მსგავსი მოწყობილობით ამოჰყონდათ ზღვის წყალი, რომელსაც შემდეგ სარწყავად იყენებდნენ.

ამჟამად ქარის ენერგია გამოიყენება ელექტროენერგიის მისაღებად (სურ. 1.49). მსოფლიოს ბევრ ქვეყანაში (მათ შორის საქართველოშიც) აშენებულია ქარზე მომუშავე ელექტროსადგურები, რომელთა მუშაობის პრინციპს მომდევნო კლასებში გავეცნობით.

ზოგიერთ ქვეყანაში ავტომაგისტრალების გამყოფი ზოლის გასწვრივ დააყენეს ქარის დაბალსიმძლავრეიანი ელექტროსადგურები (სურ. 1.50), რომლებიც ავტომობილების მოძრაობით გამოწვეული ჰაერის ნაკადების ხარჯზე მუშაობს. გამომუშავებული ელექტროენერგია ძირითადად ავტომაგისტრალების განათებას ხმარდება.

უძველესი დროიდან დღემდე აქტუალურია წყლის მექანიკური ენერგიის გამოყენებაც. ჯერ კიდევ ჩვენს წელთაღრიცხვამდე რომაელებმა შექმნეს წყალზე მომუშავე პირველი ნისქეილი, რომელშიც წყლის ჭავლი აბრუნებდა სპეციალურ „ფრთებიან ბორბალს“ (სურ. 1.51). ნისქეილის მუშაობის მთავარ მიზეზს წყლის კინეტიკური ენერგია წარმოადგენს. წყლის ნისქეილებს დღესაც შეხვდებით საქართველოს სხვადასხვა მხარეში.

წყლის მექანიკური ენერგია უფრო მასშტაბურად გამოიყენება ჰიდროელექტროსადგურებში, სადაც წყლის პოტენციალური ენერგია ელექტრულ ენერგიად გარდაიქმნება. პირველად წყალზე მომუშავე ელექტროსადგური ინგლისში შეიქმნა 1878 წელს.



სურ. 1.49



სურ. 1.50

ქარისა და წყლის მექანიკური ენერგიების გამოყენება გარემოსათვის ნაკლებად ზიანის მომტანია. ამიერკავკასიაში უდიდესი ჰიდროელექტროსადგურია ენგურჰესი (სურ. 1.52), რომლის კაშხლის სიმაღლე დაახლოებით 270 მეტრია. მას მინიჭებული აქვს საქართველოს კულტურული მემკვიდრეობის ძეგლის სტატუსი.



სურ. 1.51



სურ. 1.52

კაცობრიობისთვის მნიშვნელოვანია არა მხოლოდ ენერგიის სხვადასხვა წყაროს მოძიება, არამედ ისიც, რომ მისი გამოყენება არ აღმოჩნდეს დამაზიანებელი ბუნებისათვის. ქარისა და წყლისაგან მიღებული ენერგია განახლებადია, რადგან ბუნება თავად „გვასაჩუქრებს“ ქარით და წყლით. მაგრამ იმ ენერგიის განახლებას, რომელსაც მოვიპოვებთ დედამიწის წიაღიდან, მილიონობით წელი სჭირდება.



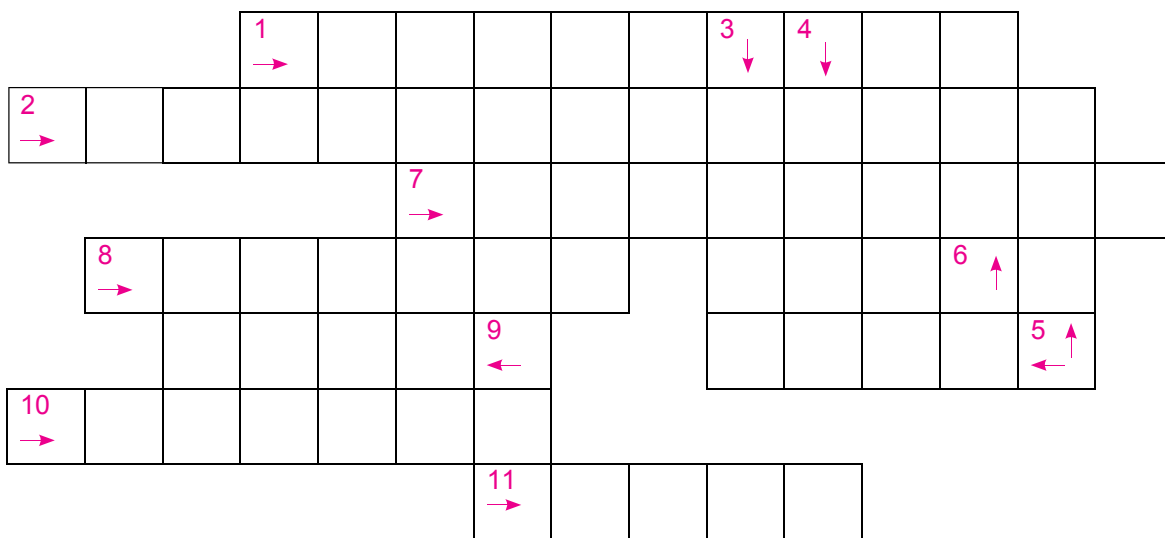
შვეულად: ↓↑

- 4 – ტვირთის გადასაზიდი
(5 ასო)
3 – ძვლების მოძრაობაში
მომყვანი (5 ასო)
6 – დროის ერთეული (4 ასო)
5 – დეფორმაციის სახე (4 ასო)

თარაზულად: ⇨⇩

- 1 – მექანიკური ენერგიის სახე (10 ასო)
2 – მექანიკური ენერგიის სახე (12 ასო)
7 – ენერგიის ერთ-ერთი სახე (10 ასო)
5 – ურთიერთქმედების ზომა (4 ასო)
8 – დრეკადი სხეული (7 ასო)
9 – მასის ერთეული (5 ასო)
10 – ძალის ერთეული (7 ასო)
11 – მოლეკულების შემადგენელი ნაწილაკი
(5 ასო)

წ ი ბ ნ შ ი ა რ ჩ ა წ ე რ ო თ !



პირველი თავის შემაჯამებელი კითხვები და ამოცანები

1. ცინულის ჰორიზონტალურ ზედაპირზე გასრიალებული 20 კგ მასის ყუთი 100 მ-ის გავლის შემდეგ გაჩერდა. განსაზღვრეთ ყუთის ცინულთან ხახუნის კოეფიციენტი, თუ ამ დროს ხახუნის ძალამ -2 კვ მუშაობა შეასრულა ($g=10$ ნ/კგ).
2. 20 კგ მასის ყუთს თანაბრად მიასრიალებენ ჰორიზონტალურ ზედაპირზე მისი პარალელური ძალის მოქმედებით. ხახუნის კოეფიციენტი ყუთსა და ზედაპირს შორის 0,15-ია. განსაზღვრეთ ყუთზე მოქმედი წევის ძალის მოდული და მის მიერ შესრულებული მუშაობა ყუთის 10 მეტრზე გადაადგილებისას ($g=10$ ნ/კგ).
3. ალუმინის ბურთულა იძირება წყალში. შეაფასეთ, ჩაძირვის პროცესში არქიმედეს ძალის მიერ შესრულებული მუშაობის მოდული უფრო მეტი იქნება თუ სიმძიმის ძალის.
4. ალუმინის $V = 0.5$ ლ მოცულობის ბურთულა იძირება წყალში. განსაზღვრეთ 10 მ სიღრმეზე ჩაძირვისას არქიმედეს ძალისა და სიმძიმის ძალის მიერ შესრულებული მუშაობა ($g=10$ ნ/კგ).
5. წყალში ჩაძირული კორპის ბურთულა გაათავისუფლეს. შეაფასეთ ბურთულის ზემოთ ამოსვლის პროცესში რომელი ძალის მიერ შესრულებული მუშაობა იქნება მოდულით უფრო მეტი: არქიმედეს ძალისა თუ სიმძიმის ძალის.
6. 15 მეტრი სიღრმის ტბის ფსკერიდან ზედაპირზე ამოტივტივდა 10 სმ³ მოცულობის კორპის ნაჭერი. განსაზღვრეთ არქიმედეს ძალისა და სიმძიმის ძალის მიერ შესრულებული მუშაობა ამ მოძრაობისას ($g=10$ ნ/კგ).
7. 0,5 ლ მოცულობის ალუმინის ბურთულა თანაბრად იძირება წყალში 10 მ სიღრმეზე. განსაზღვრეთ ჩაძირვისას წყლის წინააღმდეგობის ძალის მიერ შესრულებული მუშაობა ($g=10$ ნ/კგ).
8. წყალში ჩაძირულ 0,5 დმ³ მოცულობის სპილენძის სხეულს თოკით თანაბრად ეწევიან ვერტიკალურად ზევით. განსაზღვრეთ სხეულის 10 მ-ით აწევაზე შესრულებული მუშაობა. სხეულზე მოქმედ წყლის წინააღმდეგობის ძალას ნუ გაითვალისწინებთ ($g=10$ ნ/კგ).
9. წყალში 10 მეტრ სიღრმეზე ჩაძირული 0,5 დმ³ მოცულობის აგური თოკით თანაბრად ამოიტანეს წყლის ზედაპირზე. განსაზღვრეთ აგურის ამოტანაზე შესრულებული მუშაობა, თუ წყლის წინააღმდეგობის საშუალო ძალა 50 ნ-ია ($g=10$ ნ/კგ).
10. ერთი და იგივე სხეული ერთნაირ სიმაღლეზე თანაბრად აიტანეს ჯერ მასზე გამობმული თოკით, შემდეგ კი ჰიდრავლიკური წნეხით. შეადარეთ ერთმანეთს თითოეულ შემთხვევაში შესრულებული მუშაობა. თოკისა და დგუშების მასებს, ასევე წინააღმდეგობის ძალებს ნუ გაითვალისწინებთ.
11. შეაფასეთ, ერთსა და იმავე კიბეზე არბენისას უფრო მეტ მუშაობას ასრულებთ, თუ ნელა ასვლისას? მიიჩნიეთ, რომ ორივე შემთხვევაში მოძრაობა თანაბარია.
12. შეაფასეთ, ერთსა და იმავე კიბეზე არბენისას მეტ სიმძლავრეს ავითარებთ, თუ ნელა ასვლისას?
13. ლაშქრობისას ციცაბო აღმართზე პირდაპირ ასვლას ამჯობინებთ, თუ მიხვეულ-მოხვეული ტრაექტორიით? შეაფასეთ, რომელ შემთხვევაში ასრულებთ მეტ მუშაობას.
14. ნავზე მოქმედი წყლის წინააღმდეგობის ძალა მისი სიჩქარის პროპორციულია: $F \sim v$. ნავის სიჩქარე ორჯერ გაზარდეს. როგორ შეიცვალა მისი ძრავას სიმძლავრე? მიიჩნიეთ, რომ ორივე შემთხვევაში მოძრაობა თანაბარია.
15. ნავზე მოქმედი წყლის წინააღმდეგობის ძალა მისი სიჩქარის კვადრატის პროპორციულია: $F \sim v^2$. რამდენჯერ უნდა გავზარდოთ ნავის ძრავას სიმძლავრე, რომ სიჩქარე ორჯერ გაიზარდოს? მიიჩნიეთ, რომ ორივე შემთხვევაში მოძრაობა თანაბარია.
16. სატვირთო ავტომობილის წევის ძალა 9-ჯერ მეტია მსუბუქისაზე, სიჩქარე კი – სამჯერ ნაკლები. განსაზღვრეთ სატვირთო და მსუბუქი ავტომობილების ძრავას სიმძლავრეების შეფარდება, თუ ავტომობილები თანაბრად მოძრაობს.

17. პირველი ავტომობილის ძრავას მიერ განვითარებული სიმძლავრე 10-ჯერ მეტია მეორისაზე. რამდენჯერ აღემატება პირველი ავტომობილის ძრავას მიერ შესრულებული მუშაობა მეორისას, თუ მათი მუშაობის ხანგრძლივობები, შესაბამისად, 20 წმ და 50 წმ-ია.

18. ტყვია მოხვდა ხეს და შეიჭრა მასში 10 სმ სიღრმეზე. განსაზღვრეთ შეჭრისას ტყვიის მიერ განვითარებული საშუალო სიმძლავრე, თუ ამ ძალის საშუალო მნიშვნელობა 200 ნ-ია, ხოლო ტყვიის ხეში მოძრაობის ხანგრძლივობა – წამის მეასედი.

19. ტყვია მოხვდა ხეს და შეაღწია მასში 20 სმ სიღრმეზე. შეჭრისას წარმოქმნილი წინააღმდეგობის ძალის სანყისი მნიშვნელობა 600 ნ-ია. მიიჩნიეთ, რომ წინააღმდეგობის ძალა ტყვიის მიერ გავლილი მანძილის მიხედვით თანაბრად მცირდება და განსაზღვრეთ ტყვიის მიერ განვითარებული საშუალო სიმძლავრე, თუ ის მოხვედრიდან $\frac{1}{20}$ წამში გაჩერდა.

20. დედამიწის ზედაპირის მიმართ სხეულის პოტენციალური ენერგია 200 ჯ-ია. რა მუშაობას შეასრულებს ამ სხეულზე მოქმედი სიმძიმის ძალა მისი დედამიწაზე ჩამოვარდნისას?

21. გოგონა მეათე სართულიდან მეხუთე სართულზე ლიფტით ჩავიდა. შეადარეთ ერთმანეთს გოგონას პოტენციალური ენერგიის ცვლილება შემდეგ ორ შემთხვევაში: ა) თუ პოტენციალური ენერგიის ნულოვან დონედ პირველი სართულის იატაკს მივიჩნივთ; ბ) თუ პოტენციალური ენერგიის ნულოვან დონედ მესამე სართულის იატაკს მივიჩნივთ.

22. წინა ამოცანის პირობის მიხედვით, განსაზღვრეთ დადებითია თუ უარყოფითი თითოეულ შემთხვევაში სიმძიმის ძალის მიერ შესრულებული მუშაობა.

რა კავშირია სიმძიმის ძალის მიერ შესრულებულ მუშაობასა და პოტენციალური ენერგიის ცვლილებას შორის?

მინიშნება: ფიზიკური სიდიდის ცვლილება ნიშნავს მისი საბოლოო და საწყისი მნიშვნელობების სხვაობას.

23. ერთი სხეულის პოტენციალური ენერგია 10-ჯერ მეტია მეორისაზე. განსაზღვრეთ პირველი სხეულის მასის შეფარდება მეორის მასასთან, თუ მეორე სხეული ნულოვანი დონიდან 20-ჯერ მაღლაა, ვიდრე – პირველი.

24. სხეულის პოტენციალური ენერგია დედამიწის ზედაპირის მიმართ 100 ჯ-ია. 50 მ-ით აწევის შემდეგ მისი პოტენციალური ენერგია სამჯერ გაიზარდა. განსაზღვრეთ სხეულის მასა ($g=10$ ნ/კგ).

25. სხეულის 150 მ-ით დაწევისას მისი პოტენციალური ენერგია 75%-ით შემცირდა. განსაზღვრეთ სხეულის ნულოვანი დონიდან დაშორება საწყის მდებარეობაში ($g=10$ ნ/კგ).

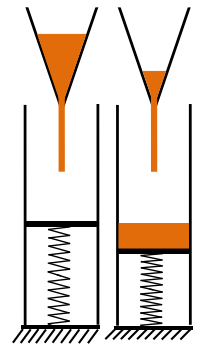
26. m_1 მასის სხეულის პოტენციალური ენერგიის შეფარდება m_2 მასის სხეულის პოტენციალურ ენერგიასთან $\frac{5}{3}$ -ის ტოლია. როდესაც ამ სხეულებს ადგილები გაუცვალეს, m_1 მასის სხეულის პოტენციალური ენერგია $\frac{20}{3}$ -ჯერ მეტი აღმოჩნდა, ვიდრე m_2 -ის. განსაზღვრეთ $\frac{m_1}{m_2}$.

27. 2 კგ მასის სხეულის პოტენციალური ენერგია 10-ჯერ მეტია 1 კგ მასის სხეულის პოტენციალურ ენერგიაზე. თუ ამ სხეულებს ადგილებს გავუცვლით, მაშინ 1 კგ მასის სხეულის პოტენციალური ენერგია 150 ჯ-ით მეტი გახდება, ვიდრე 2 კგ მასის სხეულის. განსაზღვრეთ, რა სიმაღლეზე იმყოფებდნენ ეს სხეულები თავდაპირველად ($g=10$ ნ/კგ).

28. ორ ვერტიკალურ ზამბარაზე ჩამოკიდებული ტვირთები წონასწორობაშია. პირველი ზამბარის დეფორმაცია 2-ჯერ მეტია მეორისაზე: $x_1 = 2x_2$. განსაზღვრეთ პირველი ზამბარის პოტენციალური ენერგიის შეფარდება მეორე ზამბარის პოტენციალურ ენერგიასთან, თუ: ა) ზამბარაზე დაკიდებული ტვირთების მასები ერთნაირია; ბ) პირველ ზამბარაზე დაკიდებული ტვირთის მასა 4-ჯერ აღემატება მეორე ზამბარაზე დაკიდებული ტვირთის მასას.

29. ზამბარაზე ჩამოკიდებული 5 კგ მასის ტვირთი წონასწორობაშია. ამ დროს ზამბარის პოტენციალური ენერგია 1,5 ჯ-ია. განსაზღვრეთ ზამბარის წაგრძელება ($g=10$ ნ/კგ).

30. ვერტიკალურ გლუვ ცილინდრში ჩასმულია დგუში, რომელიც დევს მის ქვემოთ, იატაკზე დამაგრებულ ვერტიკალურ ზამბარაზე (სურ. 1.53). დგუშზე ყოველ წმ-ში 500 გრამი მასის ქვიშა თანაბრად იყრება. რამდენ ხანში გახდება ზამბარის პოტენციური ენერგია 2,5 ჯ-ის ტოლი, თუ ზამბარის სიხისტე 2 კნ/მ-ია?



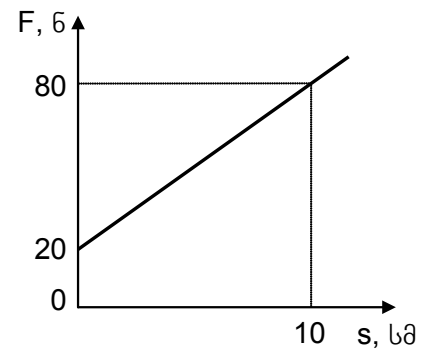
სურ. 1.53

31. ფიცარში ბოლომდე ჩარჭობილმა 10 სმ სიგრძის ლურსმანმა ამოძრობა დაიწყო ლურსმნის გასწვრივ მიმართული 100 ნ ძალის მოქმედებისას. ლურსმანზე მოდებული ძალა თანაბრად მცირდება მისი ამოძრობის მიხედვით, ბოლოს კი ნულის ტოლი ხდება. დახაზეთ ლურსმანზე მოდებული ძალის მის გადაადგილებაზე დამოკიდებულების გრაფიკი და განსაზღვრეთ ლურსმნის ნახევრის ამოძრობაზე შესრულებული მუშაობა. რა ფიზიკური აზრი აქვს გრაფიკის ქვეშ მოთავსებული ფიგურის ფართობს?

32. გასართობ პარკში გიგანტური შადრევნისათვის აღმართეს 30 მეტრი სიმაღლის ვერტიკალური ცილინდრული მილი. მილის განივკვეთის ფართობი 300 სმ²-ია. ტუმბოს საშუალებით დაიწყეს მილის ძირიდან წყლის შეშვება ისე, რომ წყალი ნელა და თანაბრად იწვეს ზევით. განსაზღვრეთ მილის 20 მ სიმაღლემდე ავსების მომენტისთვის ტუმბოს მიერ შესრულებული მუშაობა ($g=10$ ნ/კგ).

33. წინა ამოცანის პირობის მიხედვით, განსაზღვრეთ მილის 10 მ-დან 20 მ სიმაღლემდე წყლით შევსებისას ტუმბოს მიერ შესრულებული მუშაობა.

34. სურ. 1.54-ზე გამოსახულ გრაფიკზე ნაჩვენებია სხეულზე მოდებული ძალის ცვლილება გავლილი მანძილის მიხედვით. გრაფიკის გამოყენებით უპასუხეთ შემდეგ კითხვებს:



სურ. 1.54

ა) რისი ტოლია ძალის საწყისი და საბოლოო მნიშვნელობები?

ბ) რისი ტოლია ძალის საშუალო მნიშვნელობა?

გ) რისი ტოლია სხეულზე მოდებული ძალის მიერ შესრულებული მუშაობა?

დ) რა კავშირია სხეულზე მოდებული ძალის მუშაობასა და გრაფიკის ქვეშ მოთავსებული ფიგურის ფართობს შორის?

35. 3 დმ³ მოცულობის რეზინის ბუშტი მიმაგრებულია 10 მ სიღრმის ტბის ფსკერზე. ბუშტი გაათავისუფლეს და ამოვიდა ტბის ზედაპირზე. მიიჩნიეთ, რომ ბუშტის მოცულობა, წყლის ზედაპირთან მიახლოების მიხედვით, თანაბრად იზრდება და განსაზღვრეთ არქიმედეს ძალის მიერ შესრულებული მუშაობა, თუ ტბის ზედაპირთან ბუშტის მოცულობა 5 დმ³-ს აღწევს ($g=10$ ნ/კგ).

36. 1000 მ³ მოცულობის საჰაერო ბურთმა დაიწყო მოძრაობა ვერტიკალურად ზევით. განსაზღვრეთ საჰაერო ბუშტზე მოქმედი ამომგდები ძალის მიერ შესრულებული მუშაობა ბუშტის 2 კმ სიმაღლეზე ასვლისას. მიიჩნიეთ, რომ ამ მოძრაობისას ატმოსფეროს სიმკვრივე, სიმაღლის მიხედვით, თანაბრად მცირდება 1,2 კგ/მ³-დან 1 კგ/მ³-მდე ($g=10$ ნ/კგ).

37. რა სიჩქარით უნდა მოძრაობდეს 1 კგ მასის სხეული, რომ მისი კინეტიკური ენერგია 2 ჯ-ის ტოლი იყოს?

38. განსაზღვრეთ 20 მ/წმ სიჩქარით მოძრავი ჩოგბურთის ბურთის მასა, თუ მისი კინეტიკური ენერგია 50 ჯ-ის ტოლია.

39. ავტომობილის მასაა 2 ტ. სამაშველო კატერისა კი – 1 ტ. განსაზღვრეთ კატერის სიჩქარის შეფარდება ავტომობილის სიჩქარესთან, თუ კატერის კინეტიკური ენერგია 50-ჯერ აღემატება ავტომობილის კინეტიკურ ენერგიას.

40. მოტორიანი ნავის კინეტიკური ენერგია 200 ჯ-ია. მისი სიჩქარე გაიზარდა 3-ჯერ. რამდენი ჯოულით გაიზარდა ნავის კინეტიკური ენერგია?

41. ელექტრომობილის კინეტიკური ენერგია 800 ჯ-ია. რამდენჯერ უნდა გავზარდოთ მისი სიჩქარე, რომ კინეტიკური ენერგია 2400 ჯ-ით გაიზარდოს?

42. რამდენი პროცენტით შემცირდება სხეულის კინეტიკური ენერგია, თუ მის სიჩქარეს ორჯერ შევამცირებთ?

43. 9 ტონიანი ავტობუსის კინეტიკური ენერგია მგზავრების გარეშე $7,2 \cdot 10^6$ ჯ-ია. 50 მგზავრის ასვლის შემდეგ კინეტიკური ენერგია $15 \cdot 10^6$ ჯ-ის ტოლი გახდა. რამდენით გაიზარდა ავტობუსის სიჩქარე, თუ თითოეული მგზავრის მასა საშუალოდ 60 კგ-ია?

44. 10 მ სიმაღლიდან ვარდნას იწყებს 5 კგ მასის სხეული. განსაზღვრეთ ამ სხეულის პოტენციალური და კინეტიკური ენერგიები დედამიწის ზედაპირიდან 3 მ სიმაღლეზე. პოტენციალური ენერგიის ნულოვან დონედ დედამიწის ზედაპირი მიიჩნეო. წინააღმდეგობის ძალები არ გაითვალისწინოთ ($g=10$ ნ/კგ).

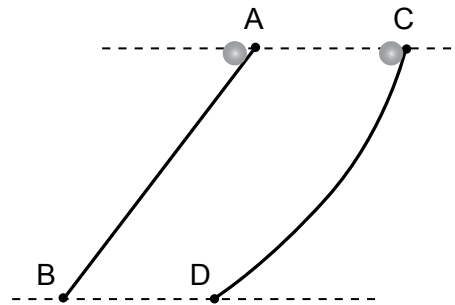
45. სხეული ვარდნას იწყებს 20 მ სიმაღლიდან. რა სიჩქარით დაეჯახება ეს სხეული დედამიწის ზედაპირს? წინააღმდეგობის ძალები არ გაითვალისწინოთ ($g=10$ ნ/კგ).

46. 20 მ სიმაღლის აივნიდან ვერტიკალურად ზევით აისროლეს ბურთი, რომელმაც დედამიწის ზედაპირიდან 40 მეტრ სიმაღლეს მიაღწია. განსაზღვრეთ ბურთის ასროლის სიჩქარე. წინააღმდეგობის ძალები არ გაითვალისწინოთ ($g=10$ ნ/კგ).

47. დედამიწის ზედაპირიდან ვერტიკალურად 10 მ/წმ სიჩქარით აისროლეს სხეული. პოტენციალური ენერგია ნულის ტოლად დედამიწის ზედაპირზე მიიჩნეოთ და განსაზღვრეთ, რა სიმაღლეზე გახდება სხეულის პოტენციალური და კინეტიკური ენერგიები ერთმანეთის ტოლი. წინააღმდეგობის ძალები არ გაითვალისწინოთ ($g=10$ ნ/კგ).

48. დედამიწის ზედაპირიდან ვერტიკალურად 15 მ/წმ სიჩქარით აისროლეს სხეული. პოტენციალური ენერგია ნულის ტოლად დედამიწის ზედაპირზე მიიჩნეოთ და განსაზღვრეთ სხეულის სიჩქარე იმ მომენტში, როდესაც მისი პოტენციალური ენერგია კინეტიკურზე სამჯერ მეტი გახდება. წინააღმდეგობის ძალები არ გაითვალისწინოთ ($g=10$ ნ/კგ).

49. A და C წერტილებში მოთავსებულ ბურთულებს ათავისუფლებენ (სურ. 1.55). რომელ ბურთულას ექნება უფრო მეტი სიჩქარე BD დონეზე დაშვებისას, თუ AC და BD წრფეები ჰორიზონტალურია? წინააღმდეგობის ძალები არ გაითვალისწინოთ და პასუხი დაასაბუთეთ.

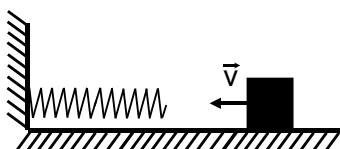


სურ. 1. 55

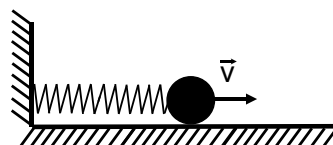
50. დედამიწის ზედაპირიდან v სიჩქარით ვერტიკალურად ასროლილი სხეული h სიმაღლეს აღწევს. რა სიმაღლეს მიაღწევს იმავე ზედაპირიდან $2v$ სიჩქარით ასროლილი სხეული? წინააღმდეგობის ძალები არ გაითვალისწინოთ.

51. გლუვ ჰორიზონტალურ ზედაპირზე 10 მ/წმ სიჩქარით მისრიალებს 500 გ მასის ძელაკი, რომელიც ეჯახება კედელზე ერთი ბოლოთი მიმაგრებულ ზამბარას (სურ. 1.56). განსაზღვრეთ ზამბარის მაქსიმალური შეკუმშვის სიგრძე, თუ ზამბარის სიხისტე 200 ნ/მ-ია.

52. 200 ნ/მ სიხისტის ზამბარის ერთი ბოლო მიმაგრებულია კედელზე, მეორე ბოლო კი – 2 კგ მასის ბირთვზე (სურ. 1.57). იმ მომენტში, როდესაც ბირთვის სიჩქარე 2 მ/წმ-ია, ზამბარის დეფორმაციაა 10 სმ. განსაზღვრეთ: ა) სისტემის სრული მექანიკური ენერგია; ბ) ზამბარის დეფორმაცია იმ მომენტში, როდესაც ბირთვის სიჩქარე განახევრდება. წინააღმდეგობის ძალები არ გაითვალისწინოთ.

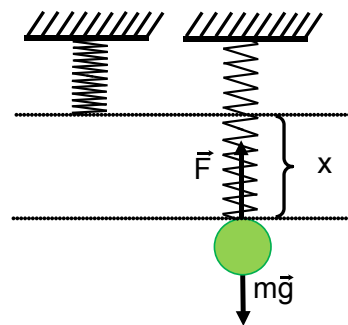


სურ. 1. 56



სურ. 1. 57

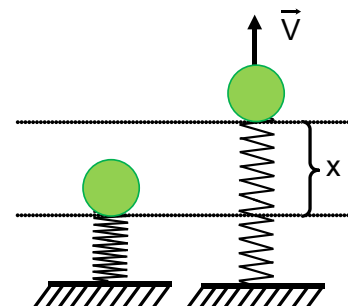
53. $k=1000$ ნ/მ სიხისტის არადეფორმირებულ ზამბარაზე ჩამოკიდეს $m = 10$ კგ მასის ტვირთი. ზამბარა გაიჭიმა და ტვირთი გაჩერდა (სურ. 1.58). განსაზღვრეთ სიმძიმის ძალის მიერ შესრულებული მუშაობა და ზამბარის პოტენციური ენერგია ($g=10$ ნ/კგ).



სურ. 1.58

54. წინა ამოცანის პირობის მიხედვით, დაადგინეთ, ზამბარისა და სხეულის ჯამური მექანიკური ენერგიის რა ნაწილი დაიკარგა (მოხმარდა წინააღმდეგობის დაძლევის) ტვირთის მოძრაობისას?

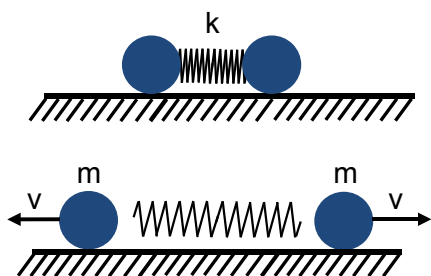
55. 3000 ნ/მ სიხისტის $x=10$ სმ-ით შეკუმშულ ზამბარას ზემოდან დაადეს $m=5$ კგ მასის ტვირთი და გაათავისუფლეს (სურ. 1.59). განსაზღვრეთ ტვირთის სიჩქარე ზამბარიდან მოცილების მომენტში. მიიჩნიეთ, რომ ტვირთის მოცილების მომენტში ზამბარა არადეფორმირებულია. წინააღმდეგობის ძალები და ზამბარის მასა არ გაითვალისწინოთ ($g=10$ ნ/კგ).



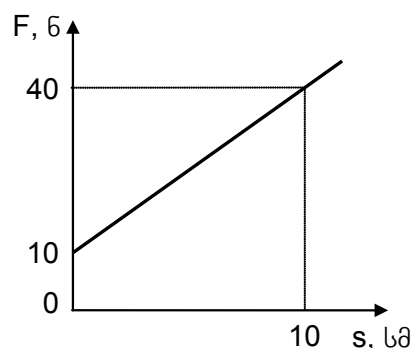
სურ. 1.59

56. ჰორიზონტალურ მაგიდაზე დევს 5 კგ მასის ორი ერთნაირი ბირთვი. მათ შორის მოათავსეს $k=4000$ ნ/მ სიხისტის 10 სმ-ით შეკუმშული ზამბარა (სურ. 1.60). განსაზღვრეთ ტვირთების სიჩქარე მათი ზამბარიდან მოცილების შემდეგ. წინააღმდეგობის ძალები არ გათვალისწინოთ.

57. სურ. 1.61-ზე გამოსახულ გრაფიკზე ნაჩვენებია სხეულზე მოდებული ძალის ცვლილება გავლილი მანძილის მიხედვით. განსაზღვრეთ: ა) ძალის საშუალო მნიშვნელობა 10 სმ მანძილის გავლისას; ბ) ძალის მიერ შესრულებული მუშაობა 10 სმ მანძილზე; გ) ძალის მოდული 5 სმ მანძილის გავლის მომენტისთვის.



სურ. 1.60



სურ. 1.61

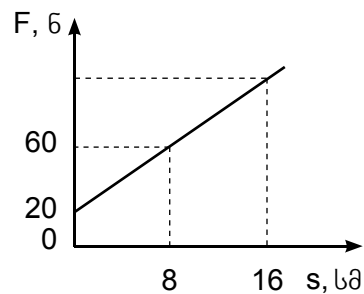
58. სურ. 1.62-ზე გამოსახულ გრაფიკზე ნაჩვენებია სხეულზე მოდებული ძალის ცვლილება გავლილი მანძილის მიხედვით. განსაზღვრეთ:

ა) ძალის მიერ სხეულის 8 სმ მანძილის გავლისას შესრულებული მუშაობა;

ბ) სხეულზე მოდებული ძალის მოდული 16 სმ მანძილის გავლის მომენტისათვის;

გ) 16 სმ მანძილის გავლისას ძალის მიერ შესრულებული მუშაობა.

59. დაფიქრდით და ივარაუდეთ, როგორ შეიცვლება სხეულის კინეტიკური ენერგია, თუ მასზე მოქმედი ძალების ტოლქმედი დადებით მუშაობას შეასრულებს?



სურ. 1.62

60. როგორ შეიცვლება სხეულის კინეტიკური ენერგია, თუ მასზე მოქმედი ძალების ტოლქმედი 100 ჯ მუშაობას შეასრულებს?

61. დაფიქრდით და ივარაუდეთ, როგორ შეიცვლება სხეულის კინეტიკური ენერგია, თუ მასზე მოქმედი ძალების ტოლქმედი უარყოფით მუშაობას შეასრულებს?

62. როგორ შეიცვლება სხეულის კინეტიკური ენერგია, თუ მასზე მოქმედი ძალების ტოლქმედი -200 ჯ მუშაობას შეასრულებს?

63. დაფიქრდით და ივარაუდეთ, როგორ ცვლის ჰორიზონტალურ ზედაპირზე მოსრიალე სხეულის კინეტიკურ ენერგიას მასზე მოქმედი სიმძიმის, რეაქციისა და ხახუნის ძალები?

64. გლუვ ჰორიზონტალურ ზედაპირზე მდებარე 20 კგ მასის უძრავ ყუთზე მოქმედებას იწყებს 100 ნ ჰორიზონტალური ძალა. განსაზღვრეთ ყუთის შეძენილი სიჩქარე 10 მ მანძილის გავლისას.

65. 26 კგ მასის უძრავ ველოსიპედზე მოქმედებას იწყებს 150 ნ წევის ძალა. განსაზღვრეთ ველოსიპედის მასა, თუ ამ ძალის მოქმედებით ველოსიპედის მიერ ჰორიზონტალურ გზაზე 200 მეტრის გავლისას შეძენილი სიჩქარე 25 მ/წმ-ია. წინააღმდეგობის ძალებს ნუ გაითვალისწინებთ.

66. განსაზღვრეთ ავტომობილის მკვეთრი დამუხრუჭებისას გაჩერებამდე გავლილი მანძილი (სამუხრუჭე მანძილი), თუ ავტომობილის სიჩქარე დამუხრუჭების დაწყების მომენტში 20 მ/წმ-ია, ბორბლების გზის საფართან სრიალის ხახუნის კოეფიციენტი კი - 0,4 ($g \approx 10$ ნ/კგ).

67. გზაზე სწრაფად მიმავალი ავტომობილის მძღოლმა მოულოდნელად შეამჩნია წინააღმდეგობა და მკვეთრად დაამუხრუჭა. განსაზღვრეთ, რა სიჩქარით მოძრაობდა ავტომობილი, თუ ბორბლების მიერ გზის საფარზე დატოვებული კვალის სიგრძე 40 მ-ია (სურ. 1.63), ბორბლების გზის საფართან სრიალის ხახუნის კოეფიციენტი კი - 0,5.



სურ. 1.63

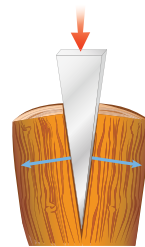
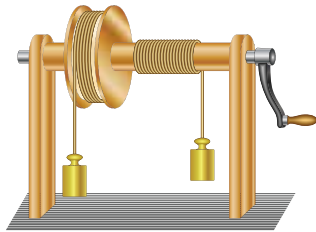
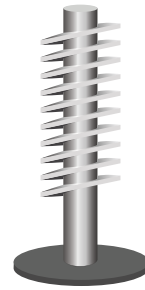
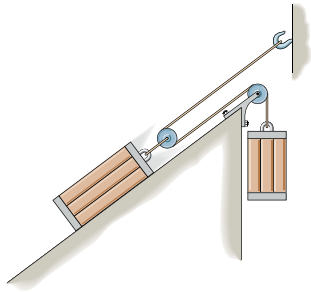
68. 10 კგ მასის ხის ძელი უძრავად დევს ჰორიზონტალურ ზედაპირზე. მას მოსდეს ზედაპირის პარალელური 200 ნ ძალა. განსაზღვრეთ ძელის მიერ 50 მეტრ მანძილზე შეძენილი კინეტიკური ენერგია, თუ მისი ზედაპირთან ხახუნის კოეფიციენტი 0,2-ია ($g \approx 10$ ნ/კგ).

69. 10 კგ მასის ხის ძელი უძრავად დევს ჰორიზონტალურ ზედაპირზე. მას მოსდეს ზედაპირის პარალელური 180 ნ ძალა. 100 მეტრის გავლის შემდეგ ძალის მიმართულება საპირისპიროთი შეცვალეს. ძალის მიმართულების შეცვლის ადგილიდან რა მანძილს გაივლის ძელი გაჩერებამდე, თუ მისი ზედაპირთან სრიალის ხახუნის კოეფიციენტი 0,2-ია ($g \approx 10$ ნ/კგ).

70. ავტომობილი მოძრაობდა 20 მ/წმ სიჩქარით. მკვეთრი დამუხრუჭებისას, სამუხრუჭე სისტემა მწყობრიდან გამოვიდა და გარკვეული დროის შემდეგ ამოქმედდა. შედეგად დამუხრუჭების დაწყებიდან 60 მ მანძილზე ავტომობილის მხოლოდ უკანა ორი ბორბალი ამუხრუჭებდა, უკანასკნელ 20 მეტრზე კი - ოთხივე ბორბალი. განსაზღვრეთ ბორბლების გზის საფართან სრიალის ხახუნის კოეფიციენტი. მიიჩნიეთ, რომ დამუხრუჭებისას ავტომობილის მასა თანაბრად არის განაწილებული ოთხივე ბორბალზე ($g \approx 10$ ნ/კგ).

თავი II

სხეულთა წონასწორობა. მარტივი მექანიზმები



ამ თავში თქვენ გაეცნობით:

- სხეულის წონასწორობის პირობებს;
- წონასწორობის სახეებს;
- მომენტების წესს;
- მარტივ მექანიზმებს;
- მექანიზმის მარგი ქმედების კოეფიციენტს;
- მარტივი მექანიზმების გამოყენებას ყოველდღიურ ცხოვრებაში.

§ 2.1 სხეულის წონასწორობა. მასათა ცენტრი. სიმძიმის ცენტრი

თქვენ იწყებთ ფიზიკის ნაწილის – სტატიკის შესწავლას. „სტატიკა“ ბერძნული სიტყვაა და წონასწორობას, უძრაობას ნიშნავს. რას ვგულისხმობთ სხეულის წონასწორობაში?

სხეულის წონასწორობა დროის განმავლობაში სხეულის უძრაობის ან თანაბარი მოძრაობის მდგომარეობის შენარჩუნებაა.

რას ნიშნავს სხეულის თანაბარი მოძრაობის მდგომარეობის შენარჩუნება?



გავიხსენოთ სხეულის ბრუნვითი და გადატანითი მოძრაობის განმარტებები:

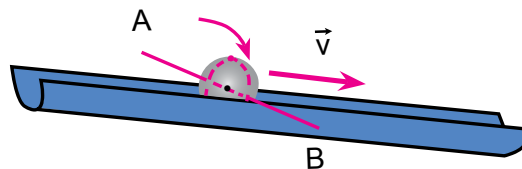
ბრუნვითი მოძრაობა – მოძრაობა, რომლის დროსაც სხეულის წერტილები ბრუნავენ წრეწირებზე, რომელთა ცენტრები ერთ წრფეზე – ბრუნვის ღერძზე მდებარეობს.

გადატანითი მოძრაობა – მოძრაობა, რომლის დროსაც სხეულის ყველა წერტილი ერთნაირად მოძრაობს. გადატანითი მოძრაობისას ბრუნვა და დეფორმაცია არ ხდება. ეს ნიშნავს, რომ სხეულის ნებისმიერ ორ წერტილს შორის მანძილი არ იცვლება და მათზე გავლებული წრფე თავისი თავის პარალელური რჩება.

განვიხილოთ ბურთულის თანაბარი მოძრაობა ოდნავ დახრილ ღერძში (სურ. 2.1). ეს რთული მოძრაობაა, რომელიც შეიძლება დავშალოთ ორ მოძრაობად:

- ბურთულის ბრუნვით მოძრაობად AB ღერძის გარშემო;
- ბურთულის, როგორც მთლიანის გადატანით მოძრაობად $\vec{V}$ სიჩქარით, რომელიც AB ღერძის წერტილების სიჩქარის ტოლია.

ბურთულა ინარჩუნებს თანაბარი მოძრაობის მდგომარეობას, ანუ იმყოფება წონასწორულ მდგომარეობაში, თუ მისი ბრუნვითი და გადატანითი მოძრაობის სიჩქარეები არ იცვლება.



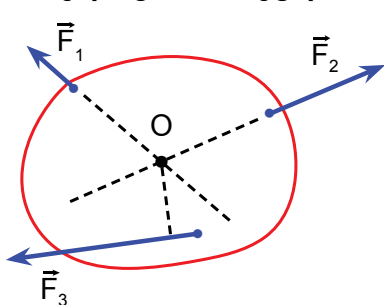
სურ. 2.1

რა შემთხვევაში ასრულებს სხეული გადატანით მოძრაობას? ბრუნვით მოძრაობას?



ჩავატაროთ ცდა: უძრავ სხეულს მოვდოთ რაღაც ძალა. ჩვეულებრივ, სხეული იწყებს შემობრუნებას და ამავე დროს გადატანით მოძრაობას. მაგრამ გარკვეული კუთხით შემობრუნების შემდეგ სხეულის ბრუნვითი მოძრაობა შეწყდება და იგი გააგრძელებს მხოლოდ გადატანით მოძრაობას. ეს მოხდება მაშინ, როცა ძალის მოქმედების წრფე გაივლის **სხეულის მასათა ცენტრზე**.

სხეულის მასათა ცენტრი იმ ძალთა მოქმედების წრფეების გადაკვეთის წერტილია, რომელთაგან თითოეულის მოქმედება იწვევს სხეულის მხოლოდ გადატანით მოძრაობას.



სურ. 2.2

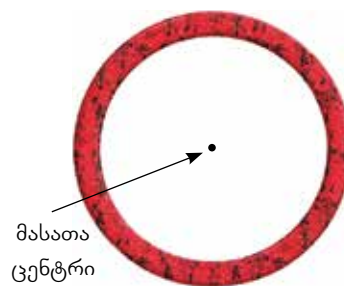
(სურ. 2.2)-ზე $\vec{F}_1$ და $\vec{F}_2$ ძალები გამოიწვევს სხეულის მხოლოდ გადატანით მოძრაობას, რადგან მათი მოქმედების წრფეები გადის სხეულის მასათა ცენტრზე (O წერტილი). $\vec{F}_3$ ძალა გამოიწვევს სხეულის როგორც გადატანით, ასევე ბრუნვით მოძრაობას.

თუ სხეულის ზომები მცირეა, მასზე მოქმედი სიმძიმის ძალა მასათა ცენტრზეა მოდებული.

წერტილს, რომელზეც მოდებულია სხეულზე მოქმედი სიმძიმის ძალა, სიმძიმის ცენტრი ეწოდება.

ერთგვაროვანი წესიერი ფორმის სხეულის სიმძიმის ცენტრი მის გეომეტრიულ ცენტრს ემთხვევა. სხეულის სიმძიმის ცენტრი შესაძლებელია არ ეკუთვნოდეს ამ სხეულს. მაგალითად, ერთგვაროვანი რგოლის მასათა ცენტრი მის ცენტრშია, რომელიც რგოლს არ ეკუთვნის (სურ. 2.3).

სხეულის სიმძიმის ცენტრის პოვნის ხერხებს შემდეგ პარაგრაფებში გავეცნობით.



სურ. 2.3

დასკვნები:

- დროის განმავლობაში სხეულის უძრაობის ან თანაბარი მოძრაობის მდგომარეობის შენარჩუნებას სხეულის წონასწორობა ეწოდება;
- წერტილს, რომელშიც გადაიკვეთება ყველა ის ძალა, რომელთა მოქმედებითაც სხეული მხოლოდ გადატანით მოძრაობას ასრულებს, მასათა ცენტრი ეწოდება;
- მცირე ზომის სხეულზე მოქმედი სიმძიმის ძალა მის მასათა ცენტრზეა მოდებული;
- წერტილს, რომელზეც მოდებულია სხეულზე მოქმედი სიმძიმის ძალა, სიმძიმის ცენტრი ეწოდება.



საშინაო ცდა:

ცდის მიზანი: რეზინის ბუშტის წონასწორობის მდგომარეობაზე დაკვირვება.

ცდისთვის საჭიროა: რეზინის ბუშტი და ძაფი.

ცდის აღწერა: გაბერეთ ბუშტი და დახურულ ოთახში ძაფით ჩამოკიდეთ ქალზე (სურ. 2.4 ა) (უსაფრთხოებისთვის დახმარება სთხოვეთ უფროსებს). დააკვირდით მას და ახსენით ბუშტის უძრაობის მიზეზი. შემდეგ გადაჭერით ძაფი და დააკვირდით ბუშტის მოძრაობას (სურ. 2.4 ბ). იცვლება თუ არა მისი სიჩქარე იატაკისკენ დაშვებისას? დაკვირვების შედეგები ჩანერეთ რვეულში.

ა)



ბ)



სურ. 2.4

§ 2.2 არამბრუნავი სხეულის წონასწორობა

წინა პარაგრაფში აღვწერეთ ბურთულის მოძრაობა დახრილ ღარში. ამ მოძრაობისას ბურთულა ბრუნავს გარკვეული ღერძის გარშემო და, იმავდროულად, გადაადგილდება ღარის გასწვრივ. შეასრულებს თუ არა იმავე სახის მოძრაობებს მბრუნავი ბზრიალა, რომელიც მაგიდიდან ჩამოვარდა?

 დაფიქრდით და მოიყვანეთ ანალოგიური მაგალითები ყოველდღიური ყოფა-ცხოვრებიდან.

ამ მაგალითების საფუძველზე შეიძლება დავასკვნათ, რომ შესაძლებელია სხეული ერთდროულად ასრულებდეს ბრუნვით მოძრაობას და გადაადგილდებოდეს კიდეც. რას ნიშნავს ასეთ შემთხვევაში სხეულის წონასწორობა?

ჯერ განვიხილოთ წონასწორობა მხოლოდ იმ სხეულისა, რომელიც არ ასრულებს ბრუნვით, მაგრამ შესაძლოა ასრულებდეს გადატანით მოძრაობას. როგორც ვიცით, თუ სხეულზე მოდებული ყველა ძალის მოქმედების წრფე გადის მის მასათა ცენტრზე, მაშინ იგი გადატანით მოძრაობას ასრულებს.

ჩავატაროთ ცდები:



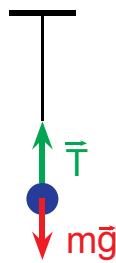
1. შტატივზე ძაფით ჩამოვკიდოთ ბურთულა (სურ. 2.5). ბურთულაზე მოქმედებს ორი ძალა: ვერტიკალურად ქვევით მიმართული სიმძიმის ძალა – $m\vec{g}$, და ვერტიკალურად ზევით მიმართული ძაფის დაჭიმულობის ძალა – $\vec{T}$. ბურთულა უძრავია, ანუ იმყოფება წონასწორობის მდგომარეობაში. გადავჭრათ ძაფი. ბურთულაზე იმოქმედებს მხოლოდ სიმძიმის ძალა, ბურთულა ამოძრავდება მზარდი სიჩქარით ქვევით, ანუ წონასწორობა დაირღვევა (სურ. 2.6).

ძაფზე უძრავად დაკიდებულ ბურთულაზე მოქმედი $m\vec{g}$ და $\vec{T}$ ძალების მოქმედების წრფეები გადის ბურთულის მასათა ცენტრზე, ეს ძალები ერთმანეთს აწონასწორებს და მათი ტოლქმედი ნულის ტოლია:

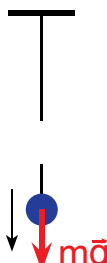
$m\vec{g} + \vec{T} = 0$. ძალთა მოდულებისათვის: $mg = T$.



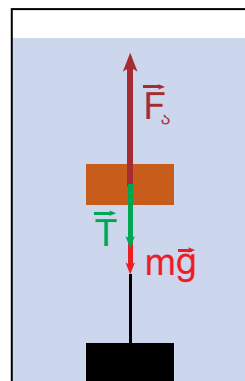
2. კორპის ძელაკი თოკით მივაბათ მასიურ (მაგალითად, რკინის) სხეულს და მოვათავსოთ წყლიან ჭურჭელში ისე, რომ ძელაკი ჩაძირული იყოს (სურ. 2.7).



სურ. 2.5



სურ. 2.6



სურ. 2.7

ძელაკი წონასწორობის მდგომარეობაშია. მასზე მოქმედებს სამი ძალა: შვეულად ქვევით მიმართული სიმძიმის ძალა – $m\vec{g}$, ასევე ქვევით მიმართული, ძაფის დაჭიმულობის ძალა – $\vec{T}$ და შვეულად ზევით მიმართული ამომგდები ძალა – $\vec{F}_s$. ამომგდები ძალის მოქმედება განწონასწორებულია სიმძიმისა და ძაფის დაჭიმულობის ძალების მოქმედებით. ამ შემთხვევაშიც სრულდება პირობა: $m\vec{g} + \vec{T} + \vec{F}_s = 0$. ძალთა მოდულებისათვის: $mg + T = F_s$.

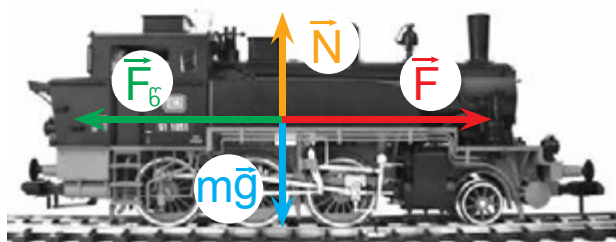
თუ ძაფს გადავჭრით, მხოლოდ სიმძიმის ძალა ვერ გააწონასწორებს ამომგდებ ძალას ($F_s > mg$) და ძელაკი დაიწყებს მოძრაობას ზევით – მისი წონასწორობა დაირღვევა.

მოყვანილი ორივე ცდა ეხებოდა უძრავი სხეულის წონასწორობას.

ახლა განვიხილოთ თანაბრად მოძრავი სხეულის მაგალითი. ორთქლმავალი, რომელიც თანაბრად მოძრაობს წონასწორულ მდგომარეობაშია (სურ. 2.8). მასზე მოქმედებს ოთხი ძალა: სიმძიმის ძალა – $m\vec{g}$, საყრდენის რეაქციის ძალა – $\vec{N}$, წევის ძალა – $\vec{F}$ და წინააღმდეგობის ძალა – $\vec{F}_f$. სიმძიმის ძალა გაწონასწორებულია საყრდენის რეაქციის ძალით, წევის ძალა – წინააღმდეგობის ძალით, ამიტომ:

$$m\vec{g} + \vec{N} + \vec{F} + \vec{F}_f = 0.$$

ძალთა მოდულებისათვის: $mg = N$ და $F = F_f$.



სურ. 2.8

თუ მემანქანე გაზრდის წევის ძალას, ორთქლმავლის სიჩქარე მოიმატებს – წონასწორობი მდგომარეობა დაირღვევა.

 დაფიქრდით: რა მოხდება, თუ წინააღმდეგობის ძალა გაიზრდება და მისი მოდული მეტი გახდება წევის ძალის მოდულზე?

 გაიხსენეთ საშინაო ცდა: ძაფზე ჩამოკიდებული ბუშტი გაწონასწორებულია, რადგან მასზე მოქმედი არქიმედეს, სიმძიმისა და ძაფის დაჭიმულობის ძალების ჯამი ნულის ტოლია. ძაფის გადაჭრის შემდეგ ბუშტი თანაბრად ეშვება ქვევით, რადგან მასზე მოქმედი სიმძიმის ძალა გაწონასწორებულია ჰაერის წინააღმდეგობისა და არქიმედეს ძალით.

ამრიგად, სხეული, რომელიც არ ასრულებს ბრუნვით მოძრაობას, წონასწორობაშია (უძრავია ან მოძრაობს წრფივად და თანაბრად), თუ მასზე მოდებული ძალების ტოლქმედი ნულის ტოლია.

ეს არის არამბრუნავი სხეულის წონასწორობის პირობა.

დასკვნები:

- არამბრუნავი სხეულის წონასწორობა ნიშნავს მისი უძრაობის ან წრფივი თანაბარი მოძრაობის მდგომარეობას;
- არამბრუნავი სხეული წონასწორობულ მდგომარეობაშია, თუ მასზე მოქმედი ყველა ძალის (ვექტორის) ჯამი ნულის ტოლია;
- წონასწორობულ მდგომარეობაში მყოფ სხეულზე მოქმედი ძალებიდან რომელიმე ერთი ძალის შეცვლა იწვევს წონასწორობი მდგომარეობის დარღვევას;
- უძრავი სხეულის წონასწორობის პირობა ისეთივეა, როგორიც თანაბრად მოძრაობის – სხეულზე მოქმედი ყველა ძალის ვექტორული ჯამი ნულის ტოლი უნდა იყოს.

საკონტროლო კითხვები:

1. როგორ მდგომარეობას ეწოდება წონასწორული იმ სხეულისათვის, რომელიც არ ბრუნავს?
2. რა პირობას უნდა აკმაყოფილებდნენ არამბრუნავ სხეულზე მოქმედი ძალები, რომ ის წონასწორობაში იყოს?
3. რას იწვევს წონასწორობაში მყოფ სხეულზე მოქმედი ძალებიდან ერთი რომელიმე ძალის ცვლილება?
4. შესაძლებელია თუ არა სხეულზე ერთი წრფის გასწვრივ მოქმედი ძალებიდან ორი ძალა შეიცვალოს ისე, რომ წონასწორობა არ დაირღვეს? თუ შესაძლებელია, როგორ უნდა იყოს მიმართული ეს ძალები?
5. როგორ ახსნით მაგიდაზე დადებული წიგნის წონასწორობას?
6. როგორ ახსნით ზამბარაზე უძრავად დაკიდებული ბურთულის წონასწორობას?



ერთად ამოვხსნათ ამოცანა

ჰორიზონტალურ ზედაპირზე მოთავსებულ 4 კგ მასის კუბს ეწვეიან ვერტიკალურად ზევით მიმართული მზარდი ძალით, მასზე გამობმული დინამომეტრით (სურ. 2.9). განსაზღვრეთ:

ა) კუბზე მოქმედი საყრდენის რეაქციის ძალა იმ მომენტში, როდესაც დინამომეტრის ჩვენება 20 ნ-ია;

ბ) დინამომეტრის ჩვენება იმ მომენტში, როდესაც კუბიკის წონასწორობა დაირღვევა.

ამოხსნა:

მოც:

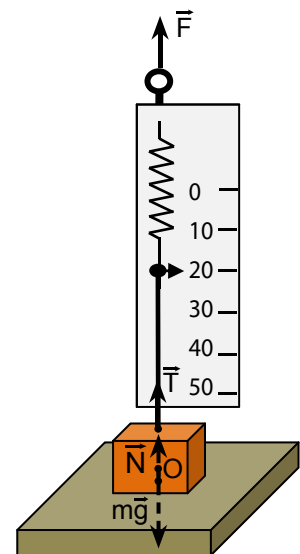
$m=4$ კგ;

$T_1=20$ ნ;

უ.ვ. N_1 , T_2 .

ა) რადგან კუბი წონასწორულ მდგომარეობაშია, მასზე მოქმედი სიმძიმის ძალის მოდული ტოლია ვერტიკალურად ზევით მიმართული საყრდენის რეაქციის ძალისა და დინამომეტრის მხრიდან მოქმედი ძალის მოდულების ჯამის:

$$mg = N_1 + T_1 \Rightarrow N_1 = mg - T_1 = 40 - 20 = 20 \text{ (ნ)}.$$



სურ. 2.9

ბ) კუბის წონასწორობა დაირღვევა მაშინ, როდესაც ზევით მიმართული ძალის მოდული გადააჭარბებს სიმძიმის ძალის მოდულს. იმ მომენტში, როდესაც დინამომეტრის ჩვენება $T_2 = 40$ ნ გახდება, კუბი დაძვრის ზღვარზე აღმოჩნდება. ამ მომენტში $N_2 = 0$. დინამომეტრით შემდგომი დაქაჩვისას კუბი ზევით ამოძრავდება. როცა დინამომეტრის ჩვენება გადააჭარბებს 40 ნ-ს, კუბის წონასწორობა დაირღვევა.



ამოხსენით ამოცანები:

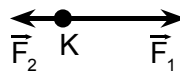
1. ნივთიერ K წერტილზე მოდებულია მარჯვნივ მიმართული მოდულით 10 ნ ძალა (სურ. 2.10). რა მოდულის და მიმართულების ძალა უნდა მოვდოთ ამ წერტილს, რომ იგი განწონასწორდეს? (შესაბამისი ნახაზი შეასრულეთ რვეულში).

2. ნივთიერ K წერტილზე მოდებულია ორი ძალა (სურ. 2.11): მოდულით 10 ნ ძალა მიმართულია მარჯვნივ, ხოლო მოდულით 3 ნ – მარცხნივ. რა მოდულისა და მიმარ-

თულების ძალა უნდა მოვდოთ ამ წერტილს, რომ იგი აღმოჩნდეს წონასწორულ მდგომარეობაში? შესაბამისი ნახაზი შეასრულეთ რვეულში.



სურ. 2.10



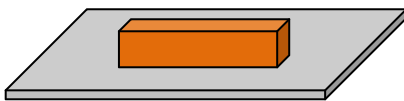
სურ. 2.11

3. ჰორიზონტალურ ზედაპირზე უძრავად დევს 5 კგ მასის აგური (სურ. 2.12). რა ძალა აწონასწორებს აგურზე მოქმედ სიმძიმის ძალას? საითაა მიმართული ეს ძალა ($g \approx 10$ ნ/კგ)?

4. ჰორიზონტალურ ზედაპირზე უძრავად დევს ორი ერთნაირი აგური (სურ. 2.13). თითოეულის მასა 5 კგ-ია. განსაზღვრეთ:

ა) იმ ძალის მოდული და მიმართულება, რომელიც აბათილებს ზედა აგურზე მოქმედ სიმძიმის ძალას.

ბ) ქვედა აგურზე მოქმედი ძალების მოდული და მიმართულება ($g \approx 10$ ნ/კგ). შესაბამისი ნახაზი შეასრულეთ რვეულში.



სურ. 2.12



სურ. 2.13

5. რისი ტოლია 15 კგ მასის პარაშუტზე მოქმედი ჰაერის წინააღმდეგობის ძალა, თუ 70 კგ მასის პარაშუტისტი თანაბრად ეშვება ($g \approx 10$ ნ/კგ)?

6. დიდი სიმაღლიდან გადმოშვებული პარაშუტისტი პარაშუტის გახსნამდე წონასწორულ მდგომარეობაშია. დაირღვევა თუ არა მისი წონასწორობის მდგომარეობა პარაშუტის გახსნის შემდეგ? პასუხი დაასაბუთეთ.

7. მატარებელი, რომელიც 20 ვაგონისგან შედგება, თანაბრად მოძრაობს ჰორიზონტალურ ლიანდაგზე. თითოეულ ვაგონზე მოქმედი წინააღმდეგობის ძალა 2 კნ-ია. განსაზღვრეთ:

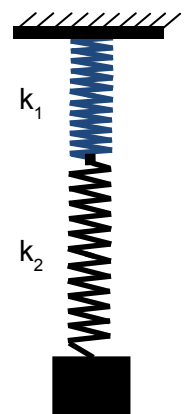
ა) მატარებელზე მოქმედი წევის ძალა;

ბ) რამდენჯერ უნდა შემციირდეს წევის ძალა, რომ 5 ვაგონის ჩახსნის შემდეგაც მატარებელმა თანაბრად იმოძრაოს?

8. სურ. 2.14-ზე მოცემულია ჭერზე ჩამოკიდებული, ერთმანეთზე გადაბმული ორი ზამბარა. მათზე დაკიდებული 10 კგ მასის სხეული წონასწორულ მდგომარეობაშია. განსაზღვრეთ თითოეული ზამბარის წაგრძელება, თუ მათი სიხისტეებია $k_1 = 2000$ ნ/მ და $k_2 = 1000$ ნ/მ. ზამბარების მასა არ გაითვალისწინოთ ($g \approx 10$ ნ/კგ).

9. თუ ტვირთს ერთდროულად 3 თოკზე ჩამოვკიდებთ, თითოეული თოკის დაჭიმულობის ძალა 200 ნ იქნება. რისი ტოლი გახდება თითოეული თოკის დაჭიმულობის ძალა, თუ ამ ტვირთს ერთდროულად 4 თოკზე ჩამოვკიდებთ? მიიჩნიეთ, რომ ორივე შემთხვევაში თოკები ვერტიკალურია და ერთნაირადაა დაჭიმული.

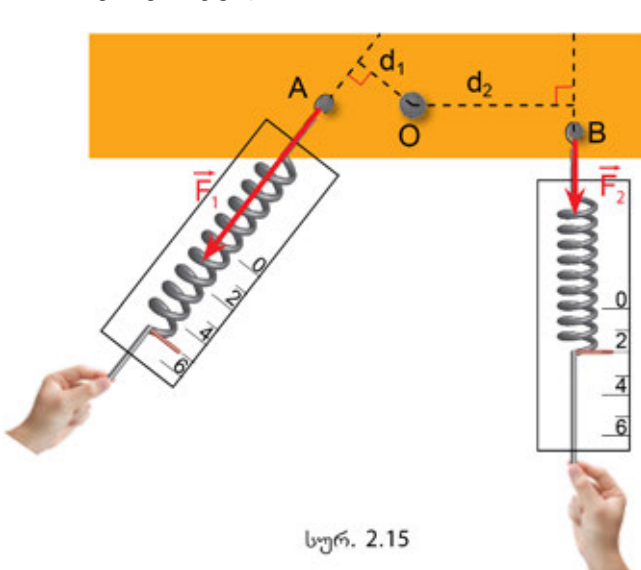
10. უძრავ მსუბუქ საქანელაზე ზის 40 კგ მასის ბავშვი და იმავდროულად ფეხებით მიწასაც ეყრდნობა. საქანელას ორი თოკი აქვს, რომელთაგან თითოეული 150 ნიუტონითაა დაჭიმული. რა ძალით აწევს ბავშვი მიწას ($g \approx 10$ ნ/კგ)?



სურ. 2.14

§ 2.3 უძრავი ბრუნვის ღერძის მქონე სხეულის წონასწორობა

წინა პარაგრაფში ჩვენ განვიხილეთ იმ სხეულების წონასწორობა, რომელთაც შეედოთ მხოლოდ გადატანითი მოძრაობის შესრულება. ახლა კი იმ სხეულის წონასწორობა განვიხილოთ, რომელსაც არ შეუძლია გადაადგილება, მაგრამ შეუძლია ბრუნვა რაიმე უძრავი ღერძის გარშემო. ასეთია, მაგალითად, კედელზე ერთი ჭიკარტით მიმაგრებული მუყაოს ნაჭერი, კარი, მანქანის საჭე და სხვა. როგორი იქნება უძრავი ბრუნვის ღერძის მქონე სხეულის წონასწორობის პირობა, როდესაც მასზე ძალები მოქმედებს?



სურ. 2.15

ჩავატაროთ ცდა: ავიღოთ თხელი ფიცრის პატარა ნაჭერი და ერთი ლურსმნით (O) დავამაგროთ კედელზე, მაგიდაზე ან რაიმე დიდ დაფაზე ისე, რომ ფიცარს თავისუფლად შეეძლოს შემობრუნება ლურსმნის გარშემო (სურ. 2.15). ლურსმნის ორ სხვადასხვა მხარეს, ნებისმიერად არჩეულ A და B წერტილებში, ნაწილობრივად ჩავაჭედოთ ორი პატარა ლურსმანი, რომლებზეც გამოვდოთ დინამომეტრები. დინამომეტრების დაქაჩვით ჩვენ შეგვიძლია ფიცარზე ვიმოქმედოთ სხვადასხვა მიმართულებისა და მოდულის $\vec{F}_1$ და $\vec{F}_2$ ძალით. ამ ძალების მიმართულება ისე შევარჩიოთ, რომ მათ გამოიწვიონ ფიცრის სხვადასხვა მიმართულებით ბრუნვა. ფიცარზე

მხოლოდ $\vec{F}_1$ ძალის მოქმედებით იგი შემობრუნდება საათის ისრის საწინააღმდეგო მიმართულებით, მხოლოდ $\vec{F}_2$ ძალის მოქმედებით კი – საათის ისრის მოძრაობის მიმართულებით.

თუ ორივე დინამომეტრს ერთი მოსწავლე გაქაჩავს, მან მარტივად შეიძლება შეარჩიოს განსხვავებული მიმართულებისა და მოდულის მქონე ძალები ისე, რომ ფიცარი არც ერთი მიმართულებით არ შემობრუნდეს, ანუ ფიცარი აღმოჩნდეს წონასწორულ მდგომარეობაში. ასეთ შემთხვევაში $\vec{F}_1$ და $\vec{F}_2$ ძალებს ერთნაირი მახრუნებელი მოქმედება ექნებათ, მიუხედავად იმისა, რომ მათი მოდულები განსხვავებულია. რა ფიზიკური სიდიდით შეიძლება დავახასიათოთ ძალის მახრუნებელი მოქმედება? ცხადია, მას ერთნაირი რიცხვითი მნიშვნელობა უნდა ჰქონდეს ორივე ძალისათვის.

ფიცარზე გავავლოთ ძალების მოქმედების წრფეები და გავზომოთ ბრუნვის ღერძიდან (O წერტილიდან) ამ წრფეებამდე d_1 და d_2 მანძილები. ადვილად დავრწმუნდებით, რომ თუ $F_1 > F_2$, მაშინ $d_1 < d_2$. ცდებით შეიძლება დავადგინოთ, რომ რამდენჯერაც F_1 მეტია F_2 -ზე, იმდენჯერ d_1 ნაკლებია d_2 -ზე, ამიტომ $F_1 d_1 = F_2 d_2$. ე.ი. ორივე ძალისთვის ერთნაირია ძალის მოდულის ნამრავლი მისი მოქმედების წრფიდან ბრუნვის ღერძამდე მანძილზე. სწორედ ამ ნამრავლით შეიძლება დავახასიათოთ ძალის მახრუნებელი მოქმედება.

მანძილს ბრუნვის ღერძიდან ძალის მოქმედების წრფემდე ძალის მხარი ეწოდება და აღნიშნავენ d ასოთი. (d_1 არის $\vec{F}_1$ ძალის მხარი, d_2 – $\vec{F}_2$ ძალის მხარი.)

ძალის მოდულის ნამრავლს მის მხარზე ძალის მომენტი (მახრუნებელი მომენტი) ეწოდება. ძალის მომენტი აღინიშნება M ასოთი:

$$M = Fd$$

ძალის მომენტის ერთეულად SI-ში მიღებულია $1 \text{ ნ ძალის მომენტი}$, რომლის მხარი $1 \text{ მ-ის ტოლია: } 1 \text{ ნ} \cdot \text{მ} = 1 \text{ ნ} \cdot 1 \text{ მ}$.



დაფიქრდით და შეეცადეთ უპასუხოთ კითხვებს:

ა) რა შემთხვევაში იქნება ძალის მომენტი ნულის ტოლი?

ბ) რა მიმართულების ძალით უნდა ვიმოქმედოთ გაღებულ კარზე, რომ იგი არც ერთი მიმართულებით არ შემობრუნდეს?

გ) როგორ შეიძლება ვცვალოთ ძალის მხარი?

ძალის მომენტისათვის ერთნაირად მნიშვნელოვანია ძალის მოდულიც და მისი მხარიც – ერთი და იგივე მომენტი შეიძლება შევქმნათ დიდი ძალითა და მცირე მხრით ან მცირე ძალითა და დიდი მხრით.

ჩატარებული ცდიდან შეიძლება დავასკვნათ, რომ **უძრავი ბრუნვის ღერძის მქონე სხეული ორი ძალის მოქმედებისას გაწონასწორებულია, თუ საათის ისრის მიმართულებით მაბრუნებელი ძალის მომენტი რიცხობრივად საათის ისრის საწინააღმდეგოდ მაბრუნებელი ძალის მომენტის ტოლია:**

$$F_1 d_1 = F_2 d_2$$

დასკვნები:

- ბრუნვის ღერძის მქონე სხეული გაწონასწორებულია, თუ იგი არ ბრუნავს ან ბრუნავს მუდმივი სიჩქარით;
- ძალის მოქმედების წრფე – წრფე, რომელიც გავლებულია ძალის ვექტორზე;
- ძალის მხარი – მანძილი ბრუნვის ღერძიდან ძალის მოქმედების წრფემდე;
- ძალის მაბრუნებელ მოქმედებას ახასიათებენ ძალის მომენტით;
- ძალის მომენტისათვის ერთნაირად მნიშვნელოვანია ძალის მოდულიც და მისი მხარიც;
- ძალის მომენტი მისი მოდულისა და მხრის ნამრავლის ტოლია: $M = F \cdot d$;
- ერთი და იგივე მაბრუნებელი მომენტი შეიძლება შევქმნათ დიდი ძალითა და მცირე მხრით ან მცირე ძალითა და დიდი მხრით;
- უძრავი ბრუნვის ღერძის მქონე სხეულის წონასწორობის პირობა მასზე ორი ძალის მოქმედებისას: $F_1 d_1 = F_2 d_2$.

საკონტროლო კითხვები:

1. რას ნიშნავს, რომ უძრავი ბრუნვის ღერძის მქონე სხეული წონასწორობაშია?
2. როგორი მიმართულებით აბრუნებენ $\vec{F}_1$ და $\vec{F}_2$ ძალები ფიცარს (სურ. 2.15)?
3. როგორ შევარჩიეთ $\vec{F}_1$ და $\vec{F}_2$ ძალების მოდულები (სურ. 2.15)?
4. რას ეწოდება ძალის მხარი?
5. როგორ შეიძლება შევცვალოთ ძალის მხარი?
6. რა საერთო სიდიდე აქვთ ერთნაირი $\vec{F}_1$ და $\vec{F}_2$ ძალებს (სურ. 2.15)?
7. შეიძლება თუ არა 10 ნ და 1 ნ მოდულის ძალებმა შექმნან ტოლი მაბრუნებელი მომენტი?
8. რა შემთხვევაში არ მობრუნდება სხეული, თუ მასზე მოქმედი ორი ძალიდან $F_2 > F_1$?



ერთად ამოვხსნათ ამოცანა

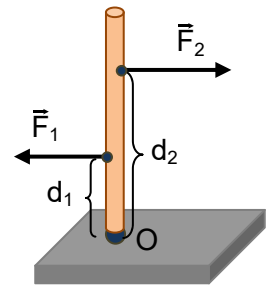
იატაკზე სახსრულად დამაგრებულ მსუბუქ ღეროს ხახუნის გარეშე შეუძლია ბრუნვა O ღერძის გარშემო (სურ. 2.16). ღერო განზომანებულია მისი მართობული $F_1 = 200$ ნ და $F_2 = 100$ ნ ძალების მოქმედებით. განსაზღვრეთ ამ ძალების მხრის სიგრძეები, თუ ცნობილია, რომ $d_2 - d_1 = 50$ სმ.

ამოხსნა:

მოც:

$F_1 = 200$ ნ;
 $F_2 = 100$ ნ;
 $d_2 - d_1 = 50$ ნ.
უ.ვ. d_1, d_2

$\vec{F}_1$ ძალის მომენტი $M_1 = F_1 \cdot d_1$, $\vec{F}_2$ ძალის მომენტი – $M_2 = F_2 \cdot d_2$. ვინაიდან ღერო განზომანებულია, მასზე მოქმედი $\vec{F}_2$ და $\vec{F}_1$ ძალის მომენტები მოდულით ტოლი იქნება $M_2 = M_1 \Rightarrow F_2 \cdot d_2 = F_1 \cdot d_1$. რიცხვითი მნიშვნელობების შეტანით მივიღებთ: $d_2 = 2 \cdot d_1$ (1). მოცემულობის თანახმად, $d_2 - d_1 = 50$ სმ (2). (1) განტოლებაში მიღებული შედეგი შევიტანოთ (2) განტოლებაში. მივიღებთ: $2 \cdot d_1 - d_1 = 50$ სმ $\Rightarrow d_1 = 50$ სმ. თუ ამ შედეგს გავითვალისწინებთ (1) განტოლებაში, მივიღებთ: $d_2 = 2 \cdot 50 = 100$ (სმ).



სურ. 2.16



ამოხსენით ამოცანები:

- როგორ ფიქრობთ, როდის უფრო მარტივია გემის საჭის დატრიალება, როდესაც საჭეს დიდი რადიუსი აქვს, თუ მცირე (სურ. 2.17)? პასუხი დაასაბუთეთ.
- დაფიქრდით, რატომ აყენებენ კარისა და ფანჯრის სახელურებს ანჯამებისგან ყველაზე შორს?
- რატომ იყენებენ ჭანჭიკების დასაჭერად ან მოსახსნელად ქანჩს? რატომაა ძნელი მოჭერილი ჭანჭიკის მოხსნა ინსტრუმენტის გარეშე (სურ. 2.18)?



სურ. 2.17



სურ. 2.18

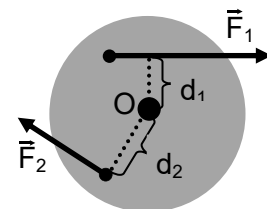
4. რისი ტოლია ფანჯარაზე მოდებული 5 ნ ძალის მომენტი, თუ მანძილი ბრუნვის ღერძიდან ამ ძალის მოქმედების წრფემდე 50 სმ-ია?

5. სურ. 2.19-ზე გამოსახულ ბრტყელ დისკოს ხახუნის გარეშე შეუძლია ბრუნვა O წერტილში გამავალი ღერძის გარშემო. მასზე მოდებული ძალების მოდულებია: $F_1 = 120$ ნ და $F_2 = 90$ ნ. მათი მხრები კი – $d_1 = 20$ სმ და $d_2 = 40$ სმ. განსაზღვრეთ:

ა) $\vec{F}_1$ ძალის მომენტი და მიმართულება, საითაც ცდილობს ეს ძალა დისკოს მობრუნებას;

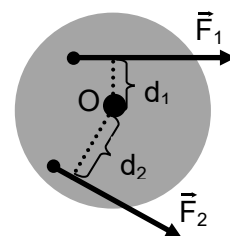
ბ) $\vec{F}_2$ ძალის მომენტი და მიმართულება, საითაც ცდილობს ეს ძალა დისკოს მობრუნებას;

გ) შესაძლებელია თუ არა, რომ ამ ძალების მოქმედებისას დისკო იყოს განზომანებული?



სურ. 2.19

6. სურ. 2.20-ზე გამოსახულ ბრტყელ დისკოს ხახუნის გარეშე შეუძლია ბრუნვა O წერტილში გამავალი ღერძის გარშემო. მასზე მოდებული ძალების მოდულებია: $F_1 = 100$ ნ და $F_2 = 80$ ნ. მათი მხრები კი – $d_1 = 20$ სმ და $d_2 = 25$ სმ. განსაზღვრეთ:



სურ. 2.20

ა) $\vec{F}_1$ ძალის მომენტი და მიმართულება, საითაც ცდილობს ეს ძალა დისკოს მობრუნებას;

ბ) $\vec{F}_2$ ძალის მომენტი და მიმართულება, საითაც ცდილობს ეს ძალა დისკოს მობრუნებას;

გ) განონასწორებულია, თუ არა დისკო? პასუხი დაასაბუთეთ.

7. ბორბლის მობრუნებელი ძალის მოდული 5-ჯერ გაზარდეს, როგორ უნდა შევცვალოთ მისი მხარი, რომ ძალის მომენტი უცვლელი დარჩეს?

8. მეექვსე ამოცანის პირობის მიხედვით უპასუხეთ შემდეგ კითხვებს:

ა) $\vec{F}_1$ ძალის მოდული 2-ჯერ გაზარდეს, რისი ტოლი უნდა გახდეს $\vec{F}_2$ ძალის მოდული, რომ დისკო კვლავ განონასწორებული იყოს?

ბ) $\vec{F}_1$ ძალის მხარი ორჯერ გაზარდეს, რისი ტოლი უნდა გახდეს $\vec{F}_2$ ძალის მხარი, რომ დისკო კვლავ განონასწორებული იყოს?

გ) $\vec{F}_2$ ძალის მოდული ორჯერ შეამცირეს, რისი ტოლი უნდა გახდეს $\vec{F}_1$ ძალის მხარი, რომ დისკო კვლავ განონასწორებული იყოს?

დ) $\vec{F}_2$ ძალის მხარი ოთხჯერ შეამცირეს, რისი ტოლი უნდა გახდეს $\vec{F}_1$ ძალის მოდული, რომ დისკო კვლავ განონასწორებული იყოს?

9. დისკოზე მოდებული ძალის მოდული 5-ჯერ გაზარდეს, ძალის მხარი კი უცვლელი დატოვეს. შედეგად ძალის მომენტი 40 ნ·მ-ით გაიზარდა. განსაზღვრეთ ძალის მომენტის საწყისი მნიშვნელობა.

10. ბიჭი გაჭედულ კარს შუა წერტილში მართობულად 50 ნ ძალით მიაწვა. რადგან ვერ გააღო, ძალის მხარი ორჯერ გაზარდა ისე, რომ ძალა არ შეუცვლია. შედეგად ძალის მომენტი 25 ნ·მ-ით გაიზარდა. განსაზღვრეთ ძალის მხრის საწყისი მნიშვნელობა.

განხილულ საკითხთან დაკავშირებით შეგიძლიათ ნახოთ საინტერესო ვიდეორგოლი ბმულზე: <http://tiny.cc/whq2jz>.



საშინაო ცდა:

ცდის მიზანი: ცნობილი მასის მონეტებით პლასტილინის ბურთულის მასის დადგენა.

ცდისთვის საჭიროა: პლასტილინი, 10-15 ცალი ხუთთეთრიანი მონეტა (ცნობილია, რომ თითოეულის მასა 2,5 გრამია), ხის დანაყოფებიანი სახაზავი და მრგვალი განივკვეთის ფანქარი.

ცდის აღწერა: ფანქარი ასანთის ორ კოლოფზე ბოლოებით პლასტილინით დაამაგრეთ. დადეთ სახაზავი შუაწერტილით ფანქარზე. პლასტილინისაგან გააკეთეთ ბურთულა და დააწებეთ სახაზავის ერთ მხარეს რომელიმე ადგილზე. სახაზავის მეორე მხარეს დადეთ ერთმანეთზე დანაყოფილი რამდენიმე მონეტა და შეარჩიეთ მათი მდებარეობა ისე, რომ სახაზავი განონასწორდეს (სურ. 2.21).



სურ. 2.21

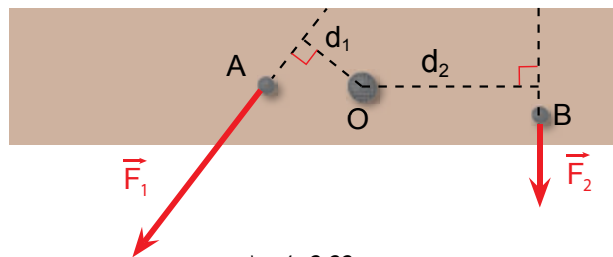
სახაზავზე აითვალეთ მონეტებისა და ბურთულის მხრები. გამოთვალეთ გამოყენებული მონეტების საერთო მასა და განსაზღვრეთ ბურთულის მასა. ცდის მონაცემები და მიღებული შედეგი ჩანერეთ რეგულში.

§ 2.4 მომენტების წესი

წინა პარაგრაფში ჩვენ განვიხილეთ წონასწორობა უძრავი ბრუნვის ღერძის მქონე სხეულისა, რომელიც ვერ ასრულებდა გადატანით მოძრაობას, მაგრამ შეეძლო შემობრუნება ღერძის გარშემო. სხეულზე ორი ძალის მოქმედებისას დავასკვნით, რომ უძრავი ბრუნვის ღერძის მქონე სხეული განწონასწორებულია, თუ საათის ისრის მიმართულებით მაბრუნებელი ძალის მომენტი მოდულით საათის ისრის საწინააღმდეგოდ მაბრუნებელი ძალის მომენტის ტოლია: $F_1 d_1 = F_2 d_2$.

 გაიხსენეთ: საშინაო ცდაში პლასტილინის ბურთულის წონის მიერ შექმნილი მომენტი ბრუნვის ღერძის (ფანქრის) მიმართ, მოდულით ტოლია იმავე ღერძის მიმართ მონეტების წონის მიერ შექმნილი მაბრუნებელი მომენტისა. სწორედ ამით ვისარგებლეთ პლასტილინის ბურთულის მასის გამოთვლისას.

ძალის მომენტი შეიძლება იყოს როგორც დადებითი, ასევე უარყოფითი. იმ ძალის მომენტი, რომელიც სხეულს საათის ისრის მიმართულებით აბრუნებს, დადებითად მიიჩნევა, საათის ისრის საწინააღმდეგოდ მაბრუნებელი კი – უარყოფითად.



სურ. 2.22

ჩვენ შემთხვევაში $F_1 d_1 = M_1 < 0$, ხოლო $F_2 d_2 = M_2 > 0$ (სურ. 2.22). ე.ი M_1 -ის და M_2 -ის მნიშვნელობები მოპირდაპირე რიცხვებია, ამიტომ მათი ჯამი ნულის ტოლია:

$$M_1 + M_2 = 0$$

მტკიცდება, რომ ეს ტოლობა სრულდება მაშინაც, თუ სხეულზე მოქმედებს ორზე მეტი ძალა.

უძრავი ბრუნვის ღერძის მქონე სხეული განწონასწორებულია, თუ ამ ღერძის მიმართ მასზე მოქმედი ყველა ძალის მომენტების ჯამი ნულის ტოლია:

$$M_1 + M_2 + M_3 + \dots + M_n = 0$$

რომელშიც n სხეულზე მოქმედ ძალთა რაოდენობაა.

წონასწორობის ამ პირობას მომენტების წესი ეწოდება.

მომენტების წესი შეიძლება სხვაგვარადაც ჩამოვყალიბოთ: უძრავი ბრუნვის ღერძის მქონე სხეული განწონასწორებულია, თუ მასზე მოქმედი საათის ისრის მიმართულებით მაბრუნებელ ძალთა მომენტების ჯამი მოდულით საათის ისრის საწინააღმდეგოდ მაბრუნებელ ძალთა მომენტების ჯამის ტოლია.

როდესაც სხეულს ერთდროულად ბრუნვითი და გადატანითი მოძრაობა შეუძლია, წონასწორობის ზოგადი პირობა ჩამოყალიბდება შემდეგნაირად:

სხეულის წონასწორობისთვის საჭიროა მასზე მოქმედი ძალების ტოლქმედი და ბრუნვის ღერძის მიმართ ამ ძალების მომენტების ჯამი ნულის ტოლი იყოს.

დასკვნები:

- ძალის მომენტი შეიძლება იყოს დადებითიც და უარყოფითიც;
- საათის ისრის მიმართულებით მაბრუნებელი ძალის მომენტი მიჩნეულია დადებითად, მის საწინააღმდეგოდ მაბრუნებელი ძალისა კი – უარყოფითად;
- უძრავი ბრუნვის ღერძის მქონე სხეული არ ბრუნავს, ან ბრუნავს თანაბრად, თუ ამ ღერძის მიმართ მასზე მოქმედი ყველა ძალის მომენტების ჯამი ნულის ტოლია: $M_1 + M_2 + M_3 + \dots + M_n = 0$;
- სხეულის წონასწორობის ზოგადი პირობა – სხეულზე მოქმედი ძალების ტოლქმედი და ბრუნვის ღერძის მიმართ ამ ძალების მომენტების ჯამი ნულის ტოლია.

საკონტროლო კითხვები:

1. რა შემთხვევაშია ძალის მაბრუნებელი მომენტი ნულის ტოლი?
2. როგორ ადგენენ ძალის მაბრუნებელი მომენტის ნიშანს?
3. შესაძლებელია თუ არა, რომ ერთი და იმავე ნიშნის მაბრუნებელი მომენტის მქონე ძალების მოქმედებისას სხეული გაწონასწორებული იყოს?
4. შესაძლებელია თუ არა ერთი და იგივე ძალის მომენტი ერთ შემთხვევაში იყოს დადებითი, მეორე შემთხვევაში კი – უარყოფითი ან ნულის ტოლი? თუ მიიჩნევთ, რომ ეს შესაძლებელია, ეცადეთ, მოიყვანოთ შესაბამისი მაგალითი.

პროექტი



მომენტების წესის ცდით შემოწმება და დემონსტრირება (ჯგუფური მუშაობა)

ბრუნვის ღერძის მქონე სხეულთა წონასწორობა, რომელიც მომენტების წესს ემორჩილება, ხშირად გვხვდება ყოველდღიურ ცხოვრებაში. მაგალითად, სათამაშო აიწონა-დაიწონაზე ბავშვები წონასწორობას საყრდენი ღერძის მიმართ სწორედ თავიანთი წონის მომენტებით ქმნიან; ქის ჯალამბრით წყლიანი სათლის თანაბარი ამოტანისას (სურ. 2.23), ბრუნვის ღერძის მიმართ სახელურზე მოქმედი ძალის მომენტი მოდულით ლილვზე მოქმედი სათლის წონის მომენტის ტოლია.



სურ. 2.23

მოიფიქრეთ და წარმოადგინეთ წონასწორობის სხვა მაგალითებიც.

მოამზადეთ ამ მაგალითების შესაბამისი სლაიდ-სურათები, რომლებზეც დაიტანეთ სხეულებზე მოქმედი ძალები და გამოსახეთ მათი მხრები. ჩაწერეთ მომენტების წესი თითოეულ შემთხვევაში.

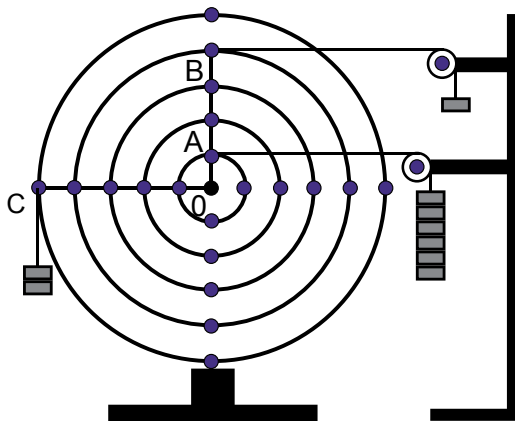
მომენტების წესის შემოწმება მბრუნავი დისკოს გამოყენებით.

დაგეგმეთ და მოამზადეთ ექსპერიმენტი მომენტების წესის შესამოწმებლად. დაამზადეთ მომენტების წესის სადემონსტრაციო ხელსაწყო და წარმოადგინეთ გაკვეთილზე. პროექტზე მუშაობის ეტაპები:

- მბრუნავი დისკოს დამზადება;
- ექსპერიმენტისათვის საჭირო ინვენტარის მომზადება;
- სადემონსტრაციო დანადგარის აწყობა;
- მომენტების წესის დემონსტრირება;
- დასკვნა.

თხელი ფანერისაგან დაამზადეთ დაახლოებით 30 სმ რადიუსის დისკო. მის დასამზადებლად შეგიძლიათ გამოიყენოთ სხვა მასალაც (ორგანული მინა, პენოპლასტი, თაბაშირ-მუყაო). დისკოზე შემოხაზეთ კონცენტრული წრეწირები, რომელთა რადიუსები შესაბამისად 5, 10, 15, 20 და 25 სმ-ია. ორი ურთიერთმართობი დიამეტრის გასწვრივ ჩაარჭეთ პატარა ლურსმნები, რომლებზეც შესაძლებელი იქნება თოკის გამობმა (სურ. 2.24). გახვრიტეთ დისკო ცენტრში და ჩამოაცვით შტატივზე მიმაგრებულ ჰორიზონტალურ ღეროზე, რომელიც იქნება დისკოს ბრუნვის ღერძი. სამ ლურსმანზე გამოაბით თოკი, გადადეთ ისინი ჭოჭონაქებზე და ჩამოკიდეთ მათზე ტვირთები ისე, როგორც სურათზეა ნაჩვენები. ტვირთზე მოქმედი სიმძიმის ძალა თოკის საშუალებით დაქაჩავს დისკოს იმ წერტილს, სადაც ლურსმანია ჩარჭობილი და შეეცდება მოაბრუნოს დისკო.

ტვირთების მასა ისე შეარჩიეთ, რომ დისკო არ ბრუნავდეს.



სურ. 2.24



დაფიქრდით:

- რისი ტოლია დისკოზე მოქმედი თითოეული ძალის მოდული?
- რისი ტოლი იქნება თითოეული ძალის მხარი?
- როგორი ნიშანი აქვს მოქმედი ძალებიდან თითოეულის მაბრუნებელ მომენტს?
- რისი ტოლია დისკოზე მოქმედი თითოეული ძალის მაბრუნებელი მომენტი?
- სრულდება თუ არა მომენტების წესი ($M_1 + M_2 + M_3 = 0$) ამ ექსპერიმენტში?

მომენტების წესი შეიძლება შეამოწმოთ ოთხი ძალისთვისაც. გამოიტანეთ დასკვნები.

§ 2.5 სხეულის სიმძიმის ცენტრის პოვნა. წონასწორობის სახეები

§ 2.6 საყრდენი ფართობის მქონე სხეულის წონასწორობა

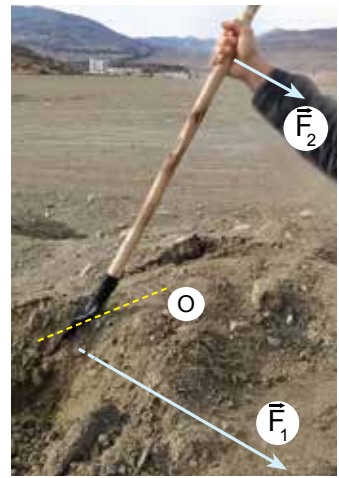
§ 2.7 მარტივი მექანიზმები. ბერკეტი

თითოეულ თქვენგანს ალბათ ჩაუჭედებია ლურსმანი, ჭიდან ამოუღია წყალი, ამოუთხრია ორმო, მოუჭერია ხრახნი ქანჩით, გაუჭრია ფურცელი და სხვა. ყველა ამ სამუშაოს შესრულებისას თქვენ იყენებთ სხვადასხვა ხელსაწყოს (ჩაქუჩი, ჯალამბარი, ოწინარი, ბრტყელტუჩა, ქანჩი, ბარი, მაკრატელი და ა.შ.), რომელთაც შეიძლება დავარქვათ მექანიზმები. ძლიერ ადამიანსაც კი მექანიზმის გამოყენების გარეშე ძალიან გაუჭირდება შეასრულოს გარკვეული სამუშაო – ამოთხაროს ორმო ბარის გარეშე, ჩააჭედოს ლურსმანი ჩაქუჩის გარეშე ან ჩახრახნოს თვითმჭრელი ხრახნი სახრახნისის გამოყენების გარეშე. მექანიზმის გამოყენებით ჩვენ მიერ მოდებული ძალა გარდაიქმნება, რაც სამუშაოს შესრულებას ადვილსა და მოსახერხებელს ხდის.

ხელსაწყოებსა და მოწყობილობებს, რომლებიც გამოიყენება ძალის გარდასაქმნელად, **მარტივი მექანიზმები** ეწოდება.

მაგალითისთვის, განვიხილოთ ისეთი მარტივი მექანიზმი, როგორიცაა ბარი. მისი გამოყენებით გაცილებით იოლია ორმოს ამოთხრა, ვიდრე ხელით. მას შემდეგ, რაც ბარს მიწაში ჩავარჭობთ, ბელტის ამოსატრიალებლად საჭიროა მოვქაჩოთ ბარის ტარს.

 დაფიქრდით, რა ადგილას მოქაჩავთ ტარს ეს სამუშაო უფრო ადვილად რომ შეასრულოთ? გამოცდილება გვიჩვენებს, რომ ძალა უნდა მოვდოთ ტარის ბოლოსთან ახლოს (სურ. 2.52). თუ შეეცდებით ძალა მოსდოთ ბარის პირთან ახლოს, მიწის ბელტის ამოტრიალება საკმაოდ გაგიძნელებათ.



სურ. 2.52

ბარი წარმოადგენს ბერკეტს. **ბერკეტი მყარი სხეულია, რომელსაც უძრავი ბრუნვის ღერძი გააჩნია.** ხშირად ბრუნვის ღერძი საყრდენი ან დაკიდების წერტილია. ბარზე მოქმედებენ ძალები, რომლებიც ცდილობენ, მოაბრუნონ ის სხვადასხვა მიმართულებით ბრუნვის ღერძის გარშემო. მისი ბრუნვის O ღერძი ბარის პირისა და ნიადაგის ზედაპირის შეხების მონაკვეთია.

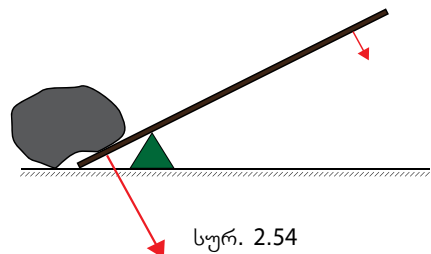


სურ. 2.53

განვიხილოთ სხვა მაგალითი: ყველასათვის ნაცნობი საქანელა „აიწონა-დაიწონა“ ბერკეტია. მას აქვს უძრავი ბრუნვის ღერძი, რომელზეც ეყრდნობა საქანელა. მის მოპირდაპირე ბოლოებში მჯდომ ბავშვთა წონები ბრუნვის ღერძის მიმართ ქმნის საპირისპირო მაბრუნებელ მომენტებს (სურ. 2.53). მოპირდაპირე სკამზე მჯდომი მეგობრის გადასაწონად, თქვენ რაც შეიძლება უნდა დაშორდეთ ბრუნვის ღერძს და დაჯდეთ საქანელის კიდეზე. თუ

დაჯდებით საქანელის საყრდენთან ახლოს, ვერ გადანონით მეგობარს.

ძალაყინი რკინის ან სხვა რაიმე მყარი მასალისაგან დამზადებული ძელია. იგი შეიძლება გამოვიყენოთ, მაგალითად, მძიმე სხეულის წამოსაწევად (სურ. 2.54) ან სხვა დანიშნულებით. შეეცადეთ, დაახასიათოთ ძალაყინზე მოქმედი ძალები მძიმე ლოდის წამოწევისას. რას გააკეთებთ, ამ სამუშაოს შესრულებისას ნაკლები ძალა რომ გამოიყენოთ?



სურ. 2.54

ბარიც, აიწონა-დაიწონაც და ძალაყინიც უძრავი ბრუნვის ღერძის მქონე სხეულებია, რომლებსაც უნდა შესრულდეს მომენტების წესი. ე.ი. ბერკეტი გამოიყენება დიდი ძალის მისაღებად, რისთვისაც დიდ მხარზე პატარა ძალით ვმოქმედებთ.

ძალის მოგება, რომელსაც იძლევა კონკრეტული ბერკეტი, დამოკიდებულია მის მხრებზე. მომენტების წესის თანახმად, ძალის მოგების გამოსაანგარიშებლად შეიძლება გამოვიყენოთ თქვენთვის ნაცნობი ფორმულა:

$$\frac{F_1}{F_2} = \frac{d_2}{d_1},$$

ე.ი. ბერკეტის გამოყენებით იმდენჯერ ვიგებთ ძალას, რამდენჯერაც ბერკეტის დიდი მხარი მეტია მის პატარა მხარზე.

დავუბრუნდეთ ბარის მაგალითს. მიწის ბელტის ამოტრიალებისას წინააღმდეგობას გვინევს $\vec{F}_1$ ძალა, რომლის მხარიც მცირეა, ხოლო ჩვენ მიერ ტარზე მოდებული $\vec{F}_2$ ძალის მხარი – დიდი (სურ. 2.52).

მას შემდეგ, რაც ჩვენ ნიადაგს დავაცილეთ მიწის ბელტი, საჭიროა მისი მთლიანად აწევა. ამისთვის ბარს ორივე ხელი უნდა მოვკიდოთ. ერთ-ერთი ხელი ხდება ბერკეტის ახალი საყრდენი, ამიტომ ის ბარის ტარს ისეთ ადგილზე უნდა მოვკიდოთ, რომ ძალა კვლავ მოვიგოთ. ე.ი. ხელმა ბერკეტი უნდა გაყოს დიდ და პატარა მხრებად. ამისათვის ჩვენ ამ ხელს ვკიდებთ რაც შეიძლება ახლოს ბარის პირთან (სურ. 2.55). წინააღმდეგ შემთხვევაში, თქვენ ცარიელი ბარის აწევაც კი გაგიჭირდებათ.

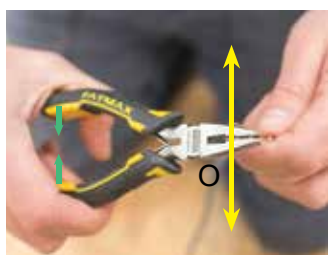


სურ. 2.55

სამივე განხილულ მაგალითში ბერკეტზე მოქმედი ძალები მოდებულია საყრდენის სხვადასხვა მხარეს – ასეთ ბერკეტს **პირველი გვარის ბერკეტი** ეწოდება. პირველი გვარის ბერკეტის მაგალითია ბრტყელტუჩა, ლურსმნის ამოსაღები, მაკრატელი (სურ. 2.56 ა, ბ, გ) და სხვ.

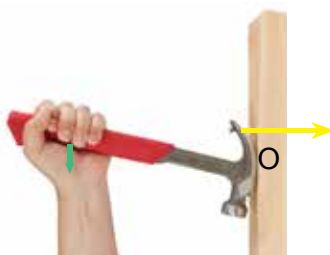
დააკვირდით სურათებს, მათზე მითითებულია ბერკეტის ბრუნვის ღერძი (O) და მასზე მოქმედი ძალები. სურათების მიხედვით, მიახლოებით შეაფასეთ, ძალის რა მოგებას იძლევა თითოეული ბერკეტი.

ა)



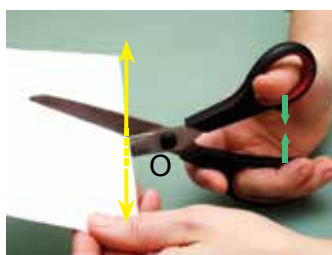
ბრტყელტუჩა

ბ)



ლურსმნის ამოსაღები

გ)

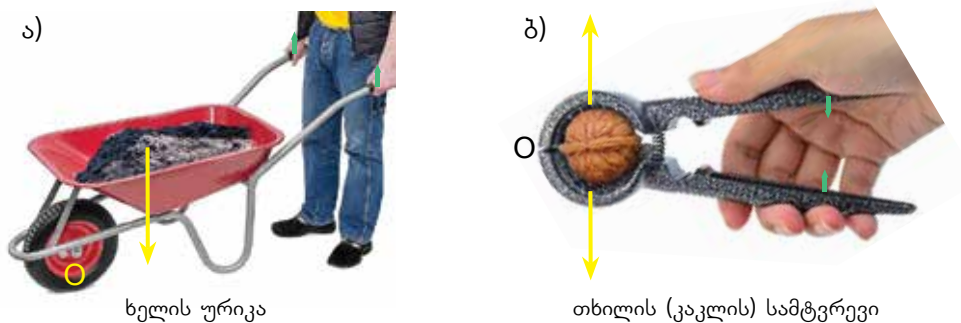


მაკრატელი

სურ. 2.56

ბერკეტს, რომელზეც ძალები მოდებულია საყრდენის ერთ მხარეს და ძალას გვაგებინებს, **მეორე გვარის ბერკეტი** ეწოდება. მეორე გვარის ბერკეტის მაგალითია ხელის

ურიკა, თხილის (კაკლის) სამტვრევი და სხვა (სურ. 2.57 ა, ბ). შეეცადეთ ახსნათ, რატომ გვიადვილდება ურიკით მძიმე ტვირთის გადატანა.



სურ. 2.57



დაფიქრდით და იმსჯელეთ: თუ ბერკეტის გამოყენებით ვიგებთ ძალას, მუშაობასაც მოვიგებთ?

ცნობილია არქიმედეს გამონათქვამი: „მომეცით საყრდენი წერტილი და მე დედამიწას ამოვატრიალებ“. რა იგულისხმა არქიმედემ ამ გამონათქვამში? რატომაა პრაქტიკულად შეუძლებელი ამის განხორციელება? მოამზადეთ პრეზენტაცია „არქიმედეს მექანიზმები“.

მოიძიეთ ინფორმაცია და ახსენით ადამიანის კუნთებისა და სახსრების მუშაობა ბერკეტის პრინციპით.

დასკვნები:

- მარტივი მექანიზმი – ხელსაწყო-მოწყობილობა, რომელიც გამოიყენება სამუშაოს შესასრულებლად საჭირო ძალის გარდაქმნისათვის;
- ბერკეტი მყარი სხეულია, რომელსაც უძრავი ბრუნვის ღერძი აქვს;
- ბერკეტი შეიძლება გამოვიყენოთ პატარა ძალით დიდი ძალის მისაღებად;
- ბერკეტის გამოყენებით იმდენჯერ ვიგებთ ძალას, რამდენჯერაც ბერკეტის დიდი მხარი მეტია მის მცირე მხარზე;
- ბერკეტს, რომელზეც ძალები ბრუნვის ღერძის სხვადასხვა მხარესაა მოდებული, პირველი გვარის ბერკეტი ეწოდება;
- ბერკეტს, რომელზეც ძალები ბრუნვის ღერძის ერთსა და იმავე მხარესაა მოდებული და ძალას გვაგებინებს, მეორე გვარის ბერკეტი ეწოდება.

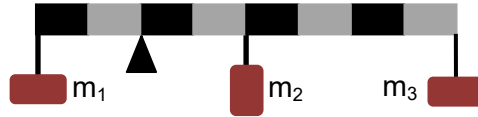
საკონტროლო კითხვები:

1. რა არის ადამიანის მიერ სხვადასხვა სამუშაოს შესრულებისას მოწყობილობის გამოყენების მთავარი აზრი?
2. როგორ მოვიქცეთ იმისათვის, რომ ბერკეტით ძალის მოგება გავზარდოთ?
3. რატომ აქვს ლითონის ფურცლის საჭრელ მაკრატელს გრძელი სახელურები?
4. შესაძლებელია თუ არა, რომ ბერკეტით ძალას ვაგებდეთ?
5. მე-7 კლასის ფიზიკის კურსიდან რა ხელსაწყო გაიხსენებდით, რომელიც ძალას გვაგებინებს გვაძლევს?



ერთად ამოვხსნათ ამოცანა

ბერკეტი განონასწორებულია მასზე დაკიდებული ტვირთებით (სურ. 2.58). ცნობილია, რომ $m_1=10$ კგ და $m_2=4$ კგ. განსაზღვრეთ m_3 ტვირთის მასა. ბერკეტის მასას ნუ გაითვალისწინებთ ($g \approx 10$ ნ/კგ).



სურ. 2.58

ამოხსნა:

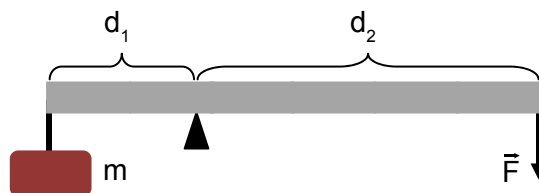
მოც:
 $m_1=10$ კგ;
 $m_2=4$ კგ;
 $g \approx 10$ ნ/კგ.
უ.ვ. m_3 .

სურათზე ჩანს, რომ ბერკეტი გაყოფილია 8 ტოლ ნაწილად. აღვნიშნოთ თითოეული დანაყოფის სიგრძე d -თი. მაშინ m_1 მასის ტვირთზე მოქმედი სიმძიმის ძალის მხარი იქნება $2d$; m_2g სიმძიმის ძალის მხარიც – $2d$; m_3g სიმძიმის ძალის მხარი კი – $6d$. საათის ისრის საწინააღმდეგოდ მაბრუნებელი ძალის მომენტის მოდულია $M_1 = m_1g \cdot 2d$, საათის ისრის მიმართულებით მაბრუნებელი ძალების მომენტები კი: $M_2 = m_2g \cdot 2d$ და $M_3 = m_3g \cdot 6d$, რადგან ბერკეტი განონასწორებულია $M_1 = M_2 + M_3$. ე.ი. $m_1g \cdot 2d = m_2g \cdot 2d + m_3g \cdot 6d$. განტოლების ორივე მხარე შევკვეცოთ $2gd$ -ზე: $2m_1 = 2m_2 + 6m_3$. რიცხვითი მნიშვნელობების შეტანით მივიღებთ: $10 = 4 + 3m_3 \Rightarrow m_3 = 2$ კგ.



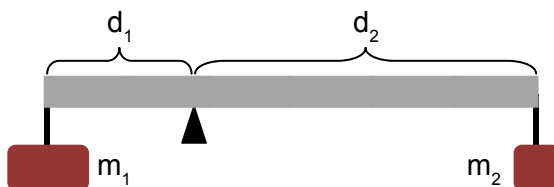
ამოხსენით ამოცანები:

1. სურ. 2.59-ზე გამოსახული ბერკეტი განონასწორებულია. განსაზღვრეთ მის მარცხენა ბოლოზე დაკიდებული ტვირთის მასა, თუ მარჯვენა ბოლოზე მოქმედი ძალის მოდული 50 ნიუტონია. ცნობილია, რომ $d_1 = 20$ სმ და $d_2 = 80$ სმ. ბერკეტის მასას ნუ გაითვალისწინებთ ($g \approx 10$ ნ/კგ).



სურ. 2.59

2. სურ. 2.60-ზე გამოსახული ბერკეტი განონასწორებულია მის ბოლოებზე დაკიდებული $m_1 = 27$ კგ და m_2 მასის ტვირთებით. მათი მხრებია $d_1 = 30$ სმ და $d_2 = 90$ სმ. განსაზღვრეთ m_2 ტვირთის მასა. ბერკეტის მასას ნუ გაითვალისწინებთ.



სურ. 2.60

3. სურ. 2.60-ზე გამოსახული 1 მეტრი სიგრძის ბერკეტი განონასწორებულია მის ბოლოებზე დაკიდებული $m_1 = 12$ კგ და $m_2 = 3$ კგ მასის ტვირთებით. განსაზღვრეთ ამ ტვირთების წონის მხრები. რა ძალით აწევა ბერკეტი საყრდენს? ბერკეტის მასას ნუ გაითვალისწინებთ ($g \approx 10$ ნ/კგ).

4. სურ. 2.60-ზე გამოსახული ბერკეტი განონასწორებულია მის ბოლოებზე დაკიდებული ორი ტვირთით. მათი წონის მხრებია $d_1 = 40$ სმ და $d_2 = 80$ სმ. განსაზღვრეთ ტვირთების მასა, თუ ცნობილია, რომ ბერკეტი საყრდენს 300 ნ ძალით აწევა. ბერკეტის მასას ნუ გაითვალისწინებთ ($g \approx 10$ ნ/კგ).

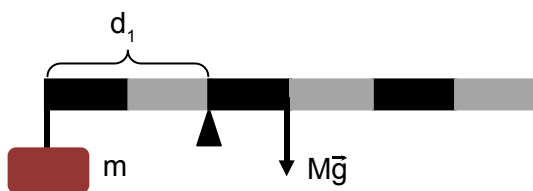
5. განონასწორებული ბერკეტის მოკლე მხრის ბოლოზე დაკიდებული ტვირთის მასა 5-ჯერ მეტია მის გრძელი მხრის ბოლოზე დაკიდებული ტვირთის მასაზე. განსაზღვრეთ ბერკეტის სიგრძე, თუ მისი მოკლე მხრის სიგრძე 40 სმ-ია. ბერკეტის მასას ნუ გაითვალისწინებთ.

6. 1,5 მეტრი სიგრძის ბერკეტის ბოლოებზე დაკიდებული ტვირთის მასები ისე შეეფარდება ერთმანეთს როგორც 1:4. განსაზღვრეთ მათი მხრები, თუ ბერკეტი განონასწორებულია. ბერკეტის მასას ნუ გაითვალისწინებთ.

7. ბერკეტი, რომლის მხრებია 60 სმ და 6 სმ, განონასწორებულია მის ბოლოებზე დაკიდებული ორი ტვირთით. განსაზღვრეთ მათი მასა, თუ ერთ-ერთი ტვირთის მასა 18 კგ-ით მეტია მეორისაზე. რა ძალით აწევა ბერკეტი საყრდენს? ბერკეტის მასას ნუ გაითვალისწინებთ ($g \approx 10$ ნ/კგ).

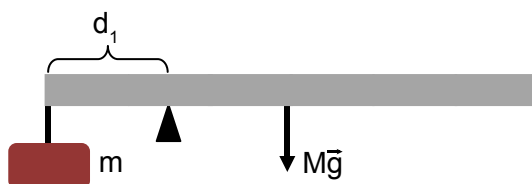
8. ბერკეტი განონასწორებულია მის ბოლოებზე დაკიდებული 5 კგ და 20 კგ მასის ტვირთებით. გრძელი მხრის სიგრძე 60 სმ-ით მეტია მოკლე მხრის სიგრძეზე. განსაზღვრეთ ბერკეტის სიგრძე და იმ ძალის მოდული, რომლითაც იგი საყრდენს აწევა. ბერკეტის მასას ნუ გაითვალისწინებთ ($g \approx 10$ ნ/კგ).

9. $M=10$ კგ მასის ერთგვაროვანი ბერკეტი განონასწორებულია მის მარცხენა ბოლოზე დაკიდებული ტვირთით (სურ. 2.61). განსაზღვრეთ ამ ტვირთის მასა. რა ძალით აწევა ბერკეტი საყრდენს?



სურ. 2.61

10. 1 მეტრი სიგრძის ერთგვაროვანი ბერკეტი განონასწორებულია მის ბოლოზე დაკიდებული 20 კგ მასის ტვირთით. ამ ტვირთის მხარი $d_1 = 25$ სმ-ია (სურ. 2.62). ბერკეტის საყრდენი 15 სმ-ით მარცხნივ გადასწიეს. რა მასის ტვირთი უნდა დავამატოთ ბერკეტის მარცხენა ბოლოზე, რომ იგი კვლავ განონასწორებული იყოს?



სურ. 2.62

§ 2.8 უძრავი და მოძრავი ჭოჭონაქის შესწავლა



სურ. 2.63

ჭოჭონაქი ბერკეტის ნაირსახეობაა. ის წარმოადგენს ლარიან დისკოს, რომელსაც აქვს ბრუნვის ღერძი (სურ. 2.63).

მშლ ლაბორატორიული სამუშაო (ჯგუფური მუშაობა):

ცდის მიზანი: დავადგინოთ ჭოჭონაქის წონასწორობის პირობა და გავზომოთ ძალის მოგება ჭოჭონაქის გამოყენებისას.

სამუშაოსათვის საჭიროა: შტატივი, ჭოჭონაქები, ტვირთების ნაკრები, დინამომეტრი, 2 სახაზავი, დაახლოებით 1 მ სიგრძის თოკი.
სამუშაოს მსვლელობა:



ცდა 1:

1. დაამაგრეთ ჭოჭონაქი შტატივის თათში ისე, როგორც სურ. 2.64-ზეა ნაჩვენები;
2. თოკის ბოლოებზე გააკეთეთ მარყუჟები და გადაკიდეთ ჭოჭონაქზე;
3. თოკის მარცხენა მარყუჟზე ჩამოკიდეთ 100 გ მასის ტვირთი, ხოლო მარჯვენა მარყუჟზე გამოსდეთ დინამომეტრის კაუჭი;
4. გააწონასწორეთ ტვირთი დინამომეტრზე მოდებული ქვემოთ მიმართული ძალით. შეიტანეთ ცხრილში ტვირთზე მოქმედი სიმძიმის ძალისა და დინამომეტრის ჩვენების შესაბამისი მნიშვნელობები;
5. გაიმეორეთ ცდა 200, 300 და 400 გ მასის ტვირთებისთვის;



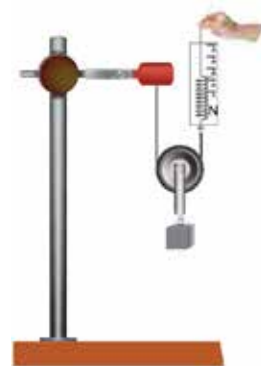
ტვირთის მასა, m (კგ)	0.1	0.2	0.3	0.4
ტვირთზე მოქმედი სიმძიმის ძალა mg (ნ)				
დინამომეტრის ჩვენება F (ნ)				

6. ჩამოსწიეთ დინამომეტრი $h_1 = 10$ სმ-ით და გაზომეთ ტვირთის აწევის სიმაღლე h_2 (გასაზომად გამოიყენეთ სახაზავები). შეადარეთ ერთმანეთს h_1 -ისა და h_2 -ის მნიშვნელობები;
7. გაანალიზეთ შედეგები და გამოიტანეთ დასკვნები.



ცდა 2:

1. თოკის მარცხენა მარყუჟი ჩაამაგრეთ შტატივის თათში, ხოლო მარჯვენა მარყუჟზე გამოსდეთ დინამომეტრის კაუჭი;
2. აიღეთ მსუბუქი ჭოჭონაქი და ამოსდეთ თოკი მას ისე, როგორც სურ. 2.65-ზეა ნაჩვენები;
3. ჩამოკიდეთ ჭოჭონაქზე 100 გ მასის ტვირთი;
4. გააწონასწორეთ ტვირთი დინამომეტრზე ვერტიკალურად ზევით მოდებული ძალით. შეიტანეთ ცხრილში ტვირთზე მოქმედი სიმძიმის ძალისა და დინამომეტრის ჩვენების შესაბამისი მნიშვნელობები;



სურ. 2.65

5. გაიმეორეთ ცდა 200, 300 და 400 გ მასის ტვირთებისთვის;

ტვირთის მასა, m (კგ)	0.1	0.2	0.3	0.4
ტვირთზე მოქმედი სიმძიმის ძალა mg (ნ)				
დინამომეტრის ჩვენება F (ნ)				

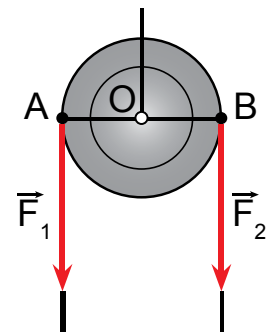
6. ასწიეთ დინამომეტრი $h_1 = 10$ სმ-ით და გაზომეთ ტვირთის აწევის h_2 სიმაღლეც (გასაზომად გამოიყენეთ სახაზავები). შეადარეთ ერთმანეთს h_1 -ისა და h_2 -ის მნიშვნელობები;

7. გააანალიზეთ შედეგები და გამოიტანეთ დასკვნები.

პირველი ცდის დროს ჭოჭონაქის ბრუნვის ღერძი უძრავია, ამიტომ მას **უძრავ ჭოჭონაქს** უწოდებენ. თუ დააკვირდებით მიღებულ შედეგებს, შეამჩნევთ, რომ ტვირთზე მოქმედი სიმძიმის ძალის მნიშვნელობა და დინამომეტრის ჩვენება თითქმის ერთნაირია. ე.ი. უძრავმა ჭოჭონაქმა ძალის მოგება არ მოგვცა. ამასთან, რამდენი სანტიმეტრითაც ჩამოვწიეთ დინამომეტრი, იმდენით აიწია ტვირთმა. უძრავმა ჭოჭონაქმა ძალას შეუცვალა მიმართულება – თქვენ თოკს ექაჩებოდით ქვევით, ტვირთი ადიოდა ზევით.

ავხსნათ, რატომ მოხდა ასე. უძრავი ჭოჭონაქი ბრუნავს O წერტილზე გამავალი ღერძის გარშემო (სურ. 2.66). ის შეიძლება წარმოვიდგინოთ, როგორც ტოლმხრიანი ბერკეტი. ძალების მხრები ტოლია ჭოჭონაქის რადიუსის: $OA = OB = r$. როგორც ვიცით, ასეთი ბერკეტი ძალას არ გვაგებინებს. ტვირთის სიმძიმისა და დინამომეტრის მხრიდან მოქმედი ძალები მოდულით ტოლია:

$$F_1 = F_2$$

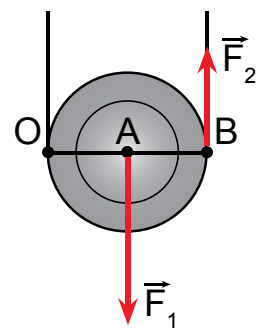


სურ. 2.66

უძრავ ჭოჭონაქზე ძალები მოდებულია ბრუნვის ღერძის სხვადასხვა მხარეს, ამიტომ ის პირველი გვარის ბერკეტია.

მეორე ცდის დროს ჭოჭონაქის ღერძი ტვირთთან ერთად მოძრაობს, ამიტომ მას **მოძრავ ჭოჭონაქს** უწოდებენ. მიღებული შედეგების მიხედვით, ტვირთზე მოქმედი სიმძიმის ძალა დაახლოებით ორჯერ მეტია დინამომეტრის ჩვენებაზე. მოძრავმა ჭოჭონაქმა ძალა ორჯერ მოგვაგებინა, თუმცა დინამომეტრის 10 სმ-ით აწევისას, ტვირთმა 5 სმ-ით აიწია – მანძილი წავაგეთ ორჯერ.

ავხსნათ მიღებული შედეგი. ვინაიდან ჭოჭონაქსა და ტვირთს იჭერს ორი თოკი, თითოეულის დაჭიმულობის ძალა ტვირთზე მოქმედი სიმძიმის ძალის ნახევრის ტოლი უნდა იყოს. დავამტკიცოთ ეს მომენტების წესის გამოყენებითაც. მოძრავი ჭოჭონაქი მობრუნდება O წერტილის მიმართ (სურ. 2.67). ტვირთის სიმძიმის $\vec{F}_1$ ძალის მხარია $OA = r$, დინამომეტრის მხრიდან მოქმედი $\vec{F}_2$ ძალისა კი – $OB = 2r$. მომენტების წესის თანახმად, $F_1 \cdot r = F_2 \cdot 2r$, საიდანაც



სურ. 2.67

$$F_2 = \frac{F_1}{2}$$

მოძრავი ჭოჭონაქის შემთხვევაში ძალები მოდებულია ბრუნვის ღერძის ერთ მხარეს, ამიტომ ის მეორე გვარის ბერკეტია.

შეეცადეთ დახაზოთ უძრავი და მოძრავი ჭოჭონაქების კომბინაცია.

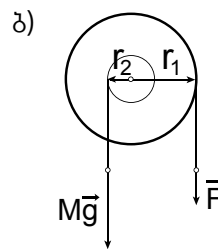
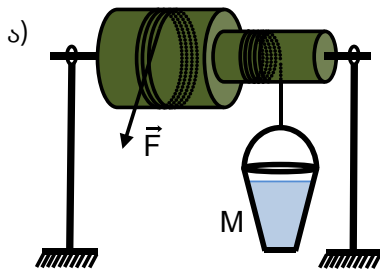
 შეეცადეთ ახსნათ, რატომაა სურ. 2.68-ზე გამოსახული რამდენიმე ჭოჭონაქისა და ტვირთის სისტემა განონასწორებული. მიიჩნიეთ, რომ ყველა ტვირთის მასა ერთნაირია. ჭოჭონაქებისა და თოკის მასას, ასევე, ჭოჭონაქების ღერძთან ხახუნს ნუ გაითვალისწინებთ.

სურ. 2.69 ა-ზე გამოსახულია ორმაგი ჭოჭონაქი. ის წარმოადგენს საერთო ღერძის მქონე ორი სხვადასხვა r_1 და r_2 რადიუსის ლილვს.

 დაფიქრდით და სურ. 2.69 ბ-ს მიხედვით დანერეთ ფორმულა, რომლითაც ვიპოვით, თუ რამდენჯერ გვაგებინებს ძალას ასეთი ჭოჭონაქი.



სურ. 2.68



სურ. 2.69

დასკვნები:

- ჭოჭონაქი – ღარიანი დისკო, რომელსაც შეუძლია ბრუნვა ღერძის გარშემო;
- ჭოჭონაქი ბერკეტის ერთ-ერთი სახეა;
- ჭოჭონაქი უძრავია, როცა მისი ბრუნვის ღერძი უძრავადაა დამაგრებული;
- ჭოჭონაქი მოძრავია, როცა მის ბრუნვის ღერძს შეუძლია გადაადგილება;
- უძრავი ჭოჭონაქი ძალას არ გვაგებინებს. ის ძალას უცვლის მიმართულებას;
- მოძრავი ჭოჭონაქით ძალას ორჯერ ვიგებთ, თუმცა ორჯერ ვაგებთ მანძილს.

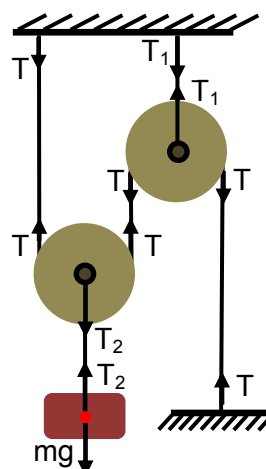
საკონტროლო კითხვები:

1. რა შემთხვევაში გამოიყენებთ უძრავ ჭოჭონაქს?
2. რა შემთხვევაში გამოიყენებთ მოძრავ ჭოჭონაქს?
3. რა უპირატესობა აქვს მოძრავ ჭოჭონაქს უძრავთან შედარებით?
4. გვაგებინებს თუ არა მუშაობას უძრავი ჭოჭონაქი? რატომ?
5. გვაგებინებს თუ არა მუშაობას მოძრავი ჭოჭონაქი? რატომ?
6. რატომაა უძრავი ჭოჭონაქი პირველი გვარის ბერკეტი?
7. რატომაა მოძრავი ჭოჭონაქი მეორე გვარის ბერკეტი?

მოც:
 $m=10$ კგ;
 $g \approx 10$ ნ/კგ.
 უ.ვ. T, T_1, T_2

სურ. 2.70-ზე გამოსახულია უძრავი და მოძრავი ჭოჭონაქებისაგან შედგენილი განონასწორებული სისტემა. მოძრავ ჭოჭონაქზე ჩამოკიდებულია 10 კგ მასის ტვირთი. განსაზღვრეთ:

- ტვირთზე მოქმედი ძალების მოდული;
- მოძრავ ჭოჭონაქზე მოქმედი ძალების მოდული;
- უძრავ ჭოჭონაქზე მოქმედი ძალების მოდული;
- ჭერსა და იატაკზე მოქმედი ძალების მოდული. ჭოჭონაქებისა და თოკის მასას, ასევე ჭოჭონაქების ღერძთან ხახუნს ნუ გაითვალისწინებთ ($g \approx 10$ ნ/კგ).



სურ. 2.70

ამოხსნა:

რადგან ჭოჭონაქების ღერძთან ხახუნის ძალები და თოკის მასა უგულებელყოფილია, ჭოჭონაქებზე გადადებული თოკის დაჭიმულობის ძალა ყველა წერტილში ერთნაირი იქნება. ეს ფაქტი შეგიძლიათ გამოიყენოთ მსგავსი ამოცანების ამოხსნისას.

ა) ტვირთზე მოქმედი ძალების მოდულებია mg და T_2 . რადგან ტვირთი განონასწორებულია: $mg = T_2 = 100$ ნ.

ბ) მოძრავ ჭოჭონაქზე ვერტიკალურად ქვევით მოქმედებს T_2 ძალა, ზევით კი – $2T$ ძალა. რადგან მოძრავი ჭოჭონაქი განონასწორებულია, $T_2 = 2T$. ამიტომ $T = \frac{T_2}{2} = 50$ ნ.

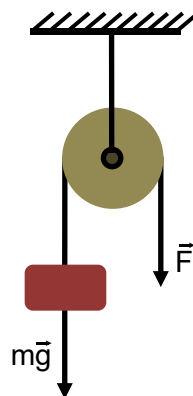
გ) უძრავ ჭოჭონაქზე ვერტიკალურად ქვევით მოქმედებს $2T$ ძალა, ზევით კი – T_1 ძალა. რადგან უძრავი ჭოჭონაქი განონასწორებულია $T_1 = 2T$. რიცხვითი მნიშვნელობის შეტანით მივიღებთ $T_1 = 2 \cdot 50 = 100$ (ნ).

დ) ჭერზე ვერტიკალურად ქვევით მოქმედებს T და T_1 ძალები, მათი ჯამი იქნება $T + T_1 = 3T = 150$ ნ. იატაკზე მოქმედებს ვერტიკალურად ზევით მიმართული $T = 50$ ნ ძალა.

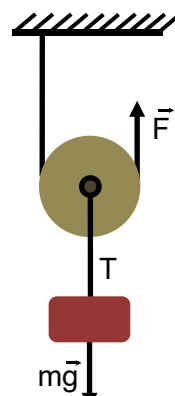
ამოხსენით ამოცანები:

1. უძრავი ჭოჭონაქზე გადადებული თოკით აკავებენ $m=10$ კგ მასის ტვირთს (სურ. 2.71). განსაზღვრეთ ტვირთის შემაკავებელი $\bar{F}$ ძალისა და იმ თოკის დაჭიმულობის ძალის მოდული, რომლითაც ჭოჭონაქი ჭერზეა ჩამოკიდებული. ჭოჭონაქისა და თოკის მასას, ასევე ჭოჭონაქის ღერძთან ხახუნს ნუ გაითვალისწინებთ ($g \approx 10$ ნ/კგ).

2. სურ. 2.72-ზე მოცემული მოძრავი ჭოჭონაქის საშუალებით მუშას თანაბრად ააქვს 40 კგ მასის ტვირთი. განსაზღვრეთ $\bar{F}$ ძალისა და იმ თოკის დაჭიმულობის ძალის მოდული, რომელზეც ტვირთია ჩამოკიდებული. ჭოჭონაქისა და თოკების მასას, ასევე ჭოჭონაქის ღერძთან ხახუნს ნუ გაითვალისწინებთ ($g \approx 10$ ნ/კგ).



სურ. 2.71



სურ. 2.72

3. სურ. 2.73-ზე მოცემული ჭოჭონაქების სისტემის საშუალებით ტვირთი თანაბრად აიტანეს 10 სმ სიმაღლეზე. რამდენი სანტიმეტრით ჩამოინია $\vec{F}$ ძალის მოდების წერტილმა? მიიჩნიეთ, რომ თოკის სიგრძე უცვლელია.

4. სურ. 2.73-ზე მოცემული ჭოჭონაქების სისტემის დახმარებით აკავენ 50 კგ მასის ტვირთს. განსაზღვრეთ:

ა) $\vec{F}$ ძალის მოდული;

ბ) იმ თოკის დაჭიმულობის ძალა, რომელზეც კიდია ტვირთი;

გ) იმ თოკის დაჭიმულობის ძალა, რომელზეც კიდია უძრავი ჭოჭონაქი;

დ) რა ძალით მოქმედებს ჭოჭონაქების სისტემა ჭერზე.

ჭოჭონაქებისა და თოკების მასას, ასევე ჭოჭონაქების ღერძთან ხახუნს ნუ გაითვალისწინებთ ($g \approx 10$ ნ/კგ).

5. სურ. 2.74-ზე გამოსახული ჭოჭონაქების სისტემა განონასწორებულია. მოძრავ ჭოჭონაქზე დაკიდებული ტვირთის მასა $m_1 = 20$ კგ-ს. განსაზღვრეთ უძრავ ჭოჭონაქზე დაკიდებული ტვირთის მასა და ჭოჭონაქებზე გადადებული თოკის დაჭიმულობის ძალა. ჭოჭონაქებისა და თოკების მასას, ასევე ჭოჭონაქების ღერძთან ხახუნს ნუ გაითვალისწინებთ ($g \approx 10$ ნ/კგ).

6. სურ. 2.75-ზე მოცემული ჭოჭონაქების სისტემის საშუალებით ხელოსანმა თანაბრად აიტანა 100 კგ მასის ტვირთი 2 მ სიმაღლეზე. განსაზღვრეთ:

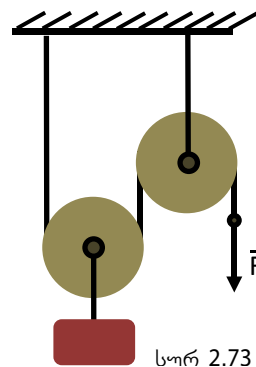
ა) რამდენჯერ მოიგო ხელოსანმა ძალა ტვირთის ატანისას;

ბ) რამდენით აიწია ძალის მოდების წერტილმა ტვირთის ატანისას;

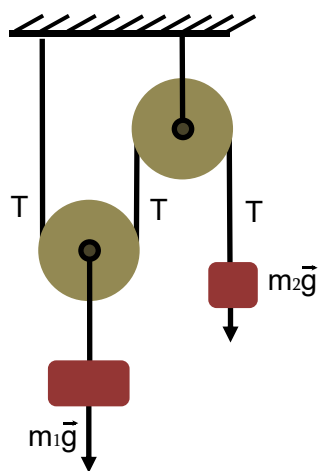
გ) რისი ტოლია თოკის დაჭიმულობის ძალის მოდული T_1 ;

დ) რა ძალით მოქმედებს ჭოჭონაქების სისტემა ჭერზე.

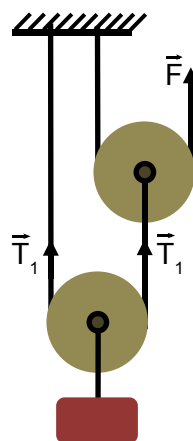
ჭოჭონაქებისა და თოკების მასას, ასევე ჭოჭონაქების ღერძთან ხახუნს ნუ გაითვალისწინებთ ($g \approx 10$ ნ/კგ).



სურ. 2.73



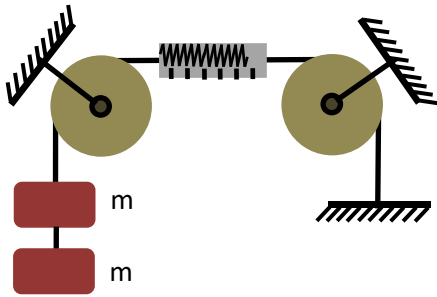
სურ. 2.74



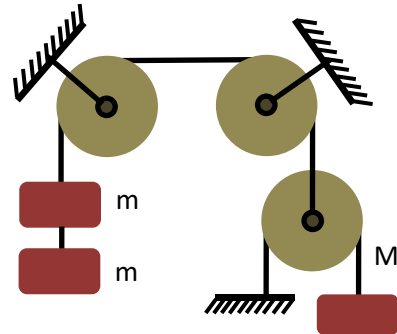
სურ. 2.75

7. რას გვიჩვენებს სურ. 2.76-ზე გამოსახული დინამომეტრი, თუ თოკზე ჩამოკიდებული თითოეული ტვირთის მასა 15 კგ -ია? თოკის მასას და ჭოჭონაქების ღერძთან ხახუნს ნუ გაითვალისწინებთ ($g \approx 10 \text{ ნ/კგ}$).

8. სურ. 2.77-ზე მოცემული ჭოჭონაქების სისტემა განონასწორებულია. მარცხნივ ჩამოკიდებული თითოეული ტვირთის მასა $m=28 \text{ კგ}$ -ია. განსაზღვრეთ უცნობი M ტვირთის მასა. ჭოჭონაქებისა და თოკების მასას, ასევე ჭოჭონაქების ღერძთან ხახუნს ნუ გაითვალისწინებთ.

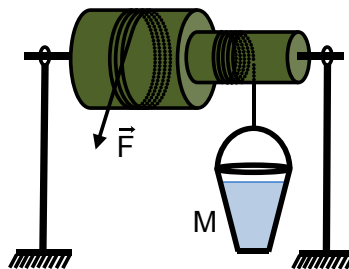


სურ. 2.76



სურ. 2.77

9. სურ. 2.78-ზე გამოსახული ორმაგი ჭოჭონაქის საშუალებით ჭიდან ამოაქვთ წყლით სავსე სათლი, რომლის მასა წყლიანად 16 კგ -ია. დიდი ლილვის დიამეტრია 80 სმ . განსაზღვრეთ წყლის თანაბრად ამოსატანად საჭირო $\vec{F}$ ძალის მოდული, თუ პატარა ლილვის რადიუსი 28 სმ -ია. ღერძის ბრუნვისას ხახუნის ძალებს და თოკის მასას ნუ გაითვალისწინებთ ($g \approx 10 \text{ ნ/კგ}$).



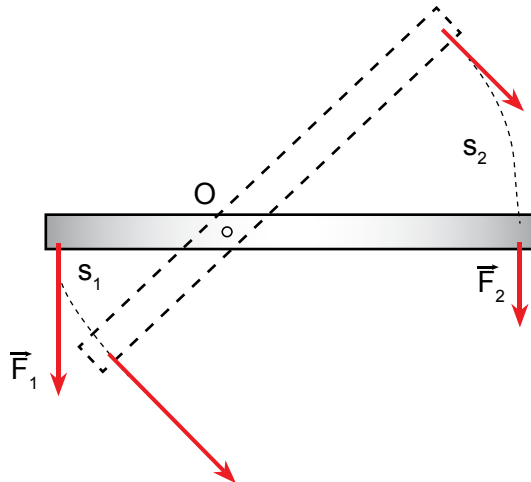
სურ. 2.78

10. სურ. 2.78-ზე გამოსახული ორმაგი ჭოჭონაქის საშუალებით 20 მ სიღრმის ჭიდან ამოაქვთ წყალი. განსაზღვრეთ, რა მანძილს გაივლის $\vec{F}$ ძალის მოდების წერტილი, თუ ერთი შემობრუნებისას პატარა ლილვზე 50 სმ სიგრძის თოკი ეხვევა, დიდი ლილვიდან კი ამ დროს 70 სმ სიგრძის თოკი იშლება. თოკების სიგრძის ცვლილება არ გაითვალისწინოთ.

§ 2.9 მექანიკის ოქროს წესი

წინა პარაგრაფებში, ბერკეტებისა და ჭოჭონაქების შესწავლისას, ჩვენ ვნახეთ, რომ ამ მარტივი მექანიზმების გამოყენებისას შეგვიძლია მოვიგოთ ძალა. ამავე პარაგრაფების ბოლოს ჩვენ დავსვით საინტერესო შეკითხვა: მოგვაგებინებს თუ არა ეს მექანიზმები მუშაობას? იმედია, თქვენ ამ საკითხზე უკვე იფიქრეთ და თქვენეული დასკვნაც გამოიტანეთ, მაგრამ მოდით, ერთად ვიმსჯელოთ ამ კითხვაზე.

მოვდეთ ბერკეტს მისი მართობული და მოდულით განსხვავებული ორი ისეთი $\vec{F}_1$ და $\vec{F}_2$ ძალა, რომელთა მოქმედებითაც ის განონასწორებულია (სურ. 2.79). წარმოვიდგინოთ, რომ ბერკეტი თანაბრად ბრუნავს O ღერძის გარშემო. სურათიდან ჩანს, რომ ერთსა და იმავე დროში მოდულით პატარა $\vec{F}_2$ ძალის მოდების წერტილი გაივლის მეტ მანძილს, ვიდრე – მოდულით დიდი $\vec{F}_1$ ძალისა, ვინაიდან $\vec{F}_2$ ძალის მხარი მეტია $\vec{F}_1$ ძალის მხარზე. ე. ი. $S_2 > S_1$.



სურ. 2.79

მრავალრიცხოვანი ცდებით დასტურდება, რომ ძალების მოდების წერტილების მიერ გავლილი მანძილები ძალების მოდულების უკუპროპორციულია:

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

ამრიგად, ბერკეტის გრძელ მხარზე მოქმედებისას ძალას ვიგებთ იმდენჯერ, რამდენჯერაც ვაგებთ მანძილს.

ამ დასკვნამდე ჯერ კიდევ ძველ საბერძნეთში მივიდნენ და მას მექანიკის ოქროს წესი უწოდეს.

მიღებული შედეგი სხვა სახითაც შეიძლება ჩავწეროთ:

$$F_1 S_1 = F_2 S_2.$$



გავიხსენოთ, რომ მუშაობა ეწოდება ძალის მოდულისა და ამ ძალის მიმართულელებით გავლილი მანძილის ნამრავლს. ამიტომ მივიღებთ:

$$A_1 = A_2$$

ამრიგად, ბერკეტი მუშაობას არ მოგვაგებინებს.



გავიხსენოთ: ძალაყინს ვიყენებთ პატარა ძალით დიდი ძალის გასავითარებლად (სურ. 2.54). პატარა ძალას დიდი მხარი აქვს და მისი მოდების წერტილი მობრუნებისას იმდენჯერ მეტ მანძილს გადის, რამდენჯერაც პატარა ძალის მხარი მეტია დიდი ძალის მხარზე. შედეგად ვერ ვიგებთ მუშაობას.

ზუსტად იგივე შედეგი გვაქვს მოძრავ ჭოჭონაქზე ჩატარებულ ცდაში: მოძრავი ჭოჭონაქით ძალას ვიგებთ ორჯერ, მაგრამ ორჯერ ვაგებთ მანძილს. ამიტომ მუშაობას ამ შემთხვევაშიც ვერ ვიგებთ.



ივარაუდეთ, რა შედეგს მივიღებდით, მარტივი მექანიზმი მუშაობის მოგებას რომ გვაძლევდეს?

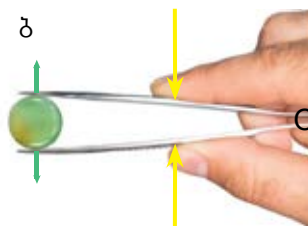
მექანიკის ოქროს წესიდან გამომდინარე, შეიძლება მოვიგოთ მანძილი, მაგრამ წავაგოთ ძალას.

ბერკეტს, რომელზეც ძალები ბრუნვის ღერძის ერთსა და იმავე მხარესაა მოდებული და მანძილს მოგვაგებინებს, **მესამე გვარის ბერკეტი** ეწოდება.

მესამე გვარის ბერკეტის მაგალითებია ანკესი, პინცეტი, ჩაქუჩი (სურ. 2.80 ა, ბ, გ), ცოცხი, წინამხრის ძვლები და სხვ.



ანკესი



პინცეტი



ჩაქუჩი

სურ. 2.80

აღსანიშნავია, რომ **მექანიკის ოქროს წესი სამართლიანია მხოლოდ იმ შემთხვევაში, როცა მარტივი მექანიზმების მასას და წინააღმდეგობის ძალებს უგულებელვყოფთ.**

დასკვნები:

- იდეალური ბერკეტით და ჭოჭონაქით რამდენჯერაც ვიგებთ ძალას, იმდენჯერ ვაგებთ მანძილს;
- ბერკეტისა და ჭოჭონაქის გამოყენებისას მუშაობას არ ვიგებთ;
- თუ ბერკეტის გამოყენებისას წავაგებთ ძალას, მოვიგებთ მანძილს;
- ბერკეტს, რომელზეც მოდებული ძალები ბრუნვის ღერძის ერთსა და იმავე მხარესაა და მისი გამოყენებით ვიგებთ მანძილს, მესამე გვარის ბერკეტი ეწოდება;
- მექანიკის ოქროს წესი სამართლიანია იდეალური მექანიზმისათვის, რომელშიც მექანიზმის სიმძიმისა და ხახუნის ძალები ნულის ტოლია.

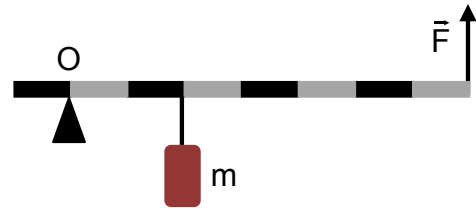
საკონტროლო კითხვები:

1. რატომ ვაგებთ მანძილს ძალის მოგებისას?
2. რას ნიშნავს – რამდენჯერაც ვიგებთ ძალას, იმდენჯერვე ვაგებთ მანძილს?
3. რატომ არ შესრულდება მექანიკის ოქროს წესი იმ შემთხვევაში, თუ მექანიზმში გვექნებოდა წინააღმდეგობის ძალა?
4. რა მსგავსება და განსხვავებაა მეორე და მესამე გვარის ბერკეტებს შორის?



ერთად ამოვხსნათ ამოცანა

სურ. 2.81-ზე გამოსახული ბერკეტით მუშამ $m=70$ კგ მასის ტვირთი 10 სმ სიმაღლეზე თანაბრად ასწია. განსაზღვრეთ: ა) მუშის მხრიდან ბერკეტის მარჯვენა ბოლოზე მოქმედი $\vec{F}$ ძალის მოდული; ბ) $\vec{F}$ ძალის მიერ შესრულებული მუშაობა; გ) $\vec{F}$ ძალის მოდულის წერტილის მიერ გავლილი მანძილი.



სურ. 2.81

მიიჩნიეთ, რომ ბერკეტი მცირე კუთხით თანაბრად შემობრუნდა და მასზე მოქმედი ძალები ყოველთვის ბერკეტის მართობულია. ბერკეტის მასა და წინააღმდეგობის ძალები არ გაითვალისწინოთ.

ამოხსნა:

მოც:
 $m=70$ კგ;
 $h=0,1$ მ;
 $g \approx 10$ ნ/კგ.
უ.გ. F, A_2, H

ა) ვინაიდან ბერკეტი თანაბრად ბრუნავს, მასზე მოქმედი ძალების მაბრუნებელი მომენტის მოდული O წერტილის მიმართ ტოლია. ბერკეტზე ტვირთის დაკიდების წერტილში მოქმედებს ტვირთის $m\vec{g}$ სიმძიმის ძალა. თუ ბერკეტის თითოეული დანაყოფის სიგრძეს d -თი აღვნიშნავთ, მომენტების წესის თანახმად, მივიღებთ: $mg \cdot 2d = F \cdot 7d$. განტოლების ორივე მხარე გავყოთ d -ზე და შევიტანოთ რიცხვითი

მნიშვნელობები, მივიღებთ $F=200$ ნ.

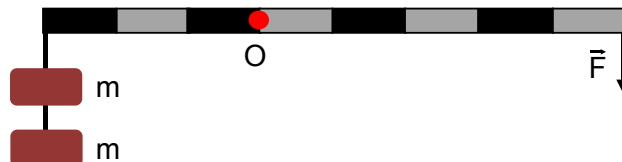
ბ) თუ $\vec{F}$ ძალის მოდულის წერტილმა აიწია H მანძილზე, მაშინ მისი მუშაობაა $A_2 = FH$. მექანიკის ოქროს წესის თანახმად, $\vec{F}$ ძალის მიერ შესრულებული მუშაობა ტოლია ტვირთის აწევაზე შესრულებული $A_1 = mgh$ მუშაობის. ე.ი. $A_2 = mgh = 70$ ჯ.

$$გ) FH = mgh \Rightarrow H = \frac{mgh}{F} = 0,35 \text{ მ.}$$



ამოხსენით ამოცანები:

1. ბერკეტზე, რომელსაც ხახუნის გარეშე შეუძლია ბრუნვა O წერტილზე გამავალი ჰორიზონტალური ღერძის გარშემო, ჩამოკიდებულია ორი ტვირთი (სურ. 2.82). თითოეულის მასა $m=10$ კგ-ია. $\vec{F}$ ძალის მოქმედებით ტვირთების დაკიდების წერტილმა 1 სმ-ით თანაბრად აიწია. განსაზღვრეთ $\vec{F}$ ძალის მიერ შესრულებული მუშაობა. მიიჩნიეთ, რომ ბერკეტი მცირე კუთხით შემობრუნდა და მასზე მოდებული ძალები ყოველთვის ბერკეტის მართობულია. ბერკეტის მასას ნუ გაითვალისწინებთ ($g \approx 10$ ნ/კგ).

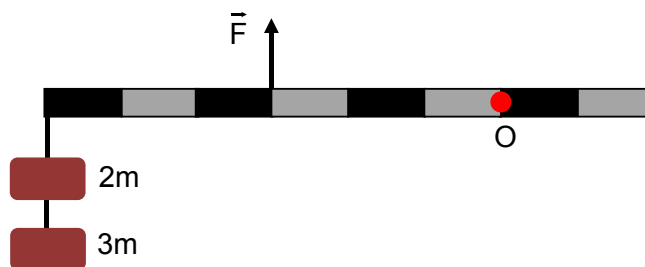


სურ. 2.82

2. წინა ამოცანის პირობის მიხედვით, განსაზღვრეთ $\vec{F}$ ძალის მოდული და მისი მოდულის წერტილის მიერ გავლილი მანძილი.

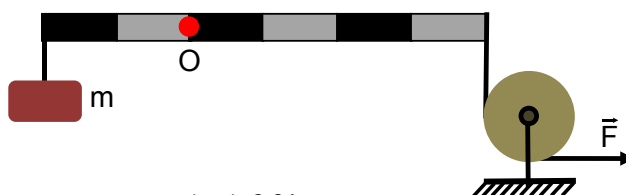
3. ბერკეტზე, რომელსაც ხახუნის გარეშე შეუძლია ბრუნვა O წერტილზე გამავალი ჰორიზონტალური ღერძის გარშემო, ჩამოკიდებულია ორი, $m=5$ კგ მასის ტვირთი (სურ. 2.83). განსაზღვრეთ $\vec{F}$ ძალის მოდული და მანძილი, რომელსაც გაივლის ტვირთების და-

კიდების წერტილი, თუ $\vec{F}$ ძალის მოდების წერტილმა 2 სმ-ით თანაბრად აინია. მიიჩნიეთ, რომ ბერკეტზე მოდებული ძალები ყოველთვის ბერკეტის მართობულია. ბერკეტის მასას ნუ გაითვალისწინებთ ($g \approx 10$ ნ/კგ).



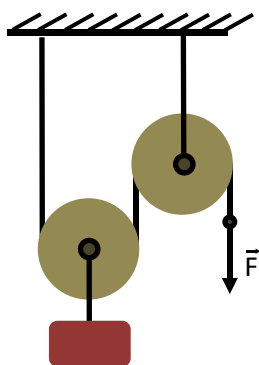
სურ. 2.83

4. ბერკეტზე, რომელსაც ხახუნის გარეშე შეუძლია ბრუნვა O წერტილზე გამავალი ჰორიზონტალური ღერძის გარშემო, ჩამოკიდებულია 50 კგ მასის ტვირთი (სურ. 2.84). უძრავ ჭოჭონაქზე შემოტარებული თოკი თანაბრად გასწიეს. რა სიმაღლეზე აინევს ტვირთი, თუ $\vec{F}$ ძალა 15 ჯოულ მუშაობას შეასრულებს? თოკის მასა და ჭოჭონაქის ღერძთან ხახუნი არ გაითვალისწინოთ. მიიჩნიეთ, რომ ბერკეტზე მოდებული ძალები ყოველთვის ბერკეტის მართობულია. ბერკეტის მასას ნუ გაითვალისწინებთ ($g \approx 10$ ნ/კგ).

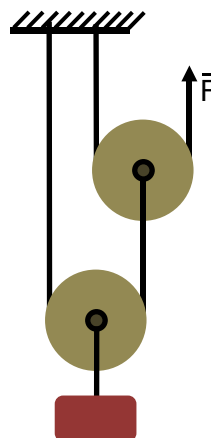


სურ. 2.84

5. სურ. 2.85-ზე გამოსახული ჭოჭონაქების სისტემის საშუალებით თანაბრად ააქვთ 60 კგ მასის ტვირთი. ამ დროს $\vec{F}$ ძალის მოდების წერტილმა 30 სმ-ით დაინია. განსაზღვრეთ $\vec{F}$ ძალის მოდული და ამ ძალის მიერ შესრულებული მუშაობა. ჭოჭონაქებისა და თოკის მასა, აგრეთვე ჭოჭონაქების ღერძთან ხახუნი არ გაითვალისწინოთ. მიიჩნიეთ, რომ თოკის სიგრძე უცვლელია ($g \approx 10$ ნ/კგ).

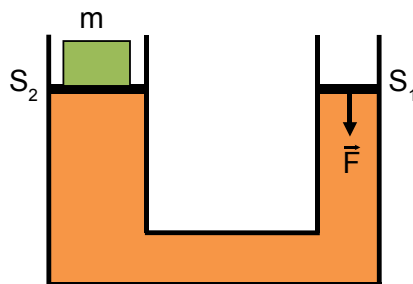


სურ. 2.85



სურ. 2.86

7. ჰიდრავლიკური წნეხის დიდ დგუშზე მოთავსებულია $m=2$ ტ მასის ტვირთი. მცირე დგუშმა $\bar{F}$ ძალის მოქმედებით 20 სმ-ით დაინია (სურ. 2.87). განსაზღვრეთ $\bar{F}$ ძალის მოდული და ტვირთის ასანევად შესრულებული მუშაობა, თუ ჰიდრავლიკური წნეხის დიდი დგუშის ფართობი 100-ჯერ მეტია მცირე დგუშის ფართობზე. წინააღმდეგობის ძალებს და დგუშების მასას ნუ გაითვალისწინებთ ($g \approx 10$ ნ/კგ).



სურ. 2.87

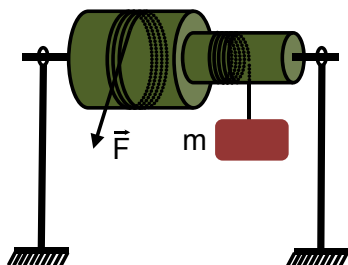
8. სურ. 2.88-ზე გამოსახული ორმაგი ჭოჭონაქის საშუალებით 50 მ სიმაღლეზე თანაბრად ასწიეს $m = 60$ კგ მასის ტვირთი. განსაზღვრეთ $\bar{F}$ ძალის მიერ შესრულებული მუშაობა. თოკების მასა და ხახუნის ძალები არ გაითვალისწინოთ ($g \approx 10$ ნ/კგ).

9. სურ. 2.88-ზე გამოსახული ორმაგი ჭოჭონაქის საშუალებით 30 მ სიმაღლეზე თანაბრად ასწიეს 60 კგ მასის ტვირთი. დიდი ლილვის რადიუსი 2-ჯერ მეტია პატარა ლილვის რადიუსზე. განსაზღვრეთ ტვირთის ასანევად საჭირო $\bar{F}$ ძალის მოდული. რამდენი ბრუნე შეასრულა ლილვმა, თუ მისი ერთი შემობრუნებისას პატარა ლილვზე 60 სმ სიგრძის თოკი ეხვევა. თოკების მასა და ხახუნის ძალები არ გაითვალისწინოთ ($g \approx 10$ ნ/კგ).

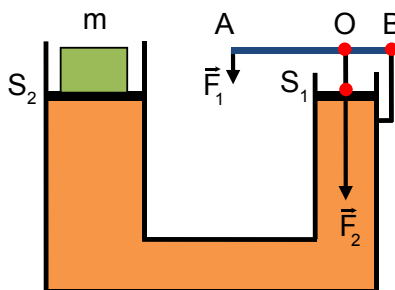
10. ჰიდრავლიკური წნეხით ძალის მოგების გასაზრდელად მცირე დგუშს დაუყენეს მოძრაობაში მომყვანი AB ბერკეტი (სურ. 2.89). ბერკეტის ბრუნვის ღერძი უძრავ B წერტილშია. ცნობილია, რომ $|AO| = 2 \cdot |OB|$ და $S_2 = 100 \cdot S_1$. განსაზღვრეთ:

ა) რამდენჯერ მოვიგებთ ძალას ასეთი ჰიდრავლიკური წნეხით;

ბ) რა მუშაობას შეასრულებს ბერკეტის გრძელ მხარზე მოდებული $\bar{F}_1$ ძალა დიდ დგუშზე მოთავსებული 1 ტონა მასის ტვირთის 0,2 სმ-ით აწევისას. ბერკეტის და დგუშების მასა, აგრეთვე წინააღმდეგობის ძალები არ გაითვალისწინოთ ($g \approx 10$ ნ/კგ).



სურ. 2.88

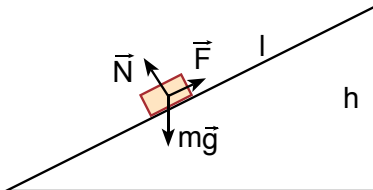


სურ. 2.89

§ 2.10 დახრილი სიბრტყე



სურ. 2.90



სურ. 2.91

ვთქვათ, მთასვლელობა ჯგუფს გადაწყვეტილი აქვს მყინვარწვერის დალაშქვრა. თქვენი აზრით, რომელი მარშრუტით გაუადვილდებათ მათ მწვერვალზე ასვლა, ციცაბო აღმართით თუ ნაკლებად დამრეცი ფერდობით? რა თქმა უნდა, თქვენი პასუხი იქნება – ნაკლებად დამრეცი ფერდობით, თუმცა ამ მარშრუტით ასვლისას მათ მოუწევთ შედარებით მეტი მანძილის გავლა (სურ. 2.90). ეს ყველასათვის ცხადი ჭეშმარიტება შევეცადოთ ავსხნათ მექანიკის ოქროს წესით.

წარმოვიდგინოთ, რომ გვინდა m მასის ტვირთის ატანა l სიგრძის დახრილი სიბრტყის დახმარებით h სიმაღლეზე. დავუშვათ, რომ ტვირთსა და დახრილ სიბრტყეს შორის ხახუნის ძალა იმდენად მცირეა, რომ იგი შეიძლება უგულებელვყოთ. იმისათვის, რომ ტვირთი თანაბრად ვამოძრაოთ ზევით, საჭიროა მასზე ვიმოქმედოთ დახრილი სიბრტყის პარალელური გარკვეული F ძალით (სურ. 2.91).

როგორც ვიცით, h სიმაღლეზე m მასის სხეულის თანაბრად აწევისას შესრულებული მუშაობა $A_1 = mgh$. მეორე მხრივ, დახრილი სიბრტყის გასწვრივ l მანძილზე თანაბრად გადაადგილებისას F ძალა შეასრულებს $A_2 = Fl$ მუშაობას.

მექანიკის ოქროს წესის თანახმად, მექანიზმების გამოყენებით შეუძლებელია მოვიგოთ მუშაობა. რადგან ხახუნს არ ვითვალისწინებთ, $A_1 = A_2$. ამ ტოლობაში A_1 -სა და A_2 -ის მნიშვნელობების ჩასმით მივიღებთ: $mgh = Fl$, საიდანაც

$$\frac{F}{mg} = \frac{h}{l}$$

დახრილი სიბრტყის სიმაღლე ყოველთვის ნაკლებია მის სიგრძეზე, ამიტომ $F < mg$.

მაშასადამე, **მცირე ხახუნის შემთხვევაში დახრილი სიბრტყით ძალას ვიგებთ თითქმის იმდენჯერ, რამდენჯერაც დახრილი სიბრტყის სიგრძე მეტია მის სიმაღლეზე.**

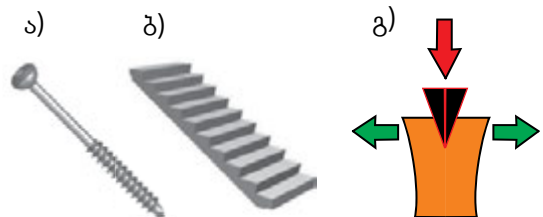
ზუსტად ამიტომ, რაც უფრო ნაკლებად დამრეცია მთის ფერდი, მით უფრო ადვილია მწვერვალზე ასვლა, თუმცა ამ შემთხვევაში მეტი მანძილის გავლა იქნება საჭირო.

დახრილი სიბრტყის გარკვეული სახეობაა ხრახნი, კიბე, სოლი და სხვ.

ხრახნი ცილინდრის გარშემო დახრილად მოჭრილი სპირალური ზედაპირია, რომლის თითოეული უბანი მცირე ზომის დახრილი სიბრტყეა (სურ. 2.92 ა). რაც უფრო ნაკლებად დამრეცია ეს დახრილი სიბრტყე, მით უფრო ადვილია მისი ჩახრახვნა, მაგალითად, ხეში.

კიბე (სურ. 2.92 ბ) – საფეხურები ქმნის დახრილ სიბრტყეს. ნაკლებად დამრეც კიბეზე ასვლა ადვილია, ციცაბოზე – ძნელი.

სოლი (სურ. 2.92 გ) – სოლს ქმნის ერთი ან ორი გაერთიანებული დახრილი სიბრტყე. სოლის პრინციპით მუშაობს დანა, ნემსი, ნაჯახი, შალაშინი. ძალა, რომლითაც მოქმედებენ სოლზე, იყოფა გვერდებისაკენ მიმართულ ძალებად. რაც უფრო მცირეა სოლის წვერის კუთხე, მით უფრო მეტად მოვიგებთ ძალას.



სურ. 2.92

დასკვნები:

- დახრილი სიბრტყე მარტივი მექანიზმის ერთ-ერთი სახეა;
- როცა ხახუნი უმნიშვნელოა, დახრილი სიბრტყით სხეულის სიმაღლეზე ატანას სიმძიმის ძალაზე იმდენჯერ ნაკლები ძალა სჭირდება, რამდენჯერაც დახრილი სიბრტყის სიგრძე მეტია მის სიმაღლეზე: $\frac{F}{mg} = \frac{h}{l}$.

საკონტროლო კითხვები:

- რატომაა მწვერვალის დალაშქვრა ციცაბო აღმართით ძნელი?
- როცა სპეციალური ტექნიკა არ არის, სატვირთო ავტომობილის ძარაზე ტვირთის ატანისას რატომ სარგებლობენ დახრილი სიბრტყით?
- რას წარმოადგენს პანდუსი?
- რატომ არის სურათზე (სურ. 2.93) გამოსახული გზა დაკლაკნილი?

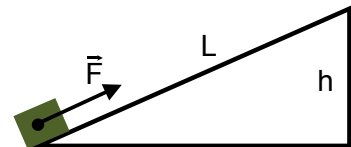


სურ. 2.93



ერთად ამოვხსნათ ამოცანა

დახრილი სიბრტყის სიმაღლე მისი სიგრძის $\frac{3}{5}$ ნაწილია. მასზე ზევით თანაბრად მიასრიალებენ 60 კგ მასის სხეულს, სიბრტყის პარალელური $\vec{F}$ ძალის მოქმედებით (სურ. 2.94). განსაზღვრეთ: ა) $\vec{F}$ ძალის მოდული იმ შემთხვევაში, როცა ხახუნი სხეულსა და დახრილ სიბრტყეს შორის არ გვაქვს ($g=10$ ნ/კგ);



სურ. 2.94

ბ) $\vec{F}$ ძალის მოდული იმ შემთხვევაში, როცა ხახუნის კოეფიციენტი სხეულსა და დახრილ სიბრტყეს შორის 0,2-ია და სხეული დახრილ სიბრტყეს მოდულით $\frac{4}{5} mg$ ძალით აწევს ($g=10$ ნ/კგ).

ამოხსნა:

მოც:

$$\frac{h}{L} = \frac{3}{5};$$

$$m=60 \text{ კგ};$$

$$g=10 \text{ ნ/კგ};$$

$$\mu=0,2;$$

$$N=\frac{4}{5} mg.$$

$$\text{შ.ვ. } F_1, F_2.$$

ა) ვინაიდან ხახუნს სხეულსა და დახრილ სიბრტყეს შორის არ ვითვალისწინებთ, შეგვიძლია გამოვიყენოთ მექანიკის ოქროს წესი:

$$F_1 L = mgh \Rightarrow F_1 = \frac{mgh}{L} = 360 \text{ ნ}.$$

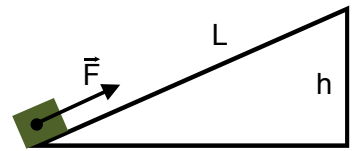
ბ) როდესაც დახრილ სიბრტყესთან ხახუნი გვაქვს, სხეულის თანაბრად ასრიალებას დასჭირდება F_1 -ზე $F_{\text{ხახ}}$ -ით მეტი ძალა, სადაც $F_{\text{ხახ}}$ სხეულზე მოძრაობის საწინააღმდეგოდ მოქმედი სრიალის ხახუნის ძალაა. ამიტომ $F_2 = F_1 + F_{\text{ხახ}}$. თავის მხრივ, $F_{\text{ხახ}} = \mu \cdot N = \frac{4}{5} \mu mg = 96 \text{ ნ}$.

$$\text{მივიღებთ: } F_2 = 360 + 96 = 456 \text{ ნ}.$$



ამოხსენით ამოცანები:

1. $h = 5$ მ სიმაღლისა $L = 15$ მ სიგრძის გლუვ დახრილ სიბრტყეზე თანაბრად მიასრიალებენ 27 კგ მასის სხეულს მასზე მოდებული დახრილი სიბრტყის პარალელური $\vec{F}$ ძალის მოქმედებით (სურ. 2.95). განსაზღვრეთ ამ ძალის მოდული ($g \approx 10$ ნ/კგ).



სურ. 2.95

2. გლუვ დახრილ სიბრტყეზე სხეულის თანაბრად ატანისას სიმძიმის ძალამ -200 ჯ მუშაობა შეასრულა. განსაზღვრეთ ამ სხეულის ასატანად საჭირო სიბრტყის პარალელური ძალის მოდული, თუ დახრილი სიბრტყის სიგრძე 5 მ-ია.

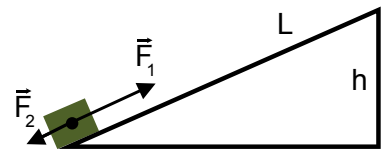
3. გლუვ დახრილ სიბრტყეზე სხეულის თანაბრად ჩამოტანისას მასზე მოდებულმა სიბრტყის პარალელურმა ძალამ -500 ჯ მუშაობა შეასრულა. განსაზღვრეთ სხეულის მასა, თუ დახრილი სიბრტყის სიმაღლე 10 მ-ია ($g \approx 10$ ნ/კგ).

4. გლუვ დახრილ სიბრტყეზე, რომლის სიგრძე 5 -ჯერ მეტია მის სიმაღლეზე, ზევით თანაბრად მიასრიალებენ ტვირთს მასზე მოდებული სიბრტყის პარალელური ძალით. რამდენით ნაკლებია გამწვევი ძალის მოდული ტვირთის სიმძიმის ძალასთან შედარებით, თუ ტვირთის მასა 50 კგ-ია ($g \approx 10$ ნ/კგ)?

5. გლუვი დახრილი სიბრტყის სიგრძე 30 სმ-ით მეტია მის სიმაღლეზე. სიბრტყეზე ზევით თანაბრად მიასრიალებენ 20 კგ მასის სხეულს სიბრტყის პარალელური 50 ნ ძალის მოქმედებით. განსაზღვრეთ დახრილი სიბრტყის სიგრძე და სიმაღლე ($g \approx 10$ ნ/კგ).

6. გლუვ დახრილ სიბრტყეზე ზევით თანაბრად მიასრიალებენ სხეულს სიბრტყის პარალელური ძალით, რომლის მოდული 50 ნ-ით ნაკლებია სხეულის სიმძიმის ძალის მოდულზე. განსაზღვრეთ სხეულის მასა, თუ დახრილი სიბრტყის სიგრძე $1,2$ -ჯერ მეტია მის სიმაღლეზე.

7. გლუვი დახრილი სიბრტყის სიმაღლე $h = 1,5$ მ, სიგრძე კი $L = 4,5$ მ. მასზე ზევით თანაბრად მიასრიალებენ 30 კგ მასის სხეულს, რომელზეც მოქმედებს სიბრტყის პარალელური, ურთიერთსაპირისპიროდ მიმართული ორი ძალა (სურ. 2.96). მათგან $F_2 = 25$ ნ-ს. რისი ტოლია $\vec{F}_1$ ძალის მოდული ($g \approx 10$ ნ/კგ)?



სურ. 2.96

8. სურ. 2.96-ზე გამოსახულ გლუვ დახრილ სიბრტყეზე ზევით თანაბრად მიასრიალებენ m მასის სხეულს მასზე მოქმედი სიბრტყის პარალელური ორი ძალით. ცნობილია, რომ $F_1 = 1,5 mg$ და $F_2 = 1,3 mg$. განსაზღვრეთ დახრილი სიბრტყის სიმაღლე, თუ მისი სიგრძე 50 სმ-ია.

9. დახრილი სიბრტყის სიგრძე და სიმაღლე, შესაბამისად, 10 მ და 2 მ-ია. მასზე ზევით თანაბრად მიასრიალებენ 60 კგ მასის სხეულს სიბრტყის პარალელური ძალის მოქმედებით. განსაზღვრეთ ამ ძალის მოდული, თუ სხეულზე მოქმედი ხახუნის ძალა 40 ნ-ია ($g \approx 10$ ნ/კგ).

10. 10 კგ მასის სხეულს ზევით თანაბრად მიასრიალებენ 8 მ სიმაღლისა და 10 მ სიგრძის დახრილ სიბრტყეზე მისი პარალელური ძალის მოქმედებით. განსაზღვრეთ ამ ძალის მოდული, თუ ხახუნის კოეფიციენტი სხეულსა და დახრილ სიბრტყეს შორის $\mu = 0,2$. მიიჩნიეთ, რომ სხეული დახრილ სიბრტყეს მოდულით $0,6 mg$ ძალით აწეება ($g \approx 10$ ნ/კგ).

§ 2.11 მექანიზმის მქკ



გაიხსენეთ:

- რა არის სასარგებლო მუშაობა ($A_{\text{სს}}$)?
 - რა არის სრული მუშაობა ($A_{\text{სრ}}$)?
 - რას ეწოდება მარგი ქმედების კოეფიციენტი (η)?
- თუ გაგიჭირდათ პასუხების გაცემა, გაიმეორეთ § 1.6.



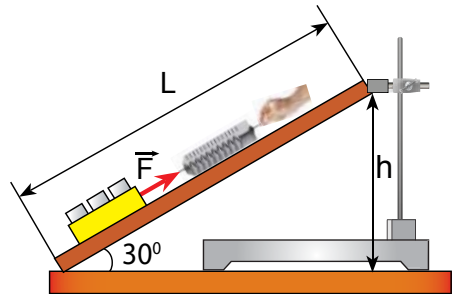
ლაბორატორიული სამუშაო, ჯგუფური მუშაობა

მიზანი: მარტივი მექანიზმის (დახრილი სიბრტყის) მქკ-ს დადგენა;

სამუშაოსთვის საჭიროა: შტატივი თათით, სახაზავი, სკოლის სადემონსტრაციო სამკუთხედი, დინამომეტრი, დაახლოებით 1 მ სიგრძის ფიცარი, კაუჭიანი ძელაკი, ტვირთების ნაკრები.

სამუშაოს მსვლელობა:

1. სახაზავით გაზომეთ ფიცრის სიგრძე L ;
2. შტატივის საშუალებით ფიცარი დაამაგრეთ ისე, რომ ჰორიზონტალურ ზედაპირთან შექმნას 30° -იანი კუთხე – ამას მიაღწევთ, თუ $h = \frac{L}{2}$ (სურ. 2.97);
3. დინამომეტრის საშუალებით დაადგინეთ ძელაკის მასა;
4. დადეთ ძელაკზე ტვირთი, მაგალითად, 400 გ და დინამომეტრის საშუალებით თანაბრად აამოძრავეთ ის დახრილ სიბრტყეზე ზევით. ჩანერეთ დინამომეტრის ჩვენება ($\vec{F}$ ძალის მოდული);
5. შეადარეთ ერთმანეთს $\vec{F}$ ძალის მოდული და ტვირთიან ძელაკზე მოქმედი სიმძიმის $m\vec{g}$ ძალის მოდული, გამოიტანეთ დასკვნა (m მასის ქვეშ იგულისხმება ძელაკისა და ტვირთის მასათა ჯამი);
6. გამოიანგარიშეთ $\vec{F}$ ძალის მიერ შესრულებული მუშაობა L მანძილზე, ეს არის სრული მუშაობა: $A_{\text{სრ}} = FL$;
7. $A_{\text{სს}} = mgh$ ფორმულით გამოიანგარიშეთ h სიმაღლეზე ტვირთიანი ძელაკის ატანაზე შესრულებული სასარგებლო მუშაობა;
8. $\eta = \frac{A_{\text{სს}}}{A_{\text{სრ}}} \cdot 100\%$ ფორმულით გამოიანგარიშეთ დახრილი სიბრტყის მქკ;
9. გაიმეორეთ ცდა 45° -ით დახრილი სიბრტყისათვის. კუთხე გაზომეთ სკოლის სადემონსტრაციო სამკუთხედის საშუალებით.



სურ 2.97

მიღებული შედეგების მიხედვით, თქვენ დარწმუნდებით, რომ სასარგებლო მუშაობა ყოველთვის ნაკლებია სრულ მუშაობაზე, ანუ $\eta < 100\%$. დახრილი სიბრტყის შემთხვევაში ამის მიზეზია ძელაკსა და დახრილ სიბრტყეს შორის მოქმედი სრიალის ხახუნის ძალა.

ხახუნის ძალის არსებობისას იმავე შედეგს მივიღებთ სხვა მარტივი მექანიზმების შემთხვევაშიც.

მაგალითად, უძრავი ჭოჭონაქით ჭიდან წყლის ამოღებისას ჩვენ გვინევს არასასარგებლო მუშაობის შესრულება სათლისა და თოკის ამოსატანად, ჭოჭონაქსა და მის ბრუნვის ღერძს შორის ხახუნის დასაძლევად.

ბერკეტის გამოყენებისას მნიშვნელოვანია ბერკეტის მასა და ხახუნის ძალა ბრუნვის ღერძთან.

ნებისმიერი მექანიზმის გამოყენებისას სასარგებლო მუშაობა ყოველთვის ნაკლებია სრულ მუშაობაზე. სასარგებლო მუშაობის შეფარდებას სრულ მუშაობასთან, გამოსახულს პროცენტებში, მექანიზმის მარგი ქმედების კოეფიციენტი ეწოდება.

 დაფიქრდით, რა მოუვა მოძრავი ჭოჭონაქის მქ კოეფიციენტს, თუ შევამცირებთ გამოყენებული თოკის მასას და გავპოხავთ ჭოჭონაქის ღერძს?

დასკვნები:

- მექანიზმის გამოყენებისას სასარგებლოსთან ერთად აუცილებლად სრულდება არასასარგებლო მუშაობაც;
- არასასარგებლო მუშაობის ერთ-ერთი მიზეზი ხახუნის ძალის არსებობაა;
- სრული მუშაობა მეტია სასარგებლო მუშაობაზე;
- მექანიზმის გამოყენებისას სასარგებლო მუშაობის შეფარდებას სრულ მუშაობასთან, გამოსახულს პროცენტებში, მექანიზმის მარგი ქმედების კოეფიციენტი

ენოდება: $\eta = \frac{A_{\text{სას}}}{A_{\text{სრ}}} \cdot 100\% < 100\%$.

საკონტროლო კითხვები:

1. სხეულის დახრილ სიბრტყეზე ატანისას ხახუნის ძალის გაზრდა რომელი მუშაობის გაზრდას გამოიწვევს, სასარგებლოსი თუ სრულის?
2. როგორ შეიძლება უძრავი ჭოჭონაქის მქ-ს გაზრდა?
3. რომელი ძალაყინი ჯობს გამოვიყენოთ მძიმე ლოდის ამოსატრიალებლად, მსუბუქი თუ მძიმე (სურ. 2.52)?



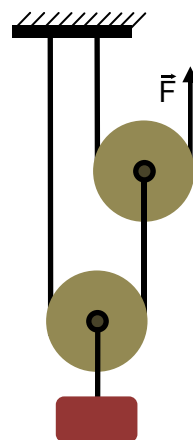
ერთად ამოვხსნათ ამოცანა

$m = 500$ კგ მასის სხეული ზევით თანაბრად ააქვთ ორი მოძრავი ჭოჭონაქისაგან შექმნილი სისტემით, რომელიც სურ. 2.98-ზეა გამოსახული. თოკის თავისუფალ ბოლოზე მოდებული ძალის მოდულია $F = 2000$ ნ. განსაზღვრეთ სისტემის მარგი ქმედების კოეფიციენტი, თუ $\bar{F}$ ძალის მოდების წერტილმა 80 სმ-ით აიწია ($g \approx 10$ ნ/კგ).

ამოხსნა:

მოც:
 $m=500$ კგ;
 $F=2000$ ნ;
 $H=80$ სმ;
 $g \approx 10$ ნ/კგ.
 უ.ვ. h

სისტემა მოძრაობაში მოჰყავს $\bar{F}$ ძალას, ამიტომ მის მიერ შესრულებული მუშაობა იქნება სრული მუშაობა $A_{\text{სრ}} = FH = 1600$ ჯ. ამ ამოცანაში მიზანი ტვირთის აწევაა, ჭოჭონაქების სისტემა მხოლოდ საშუალებაა, ამიტომ ტვირთის აწევაზე შესრულებული მუშაობა იქნება სასარგებლო: $A_{\text{სას}} = mgh$. ჩვენ უკვე ვიცით, რომ ორი მოძრავი ჭოჭონაქით მანძილს 4-ჯერ ვაგებთ, ამიტომ



სურ. 2.98

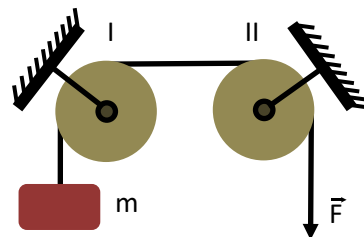
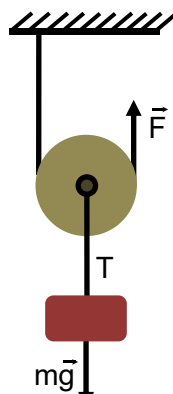
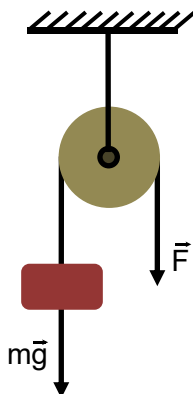
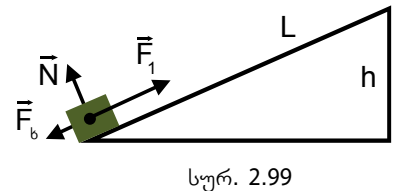
$\bar{F}$ ძალის მოდების წერტილის $H = 80$ სმ-ზე აწევისას ტვირთი აიწევს $h = \frac{H}{4} = 20$ სმ-ზე. ამიტომ $A_{\text{სას}} = \frac{mgH}{4} = 1000$ ჯ. სისტემის მარგი ქმედების კოეფიციენტი

იქნება: $\eta = \frac{A_{\text{სას}}}{A_{\text{სრ}}} = \frac{1000}{1600} = \frac{5}{8}$, პროცენტებში 62,5%.



ამოხსენით ამოცანები:

1. რისი ტოლია გლუვი დახრილი სიბრტყის მარგი ქმედების კოეფიციენტი?
2. დახრილი სიბრტყის მარგი ქმედების კოეფიციენტი $\eta = 70\%$. ტვირთის ატანაზე შესრულებული სასარგებლო მუშაობა 140 ჯ-ია, რისი ტოლია ტვირთის ატანაზე შესრულებული სრული მუშაობა?
3. დახრილ სიბრტყეზე, რომლის სიგრძე 10 მ-ია, სიმაღლე კი – 3 მ, ზევით თანაბრად მიასრიალებენ 40 კგ მასის სხეულს სიბრტყის პარალელური 150 ნ ძალით მოქმედებით. განსაზღვრეთ დახრილი სიბრტყის მარგი ქმედების კოეფიციენტი ($g \approx 10$ ნ/კგ).
4. 5 მ სიმაღლის დახრილი სიბრტყის მარგი ქმედების კოეფიციენტი 80%-ია. განსაზღვრეთ იმ ტვირთის მასა, რომლის მოცემულ დახრილ სიბრტყეზე თანაბრად ასრიალებისას შესრულებული სრული მუშაობა 200 ჯ-ია ($g \approx 10$ ნ/კგ).
5. დახრილ სიბრტყეზე ტვირთის თანაბრად ასრიალებისას შესრულებული სასარგებლო მუშაობა 800 ჯ-ია. არასასარგებლო მუშაობის მოდული 200 ჯ-ის ტოლია. რისი ტოლია ტვირთის ასრიალებისას შესრულებული სრული მუშაობა და დახრილი სიბრტყის მარგი ქმედების კოეფიციენტი?
6. 12 მეტრი სიმაღლისა და 15 მეტრი სიგრძის დახრილ სიბრტყეზე ზევით თანაბრად მიასრიალებენ 20 კგ მასის სხეულს დახრილი სიბრტყის პარალელური ძალის მოქმედებით. სხეულზე მოქმედი ხახუნის ძალა 40 ნ-ია. განსაზღვრეთ დახრილი სიბრტყის მარგი ქმედების კოეფიციენტი ($g \approx 10$ ნ/კგ).
7. 30 მეტრი სიმაღლისა და 50 მეტრი სიგრძის დახრილ სიბრტყეზე ზევით თანაბრად მიასრიალებენ 20 კგ მასის სხეულს დახრილი სიბრტყის პარალელური ძალის მოქმედებით (სურ. 2.99). ხახუნის კოეფიციენტი სხეულსა და დახრილ სიბრტყეს შორის 0,25-ია. მიიჩნიეთ, რომ სხეული დახრილ სიბრტყეს მოდულით $0,8 \cdot mg$ ძალით აწევა და განსაზღვრეთ დახრილი სიბრტყის მარგი ქმედების კოეფიციენტი ($g \approx 10$ ნ/კგ).
8. სურ. 2.100-ზე გამოსახული უძრავი ჭოჭონაქის საშუალებით თანაბრად აიტანეს 20 კგ მასის ტვირთი თოკის მეორე ბოლოზე მოდებული $F = 500$ ნ ძალის მოქმედებით. განსაზღვრეთ ჭოჭონაქის მარგი ქმედების კოეფიციენტი ($g \approx 10$ ნ/კგ).
9. მოძრავ ჭოჭონაქზე ჩამოკიდებული 45 კგ მასის ტვირთი თანაბრად ააქვთ მოდულით $F = 300$ ნ ძალის მოქმედებით (სურ. 2.101). განსაზღვრეთ ჭოჭონაქის მარგი ქმედების კოეფიციენტი ($g \approx 10$ ნ/კგ).
10. სურ. 2.102-ზე გამოსახული I ჭოჭონაქის მქ 80%-ია, II ჭოჭონაქისა კი – 90%. რისი ტოლია ჭოჭონაქების სისტემის მარგი ქმედების კოეფიციენტი?



ეს საინტერესოა

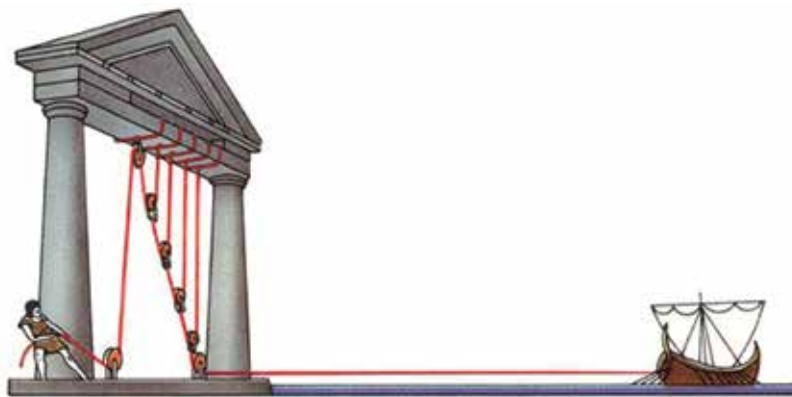
ადამიანები უხსოვარი დროიდან იყენებდნენ მარტივ მექანიზმებს ყოველდღიურ საქმიანობაში, მშენებლობაში, სამხედრო მოქმედებების წარმოებისას.

ძველი ეგვიპტური პირამიდები, ძირითადად, აშენებულია ძვ.წ.ალ-ის 2750-1500 წწ. პერიოდში (სურ. 2.103). მათი უმეტესობა შედგება დაახლოებით 2-3 ტონიანი ქვის ბლოკებისგან, რომლებიც განლაგებულია 50 ტონიან ქვის საყრდენებზე. ზოგიერთი პირამიდის სიმაღლე 147 მეტრსაც კი აღწევს. ცხადია, ასეთი მძიმე სხეულების აწევას ადამიანი მექანიზმების გამოყენების გარეშე ვერ შეძლებდა. ძველი მშენებლები სხვადასხვა საშუაოს შესასრულებლად იყენებდნენ დახრილ სიბრტყეს, ჭოჭონაქს, ბერკეტს. თუმცა რთული წარმოსადგენია, როგორ აჰქონდათ ძალიან დიდი და მძიმე საგნები დიდ სიმაღლეზე. მოვიყვანოთ რამდენიმე შთამბეჭდავი მაგალითი: ფარაონ ხეფრენის პატივსაცემად აგებული ტაძარი შედგება 425 ტონიანი მთლიანი ბლოკებისაგან; ეთიოპიაში, აქსუმის სამეფოს უდიდესი 520 ტონიანი ობელისკი 24 მეტრ სიმაღლეზე; ეგვიპტური მემნოსის კოლოსები – ორი უზარმაზარი 700 ტონიანი ქანდაკება – აღმართულია 18 მეტრ სიმაღლეზე დგას; რომაელების მიერ ლიბანში, ბაალბეკში იუპიტერის ტაძრის აშენებისას გამოყენებულია 300-დან 700 ტონამდე მასის 30 მთლიანი ქვის ბლოკი.



სურ. 2.103

ძველი ბერძენი ისტორიკოსის – პლუტარქეს გადმოცემით, არქიმედემ დამხმარეების გარეშე ხმელეთზე გამოიყვანა და გადაადგილა ტვირთითა და მგზავრებით სავსე სავაჭრო ხომალდი (სურ. 2.104).



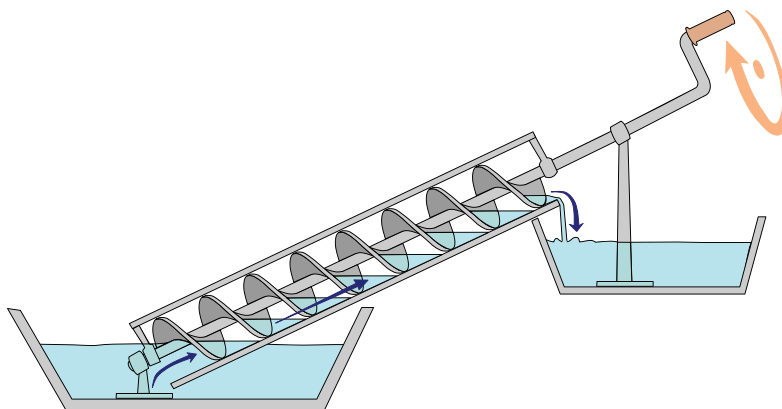
სურ. 2.104

რომაელები რვა თვე ვერ ახერხებდნენ ალყაშემორტყმული ბერძნული ქალაქის სირაკუზის აღებას. მტრისგან თავს ქალაქი სწორედ ყველაზე ცნობილი სირაკუზელის – არქიმედეს – მიერ გამოგონილი სამხედრო მანქანის – „არქიმედეს თათის“ საშუალებით იცავდა (სურ. 2.105). ეს დანადგარი წარმოადგენდა უზარმაზარ ბერკეტს, რომლის ერთი ბოლო გადმონეული იყო გალავნის გარეთ. როდესაც მონინააღმდეგის ხომალდი უახლოვდებოდა გალავანს, „არქიმედეს თათი“ სპეციალური მანიპულატორით ჩაიჭერდა ხომალდის ცხვირს და აატრიალებდა მას. ისტორიკოსების გადმოცემით, ამ ხომალდების მასა 200-დან 500 ტონამდე მერყეობდა.



სურ. 2.105

არქიმედემ ასევე შექმნა მოწყობილობა, რომლის საშუალებითაც შეიძლებოდა წყლის ამოტანა რაიმე სიმაღლეზე. ამ მოწყობილობას „არქიმედეს ხრახნი“ ეწოდება (სურ. 2.106).



სურ. 2.106



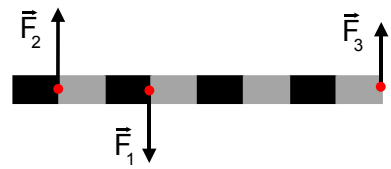
შვეულად: 	თარაზულად: 
1 – მარტივი მექანიზმი (7 ასო) 7 – ფიზიკური სიდიდის საზომი (7 ასო) 8 – მხოლოდ რიცხვითი მნიშვნელობით ხასიათდება (7 ასო) 6 – მუშაობის შესრულების უნარი (7 ასო)	1 – ფიზიკის შესწავლის ობიექტი (6 ასო) 3 – მეცნიერება (6 ასო) 15 – სიგრძე, სიგანე, (7 ასო) 10 – ზღვის ფერი (5 ასო) 11 – საქანელას მოძრაობა (5 ასო) 4 – კუთხის საზომი ერთეული (7 ასო) 14 – აგურებით შენდება (6 ასო) 5 – დედამიწის ზედაპირის ფორმა ანუ(7 ასო) 12 – ზედაპირი, სადაც ხახუნია (5 ასო) 2 – ოპტიკური ან მზის (7 ასო) 9 – ხის სახეობა (ჯიშის) (10 ასო) 13 – ჭურჭელი სითხისთვის (4 ასო) 6 – ცდა ანუ (12 ასო)

წ ი ბ ნ შ ი ა რ ჩ ა წ ე რ ო თ !

1 ↓						3 →						
						15 ←	10 →					
11 →											4 ←	
14 →											5 ←	
				12 ←	2 →							
	13 →										9 ←	
							7 ↑		8 ↑		6 ←	↑

მეორე თავის შემაჯამებელი კითხვები და ამოცანები

1. რვა ტოლ ნაწილად გაყოფილი 80 სმ სიგრძის ერთგვაროვანი ღერო განონასწორებულია. მასზე მოდებული: $F_1 = 700$ ნ, $F_2 = 500$ ნ და $F_3 = 200$ ნ ძალების მოქმედებით (სურ. 2.107). უპასუხეთ შემდეგ კითხვებს:



სურ. 2.107

ა) რისი ტოლი იქნება თითოეული ძალის მომენტი $\vec{F}_1$ ძალის მოდების წერტილში გამავალი ღეროს მართობული ჰორიზონტალური ღერძის მიმართ?

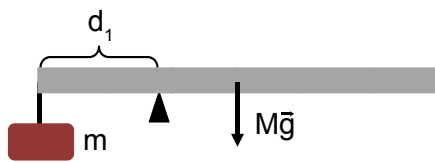
ბ) რისი ტოლი იქნება თითოეული ძალის მომენტი $\vec{F}_2$ ძალის მოდების წერტილში გამავალი ღეროს მართობული ჰორიზონტალური ღერძის მიმართ?

გ) რისი ტოლი იქნება თითოეული ძალის მომენტი $\vec{F}_3$ ძალის მოდების წერტილში გამავალი ღეროს მართობული ჰორიზონტალური ღერძის მიმართ?

დ) რომელი ღერძის მიმართ არის უფრო მოსახერხებელი მომენტების წესის დანერგვა?

2. $M = 20$ კგ მასისა და 1 მეტრი სიგრძის ერთგვაროვანი ბერკეტი განონასწორებულია მის მარცხენა ბოლოზე დაკიდებული 20 კგ მასის ტვირთით (სურ. 2.108). განსაზღვრეთ ტვირთის წონის მხარი და იმ ძალის მოდული, რომლითაც ბერკეტი საყრდენს აწევა ($g \approx 10$ ნ/კგ).

3. $M = 50$ კგ მასისა და 1 მეტრი სიგრძის ერთგვაროვანი ბერკეტი განონასწორებულია მის მარცხენა ბოლოზე დაკიდებული m_1 მასის ტვირთით, რომლის მხარი 20 სმ-ია. ბერკეტის მარჯვენა ბოლოზე $m_2 = 10$ კგ მასის ტვირთის ჩამოკიდების შემდეგ ბერკეტის წონასწორობა დაირღვა (სურ. 2.109). რა მასის საწონი უნდა დავამატოთ ბერკეტის მარცხენა ბოლოში, რომ წონასწორობა აღდგეს?



სურ. 2.108



სურ. 2.109

4. 20 კგ მასისა და 2 მეტრი სიგრძის ერთგვაროვანი ღერო დევს საყრდენზე. იგი განონასწორებულია მის ბოლოებზე დაკიდებული 10 კგ და 70 კგ მასის საწონებით. განსაზღვრეთ მანძილი მსუბუქი საწონიდან ღეროს საყრდენამდე.

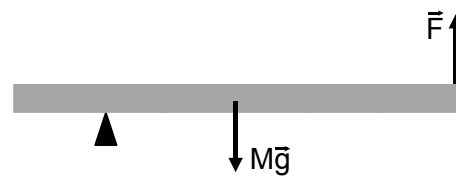
5. „აინონა-დაინონას“ სათამაშოდ ბავშვებმა 2 მეტრი სიგრძის და 20 კგ მასის ფიცარს საყრდენი ზუსტად შუაში დაუდეს. ფიცრის არაერთგვაროვნების გამო მისი მასათა ცენტრი საყრდენიდან 20 სმ-ზე აღმოჩნდა. განსაზღვრეთ ფიცრის ბოლოებზე მსხდომი ბავშვების მასები, თუ ფიცარი განონასწორებულია და საყრდენზე დაწოლის ძალა 1200 ნ-ია ($g \approx 10$ ნ/კგ).

6. 50 კგ მასის და 120 სმ სიგრძის ერთგვაროვანი ღეროს მარცხენა ბოლოზე დაკიდებულია $m_1 = 10$ კგ მასის ტვირთი, რომლის მხარი 20 სმ-ია (სურ. 2.110). ვერტიკალურად ზევით მიმართული რა $\vec{F}$ ძალა უნდა მოვდოთ ღეროს მარჯვენა ბოლოზე, რომ ღერო განონასწორებული იყოს ($g \approx 10$ ნ/კგ)?



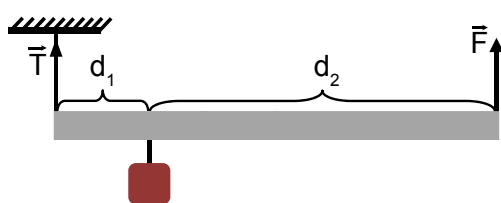
სურ. 2.110

7. 1,2 მეტრი სიგრძისა და 20 კგ მასის ერთგვაროვანი ღერო განონასწორებულია საყრდენზე, რომელიც მისი მარცხენა ბოლოდან 20 სმ-ზეა (სურ. 2.111). განსაზღვრეთ ღეროს მარჯვენა ბოლოზე მოქმედი ვერტიკალურად ზევით მიმართული $\vec{F}$ ძალის მოდული. რა ძალით აწვება ღერო საყრდენს ($g \approx 10$ ნ/კგ)?

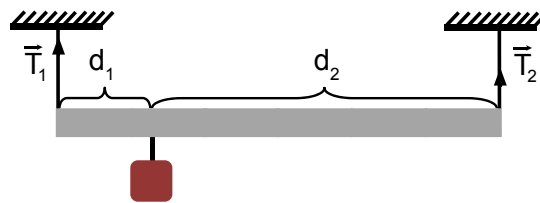


სურ. 2.111

8. 2 მეტრი სიგრძის ღერო მარცხენა ბოლოთი ჩამოკიდებულია თოკზე. ამ ბოლოდან $d_1 = 40$ სმ მანძილზე დაკიდებულია 10 კგ მასის ტვირთი (სურ. 2.112). განსაზღვრეთ ღეროს მარჯვენა ბოლოზე მოქმედი ვერტიკალურად ზევით მიმართული $\vec{F}$ ძალისა და თოკის დაჭიმულობის ძალის მოდული, თუ ღერო განონასწორებულია. ღეროს მასას ნუ გაითვალისწინებთ ($g \approx 10$ ნ/კგ).



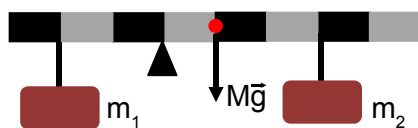
სურ. 2.112



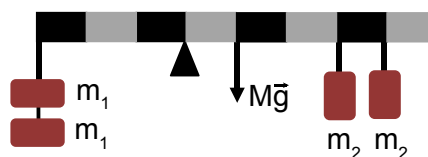
სურ. 2.113

10. ერთგვაროვანი ღეროს მასაა $M = 10$ კგ. იგი განონასწორებულია მასზე ჩამოკიდებული ორი ტვირთით (სურ. 2.114). განსაზღვრეთ m_2 , თუ $m_1 = 20$ კგ-ს.

11. სურ. 2.115-ზე გამოსახული ერთგვაროვანი ღერო, რომლის მასა 40 კგ-ია, განონასწორებულია. განსაზღვრეთ m_1 , თუ $m_2 = 20$ კგ-ს. რა ძალით აწვება ღერო საყრდენს ($g \approx 10$ ნ/კგ)?



სურ. 2.114



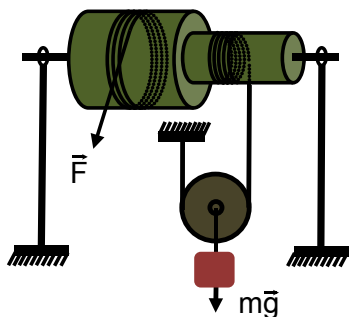
სურ. 2.115

12. რამდენჯერ მოგვაგებიან ძალას სურ. 2.116-ზე გამოსახული ჭოჭონაქების სისტემა, თუ დიდი ლილვის რადიუსი 50 სმ-ია, პატარა ლილვისა კი – 20 სმ. მიიჩნიეთ, რომ ლილვებისა და ჭოჭონაქის ღერძთან ხახუნი უმნიშვნელოა. თოკების მასას ნუ გაითვალისწინებთ.

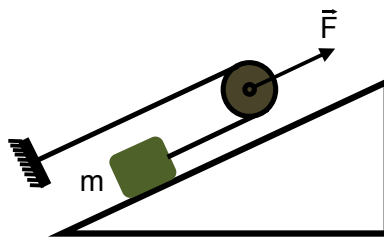
13. წინა ამოცანის პირობის მიხედვით, განსაზღვრეთ, რა სიმაღლეზე აიწევს ტვირთი ლილვების 10 ბრუნისას? (წრეწირის სიგრძე გამოითვლება ფორმულით: $L = 2\pi r$, რომელიც $\pi \approx 3,14$, ხოლო r წრეწირის რადიუსია).

14. რამდენჯერ მოგვაგებიან ძალას სურ. 2.117-ზე გამოსახული მექანიზმი, თუ დახრილი სიბრტყის სიგრძე 3 მეტრია, სიმაღლე კი – 1 მეტრი? ჭოჭონაქის ღერძთან, ასევე სხეულსა და დახრილ სიბრტყეს შორის ხახუნის ძალა არ გაითვალისწინოთ. თოკის მასა სხეულის მასასთან შედარებით უმნიშვნელოა.

15. წინა ამოცანის პირობის მიხედვით, განსაზღვრეთ ჭოჭონაქის თანაბრად გამწვევი $\vec{F}$ ძალის მოდული, თუ სხეულის მასა 45 კგ-ია. როგორ შეიცვლებოდა $\vec{F}$ ძალის მოდული სხეულსა და დახრილ სიბრტყეს შორის 50° -ის ტოლი ხახუნის ძალა რომ ყოფილიყო?



სურ. 2.116

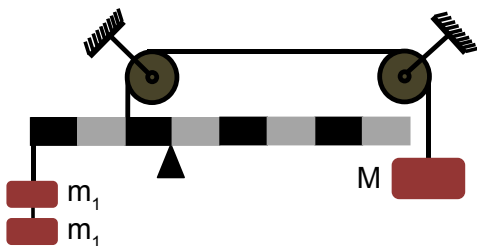


სურ. 2.117

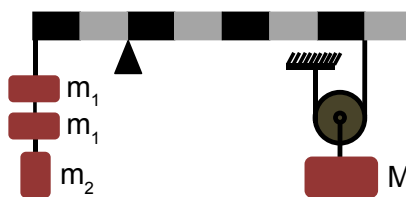
16. სურ. 2.118-ზე გამოსახული ბერკეტის, ჭოჭონაქებისა და ტვირთებისაგან შემდგარი სისტემა განონასწორებულია. ბერკეტის მარცხენა ბოლოზე ჩამოკიდებული ტვირთებიდან თითოეულის მასა $m_1 = 15$ კგ-ია. განსაზღვრეთ უცნობი ტვირთის M მასა. ბერკეტისა და თოკის მასას, ასევე ჭოჭონაქების ღერძთან ხახუნს ნუ გაითვალისწინებთ.

17. წინა ამოცანის პირობის მიხედვით, განსაზღვრეთ M მასა იმ შემთხვევაში, როცა ბერკეტი ერთგვაროვანია და მისი მასა 20 კგ-ია.

18. სურ. 2.119-ზე გამოსახული ბერკეტის მარცხენა ბოლოზე ჩამოკიდებული ტვირთებიდან $m_1 = 25$ კგ და $m_2 = 10$ კგ. განსაზღვრეთ ბერკეტის გამანონასწორებელი ტვირთის M მასა და იმ ძალის მოდული, რომლითაც ბერკეტი საყრდენს აწევა. ბერკეტისა და თოკის მასას, ასევე ჭოჭონაქის ღერძთან ხახუნს ნუ გაითვალისწინებთ ($g \approx 10$ ნ/კგ).



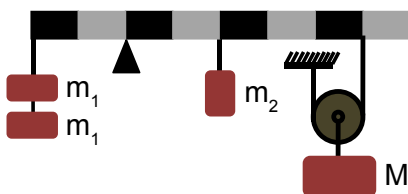
სურ. 2.118



სურ. 2.119

19. წინა ამოცანის პირობის მიხედვით, განსაზღვრეთ ტვირთის M მასა იმ შემთხვევაში, როცა ბერკეტი ერთგვაროვანია და მისი მასა 10 კგ-ია.

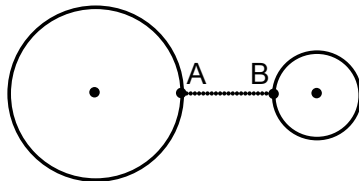
20. სურ. 2.120-ზე გამოსახულია ბერკეტი, რომლის მარცხენა ბოლოზე ჩამოკიდებული ტვირთებიდან თითოეულის მასა $m_1 = 30$ კგ-ია. მოძრავ ჭოჭონაქზე ჩამოკიდებული ტვირთის მასა 36 კგ-ია. განსაზღვრეთ ტვირთის m_2 მასა, თუ ბერკეტი განონასწორებულია. ჭოჭონაქის, ბერკეტისა და თოკების მასებს, ასევე ჭოჭონაქის ღერძთან ხახუნს ნუ გაითვალისწინებთ.



სურ. 2.120

21. წინა ამოცანის პირობის მიხედვით, განსაზღვრეთ m_2 მასის მნიშვნელობა და ბერკეტის საყრდენზე დანოლის ძალის მოდული იმ შემთხვევაში, როცა ბერკეტი ერთგვაროვანია და მისი მასა 8 კგ-ია.

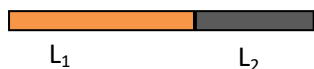
22. 20 სმ და 10 სმ რადიუსის სფეროების მასა, შესაბამისად, 30 და 20 კგ-ია. მათ უახლოეს A და B წერტილებს შორის მანძილი კი – 20 სმ (სურ. 2.121). განსაზღვრეთ მანძილი დიდი სფეროს ცენტრიდან მათ საერთო მასათა ცენტრამდე.



სურ. 2.121

23. $L_1 = 1$ მ და $L_2 = 40$ სმ სიგრძის ერთგვაროვანი ღეროების მასა, შესაბამისად, 15 კგ და 6 კგ-ია (სურ. 2.122). ღეროები ბოლოებით ერთმანეთს მიაწებეს. განსაზღვრეთ მანძილი მათი შეხების ადგილიდან საერთო მასათა ცენტრამდე.

24. ორი გარეგნულად ერთნაირი 45 სმ სიგრძის ერთგვაროვანი ღეროდან ერთის სიმკვრივეა 200 კგ/მ³, მეორესი კი – 700 კგ/მ³ (სურ. 2.123). ღეროები ბოლოებით ერთმანეთს შეაწებეს. განსაზღვრეთ მანძილი მათი შეხების ადგილიდან საერთო მასათა ცენტრამდე.



სურ. 2.122



სურ. 2.123

25. ორი გარეგნულად ერთნაირი ერთგვაროვანი კუბიდან ერთის სიმკვრივეა 200 კგ/მ³, მეორესი კი – 100 კგ/მ³. კუბები ერთმანეთს წახნაგებით შეაწებეს (სურ. 2.124). განსაზღვრეთ მათი წიბოს სიგრძე, თუ მანძილი საერთო მასათა ცენტრიდან საერთო წახნაგამდე 5 სმ-ია.



სურ. 2.124

26. როგორ ვიპოვოთ ბრტყელი ერთგვაროვანი მართკუთხა ფირფიტის მასათა ცენტრი (სურ. 2.125) მხოლოდ ფანქრისა და სახაზავის გამოყენებით?

27. ბრტყელ ერთგვაროვან მართკუთხა ფირფიტას ერთ კუთხესთან მართკუთხედი მოაჭრეს (სურ. 2.126). როგორ ვიპოვოთ დარჩენილი ფიგურის მასათა ცენტრის მდებარეობა მხოლოდ ფანქრისა და სახაზავის გამოყენებით?



სურ. 2.125

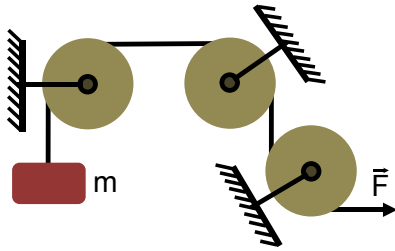


სურ. 2.126

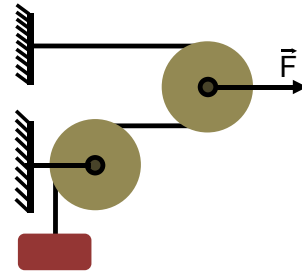
28. 50 კგ მასის ტვირთი თანაბრად ააქვთ სურ. 2.127-ზე გამოსახული ჭოჭონაქების სისტემის დახმარებით. განსაზღვრეთ თოკზე მოდებული $\vec{F}$ ძალის მოდული. თოკის მასას და ჭოჭონაქების ღერძთან ხახუნს ნუ გაითვალისწინებთ ($g \approx 10$ ნ/კგ).

29. მოგვაგებინებს თუ არა ძალას ტვირთის აწევისას სურ. 2.128-ზე გამოსახული ჭოჭონაქების სისტემა? მოგვაგებინებს მანძილს? დაფიქრდით, რაში შეიძლება მსგავსი სისტემის გამოყენება? ჭოჭონაქებისა და თოკის მასას, ასევე ჭოჭონაქების ღერძთან ხახუნს ნუ გაითვალისწინებთ.

30. სურ. 2.128-ზე გამოსახულ ჭოჭონაქების სისტემაში ტვირთი განწონასწორებულია მოძრავ ჭოჭონაქზე მოდებული $F = 2$ კნ ძალით. განსაზღვრეთ ტვირთის მასა ($g \approx 10$ ნ/კგ).



სურ. 2.127



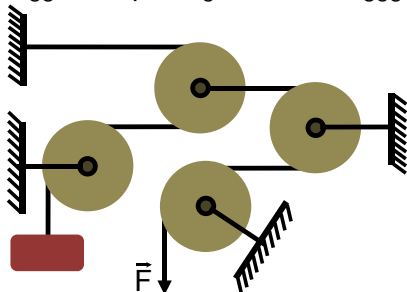
სურ. 2.128

31. მოგვაგებინებს თუ არა ძალას სურ. 2.129-ზე გამოსახული ჭოჭონაქების სისტემა? მოგვაგებინებს თუ არა მანძილს? დაფიქრდით, რაში შეიძლება მსგავსი სისტემის გამოყენება? ჭოჭონაქებისა და თოკის მასას, ასევე ჭოჭონაქების ღერძთან ხახუნს ნუ გაითვალისწინებთ.

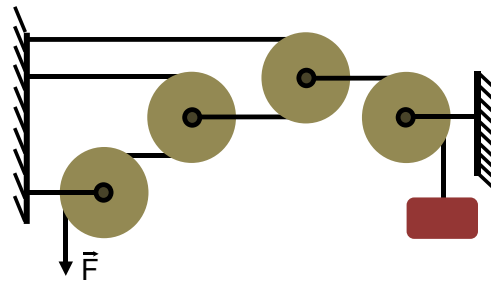
32. ტვირთი თანაბრად ააქვთ სურათ 2.129-ზე გამოსახული ჭოჭონაქების სისტემის საშუალებით. თოკის თავისუფალ ბოლოზე მოდებულია $F = 2400$ ნ ძალამ 120 ჯ მუშაობა შეასრულა. განსაზღვრეთ, რამდენი სანტიმეტრით აიწია ტვირთმა. ჭოჭონაქებისა და თოკის მასას, აგრეთვე ჭოჭონაქების ღერძთან ხახუნს ნუ გაითვალისწინებთ.

33. წინა ამოცანის პირობის მიხედვით, განსაზღვრეთ ტვირთის მასა ($g \approx 10$ ნ/კგ).

34. მოგვაგებინებს თუ არა ძალას სურ. 2.130-ზე გამოსახული ჭოჭონაქების სისტემა? მოგვაგებინებს თუ არა მანძილს? დაფიქრდით, რაში შეიძლება მსგავსი სისტემის გამოყენება? ჭოჭონაქებისა და თოკის მასას, ასევე ჭოჭონაქების ღერძთან ხახუნს ნუ გაითვალისწინებთ.



სურ. 2.129

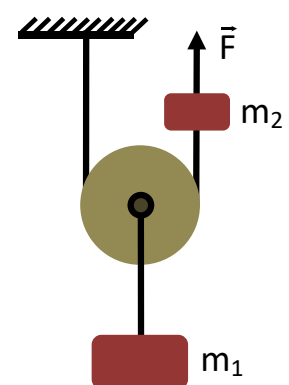


სურ. 2.130

35. 80 კგ მასის ტვირთი თანაბრად ააქვთ სურათ 2.130-ზე გამოსახული ჭოჭონაქების სისტემის საშუალებით. განსაზღვრეთ თოკის თავისუფალ ბოლოზე მოდებული $\bar{F}$ ძალის მოდული. ჭოჭონაქებისა და თოკის მასას, ასევე ჭოჭონაქების ღერძთან ხახუნს ნუ გაითვალისწინებთ.

36. წინა ამოცანის პირობის მიხედვით, განსაზღვრეთ $\bar{F}$ ძალის მიერ შესრულებული მუშაობა და ამავე ძალის მოდების ნერტილის მიერ გავლილი მანძილი ტვირთის 40 სმ სიმაღლეზე ატანისას.

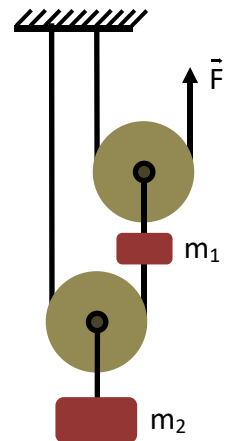
37. სურ. 2.131-ზე გამოსახულ მოძრავ ჭოჭონაქზე დაკიდებული ტვირთის მასა $m_1 = 10$ კგ-ია. თოკზე მიბმულია $m_2 = 2$ კგ მასის საწონი. განსაზღვრეთ საწონზე ვერტიკალურად ზევით მოდებული $\bar{F}$ ძალის მოდული, თუ სისტემა განწონასწორებულია. ჭოჭონაქებისა და თოკის მასას, აგრეთვე ჭოჭონაქის ღერძთან ხახუნს ნუ გაითვალისწინებთ ($g \approx 10$ ნ/კგ).



სურ. 2.131

38. სურ. 2.131-ზე გამოსახული მოძრავი ჭოჭონაქის მასა 2 კგ-ია. მასზე ჩამოკიდებული ტვირთის მასა $m_1 = 10$ კგ-ია, თოკზე მიბმული სანონის მასა კი – $m_2 = 2$ კგ. განსაზღვრეთ სანონზე ვერტიკალურად ზევით მოდებული $\vec{F}$ ძალის მოდული, თუ სისტემა წონასწორობაშია. თოკის მასას და ჭოჭონაქის ღერძთან ხახუნს ნუ გაითვალისწინებთ ($g \approx 10$ ნ/კგ).

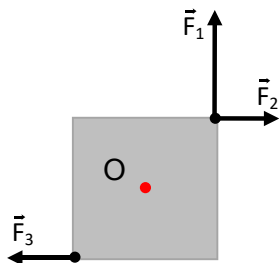
39. სურ. 2.132-ზე გამოსახულ ჭოჭონაქებზე დაკიდებული ტვირთების მასაა $m_1 = 8$ კგ და $m_2 = 40$ კგ. განსაზღვრეთ თოკის თავისუფალ ბოლოზე ვერტიკალურად ზევით მოდებული $\vec{F}$ ძალის მოდული, თუ სისტემა განწონასწოებულია. ჭოჭონაქებისა და თოკის მასას, აგრეთვე ჭოჭონაქების ღერძთან ხახუნს ნუ გაითვალისწინებთ ($g \approx 10$ ნ/კგ).



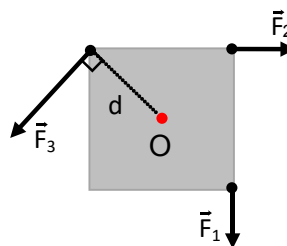
სურ. 2.132

40. სურ. 2.132-ზე გამოსახულ სისტემაში თითოეული ჭოჭონაქის მასა 2 კგ-ია. მათზე დაკიდებული ტვირთების მასაა $m_1 = 8$ კგ და $m_2 = 28$ კგ. განსაზღვრეთ თოკის თავისუფალ ბოლოზე ვერტიკალურად ზევით მოდებული $\vec{F}$ ძალის მოდული, თუ სისტემა წონასწორობაშია. თოკის მასას და ჭოჭონაქების ღერძთან ხახუნს ნუ გაითვალისწინებთ ($g \approx 10$ ნ/კგ).

41. ბრტყელი ერთგვაროვანი კვადრატული ფორმის ფირფიტას შეუძლია ბრუნვა მის ცენტრზე მართობულად გამავალი O ბრუნვის ღერძის გარშემო (სურ. 2.133). ფირფიტა განწონასწოებულია. განსაზღვრეთ მასზე მოდებული $\vec{F}_1$ ძალის მოდული, თუ $\vec{F}_2$ და $\vec{F}_3$ ძალის მოდულები 10 ნ-ია.



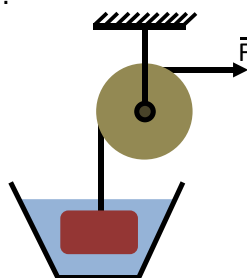
სურ. 2.133



სურ. 2.134

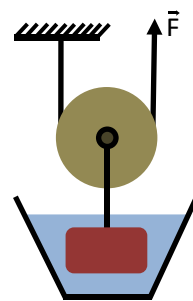
42. ბრტყელი ერთგვაროვანი კვადრატული ფორმის ფირფიტის გვერდის სიგრძე 10 სმ-ია. ფირფიტას შეუძლია ბრუნვა მის ცენტრზე მართობულად გამავალი O ბრუნვის ღერძის გარშემო (სურ. 2.134). ფირფიტა განწონასწოებულია. განსაზღვრეთ მასზე მოდებული $\vec{F}_3$ ძალის მოდული, თუ $\vec{F}_1$ და $\vec{F}_2$ ძალის მოდულები 56 ნ-ია, მანძილი O წერტილიდან $\vec{F}_3$ ძალის მოქმედების წრფემდე კი – $d \approx 14$ სმ.

43. 10 კგ მასისა და 8000 სმ^3 მოცულობის მქონე სხეული ჩამოკიდებულია უძრავ ჭოჭონაქზე გადადებულ თოკზე და ჩაშვებულია წყალში (სურ. 2.135). განსაზღვრეთ თოკის თავისუფალ ბოლოზე მოქმედი $\vec{F}$ ძალის მოდული, თუ სხეული წონასწორობის მდგომარეობაშია. ჭოჭონაქისა და თოკის მასას, აგრეთვე ჭოჭონაქის ღერძთან ხახუნს ნუ გაითვალისწინებთ ($g \approx 10$ ნ/კგ).



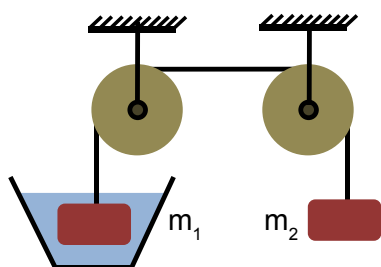
სურ. 2.135

44. 2000 კგ/მ³ სიმკვრივისა და 7500 სმ³ მოცულობის მქონე სხეული ჩამოკიდებულია მოძრავ ჭოჭონაქზე და ჩაშვებულია წყალში (სურ. 2.136). განსაზღვრეთ თოკის თავისუფალ ბოლოზე ვერტიკალურად ზევით მოდებული $\vec{F}$ ძალის მოდული, თუ ტვირთი წონასწორობის მდგომარეობაშია. ჭოჭონაქისა და თოკის მასას, აგრეთვე ჭოჭონაქის ღერძთან ხახუნს ნუ გაითვალისწინებთ ($g \approx 10$ ნ/კგ).

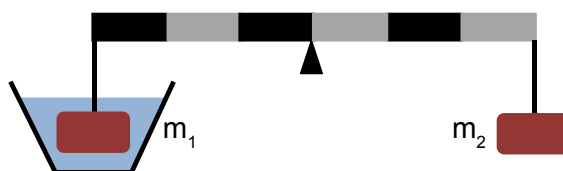


სურ. 2.136

45. ორ უძრავ ჭოჭონაქზე გადადებული თოკის ერთ ბოლოზე დაკიდებულია $m_1 = 18$ კგ მასისა და 3000 კგ/მ³ სიმკვრივის სხეული, რომელიც ჩაშვებულია წყალში (სურ. 2.137). განსაზღვრეთ თოკის მეორე ბოლოზე დაკიდებული ტვირთის m_2 მასა, თუ სისტემა წონასწორობის მდგომარეობაშია. თოკის მასას და ჭოჭონაქების ღერძთან ხახუნს ნუ გაითვალისწინებთ ($g \approx 10$ ნ/კგ).



სურ. 2.137



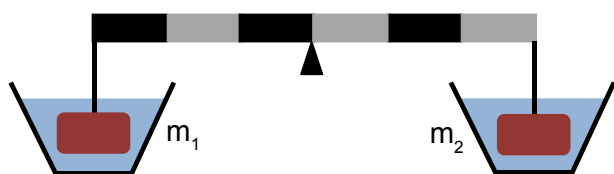
სურ. 2.138

47. სურ. 2.138-ზე გამოსახული ბერკეტი განწონასწორებულია მის ბოლოებზე დაკიდებული სხეულებით, რომელთაგან ერთი ჩაშვებულია წყალში. განსაზღვრეთ იმ ძალის მოდული, რომლითაც ბერკეტი აწევა საყრდენს, თუ $m_2 = 10$ კგ-ს ($g \approx 10$ ნ/კგ). ბერკეტის მასას ნუ გაითვალისწინებთ.

48. სურ. 2.139-ზე გამოსახული ერთგვაროვანი ბერკეტი განწონასწორებულია მის ბოლოებზე დაკიდებული სხეულებით, რომლებიც ჩაშვებულია წყალში. $m_1 = 10$ კგ მასის სხეულის მოცულობა 5000 სმ³-ია. განსაზღვრეთ მეორე სხეულის მოცულობა, თუ მისი მასა $m_2 = 9$ კგ-ია.

49. წინა ამოცანის პირობის მიხედვით, განსაზღვრეთ ძალის მოდული, რომლითაც ბერკეტი აწევა საყრდენს, თუ ბერკეტის მასა 20 კგ-ია ($g \approx 10$ ნ/კგ).

50. ბერკეტი განწონასწორებულია მის ბოლოებზე დაკიდებული ერთნაირი სიმკვრივისა და სხვადასხვა მასის ტვირთებით (სურ. 2.140). დაირღვევა თუ არა ბერკეტის წონასწორობა, თუ ტვირთებს წყალში ჩავეშვებთ? ბერკეტის მასას ნუ გაითვალისწინებთ. პასუხი დაასაბუთეთ.



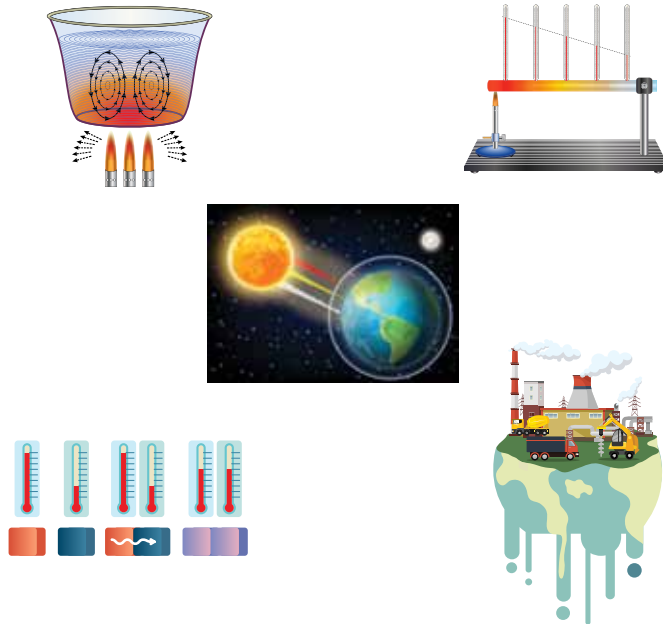
სურ. 2.139



სურ. 2.140

თავი III

სითბური მოვლენები



ამ თავში თქვენ გაეცნობით:

- თბოგადაცემას და მის სახეებს;
- სითბოს რაოდენობასა და სითბური ბალანსის განტოლებას;
- ნივთიერების აგრეგატული მდგომარეობის ცვლილების კავშირს თბოგადაცემასთან;
- საწვავის დანვისას გამოყოფილ სითბოს რაოდენობას;
- სითბურ ძრავებს და მათ გამოყენებასთან დაკავშირებულ ეკოლოგიურ პრობლემებს.

§ 3.1 შინაგანი ენერგია და მისი შეცვლის გზები



გაიხსენეთ სხეულის მექანიკური ენერგია, მისი სახეები და შინაგანი ენერგია. ამისათვის შეეცადეთ უპასუხოთ შემდეგ კითხვებს:

- მექანიკური ენერგიის რა სახეები იცით?
- რა ეწოდება ენერგიას, რომელიც სხეულს მოძრაობის გამო აქვს?
- რა ეწოდება ენერგიას, რომელიც სხეულს სხვა სხეულებთან ურთიერთქმედების გამო აქვს?
- რას უწოდებენ სხეულის სრულ მექანიკურ ენერგიას?
- რას იტყვით ერთი სახის მექანიკური ენერგიის მეორეში გადასვლის შესახებ?
- რატომ აქვთ ნივთიერების შემადგენელ ატომებსა და მოლეკულებს კინეტიკური ენერგია?
- რატომ აქვთ ნივთიერების შემადგენელ ატომებსა და მოლეკულებს პოტენცი-
ალური ენერგია?
- რას ვუწოდებთ სხეულის შინაგანი ენერგია?

თუ ამ კითხვებზე დამაჯერებელი პასუხის გაცემა გაგიჭირდათ, გაიმეორეთ პირველი თავის 1.8, 1.9 და 1.10 პარაგრაფები.

როგორ შეიძლება შეიცვალოს სხეულის შინაგანი ენერგია? პასუხი ამ კითხვაზე თვით შინაგანი ენერგიის განმარტებაშია – რადგან შინაგანი ენერგია წარმოადგენს სხეულის შემადგენელი ნაწილაკების კინეტიკური და მათი ურთიერთქმედების პოტენციალური ენერგიების ჯამს, ამიტომ მის შესაცვლელად საჭიროა შეიცვალოს ნაწილაკების მოძრაობის სიჩქარე ან მათი ურთიერთმდებარეობა. ე.ი. საჭიროა შეიცვალოს სხეულის შემადგენელი ნაწილაკების მექანიკური ენერგია. თქვენ უკვე იცით, რომ ეს შესაძლებელია მუშაობის შესრულებით.

VII კლასის ფიზიკის კურსიდან ვიცით, რომ სხეულის ნაწილაკების სიჩქარის შეცვლა შეიძლება მისი ტემპერატურის გაზრდით ან შემცირებით. სხეულის გაცხელებით იზრდება მისი ნაწილაკების მოძრაობის საშუალო სიჩქარე. ვინაიდან ნაწილაკის სიჩქარე განუწყვეტლივ იცვლება, ამასთან სხვადასხვა ნაწილაკს დროის მოცემულ მომენტში განსხვავებული სიჩქარე აქვს, შეგვიძლია ვილაპარაკოთ მხოლოდ ნაწილაკების საშუალო კინეტიკურ ენერგიაზე. ე.ი. გაცხელებით იზრდება ნაწილაკების საშუალო კინეტიკური ენერგია, ხოლო გაცივებით მცირდება ნაწილაკების მოძრაობის საშუალო სიჩქარე – მცირდება მათი საშუალო კინეტიკური ენერგია.

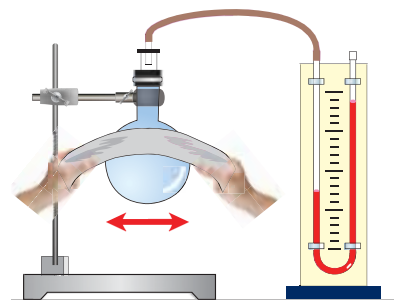
სხეულის ტემპერატურა განისაზღვრება მისი შემადგენელი ნაწილაკების საშუალო კინეტიკური ენერგიით.

კიდევ რა გზით შეიძლება შეცვალოთ სხეულის შინაგანი ენერგია? ამ კითხვაზე პასუხის გასაცემად ჩავატაროთ ორი ცდა:



ცდა 1.

კოლბას გაუყვითოთ მილიანი საცობი. მილის მეორე ბოლო მიფუერთოთ მანომეტრს. თავიდან მანომეტრის ორივე მუხლში სითხე ერთ დონეზეა. დავინყოთ უხეში ქსოვილის გასმა კოლბის ზედაპირზე (სურ. 3.1). გარკვეული დროის შემდეგ სითხის დონე მანომეტრის მარცხენა მუხლში დაინევს, რაც მიანიშნებს იმაზე, რომ კოლბაში წნევა გაიზარდა, ანუ მასში ჰაერი გაცხელდა. ე.ი. გაიზარდა ჰაერის მოლეკულების სიჩქარე და კინეტიკური ენერგია, შესაბამისად – შინაგანი ენერგია. რის ხარჯზე გაიზარდა ჰაერის შინაგანი ენერგია? ცხადია,



სურ. 3.1

მექანიკური მუშაობის ხარჯზე, რომელიც შესრულდა ნაჭრის კოლბის ზედაპირზე ხახუნისას.

ნებისმიერი ორი სხეულის ერთმანეთზე ხახუნისას ისინი ცხელდება. სხეულის ჭრისას ან ბურღვისას სხეულთან ერთად ცხელდება საჭრისი ან ბურღი, დანის ლესვისას ცხელდება დანაც და სალესი ქვაც (სურ. 3.2 ა, ბ), ლურსმანზე ჩაქუჩის დარტყმის შედეგად ხურდება ლურსმნის ქუდიც და ჩაქუჩიც და ა. შ.



სურ. 3.2

ამრიგად, **სხეულის შინაგანი ენერგია შეიძლება გავზარდოთ მასზე მექანიკური მუშაობის შესრულებით.**



ცდა 2.

სქელკედლიან მინის ჭურჭელში ჩავასხათ მცირე რაოდენობის წყალი. საცობში არსებული ხვრელიდან დავიწყოთ ჭურჭელში ჰაერის ჩატუმბვა (სურ. 3.3). ჭურჭელში ჰაერის წნევა გაიზრდება და გარკვეულ წნევაზე საცობი ამოვარდება. საცობის ამოვარდნის შემდეგ დავინახავთ, რომ ჭურჭელში წარმოიქმნება ნისლი. ალბათ შეგიძინებიათ, რომ ნისლი ჰაერის გაცივებისას წარმოიქმნება. ეს მიუთითებს, რომ ჭურჭელში არსებული ჰაერიც გაცივდა – ჰაერის შინაგანი ენერგია შემცირდა. სწორედ ჰაერის შინაგანი ენერგიის ხარჯზე შესრულდა მექანიკური მუშაობა – ჭურჭლიდან საცობი ამოვარდა.

ამრიგად, **სხეულის შინაგანი ენერგია შეიძლება შემცირდეს, როცა მუშაობას ასრულებს თვით სხეული.**

ამ ცდების საფუძველზე შეიძლება დავასკვნათ: **სხეულის შინაგანი ენერგიის ცვლილება შესაძლებელია მექანიკური მუშაობის შესრულებით.**



დაფიქრდით, რა ემართება ჭურჭელში მყოფი ჰაერის შინაგან ენერგიას ჩატუმბვისას?

მუშაობის შესრულებისას იცვლება სხეულის შემადგენელი ნაწილაკების როგორც კინეტიკური, ასევე პოტენციალური ენერგია. მაგალითად, სხეულის დეფორმაციისას იცვლება მისი ნაწილაკების ურთიერთგანლაგება, ანუ პოტენციალური ენერგია. შესაბამისად, იცვლება შინაგანი ენერგიაც.

სხეულის შინაგანი ენერგია შეიძლება შეეცვალოთ სხვა გზითაც, მუშაობის შესრულების გარეშე.



განვიხილოთ ცდა:

ჩავეშვათ ლითონის კოვზი ჭიქაში, რომელშიც ცხელი წყალი ასხია (სურ. 3.4). წყლის ტემპერატურა დაიკლებს, ხოლო ლითონის კოვზისა – მოიმატებს. გარკვეული დროის შემდეგ მათი ტემპერატურები გათანაბრდება და პროცესი შეჩერდება. წყლის შინაგანი ენერგია შემცირდება, კოვზისა



სურ. 3.3



სურ. 3.4

– გაიზრდება. ამ დროს წყალმა კოვზს ენერგია ისე გადასცა, რომ მექანიკური მუშაობა არ შესრულებულა.

მუშაობის შესრულების გარეშე სხეულის შინაგანი ენერგიის ცვლილების მაგალითებია ქურაზე წყლიანი ჩაიდნის გაცხელება, გამათბობლით ოთახის გათბობა (სურ. 3.5 ა, ბ), მზის სხივებით წყლის გათბობა და ა.შ.

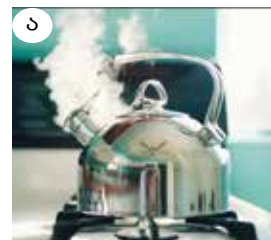
მუშაობის შესრულების გარეშე სხეულის შინაგანი ენერგიის ცვლილების პროცესს თბოგადაცემა ეწოდება.

ამრიგად, სხეულის შინაგანი ენერგიის ცვლილება შესაძლებელია ორი გზით – მექანიკური მუშაობით და (ან) თბოგადაცემით.

სიდიდეს, რომელიც ტოლია სხეულის შინაგანი ენერგიის ცვლილებისა თბოგადაცემის დროს, სითბოს რაოდენობა ეწოდება. სითბოს რაოდენობა აღინიშნება Q ასოთი.

SI-ში სითბოს რაოდენობის ერთეული იგივეა, რაც მუშაობისა და ენერგიისა – **1 ჯოული**.

თბოგადაცემისას ენერგია თავისთავად გადაეცემა მაღალი ტემპერატურის სხეულიდან დაბალი ტემპერატურის სხეულს.



სურ. 3.5

დასკვნები:

- მუშაობის შესრულების გარეშე სხეულის შინაგანი ენერგიის ცვლილების პროცესს თბოგადაცემა ეწოდება;
- სხეულის შინაგანი ენერგიის ცვლილება შესაძლებელია ორი გზით – მექანიკური მუშაობითა და (ან) თბოგადაცემით;
- სიდიდეს, რომელიც თბოგადაცემის დროს სხეულის შინაგანი ენერგიის ცვლილების ტოლია, სითბოს რაოდენობა ეწოდება;
- სითბოს რაოდენობის ერთეული SI-ში არის 1 ჯოული;
- თბოგადაცემისას ენერგია თავისთავად გადაეცემა მაღალი ტემპერატურის სხეულიდან დაბალი ტემპერატურის სხეულს.

საკონტროლო კითხვები:

1. რა განსხვავებაა ცივი და ცხელი წყლის მოლეკულების მოძრაობებს შორის?
2. რატომაა დაკავშირებული სხეულის ტემპერატურა მისი ნაწილაკების კინეტიკურ ენერგიასთან?
3. რის ხარჯზე თბება საშლელი ფურცელზე გასმისას?
4. თუ საშლელი თბილია, შეგიძლიათ თუ არა ცალსახად დაასკვნათ, რომ ის ფურცელზე ხახუნით გათბა?
5. რატომ იზომება სითბოს რაოდენობა იმავე ერთეულში, რომელშიც მუშაობა?
6. ჭურჭელში ჰაერის ჩატუმბვისას იცვლება თუ არა მისი მოლეკულების ურთიერთქმედების პოტენციური ენერგია? რატომ?
7. შეიძლება თუ არა ერთდროულად მუშაობაც სრულდებოდეს და თბოგადაცემაც?

ამოხსენით ამოცანები:

1. მოიყვანეთ მექანიკური მუშაობით სხეულის შინაგანი ენერგიის შეცვლის მაგალითები.

2. მოიყვანეთ თბოგადაცემით სხეულის შინაგანი ენერგიის შეცვლის მაგალითები.

3. ხის ღარში ჯოხის მრავალჯერ სწრაფი გახახუნებით ჯოხის ტემპერატურა იმატებს და მას შესაძლოა ცეცხლი მოეკიდოს (სურ. 3.6). ეს ხერხი გამოიყენება ექსტრემალურ პირობებში ცეცხლის დასანთებად. რის ხარჯზე ხდება ჯოხისა და ღარიანი ხის შინაგანი ენერგიის გაზრდა? ცეცხლის მოპოვების მსგავსი მეთოდები შეგიძლიათ იხილოთ ბმულზე: <http://tiny.cc/4wayjz>

4. დააკვირდით სურათს და გაიხსენეთ ასანთის ანთების პროცესი (სურ. 3.7). ახსენით, რის ხარჯზე გაცხელდება და ააღდება ასანთის თავი?

5. მოიყვანეთ მაგალითი, რომელშიც ასანთი ააღდება მექანიკური მუშაობის შესრულების გარეშე.

6. სპორტული ავტომობილების მოსახვევში სრიალით შესვლისას მათი საბურავები ისე ცხელდება, რომ ხშირ შემთხვევაში კვამლიც წარმოიქმნება (სურ. 3.8). რის ხარჯზე იზრდება საბურავების შინაგანი ენერგია? კიდევ რისი შინაგანი ენერგია იზრდება ამ დროს?



სურ. 3.6

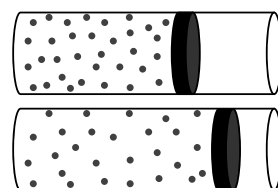


სურ. 3.7



სურ. 3.8

7. ერთი ბოლოთი დახშულ ცილინდრულ ჭურჭელში დგუშით ჩაკეტილია მაღალი წნევის მქონე ჰაერი (სურ. 3.9). დგუში დამაგრებულია, მას ხახუნის გარეშე შეუძლია ცილინდრში სრიალი. როგორ შეიცვლება ჰაერის შინაგანი ენერგია, თუ დგუშს გავათავისუფლებთ?



სურ. 3.9

8. ცილინდრული ჭურჭელი ჩადგმულია ცარიელ სათლში. ჭურჭელში ჰაერია, რომლის წნევის ძალა დგუშისა და მასზე დადებული ტვირთის სიმძიმის ძალას აწონასწორებს (სურ. 3.10 ა). სათლში ჩაასხეს ცხელი წყალი, შედეგად დგუშმა ზევით აიწია (სურ. 3.10 ბ).

ა) რომელი ენერგიის ხარჯზე მოიმატა ტვირთის პოტენციალურმა ენერგიამ?

ბ) როგორ შეიცვალა წყლის შინაგანი ენერგია?

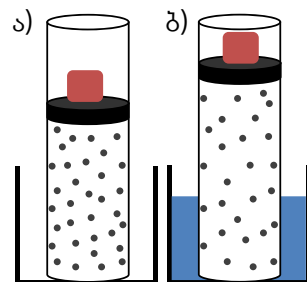
9. დახშულ ჭურჭელში მოთავსებულია ჰაერი. როგორ შეიცვლება მისი შინაგანი ენერგია, თუ ჰაერის მოლეკულების ქაოსურად მოძრაობის სიჩქარე მოიკლებს?

10. სხეულის ტემპერატურამ მოიმატა. რომელი გამონათქვამია მართებული?

ა) სხეულის შემადგენელი ნაწილაკები გაცხელდა;

ბ) სხეულის შემადგენელი ნაწილაკების ქაოსურად მოძრაობის სიჩქარემ მოიმატა.

პასუხი დაასაბუთეთ.



სურ. 3.10

§ 3.2 თბოგამტარობა

წინა პარაგრაფში ჩვენ აღვნიშნეთ, რომ თბოგადაცემისას ენერგია თავისთავად გადაეცემა მაღალი ტემპერატურის სხეულიდან დაბალი ტემპერატურის სხეულს. ასევე, ენერგია გადაეცემა სხეულის გახურებული ნაწილიდან მის ცივ ნაწილს. მაგალითად, თუ ლურსმანს მისი ქუდით დავიჭერთ და წვერს სპირტქურის ალზე გავახურებთ, რამდენიმე წამის შემდეგ ხელით შევიგრძნობთ, რომ ლურსმანი გაცხელდა.

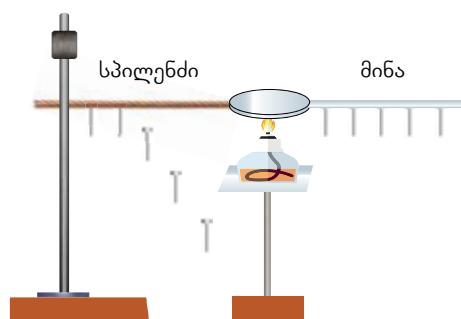


გაიხსენეთ წინა პარაგრაფში განხილული ცდა. ცხელი წყლის მოლეკულების კინეტიკური ენერგია მეტია ცივი კოვზის მოლეკულების კინეტიკურ ენერგიაზე. ურთიერთქმედებისას ცხელი წყლის მოლეკულები გადასცემს თავიანთი კინეტიკური ენერგიის ნაწილს ცივი კოვზის ნაწილაკებს. შედეგად, წყლის მოლეკულების საშუალო კინეტიკური ენერგია შემცირდება, ხოლო ლითონის ნაწილაკების – გაიზრდება. შეეცადეთ, დამოუკიდებლად ახსნათ თბოგადაცემის პროცესი ლურსმნის ცხელი ბოლოდან ცივისაკენ.

ისმის კითხვა: ერთნაირად მიმდინარეობს თუ არა თბოგადაცემა ყველა მყარ სხეულში? მყარ სხეულებში, სითხეებსა და აირებში? ამ კითხვებზე პასუხის გასაცემად ჩავატაროთ ცდები.



ავილოთ ლითონის დისკო, რომელზეც მიმაგრებულია სპილენძისა და მინის ერთნაირი ღეროები. რომელიმე მათგანის თავისუფალი ბოლო ჩავამაგროთ შტატივის თათში (სურ. 3.11). ღეროებზე ტოლი შუალედებით პლასტილინით დავამაგროთ პატარა ლურსმნები ან ლითონის საკანცელარიო ჭიკარტები. დავიწყოთ ლითონის დისკოს გაცხელება სპირტქურით. გარკვეული დროის შემდეგ შევამჩნევთ, რომ თავიდან მოძვრება სპილენძის ღეროზე დისკოსთან ახლოს მდებარე ლურსმნები, ხოლო მერე რიგ-რიგობით – ყველა დანარჩენი. უფრო მოგვიანებით დაიწყებს ჩამოვარდნას მინის ღეროზე დამაგრებული ლურსმნები. რატომ მოხდა ასე?



სურ. 3.11

სპირტქურის ალი გადასცემს ენერგიას დისკოს. მისი ნაწილაკები უფრო ინტენსიურად იწყებს რხევას და მათი საშუალო კინეტიკური ენერგია იზრდება. თავის მხრივ, გაცხელებული დისკოს შემადგენელი ნაწილაკები მიღებული ენერგიის ნაწილს გადასცემს სპილენძისა და მინის ღეროების დისკოზე მიმაგრებულ ბოლოებს. ნაწილაკების ურთიერთქმედების გამო ენერგიის გადაცემა თანდათან გაგრძელდება თვით ღეროებში, პლასტილინი გადნება და ლურსმნები თანმიმდევრობით ჩამოცვივდება. აღსანიშნავია, რომ ასეთი თბოგადაცემისას ნივთიერება არ გადაიტანება.

ნაწილაკების მოძრაობისა და ურთიერთქმედების საშუალებით მაღალი ტემპერატურის სხეულიდან (სხეულის ნაწილიდან) დაბალი ტემპერატურის სხეულში (სხეულის ნაწილში) ნივთიერების გადატანის გარეშე სითბოს გადასვლის პროცესს თბოგამტარობა ეწოდება.

თბოგამტარობა თბოგადაცემის ერთ-ერთი სახეა.

ჩატარებული ცდა გვიჩვენებს, რომ სხვადასხვა ნივთიერება სითბოს ერთნაირად არ ატარებს. ლითონი გაცილებით უკეთესად ატარებს სითბოს, ვიდრე მინა. თბოგამტარობის თვალსაზრისით, ლითონებს შორისაც დიდი განსხვავებაა. თუ ჩატარებულ ცდაში მინის ღეროს შევცვლით ჯერ ალუმინის, მერე რკინის ღეროთი, დავრწმუნდებით, რომ ყველაზე კარგად სითბოს ატარებს სპილენძი, შედარებით ცუდად – ალუმინი და რკინა.

ცუდი თბოგამტარებია: პლასტმასი, ხე, მინა და სხვა. ამიტომაც, რომ ჩაიდნებისა და ტაფების სახელურებს პლასტმასის ან ხისგან ამზადებენ. ნივთიერებებს, რომლებიც სითბოს ცუდად ატარებს, თბოიზოლატორებს უწოდებენ.



სითხეების თბოგამტარობის შესაფასებლად ჩავატაროთ ცდა. წყლიანი ცეცხლგამძლე კოლბა დახრილად ჩავამაგროთ შტატივის თათში და სპირტქურის საშუალებით დავიწყოთ მისი ზედა ნაწილის გაცხელება (სურ. 3.12). წყალი ზედაპირთან მალე ადუღდება მაშინ, როცა კოლბის ფსკერზე მხოლოდ გათბება. ე.ი. **წყლის თბოგამტარობა მცირეა**. გამონაკლისია ვერცხლისწყალი და გამდნარი ლითონები.

სითხეების მცირე თბოგამტარობა აიხსნება იმით, რომ სითხეების მოლეკულებს შორის ურთიერთქმედება უფრო სუსტია, ვიდრე მყარი სხეულების მოლეკულებს შორის. ამიტომ ნაწილაკიდან ნაწილაკზე ენერგიის გადაცემა უფრო რთულია და დიდი დრო სჭირდება.



სურ. 3.13

აირები ყველაზე ცუდი თბოგამტარებია. მშრალი, ცეცხლგამძლე კოლბა ჩამოვიცვათ თითზე და გავაცხელოთ სპირტქურის ალზე ფსკერით ზევით. თითი საკმაოდ დიდხანს ვერ იგრძნობს სითბოს ჰაერის მეშვეობით (სურ. 3.13). ე.ი. ჰაერი ცუდი თბოგამტარია. ჩვეულებრივ, მისი თბოგამტარობა თითქმის 10000-ჯერ მცირეა სპილენძის თბოგამტარობაზე.

ბამბა, მატყლი, ბუმბული, ბენვი ბოჭკოებს შორის შეიცავს ჰაერს და ამის გამო კარგად იცავს ცხოველებს, ფრინველებსა და ადამიანებს სითბოს დაკარგვისაგან.



სურ. 3.12

დასკვნები:

- ნაწილაკების მოძრაობისა და ურთიერთქმედების საშუალებით მაღალი ტემპერატურის სხეულიდან (სხეულის ნაწილიდან) დაბალი ტემპერატურის სხეულში (სხეულის ნაწილში) ნივთიერების გადატანის გარეშე სითბოს გადასვლის პროცესს თბოგამტარობა ეწოდება;
- სხეულის თბოგამტარობის მიზეზი მისი ნაწილაკების ურთიერთქმედება და მოძრაობაა;
- მყარი, თხევადი და აირადი ნივთიერებების თბოგამტარობა განსხვავებულია;
- ლითონები კარგი თბოგამტარებია;
- ჩვეულებრივ პირობებში აირები ცუდი თბოგამტარებია;
- ნივთიერებებს, რომლებიც სითბოს ცუდად ატარებს, თბოიზოლატორებს უწოდებენ.

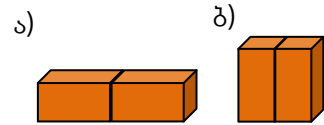
საკონტროლო კითხვები:

1. რომელი გამოთქმაა ფიზიკის თვალსაზრისით სწორი: საბანი გვათბობს თუ საბანი გვიცავს სითბოს დაკარგვისაგან?
2. რატომ ჩეჩავენ დროდადრო საბნის მატყლს?
3. რატომ აკრავენ შენობებს პენოპლასტის ფილებს?
4. ალბათ შეგიძინევიათ, სამშენებლო აგურებს ნახვრეტები აქვს. ამბობენ, რომ ეს მასალის ეკონომიისა და სიმსუბუქის გამოა. თქვენ რას იტყოდით?



ამოხსენით ამოცანები:

1. ცხელი და ცივი აგურები ერთმანეთს შეახეს ჯერ ისე, როგორც გამოსახულია სურათ 3.14 ა-ზე, შემდეგ კი ისე, როგორც ნაჩვენებია სურ. 3.14 ბ-ზე. რომელ შემთხვევაში გათბება ცივი აგური უფრო სწრაფად?



სურ. 3.14

2. ხის კარს და მის ლითონის სახელურს ოთახის ტემპერატურა აქვს. მიუხედავად ამისა, შეხებისას სახელური უფრო ცივი გვეჩვენება, ვიდრე კარი. რა არის ამის მიზეზი?

3. ხისა და ლითონის ტემპერატურა ერთნაირია და 40°C -ია. ხელით შეხებისას რომელი უფრო თბილი მოგეჩვენებათ, თუ თქვენი ტემპერატურა $36,6^{\circ}\text{C}$ -ია. პასუხი დაასაბუთეთ.

4. ძლიერი ყინვაში მცენარეებსა და ნარგავებს თოვლის საფარი იცავს. ახსენით მიზეზი.

5. ახსენით, როგორ გვიცავს სიცივისგან ქურთუკი და საბანი.

6. სახლის ქერში ხშირად სპეციალურ ფაფუკ მინა-ბამბას აფენენ (სურ. 3.15). რატომ იქცევიან ასე?

7. დიდი შენობების (მაგალითად, სკოლის) გასათბობად წყალს მის გარეთ არსებულ სპეციალურ გათბობის ქვებში აცხელებენ. ქვებიდან შენობისკენ გაყვანილ ცხელი წყლის მილებს კი სპეციალური გარსით ფუთავენ (სურ. 3.16). ახსენით, რა დანიშნულება აქვს მილების შესაფუთ სპეციალურ გარსს?

8. ლითონის ჭიქაში უფრო მალე გაცივდება ცხელი ჩაი თუ მინის ჭიქაში? რატომ?

9. უდაბნოში დღისით ძალიან ცხელა, ღამით კი ძალიან ცივა. რა არის ამის მიზეზი?

10. რით აიხსნება, რომ მინის საგნების დამზადებისას მისი ერთი ბოლო დნობამდე გაცივებული, მეორე ბოლო კი ოსტატს შიშველი ხელით თავისუფლად უჭირავს (სურ. 3.17).



სურ. 3.15



სურ. 3.16



სურ. 3.17



საშინაო ცდა:

ცდის მიზანი: აირის გათბობასა და გაცივებაზე დაკვირვება.

ცდისთვის საჭიროა: პოლიეთილენის ბოთლი, ბუშტი, ქვიშა, განიერი ღრმა ჭურჭელი, ცხელი წყალი.

- ბოთლში ჩაყარეთ მხოლოდ იმდენი ქვიშა, რომ წყალში ჩადებისას ჩაძირვა დაიწყოს;
- ჩამოაცვით ბოთლს ბუშტი (სურ. 3.18);
- ჩაასხით ჭურჭელში, თითქმის ბოთლის სიმაღლემდე, ცხელი წყალი;
- ჩადგით ბოთლი წყალში და დააკვირდით ბუშტის ზომის ცვლილებას;
- ამოიღეთ ბოთლი ჭურჭლიდან და დააკვირდით ბუშტის ზომის ცვლილებას;
- დაკვირვების შედეგები ჩანერეთ რეგულში.

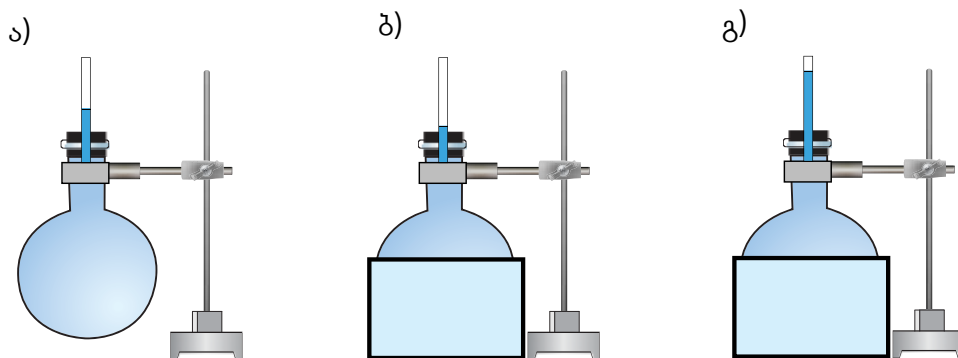


სურ. 3.18

§ 3.3 მყარი სხეულების, სითხეებისა და აირების სითბური გაფართოება

საშინაო ცდით თქვენ დააკვირდით ჰაერის სითბურ გაფართოებას. ცხელ წყალში ჩადებისას თბოგამტარობის საშუალებით ჯერ გათბა ბოთლი, ხოლო შემდეგ – ბოთლში არსებული ჰაერი. გათბობის შედეგად ჰაერის ნაწილაკები უფრო სწრაფად ამოძრავდება, გაიზრდება მათი საშუალო კინეტიკური ენერგია, მოიმატებს ჰაერის წნევა და ის გაფართოვდება – ბუშტი გაიბერება. ბოთლის ცხელი წყლიდან ამოღების შემდეგ მასში არსებული ჰაერი დაიწყებს ენერგიის გაცემას, მოლეკულების საშუალო კინეტიკური ენერგია შემცირდება, დაიწევს წნევა – ბუშტი ჩაიფუშება.

სითხის სითბურ გაფართოებაზე დასაკვირვებლად ავაესოთ კოლბა ოთახის ტემპერატურის მქონე შეფერადებული წყლით. მოვარგოთ კოლბას მილიანი საცობი ისე, რომ სითხის ნაწილი ავიდეს მილში (სურ. 3.19 ა). მოვნიშნოთ სითხის დონე მილში. ჩავუშვათ კოლბა ჭურჭელში, რომელშიც ცხელი წყალია. თავიდან სითხის დონე მილში ცოტათი დაიწევს (სურ. 3.19 ბ). ამის მიზეზია ის, რომ თავდაპირველად ცხელდება და ფართოვდება კოლბა. გარკვეული დროის შემდეგ გათბობას დაიწყებს წყალი, რომლის მოლეკულების საშუალო კინეტიკური ენერგია გაიზრდება, გაიზრდება მანძილი მოლეკულებს შორის – წყლის დონე მილში საგრძნობლად მოიმატებს (სურ. 3.19 გ). გაცივების შედეგად წყალი მილში დაუბრუნდება თავის საწყის დონეს. ამრიგად, აირების მსგავსად, სითხეები გათბობისას ფართოვდება.



სურ. 3.19



ვილჰელმ იაკობ
გრავეზანდი (1688-1742)

მყარი სხეულების სითბურ გაფართოებაზე დაკვირვება შესაძლებელია მარტივი დანადგარით, რომელიც შექმნა ჰოლანდიელმა ფიზიკოსმა ვილჰელმ იაკობ გრავეზანდმა. ის წარმოადგენს სპილენძის მცირე ბირთვს, რომელიც თავისუფლად გადის მის ზომაზე გამოჭრილ რგოლში. თუ ბირთვს სპირტქურის ალზე გავაცხელებთ, ის რგოლში აღარ გაეტევა (სურ. 3.20 ა). ბირთვის გაცხელებისას იზრდება ნაწილაკების საშუალო კინეტიკური ენერგია, ნაწილაკები ერთმანეთს დაშორდება და ბირთვი გაფართოვდება.

გაცივების შემდეგ ბირთვი რგოლში ისევ თავისუფლად გავა (სურ. 3.20 ბ) – ბირთვის ნაწილაკები ერთმანეთს დაუახლოვდება.

ცდებით დადგინდა, რომ ერთნაირ პირობებში აირები ფართოვდება ბევრად მეტად, ვიდრე – სითხეები და მყარი სხეულები.

ა)



ბ)



სურ. 3.20

სხვადასხვა ნივთიერება განსხვავებულად ფართოვდება.

აღსანიშნავია, რომ ზოგიერთი ნივთიერება გარკვეულ ტემპერატურულ ინტერვალში გათბობისას იკუმშება, ხოლო გაცივებისას ფართოვდება, ანუ ახასიათებს სითბური გაფართოების ანომალია. ასეთ ნივთიერებებს მიეკუთვნება წყალი, თუჯი, ბისმუტი და სხვა.

მაგალითად, თბილი წყალი 4°C -მდე გაცივებისას იკუმშება, ხოლო დაწყებული 4°C -დან 0°C -მდე ის ფართოვდება. ამიტომ ყველაზე დიდი სიმკვრივე წყალს აქვს 4°C -ზე. წყალსატევის ზედაპირზე 4°C -მდე გაცივებული წყალი ჩადის ფსკერზე (წყალი იყინება 0°C -ზე). ზუსტად ამიტომ წყალსატევები არ იყინება ფსკერამდე, წყლის ეს თვისება მნიშვნელოვანია მასში არსებული ცოცხალი ორგანიზმების არსებობისათვის.

სხეულების სითბური გაფართოება გასათვალისწინებელია სხვადასხვა კონსტრუქციის შექმნისას. მაგალითად, რკინიგზის მშენებლობისას ლიანდაგის რელსებს შორის შუალედს ტოვებენ (სურ. 3.21). ზაფხულში რელსები სიგრძეში იმატებს, ეს შუალედები კი თავიდან გვარიდებს გაფართოებისას მათ დეფორმაციას.

სხეულების სითბურ გაფართოებას ითვალისწინებენ ხიდების მშენებლობისას (სურ. 3.22 ა), მილსადენების გაყვანისას (სურ. 3.22 ბ) და ა.შ.



სურ. 3.21



სურ. 3.22



მშენებლობაში ფართოდ გამოიყენება რკინა-ბეტონის კონსტრუქციები, რომლებიც გამოირჩევა დიდი მდგრადობით (სურ. 3.23). ამ კონსტრუქციის სიმყარის საფუძველია ბეტონისა და რკინის ერთნაირი სითბური გაფართოება.



სურ. 3.23

დასკვნები:

- სხეულთა უმეტესობა გათბობისას ფართოვდება;
- ტემპერატურის ზრდისას სხეულთა გაფართოების მიზეზია ნაწილაკების საშუალო კინეტიკური ენერგიის მატება, რაც ნაწილაკებს შორის მანძილის ზრდას იწვევს;
- ზოგიერთი ნივთიერება გარკვეულ ტემპერატურულ ინტერვალში გათბობისას იკუმშება. ამ მოვლენას სითბური გაფართოების ანომალია ეწოდება;
- ჩვეულებრივ, ყველაზე მეტად აირები ფართოვდება;
- სხეულთა სითბური გაფართოება გათვალისწინებულია მშენებლობებში.

საკონტროლო კითხვები:

1. რით აიხსნება აირების შესამჩნევი გაფართოება სითხეებთან და მყარ სხეულებთან შედარებით?
2. რატომ არ იქნება ნიკელი-ბეტონის კონსტრუქცია ისეთივე მყარი, როგორიც რკინა-ბეტონის კონსტრუქციაა, მიუხედავად იმისა, რომ ნიკელის სიმტკიცე რკინის სიმტკიცეზე ორჯერ მეტია?
3. ზოგიერთი რკინის კარი ზამთარში ადვილად იღება, ზაფხულში კი – ძნელად. რით ახსნით ამას?
4. ზამთარში ტბის ზედაპირი გაიყინა. რატომ არ იყინება ტბის ქვედა ფენები?



პროექტი, ჯგუფური მუშაობა.

პროექტის მიზანი: აირის სითბურ გაფართოებაზე დაკვირვება.

პროექტისთვის საჭროა: მინის ბოთლი, დაახლოებით 5 მმ დიამეტრის რეზინის გამჭვირვალე მილი (შესაძლებელია გამოიყენოთ წვენის „სანრუპი“), პლასტილინი, ქვაბი.

სამუშაოს მსვლელობა:

1. ბოთლის თავსახურზე გააკეთეთ ისეთი ზომის ნახვრეტი, რომ მასში მილი მჭიდროდ ჩასვას. მილს მიეცით სურათ 3.24-ზე ნაჩვენები ფორმა, საჭიროების შემთხვევაში მიამაგრეთ წინასწარ გამზადებულ მყარ მავთულზე.

2. მილსა და თავსახურს შორის დარჩენილი შუალედი ამოავსეთ პლასტილინით.

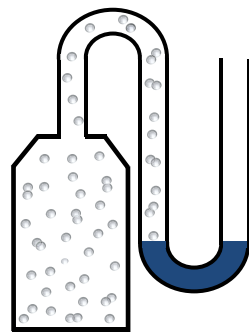
3. შედგით ბოთლი მაცივრის საყინულეში და დაელოდეთ მის უარყოფით ტემპერატურამდე გაცივებას.

4. მაცივრიდან გამოღების შემდეგ მილის თავისუფალ ბოლოში ჩაასხით მცირე რაოდენობის წყალი და მილის მარჯვენა მუხლში მონიშნეთ წყლის დონე.

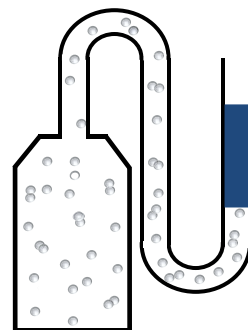
5. ჩადგით ბოთლი ქვაბში ჩასხმულ ცივ წყალში და გაზქურაზე დაიწყეთ მისი გათბობა (არ ჩადგათ პირდაპირ ცხელ წყალში! ბოთლი გასკდება!).

6. ქვაბში წყლის გათბობასთან ერთად დააკვირდით მილში წყლის სვეტის მოძრაობას და გზადაგზა მონიშნეთ წყლის დონე მილში (იხ. სურ. 3.25).

7. სამუშაოს მსვლელობისას გადაიღეთ ფოტოები და გააკეთეთ ვიდეოჩანაწერი. მოამზადეთ პრეზენტაცია თემაზე „აირის სითბური გაფართოება“.



სურ. 3.24



სურ. 3.25

§ 3.4 ტემპერატურის გაზომვა. თერმომეტრი

თქვენ უკვე იცით, რომ ცხელი და ცივი სხეულების კონტაქტისას ცხელი სხეული ცივდება, ცივი კი თბება. როდესაც მათი ტემპერატურები გათანაბრდება, სითბოცვლა წყდება. სხეულების ტემპერატურის ცვლილებასთან ერთად ამ პროცესისას შეიძლება მოხდეს სხვა ცვლილებებიც: შეიცვალოს სხეულების მოცულობა, გადავიდნენ ერთი აგრეგატული მდგომარეობიდან მეორეში და სხვა. ერთნაირი ტემპერატურის მქონე სხეულები ერთმანეთთან კონტაქტისას არ იცვლიან თავიანთ თვისებებს, რადგან ისინი სითბური წონასწორობის მდგომარეობაში იმყოფებიან.

ტემპერატურა სითბური წონასწორობის მდგომარეობის მახასიათებელი ფიზიკური სიდიდეა.

დიდი ხანია ტემპერატურას ზომავენ თერმომეტრით. ყველა თერმომეტრის მოქმედება დაფუძნებულია ტემპერატურის შეცვლისას სხეულის თვისებების ცვლილებაზე.

1742 წელს შვედმა ასტრონომმა და ფიზიკოსმა ანდრეს ცელსიუსმა გამოთქვა მოსაზრება ტემპერატურის გასაზომად გამოყენებინათ სხეულების სითბური გაფართოების თვისება. მან გამოიგონა ხელსაწყო, რომელიც შედგებოდა სითხით (სპირტი ან ვერცხლისწყალი) გავსებული პატარა კოლბა-რეზერვუარისგან, მასთან მიერთებული წვრილი მილისა და სკალისგან. ცელსიუსმა სკალაზე „0“ მონიშნა იქ, სადაც დადგა სითხე მილში ყინულის დნობის ტემპერატურაზე, „100“ კი – წყლის დუღილის ტემპერატურაზე ნორმალური ატმოსფერული წნევის დროს. მიღებული მონაკვეთი მან დაყო 100 ტოლ ნაწილად და მიიღო ხელსაწყო – თერმომეტრის – სკალა (სურ. 3.26). ამ სკალით მიღებულ ერთეულს ცელსიუსის პატივსაცემად დაერქვა 1°C (1 გრადუსი ცელსიუსი). 0°C -ზე მეტი ტემპერატურა დადებითია, ხოლო მასზე ნაკლები – უარყოფითი.

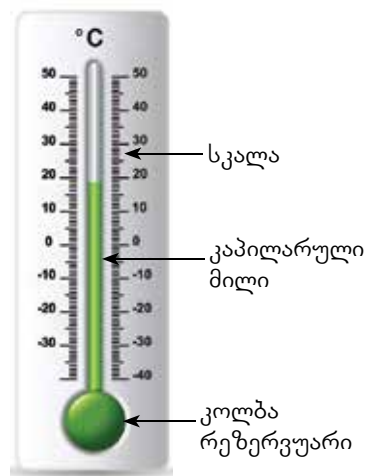


ანდრეს ცელსიუსი
(1701-1744)

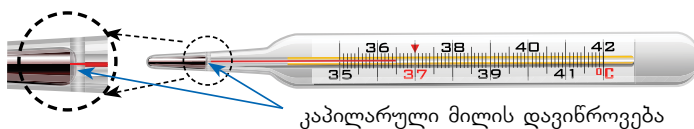
1°C ტოლია ნორმალური ატმოსფერული წნევის პირობებში ყინულის დნობიდან წყლის დუღილამდე ტემპერატურის ცვლილების ერთი მეასედის.

სითხიანი თერმომეტრით სხეულის ტემპერატურის გაზომვისას აუცილებელია მისი კოლბა-რეზერვუარისა და სხეულის მჭიდრო კონტაქტი. ანათვალის უნდა ავიღოთ ტემპერატურის გაზომვის დაწყებიდან გარკვეული დროის შემდეგ, რათა თერმომეტრსა და სხეულს შორის დამყარდეს სითბური წონასწორობა.

სამედიცინო თერმომეტრის აგებულება ლაბორატორიული თერმომეტრისგან განსხვავდება იმით, რომ მისი მილი კოლბა-რეზერვუართან შეერთების ადგილზე დავინროებულია (სურ. 3.27). თერმომეტრზე ანათვალის ალები-სას ის სხეულს აღარ ეხება, ამიტომ საჭიროა მან ჩვენება დიდი დროის განმავლობაში შეინარჩუნოს. შევინროებული ადგილი კი გაცივებისას ხელს უშლის მილიდან რეზერვუარში სითხის დაბრუნებას.



სურ. 3.26



სურ. 3.27

ხელახალი გამოყენებისათვის სამედიცინო თერმომეტრი უნდა დავიქნიოთ რეზერვუარით ქვემოთ – ამ დროს სითხე დაბრუნდება რეზერვუარში. მეტი სიზუსტისათვის სამედიცინო თერმომეტრებში მუშა სითხედ გამოიყენება ვერცხლისწყალი, რომელიც უფრო მგრძნობიარეა ტემპერატურის ცვლილებაზე, ვიდრე – სპირტი.

სითხიანი თერმომეტრების გარდა გამოიყენება მექანიკური (სურ. 3.28), ციფრული (სურ. 3.29) და აირადი (სურ. 3.30) თერმომეტრები. მექანიკური თერმომეტრის მუშა სხეული მყარი სხეულია, აირადისა – აირი, ხოლო ციფრული თერმომეტრის მოქმედების პრინციპს მომდევნო კლასებში გავეცნობით.

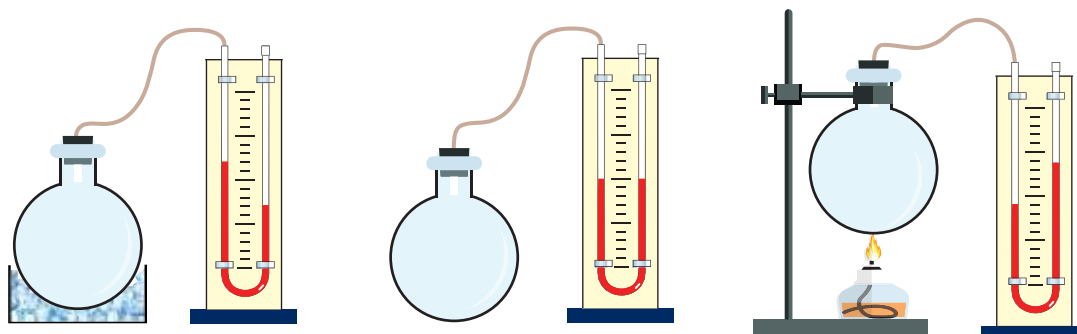


სურ. 3.28



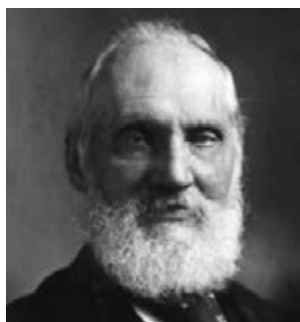
სურ. 3.29

დააკვირდით სურ. 3.30-ს და შეეცადეთ ახსნათ, როგორ მუშაობს აირადი თერმომეტრი.



სურ. 3.30

ყოფა-ცხოვრებაში უფრო ხშირად იყენებენ ტემპერატურის ცელსიუსის სკალას, რადგან ის უფრო მოსახერხებელია გარემოს, ადამიანის სხეულის, წყლისა და სხვა სხეულთა ტემპერატურის გაზომვისას. მასთან ერთად ფიზიკაში უფრო ხშირად იყენებენ სკალას,



უილიამ ტომსონი
(1824-1907)

რომელიც შემოიღო ინგლისელმა ფიზიკოსმა უილიამ ტომსონმა (ლორდ კელვინი). ამ სკალის ნული შეესაბამება სხეულის ისეთ სითბურ მდგომარეობას, რომლის დროსაც შეწყდება მოლეკულებისა და ატომების სითბური მოძრაობა. დადგენილია, რომ ეს ხდება -273°C ტემპერატურაზე. ამ ტემპერატურას აბსოლუტურ ნულს უწოდებენ, მასთან დაკავშირებულ სკალას კი – აბსოლუტურ ტემპერატურულ სკალას. ერთეულთა საერთაშორისო სისტემაში ტემპერატურის ერთეულად მიღებულია აბსოლუტური სკალის ერთეული 1 K . აბსოლუტური სკალისა და ცელსიუსის სკალის დანაყოფების ფასი ერთნაირია, ამიტომ ტემპერატურის ცვლილება ორივე სკალაზე ერთნაირია.

$0\text{ K} = -273\text{ }^{\circ}\text{C}$. (სურ. 3.31) ეს ბუნებაში არსებული მინიმალური ტემპერატურაა, რომლის მიღწევა შეუძლებელია. აბსოლუტურ ტემპერატურას აღნიშნავენ T ასოთი. ვინაიდან $0\text{ }^{\circ}\text{C} = 273\text{ K}$, ამიტომ გადაყვანა ერთი სკალიდან მეორეში ხორციელდება ფორმულით:

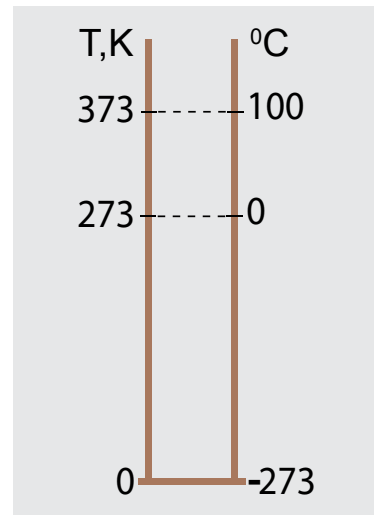
$$T = t + 273$$

რომელშიც t – ცელსიუსის სკალით გაზომილი ტემპერატურაა.



დაფიქრდით:

- რატომ უნდა იყოს თერმომეტრის ზომები უფრო პატარა, ვიდრე – სხეულის, რომლის ტემპერატურასაც ვზომავთ?
- რატომ უნდა ფართოვდებოდეს თერმომეტრში გამოყენებული სითხე უფრო მეტად, ვიდრე – მინა?



სურ. 3.31

დასკვნები:

- ტემპერატურას ზომავენ თერმომეტრით;
- სითხიანი თერმომეტრის მოქმედების პრინციპი დამყარებულია მისი სითხური გაფართოების თვისებაზე;
- ცელსიუსის სკალის $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ შეესაბამება ყინულის დნობის ტემპერატურას, ხოლო $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ – წყლის დუღილის ტემპერატურას ნორმალური ატმოსფერული წნევის დროს;
- კელვინის სკალის ნული შეესაბამება სხეულის ისეთ სითხურ მდგომარეობას, რომლის დროსაც შეწყდებოდა მოლეკულებისა და ატომების მოძრაობა;
- $0\text{ K} = -273\text{ }^{\circ}\text{C}$, $0\text{ }^{\circ}\text{C} = 273\text{ K}$;
- $-273\text{ }^{\circ}\text{C}$ ბუნებაში არსებული მინიმალური ტემპერატურაა;
- კავშირი კელვინისა და ცელსიუსის ტემპერატურებს შორის ასეთია: $T = t + 273$.

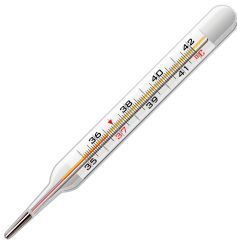
საკონტროლო კითხვები:

1. როდემდე გრძელდება სითბოცვლის პროცესი განსხვავებული ტემპერატურის სხეულებს შორის?
2. როგორი იქნებოდა ჩვენი ოთახის ტემპერატურა 0° -ად წყლის დუღილის ტემპერატურა რომ აგველო?
3. რატომ გამოიყენებენ სითხიან თერმომეტრებში ვერცხლისწყალსა და სპირტს?
4. რატომ არ აქვს სითხიან საყოფაცხოვრებო თერმომეტრებს შევიწროებული ადგილი რეზერვუარი-მილის საზღვარზე?
5. რატომ აქვს სამედიცინო თერმომეტრებს შევიწროებული ადგილი რეზერვუარი-მილის საზღვარზე?
6. რამდენით შეიცვალა კელვინის სკალაზე ტემპერატურა, თუ იგი ცელსიუსის სკალაზე $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ -ით შემცირდა?
7. რისი ტოლია ბუნებაში არსებული ყველაზე მცირე ტემპერატურა ცელსიუსის სკალით? კელვინის სკალით?



ამოხსენით ამოცანები:

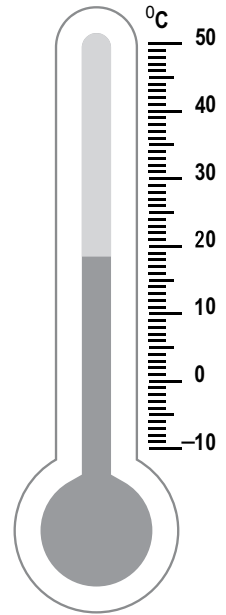
1. მოიძიეთ ინფორმაცია ფარენჰეიტის სკალის შესახებ. რა კავშირია ცელსიუსის სკალით გაზომილ ტემპერატურასა და ფარენჰეიტის სკალით გაზომილ შორის?
2. რამდენი კელვინით გაიზარდა სხეულის ტემპერატურა, თუ მისმა ტემპერატურამ 5°C -ით მოიმატა?
3. 7°C -ით გათბობისას სხეულის ტემპერატურა 280 K გახდა. რისი ტოლი იყო ამ სხეულის საწყისი ტემპერატურა $^{\circ}\text{C}$ -ში.
4. მოიძიეთ ინფორმაცია ვერცხლისწყლის გამყარების ტემპერატურის შესახებ. რატომ იყენებენ სპირტიან და არა ვერცხლისწყიან თერმომეტრს ისეთ ადგილებში, სადაც ტემპერატურა ძალიან დაბალია?
5. სამედიცინო თერმომეტრის რეზერვუარი (სადაც ვერცხლისწყალია მოთავსებული) მინისაგან არის დამზადებული (სურ. 3.32). მინა ლითონებზე უფრო ცუდი სითბოგამტარია, ამიტომ ტემპერატურის გაზომვას დაახლოებით 10 წუთი სჭირდება. რატომ არ ამზადებენ რეზერვუარს ლითონისგან?
6. რამდენი გრადუსი ფარენჰეიტით გაიზარდა ტემპერატურა, თუ ის ცელსიუსის სკალით 29°C -დან 50°C -მდე შეიცვალა (სურ. 3.33)?
7. განსაზღვრეთ სურ. 3.34-ზე გამოსახული თერმომეტრის გაზომვის ზედა და ქვედა ზღვარი.
8. განსაზღვრეთ სურ. 3.34-ზე გამოსახული თერმომეტრის დანაყოფის ფასი და ცდომილება.



სურ. 3.32



სურ. 3.33



სურ. 3.34

9. რატომ არ შეიძლება, რომ ტემპერატურა იყოს -273°C -ზე ნაკლები?
10. სხეულის ტემპერატურას ზომავენ ცელსიუსის სკალიანი თერმომეტრით. სხეულის გათბობისას ამ თერმომეტრის ჩვენება ორჯერ გაიზარდა. ტემპერატურა რომ კელვინებში გაეზომათ, მაშინ ის 1,09-ჯერ გაიზარდებოდა. განსაზღვრეთ თერმომეტრის საწყისი და საბოლოო ჩვენება.



სამინაო ცდა.

ცდის მიზანი: სითბოგადაცემაზე დაკვირვება.

ცდისთვის საჭიროა: მაგიდის სანათი, რომელსაც არ აქვს აბაჟური.

ჩართეთ სანათი და დააცადეთ რამდენიმე წუთი, შემდეგ ხელისგული ფრთხილად მიიტანეთ სანათის ნათურასთან ჯერ გვერდიდან, შემდეგ – ზემოდან (სურ. 3.35). ერთნაირად შეიგრძნობთ სითბოს? დაკვირვების შედეგები ჩანერეთ რვეულში. გამოიტანეთ დასკვნა.



სურ. 3.35

§ 3.5 კონვექცია

§ 3.6 გამოსხივება

§ 3.7 სითბოს რაოდენობა. ნივთიერების კუთრი სითბოტევადობა

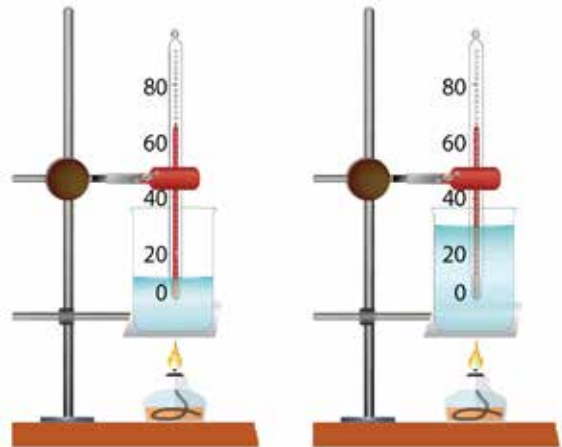


გაიხსენეთ: სხეულის შინაგანი ენერგიის შეცვლის ერთ-ერთი ხერხი თბოგადაცემაა. თბოგადაცემის შედეგად შინაგანი ენერგიის ცვლილებას სითბოს რაოდენობა ვუწოდებთ და აღვნიშნავთ Q -ით.

რაზეა დამოკიდებული სხეულის გათბობისას მასზე გადაცემული სითბოს რაოდენობა? ამ კითხვაზე პასუხის გასაცემად ჩავატაროთ ცდები.



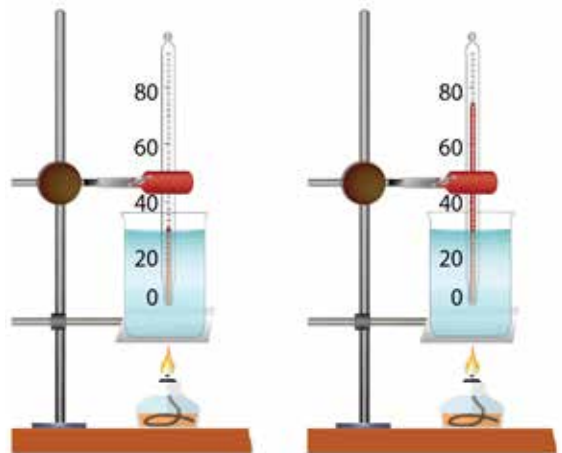
ცდა 1. ავიღოთ ორი ერთნაირი ცეცხლგამძლე ჭურჭელი. ერთ ჭურჭელში ჩავასხათ ორჯერ მეტი წყალი, ვიდრე – მეორეში, ვთქვათ, 100 გ და 200 გ (სურ. 3.50). თერმომეტრით გავზომოთ მათი საწყისი ტემპერატურა. ვთქვათ, ის 15°C -ია. შევუწოდოთ ერთ-ერთ ჭურჭელს სპირტქურა და გავზომოთ დრო, რომლის განმავლობაში წყლის ტემპერატურა მოიმატებს 50°C -ით, ანუ გახდება 65°C . იგივე გავიმეოროთ მეორე ჭურჭლისთვისაც. ვნახავთ, რომ 200 გ მასის წყალს 50°C -ით გასაცხელებლად, დასჭირდება 2-ჯერ მეტი დრო, ვიდრე 100 გ მასის წყალს. ვინაიდან სპირტქურა დროის მიხედვით თანაბრად გაცემს სითბოს რაოდენობას, შეგვიძლია დავასკვნათ: ტემპერატურის ერთნაირად შესაცვლელად 200 გ მასის წყალს სჭირდება 2-ჯერ მეტი სითბოს რაოდენობა, ვიდრე 100 გ მასის წყალს. ე.ი. **სხეულის ტემპერატურის ერთი და იმავე მნიშვნელობით გასაზრდელად საჭირო სითბოს რაოდენობა მისი მასის პირდაპირპროპორციულია: $Q \sim m$**



სურ. 3.50



ცდა 2. იმავე ჭურჭლებში ჩავასხათ წყლის ერთნაირი რაოდენობა, ვთქვათ, თითოეულში 200 გრამი (სურ. 3.51). შევუწოდოთ ერთ-ერთ ჭურჭელს სპირტქურა და გავზომოთ დრო, რომლის განმავლობაში წყლის ტემპერატურა მოიმატებს 20°C -ით. გავიმეოროთ ცდა მეორე ჭურჭლისათვის, ოღონდ ტემპერატურა გავზარდოთ 3-ჯერ მეტით – 60°C -ით. დავინახავთ, რომ ამ ცვლილებებისათვის საჭირო იქნება სამჯერ მეტი დრო, შესაბამისად, სამჯერ მეტი სითბოს რაოდენობა, ვიდრე – პირველ შემთხვევაში. მაშასადამე, რამდენჯერაც მეტია სხეულის ტემპერატურის ნაზრდი, იმდენჯერ მეტი სითბოს რაოდენობაა საჭირო გადავცეთ მას.



სურ. 3.51

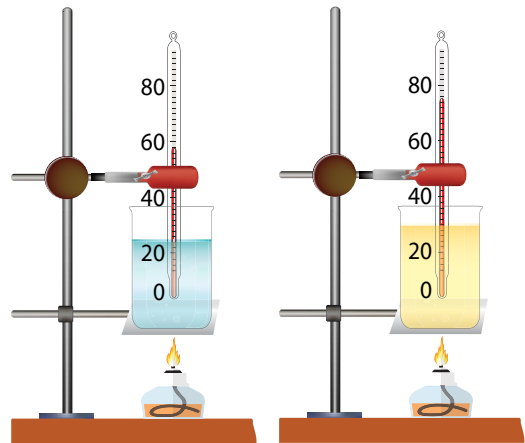
ამრიგად, **სხეულის გასათბობად საჭირო სითბოს რაოდენობა მისი ტემპერატურის ნაზრდის პირდაპირპროპორციულია:**

$$Q \sim (t_2 - t_1)$$

ახლა გავარკვიოთ, დამოკიდებულია თუ არა ეს სითბოს რაოდენობა სხეულის შემაღგენელი ნივთიერების გვარობაზე.



ცდა 3. ორ ერთნაირ ჭურჭელში ჩავასხათ ერთნაირი ტემპერატურისა და მასის წყალი და ზეთი, ვთქვათ 150-150 გ. შევუნთოთ სპირტქურა წყლიან ჭურჭელს და გავზომოთ დრო, რომლის განმავლობაშიც მისი ტემპერატურა მოიმატებს, ვთქვათ 20 °C-ით (სურ. 3.52). თუ ზეთის ტემპერატურასაც იმდენითვე გავზრდით, დავინახავთ, რომ მის გასათბობად ბევრად ნაკლები დრო და, შესაბამისად, ბევრად ნაკლები სითბოს რაოდენობა იქნება საჭირო.



სურ. 3.52

ეს ნიშნავს, რომ **ერთნაირი მასის სხვადასხვა ნივთიერების ტემპერატურის ერთი და იმავე სიდიდით შესაცვლელად საჭიროა განსხვავებული სითბოს რაოდენობა.** ამ სითბოს რაოდენობის გამოსათვლელად შემოტანილია სპეციალური ფიზიკური სიდიდე, რომელსაც ნივთიერების კუთრი სითბოტევადობა ეწოდება.

ნივთიერების კუთრი სითბოტევადობა ფიზიკური სიდიდეა, რომელიც გვიჩვენებს, სითბოს რა რაოდენობაა საჭირო 1 კგ ნივთიერების ტემპერატურის 1 °C-ით გასაზრდელად.

ნივთიერების კუთრი სითბოტევადობა ფიზიკური სიდიდეა, რომელიც გვიჩვენებს, სითბოს რა რაოდენობაა საჭირო 1 კგ ნივთიერების ტემპერატურის 1 °C-ით გასაზრდელად.

ნივთიერების კუთრი სითბოტევადობას აღნიშნავენ c (პატარა) ასოთი (ლათინურიდან *capacite* – ტევადობა).

თუ ნივთიერების მასაა m და მისი ტემპერატურა იზრდება t_1 -დან t_2 -მდე, მაშინ ამისათვის საჭირო სითბოს რაოდენობა გამოითვლება ფორმულით:

$$Q = cm(t_2 - t_1)$$

გამოვსახოთ ამ ფორმულიდან c :

$$c = \frac{Q}{m(t_2 - t_1)}$$

ამ ფორმულიდან ჩანს, რომ SI-ში c -ს ერთეულია **ჯ/კგ·°C**.

ჩვენ მიერ ჩატარებულ ყველა ცდაში სხეულის ტემპერატურა იზრდებოდა. ცდებიდან მიღებული შედეგები, ცხადია, მართებულია მაშინაც, როცა სხეული სითბოს რაოდენობას კარგავს და მისი ტემპერატურა მცირდება.

თუ სხეულის გასათბობად t_1 -დან t_2 -მდე საჭიროა მას გადავცეთ Q სითბოს რაოდენობა, მაშინ მის გასაცივებლად t_2 -დან t_1 -დე საჭიროა მას წავართვათ იგივე Q სითბოს რაოდენობა. როდესაც სხეული სითბოს რაოდენობას იღებს, მისი შინაგანი ენერგია იზრდება და სითბოს რაოდენობა დადებითია. როდესაც სხეული სითბოს რაოდენობას გასცემს, მისი შინაგანი ენერგია მცირდება და სითბოს რაოდენობა უარყოფითია.

რკინის კუთრი სითბოტევადობაა 460 ჯ/კგ·°C. ეს ნიშნავს, რომ 1 კგ რკინის ტემპერატურის 1 °C-ით გასაზრდელად საჭიროა მას გადავცეთ 460 ჯ სითბოს რაოდენობა. ამავე რაოდენობის სითბოს გასცემს 1 კგ რკინა 1 °C-ით გაცივებისას.

სხეულის მასისა და მისი კუთრი სითბოტევადობის ნამრავლს სხეულის სითბოტევადობას უწოდებენ და აღნიშნავენ C (დიდი) ასოთი:

$$C = cm$$

ამიტომ სითბოს რაოდენობის გამოსათვლელი ფორმულა ასეც შეიძლება ჩაწეროთ:

$$Q = C(t_2 - t_1)$$

სხეულის სითბოტევადობა გვიჩვენებს, სითბოს რა რაოდენობაა საჭირო ამ სხეულის 1°C-ით გასათბობად. SI-ში სითბოტევადობის ერთეულია 1 ჯ/°C.

ცხრილში მოცემულია ზოგიერთი ნივთიერების კუთრი სითბოტევადობა, რომელიც ექსპერიმენტულადაა დადგენილი:

ნივთიერება	ც, ჯ/კგ°C	ნივთიერება	ც, ჯ/კგ°C
მყარი			
ალუმინი	920	კალა	250
ბეტონი	880	პარაფინი	3200
ხე	2700	ქვიშა	970
რკინა, ფოლადი	460	პლატინა	130
ოქრო	130	ტყვია	120
აგური	750	ვერცხლი	250
თითბერი	380	მინა	840
ყინული	2100	ცემენტი	800
სპილენძი	380	თუთია	400
ნიკელი	460	თუჯი	550
თხევადი			
აცეტონი	2200	ნავთი	2140
წყალი	4200	მზესუმზირის ზეთი	1700
გლიცერინი	2400	ვერცხლისწყალი	120
რკინა	830	ეთილის სპირტი	2400
აირადი (მუდმივი წნევისას)			
აზოტი	1000	ჰაერი	1000
წყალბადი	14300	ჟანგბადი	920
წყლის ორთქლი	2200	ნახშირორჟანგი	830

დასკვნები:

- ნივთიერების კუთრი სითბოტევადობა გვიჩვენებს, სითბოს რა რაოდენობაა საჭირო 1 კგ ნივთიერების ტემპერატურის 1°C -ით გასაზრდელად. კუთრი სითბოტევადობა ნივთიერების მახასიათებელი ფიზიკური სიდიდეა. მისი ერთეულია $1 \text{ ჯ/კგ} \cdot ^{\circ}\text{C}$;
- m მასისა და c კუთრი სითბოტევადობის სხეულის ტემპერატურის t_1 -დან t_2 -მდე გასაზრდელად საჭირო სითბოს რაოდენობა გამოითვლება ფორმულით: $Q = cm(t_2 - t_1)$;
- t_2 -დან t_1 -მდე გაცივებისას სხეული იმდენივე სითბოს რაოდენობას გამოყოფს, რაც მიიღო t_1 -დან t_2 -მდე გათბობისას;
- როდესაც სხეული სითბოს რაოდენობას იღებს, მისი შინაგანი ენერგია იზრდება და სითბოს რაოდენობა დადებითია. როდესაც სხეული სითბოს რაოდენობას გაცემს, მისი შინაგანი ენერგია მცირდება და სითბოს რაოდენობა უარყოფითია;
- სხეულის მასისა და მისი კუთრი სითბოტევადობის ნამრავლს სხეულის სითბოტევადობა ეწოდება, $C = cm$. სითბოტევადობა სხეულის მახასიათებელი სიდიდეა. მისი ერთეულია $1 \text{ ჯ/}^{\circ}\text{C}$.

საკონტროლო კითხვები:

1. რისი პროპორციულია მოცემული ნივთიერების ტემპერატურის ერთნაირად ზრდისას გადაცემული სითბოს რაოდენობა?
2. რისი პროპორციულია მოცემულ სხეულზე გადაცემული სითბოს რაოდენობა?
3. რას ნიშნავს, რომ წყლის კუთრი სითბოტევადობა $4200 \text{ ჯ/კგ} \cdot ^{\circ}\text{C}$ -ია?
4. გაზქურაზე ერთნაირი ალით აცხელებენ 1 კგ წყალს და 1 კგ რკინას. რომლის ტემპერატურა მოიმატებს უფრო სწრაფად? რატომ?
5. შენობას აქვს ერთნაირი ბეტონით ნაგები პატარა და დიდი კედელი, რომლის სითბოტევადობაა მეტი? კუთრი სითბოტევადობა?
6. წყალმა 20°C -დან 70°C -მდე გაცხელებისას 210000 ჯ სითბო მიიღო. სითბოს რა რაოდენობას გამოყოფს ის 70°C -დან 20°C -მდე გაცივებისას? 70°C -დან 45°C -მდე გაცივებისას?



ერთად ამოვხსნათ ამოცანა

$1000 \text{ ჯ/კგ} \cdot ^{\circ}\text{C}$ კუთრი სითბოტევადობისა და 20 კგ მასის სხეულის ტემპერატურამ Q სითბოს რაოდენობის გადაცემის შემდეგ 20°C -ით მოიმატა. რისი ტოლი გახდება $500 \text{ ჯ/კგ} \cdot ^{\circ}\text{C}$ კუთრი სითბოტევადობის მქონე, 10 კგ მასისა და 10°C ტემპერატურის სხეულის საბოლოო ტემპერატურა, თუ მას იმავე Q სითბოს რაოდენობას გადაცემთ?

მოც:

$$c_1 = 1000 \text{ ჯ/კგ} \cdot ^{\circ}\text{C};$$

$$m_1 = 20 \text{ კგ};$$

$$\Delta t_1 = 20^{\circ}\text{C};$$

$$c_2 = 500 \text{ ჯ/კგ} \cdot ^{\circ}\text{C};$$

$$m_2 = 10 \text{ კგ};$$

$$t_2 = 10^{\circ}\text{C}.$$

უ.ვ. t_3 .

ამოხსნა:

ჯერ გამოვთვალოთ პირველ სხეულზე გადაცემული Q სითბოს რაოდენობა: $Q = c_1 \cdot m_1 \cdot \Delta t_1 = 1000 \cdot 20 \cdot 20 = 4 \cdot 10^5 \text{ ჯ}$.

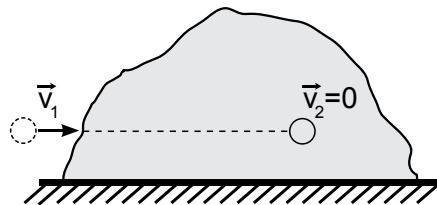
ვინაიდან მეორე სხეულს იგივე სითბოს რაოდენობა გადაეცემა, შეგვიძლია დაწვეროთ: $Q = c_2 \cdot m_2 \cdot (t_3 - t_2)$. რიცხვითი მნიშვნელობების შეტანით მივიღებთ: $t_3 = 90^{\circ}\text{C}$.

პასუხი: მეორე სხეული გათბება 90°C ტემპერატურამდე.



ამოხსენით ამოცანები:

1. განსაზღვრეთ 5 კგ მასის წყალზე გადაცემული სითბოს რაოდენობა, თუ იგი 15°C -დან 95°C -მდე გათბა.
2. განსაზღვრეთ ყინულის მასა, თუ მისი -40°C -დან 0°C -მდე გასათბობად 252 კჯ სითბოს რაოდენობაა საჭირო.
3. 5 კგ მასის სპილენძის საწონის 20°C -დან 30°C -მდე გასათბობად 19 კჯ სითბოს რაოდენობაა საჭირო. ამ მონაცემებით გასაზღვრეთ სპილენძის კუთრი სითბოტევადობა.
4. განსაზღვრეთ 8 კგ მასის ალუმინის სხეულის სითბოტევადობა.
5. რა ტემპერატურამდე იყო გახურებული 5 კგ მასის ტყვიის ნაჭერი, თუ 120 კჯ სითბოს რაოდენობის გაცემის შემდეგ მისი ტემპერატურა 25°C -გახდა?
6. რისი ტოლი გახდება 20°C -საწყისი ტემპერატურისა და $C = 1000 \text{ ჯ/}^{\circ}\text{C}$ სითბოტევადობის მქონე სხეულის საბოლოო ტემპერატურა, თუ მას 60 კჯ სითბოს რაოდენობას გადავცემთ?
7. 12 კჯ კინეტიკური ენერგიის მქონე 1 კგ მასის ტყვიის ბურთულა ეჯახება მიწის გროვას და რჩება მასში (სურ. 3. 53). რამდენი გრადუსით გათბება ბურთულა, თუ მისი კინეტიკური ენერგიის 50% ბურთულის გათბობას მოხმარდა.



სურ. 3.53

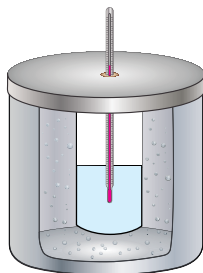
8. 40 მ/წმ სიჩქარით მოძრავი კალის წვრილი ბურთულა ხვდება ხეს და რჩება მასში. განსაზღვრეთ მისი ტემპერატურის ნამატი, თუ შეჯახებისას გამოყოფილი სითბოს რაოდენობა მთლიანად კალის გათბობას მოხმარდა.
9. 6,9 კმ სიმაღლიდან ვარდნას იწყებს ალუმინის ბურთულა, ეცემა მიწას და რჩება მასში. განსაზღვრეთ ბურთულის ტემპერატურის ნამატი, თუ მისი მექანიკური ენერგიის ნახევარი მის გათბობას მოხმარდა.
10. რკინის ძელაკს მიასრიალებენ ჰორიზონტალურ ზედაპირზე, მისი პარალელური ძალის მოქმედებით (სურ. 3.54). განსაზღვრეთ, რამდენი გრადუსით გათბება ძელაკი 920 მ მანძილზე სრიალისას, თუ ხახუნის კოეფიციენტი ძელაკსა და ზედაპირს შორის 0,4-ია. მიიჩნიეთ, რომ ხახუნის შედეგად გამოყოფილი სითბოს რაოდენობა მთლიანად ძელაკის გათბობას მოხმარდა.



სურ. 3.54

§ 3. 8 სითბური ბალანსის განტოლება (ლაბორატორიული სამუშაო)

სითბური პროცესების შესწავლისას ხშირად იყენებენ ხელსაწყოს, რომელსაც კალორიმეტრი ეწოდება. კალორიმეტრი მოწყობილია შემდეგნაირად: ჭიქის ფორმის ლითონის ჭურჭელში ჩადგმულია ისეთივე მცირე ზომის მეორე ჭურჭელი, რომელიც დევს პლასტმასის ქვესადგამზე. ჭურჭლები დახურულია და ერთმანეთისაგან გამოყოფილია ჰაერის ფენით (სურ. 3.55). ჰაერისა და პლასტმასის ცუდი თბოგამტარობის გამო შიდა ჭურჭელში მოთავსებული სხეულის სითბოცვლა გარემოსთან მინიმუმამდეა დაყვანილი. ეს საშუალებას იძლევა, რომ კალორიმეტრში მიმდინარე სითბოცვლის პროცესი თითქმის თბოიზოლირებული იყოს.



სურ. 3.55

ლაბორატორიული სამუშაო

სამუშაოს მიზანი: ენერგიის შენახვის კანონის შემოწმება სითბური პროცესებისას.

სამუშაოსთვის საჭიროა: კალორიმეტრი, მენზურა, თერმომეტრი, კოლბა.

სამუშაოს მსვლელობა:

- სამუშაო რვეულში წინასწარ დახაზეთ ცხრილი, რომლის ნიმუში ქვემოთაა მოცემული;
- ჩაასხხით კალორიმეტრში 150 მლ ცხელი წყალი, ხოლო კოლბაში – ამდენივე ცივი წყალი;
- თერმომეტრით გაზომეთ ცივი წყლის ტემპერატურა და ჩაწერეთ ცხრილში;
- ჩაახშიდან 2-3 წუთის შემდეგ კალორიმეტრში გაზომეთ ცხელი წყლის ტემპერატურა და ჩაწერეთ ცხრილში;
- ჩაასხით კოლბიდან ცივი წყალი კალორიმეტრში;
- კალორიმეტრში მიღებულ ნარევს ფრთხილად მოურიეთ თერმომეტრით და გაზომეთ მისი საბოლოო ტემპერატურა. მიღებული შედეგი ჩაწერეთ ცხრილში;
- გამოთვალეთ ცივი და ცხელი წყლის მასები: m_1 და m_2 ($\rho_{\text{წყ.}} = 1 \text{ გ/სმ}^3$, $1 \text{ მლ} = 1 \text{ სმ}^3$).

წყლის მასა, კგ		წყლის ტემპერატურა, °C		ნარევის საბოლოო ტემპერატურა t ₃	სითბოს რაოდენობა, ჯ	
ცივი m ₁	ცხელი m ₂	ცივი t ₁	ცხელი t ₂		მიღებული Q ₁	გაცემული Q ₂
		წ ი ბ ნ მ ი ა რ			ჩ ა ნ ე რ ო ტ !	

- $Q_1 = cm_1(t_3 - t_1)$ ფორმულით გამოთვალეთ სითბოს რაოდენობა, რომელიც მიიღო ცივმა წყალმა და ჩაწერეთ ცხრილში;

- $Q_2 = cm_2(t_3 - t_2)$ ფორმულით გამოთვალეთ სითბოს რაოდენობა, რომელიც გასცა ცხელმა წყალმა და ჩანერეთ ცხრილში:

- შეადარეთ ერთმანეთს მიღებული და გაცემული სითბოს რაოდენობების მოდულები და გამოიტანეთ დასკვნა.

სამუშაოს მსვლელობისას გვექონდა სხეულთა სისტემა – ცხელი და ცივი წყალი, რომელიც სხვა სხეულებიდან არც იღებდა და არც გასცემდა ენერგიას. ასეთ სისტემას იზოლირებული სისტემა ეწოდება. სისტემაში შემავალ სხეულთა შინაგანი ენერგიის შემცირება ან გაზრდა განპირობებული იყო მხოლოდ თბოგადაცემით: ცხელი წყლიდან ცივზე თბოგადაცემამ ცხელი წყლის შინაგანი ენერგია შეამცირა, ხოლო ცივი წყლისა – გაზარდა. ლაბორატორიული სამუშაოს ჩატარების შედეგიდან დაინახავთ, რომ ცივი წყლის მიერ მიღებული სითბოს რაოდენობა დაახლოებით ცხელი წყლის მიერ გაცემული სითბოს რაოდენობის ტოლია, რაც ენერგიის მუდმივობის კანონის დადასტურებაა (დაახლოებითი ტოლობა გამოწვეულია იმით, რომ კალორიმეტრიც მონაწილეობს სითბოცვლაში. ამიტომ ცდის დროს კალორიმეტრის სითბოტევადობა ბევრად ნაკლები უნდა იყოს ცივი და ცხელი წყლის სითბოტევადობებთან შედარებით). ვინაიდან Q_1 და Q_2 სითბოს რაოდენობები მოდულით ტოლია და საპირისპირო ნიშნები აქვს, ამიტომ $Q_1 + Q_2 = 0$.

განვაზოგადოთ მიღებული შედეგი. ვთქვათ, თბოიზოლირებულ სისტემაში თბოგადაცემის პროცესში მონაწილეობს $(m + k)$ რაოდენობის სხეული, რომელთაგან m რაოდენობის სხეული გასცემს სითბოს, k რაოდენობისა კი იღებს მას. გავიხსენოთ, რომ როდესაც სხეული იღებს სითბოს, სითბოს რაოდენობა დადებითია, ხოლო როდესაც სხეული გასცემს სითბოს, სითბოს რაოდენობა უარყოფითია. რადგან მიღებული და გაცემული სითბოს რაოდენობის მოდულები ტოლია, ამიტომ

$$Q_1^- + Q_2^- + \dots + Q_m^- + Q_1^+ + Q_2^+ + \dots + Q_k^+ = 0$$

რომელშიც Q^- -ით გაცემული სითბოს რაოდენობაა აღნიშნული, Q^+ -ით კი – მიღებული.

ამრიგად, **თუ იზოლირებულ სისტემაში შემავალ სხეულთა შინაგანი ენერგიები იცვლება მხოლოდ თბოგადაცემით, მათ მიერ გაცემული და მიღებული სითბოს რაოდენობების ჯამი ნულის ტოლია.**

თუ იზოლირებულ სისტემაში n რაოდენობის სხეულია, მაშინ

$$Q_1 + Q_2 + Q_3 + \dots + Q_n = 0$$

ამ ფორმულას **სითბური ბალანსის განტოლება ეწოდება.**

დასკვნები:

- კალორიმეტრი – ხელსაწყო, რომელშიც მოთავსებულ სხეულებს შორის მიმდინარე სითბოცვლა გარემოსაგან თბოიზოლირებულია;
- თბოიზოლირებული სისტემის სხეულებს შორის სითბოცვლისას, როცა მათი შინაგანი ენერგია მხოლოდ თბოგადაცემით იცვლება, გაცემული სითბოს რაოდენობების ჯამი მოდულით მიღებული სითბოს რაოდენობების ჯამის ტოლია;
- თბოიზოლირებულ სისტემაში შემავალი ყველა სხეულის მიერ მიღებული და გაცემული სითბოს რაოდენობების ჯამი ნულის ტოლია: $Q_1 + Q_2 + Q_3 + \dots + Q_n = 0$

საკონტროლო კითხვები:

1. რატომაა კალორიმეტრის შიდა ჭურჭელი გარეშე სხეულებისაგან თითქმის თბოიზოლირებული?
2. თუ ქარხნულად დამზადებული კალორიმეტრი არ გაქვთ, როგორ დაამზადებთ მას ლაბორატორიულ პირობებში?
3. შეიცვლებოდა თუ არა ცდის შედეგი, კალორიმეტრში ჯერ ცივი წყალი რომ ჩაგვესხა და მასზე კოლბიდან დაგვემატებინა ცხელი წყალი?
4. რატომ უნდა გავზომოთ ნარევის საბოლოო ტემპერატურა მორევის შემდეგ?
5. თუ ჩატარებულ ცდაში ცხელი წყლის მიერ გაცემული სითბოს რაოდენობა 8400 ჯ-ია, რისი ტოლი იქნება ცივი წყლის მიერ მიღებული სითბოს რაოდენობა?
6. რა პირობები უნდა შესრულდეს იმისათვის, რომ სითბური ბალანსის განტოლება მართებული იყოს?



ჯგუფური მუშაობა

სამუშაოს მიზანი: უცნობი ნივთიერებისაგან დამზადებული სხეულის კუთრი სითბოტევადობის განსაზღვრა.

სამუშაოსთვის საჭიროა: სასწორი, კალორიმეტრი, მენზურა, წყალი, თერმომეტრი, უცნობი ნივთიერებისგან დამზადებული სხეული, პინცეტი, სპირტქურა ან ელექტროქურა და ლითონის თასი.

სამუშაოს მსვლელობა: კალორიმეტრში მენზურით ჩაასხით 100 მლ მოცულობის ცივი წყალი და ჩაუშვით მასში თერმომეტრი. თერმომეტრის ჩვენება ჩაინიშნეთ რვეულში. სასწორით გაზომეთ უცნობი ნივთიერებისგან დამზადებული სხეულის მასა, ჩაუშვით სხეული წყლიან ლითონის თასში და დადგით ანთებულ სპირტქურაზე. როდესაც თასში წყალი ადუღდება, მასში ჩაშვებული სხეულის ტემპერატურა 100°C იქნება. პინცეტით ამოიღეთ სხეული თასიდან და ჩაუშვით კალორიმეტრში. დააკვირდით კალორიმეტრში ჩაშვებული თერმომეტრის ჩვენებას და ჩაინიშნეთ იმ მომენტში, როდესაც საბოლოო ტემპერატურა დამყარდება. მიღებული მონაცემებით განსაზღვრეთ უცნობი ნივთიერებისაგან დამზადებული სხეულის კუთრი სითბოტევადობა.



ერთად ამოვხსნათ ამოცანა

$1000 \text{ ჯ/კგ}^{\circ}\text{C}$ კუთრი სითბოტევადობისა და 10 კგ მასის სხეულის ტემპერატურა 80°C -ია. იგი ჩაუშვეს $4000 \text{ ჯ/კგ}^{\circ}\text{C}$ კუთრი სითბოტევადობის მქონე 20°C ტემპერატურისა და 40 კგ მასის სითხეში. განსაზღვრეთ მათი ტემპერატურა სითბური წონასწორობის დამყარების შემდეგ. სითბურ დანაკარგებს ნუ გაითვალისწინებთ.

ამოხსნა:

მოც:

$$c_1 = 1000 \text{ ჯ/კგ}^{\circ}\text{C};$$

$$m_1 = 10 \text{ კგ};$$

$$t_1 = 80^{\circ}\text{C};$$

$$c_2 = 4000 \text{ ჯ/კგ}^{\circ}\text{C};$$

$$m_2 = 40 \text{ კგ};$$

$$t_2 = 20^{\circ}\text{C}.$$

$$\text{უ.ვ. } \theta.$$

თუ დავაკვირდებით სხეულისა და სითხის საწყის ტემპერატურებს მივხვდებით, რომ სხეული გაცივდება, სითხე კი გათბება. ცხადია, რომ საბოლოო θ ტემპერატურა მეტი იქნება 20°C -ზე და ნაკლები 80°C -ზე. სითბოს რაოდენობა, რომელსაც სითხე მიიღებს ტოლი იქნება: $Q_2 = c_2 m_2 (\theta - t_2)$. სითბოს რაოდენობა, რომელსაც სხეული გაცემს $Q_1 = c_1 m_1 (\theta - t_1)$. Q_1 გაცემული სითბოა, იგი უარყოფითია, რადგან $\theta < t_1$, ხოლო Q_2 მიღებული სითბოა. რადგან $\theta > t_2$, იგი დადებითა. სითბური ბალანსის განტოლების თანახმად $Q_1 + Q_2 = 0$. $c_1 m_1 (\theta - t_1) + c_2 m_2 (\theta - t_2) = 0$. გავხსნათ ფრჩხილები:

$$c_1 m_1 \theta - c_1 m_1 t_1 + c_2 m_2 \theta - c_2 m_2 t_2 = 0 \Leftrightarrow c_1 m_1 \theta + c_2 m_2 \theta = c_1 m_1 t_1 + c_2 m_2 t_2 \Leftrightarrow \theta (c_1 \cdot m_1 + c_2 \cdot m_2) = c_1 m_1 t_1 + c_2 m_2 t_2 \Rightarrow \theta = \frac{(c_1 m_1 t_1 + c_2 m_2 t_2)}{(c_1 m_1 + c_2 m_2)}.$$

რიცხვითი მნიშვნელობების ჩასმით მივიღებთ: $\theta = 32^\circ\text{C}$.



ამოხსენით ამოცანები:

1. 5 კგ მასისა და 30°C ტემპერატურის წყალში ჩაასხეს 7 კგ მასისა და 60°C ტემპერატურის წყალი. განსაზღვრეთ ნარევის საბოლოო ტემპერატურა. სითბურ დანაკარგებს ნუ გაითვალისწინებთ.

2. 100°C სითბოტევადობისა და 25°C ტემპერატურის სხეული ჩაუშვეს 150°C სითბოტევადობისა და 75°C ტემპერატურის სითხეში. განსაზღვრეთ მათი ტემპერატურა სითბური წონასწორობის დამყარების შემდეგ. სითბურ დანაკარგებს ნუ გაითვალისწინებთ.

3. განსაზღვრეთ, რა ტემპერატურამდე იყო გახურებული 2 კგ მასის ალუმინის საწონი, თუ მისი 4,6 კგ მასისა და 28°C ტემპერატურის წყალში ჩაშვების შემდეგ დამყარდა 30°C საბოლოო ტემპერატურა. სითბურ დანაკარგებს ნუ გაითვალისწინებთ.

4. 500°C ტემპერატურის სპილენძის საწონი ჩაუშვეს მასზე ორჯერ მეტი მასის წყალში. განსაზღვრეთ წყლის საწყისი ტემპერატურა, თუ სითბური წონასწორობის დამყარების შემდეგ მათი ტემპერატურა 80°C გახდა. სითბურ დანაკარგებს ნუ გაითვალისწინებთ.

5. 200 ლ ტევადობის კასრი გაავსეს 40°C ტემპერატურის მქონე თბილი და 60°C ტემპერატურის მქონე ცხელი წყლით. განსაზღვრეთ თბილი და ცხელი წყლის მასათა შეფარდება, თუ ნარევის საბოლოო ტემპერატურა 48°C აღმოჩნდა. წყლის სითბურ დანაკარგებს ნუ გაითვალისწინებთ.

6. 120°C ტემპერატურის მქონე სხეული ჩაუშვეს 40°C ტემპერატურის სითხეში. განსაზღვრეთ სხეულისა და სითხის სითბოტევადობების შეფარდება, თუ სითბური წონასწორობის დამყარების შემდეგ მათი ტემპერატურა 70°C გახდა. სითბურ დანაკარგებს ნუ გაითვალისწინებთ.

7. C სითბოტევადობის მქონე სითხეში ჩაუშვეს 3C სითბოტევადობის მქონე 60°C -იანი ბურთულა და 4C სითბოტევადობის მქონე 90°C -იანი კუბიკი. განსაზღვრეთ სითხის საწყისი ტემპერატურა, თუ სითბური წონასწორობის დამყარების შემდეგ მათი ტემპერატურა $72,5^\circ\text{C}$ გახდა. სითბურ დანაკარგებს ნუ გაითვალისწინებთ.

8. 1 კგ მასის ალუმინის ქვებისა და მასში ჩასხმული 9,2 კგ მასის წყლის ტემპერატურა 15°C -ია. წყალში ჩაუშვეს 10 კგ მასისა და 121°C ტემპერატურის მქონე ალუმინის ბურთულა. განსაზღვრეთ მათი ტემპერატურა სითბური წონასწორობის დამყარების შემდეგ. სითბურ დანაკარგებს ნუ გაითვალისწინებთ.

9. 1 კგ მასის სპილენძის ქვებისა და მასში ჩასხმული 3,8 ლ მოცულობის წყლის ტემპერატურაა 40°C . რა ტემპერატურის 2 კგ მასის სპილენძის სხეული უნდა ჩაუშვათ წყალში, რომ სითბური წონასწორობის დამყარების შემდეგ ტემპერატურა 50°C გახდეს? სითბურ დანაკარგებს ნუ გაითვალისწინებთ.

10. 10°C ტემპერატურის მქონე წყალში 40°C -იანი ერთი ბურთულის ჩაშვების შემდეგ საბოლოო ტემპერატურა 30°C გახდა. რისი ტოლი იქნებოდა საბოლოო ტემპერატურა იმ შემთხვევაში, თუ იმავე წყალში ერთის ნაცვლად 7 ისეთივე ბურთულას ჩაუშვებდით? სითბურ დანაკარგებს ნუ გაითვალისწინებთ.

§ 3.9 საწვავის წვის კუთრი სითბო

თანამედროვე ადამიანის ცხოვრება წარმოუდგენელია ელექტროგანათების, სხვადასხვა ხელსაწყო, საყოფაცხოვრებო ტექნიკისა და სატრანსპორტო საშუალებების გარეშე. მათი მუშაობისათვის საჭიროა ენერგია, რომელსაც მეტწილად იღებენ ქიმიური რეაქციის – წვის შედეგად. რას წარმოადგენს წვის რეაქცია?

თქვენ იცით, რომ მოლეკულა შედგება ატომებისაგან. იგი საკმაოდ მდგრადი სისტემაა და ამიტომ ატომებად დასაშლელად საჭიროა ენერგიის დახარჯვა. სამაგიეროდ, ატომებისაგან მოლეკულის წარმოქმნისას ენერგია გამოიყოფა. მაგალითად, ნახშირბადი, რომელიც მრავალი ნივთიერების შედგენილობაში შედის, ჟანგბადის ორი ატომის მიერთებისას წარმოქმნის ნახშირორჟანგის მოლეკულას (CO_2). სწორედ ამ პროცესში გამოიყოფა სითბო.

ცხადია, რომ სხვადასხვა ნივთიერების წვისას განსხვავებული სითბოს რაოდენობა გამოიყოფა. **მაღალი სითბოწარმოქმნელი უნარის მქონე ნივთიერებებს საწვავს უწოდებენ.**

დღესდღეობით კაცობრიობა საწვავად, ძირითადად, იყენებს სასარგებლო წიაღისეულს: ქვანახშირს, ტორფს, ნავთობპროდუქტებს (ბენზინი, დიზელის საწვავი, მაზუთი), ბუნებრივ აირს და სხვ. წვის შედეგად ისინი გამოყოფს სითბურ ენერგიას. სასარგებლო წიაღისეულში „შენახულია“ მზის გამოსხივების ენერგია, რომელიც ძალიან დიდი ხნის წინ შთანთქა ამ წიაღისეულის წარმოქმნელმა მცენარეებმა.

საწვავი შეიძლება იყოს: მყარი (ქვანახშირი, შუშა, ტორფი), თხევადი (ბენზინი, მაზუთი, დიზელის საწვავი, ნავთი, სპირტი), აირადი (მეთანი, პროპანი, აცეტილენი).

სითბური პროცესების რაოდენობრივი აღწერისათვის საჭიროა ვიცოდეთ, სითბოს რა რაოდენობა გამოიყოფა საწვავის დაწვის შედეგად. ამისათვის, პირველ რიგში, უნდა განვსაზღვროთ სითბოს რაოდენობა, რომელიც გამოიყოფა 1 კგ საწვავის დაწვისას. ეს სიდიდე სხვადასხვა საწვავისათვის ნაპოვია ექსპერიმენტულად. მაგალითად, 1 კგ მშრალი შუმის დაწვისას გამოიყოფა დაახლოებით 10000 კჯ სითბოს რაოდენობა. შესაბამისად, 2 კგ-ის დაწვისას გამოიყოფა 2-ჯერ მეტი: $2 \cdot 10000 \text{ კჯ} = 20000 \text{ კჯ}$, ხოლო რაიმე m კილოგრამის დაწვისას – m -ჯერ მეტი.

სიდიდეს, რომელიც გვიჩვენებს 1 კგ მასის საწვავის დაწვისას გამოყოფილ სითბოს რაოდენობას, საწვავის წვის კუთრი სითბოს უწოდებენ.

საწვავის წვის კუთრი სითბოს აღნიშნავენ q ასოთი.

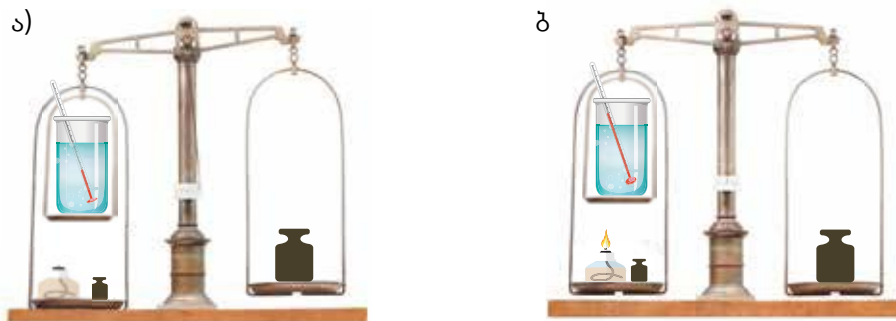
თუ m კგ მასის საწვავის დაწვისას გამოყოფილ სითბოს რაოდენობას აღვნიშნავთ Q -თი, მაშინ

$$Q = qm$$

ამ ფორმულიდან ჩანს, რომ SI-ში საწვავის წვის კუთრი სითბოს განზომილებაა **ჯ/კგ.**

როგორ დავადგინოთ საწვავის, ვთქვათ, სპირტის წვის კუთრი სითბოს რიცხვითი მნიშვნელობა ცდით? ამისათვის სასწორის მარცხენა პინაზე დავდოთ სპირტით სავსე სპირტქურა. სპირტქურის ზემოთ დავკიდოთ ჭურჭელი, რომელშიც გარკვეული მასის წყალი ასხია. თერმომეტრით გავზომოთ მისი საწყისი ტემპერატურა. სასწორი გავანონახსწოროთ. შემდეგ მარცხენა პინაზე დავამატოთ 1 გ მასის საწვავი. სასწორის წონასწორობა დაირღვევა (სურ. 56 ა). ავანთოთ სპირტქურა. სპირტის დაწვის შედეგად მისი მასა დაიწყებს შემცირებას, ამიტომ გარკვეული დროის შემდეგ სასწორის წონასწორობა აღდგება, რაც ნიშნავს, რომ დაიწვა 1 გ მასის სპირტი (სურ. 56 ბ). ჩავაქროთ სპირტქურა და გავზომოთ წყლის საბოლოო ტემპერატურა. $Q_1 = cm(t_2 - t_1)$ ფორმულით გამოვთვალოთ წყლის მიერ მიღებული სითბოს რაოდენობა (ამ ფორმულაში c წყლის კუთრი სითბოტე-

ვადობაა, m – წყლის მასა, t_1 და t_2 – შესაბამისად, წყლის საწყისი და საბოლოო ტემპერატურებია). სპირტის დანვის შედეგად გამოიყოფა $Q_2 = q \cdot 0,001$ სითბოს რაოდენობა. მივიჩნიოთ, რომ სითბოს ეს რაოდენობა მთლიანად გადაეცა წყალს, მაშინ $Q_1 = Q_2$, ანუ $cm(t_2 - t_1) = q \cdot 0,001$, საიდანაც გამოვითვლით სპირტის წვის კუთრ სითბოს – q -ს.



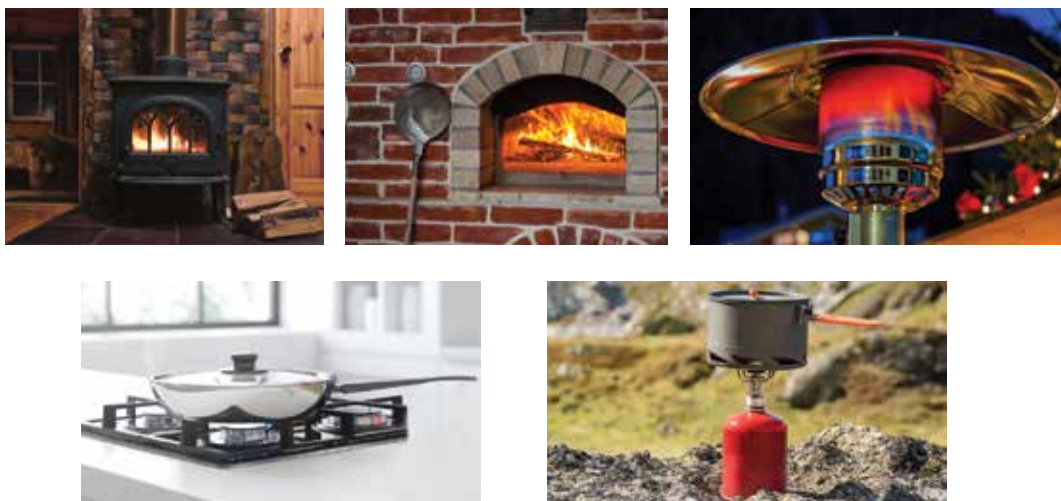
სურ. 3.56

თუ ცდას ნავთისთვის გავიმეორებთ, გამოვითვლით ნავთის წვის კუთრ სითბოს.

საწვავის წვისათვის გამოიყენება სხვადასხვა სახურებელი: აგურის, თუნუქისა და თუჯის ღუმლები, გაზქურა, პრიმუსი, სპირტქურა და სხვ. (სურ. 3.57), მაგრამ ყველაზე თანამედროვე სახურებლის გამოყენებითაც კი შეუძლებელია საწვავში „დაგროვებული“ ენერგიის სრულად გამოყენება. ამას ორი მიზეზი აქვს: რეალურ პირობებში არც ერთ საწვავს არ შეუძლია სრული დანვა და წვის დროს გამოყოფილი ენერგიის გარკვეული ნაწილი „უსარგებლოდ“ იკარგება, იხარჯება გარემოს გათბობაზე, იფანტება წვის პროდუქტებთან ერთად და ა.შ. მაგალითად, გაზქურაზე ჩაიდნით წყლის გაცხელებისას, სასარგებლოა მხოლოდ წყლის გათბობაზე დახარჯული სითბოს რაოდენობა, ხოლო მასთან ერთად ჩაიდნისა და გარემოს გათბობაზე დახარჯული სითბოს რაოდენობა კი – სრული. ამიტომ ყველა სახურებელს გააჩნია თავისი მარგი ქმედების კოეფიციენტი:

$$\eta = \frac{Q_{\text{სას}}}{Q_{\text{სრ}}} \cdot 100\%$$

რომელშიც $Q_{\text{სას}}$ სასარგებლოდ გამოყენებული სითბოს რაოდენობაა, $Q_{\text{სრ}}$ – სრული სითბოს რაოდენობა, რომელიც გამოიყოფა საწვავის დანვისას.



სურ. 3.57

ცხრილში მოყვანილია ზოგიერთი საწვავის წვის კუთრი სითბო

ნივთიერება	q, მგჯ/კგ	ნივთიერება	q, მგჯ/კგ
დენთი	3,8	ხის ნახშირი	34
მშრალი შეშა	10	ბუნებრივი აირი	44
ტუფი	14	ნავთობი	44
ქვანახშირი	27	ბენზინი	46
სპირტი	27	ნავთი	46
ანტრაციტი	38	წყალბადი	120

დასკვნები:

- საწვავის წვა ქიმიური რეაქციაა, რომლის დროსაც გამოიყოფა სითბოს რაოდენობა;
- სიდიდეს, რომელიც გვიჩვენებს 1 კგ მასის საწვავის დაწვისას გამოყოფილ სითბოს რაოდენობას, საწვავის წვის კუთრ სითბოს უწოდებენ და აღნიშნავენ q -თი;
- საწვავის წვის კუთრი სითბოს იზომება ჯ/კგ-ში;
- m მასის საწვავის დაწვისას გამოიყოფა $Q = qm$ სითბოს რაოდენობა;
- სახურებლის მარგი ქმედების კოეფიციენტი გამოითვლება ფორმულით:

$$\eta = \frac{Q_{\text{სას}}}{Q_{\text{სრ}}} \cdot 100\%.$$

საკონტროლო კითხვები:

1. რატომ გამოიყოფა ენერგია საწვავის წვისას?
2. როგორი სახის საწვაე არსებობს?
3. რატომაა საჭირო ვიცოდეთ 1 კგ მასის საწვავის დაწვისას გამოყოფილი სითბოს რაოდენობა?
4. რას ნიშნავს, რომ ბენზინის წვის კუთრი სითბო 46 მგჯ/კგ-ია?
5. როგორ შეიძლება საწვავის წვის კუთრი სითბოს დადგენა?
6. რას უწოდებენ სახურებელს?
7. რატომაა სახურებლის მარგი ქმედების კოეფიციენტი 100%-ზე ნაკლები?



ერთად ამოვხსნათ ამოცანა

სპირტქურის ალზე აცხელებენ $3000 \text{ ჯ/კგ}^{\circ}\text{C}$ კუთრი სითბოტევადობის მქონე სხეულს, რომლის ტემპერატურა 20°C -ია. 200 გ მასის სპირტის დაწვის შემდეგ სხეულის ტემპერატურა 320°C გახდა. განსაზღვრეთ: ა) სხეულის მასა; ბ) სხეულის ტემპერატურა კიდევ 100 გ მასის სპირტის დაწვის შემდეგ. მიიჩნიეთ, რომ სპირტის დაწვის დროს გამოყოფილი სითბოს რაოდენობის ნახევარი სხეულს გადაეცემა.

ამოხსნა:

მოც:

$c=3000 \text{ ჯ/კგ}^{\circ}\text{C}$;

$t_1=20^{\circ}\text{C}$;

$t_2=320^{\circ}\text{C}$;

$q=27 \cdot 10^6 \text{ ჯ/კგ}$;

$m_1=200 \text{ გ}$;

$m_2=100 \text{ გ}$;

უ.ვ. m , t_3 .

ა) გამოვთვალოთ $m_1=200 \text{ გ}$ მასის სპირტის დაწვისას გამოყოფილი სითბოს რაოდენობა: $Q_1 = qm_1 = 27 \cdot 10^6 \cdot 0,2 = 54 \cdot 10^5 \text{ (ჯ)}$. სხეულის 20°C -დან 320°C -მდე გასათბობად საჭირო სითბოს რაოდენობა:

$Q_2 = cm(t_2 - t_1) = 3000 \cdot m \cdot 300 = 9 \cdot 10^5 \cdot m$. ამოცანის პირობის თანახმად

$Q_2 = \frac{Q_1}{2} \Rightarrow Q_1 = 2Q_2$. ე.ი. $54 \cdot 10^5 = 2 \cdot 9 \cdot 10^5 \cdot m \Rightarrow m = 3 \text{ კგ}$.

ბ) 100 გ მასის სპირტის დაწვის დროს გამოიყოფა $Q_1 = qm_2$ სითბოს რაოდენობა. მისი ნახევარი ხმარდება სხეულის t_2 -დან t_3 -მდე

გათბობას, ამიტომ $qm_2 = 2 \cdot cm(t_3 - t_2)$. რიცხვითი მნიშვნელობების შეტანით მივიღებთ: $t_3 - t_2 = 150^{\circ}\text{C}$, აქედან $t_3 = 470^{\circ}\text{C}$.



ამოხსენით ამოცანები:

1. განსაზღვრეთ 3 კგ მასის ბენზინის დაწვისას გამოყოფილი სითბოს რაოდენობა.
2. რა მასის სპირტი უნდა დაიწვას, რომ გამოიყოს $54 \cdot 10^6 \text{ ჯ}$ სითბოს რაოდენობა?
3. რა მასის ნავთი უნდა დაიწვას, რომ გამოიყოს იმდენივე სითბოს რაოდენობა, რამდენიც გამოიყოფა 460 კგ მასის მშრალი შეშის დაწვისას?

4. რამდენით გაიზრდება 50 კგ მასის ფოლადის სხეულის ტემპერატურა, თუ მას სრულად გადაეცემა $0,2 \text{ კგ}$ მასის ნავთის დაწვისას გამოყოფილი სითბოს რაოდენობა?

5. სურ. 3.58-ზე გამოსახული ორი ერთნაირი ღუმელიდან რომლის მარგი ქმედების კოეფიციენტი იქნება უფრო მეტი? პასუხი დაასაბუთეთ.

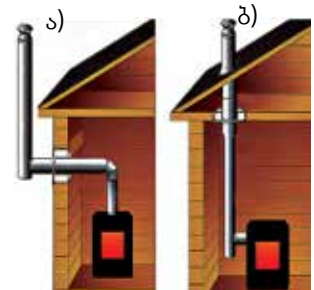
6. განსაზღვრეთ 20°C ტემპერატურის მქონე 10 კგ მასის სპილენძის სხეულის საბოლოო ტემპერატურა, თუ მას მთლიანად გადაეცა 50 გ მასის ანტრაციტის დაწვისას გამოყოფილი სითბოს რაოდენობა.

7. განსაზღვრეთ სპირტქურის მარგი ქმედების კოეფიციენტი, თუ მასზე $10,8 \text{ კგ}$ მასის ალუმინის 100°C -ით გაცხელებას 100 გ მასის სპირტის დაწვა დასჭირდა.

8. 15°C ტემპერატურის მქონე სამი 6 კილოგრამიანი აგური დევს ღუმელზე. რისი ტოლი გახდება აგურების ტემპერატურა, თუ ღუმელში 500 გრამი მასის ქვანახშირის დაწვავთ? მიიჩნიეთ, რომ ქვანახშირის დაწვისას გამოყოფილი სითბოს რაოდენობის 20% აგურების გათბობას ხმარდება.

9. $14,5 \text{ კგ}$ მასის წყალი 2 კგ მასის თუჯის ქვაბით დადგმულია შეშის ღუმელზე. წყლისა და ქვაბის ტემპერატურა 20°C -ია. რისი ტოლი გახდება წყლის ტემპერატურა $1,55 \text{ კგ}$ მასის მშრალი შეშის დაწვის შემდეგ, თუ გამოყოფილი სითბოს რაოდენობის 20% წყლისა და ქვაბის გათბობას მოხმარდა?

10. 4 კგ -იან ალუმინის ქვაბში ასხია $18,4 \text{ დმ}^3$ მოცულობის წყალი. ქვაბი დადგეს ნავთქურაზე. განსაზღვრეთ 200 მლ ნავთის დაწვისას გამოყოფილი ენერგიის რა ნაწილი მოხმარდა წყლისა და ქვაბის გათბობას, თუ მათი ტემპერატურა 30°C -ით გაიზარდა.



სურ. 3.58

§ 3. 10 დნობა და გამყარება

როგორც ცნობილია, ერთი და იგივე ნივთიერება გარკვეულ პირობებში შეიძლება იყოს განსხვავებულ აგრეგატულ მდგომარეობაში – მყარში, თხევადში ან აირადში. ჩვეულებრივ პირობებში მინა, გრანიტი, რკინა მყარი სხეულებია; ნავთი, აცეტონი, წყალი – სითხეებია; აზოტი, წყალბადი, ჟანგბადი აირებია. ამავე დროს, ფიზიკური პირობების, კერძოდ, ტემპერატურის შეცვლამ, შეიძლება გამოიწვიოს ნივთიერების თვისებების ცვლილება: მყარი სხეულები გარდაიქმნას სითხეებად, ხოლო სითხეები – აირებად; და პირიქით, აირები გარდაიქმნას სითხეებად, ხოლო სითხეები – მყარ სხეულებად.

ბუნებაში ნივთიერებათა აგრეგატული მდგომარეობების შეცვლა უწყვეტად მიმდინარეობს. მაგალითად, ოკეანეების, ზღვების, ტბებისა და მდინარეების ზედაპირიდან მუდმივად ორთქლდება წყალი, წყლის ორთქლის გაცივებისას წარმოიქმნება ღრუბლები, ნამი, ნისლი, წვიმა. ზამთარში თოვს, ზოგიერთი მდინარე და ტბა იყინება, გაზაფხულზე კი თოვლი და ყინული დნება (სურ. 3.59).



სურ. 3. 59

აგრეგატული მდგომარეობის ცვლილებას ადამიანი ფართოდ იყენებს პრაქტიკაში. წყლის გაცივებისას მიღებული ორთქლი გამოიყენება თბოელექტროსადგურებში ტურბინის დასატრიალებლად. გათხევადებულ აირს იყენებენ სამაცივრო დანადგარებში. თხევადი აზოტი და ჰელიუმი ფართოდ გამოიყენება სამეცნიერო ლაბორატორიებში.

იმისათვის, რომ ბუნებაში მიმდინარე პროცესები კარგად გავიგოთ და შევძლოთ ანალოგიური პროცესების მართვა, საჭიროა ვიცოდეთ, რა პირობებში გადადის ნივთიერება ერთი აგრეგატული მდგომარეობიდან მეორეში.

ჯერ განვიხილოთ ნივთიერების მყარი მდგომარეობიდან თხევად მდგომარეობაში, და პირიქით, თხევადიდან მყარში გადასვლის პროცესები. შევისწავლოთ ისინი ცდით:

 ქიქაში მოვათავსოთ ყინულის ნაჭრები საყინულიდან. ჩავუშვათ ქიქაში თერმომეტრი და გავზომოთ ყინულის ტემპერატურა. ვთქვათ, ის -20°C -ია. დავინწყოთ ყინულის გათბობა სახურებლით, რომელიც სითბოს რაოდენობას დროის მიხედვით თანაბრად გამოყოფს. ყინულის მოლეკულების კინეტიკური ენერგია და, შესაბამისად, ტემპერატურა დაიწყებს ზრდას, ესე იგი, მოიმატებს ყინულის შინაგანი ენერგია.

დროის განმავლობაში ტემპერატურის ცვლილება გამოვსახოთ გრაფიკულად (სურ. 3.60). მასზე **AB** უბანი შეესაბამება ყინულის გათბობის პროცესს -20°C -დან 0°C -მდე. ვთქვათ, ამ დროს ყინულმა მიიღო **Q**, სითბოს რაოდენობა. 0°C -იანი ყინულისათვის სითბოს გადაცემის გაგრძელებისას მისი ტემპერატურა გარკვეული დროის განმავლობაში მუდმივი დარჩება (**BC** უბანი). დაკვირვება გვიჩვენებს, რომ ამ დროს ყინული თანდათან დნება და წარმოიქმნება წყალი. ეს პროცესი გაგრძელდება მანამ, სანამ ყინული მთლიანად გადნება.

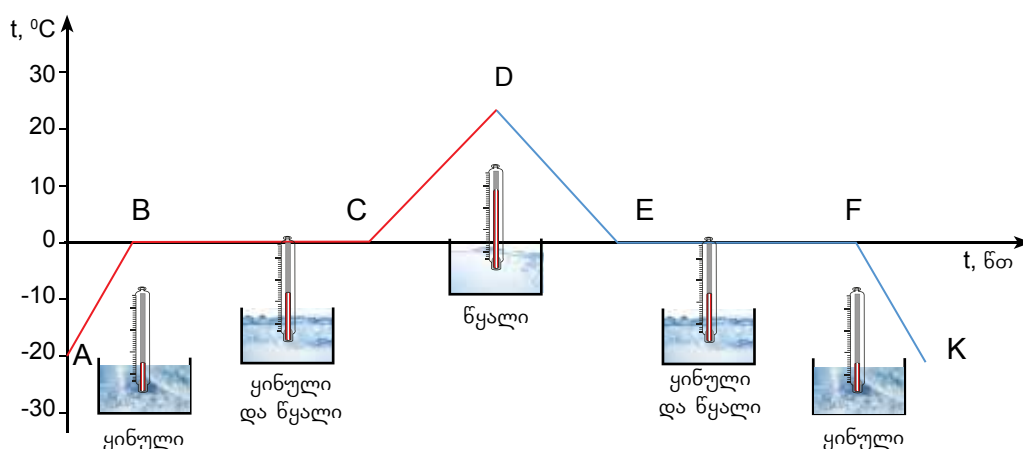
ნივთიერების მყარი მდგომარეობიდან თხევად მდგომარეობაში გადასვლის პროცესს დნობა ეწოდება.

ტემპერატურას, რომელზეც ნივთიერება გადადის მყარი მდგომარეობიდან თხევადში, დნობის ტემპერატურა ეწოდება.

დავუშვათ, დნობის პროცესში ყინულის მიერ მიღებული სითბოს რაოდენობაა Q_2 . რაზე იხარჯება სითბოს ეს რაოდენობა, თუ ტემპერატურა უცვლელია?

გავიხსენოთ, რომ ყინულს კრისტალური აგებულება აქვს. რადგან დნობისას ტემპერატურა მუდმივი რჩება, ეს ნიშნავს, რომ მოლეკულების კინეტიკური ენერგია არ იზრდება. სახურებლიდან მიღებული სითბოს რაოდენობა ხმარდება ნაწილაკების ურთიერთქმედების პოტენციალური ენერგიის ზრდას და ნივთიერების კრისტალური მესრის დაშლას.

ვინაიდან სხვადასხვა მყარი ნივთიერების კრისტალურ მესერში ნაწილაკების ურთიერთქმედების ენერგია ერთმანეთისგან განსხვავდება, ამიტომ განსხვავებულია მათი დნობის ტემპერატურაც.



სურ. 3. 60

ცხრილში მოცემულია სხვადასხვა ნივთიერების დნობის ტემპერატურა, რომელიც დადგენილია ცდით:

ნივთიერება	დნობის ტემპერატურა $t, ^\circ\text{C}$	ნივთიერება	დნობის ტემპერატურა $t, ^\circ\text{C}$
ვოლფრამი	3387	ტყვია	327
პლატინა	1772	კალა	232
რკინა	1539	ყინული	0
ფოლადი	1500	ვერცხლისწყალი	-39
სპილენძი	1085	სპირტი	-114
ოქრო	1064	აზოტი	-210
ვერცხლი	962	ჟანგბადი	-219
ალუმინი	660	წყალბადი	-259

აქ მოცემული დნობის ტემპერატურები, გაზომილია ნორმალური ატმოსფერული წნევის პირობებში, რადგანაც უმეტესი ნივთიერებისათვის დნობის ტემპერატურა იზრდება წნევის ზრდისას. ყინულსა და წყალს ამ მხრივაც განსხვავებული თვისება აქვს – წნევის ზრდისას ყინულის დნობის ტემპერატურა მცირდება.

გავაგრძელოთ ჭიქაზე სითბოს გადაცემა. როგორც კი ყინული მთლიანად გადნება, წყლის ტემპერატურა ჭიქაში 0°C -დან დაიწყებს მატებას. ამ პროცესს გრაფიკზე CD უბანი შეესაბამება. ამ დროს წყლის მიერ მიღებული სითბოს რაოდენობა აღვნიშნოთ Q_3 -ით. ყველა განხილულ პროცესში ჯერ ყინული, შემდეგ კი წყალი სითბოს იღებდა.

გამოვრთოთ სახურებელი და ჭიქა შევდგათ საყინულეში. პერიოდულად ვზომოთ ტემპერატურა და დავაკვირდეთ ნივთიერების მდგომარეობას. წყალი თანდათან გაცივდება 0°C -მდე – უბანი DE. ამ პროცესში ის გასცემს სითბოს რაოდენობას, რომელიც მოდულით Q_3 -ის ტოლია. შემდეგ ჭიქაში დაიწყება ყინულის წარმოქმნა, ანუ წყლის გამყარება – კრისტალიზაცია, რომელიც მუდმივ 0°C ტემპერატურაზე მიმდინარეობს (EF უბანი). კრისტალიზაციის პროცესში გამოიყოფა სითბოს რაოდენობა, რომელიც მოდულით Q_2 -ის ტოლია.

თხევადი მდგომარეობიდან მყარ მდგომარეობაში გადასვლის პროცესს გამყარება ანუ კრისტალიზაცია ეწოდება.

როცა წყალი მთლიანად გაიყინება, მისი ტემპერატურა დაიწყებს კლებას და -20°C -მდე გაცივებისას (FK უბანი) გამოიყოფა სითბოს რაოდენობა, რომელიც მოდულით Q_4 -ის ტოლია.

მიაქციეთ ყურადღება, რომ ნივთიერების დნობისა და კრისტალიზაციის ტემპერატურა ერთმანეთის ტოლია.

„დნობის ტემპერატურის“ და „კრისტალიზაციის ტემპერატურის“ ცნებებს ყველა ნივთიერებისათვის ვერ გამოვიყენებთ. ცივი, მაგარი პლასტილინის ხელით გათბობისას შევამჩნევთ, რომ ის ნელ-ნელა რბილდება. თუ გავაგრძელებთ პლასტილინის გათბობას, ის შეიძლება ვაქციოთ ბლანტ სითხედ, მაგრამ განსაზღვრულ დნობის ტემპერატურას ვერ დავაფიქსირებთ. ასევე იქცევა გახურებისას, მაგალითად, მინა. გავიხსენოთ, რომ პლასტილინი და მინა ამორფული ნივთიერებებია, რომელთა ნაწილაკები მოუწესრიგებლადაა განლაგებული.

მაშასადამე, „დნობის ტემპერატურის“ და „კრისტალიზაციის ტემპერატურის“ ცნებები გამოიყენება მხოლოდ კრისტალური ნივთიერებებისათვის.

ტექნიკაში ნივთიერების დნობის ტემპერატურის ცოდნა აუცილებელია. სახურებლები, სადაც სანავი იწვის, უნდა დამზადდეს მაღალი დნობის ტემპერატურის მქონე ნივთიერებებისაგან. ხახუნის გამო ძალიან ცხელდება მანქანის სამუხრუჭე ხუნდები, დიდი სიჩქარით მოძრავი ობიექტები (სამხედრო თვითმფრინავები, რაკეტები) და სხვა. ამიტომ მათი დამზადებისას გასათვალისწინებელია გამოყენებული მასალის დნობის ტემპერატურა.



დაფიქრდით: გამოგვადგება თუ არა ვერცხლისწყლიანი თერმომეტრი ანტარქტიდაში ჰაერის ტემპერატურის გასაზომად?

დასკვნები:

- ნივთიერების მყარი მდგომარეობიდან თხევად მდგომარეობაში გადასვლის პროცესს დნობა ეწოდება, საპირისპირო პროცესს კი – გამყარება;
- მყარი კრისტალური ნივთიერება დნება მკაცრად განსაზღვრულ ტემპერატურაზე, რომელსაც დნობის ტემპერატურა ეწოდება;
- დამდნარი კრისტალური ნივთიერება მყარდება მკაცრად განსაზღვრულ ტემპერატურაზე, რომელსაც კრისტალიზაციის ტემპერატურა ეწოდება;

- ნივთიერების დნობისა და კრისტალიზაციის ტემპერატურები ტოლია;
- კრისტალურ ნივთიერებებს დნობის (კრისტალიზაციის) განსხვავებული ტემპერატურა აქვს;
- დნობისა და კრისტალიზაციის პროცესში ნივთიერების ტემპერატურა არ იცვლება;
- ამორფულ სხეულებს დნობის (გამყარების) განსაზღვრული ტემპერატურა არ აქვს;
- დნობის პროცესში ნივთიერება სითბოს შთანთქავს, გამყარებისას კი – გამოყოფს.

საკონტროლო კითხვები:

1. რას ხმარდება კრისტალური სხეულის დნობის პროცესში მასზე გადაცემული სითბოს რაოდენობა?
2. ალბათ შეგინიშნავთ, თოვისას ჩამოთბება ხოლმე. როგორ ახსნით ამას?
3. ზამთარში, ძლიერი ყინვისას, ბელურები ხეებზე ჯდომას წყალსატევის გაყინულ ზედაპირზე ყოფნას ამჯობინებენ. რატომ?
4. რატომ ამზადებენ ვარვარების ნათურის ძაფს ვოლფრამისაგან?
5. შეიძლება თუ არა ტყვია გავადნოთ კალისაგან დამზადებულ ჭურჭელში?



ამოხსენით ამოცანები:

1. ჭურჭელში გვაქვს სითბურ წონასწორობაში მყოფი წყლისა და ყინულის ნარევი. რისი ტოლია ნარევის ტემპერატურა?
2. შესაძლებლად მიგაჩნიათ თუ არა, რომ ერთი და იგივე ნივთიერება მყარ და თხევად მდგომარეობაში ერთმანეთთან სითბურ წონასწორობაში იყოს, როდესაც მათი ტემპერატურები სხვადასხვაა?
3. შესაძლებლად მიგაჩნიათ თუ არა ალუმინის ქვაბში ჩაყრილი სპილენძის მავთულის ნაჭრების გადნობა? ფოლადის ქვაბში ალუმინის ნაჭრების გადნობა?
4. ტყვიის ნაჭრის ტემპერატურა 320°C -დან 327°C -მდე გაზარდეს. როგორ შეიცვალა ტყვიის შემადგენელი ნაწილაკების ქაოსურად მოძრაობის კინეტიკური ენერგია?
5. 1500°C ტემპერატურის ფოლადის ნაჭერს გადასცეს სითბოს რაოდენობა და მთლიანად გადნა. როგორ შეიცვალა:
 - ა) ფოლადის შემადგენელი ნაწილაკების ქაოსურად მოძრაობის კინეტიკური ენერგია?
 - ბ) ფოლადის შემადგენელი ნაწილაკების ერთმანეთთან ურთიერთქმედების პოტენციალური ენერგია?
6. რა სითბოს რაოდენობა უნდა გადავცეთ -20°C ტემპერატურისა და 5 კგ მასის ყინულის ნაჭერს, რომ იგი დნობის მდგომარეობამდე მივიდეს?
7. რა სითბოს რაოდენობა უნდა გასცეს 20°C ტემპერატურისა და 5 კგ მასის წყალმა, რომ იგი გამყარების მდგომარეობამდე მივიდეს?
8. თქვენი აზრით, რატომ არაა მიზანშეწონილი ზამთარში ავტომობილის ძრავას გამაგრილებელ სისტემაში მხოლოდ წყლის გამოყენება?
9. დაფიქრდით, რატომ არ იყინება ძლიერ ყინვაში მდინარეები მაშინ, როდესაც იყინება ტბები და წყალსატევები?
10. რატომ იშლება კლდის ზედაპირი უფრო ინტენსიურად ზამთარში?

§ 3. 11 დნობისა და კრისტალიზაციის კუთრი სითბო

ვთქვათ, გვაქვს დნობის ტემპერატურის მქონე ერთნაირი მასის სხვადასხვა კრისტალური ნივთიერება – ყინული (სურ. 3.61) და ფოლადი (სურ. 3.62). ანუ, ყინულის ტემპერატურაა 0°C , ფოლადისა კი – 1500°C . როგორ ფიქრობთ, ერთნაირი სითბოს რაოდენობა იქნება საჭირო მათ გასადნობად?



სურ. 3.61



სურ. 3.62



გაიხსენეთ: სხვადასხვა ნივთიერების ნაწილაკებს შორის ურთიერთქმედების ძალები განსხვავებულია. ბუნებრივია ვიფიქროთ, რომ მათი კრისტალური მესრების დაშლისათვის სხვადასხვა ენერგია იქნება საჭირო. ეს პრაქტიკულადაც ასეა. ამიტომ დნობის პროცესის აღსაწერად შემოღებულია ნივთიერებათა მახასიათებელი ფიზიკური სიდიდე, რომელიც გვიჩვენებს სითბოს რა რაოდენობას შთანთქმავს დნობის ტემპერატურის მქონე 1 კგ მყარი კრისტალური ნივთიერება მთლიანად დადნობისას. ამ სიდიდეს დნობის კუთრი სითბოს უწოდებენ.

დნობის კუთრი სითბო გვიჩვენებს სითბოს რა რაოდენობაა საჭირო დნობის ტემპერატურის მქონე 1 კგ კრისტალური ნივთიერების იმავე ტემპერატურის სითხედ გადასაქცევად. დნობის კუთრი სითბოს აღნიშნავენ ბერძნული ასოთი λ (ლამბდა).

თუ დნობის ტემპერატურის მქონე 1 კგ მყარი კრისტალური ნივთიერების გასადნობად საჭიროა რიცხობრივად λ -ს ტოლი სითბოს რაოდენობა, მაშინ m მასის ნივთიერების გასადნობად საჭირო სითბოს რაოდენობა ტოლი იქნება:

$$Q = \lambda m$$

ამ ფორმულიდან გამომდინარეობს, რომ $\lambda = \frac{Q}{m}$, ამიტომ SI-ში დნობის კუთრი სითბო იზომება ჯ/კგ -ში.

ცხრილში მოყვანილია სხვადასხვა ნივთიერების დნობის კუთრი სითბო ნორმალური ატმოსფერული წნევის პირობებში:

ნივთიერება	დნობის კუთრი სითბო λ , კჯ/კგ	ნივთიერება	დნობის კუთრი სითბო λ , კჯ/კგ
ვოლფრამი	184	ტყვია	25
პლატინა	113	კალა	60
რკინა	270	ყინული	340

ფოლადი	84	ვერცხლისწყალი	12
სპილენძი	210	სპირტი	11
ოქრო	67	თუჯი	130
ვერცხლი	87	თუთია	120
ალუმინი	390	პარაფინი	150

ტყვიის დნობის კუთრი სითბო 24700 ჯ/კგ -ია ნიშნავს, რომ 327°C ტემპერატურის 1 კგ ტყვიის გასადნობად მას უნდა გადაეცეთ 24700 ჯოული სითბოს რაოდენობა, ხოლო 327°C ტემპერატურის მქონე 1 კგ გამდნარი ტყვია კრისტალიზაციისას ამდენივე სითბოს რაოდენობას გამოყოფს.

0°C ტემპერატურის 4 კგ მასის ყინულის გასადნობად საჭირო სითბოს რაოდენობაა

$$Q_{\text{დნ}} = \lambda m = 340 \frac{\text{კჯ}}{\text{კგ}} \cdot 4 \text{ კგ} = 1360 \text{ კჯ.}$$

0°C ტემპერატურის 4 კგ მასის წყლის გაყინვისას იმავე რაოდენობის სითბო გამოიყოფა

$$Q_{\text{კრისტ}} = -\lambda m = -340 \frac{\text{კჯ}}{\text{კგ}} \cdot 4 \text{ კგ} = -1360 \text{ კჯ.}$$

გამოთვალეთ: ა) სითბოს რაოდენობა, რომელიც საჭიროა $1 \text{ კგ } 0^{\circ}\text{C}$ -იანი ყინულის გასადნობად. ბ) რამდენ გრადუსამდე გააცხელებლით 0°C -იან 1 კგ მასის წყალს იმავე სითბოს რაოდენობით? რა დასკვნას გამოიტანდით ამ გამოთვლებიდან?



დაფიქრდით: ყინულის დნობის კუთრი სითბო უფრო ნაკლები რომ ყოფილიყო, რას გამოიწვევდა ეს დედამიწაზე?

დასკვნები:

- სიდიდეს, რომელიც გვიჩვენებს სითბოს რა რაოდენობაა საჭირო დნობის ტემპერატურის მქონე 1 კგ კრისტალური ნივთიერების გასადნობად, დნობის კუთრი სითბო ეწოდება და აღნიშნავენ λ ასოთი;
- SI-ში დნობის კუთრი სითბო იზომება ჯ/კგ -ში;
- დნობის ტემპერატურაზე λ დნობის კუთრი სითბოს მქონე m მასის სხეულის გასადნობად საჭიროა $Q_{\text{დნ}} = \lambda m$ სითბოს რაოდენობა. გამყარებისას კი სითბოს იგივე რაოდენობა გამოიყოფა: $Q_{\text{კრისტ}} = -\lambda m$.

საკონტროლო კითხვები:

1. რა მიზეზითაა გამოწვეული დნობის კუთრი სითბოს განსხვავებული მნიშვნელობა სხვადასხვა ნივთიერებისათვის?
2. რას ხმარდება დნობისას გადაცემული სითბოს რაოდენობა?
3. რისი მახასიათებელია დნობის კუთრი სითბო?
4. რას ნიშნავს, რომ კალის დნობის კუთრი სითბო ტოლია 60 კჯ/კგ -ის?
5. რატომ არ შეიძლება საუბარი ამორფული სხეულების დნობის კუთრი სითბოზე?



ერთად ამოვხსნათ ამოცანა

შეშის ღუმელზე დადგმულია ქვაბი, რომელშიც ასხია 18 კგ მასის 0°C ტემპერატურის წყალი (სურ. 3. 63). წყალში ტივტივებს იმავე ტემპერატურის 2 კგ მასის ყინული. რამდენი კილოგრამი მშრალი შეშა უნდა დაიწვას, რომ ყინული გადნეს და ქვაბში არსებული წყალი 20°C -მდე გათბეს? მიიჩნიეთ, რომ შეშის დანვისას გამოყოფილი სითბოს რაოდენობის $2/5$ ნაწილი ყინულს და წყალს გადაეცემა.



სურ. 3.63

ამოხსნა:

$t_1 = 0^{\circ}\text{C};$
 $m_1 = 18 \text{ კგ};$
 $m_2 = 2 \text{ კგ};$
 $t_2 = 20^{\circ}\text{C};$
 $c = 4200 \text{ ჯ/კგ}^{\circ}\text{C};$
 $\lambda = 340000 \text{ ჯ/კგ};$
 $q = 10^7 \text{ ჯ/კგ};$
 $\eta = 0.4.$
 უ.ვ. m

რადგან ყინული დნობის ტემპერატურისაა, გადაცემული სითბოს რაოდენობა თავდაპირველად ხმარდება მხოლოდ ყინულის გადნობას, რაზეც დაიხარჯება $Q_1 = \lambda \cdot m_2 = 680000 \text{ ჯ}$ სითბოს რაოდენობა.

როდესაც ყინული მთლიანად გადნება ქვაბში 20°C კილოგრამი 0°C ტემპერატურის წყალი იქნება. მის 20°C -მდე გასათბობად საჭირო სითბოს რაოდენობაა: $Q_2 = c(m_1 + m_2)(t_2 - t_1) = 4200 \cdot 20 \cdot 20 = 1680000 \text{ (ჯ)}.$

m მასის შეშის დანვის დროს გამოიყოფა $Q_3 = qm$ სითბოს რაოდენობა.

ამოცანის პირობის თანახმად $Q_3 \cdot \eta = Q_1 + Q_2$. რიცხვითი მნიშვნელობების ჩასმით მივიღებთ:

$$10^7 \cdot 0,4m = 680000 + 1680000 = 2360000. \text{ აქედან, } m = 590 \text{ გ.}$$



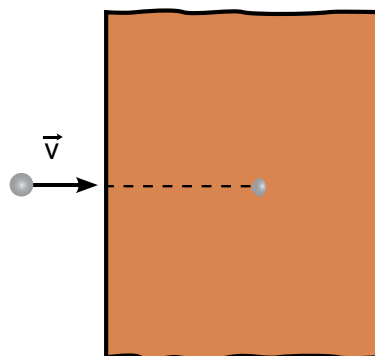
ამოხსენით ამოცანები:

- განსაზღვრეთ სითბოს რაოდენობა, რომელიც საჭიროა დნობის ტემპერატურის მქონე 5 კგ მასის რკინის სრულად გასადნობად.
- საკმარისი იქნება თუ არა 515 კჯ სითბოს რაოდენობა დნობის ტემპერატურის მქონე 2,5 კგ მასის სპილენძის სრულად გასადნობად?
- განსაზღვრეთ 650°C ტემპერატურისა და 4 კგ მასის ალუმინის სხეულის სრულად გასადნობად საჭირო სითბოს რაოდენობა.
- რა მასის წყალს მივიღებთ, თუ -40°C ტემპერატურისა და 10 კგ მასის ყინულს $186 \cdot 10^4 \text{ ჯ}$ სითბოს რაოდენობას გადავცემთ?
- რა მასის მშრალი შეშა უნდა დაიწვას -20°C ტემპერატურისა და 15 კგ მასის ყინულის მთლიანად გასადნობად? მიიჩნიეთ, რომ შეშის დანვისას გამოყოფილი სითბოს რაოდენობის 30% ყინულს გადაეცემა.
- 227°C ტემპერატურისა და 18 კგ მასის ტყვია სპირტქურაზე გააცხელეს და მისი 0,12 ნაწილი გააღნეს. ამისათვის 100 გ მასის სპირტი დაიწვა. განსაზღვრეთ სპირტქურის მარგი ქმედების კოეფიციენტი.
- ჭურჭელში მოთავსებულია სითბურ წონასწორობაში მყოფი წყლისა და ყინულის ნარევი. თავდაპირველად წყლის მასა ორჯერ მეტია ყინულის მასაზე. როდესაც ნარევს 1020 კჯ სითბოს რაოდენობა წაართვეს, წყლის მასა ყინულის მასაზე 5 კგ-ით მეტი აღმოჩნდა. რა მასის ყინული იყო ჭურჭელში თავდაპირველად?

8. 200 მ/წმ სიჩქარით მოძრავი ტყვიის ბურთულა ეჯახება კედელს და რჩება მასში (სურ. 3. 64). განსაზღვრეთ მთლიანად გადნება თუ არა ბურთულა კედელთან დაჯახებისას, თუ დაჯახებამდე მისი ტემპერატურა 327°C იყო. მიიჩნიეთ, რომ დაჯახებისას გამოყოფილი სითბოს რაოდენობა მთლიანად გადაეცემა ბურთულას.

9. 0°C ტემპერატურისა და 21 კგ მასის ყინულის ნაჭერი ჩაუშვეს 34°C ტემპერატურისა და 50 კგ მასის წყალში. განსაზღვრეთ საბოლოო ტემპერატურა. სითბურ დანაკარგებს ნუ გაითვალისწინებთ.

10. -20°C ტემპერატურისა და 21 კგ მასის ყინულის ნაჭერი ჩაუშვეს $31,2^{\circ}\text{C}$ ტემპერატურისა და 100 კგ მასის წყალში. განსაზღვრეთ საბოლოო ტემპერატურა. სითბურ დანაკარგებს ნუ გაითვალისწინებთ.



სურ. 3.64



საშინაო ცდა:

ცდის მიზანი: წყლის აორთქლებზე დაკვირვება.

ცდისათვის საჭიროა: განიერი ლამბაქი, ორი ერთნაირი ვინრო ჭიქა, წყალი (სურ. 3.65).

- ჩაასხით ჭიქებში ერთნაირი რაოდენობის წყალი;
- ერთი ჭიქიდან გადაასხით წყალი ლამბაქეზე;
- მეორე წყლიანი ჭიქა და ლამბაქი დადგით მზეზე ან გამათბობელთან ახლოს;
- რამდენიმე საათში გადაასხით ლამბაქიდან წყალი პირველ ჭიქაში ისე, რომ არ დაიღვაროს;
- შეადარეთ წყლის რაოდენობები ჭიქებში;
- შედეგი ჩაწერეთ რვეულში და გამოიტანეთ დასკვნა.



სურ. 3.65

§ 3.12 აორთქლება და კონდენსაცია

ალბათ შეგიძინეთ, რომ წვიმის შემდეგ გაჩენილი გუბები და სველი სარეცხი ქარიან ამინდში უფრო სწრაფად შრება. რატომ? რატომ აქვს სიციხეში ძაღლს ენა გამოყოფილი? ზაფხულის ცხელ დღეს ზღვიდან ამოსვლისას სიცივეს შევიგრძნობთ. რატომ? შევეცადოთ პასუხი გავცეთ ამ და ზოგიერთ მსგავს კითხვას.

როგორც იცით, ნებისმიერ აგრეგატულ მდგომარეობაში ნივთიერების შემადგენელი ნაწილაკები უწყვეტად და ქაოსურად მოძრაობენ – მათი სიჩქარის მოდული და მიმართულება აბსოლუტურად შემთხვევით იცვლება. თუ სითხის ზედაპირთან მყოფმა მოლეკულამ შეიძინა ზედაპირისკენ მიმართული საკმარისად დიდი სიჩქარე და, შესაბამისად, დიდი კინეტიკური ენერგია, იგი შეძლებს დაძლიოს სხვა მოლეკულების მიზიდვა და დატოვოს სითხე. რადგან ყოველთვის არსებობს ასეთი ენერგიის მქონე მოლეკულები, მათი რაოდენობა სითხეში თანდათან შემცირდება, ხოლო მის ზედაპირთან წარმოიქმნება ორთქლი.

ნივთიერების თხევადი მდგომარეობიდან აირადში გადასვლის პროცესს ორთქლადქცევა ეწოდება.

არსებობს ორთქლადქცევის ორი სახე: აორთქლება და დუღილი.

ზემოთ ჩვენ აღვწერეთ აორთქლების მექანიზმი.

აორთქლება სითხის თავისუფალი ზედაპირიდან ორთქლადქცევის პროცესია.

რადგან აორთქლების პროცესში სითხეს ტოვებს ყველაზე სწრაფი მოლეკულები, ამიტომ მასში დარჩენილი მოლეკულების საშუალო კინეტიკური ენერგია მცირდება – სითხე ცივდება, მისი ტემპერატურა იკლებს. სითხის ტემპერატურის შენარჩუნებისათვის საჭიროა მას უწყვეტად გადავცეთ ენერგია.

აორთქლებისას სითხის ტემპერატურის შემცირებას შეიძლება დავაკვირდეთ ცდით: ხელისგულზე დავინვეთთ აცეტონის ან სპირტის წვეთი. ცოტა ხანში ჩვენ სიცივეს შევიგრძნობთ. ეს იმიტომ ხდება, რომ აორთქლებისას აცეტონი (სპირტი) ცივდება და სითხის ართმევს ხელისგულს.

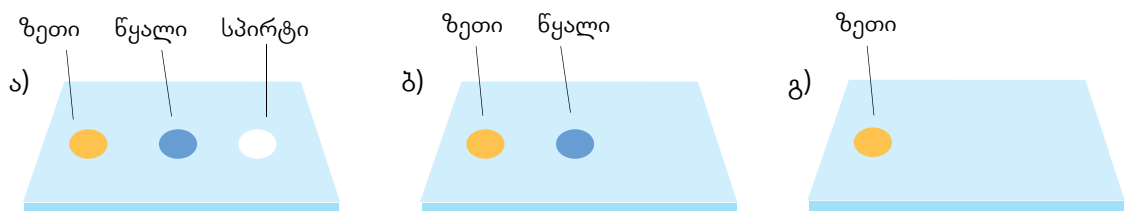
ბანაობის შემდეგ ადამიანის სხეულზე რჩება წყლის წვეთები. აორთქლებისას სითხე ცივდება და ენერგიას ართმევს სხეულს, ამიტომ ადამიანი თბილ ამინდშიც კი სიცივეს შევიგრძნობს.

რაზეა დამოკიდებული აორთქლების სისწრაფე?

გავაანალიზოთ საშინაო ცდაში მიღებული შედეგი: ერთნაირ დროში განიერ ლამბაქზე წყლის რაოდენობამ უფრო დაიკლო, ვიდრე ვიწრო ჭიქაში. რატომ? რაც უფრო დიდია სითხის ზედაპირის ფართობი, მით უფრო მეტია ზედაპირზე მყოფი იმ მოლეკულების რაოდენობა, რომლებსაც აქვთ სითხის დასატოვებლად საკმარისი ენერგია. ამიტომაც, მაგალითად, რომ გაშლილი სველი თეთრეული უფრო მალე შრება, ვიდრე – გროვად დადებული. ამრიგად, **აორთქლების სისწრაფე სითხის თავისუფალი ზედაპირის ფართობის ზრდასთან ერთად იზრდება.**



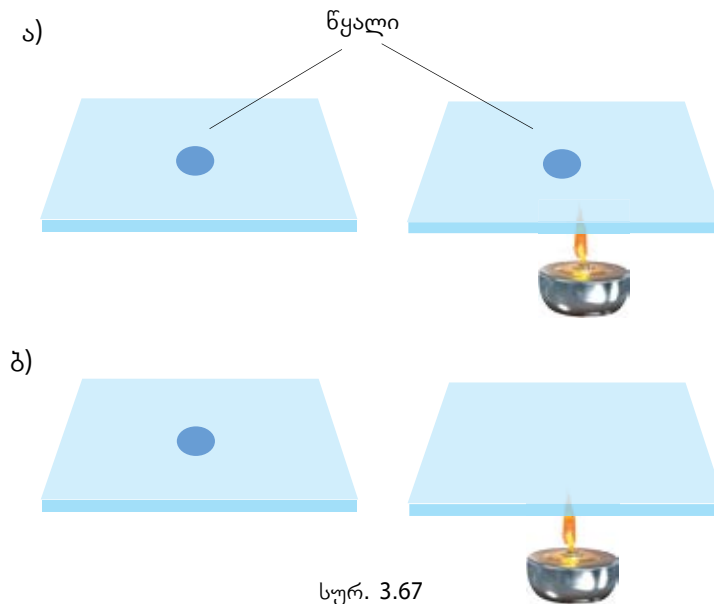
ჩავატაროთ ცდა. მინაზე ბამბის ტამპონით დავიტანოთ ზეთის, წყლისა და სპირტის ერთნაირი ზომის ლაქები (სურ. 3.66 ა). პირველი გაქრება სპირტის ლაქა (სურ. 3.66 ბ), შემდეგ წყლისა, ზეთის ლაქა კი დარჩება საკმაოდ დიდხანს (სურ. 3.66 გ).



სურ. 3.66

ამრიგად სითხის აორთქლების სისწრაფე დამოკიდებულია მის გვარობაზე. ეს აიხსნება იმით, რომ სხვადასხვა სითხეში მოლეკულების ურთიერთმიზიდვა განსხვავებულია.

გავაგრძელოთ ცდა. მინის ორ ფირფიტაზე დავაწვეთოთ ორი ერთნაირი წყლის წვეთი. ერთი ფირფიტა გავაცხელოთ (სურ. 3.67 ა). გაცხელებული ფირფიტიდან წვეთი უფრო სწრაფად აორთქლდება, ვიდრე – ცივიდან (სურ. 3.67 ბ). ეს გასაგებიცაა: ცხელ მინაზე წვეთის ტემპერატურა გაიზრდება და, შესაბამისად, მოიმატებს იმ მოლეკულების რაოდენობა, რომელთაც შეუძლიათ დატოვონ სითხე. მაშასადამე, **რაც უფრო მაღალია სითხის ტემპერატურა, მით მეტია აორთქლების სისწრაფე.**



სურ. 3.67

ცხოვრებისეული გამოცდილება გვიჩვენებს, რომ აორთქლების სისწრაფე დამოკიდებულია სითხის ზედაპირთან ჰაერის მოძრაობაზეც. ავხსნათ ეს დამოკიდებულება. სითხის ზედაპირის მახლობლად არსებული ორთქლის მოლეკულები ეჯახება რა ერთმანეთს და ჰაერის შედგენილობაში არსებულ სხვა მოლეკულებს, მოძრაობს ქაოსურად. შედეგად, ორთქლის ზოგიერთი მცირე ენერგიის მქონე მოლეკულა იმდენად ახლოს აღმოჩნდება სითხის ზედაპირთან, რომ მოლეკულებს შორის ურთიერთმიზიდვის ძალები მათ ნაწილს დააბრუნებს სითხეში. ცხადია, თუ სითხის ზედაპირთან არის ჰაერის მოძრაობა, მაშინ ორთქლის მოლეკულები მოშორდება ზედაპირს და ვეღარ დაბრუნდება სითხეში. ამიტომ, **რაც უფრო დიდია სითხის ზედაპირთან ჰაერის მოძრაობის სიჩქარე, მით მეტია აორთქლების სისწრაფე.**

ქარიან ამინდში გაფენილი სარეცხი უფრო მალე შრება და წყალი გუბიდან უფრო სწრაფად ორთქლდება; თმის სწრაფად გასაშრობად ფენს უფრო მაღალ სიჩქარეზე გადავრთავთ ხოლმე (სურ. 3.68); ცხელი წვნიანის გასაგრილებლად ჩვენ ჰაერს ვუბერავთ კოვზს.

რა მოხდება, თუ სითხიან ჭურჭელს თავზე მჭიდროდ დავახურავთ? თავდაპირველად სითხიდან ამოსული მოლეკულების რაოდენობა მეტი იქნება სითხეში დაბრუნებული მოლეკულების რაოდენობაზე, ამიტომ ჭურჭელში ორთქლის სიმკვრივე თანდათან მოიმატებს, მაგრამ ამასთან ერთად მოიმატებს სითხეში დაბრუნებული მოლეკულების რაოდენობაც. გარკვეული ხნის შემდეგ, დროის რაიმე შუალედში, სითხიდან ამოსული მოლეკულების



სურ. 3.68

რაოდენობა გაუტოლდება იმავე დროში სითხეში დაბრუნებული მოლეკულების რაოდენობას – დამყარდება ე.წ. დინამიკური წონასწორობა სითხესა და ორთქლს შორის.

ორთქლს, რომელიც დინამიკურ წონასწორობაშია თავის სითხესთან, ნაჯერი ორთქლი ეწოდება.

სხვა აირების მსგავსად, ნაჯერი ორთქლიც აწარმოებს წნევას, რომელიც ტემპერატურის ზრდასთან ერთად მატულობს. ამასთან, ერთნაირ ტემპერატურაზე სხვადასხვა სითხის ნაჯერი ორთქლის წნევა განსხვავებულია.

თუ სითხის ორთქლი ნაჯერია, სითხე ვერ აორთქლდება. წყლის აორთქლებისთვის საჭიროა, რომ მისი ორთქლი არ იყოს ნაჯერი – ჰაერი უნდა იყოს „მშრალი“.

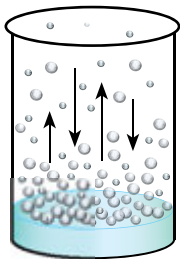
ჰაერს, რომელიც წყლის ორთქლს შეიცავს, ტენიანს უწოდებენ.

მყარი ნივთიერებაც შესაძლებელია აორთქლდეს.



ჩავატაროთ ცდა. შტატივის თათში ჩავამაგროთ ცეცხლგამძლე სინჯარა, მასში ჩავყაროთ იოდის კრისტალები. დავინწყოთ სინჯარის გაცხელება სპირტქურით (სურ. 3.69). გარკვეული დროის შემდეგ დავინახავთ იოდის ორთქლს – კრისტალური იოდი აორთქლდება.

თხევადი მდგომარეობის გამოტოვებით ნივთიერების მყარი მდგომარეობიდან აორთქლებას სუბლიმაცია ეწოდება.



სურ. 3.70

როგორც უკვე აღვნიშნეთ, ორთქლის მოლეკულების გარკვეული რაოდენობა ისევ ბრუნდება სითხეში (სურ. 3.70). ამრიგად, აორთქლებასთან ერთად მიმდინარეობს შებრუნებული პროცესი – ნივთიერება აირადი მდგომარეობიდან გადადის თხევადში.

ნივთიერების აირადი მდგომარეობიდან თხევად მდგომარეობაში გადასვლის პროცესს კონდენსაცია ეწოდება. წყლის ორთქლის კონდენსაციის (condensation – ლათ. შესქელება, გამკვრივება) პროცესს ყოველდღიურად ვაკვირდებით ბუნებაში: ზაფხულის დილას ფოთლებზე

ვხედავთ წამის წვეთებს. როგორ გაჩნდა ისინი? აორთქლების გამო დღის განმავლობაში ჰაერში გროვდება წყლის ორთქლი, რომელიც ღამით, აცივებისას, კონდენსირდება და გამოიყოფა წამის სახით (სურ. 3.71 ა). როცა ტენიანი ჰაერი ადის ატმოსფეროს მაღალ ფენებში, ცივდება და ჩნდება ღრუბლები (სურ. 3.71 ბ). ისინი შედგება წყლის პატარა წვეთებისაგან, რომლებიც წარმოიქმნა წყლის ორთქლის კონდენსაციით. ასეთივე წყლის პატარა წვეთებისაგან შედგება ნისლი, რომელიც წარმოიქმნება ტენიანი ჰაერის დეამინის ზედაპირთან გაცივებისას (სურ. 3.71 გ). რადგან **კონდენსაციის პროცესში ენერგია გამოიყოფა**, ამიტომ ნისლის წარმოქმნა აფერხებს ჰაერის ტემპერატურის შემცირებას.



სურ. 3.69



სურ. 3.71



დაფიქრდით: რატომ მატულობს სითხის შინაგანი ენერგია მის თავზე არსებული ორთქლის კონდენსაციისას?

დასკვნები:

- ნივთიერების თხევადი მდგომარეობიდან აირადში გადასვლის პროცესს ორთქლადქცევა ეწოდება;
- ორთქლადქცევა შეიძლება მოხდეს ორი გზით: აორთქლებითა და დუღილით;
- აორთქლება სითხის თავისუფალი ზედაპირიდან ორთქლადქცევის პროცესია;
- აორთქლების პროცესში ენერგია შთაინთქმება, სითხე ცივდება;
- მოცემული სითხის აორთქლების სისწრაფე მატულობს:
 - ა) სითხის თავისუფალი ზედაპირის ფართობის ზრდისას;
 - ბ) სითხის ტემპერატურის ზრდისას;
 - გ) სითხის ზედაპირთან ჰაერის მოძრაობის სიჩქარის ზრდისას;
- აორთქლების სისწრაფე დამოკიდებულია სითხის გვარობაზე;
- ნივთიერების მყარი მდგომარეობიდან აორთქლებას თხევადი მდგომარეობის გამოტოვებით სუბლიმაცია ეწოდება;
- ნივთიერების აირადი მდგომარეობიდან თხევად მდგომარეობაში გადასვლის პროცესს კონდენსაცია ეწოდება;
- ორთქლის კონდენსაციისას ენერგია გამოიყოფა.

საკონტროლო კითხვები:

1. რატომ ცივდება სითხე აორთქლებისას, თუ მას ენერგია არ მიეწოდება?
2. რა პირობები უნდა შესრულდეს მოლეკულის სითხიდან გამოსასვლელად?
3. როგორ ახსნით აორთქლების სისწრაფის შემცირებას სითხის ტემპერატურის შემცირებისას?
4. რატომ ორთქლდება სითხე ძალიან დაბალ ტემპერატურაზეც კი?
5. რატომაა ტენიან ამინდში აორთქლების სისწრაფე უფრო ნაკლები, ვიდრე მშრალ ამინდში?
6. რა შემთხვევაშია შესაძლებელი, რომ სველი სარეცხი საერთოდ არ გაშრეს?
7. ზაფხულში, განვიმების წინ, ჩამოცხება ხოლმე. რატომ?



პროექტი. ჯგუფური მუშაობა

პროექტის მიზანი: დედამიწაზე წყლის სხვადასხვა აგრეგატული მდგომარეობის შესახებ ინფორმაციის მოძიება; წყლის, როგორც სიცოცხლისათვის და ყოფა-ცხოვრებისთვის აუცილებელი კომპონენტის შესწავლა.

წყალი დედამიწის ზედაპირის ფართობის დაახლოებით 71%-ზეა განაწილებული. მას ყველგან ნახავთ (მდინარეები, ტბები, ზღვები, ოკეანეები, წვიმა, თოვლი, ყინული, ორთქლი და ა. შ.). მცენარეები და ცოცხალი ორგანიზმები დიდწილად წყალს შეიცავენ. იგი სიცოცხლისთვის ერთ-ერთ მნიშვნელოვან კომპონენტად მიიჩნევა.

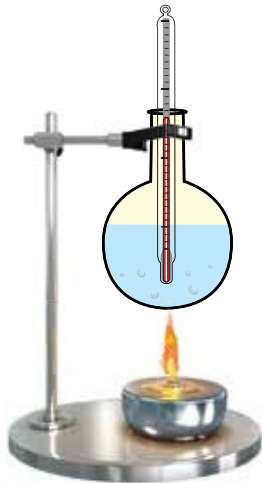
წყალი დედამიწაზე განუწყვეტელ მოძრაობაში იმყოფება. იგი ორთქლდება ზღვებიდან და ოკეანეებიდან, შემდეგ კონდენსირდება და გვევლინება წვიმის სახით, ზამთარში – თოვლის სახით. გაზაფხულზე მთის ფერდობებზე თოვლი დნება და ამარაგებს მდინარეებს, მდინარეები კვლავ ზღვებსა და ოკეანეებში ჩაედინება.

თქვენ უკვე გაეცანით წყლის სამ აგრეგატულ მდგომარეობას. დაჯგუფდით და მოიძიეთ საინტერესო ფაქტები მათ შესახებ. მოამზადეთ პრეზენტაცია თემაზე „წყალი დედამიწაზე“.

ყურადღება გაამახვილეთ წყლის როლზე ადამიანის ყოველდღიურ ცხოვრებაში, ასევე მისგან მიღებულ ენერგეტიკულ სარგებელზე.

§ 3.13 დუღილი

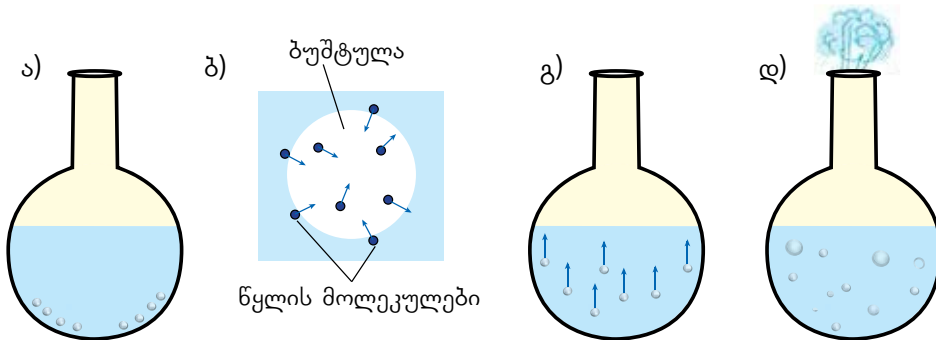
ჩვენ უკვე ვიცით, რომ სითხის აორთქლებისას მისი ტემპერატურა იკლებს, თუ მას ენერგია არ მიეწოდება. იბადება კითხვა: როგორ გაგრძელდება სითხის აორთქლება, თუ მას უწყვეტად გადავცემთ იმაზე მეტ ენერგიას, ვიდრე საჭიროა ტემპერატურის შესანარჩუნებლად?



სურ. 3.72



ჩავატაროთ ცდა. ცეცხლგამძლე მინის ჭურჭელში ჩავასხათ წყალი და ჩავამაგროთ შტატივის თათში. დავიწყოთ სპირტქურით მისი გათბობა (სურ. 3.72). წყალში ჩაშვებული თერმომეტრით დავაკვირდეთ მისი ტემპერატურის ცვლილებას. თავიდან წყლის ტემპერატურა გაიზრდება და ჭურჭლის ფსკერზე დაიწყება დიდი რაოდენობის პატარა ბუშტულების წარმოქმნა (სურ. 3.73 ა). ეს წყალში გახსნილი ჰაერის ბუშტულებია – რაც უფრო ცივია წყალი, მით მეტი ჰაერია მასში გახსნილი, ამიტომ წყლის გათბობისას ჭარბი ჰაერი ბუშტულების სახით გამოიყოფა. ბუშტულები ჰაერთან ერთად შეიცავს წყლის ნაჯერ ორთქლს, რადგან აორთქლება ბუშტულებშიც ხდება (სურ. 3.73 ბ). ტემპერატურის ზრდისას იზრდება აირის მოლეკულების საშუალო კინეტიკური ენერგია, რაც იწვევს ბუშტულებში წნევის მომატებას. როდესაც ბუშტულების შიგნით ნაჯერი ორთქლის წნევა გადააჭარბებს გარე წნევას, ბუშტულას მოცულობა დაიწყებს ზრდას. გარკვეული მოცულობის მიღწევისას ბუშტულაზე მოქმედი ამომგდები ძალა მოწყვეტს მას ფსკერიდან და ბუშტულა ამოდრავდება ზევით (სურ. 3.73 გ). თავიდან სითხის ზედა ფენები შედარებით ცივია, აქ მოხვედრილ ბუშტულებში ორთქლი იწყებს კონდენსირებას და მათი მოცულობა მკვეთრად მცირდება. ბუშტულების მოცულობის ასეთი კლება პროცესის დამახასიათებელი ხმით – შიშინით მიმდინარეობს. ამ დროს წყალი ხდება არაგამჭვირვალე. როცა მთელი წყალი ერთნაირად გაცხელდება, ბუშტულების მოცულობა ზედა ფენებში ასვლისას აღარ შემცირდება, პირიქით – გაიზრდება. წნევა ბუშტულებში უფრო მეტია, ვიდრე – წყლის ზედაპირზე, ამიტომ ისინი სკდება და მათში არსებული წყლის ნაჯერი ორთქლი ატმოსფეროში ამოიფრქვევა – წყალი დუღს, შიშინი კი წყდება (სურ. 3.73 დ). წყლის უწყვეტ დუღილს განაპირობებს ის, რომ ბუშტულას მოწყვეტის ადგილზე რჩება ჰაერის მცირე რაოდენობა, რომლიდანაც ახალი ბუშტულა წარმოიქმნება. თერმომეტრის ჩვენება დუღილისას დაახლოებით 100°C იქნება.



სურ. 3.73

დუღილი სითხის მთელ მოცულობაში მიმდინარე ინტენსიური ორთქლადქცევის პროცესია, რომელსაც თან ახლავს ორთქლის ბუშტულების წარმოქმნა, ზრდა, ზედაპირზე ამოსვლა და გასკდომა.

გავაგრძელოთ პროცესზე დაკვირვება. სპირტქურიდან მდულარე წყალი კვლავ იღებს ენერგიას, მაგრამ თერმომეტრის ჩვენება იგივე – 100°C რჩება. მაშ, რაზე იხარჯება ამ დროს წყალზე გადაცემული სითბოს რაოდენობა? იგი მთლიანად ხმარდება წყლის მოლეკულების ურთიერთმიზიდვის ძალების დაძლევისა და მათ შორის მანძილის ზრდას. სწორედ ამიტომ **დუღილის დროს სითხის ტემპერატურა არ იცვლება.**

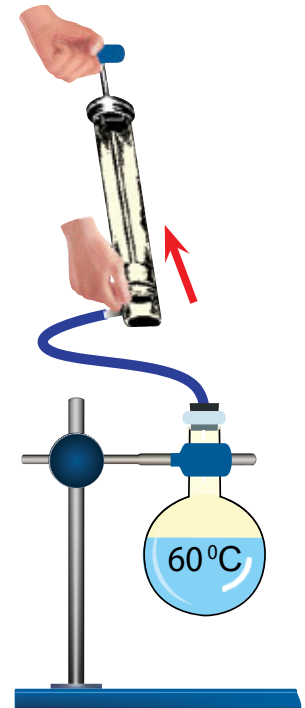
ტემპერატურას, რომელზეც სითხე დუღს, დუღილის ტემპერატურა ეწოდება.

კიდევ რაზეა დამოკიდებული სითხის დუღილის ტემპერატურა?

დუღილის პროცესის აღწერისას ჩვენ ვნახეთ, რომ ბუშტულა გასკდება მაშინ, როცა ნაჯერი ორთქლის წნევა მასში მეტი იქნება, ვიდრე წნევა სითხის ზედაპირზე. ამასთან, ვიცით, რომ ნაჯერი ორთქლის წნევა ტემპერატურის გაზრდისას მატულობს, ამიტომ **რაც უფრო დიდია გარე წნევა, მით მაღალია სითხის დუღილის ტემპერატურა და პირიქით, გარე წნევის შემცირება დუღილის ტემპერატურის კლებას იწვევს.** ამაში შეგვიძლია დავრწმუნდეთ ცდით.

 კოლბაში ჩავასხათ თბილი წყალი (ვთქვათ, 60°C). წყლის ზედაპირზე წნევის შესამცირებლად ტუმბოს საშუალებით დავიწყოთ კოლბიდან ჰაერის ამოტუმბვა (სურ. 3.74). თავიდან კოლბის ფსკერზე დაიწყება ჰაერის ბუშტულების წარმოქმნა და თუ ამოტუმბვას გავაგრძელებთ, წყალი ადუღდება, მიუხედავად იმისა, რომ მისი ტემპერატურა 100°C -ზე დაბალია. ამ მდულარე წყალში ძალიან დიდი დროის განმავლობაშიც კი კვერცხი ვერ მოიხარშება.

თუ პირველ ცდაში მდულარეწყლიან კოლბას გავუკეთებთ ნახვრეტიან საცობს (ნახვრეტში თერმომეტრი ჩავამაგროთ), ორთქლი გარეთ ვეღარ გამოვა და დაიწყებს მოგროვებას სითხის ზედაპირთან. წნევა სითხის თავზე მოიმატებს, დუღილი გარკვეული დროით შეწყდება, ხოლო სითხის ტემპერატურა დაიწყებს ზრდას.



სურ. 3.74



სურ. 3.75



სურ. 3.76

პრაქტიკაში ხშირად იყენებენ დუღილის ტემპერატურის დამოკიდებულებას გარე წნევაზე. მაგალითად, სამედიცინო ხელსაწყოების სტერილიზაციისთვის მათ ათავსებენ ჰერმეტიკულად დახურულ კამერებში – ავტოკლავებში (სურ. 3.75), რომლებშიც წყალი დუღს უფრო მაღალ ტემპერატურაზე, ვიდრე 100°C -ია, რაც მიკროორგანიზმებს კლავს. ყოფა-ცხოვრებაში სწრაფი ხარშვისათვის იყენებენ ქვაბს (სურ. 3.76), რომელშიც წყალი დუღს 120°C . ამიტომ კერძი ასეთ ქვაბში უფრო სწრაფად მზადდება, ვიდრე – ჩვეულებრივში.

დუღილის ტემპერატურა აგრეთვე დამოკიდებულია სითხეებში გახსნილი აირის რაოდენობაზე. თუ დიდი ხნის განმავლობაში ადუღებენ წყალს და ასეთი გზით მოაშორებენ მასში გახსნილ აირს, მაშინ ნორმალური წნევის პირობებში შესაძლებელია ასეთი წყალი ხელმეორედ გაცხელდეს 100°C -ზე მეტ ტემპერატურამდე. ასეთ წყალს გადახურებულს ეძახიან.

ერთნაირ პირობებში სხვადასხვა სითხის დუღილის ტემპერატურა განსხვავებულია. ამის მიზეზია ნაჯერი ორთქლის წნევის დამოკიდებულება სითხის გვარობაზე – ერთნაირ ტემპერატურაზე, რომელი სითხის ნაჯერი ორთქლის წნევაც მეტია, ის სითხე უფრო დაბალ ტემპერატურაზე დუღს.

ცხრილში მოცემულია ზოგიერთი სითხის დუღილის ტემპერატურა ნორმალური ატმოსფერული წნევის პირობებში:

ნივთიერება	დუღილის ტემპერატურა, $^{\circ}\text{C}$	ნივთიერება	დუღილის ტემპერატურა, $^{\circ}\text{C}$
ჰაერი	-192	სპირტი	78
ამიაკი	-33	წყალი	100
ეთერი	35	ვერცხლისწყალი	357
აცეტონი	56	რკინა	3050

დასკვნები:

- დუღილი სითხის მთელ მოცულობაში მიმდინარე ინტენსიური ორთქლადქცევის პროცესია, რომელსაც ახლავს ორთქლის ბუშტულების წარმოქმნა, ზრდა, ზედაპირზე ამოსვლა და გასკდომა;
- დუღილის დროს სითხის ტემპერატურა არ იცვლება;
- ტემპერატურას, რომელზეც სითხე დუღს, დუღილის ტემპერატურა ეწოდება;
- გარე წნევის გაზრდით დუღილის ტემპერატურა იზრდება;
- სხვადასხვა სითხე განსხვავებულ ტემპერატურაზე დუღს.

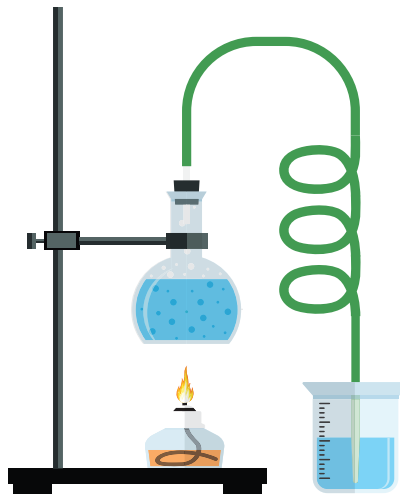
საკონტროლო კითხვები:

1. რატომ წარმოიქმნება წყალში ბუშტულები?
2. ჰაერის გარდა, რა აირის ბუშტულებში?
3. რატომ მატულობს ბუშტულების ზომა წყლის გათბობისას?
4. რატომ იწყებს ბუშტულა ზევით მოძრაობას?
5. რატომ არ იცვლება სითხის ტემპერატურა დუღილისას?
6. როგორ გავზარდოთ (შევამციროთ) სითხის დუღილის ტემპერატურა?
7. სად უფრო სწრაფად მოიხარშება ხორცი – თბილისში თუ გუდაურში?



ამოხსენით ამოცანები:

1. გაზქურაზე დადგმულ ქვაბში წყალმა დუღილი დაიწყო. იცვლება თუ არა წყლისა და მისი ორთქლის ჯამური შინაგანი ენერგია დუღილის პროცესში?
2. გაზქურაზე დადგმულ თავლია ქვაბში წყალმა დუღილი დაიწყო. იცვლება თუ არა წყლის ტემპერატურა დუღილისას? წყლის მოლეკულების ქაოსურად მოძრაობის საშუალო კინეტიკური ენერგია?
3. ერთნაირი მასისა და ტემპერატურის მქონე წყალი აადუღეს ბათუმში და მესტი-აში. სად უფრო მეტი სითბოს რაოდენობა დაიხარჯება წყლის ასადუღებლად?
4. ხორცის კარგად მოსახარშად სად დაგჭირდებათ ქვაბი ჰერმეტიკული თავსახურით, მთაში თუ ზღვისპირა ქალაქში?
5. რა სითბოს რაოდენობა უნდა გადავცეთ 5 კგ მასისა და 80°C ტემპერატურის წყალს, რომ ის დუღილის ტემპერატურამდე გაცხელდეს? მიიჩნიეთ, რომ ატმოსფერული წნევა ნორმალურია.
6. მდულარე წყალში კვერცხის მოსახარშად საშუალოდ 10 წუთია საჭირო. შეიცვლე-ბა თუ არა ეს დრო, თუ დუღილისას ცეცხლს გავაძლიერებთ?
7. მდულარე წყალში კვერცხის მოსახარშად საშუალოდ 10 წუთია საჭირო. შეიცვლე-ბა თუ არა ეს დრო, თუ ხარშვის პროცესში ქვაბს ჰერმეტიკულად დავხურავთ?
8. შესაძლებლად მიგაჩნიათ თუ არა ტყვიისაგან დამზადებულ ქვაბში ვერცხლის-წყლის ადუღება, თუ ატმოსფერული წნევა ნორმალურია?
9. ერთნაირ ტემპერატურაზე სპირტის ნაჯერი ორთქლის წნევა უფრო მეტია, ვიდრე წყლის ნაჯერი ორთქლის წნევა. აქედან გამომდინარე, განსაზღვრეთ, რომელი სითბის დუღილის ტემპერატურა იქნება უფრო ნაკლები.
10. კოლბის თავში ჩასმულ საცობში მჭიდროდაა გატარებული მილი. მილის მეორე ბოლო ჩაშვებულია მენზურაში ჩასხმულ ცივ წყალში (სურ. 3.77). როგორ შეიცვლება წყლის რაოდენობა მენზურაში, თუ კოლბაში წყალი დუღილს დაიწყებს?



სურ. 3.77

§ 3.14 ორთქლადქცევის კუთრი სითბო

როგორც ვიცით, სითხის ყველაზე ინტენსიური ორთქლადქცევა მიმდინარეობს დუღილის პროცესში (სურ. 3.78). ამ დროს სითხე ენერგიას შთანთქავს და ამიტომ დუღილის შესანარჩუნებლად მას უწყვეტად უნდა მივანოდოთ სითბოს რაოდენობა. ის მთლიანად ხმარდება მოლეკულათშორისი კავშირების რღვევასა და მათ შორის მანძილის ზრდას, ანუ ორთქლადქცევას. რადგან სხვადასხვა სითხეში ეს კავშირები განსხვავებულია, ამიტომ დუღილის ტემპერატურაზე ერთი და იმავე მასის სხვადასხვა სითხის ორთქლადქცევისათვის განსხვავებული სითბოს რაოდენობაა საჭირო. მის გამოსათვლელად შემოღებულია ნივთიერებათა მახასიათებელი ფიზიკური სიდიდე, რომელიც გვიჩვენებს, სითბოს რა რაოდენობაა საჭირო დუღილის ტემპერატურაზე 1 კგ სითხის მთლიანად ასაორთქლებლად. ამ სიდიდეს ორთქლადქცევის კუთრი სითბო ეწოდება.



სურ. 3.78

ორთქლადქცევის კუთრი სითბო გვიჩვენებს სითბოს რა რაოდენობა უნდა გადავცეთ 1 კგ მასის სითხეს იმავე ტემპერატურის ორთქლად გადაქცევისათვის.

ორთქლადქცევის კუთრ სითბოს აღნიშნავენ L ასოთი.

თუ 1 კგ სითხის იმავე ტემპერატურის ორთქლად ქცევისათვის საჭიროა L -ის ტოლი სითბოს რაოდენობა, მაშინ იმავე პირობებში m მასის სითხის იმავე ტემპერატურის ორთქლად ქცევისათვის საჭირო სითბოს რაოდენობა ტოლი იქნება:

$$Q_{\text{ორთქ}} = Lm$$

ამ ფორმულიდან გამომდინარეობს, რომ $L = \frac{Q_{\text{ორთქ}}}{m}$, ამიტომ SI-ში **ორთქლადქცევის კუთრი სითბო იზომება ჯ/კგ-ში.**

m მასის ორთქლის იმავე ტემპერატურის სითხედ გადაქცევისას გამოიყოფა იგივე სითბოს რაოდენობა:

$$Q_{\text{კონდ}} = -Lm$$

ცხრილში მოცემულია ექსპერიმენტულად დადგენილი სხვადასხვა სითხის ორთქლადქცევის კუთრი სითბო დუღილის ტემპერატურაზე ნორმალური წნევის პირობებში:

ნივთიერება	ორთქლადქცევის კუთრი სითბო, მგჯ/კგ	ნივთიერება	ორთქლადქცევის კუთრი სითბო, მგჯ/კგ
ჰაერი (თხევადი)	0,2	სპირტი	0,9
ამიაკი (თხევადი)	1,4	წყალი	2,3
ეთერი	0,4	ვერცხლისწყალი	0,3
აცეტონი	0,5	რკინა (თხევადი)	0,06

წყლის ორთქლადქცევის კუთრი სითბო 100°C ტემპერატურაზე ტოლია $2,3$ მგჯ/კგ. ეს ნიშნავს, რომ 100°C ტემპერატურის 1 კგ მასის წყლის იმავე ტემპერატურის ორთქლად გადასაქცევად $2,3$ მგჯ ენერგიაა საჭირო. აქედან გამომდინარეობს, რომ 1 კგ 100°C წყლის ორთქლის შინაგანი ენერგია $2,3$ მგჯ-ით მეტია 1 კგ 100°C წყლის შინაგან ენერგიაზე.

გაცივებისას წყლის ორთქლი კონდენსირდება. ალბათ გინახავთ ფანჯრის მინაზე წარმოქმნილი წყლის წვეთები (სურ. 3.79). ჩატარებული ცდები აჩვენებს, რომ **კონდენსაციისას ორთქლი გამოყოფს ენერგიის იმავე რაოდენობას, რომელიც დაიხარჯა მისი წარმოქმნისას.**

ე.ი. 1 კგ 100°C ტემპერატურის წყლის ორთქლის 100°C ტემპერატურის წყლად ქცევისას გამოიყოფა $2,3$ მგჯ სითბოს რაოდენობა.



სურ. 3.79

დასკვნები:

- სიდიდეს, რომელიც გვიჩვენებს, სითბოს რა რაოდენობაა საჭირო დუღილის ტემპერატურაზე 1 კგ სითხის მთლიანად ასაორთქლებლად, ორთქლადქცევის კუთრი სითბო ეწოდება და აღნიშნავენ L ასოთი;
- SI-ში ორთქლადქცევის კუთრი სითბო იზომება ჯ/კგ-ში;
- დუღილის ტემპერატურაზე L ორთქლადქცევის კუთრი სითბოს მქონე m მასის სითხის მთლიანად ასაორთქლებლად საჭიროა $Q_{\text{ორთქ}} = Lm$ სითბოს რაოდენობა. ორთქლის კონდენსაციისას კი სითბოს იგივე რაოდენობა გამოიყოფა: $Q_{\text{კონდ}} = -Lm$.

საკონტროლო კითხვები:

1. რა განაპირობებს ორთქლადქცევის კუთრი სითბოს განსხვავებულ მნიშვნელობას სხვადასხვა სითხისათვის?
2. რას ხმარდება მუდმივ ტემპერატურაზე ორთქლადქცევისას სითხეზე გადაცემული სითბოს რაოდენობა?
3. რისი მახასიათებელია ორთქლადქცევის კუთრი სითბო?
4. რას ნიშნავს, რომ სპირტის ორთქლადქცევის კუთრი სითბოა $0,9$ მგჯ/კგ?



ერთად ამოვხსნათ ამოცანა

20 ლ მოცულობისა და 80°C ტემპერატურის წყალში ჩაუშვეს 500°C ტემპერატურამდე გახურებული 12 კგ მასის ალუმინის ნაჭერი. განსაზღვრეთ, რა მასის წყალი იქცევა ორთქლად. სითბურ დანაკარგებს ნუ გაითვალისწინებთ.

მოც:
 $c_1=4200 \text{ ჯ/კგ}^\circ\text{C};$
 $V_1=0,02 \text{ მ}^3;$
 $t_1=80^\circ\text{C};$
 $\rho=1000 \text{ კგ/მ}^3;$
 $t_0=100^\circ\text{C};$
 $c_2=920 \text{ ჯ/კგ}^\circ\text{C};$
 $m_2=12 \text{ კგ};$
 $t_2=500^\circ\text{C};$
 $L=2,3 \cdot 10^6 \text{ ჯ/კგ}.$
 უ.გ. m

ამოხსნა:

ჯერ გამოვთვალოთ წყლის მასა: $m_1 = \rho V_1 = 1000 \cdot 0,02 = 20 \text{ (კგ)}.$
 გავიგოთ, რა სითბოს რაოდენობაა საჭირო წყლის დუღილის ტემპერატურამდე მისაყვანად:

$$Q_1 = c_1 m_1 (t_0 - t_1) = 4200 \cdot 20 \cdot 20 = 1680000 \text{ (ჯ)}.$$

გამოვთვალოთ რა სითბოს რაოდენობას გასცემს ალუმინის ნაჭერი 100°C -მდე გაცივების შემთხვევაში:

$$Q_2 = c_2 m_2 (t_0 - t_2) = -920 \cdot 12 \cdot 400 = -4416000 \text{ (ჯ)}.$$

როგორც ვხედავთ, სითბოს ეს რაოდენობა მოდულით მეტია წყლის დუღილის ტემპერატურამდე მისაყვანად საჭირო სითბოს რაოდენობაზე, ამიტომ წყალი ადუღდება და დაიწყებს ორთქლად ქცევას. m მასის წყლის ორთქლადქცევისათვის საჭირო სითბოს რაოდენობაა $Q_3 = Lm$. სითბური ბალანსის განტოლების თანახმად:

$Q_1 + Q_2 + Q_3 = 0$. რიცხვითი მნიშვნელობების შეტანით მივიღებთ:

$1680000 - 4416000 + 2300000m = 0$. აქედან $m \approx 1.2 \text{ კგ}$. ეს ნიშნავს, რომ ორთქლად იქცა წყლის მხოლოდ ნაწილი.



ამოხსენით ამოცანები:

1. განსაზღვრეთ დუღილის ტემპერატურამდე მიყვანილი 10 კგ მასის წყლის ორთქლადქცევისათვის საჭირო სითბოს რაოდენობა.

2. საკმარისი იქნება თუ არა $12 \cdot 10^6 \text{ ჯ}$ სითბოს რაოდენობა დუღილის ტემპერატურის მქონე 5 კგ მასის წყლის ორთქლად გადასაქცევად?

3. 78°C ტემპერატურის სპირტის ორთქლის კონდენსაციის შედეგად 3 ლ მოცულობის ქილა გაივსო. განსაზღვრეთ კონდენსაციის პროცესში გამოყოფილი სითბოს რაოდენობა.

4. განსაზღვრეთ სითბოს რაოდენობა, რომელიც საჭიროა 8 კგ მასისა და 80°C ტემპერატურის წყლის ასადუღებლად და ორთქლად გადასაქცევად.

5. 10 კგ მასისა და 60°C ტემპერატურის წყალი ადუღდა და მისი მეხუთედი ნაწილი ორთქლად იქცა. განსაზღვრეთ ამ დროს წყალზე გადაცემული სითბოს რაოდენობა.

6. 100°C ტემპერატურისა და 20 კგ მასის წყლის ორთქლი კონდენსირდა და მიღებული წყალი გაცივდა. განსაზღვრეთ წყლის საბოლოო ტემპერატურა, თუ ორთქლმა და წყალმა ერთად $5,02 \cdot 10^7 \text{ ჯ}$ სითბოს რაოდენობა გასცა.

7. 350°C ტემპერატურისა და 10 კგ მასის ალუმინის ნაჭერი ჩაუშვეს 100°C ტემპერატურისა და 15 ლ მოცულობის წყალში. განსაზღვრეთ ჭურჭელში დარჩენილი წყლის მასა სითბური წონასწორობის დამყარების შემდეგ. სითბურ დანაკარგებს ნუ გაითვალისწინებთ.

8. 75°C ტემპერატურისა და 92 ლ მოცულობის წყალში ჩაუშვეს 52 კგ მასისა და 350°C ტემპერატურის ალუმინის კუბი. განსაზღვრეთ, რა მასის წყალი იქცევა ორთქლად სითბური წონასწორობის დამყარების შემდეგ. სითბურ დანაკარგებს ნუ გაითვალისწინებთ.

9. რამდენი კილოგრამი ქვანახშირი უნდა დაიწვას, რომ დუღილის ტემპერატურის მქონე 30 კგ მასის სპირტი ორთქლად იქცეს? მიიჩნიეთ, რომ ქვანახშირის დაწვისას გამოყოფილი სითბოს რაოდენობა მთლიანად ხმარდება სპირტის ორთქლადქცევას.

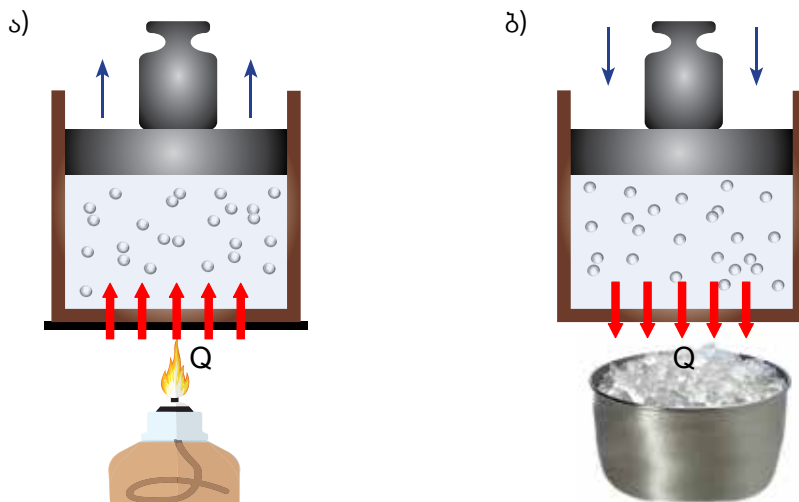
10. განსაზღვრეთ ღუმლის მარგი ქმედების კოეფიციენტი, თუ მასში 1 კგ ქვანახშირის დაწვის შედეგად 6 კგ მასისა და 78°C ტემპერატურის სპირტი ორთქლად იქცა.

3.15 სითბური ძრავა

ადამიანი ოდითგანვე ცდილობდა, მოეფიქრებინა და შეექმნა ისეთი მექანიზმები, რომლებიც დაეხმარებოდა მას მიძიმე სამუშაოს შესრულებაში. ბერკეტის, ჭოჭონაქის, დახრილი სიბრტყის, ჯალამბრის და სხვა მექანიზმის გამოყენება ადამიანს ეხმარება მოიგოს ძალა ან მანძილი. მათი გამოყენებით სამუშაო უფრო მოსახერხებელი და იოლი ხდება, მაგრამ ამ დროს ადამიანს თვითონ უნევს შეასრულოს გარკვეული მუშაობა – დახარჯოს ენერგია. მას შემდეგ, რაც კაცობრიობამ სითბური მოვლენების შესწავლა დაიწყო, დაიბადა კითხვა: ხომ არ შეიძლება სანვავის წვისას გამოყოფილი ენერგიით შევასრულოთ მუშაობა? ანუ, ხომ არ შეიძლება შინაგანი ენერგია გარდავქმნათ მექანიკურ ენერგიად? ამ კითხვაზე პასუხის გასაცემად ჩავატაროთ ცდა:

 ავიღოთ დგუშიანი ცილინდრი, დავადოთ დგუშზე ტვირთი და სპირტქურით დავიწყოთ ცილინდრში მოთავსებული აირის გაცხელება (სურ. 3.80 ა). გაცხელებისას აირის შინაგანი ენერგია გაიზრდება, მოიმატებს მისი ტემპერატურა და წნევა, ამიტომ აირი გაფართოვდება – დგუში აიწევს ზევით და გარკვეულ სიმაღლეზე აიტანს მასზე დადებულ ტვირთს – შესრულდება მექანიკური მუშაობა.

ცხადია, აირის მიერ მუშაობის ერთჯერადი შესრულება დამაკმაყოფილებელი არ არის – მუშაობა მუდმივად უნდა სრულდებოდეს. აირმა მუშაობა განმეორებით რომ შეასრულოს, საჭიროა დგუში დავაბრუნოთ საწყის მდგომარეობაში, ანუ აირი უნდა შეეკუმშოთ. ამისათვის კი ის უნდა გავაცივოთ. გაცივების შედეგად აირი შეიკუმშება და დგუში ქვევით ჩამოიწევს (სურ. 3.80 ბ). შემდეგ შეგვიძლია აირი კვლავ გავაცხელოთ და ის შეასრულებს მუშაობას, კვლავ შეეკუმშოთ და ა.შ. ამ შემთხვევაში აირის მუშაობა იქნება ციკლური ხასიათის: აირის გაფართოება-შეკუმშვის პროცესი (ციკლი) მრავალჯერადად, პერიოდულად განმეორდება.



სურ. 3.80

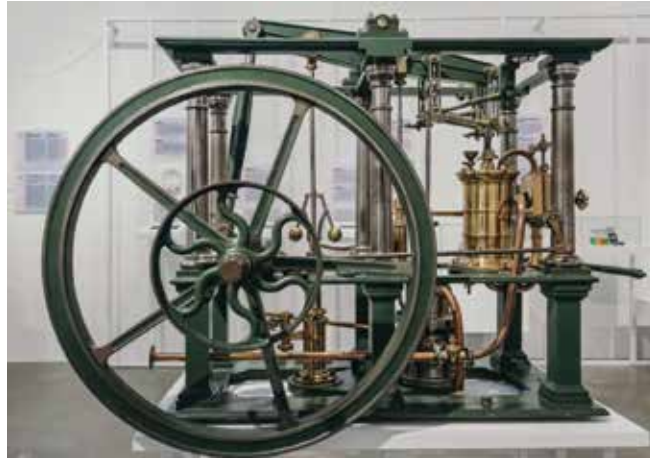
ციკლური მუშაობისას დგუშიც პერიოდულ მოძრაობას შეასრულებს, ამიტომ, თუ მას რაიმე მექანიზმს მივამაგრებთ, მივიღებთ **სითბური ძრავას** უმარტივეს მოდელს.

სითბური ძრავა ციკლურად მომუშავე მანქანაა, რომელიც სანვავის შინაგან ენერგიას მექანიკურ ენერგიად გარდაქმნის.

განხილულ ცდაში სანვაკი სპირტია, რომლის დაწვისას გამოყოფილი შინაგანი ენერგია დგუშის მოძრაობის მექანიკურ ენერგიად გარდაიქმნება.

არსებობს სითბური ძრავას რამდენიმე სახეობა: ორთქლის მანქანა, შიგანვის ძრავა, ორთქლისა და აირის ტურბინები, რეაქტიული ძრავა. ყველა ამ ძრავაში საწვავის წვისას გამოყოფილი ენერგია გადადის აირის (ორთქლის) შინაგან ენერგიაში. შედეგად აირი ფართოვდება, ასრულებს მუშაობას და ცივდება. მისი შინაგანი ენერგიის ნაწილი გადადის მექანიკურ ენერგიაში.

პირველი სითბური ძრავა – ორთქლის მანქანა (სურ. 3.81), 1784 წელს ჯეიმს უატმა შექმნა.



სურ. 3.81

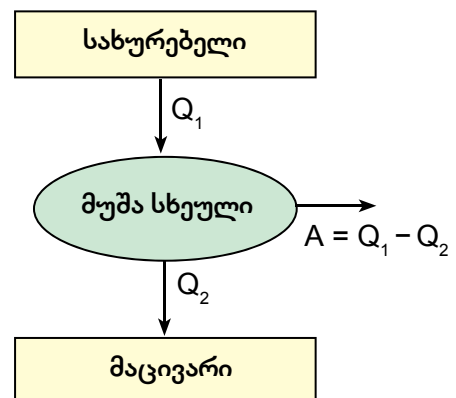
ჩატარებული ცდის საფუძველზე შეგვიძლია დავასკვნათ, რა ძირითადი ნაწილებისაგან უნდა შედგებოდეს სითბური ძრავა:

1. განხილულ ცდაში მექანიკურ მუშაობას ასრულებს დგუშის ქვეშ მოთავსებული აირი, რომელიც ცხელდება, ფართოვდება და ზევით წევს დგუშს. აირს, რომელიც გაფართოებისას ასრულებს მექანიკურ მუშაობას, **მუშა სხეული** ეწოდება;

2. დგუშის ქვეშ მოთავსებული აირი ფართოვდება სპირტქურიდან მიღებული ენერგიის ხარჯზე. მოწყობილობას, რომლისგანაც მუშა სხეული იღებს სითბოს, **სახურებელი** ეწოდება;

3. ცდის დროს დგუშის ქვეშ მოთავსებული აირი პერიოდულად აძლევს თავისი ენერგიის ნაწილს გარემოს. ობიექტს, რომელსაც მუშა სხეული აძლევს სითბოს გარკვეულ რაოდენობას, **მაცივარი** ეწოდება. მაცივრის გარეშე დგუში ვერ დაუბრუნდება საწყის მდგომარეობას და მუშაობა ხელახლა ვერ შესრულდება.

სურ. 3.82-ზე სქემატურადაა ასახული სითბური ძრავას მუშაობის პრინციპი: მუშა სხეული სახურებელიდან იღებს Q_1 სითბოს რაოდენობას, ასრულებს A მუშაობას და Q_2 სითბოს რაოდენობას გადასცემს მაცივარს. ენერგიის მუდმივობის კანონის თანახმად, სითბური ძრავას მიერ შესრულებული მუშაობა ტოლი იქნება:



სურ. 3.82

$$A = Q_1 - Q_2$$

ნებისმიერი სითბური ძრავა მექანიკურ ენერგიად გარდაქმნის სახურებლიდან მიღებული ენერგიის მხოლოდ მცირე ნაწილს. საწვავის ენერგიის დიდი ნაწილი არ გამოიყენება, ის გადაეცემა მაცივარს და იკარგება გარემოში.

მნიშვნელოვანია ვიცოდეთ, რამდენად ეკონომიურია ძრავა – საწვავის წვის შედეგად გამოყოფილი ენერგიის რა ნაწილს შეადგენს სასარგებლო მუშაობა. რაც უფრო დიდია ეს ნაწილი, მით უფრო ნაკლები საწვავი დაიხარჯება მოცემული სამუშაოს შესრულებისას. ამიტომ ძრავას ეკონომიურობის დასახასიათებლად შემოაქვთ მისი მარგი ქმედების კოეფიციენტის ცნება.

სითბური ძრავას მარგი ქმედების კოეფიციენტი (მქკ) ფიზიკური სიდიდეა, რომელიც ახასიათებს მის ეკონომიურობას და გვიჩვენებს, საწვავის დანვისას გამოყოფილი ენერგიის რა ნაწილი გარდაიქმნება სასარგებლო მუშაობად:

$$\eta = \frac{A}{Q_1}$$

რადგან $A = Q_1 - Q_2$, ამიტომ

$$\eta = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1}$$

ან პროცენტებში:

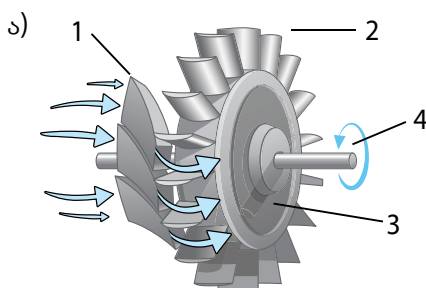
$$\eta = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} \cdot 100\%$$

ვინაიდან სითბური ძრავას მუშაობისას ენერგიის გარკვეული რაოდენობა აუცილებლად გადაეცემა მაცივარს, ამიტომ მისი მქკ ყოველთვის ნაკლებია 100%-ზე. ჩვეულებრივ, სითბური ძრავების მქკ 20%-დან 40%-მდეა.

განვიხილოთ ერთ-ერთი სითბური მანქანის – ორთქლის ტურბინის – მუშაობის პრინციპი. ორთქლის ტურბინის მუშა სხეულია წყლის ორთქლი, რომელსაც სპეციალურ საქვაბებში იღებენ და ახურებენ დაახლოებით 600 °C-მდე. საქვაბიდან ორთქლი მაღალი წნევით მიედინება ტურბინას (სურ. 3.83 ა). საქმენებიდან (1) ორთქლის ნაკადი ეცემა ტურბინის ფრთებს (2), რომლებიც დისკოზეა (3) დამაგრებული. თვით დისკო უძრავადაა დამაგრებული ლილვზე (4). ორთქლის წნევის მოქმედებით დისკო იწყებს ბრუნვას და ატრიალებს ლილვს. ორთქლი ასრულებს მექანიკურ მუშაობას.

ორთქლის ტურბინებს (სურ. 3.83 ბ) ფართოდ იყენებენ თბო და ატომურ ელექტროსადგურებზე, სადაც ტურბინის ბრუნვის მექანიკური ენერგია გარდაიქმნება ელექტრულ ენერგიად, საწვავად კი იყენებენ ნავთობპროდუქტებს, ქვანახშირს, ბუნებრივ აირს და ატომურ საწვავს.

საქართველოში მოქმედი რამდენიმე თბოელექტროსადგურიდან ყველაზე მძლავრი გარდაბნისაა.



სურ. 3.83

დასკვნები:

- მონყობილობას, რომელიც საწვავის შინაგან ენერგიას მექანიკურ ენერგიად გარდაქმნის, სითბური ძრავა ეწოდება;
- სითბური ძრავა ციკლურად მომუშავე მანქანაა;
- სითბური ძრავას ძირითადი ნაწილებია: მუშა სხეული, სახურებელი და მაცივარი;
- სითბურ ძრავაში ენერგიის გარკვეული რაოდენობა აუცილებლად გადაეცემა მაცივარს;
- სითბური ძრავას მქვ გამოითვლება ფორმულით: $\eta = \frac{A}{Q_1} = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1}$;
- არც ერთ სითბურ ძრავას არ შეიძლება ჰქონდეს 100%-ის ტოლი მქვ.

საკონტროლო კითხვები:

1. რატომ არ გვაკმაყოფილებს მუშაობის შესრულებისას მხოლოდ მარტივი მექანიზმების გამოყენება?
2. რაში ეხმარება ადამიანს სითბური ძრავა?
3. რის ხარჯზე ასრულებს მუშაობას აირი?
4. რატომ არის აუცილებელი მუშაობის შესრულების შემდეგ აირის გაცივება?
5. რას უწოდებენ მუშა სხეულს? სახურებელს? მაცივარს?
6. როგორ ახსნი $A = Q_1 - Q_2$ ტოლობას?
7. რა მიზნებს ემსახურება სითბური ძრავას მქვ-ს გაზრდა?



ერთად ამოვხსნათ ამოცანა

განსაზღვრეთ მოტოციკლზე მოქმედი წევის ძალა, თუ 20 კმ მანძილის გავლისას ბენზინის ხარჯი 1,4 ლ-ია. მოტოციკლის ძრავას მარგი ქმედების კოეფიციენტი 25 %-ია.

ამოხსნა:

მოც:
 $S=20$ კმ;
 $V=1,4$ ლ;
 $\rho=710$ კგ/მ³;
 $q=46 \cdot 10^6$ ჯ/კგ;
 $\eta=25\%$.
შ.ვ. F

მოტოციკლის ძრავას მარგი ქმედების კოეფიციენტი იქნება წევის ძალის მიერ შესრულებული მუშაობის შეფარდება ბენზინის დაწვის დროს გამოყოფილ სითბოს რაოდენობასთან: $\eta = \frac{A}{Q}$.

წევის ძალის მუშაობა $A=FS$. ბენზინის დაწვის დროს გამოყოფილი სითბოს რაოდენობა $Q=qm=q\rho V$. ვინაიდან მარგი ქმედების კოეფი-

ციენტი 25 %-ია, $\frac{A}{Q} = \frac{1}{4} \Rightarrow Q=4A$. $q\rho V=4FS \Rightarrow F = \frac{q\rho V}{4S}$. რიცხვითი

მნიშვნელობების ჩასმით მივიღებთ: $F \approx 571$ ნ.



ამოხსენით ამოცანები:

1. რისი ტოლია სითბური ძრავას მიერ შესრულებული სასარგებლო მუშაობა, თუ მუშა სხეულის მიერ სახურებლისგან მიღებული სითბოს რაოდენობა 700 მგჯ-ია, მაცივრისთვის გადაცემული სითბოს რაოდენობა კი – 550 მგჯ.

2. რისი ტოლია დიზელზე მომუშავე ძრავას მარგი ქმედების კოეფიციენტი, თუ მის მიერ შესრულებული სასარგებლო მუშაობა საწვავის დაწვისას გამოყოფილი სითბოს რაოდენობის 0,23 ნაწილია?

3. განსაზღვრეთ სითბური ძრავას მარგი ქმედების კოეფიციენტი, თუ ყოველ ციკლში მუშა სხეულის მიერ სახურებლისგან მიღებული სითბოს რაოდენობა 500 მგჯ-ია, მაცივრისთვის გადაცემული სითბოს რაოდენობა კი – 400 მგჯ.

4. განსაზღვრეთ ბენზინზე მომუშავე ძრავას მიერ 1 კგ ბენზინის დაწვისას შესრულებული სასარგებლო მუშაობა, თუ ძრავას მარგი ქმედების კოეფიციენტი 20 %-ია.

5. რისი ტოლია სითბური ძრავას მარგი ქმედების კოეფიციენტი, თუ ყოველ ციკლში მუშა სხეულის მიერ სახურებლისგან მიღებული სითბოს რაოდენობა $5/3$ -ჯერ მეტია მაცივრისთვის გადაცემული სითბოს რაოდენობაზე.

6. მუშა სხეულის მიერ ყოველ ციკლში სახურებლისგან მიღებული სითბოს რაოდენობა $10/7$ -ჯერ მეტია მაცივრისთვის გადაცემული სითბოს რაოდენობაზე. როგორ შეიცვლება სითბური ძრავას მარგი ქმედების კოეფიციენტი, თუ თითოეულ ციკლში მუშა სხეული მაცივარს $8/7$ -ჯერ უფრო მეტ სითბოს რაოდენობას გადასცემს?

7. განსაზღვრეთ ბენზინზე მომუშავე ამწის მარგი ქმედების კოეფიციენტი, თუ 4,6 ტ მასის ტვირთის 10 მ სიმაღლეზე თანაბრად ატანისას ამწის ძრავაში 100 გ მასის ბენზინი იწვის. წინააღმდეგობის ძალებს ნუ გაითვალისწინებთ.

8. ჰორიზონტალურ ლიანდაგზე თანაბრად მოძრავ ორთქმავალზე მოქმედი სრული წინააღმდეგობის ძალა 5 მგნ-ია. რა მასის ქვანახშირის დაწვაა საჭირო, რომ ორთქმავალმა 405 მ მანძილი გაიაროს? ძრავას მარგი ქმედების კოეფიციენტი 15 %-ია.

9. მოტორიან ნავზე მოქმედი წყლის წინააღმდეგობის ძალა ნავის სიჩქარის პროპორციულია (ნახ. 3.84). ტბის ორ პუნქტს შორის მანძილის თანაბარი სიჩქარით დასაფარად ნავს m მასის საწვავი სჭირდება. რა მასის საწვავი დასჭირდება ნავს იმავე მანძილის დასაფარად, თუ ნავის სიჩქარეს ორჯერ გაზრდიან?



სურ. 3.84

10. მოტორიან ნავზე მოქმედი წყლის წინააღმდეგობის ძალა ნავის სიჩქარის კვადრატის პროპორციულია.

ტბის ორ პუნქტს შორის მანძილის თანაბარი სიჩქარით დასაფარად ნავს m მასის საწვავი სჭირდება. რა მასის საწვავი დასჭირდება ნავს 2-ჯერ მეტი მანძილის დასაფარად, თუ ნავის სიჩქარეს ორჯერ გაზრდიან?

§ 3.16 სითბური მანქანებით გამოწვეული ეკოლოგიური პრობლემები

თანამედროვე ადამიანის მოთხოვნილებების დასაკმაყოფილებლად საჭიროა ენერგეტიკისა და ტრანსპორტის უწყვეტი განვითარება, რაც, თავის მხრივ, იწვევს ქვანახშირის, ნავთობის, ბუნებრივი აირისა და სხვა საწვავის მზარდ მოხმარებას. სითბური მანქანების მიერ მოხმარებული საწვავის რაოდენობა იმდენად დიდია, რომ სულ უფრო რთული ხდება გარემოს დაცვა წვის პროდუქტების მავნე ზემოქმედებისაგან, რომელიც განპირობებულია რამდენიმე ფაქტორით:

1. საწვავის წვისას მოიხმარება ჰაერში არსებული ჟანგბადი, რის გამოც მისი რაოდენობა ატმოსფეროში კლებულობს. მაგალითად, 1 კგ ბენზინის დაწვისათვის საჭიროა 2,5 კგ ჟანგბადი; ცნობილია, რომ საჰაერო ლაინერი ევროპიდან ამერიკის კონტინენტზე გადაფრენისას ატმოსფეროდან დაახლოებით 40 ათას კუბურ მეტრ ჟანგბადს მოიხმარს.

2. საწვავის წვას თან ახლავს ატმოსფეროში ნახშირორჟანგის გამოყოფა, რაც ხელს უწყობს დედამიწაზე „სათბურის ეფექტის“ წარმოქმნას. ეს კი იწვევს დედამიწაზე ტემპერატურის ზრდას. საერთაშორისო კვლევებით, 1961 წელთან შედარებით, საშუალო ტემპერატურამ მოიმატა 1°C -ით. ერთი წლის განმავლობაში სხვადასხვა წყაროდან ატმოსფეროში ხდება თითქმის 30 მილიარდი ტონა ნახშირორჟანგი, ხოლო ტყეების მიერ შთაინთქმება მხოლოდ 4 მილიარდი ტონა. გამოტყორცნილი ნახშირორჟანგის ნახევარს გამოყოფს თბოელექტროსადგურები (სურ. 3.85), ტრანსპორტი – 24%-ს, დანარჩენს კი ფაბრიკა-ქარხნები, ვულკანები (სურ. 3.86) და ცოცხალი ორგანიზმები;

3. სითბურ ძრავებში საწვავის გარკვეული რაოდენობა სრულად არ იწვის, რის შედეგადაც ატმოსფეროში ხდება შხამიანი მხუთავი აირი (CO);

4. თითქმის ყველა საწვავის წვის შედეგად ატმოსფერო ბინძურდება აზოტისა და გოგირდის შენაერთებით, რაც იწვევს მჟავა წვიმების წარმოქმნას. ზეგერითი თვითმფრინავებისა და რაკეტების მაღალ სიმაღლეზე ფრენისას წარმოქმნილი აზოტის ოქსიდი შლის ოზონის შრეს, რომელიც დედამიწას მზის საშიში გამოსხივებისაგან იცავს;

5. თბოსადგურებში ქვანახშირის წვისას წარმოიქმნება ფერფლი, რომლის ნაწილი იფანტება გარემოში და აბინძურებს მას.

ეს მხოლოდ არასრული ჩამონათვალია იმ მავნე ზემოქმედებისა, რომელსაც გარემოზე სითბური ძრავები ახდენს.



სურ. 3.85



სურ. 3.86



სურ. 3.87



სურ. 3.88

როგორ შეიძლება ვებრძოლოთ სითბური მანქანების გამოყენების ნეგატიურ შედეგებს? ამაზე მუშაობა რამდენიმე მიმართულებით მიმდინარეობს: მომხმარებლის მიერ (მაცივრები, ტელევიზორები, ნათურები და ა.შ.) ნაკლები ენერგიის ხარჯვა, თბოელექტროსადგურებზე სპეციალური ფილტრების დაყენება, ენერგიის ალტერნატიული წყაროების (მზე, ქარი (სურ. 3.87, 3.88) და ა.შ.) გამოყენება, ელექტრომობილების წარმოების გაზრდა და სხვა.



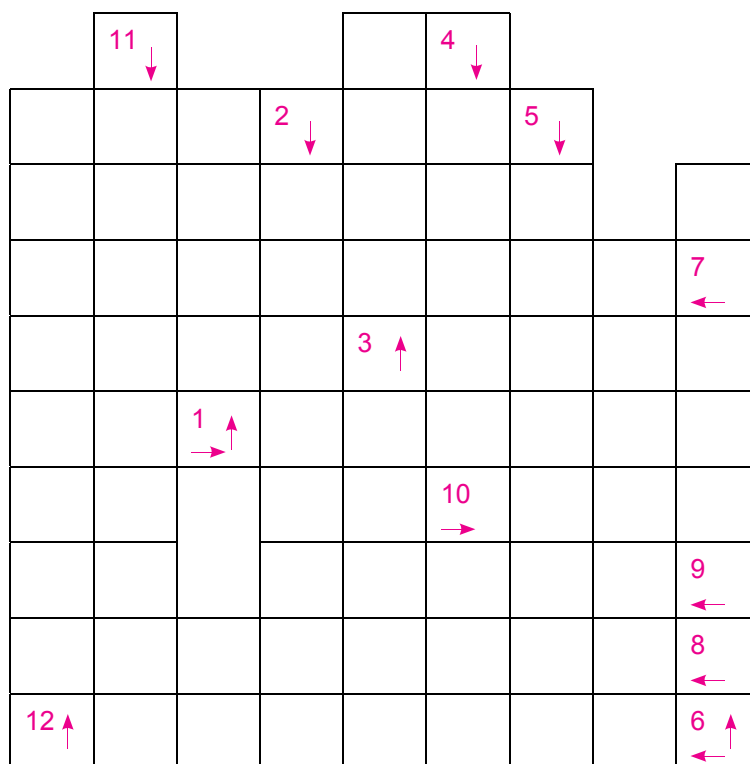
შვეულად: ↓↑

- 1 – მყარი მდგომარეობიდან თხევადში გადასვლა (5 ასო)
- 2 – ბალანსის განტოლება (7 ასო)
- 3 – ჰაერის გაცივებისას წარმოიქმნება (5 ასო)
- 4 – მუშაობის შესრულების უნარი (7 ასო)
- 5 – აორთქლებისას წარმოიქმნება (6 ასო)
- 6 – ნივთიერების შემადგენელი (8 ასო)
- 11 – გათბობისას სხეულთა უმეტესობა (10 ასო)
- 12 – წნევის საზომი ხელსაწყო (9 ასო)

თარაზულად: ⇨⇩

- 7 – წვის სითბო (5 ასო)
- 8 – ორთქლადქცევის ერთ-ერთი სახე (9 ასო)
- 9 – ძრავის ძალა (5 ასო)
- 10 – მყარი, სითხე და (4 ასო)
- 1 – ორთქლადქცევის ერთ-ერთი სახე (6 ასო)
- 6 – ძალის ერთეული (7 ასო)

წ ი ბ ნ შ ი ა რ ჩ ა წ ე რ ო თ !



მესამე თავის შემაჯამებელი კითხვები და ამოცანები

1. ერთმანეთს შეურიეს სამი სახვადასხვა მასისა და ტემპერატურის მქონე წყალი. განსაზღვრეთ მიღებული ნარევის ტემპერატურა სითბური ნონასწორობის დამყარების შემდეგ, თუ თითოეულის მასა და ტემპერატურა შესაბამისად არის: 6 კგ და 80°C , 10 კგ და 70°C , 12 კგ და 50°C . სითბურ დანაკარგებს ნუ გაითვალისწინებთ.

2. 2 ლ მოცულობისა და 30°C ტემპერატურის წყალში ჩაასხეს დნობის ტემპერატურის მქონე 500 გ მასის ტყვია. განსაზღვრეთ წყლისა და ტყვიის ტემპერატურა სითბური ნონასწორობის დამყარების შემდეგ. სითბურ დანაკარგებს ნუ გაითვალისწინებთ.

3. $1000\text{ჯ/}^{\circ}\text{C}$ სითბოტევადობის ჭურჭელში 20°C ტემპერატურის 16 ლ წყალი ასხია. რა ტემპერატურა უნდა ჰქონდეს 5 კგ მასის ფოლადის ნაჭერს, რომ მისი წყალში ჩაშვების შემდეგ დამყარდეს 70°C ტემპერატურა. სითბურ დანაკარგებს ნუ გაითვალისწინებთ.

4. რადიატორში შემავალი წყლის ტემპერატურა 80°C -ია, გამომავალისა კი – 60°C . განსაზღვრეთ რადიატორის მიერ დღე-ღამეში გაცემული სითბოს რაოდენობა, თუ მასში ყოველ წუთში 12 ლ წყალი გადის.

5. რადიატორში შემავალი წყლის ტემპერატურა 70°C -ია, გამომავალი წყლისა კი – 60°C . განსაზღვრეთ რადიატორის მიერ დღე-ღამეში გაცემული სითბოს რაოდენობა, თუ მასში შემავალი და გამომავალი მილების განივკვეთის ფართობი 25სმ^2 -ია, მილებში წყლის მოძრაობის სიჩქარე კი – $0,4\text{მ/წმ}$.

6. ტბის ზედაპირზე წყლის ტემპერატურა 0°C -ია. განსაზღვრეთ დღე-ღამის განმავლობაში წარმოქმნილი ყინულის ფენის სისქე, თუ ტბის ყოველი 10მ^2 ფართობი წუთში 340000 ჯ სითბოს რაოდენობას გასცემს.

7. კუბის ფორმის მქონე ჭურჭელში, რომლის ნიბოს სიგრძე 1 მ-ია, ფსკერზე მიმაგრებულია 15დმ^3 მოცულობის ყინულის ნაჭერი. ჭურჭლის დანარჩენი მოცულობა შევსებულია წყლით. ყინულის და წყლის ტემპერატურა 0°C -ია. რამდენით დაიკლებს წყლის დონე ჭურჭელში, თუ მას $3,4 \cdot 10^5$ ჯ სითბოს რაოდენობას გადავცემთ? მიიჩნიეთ, რომ გადაცემული სითბო მთლიანად ყინულის შინაგანი ენერგიის გაზრდას ხმარდება.

8. რა მასის მშრალი შეშა უნდა დაწვათ, რომ გამოიყოს იმდენივე სითბოს რაოდენობა, რამდენიც გამოიყოფა 10 კგ ქვანახშირის დაწვისას?

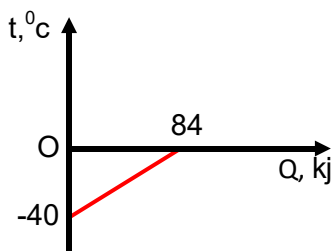
9. ბენზინის მასა 11 კგ-ით მეტია მშრალი ხის მასაზე. ამ ბენზინის დაწვისას გამოყოფილი სითბოს რაოდენობა კი 9,2 – ჯერ მეტია მშრალი ხის დაწვისას გამოყოფილ სითბოს რაოდენობაზე. განსაზღვრეთ თითოეულის მასა.

10. რა მასის 0°C -იანი ყინული შეიძლება გავადნოთ 3 ლიტრი სპირტის დაწვის შედეგად, თუ სპირტის წვის დროს გამოყოფილი სითბოს რაოდენობის 50 % ყინულს გადავცემა?

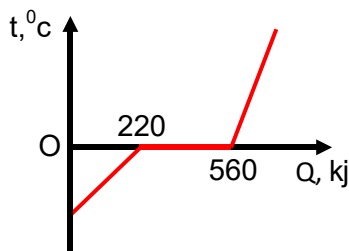
11. სურ. 3.89-ზე მოცემული გრაფიკი გვიჩვენებს ყინულის ტემპერატურის დამოკიდებულებას მასზე გადაცემულ სითბოს რაოდენობაზე. განსაზღვრეთ ყინულის მასა.

12. სურ. 3.90-ზე მოცემული გრაფიკი გვიჩვენებს ყინულის და მისგან მიღებული წყლის ტემპერატურის დამოკიდებულებას მასზე გადაცემულ სითბოს რაოდენობაზე. აღწერეთ, რას გვიჩვენებს გრაფიკის თითოეული უბანი და განსაზღვრეთ ყინულის მასა.

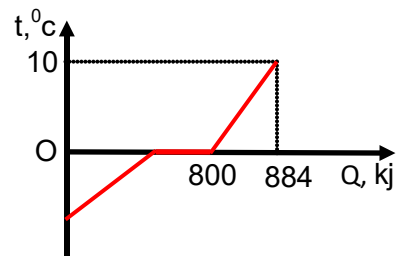
13. სურ. 3.91-ზე მოცემული გრაფიკი გვიჩვენებს ყინულის ყინულის და მისგან მიღებული წყლის ტემპერატურის დამოკიდებულებას მასზე გადაცემულ სითბოს რაოდენობაზე. აღწერეთ, რას გვიჩვენებს გრაფიკის თითოეული უბანი და განსაზღვრეთ ყინულის მასა.



სურ. 3.89



სურ. 3.90



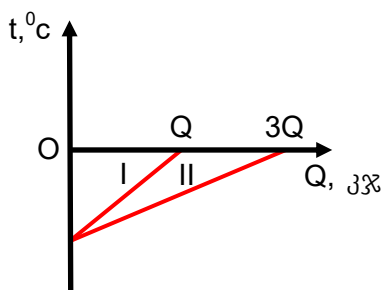
სურ. 3.91

14. სურ. 3.91-ის მიხედვით განსაზღვრეთ დნობის პროცესში ყინულის მიერ მიღებული სითბოს რაოდენობა.

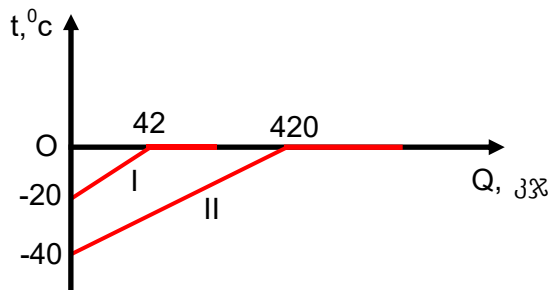
15. სურ. 3.91-ის მიხედვით განსაზღვრეთ ყინულის საწყისი ტემპერატურა.

16. სურ. 3.92-ზე მოცემულია ორი სხვადასხვა მასის ყინულის ტემპერატურის მათზე გადაცემული სითბოს რაოდენობაზე დამოკიდებულების გრაფიკი. განსაზღვრეთ პირველი ყინულის მასა, თუ მეორეს მასა 18 კგ-ია.

17. სურ. 3.93-ზე მოცემულია ორი სხვადასხვა მასის ყინულის ტემპერატურის მათზე გადაცემული სითბოს რაოდენობაზე დამოკიდებულების გრაფიკი. განსაზღვრეთ სითბოს რაოდენობა, რომელიც მათ დნობის პროცესში გადაეცათ.



სურ. 3.92



სურ. 3.93

18. განსაზღვრეთ, რა სიმაღლიდან დაიწყო ვარდნა სპილენძის ბურთულამ, თუ იგი მიწაზე დაცემის შემდეგ $0,5^{\circ}\text{C}$ -ით გათბა. მიიჩნიეთ, რომ დაცემისას გამოყოფილი სითბოს რაოდენობის ნახევარი ბურთულას გადაეცა. ჰაერის წინააღმდეგობას ნუ გაითვალისწინებთ ($g \approx 10 \text{ ნ/კგ}$).

19. ერთნაირი სიმაღლიდან უსაწყისო სიჩქარით ჩამოვარდა ალუმინისა და სპილენძის ბურთულა. განსაზღვრეთ, რომლის ტემპერატურამ მოიმატა უფრო მეტად მიწაზე დაცემის შემდეგ, თუ დაცემისას გამოყოფილი სითბოს რაოდენობა ბურთულებს მთლიანად გადაეცემათ. ჰაერის წინააღმდეგობას ნუ გაითვალისწინებთ.

20. 340 მ სიმაღლიდან უსაწყისო სიჩქარით ჩამოვარდნილი ყინულის ნაჭერი დაეცა მიწაზე. განსაზღვრეთ ყინულის რა ნაწილი გადნება დაცემისას, თუ მისი ტემპერატურა 0°C -ია და დაცემისას გამოყოფილი სითბოს რაოდენობა ყინულს მთლიანად გადაეცემა. ჰაერის წინააღმდეგობას ნუ გაითვალისწინებთ ($g \approx 10 \text{ ნ/კგ}$).

21. 8000 ჯ/°C სითბოტევადობის ქვაბში 10 ლ 20°C ტემპერატურის წყალი ასხია. ქვაბი დადგეს გამათბობელზე, რომელიც ყოველ 5 წუთში 1 მგჯ სითბოს რაოდენობას გადასცემს მას. განსაზღვრეთ, რა დროში ადუღდება წყალი. სითბურ დანაკარგებს ნუ გაითვალისწინებთ.

22. წინა ამოცანის პირობის მიხედვით, განსაზღვრეთ ადულებიდან რა დროში იქცევა ორთქლად მთელი წყალი.

23. ერთი და იმავე ტემპერატურისა და მასის წყალი ასხია ვიწრო მაღალ ჭურჭელში და განიერ დაბალ ჭურჭელში. რომელ ჭურჭელში ადულებს წყალი უფრო დაბალ ტემპერატურაზე, თუ სხვა გარეშე პირობები ერთნაირია?

24. მდულარენცილიან დიდ ქვაბში ტივტივებს წყლიანი პატარა ქვაბი. ადულებს თუ არა წყალი პატარა ქვაბში, თუ დიდ ქვაბს ენერგია უწყვეტად გადაეცემა?

25. კალორიმეტრში მოთავსებულია 5 კგ მასის -20°C ტემპერატურის ყინული. რა ტემპერატურა დამყარდება კალორიმეტრში, თუ მასში შევუშვებთ 100°C ტემპერატურის 200 გ მასის წყლის ორთქლს? კალორიმეტრის სითბოტევადობას და სითბურ დანაკარგებს ნუ გაითვალისწინებთ.

26. კალორიმეტრში, რომელშიც 80°C ტემპერატურის 5 კგ მასის წყალი ასხია, შეუშვებს 100°C ტემპერატურისა და 0,2 კგ მასის წყლის ორთქლი. განსაზღვრეთ ტემპერატურა სითბური წონასწორობის დამყარების შემდეგ. კალორიმეტრის სითბოტევადობასა და სითბურ დანაკარგებს ნუ გაითვალისწინებთ.

27. კალორიმეტრში, რომელშიც 60°C ტემპერატურის 5 კგ მასის წყალი ასხია, შეუშვებს 100°C ტემპერატურისა და 300 გ მასის წყლის ორთქლი. რა მასის წყალი იქნება კალორიმეტრში სითბური წონასწორობის დამყარების შემდეგ? კალორიმეტრის სითბოტევადობასა და სითბურ დანაკარგებს ნუ გაითვალისწინებთ.

28. წინა ამოცანის პირობის მიხედვით, განსაზღვრეთ კალორიმეტრში დამყარებული საბოლოო ტემპერატურა.

29. კალორიმეტრში ჩასხმულია 10 ლ 0°C -იანი წყალი. მასში ტივტივებს 4 კგ მასისა და 0°C ტემპერატურის ყინული. განსაზღვრეთ რა მასის 100°C -იანი წყლის ორთქლი უნდა შევუშვათ კალორიმეტრში, რომ სითბური წონასწორობის დამყარების შემდეგ ყინულის ნახევარი გადნეს. კალორიმეტრის სითბოტევადობასა და სითბურ დანაკარგებს ნუ გაითვალისწინებთ.

30. კალორიმეტრში ჩასხმულია 10 ლ 0°C -იანი წყალი. მასში ტივტივებს იმავე ტემპერატურისა და 5 კგ მასის ყინულის ნაჭერი. განსაზღვრეთ რა მასის 100°C -იანი წყლის ორთქლი უნდა შევუშვათ კალორიმეტრში, რომ სითბური წონასწორობის დამყარების შემდეგ წყლის მასა 1 კგ-ით გაიზარდოს. კალორიმეტრის სითბოტევადობას და სითბურ დანაკარგებს ნუ გაითვალისწინებთ.

31. რა მასის გამდნარი ტყვია უნდა ჩავასხათ 90°C ტემპერატურის 20 ლ წყალში, რომ წყალი ადულდეს და მისი მეთაფი ნაწილი ორთქლად იქცეს (სურ. 3.94)? ტყვიის საწყისი ტემპერატურა 327°C -ია. სითბურ დანაკარგებს ნუ გაითვალისწინებთ.

32. 0°C ტემპერატურის წყალში მოტივტივე ყინულის წყალზედა ნაწილის მოცულობა 1დმ^3 -ია. რამდენი ჯოული სითბოს რაოდენობა უნდა გადავცეთ ყინულს, რომ მისი წყალზედა ნაწილის მოცულობა $0,8\text{დმ}^3$ გახდეს?

33. 100სმ^2 განივკვეთის ფართობის მქონე ცილინდრული ფორმის თავლია ჭურჭელში ასხია 100°C ტემპერატურის წყალი, 20 სმ სიმაღლემდე. რისი ტოლი გახდება ჰიდროსტატიკური წნევა ჭურჭლის ფსკერზე, თუ წყალს $3,2 \cdot 10^6$ ჯ სითბოს რაოდენობას გადავცემთ?

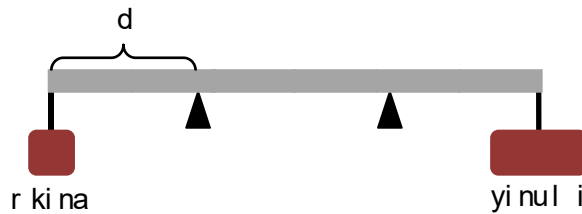
34. ერთნაირად გაბერილი შავი და თეთრი ერთნაირი რეზინის ბუშტები ჩრდილიდან მზეზე გაიტანეს. რომელი ბუშტის ზომა მოიმატებს უფრო მეტად? პასუხი დაასაბუთეთ.



სურ. 3.94

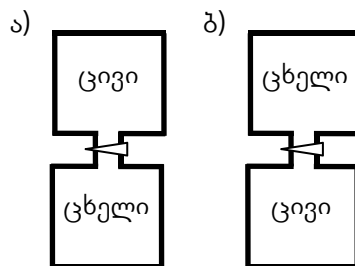
35. ლუკას და თათიას თოვლში თამაშისას შესცივდათ და თბილ ოთახში შევიდნენ. თათიამ ქურთუკი შესვლისთანავე გაიხადა, ლუკამ კი – მოგვიანებით. რომელი მოიქცა უფრო სწორად? პასუხი დაასაბუთეთ.

36. 60სმ სიგრძის ღერო, რომლის ბოლოებზეც ჩამოკიდებულია თითოეული 10კგ მასის რკინისა და ყინულის ნაჭერი, ეყრდნობა ორ საყრდენს (სურ. 3.95). მანძილი ღეროს მარცხენა ბოლოდან მარცხენა საყრდენამდე $d=20$ სმ-ია. განსაზღვრეთ რა სიბრტყეში უნდა გადავცეთ ყინულის ნაჭერს, რომ ღეროს წონასწორობა დაირღვეს. ღეროს მასას ნუ გაითვალისწინებთ, ყინულის საწყისი ტემპერატურა 0°C -ია.



სურ. 3.95

37. ერთმანეთთან მილით დაკავშირებული ორი ჭურჭლიდან ერთში ჩასხმულია ცივი წყალი, მეორეში კი – ცხელი. ჭურჭლების დამაკავშირებელი ონკანი დაკეტილია. სურ. 3.85 ა-ზე და სურ. 3.85 ბ-ზე გამოსახულიდან რომელ მდგომარეობაში უნდა დავდოთ ჭურჭელი, რომ ონკანის გაღების შემდეგ სითბოცვლა ცივ და ცხელ წყალს შორის სწრაფად შეწყდეს? პასუხი დაასაბუთეთ.



სურ. 3.85

38. თავლია წვრილ ლითონის მილში ჩასხმულია ოთახის ტემპერატურის მქონე სპირტი. თუ მილს მდულარე წყალში ჩავუშვებთ, სპირტის სვეტის სიმაღლე ჯერ მოიკლებს, შემდეგ კი ზრდას დაიწყებს. ახსენით მიზეზი.

39. სითბური ძრავას მუშა სხეული ყოველ ციკლში სახურებლისგან იღებს 20 მგჯ-ით მეტ სითბოს რაოდენობას, ვიდრე გადასცემს მაცივარს. განსაზღვრეთ თითოეულ ციკლში მუშა სხეულის მიერ სახურებლისგან მიღებული სითბოს რაოდენობა, თუ ძრავას მარგი ქმედების კოეფიციენტი 25%-ია.

40. სითბური ძრავას მუშა სხეული ყოველ ციკლში სახურებლისგან იღებს 40 მგჯ-ით მეტ სითბოს რაოდენობას, ვიდრე გადასცემს მაცივარს. განსაზღვრეთ თითოეულ ციკლში მუშა სხეულის მიერ მაცივარზე გადაცემული სითბოს რაოდენობა, თუ ძრავას მარგი ქმედების კოეფიციენტი 25%-ია.

ზოგიერთი ნივთიერების სიმკვრივე

ნივთიერება	ρ , კგ/მ ³	ρ , გ/სმ ³	ნივთიერება	ρ , კგ/მ ³	ρ , გ/სმ ³
მყარი ნივთიერება, 20 °C (გარდა ყინულისა)					
ოსმიუმი	22 600	22,6	მარმარილო	2 700	2,7
ირიდიუმი	22 400	22,4	ფანჯრის მინა	2 500	2,5
პლატინა	21 500	21,5	ფაიფური	2 300	2,3
ოქრო	19 300	19,3	ბეტონი	2 300	2,3
ტყვია	11 300	11,3	სუფრის მარი- ლი	2 200	2,2
ვერცხლი	10 500	10,5	აგური	1 800	1,8
სპილენძი	8 900	8,9	პოლიეთილენი	920	0,92
ფოლადი, რკინა	7 800	7,8	პარაფინი	900	0,9
კალა	7 300	7,3	ყინული	900	0,9
თუთია	7 100	7,1	მუხა (მშრალი)	700	0,7
თუჯი	7 000	7	ფიჭვი (მშრალი)	400	0,4
ალუმინი	2 700	2,7	კორპი	240	0,24
თხევადი ნივთიერება, 20 °C					
ვერცხლისწყალი	13 600	13,6	ნავთი	800	0,8
გოგირდმჟავა	1 800	1,8	სპირტი	800	0,8
გლიცერინი	1 200	1,2	ნავთობი	800	0,8
ზღვის წყალი	1 030	1,03	აცეტონი	790	0,79
წყალი	1 000	1	ბენზინი	710	0,71
მზესუმზირის ზეთი	930	0,93	თხევადი კალა 400 °C	6 800	6,8
მანქანის ზეთი	900	0,9	თხევადი ჟანგ- ბადი -194 °C	860	0,86
აირადი ნივთიერება, 0 °C (ნორმალური პირობებისას)					
ქლორი	3,21	0,00321	ბუნებრივი აირი	0,8	0,0008
ჟანგბადი	1,43	0,00143	წყლის ორთქ- ლი 100 °C	0,59	0,00059
ჰაერი	1,29	0,00129	ჰელიუმი	0,18	0,00018
აზოტი	1,25	0,00125	წყალბადი	0,09	0,00009

საბნობრივი საძიებელი

- აბსოლუტური წელი 124
აბსოლუტური ტემპერატურული
სკალა 124
აორთქლება 154
არამდგრადი წონასწორობა 70
ბერკეტი 80
ბრიზი 128
გამოსხივება 131
გამყარება 148
განურჩეველი წონასწორობა 70
დახრილი სიბრტყე 96
დნობა 146
დნობის კუთრი სითბო 150
დნობის ტემპერატურა 146
დუღილი 158
დუღილის ტემპერატურა 159
თბოგადაცემა 115
თბოგამტარობა 117
თერმომეტრი 123
კალორიმეტრი 138
კინეტიკური ენერგია 34
კონდენსაცია 156
კონვექცია 127
კუთრი სითბოტევადობა 134
მარგი ქმედების კოეფიციენტი 99
მარტივი მექანიზმები 80
მასათა ცენტრი 56
მაცივარი 166
მდგრადი წონასწორობა 70
მექანიკის ოქროს წესი 91
მექანიკური მუშაობა 10
მომენტების წესი 66
მოძრავი ჭოჭონაქი 85
მუშა სხეული 166
ნაჯერი ორთქლი 156
ორთქლადქცევა 154
ორთქლადქცევის კუთრი
სითბო 162
პოტენციალური ენერგია 33
სახურებელი 166
სითბოს რაოდენობა 133
სითბური ბალანსის განტოლება 139
სითბური გაფართოება 120
სითბური ძრავა 165
სიმძიმის ცენტრი 56
სიმძლავრე 29
სუბლიმაცია 156
ტემპერატურა 113
ფარენჰეიტის სკალა 125
შინაგანი ენერგია 42
ცელსიუსის სკალა 123
ცხენის ძალა 29
ძალაყინი 80
ძალის მომენტი 62
ძალის მხარი 62
წევა 128
წვის კუთრი სითბო 142
წონასწორობა 58
ჭოჭონაქი 85
ჯალამბარი 67

პასუხები

თავი I

§ 1.2 1) ა) კი; ბ) კი; გ) არა; დ) კი. 2) შეუძლია. 3) 10^4 ჯ. 4) $2,25 \cdot 10^6$ ჯ. 5) 15 ნ-ით. 6) 5. 7) 750 ნ, $7,5 \cdot 10^5$ ჯ. 8) PSL 9) ა) 3კჯ, 4,5 კჯ; ბ) 7,5 კჯ. 10) ა) -1კჯ, 1,5კჯ, ბ) 500 ჯ.

§ 1.3 1) 15 ჯ. 2) 8 ჯ. 3) ერთნაირი იქნება. 4) 500 ჯ. 5) ა) 2 კჯ; ბ) -2 კჯ; გ) 0 ჯ. 6) ნულის ტოლია. 7) ნულის ტოლია. 8) ა) -1 კჯ; ბ) 250 ჯ; გ) -750 ჯ. 9) 4·A-სი. 10) 20 კგ, -2400 ჯ.

§ 1.4 1) ა) უარყოფითია; ბ) უარყოფითია. 2) გაღებისას უარყოფითია, დახურვისას დადებითია. 3) 2,5 ჯ, -2,5 ჯ. 4) 30 ჯ. 4000 ნ/მ. 5) 1000 ნ/მ, 3,2 ჯ. 6) 1 ჯ. ფიგურის ფართობი რიცხვობრივად ტოლია დრეკადობის ძალის მიერ შესრულებული მუშაობის მოდულის. 7) 1,56 ჯ. 8) 0,2 მ, 40ჯ. 9) ა) 50 ნ-ის, 0 ნ; ბ) თანაბრად; გ) 25 ნ-ის; რიცხვობრივად ერთმანეთის ტოლია. 10) 5 ჯ.

§ 1.5 1) უარყოფითს. 2) უარყოფითს. 3) -2 ჯ. 4) -500 ჯ. 5) ორივე შემთხვევაში ერთნაირია. 6) 8A-ს. 7) $-24 \cdot 10^4$ ჯ. 8) 0,1. 9) ა) -1500 ჯ; ბ) -2000 ჯ; გ) 3500 ჯ. 10) -4000 ჯ.

§ 1.6 1) გაიზარდა; გაიზრდებოდა. 2) შესრულებულ სრულ მუშაობაში არასასარგებლო მუშაობის წილი ნაკლები რომ იყოს. 3) ა) 1200 ჯ; ბ) 1250 ჯ; გ) 96%. 4) 0,8-ს. 5) 2/3. 6) ა) სასარგებლოა; ბ) არასასარგებლოა. 7) არასასარგებლო მუშაობის წილი ნაკლები რომ იყოს. 8) 4500 ჯ, 6000 ჯ, 75%. 9) ტვირთის აწევაზე სასარგებლოა, დიდი დგუშის აწევაზე – არასასარგებლო. მათი ჯამი სრული მუშაობაა. 10) შემცირდება.

§ 1.7 1) ერთ წამში 100 ჯ მუშაობას ასრულებს; ერთ წამში 2500 ჯ მუშაობას ასრულებს. 2) 6 კჯ. 3) 5 წმ. 4) 84 კჯ. 5) 14 კვტ. 6) 10 წმ. 7) 500 ვტ. 8) 1500 ვტ. 9) 10 კვტ. 10) 1 ვტ.

§ 1.8 1) 306,25 ჯ. 2) 15,625-ჯერ. 3) 5-ჯერ. 4) 20 ჯ. 5) 20 მ-ს. 6) 14400 ჯ. 7) მაგალითად, გაჭიმული ზამბარის პოტენციალური ენერგიის ხარჯზე გაღებული კარი დაიხურება; გაჭიმული რეზინის ზონრის პოტენციალური ენერგიის ხარჯზე გავისვრით შურდულიდან კენჭს. 8) 1 ჯ. 9) 2,56 ჯ-ის. 10) 10 სმ, 20 სმ.

§ 1.9 1) 600 ჯ. 2) 1500 ჯ. 3) 100 ჯ. 4) 2 მ. 5) 1,25 მ-ს. 6) ერთნაირი იქნება. 7) ა) 45 მ-ზე; ბ) 30 მ/წმ-ით. 8) ა) 400 ნ/მ; ბ) 3,75 სმ; გ) 0,5 ჯ. 9) 2x-ით. 10) ა) 5 დმ-ით; ბ) 20 ნ-ის; გ) 10 ჯ-ის; დ) რიცხვობრივად დრეკადობის ძალის მიერ შესრულებული მუშაობის მოდულის ტოლია.

§ 1.10 1) მაგალითად, მაკრატლის (დანის) გაღვისას საღესი ქვის მექანიკური ენერგია მათ შინაგან ენერგიად გარდაიქმნება – ორივე მათგანი თბება. 2) ხელების ერთმანეთზე გასმისას შესრულებული მექანიკური მუშაობა მათ შინაგან ენერგიად გარდაიქმნება. 3) სირბილისას კუნთების შესრულებული მექანიკური მუშაობის ნაწილი ორგანიზმის შინაგან ენერგიად გარდაიქმნება. 4) გამათბობლისგან მიღებული შინაგანი ენერგიის ხარჯზე თბება ბუშტში არსებული ჰაერი, შემდეგ ჰაერის შინაგანი ენერგი-

ის ხარჯზე ის ფართოვდება – რეზინი იწელება. რაც იმას ნიშნავს, რომ მოიმატებს რეზინის ბუშტის (როგორც დრეკადი სხეულის) პოტენციური ენერგია. 5) $2 \cdot 10^5$ ჯ. 6) 1560 ჯ-ით. 7) 100 ჯ-ით მოიმატა. 8) 20 ჯ-თ. 9) 5 ჯ. 10) ა) 700 ნ; ბ) -35 კჯ; გ) 14 კჯ-ით.

პირველი თავის შემაჯამებელი კითხვები და ამოცანები:

1) 0,1. 2) 30 ნ, 300 ჯ. 3) სიმძიმის ძალის მუშაობის. 4) 135 ჯ, -50 ჯ. 5) არქიმედეს ძალის. 6) -0,036 ჯ, 1,5 ჯ. 7) -85 ჯ. 8) 172,5 ჯ. 9) 640 ჯ. 10) ერთნაირი მუშაობა შესრულდება. 11) ერთნაირ მუშაობას ასრულებთ. 12) არბენისას მეტ სიმძლავრეს ავითარებთ. 13) ორივე შემთხვევაში ერთნაირ მუშაობას შეასრულებთ. 14) გაიზრდება 4-ჯერ. 15) გაიზრდება 8-ჯერ. 16) 3. 17) 4-ჯერ. 18) 2 კვტ. 19) 1200 ვტ. 20) 200 ჯ-ს. 21) ორივე შემთხვევაში ერთნაირია. 22) ორივე შემთხვევაში დადებითია. 23) 200. 24) 0,4კგ. 25) 200 მ. 26) $\frac{10}{3}$. 27) 5 მ-სა და 25 მ-ზე. 28) ა) 2; ბ) 8. 29) 6 სმ. 30) 20 წმ. 31) 3,75 ჯ. გამოვითვალოთ გრაფის ქვეშ გამუქებული

5 სმ-მდე მოთავსებული ტრაპეციის ფართობი:

$$S = \frac{100+50}{2} \cdot 0,05 = 3,75 \text{ (ჯ).}$$

ძალის გავლილ მანძილზე დამოკიდებულების გრაფიკის ქვეშ მოთავსებული ფიგურის ფართობი რიცხობრივად შესრულებული მუშაობის ტოლია. 32) 160 კჯ.

33) 120 კჯ. 34) ა) 20 ნ და 80 ნ; ბ) 50 ნ; გ) 5 ჯ;

დ) სხეულზე მოდებული ცვლადი ძალის მუშა-

ობა რიცხობრივად ამ ძალის განვლილ მანძილზე დამოკიდებულების გრაფიკის

ქვეშ მოთავსებული ფიგურის ფართობის ტოლია. 35) 400 ჯ. 36) 22 მგჯ.

37) 2 მ/წმ-ით. 38) 250 გ. 39) 10. 40) 1600 ჯ-ით. 41) 2-ჯერ. 42) 75 %-ით.

43) 10 მ/წმ-ით. 44) 150 ჯ, 350 ჯ. 45) 20 მ/წმ-ით. 46) 20 მ/წმ. 47) 2,5 მ-ზე. 48) 7,5 მ/წმ.

49) ერთნაირი იქნება. 50) 4h-ს. 51) 50 სმ. 52) ა) 5ჯ; ბ) 0,2 მ. 53) 10ჯ, 5 ჯ. 54) ნახე-

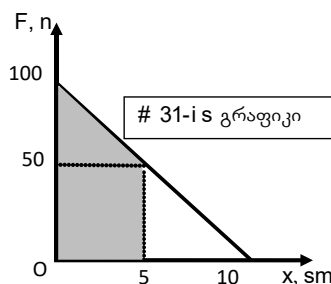
ვარი. 55) 2 მ/წმ. 56) 2 მ/წმ. 57) ა) 25 ნ; ბ) 2,5 ჯ; გ) 25 ნ. 58) ა) 3,2 ჯ. ბ) 100 ნ.

გ) 9,6 ჯ. 59) გაიზრდება. 60) გაიზრდება 100 ჯ-ით. 61) შემცირდება. 62) შემცირდება

200 ჯ-ით. 63) სიმძიმის და რეაქციის ძალები კინეტიკურ ენერგიას არ ცვლის. სრიალის

ხახუნის ძალა – ამცირებს. 64) 10 მ/წმ. 65) 70 კგ. 66) 50 მ. 67) 20 მ/წმ-ით. 68) 9 კჯ.

69) 80 მ-ს. 70) 0,4.



თავი II

§ 2.2 1) 10 ნ მარცხნივ. 2) 7 ნ მარცხნივ. 3) ვერტიკალურად ზევით მიმართული საყრდენის რეაქციის ძალა, რომლის მოდული 50 ნ-ია. 4) ა) ქვედა აგურის მხრიდან მოქმედი ვერტიკალურად ზევით მიმართული რეაქციის ძალა, რომლის მოდული 50 ნ-ია. ბ) ქვედა აგურზე მოქმედებს 3 ძალა: 50 ნ სიმძიმის ძალა, ზედა აგურის მხრიდან ქვევით მიმართული 50 ნ წნევის ძალა და საყრდენ ზედაპირზე აღძრული ზემოთ მიმართული 100 ნ რეაქციის ძალა. 5) 850 ნ. 6) დაირღვევა. 7) ა) 40 კნ; ბ) $\frac{4}{3}$ -ჯერ. 8) 5 სმ; 10 სმ. 9) 150 ნ. 10) 100 ნ-ით.

§ 2.3 1) როდესაც დიდი რადიუსი აქვს. 2) სახელურზე მოქმედ ძალას დიდი მხარი რომ ჰქონდეს. 3) ქანჩის საშუალებით ვზრდით ძალის მხარს. 4) 2,5 ნ-მ-ის. 5) ა) 24 ნ-მ საათის

ისრის მოძრაობის მიმართულებით; ბ) 36 ნ-მ საათის ისრის მოძრაობის მიმართულებით; გ) დისკო წონასწორობაში ვერ იქნება. 6) ა) 20 ნ-მ საათის ისრის მოძრაობის მიმართულებით; ბ) 20 ნ-მ საათის ისრის მოძრაობის საწინააღმდეგოდ; გ) განწონასწორებულია. 7) 5-ჯერ უნდა შევამციროთ. 8) ა) 160 ნ-ის; ბ) 50 სმ-ის; გ) 10 სმ-ის; დ) 25 ნ. 9) 10 ნ-მ. 10) 0,5 მ.

§ 2.5 1) მდგრადია. 2) მდგრადია. 3) განურჩეველია. 4) არამდგრადია. 5) მდგრადია. 6) ა) იმავე წერტილში დარჩება; ბ) მესამე სექტორში გადაინაცვლებს. 7) ა) სურ. ა-ზე გამოსახული ბურთის წონასწორობა მდგრადია, სურ. ბ-ზე არამდგრადი; ბ) სურ. ა-ზე გამოსახულ მდგომარეობაში პოტენციალური ენერგია ნაკლებია. 8) ა) 100 ნ; ბ) 4. 9) $d_1=80$ სმ, $d_2=20$ სმ, 10) 120 სმ-ით.

§ 2.6 1) კოშკის მასათა ცენტრზე გავლებული შვეული საყრდენ ფართობში გადის. 2) საყრდენი ფართობის გასაზრელად. 3) ჯოხის დახმარებით ის ინარჩუნებს წონასწორობას. 4) მძიმე ტვირთების აწევისას საერთო მასათა ცენტრი საყრდენ ფართობში რომ დარჩეს. 5) საყრდენი ფართობის გაზრდა. 6) ოთხფეხა. 7) საყრდენი ფართობის გასაზრდელად. 8) ზრდიან საყრდენ ფართობს. 9) 45° -ით. 10) არა.

§ 2.7 1) 20 კგ. 2) 9 კგ. 3) 20 სმ; 80 სმ; 150 ნ-ით. 4) 20 კგ; 10 კგ. 5) 2,4 მ. 6) 1,2 მ; 0,3 მ. 7) 2 კგ; 20 კგ. 8) 1 მ; 250 ნ. 9) 5 კგ; 150 ნ. 10) 60 კგ.

§ 2.8 1) 100 ნ; 200 ნ. 2) 200 ნ; 400 ნ. 3) 20 სმ-ით. 4) ა) 250 ნ; ბ) 500 ნ; გ) 500 ნ; დ) 750 ნ-ით. 5) 10 კგ; 100 ნ. 6) ა) 4-ჯერ; ბ) 8 მ-ით; გ) 500 ნ; დ) 750 ნ-ით. 7) 300 ნ-ს. 8) 28 კგ. 9) 112 ნ. 10) 28 მ-ს.

§ 2.9 1) 2 ჯ. 2) 1206; $\approx 0,017$ მ. 3) 500 ნ; 4 სმ. 4) 3 სმ-ზე. 5) 300 ნ; 90 ჯ. 6) 80 კგ; -400 ჯ. 7) 200 ნ; 40 ჯ. 8) 30 კჯ. 9) 300 ნ; 50. 10) ა) 300-ჯერ; ბ) 20 ჯ.

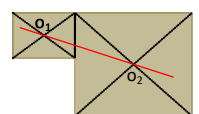
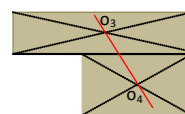
§ 2.10 1) 90 ნ. 2) 40 ნ. 3) 5 კგ. 4) 400 ნ-ით. 5) 40 სმ; 10 სმ. 6) 30 კგ. 7) 125 ნ-ის. 8) 0,1 მ. 9) 160 ნ. 10) 92 ნ.

§ 2.11 1) 100 %-ის. 2) 200 ჯ-ის. 3) 80%. 4) 3,2 კგ. 5) 1 კჯ; 80%. 6) 80%. 7) 75%. 8) 0,4. 9) 0,75. 10) 72%.

მეორე თავის შემაჯამებელი კითხვები და ამოცანები:

1) ა) $\vec{F}_1$ -ის მომენტი ნულის ტოლია, $\vec{F}_2$ -ის მომენტი 100 ნ-მ, $\vec{F}_3$ -ის კი - 100 ნ-მ. ბ) $\vec{F}_2$ -ის მომენტი ნულის ტოლია. $\vec{F}_1$ და $\vec{F}_3$ ძალის მომენტების მოდული 140 ნ-მ. გ) $\vec{F}_3$ ძალის მომენტი ნულის ტოლია. $\vec{F}_1$ და $\vec{F}_2$ ძალის მომენტების მოდული 350 ნ-მ. დ) სამივე ღერძის მიმართ ერთნაირად მოსახერხებელია. 2) 25 სმ; 400 ნ. 3) 40 კგ. 4) 1,6 მ. 5) 48 კგ, 52 კგ. 6) 180 ნ. 7) 80 ნ. 120 ნ. 8) 20 ნ, 80 ნ. 9) 200 ნ. 600 ნ. 10) 10 კგ. 11) 30 კგ; 1400 ნ-ით. 12) 5-ჯერ. 13) $\approx 6,28$ მ-ით. 14) ძალის მოგებას გვაძლევს 1,5-ჯერ. 15) 300 ნ; გაიზრდებოდა 100 ნ-ით. 16) 90 კგ. 17) 70 კგ. 18) 48 კგ; 840 ნ. 19) 40 კგ. 20) 15 კგ. 21) 7 კგ; 930 ნ. 22) 20 სმ. 23) 30 სმ. 24) 12,5 სმ. 25) 30 სმ. 26) დიაგონალების გადაკვეთის წერტილი დაემთხვევა ფირფიტის მასათა ცენტრს.

27) მინიშნება: მიღებული ფიგურა დავყოთ ორ მართკუთხედად. ერთ შემთხვევაში ისე, როგორც სურ ა-ზეა გამოსახული, მეორე შემთხვევაში ისე, როგორც სურ ბ-ზეა გამოსახული. 28) 500 ნ. 29) გვაძლევს ძალის ორჯერ ნაგებას; მანძილის ორჯერ მოგებას.



30) 100 კგ. 31) გვაძლევს ძალის ორჯერ წაგებას, მანძილის ორჯერ მოგებას. 32) 10 სმ-ით. 33) 120 კგ. 34) გვაძლევს ძალის 4-ჯერ მოგებას; მანძილის 4-ჯერ წაგებას. 35) 200 ნ. 36) 320 ჯ; 1,6 მ. 37) 70 ნ. 38) 80 ნ. 39) 140 ნ. 40) 125 ნ. 41) 20 ნ. 42) ≈ 40 ნ. 43) 20 ნ. 44) 37,5 ნ. 45) 12 კგ. 46) 2500 კგ/მ³. 47) 200 ნ. 48) 4000 სმ³. 49) 300 ნ. 50) არ დაირღვევა.

თავი III

§ 3.1 1) მაგალითად ხელების ერთმანეთზე გახახუნებისას. 2) მაგალითად, გამათბობელი ათბობს ოთახს. 3) ჯოხის ღარში ხახუნისას სრულდება მექანიკური მუშაობა, რომელიც გარდაიქმნება მოხახუნე სხეულების შინაგან ენერგიად. 4) ასანთის ღერის კოლოფზე გასრიალებისას სრულდება მექანიკური მუშაობა, რის ხარჯზეც ასანთის თავი გაცხელდება და აალებება. 5) როდესაც ასანთის თავს ცხელ ღუმელს მივადებთ აალებება. 6) ბორბლებსა და გზის საფარს შორის აღძრული ხახუნის ძალის მუშაობის ხარჯზე. გზის საფარის შინაგანი ენერგია. 7) შემცირდება. 8) ა) აირის შინაგანი ენერგიის ხარჯზე. ბ) შემცირდა. 9) შემცირდება. 10) ნაწილაკების ქაოსურად მოძრაობის სიჩქარემ მოიმატა.

§ 3.2 1) მეორე შემთხვევაში, დიდი ფართობით შეხებისას. 2) ჩვეულებრივ ხის კარიც და მისი სახელურიც ოთახის ტემპერატურისაა, რომელიც ნაკლებია ადამიანის ტემპერატურაზე. ლითონი უფრო კარგი თბოგამტარია, ვიდრე ხე, ამიტომ სახელურზე შეხებისას ლითონი უფრო სწრაფად ართმევს ადამიანის ხელს სითბოს რაოდენობას, ვიდრე ხე. ამიტომაც უფრო ცივი გვეჩვენება ლითონი. 3) ლითონი უფრო ცხელი მოგვეჩვენება. 4) თოვლი ფხვიერია და შეიცავს ჰაერს. ჰაერი ცუდი თბოგამტარია, ამიტომ ძლიერ ყინვაში თოვლი უნარჩუნებს მცენარეებს და ნარგავებს შინაგან ენერგიას. 5) საბანი და ქურთუკი შეიცავს ფაფუკ გარსს, რომელშიც ჰაერია. ჰაერი ცუდი თბოგამტარია, ამიტომ იგი გვინარჩუნებს შინაგან ენერგიას. 6) მინა-ბამბას გარსი ფაფუკია, იგი შეიცავს ჰაერს და უნარჩუნებს ოთახს შინაგან ენერგიას. 7) ცუდი თბოგამტარობის გამო მიღების შესაფუთი გარსი უნარჩუნებს ნყალს შინაგან ენერგიას. 8) ლითონის ჭიქაში. 9) უდაბნოში ქვიშის კრისტალებს შორის ჰაერია, რის გამოც ქვიშა ცუდი თბოგამტარია. დღისით მზე ათბობს ქვიშის ზედაპირს. ცუდი თბოგამტარობის გამო სითბოს რაოდენობა ვერ აღწევს ქვიშის ქვედა ფენებში, რის გამოც ვარვარდება ქვიშის მხოლოდ ზედაპირი. ამიტომაც ცხელა დღისით. როდესაც მზე ჩავა ჰაერის ტემპერატურის შენარჩუნებას მხოლოდ დღის განმავლობაში გამთბარი ქვიშა ცდილობს. ვინაიდან ქვიშის ქვედა ფენები დღის განმავლობაში არ გაცხელებულა, ჰაერის ტემპერატურის შესანარჩუნებლად საკმარისი შინაგანი ენერგია მას არ გააჩნია, ამიტომაც ცივა ღამით. 10) მინა ცუდი თბოგამტარია.

§ 3.4 1) $^{\circ}\text{C} = (\text{F} - 32) / 1,8$. 2) 5 K-ით. 3) 0°C . 4) ვერცხლისწყლის გამყარების ტემპერატურა -39°C -ია, ამიტომ ისეთ ადგილებში სადაც -39°C -ზე ნაკლები ტემპერატურაა ვერცხლისწყლიანი თერმომეტრი ვერ იმუშავებს. 5) გათბობისას ლითონები მინაზე უკეთესად ფართოვდება. რეზერვუარის ლითონისაგან დამზადების შემთხვევაში რეზერვუარი გაფართოვდებოდა და ვერცხლისწყლის სვეტი მილში შესამჩნევად ვეღარ აიწევდა. 6) 38°F -ით. 7) ქვედა ზღვარია -10°C ; ზედა ზღვარია -50°C . 8) დანაყოფის ფასი 1°C -ია; ცდომილება $0,5^{\circ}\text{C}$. 9) სხეულის ტემპერატურას განსაზღვრავს მისი შემადგენელი ნაწილაკების ქაოსურად მოძრაობის კინეტიკური ენერგია. -273°C ტემპერატურა ისეთ სხეულს ექნებოდა, რომლის ნაწილაკების კინეტიკური ენერგიები ნულის ტოლი გახდებ-

ბოდა. რადგან ნაწილაკების კინეტიკური ენერგია ნულზე ნაკლები ვერ გახდება, სხეულის ტემპერატურა -273°C -ზე ნაკლები ვერ იქნება. 10) $T_1=300\text{K}$.

§ 3.5 1) მიზეზი ეკვატორსა და პოლუსებზე დედამიწის სხვადასხვანაირი გათბობაა. 2) გარედან შემოსული ცივი ჰაერი კონვექციის გამო იატაკისკენ მიდის და ისე ვრცელდება ოთახში. 3) გახურებული ჰაერი კონვექციით ადის საჰაერო ბურთში. 4) ცივი ჰაერი იატაკისკენ გადაინაცვლებს. ოთახიდან გარეთ გამავალი თბილი ჰაერი ჭერიდან ფანჯრის ზედა ნაწილის გავლით გადის გარეთ. 5) ტბის (ზღვის) თბილი წყალი ზედაპირზე ამოდის, ცივი კი ქვევით რჩება. 6) მაღალჭერიან ოთახში თბილი ჰაერი ჭერთან გროვდება, ამიტომ უფრო მეტი დრო დასჭირდება ჰაერის ქვედა ფენების გათბობას. 7) ჭრილებში ქვემოდან შედის ცივი ჰაერი, ზევით ამოდის თბილი. 8) კონვექციის გამო თბილი წყალი მაღლა გროვდება, ამიტომ გამათბობლით სარგებლობისას თბილი წყალი ზემოდან უნდა გამოვიდეს. 9) 6°C -დან 7°C -მდე გათბობისას. 10) კალორიმეტრის თავზე ჰაერი გაცივდება, კონვექციის გამო ის ზევით არ წავა, შესაბამისად კალორიმეტრის ღია ზედაპირიდან გარემოს სითბოს რაოდენობა მხოლოდ თბოგამტარობით გადაეცემა. ამიტომაც აზოტი საკმაოდ დიდხანს არ გათბება.

§ 3.7 1) $168 \cdot 10^4$ ჯ. 2) 3 კგ. 3) 380 ჯ/კგ $^{\circ}\text{C}$. 4) 7360 ჯ/ $^{\circ}\text{C}$. 5) 225°C . 6) 80°C . 7) 50°C -ით. 8) $3,2^{\circ}\text{C}$. 9) $37,5^{\circ}\text{C}$. 10) 8°C -ით.

§ 3.8 1) $47,5^{\circ}\text{C}$. 2) 55°C . 3) 51°C . 4) 61°C . 5) $\frac{3}{2}$. 6) $\frac{3}{5}$. 7) 40°C . 8) 35°C . 9) 265°C . 10) 38°C .

§ 3.9 1) 138 მგჯ. 2) 2 კგ. 3) 100 კგ. 4) 400°C -ით. 5) სურათ ბ-ზე გამოსახული ლუმლის. 6) 520°C . 7) 36,8 %. 8) 215°C . 9) 70°C . 10) 33/100.

§ 3.10 1) 0°C . 2) ვერ იქნებიან ერთმანეთთან სითბურ წონასწორობაში. 3) არა, კი. 4) გაიზარდა. 5) ა) არ იცვლება. ბ) იზრდება. 6) $21 \cdot 10^4$ ჯ. 7) $42 \cdot 10^4$ ჯ. 8) წყალი გაიყინება, გაფართოვდება და ძრავას დააზიანებს. 9) მდინარეში წყალი მოძრაობს, წყლის ფენებს შორის არის ერთგვარი „ხახუნი“ რომლის დროსაც სითბო გამოიყოფა. 10) ნალექისას კლდის ზედაპირი სველდება, წყლით იფლნთება. ყინვის დროს ეს წყალი იყინება და ფართოვდება, რაც იწვევს კლდის ზედაპირის დაბზარვას (დაშლას).

§ 3.11 1) $135 \cdot 10^4$ ჯ. 2) არ იქნება საკმარისი. 3) 1596800 ჯ. 4) 3 კგ-ს. 5) 1,91 კგ. 6) 10%. 7) 11 კგ. 8) მთლიანად ვერ გადნება. 9) 0°C . 10) $\Theta=10^{\circ}\text{C}$.

§ 3.13 1) იზრდება. 2) არ იცვლება; არ იცვლება. 3) ბათუმში უფრო მეტი სითბოს რაოდენობა დაიხარჯება. 4) მთაში. 5) $42 \cdot 10^4$ ჯ. 6) არ შეიცვლება. 7) უფრო მალე მოიხარშება. 8) არა. 9) სპირტი უფრო დაბალ ტემპერატურაზე დაიწყებს დუღილს. 10) მოიმატებს.

§ 3.14 1) $2,3 \cdot 10^7$ ჯ. 2) საკმარისი იქნება. 3) $2,16 \cdot 10^6$ ჯ. 4) 19072000 ჯ. 5) $6,28 \cdot 10^6$ ჯ. 6) $t_2=50^{\circ}\text{C}$. 7) 14 კგ. 8) 1 კგ. 9) 1 კგ. 10) 20 %.

§ 3.15 1) 150 მგჯ. 2) 23 %. 3) 20 %. 4) $92 \cdot 10^5$ ჯ. 5) 40 %. 6) შემცირდება 1,5-ჯერ. 7) 10%. 8) 5 კგ. 9) 2მ. 10) 8მ.

მესამე თავის შემაჯამებელი კითხვები და ამოცანები:

- 1) $\Theta=63,6^{\circ}\text{C}$. 2) $\theta=33,6^{\circ}\text{C}$. 3) 811°C . 4) $Q\approx 87\cdot 10^9$ ჯ. 5) $Q\approx 3,6\cdot 10^9$. 6) 16 სმ.
- 7) 0,1 მმ-ით. 8) 27 კგ. 9) $m_1=22$ კგ; $m_2=11$ კგ. 10) 95 კგ. 11) 1 კგ. 12) 1 კგ.
- 13) 2 კგ. 14) 680000 ჯ. 15) $\approx -29^{\circ}\text{C}$. 16) 3 კგ. 17) 340000 ჯ, $1,7\cdot 10^6$ ჯ. 18) 38 მ.
- 19) სპილენძი უფრო მეტად გათბება. 20) $1/100$ ნაწილი. 21) 20 წუთში.
- 22) 1 სთ და 55 წთ. 23) დაბალ ჭურჭელში. 24) ვერ აღუდდება. 25) 0°C . 26) 100°C .
- 27) 5,3 კგ. 28) $\theta\approx 93,3^{\circ}\text{C}$. 29) $\approx 0,3$ კგ. 30) $\approx 0,15$ კგ. 31) ≈ 104 კგ. 32) 612 კჯ. 33) 1 კპა.
- 34) შავი ბუშტი მეტად გაიბერება, რადგან ის უკეთესად შთანთქმავს სითბოს და, შესაბამისად, მასში არსებული ჰაერი უფრო მეტად გათბება. 35) თათია უფრო სწრაფად გათბება, რადგან ქურთუკი, რომელიც ცუდი თბოგამტარებია, ხელს არ შეუშლის ოთახიდან სხეულზე სითბოს გადაცემას. 36) $1,7\cdot 10^6$ ჯ. 37) სურათ ა-ზე გამოსახულ მდგომარეობაში. 38) თავდაპირველად გაფართოვდება ლითონის მილი, რის გამოც სპირტის სვეტის სიმაღლე მოიკლებს, შემდეგ როდესაც სპირტი გათბება, ისიც დაიწყებს გადართოვებას და მისი სიმაღლე დაიწყებს ზრდას. 39) 80 მგჯ. 40) 120 მგჯ.

