

ფიზიკა

სახელმძღვანელო

10





ჰეიდარ ალიევი

აზერბაიჯანელი ხალხის სპირიტუალური ლიდერი

ფიზიკა

მირზალი მურაზოვი
რასიმ აბდურაზაოვი
როვზან ალიევი

10

ზოგადსაგანმანათლებლო სკოლების მე-10 კლასისათვის ფიზიკის საგნის
სახელმძღვანელო

გთხოვთ სახელმძღვანელოსთან დაკავშირებული თქვენი გამოხმაურება,
შენიშვნები და წინადადებები გამოაგზავნოთ bn@bakineshr.az და
derslik@edu.gov.az ელექტრონულ მისამართებზე.
წინასწარ მადლობას მოგახსენებთ ჩვენთან თანამშრომლობისათვის!

B

A

K

I



N

Ə

Ş

R

ბაქო – 2017



ფიზიკა

შინაარსი

თავი I

• კინემატიკის საფუძვლები •

1.1. მექანიკური მოძრაობა და მისი აღწერა	10
1.2. გზა და გადაადგილება.	13
1.3.წრფივი თანაბარი მოძრაობა. სიჩქარე	17
1.4. წრფივი თანაბრად ცვლადი მოძრაობა. აჩქარება	20
1.5. სიჩქარე და გადაადგილება წრფივი თანაბრად ცვლადი მოძრაობის დროს	24
• პრაქტიკული სამუშაო. თანაბრად ცვლადი მოძრაობისათვის	28
1.6. სხეულების თავისუფალი ვარდნა	29
1.7. მექანიკური მოძრაობის ფარდობითობა	32
1.8. თანაბარი მოძრაობა წრეწირზე	35
• ამოცანები I თავისათვის	38

თავი II

• დინამიკის საფუძვლები •

2.1. დინამიკის ძირითადი ამოცანები. ძალა. ტოლქმედი ძალა. მასა	43
2.2. ინერციული მოძრაობა: ნიუტონის I კანონი	46
2.3. დინამიკის ძირითადი კანონი: ნიუტონის II კანონი	49
2.4. ქმედება და უკუქმედება: ნიუტონის III კანონი	52
2.5. მსოფლიო მიზიდულობის კანონი	54
2.6. სიმძიმის ძალა. გრავიტაციული ველის დაძაბულობა	57
2.7. წონა და უწონადობა.	60
2.8. დრეკადობის ძალა	65
2.9. ხახუნის ძალა. მოძრაობა ხახუნის ძალის მოქმედებით	69
2.10. სხეულის წონასწორობის პირობები	73
• ამოცანები II თავისათვის	75

თავი III

• მუდმივობის კანონები •

3.1. ჩაკეტილი სისტემა. იმპულსის მუდმივობის კანონი.	79
3.2. მექანიკური მუშაობა და სიმძლავრე	83
3.3. ენერგია – სისტემის უნარი შეასრულოს მუშაობა. კინეტიკური ენერგია	87
3.4. პოტენციური ენერგია	89
3.5. სრული მექანიკური ენერგია. ენერგიის მუდმივობის კანონი	92
3.6. ენერგიის ალტერნატიული წყაროების გამოყენება აზერბაიჯანში (გაკვეთილი-პრეზენტაცია)	96
• ამოცანები III თავისათვის	97

თავი IV

• მემანქანის რეგულაციები და ტალღები •

4.1. რეგულირება მოძრაობის, თავისუფალი რეგულაციები	101
4.2. ზამბარიანი ქანქარის ჰარმონიული რეგულაციები	104
4.3. მათემატიკური ქანქარის ჰარმონიული რეგულაციები	108
• პრაქტიკული სამუშაო. თავისუფალი ვარდნის აჩქარების განსაზღვრა მათემატიკური ქანქარის გამოყენებით	111
4.4. სიჩქარე და აჩქარება ჰარმონიული რეგულაციების დროს	111
4.5. ენერგიის გარდაქმნა ჰარმონიული რეგულაციების დროს (გაკვეთილი-პრეზენტაცია)	114
4.6. იძულებითი რეგულაციები. რეზონანსი	116
4.7. რეგულაციების გავრცელება დრეკად გარემოში: მემანქანის ტალღა	118
• ამოცანები IV თავისათვის	122

თავი V

• რელატივისტური მემანქანა •

5.1. არდობითობის თეორიის პოსტულატები	126
5.2. ენერგიისა და მასის ურთიერთკავშირის კანონი	130
• ამოცანები V თავისათვის	132

თავი VI

• მოლეკულურ-კინეტიკური თეორია •

6.1. მოლეკულურ-კინეტიკური თეორიის ძირითადი დებულებები	135
6.2. იდეალური აირი. მოლეკულურ-კინეტიკური თეორიის ძირითადი განტოლება	139
6.3. სითბური წონასწორობა. ტემპერატურა	142
6.4. აირის მოლეკულების მოძრაობის სიჩქარის განსაზღვრა (გაკვეთილი-პრეზენტაცია)	146
6.5. იდეალური აირის მდგომარეობის განტოლება	147
6.6. იდეალური აირის კანონი	149
6.7. ორთქლის თვისებები: ნაჯერი და უჯერი ორთქლი	153
6.8. ჰაერის ტენიანობა. ნამის წერტილი	157
6.9. სითხის ზედაპირული დაჭიმულობა. კაპილარული მოვლენები	160
6.10. მყარი სხეულის თვისებები	164
• ამოცანები VI თავისათვის	169

თავი VII

• თერმოდინამიკის საფუძვლები •

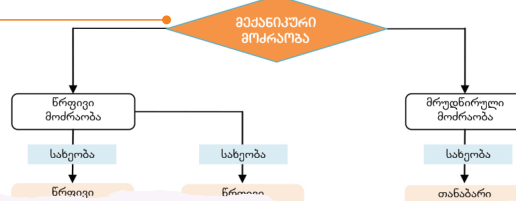
7.1. თერმოდინამიკური სისტემა. შინაგანი ენერგია	173
7.2. თერმოდინამიკის პირველი კანონი	178
7.3. თერმოდინამიკის მეორე კანონი. სითბური ძრავების მუშაობის პრინციპი	182
• პროექტი. „სითბური ძრავები და გარემო“	188
• ამოცანები VII თავისათვის	189

ტერმინების ლექსიკონი	191
--------------------------------	-----

ცნებების რუკა.

თავში განხილული ცნებების სისტემა (მათი ურთიერ-თკავშირების თანმიმდევრობა).

I თავში გამყენებული ცნებების რუკა



მოტივაცია.

აღწერილობითი სხვადასხვა სიტუაცია, ხდება მათი განზოგადება ადრე მიღებული ცოდნის საფუძველზე.

3.1 ჩაკატილი სისტემა. იმპულსის მუდმივობის კანონი



ბარონი მიუნაუზენი ამტკიცებდა, თითქმის თავისი თავი ცხენთან ერთად ჭაობიდან საკუთარი თმით ამოიყვანა.

- როგორ ფიქრობთ, მართალია თუ არა ბარონ მიუნაუზენის ისტორია, შეიძლება თუ არა, ასეთი რამ მომხდარიყო რატომ?
- შეძლო თუ არა ბარონს, ასე გადაეჩინა თავი?

კვლევითი სამუშაო.

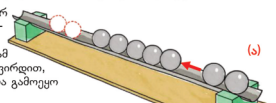
პრაქტიკული ლაბორატორიული სამუშაოები, რომლებიც სრულდება ინდივიდუალურად და ჯგუფთან ერთად, რაც იძლევა ადრე მიღებულ ცოდნას და მოცემულ მომენტში შესასწავლ საკითხს შორის კავშირის დამყარების საშუალებას.

კვლევითი სამუშაო-1. ბურთულების უცნაური შეჯახება სამუშაოსთვის საჭიროა: გალიის ღარი, ერთნაირი ზომის ფოლადის ბურთულები (8-10 ცალი), ზის საყრდენი (მტკიცე მოჭერილი და მოსრიალ რგოლით).

1. დავით ღარი პირიზონტალურ საყრდენზე. მასზე ბურთულები ისე დალაგეთ, რომ ერთმანეთს ეხებოდნენ (ა). ერთ-ერთ ბურთულას ხელით უზიმათ ღარის გასწვრივ. დააკვირდით, რა მოხდება სხვა ბურთულებთან მისი დაჯახების შემდეგ.

2. ცდა გაიმეორეთ: ერთდროულად ორ ბურთულას ხელით უზიმათ და დააკვირდით მოვლენების განვითარებას.

3. ცდა გაიმეორეთ: ერთდროულად სამ ბურთულას ხელით უზიმათ და დააკვირდით, დაჯახების შემდეგ რამდენი ბურთული გამოიყო უფრე ბურთულების რიგს.



იმსჯელო შედეგები:

- რა შენიშნეთ ბურთულების რიგთან ერთი ბურთულის დაჯახების შემდეგ?
- რამდენი ბურთული გამოიყო ბურთულების რიგს მასთან შესაბამისად ორი და სამი ბურთულის დაჯახების შემდეგ?
- გამოთქვით მოსაზრება ამ მოვლენის წარმოქმნის მიზეზთან დაკავშირებით.

ცოდნის

გაღრმავება. ძირითადი ცნებები, განსაზღვრები, წესები და განმარტებები, რომლებიც დაკავშირებულია თემასთან და ხელს უწყობს თემის სიღრმისეულ გაგებას.

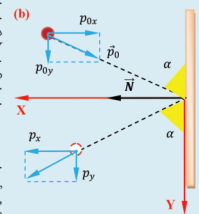
განსაკუთრებული შემთხვევა: ბურთულის აბსოლუტურად დრეკადი დაჯახება კედელთან. დავუშვათ, ბურთული კედელს α კუთხოვით ეჯახება (ბ). კედლის რეაქციის ძალა, რომელიც დაჯახების დროს აღმოჩენა, კედლის სიბრტყის მართობულია. რადგან N რეაქციის ძალის პროექცია Y ღერძზე N_y ტოლია, რაც ნიშნავს, რომ ამ ღერძის გასწვრივ ბურთულაზე რეაქციის ძალა არ მოქმედებს (სოლო სიმძიმის ძალის მოქმედებას არ ვითვალისწინებთ). ბურთულის იმპულსის პროექცია Y ღერძზე არ იცვლება. იცვლება მხოლოდ იმპულსის პროექცია X ღერძზე:

$$p_{0y} = p_y;$$

$$\Delta p_x = p_x - p_{0x} = p_x - (-p_x) = 2p_x = 2p_0 \sin \alpha.$$

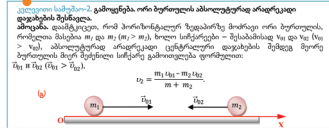
სადაც α კუთხეა $\vec{p}$ იმპულსის (ანუ სიქარის) მიმართულება და კედლის სიბრტყის შორის. რადგან $\Delta p_y = 0$, ანუ იმპულსის მდგენელი Y ღერძის გასწვრივ არ იცვლება, ამიტომ ამ შეჯახების დროს იმპულსის ცვლილება ტოლი იქნება:

$$\Delta p = \sqrt{(\Delta p_x)^2 + (\Delta p_y)^2} = \Delta p_x \text{ ან } \Delta p = 2p_0 \sin \alpha.$$



მოსწავლეთა მიერ
განხორციელებული, შესასწავლ
თემასთან დაკავშირებული,
ექსპერიმენტული სამუშაოები.

გამოყენება. ცდები და დავალებები შესასწავლი მასალის უკეთესად ათვისების, გამოყენებისა და კომენტირებისათვის.



ყოველდღიურობასთან კავშირი. ექსპერიმენტული დავალებები, რომელთა შესასრულებლად შესაძლებელია სხვადასხვა რესურსის გამოყენება.

შეძენილი ცოდნის გამოყენება ყოველდღიურ ცხოვრებაში

- მაღის საათის ნაშების მაქვენებელი ისრის სიგრძე 2 სმ-ია, ხოლო ნუთების მაქვენებელი ისრის - 1,5 სმ. რომელი ისრის ცენტრისკენული აჩქარების მოდული იქნება მეტი და რამდენით?
- ყოველდღიურ ციხურებაში სად ვხდებით წრეწირზე თანაბარ მოძრაობას? რის თქმა შეგიძლიათ მათი ბრუნვის პერიოდსა და ბრუნვის სიხშირეზე?

შეატასეთ თქვენი ცოდნა

- რომელი ცხელები გაიმძვინვრებდა გავრცელებულ? რომელი გაერკვეთ კარგად და რომელი დაგრჩათ ნაწილობრივ გაუგებარი?
- რატომ ეწოდება აქავეებს წინწინაზე სხეულის თანაბრად მოძრაობის დროს ცენტრისკენული, ანუ ნორმალური აქავეება?

• | • კინემატიკის საფუძვლები •

37

■ შავფასეთ თქვენი ცოდნა. დავალებები, რომლებიც მიმართულია თქვენ მიერ მასალის ათვისების ხარისხის განსაზღვრისკენ და რომლის მიზანია თქვენი შემოქმედებითი უნარების განვითარება.

რა შეიტყვეთ? კითხვები
შეძენილი ცოდნის
განსამტკიცებლად.

პროექტი. ნარმოადგენს საშინაო დავალებას. აქვს ექსპერიმენტული სამუშაოს სახე და მის შესასრულებლად შესაძლებელია ნებისმიერი რესურსის გამოყენება.

ამოცანები. ყოველი თავის ბოლოს მოცემულია შეკითხვები და ამოცანები შესწავლილი მასალის გამოყენებით.

3. გამოთვალეთ დედამიწის ცენტრისკენული აჩქარების მოდული მის შუის ირგვლივ მოძრაობის დროს (დედამიწის ორბიტის რადიუსი $R = 1,5 \cdot 10^8$ კმ-ია).
4. როგორია დედამიწის წირითი სიჩქარე შუის ირგვლივ მოძრაობის დროს (დედამიწის ორბიტის რადიუსი $R = 1,5 \cdot 10^8$ კმ-ია)?

რა შიშაქვით? განმარტეთ ქვემოთ მოყვანილი ცნებები და სიდიდეები: „მორბუნების კუთხე“, „კუთხური სიჩქარე“, „წირითი სიჩქარე“, „ცენტრიკენული აჩქარება“, „ბრუნვის პერიოდი“, „ბრუნვის სიხშირე“.

• **პროექტი** • ადგილ წერწერზე თანადარი მოძრაობის „ცნებებს შორის კავშირის რუკა“.

გამოცემები | თავისთავის

- 1.1. განახლებური მანქანისაალონერტის კოორდინატები XOY სისტემაზე, თუ რადიუს-ვექტორი, რომლის მოდული 5 მ-ია, OY ღერძთან 30°-ის კუთხოვს ადგენს.
- 1.2. M მანქანისალონერტის კოორდინატებია $x_M = 1$ მ და $y_M = 1,5$ მ, ხოლო N მანქანის კოორდინატებია $x_N = 3$ მ და $y_N = -2$ მ.
- განახლებური:
- ა) M და N მანქანების უშუალოდონერტ ვექტორის მოდული;
ბ) ამ ვექტორის პროექციები OX და OY ღერძებზე;
გ) ამ ვექტორსა და OY ღერძს შორის კუთხე.
- 1.3. $\vec{a}$ და $\vec{b}$ ვექტორები ურთივსალონერტის მოდულია (ფს. 1). განახლებური: ა) მათი ღერძებზე ვექტორები; ბ) მათში რ ვექტორის მოდული.

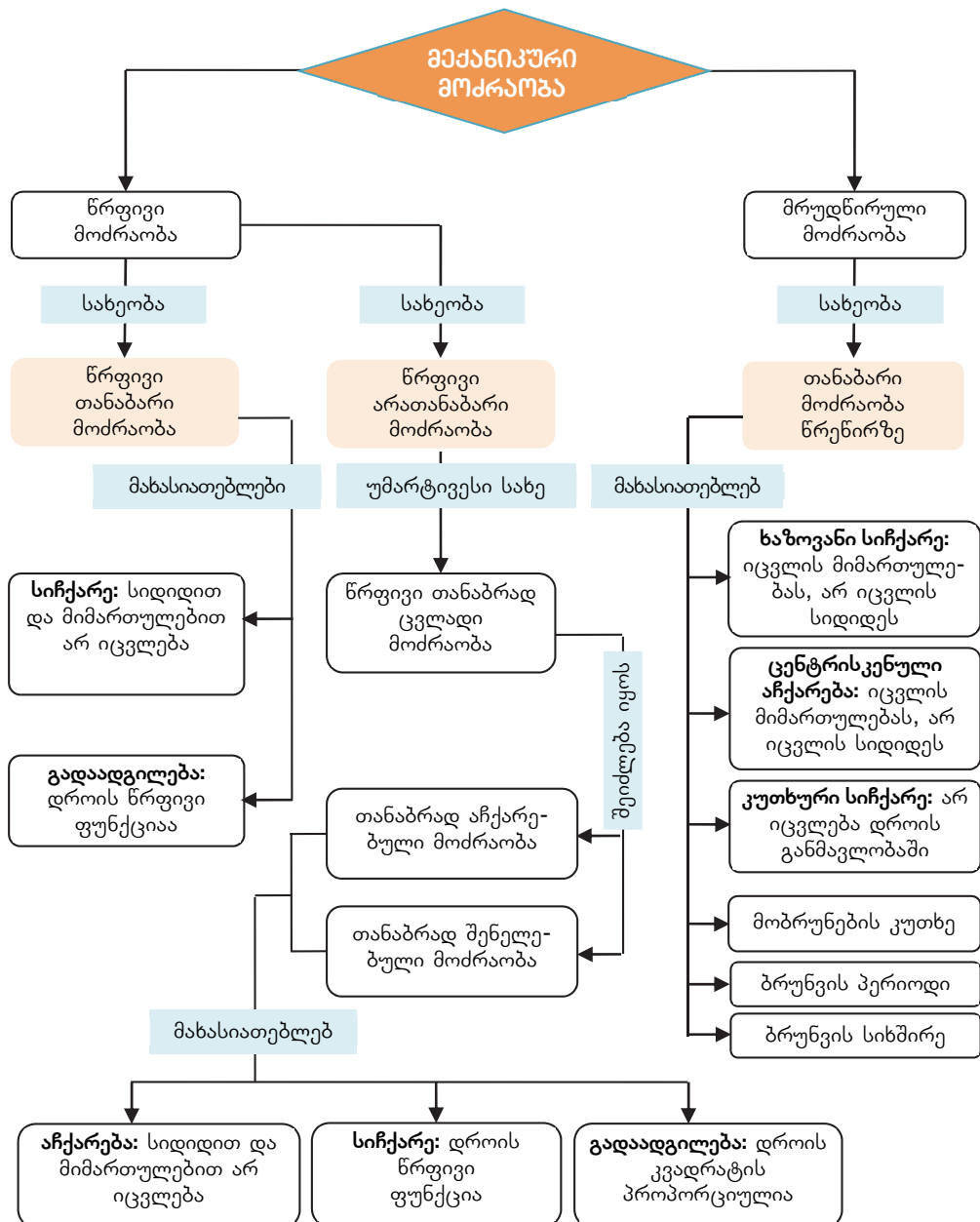


კინემატიკის საფუძვლები

ამ თავის შესწავლის შემდეგ
თქვენ შეძლებთ:

- ახსნათ, რა განსხვავებაა მატერიალურ წერტილსა და სხეულს შორის, გზასა და გადაადგილებას შორის, თა-ნაბარ და თანაბრად ცვლად წრფივ მოძრაობებს შორის;
- თანაბარი და თანაბრად ცვლადი წრფივი მოძრაობების გრაფიკების აგებას და მათ ანალიზს;
- ახსნათ სხეულის თავისუფალი ვარდნა და ვერტიკალურად ასროლილი სხეულის მოძრაობა;
- შეადგინოთ და ამოხსნათ თვისებრივი და რაოდენობრივი ამოცანები მოძრავი მატერიალური წერტილისათვის, როდესაც მოძრაობა არის წრფივი თანაბარი, წრფივი თანაბრად ცვლადი და თანაბარი მოძრაობა წრეწირზე;
- ააგოთ ფიზიკური სიდიდეების დამოკიდებულების გრაფიკები, რომლებიც ახასიათებენ მატერიალური წერტილის წრფივ თანაბარ, წრფივ თანაბრად ცვლად და წრეწირზე თანაბარ მოძრაობას;
- ექსპერიმენტით განსაზღვროთ ფიზიკურ სიდიდეებს შორის დამოკიდებულება, რომლებიც ახასიათებენ წრფივ თანაბარ, წრფივ თანაბრად ცვლად და წრეწირზე თანაბრად მოძრავ მატერიალურ წერტილს;
- მოიყვანოთ სხვადასხვა სახის მექანიკური მოძრაობის მაგალითები ყოველდღიური ცხოვრებიდან, აგრეთვე მექანიზმების მუშაობის პრინციპებისა და გამოყენების მაგალითები.

I თავში გამოყენებული ცნებების რუკა



1.1 მექანიკური მოძრაობა და მისი აღწერა



ალბათ, გასმენიათ ძველი ბერძენი ფილოსოფოსის ჰერაკლიტე ეფესელის (ძვ. წ. 554-483 წწ.) ცნობილი გამო-
ნათქვამები: „ყველაფერი მიედინე-
ბა, ყველაფერი იცვლება“, „მეუძ-
ლებელია ერთსა და იმავე
მდინარეში ორჯერ შესვლა“.

• რა აზრია ამ გამონათქვამებში?

თუ მეგობარი დათქმულ ადგილზე არ
გხვდებათ, თქვენ მას ურეკავთ და
ეკითხებით: „სად ხარ?“. მეგობარი
წარმოიდგენს თქვენი შეხვედრის ად-
გილს და გთხოვთ: „მანდ დამელოდე,
მოვდივარ“.

• რა ფიზიკური აზრია გამონათქვამებში
„სად ხარ?“ და „მანდ დამელოდე“?

ამოცანა 1: რ. სტივენსონის რომანიდან „გან-
ძის კუნძული“ იცით, რომ ლეგენდარულმა მე-
კობრემ კაპიტანმა ფლინტმა, კუნძულზე გან-
ძის ჩამარხვის ადგილი რუკაზე შემდეგნაირად
აღნიშნა: „მაღალი ხე. ჭოგრიტის კალთა.
მიმართულება ჩჩა-დან ჩ-საკენ. ჩონჩხის კუნ-
ძული ასა და ა-საკენ. ათი ფუტი. ვერცხლის
ზოდები ჩრდილოეთ საცავეში; მიაგნებ აღმო-
სავლეთ ბორცვის ფერდობზე; ათი საჟენი შავი
კლდის სამხრეთით, თუ პირი მისკენ გექნება.
ამოთხარე 90 დუიმი“ (ა).

თქვენ თუ შეგიძლიათ განძის მდებარეობის
განსაზღვრა (1 ფუტი = 30,48 სმ, 1 საჟენი = 213,36 სმ, 1 დუიმი = 2,5 სმ)?

იმსჯელეთ შედეგებზე:

• თქვენ თუ შეგიძლიათ კუნძულზე წასვლამდე რუკის მიხედვით განსაზღვროთ განძის
ადგილმდებარეობა? რა უნდა გააკეთოთ ამისთვის?



მოძრაობა მუდმივად ცვალებადი მატერიის ერთ-ერთი ძირითადი თვისებაა ჩვენ ირგვლივ არსებულ სამყაროში. მოძრაობის ერთ-ერთი ყველაზე მარტივი სახეა მექანიკური მოძრაობა.

- მექანიკური მოძრაობა სხეულის მდებარეობის ცვლილებაა სივრცეში სხვა სხეულების მიმართ დროის განმავლობაში.
- მეცნიერებას, რომელიც მექანიკური მოძრაობის კანონზომიერებებსა და მისი წარმოშობის მიზეზებს შეისწავლის, **მექანიკა** ეწოდება (ბერძნული სიტყვიდან „mekhane“ – მანქანა, მექანიზმი).
- მექანიკის ძირითადი ამოცანაა სივრცეში სხეულის მდებარეობის განსაზღვრა დროის ნებისმიერ მომენტში.

მექანიკის ძირითადი ამოცანის გადასაჭრელად აუცილებელია, განვსაზღვროთ, როგორ მოძრაობს სხეული, როგორ იცვლება მისი მდებარეობა დროის განმავლობაში. სხვა სიტყვებით, აუცილებელია მექანიკური მოძრაობის დამახასიათებელ ფიზიკურ სიდიდეებს შორის კავშირის დადგენა.

• მექანიკის ნაწილს, რომელიც შეისწავლის სხეულების მექანიკურ მოძრაობას ამ მოძრაობის წარმოქმნის მიზეზების გათვალისწინების გარეშე, **კინემატიკა** ეწოდება (ბერძნული სიტყვიდან „kinematos“ – მოძრაობა).

მექანიკური მოძრაობის ერთ-ერთი ყველაზე მარტივი სახეა გადატანითი მოძრაობა.

- სხეულის მოძრაობას **გადატანითი** ეწოდება, თუ მისი ყველა წერტილი ერთნაირად მოძრაობს.

გადატანითი მოძრაობის დროს სხეულის ნებისმიერ ორ წერტილზე გამავალი წრფე თავისი საწყისი მდგომარეობის პარალელური რჩება. მაგალითად, გადატანითია ჩემოდნის მოძრაობა, რომელიც ნაჩვენებია ნახატზე (ბ). რადგან გადატანითი მოძრაობის დროს სხეულის ყველა წერტილი ერთნაირად მოძრაობს, ეს მოძრაობა შეგვიძლია წარმოვადგინოთ სხეულის რომელიმე ერთი წერტილის მოძრაობის სახით. ამ მიზეზით მექანიკაში იყენებენ სხეულის იდეალიზებულ ფიზიკურ მოდელს, რომელსაც **მატერიალური წერტილი** ეწოდება.

- **სხეულს, რომლის ზომები მოცემულ პირობებში შეგვიძლია უგულებელვყოთ, მატერიალური წერტილი ეწოდება.**

დროის ნებისმიერ მომენტში მატერიალური წერტილის მდებარეობის განსაზღვრისათვის ირჩევენ ათვლის სხეულს.

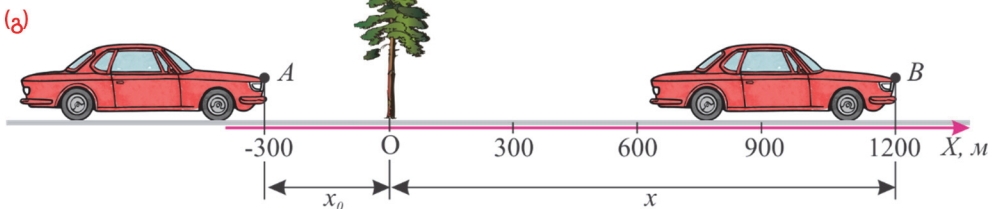
- **ათვლის სხეული ეწოდება სხეულს, რომლის მიმართაც შეისწავლება მატერიალური წერტილის მოძრაობა.**

ათვლის სხეულს ნებისმიერად ირჩევენ და პირობითად ითვლება, რომ ის უძრავია. მაგალითად, ათვლის სხეულად შეგვიძლია ავირჩიოთ მზე, დედამიწა, ხილული ვარსკვლავები, მატარებლის ვაგონი, რომლითაც ვმგზავრობთ და სხვ.

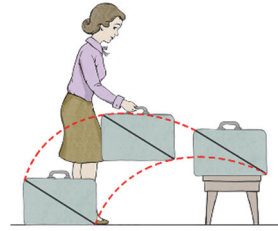
მატერიალური წერტილის მდებარეობა არჩეული ათვლის სხეულის მიმართ შეგვიძლია განვსაზღვროთ **კოორდინატა** მეთოდის ან **რადიუს-ვექტორის** მეთოდის გამოყენებით.

მატერიალური წერტილის მდებარეობის განსაზღვრა კოორდინატა მეთოდის გამოყენებით.

ათვლის სხეულის არჩევის შემდეგ ამ სხეულის რომელიმე წერტილს ათვლის სათავედ ირჩევენ და მასზე საკოორდინატო ღერძებს ავლებენ. ამის შემდეგ ნებისმიერი მატერიალური წერტილის მდებარეობას ამ კოორდინატებით განსაზღვრავენ. ამის გაკეთება თქვენ მათემატიკის გაკვეთილებზე ისწავლეთ (იხ. მათემატიკა 5). მაგალითად, განვსაზღვროთ ავტომობილის მდებარეობა სწორ გზაზე (გ).



ამისთვის საკმარისია გზის გასწვრივ გავავლოთ ერთი საკოორდინატო OX ღერძი. საკოორდინატო ღერძის სათავედ (წერტილი O) ავირჩიოთ ხე, რომელიც გზის პირას იზრდება. ამ შემთხვევაში ავტომობილის მდებარეობა განი-

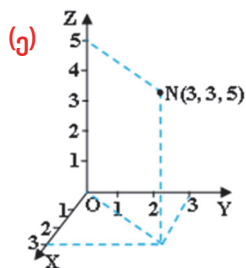
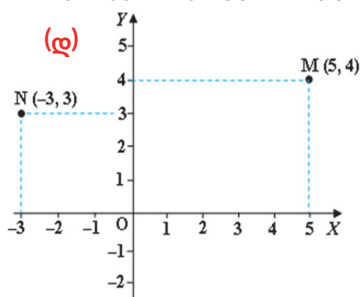


ყურადღება! აქ სიტყვები „მოცემულ პირობებში“ ნიშნავს, რომ თუ ერთ შემთხვევაში რომელიმე სხეული შეგვიძლია მატერიალურ წერტილად ჩავთვალოთ, იგივე სხეული სხვა პირობებში მატერიალურ წერტილად ვერ ჩაითვლება. მაგალითად, რადგან დედამიწის რადიუსი 24000-ჯერ ნაკლებია დედამიწიდან მზემდე მანძილზე, დედამიწა მზის ირგვლივ მოძრაობის დროს შეგვიძლია მატერიალურ წერტილად ჩავთვალოთ. მაგრამ თვითმფრინავის, ავტომობილის, კოსმოსური ხომალდისა და სხვა მოძრაობის შესწავლისას დედამიწას მატერიალურ წერტილად ვერ ჩავთვლით.

საზღვრება მხოლოდ მისი x კოორდინატით. კოორდინატთა სათავეს მარჯვნივ კოორდინატები დადებითი სიდიდეებია, მარცხნივ – უარყოფითი სიდიდეები. დავუშვათ, რომ დაკვირვების საწყის მომენტში ($t = 0$) ავტომობილი არის წერტილში, რომლის კოორდინატია -300 მ. მისი საწყისი მდებარეობაა წერტილი A , რომლის კოორდინატი x_0 -ით აღვნიშნოთ: $x_0 = -300$ მ. ავტომობილი x ღერძის გასწვრივ მოძრაობს და დროის რომელიმე t მომენტში აღმოჩნდება წერტილში კოორდინატით $x = 1200$ მ-ს. ავტომობილის მდებარეობის განსაზღვრა დროის ნებისმიერ მომენტში შეგვეძლება, თუ გვეცოდინება მისი კოორდინატის დამოკიდებულება დროზე: $x = x(t)$.

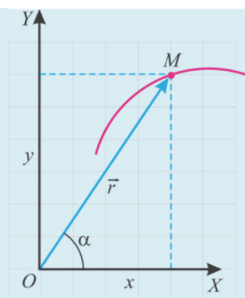
თუ სხეული სიბრტყეზე მოძრაობს (მაგალითად, კალმის წვერი ფურცელზე, ნავი ტბის ზედაპირზე), შერჩეულ ათვლის სხეულზე უნდა გავავლოთ ორი საკოორდინატო ღერძი OX და OY . სიბრტყეზე წერტილის მდებარეობა x და y კოორდინატებით განისაზღვრება. მაგალითად, M წერტილის კოორდინატებია: $x = 5$ და $y = 4$; N წერტილის კოორდინატებია: $x = -3$, $y = 3$ (დ). ამგვარად, მოძრავი სხეულის კოორდინატების დროზე დამოკიდებულების განტოლებები: $x = x(t)$ და $y = y(t)$ აღწერს მატერიალური წერტილის მოძრაობას სიბრტყეზე.

სივრცეში სხეულის მდებარეობის განსაზღვრისათვის (მაგალითად, თევზის მდებარეობა წყალში, თვითმფრინავის მდებარეობა ცაში) ათვლის სხეულს სამგანზომილებიან კოორდინატთა სისტემას უკავშირებენ და ამ სისტემაში განსაზღვრავენ სივრცეში სხეულის მდებარეობის x , y და z კოორდინატებს (ე).



მატერიალური წერტილის მდებარეობის განსაზღვრა რადიუს-ვექტორის მეთოდით. (ვ)

• ვექტორს, რომელიც კოორდინატთა სათავეს მატერიალურ წერტილთან აერთებს, **რადიუს-ვექტორი** ეწოდება. რადიუს-ვექტორი აღინიშნება $\vec{r}$. ასოთი. მისი სიგრძე (ანუ მოდული) განისაზღვრება მანძილით კოორდინატთა სათავედან M წერტილამდე (ვ). რადიუს-ვექტორს მაშინ იყენებენ, როდესაც ცნობილია მისი მოდული და მიმართულება. რადიუს-ვექტორის დროზე დამოკიდებულება $\vec{r}(t)$ აღწერს მატერიალური წერტილის მოძრაობას.



სრული წარმოდგენა რომ შევიქმნათ მატერიალური წერტილის მექანიკურ მოძრაობაზე (წრფეზე, სიბრტყეზე თუ სივრცეში), აუცილებელია, დავადგინოთ, როგორ იცვლება მისი კოორდინატები დროის განმავლობაში. ამისთვის აუცილებელია დროის საზომი ხელსაწყო. როგორც წესი, იყენებენ საათს, რომელსაც წამების ათვლის შესაძლებლობა აქვს. საათის დახმარებით განსაზღვრავენ,

როგორ იცვლება მატერიალური წერტილის კოორდინატები მოძრაობის დაწყების მომენტიდან დროის მომდევნო t_1, t_2, t_3 და ა. შ. მომენტებამდე.

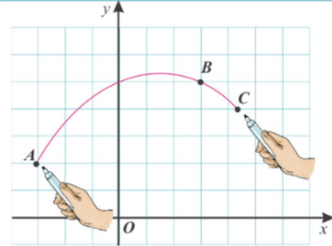
ამგვარად, მატერიალური წერტილის მექანიკურ მოძრაობას შეისწავლიან არჩეული ათვლის სისტემის მიმართ.

• ათვლის სხეული, მასთან დაკავშირებული საკოორდინატო სისტემა და დროის საზომი ხელსაწყო ქმნის ათვლის სისტემას.

კვლევითი სამუშაო-2. განსაზღვრეთ მატერიალური წერტილის კოორდინატები

(%)

ამოცანა: დაფაზე მარკერით აღნიშნულია მოძრაობის სურათი (%). განსაზღვრეთ მარკერის წვერის კოორდინატები A წერტილში დროის $t_1 = 0$ მომენტში, B წერტილში დროის $t_0 = 2$ წმ მომენტში და C წერტილში დროის $t_2 = 4$ წმ მომენტში.



იმსჯელო შედეგებზე:

- რის ცოდნაა აუცილებელი დაფაზე მარკერის წვერის მოძრაობის აღსაწერად?
- როგორია მარკერის წვერის კოორდინატები, რომლებიც დროის სამ სხვადასხვა მომენტში განსაზღვრეთ?

შეძენილი ცოდნის გამოყენება ყოველდღიურ ცხოვრებაში:

1. რამდენი საკოორდინატო ღერძი უნდა გამოვიყენოთ მინდორში მოძრავი ტრაქტორის გადაადგილების განსაზღვრად? პასუხი დაასაბუთეთ.
2. მოიყვანეთ გადატანითი მოძრაობის მაგალითები ყოველდღიური ცხოვრებიდან.

შეაფასეთ თქვენი ცოდნა:

1. რომელი ცნებები გაიმეორეთ გაკვეთილზე? რა გაიგეთ კარგად და რა დარჩა თქვენთვის ნაწილობრივ გაუგებარი?
2. რა პირობებშია შესაძლებელი ერთი და იმავე სხეულის ჩათვლა მატერიალურ წერტილად და რა შემთხვევაში არა? რატომ? შეგიძლიათ თუ არა მაგალითების მოყვანა?
3. რა წარმოშობს ათვლის სისტემის გამოყენების აუცილებლობას?
4. კოორდინატთა რომელი სისტემის გამოყენებაა საჭირო სივრცეში სხეულის მდებარეობის – მაგალითად, ცაში ფრინველის მდებარეობის – განსაზღვრად?

რა შეიტყვით? სამუშაო რეველში ჩაწერეთ მოყვანილი ცნებების განმარტებები: „მექანიკური მოძრაობა“, „მექანიკა“, „მექანიკის ძირითადი ამოცანა“, „კინემატიკა“, „გადატანითი მოძრაობა“, „მატერიალური წერტილი“, „ათვლის სხეული“, „ათვლის სისტემა“.

1.2 აზა და გადაადგილება

სასკოლო ავტობუსი ბაქოს აზადლიგის მოედნიდან 8.00-ზე გავიდა.

- შეიძლება თუ არა ზუსტად განვსაზღვროთ, სადამდე მივიდა ავტობუსი 10.00-სთვის, თუ ცნობილია, რომ მან ამ 2 საათის განმავლობაში 135 კმ მანძილი გაიარა? რატომ?
- შეძლებს თუ არა ავტობუსი 10.00-ზე ისევ აზადლიგის მოედანზე აღმოჩნდეს?
- საკმარისია თუ არა სხეულის საბოლოო მდებარეობის განსაზღვრად მისი საწყისი მდებარეობისა და მის მიერ განვლილი მანძილის ცოდნა? პასუხი დაასაბუთეთ.



**კვლევითი სამუშაო-1. ერთნაირი მანძილი გაი-
არეს თუ არა ტურისტებმა ორ ქალაქს შორის?**
რესურსები: საგზაო-სატრანსპორტო რუკა
ქალაქებს ბაქოსა და ზაქათალას შორის (ა),
ძაფი, სახაზავი ან კულვიმეტრი.

— საავტომობილო გზა
- - - - - სარკინიგზო გზა
— საჰაერო გზა

(ა)



სამუშაოს მსვლელობა: 1. ძაფისა და სახაზავის საშუალებით გაზომეთ საავტომობილო, სარკინიგზო და საჰაერო გზები ბაქოსა და ზაქათალას შორის. 2. მიღებული შედეგები გამოსახეთ კილომეტრებით (რუკის მასშტაბის გათვალისწინებით) და ჩაწერეთ 1.1 ცხრილის შესაბამის გრაფებში (ცხრილი გადაიხაზეთ სამუშაო რვეულში).

ცხრილი 1.1.

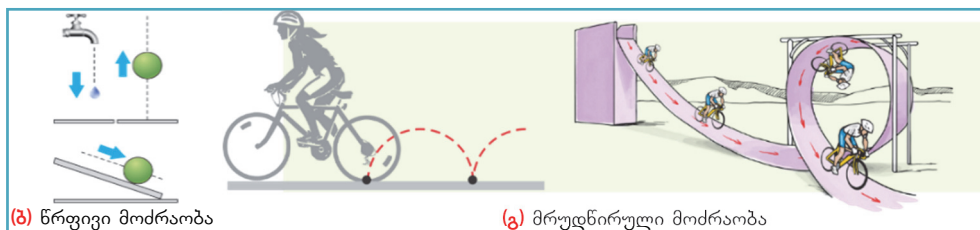
სატრანსპორტო გზა	სავტომობილო გზა	სარკინიგზო გზა	საჰაერო გზა
მანძილი ბაქოსა და ზაქათალას შორის (კმ)			

იმსჯელეთ შედეგებზე:

- ბაქოდან ზაქათალაში ავტობუსით, მატარებლითა და თვითმფრინავით მოგზაური ტურისტებიდან რომელმა გაიარა ყველაზე ნაკლები მანძილი? რომელმა გაიარა მეტი მანძილი? რატომ?

თქვენ იცით, რომ ყველა მოძრაობა გარკვეული ტრაექტორიით სრულდება.

- ტრაექტორია არის წირი, რომელსაც მოძრაობის დროს მატერიალური წერტილი ათვლის მოცემულ სისტემაში შემოწერს. ეს წირი შეიძლება უხილავი იყოს, როგორც, მაგალითად, თევზის მოძრაობის ტრაექტორია წყალში, თვითმფრინავისა – ცაში, ფუტკრისა – ჰაერში და სხვ. მათი მხოლოდ წარმოდგენა შესაძლებელია. ტრაექტორიის ფორმის მიხედვით მექანიკური მოძრაობა იყოფა წრფივად და მრუდწირულად.
- მოძრაობას, რომლის ტრაექტორია ათვლის მოცემულ სისტემაში წარმოადგენს წრფეს, **წრფივი მოძრაობა** ეწოდება (ბ), ხოლო მოძრაობას, რომლის ტრაექტორია მრუდი წირია – **მრუდწირული მოძრაობა** (გ).
- მატერიალური წერტილის მოძრაობის ტრაექტორიის სიგრძეს **გავლილი მანძილი** ეწოდება (ან უბრალოდ მანძილი) (იხ. ფიზიკა 7). გავლილი მანძილი დადებითი სკალარული სიდიდეა, აღინიშნება l ასოთი და SI სისტემაში მისი საზომი ერთეულია მეტრი – 1 მ.



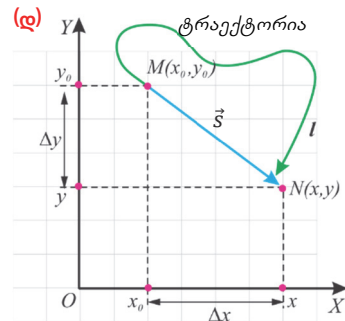
(ბ) წრფივი მოძრაობა

(გ) მრუდწირული მოძრაობა

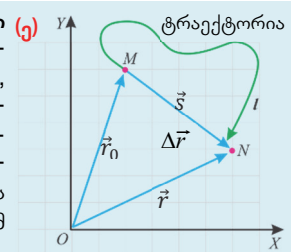
მატერიალური წერტილის მოძრაობის სრულად აღწერისათვის საჭიროა განვსაზღვროთ მისი მდებარეობის ცვლილება სივრცეში დროის განმავლობაში. ეს ნიშნავს, რომ განვსაზღვროთ მატერიალური წერტილის კოორდინატების ცვლილება ან მისი რადიუს-ვექტორის ცვლილება დროის განმავლობაში.

- ნებისმიერი ფიზიკური სიდიდის ცვლილება მისი საწყისი და საბოლოო მნიშვნელობის სხვაობის ტოლია და მისი აღნიშვნის წინ იწერება ნიშანი Δ (ბერძნული ანბანის ასო).

მატერიალური წერტილის კოორდინატების ცვლილება მისი მოძრაობის დროს. მატერიალური წერტილის კოორდინატების ცვლილება მისი მოძრაობის დროს შეიძლება იყოს როგორც დადებითი, ისე უარყოფითი სიდიდე. მაგალითად, დაეუშვათ, ჭიანჭველა ნახატზე ნაჩვენებ ტრაექტორიაზე მოძრაობდა და M წერტილიდან N წერტილში მივიდა (დ). რადგან ჭიანჭველას კოორდინატი X ღერძის გასწვრივ იზრდება ($x > x_0$), მისი კოორდინატის ცვლილება ამ ღერძის გასწვრივ დადებითი სიდიდე იქნება: $\Delta x = x - x_0 > 0$. ხოლო, რადგან ჭიანჭველას კოორდინატი Y ღერძის გასწვრივ მცირდება ($y < y_0$), კოორდინატის ცვლილება Y ღერძის გასწვრივ უარყოფითი სიდიდე იქნება: $\Delta y = y - y_0 < 0$.



მატერიალური წერტილის რადიუს-ვექტორის ცვლილება მისი მოძრაობის დროს. მომდევნო ნახატზე მოცემულია მატერიალური წერტილის (ჭიანჭველას) რადიუს-ვექტორები $\vec{r}_0$ და $\vec{r}$, რომლებიც მის საწყის და საბოლოო მდებარეობებს შეესაბამება (ე). ვექტორს $\Delta \vec{r}$, რომელიც რადიუს-ვექტორების ბოლოებს აერთებს, უწოდებენ მოცემული მატერიალური წერტილის გადაადგილებას დროის t შუალედში. ვექტორების შეკრების წესის თანახმად (იხ. მათემატიკა 8): $\vec{r}_0 + \Delta \vec{r} = \vec{r}$. ამ გამოსახულებიდან მივიღებთ: $\Delta \vec{r} = \vec{r} - \vec{r}_0$ ან $\vec{s} = \Delta \vec{r} = \vec{r} - \vec{r}_0$, სადაც $\vec{s}$ მატერიალური წერტილის გადაადგილებაა.

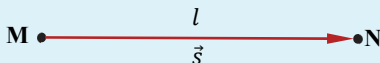


- გადაადგილება არის წრფის მიმართული მონაკვეთი, რომელიც აერთებს მოძრავი მატერიალური წერტილის საწყის მდებარეობას მის საბოლოო მდებარეობასთან. გადაადგილება ვექტორული სიდიდეა.
 - ვექტორული სიდიდე არის სიდიდე, რომელიც განისაზღვრება რიცხვითი მნიშვნელობით (მოდულით) და კონკრეტული მიმართულებით.
- გადაადგილების ვექტორის, როგორც ვექტორული სიდიდის, მიმართ შეგვიძლია გამოვიყენოთ ვექტორებზე მოქმედების ყველა ცნობილი წესი: ვექტორების შეკრება და გამოკლება, ჯამური ვექტორის მოძებნა სამკუთხედისა და პარალელოგრამის წესების გამოყენებით.

ყურადღება!

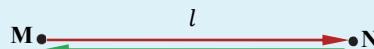
მხოლოდ ერთი მიმართულებით წრფივი მოძრაობის დროს გადაადგილების მოდული გავლილი მანძილის ტოლია. ყველა სხვა შემთხვევაში (წრფივი მოძრაობის მიმართულების ცვლილების ან მრუდწირული მოძრაობის დროს) გავლილი მანძილი გადაადგილების მოდულზე მეტია (ე).

(ვ)



მატერიალურმა წერტილმა M წერტილიდან N წერტილამდე წრფის გასწვრივ l მანძილი გაიარა. ამ შემთხვევაში გავლილი მანძილი გადაადგილების მოდულის ტოლია: $s = l$.

(ზ)

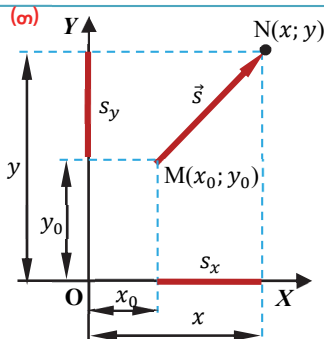


მატერიალურმა წერტილმა წრფის გასწვრივ M წერტილიდან N წერტილამდე l მანძილი გაიარა, შემდეგ იმავე გზით M წერტილში დაბრუნდა. ამ შემთხვევაში მატერიალურმა წერტილმა $2l$ -ის ტოლი მანძილი გაიარა, ხოლო გადაადგილების მოდული 0 -ის ტოლია:

$$\vec{s} = \vec{MN} + \vec{NM}, \quad s = MN - NM = 0.$$

თუ სიბრტყეზე მატერიალური წერტილის მოძრაობის დროს ცნობილია მისი საწყისი კოორდინატები და გადაადგილების ვექტორი, შესაძლებელია მატერიალური წერტილის საბოლოო მდებარეობის კოორდინატების განსაზღვრა. მაგალითად, დავუშვათ, მატერიალურმა წერტილმა შეასრულა გადაადგილება $\vec{s} = \overline{MN}$. გავავლოთ პერპენდიკულარები ამ ვექტორის დასაწყისიდან და ბოლოდან OX და OY ღერძებზე. მივიღებთ ღერძებზე გადაადგილების პროექციებს s_x და s_y . (თ). როგორც ნახატიდან ჩანს, ეს პროექციები მატერიალური წერტილის საწყისი და საბოლოო კოორდინატების სხვაობების ტოლია:

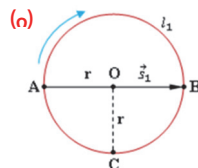
$$s_x = x - x_0, \quad s_y = y - y_0.$$



შემოქმედებითი გამოყენება. კვლევითი სამუშაო-2.

ტოლია თუ არა მანძილი და გადაადგილება?

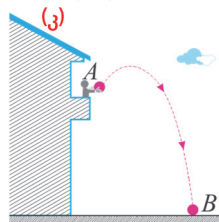
ამოცანა. ველოსიპედისტი წრიულ ველოტრეკზე მოძრაობს, რომლის რადიუსი 80 მ-ია. იგი სტარტს იღებს A წერტილიდან. განსაზღვრეთ ველოსიპედისტის გავლილი მანძილი და გადაადგილება B წერტილის პირველად გავლის მომენტში (ი).



მოცემულია	ამოხსნა	გამოთვლა
$r = 80 \text{ მ}$ $l_1 = ?$ $s_1 = ?$	გავლილი მანძილი l_1 რკალის სიგრძის ტოლია: $l_1 = \pi r$. გადაადგილების მოდული კი წრეწირის დიამეტრის ტოლია: $s_1 = D = 2r$.	$l_1 = 3,14 \cdot 80 \text{ მ} = 251,2 \text{ მ}$. $s_1 = 2 \cdot 80 \text{ მ} = 160 \text{ მ}$.

იმსჯელეთ შედეგებზე:

- რით განსხვავდება ერთმანეთისგან გავლილი მანძილი და გადაადგილება?
- რის ტოლია ველოსიპედისტის გავლილი მანძილი და გადაადგილება A წერტილიდან C წერტილამდე მოძრაობის დროს?
- რის ტოლი იქნება ველოსიპედისტის გავლილი მანძილი და გადაადგილება, თუ ის ერთ სრულ ბრუნს შეასრულებს და ისევ A წერტილში დაბრუნდება?
- აივნიდან (A წერტილიდან) გასროლილი ბურთი მიწაზე B წერტილში ეცემა. თუ შეგიძლიათ, სქემატურად გამოსახეთ ბურთის მიერ გავლილი გზა და გადაადგილება (კ).

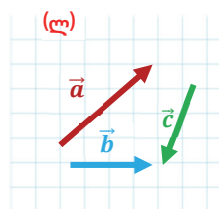


შეძენილი ცოდნის გამოყენება ყოველდღიურ ცხოვრებაში:

კვლევით სამუშაო 1-ში ტურისტი ბაქოდან ზაქათალაში მოგზაურობს. რომელი მარშრუტით გაივლის ტურისტი გადაადგილების ტოლ მანძილს? რატომ?

შეამოწმეთ თქვენი ცოდნა:

1. რომელი განმარტებები გაიმეორეთ გაკვეთილზე? რა გახდა თქვენთვის უფრო გასაგები და რა დარჩა ნაწილობრივ გაუგებარი?
2. რა შემთხვევაშია გავლილი გზა გადაადგილების მოდულის ტოლი? მოიყვანეთ მაგალითები.
3. შეიძლება თუ არა, გავლილი გზა 0-ის ტოლი იყოს? რატომ?
4. შეიძლება თუ არა სხეულის გადაადგილების მოდული 0-ის ტოლი იყოს? რატომ? მოიყვანეთ მაგალითი.
5. როგორ განისაზღვრება სამკუთხედის წესის გამოყენებით ვექტორების ჯამი (ვექტორები $\vec{a}$, $\vec{b}$, $\vec{c}$) (ი) (ლ)? როგორ განისაზღვრება პარალელოგრამის წესის გამოყენებით ამ ვექტორების ჯამი (ტოლქმედი)? წარმოადგინეთ სქემატურად ეს წესები.



რა შეიტყუათ? განმარტეთ ფიზიკური ცნებები და სიდიდეები: „ტრაექტორია“, „გავლილი მანძილი“, „გადაადგილება“, „სკალარული სიდიდე“, „ვექტორული სიდიდე“.

1.3 წრფივი თანაბარი მოძრაობა. სიჩქარე

ავტომობილი ავტობან ბაქო-ყაზახის ჰაჯიკაბულ-განჯის სწორხაზოვან მონაკვეთზე ისე მოძრაობს, რომ ყოველ 1 საათში 90 კმ მანძილს გადის, ყოველ 30 წთ-ში – 45 კმ-ს, ყოველ 15 წთ-ში – 22,5 კმ-ს, ყოველ 5 წთ-ში – 7,5 კმ-ს, ყოველ 1 წთ-ში – 1,5 კმ-ს და ა. შ.

- რა შეიძლება ითქვას ავტომობილის მოძრაობის სიჩქარესა და მის ცვლილებაზე?
- რის ცოდნაა აუცილებელი ავტომობილის მდებარეობის განსაზღვრად დროის ნებისმიერ მომენტში?

კვლევითი სამუშაო-1. ბურთულის წრფივი მოძრაობის შესწავლა

სამუშაოსთვის საჭიროა: მიწის სექლეკედლიანი ცილინდრული მილი, რომელიც ერთი მხრიდან დახურულია და ავსებულია მაღალი კონცენტრაციის შაქრიანი წყლით (ხსნარის რაოდენობა – 1 ლ), მარკერი, წამმზომი, მეტალის ბურთულა (2-3 ცალი), სახაზავი, შტატივი.

სამუშაოს მსვლელობა:

1. მილი ვერტიკალურად დაამაგრეთ შტატივზე და შეავსეთ მაღალი კონცენტრაციის შაქრიანი წყლით (ა).
2. ბურთულა ხსნარში ჩაუშეთ. წინასწარ აღნიშნული A წერტილის გასწვრივ ბურთულის გავლის მომენტში ჩართეთ წამმზომი. ბურთულის ვერტიკალური მოძრაობის დროს მილის კედელზე მარკერით აღნიშნეთ ბურთულის მდებარეობები დროის თანაბარი ინტერვალების $\Delta t_1 = \Delta t_2 = \Delta t_3 \dots = 5$ წმ შემდეგ. განსაზღვრეთ შესაბამისი გადაადგილებები $\Delta s_1, \Delta s_2, \Delta s_3 \dots$
3. ჩაინერეთ მიღებული შედეგები ცხრილი 1.2-ის შესაბამის უჯრებში, გამოთვალეთ ბურთულის სიჩქარე (ცხრილი გადაიხაზეთ სამუშაო რეგულში).

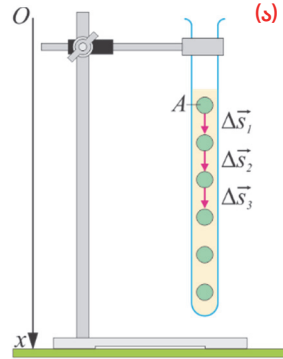
ცხრილი 1.2.

დროის შუალედები	$\Delta t_1 = 5$ წმ	$\Delta t_2 = 5$ წმ	$\Delta t_3 = 5$ წმ	$\Delta t_4 = 5$ წმ
გადაადგილების მოდული	$\Delta s_1 = \dots$	$\Delta s_2 = \dots$	$\Delta s_3 = \dots$	$\Delta s_4 = \dots$
სიჩქარის მოდული	$v_1 = \frac{\Delta s_1}{\Delta t_1} = \dots$	$v_2 = \frac{\Delta s_2}{\Delta t_2} = \dots$	$v_3 = \frac{\Delta s_3}{\Delta t_3} = \dots$	$v_4 = \frac{\Delta s_4}{\Delta t_4} = \dots$

4. ცდა გაიმეორეთ მეორე ასეთივე ბურთულით – შეამცირეთ დროის ინტერვალები და განსაზღვრეთ შესაბამისი გადაადგილებები.

იმსჯელეთ შედეგებზე:

- როგორ გადაადგილებებს ასრულებს ბურთულა დროის ტოლ შუალედებში?
- შეიძლება თუ არა ჩატარებული დაკვირვებების შემდეგ ითქვას, რომ ბურთულა წრფივ თანაბარ მოძრაობას ასრულებს? პასუხი დაასაბუთეთ.



მე-7 კლასის ფიზიკის კურსიდან იცით, რომ წრფივი თანაბარი მოძრაობა მექანიკური მოძრაობის უმარტივესი სახეა.

- წრფივი თანაბარი მოძრაობა არის მოძრაობა სწორ ხაზზე, რომლის დროსაც მატერიალური წერტილი დროის ტოლ შუალედებში ერთნაირ გადაადგილებას ასრულებს.
- წრფივი თანაბარი მოძრაობის დროს სიჩქარის მოდული და მიმართულება არ იცვლება დროის განმავლობაში: $\vec{v} = const$.
- წრფივი თანაბარი მოძრაობის სიჩქარე მუდმივი ფიზიკური სიდიდეა, რომელიც ტოლია მატერიალური წერტილის გადაადგილების შეფარდებისა დროსთან, რომლის განმავლობაშიც ეს გადაადგილება შესრულდა:

$$\vec{v} = \frac{\vec{s}}{t} \quad (1.1)$$

რადგან შეფარდება $\frac{1}{t}$ ამ ფორმულაში სკალარული სიდიდეა, გამოდის, რომ სიჩქარის $\vec{v}$ ვექტორის მიმართულება გადაადგილების $\vec{s}$ ვექტორის მიმართულებას ემთხვევა. სიჩქარის საზომი ერთეული SI სისტემაში არის მეტრი შეფარდებული წამთან:

$$[v] = \frac{[s]}{[t]} = \frac{1\text{მ}}{1\text{წმ}} = 1 \frac{\text{მ}}{\text{წმ}}$$

წრფივი თანაბარი მოძრაობის დროს თუ ცნობილია მოძრაობის სიჩქარე $\vec{v}$, შესაძლებელია დროის t შუალედის განმავლობაში მატერიალური წერტილის $\vec{s}$ გადაადგილების განსაზღვრა:

$$\vec{s} = \vec{v} \cdot t \quad (1.2)$$

• წრფივი თანაბარი მოძრაობის დროს სხეულის მიერ გავლილი მანძილი გადაადგილების მოდულის ტოლია:

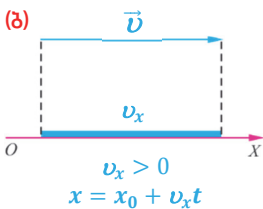
$$l = s = vt \quad (1.3)$$

რადგან ვექტორების პროექციებზე აღგებული მოქმედებების ჩატარება შეიძლება, გადაადგილების გამოსათვლელად იყენებენ არა ვექტორული სახით ჩაწერილ ფორმულას, არამედ ფორმულებს, რომლებიც საკოორდინატო ღერძზე ვექტორების პროექციებს შეიცავს. წრფივი მოძრაობის დროს ტრაექტორია წრფეს წარმოადგენს და მატერიალური წერტილის მდებარეობა მხოლოდ ერთი – X კოორდინატით განისაზღვრება. მატერიალური წერტილის სიჩქარისა და გადაადგილების ვექტორების პროექციებით შედგენილი განტოლებიდან შეგვიძლია გამოვთვალოთ მატერიალური წერტილის მდებარეობის კოორდინატი. (1.2) განტოლების გათვალისწინებით გადაადგილებისა და სიჩქარის ვექტორების OX ღერძზე პროექციებს შორის კავშირი შეგვიძლია შემდეგი სახით ჩავწეროთ:

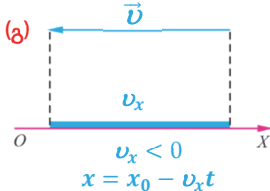
$$s_x = v_x t \quad (1.4)$$

მივიღებთ დროის ნებისმიერი მომენტში მატერიალური წერტილის x კოორდინატის გამოსათვლელ ფორმულას (იხ. თემა 1.2):

$$x = x_0 + s_x, \quad x = x_0 + v_x t \quad (1.5)$$



გამოსახულება (1.5) სხეულის წრფივი და თანაბარი მოძრაობის განტოლებაა. თუ მატერიალური წერტილი არჩეული საკოორდინატო OX ღერძის მიმართულებით მოძრაობს, მისი სიჩქარის პროექცია დადებითი სიდიდე იქნება (ბ), ხოლო, თუ საკოორდინატო ღერძის საპირისპირო მიმართულებით მოძრაობს, ითვლება, რომ სიჩქარის პროექცია უარყოფითი სიდიდეა (გ).

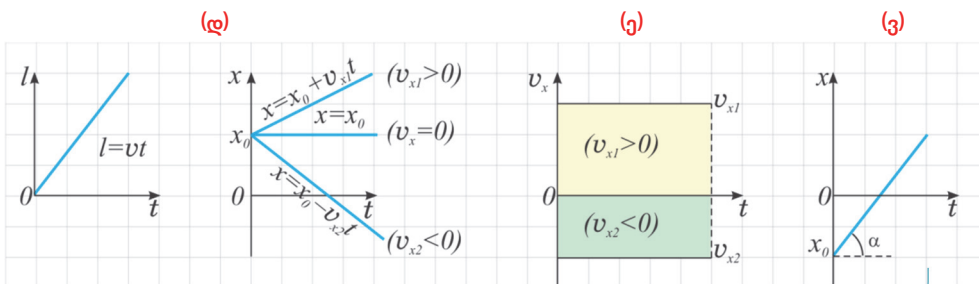


ფორმულიდან (1.5) შეგვიძლია მივიღოთ სიჩქარის პროექციის გამოსათვლელი ფორმულა:

$$v_x = \frac{x - x_0}{t}. \quad (1.6)$$

ფორმულიდან (1.6) ნათელი ხდება, როგორია სიჩქარის ფიზიკური აზრი: სიჩქარის სიდიდე დროის ერთეულში სხეულის x კოორდინატის ცვლილების ტოლია.

მატერიალური წერტილის გავლილი გზა და კოორდინატი წრფივი თანაბარი მოძრაობის დროს დროის წრფივი ფუნქციაა (დ). ამ დროს სიჩქარე მუდმივი სიდიდეა, ამიტომ სიჩქარე-დრო დამოკიდებულების გრაფიკი დროის ღერძის პარალელური წრფეა; ანუ სიჩქარის სიდიდე დროზე არ არის დამოკიდებული (ე).



თანაბარი მოძრაობის კოორდინატი-დრო დამოკიდებულების გრაფიკი დროის ღერძთან გარკვეულ კუთხეს ქმნის. ამ კუთხის ტანგენსი OX ღერძზე სიჩქარის ვექტორის პროექციის (ანუ მოდულის) ტოლია (გ): $tg \alpha = \frac{\Delta x}{t} = v_x$.

შემოქმედებითი გამოყენება.

კვლევითი სამუშაო-2. გამოიყენეთ შეძენილი ცოდნა და ამოხსენით ამოცანა.

ამოცანა. A და B პუნქტებიდან, რომელთა შორის მანძილი 90 კმ-ია, ერთდროულად, ერთმანეთის შეხვედრი მიმართულებით, წრფივ გზაზე მოძრაობა დაიწყო ორმა ველოსიპედისტმა. პირველი ველოსიპედისტის სიჩქარეა $3 \frac{მ}{წმ}$, მეორის სიჩქარე $-1,5 \frac{მ}{წმ}$.

განსაზღვრეთ: ა) ველოსიპედისტების შეხვედრამდე გასული დრო t_1 და შეხვედრის ადგილის კოორდინატი; ბ) შეხვედრის მომენტამდე მათ მიერ გავლილი მანძილები და გადაადგილებები; გ) დრო t_2 , რომელიც გავიდა მოძრაობის დაწყებიდან იმ მომენტამდე, როდესაც მათ შორის მანძილი 10 კმ-მდე შემცირდა.

მოცემულია:

$$l = 90 \text{ კმ} = 90000 \text{ მ}$$

$$v_1 = 3 \frac{მ}{წმ}, v_2 = 1,5 \frac{მ}{წმ}$$

ა) t_1 -? x_1, x_2 -? ბ) l_1, l_2 -? s_{x1}, s_{x2} -? გ) t_2 -?

ამოხსნა

ა) ამოცანის ამოხსნის დროს დავიცავთ მოქმედებათა შემდეგი თანმიმდევრობა:

I მოქმედება. ავირჩიოთ OX კოორდინატა სისტემა, კოორდინატა სათავით A წერტილში და შევადგინოთ სქემატური გამოსახულება (ზ)

II მოქმედება. მოძრაობის განტოლება ჩავწეროთ ზოგადი სახით: $x = x_0 + v_x t$.

III მოქმედება. ამოცანის პირობის თანახმად, ველოსიპედისტების მოძრაობის განტოლებები ჩაინერგება შემდეგი სახით: $x_1 = v_1 t = 3t$; $x_2 = x_0 - v_2 t = 90000 - 1,5t$.

IV მოქმედება. ბუნებრივია, შეხვედრის მომენტში ველოსიპედისტების კოორდინატები ტოლია: $x_1 = x_2$. ამ ტოლობიდან გამომდინარე და იმის გათვალისწინებით, რომ შეხვედრამდე ველოსიპედისტები ერთნაირი $t = t_1$ დროის განმავლობაში მოძრაობდნენ, გვექნება:

$$3t_1 = 90000 - 1,5t_1, \\ 4,5t_1 = 90000 \rightarrow t_1 = \frac{90000}{4,5} \text{ c} = 20000 \text{ c} \approx 5,6 \text{ სთ.}$$

V მოქმედება. შეხვედრის წერტილის კოორდინატი თითოეული ველოსიპედისტისთვის ცალ-ცალკე გამოვთვალოთ. ამისთვის ამოვხსნათ მათი მოძრაობის განტოლებები, იმ პირობით, რომ შეხვედრამდე ველოსიპედისტები t_1 დროის განმავლობაში მოძრაობდნენ:

$$x_1 = v_1 t_1 = 3 \frac{მ}{წმ} \cdot 20000 \text{ c} = 60000 \text{ მ} = 60 \text{ კმ};$$

$$x_2 = x_0 - v_2 t_1 = 90000 \text{ მ} - 1,5 \frac{მ}{წმ} \cdot 20000 \text{ c} = 90000 \text{ მ} - 30000 \text{ მ} = 60000 \text{ მ} = 60 \text{ კმ.}$$

ბ) რადგან ველოსიპედისტები წრფივად და მოძრაობის მიმართულების შეუცვლელად მოძრაობდნენ, მათ მიერ გავლილი მანძილები მათი გადაადგილების მოდულის (პროექციის)

ტოლია: $l_1 = s_{1x} = x_1 - x_0$; $l_2 = s_{2x} = x_2 - x_0$.

გ) დრო t_2 , რომელიც გავიდა მოძრაობის დაწყებიდან იმ მომენტამდე, როდესაც მათ შორის 10 კმ მანძილი დარჩა, გამოითვლება შემდეგი ტოლობიდან: $x_1 - x_2 = 10000 \text{ მ}$ ან $v_1 t_2 - x_0 - v_2 t_2 = 10000 \text{ მ}$.

იმჯელეთ შედეგებზე:

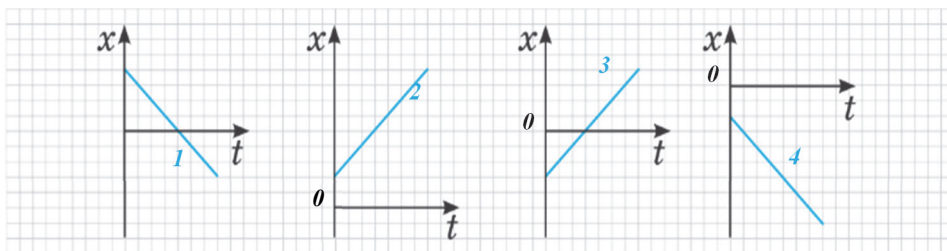
- რა მანძილი გაიარა თითოეულმა ველოსიპედისტმა შეხვედრამდე?
- მოძრაობის დაწყებიდან რა დროის შემდეგ იქნება ველოსიპედისტებს შორის მანძილი 10 კმ-ს ტოლი?

შეძენილი ცოდნის გამოყენება ყოველდღიურ ცხოვრებაში:

- ავტობუსი, რომელიც 90 კმ/სთ სიჩქარით მოძრაობს, 20 წმ-ის განმავლობაში ასრულებს გადაადგილებას, რომელიც მსუბუქი ავტომობილის გადაადგილების ტოლია და რომელიც მან 10 წმ-ში შესასრულა. განსაზღვრეთ მსუბუქი ავტომობილის სიჩქარე.

შეაფასეთ თქვენი ცოდნა:

1. რომელი საკითხები გაიმეორეთ გაკვეთილზე? რა გახდა თქვენთვის უკეთესად გასაგები და რა დარჩა ნაწილობრივ გაუგებარი?
2. მატერიალური წერტილის მოძრაობის განტოლებას ასეთი სახე აქვს: $x = x_0 + v_x t$. რის ცოდნაა აუცილებელი მისი მდებარეობის განსაზღვრისათვის დროის ნებისმიერ მომენტში?
3. ნახატზე წარმოდგენილია მატერიალური წერტილის კოორდინატის დროზე დამოკიდებულების გრაფიკები:



- რომელი გრაფიკი შეესაბამება იმ მატერიალური წერტილის მოძრაობას, რომელიც კოორდინატა სათავეზე გაივლის?
 - რომელი გრაფიკი გამოხატავს მატერიალური წერტილის მოძრაობას x ღერძის საპირისპირო მიმართულებით?
 - რომელ გრაფიკზე აქვთ x_0 -სა და v_x -ს საპირისპირო ნიშნები და რომელზე ერთნაირი?
4. ქვეითი და ველოსიპედისტი შემხვედრი მიმართულებით მოძრაობენ. ქვეითისთვის კოორდინატის დროზე დამოკიდებულება გამოიხატება ფორმულით $x = 13 - 2t$, ველოსიპედისტისთვის $x = 27 - 5t$. გამოსახეთ ეს დამოკიდებულებები ერთ გრაფიკზე და განსაზღვრეთ მათი შეხვედრის დრო.

რა შეიტყვეთ? ჩამოაყალიბეთ შემდეგი ფიზიკური ცნებებისა და სიდიდეების განმარტებები: „სიჩქარე“, „წრფივი თანაბარი მოძრაობა“, „სიჩქარის პროექცია ღერძზე“, „წრფივი თანაბარი მოძრაობის დროს გავლილი მანძილი“.

1.4

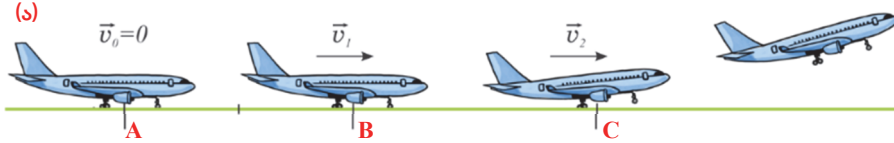
წრფივი თანაბრად ცვლადი მოძრაობა. აჩქარება

წრფივი თანაბარი მოძრაობა პრაქტიკაში, ძალიან იშვიათად გვხვდება. მოძრავი ავტომობილის, მატარებლის, თვითმფრინავის, მექანიზმების შემადგენელი ნაწილებისა და სხვათა სიჩქარე შეიძლება იცვლებოდეს სიდიდითაც და მიმართულებითაც.

- შესაძლებელია თუ არა არათანაბარი მოძრაობის აღწერა წრფივი თანაბარი მოძრაობის განტოლებებით? რის ცოდნაა ამისთვის საჭირო?

კვლევითი სამუშაო-1. რას ნიშნავს სიჩქარის ცვლილების სისწრაფე?

ამოცანა: თვითმფრინავი, რომელიც ასაფრენად ემზადება, ასაფრენი ზოლის A წერტილშია. მოძრაობის დაწყებიდან 5 წმ-ის შემდეგ თვითმფრინავის სიჩქარე ტოლია $v_1 = 18 \frac{\text{მ}}{\text{წმ}}$ (წერტილი B), ხოლო 10 წმ-ის შემდეგ $v_2 = 30 \frac{\text{მ}}{\text{წმ}}$ (წერტილი C) (ა). რის ტოლია თვითმფრინავის სიჩქარის ცვლილება (Δv_1 და Δv_2), რომელიც ასაფრენი ზოლის AB და BC უბნებს შეესაბამება? დროის რომელ ინტერვალში ხდება სიჩქარის უფრო დიდი ცვლილება?



მოცემულია	ამოხსნა	გამოთვლა
$t_0 = 0 \rightarrow v_0 = 0$	$\Delta v_1 = v_1 - v_0$	
$t_1 = 5 \text{ წმ} \rightarrow v_1 = 18 \frac{\text{მ}}{\text{წმ}}$	$\Delta v_2 = v_2 - v_1$	
$t_2 = 10 \text{ წმ} \rightarrow v_2 = 30 \frac{\text{მ}}{\text{წმ}}$	$\Delta t_1 = t_1 - t_0$	
$\Delta v_1 - ? \Delta v_2 - ? \frac{\Delta v_1}{\Delta t_1} - ? \frac{\Delta v_2}{\Delta t_2} - ?$	$\Delta t_2 = t_2 - t_1$	

იმსჯელეთ შედეგებზე:

- ასაფრენი ზოლის რომელ უბანზე მოხდა სიჩქარის ყველაზე დიდი ცვლილება?
- რა არის სიჩქარის ცვლილების სისწრაფის ფიზიკური აზრი და რამდენად მნიშვნელოვანია მისი ცოდნა?

• წრფივ მოძრაობას, რომლის დროსაც მატერიალური წერტილი დროის ტოლ შუალედებში სხვადასხვა გადაადგილებას ასრულებს, **წრფივი არათანაბარი მოძრაობა** ეწოდება.

ასეთი მოძრაობის დროს სიჩქარის რიცხვითი მნიშვნელობა უცვლელი არ რჩება. ამიტომ არათანაბარი მოძრაობის შესწავლისას სარგებლობენ **საშუალო** და **მყისი სიჩქარის** ცნებებით.

საშუალო სიჩქარე. არათანაბარი მოძრაობის დროს სხეულის მდებარეობის ცვლილებას ტრაექტორიის მოცემულ უბანზე ახასიათებენ საშუალო სიჩქარით.

• არათანაბრად მოძრაობი მატერიალური წერტილის საშუალო სიჩქარე ტრაექტორიის მოცემულ უბანზე ტოლია ამ უბანზე სხეულის მიერ შესრულებული გადაადგილების სიდიდის შეფარდებისა დროსთან, რომელიც ამ გადაადგილების შესრულებას დასჭირდა:

$$\bar{v}_{\text{საშ}} = \frac{\bar{s}}{t}. \quad (1.7)$$

• მატერიალური წერტილის მოძრაობის საშუალო სიჩქარე ტრაექტორიის გასწვრივ არათანაბარი მოძრაობის დროს ტოლია ტრაექტორიის გასწვრივ გავლილი მთელი მანძილის შეფარდებისა მთელ დროსთან, რომელიც ამ მანძილის გასავლელად დაიხარჯა:

$$v_{\text{საშ}} = \frac{l_{\text{მთ}}}{t_{\text{მთ}}}. \quad (1.8)$$

მატერიალური წერტილის საშუალო სიჩქარე, რომელიც $v_1, v_2, \dots, v_n$ სიჩქარეებით მოძრაობს ტრაექტორიის შესაბამის $l_1, l_2, \dots, l_n$ უბნებზე გამოითვლება ფორმულებით:

$$v_{\text{საშ}} = \frac{l_{\text{მთ}}}{t_{\text{მთ}}} = \frac{l_1 + l_2 + \dots + l_n}{t_1 + t_2 + \dots + t_n}, \quad (1.9)$$

$$v_{\text{საშ}} = \frac{v_1 t_1 + v_2 t_2 + \dots + v_n t_n}{t_1 + t_2 + \dots + t_n}. \quad (1.10)$$

თუ $t_1 = t_2 = \dots = t_n = t$, მაშინ (1.10) განტოლებიდან მივიღებთ:

$$v_{\text{საშ}} = \frac{v_1 + v_2 + \dots + v_n}{n}. \quad (1.11)$$

მყისი სიჩქარე

• მატერიალური წერტილის სიჩქარეს დროის მოცემულ მომენტში ან ტრაექტორიის მოცემულ წერტილში ეწოდება **მყისი სიჩქარე** ან **სიჩქარე მოცემულ წერტილში**. მყისი სიჩქარე ნებისმიერ წერტილში ვექტორული სიდიდეა და განისაზღვრება, როგორც ზღვარი ამ წერტილის მიდამოში უსასრულოდ მცირე

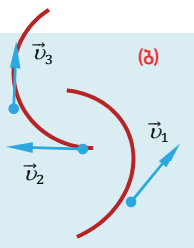
გადაადგილების ($\Delta \vec{s}$) შეფარდებისა დროის მცირე შუალედთან (Δt), რომელიც ამ გადაადგილების შესრულებაზე დაიხარჯა (იმ პირობით, რომ $\Delta t \rightarrow 0$):

$$\vec{v} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \vec{s}}{\Delta t}. \quad (1.12)$$

სადაც, $\vec{v}$ მატერიალური წერტილის გადატანითი მოძრაობის მყისი სიჩქარეა.

მოძრაობის დროის განმავლობაში მყისი სიჩქარე შეიძლება გაიზარდოს, შემცირდეს ან მიმართულება შეიცვალოს. მყისი სიჩქარის მიმართულება ტრაექტორიის მოცემულ წერტილში ემთხვევა ამ წერტილში ტრაექტორიის მიმართ გავლებული მხების მიმართულებას (ა). მყისი სიჩქარის პროექცია მართკუთხა საკოორდინატო სისტემაში კოორდინატის დროით წარმოებულის ტოლია:

$$v_x = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{dx}{dt} = x'(t). \quad (1.13)$$



აჩქარება. არათანაბარი მოძრაობის დროს მყისი სიჩქარის სიდიდითა და მიმართულებით ცვლილების სისწრაფე ხასიათდება ვექტორული ფიზიკური სიდიდით, რომელსაც **აჩქარება** ეწოდება:

- აჩქარება ტოლია სიჩქარის ცვლილების შეფარდებისა დროსთან, რომლის განმავლობაშიც ეს ცვლილება მოხდა:

$$\vec{a} = \frac{\vec{v} - \vec{v}_0}{\Delta t} = \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t}. \quad (1.14)$$

თუ დროის ცვლილებას ავითვლით ნულიდან, $\Delta t = t - 0 = t$, მაშინ:

$$\vec{a} = \frac{\vec{v} - \vec{v}_0}{t} = \frac{\Delta \vec{v}}{t}. \quad (1.15)$$

აჩქარების მიმართულება ემთხვევა $\Delta \vec{v}$ ვექტორის მიმართულებას.

სიმარტივისთვის აქ და შემდეგშიც განვიხილავთ მატერიალური წერტილის ისეთ არათანაბარ წრფივ მოძრაობებს, რომლის დროსაც დროის ნებისმიერი ტოლი შუალედების შემდეგ სიჩქარის ერთნაირი ცვლილება ხდება. ასეთ მოძრაობას თანაბრად ცვლადი მოძრაობა ეწოდება.

- **თანაბრად ცვლადი მოძრაობა** არის მოძრაობა, რომლის დროსაც დროის ნებისმიერი ტოლი შუალედის შემდეგ სიჩქარის ერთნაირი ცვლილება ხდება. თანაბრად ცვლადი მოძრაობის დროს აჩქარების მნიშვნელობა და მიმართულება არ იცვლება:

$$\vec{a} = \frac{\vec{v} - \vec{v}_0}{t} = \frac{\Delta \vec{v}}{t} = \text{const.} \quad (1.16)$$

თანაბრად ცვლადი მოძრაობის დროს აჩქარების პროექცია ნებისმიერ ღერძზეც, მაგალითად x ღერძზე, არ იცვლება (მუდმივია):

$$a_x = \frac{v_x - v_{0x}}{t} = \text{const.} \quad (1.17)$$

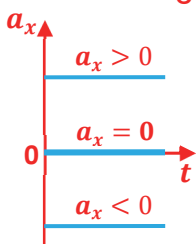
ეს ნიშნავს, რომ თანაბრად ცვლადი მოძრაობის დროს აჩქარების დროზე დამოკიდებულების გრაფიკი დროის ღერძის პარალელური წრფეა და აჩქარების პროექცია რომელიმე შერჩეულ ღერძზე დროზე დამოკიდებული არ არის (ა).

$$a_x = v_x - v_{0x} / t = \text{const.} \quad (1.17)$$

ერთეულთა SI სისტემაში აჩქარების საზომი ერთეულია 1 მ/წმ². ეს არის ისეთი თანაბრად ცვლადი მოძრაობის აჩქარება, რომლის დროსაც მატერიალური წერტილი 1 წმ-ის განმავლობაში სიჩქარეს 1 მ/წმ-ით იცვლის:

$$[a] = \frac{[\Delta v]}{[\Delta t]} = \frac{1\text{მ/წმ}}{1\text{წმ}} = 1 \frac{\text{მ}}{\text{წმ}^2}.$$

(ა)



იცით თუ არა, რომ? აჩქარება ერთ-ერთი ყველაზე მნიშვნელოვანი სიდიდეა, რომელიც ფიზიკასა და ტექნიკაში გამოიყენება. ცნობილია, რომ ავტომობილის, ავტობუსისა და მატარებლის უმნიშვნელო დამუხრუჭების დროს მგზავრები დისკომფორტს ვერ გრძნობენ, მაგრამ მკვეთრი დამუხრუჭებისას სერიოზული საფრთხე იქმნება. ე. ი. მნიშვნელოვანია არა უბრალოდ სიჩქარის ცვლილება, არამედ სიჩქარის ცვლილების სისწრაფე. მანქანებისა და მექანიზმების სიჩქარის ცვლილების კონტროლისათვის გამოიყენება აჩქარების საზომი ხელსაწყო – აქსელერომეტრი (ლათინურიდან: *accelero* – ვაჩქარებ და ბერძნულიდან: *metreo* – ვზომავ) (დ).



შემოქმედებითი გამოყენება. კვლევითი სამუშაო 2. რის ტოლია საშუალო სიჩქარე?

ამოცანა: ველოსიპედისტმა წრფივი გზის პირველი ნახევარი მუდმივი 4 მ/წმ სიჩქარით გაიარა, ხოლო მეორე ნახევარი – მუდმივი 6 მ/წმ სიჩქარით. განსაზღვრეთ ველოსიპედისტის საშუალო სიჩქარე მთლიან გზაზე.

მოცემულია	ამოხსნა
$v_1 = 4 \text{ მ/წმ}$ $v_2 = 6 \text{ მ/წმ}$ $s_{\text{საშ}} = ?$	$v_{\text{საშ}} = \frac{l}{t} = \frac{l_1 + l_2}{t_1 + t_2}.$ რადგან $l_1 = \frac{l}{2} = v_1 t_1$, მაშინ $t_1 = \frac{l}{2v_1}$. ანალოგიურად: $t_2 = \frac{l}{2v_2}$. ამგვარად: $v_{\text{or}} = \frac{l}{t} = \frac{l}{\frac{l}{2v_1} + \frac{l}{2v_2}} = \frac{1}{\frac{1}{2v_1} + \frac{1}{2v_2}} = \frac{2v_1 v_2}{v_1 + v_2}.$
გამოთვლა	
...	

იმსჯელეთ შედეგებზე:

- რომელი ფორმულით გამოითვლება საშუალო სიჩქარე გზაზე, რომელიც ორი ტოლი უბნისაგან შედგება?
- რომელი ფორმულით გამოითვლება ველოსიპედისტის საშუალო სიჩქარე, რომელიც დროის ორ ტოლ მომდევნო შუალედში ($t_1 = t_2$) შესაბამისად v_1 და v_2 სიჩქარეებით მოძრაობს?

შეძენილი ცოდნის გამოყენება ყოველდღიურ ცხოვრებაში: • რომელ სიჩქარეს ზომავს ავტომობილის სპიდომეტრი: საშუალო სიჩქარეს თუ მყისი სიჩქარეს? პასუხი დაასაბუთეთ.

შეამოწმეთ თქვენი ცოდნა:

1. რომელი ცნებები გაიმეორეთ გაკვეთილზე? რა გაიგეთ კარგად და რა დაგრჩათ ნაწილობრივ გაურკვეველი?
2. რით განსხვავდება ერთმანეთისგან გზაზე მოძრაობის საშუალო სიჩქარე და გადაადგილების საშუალო სიჩქარე?
3. როგორია აჩქარების ფიზიკური აზრი?
4. რის ტოლია აჩქარება შესაბამისად თანაბარი და არათანაბარი წრფივი მოძრაობების დროს? რატომ?
5. როგორ არის მიმართული ავტომობილის აჩქარების ვექტორი, თუ მან წრფივი მოძრაობა დაიწყო უძრავი მდგომარეობიდან სიჩქარის მატებით? რატომ?
6. როგორ არის მიმართული ავტომობილის აჩქარების ვექტორი, როდესაც ის დამუხრუჭებას იწყებს? რატომ?

რა შეიტყვით? ჩამოაყალიბეთ შემდეგი ფიზიკური ცნებებისა და სიდიდეების განმარტებები: „არათანაბარი წრფივი მოძრაობა“, „საშუალო სიჩქარე“, „მყისი სიჩქარე“, „აჩქარება“, „თანაბრად ცვლადი მოძრაობა“.

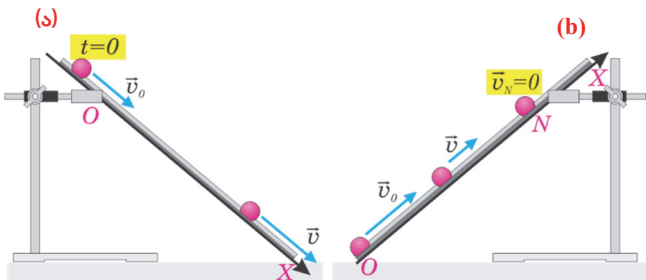
1.5

სიჩქარე და გადაადგილება წრფივი თანაბრად ცვლადი მოძრაობის დროს

თვითმფრინავი ასაფრენ ზოლზე x საკოორდინატო ღერძის გასწვრივ მოძრაობს მუდმივი აჩქარებით $a_x = 6 \text{ მ/წმ}^2$.

- რის ტოლია თვითმფრინავის სიჩქარის ცვლილება ყოველ წამში?
- როგორია აჩქარების დროზე დამოკიდებულების გრაფიკი ამ მოძრაობისათვის?
- რაზეა დამოკიდებული სიჩქარისა და გადაადგილების პროექციები თანაბრად ცვლადი წრფივი მოძრაობისთვის? როგორ შეიძლება ამის დადგენა?

კვლევითი სამუშაო-1. რაზეა დამოკიდებული სიჩქარე თანაბრად ცვლადი მოძრაობის დროს? ამოცანა. ნახატზე წარმოდგენილია ბურთულა, რომელიც თანაბრად ცვლად მოძრაობას ასრულებს დახრილ ღერძში ქვევით და ზევით, $\vec{v}_0$ საწყისი სიჩქარით (ა და ბ). დახაზეთ აჩქარების პროექციები ox ღერძზე ორივე მოძრაობისთვის და განსაზღვრეთ აჩქარების ნიშნები.



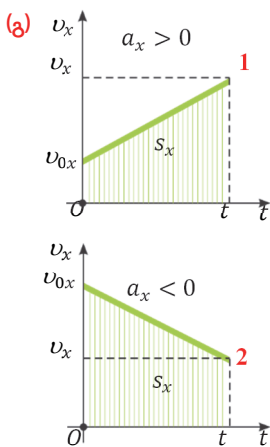
იმსჯელეთ შედეგები:

- როგორ ჩაინერგება ვექტორული სახით ბურთულის სიჩქარის ფორმულა, როდესაც ის თანაბრად ცვლად მოძრაობას ასრულებს?
- შეგიძლიათ თუ არა ზოგადი სახით ჩაწეროთ ბურთულის სიჩქარის პროექციის ფორმულა, როდესაც ის ასრულებს თანაბრად ცვლად მოძრაობას ღერძში ზევით და ქვევით?
- რის ტოლია ბურთულის აჩქარების პროექცია N ნერტილში, თუ ის თანაბრად ცვლად მოძრაობას ასრულებს დახრილ ღერძში ზევით $\vec{v}_0$ საწყისი სიჩქარით?

სიჩქარე თანაბრად ცვლადი წრფივი მოძრაობის დროს. ფორმულიდან (1.14) ჩანს, რომ, თუ ცნობილია სხეულის აჩქარება $\vec{a}$, შეგვიძლია დროის ნებისმიერ მომენტში განვსაზღვროთ სიჩქარე:

$$\vec{v} = \vec{v}_0 + \vec{a}t, \quad (1.18)$$

ან x ღერძზე მისი პროექცია:



$$v_x = v_{0x} + a_x t. \quad (1.19)$$

თუ საწყისი სიჩქარე 0 -ის ტოლია ($v_{0x} = 0$), მაშინ:

$$v_x = a_x t. \quad (1.20)$$

ამ გამოსახულებებიდან ჩანს, რომ სიჩქარე თანაბრად ცვლადი მოძრაობის დროს დროის წრფივი ფუნქციაა. სიჩქარის დროზე დამოკიდებულების გრაფიკი არის წრფე, რომელიც კოორდინატთა სათავეზე (ან v_{0x} -ზე) გადის. ეს წრფე სიჩქარის ზრდის ან შემცირების შესაბამისად ზევით ან ქვევითაა მიმართული (ა).

გადაადგილება წრფივი თანაბრად ცვლადი მოძრაობის დროს. გადაადგილების განსაზღვრად საჭირო ფორმულის გამოყენება თანაბრად ცვლადი მოძრაობის დროს შესაძლებელია სიჩქარე-დრო დამოკიდებულების გრაფიკის საფუძველზე. გადაადგილების სიდიდე $s_x(t)$ გრაფიკსა და დროის ღერძს შორის არსებული ფიგურის ფართობის ტოლია.

მოცემულ გრაფიკზე ეს არის დაშტრიხული ტრაპეციის ფართობი (იხ. ა):

$$s_x = \frac{v_{0x} + v_x}{2} \cdot t, \quad (1.21)$$

ან ვექტორული ფორმით:

$$\vec{s} = \frac{\vec{v}_0 + \vec{v}}{2} \cdot t. \quad (1.22)$$

თუ უკანასკნელ ფორმულაში $\vec{v}$ -ს ნაცვლად (1.18) გამოსახულებას ჩავსვამთ, მივიღებთ წრფივი თანაბრად ცვლადი მოძრაობის გადაადგილების გამოსათვლელ ფორმულას ზოგადი სახით:

$$\vec{s} = \frac{\vec{v}_0 + \vec{v}}{2} \cdot t = \frac{\vec{v}_0 + (\vec{v}_0 + \vec{a}t)}{2} \cdot t = \vec{v}_0 t + \frac{1}{2} \vec{a} t^2.$$

$$\vec{s} = \vec{v}_0 t + \frac{1}{2} \vec{a} t^2. \quad (1.23)$$

ამიტომ წრფივი თანაბრად ცვლადი მოძრაობის დროს გადაადგილების x ღერძზე პროექციის ფორმულა იქნება:

$$s_x = v_{0x} t + \frac{a_x t^2}{2}, \quad (1.24)$$

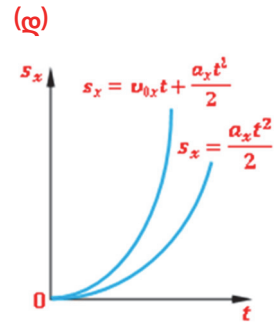
ხოლო კოორდინატის გამოსათვლელ ფორმულას ასეთი სახე ექნება:

$$x = x_0 + v_{0x} t + \frac{a_x t^2}{2}. \quad (1.25)$$

ფორმულა (1.23) არის გადაადგილების ფორმულა თანაბრად ცვლადი მოძრაობის დროს ვექტორული სახით, ხოლო ფორმულები (1.24) და (1.25) შესაბამისად – გადაადგილების ვექტორის პროექცია და სხეულის კოორდინატი x ღერძზე. თუ მატერიალური წერტილი მოძრაობას იწყებს უძრავი მდგომარეობიდან ($v_{0x} = 0$), მისი მოძრაობის განტოლება მიიღებს სახეს:

$$s_x = \frac{a_x t^2}{2}. \quad (1.26)$$

როგორც ფორმულიდან ჩანს, წრფივი თანაბრად ცვლადი მოძრაობის დროს გადაადგილების პროექცია დამოკიდებულია დროის კვადრატზე ($s_x \sim t^2$) და მისი გრაფიკა პარაბოლა, რომელიც კოორდინატთა სათავეზე გადის (დ).



ზოგჯერ არ არის ცნობილი დრო, რომელიც მოძრაობის დაწყებიდან გავიდა და გვჭირდება მატერიალური წერტილის მიერ შესრულებული გადაადგილების განსაზღვრა. ამ ამოცანის ამოხსნას შევძლებთ, თუ გვეცოდინება აჩქარება და სხეულის საწყისი და საბოლოო სიჩქარეები. შესაბამისი ფორმულის მისაღებად (1.19) ფორმულიდან განვსაზღვროთ t :

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

ეს გამოსახულება ჩავსავთ ფორმულაში (1.21):

$$s_x = v_{0x} t + \frac{v_{0x} t + v_x}{2} \cdot \frac{v_x - v_{0x}}{a_x}.$$

მარტივი გარდაქმნების შემდეგ მივიღებთ:

$$s_x = \frac{v_x^2 - v_{0x}^2}{2a_x}. \quad (1.27)$$

საბოლოოდ, სიჩქარის პროექციის ფორმულა ასეთ სახეს მიიღებს: $v_x =$

$\sqrt{v_{0x}^2 + 2a_x s_x}$. (1.28) . თუ მოძრაობა უძრავი მდგომარეობიდან იწყება ($v_{0x} = 0$), გადაადგილებისა და სიჩქარის პროექციები იქნება:

$$s_x = \frac{v_x^2}{2a_x} \quad (1.29)$$

$$v_x = \sqrt{2a_x s_x}. \quad (1.30)$$

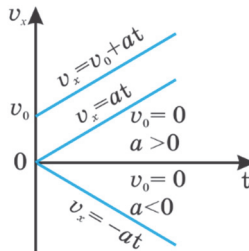
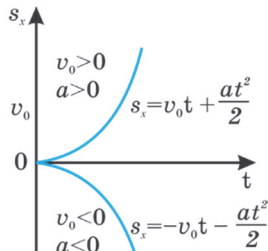
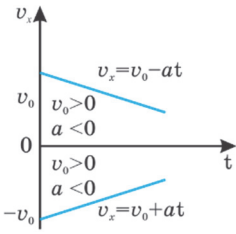
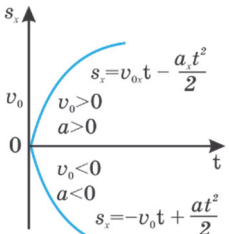
თანაბრად აჩქარებული და თანაბრად შენელებული მოძრაობა. თანაბრად ცვლადი მოძრაობა შეიძლება იყოს თანაბრად აჩქარებული და თანაბრად შენელებული.

- თანაბრად აჩქარებული მოძრაობის დროს $\vec{v}_0$ და $\vec{a}$ ვექტორებს ერთი და იგივე მიმართულება აქვთ. ამ შემთხვევაში სიჩქარისა (v_{0x}) და აჩქარების (a_x) პროექციებს დადებითი ან უარყოფითი ნიშანი აქვთ. თუ მატერიალური წერტილი უძრაობის მდგომარეობიდან ($v_{0x} = 0$) იწყებს მოძრაობას, მოძრაობის მიმართულების მიუხედავად, მოძრაობა თანაბრად აჩქარებული იქნება.

- თანაბრად შენელებული მოძრაობის დროს სიჩქარისა ($\vec{v}_0$) და აჩქარების $\vec{a}$ ვექტორებს საპირისპირო მიმართულება აქვთ. ამ შემთხვევაში v_{0x} და a_x პროექციებს საპირისპირო ნიშანი აქვთ: თუ ერთი უარყოფითია, მეორე დადებითი იქნება.

ცხრილ 1.3-ში მოცემულია ფორმულები და შესაბამისი გრაფიკები წრფივი თანაბრად აჩქარებული და თანაბრად შენელებული მოძრაობისთვის.

ცხრილი 1.3.

წრფივი თანაბრად აჩქარებული მოძრაობა		
$v_x = v_{0x} + a_x t,$ $v_x = -v_{0x} - a_x t,$ $v_x = -a_x t,$ $v_x = a_x t,$ $s_x = v_{0x} t + \frac{a_x t^2}{2},$ $s_x = -v_{0x} t - \frac{a_x t^2}{2},$ $s_x = \pm \frac{a_x t^2}{2}.$		
შენიშვნა: რადგან $s_x \sim t^2$ ($v_{0x} = 0$), გადაადგილების პროექციების შეფარდება შესაბამისი დროების კვადრატების შეფარდების ტოლია: $s_{1x} : s_{2x} : s_{3x} : \dots : s_{nx} = t_1^2 : t_2^2 : t_3^2 : \dots : t_n^2.$ ამ თანაფარდობას ზოგჯერ „მოძრაობის წესსაც“ უწოდებენ.		
წრფივი თანაბრად შენელებული მოძრაობა		
$v_x = v_{0x} - a_x t,$ $v_x = -v_{0x} + a_x t,$ $s_x = v_{0x} t - \frac{a_x t^2}{2},$ $s_x = -v_{0x} t + \frac{a_x t^2}{2}.$		

შემოქმედებითი გამოყენება. კვლევითი სამუშაო-2.

შეძლებთ თუ არა მოცემული გრაფიკების მიხედვით სხვა სიდიდეებს შორის დამოკიდებულების გრაფიკების აგებას?

ამოცანა: ნახატზე მოცემულია მატერიალური წერტილის სიჩქარის პროექციის დროზე დამოკიდებულების გრაფიკი წრფივი თანაბრად ცვლადი მოძრაობისთვის. ამ გრაფიკის შესაბამისად ააგეთ მატერიალური წერტილის გადაადგილებისა და აჩქარების პროექციების დროზე დამოკიდებულების გრაფიკები.

იმსჯელეთ შედეგებზე:

- როგორ ავაგოთ გადაადგილებისა და აჩქარების დროზე დამოკიდებულების გრაფიკები სიჩქარის დროზე დამოკიდებულების გრაფიკის მიხედვით?
- როგორ განვსაზღვროთ სიჩქარის დროზე დამოკიდებულების გრაფიკის მიხედვით, თანაბრად აჩქარებულია თუ თანაბრად შენელებული მოძრაობა?

შეძენილი ცოდნის გამოყენება ყოველდღიურ ცხოვრებაში

- რის ტოლია ავტომობილის სიჩქარის მოდული $t = 20$ წმ-ის შემდეგ წრფივი მოძრაობის დროს, თუ მისი საწყისი სიჩქარეა $v_{ax} = 15$ მ/წმ და აჩქარება $a_x = 2$ მ/წმ²?

შეამოწმეთ თქვენი ცოდნა

1. რომელი ცნებები გაიმეორეთ გაკვეთილზე? რა გაიგეთ კარგად და რა დარჩა თქვენთვის ნაწილობრივ გაურკვეველი?

2. წრფივი თანაბრად ცვლადი მოძრაობის დროს ავტომობილის სიჩქარის პროექცია იცვლება კანონით $v_x = 21 - 7t$.

ამის მიხედვით:

ა) ააგეთ სიჩქარის პროექციის დროზე

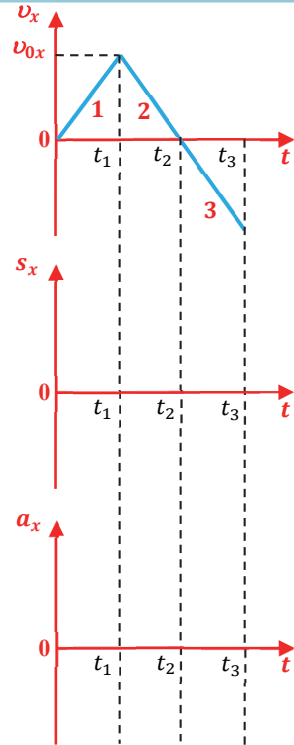
დამოკიდებულების გრაფიკი;

ბ) განსაზღვრეთ ავტომობილის საწყისი სიჩქარისა და აჩქარების მნიშვნელობები;

გ) განსაზღვრეთ თანაბრად ცვლადი მოძრაობის ხასიათი;

დ) განსაზღვრეთ, t დროის რომელი მნიშვნელობისათვის გაჩერდება ავტომობილი;

ე) დაწერეთ ავტომობილის მოძრაობის განტოლება.



რა შეიტყვეთ? ჩამოაყალიბეთ შესწავლილი ცნებების განმარტებები და შესაბამისი განტოლებების მიხედვით ააგეთ სიჩქარის პროექციის დროზე დამოკიდებულების, გადაადგილების პროექციის დროზე დამოკიდებულებისა და აჩქარების პროექციის დროზე დამოკიდებულების გრაფიკები.

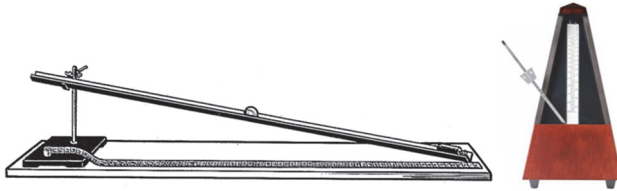
პროექტი

ააგეთ «ცნებებს შორის კავშირის რუკა» თანაბრად ცვლადი მოძრაობისთვის (ნიმუშად გამოიყენეთ: I თავში მოყვანილი «ცნებებს შორის კავშირის რუკა»).

„მოძრაობის წესები“ თანაბრად აჩქარებული მოძრაობისათვის

მიზანი: ვისწავლოთ დახრილ ლარში თანაბრად აჩქარებულად მოძრავი ბურთულის „მოძრაობის წესების“ განსაზღვრა.

სამუშაოსთვის საჭიროა: ე. წ. „გალილეის ლარი“, ბურთულა, მეტალის ცილინდრი (სასკოლო ნაკრებიდან „კუთრი სიბოტევადობა“), მეტრონომი (ან წამმზომი), საზომი ლენტი, შტატივი ცოციათი და მომჭერით.



სამუშაოს მსვლელობა:

I ეტაპი. ბურთულის მოძრაობის აჩქარების გაზომვა.

1. შტატივზე ლარი დახრილად დაამაგრეთ, ისე, რომ მაგიდის ზედაპირთან მცირე კუთხე შექმნას. ბურთულის გასაჩერებლად ლარის ბოლოს მოათავსეთ მეტალის ცილინდრი. მეტრონომი ისე ააწყვეთ, რომ მან წუთში 120 დარტყმა შეასრულოს.
2. ბურთულა ლარის ზედა ნაწილიდან ჩამოაგორეთ და იმავე მომენტში დაიწყეთ მეტრონომის დარტყმების დათვლა. ლარის დახრილობა ისე დაარეგულირეთ, რომ ბურთულა ცილინდრს მეტრონომის მეოთხე დარტყმის დროს შეეჯახოს. ამ შემთხვევაში ბურთულის მოძრაობის დრო 2 წამი იქნება, ხოლო მის მიერ გავლილი მანძილი $s = 132 \text{ სმ} \pm 1 \text{ სმ}$.
3. ბურთულის აჩქარების მოდული, თუ მის მოძრაობას უძრაობის მდგომარეობიდან ($v_0 = 0$) ვაკვირდებით, გამოითვლება ფორმულით: $a = \frac{2s}{t^2}$.

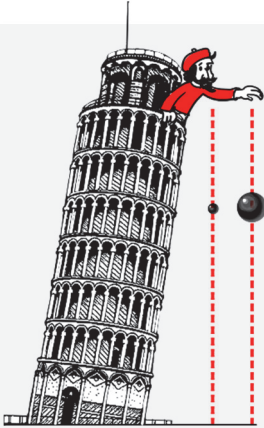
II ეტაპი. მოძრაობის წესების განსაზღვრა.

1. პირობების შეუცვლელად ცდა გავიმეორეთ დროის სხვა შუალედებისათვის: $t_1 = 1 \text{ წმ}$, $t_2 = 2 \text{ წმ}$, $t_3 = 3 \text{ წმ}$, $t_4 = 4 \text{ წმ}$ და ფორმულით $l = \frac{at^2}{2}$ გამოვთვალოთ ბურთულის მიერ გავლილი შესაბამისი მანძილები.
2. მიღებული შედეგები ჩაწერეთ ცხრილში და განსაზღვრეთ, რის ტოლია გავლილი მანძილების შეფარდებები – „მოძრაობის წესები“:
 $l_1 : l_2 : l_3 : l_4 = \dots ?$

ცდის რიგითი ნომერი	მეტრონომის დარტყმების რაოდენობა	a , მ/წმ ²	s , მ	t , წმ	$l_1 : l_2 : l_3 : l_4 = \dots ?$
1		$\approx 0,66$		1	
2				2	
3				3	
4				4	

3. განაზოგადეთ ცდით მიღებული შედეგები.

1.6 სსეულის თავისუფალი ვარდნა



მე-16 საუკუნის ბოლოს იტალიელმა მეცნიერმა გალილეო გალილეიმ მარტივი ექსპერიმენტები ჩაატარა, რომლებმაც გზა გაუხსნეს ერთ დიდ აღმოჩენას. მან დაადგინა, რომ იტალიის ქალაქ პიზის დახრილი კოშკიდან ერთდროული თავისუფალი ვარდნის დროს მარმარილოს 80-კილოგრამიანი ბურთულა და თოფის ტყვია, რომლის მასა 200 გრამია, დედამიწაზე ერთნაირი აჩქარებით ვარდება.

- როგორ მოძრაობას ასრულებენ სიმალიდან ვარდნილი სხეულები? რატომ?
- რა მნიშვნელოვანი შედეგი მივიღეთ გალილეის ექსპერიმენტებიდან?

კვლევითი სამუშაო-1. რა არის სხეულების ერთდროულად დავარდნის მიზეზი?

სამუშაოსთვის საჭიროა: ნიუტონის მილი, კამოვსკის ტუმბო, რეზინის მოქნილი მილი.

მონაცობილობის აღწერა: ნიუტონის მილი დაახლოებით 1 მ სიგრძის მინის სქელკედლიანი მილია, რომლის ერთი ბოლო დახურულია, ხოლო მეორე ბოლოზე ონკანი აქვს. მილში მოთავსებულია სხვადასხვა მასისა და ზომის სამი სხეული: საფანტი, საცობი და ფრინველის ბუმბული (ა).

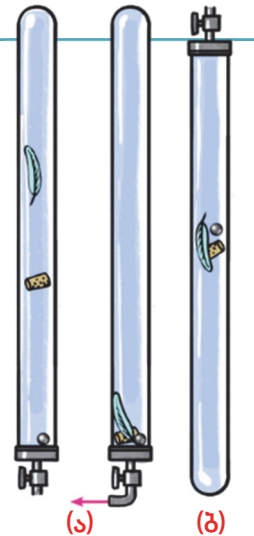
სამუშაოს მსვლელობა:

1. დააკვირდით მილის ფსკერზე სხეულების დაცემის თანმიმდევრობას მილის 180°-ით გადატრიალების შემდეგ (იხ. ა).

2. მთავრდით მილის ონკანი ტუმბოსთან და მილიდან ჰაერი ამოტუმბეთ. დაკეტეთ ონკანი და ცდა გაიმეორეთ. დააკვირდით მილის ფსკერზე სხეულების თავისუფალი ვარდნის პროცესს (ბ).

იმსჯელეთ შედეგებზე:

- რა შენიშნეთ უჩვეულო სხეულების ვარდნისას მას შემდეგ, რაც მილიდან ჰაერი ამოტუმბეთ?
- რა დასკვნამდე მიხვედით ამ დაკვირვებების შემდეგ თავისუფლად ვარდნილი სხეულების მოძრაობის ხასიათის შესახებ?



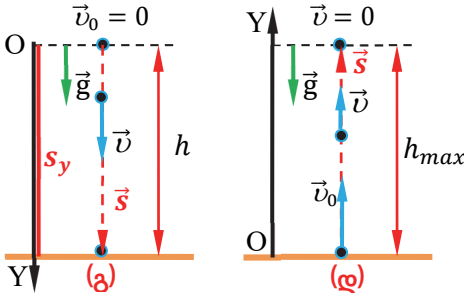
დედამიწაზე, თანაბრად ცვლადი მოძრაობის ყველაზე გავრცელებული სახეა სხეულების თავისუფალი ვარდნა. თავისუფალი ვარდნა არის დედამიწის ზედაპირიდან აწეული სხეულებისა ვარდნა, როდესაც მათ არ აქვთ საყრდენი ან საკიდი.

- თავისუფალი ვარდნა არის სხეულების მოძრაობა მხოლოდ სიმძიმის ძალის მოქმედებით. ეს არის თანაბრად აჩქარებული მოძრაობა g აჩქარებით, საწყისი სიჩქარის გარეშე ($v_0 = 0$).

მე-16 საუკუნის ბოლოს სხეულების თავისუფალი ვარდნის შესწავლა პირველმა დაიწყო იტალიელმა მეცნიერმა გალილეო გალილეიმ. იგი აკვირდებოდა ხის, რკინის, სპილოს ძვლისა და სხვა მასალისგან დამზადებული ბურთულების მოძრაობას დახრილ სიბრტყეზე და აღმოაჩინა, რომ ეს სხეულები, რომლებიც ერთმანეთისგან მასით განსხვავდებოდა, ერთნაირი აჩქარებით მოძრაობდნენ. მან დაადგინა, რომ სიბრტყის დახრის კუთხის შეცვლის შემდეგაც ყველა სხეულის აჩქარება უცვლელი რჩება. გალილეი შემდეგ დასკვნამდე

მივიდა: დედამინა მისი ზედაპირის გარკვეულ ნაწილში არსებულ ყველა სხეულს ერთნაირ აჩქარებას ანიჭებს.

ჩატარებული გაზომვებით დადგინდა, რომ ეს აჩქარება, რომელსაც თავისუფალი ვარდნის აჩქარება ეწოდება, დედამინის ზედაპირთან ახლოს $\approx 9,8$ მ/წმ²-ის ტოლია. შემდგომში მრავალი გაზომვის შემდეგ განსაზღვრეს, რომ დედამინის პოლუსზე თავისუფალი ვარდნის აჩქარება $\approx 9,83$ მ/წმ²-ის ტოლია, ხოლო ეკვატორზე – $\approx 9,78$ მ/წმ²-ისა.



თავისუფალი ვარდნის აჩქარების ვექტორი (გ) ყოველთვის ვერტიკალურად ქვევით, დედამინის ცენტრისკენაა მიმართული. თავისუფალი ვარდნის დროს სხეული მოძრაობს თანაბრად აჩქარებულად. ამ დროს თავისუფალი ვარდნის აჩქარების ვექტორის მიმართულება ემთხვევა სიჩქარის ვექტორის მიმართულებას. თუ საკოორდინატო ღერძი მიმართულია მოძრაობის მიმართულებით, აჩქარების ვექტორის პროექციას ამ

ღერძზე დადებითი მნიშვნელობა ექნება (ა).

ცდების შედეგად გაირკვა, რომ ვერტიკალურად ასროლილი სხეულებიც თავისუფალი ვარდნის აჩქარებით მოძრაობენ. ვერტიკალურად ზევით ასროლილი სხეულების მოძრაობა თანაბრად შენელებულია. თუ საკოორდინატო ღერძი მიმართულია ზევით, მოძრაობის მიმართულებით, ღერძზე აჩქარების ვექტორის პროექციას უარყოფითი მნიშვნელობა ექნება, რადგან თავისუფალი ვარდნის აჩქარების ვექტორს საკოორდინატო ღერძის საწინააღმდეგო მიმართულება აქვს (დ).

ამგვარად, როგორც სხეულების თავისუფალი ვარდნის დროს, ისე ვერტიკალურად ზევით ასროლილი სხეულის მოძრაობის დროს შესაძლებელია ყველა იმ ფორმულით სარგებლობა, რომლებიც წინა გაკვეთილებზე მივიღეთ (იხ. ცხრილი 1.4).

ცხრილი 1.4

თანაბრად ცვლადი მოძრაობის კინემატიკური განტოლებები: ვექტორული და პროექციის სახით	სხეულის ვარდნა h სიმაღლიდან	ვერტიკალურად ზევით ასროლილი სხეულის მოძრაობა
$\vec{v} = \vec{v}_0 + \vec{g}t$ $\vec{s} = \vec{v}_0 t + \frac{1}{2} \vec{g} t^2$ $v_y = v_{0y} \pm gt$ $s_y = v_{0y} t \pm \frac{gt^2}{2}$	რადგან სხეულის ვერტიკალურად ზევით ან ქვევით მოძრაობის დროს გადაადგილება გავლილი h მანძილის ტოლია, განტოლებების ჩანერის გამარტივების მიზნით მიღებულია აღნიშვნები: $v_y = v, s_y = h$ □ □ $v_{0y} = v_0$:	
	$v = v_0 + gt,$ $h = v_0 t + \frac{gt^2}{2}; h = \frac{v^2 - v_0^2}{2g}$ როცა $v_0 = 0$ $v = gt; h = \frac{gt^2}{2}$	$v = v_0 - gt,$ $h = v_0 t - \frac{gt^2}{2}$ რადგან მაქსიმალური სიმაღლის მიღწევის შემდეგ სხეულის სიჩქარე 0-ის ტოლია ($v = 0$), მივიღებთ: ($v = 0$) $v_0 = gt.$

შემოქმედებითი გამოყენება. კვლევითი სამუშაო-2. შეგიძლიათ თუ არა, დაამტკიცოთ?

1) ...რომ ვერტიკალურად ზევით ასროლილი სხეულის მაქსიმალურ სიმაღლემდე მოძრაობის დრო განისაზღვრება ფორმულით:

$$t_q = \frac{v_0}{g};$$

შენიშვნა: ყურადღება მიაქციეთ, რომ მაქსიმალური სიმაღლის მიღწევისას სხეულის საბოლოო სიჩქარე 0-ის ტოლი ხდება.

2) ...რომ სხეულის ასვლის მაქსიმალური სიმაღლე განისაზღვრება ფორმულით:

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

3) სხეულის ვარდნის დრო განისაზღვრება ფორმულით:

$$t_{\text{ვარდნ}} = \sqrt{\frac{2h}{g}};$$

4) თავისუფლად ვარდნილი სხეულის საბოლოო სიჩქარე დედამიწაზე დაცემის მომენტში განისაზღვრება ფორმულით:

$$v_{\text{საბ}} = \sqrt{2gh};$$

შენიშვნა: ყურადღება მიაქციეთ, რომ $v_0 = 0$.

5) ...რომ დედამიწაზე სხეულის ვარდნის დრო მის მაქსიმალურ სიმაღლეზე ასვლის დროის ტოლია: $t_{\text{ვარდ.}} = t_{\text{ასვლ.}}$

იმსჯელეთ შედეგებზე:

- ააგეთ სიჩქარის დროზე დამოკიდებულებისა და გადაადგილების დროზე დამოკიდებულების გრაფიკები სხეულისათვის, რომელიც h სიმაღლიდან თავისუფლად ვარდება.
- ააგეთ სიჩქარის დროზე დამოკიდებულებისა და მაქსიმალური სიმაღლის დროზე დამოკიდებულების გრაფიკები ვერტიკალურად ზევით ასროლილი სხეულისთვის.

შეძენილი ცოდნის გამოყენება ყოველდღიურ ცხოვრებაში:

- როდესაც წვიმა მოდის, უცნაურ მოვლენას ვაკვირდებით ხოლმე. 2 კმ სიმაღლიდან ვარდნილი წვეთი 7–8 მ/წმ სიჩქარით გვეცემა. რა სიჩქარით დაგვეცემოდა წვეთები, ჰაერის წინააღმდეგობა რომ არ ყოფილიყო და იქნებოდა თუ არა ეს სიჩქარე ჩვენი სიცოცხლისთვის სახიფათო? რატომ?

შეაფასეთ თქვენი ცოდნა

1. რომელი ცნებები გაიმეორეთ გაკვეთილზე? მათგან რომელი გაიგეთ კარგად და რომელი დარჩა ნაწილობრივ გაუგებარი?
2. სხეული თავისუფლად ვარდება 45 მ სიმაღლიდან ($v_0 = 0$, $g = 10 \text{ მ/წმ}^2$, ჰაერის წინააღმდეგობა არ გაითვალისწინოთ).
 - ა) რის ტოლია სხეულის ვარდნის დრო?
 - ბ) რის ტოლია სხეულის საბოლოო სიჩქარე?
 - გ) რა სიმაღლეზე აღმოჩნდება სხეული დროის $t = 2,5$ წმ მომენტისთვის?
3. გამოთვალეთ მანძილი, რომელიც თავისუფლად ვარდნილმა სხეულმა 1 წმ-ის, 2 წმ-ის, 3 წმ-ის და 4 წმ-ის განმავლობაში გაიარა ($v_0 = 0$, $g = 10 \text{ მ/წმ}^2$, ჰაერის წინააღმდეგობა არ გაითვალისწინოთ). დაიმახსოვრეთ მიღებული რიცხვები. შემდგომში ისინი გარკვეული სახის ამოცანების ზეპირად ამოხსნისათვის

რა შეიტყავთ?

1. დაწერეთ მოცემული ფიზიკური ცნებების მოკლე განმარტებები: „თავისუფალი ვარდნა“, „თავისუფალი ვარდნის აჩქარება“.
2. დაწერეთ სხეულის მოძრაობის განტოლებები, თუ იგი გარკვეული სიმაღლიდან ვარდება და თუ იგი ვერტიკალურად ზევითაა ასროლილი.

1.7 მექანიკური მოძრაობის ფარდობითობა



გზაზე ორი ავტომობილი მოძრაობს, რომელთა სიჩქარეები შესაბამისად $v_1 = 60$ კმ/სთ და $v_2 = 90$ კმ/სთ-ია.

- შეჯახების შემთხვევაში რა დროს დაზიანდება ავტომობილები მეტად: (ა) შემხვედრი მიმართულებით მოძრაობის დროს თუ იმავე მიმართულებით მოძრავ ავტომობილთან უკნიდან შეჯახების შემდეგ (ბ)? რატომ?

კვლევითი სამუშაო-1. რა არის მიზეზი, რომ ერთი და იმავე მოძრაობის სიჩქარის მოდული შეიძლება სხვადასხვა იყოს?

ამოცანა 1: მეტროს ესკალატორს საფეხურებზე მდგომი მგზავრები 3 მ/წმ სიჩქარით აჰყავს. ერთ-ერთი მგზავრი ესკალატორის მოძრაობის მიმართულებით, ესკალატორის მიმართ 2,5 მ/წმ სიჩქარით ადის. რის ტოლია ამ მგზავრის მოძრაობის სიჩქარის მოდული დედამიწის მიმართ? რის ტოლი იქნება ამ მგზავრის მოძრაობის სიჩქარის მოდული დედამიწის მიმართ, თუ იგი იმავე სიჩქარით იმორავეებს ქვევით, ესკალატორის მოძრაობის საპირისპიროდ (ფიზიკა 7, „მოძრაობის ფარდობითობა“)?

იმსჯელეთ შედეგებზე:

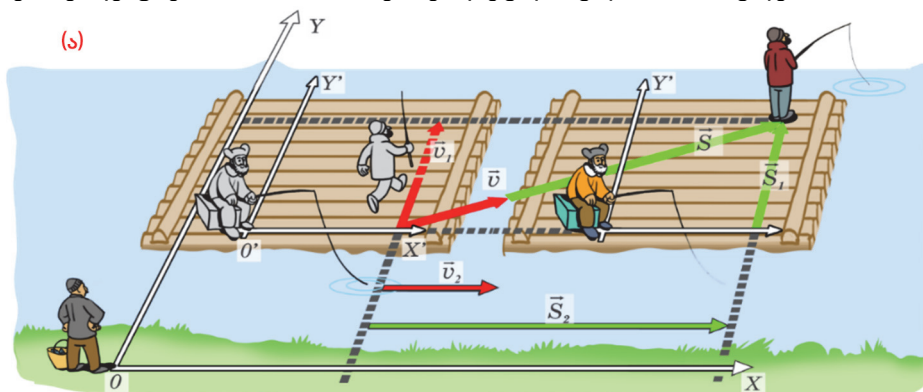
- რატომ მივიღეთ მგზავრის მოძრაობის სიჩქარის მოდულის სხვადასხვა მნიშვნელობა დედამიწის მიმართ, მისი მოძრაობის დროს ესკალატორის თანმხვედრი და საპირისპირო მიმართულებით?

როგორც იცით, მატერიალური წერტილის (ან სხეულის) მდებარეობა სივრცეში დამოკიდებულია ათვლის სისტემის არჩევაზე, ანუ ათვლის სხვადასხვა სისტემის მიმართ მატერიალური წერტილის მდებარეობა შეიძლება სხვადასხვა იყოს. ეს ნიშნავს, რომ სხეულის მდებარეობა სივრცეში ფარდობითია. ფარდობითია არა მარტო სხეულის მდებარეობა, არამედ მისი მოძრაობაც:

- სხეულის გადაადგილება და სიჩქარე ათვლის სხვადასხვა სისტემის მიმართ, რომლებიც ერთმანეთის მიმართ მოძრაობენ, სხვადასხვა იქნება.

შევისწავლოთ მოძრაობის ფარდობითობა მოყვანილი ამოცანის დახმარებით.

ამოცანა 2. ტივზე, რომელიც მდინარის დინებას მიჰყვება, ორი მეთევზეა (ა). ერთი მეთევზე ყუთზე ზის და თევზს იჭერს, მეორე კი ტივის ერთი კიდიდან მეორემდე ტივის მოძრაობის პერპენდიკულარული მიმართულებით მოძრაობს.



განსაზღვრეთ მეორე მეთევზის გადაადგილება და სიჩქარე ნაპირზე მდგომი დამკვირვებლის მიმართ.

ამოხსნა. შევისწავლოთ მეორე მეთევზის მოძრაობა სხვადასხვა პოზიცი-
იდან. ამ მიზნით გამოვიყენოთ ათვლის ორი სისტემა:

უძრავი ათვლის სისტემა (XOY), რომელიც ნაპირზე მდგომ დამკვირვებე-
ლთანაა დაკავშირებული. ათვლის ეს სისტემა დედამიწის მიმართ უძრავია.

მოძრავი ათვლის სისტემა (X'O'Y'), რომელიც ტივზე მჯდომ მეთევზესთანაა
დაკავშირებული. ათვლის ეს სისტემა ტივთანაა დაკავშირებული და მდინარის
დინების სიჩქარით მოძრაობს (იხ. ა).

მჯდომარე მეთევზე ათვლის სხეულია, რომელთანაც დაკავშირებულია
მოძრავი ათვლის სისტემა. მას ეჩვენება, რომ მისი მეგობარი ტივის ერთი კი-
დიდან მეორემდე $\vec{S}_1$ სიჩქარით მოძრაობს და $\vec{S}_1$ გადაადგილებას ასრულებს. ამ
დროს ტივი, მასზე მჯდომ მეთევზესთან ერთად, ასრულებს $\vec{S}_2$ გადაად-
გილებას $\vec{S}_2$ სიჩქარით უძრავი ათვლის სისტემის მიმართ. ამგვარად, ორი
ვექტორის შეკრების პარალელოგრამის წესის შესაბამისად მივიღებთ, რომ
მეორე მეთევზის გადაადგილება უძრავი ათვლის სისტემის მიმართ $\vec{S}_1$ და $\vec{S}_2$
გადაადგილების ვექტორების ჯამის ტოლია.

$$\vec{S} = \vec{S}_1 + \vec{S}_2. \quad (1.31)$$

თუ (1.31) ტოლობის ორივე მხარეს გავყოფთ t დროზე, რომელიც ერთნაირია
ორივე – უძრავი და მოძრავი – სისტემისათვის, მივიღებთ:

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

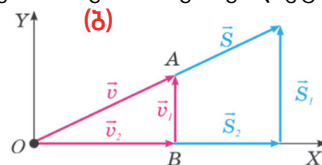
აქედან მივიღებთ სიჩქარეთა შეკრების ზოგად წესს:

$$\vec{v} = \vec{v}_1 + \vec{v}_2. \quad (1.32)$$

• სხეულის მოძრაობის ($\vec{v}$) სიჩქარე უძრავი ათვლის სისტემის მიმართ მოძრავი
ათვლის სისტემის მიმართ სხეულის ($\vec{v}_1$) სიჩქარისა და უძრავი ათვლის
სისტემის მიმართ მოძრავი ათვლის სისტემის ($\vec{v}_2$) სიჩქარის გეომეტრიული
ჯამის ტოლია.

სიჩქარეთა შეკრების კანონის გამოყენებით გამოვთვალოთ ტივის ზედა-
პირზე მოძრავი მეთევზის სიჩქარე ნაპირზე მდგომი დამკვირვებლის მიმართ.
როგორც ნახაზიდან ჩანს, $\vec{v}_1$ და $\vec{v}_2$ სიჩქარეები ერთმანეთის პერპენდიკუ-
ლარულია და OAB მართკუთხა სამკუთხედის Y (ბ)
კათეტებს წარმოადგენენ, ხოლო ამ სამკუთხედის X
ჰიპოტენუზაა ამ სიჩქარეების ვექტორული ჯამი (ბ).
პითაგორას თეორემის თანახმად, ამ სიჩქარის
რიცხვითი მნიშვნელობა ტოლია:

$$v = \sqrt{v_1^2 + v_2^2}.$$



შემოქმედებითი გამოყენება. კვლევითი სამუშაო-2. „სიჩქარეთა შეკრების“ კანონის შემოწმება.

ამოცანა 3: ველოსიპედისტის გზის სწორ უბანზე 10 მ/წმ სიჩქარით მოძრაობს. მის უკან,
იმავე მიმართულებით, 25 მ/წმ სიჩქარით მოტოციკლისტი მოძრაობს (გ). განსაზღვრეთ:

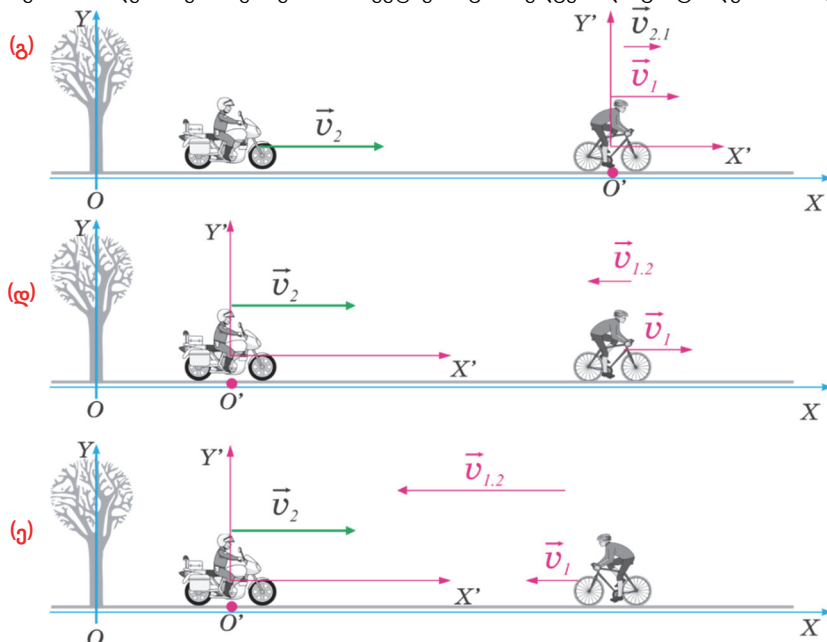
ა) ველოსიპედისტის მიმართ მოტოციკლისტის სიჩქარის მოდული $\vec{v}_{21}$;

ბ) მოტოციკლისტის მიმართ ველოსიპედისტის სიჩქარის მოდული $\vec{v}_{12}$.

შენიშვნა: დაწერეთ სიჩქარის ვექტორების შეკრების ფორმულა. დაწერეთ და ამოხსენით
ოx ღერძზე სიჩქარეთა პროექციებისგან შედგენილი განტოლება (იხ. გ და დ).

ამოცანა 4. ველოსიპედისტი და მოტოციკლისტი მოცემული სიჩქარეებით (იხ. ამოცანა 3), ერთმანეთის შემხვედრი მიმართულებით მოძრაობენ. განსაზღვრეთ მოტოციკლისტის მიმართ ველოსიპედისტის სიჩქარის მოდული – $\vec{v}_{12}$.

შენიშვნა: დაწერეთ სიჩქარის ვექტორების შეკრების ფორმულა. დაწერეთ და ამოხსენით ax ლერძზე სიჩქარეთა პროექციებისგან შედგენილი განტოლება (იხ. (ე)).



იმაჯელო შედეგებზე:

- როგორ განვსაზღვროთ მოტოციკლისტის სიჩქარის მოდული $\vec{v}_{21}$ ველოსიპედისტის მიმართ, თუ ვიცით მოტოციკლისტისა და ველოსიპედისტის სიჩქარეები დედამიწის მიმართ და ისინი ერთი და იმავე მიმართულებით მოძრაობენ?
- როგორ განვსაზღვროთ ველოსიპედისტის სიჩქარის მოდული $\vec{v}_{12}$ მოტოციკლისტის მიმართ, თუ ისინი შემხვედრი მიმართულებით მოძრაობენ? პასუხი დაასაბუთეთ.

შეძენილი ცოდნის გამოყენება ყოველდღიურ ცხოვრებაში:

- როგორ განვსაზღვროთ მგზავრის სიჩქარე დედამიწის მიმართ, თუ ვიცით მგზავრის სიჩქარე მოძრავი მატარებლის მიმართ და მატარებლის სიჩქარე დედამიწის მიმართ?

შეაფასეთ თქვენი ცოდნა:

- რომელი საკითხები გაიმეორეთ გაკვეთილზე? მათ შორის რომლებში გაერკვიეთ კარგად და რომლები დაგრჩათ ნაწილობრივ გაუგებარი?
- რას ნიშნავს გამოთქმა „მექანიკური მოძრაობა ფარდობითია“?
- რას ნიშნავს უძრავი ათვლის სისტემა და მოძრავი ათვლის სისტემა?
- ჩამოაყალიბეთ სიჩქარეთა შეკრების კანონი ზოგადი სახით.
- გეოცენტრული და ჰელიოცენტრული შეხედულებების მიხედვით, შესაბამისად, რომელი ციური სხეულის მიმართ განსაზღვრავენ სხეულის მდებარეობას. პასუხი დაასაბუთეთ. ვისგან იღებს სათავეს ეს მსოფლმხედველობები?
- მდინარის ნაპირზე არსებული ერთი პუნქტიდან მეორემდე მანძილის გასაზღვრად დინების მიმართულებით ძრავიანი ნავი 40 წუთს ხარჯავს, ხოლო დინების საწინააღმდეგო მიმართულებით – 1 სთ და 10 წთ-ს. რის ტოლია ნავის სიჩქარის მოდული წყლის მიმართ, თუ მდინარის დინების სიჩქარე 8 კმ/სთ-ია?

რა შეიტყვეთ? განმარტეთ მოყვანილი ცნებები: „ათვლის უძრავი სისტემა“, „ათვლის მოძრავი სისტემა“, „მოძრაობის ფარდობითობა“, „სიჩქარეთა შეკრების კანონი“.

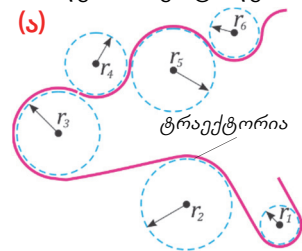
1.8 თანაბარი მოძრაობა წრეწირზე

წინა გაკვეთილებზე თქვენ გაეცანით თანაბარ და თანაბრად აჩქარებულ წრფივ მოძრაობებს, აგრეთვე სიდიდეებს, რომლებითაც ისინი ხასიათდებიან და გაარკვიეთ, როგორ იცვლება ეს სიდიდეები დროის განმავლობაში.

- რომელი მოძრაობის – წრფივი თანაბრის თუ წრფივი თანაბრად აჩქარებულის – მახასიათებელი ფიზიკური სიდიდეა აჩქარება და რომლის არა? რატომ?
- რას ახასიათებს აჩქარება გადატანითი წრფივი მოძრაობის დროს: მოძრაობის სიჩქარის მოდულისა თუ მიმართულების ცვლილების სისწრაფეს? თუ ორივეს ერთად?
- რას ახასიათებს აჩქარება წრეწირზე თანაბარი მოძრაობის დროს? გამოთქვით თქვენი მოსაზრებები.

მრუდწირული მოძრაობის ყველაზე მარტივი სახეა ბუნებაში ფართოდ გავრცელებული წრეწირზე მოძრაობა (იხ. ფიზიკა 7, თემა: 1.6 და 1.7).

დედამიწის ზედაპირის წერტილების ბრუნვა დედამიწის ღერძის ირგვლივ, საათის ისრების წერტილების ბრუნვა, ავტომობილის ბორბლების წერტილების ბრუნვა და სხვა მოვლენები წრეწირზე მოძრაობას წარმოადგენს. წრეწირზე მოძრაობის შესწავლის თეორიული და პრაქტიკული მნიშვნელობა იმაში მდგომარეობს, რომ ნებისმიერი მრუდწირული ტრაექტორია შეიძლება წარმოვადგინოთ როგორც სხვადასხვა რადიუსის წრეწირების რკალების ერთობლიობა (ა).



წრეწირზე მოძრაობის ყველაზე მარტივი სახეა წრეწირზე თანაბარი მოძრაობა.

- წრეწირზე თანაბარი მოძრაობა არის მოძრაობა, რომლის დროსაც მოძრავი მატერიალური წერტილის სიჩქარის მოდული უცვლელია ამ წრეწირის ყოველ წერტილში. ეს მოძრაობა ხასიათდება შემდეგი ფიზიკური სიდიდეებით:

ბრუნვის პერიოდი. ბრუნვის პერიოდი არის დრო, რომლის განმავლობაშიც მატერიალური წერტილი წრეწირზე ერთ სრულ ბრუნს ასრულებს:

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

სადაც T ბრუნვის პერიოდი, N – მატერიალური წერტილის მიერ t დროში შესრულებული სრულ ბრუნვათა რიცხვი. ბრუნვის პერიოდის საზომ ერთეულად SI სისტემაში მიღებულია წამი: $[T] = 1$ წმ.

ბრუნვის სიხშირე. ბრუნვის სიხშირე არის მატერიალური წერტილის მიერ დროის ერთეულში შესრულებულ ბრუნვათა რიცხვი:

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

სადაც, ν – ბრუნვის სიხშირეა (ზოგჯერ მას n -ით აღნიშნავენ). SI სისტემაში ბრუნვის სიხშირის ერთეული არის ჰერცი (ბრუნვის სიხშირე არის 1 ჰერცი, როდესაც მატერიალური წერტილი ერთ წამში ერთ სრულ ბრუნს ასრულებს):

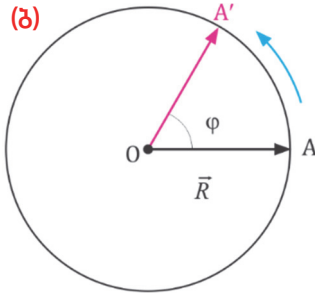
$$[\nu] = \frac{1}{\text{წმ}} = \text{წმ}^{-1} = 1 \text{ ჰც.}$$

ბრუნვის პერიოდი ბრუნვის სიხშირის შებრუნებული სიდიდეა:

$$\nu = \frac{1}{T}; \quad T = \frac{1}{\nu}$$

ეს ნიშნავს, რომ რამდენჯერაც შემცირდება ბრუნვის სიხშირე, იმდენჯერ გაიზრდება ბრუნვის პერიოდი და პირიქით.

მობრუნების კუთხე. მობრუნების კუთხე არის კუთხე, რომელზეც შემობრუნდება რადიუს-ვექტორი მატერიალური წერტილის წრეწირზე მოძრაობის დროს. მობრუნების კუთხე ფიზიკური სიდიდეა, რომელიც იზომება სანჩის და საბოლოო რადიუს-ვექტორებს შორის არსებული წრეწირის რკალის სიგრძის შეფარდებით რადიუსთან (ბ):



$$\varphi = \frac{l}{R}.$$

სადაც φ მობრუნების კუთხეა, l – რკალის სიგრძე, რომელიც მობრუნების კუთხეს შეესაბამება, R – წრეწირის რადიუსი. დროის ტოლ შუალედებში წრეწირზე თანაბრად მოძრავი მატერიალური წერტილის რადიუს-ვექტორის მობრუნების კუთხეები ერთნაირია.

მობრუნების კუთხე სკალარული ფიზიკური სიდიდეა და მისი საზომი ერთეული SI სისტემაში არის რადიანი:

$$[\varphi] = 1 \text{ რად.}$$

- 1 რად არის ისეთი მობრუნების კუთხე, როდესაც რადიუს-ვექტორის მიერ შემოწერილი რკალის სიგრძე წრეწირის რადიუსის ტოლია ($l = R$).

კუთხური სიჩქარე ან წრიული სიხშირე. კუთხური სიჩქარე (ან წრიული სიხშირე) არის ფიზიკური სიდიდე, რომელიც იზომება მობრუნების კუთხის ფარდობით დროსთან, რომლის განმავლობაშიც ეს მობრუნება შესრულდა:

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

სადაც ω კუთხური სიჩქარეა. წრეწირზე თანაბრად მოძრავი მატერიალური წერტილის კუთხური სიჩქარე არ იცვლება და მუდმივია დროის განმავლობაში ($\omega = \text{const}$). კუთხური სიჩქარის ერთეული SI სისტემაში არის რადიანი შეფარდებული წამთან – 1 რად/წმ:

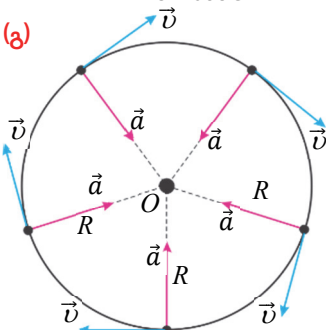
$$[\omega] = 1 \frac{\text{რად}}{\text{c}}.$$

- კუთხური სიჩქარის ერთეულად მიღებულია წრეწირზე ისეთი თანაბარი მოძრაობის კუთხური სიჩქარე, რომლის დროსაც მატერიალური წერტილის რადიუს-ვექტორი 1 წმ-ში 1 რად კუთხით შემობრუნდება.

მატერიალური წერტილი, რომელიც წრეწირზე თანაბრად მოძრაობს, ბრუნვის პერიოდის ტოლი დროის განმავლობაში ($t = T$) ერთ სრულ ბრუნს ასრულებს და ამ დროს რადიუს-ვექტორი $\varphi = 2\pi$ კუთხით შემობრუნდება. ამიტომ წრეწირზე თანაბარი მოძრაობის დროს კუთხურ სიჩქარესა და ბრუნვის პერიოდს (ბრუნვის სიხშირეს) შორის არსებობს კავშირი:

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi \nu.$$

წირითი სიჩქარე. წირითი სიჩქარე ეწოდება წრეწირზე მოძრავი მატერიალური წერტილის სიჩქარის მოდულს. წრეწირზე თანაბრად მოძრავი მატერიალური წერტილის წირითი სიჩქარის მოდული არ იცვლება ($\nu = \text{const}$), მაგრამ უწყვეტად იცვლება მისი მიმართულება და ტრაექტორიის ყოველ წერტილში ტრაექტორიის მხების გასწვრივაა



მიმართული (ა).

წრენირზე თანაბარი მოძრაობის წირითი სიჩქარის რიცხვითი მნიშვნელობა ტოლია გავლილი მანძილის შეფარდებისა დროსთან, რომელიც ამ მანძილის გავლას დასჭირდა:

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

როდესაც მატერიალური წერტილი წრენირზე თანაბრად მოძრაობს, ბრუნვის პერიოდის ტოლი დროის ($t = T$) განმავლობაში წრენირის სიგრძის ტოლ მანძილს გაივლის: $l = 2\pi R$. თუ წირითი სიჩქარის ფორმულაში ამას გავითვალისწინებთ, მივიღებთ გამოსახულებას, რომელიც წირით სიჩქარეს კუთხურ სიჩქარესთან აკავშირებს:

$$v = \frac{2\pi}{T} R = \omega R.$$

ცენტრისკენული აჩქარება. წირითი სიჩქარის მიმართულების ცვლილების სისწრაფე წრენირზე თანაბარი მოძრაობის დროს ხასიათდება ფიზიკური სიდიდით, რომელსაც ცენტრისკენული, ანუ ნორმალური აჩქარება ეწოდება. ცენტრისკენული, ანუ ნორმალური აჩქარების ვექტორი ტრაექტორიის ნებისმიერ წერტილში მიმართულია წრენირის რადიუსის გასწვრივ, წრენირს ცენტრისკენ (იხ. გ). წრენირზე თანაბრად მოძრავი მატერიალური წერტილის ცენტრისკენული აჩქარების მოდული მისი წირითი სიჩქარის კვადრატის წრენირის რადიუსთან შეფარდების ტოლია:

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

შემოქმედებითი გამოყენება. შეგიძლიათ თუ არა დაამტკიცოთ? დაამტკიცეთ, რომ:

1) წირითი სიჩქარე წრენირზე თანაბარი მოძრაობის დროს დაკავშირებულია ბრუნვის სიხშირესთან ფორმულით:

$$v = 2\pi \nu R.$$

2) ცენტრისკენული აჩქარება წრენირზე თანაბარი მოძრაობის დროს დაკავშირებულია ბრუნვის სიხშირესა და ბრუნვის პერიოდთან, აგრეთვე ბრუნვათა რიცხვთან, ფორმულებით:

$$a = \frac{4\pi^2 R}{T^2}; \quad a = 4\pi^2 \nu^2 R, \quad a = \frac{4\pi^2 N^2}{t^2} R.$$

3) ცენტრისკენული აჩქარება წრენირზე თანაბარი მოძრაობის დროს დაკავშირებულია კუთხურ სიჩქარესა და წირით სიჩქარესთან ფორმულით:

$$a = \omega v.$$

იმჯელეთ შედეგებზე:

- ააგეთ წრენირზე თანაბრად მოძრავი მატერიალური წერტილის წირითი სიჩქარის წრენირის რადიუსზე, ბრუნვის პერიოდსა და ბრუნვის სიხშირეზე დამოკიდებულების გრაფიკები.
- ააგეთ წრენირზე თანაბრად მოძრავი მატერიალური წერტილის ცენტრისკენული აჩქარების წრენირის რადიუსზე, ბრუნვის პერიოდსა და ბრუნვის სიხშირეზე დამოკიდებულების გრაფიკები.

შეძენილი ცოდნის გამოყენება ყოველდღიურ ცხოვრებაში

- მაჯის საათის წამების მაჩვენებელი ისრის სიგრძე 2 სმ-ია, ხოლო წუთების მაჩვენებელი ისრის – 1,5 სმ. რომელი ისრის ცენტრისკენული აჩქარების მოდული იქნება მეტი და რამდენით?
- ყოველდღიურ ცხოვრებაში სად ვხდებით წრენირზე თანაბარ მოძრაობას? რის თქმა შეგიძლიათ მათი ბრუნვის პერიოდსა და ბრუნვის სიხშირეზე?

შეაფასეთ თქვენი ცოდნა

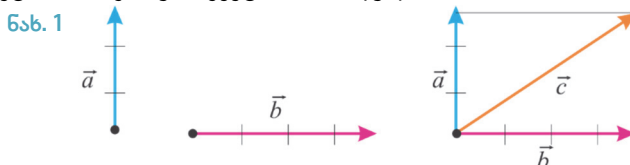
1. რომელი ცნებები გაიმეორეთ გაკვეთილზე? რომელში გაერკვიეთ კარგად და რომელი დაგორჩათ ნაწილობრივ გაუგებარი?
2. რატომ ეწოდება აჩქარებას წრენირზე სხეულის თანაბრად მოძრაობის დროს ცენტრისკენული, ანუ ნორმალური აჩქარება?

3. გამოთვალეთ დედამიწის ცენტრისკენული აჩქარების მოდული მისი მზის ირგვლივ მოძრაობის დროს (დედამიწის ორბიტის რადიუსი $R = 1,5 \cdot 10^8$ კმ-ია).
4. როგორია დედამიწის წირითი სიჩქარე მზის ირგვლივ მოძრაობის დროს (დედამიწის ორბიტის რადიუსი $R = 1,5 \cdot 10^8$ კმ-ია)?

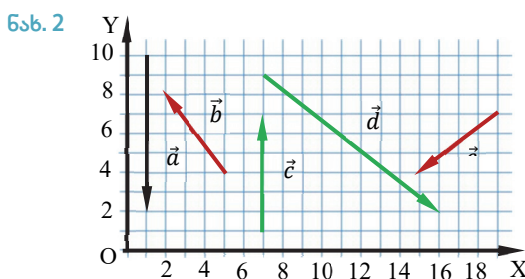
რა შეიტყვით? განმარტეთ ქვემოთ მოყვანილი ცნებები და სიდიდეები: „მოზრუნების კუთხე“, „კუთხური სიჩქარე“, „წირითი სიჩქარე“, „ცენტრისკენული აჩქარება“, „ბრუნვის პერიოდი“, „ბრუნვის სიხშირე“.

• **პროექტი** • ააგეთ წრენიორზე თანაბარი მოძრაობის „ცნებებს შორის კავშირის რუკა“.

- 1.1. განსაზღვრეთ მატერიალური წერტილის კოორდინატები XOY სიბრტყეზე, თუ რადიუს-ვექტორი, რომლის მოდული 5 მ-ია, OX ღერძთან 30° -იან კუთხეს ადგენს.
- 1.2. M მატერიალური წერტილის კოორდინატებია $x_M = 1$ მ და $y_M = 1,5$ მ, ხოლო N წერტილის კოორდინატებია $x_N = 3$ მ და $y_N = -2$ მ.
განსაზღვრეთ:
ა) M და N წერტილების შემაერთებული ვექტორის მოდული;
ბ) ამ ვექტორის პროექციები OX და OY ღერძებზე;
გ) ამ ვექტორსა და OX ღერძს შორის კუთხე.
- 1.3. $\vec{a}$ და $\vec{b}$ ვექტორები ურთიერთპერპენდიკულარულია (ნახ. 1). განსაზღვრეთ: ა) მათი ჯამური ვექტორი; ბ) ჯამური ვექტორის მოდული.



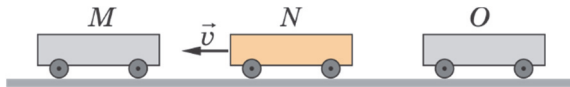
- 1.4. განსაზღვრეთ ნახატზე (ნახ. 2) წარმოდგენილი ვექტორების პროექციები საკოორდინატო OX და OY ღერძებზე.



- 1.5. სპორტსმენი ვარჯიშის დროს დარბის წრიულ ტრაექტორიაზე, რომლის რადიუსი 60 მ-ია და 10 წრე გაირბინა. განსაზღვრეთ სპორტსმენის მიერ გარბენილი მანძილი. რის ტოლია მისი გადაადგილების მოდული? ($\pi = 3$)?
- 1.6. განსაზღვრეთ საათების მაჩვენებელი ისრის ბოლოს მიერ გავლილი მანძილი და გადაადგილება, რომელიც შესაბამეა დროის შუალედებს $t_1 = 3$ სთ-ს; $t_2 = 6$ სთ-ს; $t_3 = 9$ სთ-ს და $t_4 = 12$ სთ-ს, თუ ისრის სიგრძე 8 სმ-ია ($\pi = 3$).

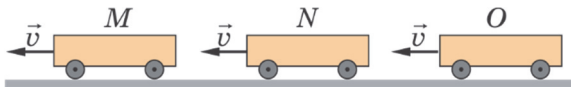
- 1.7. ურიკა N დედამინის მიმართ მოძრაობს, ხოლო ურიკები M და O – უძრავია (ნახ. 3). რის თქმა შეიძლება M და O ურიკების მდგომარეობის შესახებ N ურიკასთან დაკავშირებულ ათვლის სისტემაში?

ნახ. 3



- 1.8. M, N და O ურიკები ერთი მიმართულებით და ერთნაირი სიჩქარით მოძრაობენ (ნახ. 4). რის თქმა შეიძლება M და O ურიკების მდგომარეობის შესახებ N ურიკასთან დაკავშირებულ ათვლის სისტემაში?

ნახ. 4



- 1.9. ველოსიპედისტი 10 კმ/სთ სიჩქარით მოძრაობდა და ჩრდილოეთის მიმართულებით 3 კმ მანძილი გაიარა, შემდეგ კი აღმოსავლეთის მიმართულებით – 4 კმ მანძილი. განსაზღვრეთ:

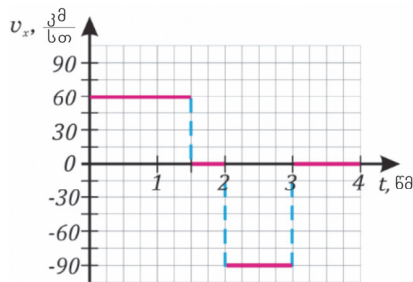
ა) დრო, რომელიც ველოსიპედისტმა დახარჯა მთელი მანძილის გასავლელად;
ბ) მისი გადაადგილების მოდული.

- 1.10. გამოსახეთ მოცემული სიჩქარეების მნიშვნელობები მ/წმ-ებში: $v_1 = 180$ კმ/სთ; $v_2 = 2,4$ კმ/წთ; $v_3 = 16$ კმ/წმ; $v_4 = 120$ სმ/წმ.

- 1.11. მოედანზე ფეხბურთელმა $v = 5$ მ/წმ სიჩქარით სამხრეთის მიმართულებით $l_1 = 20$ მ მანძილი გაიარა, შემდეგ დასავლეთის მიმართულებით – $l_2 = 40$ მ მანძილი, შემდეგ ჩრდილოეთის მიმართულებით – $l_3 = 30$ მ მანძილი. განსაზღვრეთ: ა) ფეხბურთელის მიერ გავლილი მანძილი; ბ) მისი გადაადგილების მოდული; გ) დრო, რომლის განმავლობაშიც იგი უმოკლესი გზით შეძლებს საწყის მდგომარეობაში დაბრუნებას, თუ იმავე სიჩქარით გააგრძელებს სირბილს.

ნახ. 5

- 1.12. ნახატზე მოცემულია მატერიალური წერტილის სიჩქარის მნიშვნელობის დროზე დამოკიდებულების გრაფიკი (ნახ. 5). გრაფიკის მიხედვით აღწერეთ მოძრაობა. განსაზღვრეთ: ა) გადაადგილების მოდული; ბ) 0-დან 4 სთ-მდე გავლილი მანძილი; გ) აჩქარების მოდული.



- 1.13. ვერტმფრენი ბაქოდან „ნავთობიანი ქვებისკენ“ მიფრინავს. ჰაერის მიმართ მისი სიჩქარის მოდული $v_1 = 108$ კმ/სთ-ის ტოლია. ქარის სიჩქარე, რომელიც ფრენის მიმართულების საპირისპიროდ ქრის, $v_2 = 10$ მ/წმ-ს.

განსაზღვრეთ:

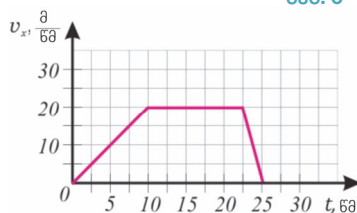
ა) ვერტმფრენის სიჩქარის მოდული დედამინის მიმართ;
ბ) მისი გადაადგილება დედამინის მიმართ 30 წთ-ის განმავლობაში. დახაზეთ მოძრაობის სქემატური გამოსახულება.

- 1.14. ამოხსენით წინა ამოცანა იმ შემთხვევისათვის, როდესაც ქარი ვერტმფრენის მოძრაობის პერპენდიკულარული მიმართულებით ქრის. დახაზეთ მოძრაობის სქემატური გამოსახულება.

- 1.15. მატარებელი, რომელიც სადგურს უახლოვდება, 2 წთ-ის განმავლობაში სიჩქარეს $v_1 = 72$ კმ/სთ-დან 0-მდე ამცირებს. განსაზღვრეთ მატარებლის აჩქარების მოდული და მიმართულება.

1.16. ავტომობილის წრფივი მოძრაობის სიჩქარის დროზე დამოკიდებულების გრაფიკის მიხედვით (ნახ. 6), განსაზღვრეთ მისი:

- სიჩქარე დროის მომენტებში: $t_1 = 5$ წმ-ს, $t_2 = 18$ წმ-ს და $t_3 = 22,5$ წმ-ს;
- საშუალო სიჩქარე მთელ გზაზე;
- აჩქარების მნიშვნელობა მე-15 წამის ბოლოს.



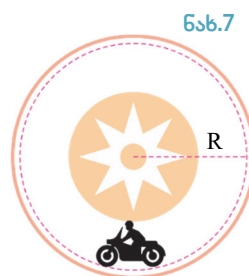
1.17. ქვას ვერტიკალურად ზევით აგდებენ 10 მ სიმაღლიდან, 30 მ/წმ საწყისი სიჩქარით. განსაზღვრეთ ქვის მიერ 4 წამის განმავლობაში გავლილი გზა და გადაადგილება (ჰაერის წინააღმდეგობა არ გაითვალისწინოთ; $g = 10$ მ/წმ²).

1.18. ქვა, რომელიც ჭაში ვარდება, ფსკერამდე 4 წმ-ის შემდეგ აღწევს. განსაზღვრეთ:

- ჭის სიღრმე;
 - ქვის სიჩქარე ფსკერზე დაცემის მომენტში.
- (ჰაერის წინააღმდეგობა არ გაითვალისწინოთ; $g = 10$ მ/წმ²).

1.19. ცირკში მოტოციკლისტი ასრულებს წრიულ მოძრაობას ცილინდრული ფორმის კედელზე, რომლის რადიუსი 4 მ-ია (ნახ. 7, ხედი ზევიდან). განსაზღვრეთ მოტოციკლისტის წირითი და კუთხური სიჩქარეები, თუ ვიცით, რომ მისი ცენტრისკენული აჩქარება 25 მ/წმ²-ია.

1.20. ველოსიპედის ბორბლის დიამეტრი 0,5 მ-ია. როგორი უნდა იყოს ბორბლის ბრუნვის სიხშირე, რომ ველოსიპედისტის სიჩქარე 10 მ/წმ-ის ტოლი იყოს ($\pi = 3$)? ჰაერის წინააღმდეგობა არ გაითვალისწინოთ.

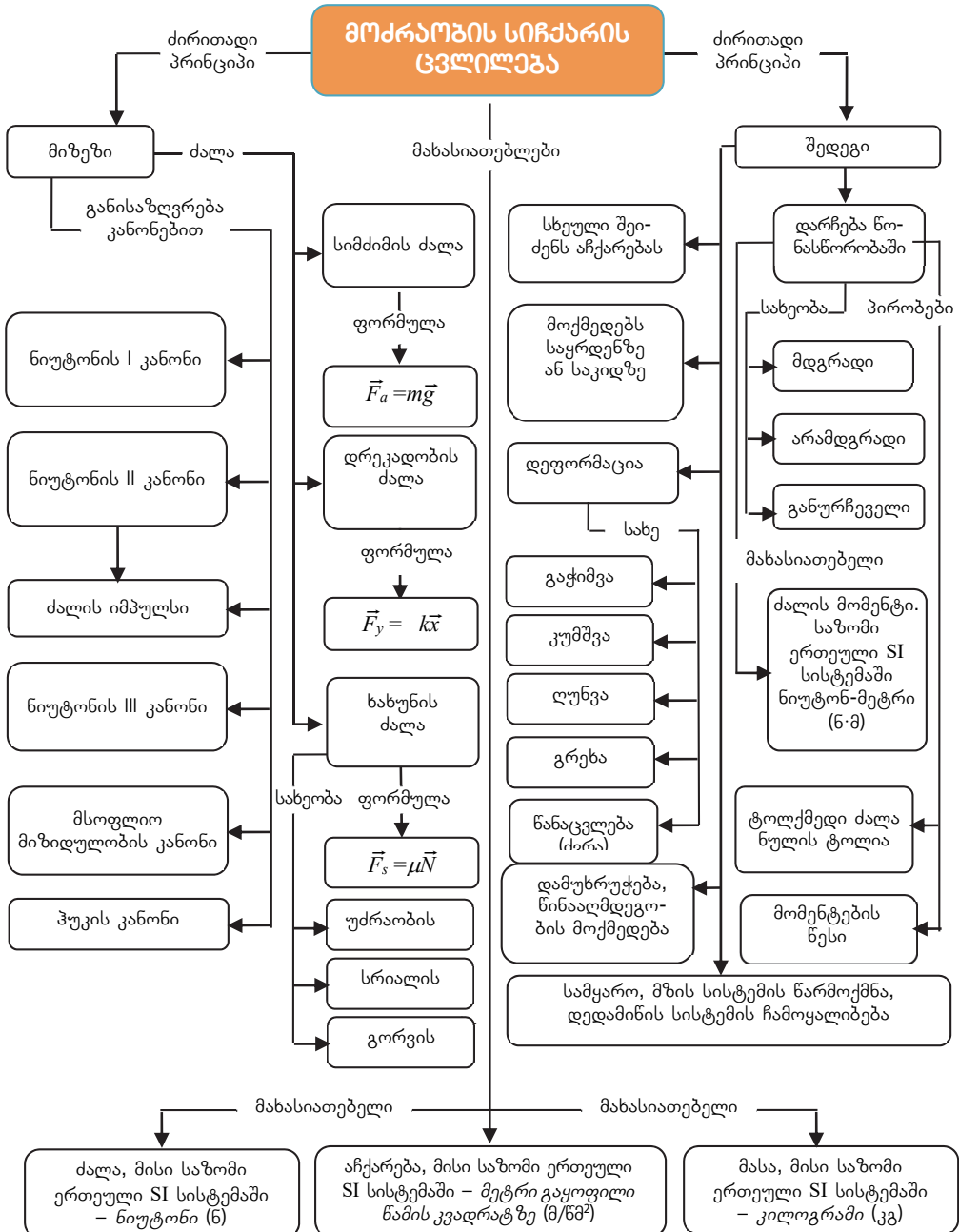


დინამიკის საფუძვლები

ამ თავის შესწავლის შემდეგ
თქვენ შეძლებთ:

- ახსნათ სხეულის უძრაობის ან წრფივი თანაბარი მოძრაობის წარმოქმნის მიზეზები, განახორციელოთ ამ მოვლენებთან დაკავშირებული მარტივი ცდები;
- ახსნათ და ცდებით დაასაბუთოთ სხეულის სიჩქარის ცვლილების მიზეზი;
- იმსჯელოთ დინამიკის ძირითად კანონებზე, დაწეროთ ამ კანონების გამომხატველი ფორმულები და განაზოგადოთ ამ კანონებიდან გამომდინარე შედეგები;
- განასხვაოთ მოძრაობის განტოლებები დინამიკაში განტოლებებისგან კინემატიკაში;
- შეადგინოთ და ამოხსნათ რაოდენობრივი და თვისებრივი ამოცანები ნიუტონის კანონების გამოყენებით;
- ახსნათ მზის სისტემის წარმოშობის თეორია და დედამიწის ზედაპირზე სხეულების არსებობის შესაძლებლობა;
- იმსჯელოთ, ცდებით დაადასტუროთ და ყოველდღიურ პრაქტიკაში გამოიყენოთ სხეულთა წონასწორობის პირობები;
- განასხვაოთ ძალები: სქემაზე აჩვენოთ ძალის მოდების წერტილი და მისი მოქმედების მიმართულება, დაწეროთ ძალის სხვა ფიზიკურ სიდიდეებზე დამოკიდებულების ფორმულები;
- მიუთითოთ მიზეზებზე, რომლებიც იწვევს მექანიკური მოძრაობის ხასიათის ცვლილებას, ყოველდღიური ცხოვრებიდან მოიყვანოთ სხვადასხვა სახის მექანიკური მოძრაობის მაგალითები; გაერკვეთ წარმოქმნილი მოვლენების მიზეზებში და მოიყვანოთ ამ მოვლენების გამოყენების მაგალითები სხვადასხვა ხელსაწყოთა და მექანიზმის მოქმედების პრინციპში.

II თავის „ცნებების რუკა“



2.1 ღინამიკის ძირითადი ამოცანები. კალა. კალეხის ტოლქმედი. მასა

როგორც იცით, ნებისმიერი სხეულის მოძრაობის სიჩქარის ცვლილების მიზეზი მისი სხვა სხეულებთან ურთიერთქმედებაა (იხ. ფიზიკა 7).

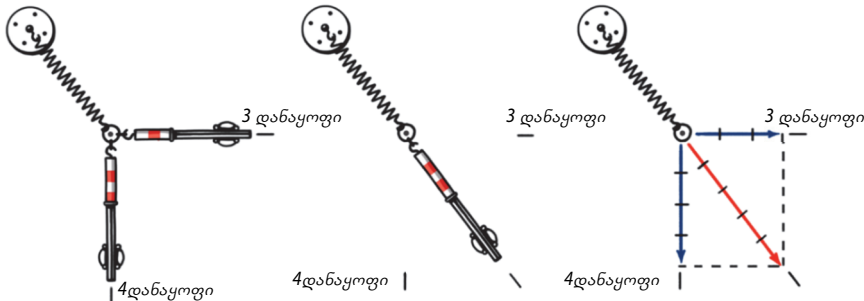
- საჭიროა თუ არა, სხეული განიცდიდეს ძალების მოქმედებას სხვა სხეულების მხრიდან, რათა უძრავი იყოს ან წრფივად და თანაბრად მოძრაობდეს?
- საჭიროა თუ არა სხეული ურთიერთქმედებდეს სხვა სხეულებთან, რომ თანაბრად აჩქარებული იმოდროს?
- სხეულის რომელ თვისებას შეუძლია შეასრულოს მნიშვნელოვანი როლი მისი მდებარეობის ცვლილების დროს სივრცეში?
- თუ სხეული ერთდროულად რამდენიმე ძალის მოქმედებას განიცდის, როგორ შეიძლება იმის განსაზღვრა, შეიცვლის თუ არა იგი მდებარეობას?

კვლევითი სამუშაო-1. რას ნიშნავს რამდენიმე ძალის შეცვლა ტოლქმედი ძალით?

სამუშაოსთვის საჭიროა: ნაკრები „სტატიკაში საჭირო ხელსაწყოები“, მარკერი, სახაზავი.

სამუშაოს მსვლელობა:

1. ნაკრებიდან „სტატიკაში საჭირო ხელსაწყოები“ აღებული ზამბარის ერთ-ერთი ბოლო მეტალის ფირფიტაზე დაამაგრეთ. რგოლი, რომელიც ზამბარის თავისუფალ ბოლოზეა, დინამომეტრებით გაჭიმეთ ისე, რომ დინამომეტრებმა ერთმანეთთან მართი კუთხე შეადგინონ და მათი ჩვენებები შესაბამისად 3 და 4 დანაყოფი იყოს.
2. ამ მდგომარეობაში რგოლის მდებარეობა აღნიშნეთ წერტილით, ხოლო დინამომეტრების მდებარეობა – შტრიხებით.
3. რგოლს ერთ-ერთი დინამომეტრი მოხსენით, ხოლო მეორე დინამომეტრი ისე გაჭიმეთ, რომ რგოლი მონიშნულ წერტილში დაბრუნდეს. დინამომეტრის ახალი მდებარეობაც შტრიხით აღნიშნეთ.
4. მოხსენით დინამომეტრი და რგოლის მონიშნის წერტილზე და სამ შტრიხზე წრფეები გაავლეთ. ამ წრფეებზე, დინამომეტრების ჩვენებების შესაბამისად, ერთნაირი დანაყოფებით სამი ვექტორი ააგეთ.
5. გამოიყენეთ ვექტორებზე მოქმედების წესები და შეამოწმეთ, რამდენად სწორად განსაზღვრეთ ჯამური ვექტორის მოდული და მიმართულება.



იმსჯელებზე შედეგებზე:

- რომელი ძალების შეკრებით მივიღეთ ჯამური ძალა და რამდენ დანაყოფს შეესაბამება მისი მოდული?
- მათემატიკურად რომელი ფორმულით შეიძლება გამოვთვალოთ ჯამური ძალის მოდული? რამდენად შეესაბამება გამოთვლილი მნიშვნელობა ექსპერიმენტით მიღებულ მნიშვნელობას?

„კინემატიკაში“ მოცემული მასალის შესწავლის შედეგად თქვენ შეგიძლიათ განასხვაოთ თანაბარი და თანაბრად ცვლადი მოძრაობები, აგრეთვე დაწეროთ ამ მოძრაობების განტოლებები. მაგრამ გაურკვეველი დარჩა, რა მიზეზით წარმოიქმნება თანაბარი ან თანაბრად ცვლადი მოძრაობები.

ეს საკითხი შეისწავლება მექანიკის ნაწილში, რომელსაც **ღინამიკა** ეწოდება.

• დინამიკა (ბერძნულად „*dinamikos*“ – ძლიერი, მძლავრი) მექანიკის ნაწილია, რომელიც შეისწავლის მოძრაობის ხასიათის განმსაზღვრელ მიზეზებს, აგრეთვე იმას, თუ როგორ ცვლის ეს მიზეზები მოძრაობის ხასიათს.

• მექანიკის ძირითადი ამოცანაა – განსაზღვროს სხეულის მოძრაობის ხასიათის შესაბამისობა სხეულზე მოქმედ ძალებთან, ან პირიქით, მოძრაობის ხასიათის მიხედვით განსაზღვროს, როგორი ძალა მოქმედებს სხეულზე.

„ძალის“ ცნება დინამიკის საფუძველია. ძალა ვექტორული ფიზიკური სიდიდეა, რომელიც ახასიათებს ერთი სხეულის მოქმედებას მეორეზე და ამ მოქმედების საზომია (იხ. ფიზიკა 7, გვ. 30). ძალის ვექტორის მიმართულება სხეულის მოქმედების მიმართულებას ემთხვევა, ხოლო ძალის მოდული ამ მოქმედების რაოდენობრივი გამოხატულებაა. რომელიმე ძალაზე მსჯელობის დროს, აუცილებელია, მკაფიოდ წარმოვიდგინოთ:

• რომელ სხეულზე მოქმედებს ეს ძალა, ანუ რომელ სხეულზეა ეს ძალა მოდებული?

• რადგან სხეულს გარკვეული ზომები აქვს, სხეულის რომელ წერტილშია ეს ძალა მოდებული?

• რომელი სხეულის მოქმედებას ახასიათებს ეს ძალა?

• რომელი წრფის გასწვრივ და რომელ მხარეს არის მიმართული ეს ძალა?

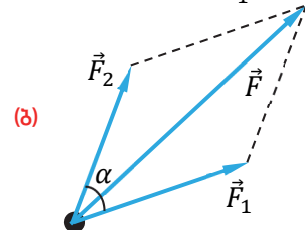
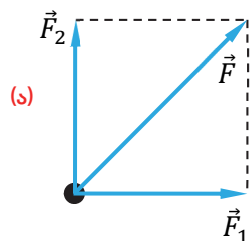
• რის ტოლია მის მოდული?

სხეულზე რამდენიმე ძალის მოქმედების დროს მათ მოქმედებას ცვლიან ერთი – ტოლქმედი ძალით.

• ტოლქმედი ძალა სხეულზე მოქმედი ყველა ძალის ვექტორული ჯამია: $\vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_3 + \vec{F}_n \dots = \Sigma \vec{F}_n$.

მაგალითად, თუ მატერიალურ წერტილზე მოქმედებს ორი ურთიერთმართობული F_1 და F_2 ძალა, მათი შეცვლა შეიძლება F ძალის ვექტორით (ა). ამ ძალის მოდული ტოლია:

$$F = \sqrt{F_1^2 + F_2^2}.$$



თუ სხეულზე მოქმედი ორი ძალა F_1 და F_2 ერთმანეთთან ნებისმიერ კუთხეს ადგენს (ბ), მათი ტოლქმედი ძალის განსაზღვრა შესაძლებელია კოსინუსების თეორემით (იხ. მათემატიკა 9): $F = \sqrt{F_1^2 + F_2^2 + 2F_1F_2\cos\alpha}$.

სხეული აჩქარებას ძალის მოქმედებით იძენს, ამიტომ დინამიკაში ცნება „აჩქარებას“ სრულიად სხვა შინაარსი აქვს.

• სხეული აჩქარება იძენს სხვა სხეულებთან ურთიერთქმედების შედეგად.

ცნობილია, რომ ორი ურთიერთქმედი სხეულის მიერ შეძენილი აჩქარებების შეფარდება მათი მასების შეფარდების უკუპროპორციულია (იხ. ფიზიკა 7, გვ.38):

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

შემდეგ სხეულს, რომლის მასის განსაზღვრაც გვჭირდება, ურთიერთქმედებაში მოვიყვანოთ ეტალონად მიღებულ სხეულთან, სხეულების აჩქარებებსა და

მასებს შორის არსებული თანაფარდობიდან შევძლებთ განვსაზღვროთ სხეულის უცნობი მასა:

$$\frac{a_{\text{ფT}}}{a_{\text{T}}} = \frac{m_{\text{T}}}{m_{\text{ფT}}} \rightarrow m_{\text{T}} = m_{\text{ფT}} \cdot \frac{a_{\text{ფT}}}{a_{\text{T}}}$$

კვლევითი სამუშაო-2.

შემოქმედებითი გამოყენება. მასის განსაზღვრა

სამუშაოსთვის საჭიროა: ურიკა (2 ცალი), მასის ეტალონი (საწონი – მასით 1 კგ), გამოსაკვლევი სხეული (საწონები – მასით 2 ან 3 კგ), სადემონსტრაციო სახაზავი (1 მ), წამმზომი, ზამბარა, ძაფი, სანთებელა, მარკერი.

სამუშაოს მსვლელობა:

1. ორი ურიკა ერთმანეთის პირისპირ მოათავსეთ გლუვ ჰორიზონტალურ ზედაპირზე. ერთზე 1 კგ-იანი საწონი დადეთ (იგი პირობითად ეტალონურ მასადაა მიღებული), მეორეზე – საწონი მასით 2 ან 3 კგ. ურიკებს შორის მოათავსეთ ძაფით შეკრული შეკუმშული ზამბარა და ზამბარის შუა წერტილი მაგიდის ზედაპირზე „0“ წერტილით აღნიშნეთ.
2. ანთებული სანთებელას საშუალებით ძაფისგან გაათავისუფლეთ შეკუმშული ზამბარა და იმავდროულად ჩართეთ წამმზომი. სახაზავით გაზომეთ ურიკების გადაადგილების პროექციები (ანუ გავლილი მანძილები) გარკვეული t დროის განმავლობაში და კინემატიკური ფორმულების გამოყენებით გამოთვალეთ ურიკების აჩქარებები:

$$s = \frac{at^2}{2} \rightarrow a = \frac{2s}{t^2}$$

3. ურთიერთქმედი სხეულების მასებისა და აჩქარებების შეფარდებებს შორის კავშირის ფორმულით განსაზღვრეთ საძიებელი მასა (გაარკვიეთ, რომელი საწონი იყო მოთავსებული მეორე ურიკაზე: 2- თუ 3-კილოგრამიანი).
4. ყველა შედეგი ჩანერეთ ცხრილ 2.1-ში.

№	$m_{\text{ეტკგ}}$	$s_{\text{სხ}} \text{ მ}$	$s_{\text{ეტკგ}} \text{ მ}$	$a_{\text{სხ}} \frac{\text{მ}}{\text{წმ}^2}$	$a_{\text{ეტკგ}} \frac{\text{მ}}{\text{წმ}^2}$	$t, \text{წმ}$	$m_{\text{სხ}} \text{ კგ}$
1	1 კგ						(2 კგ)
2	1 კგ						(3 კგ)

იმსჯელეთ შედეგებზე:

- რომელი ძალის მოქმედებით შეიძინეს ურიკებმა აჩქარებები? სქემატურად აჩვენეთ ამ ძალების მოდების წერტილები და მიმართულებები.
- კიდევ რა ძალები მოქმედებს ურიკებზე? მათ შორის რომლები აწონასწორებს ერთმანეთს? შეგიძლიათ თუ არა სქემატურად აჩვენოთ ეს ძალები?

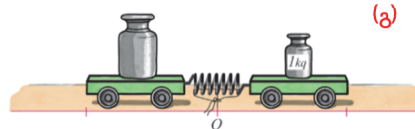
შეძენილი ცოდნის გამოყენება ყოველდღიურ ცხოვრებაში:

რა როლს თამაშობს ურთიერთქმედი სხეულების მასები მათ მიერ დიდი თუ პატარა აჩქარების შეძენაში? მოიყვანეთ მაგალითები ყოველდღიური ცხოვრებიდან.

შეაფასეთ თქვენი ცოდნა:

1. რომელი ცნებები გაიმეორეთ გაკვეთილზე? რომელში გაერკვიეთ კარგად და რომელი დაგრჩათ ნაწილობრივ გაუგებარი?
2. რით განსხვავდება დინამიკა კინემატიკისგან?
3. რომელი ფიზიკური სიდიდეებით ხასიათდება სხეულების ურთიერთქმედება?
4. რის ცოდნა აუცილებელი სხეულზე მოქმედი ძალის განსაზღვრად? პასუხი დაასაბუთეთ.
5. რას ნიშნავს სხეულზე მოქმედი ყველა ძალის ტოლქმედი?
6. რა როლს ასრულებს მასა სხეულის მიერ აჩქარების შეძენაში?

რა შეიტყვეთ? სამუშაო რვეულში დანერეთ ჩამოთვლილი ცნებების განმარტებები: „დინამიკა“, „დინამიკის ძირითადი ამოცანა“, „ძალა“, „ძალების ტოლქმედი“, „აჩქარების ფიზიკური შინაარსი დინამიკაში“, „მასა“.



2.2

მოძრაობა ინერციით: ნიუტონის I კანონი



შეიძლება, ზაფხულის არდადეგების დროს შესწრებიხართ ან თქვენ თვითონ განგიცდიათ ქვემოთ აღწერილი მოვლენები:

- ა) ველოსიპედისტი თანაბრად მოძრაობს სწორ გზაზე;
- ბ) ველოსიპედისტი ცდილობს, შეინარჩუნოს წონასწორობა უძრავ მდგომარეობაში ისე, რომ ფეხებით არ შეეხოს მიწას;
- გ) უყურადღებობის გამო ველოსიპედისტი ვერ ამჩნევს, რომ ბოროლთი ქვას ეჯახება და მოულოდნელი გაჩერების გამო ველოსიპედიდან ყირამალა ვარდება (ა).

- რა არის სწორ გზაზე ველოსიპედისტის თანაბარი მოძრაობის მიზეზი?
- რა მიზეზით ინარჩუნებს ველოსიპედისტი წონასწორობას გაჩერებულ მდგომარეობაში ისე, რომ ფეხებით მიწას არ ეხება?
- ველოსიპედის მოულოდნელი გაჩერების დროს რატომ ვარდება ველოსიპედისტი ყირამალა მოძრაობის მიმართულებით?

კვლევითი სამუშაო-1. რატომ შეასრულა ბურთულამ სხვადასხვა გადაადგილება?

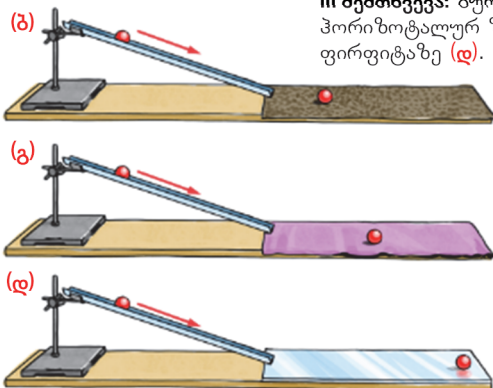
სამუშაოსთვის საჭიროა: გალილეის ღარი, მეტალის ბურთულა, ორგანული მინის ფირფიტა, უხეში ზუმფარის ქაღალდი (ნომერი 12–16), ბამბის ქსოვილი, შტატივი მომჭერითა და მოსრიალე რგოლით.

სამუშაოს მსვლელობა: ღარი შტატივზე დაამაგრეთ ჰორიზონტალური ზედაპირის მიმართ 30° -იანი კუთხით. დააკვირდით ჰორიზონტალურ ზედაპირზე ბურთულის მოძრაობის სამ შემთხვევას ღარში მისი ჩამოგორების შემდეგ და დაფიქრდით განსხვავების მიზეზებზე.

I შემთხვევა: ბურთულის მოძრაობა მაგიდის ჰორიზონტალურ ზედაპირზე დაფენილ ზუმ-ფარის ქაღალდზე (ბ).

II შემთხვევა: ბურთულის მოძრაობა მაგიდის ჰორიზონტალურ ზედაპირზე დაფენილ ბამბის ქსოვილზე (გ).

III შემთხვევა: ბურთულის მოძრაობა მაგიდის ჰორიზონტალურ ზედაპირზე დადებულ ორგანული მინის ფირფიტაზე (დ).



იმსჯელეთ შედეგებზე:

- რატომ შეასრულა ბურთულამ სხვადასხვა გადაადგილება?

დინამიკის საფუძველს ნიუტონის სამი კანონი წარმოადგენს. ეს კანონები მრავალი დაკვირვებისა და ექსპერიმენტის შედეგია. ექსპერიმენტის შედეგები პირველად გალილეიმ განაზოგადა მე-17 საუკუნეში. ექსპერიმენტების შედე-

გად, რომელიც თქვენი კვლევითი სამუშაოს მსგავსია, მან ჩამოაყალიბა ინერციის პრინციპი:

• თუ რომელიმე სხეულზე სხვა სხეულები მოქმედებენ ძალებით, რომელთა მოქმედება ერთმანეთს აკომპენსირებს, მაშინ ეს სხეული უძრავია ან წრფივად და თანაბრად მოძრაობს.

კვლევითი სამუშაო-2. რომელი ძალები აკომპენსირებენ (აწონასწორებენ) ერთმანეთს?

ამოცანა: ნახატზე წარმოდგენილია სამი სხეული: ძაფზე დაკიდებული უძრავი ბურთულა (გ), თანაბრად მოძრავი ვერტმფრენი (ვ) და სწორ, ჰორიზონტალურ გზაზე თანაბრად მოძრავი ველოსიპედისტი (ზ). რომელ სხეულებთან ურთიერთქმედებს ცალკე აღებული თითოეული მათგანი? შეგიძლიათ თუ არა სქემატურად აჩვენოთ ამ ძალების მოქმედება (სიმარტივისთვის ძალების მოდების წერტილად სხეულის ცენტრი აიღეთ)?



იმსჯელო შედეგებზე:

- რა არის სხეულის უძრავობის ან წრფივი თანაბარი მოძრაობის მიზეზი?
- სხეულზე მოქმედი რომელი ძალები აკომპენსირებენ ერთმანეთს?

ნიუტონმა, გალილეის ინერციის პრინციპზე დაყრდნობით, ჩამოაყალიბა დინამიკის I კანონი, რომელსაც ნიუტონის I კანონიც ეწოდება:

- არსებობს ათვლის ისეთი სისტემები, რომელთა მიმართ სხეულები ინარჩუნებენ უძრავობის ან წრფივი თანაბარი მოძრაობის მდგომარეობას, თუ მათზე არ ხდება გარე ზემოქმედება ან სხეულზე განხორციელებული გარე მოქმედებები ერთმანეთს აკომპენსირებს (აწონასწორებს).

ათვლის სისტემებს, რომელთა მიმართაც სრულდება ნიუტონის I კანონი, ათვლის ინერციული სისტემები (აის) ეწოდება. სხეულთა სისტემები, რომლებიც უძრავია ან წრფივად და თანაბრად მოძრაობენ დედამიწის მიმართ, დიდი სიზუსტით შეგვიძლია ათვლის ინერციულ სისტემებად ჩავთვალოთ. მაგალითად, ათვლის სისტემა, რომელიც დაკავშირებულია წრფივად და თანაბრად მოძრავ ლოკომოტივთან, შეგვიძლია განვიხილოთ, როგორც ათვლის ინერციული სისტემა.

აღვნიშნავთ, რომ ცნება „ათვლის ინერციული სისტემა“ სამეცნიერო აბსტრაქციაა. სინამდვილეში ასეთი სისტემები არ არსებობს, იმიტომ რომ ბუნებაში არ არსებობს აბსოლუტურად უძრავ მდგომარეობაში მყოფი სხეულები.

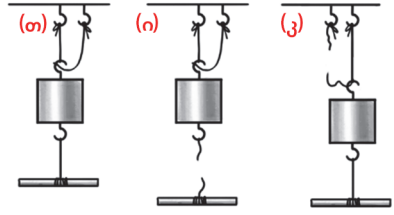
კვლევითი სამუშაო-3. გამოყენება.

რატომ წყდება ძაფი სხვადასხვა ადგილზე?

სამუშაოსთვის საჭიროა: 1 კგ მასის მეტალის ცილინდრი, რომელსაც ფუძეებზე კავები აქვს, ძაფი, შტატივი, საყრდენი.

სამუშაოს მსვლელობა:

ცილინდრი დაკიდეთ შტატივზე, როგორც ნახატზეა ნაჩვენები (თ). ერთნაირი პირობების შესაქმნელად ყურადღება მიაქციეთ, რომ ცილინდრის ზედა და ქვედა კავებზე მიბმული ძაფის სიგრძე ერთნაირი იყოს. ძაფის განწყვეტის დროს ცილინდრის იატაკზე დავარდნის თავიდან ასაცილებლად ცილინდრი დამატებით მტკიცე ზონრითაც დაკიდეთ. ოდნავ მაღლა ასწიეთ სახელური, რომელიც ქვედა ძაფის თავისუფალ ბოლოზეა მიბმული და შემდეგ მკვეთრად დაანეთ ქვევით. ყურადღება მიაქციეთ, რომელი ძაფი განწყდება ამ დროს (ი).

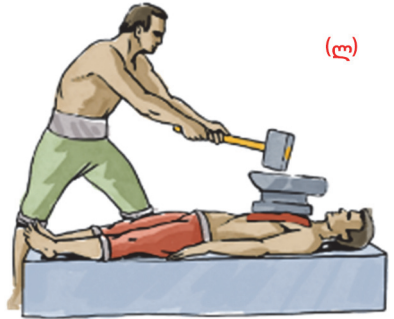


განყვეტილი ძაფი შეცვალეთ ახლით, ფრთხილად დაიწყეთ სახელურის ქვევით დაწევა ისე, რომ ძაფის დაჭიმულობა თანდათან გაიზარდოს. ყურადღება მიაქციეთ, რომელი ძაფი განწყდება ამ შემთხვევაში და იმსჯელეთ ნანახ მოვლენებზე (კ).

იმსჯელეთ შედეგებზე:

- სახელურის მკვეთრად დაწევის დროს რატომ წყდება ქვედა ძაფი?
- ძაფის დაჭიმულობის თანდათან, ძალიან ნელა მატების დროს წყდება ზედა ძაფი, რომელზეც ცილინდრია დაკიდებული. რატომ?
- რა კავშირი აქვს ამ ექსპერიმენტებს ნიუტონის I კანონთან?

შენიშვნა. ყურადღება მიაქციეთ, როგორ მჟღავნდება სხეულის ინერტულობა და როგორია სხეულზე ზემოქმედების ხანგრძლივობის როლი.

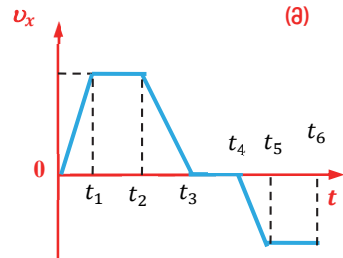


ყოველდღიურ ცხოვრებაში გამოყენება:

ალბათ, გინახავთ საცირკო ნომერი: ჰორიზონტალურ ზედაპირზე წევს არტისტი, რომელსაც მკერდზე გრდემლს (მასით 50-60 კგ) ადებენ, ხოლო მისი ასისტენტი გრდემლს ძლიერად ურტყამს უროს (ლ). არტისტისთვის ეს დარტყმა საშიში არ არის, მაგრამ იგი მაინც ფრთხილობს, რომ მისმა სხეულმა რამე დაზიანება არ მიიღოს. რა საფრთხე იქმნება ამ დროს?

შეაფასეთ თქვენი ცოდნა:

1. რომელი ცნებები გაიმეორეთ გაკვეთილზე? რომელში გაერკვიეთ კარგად და რომელი დაგრჩათ ნაწილობრივ გაუგებარი?
2. რატომ უწოდებენ ზოგჯერ ნიუტონის I კანონს ინერციის კანონს?
3. ნახატზე მოცემულია სხეულის სიჩქარის სიდიდის დროზე დამოკიდებულების გრაფიკი (ა). დროის რომელ შუალედებში აწონასწორებენ ერთმანეთს სხეულზე მოქმედი ძალები?



რა შეიტყვეთ? დაწერეთ მოკლე ესე დასახელებული ცნებების გამოყენებით: „ინერციის პრინციპი“, „ათვლის ინერციული სისტემა“, „ნიუტონის I კანონი“.

2.3 დინამიკის ძირითადი კანონი: ნიუტონის II კანონი

გაიხსენეთ თქვენი შეგრძნებები, რომლებიც ზამთარში ნაქცევის დროს გქონდათ.

- სად უფრო სახიფათოა ნაქცევა: გაყინულ მიწაზე თუ ფხვიერი თოვლის ნამქერში? რატომ?

ალბათ, არაერთხელ გინახავთ ტელევიზორში, როგორ შველიან მეხანძრეები ადამიანებს.

- რატომ არ ზიანდებიან ადამიანები, რომლებიც რამდენიმე სართულის სიმალიდან ხტებიან და გაჭიმულ ტენტზე ეცემათ?

კვლევითი სამუშაო-1. რა დამოკიდებულება არსებობს აჩქარებას და ძალას შორის?

სამუშაოსთვის საჭიროა: ტრიბომეტრი, ბლოკი, ძელაკი, დინამომეტრი, ურიკა, რამდენიმე საწონი (1 ნ), წამმზომი, სასწორი და საწონების ნაკრები.

სამუშაოს მსვლელობა:

1. ტრიბომეტრი მაგიდაზე ჰორიზონტალურად მოათავსეთ. მის ზედაპირზე დადეთ ურიკა, ხოლო ურიკაზე – ძელაკი. დინამომეტრის ერთი ბოლო ურიკას მიაბით, მეორე ბოლოზე მოაბით ძაფი, ძაფი ჭოჭონაქის ღარში გაატარეთ და თავისუფალ ბოლოზე ტვირთი დაკიდეთ. ტვირთს ხელი გაუშვით და იმავდროულად ჩართეთ წამმზომი. განსაზღვრეთ ქვემოთ ჩამოთვლილი სიდიდეები და მიღებული მნიშვნელობები ჩანერეთ ცხრილ 2.2-ში (ა):

ა) დროის შუალედი t_1 , რომელიც ურიკის გარკვეულ s_x გადაადგილებას დასჭირდა;
ბ) ტოლქმედი ძალა F_{1x} , რომელიც დინამომეტრის ჩვენების მიხედვით ურიკაზე მოქმედებს.

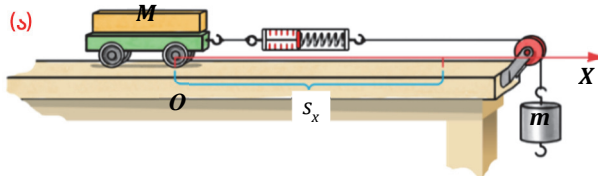
2. უკვე დაკიდებულ ტვირთზე მეორე ტვირთი დაკიდეთ და გაიმეორეთ ცდა: ცხრილში აღნიშნეთ დროის შუალედი t_2 , რომელიც ურიკას დასჭირდა იმავე s_x გადაადგილების შესასრულებლად და ტოლქმედი ძალა F_{2x} , რომელიც დინამომეტრის ჩვენების მიხედვით ურიკაზე მოქმედებს.

3. ფორმულით $a = \frac{2s}{t^2}$

გამოთვალეთ თითოეული შემთხვევის შესაბამისი

აჩქარებები: a_{1x} და a_{2x} .

ცხრილი 2.2



№	$s_x, \text{მ}$	$M, \text{კგ}$	$m, \text{კგ}$	$t, \text{წმ}$	$a_x, \frac{\text{მ}}{\text{წმ}^2}$	$F_x, \text{ნ}$
1	$s_x =$	$M =$	$m_1 =$	$t_1 =$	$a_{1x} =$	$F_{1x} =$
2	$s_x =$	$M =$	$m_2 =$	$t_2 =$	$a_{2x} =$	$F_{1x} =$

იმსჯელეთ შედეგებზე:

- რა კავშირი დაადგინეთ ურიკაზე მოქმედ ტოლქმედ ძალასა და ურიკის მიერ შეძენილ აჩქარებას შორის?

კვლევითი სამუშაოდან გაირკვა, რომ მოცემული მასის სხეულის აჩქარება მასზე მოქმედი ძალების ტოლქმედის პირდაპირპროპორციულია:

$$\frac{a_1}{a_2} = \frac{F_1}{F_2}.$$

მეორე მხრივ, სხვადასხვა მასის სხეულები ერთნაირი ძალის მოქმედებით სხვადასხვა აჩქარებას იძენენ – სხეულების აჩქარება მათი მასების უკუპროპორციულია:

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

ნიუტონმა შეისწავლა ეს დამოკიდებულება, განაზოგადა და კანონის სახით ჩამოაყალიბა. ამ კანონს *ნიუტონის II კანონი* ეწოდება:

- ათვლის ინერციულ სისტემებში სხეულის მიერ შეძენილი აჩქარება მასზე მოქმედი ძალების ტოლქმედის პირდაპირპროპორციული და ამ სხეულის მა-სის უკუპროპორციულია:

$$\vec{a} = \frac{\vec{F}}{m} \quad (2.1)$$

ან

$$m\vec{a} = \vec{F}. \quad (2.2.)$$

ეს კანონი შეგვიძლია სხვა სახითაც ჩამოვაყალიბოთ: *სხეულზე მოქმედი ტოლქმედი ძალა სხეულის მასისა და მისი აჩქარების ნამრავლის ტოლია: $\vec{F} = m\vec{a}$.*

ნიუტონის II კანონიდან განსაზღვრეს ძალის საზომი ერთეული SI სისტემაში – *ნიუტონი*:

- 1 ნიუტონი არის ძალა, რომელიც 1 კგ მასის სხეულზე მოქმედებისას მას $1 \frac{\text{მ}}{\text{წმ}^2}$

აჩქარებას ანიჭებს: $[F] = [m][a] = 1 \frac{\text{კგ} \cdot \text{მ}}{\text{წმ}^2} = 1 \text{ ნ}.$

ძალა სხეულის სიჩქარის ცვლილების მიზეზია! როგორც კინემატიკიდან არის ცნობილი, სხეულის აჩქარება სხეულის სიჩქარის ცვლილების სისწრაფვა:

$$\vec{a} = \frac{\vec{v} - \vec{v}_0}{\Delta t} \quad (2.3)$$

თუ ნიუტონის II კანონში (2.2) ამ გამოსახულებას გავითვალისწინებთ, მივიღებთ:

$$\frac{m \cdot (\vec{v} - \vec{v}_0)}{\Delta t} = \vec{F}.$$

გარდაქმნების შემდეგ მივიღებთ:

$$\frac{m\vec{v} - m\vec{v}_0}{\Delta t} = \vec{F} \text{ ან } \frac{\Delta(m\vec{v})}{\Delta t} = \vec{F} \quad (2.4)$$

$m\vec{v}$ – სიდიდეს სხეულის იმპულსი (ან მოძრაობის რაოდენობა) ეწოდება.

- **იმპულსი** (ან სხვაგვარად სხეულის მოძრაობის რაოდენობა) ვექტორული ფიზიკური სიდიდეა, რომელიც სხეულის მასის მის სიჩქარეზე ნამრავლის ტოლია. ის აღინიშნება $\vec{p}$ ასოთი:

$$\vec{p} = m\vec{v} \quad (2.5)$$

იმპულსის საზომი ერთეული SI სისტემაში არის:

$$[p] = [m] \cdot [v] = 1 \frac{\text{კგ} \cdot \text{მ}}{\text{წმ}}.$$

ჩამოვაყალიბოთ ნიუტონის II კანონი სხეულის იმპულსის, ანუ მოძრაობის რაოდენობის, საშუალებითაც:

- სხეულის მოძრაობის რაოდენობის ცვლილება ხდება მასზე მოქმედი ტოლქმედი ძალის მიმართულებით და ამ ძალის პროპორციულია:

$$\Delta(m\vec{v}) = \vec{F} \Delta t \quad (2.6)$$

ძალის ნამრავლს მისი მოქმედების დროზე $\vec{F} \Delta t$ **ძალის იმპულსი** ეწოდება. ძალის იმპულსი ვექტორული სიდიდეა და მისი მიმართულება ძალის ვექტორის მიმართულებას ემთხვევა. ძალის იმპულსის საზომი ერთეული SI სისტემაში არის ნიუტონი გამრავლებული წამზე:

$$[F \Delta t] = 1 \text{ ნ} \cdot \text{წმ} = 1 \frac{\text{კგ} \cdot \text{მ}}{\text{წმ}}$$

ამგვარად, ნიუტონის II კანონმა ზოგადი სახით ჩამოაყალიბა დინამიკის მნიშვნელოვანი ფაქტი:

• ძალის მოქმედება იწვევს სხეულის სიჩქარის ცვლილებას, ანუ სხეულის აჩქარების გაჩენას.

კვლევითი სამუშაო-2. გამოყენება. შევამოწმოთ ნიუტონის მეორე კანონი.

ამოცანა: თანაბრად აჩქარებული მოძრაობის დროს სხეულმა, რომლის მასა 5 კგ-ია, 3 წმ-ის განმავლობაში სიჩქარე 2 მ/წმ-იდან 4 მ/წმ-მდე შეიცვალა.

განსაზღვრეთ:

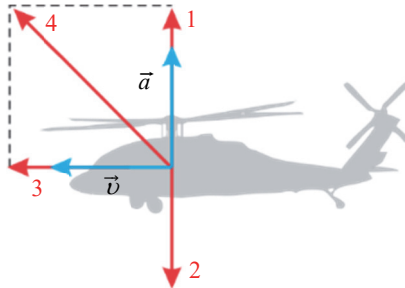
- სხეულის აჩქარება;
- სხეულზე მოქმედი ტოლქმედი ძალის მოდული;
- სხეულზე მოქმედი ძალის იმპულსი;
- სიჩქარის ცვლილების განმავლობაში სხეულის მიერ შესრულებული გადაადგილება.

იმსჯელეთ შედეგებზე:

- რომელი ფორმულით განსაზღვრეთ სხეულის აჩქარება?
- რით განსხვავდება სხეულზე მოქმედი ტოლქმედი ძალა და ძალის იმპულსი?
- როგორ განსაზღვრეთ სხეულის გადაადგილება?

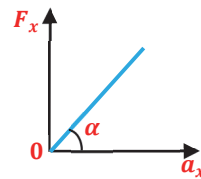
შეძენილი ცოდნის გამოყენება ყოველდღიურ ცხოვრებაში:

ნახატზე წარმოდგენილია ვერტმფრენის სიჩქარისა და აჩქარების მიმართულებები დროის გარკვეულ მომენტში. განსაზღვრეთ სხეულზე მოქმედი ტოლქმედი ძალისა და ძალის იმპულსის მიმართულება.



შეაფასეთ თქვენი ცოდნა:

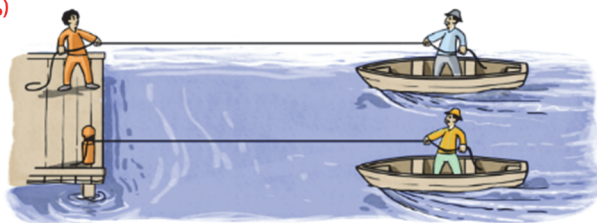
- რომელი ცნებები გაიმეორეთ გაკვეთილზე? რომელში გაერკვეით კარგად და რომელი დაგრჩათ ნაწილობრივ გაუგებარი?
- შეიძლება თუ არა ნიუტონის II კანონის $m\vec{a} = \vec{F}$, ფორმულის მიხედვით ვთქვათ, რომ სხეულზე მოქმედი ტოლქმედი ძალა დამოკიდებულია სხეულის მასასა და მის აჩქარებაზე რატომ?
- როგორ სახეს მიიღებს ნიუტონის II კანონი, თუ სხეულზე ერთდროულად ოთხი ძალა – $\vec{F}_1, \vec{F}_2, \vec{F}_3$ და $\vec{F}_4$? – იმოქმედებს?
- შეიძლება თუ არა სხეულის სიჩქარეს სხეულზე მოქმედი ძალების ტოლქმედის საპირისპირო მიმართულება ჰქონდეს? პასუხი დაასაბუთეთ მაგალითებით.
- რას გამოხატავს სხეულზე მოქმედი ძალების ტოლქმედისა და სხეულის აჩქარებას შორის დამოკიდებულების გრაფიკზე ნაჩვენები α კუთხის ტანგენსი?



რა შეიტყვით? სამუშაო რვეულში ჩანერეთ დასახელებული ცნებების განმარტებები: „სხეულის აჩქარების შეფარდება...“, „ნიუტონის კანონები“, „იმპულსი“, „ძალის იმპულსი“, „ნიუტონი“, „სხეულზე მოქმედი ძალების ტოლქმედი“.

2.4 ქმედება და უკუქმედება: ნიუტონის III კანონი

ნახატზე გამოსახულია ორი ერთნაირი ნავი, რომლებსაც ნაპირისკენ ბაგირების საშუალებით მიაცურებენ. პირველ ნავში მენავე ეწევა ბაგირის ბოლოს, რომლის მეორე ბოლო ნაპირზეა დამაგრებული. მეორე ნავში მენავე ეწევა ბაგირს, რომლის მეორე ბოლო ნაპირზე მდგომი ადამიანი ეწევა (ა). თითო-ეული მათგანი ბაგირს ერთნაირი ძალით ეწევა.

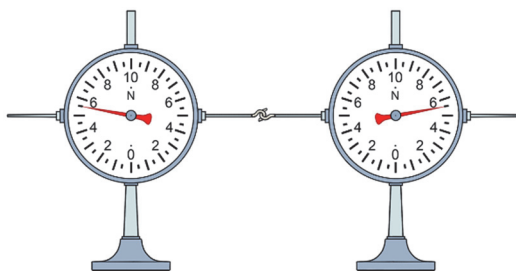


- რომელი ნავი მიცურდება უფრო მალე ნაპირთან? რატომ?

კვლევისი სამუშაო-1. რა მოქმედებას განიცდის სხეული მეორე სხეულთან ურთიერთქმედების დროს?

სამუშაოსთვის საჭიროა: სადემონსტრაციო დინამომეტრი (2 ცალი), შტატივი სამაგრებით (2 ცალი).

სამუშაოს მსვლელობა: დინამომეტრები შტატივებზე ჰორიზონტალური ღერძის გასწვრივ დავამაგროთ. შევაერთოთ დინამომეტრების კაუჭები და დავიწყოთ შტატივების საპირისპირო მიმართულებით გადაადგილება (ბ). ამ პროცესში დააკვირდით:



ა) დინამომეტრების ჩვენებას; ბ) დინამომეტრების ისრების გადახრის მიმართულებას.

იმსჯელები შედეგებზე:

- რის თქმა შეიძლება ძალების მოდულების შესახებ დინამომეტრების ურთიერთქმედების დროს?
- რა დასკვნის გაკეთება შეიძლება ქმედების და უკუქმედების ძალების მიმართულების შესახებ დინამომეტრების ისრების გადახრის მიმართულებაზე დაკვირვების მიხედვით?

კვლევისი სამუშაოს შედეგად გაირკვა, რომ დინამომეტრების ერთმანეთზე მოქმედების ძალები მოდულით ტოლია და საპირისპიროდაა მიმართული (ისრები საპირისპირო მიმართულებით გადაიხარა):

$$\vec{F}_1 = -\vec{F}_2. \quad (2.7)$$

ეს ტოლობა გამოხატავს ნიუტონის III კანონს:

- ათვლის ინერციულ სისტემაში ძალები, რომლითაც ორი სხეული ერთმანეთზე მოქმედებს, მოდულით ტოლია და საპირისპიროდაა მიმართული. ნიუტონის ამ კანონის მიხედვით სხეულების ურთიერთქმედების დროს ძალები ყოველთვის წყვილად აღიძვრება. ეს ნიშნავს, რომ თუ ნებისმიერ (პირველ) სხეულზე გარკვეული ძალით იმოქმედებს სხვა (მეორე) სხეული, პირველი სხეულიც იმოქმედებს მეორე სხეულზე მოდულით იგივე და საპირისპიროდ მიმართული ძალით. ნიუტონის II კანონის თანახმად, ეს ძალები სხეულებს საპირისპირო მიმართულების აჩქარებებს ანიჭებენ:

$$m_1 \vec{a}_1 = -m_2 \vec{a}_2. \quad (2.8)$$

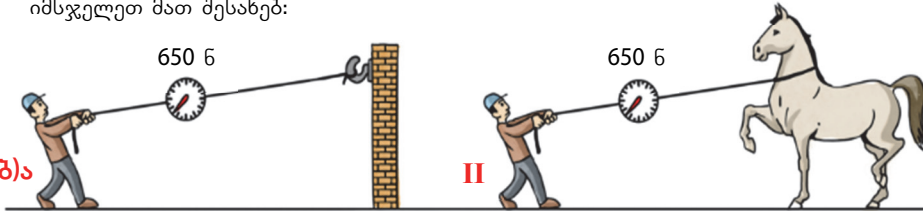
სადაც m_1 და m_2 ურთიერთქმედი სხეულების მასებია და შესაბამისად, a_1 და a_2 ამ სხეულების აჩქარებები. ნიუტონის III კანონიდან შეგვიძლია შემდეგი დასკვნა გავაკეთოთ:

- ურთიერთქმედების ძალები ერთდროულად აღიძვრება და მათ ერთნაირი ბუნება აქვთ. მაგალითად, ურთიერთქმედების ძალებს, რომლებიც სხეულების დრეკადი დაჯახების დროს აღიძვრება, ელექტრომაგნიტური ბუნება აქვთ.
- ძალები, რომლებიც სხეულების ურთიერთქმედების დროს აღიძვრება, სხვადასხვა სხეულზეა მოდებული და ამიტომ მათ არ შეუძლიათ ერთმანეთის განწონასწორება, ანუ არასდროს აკომპენსირებენ ერთმანეთს. ძალების შეკრება მხოლოდ მაშინ შეიძლება, როდესაც ისინი ერთ სხეულზეა მოდებული.

კვლევითი სამუშაო-2. გამოყენება. რომელი მტკიცებაა ჭეშმარიტი?

ამოცანა: ნახატზე მოცემულია ორი შემთხვევა:

- ბიჭი ჭიშკას კედელზე მიმაგრებულ თოკს. ამ დროს თოკზე დამაგრებული დინამომეტრი 650 ნ ძალას აჩვენებს (I);
- ბიჭი ჭიშკას თოკს, რომელიც ცხენზეა გამობმული. ამ დროს თოკზე დამაგრებული დინამომეტრი 650 ნ ძალას აჩვენებს (II). შეისწავლეთ წარმოდგენილი მაგალითები და იმსჯელეთ მათ შესახებ:



იმსჯელეთ შედეგებზე:

- რომელ შემთხვევაში მოქმედებს ბიჭი თოკზე მეტი ძალით: როდესაც თოკი კედელზეა მიმაგრებული თუ როდესაც მასზე ცხენია გამობმული? რატომ?
- შეგიძლიათ თუ არა აჩვენოთ ამ ურთიერთქმედებების დროს (ბიჭი – კედელი და ბიჭი – ცხენი) აღძრული ძალების მოდების წერტილები და მათი მოქმედების მიმართულებები?

შეძენილი ცოდნის გამოყენება ყოველდღიურ ცხოვრებაში:

1. თუ დაკვირვებისათვის წყალში თევზების ცურვას, გაიხსენეთ, როგორ გადაადგილდება თევზი – ფარფლებით წყალს უკან განდევნის. როგორ აღიძვრება ქმედებისა და უკუქმედების ძალები, რომლებიც უზრუნველყოფენ თევზის ცურვას? რა შეიძლება ითქვას ამ ძალების მოდების წერტილებზე, მიმართულებებსა და მათ მოდულებს შორის თანაფარდობაზე?
2. თუ შეგიძლიათ, თქვენი ყოველდღიური ცხოვრებიდან მოიყვანეთ იმ მოვლენების მაგალითები, რომელშიც ნიუტონის III კანონი ვლინდება.

შეაფასეთ თქვენი ცოდნა:

1. რომელი ცნებები გაიმეორეთ გაკვეთილზე? რომელში გაერკვიეთ კარგად და რომელი დაგრჩათ ნაწილობრივ გაუგებარი?
2. რა აქვთ ერთნაირი და რით განსხვავდება ძალები, რომლებიც ორი სხეულის ურთიერთქმედების შედეგად აღიძვრება?
3. აკომპენსირებენ თუ არა ერთმანეთს ძალები, რომლებიც სხეულების ურთიერთქმედების შედეგად აღიძვრება? რატომ?
4. რომელი პრობლემა მოაგვარა ნიუტონის III კანონმა, რაც I და II კანონებით ვერ ხერხდებოდა?

რა შეიტყვით? დანერეთ მოკლე ესე შემდეგ თემებზე: „ქმედება – უკუქმედება“, „ნიუტონის III კანონი“.

2.5 მსოფლიო მიზიდულობის კანონი

ცხრილში მოყვანილია მზის სისტემის პლანეტებისა და ჯუჯა პლანეტების ორბიტული სიჩქარეები. ამ ინფორმაციის საფუძველზე ადვილად შეიძლება იმის განსაზღვრა, რომ ამ სისტემის ციურ სხეულებს, რომლებიც მზესთან ახლოს არიან განლაგებული, უფრო დიდი ორბიტული სიჩქარე აქვთ.

- რატომ არ გადიან მზის სისტემიდან ციური სხეულები, რომლებსაც ასეთი დიდი სიჩქარე აქვთ?

დედამიწის ირგვლივ მთვარის მოძრაობის ორბიტული სიჩქარე იმ სიჩქარეებთან შედარებით, რომელიც ყოველდღიურ ცხოვრებაში გვხვდება, ასევე ძალიან დიდია: $\approx 3682,8$ კმ/სთ. მაგრამ ეს სიჩქარე მრავალჯერ ნაკლებია მზის ირგვლივ დედამიწის მოძრაობის სიჩქარეზე.

- რატომ არ ტოვებს მთვარე დედამიწის ორბიტას და დამოუკიდებლად არ ბრუნავს, როგორც ჯუჯა პლანეტა, მზის ირგვლივ?

- რატომ ვერ ვგრძნობთ ჩვენი გარემომცველი სხეულების ურთიერთმიზიდულობას?

როგორც იცით, სამყაროში არსებული ყველა სხეული, რომლებსაც მასა აქვს – ვარსკვლავები, მზე და პლანეტები, დედამიწის სისტემის სხეულები, მოლეკულები, ატომები და სხვა – ურთიერთმიზიდება ძალით, რომელსაც მიზიდულობის ძალა (ან გრავიტაციული ძალა) ეწოდება. იმ სიდიდეების გარკვევის შემდეგ, რომლებზეც ეს ძალა დამოკიდებული, ნიუტონმა ჩამოაყალიბა მსოფლიო მიზიდულობის კანონი.

- ნებისმიერ ორ მატერიალურ ნერტილს შორის მოქმედებს ურთიერთმიზიდულობის ძალა, რომელიც მათი მასების ნამრავლის პირდაპირპროპორციულია და უკუპროპორციულია მათ შორის მანძილის კვდრატისა:

$$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2} \quad (2.9)$$

სადაც F მიზიდულობის (გრავიტაციის) ძალის მოდულია, m_1 და m_2 – მატერიალური ნერტილების მასები, r – მატერიალურ ნერტილებს შორის მანძილი, G – პროპორციულობის კოეფიციენტი, რომელსაც მსოფლიო მიზიდულობის მუდმივა ან უბრალოდ გრავიტაციული მუდმივა ეწოდება.

გრავიტაციული მუდმივას ერთეული SI სიტემაში არის: $[G] = \frac{[F] \cdot [r^2]}{[m] \cdot [m]} = 1 \frac{\text{ნ} \cdot \text{მ}^2}{\text{კგ}^2}$.

- გრავიტაციული მუდმივა რიცხობრივად ორ მატერიალურ ნერტილს შორის მიზიდულობის ძალის ტოლია, თუ თითოეულის მასა 1 კგ-ია, ხოლო მათ შორის მანძილი – 1 მ.

გრავიტაციული მუდმივას რიცხვითი მნიშვნელობა 1798 წელს ცდების შედეგად დაადგინა ინგლისელმა მეცნიერმა ჰენრი კავენდიშმა (1731 – 1810). ეს მნიშვნელობა ერთნაირია სამყაროში არსებული ყველა სხეულისთვის, მათი ზომებისა და მასების მიუხედავად:

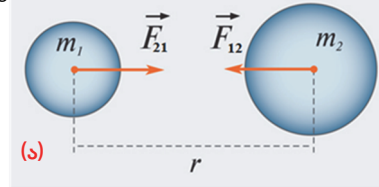
$$G = 6,67 \cdot 10^{-11} \frac{\text{ნ} \cdot \text{მ}^2}{\text{კგ}^2}. \quad (2.10)$$

როგორც ვხედავთ, გრავიტაციული მუდმივას რიცხვითი მნიშვნელობა ძალიან მცირეა. ამიტომ შედარებით მცირე მასის სხეულებს შორის მიზიდულობის ძალა არ იგრძნობა. ეს ძალა საგრძნობ მნიშვნელობას იძენს

პლანეტები და ჯუჯა პლანეტები	ორბიტული სიჩქარე	
	კმ/წმ	კმ/სთ
მერკური	47,87	172 332
ვენერა	35,02	126 072
დედამიწა	29,78	107 208
მარსი	24,13	86 868
ცერერა	17,88	64 368
იუპიტერი	13,07	47 052
სატურნი	9,69	34 884
ურანი	6,81	24 516
ნეპტუნი	5,43	19 548
პლუტონი	4,67	16 812
ჰაუმი	4,48	16 128
მაკემაკე	4,41	15 876
ერიდა	3,44	12 384

ძალიან დიდი მასის სხეულებს შორის, მაგალითად ვარსკვლავსა და პლანეტას, პლანეტასა და მის თანამგზავრებს შორის და ა. შ.

მიზიდულობის ძალა ნებისმიერ ორ სხეულს შორის, რომლებიც მოცემულ პირობებში არ შეიძლება მატერიალურ წერტილებად ჩაითვალოს, ასევე მსოფლიო მიზიდულობის კანონის ფორმულით განისაზღვრება. ამ შემთხვევაში ეს სხეულები განიხილება როგორც მატერიალური წერტილების ერთობლიობა, გამოითვლება მიზიდულობის ძალები ამ სხეულების შემადგენელ მატერიალურ წერტილებს შორის და გამოთვლის შედეგები იკრიბება. შედეგად მივიღებთ ამ სხეულებს შორის მიზიდულობის ძალის მნიშვნელობას. ამ სახის გამოთვლები რთული მათემატიკური ოპერაციაა. მაგრამ მსოფლიო მიზიდულობის კანონის ფორმულა პირდაპირ შეგვიძლია გამოვიყენოთ სფერული ფორმის სხეულებისთვის. ამ შემთხვევაში სხეულებს შორის მანძილად მიღებულია სფეროების ცენტრებს შორის მანძილი (ა). ასევე, მიზიდულობის ძალა დედა-მინასა და ნიბისმიერ სხივებს შორის შეგვიძლია გამოვთვალოთ მსოფლიო მიზიდულობის კანონის ფორმულით. ამ შემთხვევაშიც სხეულებს შორის მანძილი არის მანძილი სხეულიდან დედამიწის ცენტრამდე: $r = R + h$. დედამიწისა და სხეულს შორის ურთიერთქმედების ძალები, F_{12} და F_{21} , მიმართულია დედამიწისა და სხეულის ცენტრების შემაერთებელი წრფის გასწვრივ. ნიუტონის III კანონის თანახმად, $\vec{F}_{12} = -\vec{F}_{21}$, ე. ი. მათი მოდულები ტოლია:



$$F_{12} = F_{21} = F.$$

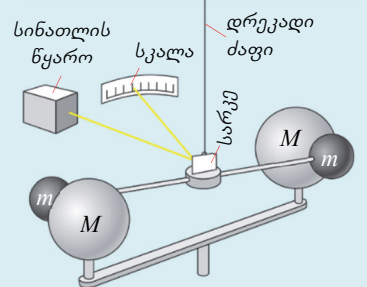
$$F = G \frac{mM}{(R+h)^2}, \quad (2.11)$$

სადაც R დედამიწის რადიუსია, M – დედამიწის მასა, h – მანძილი დედამიწის ზედაპირიდან სხეულის ცენტრამდე, დედამიწის რადიუსის გასწვრივ. იმ სხეულებისთვის, რომლებიც დედამიწის ზედაპირზეა (ე. ი. $h = 0$), მსოფლიო მიზიდულობის კანონი შემდეგი სახით ჩაიწერება:

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

გრავიტაციული მუდმივას გაზომვა

ამისთვის ჰ. კავენდიშმა გრეზითი სასწორი გამოიყენა. სასწორი სქემატურად გამოსახულია ნახატზე: 2 მ სიგრძის ლერის ბოლოებზე მან ტყვიის ორი ბურთულა დაამაგრა, თითოეული მასით $m = 729$ გ და დიამეტრით 5 სმ. ლერი დრეკადი ძაფზე დაკიდა. თითოეულ ბურთულასთან მოათავსეს ტყვიის დიდი ბურთები, თითოეული მასით $M = 158$ კგ. დიდ და პატარა ბურთებს შორის მიზიდულობის გამო ლერი მცირე კუთხით შემობრუნდება და ძაფი დაიგრიხება. შემობრუნების კუთხეს განსაზღვრავენ ძაფზე დამაგრებული სარკიდან არეკლილი სინათლის ათინათის გადაადგილებით სკალაზე (ბ).



თუ ვიცით შემობრუნების კუთხე, შეგვიძლია განვსაზღვროთ დაგრეხის შედეგად ძაფში აღძრული დრეკადობის ძალა $F_{დრ}$. ლერი შემობრუნებას შეწყვეტს, როდესაც დრეკადობის ძალა ბურთულებს შორის მიზიდულობის ძალას გაანაწიასწორებს: $F_{დრ} = F_{მიზიდ}$. მეცნიერმა გრავიტაციული მიზიდულობის ფორმულაში შეიტანა ექსპერიმენტულად მიღებული სიდიდეების მნიშვნელობები და გამოთვალა გრავიტაციული მუდმივას რიცხვითი მნიშვნელობა, რომელიც ძალიან ახლოა თანამედროვე გამოთვლების შედეგთან:

$$[G] = \frac{F_{მიზიდ} \cdot r^2}{m \cdot M} = 6,754 \cdot 10^{-11} \frac{\text{ნ} \cdot \text{მ}^2}{\text{კგ}^2}.$$

კვლევითი სამუშაო. გამოყენება. ვიცით თუ არა მსოფლიო მიზიდულობის კანონის გამოყენება?

1. ამოცანა: ცხრილში მოყვანილი ინფორმაციის საფუძველზე განსაზღვრეთ, რომელ ორ ციურ სხეულს შორის არის მიზიდულობის ძალა მეტი და რომლებს შორის – ყველაზე ნაკლები.

ციური სხეული	ციური სხეულის მასა	ციურ სხეულებს შორის მანძილი		
		სხეული A	სხეული B	სხეული C
A	m	B	15 R	სხეული C
B	4 m	C	20 R	
C	2 m	D	10 R	
D	3 m		10 R	25 R

იმსჯელეთ შედეგებზე:

- რაზეა დამოკიდებული სხეულებს შორის მიზიდულობის ძალა?
- რა შედეგები მიიღეთ გამოთვლების შედეგად?

შეძენილი ცოდნის გამოყენება ყოველდღიურ ცხოვრებაში:

ყოველდღიური ცხოვრებიდან, ტელევიზორით ნანახი და სხვა წყაროდან მოსმენილიდან რომელი მოვლენები აიხსნება მსოფლიო მიზიდულობის კანონით?

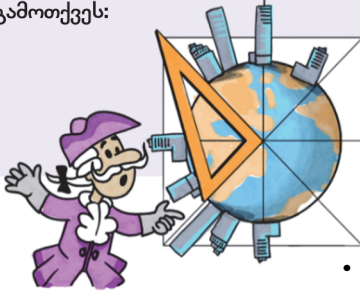
შეაფასეთ თქვენი ცოდნა:

1. რომელი ცნებები გაიმეორეთ გაკვეთილზე? რომელში გაერკვიეთ კარგად და რომელი დაგრჩათ ნაწილობრივ გაუგებარი?
2. m_1 და m_2 მასის ორი ციური სხეული ერთმანეთისგან r მანძილზე ურთიერთ-ქმედებს ძალით, რომელიც მოდულით F -ის ტოლია. რის ტოლი იქნება მათ შორის მიზიდულობის ძალის მოდული, თუ მათ შორის მანძილი ორჯერ გაიზრდება?
3. რის ტოლია ორი მატერიალური წერტილის ურთიერთმიზიდულობის ძალების მოდულების შეფარდება $\frac{F_1}{F_2}$, თუ მათი მასებია $m_1 = 16$ კგ და $m_2 = 4$ კგ? რატომ?
4. რა ძალით მიიზიდება ერთმანეთისკენ დედამიწა და მთვარე (დედამიწის მასაა $6 \cdot 10^{24}$ კგ, მთვარის – $7 \cdot 10^{22}$ კგ, მათ შორის მანძილია 384 000 კმ).

რა შეიტყვეთ? სამუშაო რვეულში დაწერეთ ესე დასახელებული ცნებების გამოყენებით: „მსოფლიო მიზიდულობის კანონი“, „გრავიტაციული მუდმივა“, „გრავიტაციული მუდმივას გაზომვა“.

2.6 სიმძიმის ძალა. გრავიტაციული ველის დაძაბულობა

ბარონი მიუნჰაუზენი საზოგადოებას თავისი „დიდი“ სამეცნიერო აღმოჩენის შესახებ მოუთხრობს: „...ჩემ მიერ ჩატარებული კვლევის შედეგების მიხედვით, ვფიქრობ, რომ ყველა შენობა დედამიწის ზედაპირზე ამოწეულია დახრილად, როგორც პიზის კოშკი. ამის შემოწმება ადვილად შეიძლება უბრალო სამკუთხა სახაზავით. მხოლოდ პოლუსებსა და ეკვატორზეა შენობები შედარებით სწორად ამოწეული“. ეს ინფორმაცია მოისმინეს და აზრი გამოთქვეს:



ბიზნესმენმა – ეს შეუძლებელია! ვინაიდან ყველა შენობაზე დედამიწის მიზიდულობის ძალა მოქმედებს და ეს ძალა დედამიწის ცენტრისკენაა მიმართული;

ინჟინერმა – დაუჯერებელია! შენობების ვერტიკალურობას შევუღლით ამონებენ. ისინი დახრილი რომ იყოს, ნაიქცოდნენ;

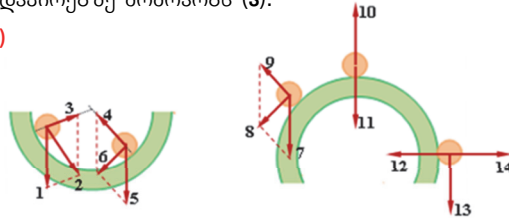
არიფმა (მე-10 კლასის მოსწავლემ) – მე დანამდვილებით ვიცი, რომ დედამიწის ზედაპირზე არსებულ ყველა სხეულზე, მათ შორის შენობებზე, სიმძიმის ძალა მოქმედებს. ეს ძალა მათ თავისუფალი ვარდნის აჩქარებას ანიჭებს.

- თქვენი აზრით, ვისი მოსაზრებაა სწორი: ბარონის, ბიზნესმენის, ინჟინერისა თუ არიფის?

კვლევითი სამუშაო-1. როგორი მიმართულება აქვს სიმძიმის ძალას და აჩქარებას, რომელსაც იგი სხეულს ანიჭებს?

ამოცანა: ნახატზე ნაჩვენებია ბურთულის მდებარეობა დროის სხვადასხვა მომენტში, როდესაც ის ჩაზნექილ და ამოზნექილ ზედაპირებზე მოძრაობს (ა).

რომელი ციფრებითაა აღნიშნული ბურთულაზე მოქმედი სიმძიმის ძალის მიმართულებები და თავისუფალი ვარდნის აჩქარებები, რომელსაც სიმძიმის ძალა ბურთულას ანიჭებს?



იმსჯელეთ შედეგებზე:

- როგორ ფიქრობთ, რომელი სხეული იზიდავს ბურთულას მეტად: დედამიწა, მზე თუ ახლოს მდებარე სხვა სხეული? რატომ?
- რა არის სიმძიმის ძალის წარმოქმნის მიზეზი?
- სად არის მოდებული და რა მიმართულება აქვს სიმძიმის ძალას? რის ტოლია სიმძიმის ძალის მოდული?

როგორც იცით, თანამედროვე ფიზიკის წარმოდგენების მიხედვით, სხეულების ურთიერთმიზიდულობა ხორციელდება მატერიის განსაკუთრებული ფორმის – გრავიტაციული ველის საშუალებით (იხ. ფიზიკა 6, გვ. 77; ფიზიკა 7, გვ. 40). ყოველი სხეული თავის ირგვლივ ქმნის გრავიტაციულ ველს. ისევე, როგორც სხვა ფიზიკურ ველს, გრავიტაციულ ველსაც აქვს ძალური მახასიათებელი. ამ მახასიათებელს ეწოდება გრავიტაციული ველის დაძაბულობა.

- გრავიტაციული ველის დაძაბულობა ვექტორული ფიზიკური სიდიდეა, რომელიც გრავიტაციულ ველში მოთავსებულ მატერიალურ ნერტილზე (სხეულზე) მოქმედი მიზიდულობის ძალის სხეულის მასასთან შეფარდების ტოლია:

$$\vec{g} = \frac{\vec{F}}{m}. \quad (2.12)$$

სადაც $\vec{g}$ გრავიტაციული ველის დაძაბულობაა, m – მატერიალური ნერტილის (სხეულის) მასა, F – მიზიდულობის ძალა, რომელიც სხეულზე მოქმედებს გრავიტაციულ ველში.

რაზე დამოკიდებულია გრავიტაციული ველის დაძაბულობის სიდიდე (მოდული)?

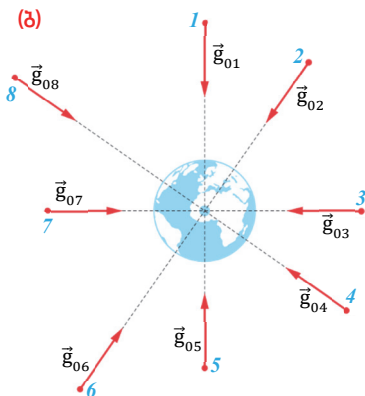
ამ მიზნით გამოვთვალოთ გრავიტაციული ველის დაძაბულობის მოდული ნებისმიერ ნერტილში დედამიწის ზედაპირზე და ზედაპირიდან h სიმაღლეზე:

$$g_0 = \frac{F_0}{m} = \frac{G \frac{mM}{R^2}}{m} = G \frac{M}{R^2}, \quad (2.13)$$

$$g_h = \frac{F_h}{m} = \frac{G \frac{mM}{(R+h)^2}}{m} = G \frac{M}{(R+h)^2}. \quad (2.14)$$

სადაც F_0 მიზიდულობის ძალაა დედამიწის ზედაპირზე, M – დედამიწის მასა, R – დედამიწის რადიუსი.

- გრავიტაციული ველის დაძაბულობის მოდული (სიდიდე) პირდაპირპროპორციულია ამ ველის წარმომქმნელი სხეულის მასისა და უკუპროპორციულია მოცემულ ნერტილამდე მანძილის კვადრატის. გრავიტაციული ველის დაძაბულობის მოდული არ არის დამოკიდებული ამ ველში მოთავსებული სხეულის მასაზე. გრავიტაციული ველის დაძაბულობა ამ ველის ნებისმიერ ნერტილში მიმართულია ველის შემქმნელი სხეულის რადიუსის გასწვრივ, სხეულის ცენტრისკენ (3). გრავიტაციული ველის მოცემულ ნერტილში გრავიტაციული ველის დაძაბულობის ვექტორის მიმართულება და მოდული ემთხვევა თავისუფალი ვარდნის აჩქარების ვექტორის მოდულსა და მიმართულებას.



გრავიტაციული ველის დაძაბულობა მიმართულია რადიუსის გასწვრივ ამ ველის შემქმნელი სხეულის ცენტრისკენ.

არის თუ არა გრავიტაციული ველის დაძაბულობა და თავისუფალი ვარდნის აჩქარება ერთი და იგივე სიდიდე?

გრავიტაციულ ველში მოთავსებულ ნებისმიერ სხეულზე ამ ველის შემქმნელი სხეულის მხრიდან მოქმედებს მიზიდულობის ძალა. ამის შედეგად ველში შეტანილი სხეული იძენს აჩქარებას (თავისუფალი ვარდნის აჩქარებას), რომელიც გრავიტაციული ველის ცენტრისკენაა მიმართული (მაგალითად, დედამიწის ცენტრისკენ). ამ აჩქარებას სხეულს ანიჭებს სიმძიმის ძალა, რომელიც მასზე გრავიტაციულ ველში მოქმედებს.

- სიმძიმის ძალა არის ძალა, რომლითაც დედამიწა სხეულებს იზიდავს. სიმძიმის ძალა დედამიწის გრავიტაციულ ველში შეტანილი სხეულის მასისა და თავისუფალი ვარდნის აჩქარების ნამრავლის ტოლია:

$$\vec{F}_a = m\vec{g}. \quad (2.15)$$

სიმძიმის ძალა ყოველთვის სხეულის ცენტრშია მოდებული და მიმართულია ვერტიკალურად ქვევით (ანუ ჰორიზონტალური ზედაპირის მართობულად) დედამიწის (ან სხვა პლანეტის) ცენტრისკენ (გ).



ზემოთქმულიდან გასაგები ხდება, რომ ცნებებს „გრავიტაციული ველის დაძაბულობა“ და „თავისუფალი ვარდნის აჩქარება“ სხვადასხვა ფიზიკური აზრი აქვთ. გრავიტაციული ველის დაძაბულობაზე შეგვიძლია ვილაპარაკოთ, როდესაც გვაქვს გრავიტაციული ველი, ხოლო თავისუფალი ვარდნის აჩქარება ჩნდება ამ ველში შეტანილ სხეულზე (საცდელ სხეულზე) სიმძიმის ძალის მოქმედების შედეგად.

კვლევითი სამუშაო-2. გამოყენება. რაზე დამოკიდებულია გრავიტაციული ველის დაძაბულობა?

სამუშაოსთვის საჭიროა: სახაზავი, შტანგენფარგალი.

სამუშაოს მსვლელობა: შეისწავლეთ ტექსტი და ნახატი ბ და განსაზღვრეთ დედამიწის გრავიტაციული ველის დაძაბულობის მოდულებს შორის თანაფარდობა ველის სხვადასხვა წერტილში (იხ. ბ).

იმსჯელეთ შედეგებზე:

- რაზე დამოკიდებულია გრავიტაციული ველის დაძაბულობა?
- რა არის საერთო და რა განსხვავებული ცნებებს შორის: „გრავიტაციული ველის დაძაბულობა“ და „თავისუფალი ვარდნის აჩქარება“?

შეძენილ ცოდნის გამოყენება ყოველდღიურ ცხოვრებაში: რით შეიძლება აიხსნას დედამიწაზე ოკეანეებისა და ზღვების მიქცევებისა და მოქცევების წარმოქმნა?

შეაფასეთ თქვენი ცოდნა:

1. რომელი ცნებები გაიმეორეთ გაკვეთილზე? რომელში გაერკვიეთ კარგად და რომელი დაგრჩათ ნაწილობრივ გაუგებარი?
2. როგორ შეიცვლება თავისუფალი ვარდნის აჩქარების მოდული, რომელსაც სხეულს სიმძიმის ძალა ანიჭებს, თუ ამ სხეულის მასა 4-ჯერ გაიზრდება?
3. გრავიტაციული ველის მოცემულ წერტილში მოთავსებული სხეულის თავისუფალი ვარდნის აჩქარებაა 7 მ/წმ². რის ტოლია გრავიტაციული ველის დაძაბულობის ვექტორის მოდული ამავე წერტილში?
4. როგორია გრავიტაციული ველის დაძაბულობის მანძილზე დამოკიდებულების გრაფიკი? შეგიძლიათ თუ არა ამ გრაფიკის გამოსახვა?

რა უპიტყვეთ? სამუშაო რეგულში დაწერეთ დასახელებული ცნებების განმარტებები: „გრავიტაციული ველის დაძაბულობა“, „გრავიტაციული ველის დაძაბულობის მოდული...“, „სიმძიმის ძალა“, „სიმძიმის ძალა ტოლია...“, განსხვავებები შემდეგი ცნებების ფიზიკურ აზრს შორის: „გრავიტაციული ველის დაძაბულობა“ და „თავისუფალი ვარდნის აჩქარება“.

2.7 წონა და უწონადობა

ბარონმა მიუნჰაუზენმა საზოგადოებას მოუთხრო უჩვეულო მრავალსართულიანი შენობის მშენებლობის გეგმის შესახებ:

„...ამოტრიალებული ცათამბჯენების წონა, რომელსაც მე ავაშენებ, დედამიწის ცენტრთან მიახლოებასთან ერთად შემცირდება, ხოლო დედამიწის ცენტრში მცხოვრებლები მთლიანად უწონადობის მდგომარეობაში იქნებიან...“

მოხსენების შემდეგ აზრი გამოთქვს:



• თქვენი აზრით, ვინაა მართალი: ბარონი, ბიზნესმენი, ინჟინერი თუ არიფი? პასუხი დაასაბუთეთ.

ბიზნესმენმა – მე ვფიქრობ, რომ არავითარი უწონადობის შესახებ დედამიწის ცენტრში ლაპარაკი არ შეიძლება. პირიქით, იქ ადამიანებს ძალიან დიდი წონა ექნებათ.



ინჟინერმა – ალბათ, ლიფტით დედამიწის ცენტრამდე მისაღწევად რამდენიმე დღე იქნება საჭირო.

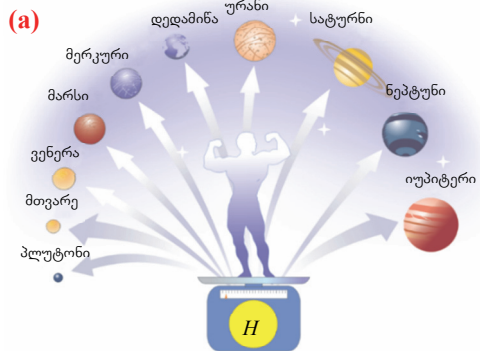


არიფმა (მე-10 კლასის მოსწავლემ) – მე 100%-ით დარწმუნებული ვარ, დედამიწის ცენტრთან მიახლოებასთან ერთად სხეულზე მოქმედი მიზიდულობის ძალა უსასრულოდ გაიზრდება და ადამიანები იქ საშოთამოდ თარჩიბიან.

კვლევითი სამუშაო-1. ერთნაირია თუ არა ასტრონავტის წონა ყველა პლანეტაზე?

ამოცანა 1: ასტრონავტის მასა 70 კგ-ია. დედამიწაზე მისი წონა 686 ნ-ია. შეიცვლება თუ არა ასტრონავტის წონა, თუ იგი მზის სისტემის სხვადასხვა პლანეტის ზედაპირზე დადგება სასწორზე (ა)? ამ საკითხის შესასწავლად შეგიძლიათ ისარგებლოთ ცხრილით, რომელშიც მოცემულია ინფორმაცია მზის სისტემის სხეულების მახასიათებლების შესახებ (იხ. ცხრილი 2.3).

შენიშვნა. როგორც იცით, ჰორიზონტალურ ზედაპირზე მოთავსებული უძრავი სხეულის წონა რიცხობრივად ამ სხეულზე მოქმედი სიმძიმის ძალის ტოლია: $P = mg$ (იხ. ფიზიკა 7, გვ. 49).



ცხრილი 2.3 მზის სისტემის სხეულების ზოგიერთი მახასიათებელი

მზის სისტემის სხეულები	ზედაპირზე თავისუფალი ვარდნის აჩქარება (მ/წმ ²)	საშუალო მანძილი მზიდან ($\times 10^6$ კმ)	მასა ($\times 10^{24}$ კგ)	ეკვატორის დიამეტრი (კმ)
მერკური	3,7	58	0,33	4 880
ვენერა	8,8	108	4,8	121
დედამიწა	9,8	150	6	12 756
მარსი	3,8	228	0,6	6 800
იუპიტერი	23,5	778	1 877	142 800
სატურნი	11,5	1 426	562	120 660
ურანი	9,8	2 869	86	50 800
ნეპტუნი	11,6	4 496	102	49 600
მზე	27,4	–	$\approx 1\,989\,000$	$\approx 1\,392\,000$
მთვარე	1,6	–	0,074	3 476

იმსჯელეთ შედეგებზე:

- როგორ იცვლება ასტრონავტის მასა მზის სისტემის სხვადასხვა პლანეტის ზედაპირზე?
- რომელი ციური სხეულის ზედაპირზე იქნება ასტრონავტის წონა ყველაზე დიდი და რომელზე – ყველაზე პატარა? რატომ?

წონა. სხეულის მოძრაობის განტოლების გამოყენებით ამოცანების ამო-ხსნის დროს ვიყენებთ ცნებას „სხეულის წონა“.

• წონა არის ძალა, რომლითაც უძრავი სხეული დედა-მიწის მიზიდულობის გამო აწევა საყრდენს ან ჭიმავს საკიდს. სხეულის წონა აღინიშნება P ასოთი. წონის ვექტორის მოდების წერტილი საყრდენზე ან საკიდზეა, ხოლო მიმართულია საყრდენი ზედაპირის პერპენდიკულარულად ან საკიდის გასწვრივ. სხეულის მდგომარეობის მიხედვით მისი წონა შეიძლება იცვლებოდეს ან უცვლელი იყოს.

შემთხვევა, როდესაც სხეულის წონა არ იცვლება. როდესაც სხეული უძრავია ან ჰორიზონტალურ ზედაპირზე წრფივად და თანაბრად მოძრაობს, მისი წონა არ იცვლება. რატომ?

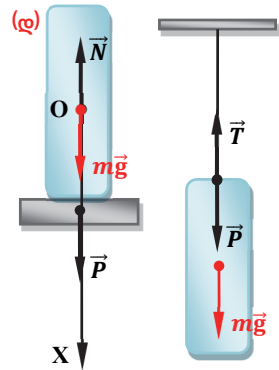
ნიუტონის III კანონის თანახმად, საყრდენზე მოქმედი სხეულის წონა მოდულით საყრდენის რეაქციის N ძალის ტოლია და მის სანინაალმდეგოდაა მიმართული. საყრდენის რეაქციის ძალა სხეულზეა მოდებული (დ): $P = -N$ (სიმარტივისთვის საყრდენის რეაქციის ძალის მოდების წერტილს სხეულის ცენტრში გამოსახავენ).

თუ საკიდზე დაკიდებული სხეული უძრავია ან საკიდთან ერთად წრფივად და თანაბრად მოძრაობს, ნიუტონის III კანონის თანახმად, ამ სხეულის წონა, რომელიც საკიდზე მოქმედებს, მოდულით საკიდის T დაჭიმულობის ძალის ტოლია და მის სანინაალმდეგოდაა მიმართული. საკიდის დაჭიმულობის ძალა სხეულზეა მოდებული (იხ. დ): $P = -T$.

ნიუტონის II კანონის თანახმად, უძრავი ან ჰორიზონტალურ ზედაპირზე წრფივად და თანაბრად მოძრავი სხეულის მოძრაობის განტოლებას ასეთი სახე აქვს: $ma = F$.

იმის გათვალისწინებით, რომ სხეულზე მოქმედი ტოლქმედი ძალა სიმძიმის ძალისა და საყრდენის რეაქციის ძალის ვექტორული ჯამის ტოლია, მოძრაობის განტოლება ამგვარ სახეს მიიღებს:

$$m\vec{a} = m\vec{g} + \vec{N}. \quad (2.16)$$



ამ განტოლების ამოხსნისთვის უნდა ავირჩიოთ საკოორდინატო ღერძი, განესაზღვროთ ძალის ვექტორების პროექციები ამ ღერძზე და პროექციის ნიშნის („+“ ან „-“) გათვალისწინებით მათი მნიშვნელობები განტოლებაში შევიტანოთ.

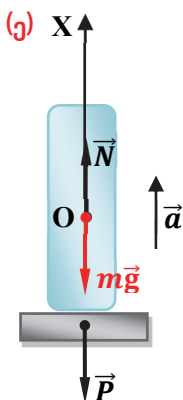
თუ OX ღერძის დადებით მიმართულებად სიმძიმის ძალის მოქმედების მიმართულებას ავირჩევთ (იხ. დ), იმ შემთხვევაშიც, როდესაც სხეული უძრავია ან წრფივად და თანაბრად მოძრაობს, ე. ი. სხეულის აჩქარება O -ის ტოლია ($a = 0$), სხეულის მოძრაობის განტოლებას ჩვეულებრივი სახე ექნება:

$$0 = mg - N \quad (2.17)$$

საიდანაც, როგორც ვხედავთ, უძრავი ან წრფივად და თანაბრად მოძრავი სხეულის წონა რიცხობრივად სიმძიმის ძალის მოდულის ტოლია:

$$N = P = mg \quad (2.18)$$

შემთხვევა, როდესაც სხეულის წონა იცვლება. როდესაც სხეული საყრდენთან (ან საკიდთან) ერთად $\vec{a}$, აჩქარებით ვერტიკალური მიმართულებით მოძრაობს, მოძრაობის მიმართულების მიხედვით სხეულის წონა იზრდება ან მცირდება.



დავუშვათ, სხეული საყრდენთან ერთად ვერტიკალურად ზევით მოძრაობს $\vec{a}$, აჩქარებით, ანუ მოძრაობს სიმძიმის ძალის მოქმედების მიმართულების საპირისპიროდ. მოძრაობის განტოლების ვექტორული სახე უცვლელი დარჩება:

$$m\vec{a} = m\vec{g} + \vec{N}.$$

თუ საკოორდინატო ღერძს მოძრაობის მიმართულებით მივმართავთ (ვ), მივიღებთ:

$$ma = N - mg \text{ ანუ } N = ma + mg \quad (2.19)$$

როგორც ვხედავთ, როდესაც სხეული საყრდენთან ერთად ვერტიკალურად ზევით მოძრაობს $\vec{a}$, აჩქარებით, მისი წონა იზრდება. სხეულის ამ მდგომარეობას გადატვირთვა ეწოდება. გასაგებია, რომ, თუ სხეული საყრდენთან ერთად სიმძიმის ძალის მოქმედების მიმართულებით იმოძრაავს, მისი წონა შემცირდება:

$$N = P = m(g - a) \quad (2.21)$$

შემთხვევა, როდესაც სხეულის წონა O -ის ტოლია – უწონადობა. თუ სხეული მხოლოდ გრავიტაციული ძალის მოქმედებით მოძრაობს, ანუ მისი აჩქარება თავისუფალი ვარდნის აჩქარების ტოლია ($a = g$), სხეულის წონა O -ის ტოლი იქნება. სხეულის ამ მდგომარეობას უწონადობა ეწოდება:

$$N = P = m(g - g) = 0 \quad (2.22)$$

კვლევითი სამუშაო-2. გამოყენება. რომელ შემთხვევაში მოქმედებს სხეული საკიდზე მეტი ძალით?

ამოცანა 2. m მასის სხეული, რომელიც დაფზეა დაკიდებული, საკიდთან ერთად $\vec{a}$ აჩქარებით მოძრაობს. განსაზღვრეთ ამ სხეულის წონა, თუ სისტემა სხეული-საკიდი:

- ა) მოძრაობს სიმძიმის ძალის მოქმედების მიმართულებით;
- ბ) მოძრაობს სიმძიმის ძალის მოქმედების სანინაალმდეგო მიმართულებით. მოძრაობები წარმოადგენთ სქემატურად, ჰაერის წინააღმდეგობა არ გათვალისწინოთ.

იმსჯელეთ შედეგებზე:

- რის ტოლია ძაფის დაჭიმულობის ძალის მოდული, თუ სისტემა სხეული-საკიდი სიმძიმის ძალის მოქმედების მიახლოებით მოძრაობს?
- როგორი სახე ექნება მოძრაობის განტოლებას, როდესაც სისტემა სხეული-საკიდი სიმძიმის ძალის მოქმედების სანინალმდეგო მიმართულებით მოძრაობს?

შეძენილი ცოდნის გამოყენება ყოველდღიურ ცხოვრებაში:

წარმოიდგინეთ, რომ მშობლიურ სოფელში ავტომობილით მგზავრობის დროს ადიდებულ მდინარეზე ჰორიზონტალური ხის ხიდით გადასვლა დაგჭირდათ. გზის პირას მდგარ აღმნიშვნელზე მითითებულია, რომ მაქსიმალური დატვირთვა ხიდზე შეიძლება 1,3 ტონა იყოს. თქვენი ავტომობილის მასა თქვენთან და ტვირთთან ერთად 1300 კგ-ს შეადგენს. გარისკავთ თუ არა ხიდზე გავლას ავტომობილიდან ტვირთის ამოღაგების გარეშე? რა სიჩქრით უნდა იმოძრაოთ ხიდზე, რომ ის არ დაზიანდეს? პასუხი დაასაბუთეთ.

შეაფასეთ თქვენი ცოდნა:

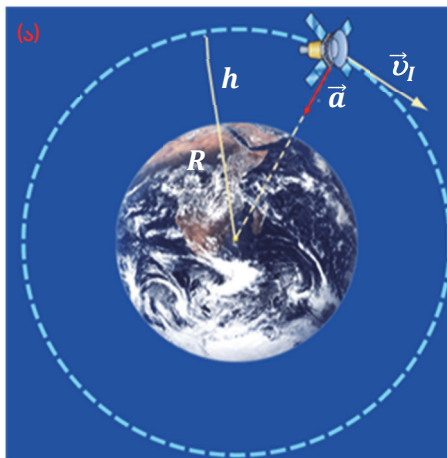
1. რომელი ცნებები გაიმეორეთ გაკვეთილზე? რომელში გაერკვიეთ კარგად და რომელი დაგრჩათ ნაწილობრივ გაუგებარი?
2. რა შემთხვევებშია სხეულის წონასა და სიმძიმის ძალას შორის შემდეგი თანაფარდობა:
ა) $P = mg$; ბ) $P > mg$; გ) $P < mg$.
3. დაამტკიცეთ, რომ, თუ სხეული საყრდენთან ერთად $\vec{a}$, აჩქარებით მოძრაობს სიმძიმის ძალის მოქმედების მიმართულებით, მისი წონა ტოლია $N = P = m(g - a)$.
4. რა შემთხვევაშია სხეული უწონადობის მდგომარეობაში:
ა) სპორტსმენი, რომელიც ტრამპლინიდან ხტება, წყალში ჩახტომამდე;
ბ) პარაშუტისტი, რომელიც დედამიწაზე ეშვება;
გ) ზევით მოძრავი ლიფტის მგზავრი;
დ) ყვავილის ქოთანში, რომელიც აივნისგან ვარდება; ზევით ასროლილი ბურთი.

რა შეიტყვით? სამუშაო რვეულში დაწერეთ დასახელებული ცნებების განმარტებები: „წონა“, „რეაქციის ძალა“, „დაჭიმულობის ძალა“, „გადატვირთვა“, „უწონადობა“.

• **პროექტი** • რა სიჩქარით გაჰყავთ ხელოვნური თანამგზავრი კოსმოსში?

ამოცანა. რა სიჩქარე უნდა მივანიჭოთ სხეულს, რომ ის M მასისა და R რადიუსის პლანეტის ხელოვნური თანამგზავრი გახდეს და პლანეტის ზედაპირიდან h სიმაღლის ორბიტაზე იბრუნოს?

• სიჩქარეს, რომელიც საჭიროა მივანიჭოთ სხეულს პლანეტის ზედაპირზე იმისთვის, რომ მისი ხელოვნური თანამგზავრი გახდეს და მის ირგვლივ წრიულ ორბიტაზე იმოძრაოს, **პირველი კოსმოსური სიჩქარე** ეწოდება.



მოცემულია	ამოხსნა
პლანეტის მასა – M პლანეტის რადიუსი – R სიმაღლე h პლანეტის ზედაპირიდან, რომელზეც თანამგზავრი მოძრაობს. v – ?	შენიშვნა. მოძრაობის შესახებ ცნობილია: ა) მოძრაობის ტრაექტორია წრიულია; ბ) ხაზოვანი სიჩქარე მუდმივია. პლანეტისა და ხელოვნური თანამგზავრის ურთიერთმიზიდულობის ძალა თანამგზავრს ცენტრისკენულ აჩქარებას ანიჭებს (ა). ამიტომ თანამგზავრის მოძრაობის განტოლება შემდეგი სახით ჩაინერგება: $ma = G \frac{mM}{(R+h)^2} \rightarrow a = G \frac{M}{(R+h)^2}.$ რადგან სხეულის ცენტრისკენული აჩქარება, როდესაც ის წრიულ ორბიტაზე თანაბრად მოძრაობს, ზედაპირიდან h სიმაღლეზე ტოლია $a = \frac{v^2}{R+h}$ მივიღებთ განტოლებების სისტემას: $\begin{cases} a = G \frac{M}{(R+h)^2} \\ a = \frac{v^2}{R+h} \end{cases}$ თუ განტოლებათა სისტემას ამოვხსნით v სიჩქარის მიმართ, მივიღებთ პირველი კოსმოსური სიჩქარის გამოსათვლელ ფორმულას ამ პლანეტისთვის. თქვენ თუ შეძლებთ ამ ფორმულის მიღებას?

იმსჯელეთ შედეგებზე:

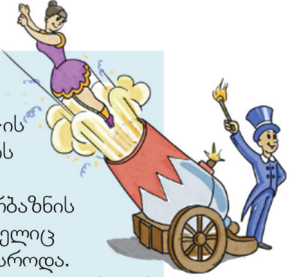
- რის ტოლია პირველი კოსმოსური სიჩქარე, რომელიც უნდა მივანიჭოთ სხეულს, რომ ის პლანეტის ხელოვნური თანამგზავრი გახდეს?
- როგორ არის დამოკიდებული პირველი კოსმოსური სიჩქარე ხელოვნური თანამგზავრის მასაზე?
- გამოთვალეთ პირველი კოსმოსური სიჩქარე დედამიწის ზედაპირთან ($h \ll R$) და დედამიწის ზედაპირიდან $h = 300$ მ სიმაღლეზე. გაითვალისწინეთ, რომ დედამიწის მასაა $M = 6 \cdot 10^{24}$ კგ, რადიუსი – $R = 6400$ კმ.

2.8 ღრეკადობის კალა



ძველი ბერძნები ძვ. წ. III საუკუნეში ბრძოლებში წარმატებით იყენებდნენ არქიმედეს გამოგონილ თავდაცვის „ტექნიკურ მოწყობილობებს“.

არქიმედეს ტექნიკის მუშაობის პრინციპის გამოყენებით მე-19 ს.-ის 80-იან წლებში პარიზის ცირკმა „ფრანკონიმ“ პირველმა დაიწყო ზარბაზნის დემონსტრირება, რომელიც „ცოცხალ ჭურვებს“ ისროდა. ამ ატრაქციონში დენთი და აირი არ გამოიყენებოდა – წარმოქმნილი კვამლი და ხმა მხოლოდ მეტი ეფექტის მოსახდენად იყო საჭირო.



- რა არის საერთო ძველი ბერძნების სამხედრო ტექნიკასა და მე-19 საუკუნის „ცოცხალჭურვებიანი“ ზარბაზნის მუშაობის პრინციპში?
- რის ხარჯზე შეიძლება ამ იარაღით „ჭურვის“ უფრო დიდ მანძილზე გასროლა?

კვლევითი სამუშაო-1. რას განსაზღვრავს ზამბარის მოქმედების ძალის შეფარდება მის წაგრძელებასთან?

სამუშაოსთვის საჭიროა: დინამომეტრი, ტვირთების ნაკრები, სახაზავი, შტატივი მომჭერითა და მოსრიალე რგოლით.

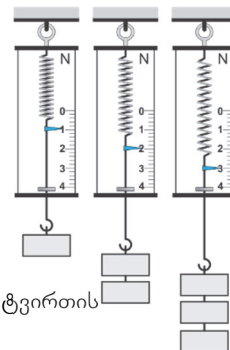
სამუშაოს მსვლელობა:

1. დინამომეტრი დაამაგრეთ შტატივის მომჭერზე, მიაღწიეთ, რომ მისი ისარი ნულოვან დანაყოფზე იდგეს.
2. დინამომეტრის კავზე დაკიდეთ m მასის ტვირთი. დინამომეტრის ჩვენებისა და სახაზავის საშუალებით განსაზღვრეთ დინამომეტრში აღძრული F_1 ძალა და ზამბარის წაგრძელება x_1 (ა). შედეგები ჩაწერეთ ცხრილ 2.4-ის შესაბამის უჯრებში.
3. ცდები გაიმეორეთ: დინამომეტრზე დაკიდებულ ტვირთს დაუმატეთ იმავე მასის მეორე, მესამე და მეოთხე ტვირთი; განსაზღვრეთ ამ დროს დინამომეტრში აღძრული F_2, F_3 და F_4 ძალები და მათი შესაბამისი x_2, x_3, x_4 წაგრძელებები. შედეგები ჩაწერეთ ცხრილში.
4. მიღებული მონაცემების მიხედვით გამოთვალეთ შეფარდებები $\frac{F_1}{x_1}, \frac{F_2}{x_2}, \frac{F_3}{x_3}$ და $\frac{F_4}{x_4}$.

ცხრილი 2.4

№	ძალა, რომელიც ტვირთზე მოქმედებს: F (ნ)	ზამბარის წაგრძელება: x (მ)	$\frac{F}{x}$
1	$F_1 =$	$x_1 =$	
2	$F_2 =$	$x_2 =$	
3	$F_3 =$	$x_3 =$	
4	$F_4 =$	$x_4 =$	

(ა)



იმსჯელეთ შედეგებზე:

- რომელ ფიზიკურ სიდიდეს განსაზღვრავს $\frac{F}{x}$ შეფარდება?
- როგორ იცვლება ეს შეფარდება დინამომეტრზე დაკიდებული ტვირთის მატებასთან ერთად? რატომ?

ელექტრომაგნიტური ბუნების ძალები. ცნობილია, რომ დამუხტული სხეულები მიიზიდება ან განიზიდება ელექტრული ბუნების ძალების მოქმედებით. თუ მუხტები ერთმანეთის მიმართ იმოძრავენ, ელექტრულ ძალებთან ერთად მათ შორის მაგნიტური ძალებიც წარმოიქმნება.

ეს ძალები ერთმანეთთან მტკიცე კავშირშია, მათი განცალკევება შეუძლებელია, რადგან ერთი მეორის წარმოქმნის მიზეზია. ამიტომ ამბობენ, რომ დამუხტულ სხეულებს შორის ურთიერთქმედება ელექტრომაგნიტური ბუნების ძალების მოქმედების შედეგად ხდება. დრეკადობისა და ხახუნის ძალები, რომლებიც მექანიკური მოძრაობის სიჩქარის ცვლილების მიზეზია, ასევე ელექტრომაგნიტური ბუნების ძალებია.

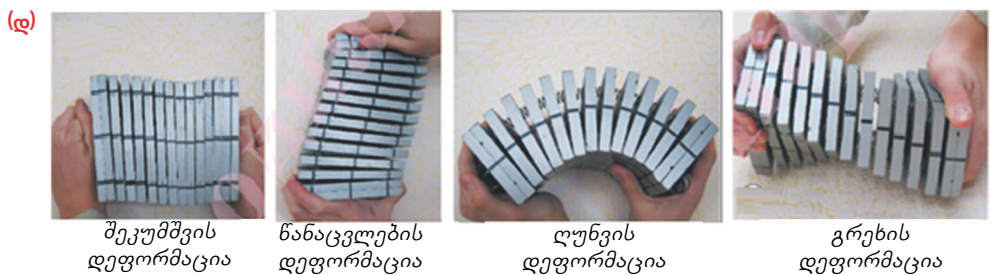
დრეკადობის ძალა ელექტრომაგნიტური ბუნების ძალაა. როგორც იცით, ნებისმიერი მყარი სხეული გარე ძალის მოქმედებით დეფორმაციას განიცდის (იხ. ფიზიკა 7, გვ. 45).

- გარე ძალის მოქმედებით სხეულის ფორმისა და ზომების ცვლილებას **დეფორმაცია** ეწოდება. დეფორმაციის შედეგად ხდება ატომებისა და მოლეკულების ერთმანეთის მიმართ წანაცვლება: ატომებს შორის მანძილი იზრდება ან მცირდება, რაც სხეულის დეფორმაციის ადგილზე ატომებს შორის ურთიერთქმედების ძალების ცვლილებას იწვევს. ელექტრომაგნიტური ბუნების ძალას, რომელიც „ცდილობს“, სხეულის დეფორმირებულ ნაწილს საწყისი ფორმა აღუდგინოს, **დრეკადობის ძალა** ეწოდება.

- დრეკადობის ძალა არის ძალა, რომელიც სხეულში აღიძვრება ნებისმიერი მცირე დეფორმაციის დროს და მიმართულია სხეულის საწყისი მდგომარეობის აღდგენისკენ.

თუ სხეულზე გარე ზემოქმედების შეწყვეტის შემდეგ სხეული დრეკადობის ძალის მოქმედებით სრულად აღიდგენს საწყის ფორმასა და ზომებს, დეფორმაციას **დრეკადი დეფორმაცია** ეწოდება. თუ აღდგენა არ ხდება, დეფორმაციას **პლასტიკური დეფორმაცია** ეწოდება.

არსებობს დეფორმაციის შემდეგი სახეები: **გაჭიმვა-შეკუმშვა, ლუნვა, გრეხა და წანაცვლება (ძვრა).** გაჭიმვის დეფორმაციის დროს სხეულის ნაწილებს შორის მანძილი იცვლება, ხოლო წანაცვლების დეფორმაციის დროს სხეულის ნაწილები ერთმანეთის მიმართ წანაცვლდება. ლუნვის დეფორმაცია სხეულის ნაწილების შეკუმშვისა და გაჭიმვის დეფორმაციების კომბინაციაა, გრეხა კი – წანაცვლების დეფორმაციების კომბინაცია (**ბ**).



ჰუკის კანონი. მყარი სხეულის დეფორმაციის სახე გაჭიმვა-შეკუმშვა ხასიათდება სიდიდებით, რომლებსაც **აბსოლუტური წაგრძელება** და **ფარდობითი წაგრძელება** ეწოდება.

$$\Delta l = l - l_0, \quad (2.23)$$

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0} = \frac{l - l_0}{l_0} \quad (2.24)$$

სადაც l_0 მყარი სხეულის საწყისი, l – საბოლოო სიგრძე, Δl კი – სხეულის აბსოლუტური წაგრძელება. თუ $\Delta l \ll l_0$, ხდება დრეკადი დეფორმაცია, ε

სხეულის ფარდობითი წაგრძელება. ფარდობითი წაგრძელება განყენებული რიცხვია – მას საზომი ერთეული არ აქვს.

დეფორმირებულ მდგომარეობაში მყოფი მყარი სხეული ხასიათდება ფიზიკური სიდიდით, რომელსაც *მექანიკური ძაბვა* ეწოდება.

• **მექანიკური ძაბვა** არის ფიზიკური სიდიდე, რომელიც დეფორმაციის შედეგად აღძრული დრეკადობის ძალის მოდულის ($F_{\text{დრეკად.}}$) სხეულის განივკვეთის ფართობთან (S) შეფარდების ტოლია:

$$\sigma = \frac{F_{\text{დრეკად.}}}{S} \quad (2.25)$$

სადაც σ მექანიკური ძაბვაა. მექანიკური ძაბვის ერთეული SI სისტემაში არის პასკალი (პა):

$$[\sigma] = 1 \frac{\text{ნ}}{\text{მ}^2} = 1 \text{ პა (პასკალი)}.$$

• **ჰუკის კანონი:** მცირე დეფორმაციების დროს სხეულში აღძრული მექანიკური ძაბვა ფარდობითი წაგრძელების პროპორციულია:

$$\sigma = E \cdot |\varepsilon|. \quad (2.26)$$

E პროპორციულობის კოეფიციენტი, რომელსაც *იუნგის მოდული* ეწოდება.

• **იუნგის მოდული** ფიზიკური სიდიდეა და რიცხობრივად მექანიკური ძაბვის ტოლია, რომელიც რამე წვრილ ღერში აღიძვრება მისი ორჯერ წაგრძელების დროს. იუნგის მოდული დამოკიდებულია მასალაზე, რომლისგანაც დამზადებულია სხეული და მისი საზომი ერთეული SI სისტემაში არის პასკალი:

$$[E] = \frac{[\sigma]}{[\varepsilon]} = 1 \text{ პა}.$$

თუ ჰუკის კანონში (2.26) გავითვალისწინებთ განტოლებებს (2.24) და (2.25), მივიღებთ:

$$\frac{F_{\text{დრეკად.}}}{S} = E \frac{|\Delta l|}{l_0} \rightarrow F_{\text{დრეკად.}} = \frac{ES}{l_0} |\Delta l| \quad (2.27)$$

აქ სიდიდეს

$$\frac{ES}{l_0} = k \quad (2.28)$$

დრეკადობის კოეფიციენტი ან ღერის სიხისტე ეწოდება.

სიხისტე, რომელიც პროპორციულობის კოეფიციენტია დრეკადობის ძალა-სა და აბსოლუტურ წაგრძელებას შორის, დამოკიდებულია მასალაზე, რომლისგანაც დამზადებულია სხეული და მის გეომეტრიულ ზომებზე.

თუ ფორმულაში (2.27) გავითვალისწინებთ (2.28) ფორმულას, ჰუკის კანონი შეგვიძლია შემდეგი სახით ჩავწეროთ:

$$F_{\text{დრეკად.}} = k |\Delta l| \quad (2.29)$$

როგორც წესი, ჰუკის კანონს ასეთი სახე აქვს:

$$F_{\text{დრეკად.}} = -kx \quad (2.30)$$

სადაც $x = \Delta l$ სხეულის აბსოლუტურ წაგრძელებას გამოხატავს, ხოლო ნიშანი მინუსი იმის მაჩვენებელია, რომ სხეულში აღძრული დრეკადობის ძალა სხეულის ნაწილების ნანაცვლების მიმართულების საწინააღმდეგოაა მიმართული.

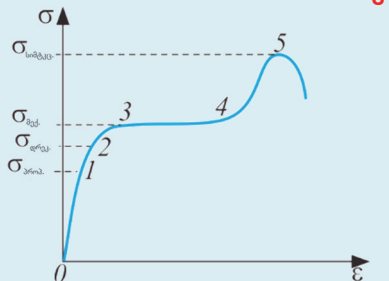
სიხისტის საზომი ერთეული SI სისტემაში არის: $[k] = \frac{[F_{\text{დრეკად.}}]}{[\Delta l]} = 1 \frac{\text{ნ}}{\text{მ}}.$

გაჭიმვის დიაგრამა

- გაჭიმვის დიაგრამა არის მყარ სხეულში აღძრული მექანიკური ძაბვის მის ფარდობით წაგრძელებაზე დამოკიდებულების გრაფიკი.

დიაგრამაზე (ა):

- ა) **უბანი 0 – 1** არის უბანი, რომელზეც მცირე დეფორმაციების დროს მექანიკური ძაბვა ფარდობითი წაგრძელების პირდაპირპროპორციულია, ანუ სრულდება ჰუკის კანონი.
- მაქსიმალურ მექანიკურ ძაბვას, რომელზეც ჯერ კიდევ სრულდება ჰუკის კანონი, **პროპორციულობის ზღვარი** ეწოდება ($\sigma_{პროპ}$).



გრაფიკის ციფრი 1-ით აღნიშნული უბნის ზევით ჰუკის კანონი ირღვევა, დეფორმაცია არანაწიფი ხდება;

- ბ) **უბანი 1 – 2** არის უბანი, სადაც შენარჩუნებულია დრეკადი დეფორმაცია, ანუ გარე ზემოქმედების შეწყვეტის შემდეგ სხეული სრულად აღიდგენს საწყის ზომებს.

- მაქსიმალურ ძაბვას, რომლის დროსაც სხეული ჯერ კიდევ დრეკად დეფორმაციას განიცდის, **დრეკადობის ზღვარი** ეწოდება ($\sigma_{დრ}$). სხეულზე დატვირთვის შემდგომი გაზრდა მასში დრეკადობის ზღვარზე მეტ ძაბვას აღძრავს და სხეული პლასტიკურ დეფორმაციას განიცდის;

- გ) **უბანზე 2 – 3** მექანიკური ძაბვა შეესაბამება პლასტიკურ დეფორმაციას;

- დ) **უბანი 3 – 4** არის უბანი, სადაც სხეული განიცდის „დენადობას“. ამ დროს სხეულში აღძრული მექანიკური ძაბვა ($\sigma_{მზღ}$) არ იცვლება, ხოლო ფარდობითი წაგრძელება იზრდება.

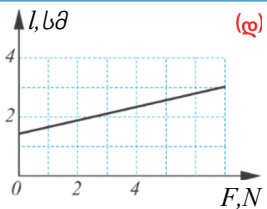
- ე) **უბანი 4 – 5** არის უბანი, რომელიც მექანიკური ძაბვის მკვეთრ ზრდას შეესაბამება. ამ დროს სხეულის მთლიანობა ირღვევა.

- მაქსიმალურ მექანიკურ ძაბვას, რომელის შემდეგაც სხეულის მთლიანობა ირღვევა, **სიმტკიცის ზღვარი** ეწოდება ($\sigma_{სიმტკ}$).

ცვლევითი სამუშაო-2. გამოყენება. ჰუკის კანონის შემოწმება

ამოცანა: ნახატზე მოცემულია დრეკადი ზამბარის სიგრძის მასზე მოდებულ ძალაზე დამოკიდებულების გრაფიკი (დ). განსაზღვრეთ ზამბარის სიხისტე.

იმსჯელეთ შედეგაზე:



- ჩამოაყალიბეთ ჰუკის კანონი.

- რომელი ფორმულით არის შესაძლებელი ზამბარის სიხისტის განსაზღვრა?

- რაზეა დამოკიდებული სიხისტე?

შეძენილი ცოდნის გამოყენება ყოველდღიურ ცხოვრებაში:

ალბათ, დილით სკოლისკენ მიმავალ გზაზე მიგიქცევიათ ყურადღება წუხანდელი ძლიერი ქარის შედეგებისთვის: მაღალმა და ძლიერმა ხეებმა შეინარჩუნეს ვერტიკალური მდგომარეობა, თუმცა იმავე ტერიტორიაზე შედარებით პატარა ჩინარები გადატყეხილია.

- აქვს თუ არა ამ მოვლენას რამე კავშირი დრეკადობის ძალასთან? პასუხი დაასაბუთეთ.

შეაფასეთ თქვენი ცოდნა:

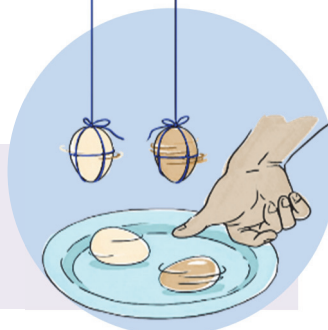
1. რომელი ცნებები გაიმეორეთ გაკვეთილზე? რაში გაერკვეით კარგად და რა დაგრჩათ ნაწილობრივ გაუგებარი?
2. რატომ არის დრეკადობის ძალა ელექტრომაგნიტური ბუნების ძალა?
3. რაზეა დამოკიდებული დრეკადობის ძალა?
4. რა აქვთ საერთო და რით განსხვავდებიან მექანიკური ძაბვა და იუნგის მოდული?
5. ააგეთ ზამბარის დრეკადობის ძალის მოდულის აბსოლუტურ წაგრძელებაზე დამოკიდებულების გრაფიკი, თუ ზამბარის სიხისტეა 200 ნ/მ.

რა შეიტყვეთ?

სამუშაო რეულში დაწერეთ დასახელებული ცნებების განმარტებები: „დეფორმაცია“, „დრეკადობის ძალა“, „მექანიკური ძაბვა“, „ჰუკის კანონი“, „იუნგის მოდული“, „სიხისტე“.

2.9 ხახუნის ძალა. მოძრაობა ხახუნის ძალის მოქმედებით

ჩავატაროთ, ერთი შეხედვით მარტივი ექსპერიმენტი. აიღეთ ერთნაირი ზომის ორი კვერცხი: ერთი მოხარშული, მეორე – მოუხარშავი. კვერცხები ერთდროულად დააბზრიალეთ თევშზე ან ძაფზე დაკიდებულ მდგომარეობაში.



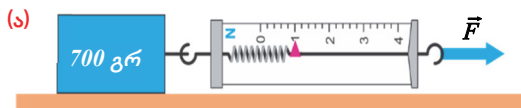
რომელი კვერცხი გაჩერდება ადრე: მოხარშული თუ მოუხარშავი? რატომ?

კვლევითი სამუშაო-1. რა გავსოვთ ხახუნის ძალის შესახებ?

ამოცანა 1: (ა) ნახატზე მოცემული ინფორმაციის საფუძველზე და ხახუნის ძალის შესახებ ცოდნის გამოყენებით (იხ. ფიზიკა 7, გვ. 50 და ცხრილი 2) განსაზღვრეთ ხის ძელაკის ხის ზედაპირზე სრიალის ხახუნის კოეფიციენტი; გაითვალისწინეთ, რომ ხის ხეზე სრიალის ხახუნის კოეფიციენტი $\mu = 0,5$; $g = 10 \text{ მ/წმ}^2$.

იმსჯელებზე შედეგებზე:

- რაზე დამოკიდებულია სრიალის ხახუნის კოეფიციენტი?
- რას უდრის ხახუნის ძალის მოდული?
- რა მოხდებოდა, ხის ძელაკის მასა რომ გაგვეზარდა?



ხახუნის ძალა. სრიალის ხახუნის ძალა აღიძვრება შეხებაში მყოფ მოძრავ ზედაპირებს შორის და მიმართულია ზედაპირის გასწვრივ, თითოეული სხეულის მოძრაობის საპირისპირო მიმართულებით. ხახუნის ძალის აღძვრის მიზეზია უთანაბრობები შეხებაში მყოფ ზედაპირებზე და „შეჭიდების ძალების“ (მიზიდულობის ძალების) არსებობა ამ ზედაპირების მოლეკულებს შორის. სწორედ მიზიდულობის ძალების არსებობაა ხახუნის ძალის ელექტრომაგნიტური ბუნების მიზეზი.

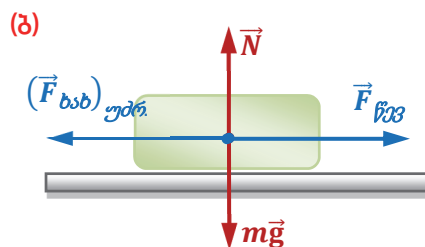
არსებობს სამი სახის ხახუნის ძალა: უძრაობის ხახუნის ძალა, სრიალის ხახუნის ძალა და გორვის ხახუნის ძალა.

• სრიალის ხახუნის ძალა ისეთი ხახუნის ძალაა, რომელიც მაშინ აღიძვრება, როდესაც ერთი სხეული მეორე სხეულის ზედაპირზე სრიალებს.

• გორვის ხახუნის ძალა ისეთი ხახუნის ძალაა, რომელიც მაშინ აღიძვრება, როდესაც ერთი სხეული მეორის ზედაპირზე მიგორავს.

• უძრაობის ხახუნის ძალა ისეთი ხახუნის ძალაა, რომელიც ორ ერთმანეთის მიმართ უძრავ მდგომარეობაში მყოფ სხეულს შორისაა აღძრული და ხელს უშლის სხეულის ადგილიდან დაძვრას. უძრაობის ხახუნის ძალა რიცხობრივად წვეის ძალის ტოლია, რომელიც შეხებაში მყოფი უძრავი ზედაპირების პარალელურია და წვეის ძალის საპირისპიროდაა მიმართული (ბ).

წვეის ძალის გარკვეული მნიშვნელობის დროს სხეული იწყებს მოძრაობას და მეორე სხეულის ზედაპირზე სრიალს. ამ დროს აღიძვრება სრიალის ხახუნის ძალა.



სრიალის ხახუნის ძალის რიცხვითი მნიშვნელობა საყრდენის რეაქციის ძალის (ანუ საყრდენზე დანოლის ძალის) პირდაპირპროპორციულია და უძრავობის ხახუნის ძალის მაქსიმალური მნიშვნელობის ტოლია:

$$(F_{\text{ხახ}})_{\text{სრიალ.}} = (F_{\text{ხახ}})_{\text{მაქს.}} = \mu N. \quad (2.31)$$

სადაც μ პროპორციულობის კოეფიციენტია, რომელსაც სრიალის ხახუნის კოეფიციენტი ეწოდება. სრიალის ხახუნის კოეფიციენტი დამოკიდებულია მასალაზე, რომლისგანაც შეხებაში მყოფი სხეულებია დამზადებული და მათი ზედაპირების დამუშავების ხარისხზე. μ განყენებული რიცხვია; მას საზომი ერთეული არ აქვს.

შეხებაში მყოფი ზედაპირების თვისებების მიხედვით ხახუნის ძალას უწოდებენ მშრალი ხახუნის ძალას ან წინააღმდეგობის ძალას.

- მშრალი ხახუნი არის ხახუნი, რომელიც აღიძვრება მყარი სხეულების შეხებაში მყოფ ზედაპირებს შორის.

- წინააღმდეგობის ძალა არის ძალა, რომელიც სითხეში ან აირში მყარი სხეულის მოძრაობის დროს აღიძვრება.

მოძრაობა ხახუნის ძალის მოქმედებით. შევისწავლოთ m მასის სხეულის რამდენიმე მოძრაობა ხახუნის ძალის მოქმედებით:

1. სხეული წრფივად და თანაბრად მოძრაობს ჰორიზონტალურ ზედაპირზე. ნახატზე (ა) ნაჩვენებია ყველა ძალა, რომლებიც სხეულზე მოქმედებს. თანაბარი მოძრაობის დროს, როდესაც აჩქარება $a = 0$, ნიუტონის II კანონის თანახმად, სხეულის მოძრაობის განტოლება ვექტორული სახით შემდეგნაირად ჩაიწერება:

$$0 = \vec{F}_T + \vec{F}_{\text{ტრ}} + \vec{N} + m\vec{g}.$$

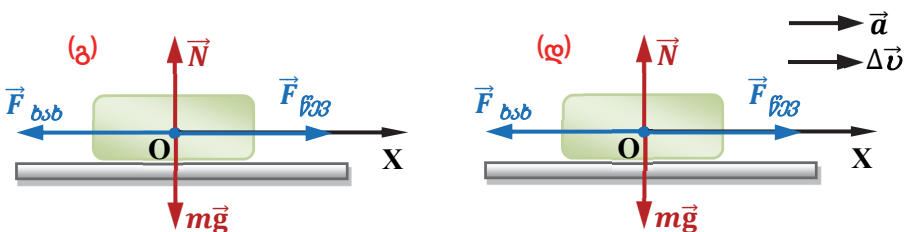
საკოორდინატო ღერძი ავირჩიოთ წვეის ძალის (ანუ მოძრაობის) მიმართულებით. გამოვსახოთ ყველა ძალის პროექცია ამ ღერძზე და დავწეროთ სხეულის მოძრაობის განტოლება (იხ. ბ):

$$0 = F_{\text{წვ}} - F_{\text{ხახ}} + 0 + 0$$

აქ გავითვალისწინეთ, რომ რეაქციის ძალისა და სიმძიმის ძალის პროექციები OX ღერძზე 0-ის ტოლია – ეს ვექტორები საკოორდინატო ღერძის მართობულია.

ამგვარად, ჰორიზონტალურ ზედაპირზე წრფივად და თანაბრად მოძრავ სხეულზე მოქმედი ძალების მოდულები წყვილ-წყვილად ტოლია და ერთმანეთის მოქმედებას აკომპენსირებს:

$$N = mg; F_{\text{წვ}} = F_{\text{ხახ}} = \mu N = \mu mg. \quad (2.32)$$



2. სხეული ასრულებს წრფივ თანაბრად ცვლად მოძრაობას (დ). ამ შემთხვევაში, ზოგადი სახით სხეულის მოძრაობის განტოლებაა:

$$ma = F_{\text{წვ}} + F_{\text{ხახ}} + N + mg \quad (2.33)$$

დავაგეგმილოთ ძალები საკოორდინატო ღერძზე და მოძრაობის განტოლება ჩავწეროთ სკალარული სახით:

$$ma = F_{\text{წვევ}} - F_{\text{ბახ}} = F_{\text{წვევ}} - \mu mg. \quad (2.34)$$

ამ გამოსახულებებიდან ადვილად შევძლებთ ნებისმიერი სიდიდის განსაზღვრას.

3. მოძრავ სხეულზე მხოლოდ ხახუნის ძალა მოქმედებს. რადგან ხახუნის ძალა ყოველთვის მოძრაობის საწინააღმდეგოდ არის მიმართული, ამ ძალის მიერ მინიჭებული აჩქარება სხეულის მოძრაობის სიჩქარის საპირისპიროდ იქნება მიმართული. ამიტომ თუ სხეულზე მხოლოდ ხახუნის ძალა მოქმედებს, სხეული მუხრუჭდება, მისი სიჩქარე მცირდება. ამ შემთხვევაში სხეულის მოძრაობის განტოლებას ასეთი სახე ექნება:

$$m\vec{a} = \vec{F}_{\text{ბახ}} + \vec{N} + m\vec{g} \quad (2.35)$$

$$ma = F_{\text{ბახ}} \quad (2.36)$$

აქედან სხეულის აჩქარება

$$a = \frac{F_{\text{ბახ}}}{m} = \frac{\mu mg}{m} = \mu g.$$

შეგვიძლია აგრეთვე განვსაზღვროთ ჰორიზონტალურად მოძრავი სხეულის სამუხრუჭე მანძილი და დამუხრუჭების დრო:

$$l_{\text{დამუხრ}} = \frac{v_0^2}{2a} = \frac{mv_0^2}{2F_{\text{ბახ}}} = \frac{v_0^2}{2\mu g} \quad (2.37)$$

$$t_{\text{დამუხრ}} = \frac{v_0}{a} = \frac{mv_0}{F_{\text{ბახ}}} = \frac{v_0}{\mu g}. \quad (2.38)$$

სხეულის მოძრაობა დახრილ სიბრტყეზე

• დახრილი სიბრტყე არის სიბრტყე, რომელიც ჰორიზონტთან გარკვეულ α კუთხეს ქმნის. როგორც ნახატზეა ნაჩვენები, სხეული წვევის ძალის მოქმედებით დახრილ სიბრტყეზე თანაბრად მოძრაობს. სხეულზე მოქმედი სიმძიმის ძალა შეგვიძლია ორ მდგენელ ძალად დავშალოთ: $\vec{F}_{\parallel}$ მდგენელად, რომელიც დახრილი სიბრტყის პარალელურია და $\vec{F}_{\perp}$ მდგენელად, რომელიც დახრილი სიბრტყის მართობულია (გ). საყრდენის რეაქციის ძალის მოდული ამ შემთხვევაში $\vec{F}_{\perp}$ მდგენელის მოდულის ტოლია:

$$N = F_{\perp} = mg \cos \alpha, \quad (2.39)$$

$$F_{\text{ბახ}} = \mu N = \mu mg \cos \alpha, \quad (2.40)$$

$$F_{\parallel} = mg \sin \alpha. \quad (2.41)$$

დავწეროთ დახრილ სიბრტყეზე სხეულის მოძრაობის განტოლება ვექტორული სახით:

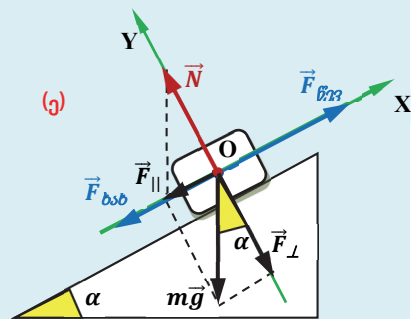
$$m\vec{a} = \vec{F}_{\text{წვევ}} + \vec{F}_{\text{ბახ}} + \vec{N} + m\vec{g}.$$

განტოლების ამოსახსნელად უნდა ავიღოთ მართკუთხა საკოორდინატო სისტემა XOY. საკოორდინატო სისტემის ღერძებზე ძალების პროექციებისგან მივიღებთ ორი განტოლებისგან შედგენილ განტოლებათა სისტემას:

$$\begin{cases} ma_x = F_{\text{წვევ}} - F_{\text{ბახ}} - F_{\parallel} \\ ma_y = N - F_{\perp}. \end{cases} \quad (2.42)$$

რადგან OY ღერძის გასწვრივ მოძრაობა არ ხდება, $a_y = 0$. ამ პირობისა და (2.39)-(2.41) განტოლებების გათვალისწინებით შეგვიძლია განვსაზღვროთ სხეულის აჩქარება:

$$a_x = \frac{F_{\text{წვევ}} - F_{\text{ბახ}} - F_{\parallel}}{m} = \frac{F_{\text{წვევ}} - \mu mg \cos \alpha - mg \sin \alpha}{m}.$$



კვლევითი სამუშაო-2. გამოყენება. იცით თუ არა სხეულის მოძრაობის განტოლების დაწერა?

ამოცანა 2: დაწერეთ სხეულების მოძრაობის განტოლებები შემდეგი მდგომარეობებისთვის: (3)

ა) წრფივად და თანაბრად მოძრავ m მასის სხეულზე სიმძიმის ძალის მოქმედების მიმართულებით მოქმედებს $\vec{F}$, ძალა (ვ);

ბ) m მასის სხეულზე, რომელიც წრფივად და თანაბრად მოძრაობს, სიმძიმის ძალის საპირისპირო მიმართულებით მოქმედებს $\vec{F}$, ძალა;

გ) m მასის სხეული მოძრაობს წრფივად და თანაბრად შენელებულად.

იმსჯელეთ შედეგებზე:

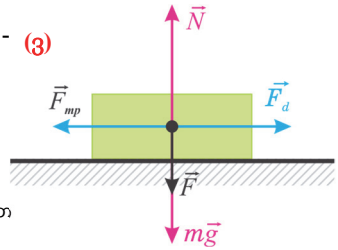
• წრფივი თანაბარი მოძრაობის დროს რის ტოლია საყდენის რეაქციის ძალისა და წევის ძალის მოდულები, თუ $\vec{F}$ ძალა სიმძიმის ძალის მოქმედების მიმართულებით მოქმედებს?

შეძინილი ცოდნის გამოყენება ყოველდღიურ ცხოვრებაში:

ავტომობილს, რომელიც დასახლებულ პუნქტში 72 კმ/სთ სიჩქარით მოძრაობდა, მოულოდნელად წინ, 5 მ-ის დაშორებით, ძალღმა გადაურბინა. მძღოლმა მკვეთრად დაამუხრუჭა. დაეჯახება თუ არა ავტომობილი ძალღს? გაითვალისწინეთ, ავტომობილის ბორბლებსა და მძრალ ასფალტს შორის ხახუნის კოეფიციენტი $\mu = 0,5$; $g = 10 \text{ მ/წმ}^2$.

შეფასეთ თქვენი ცოდნა:

1. რომელი ცნებები გაიმეორეთ გაკვეთილზე? რაში გაერკვიეთ კარგად და რა დაგრჩათ ნაწილობრივ გაუგებარი?
2. ორი ავტომობილი, მასებით 10 ტონა და 1 ტონა, სველ მოასფალტებულ გზაზე ერთნაირი სიჩქარით მოძრაობს. ერთდროული დამუხრუჭების შემთხვევაში რომელი ავტომობილის სამუხრუჭე მანძილი იქნება უფრო დიდი?
3. რა მოხდებოდა, ხახუნი რომ არ არსებობდეს?
4. როგორ არის დამოკიდებული სრიალის ხახუნის კოეფიციენტი ხახუნის ძალასა და სხეულის მასაზე? პასუხი დაასაბუთეთ.
5. რაზეა დამოკიდებული სრიალის ხახუნის ძალა?
6. რის ტოლი იქნება ჰაერის წინააღმდეგობის ძალა, რომელიც ძაფზე დაკიდებულ სხეულზე მოქმედებს, თუ სხეული საკიდთან ერთად თანაბრად შენელებულად გადაადგილდება სიმძიმის ძალის საპირისპირო მიმართულებით?



რა შეიტყვეთ? სამუშაო რეულში დაწერეთ დასახლებული ცნებების განმარტებები: „ხახუნის ძალა“, „უძრაობის ხახუნის ძალა“, „სრიალის ხახუნის ძალა“. „გორვის ხახუნის ძალა“, „სამუხრუჭე მანძილი“, „წინააღმდეგობის ძალა“.

2.10 სხეულის წონასწორობის პირობები

ალბათ, წაგიკითხავთ რუსი პოეტის ცნობილი იგავ-არაკი „გედი, კიბორჩხალა და ქარიყლაპია“. ამ იგავში მის პერსონაჟებს სურთ აამოძრაონ მსუბუქი ურემი: „...გედი ცისკენ იწევეს, კიბორჩხალა უკან იწევეს, ქარიყლაპია წყლისკენ ეწევა... ურემი კი ახლაც იქ არის“.

• როგორ ავხსნათ ფიზიკის „ენაზე“, რატომ არ შეუძლიათ იგავის გმირებს ურმის ადგილიდან დაძვრა?

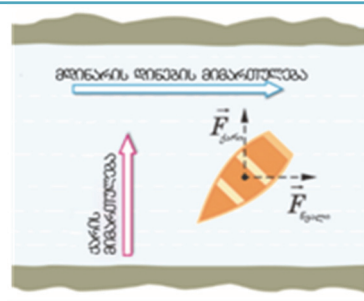


კვლევითი სამუშაო-1. რას ნიშნავს სხეულის (ა) წონასწორობის მდგომარეობაში ყოფნა?

ამოცანა 1: შეუძლია თუ არა ნავს წონასწორობის მდგომარეობაში ყოფნა წყლის ზედაპირზე, თუ მასზე მოქმედებს მდინარის დინება და სამხრეთის ქარი (ა)? პასუხი დაასაბუთეთ სქემატური გამოსახულების გამოყენებით.

იმსჯელეთ შედეგებზე:

• რას ნიშნავს სხეულის ყოფნა წონასწორობის მდგომარეობაში?



ნიუტონის I კანონის თანახმად, სხეულის არსებობა წონასწორობის მდგომარეობაში ნიშნავს, რომ იგი უძრავია ან წრფივად და თანაბრად მოძრაობს ათვლის ინერციული სისტემის მიმართ. გავარკვეოთ, რომელი კონკრეტული პირობების შესრულების დროს არის სხეული წონასწორობის მდგომარეობაში.

სხეულის წონასწორობა გადატანითი მოძრაობის დროს. სხეულის გადატანითი მოძრაობის შესასწავლად საკმარისია განვიხილოთ მისი ერთი წერტილის – სიმძიმის ცენტრის მოძრაობა. ამ შემთხვევაში სიმარტივისთვის შეგვიძლია ვიგულისხმოთ, რომ სხეულის მასა მის ერთ წერტილში – სიმძიმის ცენტრშია თავმოყრილია და ამ წერტილშია მოდებული სხეულზე მოქმედი ძალების ტოლქმედიც. ნიუტონის II კანონის თანახმად, თუ სხეულზე მოქმედი ტოლქმედი ძალა (სხეულზე მოქმედი ყველა ძალის გეომეტრიული ჯამი) ნულის ტოლია, ამ წერტილის აჩქარება ნულის ტოლი იქნება. ეს არის სხეულის წონასწორობის პირობა გადატანითი მოძრაობის დროს.

• იმისთვის, რომ სხეული გადატანითი მოძრაობის დროს წონასწორობის მდგომარეობაში იყოს, სხეულზე მოქმედი ტოლქმედი ძალა (სხეულზე მოქმედი ყველა ძალის გეომეტრიული ჯამი) ნულის ტოლი უნდა იყოს:

$$\vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \dots + \vec{F}_n = \vec{F} = 0.$$

თუ ძალების გეომეტრიული ჯამი ნულს უდრის, ნებისმიერ საკოორდინატო ღერძზე ამ ძალების პროექციების ჯამიც ნულის ტოლი იქნება:

$$F_{1x} + F_{2x} + \dots + F_{nx} = 0$$

$$F_{1y} + F_{2y} + \dots + F_{ny} = 0$$

$$F_{1z} + F_{2z} + \dots + F_{nz} = 0.$$

უძრავი ბრუნვის ღერძის მქონე სხეულის წონასწორობა. პრაქტიკაში ხშირად გვხვდება, რომ, სხეული, რომელსაც ბრუნვის უძრავი ღერძი აქვს და მასზე მოდულით ტოლი და საპირისპიროდ მიმართული ორი პარალელური ძალა მოქმედებს,

ამ ღერძის ირგვლივ ბრუნვას აგრძელებს. მაგალითად, ჭოჭონაქი, ჯალამ-ბარი და სხვა საპირისპირო ძალების მოქმედებით ბრუნავენ. ეს ნიშნავს, რომ ბრუნვის უძრავი ღერძის მქონე სხეულის წონასწორობისთვის საკმარისი არ არის, მასზე მოქმედი ტოლქმედი ძალა ნულის ტოლი იყოს; საჭიროა წონასწორობის მეორე პირობის – მომენტების ნების – შესრულებაც.

• უძრავი ბრუნვის ღერძის მქონე სხეულის წონასწორობისთვის აუცილებელია, რომ მასზე ბრუნვის ღერძის მიმართ მოქმედი ძალების მომენტების ალგებრული ჯამი ნულის ტოლი იყოს:

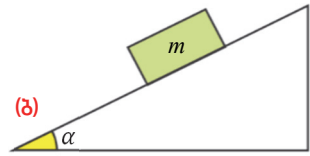
$$M_1 + M_2 + \dots + M_n = 0$$

კვლევითი სამუშაო-2. გამოყენება. წონასწორობის რომელი პირობა სრულდება სხეულისთვის დახრილ სიბრტყეზე?

ამოცანა 2: განვსაზღვროთ დახრილ სიბრტყეზე

მოთავსებული სხეულისთვის **(ბ)**:

- ფორმულა, რომელიც გამოხატავს მისი წონასწორობის პირობას;
- ძალა, რომელიც აწონასწორებს ხახუნის ძალას;
- ძალა, რომელიც აწონასწორებს საყრდენის რეაქციის ძალას.



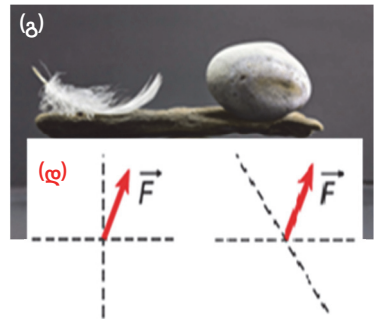
იმსჯელეთ შედეგებზე:

- რა პირობები უნდა შესრულდეს, რომ სხეული დახრილ სიბრტყეზე წონასწორობის მდგომარეობაში იყოს?
- რამდენი ძალა მოქმედებს სხეულზე, რომელიც წონასწორობაშია დახრილ სიბრტყეზე? აჩვენეთ ეს ძალები სქემაზე.

შეძენილი ცოდნის გამოყენება ყოველდღიურ ცხოვრებაში:

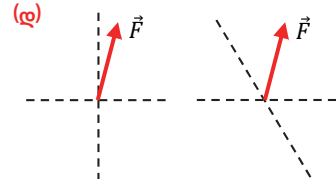
აღბათ, მეგობრებთან ერთად ჩაგიტარებიათ ასეთი საინტერესო ფიზიკური ექსპერიმენტი: ბერკეტზე დადებული ქვა ფრინველის ბუმბულითაა განწონასწორებული **(ა)**.

- რომელი პირობა სრულდება ამ დროს? როგორ შეგიძლიათ პასუხის დასაბუთება?
- შეიძლება თუ არა იმის თქმა, რომ ფრინველის ბუმბულისა და ქვის მასები ტოლია? რატომ?



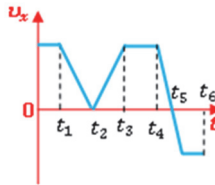
შეაფასეთ თქვენი ცოდნა:

- რომელი ცნებები გაიმეორეთ გაკვეთილზე? რაში გაერკვიეთ კარგად და რა დაგრჩათ ნაწილობრივ გაუგებარი?
- მატერიალური წერტილი ორი ძალის მოქმედებით მოძრაობს, რომლებიც მოდულით 60 ნ-ისა და 80 ნ-ის ტოლია. ამ ძალებს შორის კუთხე 90° -ია. განსაზღვრეთ:
 - მატერიალური წერტილის აჩქარების მიმართულება (აღნიშნეთ სქემაზე);
 - იმ ძალის მოდული და მიმართულება, რომელიც უნდა მოვდით სხეულზე წონასწორობის მდგომარეობაში მის შესანარჩუნებლად (აღნიშნეთ სქემაზე).
- განსაზღვრეთ ნახატზე წარმოდგენილი ტოლქმედი $\vec{F}$ ძალის მდგენელები პუნქტირით გავლებული ღერძების გასწვრივ **(დ)**.



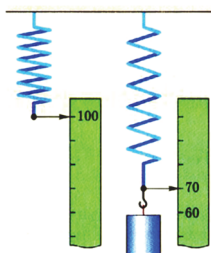
რა შეიტყვეით? სამუშაო რვეულში დანერეთ მოკლე ესე დასახელებული ცნებების გამოყენებით: „სხეულის წონასწორობის პირობა, რომელიც გადატანით მოძრაობას ასრულებს“, „ბრუნვის უძრავი ღერძის მქონე სხეულის წონასწორობის პირობა“.

- 2.1. სხეულზე მოდებულია ორი ძალა, რომელთა მოდულები ტოლია: $\phi_1 = 8$ ნ და $\phi_2 = 6$ ნ. განსაზღვრეთ ტოლქმედი ძალის მაქსიმალური და მინიმალური მნიშვნელობები.
- 2.2. როგორია ტოლქმედი ძალის მოდული, თუ კუთხე წინა ამოცანის ϕ_1 და ϕ_2 ძალებს შორის, რომლებიც სხეულზე მოქმედებს, 60° -ია; 90° -ია?
- 2.3. სიჩქარის დროზე დამოკიდებულების გრაფიკის მიხედვით განსაზღვრეთ დროის ინტერვალები, რომლებშიც ძალების ტოლქმედი ნულის ტოლია.



- 2.4. რა მიმართულებით გადაიხრებიან მგზავრები გაჩერებიდან ავტობუსის მკვეთრი დაძვრისა და გაჩერებასთან მიახლოებისას მკვეთრი დამუხრუჭების დროს? ეწინააღმდეგება თუ არა ეს მოვლენები ნიუტონის პირველ კანონს, იმის გათვალისწინებით, რომ ამ მომენტებში მგზავრებზე არავითარი დამატებითი ძალა არ იწყებს მოქმედებას?
- 2.5. ϕ ძალის მოქმედებით m_1 მასის სხეული 3 მ/წმ² აჩქარებით მოძრაობს, ხოლო m_2 მასის სხეული – 5 მ/წმ² აჩქარებით. თუ ამ სხეულებს შევავრთებთ, რა აჩქარებით იმოძრავენ ერთად იმავე ძალის მოქმედებით?
- 2.6. ამწე 20 ტ მასის ტვირთს $0,8$ მ/წმ² აჩქარებით სწევს. განსაზღვრეთ ამწის ფოლადის ტროსის დაჭიმულობის ძალა ($g = 10$ მ/წმ²; ამწის ტროსის წონა არ გაითვალისწინოთ).
- 2.7. $1,2$ ტონა მასის ავტომობილის სიჩქარე 5 წმ-ის განმავლობაში 60 მ/წმ-ით მცირდება. რის ტოლია ავტომობილზე მოქმედი ძალების ტოლქმედი?
- 2.8. m მასის სხეული ტოლქმედი ϕ ძალის მოქმედებით დროის t შუალედის განმავლობაში s მანძილზე გადაადგილდება. რა მანძილზე გადაადგილდება $2m$ მასის სხეული დროის $3t$ შუალედში იმავე ტოლქმედი ძალის მოქმედებით (ორივე შემთხვევაში საწყისი სიჩქარე ნულის ტოლია)?
- 2.9. ლიფტის იატაკზე 100 კგ მასის სხეული დევს. განსაზღვრეთ, რა აჩქარებით და რა მიმართულებით მოძრაობს ლიფტი, თუ ტვირთი იატაკზე 1300 ნ ძალით მოქმედებს ($g = 10$ მ/წმ²).
- 2.10. წრფივად მოძრავი ავტომობილის სიჩქარე, რომლის მასა 1 ტონაა, 9 წამის განმავლობაში 20 მ/წმ-იდან 38 მ/წმ-მდე იცვლება.
განსაზღვრეთ:
ა) ავტომობილის აჩქარება;
ბ) ავტომობილის მოძრაობის მიმართულებით მოქმედი ტოლქმედი ძალის მოდული;
გ) ავტომობილზე მოქმედი ძალის იმპულსი;
დ) ავტომობილის გადაადგილება სიჩქარის ცვლილების დროის განმავლობაში.
- 2.11. როგორ შეიცვლება მიზიდულობის ძალა ორ მატერიალურ წერტილს შორის, თუ მათ შორის მანძილი 3 -ჯერ შემცირდება?
- 2.12. რის ტოლია გრავიტაციული ველის დაძაბულობა დედამიწის ზედაპირიდან $3 = 3$ ლედამ. სიმაღლეზე? (დედამიწის ზედაპირზე $g = 9,81$ მ/წმ²).

- 2.13.** 10 კგ მასის ტვირთის მავთულზე დაკიდების დროს მავთული 0,5 მმ-ით წაგრძელდება. განსაზღვრეთ მავთულის სიხისტე ($g = 10 \text{ მ/წმ}^2$).
- 2.14.** ზამბარის 0,15 მ-ით გაჭიმვის დროს მასში 0,006 კნ დრეკადობის ძალა აღიძვრება. რამდენით უნდა გავჭიმოთ ზამბარა, რომ მასში 16 ნ დრეკადობის ძალა აღიძვრას?
- 2.15.** ნახატზე ნაჩვენებია გაჭიმული ზამბარა, რომელზეც 2 კგ მასის ტვირთია დაკიდებული. ზამბარის გვერდით დამაგრებულია სახაზავი. განსაზღვრეთ:
- ა) რომელ დანაყოფზე გაჩერდება ზამბარაზე მიმაგრებული ისარი, თუ ამ ტვირთზე მეორე ასეთივე ტვირთს დავკიდებთ?
- ბ) ზამბარის სიხისტე ($g = 10 \text{ მ/წმ}^2$).

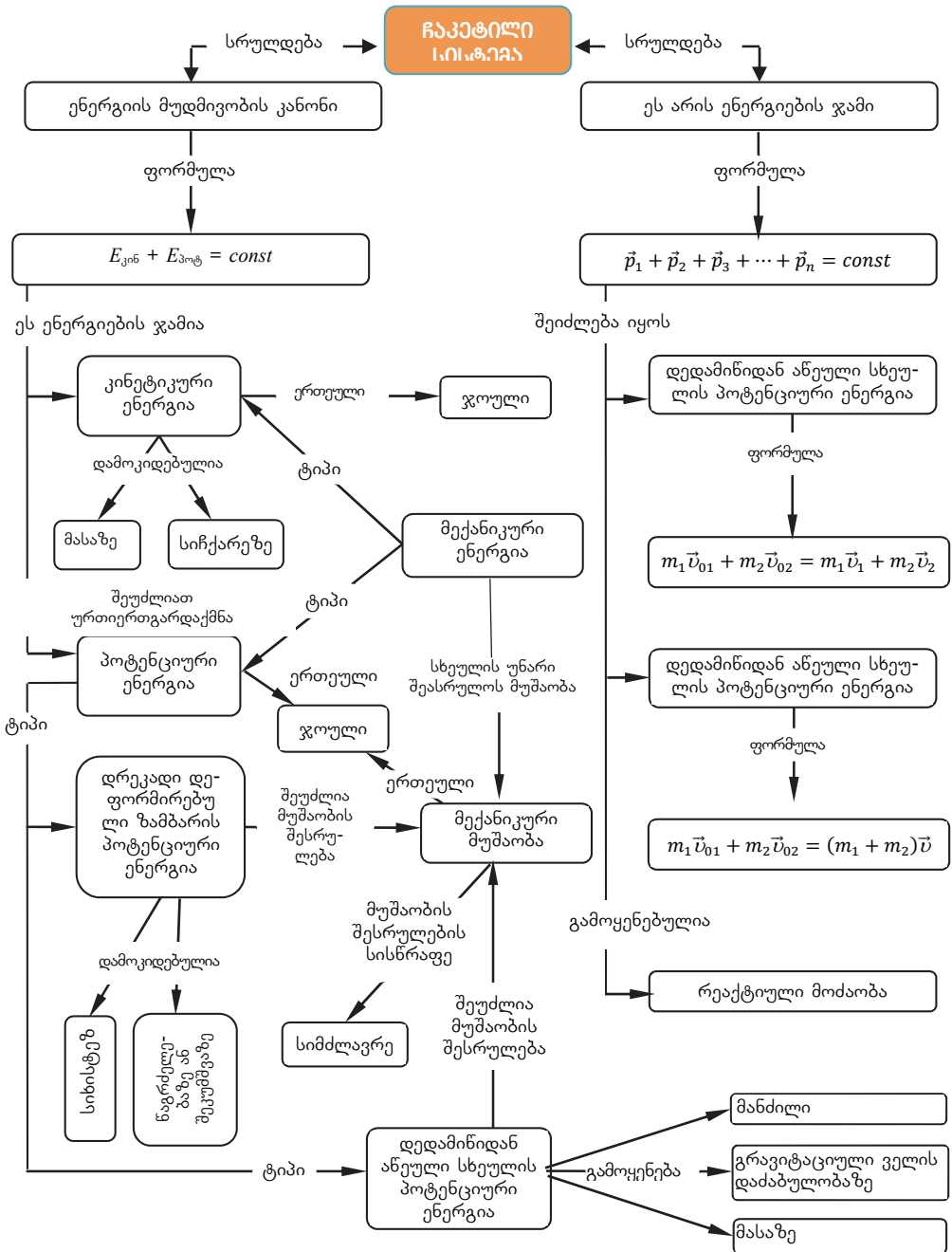


- 2.16.** რა ძალით უნდა მივანვეთ 18 კგ მასის ხის ძელს, რომ თანაბრად ისრიალოს ხის იატაკზე (ხის ხეზე ხახუნის კოეფიციენტი $\mu = 0,5$; $g = 10 \text{ მ/წმ}^2$)?
- 2.17.** 2 ტონა მასის ავტომობილი გზაზე 126 კმ/სთ სიჩქარით მოძრაობს. მძღოლი ხედავს ცხვრის ფარას, რომელიც მისგან 100 მ მანძილზე გადადის გზაზე და იწყებს ავტომობილის დამუხრუჭებას. დაეჯახება თუ არა სრულ გაჩერებამდე ავტომობილი ფარას? (ხახუნის კოეფიციენტი რეზინი-(სველი) ასფალტისთვის $\mu = 0,7$ -ის ტოლია, $g = 10 \text{ მ/წმ}^2$)?
- 2.18.** როგორია იუპიტერის ზედაპირზე პირველი კოსმოსური სიჩქარე?
($\beta = 6,7 \cdot 10^{-11} \text{ ნმ}^2/\text{კგ}^2$; იხ. ცხრილი 2.3)
- 2.19.** მუდმივი 50 ნ-ის ტოლი ძალის მოქმედებით წრფივად მოძრავი სხეულის კოორდინატი დროის მიხედვით შემდეგი კანონით იცვლება: $x = 4 + 3t - t^2$. განსაზღვრეთ: ა) სხეულის მოძრაობის აჩქარება; ბ) სხეულის მასა.
- 2.20.** ძელი, რომლის წონა 1600 ნ-ია, ფოლადის ორ ტროსზეა დაკიდებული. როგორია ფოლადის ტროსების დაჭიმულობის ძალები, თუ ისინი ძელის ცენტრიდან 3 მ და 1 მ მანძილზეა მიმაგრებული (ტროსების წონა არ გაითვალისწინოთ)?

მუდმივობის კანონები

ამ თავის მასალის შესწავლის შემდეგ
თქვენ შეძლებთ:

- იმსჯელოთ, რას ნიშნავს ცნება „ჩაკეტილი სისტემა“, დაასაბუთოთ მეცნიერებაში ამ სისტემების გამოყენების მიზეზის საფუძვლიანობა;
- ახსნათ იმპულსის მუდმივობის კანონი და მარტივი ცდებით მოახდინოთ მისი დემონსტრირება;
- შეადგინოთ და ამოხსნათ რაოდენობრივი და თვისებრივი ხასიათის ამოცანები იმპულსის მუდმივობის კანონის გამოყენებით;
- ახსნათ კინეტიკური და პოტენციური ენერგიების წარმოქმნის მექა-ნიზმი, ცდებით დაადასტუროთ იმ სიდიდეებს შორის კავშირი, რომლებზეც დამოკიდებულია ეს ენერგიები;
- ახსნათ ენერგიის მუდმივობის კანონი და მარტივი ცდებით მოახდინოთ მისი დემონსტრირება;
- შეადგინოთ და ამოხსნათ რაოდენობრივი და თვისებრივი ხასიათის ამოცანები ენერგიის მუდმივობის კანონის გამოყენებით;
- წარმოიდგინოთ ენერგია, როგორც სიდიდე, რომელიც განაპირობებს სხეულის უნარს შეასრულოს მექანიკური მუშაობა და მექანიკური მუშაობის შესრულებისთვის საჭირო პირობები;
- შეადგინოთ და ამოხსნათ რაოდენობრივი და თვისებრივი ხასიათის ამოცანები მექანიკური მუშაობისა და სიმძლავრის განსაზღვრაზე.



3.1 ჩაკეტილი სისტემა. იმპულსის მუდმივობის კანონი



ბარონი მიუნჰაუზენი ამტკიცებდა, თითქოს თავისი თავი ცხენთან ერთად ჭაობიდან საკუთარი თმით ამოიყვანა.

- როგორ ფიქრობთ, მართალია თუ არა ბარონ მიუნჰაუზენის ისტორია, შეიძლება თუ არა, ასეთი რამ მომხდარიყო? რატომ?
- შეეძლო თუ არა ბარონს, ასე გადაერჩინა თავი?

კვლევითი სამუშაო-1. ბურთულების უცნაური შეჯახება

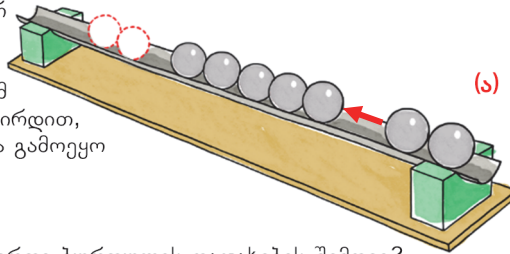
სამუშაოსთვის საჭიროა: გალილეის ღარი, ერთნაირი ზომის ფოლადის ბურთულები (8-10 ცალი), ხის საყრდენი (შტატივი მომჭერითა და მოსრიალე რგოლით).

სამუშაოს მსვლელობა:

1. დადეთ ღარი ჰორიზონტალურ საყრდენზე. მასზე ბურთულები ისე დააღაგეთ, რომ ერთმანეთს ეხებოდნენ (ა). ერთ-ერთ ბურთულას ხელით უბიძგეთ ღარის გასწვრივ. დააკვირდით, რა მოხდება სხვა ბურთულებთან მისი დაჯახების შემდეგ.

2. ცდა გაიმეორეთ: ერთდროულად ორ ბურთულას ხელით უბიძგეთ და დააკვირდით მოვლენების განვითარებას.

3. ცდა გაიმეორეთ: ერთდროულად სამ ბურთულას ხელით უბიძგეთ და დააკვირდით, დაჯახების შემდეგ რამდენი ბურთულა გამოეყო უძრავი ბურთულების რიგს.



იმსჯელეთ შედეგებზე:

- რა შენიშნეთ ბურთულების რიგთან ერთი ბურთულის დაჯახების შემდეგ?
- რამდენი ბურთულა გამოეყო ბურთულების რიგს მასთან შესაბამისად ორი და სამი ბურთულის დაჯახების შემდეგ?
- გამოთქვით მოსაზრება ამ მოვლენის წარმოქმნის მიზეზთან დაკავშირებით.

რა არის ჩაკეტილი სისტემა? როგორც იცით, ბუნებაში მომხდარი ყველა ცვლილების მიზეზი სხეულებს შორის ურთიერთქმედებაა. არსებობს სხვადასხვა სახის ურთიერთქმედება: გრავიტაციული, ელექტრომაგნიტური, ბირთვული და ე. წ. სუსტი ურთიერთქმედება. ურთიერთქმედების შედეგი დამოკიდებულია მის სახეობაზე, აგრეთვე ურთიერთქმედ სხეულებს შორის მანძილსა და მათ თვისებებზე. ყოველ მოვლენაში ერთ-ერთი სახის ურთიერთქმედებაა გადამწყვეტი. მაგ., თუ დიდ მანძილებზე გრავიტაციული ურთიერთქმედებაა გადამწყვეტი, ატომის ბირთვის ზომების მანძილებზე მნიშვნელოვანი ბირთვული ძალების მოქმედება ხდება. გარკვეულ მოვლენებზე დაკვირვების დროს მეცნიერები არ ითვალისწინებენ მეორეხარისხოვან (იმას, რაც ამ მოვლენაში გადამწყვეტი არ არის) ურთიერთქმედებებს. მაგალითად, ვერტმფრენის წევის ძალის გამოთვლის დროს უნდა გავითვალისწინოთ დედამიწის მიზიდულობის ძალა. ამ დროს მთავარის მიზიდულობის ძალა, ვერტმფრენსა და ღრუბლებს შორის არსებული ურთიერთქმედება გასათვალისწინებელი არ არის.

ბუნების ზოგადი სურათის მეცნიერული შესწავლის დროს ერთნაირი თვისებების მქონე ობიექტების ჯგუფი, რომელიც პირობითად იზოლირებულია გარემოსგან, განიხილება როგორც ჩაკეტილი სისტემა.

• **ჩაკეტილი სისტემა** იმ სხეულებისგან შედგენილი სისტემაა, რომლებიც მოცემულ პირობებში მხოლოდ ერთმანეთთან ურთიერთქმედებენ და არ ურთიერთქმედებენ სხვა სხეულებთან (ანუ სხვა სხეულების მოქმედება ერთმანეთს აწონასწორებს). მუდმივობის კანონები მხოლოდ ჩაკეტილ სისტემებში სრულდება.

იმპულსის მუდმივობის კანონი. იმპულსი ერთ-ერთი ფიზიკური სიდიდეა, რომელსაც მუდმივობის თვისება აქვს. ეს თვისება იმაში მდგომარეობს, რომ სხეულების ურთიერთქმედების დროს მათი იმპულსების ჯამი არ იცვლება, ანუ სისტემის სრული იმპულსი მუდმივი რჩება.

• **სისტემის სრული იმპულსი** არის სისტემის შემადგენელი სხეულების იმპულსების გეომეტრიული ჯამი.

სხეულების ურთიერთქმედების შემდეგ მათი იმპულსები იცვლება. მაგალითად, განვიხილოთ ორი სხეულის ურთიერთქმედება.

პირველი სხეულის იმპულსი ურთიერთქმედებამდე აღვნიშნოთ $\vec{p}_{01}$ -ით, ურთიერთქმედების შემდეგ – $\vec{p}_1$ -ით, მეორე სხეულის იმპულსები შესაბამისად – $\vec{p}_{02}$ -ითა და $\vec{p}_2$ -ით. ძალები, რომლებითაც ეს სხეულები ურთიერთქმედებენ, შესაბამისად, $\vec{F}_1$ -ითა და $\vec{F}_2$ -ით აღვნიშნოთ. ნიუტონის III კანონის თანახმად, ქმედება უკუქმედების ტოლია: $\vec{F}_1 = -\vec{F}_2$. თუ ტოლობის ორივე მხარეს ურთიერთქმედების დროზე (Δt) გავამრავლებთ, ამ ჩაკეტილი სისტემისთვის ტოლობა არ დაირღვევა:

$$\vec{F}_1 \cdot \Delta t = -\vec{F}_2 \cdot \Delta t \quad (3.1)$$

იმის გათვალისწინებით, რომ $\vec{F}_1 \cdot \Delta t$ პირველი სხეულის იმპულსის ცვლილება, ხოლო $\vec{F}_2 \cdot \Delta t$ – მეორე სხეულის იმპულსის ცვლილება (იხ. 2.3 თემა), მივიღებთ:

$$\Delta \vec{p}_1 = -\Delta \vec{p}_2$$

ან

$$\vec{p}_1 - \vec{p}_{01} = -(\vec{p}_2 - \vec{p}_{02}). \quad (3.2)$$

• ორი სხეულის ურთიერთქმედების შემდეგ მათი იმპულსების ცვლილების მნიშვნელობები სიდიდით ტოლია და ნიშნით საპირისპირო.

აქედან მივიღებთ, რომ ორი ურთიერთქმედი სხეულის იმპულსების ვექტორული (გეომეტრიული) ჯამი არ იცვლება:

$$\vec{p}_1 + \vec{p}_2 = \vec{p}_{01} + \vec{p}_{02} = \text{const.}$$

თუ ამ გამოსახულებას განვაზოგადებთ n რაოდენობის სხეულისგან შედგენილი ჩაკეტილი სისტემისთვის, მივიღებთ იმპულსის მუდმივობის კანონს:

• ჩაკეტილ სისტემაში შემავალი სხეულების იმპულსების ვექტორული ჯამი მუდმივი სიდიდეა:

$$\vec{p}_1 + \vec{p}_2 + \vec{p}_3 + \dots + \vec{p}_n = \text{const} \quad (3.4)$$

ორი სხეულის დაჯახება. ორი სხეულის დაჯახების შემდეგია მათი დეფორმაცია და აღძრული დრეკადობის ძალების მოქმედების შედეგად მათი იმპულსების ცვლილება. განიხილავენ დაჯახების ორ იდეალიზებულ შემთხვევას: აბსოლუტურად დრეკად და აბსოლუტურად არადრეკად დაჯახებას.

აბსოლუტურად დრეკადი დაჯახება. აბსოლუტურად დრეკადი დაჯახების დროს ხდება სხეულების დრეკადი დეფორმაცია, ანუ სხეულები დეფორმირებული არ რჩება. მაგალითად შეგვიძლია განვიხილოთ ბილიარდის ან ფოლადის ბურთულების დაჯახება. ასეთი დაჯახების დროს მექანიკური ენერგია შინაგან ენერგიად არ გარდაიქმნება – სისტემის სრული მექანიკური ენერგია არ მცირდება: კინეტიკური ენერგია მთლიანად ან ნაწილობრივ დეფორმირებული სხეულების პოტენციურ ენერგიად გარდაიქმნება, რომელიც ისევ ბურთულების კინეტიკურ ენერგიად გარდაიქმნება. აბსოლუტურად დრეკადი დაჯახების დროს სრულდება იმპულსის მუდმივობის კანონი (3.3): ორი სხეულის იმპულსების გეომეტრიული ჯამი მათ აბსოლუტურად დრეკად დაჯახებამდე ტოლია იმპულსების გეომეტრიული ჯამისა მათი აბსოლუტურად დრეკადი დაჯახების შემდეგ:

$$m_1 \vec{v}_{01} + m_2 \vec{v}_{02} = m_1 \vec{v}_1 + m_2 \vec{v}_2 \quad (3.5)$$

სადაც m_1 და m_2 ბურთულების მასებია, რომლებიც ჩაკეტილ სისტემას ქმნიან; $\vec{v}_{01}$ და $\vec{v}_{02}$ ბურთულების სიჩქარეებია დაჯახებამდე, $\vec{v}_1$ და $\vec{v}_2$ – ბურთულების სიჩქარეები დაჯახების შემდეგ.

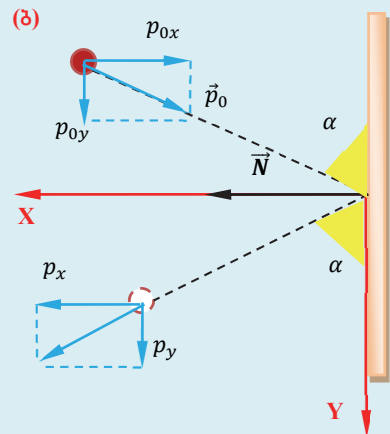
განსაკუთრებული შემთხვევა: ბურთულის აბსოლუტურად დრეკადი დაჯახება კედელთან. დავუშვათ, ბურთულა კედელს α კუთხით ეჯახება (ბ). კედლის რეაქციის ძალა, რომელიც დაჯახების დროს აღიძვრება, კედლის სიბრტყის მართობულია. რადგან N რეაქციის ძალის პროექცია Y ღერძზე 0-ის ტოლია, რაც ნიშნავს, რომ ამ ღერძის გას-წვრივ ბურთულაზე რეაქციის ძალა არ მოქმედებს (ხოლო სიმძიმის ძალის მოქმედებას არ ვითვალისწინებთ), ბურთულის იმპულსის პროექცია Y ღერძზე არ იცვლება. იცვლება მხოლოდ იმპულსის პროექცია X ღერძზე:

$$p_{0y} = p_y;$$

$$\Delta p_x = p_x - p_{0x} = p_x - (-p_x) = 2p_x = 2p_0 \sin \alpha.$$

სადაც α კუთხეა $\vec{p}$ იმპულსის (ანუ სიჩქარის) მიმართულებასა და კედლის სიბრტყეს შორის. რადგან $\Delta p_y = 0$, ანუ იმპულსის მდგენელი y ღერძის გასწვრივ არ იცვლება, ამიტომ ამ შეჯახების დროს იმპულსის ცვლილება ტოლი იქნება:

$$\Delta p = \sqrt{(\Delta p_x)^2 + (\Delta p_y)^2} = \Delta p_x \text{ ან } \Delta p = 2p_0 \sin \alpha.$$



აბსოლუტურად არადრეკადი დაჯახება. აბსოლუტურად არადრეკადი დაჯახების დროს სხეულები დეფორმირებული რჩება. ამ დროს სრული მექანიკური ენერგია მთლიანად ან ნაწილობრივ სისტემის შინაგან ენერგიად გარდაიქმნება. ორი სხეულის აბსოლუტურად არადრეკადი დაჯახების დროს სხეულები ერთმანეთს „ენებებიან“ და ჩერდებიან ან რამე საერთო სიჩქარით აგრძელებენ მოძრაობას.

ამგვარად, იმპულსის მუდმივობის კანონი ორი სხეულის აბსოლუტურად არადრეკადი დაჯახების შემთხვევაში შეგვიძლია შემდეგი სახით ჩავწეროთ:

$$m_1 \vec{v}_{01} + m_2 \vec{v}_{02} = (m_1 + m_2) \vec{v}. \quad (3.6)$$

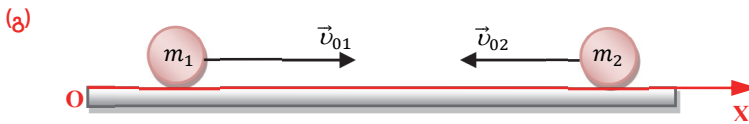
სადაც $\vec{v}$ სხეულების აბსოლუტურად არადრეკადი დაჯახების შემდეგ შეძენილი საერთო სიჩქარეა (სხეულები ჩაკეტილ სისტემას ქმნიან). ეს სიჩქარე შეგვიძლია განვსაზღვროთ (3.6) გამოსახულებიდან:

$$\vec{v} = \frac{m_1 \vec{v}_{01} + m_2 \vec{v}_{02}}{(m_1 + m_2)}. \quad (3.7)$$

კვლევითი სამუშაო-2. გამოყენება. ორი ბურთულის აბსოლუტურად არადრეკადი დაჯახების შესწავლა.

ამოცანა. დაამტკიცეთ, რომ ჰორიზონტალურ ზედაპირზე მოძრავი ორი ბურთულის, რომელთა მასებია m_1 და m_2 ($m_1 > m_2$), ხოლო სიჩქარეები – შესაბამისად v_{01} და v_{02} ($v_{01} > v_{02}$), აბსოლუტურად არადრეკადი ცენტრალური დაჯახების შემდეგ მეორე ბურთულის მიერ შეძენილი სიჩქარე გამოითვლება ფორმულით: $\vec{v}_{01}$ და $\vec{v}_{02}$ ($v_{01} > v_{02}$),

$$v_2 = \frac{m_1 v_{01} - m_2 v_{02}}{m_1 + m_2}.$$



იმსჯელეთ შედეგებზე:

- რა მოქმედებები შევასრულეთ ამ ფორმულის მისაღებად?
- იგივე ბურთულები ერთი მიმართულებით მოძრაობენ ისე, რომ პირველი მოძრაობს მეორე ბურთულისკენ მისი მოძრაობის მიმართულებით. რის ტოლი იქნება მეორე ბურთულის მიერ შეძენილი სიჩქარის მოდული ბურთულების აბსოლუტურად დრეკადი დაჯახების შემდეგ?

შეძენილი ცოდნის გამოყენება:

ბილიარდის პირველ ბურთს მეორე ბურთი დაეჯახა. დაჯახება ცენტრალური და აბსოლუტურად დრეკადია. იმპულსის მუდმივობის კანონის თანახმად, როგორ შეიცვლება დაჯახების შემდეგ პირველი და მეორე ბურთულების სიჩქარეები?

შეაფასეთ თქვენი ცოდნა:

1. რომელი ცნებები გაიმეორეთ გაკვეთილზე? რა გაიგეთ კარგად და რა დარჩა ნაწილობრივ გაუგებარი?
2. რა არის ჩაკეტილი სისტემა და რატომ იყენებენ მეცნიერები კვლევების დროს ასეთ სისტემებს?
3. რა შემთხვევებშია შესაძლებელი ჩაკეტილ სისტემებში იმპულსის მუდმივობის კანონის გამოყენება?
4. ენერგიის როგორი გარდაქმნები ხდება ჩაკეტილ სისტემებში შემაჯავალი სხეულების აბსოლუტურად დრეკადი და აბსოლუტურად არადრეკადი დაჯახებების დროს?
5. მოსწავლე, რომლის მასა 50 კგ-ია, 8 მ/წმ სიჩქარით ეწევა და ხტება ურიკაზე, რომლის მასა 30 კგ-ია და 2 მ/წმ სიჩქარით მოძრაობს. რა სიჩქარით იმოძრავეს ამის შემდეგ ურიკა მოსწავლესთან ერთად?

რა შეიტყუეთ? ჩაწერეთ სამუშაო რვეულში მოყვანილი ცნებების განმარტებები: „ჩაკეტილი სისტემა“, „სისტემის სრული იმპულსი“, „იმპულსის მუდმივობის კანონი“, „აბსოლუტურად დრეკადი დაჯახება“, „აბსოლუტურად არადრეკადი დაჯახება“.

• პრაქტიკა • შევისნავლით რააკტიული მოძრაობა

თეორიული ინფორმაცია. იმპულსის მუდმივობის კანონის პრაქტიკული გამოყენების ერთ-ერთი საინტერესო მაგალითია რეაქტიული მოძრაობა. მე-6 და მე-8 კლასების ფიზიკის კურსებიდან თქვენ იცით, რა არის რეაქტიული მოძრაობა:

• **რეაქტიული მოძრაობა** ეწოდება მოძრაობას, რომელიც მაშინ წარმოიქმნება, როდესაც სხეულს მისი რომელიმე ნაწილი გამოეყოფა და სხეულის მოძრაობის საპირისპირო მიმართულებით ამოძრავდება. მაგალითად, რაკეტის მოძრაობა რეაქტიული მოძრაობის პრინციპზეა დაფუძნებული.

რაკეტის მუშაობის (მოძრაობის) პრინციპი. რაკეტა ჩაკეტილი სისტემაა, რომელიც გარსისა და სანავისგან შედგება. გარსი წარმოადგენს მილს, რომლის ერთი ბოლო დახურულია, მეორე – ღია. გარსის ღია ბოლოზე წამოცმულია საქმენები სანავის წვის შედეგად წარმოქმნილი აირების გამოსასვლელად. რაკეტის მუშაობის დროს სანავი მაღალი წნევის აირად გარდაიქმნება. მაღალი წნევის გამო აირი საქმენებიდან დიდი სიჩქარით გამოიქცევა. ამის შედეგად რაკეტა სანინაღმდეგო მიმართულებით მოძრაობს (ნახ. 1).

დაამტკიცეთ, რომ რაკეტის გარსის სიჩქარე, იმპულსის მუდმივობის კანონის თანახმად, განისაზღვრება ფორმულით:

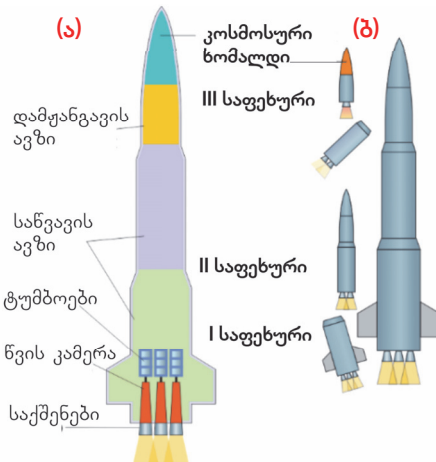
$$v_{\text{გარსი}} = - \frac{m_{\text{აირი}}}{m_{\text{გარსი}}} v_{\text{აირი}}$$

„წყლისძრავიანი რაკეტის“ სტარტი

სამუშაოსთვის საჭიროა: პლასტმასის ბოთლი (1 ლ მოცულობით), წყალი (0,5 ლ), საცობი, ჰაერის ტუმბო რეზინის მილითა და ბურთის გასაბერი ნემსით, სადგამი.

სამუშაოს მსვლელობა.

1. ბოთლის 1/3 შეავსეთ წყლით. დაახურეთ საცობი. ბოთლი სადგამზე დააწვინეთ ძირით ზევით, ჰორიზონტის მიმართ 40-45°-იანი კუთხით.
 2. ნემსით გახვრიტეთ საცობი და ბოთლში სწრაფად ჩატუმბეთ ჰაერი. რამდენიმე წუთის შემდეგ ბოთლში „საინტერესო“ მოვლენა მოხდება და „რაკეტა“ დიდი სიჩქარით ჰაერში აიჭრება (ნახ. 2).
- რა არის „რაკეტის“ ამოძრავების მიზეზი? რომელი ფორმულით გამოითვლება მისი სიჩქარე?



ნახ. 1. რაკეტის სქემა (ა).
სამსაფეხურიანი რაკეტის სქემა (ბ).



ნახ. 2. „რაკეტა“ დიდი სიჩქარით აიჭრება ჰაერში

3.2 მექანიკური მუშაობა და სიმკლავრა



მოსწავლეთა ორი ჯგუფი ბაგირის გადა-
ძალვაში ეჯიბრება ერთმანეთს. დიდი მონ-
დომების შემდეგ მარჯვენა გუნდმა გა-
იმარჯვა.

- რომელი გამოთქმა იქნება უფრო სწორი გამარჯვებული გუნდის შესახებ: „მარჯვენა გუნდი უფრო ძლიერია“ თუ „მარჯვენა გუნდი უფრო მძლავრია“? რატომ?

მექანიკური მუშაობა. მექანიკური მუშაობა ფიზიკური სიდიდეა, რომელიც სხეულის მდგომარეობის ცვლილებას ახასიათებს. მექანიკური მუშაობა დამოკიდებულია ძალის სიდიდესა და მიმართულებაზე, აგრეთვე ძალის მოდების წერტილის გადაადგილებაზე.

• მექანიკური მუშაობა სხეულზე მოქმედი ძალის მოდულის, სხეულის გადაადგილების მოდულისა და ძალის ვექტორსა და გადაადგილების ვექტორს შორის არსებული კუთხის კოსინუსის ნამრავლის ტოლია:

$$A = F \cdot s \cdot \cos \alpha \quad (3.8)$$

მუშაობა სკალარული ფიზიკური სიდიდეა, მაგრამ სხვა სკალარული სიდიდეებისგან განსხვავებით (მაგალითად, მანძილის, მასის, ფართობისა და სხვ.), ის შეიძლება იყოს ნულის ტოლი, პოზიტიური დადებითი და უარყოფითი რიცხვითი მნიშვნელობა. მუშაობის ნიშანი („+“ ან „-“) დამოკიდებულია სხეულზე მოდებული ძალისა და სხეულის გადაადგილების მიმართულებაზე (ბ):

- თუ სხეულზე მოქმედი ძალისა და სხეულის გადაადგილების ვექტორებს შორის კუთხე მახვილია ($0^\circ \leq \alpha < 90^\circ$), მაშინ $\cos \alpha > 0$ და ამ ძალის მიერ შესრულებული მუშაობა დადებითია: $A > 0$;
- თუ სხეულზე მოქმედი ძალისა და სხეულის გადაადგილების ვექტორებს შორის კუთხე ბლაგვია ($90^\circ < \alpha \leq 180^\circ$), $\cos \alpha < 0$ და ამ ძალის მიერ შესრულებული მუშაობა უარყოფითია: $A < 0$;
- თუ სხეულზე მოქმედი ძალა სხეულის გადაადგილების პერპენდიკულარულია ($\alpha = 90^\circ$), თუ $\cos \alpha = 0$ და ეს ძალა მუშაობას არ ასრულებს: $A = 0$.

SI სისტემაში მუშაობის საზომი ერთეულია ჯოული (ჯ):

• ჯოული (1 ჯ) არის მუშაობა, რომელსაც 1 ნ ძალა სხეულის 1 მ მანძილზე ძალის მოქმედების მიმართულებით გადასადგილებლად ასრულებს:

$$[A] = 1 \text{ ნ} \cdot 1 \text{ მ} = 1 \frac{\text{კგ} \cdot \text{მ}^2}{\text{წმ}^2} = 1 \text{ ჯ}.$$

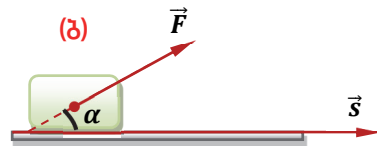
კვლევითი სამუშაო-2.

ერთნაირია თუ არა შესრულებული მუშაობა?

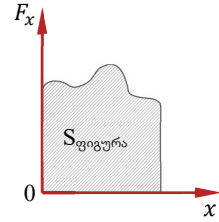
ამოცანა 1. ბაქოსა და განჯას შორის 298 კმ მანძილის გასავლელად თვითმფრინავი 45 წთ-ს ხარჯავს, ვერტმფრენი – 90 წთ-ს. შეიძლება თუ არა იმის თქმა, რომ ეს სატრანსპორტო საშუალებები ერთნაირ მუშაობას ასრულებენ? როგორ შეგვიძლია მათ მიერ შესრულებული მუშაობის ხარისხის შეფასება?

იმსჯელეთ შედეგებზე:

- რაზეა დამოკიდებული შესრულებული მუშაობა?
- რომელი ფიზიკური სიდიდით შეგვიძლია შევაფასოთ ერთი და იმავე მუშაობის შესრულების ხარისხი და სისწრაფე?



განსაკუთრებული შემთხვევა. თუ ცვლადი $\vec{F}$ ძალის მოქმედებით სხეული x ღერძის გასწვრივ გადაადგილდება, ძალის მიერ შესრულებული მუშაობა $\vec{F}$ ძალის გეგმილსა (F_x) და x ღერძზე სხეულის გადაადგილებას შორის დამოკიდებულების გრაფიკსა და x ღერძს შორის წარმოქმნილი ფიგურის ფართობის ტოლია (გ): $A = S_{\text{ფიგურა}}$.

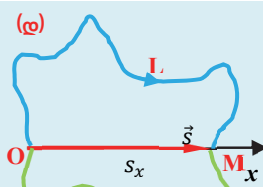


სიდიდითა და მიმართულებით მუდმივი ძალის მიერ შესრულებულ მუშაობას ორი მნიშვნელოვანი თვისება აქვს:

1. ნებისმიერი ჩაკეტილი ტრაექტორიის გასწვრივ მუდმივი ძალის მიერ შესრულებული მუშაობა 0-ის ტოლია, რადგან თუ სხეული საწყის მდგომარეობას უბრუნდება, მისი გადაადგილება 0-ის ტოლია:

$$s = 0 \rightarrow A = F s \cos \alpha = 0.$$

2. მუდმივი ძალის მიერ შესრულებული მუშაობა, რომელიც სხეულს მოცემულ ორ წერტილს შორის გადაადგილებს, არ არის დამოკიდებული ტრაექტორიის ფორმაზე, რომელიც ამ წერტილებს აერთებს. მაგალითად, OLM და ONM ტრაექტორიებზე, რომლებიც O და M წერტილებს აერთებს, მოძრავი სხეულების გადაადგილებები ტოლია, ამიტომ ტოლი იქნება მუშაობებიც, რომლებსაც მუდმივი F ძალა ამ ტრაექტორიებზე ასრულებს (დ):



$$A_{OLM} = A_{ONM} = F_x \cdot s_x.$$

სიმძლავრე. მუშაობის შესრულების სისწრაფე ხასიათდება ფიზიკური სიდიდით, რომელსაც *სიმძლავრე* ეწოდება.

• *სიმძლავრე ეწოდება შესრულებული მუშაობის შეფარდებას დროსთან, რომელიც ამ მუშაობის შესრულებაზე დაიხარჯა:*

$$N = \frac{A}{t}. \quad (3.9)$$

SI სისტემაში სიმძლავრის საზომი ერთეულია ვატი (ვტ):

$$[N] = 1 \frac{\text{ჯ}}{\text{წმ}} = 1 \frac{3\text{ბ} \cdot \text{მ}^2}{\text{წმ}^3} = 1 \text{ვტ}.$$

SI სისტემაში სიმძლავრის საზომ ერთეულად მიღებული სიმძლავრე ვატი (1 ვტ) არის სიმძლავრე, როდესაც 1 ნმ-ში 1 ჯ მუშაობა სრულდება. ინგლისელმა ფიზიკოსმა და გამომგონებელმა ჯეიმს ვატმა 1789 წელს საზოგადოებას შესთავაზა სიმძლავრის საზომი ერთეული – ცხენის ძალა (ცხ.ძ.). ამ ერთეულს ზოგჯერ დღესაც იყენებენ:

$$1 \text{ ცხ.ძ.} = 736 \text{ ვტ}.$$

მუშაობა, რომელსაც მუდმივი ძალა ასრულებს t დროის შუალედში:

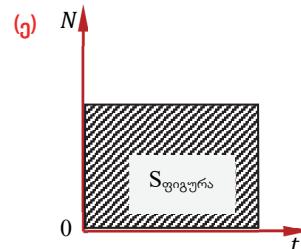
$$A = Nt. \quad (3.9)$$

ამ ფორმულიდან მიღებულია სიმძლავრის საზომი სხვა ერთეული – კილოვატსაათი:

$$1 \text{ ვტ.სთ.} = 3\,600\,000 \text{ ჯ}.$$

მუშაობა რიცხობრივად სიმძლავრის დროზე დამოკიდებულების გრაფიკის ქვემოთ მოთავსებული ფიგურის ფართობის ტოლია (ე):

$$A = S_{\text{ფიგურა}}.$$



წრფივი თანაბარი მოძრაობის დროს სიმძლავრე შეგვიძლია სხეულის სიჩქარის საშუალებით გამოვხატოთ. მაგალითად, ავტომობილის ძრავას სიმძლავრე, როდესაც ავტომობილი წრფივად და თანაბრად მოძრაობს, ტოლია:

$$N = \frac{A}{t} = \frac{F \cdot s}{t} = F \cdot v. (3.11)$$

ამ გამოსახულებიდან ჩანს, რომ თუ ძრავას სიმძლავრე მუდმივია, პატარა სიჩქარეების დროს ვიგებთ წევის ძალაში (ავტომობილის სიჩქარეთა კოლოფის I გადაცემა), ხოლო წევის ძალის პატარა მნიშვნელობის დროს ვიგებთ სიჩქარეში (სიჩქარეთა კოლოფის IV და V გადაცემები):

$$F = \frac{N}{v}; \quad v = \frac{N}{F}.$$

კვლევის საშუალო-2. გამოყენება. რა მუშაობა შეასრულებს ათლეტის კუნთებმა?

ამოცანა 2. ათლეტი 250 კგ მასის შტანგას 2 მ სიმაღლეზე 5 წმ-ის განმავლობაში სწევს. განსაზღვრეთ:

- მუშაობა, რომელსაც ათლეტის კუნთები ასრულებენ ($g = 10 \frac{m}{s^2}$);
- ათლეტის სიმძლავრე ამ მუშაობის შესრულების დროს გამოხატეთ ცხენის ძალით.

იმსჯელეთ შედეგებზე:

- რომელი ფორმულით განსაზღვრეთ მუშაობა, რომელსაც ათლეტის კუნთები ასრულებს? რის ტოლია ჯოულებით გამოხატული ეს მუშაობა?
- როგორი სისწრაფით შეასრულა ათლეტმა ეს მუშაობა?
- რის ტოლია ათლეტის ცხენის ძალით გამოხატული სიმძლავრე?

შეძენილი ცოდნის გამოყენება ყოველდღიურ ცხოვრებაში:

სპორტული ბოლიდისა („ფორმულა 1“-ის სპორტული მანქანის) და გუთნიანი ტრაქტორის ძრავას სიმძლავრეები ტოლია (3). რომელ მათგანში იხარჯება სიმძლავრე ძალის მოგებაზე და რომელში – სიჩქარის მოგებაზე? პასუხი დაასაბუთეთ.



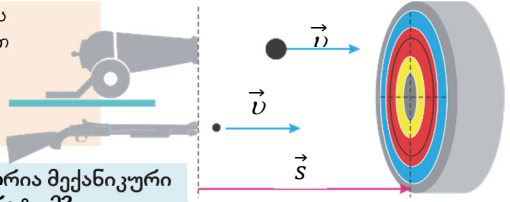
შეფასეთ თქვენი ცოდნა:

- რომელი ცნებები გაიმეორეთ გაკვეთილზე? რა გაიგეთ კარგად და რა დარჩა ნაწილობრივ გაუგებარი?
- რომელ შემთხვევაში ასრულებს სიმძიმის ძალა დადებით მუშაობას: როდესაც ბურთი ვერტიკალურად ზევით მოძრაობს თუ როცა ბურთი გარკვეული სიმაღლიდან ვარდება? პასუხი დაასაბუთეთ.
- ბურთი, რომელიც წყლის ზედაპირზე ტივტივებს, გარკვეულ სიღრმეზე ჩავძიროთ და ხელი გავუშვათ. ბურთი წყლის ზედაპირზე ამოვა. როდის არის ბურთზე მოქმედი არქიმედეს ძალის მუშაობა დადებითი და როდის უარყოფითი? რატომ?
- შეიძლება თუ არა, მოცემული სიმძლავრის დროს ერთდროულად ძალაშიც მოვიგოთ და სიჩქარეშიც? რატომ?

რა შეიტყვეთ? საშუალო რვეულში ჩანერეთ მოყვანილი ცნებების განმარტებები: „მექანიკური მუშაობა“, „ჯოული“, „სიმძლავრე“, „ვატი“.

3.3 ენერგია – სისტემის უნარი შეასრულოს მუშაობა. კინეტიკური ენერგია

თოფიდან გასროლილი ტყვია და ქვემეხის ჭურვი ტოლი ჰორიზონტალური სიჩქარით მოძრაობენ, ტოლ გადაადგილებებს ასრულებენ და ერთ სამიზნეს ხვდებიან.



- შეიძლება თუ არა იმის თქმა, რომ ერთნაირია მექანიკური მუშაობაც, რომელიც მათ შეასრულეს? რატომ?

ენერგია არის სისტემის უნარი შეასრულოს მუშაობა. თქვენ უკვე იცით, რომ ერთ-ერთი ფიზიკური სიდიდე, რომელიც სხეულების ჩაკეტილ სისტემაში მუდმივია, სისტემაში შემავალი სხეულების საერთო (ჯამური) იმპულსია.

მეორე, ასევე მნიშვნელოვანი ფიზიკური სიდიდე, რომელსაც ჩაკეტილ სისტემაში მუდმივობის თვისება აქვს, არის **ენერგია**. ყოველდღიურ ცხოვრებაში ენერგიის ცნება ხშირად გამოიყენება (ენერგიის თემა ყველაზე ხშირად განიხილება საერთაშორისო ეკონომიკურ მოლაპარაკებებზე). თქვენ საკმარისი ინფორმაცია გაქვთ ენერგიის სხვადასხვა სახეობასა და მათ ურთიერთგარდაქმნაზე. ყველაზე საინტერესოა, რომ ფიზიკოსებმა თითოეული სახის ენერგიისთვის გამოსათვლელი ფორმულა დაადგინეს. ამ ფორმულებით ჩატარებული გამოთვლები ყოველთვის ადასტურებს, რომ სხეულთა ჩაკეტილ სისტემაში ყველა სახის ენერგიების ჯამი მუდმივი სიდიდეა, ხდება მხოლოდ ენერგიების ურთიერთგარდაქმნა ჩაკეტილი სისტემის შიგნით.

როგორც იცით, ენერგია სხეულს ახასიათებს მუშაობის შესრულების უნარის მიხედვით (იხ. ფიზიკა 7, გვ. 62). მეორე მხრივ, ენერგია არის სხეულის მოძრაობისა და სხეულების ურთიერთქმედების ზოგადი მახასიათებელი. მოძრავი სხეულის მახასიათებელია მისი კინეტიკური ენერგია, ხოლო ურთიერთქმედი სხეულების – პოტენციური ენერგია.

მუშაობა, რომელსაც ასრულებს სხეულზე მოქმედი ძალა და მოძრავი სხეულის კინეტიკური ენერგია. თუ სხეულზე მოქმედი ძალა მუშაობას ასრულებს, სხეულის სიჩქარის მოდული v_1 -დან v_2 -მდე იცვლება, ანუ სხეული იძენს აჩქარებას. სიმარტივისთვის დავუშვათ, რომ სხეულზე მოქმედი ძალების ტოლქმედი F სიდიდითა და მიმართულებით მუდმივია და დადებით მუშაობას ასრულებს. ამ შემთხვევაში სხეული იმოდრავებს თანაბრად აჩქარებულად, $a = \frac{F}{m}$, აჩქარებით და F ძალის მიერ შესრულებული მუშაობა იქნება:

$$A = F \cdot s = ma \cdot \frac{v_2^2 - v_1^2}{2a}$$

ან

$$A = \frac{mv_2^2}{2} - \frac{mv_1^2}{2}. \quad (3.12)$$

კვლევითი სამუშაო-1. გამოყენება.

რომელი ფიზიკური სიდიდის ცვლილების ხარჯზე შესრულდა მუშაობა?

ამოცანა 1. ავტობუსი, გამართული ძრავითი, გარკვეული დროის განმავლობაში მოძრაობს ჰორიზონტალურ გზაზე და ჩერდება.

იმსჯელეთ შედეგებზე:

- რომელი ძალების დასაძლევად შეასრულა ავტობუსმა მუშაობა?
- რომელი ფიზიკური სიდიდის ცვლილების ხარჯზე შესრულდა ეს მუშაობა?

ბოლო ფორმულაში სიდიდე $\left(\frac{mv^2}{2}\right)$ გამოხატავს ფიზიკურ სიდიდეს, რომელსაც სხეულის კინეტიკური ენერგია ეწოდება.

• კინეტიკური ენერგია არის ენერგია, რომელიც სხეულს მოძრაობის დროს უზრუნველყოფს:

$$E_k = \frac{mv^2}{2}. \quad (3.13)$$

კინეტიკური ენერგიის მქონე სხეულს თვითონაც შეუძლია მუშაობის შესრულება. კინეტიკური ენერგია დამოკიდებულია სხეულის სიჩქარის მოდულსა (სიჩქარის მიმართულებაზე დამოკიდებული არ არის) და სხეულის მასაზე. თუ (3.12) ფორმულაში გავითვალისწინებთ (3.13)-ს, მივიღებთ გამოსახულებას, რომელსაც კინეტიკური ენერგიის თეორემის გამოსახულება ეწოდება:

• მუშაობა, რომელსაც სხეულზე მოქმედი მუდმივი ძალა ასრულებს, ამ სხეულის კინეტიკური ენერგიის ცვლილების ტოლია:

$$A = E_{k62} - E_{k61} = \Delta E_{kin} \quad (3.14)$$

სადაც E_{k61} და E_{k62} სხეულის საწყისი და საბოლოო კინეტიკური ენერგიებია. კინეტიკური ენერგია სკალარული ფიზიკური სიდიდეა და, მუშაობისაგან განსხვავებით, ან დადებითი სიდიდეა, ან ნულის ტოლია (როდესაც სხვა სახის ენერგიად გარდაიქმნება). (3.14) გამოსახულებიდან ჩანს, რომ:

ა) თუ მუშაობა, რომელსაც სხეულზე მოქმედი მუდმივი ძალა ასრულებს, დადებითია ($A > 0$), სხეულის კინეტიკური ენერგიის ცვლილება ნულზე მეტია: $E_{k2} - E_{k1} > 0$. ე. ი. სხეულის კინეტიკური ენერგია იზრდება;

ბ) თუ მუშაობა, რომელსაც სხეულზე მოქმედი მუდმივი ძალა ასრულებს, უარყოფითია ($A < 0$), სხეულის კინეტიკური ენერგიის ცვლილება ნულზე ნაკლებია: $E_{k2} - E_{k1} < 0$. ე. ი. სხეულის კინეტიკური ენერგია მცირდება;

გ) თუ მუშაობა, რომელსაც სხეულზე მოქმედი მუდმივი ძალა ასრულებს, ნულის ტოლია ($A = 0$), სხეულის კინეტიკური ენერგიის ცვლილება ნულის ტოლია: $E_{k2} - E_{k1} = 0$. ე. ი. სხეულის კინეტიკური ენერგია არ იცვლება: $E_{k2} = E_{k1} = const$.

კინეტიკური ენერგიის თეორემიდან ჩანს, რომ მუშაობის მსგავსად, კინეტიკური ენერგიის საზომი ერთეულიც SI სისტემაში არის ჯოული (1ჯ): $[E_{kin}] = 1 \text{ ჯ}$.

რადგან სიჩქარე იმპულსთანაა დაკავშირებული, კინეტიკური ენერგიაც იმპულსთან არის დაკავშირებული:

$$E_k = \frac{mv^2}{2} = \frac{pv}{2} = \frac{p^2}{2m}. \quad (3.15)$$

თუ ცნობილია სხეულის მასა, შეგვიძლია კინეტიკური ენერგიის საშუალებით გამოვსაზოთ სხეულის სიჩქარე და იმპულსი:

$$v = \sqrt{\frac{2E_k}{m}}. \quad (3.16)$$

$$p = \sqrt{2mE_k}. \quad (3.17)$$

კვლევითი სამუშაო-2. გამოყენება.

ამოცანა 2. m მასის რაკეტა v სიჩქარით მიფრინავს. რადგან რაკეტის მასა სანავის წვის გამო ორჯერ მცირდება, რაკეტის სიჩქარე ორჯერ იზრდება. როგორ შეიცვლება ამ დროს რაკეტის კინეტიკური ენერგია?

ამოცანა 3. რა მუშაობა უნდა შესრულდეს 1000 ტონა მასის მატარებლის გასაჩერებლად, რომელიც 108 კმ/სთ სიჩქარით მოძრაობს?

მისჯელი შედეგები:

- რის ტოლია რაკეტის კინეტიკური ენერგიის ცვლილება? როგორ განსაზღვრეთ ეს ცვლილება?
- რომელი ფორმულით განსაზღვრეთ მუშაობა, რომელიც საჭიროა მატარებლის გასაჩერებლად? რატომ?

შეძენილი ცოდნის გამოყენება ყოველდღიურ ცხოვრებაში: ზამთრის არდადეგების დროს ორი მოსწავლე ბაქოდან სტამბულში თვითმფრინავით გაემგზავრა. თვითმფრინავი 8000 მ სიმაღლეზე მიფრინავდა. ამ დროს ერთი მოსწავლე მეორეს ეუბნება: თვითმფრინავი მიფრინავს, ჩვენ უძრავები ვართ. ეს ნიშნავს, რომ თვითმფრინავს კინეტიკური ენერგია აქვს, ჩვენი კინეტიკური ენერგია კი ნულის ტოლია. მეორე მოსწავლე არ დაეთანხმა: არა, ცდები, კინეტიკური ენერგია ჩვენც გვაქვს.

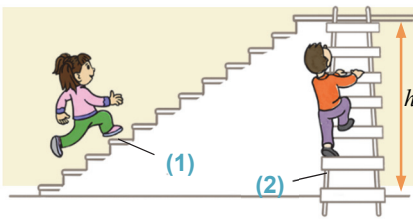
• რომელი მოსწავლეა მართალი? აქვს თუ არა კინეტიკური ენერგია მგზავრს, რომელიც მოძრავ თვითმფრინავშია? პასუხი დაასაბუთეთ.

შეფასეთ თქვენი ცოდნა:

1. რომელი ცნებები გაიმეორეთ გაკვეთილზე? რა გაიგეთ კარგად და რა დარჩა ნაწილობრივ გაუგებარი?
2. რა დასკვნის გაკეთება შეიძლება კინეტიკური ენერგიის თეორეტიკური დასაბუთების მიხედვით?
3. რაზე დამოკიდებულია კინეტიკური ენერგია?
4. რა შემთხვევაშია კინეტიკური ენერგია 0-ს ტოლი?
5. დამოკიდებულია თუ არა კინეტიკური ენერგია ათვის სისტემის არჩევაზე? პასუხი დაასაბუთეთ.

რა შეიტყვეთ? დაწერეთ სამუშაო რეგულში დასახელებული ცნებების განმარტებები: „ენერგია“, „კინეტიკური ენერგია“, „კინეტიკური ენერგიის თეორემა“, „კინეტიკური ენერგია შეიძლება გაიზარდოს, შემცირდეს ან ნულის ტოლი იყოს...“, „ვატი“.

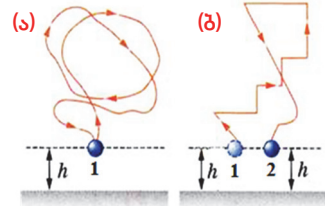
3.4 პოტენციური ენერგია



- რომელ შემთხვევაში შეასრულებს ნაკლებ მუშაობას ბავშვი: როდესაც h სიმაღლეზე დახრილი კიბით ადის (1), თუ როდესაც ვერტიკალური კიბით ადის (2)? რატომ?

კვლევითი სამუშაო-1. რის ტოლია სიმძიმის ძალის მუშაობა?

ამოცანა 1. სხეული მოძრაობას იწყებს წერტილ 1-იდან, რომელიც ჰორიზონტალური ზედაპირიდან h სიმაღლეზეა და რთული ტრაექტორიის შემოწერის შემდეგ ისევ წერტილ 1-ში ბრუნდება (ა). მეორე ასეთივე სხეული მოძრაობას იწყებს წერტილ 1-იდან და ამთავრებს წერტილ 2-ში (ბ). რით განსხვავდება სიმძიმის ძალის მუშაობები ამ შემთხვევებში?



იმსჯელეთ შედეგებზე:

- რაზე დამოკიდებულია სიმძიმის ძალა?
- შეიძლება თუ არა, სიმძიმის ძალის მუშაობა ნულის ტოლი იყოს? რატომ?

სიმძიმის ძალის მუშაობა და პოტენციური ენერგია. დავუშვათ, ჩაკეტილი სისტემა შედგება დედამიწისა და მისი ზედაპირიდან გარკვეულ h_1 სიმაღლეზე ატანილი სხეულისაგან. თუ სხეულს ამ სიმაღლეზე ხელს გავუშვებთ, სიმძიმის ძალის მოქმედებით ის დედამიწის ზედაპირის მიმართულებით ამოძრავდება. სხეულის $\vec{v}$, გადაადგილებისთვის დედამიწის ზედაპირიდან გარკვეულ h_2 სიმაღლემდე სიმძიმის ძალა დადებით მუშაობას შეასრულებს (რადგან ძალის მიმართულება სხეულის გადაადგილების მიმართულებას ემთხვევა) (ა):

$$A = F_T \cdot s = mg(h_1 - h_2). \quad (3.18)$$

სადაც $s = h_1 - h_2$ არის h_1 -იდან h_2 სიმაღლემდე თავისუფლად ვარდნილი (ანუ სიმძიმის ძალის მოქმედებით) სხეულის გადაადგილების მოდული.

თუ სხეული h_1 სიმაღლიდან ვერტიკალურად ზევითაა ასროლილი, h_2 სიმაღლის მიღწევის მომენტში სხეულის გადაადგილების მოდული ტოლი იქნება $s = h_2 - h_1$ (დ).

რადგან სიმძიმის ძალის ვექტორი გადაადგილების ვექტორის საწინააღმდეგოდაა მიმართული, სიმძიმის ძალა უარყოფით მუშაობას შეასრულებს:

$$A = -F_T \cdot s = -mg(h_2 - h_1) = mg(h_1 - h_2). \quad (3.19)$$

გამოსახულებები (3.19) და (3.18) ერთმანეთის მსგავსია, ე. ი. ვერტიკალურად ზევით მოძრაობის დროს და იმავე სიმაღლიდან ვარდნის დროს სხეული ერთნაირ მუშაობას ასრულებს.

- სიმძიმის ძალის მიერ შესრულებული მუშაობა არ არის დამოკიდებული სხეულის მოძრაობის ტრაექტორიაზე. სიმძიმის ძალის მუშაობა დამოკიდებულია სხეულის სიმძიმის ცენტრის საწყის და საბოლოო სიმაღლეზე.
- ძალებს, რომელთა მუშაობა არ არის დამოკიდებული სხეულის მოძრაობის ტრაექტორიაზე, **კონსერვატიული ძალები** ეწოდება. ეს ნიშნავს, რომ სიმძიმის ძალა კონსერვატიული ძალაა.

(3.18) ფორმულა შეგვიძლია შემდეგი სახით ჩავწეროთ:

$$A = mg(h_1 - h_2) = mgh_1 - mgh_2$$

ა6

$$A = -(mgh_2 - mgh_1). \quad (3.20)$$

ვხედავთ, რომ სიმძიმის ძალის მუშაობა mgh სიდიდის ცვლილების ტოლია საწინააღმდეგო ნიშნით. ეს სიდიდე დედამიწის ზედაპირიდან h სიმაღლეზე მყოფი სხეულის დედამიწასთან ურთიერთქმედების ენერგიაა.

- ენერგიას, რომელიც ურთიერთქმედ სხეულებს (ან სხეულის ურთიერთქმედ ნაწილებს) აქვთ, პოტენციური ენერგია ეწოდება:

$$E_p = mgh. \quad (3.21)$$

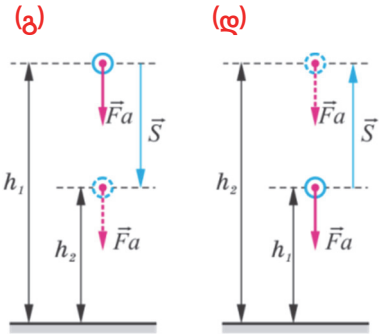
თუ (3.21) გამოსახულებას (3.20) გამოსახულებაში გავითვალისწინებთ, მივიღებთ გამოსახულებას, რომელსაც პოტენციური ენერგიის თეორემის გამოსახულება ეწოდება:

- სიმძიმის ძალის მიერ შესრულებული მუშაობა საპირისპირო ნიშნით აღებული სხეულის პოტენციური ენერგიის ცვლილების ტოლია:

$$A = -(E_{\text{პოტ}2} - E_{\text{პოტ}1}) = -\Delta E_{\text{პოტ}} \quad (3.22)$$

პოტენციური ენერგიის თეორემიდან ჩანს, რომ პოტენციური ენერგიის, ისევე როგორც მუშაობის, საზომი ერთეული SI სისტემაში არის ჯოული (1ჯ): $[E_{\text{პოტ}}] = 1\text{ჯ}$.

იმ სხეულის პოტენციური ენერგია, რომელზეც სიმძიმის ძალა მოქმედებს, დამოკიდებულია ნულოვანი დონის არჩევაზე. ნულოვან დონედ შეგვიძლია მივიღოთ ზღვის დონე, მაგიდის ზედაპირი, ოთახის იატაკი და სხვ. თითო-ეული ამ ზედაპირის მიმართ გარკვეულ სიმაღლეზე არსებული სხეულის პოტენციური ენერგია სხვადასხვაა. მაგრამ სხეულის პოტენციური ენერგიების სხვაობა მის ორ სხვადასხვა მდგომარეობაში არ არის დამოკიდებული ნულოვანი დონის არჩევაზე. სხეულის პოტენციური ენერგიის ცვლილებას განსაზღვრავს სიმძიმის ძალის მიერ შესრულებული მუშაობა. აქედან ჩანს



პოტენციური ენერგიის ფიზიკური აზრი: სხეულის პოტენციური ენერგია h სიმაღლეზე ტოლია მუშაობისა, რომელსაც სიმძიმის ძალა ასრულებს სხეულის h სიმაღლიდან ნულოვან დონეზე ვარდნის დროს.

დადებითი იქნება თუ უარყოფითი სხეულის პოტენციური ენერგია, დამოკიდებულია ნულოვანი დონის არჩევაზე. ნულოვანი დონის ზედაპირიდან h სიმაღლეზე სხეულის პოტენციური ენერგია დადებითია, ხოლო იმავე ზედაპირიდან h სიღრმეზე – უარყოფითი.

დრეკადობის ძალის მუშაობა და პოტენციური ენერგია. დრეკადობის ძალა კიდევ ერთი კონსერვატიული ძალაა. ამიტომ დრეკადობის ძალის მიერ შესრულებული მუშაობაც სხეულის პოტენციური ენერგიის ცვლილების ტოლია. შევინავლოთ ეს საკითხი: ზამბარის ერთი ბოლო საყდენზე მივამაგრეთ, მეორე ბოლოზე კი მივამაგრეთ ბურთულა, რომელსაც მეტალის ჰორიზონტალური ღერის გასწვრივ თავისუფლად სრიალი შეუძლია. ბურთულა მარჯვნივ გავწიოთ, ამ დროს ზამბარა x_1 -ით წაგრძელდება. ზამბარაში აღიძვრება დრეკადობის ძალა, რომლის მოდული $F_{\text{დრეკ}} = -kx_1$. ამ ძალის მოქმედებით ბურთულა მარცხნივ ამოძრავდება და მაგალითად, 1-ლი მდგომარეობიდან მე-2 მდგომარეობაში გადაადგილდება (ე). თუ მეორე მდგომარეობაში ზამბარის წაგრძელება x_2 -ია, ბურთულის გადაადგილება s ზამბარის წაგრძელებების სხვაობის ტოლი იქნება: $s = x_1 - x_2$. რადგან ბურთულის გადაადგილების მიმართულება ემთხვევა დრეკადობის ძალის მოქმედების მიმართულებას, ამ ძალის მიერ შესრულებული მუშაობა დადებითი იქნება, მაგრამ უნდა გავითვალისწინოთ, რომ დრეკადობის ძალის მოდული მუდმივი სიდიდე არ არის – მისი მნიშვნელობა kx_1 -იდან kx_2 -მდე იცვლება. ამიტომ დრეკადობის ძალის მოდულის საშუალო მნიშვნელობა ამ უბანზე მისი საწყისი (kx_1) და საბოლოო (kx_2) მნიშვნელობების საშუალო არითმეტიკულის ტოლი იქნება:

$$F_{\text{დრეკ. საშ.}} = \frac{kx_1 + kx_2}{2}.$$

ამგვარად, დეფორმირებული ზამბარა ასრულებს დადებით მუშაობას:

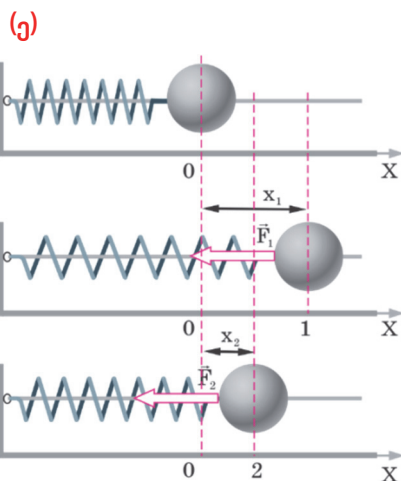
$$A = F_{\text{დრეკ. საშ.}} \cdot s_x = F_{\text{დრეკ. საშ.}} \cdot (x_1 - x_2) = \frac{kx_1 + kx_2}{2} \cdot (x_1 - x_2)$$

$$\text{ან } A = \frac{kx_1^2}{2} - \frac{kx_2^2}{2}.$$

ეს ფორმულა შეგვიძლია შემდეგნაირადაც ჩავწეროთ:

$$A = -\left(\frac{kx_2^2}{2} - \frac{kx_1^2}{2}\right). \quad (3.23)$$

როგორც ვხედავთ, დრეკადობის ძალის მიერ შესრულებული მუშაობა დამოკიდებულია ზამბარის დეფორმაციის სიდიდის საწყის და საბოლოო მნიშვნელობაზე.



(3.20) და (3.23) ფორმულების შედარებიდან ჩანს, რომ დრეკადობის ძალის მუშაობაც რომელიღაც სიდიდის, კონკრეტულად $\frac{kx^2}{2}$ სიდიდის, ცვლილების ტოლია. ეს სიდიდე ზამბარისა და ბურთულის ურთიერთქმედების პოტენციური ენერგიაა:

• დეფორმირებული დრეკადი ზამბარის პოტენციური ენერგია მისი სიხის-ტის ნახევრისა და წაგრძელების (ან შეკუმშვის) სიდიდის კვადრატის ნამრავლის ტოლია:

$$E_{\text{პოტ.}} = \frac{kx^2}{2}. \quad (3.24)$$

შემოქმედებითი სამუშაო-2.

ამოცანა 2. დაამტკიცეთ, რომ სხეულზე სიმძიმის ძალის მოქმედების გამო სხეულის მიერ შესრულებული მუშაობა მისი 1-იდან მე-2 მდგომარეობაში გადაადგილების დროს არ არის დამოკიდებული სხეულის მოძრაობის ტრაექტორიაზე (ა ან ბ) (ვ).

შენიშვნა. ტრაექტორია დაყავით მცირე ზომის სწორხაზოვან ვერტიკალურ და ჰორიზონტალურ მონაკვეთებად და შეკრიბეთ ვერტიკალურ მონაკვეთებზე შესრულებული მუშაობები.

ამოცანა 3. ზამბარა, რომლის სიხისტეა 300 ნ/მ, გარე ძალის მოქმედებით 2 სმ-ით შეიკუმშა. დამატებით რა მუშაობა უნდა შეასრულოს გარე ძალამ, რომ ზამბარა კიდევ 2 სმ-ით შეკუმშოს?

შენიშვნა. ზამბარის შესაკუმშად x_1 მდგომარეობიდან x_2 მდგომარეობამდე გარე ძალა ასრულებს მუშაობას: $A = \frac{k}{2}(x_2^2 - x_1^2)$.

იმსჯელეთ შედეგებზე:

• რატომ არ არის სიმძიმის ძალის მიერ შესრულებული მუშაობა დამოკიდებული სხეულის მოძრაობის ტრაექტორიაზე?

• თუ სხეულმა მოძრაობა წერტილ 1-იდან დაიწყო და ab ტრაექტორიით ისევ წერტილ 1-ში დაბრუნდა, მაშინ:

ა) რის ტოლი იქნება სხეულზე მოქმედი სიმძიმის ძალის მუშაობა?

ბ) რის ტოლია სხეულის პოტენციური ენერგიის ცვლილება?

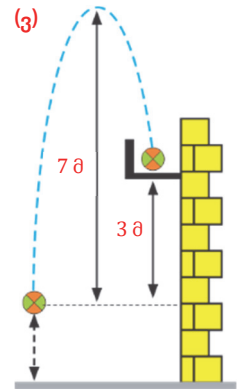
გ) როგორ შეიცვალა სხეულის პოტენციური ენერგია?

შეძენილი ცოდნის გამოყენება ყოველდღიურ ცხოვრებაში: მოსწავლეს 100 გ მასის ბურთის აივანზე შეგდება უნდა. აივანი ბურთის სროლის წერტილიდან 3 მ სიმაღლეზეა. რადგან მან სროლის ძალა კარგად ვერ გათვალა, ბურთი 7 მ სიმაღლეზე ავიდა და შემდეგ დაეცა აივანზე (ზ).

• რის ტოლია სიმძიმის ძალის მუშაობა ბურთის მოძრაობის მთელ ტრაექტორიაზე ($g = 10 \text{ მ/წმ}^2$)?

შეაფასეთ თქვენი ცოდნა:

1. რომელი ცნებები გაიმეორეთ გაკვეთილზე? რა გაიგეთ კარგად და რა დარჩა ნაწილობრივ გაუგებარი?
2. რის ტოლია სიმძიმის ძალის მიერ შესრულებული მუშაობა?
3. რატომ არის სიმძიმის ძალა კონსერვატიული ძალა?
4. რა შემთხვევაში ამბობენ რომ სხეულს პოტენციური ენერგია აქვს?
5. რას ნიშნავს პოტენციური ენერგიის ნულოვანი დონე?
6. რაზეა დამოკიდებული დეფორმირებული დრეკადი სხეულის პოტენციური ენერგია?



რა შეიტყუეთ? ჩაწერეთ სამუშაო რეგულში დასახელებული ცნებების განმარტებები: „სიმძიმის ძალის მუშაობა“, „პოტენციური ენერგია“, „პოტენციური ენერგიის თეორემა“, „პოტენციური ენერგია უარყოფით მნიშვნელობას იძენს...“, „პოტენციური ენერგია დადებით მნიშვნელობას იძენს...“, „კონსერვატიული ძალა“, „დეფორმირებული დრეკადი სხეულის პოტენციური ენერგია“.

3.5 სრული მექანიკური ენერგია. ენერგიის მუდმივობის კანონი



აზერბაიჯანის პირველი ხელოვნური თანამგზავრი „Azerspace /Afrikasat-1a“ გარკვეული სიჩქარით მოძრაობს დედამიწის ირგვლივ წრიულ ორბიტაზე და შეიძლება ითქვას, რომ ახდენს ინფორმაციის მიმოცვლას ყველა კონტინენტის რადიოსადგურებს შორის (ა).

• რომელი ენერგია აქვს ამ თანამგზავრს: კინეტიკური თუ პოტენციური? რატომ?

კვლევათი სამუშაო-1. როგორ იცვლება სრული მექანიკური ენერგია?

ამოცანა 1. ნახატზე წარმოდგენილი ტრაექტორიის წერტილ 1-იდან გაშვებული მ მასის ბურთულა ხახუნის გარეშე მოძრაობს (ბ). რომელ წერტილ-ებშია ბურთულის სრული მექანიკური ენერგია:

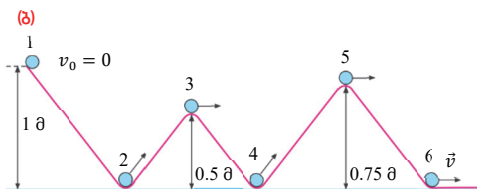
ა) მაქსიმალური? ბ) მინიმალური? გ) ერთნაირი?

შენიშვნა. შეგიძლიათ გამოიყენოთ

ცოდნა ენერგიის მუდმივობის კანონის შესახებ (იხ. ფიზიკა 7, გვ 71-72).

იმსჯელეთ შედეგებზე:

- რის ტოლია ბურთულის სრული მექანიკური ენერგია ტრაექტორიის 1 წერტილში?
- რის ტოლია ბურთულის სრული მექანიკური ენერგია ტრაექტორიის 2, 4 და 6 წერტილებში?
- რის ტოლია ბურთულის სრული მექანიკური ენერგია ტრაექტორიის 3 და 5 წერტილებში?



სრული მექანიკური ენერგია. სხეულს ან სხეულების სისტემას შეიძლება ერთდროულად ჰქონდეს როგორც კინეტიკური, ისე პოტენციური ენერგია. მაგალითად, თვითმფრინავს, რომელიც გარკვეულ სიმაღლეზე გარკვეული სიჩქარით მიფრინავს, აქვს როგორც კინეტიკური ენერგია, ისე, დედამიწის მიზიდულობის გამო, პოტენციური ენერგია.

• სხეულის ან სხეულთა სისტემის კინეტიკური და პოტენციური ენერგიების ჯამს სისტემის **სრული მექანიკური ენერგია** ეწოდება:

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

ყოველგვარ ურთიერთქმედებას თან ახლავს ენერგიის გარდაქმნა. სხეულის კინეტიკური ენერგია შეიძლება გარდაიქმნას პოტენციურად და პირიქით. თუ სხეულის პოტენციური ენერგია მცირდება (იზრდება), მისი კინეტიკური ენერგია იმდენითვე იზრდება (მცირდება).

სრული მექანიკური ენერგიის მუდმივობის კანონი. თქვენ იცით, რომ სიმძიმისა და დრეკადობის ძალები კონსერვატიული ძალებია და მათ მიერ შესრულებული მუშაობები სისტემის პოტენციური ენერგიის ცვლილების ტოლია „-“ ნიშნით. მეორე მხრივ, ეს მუშაობები სისტემის კინეტიკური ენერგიის ცვლილების ტოლია:

$$\begin{cases} A = -(E_{p2} - E_{p1}) \\ A = E_{k2} - E_{k1}. \end{cases}$$

გარკვეული გადაჯგუფების შემდეგ გამოსახულება შეგვიძლია შემდეგი სახით ჩავწეროთ:

$$E_{k2} - E_{k1} = E_{p1} - E_{p2}.$$

აქედან მივიღებთ:

$$E_{k2} + E_{p2} = E_{k1} + E_{p1}, \text{ ანუ } E_n = \text{const.} \quad (3.25)$$

მიღებული ტოლობა გამოხატავს სრული მექანიკური ენერგიის მუდმივობის კანონს.

- სხეულის ან სხეულთა ჩაკეტილი სისტემის სრული მექანიკური ენერგია არ იცვლება.

სრული მექანიკური ენერგიის მუდმივობის კანონი გამომდინარეობს დროის ერთგვაროვნებიდან.

- დროის ერთგვაროვნება ნიშნავს, რომ ჩაკეტილი ფიზიკური სისტემის თავისებები და კანონები, რომლებიც ასეთ სისტემაში სრულდება, დამოკიდებული არ არის სისტემაზე დაკვირვების დანყების მომენტის არჩევაზე, ანუ დროის ყველა მომენტი ეკვივალენტურია.

პოტენციური ენერგიის გარდაქმნა კინეტიკურად ან კინეტიკურის გარდაქმნა პოტენციურ ენერგიადა და ამავე დროს სისტემის სრული მექანიკური ენერგიის მუდმივობა ბუნების ერთ-ერთი მნიშვნელოვანი კანონია.

კერძო შემთხვევები.

1. სხეულის სრული მექანიკური ენერგია, რომელიც სიმაღლის ძალის მოქმედებით მოძრაობს, არის:

$$E_{\text{სრ.}} = mgh + \frac{mv^2}{2} = \text{const.}$$

სადაც h სიმაღლეა ნულოვანი დონიდან, რომელზეც სხეული იმყოფება დროის მოცემულ მომენტში, v – სიჩქარე დროის მოცემულ მომენტში. სრული მექანიკური ენერგიის მნიშვნელობა დამოკიდებულია კონკრეტულ პირობებზე. მაგალითად:

ა) თუ სხეულს ნულოვანი დონიდან $h = 0$ ისვრიან ვერტიკალურად ზევით v_0 საწყისი სიჩქარით, მისი სრული მექანიკური ენერგია იქნება:

$$E_{\text{სრ.}} = \frac{mv_0^2}{2}.$$

მისი სრული მექანიკური ენერგია მოძრაობის დროს ტრაექტორიის ნებისმიერ წერტილში იქნება (ა):

$$\frac{mv_0^2}{2} = mgh + \frac{mv^2}{2};$$

ბ) თუ ვერტიკალურად ზევით ასროლილმა სხეულმა მაქსიმალურ H სიმაღლეს მიაღწია, მისი სრული მექანიკური ენერგია იქნება

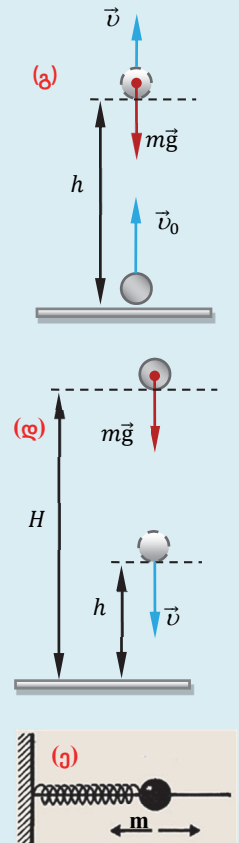
$$E_{\text{სრ.}} = mgH.$$

ამ დროს სრული მექანიკური ენერგიის მუდმივობის კანონს ტრაექტორიის ნებისმიერ წერტილში ასეთი სახე ექნება (დ):

$$mgH = mgh + \frac{mv^2}{2}.$$

2. თუ k სიხისტის ზამბარის ბოლოზე მიმაგრებულ m მასის ბურთულას, რომელსაც ჰორიზონტალური მეტალის ღერის გასწვრივ სრიალი შეუძლია, გადავადგილებთ და ხელს გავუშვებთ, „ზამბარა-ბურთულა“ სისტემის სრული მექანიკური ენერგია იქნება (ე):

$$E_n = \frac{kx^2}{2} + \frac{mv^2}{2} = \text{const.}$$



სრული ენერგიის მუდმივობის კანონი. ცნობილია, რომ სხეულის თავისუფალი ვარდნის დროს, ტრაექტორიის ნებისმიერ წერტილში, სისტემა დედამიწა-სხეულის სრული მექანიკური ენერგია მუდმივი სიდიდეა.

– რა ხდება სხეულის დედამიწის ზედაპირზე დაცემისა და გაჩერების დროს?

– შეიძლება თუ არა იმის თქმა, რომ „სხეულის როგორც კინეტიკური, ისე პოტენციური ენერგია ნულის ტოლია, ანუ სხეულის სრული მექანიკური ენერგია გაქრა და ენერგიის მუდმივობის კანონი დაირღვა“?

ჩაკეტილ სისტემაში შემავალი სხეულების მექანიკური ენერგია არ ქრება! მექანიკური ენერგია სხვა სახის ენერგიად – სისტემის შინაგან ენერგიად გარდაიქმნება: დედამიწის ზედაპირთან სხეულის შეჯახების დროს სისტემა თბება და მისი შინაგანი ენერგია იზრდება.

შეგვიძლია მოვიყვანოთ ენერგიის გარდაქმნის მაგალითები სხვა ჩაკეტილი სისტემებისთვის. მაგალითად, სისტემა ავტომობილი-გზა: მოძრავი ავტომობილის დამუხრუჭების დროს ხახუნის არსებობა იწვევს საბურავების გაცხელებას და ავტომობილის კინეტიკური ენერგია შინაგან ენერგიად გარდაიქმნება.

ამგვარად, როდესაც ჩაკეტილ სისტემაში სრული ენერგიის მუდმივობაზე ვლაპარაკობთ, ვგულისხმობთ ყველა სახის (მექანიკური, შინაგანი, ელექტრომაგნიტური და სხვ.) ენერგიის ჯამის მუდმივობას და მათ ურთიერთგარდაქმნას:

• ენერგია უკვალოდ არ ქრება და არც არაფრისგან წარმოიქმნება, ის ერთი სახის ენერგიიდან მეორე სახის ენერგიად გარდაიქმნება ან სხვა სხეულს გადაეცემა.

კვლევითი სამუშაო-2. გამოყენება

ამოცანა 2. სხეული 10 მ/წმ საწყისი სიჩქარით ვერტიკალურად ზევით აისროლეს. როგორი იქნება სხეულის სიჩქარე 3,2 მ სიმაღლეზე (ჰაერის წინააღმდეგობა არ გაითვალისწინოთ, $g = 10 \text{ მ/წმ}^2$)?

იმსჯელეთ შედეგებზე:

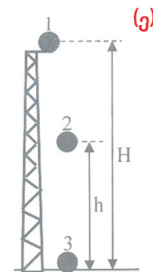
- რა ენერგია აქვს ვერტიკალურად ასროლილ სხეულს h სიმაღლეზე?
- როგორი სახე აქვს ენერგიის მუდმივობის კანონს ამ სხეულისთვის?
- როგორ განვსაზღვროთ სხეულის სიჩქარე 3,2 მ სიმაღლეზე?

შეძანილი ცოდნის გამოყენება ყოველდღიურ ცხოვრებაში: ნახატზე ნაჩვენებია გარკვეული სიმაღლიდან ვარდნილი სხეულის მოძრაობის ტრაექტორიის სამი სხვადასხვა წერტილი (გ).

- რის ტოლია სხეულის სრული მექანიკური ენერგია თითოეულ ამ წერტილში (ჰაერის წინააღმდეგობა არ გაითვალისწინოთ)?

შეაფასეთ თქვენი ცოდნა:

1. რომელი ცნებები გაიმეორეთ გაკვეთილზე? რა გაიგეთ კარგად და რა დარჩა თქვენთვის ნაწილობრივ გაუგებარი?
2. რა პირობებში სრულდება მექანიკური ენერგიის მუდმივობის კანონი?
3. რა პირობებში სრულდება სრული ენერგიის მუდმივობის კანონი?
4. რომელი სახის ენერგიად შეიძლება ნაწილობრივ გარდაიქმნას მექანიკური ენერგია სხეულების ხახუნის არსებობის გამო?
5. დასახელებული მოვლენებიდან რომელში ხდება ენერგიის გარდაქმნა:
 - ა) ჩანჩქერში წყლის ვარდნა;
 - ბ) გალილეის ღარში ბურთულის ჩამოგორება.
6. სხეული 6,4 მ/წმ საწყისი სიჩქარით აისროლეს ვერტიკალურად ზევით. რა სიმაღლეზე იქნება სისტემა „სხეული-დედამიწის“ კინეტიკური და პოტენციური ენერგიები ერთმანეთის ტოლი?



რა შეიტყუეთ? სამუშაო რეველში ჩაწერეთ მოყვანილი ცნებების განმარტებები: „სრული მექანიკური ენერგია“, „სრული მექანიკური ენერგიის მუდმივობის კანონი“, „დროის ერთგვაროვნება“, „სრული ენერგიის მუდმივობის კანონი“.

3.6 ენერგიის ალტერნატიული წყაროების გამოყენება აზერბაიჯანში (ბაკვეთილი-პრეზენტაცია)

მომზადეთ ელექტრონული პრეზენტაცია ჩვენს რესპუბლიკაში ენერგიის ალტერნატიული წყაროების გამოყენების შესახებ. პრეზენტაციის მომზადების დროს შეგიძლიათ ჩამოთვლილი ელექტრონული რესურსების გამოყენება:

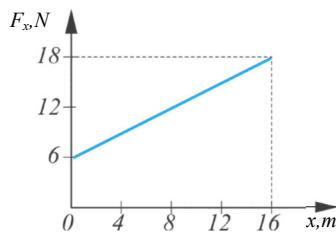
ელექტრონული რესურსები:

1. https://az.wikipedia.org/wiki/Kateqoriya:Azərbaycan_su_elektrik_stansiyaları
2. https://az.wikipedia.org/wiki/Mingəçevir_SES
3. www.azerenerji.gov.az/index.php?option=com_content&view=article...
4. www.azerbaijans.com > Baş səhifə > İQTİSADİYYAT
5. www.president.az/articles/8577
6. www.president.az/articles/3184
7. www.minenergy.gov.az/?e=526
8. <http://www.azerbaijan-news.az/index.php?Lng=aze&year=2009&Pid=183>
9. www.osce.org/az/baku/40023?download=true
10. lib.aliyevheritage.org/az/3316976.html
11. eco.gov.az/.../405-azerbaycan-respublikasinda-alternativ-ve-berpa-olunan-enerji-men...
12. www.carecprogram.org/uploads/docs/AZE-Renewable-Energy-Strategy-az.pdf
13. www.bizimyol.info/news/61753.html
14. axar.az/m/view.php?id=64300
15. www.qlobalenerji.az/page.php?sh=dHVrZW5tel9lbnJq
16. https://az.wikipedia.org/wiki/Külək_enerjisi
17. www.qlobalenerji.az/page.php?sh=YXpfa2xrX2Vu
18. https://www.unece.org/fileadmin/DAM/env/.../TYqdimat_Strategiya.pdf
19. referat.ilkaddimlar.com/d_word_refe_hidro_5030.docx
20. azertag.az/.../Azerbaycanda_kulek_ve_gunes_enerjisinden_istifade_uchun_
21. www.xalqgazeti.com/az/news/economy/40986
22. www.anspress.com/iqtisadiyyat/07.../kulek-enerjisi-azerbaycana-baha-basa-gelmeyece...
23. apa.az/.../azerbaycanda-gunes-ve-kulek-enerjisinden-genis-istifade-olunmasi-meqsedil...
24. www.anl.az/down/meqale/azerbaycan/2010/aprel/114197.htm
25. www.feedly.today/.../azerbaycanda-kulek-ve-gunes-enerjisinden-istifade-ucun-elveris..
26. regionplus.az/az/articles/view/5036
27. news.atv.az/news/tech/14925-alternativ-energetika-kulek-enerjisinin-gucu
28. deyerler.org/100916-alternativ-enerji-mjnbjlri-kgljk-enerjisi-ii-yazd.html
29. e-book.az>book/1834...azerbaycanda...enerjisinden...ve...
30. az.wikipedia.org>Günəş enerjisi
31. ebooks.az>book_YqyCx9UI.html
32. carecprogram.org/uploads/docs/AZE-Renewable-...
33. news.lent.az>news/134868
34. yeniazərbaycan.com>SonXeber_e13759_az.html
35. physics.gov.az>PowerEng/2004/v1/article/art01.pdf
36. qlobalenerji.az>page.php...
37. webcityhost.net>vergiler/upload/File/art-293.pdf
38. minenergy.gov.az>db/462.pdf
39. news.day.az>Azərbaycanca>797906.html
40. arxiv.az>...azertag...2841297/AVROPADA_ATOM...DINC...ILE...
41. az.wikipedia.org>Nüvə energetikası
42. azrefs.org>xulase-tedqiqatn-meqsedini-v2.html...

პრეზენტაციის გეგმის ნიმუში

I სლაიდი	- პრეზენტაციის სახელწოდება - მოამზადა
II სლაიდი	ალტერნატიული ბუნებრივი ენერგიის წყაროების გამოყენების მდგომარეობა აზერბაიჯანში
III სლაიდი	- წყლის დინების ენერგიის გამოყენების ისტორია აზერბაიჯანში - წყლის დინების ენერგიის გამოყენება აზერბაიჯანში დღეს
IV სლაიდი	- ქარის ენერგიის გამოყენების ისტორია - ქარის ენერგიის გამოყენება აზერბაიჯანში დღეს
V სლაიდი	წყლის დინებისა და ქარის ენერგიის გამოყენების პერსპექტივები აზერბაიჯანში
VI სლაიდი	- მზის ენერგიის გამოყენება აზერბაიჯანში დღეს - მზის ენერგიის გამოყენების პერსპექტივები აზერბაიჯანში
VII სლაიდი	- ატომური ენერგიის გამოყენების პერსპექტივები აზერბაიჯანში - გეოთერმული წყლების ენერგიის გამოყენების პერსპექტივები აზერბაიჯანში

- 3.1. ბიჭი, რომლის მასა 50 კგ-ია, ციგურებით დგას ყინულზე და 1 კგ მასის გუნდას 5 მ/წმ სიჩქარით ჰორიზონტალურად ისვრის. რა სიჩქარეს შეიძენს ამ დროს ბიჭი?
- 3.2. 150 ტონა მასის ლოკომოტივი 7 მ/წმ სიჩქარით უახლოვდება 1250 ტონა მასის უძრავ შემადგენლობას. რა სიჩქარე ექნება შემადგენლობას ლოკომოტივთან შეერთების შემდეგ?
- 3.3. ჭურვი 500 მ/წმ სიჩქარით მიფრინავს, ფეთქდება და ორ ნამსხვრევად იყოფა, რომელთა მასებია 5 კგ და 15 კგ. დიდი ნამსხვრევი იმავე მიმართულებით განაგრძობს ფრენას 800 მ/წმ სიჩქარით. განსაზღვრეთ პატარა ნამსხვრევის სიჩქარე.
- 3.4. 60 კგ მასის ბიჭი, რომელიც 2 მ/წმ სიჩქარით გარბის, დაეწია და 1 მ/წმ სიჩქარით მოძრავ 40 კგ მასის ურიკაზე შეხტა. რა სიჩქარით გააგრძელებს მოძრაობას ურიკა ბიჭთან ერთად?
- 3.5. მოცემულია მX ღერძის გასწვრივ მოძრავ სხეულზე მოქმედი ძალის სხე-ულის x კოორდინატზე დამოკიდებულების გრაფიკი. განსაზღვრეთ ამ ძალის მიერ 12 მ მანძილზე შესრულებული მუშაობა.



- 3.6. ბიჭი სათამაშო მანქანას ჰორიზონტის მიმართ 60° -იანი კუთხით მიმართული ძალით ეწევა და ჰორიზონტალურ გზაზე მანქანა 40 მ მანძილზე გადაადგილა. რა ძალით ეწეოდა ბიჭი მანქანას, თუ ამ ძალის მიერ შესრულებული მუშაობა 2 კჯ-ის ტოლია?

- 3.7. ბიჭმა 100 გ მასის ბურთი ვერტიკალურად აისროლა და ბურთის თავისუფალი ვარდნის შემდეგ ისევ ასროლის წერტილში დაიჭირა. გაითვალისწინეთ, რომ ბურთი 5 მ სიმაღლეზე ავიდა და გამოთვალეთ ბურთზე მოქმედი სიმძიმის ძალის მუშაობა: ა) ბურთის ზევით მოძრაობის დროს; ბ) ბურთის ქვევით მოძრაობის დროს; გ) ბურთის მოძრაობის მთელ გზაზე.
- 3.8. შესაძლებელია თუ არა 30 კგ მასის ტვირთის 4 მ/წმ სიჩქარით აწევა 0,9 კვტ სიმძლავრის ელექტროძრავას საშუალებით ($g = 10 \text{ მ/წმ}^2$)?
- 3.9. 500 გ მასის ქვას ვერტიკალურად ზევით ისვრიან 20 მ/წმ სიჩქარით. რის ტოლი იქნება ქვის კინეტიკური ენერგია 1 წმ-ისა და 2 წმ-ის შემდეგ (ჰაერის წინააღმდეგობა არ გაითვალისწინოთ; $g = 10 \text{ მ/წმ}^2$)?
- 3.10. როგორ შეიცვლება ავტობუსის კინეტიკური ენერგია მისი სიჩქარის 2-ჯერ გაზრდის შემდეგ?
- 3.11. 5 მ/წმ სიჩქარით მოძრავი 25 გ მასის ბურთულა ეჯახება ზამბარას, რომლის სიხისტეა 10^3 ნ/მ . განსაზღვრეთ ზამბარის დეფორმაციის სიდიდე.

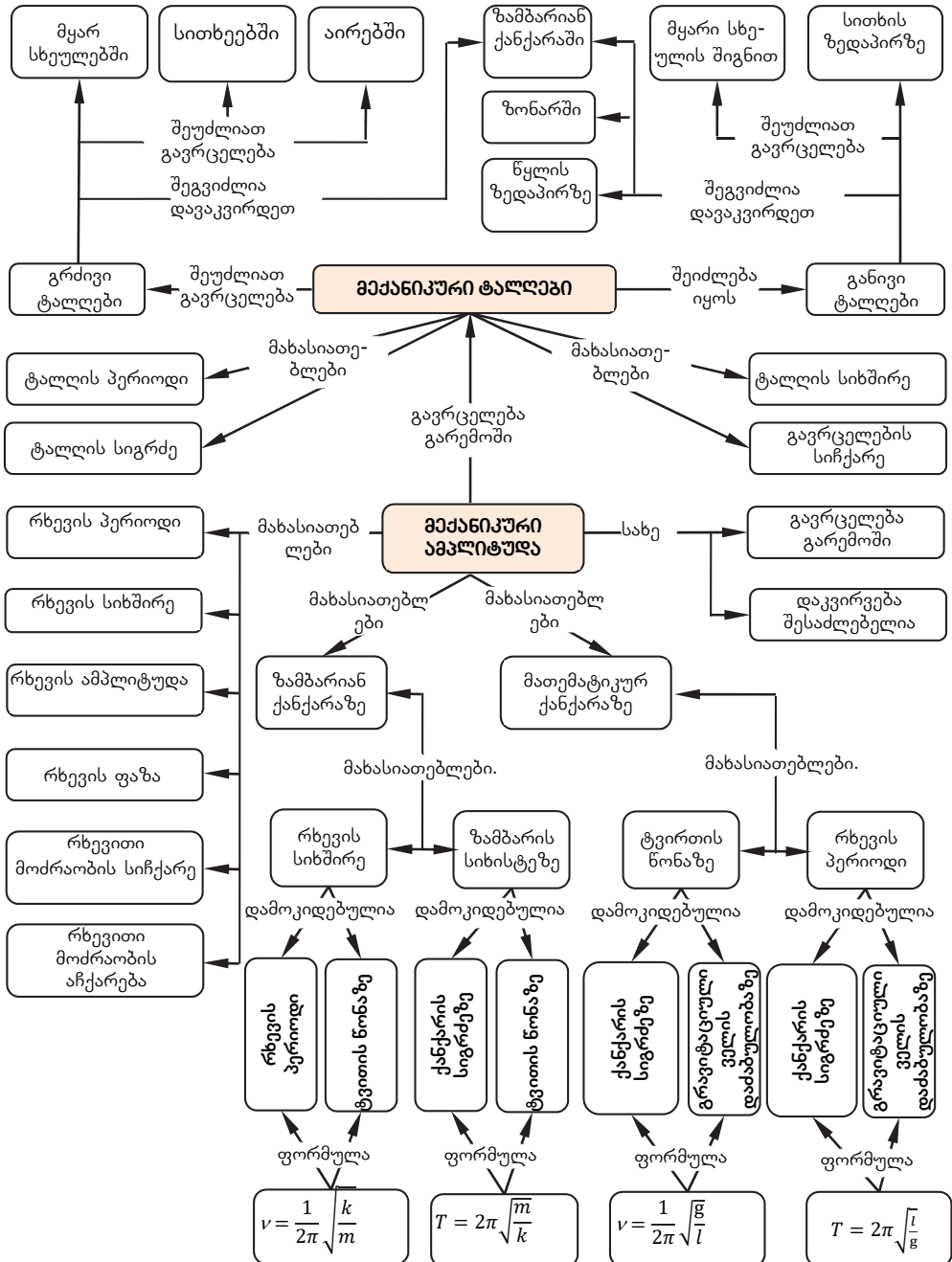


- 3.12. შაშხანიდან 600 მ/წმ სიჩქარით გამოსული 5 გ მასის ტყვია ფიცარში გავლის შემდეგ 200 მ/წმ სიჩქარით მოძრაობს. განსაზღვრეთ ფიცრის წინაღობის ძალის მიერ შესრულებული მუშაობა.
- 3.13. დინამომეტრის ზამბარა, რომლის სიხისტეა 100 ნ/მ, დეფორმირებულია 2 სმ-ით. განსაზღვრეთ დეფორმირებული ზამბარის პოტენციური ენერგია.
- 3.14. როგორ შეიცვლება სხეულის კინეტიკური და პოტენციური ენერგიები, თუ მასზე მოქმედი სიმძიმის ძალა უარყოფით მუშაობას ასრულებს?
- 3.15. როგორ შეიცვლება სხეულის კინეტიკური და პოტენციური ენერგიები, თუ მასზე მოქმედი სიმძიმის ძალა დადებით მუშაობას ასრულებს?
- 3.16. 4 მ სიღრმის ჭიდან ქვის თანაბრად ამოტანის დროს 150 ჯ მუშაობა სრულდება. განსაზღვრეთ ქვის მასა ($g = 10 \text{ მ/წმ}^2$).
- 3.17. 75 მ სიმაღლიდან 10 მ/წმ საწყისი სიჩქარით ვერტიკალურად ჩამოგდებული ქვის კინეტიკური ენერგია დედამიწაზე დაცემის მომენტში 1600 ჯ-ის ტოლია. განსაზღვრეთ სხეულის მასა და მისი სიჩქარე დედამიწაზე დაცემის მომენტში (ჰაერის წინააღმდეგობა არ გაითვალისწინოთ; $g = 10 \text{ მ/წმ}^2$).
- 3.18. 250 გ მასის სხეული ვერტიკალურად ზევით აისროლეს 15 მ/წმ საწყისი სიჩქარით. განსაზღვრეთ ასვლის მაქსიმალური სიმაღლე და პოტენციური ენერგია ამ სიმაღლეზე (ჰაერის წინააღმდეგობა არ გაითვალისწინოთ; $g = 10 \text{ მ/წმ}^2$).
- 3.19. რა სიჩქარეს ანიჭებს ზამბარიანი პისტოლეტი 3 გ მასის ტყვიას, როდესაც მისი 10 სმ-ით შეკუმშული ზამბარა თავისუფლდება? ზამბარის სიხისტეა 100 ნ/მ.
- 3.20. ფოლადის ბურთულა 20 მ/წმ საწყისი სიჩქარით აისროლეს ვერტიკალურად ზევით. განსაზღვრეთ სიმაღლე, რომელზეც ბურთულის კინეტიკური და პოტენციური ენერგიები ერთმანეთის ტოლია ($g = 10 \text{ მ/წმ}^2$; ჰაერის წინააღმდეგობა არ გაითვალისწინოთ).

მექანიკური რხევები და ტალღები

ამ თავის შესწავლის შემდეგ
თქვენ შეძლებთ:

- ჩამოთვალთ ჰარმონიული რხევის დამახასიათებელი ნიშნები;
- განასხვავოთ მექანიკური რხევებისა და ტალღების სახეები;
- განსაზღვროთ მექანიკური რხევებისა და ტალღების ძირითადი მახასიათებლები;
- შეადგინოთ და ამოხსნათ მექანიკური რხევებისა და ტალღების ძირითად მახასიათებლებს შორის დამოკიდებულებასთან დაკავშირებული თვისებრივი და რაოდენობრივი ამოცანები;
- ახსნათ ზამბარიან და მათემატიკურ ქანქარებში მექანიკური რხევების წარმოქმნის მიზეზი;
- დაწეროთ ზამბარიანი და მათემატიკური ქანქარების რხევის განტოლებები, ექსპერიმენტულად და თეორიულად დაადგინოთ, რომელ ფიზიკურ სიდიდეებზეა დამოკიდებული ამ ქანქარების რხევის პერიოდი და სიხშირე;
- ჰარმონიული რხევის გრაფიკის მიხედვით განსაზღვროთ რხევის პერიოდი, სიხშირე, ციკლური სიხშირე და ამპლიტუდა; სიჩქარისა და აჩქარების მაქსიმალური მნიშვნელობები;
- ექსპერიმენტულად და თეორიულად დაადგინოთ დრეკად გარემოში განივი და გრძივი ტალღების წარმოქმნის მიზეზი;
- ააგოთ და „ნაიკითხოთ“ მექანიკური ტალღების მახასიათებლების დროზე დამოკიდებულების გრაფიკები.



4.1 რხევითი მოძრაობა. თავისუფალი რხევები

საზრიანმა მეტყვევმ ხის ფულურო-ში გაკეთებული ფულტრის სკის დათვებისგან დასაცავად ხის ტოტზე დაკიდებული მძიმე მორი გამოიყენა. მორი ხესთან ახლოს, ფულუროზე ცოტა დაბლა დაკიდა. ხეზე აძრომის დროს დათვი იძულებულია, მორს გვერდით უბიძგოს.



- რა ხდება ამის შემდეგ? შეიძლება დათვი სკას-თან აძვრომას? რატომ?
- რომელი სიტყვით შეიძლება მორის ასეთი მოძრაობის დახასიათება? ეს მოძრაობა თავისუფალია თუ იძულებითი?

კვლევითი სამუშაო-1.

ამოცანა 1. გარკვეით, რა არის საერთო და რა განსხვავებული მოყვანილ წინადადეგებში: „მოცურავის მოძრაობა წყლის ზედაპირზე“, „მთვარის მოძრაობა დედამიწის ირგვლივ“, „საქანელას მოძრაობა“, „ხერხის მოძრაობა ხერხვის დროს“, „ტვირთის მოძრაობა ზამბარიან დინამომეტრზე“, „დგუმის მოძრაობა ძრავას ცილინდრში“, „ბზრილას მოძრაობა მაგიდის ზედაპირზე“.

იმსჯელთ შედეგებზე:

- როგორი სისტემების მოძრაობებია წარმოდგენილი ამ წინადადეგებში?
- რით განსხვავდება და რა მსგავსებაა ამ სისტემების მოძრაობებში?

მექანიკური რხევითი მოძრაობა. ბუნებაში მოძრაობის ერთ-ერთი ყველაზე გავრცელებული სახეა მექანიკური რხევითი მოძრაობა.

- მექანიკური რხევითი მოძრაობა არის მთლიანად ან ნაწილობრივ განმეორებადი მოძრაობა სხეულის ან სხეულთა სისტემის მდგრადი წონასწორობის მდგომარეობის მიდამოში. სხვა სიტყვებით: მექანიკური რხევითი მოძრაობა არის გადაადგილება წონასწორობის მდგომარეობიდან ხან ერთი, ხან მეორე მიმართულებით.

რხევითი მოძრაობა შეიძლება იყოს პერიოდული ან არაპერიოდული:

- პერიოდული რხევითი მოძრაობა არის სხეულის ან სხეულთა სისტემის რხევის გამეორება დროის ტოლი შუალედების შემდეგ.
- არაპერიოდული რხევითი მოძრაობა არის სხეულის ან სხეულთა სისტემის რხევის გამეორება დროის ნებისმიერი შუალედების შემდეგ. ასეთ რხევებს გარკვეული პერიოდები არ აქვს.

პერიოდული რხევები ძირითადად ორი სახისაა: იძულებითი და თავისუფალი რხევები.

- იძულებითი რხევები ისეთი რხევებია, რომლებიც გარე ძალის პერიოდული მოქმედებით აღიძვრება.
- თავისუფალი რხევები ისეთი რხევებია, რომლებიც ჩაკეტილ სისტემაში შიდა ძალების მოქმედებით აღიძვრება.

თავისუფალი რხევები. გაზომვებისა და გამოთვლების გამარტივების მიზნით რხევითი მოძრაობის შესწავლის დროს ხელსაყრელია, დაკვირდეთ სხეულთა ჩაკეტილ სისტემებს. ჩაკეტილ სისტემაში რხევითი მოძრაობა აღიძვრება სხეულების ურთიერთქმედების შედეგად აღძრული შინაგანი ძალების მოქმედებით.

ზამბარაზე დაკიდებული ტვირთის (სისტემა ზამბარა-ტვირთი) ან ძაფზე დაკიდებული სხეულის (სისტემა ძაფი-სხეული) რხევითი მოძრაობები შეგვიძლია თავისუფალ რხევებს მივაკუთნოთ. რხევის გამომწვევი შინაგანი ძალა სისტემაში ზამბარა-ტვირთი ზამბარის დრეკადობის ძალაა, სისტემაში ძაფი-სხეული – სხეულზე მოქმედი სიმძიმის ძალა.

რხევითი მოძრაობის კინემატიკური მახასიათებლები. გავეცნოთ ზოგიერთ მათგანს.

- **წანაცვლება** ფიზიკური სიდიდეა, რომელიც გვიჩვენებს, რა მანძილითა და რომელი მიმართულებით დაშორდა მერხევი სხეული წონასწორობის



მდგომარეობას გარკვეული დროის განმავლობაში. მაგალითად, დავუშვათ, m მასის სხეული რხევით მოძრაობას ასრულებს O წერტილის მიდამოში, მისგან მა-

რჯვნივ და მარცხნივ, X ღერძის გასწვრივ. სხეულის კოორდინატი x დროის მოცემულ t მომენტში გვიჩვენებს სხეულის წანაცვლებას წონასწორობის მდგომარეობიდან (ა).

- ამპლიტუდა არის მერხევი სხეულის მაქსიმალური წანაცვლება წონასწორობის მდგომარეობიდან. ამპლიტუდა აღინიშნება $x_{აჰს}$ ან A სიმბოლოთი, ხოლო მისი საზომი ერთეული SI სისტემაში არის მეტრი (მ).

თუ სხეული წონასწორობის O მდგომარეობიდან მარჯვნივ მოძრაობის დროს ამპლიტუდის ტოლი $x_{აჰს}$ მანძილით წანაცვლდება (წერტილი N), წამი-ერად გაჩერდება და O წერტილში დაბრუნდება, შემდეგ მოძრაობას გააგრძელებს მარცხნივ, წანაცვლდება ამპლიტუდის ტოლი $x_{აჰს}$ მანძილით (წერტილი M), წამიერად გაჩერდება და ისევ O წერტილში დაბრუნდება, მაშინ ამ მოძრაობას ერთი სრული რხევა ეწოდება (იხ. ა). შემდეგ ეს მოძრაობა მეორდება. ამგვარად, ერთი სრული რხევის შესრულების დროს სხეული გაივლის ოთხი ამპლიტუდის ტოლ მანძილს:

$$l = 4x_m.$$

თუ სხეული დროის t შუალედში N სრულ რხევას შეასრულებს, მის მიერ გავლილი მანძილი იქნება:

$$l = 4x_m N = 4x_m t \nu = 4x_m \cdot \frac{t}{T}. \quad (4.1)$$

სადაც ν რხევის სიხშირეა, T – რხევის პერიოდი.

- რხევის სიხშირე ფიზიკური სიდიდეა, რომელიც რიცხობრივად ერთ წამში შესრულებული რხევების რიცხვის ტოლია:

$$\nu = \frac{N}{t}. \quad (4.2)$$

სიხშირის ერთეულად SI სისტემაში მიღებულია ჰერცი (1 ჰც), გერმანელი მეცნიერის ჰენრი ჰერცის პატივსაცემად. 1 ჰერცი ისეთი რხევის სიხშირეა, რომლის დროსაც 1 წამში 1 სრული რხევა სრულდება: $[\nu] = 1 \text{ ჰც} = 1 \text{ წმ}^{-1}$.

- რხევის პერიოდი არის დრო, რომლის განმავლობაშიც ერთი სრული რხევა სრულდება:

$$T = \frac{t}{N}. \quad (4.3)$$

რხევის პერიოდის საზომი ერთეული SI სისტემაში არის წამი (1 წმ): $[T] = 1 \text{ წმ}$.
 რხევის პერიოდი და სიხშირე ურთიერთშებრუნებული სიდიდეებია:

$$T = \frac{1}{\nu} \text{ ან } \nu = \frac{1}{T}. \quad (4.4)$$

• ციკლური სიხშირე ეწოდება რხევის სიხშირეზე 2π -ჯერ მეტ სიდიდეს, რომელიც გამოხატავს, რამდენ რხევას ასრულებს ქანქარა 6,28 წამში (რადგან $2\pi \approx 6,28$):

$$\omega = 2\pi\nu. \quad (4.5)$$

აქ ω (ომეგა) ციკლური სიხშირეა. ციკლური სიხშირის საზომი ერთეული SI სისტემაში არის:

$$[\omega] = 1 \frac{\text{რად}}{\text{წმ}}.$$

ჰარმონიული რხევები და მისი გრაფიკი. ჰარმონიული რხევა ყველაზე მარტივი რხევითი მოძრაობაა.

• **ჰარმონიული რხევა** არის რხევითი მოძრაობა, რომლის მახასიათებელი ფიზიკური სიდიდეები დროის განმავლობაში სინუსის ან კოსინუსის კანონით იცვლება.

თავისუფალი რხევითი მოძრაობის დროს სხეულის მდგომარეობა დროის განმავლობაში იცვლება. თუ დროის მცირე შუალედს განვიხილავთ, მერხვე სისტემაში არსებული წინააღობის ძალები შეგვიძლია არ გავითვალისწინოთ, ამიტომ წირი, რომელიც ჰარმონიულ რხევით მოძრაობას აღწერს, სინუსოიდა ან კოსინუსოიდა იქნება. ამ წირის ნახვა შესაძლებელია, თუ დავაკვირდებით ზამბარიანი ან ძაფიანი ქანქარის რხევას, როდესაც მერხვე სხეულის როლს ქვიშიანი ძაბრი ასრულებს (ბ).

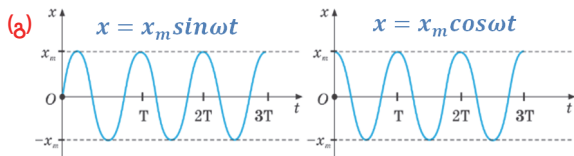
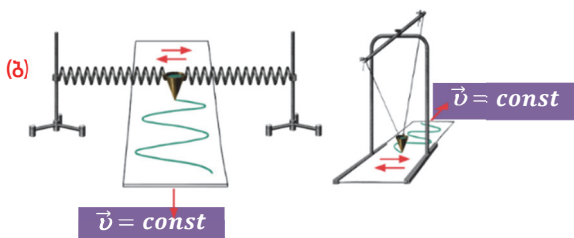
ეს წირი შეესაბამება ჰარმონიული რხევის დროს ქანქარის x კოორდინატის t დროზე დამოკიდებულების გრაფიკს (გ):

$$x = x_m \sin \omega t \quad (4.6)$$

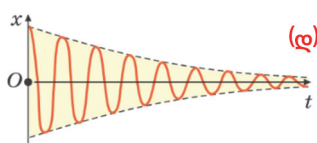
ან

$$x = x_m \cos \omega t \quad (4.7)$$

გრაფიკიდან ჩანს, რომ რხევის პერიოდის ტოლი დროის განმავლობაში ($t = T$) ქანქარა ერთ სრულ რხევას ასრულებს (იხ. გ).



• **ყურადღება** • თუ ჩაკეტილ სისტემაზე გარე ძალები არ მოქმედებს, შეიძლება ითქვას, რომ ამ სისტემის სრული მექანიკური ენერგია არ იცვლება. ეს ნიშნავს, რომ იდეალურ პირობებში თავისუფალი რხევის ამპლიტუდა არ იცვლება, ანუ რხევა მიღევადი არ არის. თუმცა რეალობაში თავისუფალი რხევა მიღევადია. წა-ნალობის ძალების არსებობის გამო სისტემის სრული მექანიკური ენერგია დროის განმავლობაში მცირდება, ანუ მცირდება რხევის ამპლიტუდა და რხევა მიიღევა (დ).



- მიღებული რხევები არის რხევები ჩაკეტილ სისტემაში, რომელშიც ხახუნის ძალების მოქმედების გამო სრული მექანიკური ენერგია თანდათან მცირდება, ე. ი. მცირდება რხევის ამპლიტუდა.

კვლევითი სამუშაო-2. ქანქარის მახასიათებლების განსაზღვრა

ამოცანა 2. მატერიალური წერტილი 2 ჰც სიხშირით ასრულებს რხევას და 2 წმ-ში 4 სმ მანძილს გადის. რის ტოლია ამ მატერიალური წერტილის რხევის ამპლიტუდა?

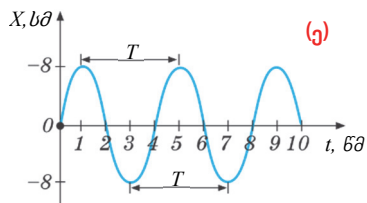
იმსჯელეთ შედეგებზე:

- რა მსგავსება და რა განსხვავებაა ქანქარის ამპლიტუდასა და გადაადგილებას შორის?
- რის ტოლია ქანქარის მიერ დროის t შუალედში გავლილი მანძილი გარკვეული სიხშირით რხევის დროს?

შეძენილი ცოდნის გამოყენება ყოველდღიურ ცხოვრებაში: მოიყვანეთ რხევითი სისტემის მაგალითები ცოცხალი და არაცოცხალი ბუნებიდან.

შეაფასეთ თქვენი ცოდნა:

1. რომელი ცნებები გაიმეორეთ გაკვეთილზე? რა გაიგეთ კარგად და რა დარჩა თქვენთვის ნაწილობრივ გაუგებარი?
2. როგორ მოძრაობას ეწოდება მექანიკური რხევა?
3. რას ეწოდება თავისუფალი რხევა? მიღვევადია თუ არამიღვევადი თავისუფალი რხევა? პასუხები დაასაბუთეთ.
4. რას გამოხატავს რხევის სიხშირე და ამპლიტუდა?
5. მოცემულია ჰარმონიული რხევის კოორდინტის დროზე დამოკიდებულების გრაფიკი (ვ). განსაზღვრეთ რხევის პერიოდი, სიხშირე და ამპლიტუდა.



რა შეიტყვეთ? სამუშაო რვეულში ჩაწერეთ დასახელებული ცნებების განმარტებები: „მექანიკური რხევითი მოძრაობა“, „თავისუფალი რხევა“, „გადაადგილება რხევითი მოძრაობის დროს“, „ამპლიტუდა“, „რხევის სიხშირე“, „რხევის პერიოდი“, „ციკლური სიხშირე“, „მიღვევადი რხევა“, „ჰარმონიული რხევა“.

4.2 ზამბარიანი ქანქარის ჰარმონიული რხევა

1985 წელს ქლაქ მეხიკოში საშინელი კატასტროფა მოხდა, რომლის მიზეზი მიწისძვრა იყო: 5526 ადამიანი დაიღუპა, 40000 დაშავდა, 31000 უსახლკაროდ დარჩა. კატასტროფის შემდეგ ჩატარებული კვლევების შედეგად მეცნიერებმა გაარკვეეს, რომ მიწისძვრების დროს ნგრევის მთავარი მიზეზი შენობების საკუთარი რხევის სიხშირისა და დედამიწაში წარმოქმნილი იძულებითი რხევის სიხშირის დამთხვევაა. ამიტომ სეისმურად აქტიურ ზონებში მშენებლობის დროს აუცილებელია, ეს სიხშირეები განსხვავებული იყოს. ამით შეიძლება მიწისძვრის დამანგრეველი მოქმედება შესუსტდეს. მნიშვნელოვანია იმის ცოდნა, რაზეა დამოკიდებული რხევის სიხშირე და პერიოდი.

- რაზეა დამოკიდებული სისტემის რხევის სიხშირე და პერიოდი?

კვლევითი სამუშაო-1. შევისწავლოთ ზამბარიანი ქანქარის რხევა.

სამუშაოსთვის საჭიროა: სხვადასხვა სიხისტის ორი ზამბარა, ტვირთების ნაკრები, წამწამი, შტატივი რგოლითა და მოძქერით.

სამუშაოს მსვლელობა:

1. გავარკვეთ ზამბარიანი ქანქარის რხევის პერიოდისა და სიხშირის დამოკიდებულება რხევის ამპლიტუდაზე.

1. ზამბარის ერთი ბოლო დაამაგრეთ შტატივის მოჭერზე, მეორე ბოლოზე დაკიდეთ 100 გ მასის ტვირთი და ქანქარა მოიყვანეთ რხევით მოძრაობაში გარკვეული $x_{\text{მაქს}}$ ამპლიტუდით.

2. წამწამით განსაზღვრეთ $N = 10$ სრული რხევისთვის საჭირო დრო t_1 (ს).

3. ზამბარიანი ქანქარის რხევის სიხშირე და პერიოდი გამოთვალეთ ფორმულებით:

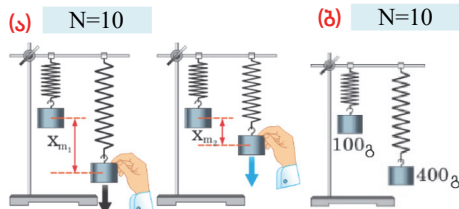
$$\nu_1 = \frac{N}{t_1}, T_1 = \frac{t_1}{N}.$$

4. შეამცრეთ ზამბარიანი ქანქარის რხევის ამპლიტუდა ($x_{\text{მაქს}2}$) და გაიმეორეთ ცდა. გამოთვალეთ რხევის პერიოდი (T_2) და სიხშირე (ν_2).

5. შეადარეთ ზამბარიანი ქანქარის რხევის T_1 და T_2 პერიოდებისა და v_1 და v_2 სიხშირეების მნიშვნელობები.

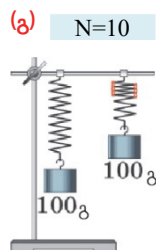
II. გავარკვეით ზამბარიანი ქანქარის რხევის პერიოდისა და სიხშირის დამოკიდებულება ტვირთის მასაზე.

1. ზამბარის ერთი ბოლო დაამაგრეთ შტატივის მოჭერზე, მეორე ბოლოზე დაკიდეთ 100 გ მასის ტვირთი და ქანქარა მოიყვანეთ რხევით მოძრაობაში, მცირე $x_{\text{მაქს}}$ ამპლიტუდით. წამშვომით განსაზღვრეთ $N = 10$ სრული რხევისთვის საჭირო დრო t_1 .



2. განსაზღვრეთ ქანქარის რხევის პერიოდი T_1 და სიხშირე v_1 . 3. ცდა გაიმეორეთ 400 გ მასის ტვირთით და გამოთვალეთ T_2 და v_2 (ბ). 4. ჩაწერეთ გაზომვებითა და გამოთვლებით მიღებული შედეგები 4.1 ცხრილში და შეადარეთ ქვემოთ მოყვანილი შეფარდებები:

III. გავარკვეით ზამბარიანი ქანქარის რხევის პერიოდისა და სიხშირის დამოკიდებულება ზამბარის სიხისტეზე. 1. სხვადასხვა სიხისტის ზამბარებზე დაკიდებულია 100 გ მასის ტვირთები. 2. თითოეული ზამბარა ცალ-ცალკე მოიყვანეთ რხევით მოძრაობაში, გაზომეთ $N = 10$ სრული რხევისთვის საჭირო დროები და გამოთვალეთ T_1 და v_1 . 3. ცდა გაიმეორეთ 400 გ მასის ტვირთით და გამოთვალეთ T_2 და v_2 (გ). 4. გაზომვებითა და გამოთვლებით მიღებული შედეგები ჩაწერეთ 4.1 ცხრილში და შეადარეთ მოყვანილი შეფარდებები:



$$\frac{T_2}{T_1} \text{ და } \frac{k_2}{k_1}; \quad \frac{v_2}{v_1} \text{ და } \frac{k_2}{k_1}.$$

ცხრილი 4.1

№	m , კგ	N	t , წმ	T , წმ	ν , ჰც	$\frac{T_2}{T_1}$	$\frac{\nu_2}{\nu_1}$	$\frac{m_2}{m_1}$	$\frac{k_2}{k_1}$
1	0,1	10							
2	0,4								

იმსჯელეთ შედეგებს:

- როგორ არის დამოკიდებული ზამბარიანი ქანქარის რხევის პერიოდი და სიხშირე რხევის ამპლიტუდაზე?
- როგორ არის დამოკიდებული ზამბარიანი ქანქარის რხევის პერიოდი და სიხშირე ზამბარაზე დაკიდებული ტვირთის მასაზე?
- როგორ არის დამოკიდებული ზამბარიანი ქანქარის რხევის პერიოდი და სიხშირე ზამბარის სიხისტეზე?

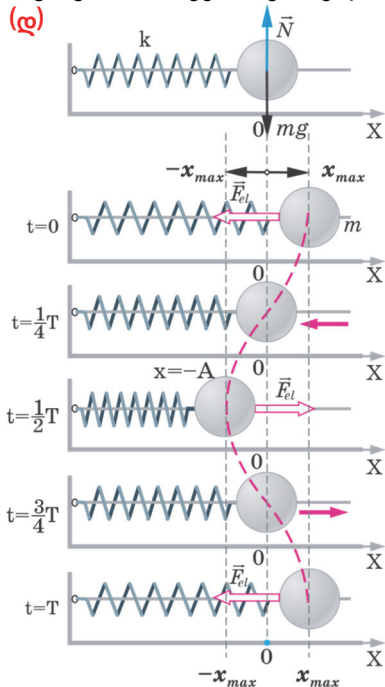
ერთ-ერთი უმარტივესი რხევითი სისტემა, რომელშიც ჰარმონიული რხევები აღიძვრება, არის ზამბარიანი ქანქარა.

- ზამბარიანი ქანქარა არის რხევითი სისტემა, რომელიც შედგება ზამბარისა და მასზე მიმაგრებული სხეულისაგან. ზამბარაში აღძრული რხევები ჰარმონიული რხევებია:
- ჰარმონიული ენოდება რხევებს, რომლებიც გადაადგილების პროპორციული და გადაადგილების მიმართულების საპირისპიროდ მიმართული ძალის მოქმედებით აღიძვრება.

ზამბარიანი ქანქარის რხევის შესწავლას დიდი პრაქტიკული მნიშვნელობა აქვს; მაგალითად, ავტომობილის რხევით გამოწვეული მოვლენების გასათვალისწინებლად ავტომობილის კონსტრუირების დროს, რადგან ავტომობილის ძარა ზამბარებთან ან რესორებთან არის დაკავშირებული; ფუნდამენტის რყევის გავლენის შესამცირებლად შენობებისა და მიძიმე დაზგების მდგომარე-

ობაზე; ყურის მემბრანის ელასტიკურობის განსაზღვრისთვის ყურთან დაკავშირებული პრობლემების დიაგნოსტიკის დროს. ამიტომ არის ზამბარიანი ქანქარის რხევის შესწავლა აქტუალური საკითხი.

(დ)



რხევებზე დაკვირვების გასამარტივებლად, იმისთვის, რომ შევამციროთ რხევით სისტემაზე მოქმედი ძალების რაოდენობა, მიზანშეწონილია, გამოვიყენოთ

ჰორიზონტალურად განლაგებული რხევითი სისტემა – ზამბარა-ბურთულა (დ). ამ სისტემაში მოქმედი სიმძიმის ძალა და ღერძის რეაქციის ძალა ერთმანეთს ანონასწორებს. თუ ბურთულას წონასწორობის მდგომარეობიდან გამოვიყვანთ, მაგალითად, ზამბარას $x = x_{\text{მაქს}}$ მდგომარეობამდე გავჭიმავთ და ხელს გავუშვებთ, ზამბარაში წარმოქმნილი დრეკადობის ძალა ბურთულას აჩქარებს მიაწევს და სისტემაში რხევითი მოძრაობა აღიძვრება. ნიუტონის II კანონის თანახმად, ქანქარის რხევითი მოძრაობის განტოლებას ასეთი სახე ექნება:

$$ma_x = -kx_m, \quad (4.8)$$

ან

$$a_x = -\frac{k}{m}x_m. \quad (4.9)$$

ფორმულა (4.9) ზამბარიანი ქანქარის თავისუფალი ჰარმონიული რხევის განტოლებაა.

აქ m ბურთულის მასაა, რომელიც ზამბარაზეა დამაგრებული, a_x – ბურთულის აჩქარების პროექცია X ღერძზე, k – ზამბარის სიხისტე, $x_{\text{მაქს}}$ – ზამბარის წაგრძელება, რომელიც მისი რხევის ამპლიტუდის ტოლია. მოცემული რხევითი სისტემისათვის შეფარდება $\frac{k}{m}$ მუდმივი და დადებითი სიდიდეა, რადგან მასა და სიხისტე არ შეიძლება უარყოფითი სიდიდეები იყოს. თუ ზამბარიანი ქანქარის რხევითი მოძრაობის განტოლებას (4.9) სხვა პერიოდული მოძრაობის – წრეწირზე თანაბრად მოძრავი სხეულის ცენტრისკენული აჩქარების განტოლებას (იხ. ფიზიკა 10, თემა 1.8) შევადარებთ, ვნახავთ, რომ შეფარდება $\frac{k}{m}$ შეესაბამება ციკლური სიხშირის კვადრატს (ω^2):

$$\begin{cases} a_x = -\frac{k}{m}x_m \\ a_n = \omega^2 R \end{cases} \rightarrow \omega^2 = \frac{k}{m}, \quad (4.10)$$

ან

$$\omega = \sqrt{\frac{k}{m}} \quad (4.11)$$

ამგვარად, ზამბარიანი ქანქარის რხევის განტოლება შეგვიძლია შემდეგი სახითაც ჩავწეროთ:

$$a_x = -\omega^2 x_m. \quad (4.12)$$

მათემატიკიდან ცნობილია, რომ (4.12) განტოლების ამონახსნი არის:

$$x = x_{\text{მაქს}} \cos(\omega t + \varphi_0)$$

რადგან ტრიგონომეტრიული ფუნქციები $\sin$ და $\cos$ პარმონიული ფუნქციებია, ზამბარიანი ქანქარის რხევაც პარმონიული რხევაა.

აქ $\omega t + \varphi_0 = \varphi$ რხევის ფაზაა, φ_0 – საწყისი ფაზა. ფაზის საზომი ერთეული SI სისტემაში არის რადიანი (1 რად). ფაზის გაზომვა გრადუსებშიც შეიძლება: π (რად) = 180° . საწყისი ფაზის მნიშვნელობა დამოკიდებულია დაკვირვების დანყების მომენტის არჩევაზე. დროის საწყისი მომენტი შეგვიძლია ისე ავირჩიოთ, რომ საწყისი ფაზა $\varphi_0 = 0$. ამ შემთხვევაში ზამბარიანი ქანქარის პარმონიული რხევის განტოლებას ასეთი სახე ექნება:

$$x = x_{\text{მაქს}} \cos \omega t \text{ ან } x = x_{\text{მაქს}} \sin \omega t \quad (4.13)$$

(4.11) და (4.5) გამოსახულებების შედარებით შეგვიძლია განვსაზღვროთ ის სიდიდეები, რომლებზეც არის დამოკიდებული ქანქარის რხევის პერიოდი და სიხშირე:

$$\begin{cases} \omega = 2\pi\nu \\ \omega = \sqrt{\frac{k}{m}} \end{cases} \rightarrow \nu = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m}}. \quad (4.14)$$

$$T = \frac{1}{\nu} \rightarrow T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}}. \quad (4.15)$$

ამ გამოსახულებებიდან ჩანს, რომ ზამბარიანი ქანქარის რხევის პერიოდი და სიხშირე დამოკიდებულია ზამბარის სიხისტესა და მასზე დაკიდებული ტვირთის მასაზე.

კვლევითი სამუშაო-2. როგორ იცვლება რხევის პერიოდი და სიხშირე?

ამოცანა. როგორ შეიცვლება ქანქარის რხევის პერიოდი და სიხშირე, თუ ზამბარიანი ქანქარის რხევის ამპლიტუდას 2-ჯერ გავზრდით, ხოლო მასზე დაკიდებული ტვირთის მასას 2-ჯერ შევამცირებთ?

იმსჯელეთ შედეგებზე:

- როგორ არის დამოკიდებული ზამბარიანი ქანქარის რხევის პერიოდი და სიხშირე რხევის ამპლიტუდასა და ტვირთის მასაზე?

შეძენილი ცოდნის გამოყენება ყოველდღიურ ცხოვრებაში: რომელი ფიზიკური პარამეტრების გათვალისწინებაა აუცილებელი დრეკადი რესორების შერჩევის დროს, რომლებზეც მიმაგრებულია ავტომობილის, ვაგონის ან თვითმფრინავის ბორბლების ბრუნვის ღერძი?

შეაფასეთ თქვენი ცოდნა:

1. რომელი ცნებები გაიმეორეთ გაკვეთილზე? რომელში გაერკვიეთ კარგად და რა დარჩა ნაწილობრივ გაუგებარი?
2. რომელ სიდიდეებზეა დამოკიდებული ზამბარიანი ქანქარის რხევის პერიოდი? ააგეთ ამ დამოკიდებულებების გრაფიკები.
3. რომელ სიდიდეებზეა დამოკიდებული ზამბარიანი ქანქარის რხევის სიხშირე? ააგეთ ამ დამოკიდებულებების გრაფიკები.
4. რომელ სიდიდეებზეა დამოკიდებული ზამბარიანი ქანქარის რხევის ციკლური სიხშირე? ააგეთ ამ დამოკიდებულებების გრაფიკები.

რა შეიტყვით? ჩამოაყალიბეთ ქვემოთ მოყვანილი ცნებების მოკლე განმარტებები: „ზამბარიანი ქანქარა“, „ზამბარიანი ქანქარის რხევის პერიოდი“, „ზამბარიანი ქანქარის რხევის სიხშირე“.

4.3 მათემატიკური ქანქარის ჰარმონიული რხევები

ჩვენამდე ასეთმა ისტორიულმა ინფორმაციამ მოაღწია: ერთხელ, 1583 წელს, იტალიელი მეცნიერი გ. გალილეი ქალაქ პიზის ტაძარში იმყოფებოდა. მან ყურადღება მიაქცია ტაძარში გრძელ ტროსზე დაკიდებული ჭალის რხევებს. მან ჭალის რხევა საკუთარ პულსს შეადარა და იმ დასკვნამდე მივიდა, რომ რხევის ამპლიტუდის შემცირების მიუხედავად, ჭალის ერთი სრული რხევისთვის საჭირო დრო (რხევის პერიოდი) არ იცვლება. შემდგომში მან მრავალი დაკვირვება ჩაატარა: ცვლიდა ქანქარის სიგრძეს, მასზე დაკიდებული ტვირთის მასას, ქანქარის სიმაღლეს (ზღვის დონის მიმართ) და განსაზღვრა, რაზეა დამოკიდებული ქანქარის რხევის პერიოდი და სიხშირე.

• გამოთქვით ჰიპოთეზა: რა გავრცევა გალილეიმ, რაზეა დამოკიდებული ძაფიანი ქანქარის რხევის პერიოდი და სიხშირე?



კვლევითი სამუშაო-1. ძაფიანი ქანქარის რხევის შესწავლა

სამუშაოსთვის საჭიროა: გრძელ ძაფზე დაკიდებული მცირე ზომის ბურთულა, სახაზავი, წამმზომი, შტატივი მოსრიალე მომჭერი.

სამუშაოს მსვლელობა:

I. ძაფიანი ქანქარის რხევის პერიოდისა და სიხშირის დამოკიდებულება ამპლიტუდაზე.

1. შტატივი დადგით მაგიდის კიდედან. ძაფის თავისუფალი ბოლო შტატივზე ისე მიამაგრეთ, რომ ბურთულა იატაკიდან 1-2 სმ სიმაღლეზე აღმოჩნდეს (ა).
2. გაზომეთ მანძილი ძაფის მიმაგრების წერტილიდან ბურთულის ცენტრამდე (ანუ ქანქარის სიგრძე). სასურველია, ეს სიგრძე დაახლოებით 160 სმ იყოს.
3. ქანქარაში აღდართი მცირე $x_{აპქს1}$ ამპლიტუდის რხევები და წამმზომით განსაზღვრეთ t_1 დრო, რომელიც საჭიროა $N = 5$ სრული რხევის შესრულებისთვის.
4. ფორმულებით $T_1 = t_1 / N$ და $\nu_1 = N / t_1$ გამოთვალეთ ძაფიანი ქანქარის რხევის პერიოდი და სიხშირე.
5. უმნიშვნელოდ გაზარდეთ ქანქარის რხევის ამპლიტუდა ($x_{აპქს2}$), გაიმეორეთ ცდა და გამოთვალეთ რხევის პერიოდი (T_2) და სიხშირე (ν_2).
6. შეადარეთ ქანქარის რხევის T_1 და T_2 პერიოდები, აგრეთვე ν_1 და ν_2 სიხშირეები.



II. ძაფიანი ქანქარის რხევის პერიოდისა და სიხშირის დამოკიდებულება დაკიდებული ტვირთის მასაზე.

1. ძაფზე დაკიდებული ტვირთი შეცვალეთ სხვა უფრო დიდი მასის ტვირთით. ქანქარაში აღდართი იგივე $x_{აპქს1}$ ამპლიტუდის რხევები და წამმზომით განსაზღვრეთ t_2 დრო, რომელიც საჭიროა $N = 5$ სრული რხევის შესრულებისთვის.
2. გამოთვალეთ რხევის პერიოდი T_2'' და სიხშირე ν_2'' .
3. შეადარეთ ძაფიანი ქანქარის T_1 და T_2'' პერიოდები და ν_1 და ν_2'' სიხშირეები.
1. **ძაფიანი ქანქარის რხევის პერიოდისა და სიხშირის დამოკიდებულება ქანქარის სიგრძეზე.**
1. ძაფის ნაწილი შტატივის სამაგრზე დაახვეთ – ქანქარის სიგრძე 4-ჯერ შეამცირეთ და მასში იგივე $x_{აპქს1}$ ამპლიტუდის რხევები აღდართი. წამმზომით განსაზღვრეთ დრო, რომელიც საჭიროა $N = 5$ სრული რხევის შესრულებისთვის.
2. გამოთვალეთ რხევის პერიოდი T_2'' და სიხშირე ν_2'' .
3. გაზომვებისა და გამოთვლების შედეგები ჩანერეთ 4.2 ცხრილში და შეადარეთ მოყვანილი შეფარდებების მნიშვნელობები:

$$\frac{T_2''}{T_1} \text{ და } \frac{l_2}{l_1}; \quad \frac{\nu_2''}{\nu_1} \text{ და } \frac{l_2}{l_1}.$$

ცხრილი 4.2

№	$l, \text{მ}$	N	$t, \text{წმ}$	$T, \text{წმ}$	$\nu, \text{ჰც}$	$\frac{T_2''}{T_1}$	$\frac{\nu_2''}{\nu_1}$	$\frac{l_2}{l_1}$
1	1,60	5						
2	0,4							

იმსჯელეთ შედეგებზე:

- როგორ არის დამოკიდებული ძაფიანი ქანქარის რხევის პერიოდი და სიხშირე რხევის ამპლიტუდასა და ტვირთის მასაზე?
- როგორ არის დამოკიდებული ძაფიანი ქანქარის რხევის პერიოდი და სიხშირე ქანქარის სიგრძეზე?
- რა დასკვნების გაკეთება შეიძლება ამ კვლევითი სამუშაოს შემდეგ?

ჰარმონიული რხევები სიმძიმის ძალის მოქმედებითაც აღიძვრება. ამის კარგი მაგალითია მათემატიკური ქანქარა.

• **მათემატიკური ქანქარა** არის იდეალიზებული რხევითი სისტემა, რომელიც შედგება უწონო და უჭიმად ძაფზე დაკიდებული მატერიალური წერტილისგან.

მათემატიკური ქანქარის შესასწავლად შეგვიძლია გამოვიყენოთ მისი მოდელი – წვირლ გრძელ ძაფზე დაკიდებული ბურთულა (ბ). ბურთულაზე მოქმედი სიმძიმის ძალა (mg) განიხილავთ დაფის დაჭიმულობის (T) ძალით. ამ დროს ქანქარა წონასწორობის მდგომარეობაშია. მაგრამ თუ ქანქარას წონასწორობის მდგომარეობიდან გამოვიყვანთ – ვერტიკალური მდგომარეობიდან მცირე α კუთხით გადავხრით, წარმოიქმნება სიმძიმის ძალის ორი მდგენელი – ძაფის გასწვრივ მიმართული $\vec{F}_{||}$ და ძაფის პერპენდიკულარული $\vec{F}_{\perp}$. ძაფის დაჭიმულობის ძალა და სიმძიმის ძალის $\vec{F}_{\perp}$ მდგენელი ერთმანეთს აწონასწორებენ. ამიტომ რეალურად ბურთულაზე მხოლოდ სიმძიმის ძალის $\vec{F}_{||}$ მდგენელი მოქმედებს, რომელიც „ცდილობს“, ბურთულა წონასწორობის მდგომარეობაში დააბრუნოს (იხ. ნახ. ბ). ამის გათვალისწინებით და ნიუტონის II კანონზე დაყრდნობით, შეგვიძლია დავწეროთ m მასის სხეულის რხევითი მოძრაობის განტოლება მასში შემავალი ვექტორების OX ღერძზე პროექციების საშუალებით:

$OX: ma_x = -F_{\perp}$. თუ გავითვალისწინებთ, რომ:

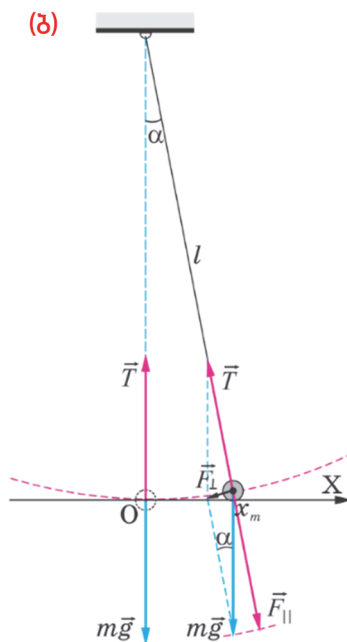
$$\begin{cases} F_{\perp} = mgsin\alpha, \\ \sin\alpha = \frac{x_m}{l} \text{ (როდესაც } \alpha \text{ გადახრის კუთხე მცირეა).} \end{cases}$$

მივიღებთ მათემატიკური ქანქარის რხევის განტოლებას:

$$a_x = -\frac{g}{l}x_m. \quad (4.16)$$

სადაც l მათემატიკური ქანქარის (ძაფის) სიგრძეა, g – თავისუფალი ვარდნის აჩქარება, $x_{m\text{აქს}}$ – რხევის ამპლიტუდა.

მოცემული რხევითი სისტემის მოძრაობის განტოლებაში შეფარდება $\frac{g}{l}$ მუდმივი და დადებითი სიდიდეა, რადგან თავისუფალი ვარდნის აჩქარება და ძაფის სიგრძე უცვლელია და არ შეიძლება უარყოფითი სიდიდე იყოს. თუ



შევადარებთ (4.16) და (4.10) განტოლებებს, დავინახავთ, რომ შეფარდება $\frac{g}{l}$ ციკლური სიხშირის კვადრატის ω^2 ტოლია:

$$\omega^2 = \frac{g}{l}, \quad (4.17)$$

ან

$$\omega = \sqrt{\frac{g}{l}}. \quad (4.18)$$

ამგვარად, მათემატიკური ქანქარის რხევითი მოძრაობის განტოლება შეიძლება ჩავწეროთ შემდეგნაირად:

$$a_x = -\omega^2 x_m. \quad (4.19)$$

მათემატიკიდან იცით, რომ ამ განტოლების ამონახსნია $x = A \sin(\omega t + \varphi_0)$. ანუ ქანქარის კოორდინატის დროზე დამოკიდებულება ჰარმონიული ფუნქციაა. ე.ი. მათემატიკური ქანქარის რხევაც ჰარმონიული რხევაა, რომლის ციკლური სიხშირე ω -ს ტოლია.

შეგვიძლია განვსაზღვროთ სიდიდეები, რომლებზეც არის დამოკიდებული მათემატიკური ქანქარის რხევის პერიოდი და სიხშირე:

$$\nu = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{g}{l}}, \quad (4.20)$$

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}. \quad (4.21)$$

ამგვარად, მათემატიკური ქანქარის რხევის პერიოდი და სიხშირე დამოკიდებულია ქანქარის სიგრძესა და გრავიტაციული ველის დაძაბულობაზე (ანუ თავისუფალი ვარდნის აჩქარებაზე) დედამიწის მოცემულ წერტილში.

კვლევითი სამუშაო-2. როგორია რხევის პერიოდი?

ამოცანა. განსაზღვრეთ მათემატიკური ქანქარის რხევის პერიოდი და სიხშირე, თუ მისი სიგრძე 225 სმ-ია. რა დრო დასჭირდება ამ ქანქარას 20 სრული რხევის შესასრულებლად (ჰაერის წინააღმდეგობა არ გაითვალისწინოთ; $g = 9 \text{ მ/წმ}^2$; $\pi = 3$)?

იმსჯელეთ შედეგებზე:

• რამდენი წამის ტოლია მათემატიკური ქანქარის რხევის პერიოდი? ახსენით, როგორ მიიღეთ ეს შედეგი?

შეძენილი ცოდნის გამოყენება ყოველდღიურ ცხოვრებაში: ქანქარიანი საათის დასარეგულირებლად, მისი ჩამორჩენის ან „წინსწრებით“ მუშაობის დროს, ცვლიან ქანქარის სიგრძეს.



რა შეიტყვეით? დაწერეთ დასახელებული ცნებების მოკლე განმარტებები: „მათემატიკური ქანქარა“, „მათემატიკური ქანქარის რხევის პერიოდი“, „მათემატიკური ქანქარის რხევის სიხშირე“.

პრაქტიკული სამუშაო

თავისუფალი ვარდნის აჩქარების განსაზღვრა მათემატიკური
ქანქარის გამოყენებით

მიზანი: გამოვიმუშაოთ თავისუფალი ვარდნის აჩქარების განსაზღვრის უნარი მათემატიკური ქანქარის რხევის

პერიოდის ფორმულის $T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}$ საშუალებით.

სამუშაოსთვის საჭიროა: პატარა ბურთულა, რომელიც გრძელ (≈ 160 სმ) ძაფზეა დაკიდებული, საზომი ლენტი, წამმზომი, შტატივი მოსრიალე მომჭერით.

სამუშაოს მსვლელობა:

1. შტატივი მაგიდის კიდედან დადგით. მასზე ქანქარა ისე დაკიდეთ, რომ ბურთულა იატაკიდან 1-2 სმ-ის სიმაღლეზე აღმოჩნდეს.
2. გაზომეთ მანძილი ქანქარის დაკიდების წერტილიდან ბურთულის ცენტრამდე (ქანქარის სიგრძე). სასურველია, სიგრძე დაახლოებით 160 სმ-ის ტოლი იყოს.
3. წონასწორობის მდგომარეობიდან ბურთულა 5 სმ-ით გადახარეთ, ხელი გაუშვით და წამმზომის საშუალებით განსაზღვრეთ $N = 10$ სრული რხევისთვის საჭირო დრო. შედეგი ჩაწერეთ 4.3 ცხრილში.
4. იმავე პირობებში ცდა კიდევ ორჯერ გაიმეორეთ და განსაზღვრეთ $N = 10$ სრული რხევისთვის საჭირო საშუალო დროის მნიშვნელობა. ამ შედეგებზე დაყრდნობით გამოთვალეთ რხევის პერიოდის საშუალო მნიშვნელობა.

$$t_{\text{საშ}} = \frac{t_1 + t_2 + t_3}{3}; \quad T_{\text{საშ}} = \frac{t_{\text{საშ}}}{N}.$$

5. გამოთვალეთ თავისუფალი ვარდნის აჩქარების საშუალო მნიშვნელობა ($\pi = 3,14$):

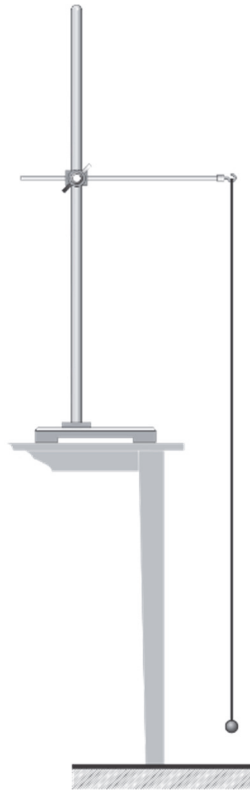
$$g_{\text{საშ}} = \frac{4\pi^2 l}{T_{\text{საშ}}^2}.$$

ცხრილი 4.3

№	l , სმ	N	t , წმ	$t_{\text{საშ}}$, წმ	$T_{\text{საშ}}$, წმ	$g_{\text{საშ}}$, მ/წმ ²
1	160	10				
2	160	10				
3	160	10				

6. გაზომვის შედეგები შეიტანეთ ცხრილში, გამოთვალეთ ფარდობითი ცდომილება ($g = 9,81 \frac{\text{მ}}{\text{წმ}^2}$):

$$\varepsilon = \frac{|g_{\text{საშ}} - g|}{g} \cdot 100\%.$$



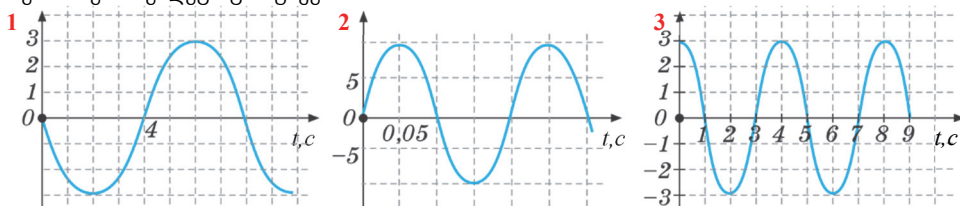
4.4 სიჩქარე და აჩქარება ჰარმონიული რხევის დროს

თქვენ უკვე იცით ძირითადი ტრიგონომეტრიული ფუნქციები და შეგიძლიათ ჰარმონიული რხევის აღმწერი ტრიგონომეტრიული განტოლებების გრაფიკების აგება (იხ. მათემატიკა 10).

- რას ნიშნავს რამე სიდიდის ჰარმონიული კანონით ცვლილება?
- ტრიგონომეტრიული ფუნქციის გრაფიკის აგების რომელი მეთოდები იცით?
- რომელ ფიზიკურ პროცესებში შეიძლება ტრიგონომეტრიული ფუნქციების გრაფიკების პრაქტიკული გამოყენება?

კვლევითი სამუშაო-1. მათემატიკა ფიზიკის მარჯვენა ხელია!

ამოცანა 1. განსაზღვრეთ შესაბამისობა: რომელ ტრიგონომეტრიულ ფუნქციებს შეესაბამება შემდეგი გრაფიკები:



ა) $x = x_m \cos \omega t$ ბ) $f(t) = -\cos 2t$ გ) $f(t) = -3 \sin \omega t$ დ) $x = 10 \sin \omega t$ ე) $f(t) = 3 \cos \omega t$

იმსჯელეთ შედეგებზე:

- რომელ გრაფიკზე ხდება ცვლილება სინუსის კანონით, რომელზე – კოსინუსის კანონით? რატომ?

რადგან ჰარმონიული რხევის დროს ქანქარის წანაცვლება (გადახრა) ჰარმონიული კანონით იცვლება, იმის დასაბუთება, რომ სიჩქარისა და აჩქარების ცვლილებაც ჰარმონიული კანონით ხდება, რთული არ არის. დავუშვათ, წანაცვლება იცვლება კოსინუსის კანონით და საწყისი ფაზა ნულის ტოლია:

$$(\varphi_0 = 0): x = A \cos \omega t.$$

რადგან სიჩქარე არის წანაცვლების (ანუ კოორდინატის) პირველი წარმოებული დროით:

$$v_x = x' = (A \cos \omega t)' = -A\omega \cdot \sin \omega t = A\omega \cdot \cos \left(\omega t + \frac{\pi}{2} \right), \quad (4.22)$$

ან

$$v_x = -v_m \sin \omega t. \quad (4.23)$$

როგორც (4.23) გამოსახულებიდან ჩანს, სიჩქარის ჰარმონიული კანონით ცვლილება წანაცვლების ცვლილებას $\frac{\pi}{2}$ ფაზით ასწრებს (ა).

სიჩქარის მაქსიმალური (ამპლიტუდური) მნიშვნელობა დამოკიდებულია რხევის ამპლიტუდაზე, სიხშირესა და პერიოდზე:

$$v_m = \omega A = 2\pi \nu A = \frac{2\pi}{T} A. \quad (4.24)$$

რადგან აჩქარება არის სიჩქარის პირველი წარმოებული დროით, მივიღებთ:

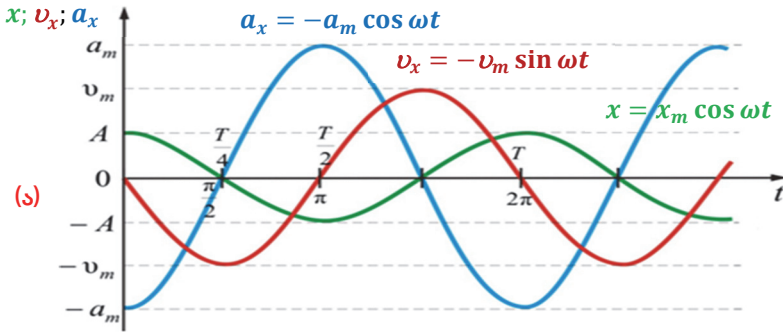
$$a_x = v_x' = (-A\omega \cdot \sin \omega t)' = -A\omega^2 \cdot \cos \omega t = A\omega^2 \cdot \cos(\omega t + \pi) \quad (4.25)$$

ან

$$a_x = -a_m \cos \omega t. \quad (4.26)$$

როგორც ვხედავთ, აჩქარების სიდიდის ცვლილება ჰარმონიული კანონით სიჩქარის ცვლილებას $\frac{\pi}{2}$ ფაზით ასწრებს, ხოლო წანაცვლების ცვლილებას π ფაზით (იხ. ნახ. ა). აჩქარების მაქსიმალური (ამპლიტუდური) მნიშვნელობა დამოკიდებულია რხევის ამპლიტუდაზე, სიხშირესა და პერიოდზე:

$$a_m = \omega^2 A = 4\pi^2 \nu^2 A = \frac{4\pi^2}{T^2} A. \quad (4.27)$$



კვლევითი სამუშაო-2. გამოყენება

შეისწავლეთ გრაფიკი

ამოცანა 2. ნახატზე წარმოდგენილია ჰარმონიული რხევის სიჩქარის ცვლილების გრაფიკი (ბ). განსაზღვრეთ: ა) რხევის სიჩქარის ამპლიტუდა; ბ) რხევის სიხშირე; გ) რხევის პერიოდი.

იმსჯელეთ შედეგებზე:

ახსენით, როგორ განსაზღვრეთ რხევის სიჩქარის ამპლიტუდის მნიშვნელობა, სიხშირე და პერიოდი?

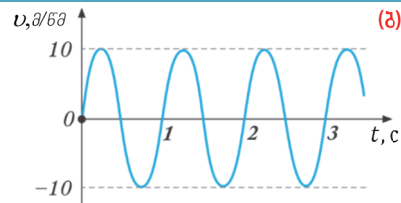
შეძენილი ცოდნის გამოყენება ყოველდღიურ ცხოვრებაში:

უფრო ხშირად პრაქტიკაში ჰარმონიული რხევის გრაფიკები გამოიყენება სამედიცინო დიაგნოსტიკაში, რადიოელექტრონიკაში, სანარმოებში, სადაც ზუსტ ხელსაწყოებს ამზადებენ და სხვ.

• როგორ და რა მიზნით იყენებენ ჰარმონიული რხევის გრაფიკებს? პასუხის გასაცემად შეგიძლიათ ელექტრონული რესურსების გამოყენება.

შეაფასეთ თქვენი ცოდნა:

- რომელი ცნებები გაიმეორეთ გაკვეთილზე? რა გაიგეთ კარგად და რა დარჩა თქვენთვის ნაწილობრივ გაურკვეველი?
- რაზე დამოკიდებულია ჰარმონიული რხევის სიჩქარის ამპლიტუდის მნიშვნელობა?
- როგორ არის ჰარმონიული რხევის აჩქარების ამპლიტუდა დამოკიდებული დროზე?
- რის ტოლია შესაბამისად x , v_x , a_x ჰარმონიული რხევის დროს დროის $t = \frac{T}{2}$ მომენტში, თუ $\varphi_0 = 0$ (იხ. ა)?

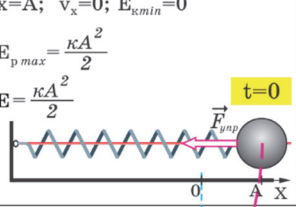
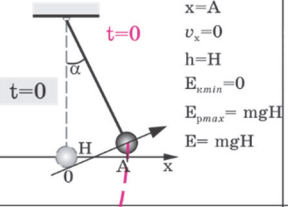
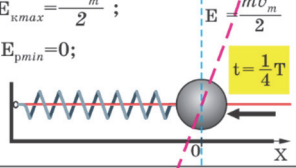
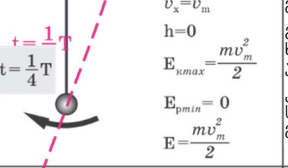
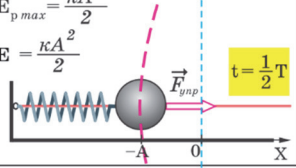
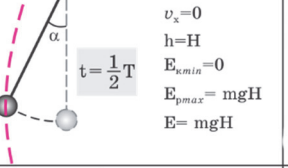
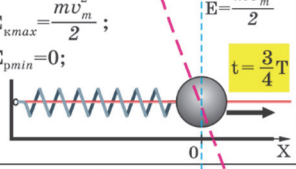
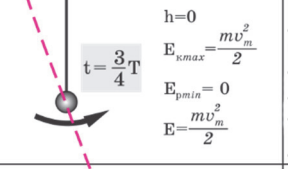
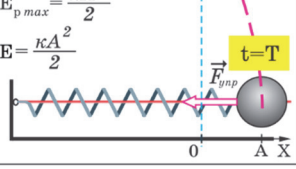
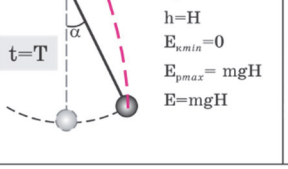


რა შეიტყავით? მოიყვანეთ ჩამოთვლილი ცნებების მოკლე განმარტებები: „მათემატიკური ქანქარა“, „მათემატიკური ქანქარის რხევის პერიოდი“, „მათემატიკური ქანქარის რხევის სიხშირე“.

4.5 ენერგიის გარდაქმნა ჰარმონიული რხევის დროს (ბაკვეთილი-პრეზენტაცია)

მოამზადეთ ელექტრონული პრეზენტაცია ენერგიის გარდაქმნის შესახებ ჰარმონიული რხევის დროს. პრეზენტაციის მომზადებისას ყურადღებით შეისწავლეთ ცხრილი 4.4 და გაეცანით ინფორმაციას ქვეთავიდან „თეორიული მასალა“.

ცხრილი 4.4

ენერგიის გარდაქმნა ზამბარაზე ქანქარაში	ენერგიის გარდაქმნა მათემატიკურ ქანქარაში	სისტემაში მიმდინარე პროცესები
$x=A; v_x=0; E_{kmin}=0$ $E_{pmax} = \frac{\kappa A^2}{2}$ $E = \frac{\kappa A^2}{2}$ 	$x=A$ $v_x=0$ $h=H$ $E_{kmin}=0$ $E_{pmax} = mgH$ $E = mgH$ 	სანაყის $t=0$ მომენტში ქანქარა ნონასწორობის მდგომარეობიდან $x=A$ მანძილითაა გადახრილი და უძრავია ($v_x=0$). ამ მომენტში სისტემას მხოლოდ პოტენციური ენერგია აქვს და მისი სრული მექანიკური ენერგია ამ მაქსიმალური პოტენციური ენერგიის ტოლია.
$x=0; v_x=v_m$ $E_{kmax} = \frac{mv_m^2}{2}$ $E_{pmin}=0$ $E = \frac{mv_m^2}{2}$ 	$x=0$ $v_x=v_m$ $h=0$ $E_{kmax} = \frac{mv_m^2}{2}$ $E_{pmin}=0$ $E = \frac{mv_m^2}{2}$ 	ქანქარა მოძრაობას იწყებს მარცხნივ, ნონასწორობის მდგომარეობიდან. დროის $t = \frac{1}{4T}$ მომენტში ქანქარა ნონასწორობის მდგომარეობაში გაივლის, სადაც მისი ნაწევლება 0-ის ტოლია, ხოლო სიჩქარე მაქსიმალურია. ამ დროს ქანქარის პოტენციური ენერგია 0-ის ტოლია, ხოლო კინეტიკური ენერგია – მაქსიმალური. ამიტომ სისტემის სრული მექანიკური ენერგია ქანქარის მაქსიმალური კინეტიკური ენერგიის ტოლია.
$x=-A; v_x=0; E_{kmin}=0$ $E_{pmax} = \frac{\kappa A^2}{2}$ $E = \frac{\kappa A^2}{2}$ 	$x=-A$ $v_x=0$ $h=H$ $E_{kmin}=0$ $E_{pmax} = mgH$ $E = mgH$ 	$t = \frac{1}{2T}$ მომენტში ქანქარა უკიდურეს მარცხენა მდგომარეობაშია ($x=-A$) და მისი სიჩქარე ნულის ტოლია. ამ დროს პოტენციური ენერგია მაქსიმალურია, ხოლო კინეტიკური – 0-ის ტოლი. ამიტომ სისტემის სრული მექანიკური ენერგია ქანქარის მაქსიმალური პოტენციური ენერგიის ტოლია.
$x=0; v_x=v_m$ $E_{kmax} = \frac{mv_m^2}{2}$ $E_{pmin}=0$ $E = \frac{mv_m^2}{2}$ 	$x=0$ $v_x=v_m$ $h=0$ $E_{kmax} = \frac{mv_m^2}{2}$ $E_{pmin}=0$ $E = \frac{mv_m^2}{2}$ 	ქანქარა მოძრაობას გააგრძელებს მარჯვნივ, ნონასწორობის მდგომარეობიდან. დროის $t = \frac{3}{4T}$ მომენტში ქანქარა ნონასწორობის მდგომარეობაში გაივლის, სადაც მისი ნაწევლება 0-ის ტოლია, ხოლო სიჩქარე მაქსიმალურია. ქანქარის პოტენციური ენერგია 0-ის ტოლია, ხოლო კინეტიკური ენერგია – მაქსიმალური. ამიტომ სისტემის სრული მექანიკური ენერგია ქანქარის მაქსიმალური კინეტიკური ენერგიის ტოლია.
$x=A; v_x=0; E_{kmin}=0$ $E_{pmax} = \frac{\kappa A^2}{2}$ $E = \frac{\kappa A^2}{2}$ 	$x=A$ $v_x=0$ $h=H$ $E_{kmin}=0$ $E_{pmax} = mgH$ $E = mgH$ 	მოძრაობის დაწყებიდან რხევის პერიოდის ტოლი დროის შემდეგ, ანუ $t=T$ მომენტში, ქანქარა რხევის სანაყის მდგომარეობას უბრუნდება ($x=A, v_x=0$). მისი კინეტიკური ენერგია 0-ის ტოლია, სრული მექანიკური ენერგია – მაქსიმალური პოტენციური ენერგიის ტოლი.

თეორიული მასალა. ჩაკეტილ სისტემაში თავისუფალი ჰარმონიული რხევის კინეტიკური და პოტენციური ენერგიები პერიოდულად ურთიერთგარდაიქმნება.

ცხრილ 4.4-ში მოცემულია ენერგიების ურთიერთგარდაქმნის შედარება ზამბარიან და მათემატიკურ ქანქარებში. როგორც ცხრილიდან ჩანს, დაბრუნების წერტილში ($x = A$) რხევითი სისტემის პოტენციურ ენერგიას მაქსიმალური მნიშვნელობა აქვს:

$$E_{\text{პ. მაქს}} = \frac{kA^2}{2}. \quad (4.28)$$

თუ ქანქარა ნონასწორობის მდგომარეობაშია, პოტენციური ენერგია მინიმალურია:

$$E_{\text{პ. მინ}} = 0.$$

კინეტიკური ენერგია, პირიქით, დაბრუნების წერტილში მინიმალურია ($E_{\text{კ. მინ}} = 0$), ხოლო ნონასწორობის მდგომარეობაში – მაქსიმალურია:

$$E_{\text{კ. მაქს}} = \frac{mv^2}{2}. \quad (4.29)$$

ნახატზე მოცემულია ჰარმონიული რხევის კინეტიკური და პოტენციური ენერგიების წანაცვლებაზე (კოორდინატზე) დამოკიდებულების გრაფიკები (ა).

ჩაკეტილი რხევითი სისტემის სრული მექანიკური ენერგია დროის ნებისმიერ t მომენტში ერთი და იგივეა (მუდმივია) (ხახუნს არ ვითვალისწინებთ):

ა) ზამბარიანი ქანქარისთვის:

$$E_{\text{სრ}} = E_{\text{პ}} + E_{\text{კ}} = \frac{mv^2}{2} + \frac{kx^2}{2};$$

ბ) მათემატიკური ქანქარისთვის:

$$E_{\text{სრ}} = E_{\text{პ}} + E_{\text{კ}} = \frac{mv^2}{2} + mgh.$$

თუ გავითვალისწინებთ, რომ ამ ფორმულებში შემავალი წანაცვლება (კოორდინატი) და სიჩქარე ჰარმონიული კანონით იცვლება, გასაგები გახდება, რომ ჰარმონიული რხევის დროს ენერგიებიც ჰარმონიული კანონით იცვლება (ბ):

განვიხილოთ ზამბარიანი ქანქარის რხევა.

$$E_{\text{პ}} = \frac{kx^2}{2} = \frac{kA^2}{2} \cos^2(\omega t + \varphi_0), \quad (4.30)$$

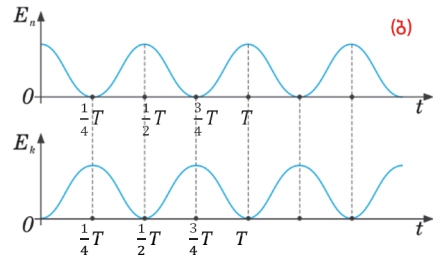
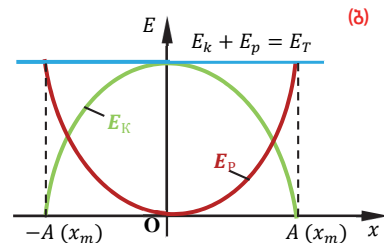
$$E_{\text{კ}} = \frac{mv^2}{2} = \frac{m\omega^2 A^2}{2} \sin^2(\omega t + \varphi_0) = \frac{kA^2}{2} \sin^2(\omega t + \varphi_0). \quad (4.31)$$

სიმარტივისთვის დავუშვათ, რომ სანყისი ფაზა $\varphi_0 = 0$ და გრაფიკულად წამოვიდგინოთ კინეტიკური და პოტენციური ენერგიები, რომლებიც ჰარმონიული კანონით იცვლება (ა).

როგორც ზემოთ აღვნიშნეთ, სისტემის სრული მექანიკური ენერგია ჰარმონიული კანონით არ იცვლება:

$$E_{\text{სრ}} = \frac{mv^2}{2} + \frac{kx^2}{2} = \frac{kA^2}{2} \cos^2(\omega t + \varphi_0) + \frac{kA^2}{2} \sin^2(\omega t + \varphi_0) = \frac{kA^2}{2}. \quad (4.32)$$

• ჰარმონიული რხევის სრული მექანიკური ენერგია რხევის ამპლიტუდის კვადრატის პირდაპირპროპორციულია.



თუ რხევით სისტემაში ხახუნის ძალა არსებობს, მისი სრული ენერგია მუდმივი არ არის. ენერგია მცირდება ხახუნის ძალის დასაძლევად შესრულებული მუშაობის ტოლი სიდიდით. ამის გამო რხევები მიიღევა: $\Delta E_{\text{სრ}} = A_{\text{ხახ.}}$

პრეზენტაციის მომზადების გეგმის ნიმუში

I სლაიდი:	- პრეზენტაციის თემა - მომზადა
II-IV სლაიდები:	ენერგიის გარდაქმნა ზამბარიან ქანქარაში
V-VII სლაიდები:	ენერგიის გარდაქმნა მათემატიკურ ქანქარაში
VIII სლაიდი:	პოტენციური ენერგიის ცვლილების აღწერა ჰარმონიული რხევის ფორმულისა და გრაფიკის გამოყენებით
IX სლაიდი:	კინეტიკური ენერგიის ცვლილების აღწერა ჰარმონიული რხევის ფორმულისა და გრაფიკის გამოყენებით
X სლაიდი:	ჩაკეტილი სისტემაში მიდინარე ჰარმონიული რხევის სრული მექანიკური ენერგიის მუდმივობის საკითხი

4.6 იძულებითი რხევები. რეზონანსი

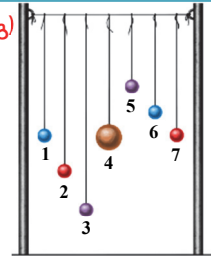
- ალბათ, გსმენიათ ორი უჩვეულო ისტორიული მოვლენის შესახებ:
- 1905 წელი, ქალაქი სანქტ-პეტერბურგი (რუსეთი), ხიდი, რომელიც ეგვიპტური ხიდის სახელით არის ცნობილი. ხიდის სიგრძე 55 მ-ია და მისი კონსტრუქცია ჯაჭვებით არის დაკიდებული. ხიდზე კავალერიის ესკადრონის გავლის დროს ხიდის ერთი ნაწილი ჩანყდა და მდინარე ფონტანკის ყინულზე დაეცა (ა).
 - 1940 წელი. ტაკომა-ჰეროუზის სრუტეზე (აშშ) გადასასვლელი დაკიდებული ხიდი „ტაკომა“, რომლის სიგრძე 1810 მ-ია. ერთ ქარიან დღეს ხიდი ჩანყდა (ბ).
 - რა არის საერთო მომხდარ მოვლენებში. არის თუ არა ეს რხევითი მოძრაობასთან დაკავშირებული?



კვლევითი სამუშაო-1. რომელი ქანქარა ირხევა უფრო დიდი ამპლიტუდით? (ა)

სამუშაოსთვის საჭიროა: შტატივი მომჭერით (2 ცალი) ან ერთ სადგამზე დამაგრებული ორი ვერტიკალური საყრდენი, მსხვილი ძაფი, სხვადასხვა სიგრძის ძაფიანი ქანქარები (ერთ მათგანზე ბურთულის მასა მეტია, ვიდრე დანარჩენ ქანქარებზე).

სამუშაოს მსვლელობა: 1. საყრდენებზე დაამაგრეთ კრგად გაჭიმული მსხვილი ძაფი, მასზე დაკიდეთ ქანქარები, როგორც ნახატზეა ნაჩვენები (ა). 2. რხევები განაპირა (1-ლ ან მე-7) ქანქარაში აღძარი. დააკვირდით, რომელი ქანქარა ირხევა ისეთივე ამპლიტუდითა და სიხშირით, როგორითაც მე-4 მძიმე ბურთიანი ქანქარა?



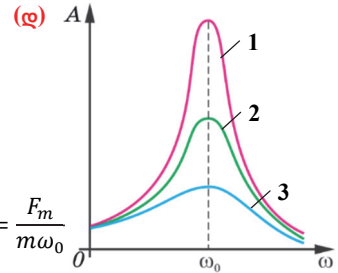
იმსჯელეთ შედეგებზე:

- რომელი ქანქარები ასრულებენ თავისუფალ რხევებს, რომელი – იძულებითს? რატომ?
- რომელი ქანქარა ირხევა იმავე სიხშირით, როგორითაც მე-4 ქანქარა? რატომ?
- რომელი ქანქარის რხევის ამპლიტუდაა გაცილებით დიდი? რატომ?

ჰარმონიული კანონით ცვლადი გარე ძალის მოქმედებით (მაგალითად, $F = F_{\text{მაქს}} \cos t$) რხევით სისტემაში იძულებითი რხევები აღიძვრება.

• იძულებითი რხევის სიხშირე ყოველთვის მაიძულებელი ძალის მოქმედების სიხშირეს ემთხვევა – რა სიხშირითაც გარე ძალა მოქმედებს, იმავე სიხშირის რხევები აღიძვრება სისტემაში.

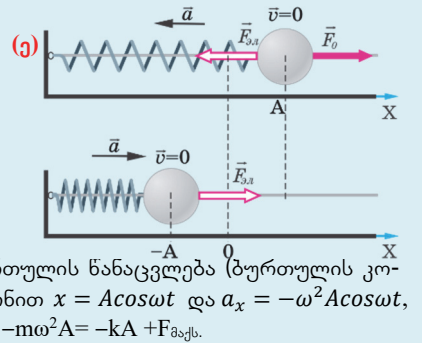
• იძულებითი რხევის ამპლიტუდა დამოკიდებულია მაიძულებელი ძალის მოქმედების სიხშირეზე. როდესაც მაიძულებელი ძალის მოქმედების სიხშირე სისტემის საკუთარ სიხშირეს უახლოვდება, იძულებითი რხევის ამპლიტუდა იზრდება (დ). როდესაც ეს ორი სიხშირე ერთმანეთს გაუტოლდება ($\omega = \omega_0$) ხდება მოვლენა, რომელსაც რეზონანსი ეწოდება:



• რეზონანსი არის იძულებითი რხევის ამპლიტუდის მკვეთრი ზრდა.

რეზონანსული მრუდის ფორმა დამოკიდებულია სისტემაში მოქმედი ხახუნის ძალის სიდიდეზე. მცირე ხახუნის დროს რეზონანსული მრუდი უფრო მაღალია (1 მრუდი), თუ სისტემაში მოქმედი ხახუნის ძალები მნიშვნელოვანია, პირიქით, რეზონანსული მრუდი დაბალია (მე-3 მრუდი).

დავაკვირდეთ ჰორიზონტალური ზამბარიანი ქანქარის რხევას და გავარკვიოთ მისი მოძრაობის თეორიული საფუძველი: დავუშვათ, m მასის ბურთულა იძულებითი რხევას ასრულებს გარე ძალის მოქმედებით, რომელიც $F = F_{\text{მაქს}} \cos \omega t$ კანონით იცვლება (ე).



ნიუტონის მეორე კანონის გათვალისწინებით, ქანქარის იძულებითი რხევის განტოლებას ასეთი სახე ექნება: $m a_x = -kx + F_{\text{მაქს}} \cos \omega t$

თუ ამ განტოლებაში გავითვალისწინებთ, რომ ბურთულის წანაცვლება (ბურთულის კოორდინატი) და სიჩქარე იცვლება პერიოდული კანონით $x = A \cos \omega t$ და $a_x = -\omega^2 A \cos \omega t$, მივიღებთ: $-m\omega^2 A \cos \omega t = -kA \cos \omega t + F_{\text{მაქს}} \cos \omega t$ ან $-m\omega^2 A = -kA + F_{\text{მაქს}}$.

იმის გათვალისწინებით, რომ $k = m\omega_0^2$, თუ: $-m\omega^2 A = -m\omega_0^2 A + F_{\text{მაქს}}$ ან

$$A = \left| \frac{F_{\text{მაქს}}}{m(\omega^2 - \omega_0^2)} \right|. \quad (4.33)$$

აქ ω_0 სისტემის თავისუფალი რხევის ციკლური სიხშირეა, ω – იძულებითი რხევის ციკლური სიხშირე, A – იძულებითი რხევის ამპლიტუდა.

რხევის ამპლიტუდის ციკლურ სიხშირეზე დამოკიდებულების ფორმულიდან (4.33) ჩანს, რომ რეზონანსის დროს, როდესაც $\omega = \omega_0$, რხევის ამპლიტუდა

უსასრულოდ იზრდება: $A = \left| \frac{F_{\text{მაქს}}}{m(\omega^2 - \omega_0^2)} \right| = \frac{F_{\text{მაქს}}}{0} \rightarrow \infty$.

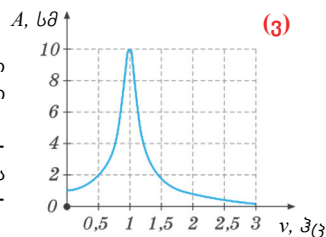
რეზონანსის მოვლენა რხევითი სისტემის იძულებითი რხევის დროს დიდ დამანგრეველ ძალას ქმნის, რომელიც შეიძლება კატასტროფის მიზეზი გახდეს. მაგალითად, თუ პერიოდული ძალის სიხშირე, რომლითაც მარშის დროს სამხედრო ნაწილი მოქმედებს ხიდეზე, ხიდის თავისუფალი (ანუ საკუთარი) რხევის სიხშირეს დაემთხვევა, ხიდში აღძრული იძულებითი რხევების ამპლიტუდა მკვეთრად გაიზრდება, რამაც შეიძლება მისი ნგრევა გამოიწვიოს. ამიტომ ხიდეზე გადასვლის დროს ჯარისკაცებს აძლევენ ბრძანებას, მწყობრი ნაბიჯით არ იმოძრაონ.

კვლევითი სამუშაო-2. გამოყენება

შევისწავლოთ რეზონანსული მრუდი

ამოცანა. მოცემული რეზონანსული მრუდის მიხედვით განსაზღვრეთ რხევითი სისტემის რხევის საკუთარი სიხშირე (3).

იმსჯელეთ შედეგებზე: 1. რამდენი ჰერცია სისტემის საკუთარი რხევის სიხშირე? 2. როგორ განსაზღვრეთ სისტემის საკუთარი რხევის სიხშირე? 3. რის ტოლია სისტემის იძულებითი რხევის რეზონანსული ამპლიტუდა?



შეძენილი ცოდნის გამოყენება ყოველდღიურ ცხოვრებაში: როგორც იცით, ავტომობილის ძრავას ცილინდრში დგუშის მოძრაობა რხევითი მოძრაობაა. რხევითი მოძრაობის რომელ სახეს მიეკუთვნება ცილინდრში დგუშის მოძრაობა: თავისუფალს თუ იძულებითს? რატომ?

შეაფასეთ თქვენი ცოდნა: 1. რომელი ცნებები გაიმეორეთ გაკვეთილზე? რა გაიგეთ კარგად და რა დარჩა ნაწილობრივ გაუგებარი? 2. რა იყო სანქტ-პეტერბურგის ეგვიპტური ხიდის ნგრევის მიზეზი? 3. რა მიზეზით დაინგრა ხიდი „ტაკომა“ აშშ-ში? 4. რაზეა დამოკიდებული იძულებითი რხევის ამპლიტუდა? 5. რომელი პირობის შესრულების დროს აღიძვრება რეზონანსი? 6. რომელი ფაქტორი განაპირობებს რეზონანსული მრუდის სიმაღლის ზრდას?

რა შეიტყვეთ? ჩამოაყალიბეთ დასახელებული ცნებების მოკლე განმარტებები: „იძულებითი რხევები“, „იძულებითი რხევების ამპლიტუდა“, „რეზონანსი“.

4.7 რეზონანსის გავრცელება დრეკად გარემოში: მექანიკური ტალღა

როგორც იცით, მიწისძვრის დროს დედამიწის წიაღში აღძრული P-ტიპის გრძივი ტალღების გავრცელების სიჩქარე მეტია დედამიწის ზედაპირზე აღძრული L-ტიპის განივი ტალღების გავრცელების სიჩქარეზე. ამ სიჩქარეებს შორის სხვაობის საფუძველზე მეცნიერი-სეისმოლოგები საზღვრავენ მანძილს დაკვირვების ადგილიდან მიწისძვრის ეპიცენტრამდე (იხ. ფიზიკა 7, გვ. 143).

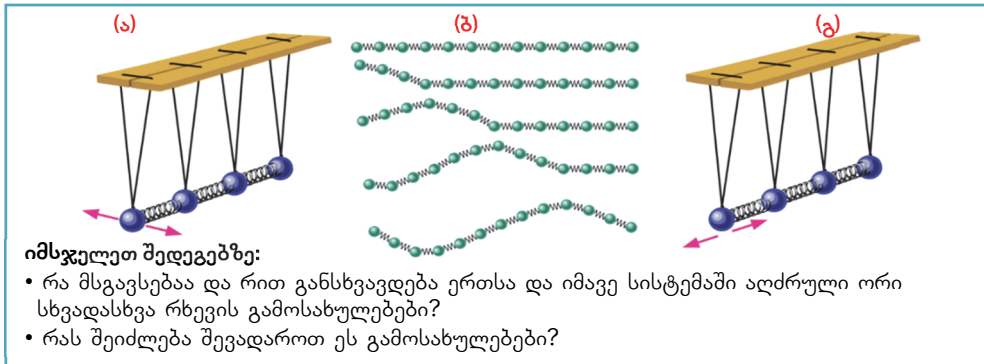
- რა არის ტალღა და აუცილებელია თუ არა ტალღის გავრცელებისთვის მყარი გარემო?
- რის გადატანა ხდება ტალღით: ნივთიერების თუ ენერგიის?
- რაზეა დამოკიდებული ტალღის გავრცელების სიჩქარე?

კვლევითი სამუშაო-1. რა ხდება რხევით სისტემებში?

სამუშაოსთვის საჭიროა: ზამბარებით დაკავშირებული ბურთულების სისტემა, რომელიც დრეკადი გარემოს მოდელს წარმოადგენს, მობილური ტელეფონი.

სამუშაოს მსვლელობა:

1. მოდელი მოათავსეთ მაგიდის ზედაპირზე. აღდართ სისტემაში რხევითი მოძრაობა უკიდურესი მარცხენა ბურთულის ნანაცვლებით წონასწორობის მდგომარეობის ერთ და მეორე მხარეს, ბურთულების ჯაჭვის პერპენდიკულარულარული მიმართულებით (ა).
2. მობილური ტელეფონით ახლო მანძილიდან გადაიღეთ ბურთულების რხევების წარმოქმნილი სურათის ზედხედის ფოტო (ბ).
3. შეწყვიტეთ რხევები. სისტემა საწყის მდგომარეობაში მოიყვანეთ და უკიდურესი მარცხენა ბურთულის ნანაცვლებით წინ და უკან ბურთულების ჯაჭვის გასწვრივ (გ) სისტემაში რხევითი მოძრაობა აღდართ. ამ შემთხვევაში გადაიღეთ წარმოქმნილი რხევითი მოძრაობის სურათის გვერდხედის (მაგიდის ზედაპირის გასწვრივ) ფოტო.
4. ფოტოები პრინტერზე ამობეჭდეთ და სამუშაო რეგულში ჩაანებეთ. გაარკვიეთ, რა მსგავსება და რა განსხვავებაა ზამბარებით დაკავშირებული ბურთულების სისტემაში აღძრული რხევების გამოსახულებებს შორის.



ტალღა. მექანიკური რხევები სხვადასხვა ჩაკეტილ რხევით სისტემებშია შესწავლილი, მაგალითად, ზამბარიან და მათემატიკურ ქანქარებში. მაგრამ ბუნებაში უფრო ხშირად დრეკად გარემოში აღძრული რხევები გვხვდება. დრეკად გარემოში რხევები გარემოს ერთი ნაწილისგან მეორეს გადაეცემა. მაგალითად, უძრავი წყლის ზედაპირზე ქვის დაცემის დროს წარმოიქმნება წყლის კონცენტრირებული წრეები, რომლებიც ქვის დაცემის წერტილიდან ყველა მიმართულებით ვრცელდება. შთაბეჭდილება იქმნება, რომ წყალი სივრცეში ჩაზნექილობებისა და ამოზნექილობების საშუალებით გადაადგილდება. მაგრამ, თუ ქვის დაცემის ადგილის ახლოს ტივტივას ან ტენისის ბურთს მოვათავსებთ, დავინახავთ, რომ ისინი მხოლოდ ერთ ადგილზე ასრულებენ რხევით მოძრაობას ზევით-ქვევით. ამგვარად, გარკვეულ ადგილზე აღძრული წყლის ნაწილაკების რხევითი მოძრაობა წყლის მეზობელ ნაწილაკებს გადაეცემა, იწვევს მათ რხევას და წყალში (წყლის ნაწილაკებისგან შედგენილ გარემოში) ყველა მიმართულებით რხევითი მოძრაობა ვრცელდება. რხევითი მოძრაობის გავრცელების დროს, რასაც ტალღა ეწოდება, წყლის გადატანა არ ხდება, გადაადგილდება მხოლოდ წყლის ფორმა.

- ტალღა არის სივრცეში რხევის გავრცელების პროცესი, რომელიც დროის განმავლობაში ხდება.

ტალღის გავრცელების დროს გარემოში შემდეგი მოვლენები ხდება: ა) გარემოს ნაწილაკების რხევითი მოძრაობა – გარემოს ნაწილაკები ასრულებენ მხოლოდ რხევით მოძრაობას საკუთარი ნონასწორობის მდგომარეობის მიმართ და ტალღით ნივთიერების გადატანა არ ხდება;

ბ) გარემოს ნაწილაკების მეზობელ ნაწილაკებთან ურთიერთქმედება – ნაწილაკებს შორის ურთიერთქმედების შედეგად ხდება გარემოში ენერგიის გადატანა. ზემოთქმულიდან გამომდინარე, ტალღა შეიძლება შემდეგნაირად განვმარტოთ:

- ტალღა არის ენერგიის გადატანის პროცესი ნივთიერების გადატანის გარეშე.

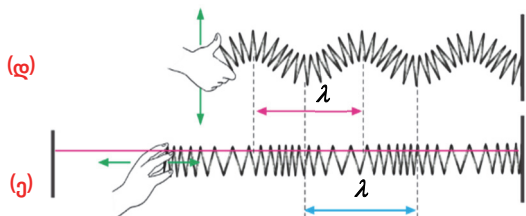
მექანიკური ტალღა. ბუნებაში ყველაზე ხშირად მექანიკური ტალღები გვხვდება.

- **მექანიკური ტალღა** არის გარემოში მექანიკური რხევების გავრცელების პროცესი. ვაკუუმში მექანიკური ტალღა არ ვრცელდება. მექანიკური ტალღები მხოლოდ დრეკად გარემოში (მყარ სხეულებში, სითხეებსა და აირებში) ვრცელდება.

მექანიკურ ტალღებს, რომლებიც დრეკად გარემოში ვრცელდება, დრეკადი ტალღები ეწოდება.

• **დრეკადი ტალღა** არის დრეკად გარემოში მექანიკური ენერგიის გადაცემის პროცესი. ამ პროცესის სიხშირე ტალღის გამომწვევი წყაროს რხევის სიხშირის შესაბამისია. დრე-კადი გარემოს გარეთ დრეკადი ტალღა არ ვრცელდება. არსებობს ორი სახის დრეკადი ტალღა: განივი და გრძივი.

• განივი ტალღა არის ტალღა, რომელიც გარემოს ნაწილაკების რხევითი მოძრაობის პერპენდიკულარული მიმართულებით ვრცელდება. ჩანივი ტალღები შეიძლება გავრცელდეს მხოლოდ მყარ სხეულებში ან სითხეების ზედაპირზე. განივი ტალღები გარემოში ვრცელდება გარემოს ამოზნექილი და ჩაზნექილი უბნების მონაცვლეობის სახით (დ).



• გრძივი ტალღა არის ტალღა, რომელიც გარემოს ნაწილაკების რხევითი მოძრაობის მიმართულებით ვრცელდება. გრძივ ტალღებს ყველა გარემოში (მყარ სხეულებში, სითხეებსა და აირებში) შეუძლია გავრცელება. გრძივი ტალღები გარემოში ვრცელდება გარემოს შეკუმშული და გაფართოებული უბნების (ზონების) მონაცვლეობის სახით. მაგალითად, გაატარეთ ძაფი გრძელ ზამბარაში. საყრდენებზე ჰორიზონტალურად დაამაგრეთ ძაფის ორივე და ზამბარის ერთი ბოლო. თუ ზამბარის თავისუფალ ბოლოს ძაფის გასწვრივ მარჯვნივ-მარცხნივ აამოძრავებთ, დაინახავთ ზამბარის რგოლების შემჭიდროებული და გაფართოებული უბნების მონაცვლეობას (ე).

ტალღის მახასიათებელი სიდიდეები. გარემოს გარკვეულ წერტილში აღძრული რხევა გარემოში მყისიერად არ ვრცელდება. რხევის გავრცელებას გარკვეული სასრული სიჩქარე აქვს, რომელსაც ტალღის სიჩქარე განსაზღვრავს.

• ტალღის სიჩქარე არის გარემოში ტალღის გავრცელების სიჩქარე.

რადგან ერთგვაროვან გარემოში ტალღა მუდმივი სიჩქარით (თანაბრად) ვრცელდება, ტალღის სიჩქარე იქნება:

$$v = \frac{l}{t}. \quad (4.34)$$

სადაც l მანძილია, რომელზეც გავრცელდა ტალღა დროის t შუალედში: $l = v \cdot t$ ტალღის სხვა მახასიათებლებია სიხშირე, პერიოდი და ტალღის სიგრძე.

• ტალღის სიხშირე (პერიოდი) არის ტალღის გამომწვევი წყაროს რხევის სიხშირე (პერიოდი).

• ტალღის სიგრძე არის მანძილი ($l = \lambda$), რომელზეც გავრცელდება ტალღა რხევის ერთი პერიოდის ტოლი დროის განმავლობაში ($t = T$).

ამ განმარტების გათვალისწინებით (4.34) ფორმულიდან მივიღებთ ტალღის გავრცელების სიჩქარის ფორმულას:

$$v = \frac{\lambda}{T}, \quad (4.35) \quad \text{ან} \quad v = \nu \cdot \lambda. \quad (4.36)$$

სადაც λ (ლამბდა) ტალღის სიგრძეა და მისი საზომი ერთეული SI სისტემაში არის მეტრი. ბოლო ორი ფორმულიდან შეგვიძლია გავსაზღვროთ ტალღის სიგრძე:

$$\lambda = v \cdot T; \quad \lambda = \frac{v}{\nu}. \quad (4.37)$$

ტალღის სიჩქარე არ არის დამოკიდებული მის სიხშირესა და პერიოდზე. ტალღის სიჩქარე დამოკიდებულია გარემოს თვისებებსა და აგრეგატულ მდგომარეობაზე. ტალღის სიგრძე ერთგვაროვან გარემოში (სადაც ტალღის

სიჩქარე $v = \text{const}$) რხევის პერიოდის პირდაპირპროპორციულია და რხევის სიხშირის უკუპროპორციული.

ერთი გარემოდან მეორეში გადასვლის დროს ტალღის სიხშირე და პერიოდი არ იცვლება, მაგრამ, რადგან სხვადასხვა გარემოში ტალღის გავრცელების სიჩქარე განსხვავებულია, იცვლება ტალღის სიგრძე.

• **ტალღის სიგრძე** არის მანძილი ტალღის ორ უახლოეს ნერტილს შორის, რომლებიც ერთნაირი ფაზით ირხევა. განივი ტალღის სიგრძე ორი მეზობელი ამოზნექილი ან ჩაზნექილი უბნის მწვერვალებს შორის მანძილის ტოლია (იხ. დ), ხოლო გრძივი ტალღის სიგრძე შეკუმშულ ან გაფართოებულ ორ მეზობელ უბანს (ზონას) შორის მანძილის ტოლია (იხ. ე).

ტალღის განტოლება.

დავუშვათ, ტალღის წარმომქმნელი წყარო ირხევა ჰარმონიული კანონით $x = A \cos \omega t$.

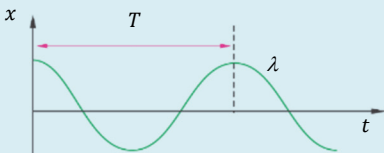
თუ რხევითი მოძრაობა ტალღის წყაროს გარემომცველ გარემოში რაიმე $\vec{r}$ სიჩქარით ვრცელდება, ეს ნიშნავს რომ წრმოიქმნა ტალღა. შედეგად დროის გარკვეული τ (ტაუ) შუალედის შემდეგ ტალღა მიაღწევს ნერტილს, რომელიც ტალღის წყაროდან l მანძილითაა დაშორებული:

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

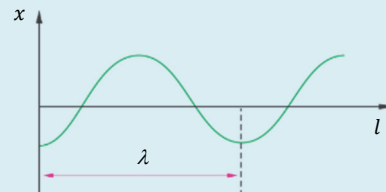
ეს ნიშნავს, რომ ტალღა, რომელშიც რხევა იმავე კანონით სრულდება, როგორითაც ტალღის წარმომქმნელ წყაროში, l მანძილით დაშორებულ ნერტილს τ წამის დაგვიანებით მიაღწევს. ამიტომ ტალღის წყაროდან ნებისმიერი l მანძილით დაშორებულ ნერტილში მისული ტალღის განტოლება შეგვიძლია შემდეგნაირად ჩავწეროთ:

$$x = A \cos \omega(t - \tau) = A \cos \omega\left(t - \frac{l}{v}\right) = A \cos \frac{2\pi}{T}\left(t - \frac{l}{v}\right). \quad (4.38)$$

ტალღის გრაფიკი და ჰარმონიული რხევის გრაფიკები ფორმით მსგავსია, მაგრამ ერთი და იგივე არ არის. თუ ჰარმონიული რხევის გრაფიკი მერხვეი სხეულის ერთ-ერთი მახასიათებლის, მაგალითად წანაცვლების (კოორდინატის), დროზე დამოკიდებულებას გვიჩვენებს (ვ), ტალღის გრაფიკი არის გარემოს ნერტილების განლაგება სივრცეში დროის მოცემულ მომენტში, ანუ გვიჩვენებს გარემოში წარმოქმნილი ტალღის ფორმის ჰარმონიულობას (ზ).



(ვ) – რხევის კოორდინატის პერიოდული ცვლილება დროში



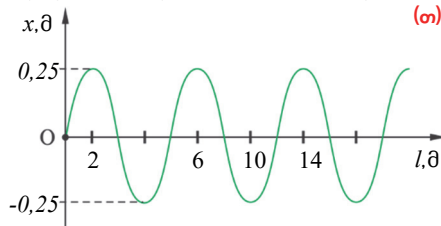
(ზ) – ტალღის კოორდინატის პერიოდული ცვლილება სივრცეში

კვლევითი სამუშაო-2. ამოხსენით გრაფიკული ამოცანა

ამოცანა. ტალღის გრაფიკის მიხედვით განსაზღვრეთ მისი პერიოდი და სიხშირე (თ). ტალღის გავრცელების სიჩქარე 12 მ/წმ-ია.

იმსჯელეთ შედეგებზე:

1. როგორია ტალღის სიგრძე?
2. რომელი ფორმულით განსაზღვრეთ ტალღის სიხშირე (ან პერიოდი)?



შექნილი ცოდნის გამოყენება ყოველდღიურ ცხოვრებაში: დაკვირვებებით დაადგინეს, რომ საფრანგეთის სანაპიროზე ატლანტის ოკეანის ერთი ტალღის მიერ (გა)მოტანილი ენერგია 75 მილიონი კილოვატის ეკვივალენტურია.

• შესაძლებელია თუ არა იმ ენერგიის გამოყენება, რომელიც ოკეანის ტალღებს გადააქვთ? თუ შესაძლებელია, როგორ?

შეფასეთ თქვენი ცოდნა:

1. რომელი ცნებები გაიმეორეთ გაკვეთილზე? რა გაიგეთ კარგად და რა დარჩა თქვენთვის ნაწილობრივ გაურკვეველი?
2. რით განსხვავდება რხევითი მოძრაობის გრაფიკი ტალღის გრაფიკისგან?
3. რატომ ვრცელდება მექანიკური ტალღა გარემოში და არ ვრცელდება ვაკუუმში?
4. რა მსგავსება და რა განსხვავებაა განივ და გრძივ ტალღებს შორის?
5. რატომ წარმოიქმნება რხევითი მოძრაობის ფაზებს შორის სხვაობა მექანიკური ტალღის სხვადასხვა ენტიტელში?
6. ნავი ირხევა ტალღაზე, რომელიც 4 მ/წმ სიჩქარით ვრცელდება. ტალღის რხევის პერიოდია 3,2 წმ. რის ტოლია ტალღის სიგრძე, რომელზეც ნავი ირხევა?

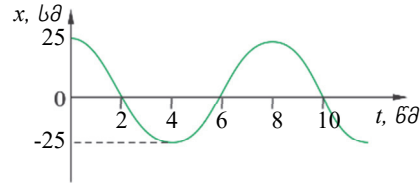
რა შეიტყავეთ? სამუშაო რეულში ჩანერეთ დასახელებული ცნებების განმარტებები: „ტალღა“, „მექანიკური ტალღა“, „დრეკადი გარემო“, „დრეკადი ტალღა“, „განივი ტალღა“, „გრძივი ტალღა“, „ტალღის სიჩქარე“, „ტალღის სიხშირე“, „ტალღის რხევის პერიოდი“, „ტალღის სიგრძე“, „ტალღის გრაფიკი“.

- 4.1. ქანქარა 10 წმ-ის განმავლობაში 80 A-ს ტოლ მანძილს გადის. განსაზღვრეთ ქანქარის რხევის პერიოდი (A რხევის ამპლიტუდაა).
- 4.2. რამდენი ამპლიტუდის ტოლ მანძილს გაივლის 10 წმ-ის განმავლობაში ქანქარა, რომლის რხევის სიხშირე 0,5 ჰერცია?
- 4.3. მერხვეი სისტემა 1 წთ-ში 90 რხევას ასრულებს. რის ტოლია ამ სისტემის რხევის პერიოდი, სიხშირე და ციკლური სიხშირე ($\pi = 3$)?
- 4.4. რამდენ რხევას შეასრულებს 20 წმ-ის განმავლობაში ქანქარა, რომლის რხევის პერიოდი 0,2 წმ-ია? რის ტოლია ამ ქანქარის რხევის სიხშირე და ციკლური სიხშირე ($\pi = 3$)?
- 4.5. ზამბარიანი ქანქარა, რომლის რხევის ამპლიტუდა 0,2 მ-ია, ჰარმონიულ რხევებს 2 ჰც სიხშირით ასრულებს. დანერეთ ქანქარის ჰარმონიული რხევის განტოლება.
- 4.6. ზამბარიანი ქანქარა, რომლის რხევის ამპლიტუდა 0,2 მ-ია, ჰარმონიულ რხევებს სინუსის კანონით ასრულებს, 2 ჰც სიხშირით. განსაზღვრეთ ზამბარის დრე-კადობა ($\pi = 3$; $\phi_0 = 0$).
- 4.7. ზამბარაზე დამაგრებული 100 გ მასის ტვირთი ჰორიზონტალური ღერძის გასწვრივ ხახუნის გარეშე 2 ჰც სიხშირით ირხევა. განსაზღვრეთ ზამბარის სიხისტე ($\pi = 3$).
- 4.8. 16 ნ/მ სიხისტის ზამბარაზე დამაგრებული 250 გ მასის ტვირთი ჰორიზონტალურ სიბრტყეში ირხევა ხახუნის გარეშე. განსაზღვრეთ ზამბარის რხევის პერიოდი ($\pi = 3$).
- 4.9. განსაზღვრეთ მათემატიკური ქანქარის სიგრძე, თუ მისი რხევის პერიოდი 1 წმ-ის ტოლია ($g = 9,8 \text{ მ/წმ}^2$).
- 4.10. მათემატიკური ქანქარის რხევის ამპლიტუდა 5 სმ-ია. ქანქარა 1 წთ-ში 150 სრულ რხევას ასრულებს. რომელი კანონით იცვლება ქანქარის კოორდინატა, თუ რხევის საწყისი ფაზა 45° -ის ტოლია ($\pi = 3$).

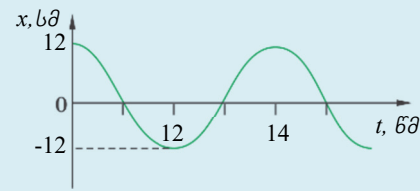
4.11. რხევითი სისტემის კოორდინატი $x = 4,5 \cos 4\pi t$ კანონით იცვლება. განსაზღვრეთ რხევის ამპლიტუდა და სიხშირე.

4.12. რის ტოლია ქანქარის რხევის ფაზა 1,5 წმ-ის შემდეგ, თუ რხევის პერიოდი 4 წმ-ია ($\varphi_0 = 0$)?

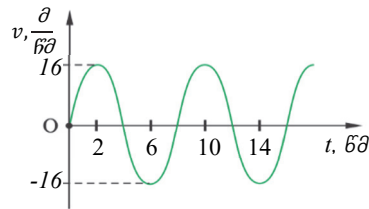
4.13. ნახატზე მოცემულია ნანაცვლების დროზე დამოკიდებულების გრაფიკი მატერიალური წერტილისთვის, რომელიც ჰარმონიულ რხევას ასრულებს. განსაზღვრეთ ამ ქანქარის სიჩქარის ამპლიტუდური მნიშვნელობა ($\pi=3$).



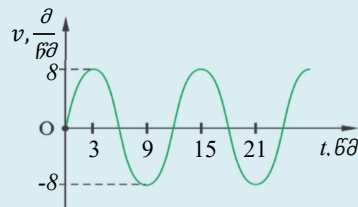
4.14. ნახატზე მოცემულია ნანაცვლების დროზე დამოკიდებულების გრაფიკი მატერიალური წერტილისთვის, რომელიც ჰარმონიულ რხევას ასრულებს. განსაზღვრეთ ამ ქანქარის აჩქარების ამპლიტუდური მნიშვნელობა ($\pi = 3$).



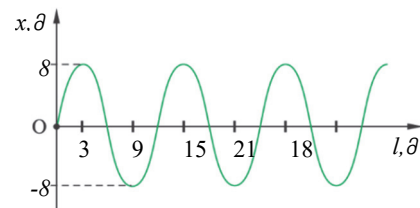
4.15. ნახატზე მოცემულია სიჩქარის დროზე დამოკიდებულების გრაფიკი მატერიალური წერტილისთვის, რომელიც ჰარმონიულ რხევას ასრულებს. განსაზღვრეთ ამ ქანქარის აჩქარების ამპლიტუდური მნიშვნელობა ($\pi = 3$).



4.16. ნახატზე მოცემულია სიჩქარის დროზე დამოკიდებულების გრაფიკი მატერიალური წერტილისთვის, რომელიც ჰარმონიულ რხევას ასრულებს. განსაზღვრეთ ამ ქანქარის ნანაცვლების (კოორდინატის) ამპლიტუდური მნიშვნელობა ($\pi = 3$).



4.17. მოცემული გრაფიკის მიხედვით განსაზღვრეთ ტალღის სიგრძე, პერიოდი და სიხშირე. ტალღის გავრცელების სიჩქარე 240 მ/წმ-ია.



4.18. გამოთვალეთ ტალღის სიგრძე, თუ მისი გავრცელების სიჩქარე 550 მ/წმ-ია, ხოლო რხევის პერიოდი - 0,02 წმ.

4.19. ზღვის ნაპირზე 30 წმ-ის განმავლობაში 15 ტალღა გამოდის. ტალღის გავრცელების სიჩქარე 4 მ/წმ-ია. განსაზღვრეთ ტალღის სიგრძე.

4.20. სისტემაში რხევა ხ = 7 ცოც 4π ტ კანონით მიმდინარეობს. რა სიხშირით უნდა იმოქმედოს მაიძულებელმა ძალამ, რომ სისტემაში რეზონანსი აღიძვრას?



რელატივისტური მექანიკა

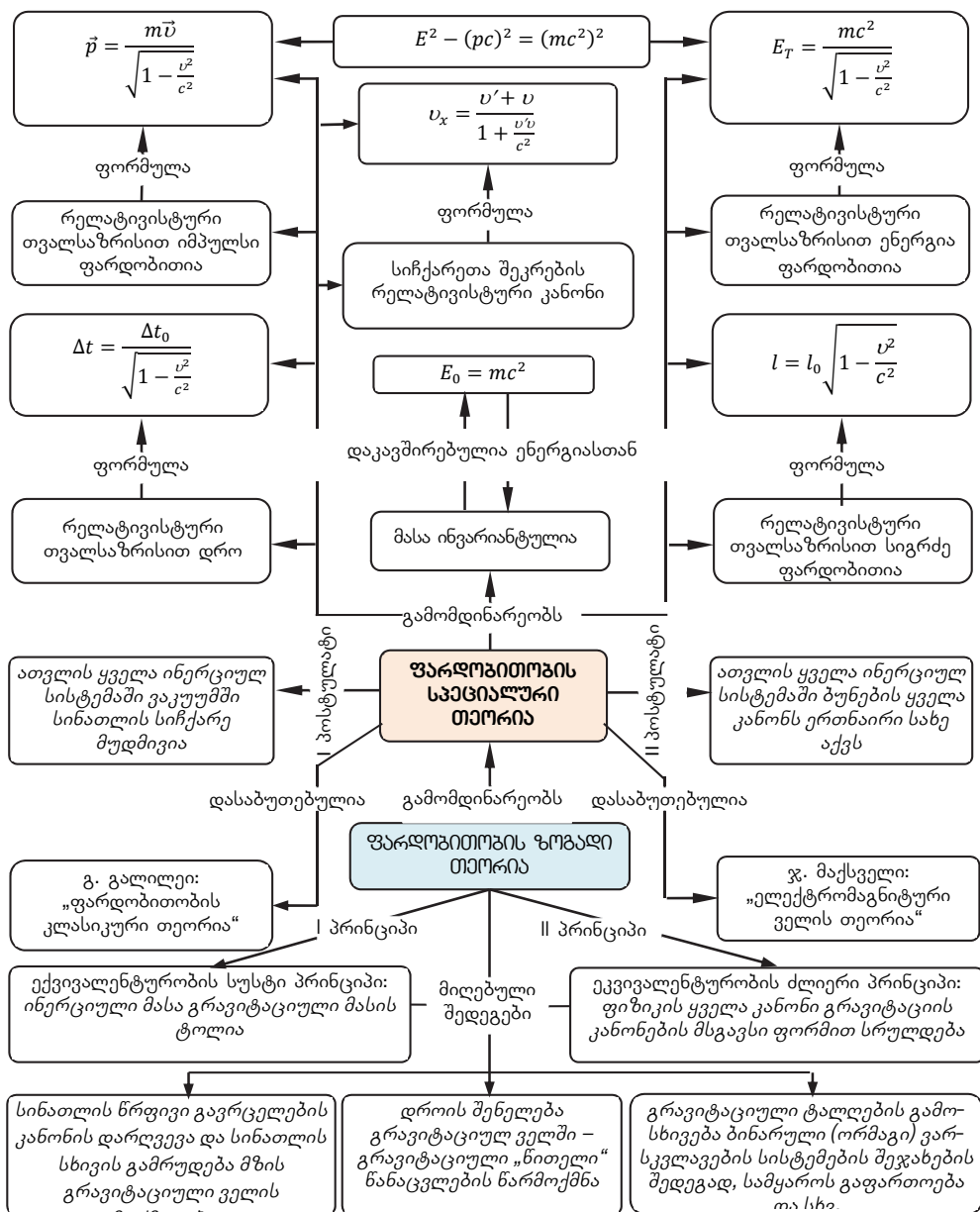
ამ თავის შესწავლის შემდეგ
თქვენ შეძლებთ:

ამ თავის შესწავლის შემდეგ თქვენ შეძლებთ:

- განასხვაოთ ცნებები „სივრცე“, „დრო“ და „მოძრაობა“ კლასიკური და რელატივისტური მექანიკის თვალსაზრისით;
- ახსნათ ფარდობითობის სპეციალური თეორიის მეცნიერული შინაარსი;
- ახსნათ ფუნდამენტური კავშირის არსებობა მასასა და ენერგიას შორის;
- ახსნათ დროის, სიგრძის, ენერგიისა და იმპულსის ფარდობითობა, მასის ინვარიანტულობა, სინათლის სიჩქარის მუდმივობა და სასრულობა ვაკუუმში ათვლის ყველა სისტემაში;
- ამოხსნათ ფარდობითობის სპეციალური თეორიის ამოცანები.



„ცნებების რუკა“ V თავისათვის



5.1 ფარდობითობის თეორიის საფუძვლები

კალენდარზე 2035 წლის 29 დეკემბერია. ორი დღის შემდეგ ასტრონავტების საერთა-
მორისო გუნდი ვარსკვლავთშორის კოსმოსურ მოგზაურობაში გაემართება. გუნდის
კაპიტანი 44 წლის აზერბაიჯანელია. დამშვიდობებისას იგი თავის 16 წლის შვილს,
არიფს, მე-10 კლასის მოსწავლეს, ეუბნება: „შვილო, ჩვენ კოსმოსში თანაბარი სიჩქარით
ვიმოძრავეთ, რომელიც დაახლოებით სინათლის სიჩქარის ტოლია (0,95 c), კოსმოსურ
სივრცეში გამოკვლევებს ჩავატარებთ და დედამიწაზე 20 წლის შემდეგ დავბრუნდებით.
თუ რამე გაუთვალისწინებელი არ მოხდა, როდესაც შევხვდებით, შენ 80 წლის იქნები,
მე – 64-ის“. არიფი გაკვირვებული შეეპასუხა:
„მამა, რაღაც ფანტასტიკურ მოვლენაზე მელაპარაკები.
20 წლის შემდეგ მე 36-ის ვიქნები“.

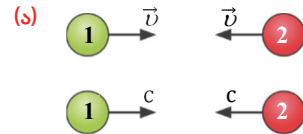
• რამდენად მართალია
არიფი? რატომ?

კვლევითი სამუშაო-1. ფარდობითია თუ არა სიჩქარე?

ამოცანა 1. ერთმანეთის შემხვედრი მიმართულებით მოძრავი ორი ნაწილაკის სიჩქარეა
10 მ/წმ. რის ტოლია 1-ლი ნაწილაკის სიჩქარე მე-2 ნაწილაკის მიმართ (ა)? რის ტოლი
იქნება 1-ლი ნაწილაკის სიჩქარე მე-2-ის მიმართ, თუ ისინი შემხვედრი
მიმართულებით სინათლის სიჩქარით იმოძრავენ ($c = 3 \cdot 10^8$ მ/წმ)?

იმსჯელეთ შედეგებზე:

1. რის ტოლია ნაწილაკების სიჩქარეები ერთმანეთის მიმართ?
2. შეიძლება თუ არა ნაწილაკის სიჩქარე სინათლის სიჩქარეზე მეტი იყოს?



გალილეის ფარდობითობის პრინციპი. 1636 წელს, გ. გალილეიმ განაზო-
გადა სხეულის მოძრაობაზე დაკვირვების შედეგები და ჩამოაყალიბა ფარდო-
ბითობის პრინციპი:

• მექანიკის კანონები ერთნაირია ათვლის ყველა ინერციულ სისტემაში.

სხვა სიტყვებით, ათვლის სისტემაში, რომელიც წრფივად და თანაბრად
მოძრაობს, მექანიკური მოძრაობა იმავე კანონებით მიმდინარეობს, რომლი-
თაც დედამიწის მიმართ უძრავ ათვლის სისტემაში.

ამ პრინციპმა გარკვეული შეზღუდვები წარმოშვა მექანიკური მოძრაობის გან-
ტოლებების შედგენის დროს: განტოლებებს, რომელიც მექანიკურ მოძრაობას აღ-
წერს, ათვლის ყველა ინერციულ სისტემაში ერთნაირი სახე უნდა ჰქონდეს.

ამ ნაშოდეგების მიხედვით, რომელსაც კლასიკურ წარმოდგენებს უწოდე-
ბენ, სივრცე და დრო, რომელშიც მექანიკური მოძრაობა ხდება, აბსოლუ-
ტურია – სხეულის ხაზოვანი ზომები არ არის დამოკიდებული იმაზე, მოძრა-
ობს თუ არა სხეული, სინათლის სიჩქარე კი უსასრულოდ დიდ სიდიდედ
ითვლება. ნიუტონის მექანიკა მთლიანად ამ პრინციპზეა აგებული. ამგვარად,
კლასიკურ მექანიკაში სხეულის კოორდინატი, დრო, სიგრძე და სიჩქარე ათვლის
ნებისმიერი ინერციული სისტემის მიმართ წარმოდგენილია კომპაქტური ფორ-
მულების სახით (იხ. ცხრილი 5.1), რომლებსაც „გალილეის გარდაქმნები“ ეწოდება.

აინშტაინის ფარდობითობის სპეციალური თეორია. ოლე რემერის ასტრო-
ნომიულმა კვლევებმა, რომლებიც მან მე-17 საუკუნის ბოლოს ჩაატარა, სი-
ნათლის სიჩქარის განსაზღვრისათვის განხორციელებულმა ლუი ფიზოს ლა-
ბორატორიულმა კვლევებმა მე-19 საუკუნის შუა პერიოდში და ამავე წლების
ჯ. მაქსველის თეორიულმა ნაშრომებმა, რომლებიც ელექტრომაგნიტური ვე-
ლის კვლევებთან იყო დაკავშირებული, დაამტკიცეს, რომ სინათლის გავრცე-
ლების სიჩქარე სასრული სიდიდეა. მე-20 საუკუნის დასაწყისში კლასიკური
ფარდობითობის პრინციპი და მისგან გამომდინარე შედეგები ხელახლა შეის-
წავლეს. დადგინდა ფორმულები, რომლებიც აკავშირებენ სივრცისა და დროის

მახასიათებელ ფიზიკურ სიდიდეებს ათვლის სხვადასხვა ინერციულ სისტემებში, რომლებიც სინათლის სიჩქარესთან მიახლოებული სიჩქარით მოძრაობენ.

ამ საკითხებთან დაკავშირებული ყველა კვლევის შედეგების განზოგადებით აინშტაინმა ახალი თეორია – „ფარდობითობის სპეციალური თეორია“ ჩამოაყალიბა, რომელიც რელატივისტური მექანიკის საფუძველი გახდა.

• **რელატივისტური მექანიკა** ფიზიკის ნაწილია, რომელიც განიხილავს მექანიკის კანონებს სხეულის მოძრაობის დროს სინათლის სიჩქარესთან მიახლოებული სიჩქარით.

მათემატიკური გამოთვლებით აინშტაინმა დამტკიცა, რომ მოძრავი ათვლის სისტემიდან უძრავ ათვლის სისტემაზე გადასვლის დროს საჭიროა კოორდინა-

ტისა და დროის გარდაქმნა უნივერსალური თანამამრავლის $1/\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}$, საშუალებით, რომელიც ლორენცმა განსაზღვრა (იხ. ცხრილი 5.1).

ფარდობითობის სპეციალური თეორიის საფუძველია ორი პოსტულატი:

• I პოსტულატი: ფიზიკის ყველა კანონი ერთნაირია ათვლის ყველა ინერციულ სისტემაში და ფიზიკური ცდებით შეუძლებელია ინერციული სისტემების ერთმანეთისგან გარჩევა.

• II პოსტულატი: სინათლის სიჩქარე ვაკუუმში ერთნაირია ათვლის ყველა ინერციულ სისტემაში და არ არის დამოკიდებული სინათლის წყაროსა და სინათლის მიმღების მოძრაობის სიჩქარეზე. სინათლის სიჩქარე მაქსიმალური სიჩქარეა ბუნებაში.

ფარდობითობის სპეციალურ თეორიაში აინშტაინმა შეძლო, კავშირი დაემყარებინა სივრცესა და დროს შორის და ისინი ერთ სივრცულ-დროით კონტინუუმში – „სივრცე-დროში“ – გაეთიანებინა.

ეს ნიშნავს, რომ ნებისმიერი მოვლენა ხასიათდება არა მხოლოდ სივრცული მახასიათებლებით, ანუ სად ხდება, არამედ დროითი მახასიათებლებითაც, რომლებიც მოვლენების მოხდენის თანმიმდევრობას გამოხატავს.

ცხრილი 5.1

აქ: ა) უმტრიხო სიდიდეები მოვლენის მახასიათებლებია უძრავი ათვლის (K) სისტემის მიმართ; ბ) შტრიხიანი სიდიდეები მოვლენის მახასიათებლებია მოძრავი ათვლის (K') სისტემის მიმართ, რომელიც (K) სისტემის მიმართ u სიჩქარით მოძრაობს. გ) c სინათლის სიჩქარეა, რომელიც, კლასიკური წარმოდგენებით, უსასრულო სიდიდეა, ხოლო რელატივისტურ მექანიკაში სასრული მნიშვნელობა აქვს.			
გალილეის გარდაქმნები		ლორენცის გარდაქმნები	
პირდაპირი გარდაქმნა	უკუგარდაქმნა	პირდაპირი გარდაქმნა	უკუგარდაქმნა
$x' = x - u t$	$x = x' + u t$	$x' = \frac{x - v t}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$	$x = \frac{x' + v t'}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$
$y' = y$	$y = y'$	$y' = y$	$y' = y$
$z' = z$	$z = z'$	$z' = z$	$z' = z$
$t' = t$	$t = t'$	$t' = \frac{t - \frac{v x}{c^2}}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$	$t = \frac{t' + \frac{v x'}{c^2}}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$

ცხრილი 5.1 (გაგრძელება)

შედეგები, რომლებიც გალილეის გარდაქმნებით მიიღება	შედეგები, რომელიც ლორენცის გარდაქმნებით მიიღება და გამომდინარეობს აინშტაინის პოსტულატებიდან
დროის შუალედები არ იცვლება (აბსოლუტურია) $\Delta t' = \Delta t$	დროის შუალედები ფარდობითია: მოძრავ ათვლის სისტემაში დრო ნელდება უძრავ ათვლის სისტემასთან შედარებით: $\Delta t = \frac{\Delta t_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$ სადაც Δt დროის შუალედია უძრავ ათვლის სისტემაში, Δt_0 – დროის შუალედი მოძრავ ათვლის სისტემაში.
სივრცული ზომები არ იცვლება (აბსოლუტურია) $\Delta l' = \Delta l$	სივრცული ზომები ფარდობითია: სხეულის სივრცული ზომები მოძრავ ათვლის სისტემაში ნაკლებია, ვიდრე უძრავ ათვლის სისტემაში: $l = l_0 \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$ სადაც l სხეულის სიგრძეა უძრავ ათვლის სისტემაში, l_0 – სხეულის სიგრძეა მოძრავ ათვლის სისტემაში.
მასა ინვარიანტულია: ყველა ათვლის სისტემაში $m' = m$.	მასა ინვარიანტულია: ათვლის ყველა სისტემაში სრულდება ტოლობა: $m' = m$.
სიჩქარეთა შეკრების კანონი გალილეის მიხედვით $\vec{u} = \vec{u}' + \vec{v}$. ურთიერთქმედება გადაეცემა არა სასრული c სიჩქარით, არამედ მყისიერად. ათვლის ერთი სისტემიდან მეორეზე გადასვლის დროს სიჩქარის მნიშვნელობა შეიძლება უსასრულოდ გაიზარდოს: $\vec{u} = \vec{u}' + \vec{v}$, $c = v' = \infty$, $v = \infty + u = \infty$.	სინათლის სიჩქარე ვაკუუმში ერთნაირია ყველა მიმართულებით ათვლის ყველა ინერციულ სისტემაში: თუ დაეუშვებთ, რომ $v_x = \frac{v'_x + v}{1 + \frac{v'_x v}{c^2}} = c \quad \text{მაშინ } v' = c, \quad v_x = c.$

ფარდობითობის ზოგადი თეორია. ფარდობითობის სპეციალური თეორიის ზოგიერთი ნაკლოვანების აღმოსაფხვრელად და „გრავეიტაციის თეორიის“ რელატივისტური თვალსაზრისით ასახსნელად ა. აინშტაინმა 1911-1916 წლებში ჩამოაყალიბა ფარდობითობის ზოგადი თეორია.

ფარდობითობის სპეციალური თეორიის ნაკლოვანებები:

ა) ეს თეორია სამართლიანია მხოლოდ ათვლის ინერციული სისტემებისათვის. ფარდობითობის სპეციალური თეორია არ სრულდება სისტემებისთვის, რომლებიც ერთმანეთის მიმართ აჩქარებით მოძრაობენ;

ბ) ამ თეორიის გამოყენება შესაძლებელია მართკუთხა საკოორდინატო სისტემებში. სხვა საკოორდინატო სისტემებში მისი გამოყენება შეუძლებელია

ფარდობითობის ზოგადი თეორიის ორი ძირითადი პრინციპია:

I პრინციპი – ეკვივალენტურობის პრინციპი ან სუსტი ეკვივალენტურობის პრინციპი: ამ პრინციპის თანახმად ინერტული მასა გრავეიტაციული მასის ეკვივალენტურია, ანუ ისინი ტოლია.

კლასიკურ მექანიკაში მასის ორი ცნება გამოიყენება: ინერტული მასა, რომელიც სხეულის აჩქარებასთან არის კავშირში ნიუტონის II კანონის საფუძველზე და გრავეიტაციული მასა, რომელიც გრავეიტაციული ველის წყაროა. აინშტაინმა ფიზიკური ექსპერიმენტებით დაამტკიცა, რომ ეს ორივე მასა ერთნაირია.

II პრინციპი – ძლიერი ეკვივალენტურობის პრინციპი: ამ პრინციპის თანახმად სისტემაში, რომელიც თავისუფალი ვარდნის აჩქარებით ვარდება, ფიზიკის ყველა კანონი ისე

სრულდება, თითქოს გრავიტაცია არ არსებობს, ანუ ამ სისტემაში შეუძლებელია აღმოაჩინო მიზიდულობის ეფექტი და მოძრაობის აჩქარებული ხასიათი.

ამ პრინციპებიდან მიღებული მთავარი შედეგები:

1. სინათლის წრფივი გავრცელების კანონის დარღვევა და სინათლის სხივის გამრუდება მზის გრავიტაციული ველის მოქმედებით: სივრცე-დროის კოორდინატები გამრუდება განიცდის. ეს ეფექტი დადასტურდა დაკვირვებებით, რომლებიც 1919 წლის მზის დაბნელების დროს ჩატარდა.

2. გრავიტაციულ ველში დროის შენელება – გრავიტაციული „ნითელი“ ნანაცვლების გაჩენა. ეს ეფექტი 1960 წელს ჰარვარდის უნივერსიტეტის ლაბორატორიაში ცდით დადასტურეს ამერიკელმა ფიზიკოსებმა რ. ჰაუნდმა და გ. რებკიმ.

3. გრავიტაციული ტალღების გამოსხივება ბინარული (ორმაგი) ვარსკვლავური სისტემების შეჯახებისას, სამყაროს გაფართოებისას და სხვა შემთხვევებში. გრავიტაციული ტალღები 100 წლის შემდეგ, 2016 წელს, „შავ ხვრელებზე (ჩამქრალ ვარსკვლავებზე)“ დაკვირვების დროს აღმოაჩინეს ამერიკელმა მეცნიერებმა.

კვლევითი სამუშაო-2. გამოყენება. რამდენი წლის შემდეგ დაბრუნდება კოსმოსური ხომალდი დედამიწაზე?

ამოცანა-2. კოსმოსურმა ხომალდმა, რომლის სტარტი 2036 წელს შედგა, დაასრულა საპლანეტათმორისო ფრენა და დედამიწაზე დაბრუნდა. ფრენის სიჩქარე დედამიწის მიმართ 0,95 c-ს ტოლი იყო. ხომალდზე არსებული საათის მიხედვით, ფრენა 20 წელს გაგრძელდა. რამდენ ხანს გრძელდებოდა ფრენა დედამიწაზე არსებული საათის მიხედვით?

მოცემულია	ამოხსნა
$v = 0,95c,$ $\Delta t_0 = 20 \text{ წელი}$ $\Delta t = ?$	$\Delta t = \frac{\Delta t_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$

იმსჯელეთ შედეგებზე:

- რამდენ წელი გავიდა კოსმოსური ფრენის განმავლობაში დედამიწაზე, ფარდობითობის სპეციალური თეორიის მიხედვით?

- რამდენი წელი გავიდა კოსმოსური ფრენის განმავლობაში დედამიწაზე, ფარდობითობის კლასიკური თეორიის მიხედვით?

შეძენილი ცოდნის გამოყენება ყოველდღიურ ცხოვრებაში:

საგზაო პოლიცია აჯარმობს მძღოლს, რომელმაც შუქნიშნის „ნითელზე“ გაიარა. მძღოლი წინააღმდეგია: „საგზაო მოძრაობის წესებში წერია, რომ შუქნიშნთან დიდი სიჩქარით მიახლოების დროს ავტომობილის მყისიერი გაჩერება შეუძლებელია. მე კი ისეთი სიჩქარით ემოძრაობდი, რომ ვერ შევძელი შუქნიშნზე სინათლის ფერის გარკვევა – ნითელი იყო თუ მწვანე“.

- მართალს ამბობს თუ არა მძღოლი: რა სიჩქარით უნდა მოძრაობდეს ავტომობილი, რომ მძღოლმა ვერ შეძლოს შუქნიშნზე სინათლის ფერის გარკვევა?

შეაფასეთ თქვენი ცოდნა:

1. რომელი ცნებები გაიმეორეთ გაკვეთილზე? რა გაიგეთ კარგად და რა დარჩა თქვენთვის ნაწილობრივ გაურკვეველი?
2. რით განსხვავდება აინშტაინის ფარდობითობის სპეციალური თეორია გალილეის ფარდობითობის პრინციპებისაგან?
3. რომელი პოსტულატები უდევს საფუძვლად ფარდობითობის სპეციალურ თეორიას?
4. რა შედეგები გამომდინარეობს ფარდობითობის სპეციალური თეორიიდან?
5. რა გახდა ფარდობითობის ზოგადი თეორიის წარმოშობის მიზეზი?
6. რა მთავარი შედეგები გამომდინარეობს ფარდობითობის ზოგადი თეორიიდან?

რა შეიტყვეათ? სამუშაო რვეულში დაწერეთ დასახელებული ცნებების განმარტებები: „სივრცე, დრო და მოძრაობა კლასიკური წარმოდგენით...“, „გალილეის ფარდობითობის პრინციპი“, ფარდობითობის სპეციალური თეორიის პირველი პოსტულატი...“, „ფარდობითობის სპეციალური თეორიის მეორე პოსტულატი...“, „რელატივისტური მექანიკა“, „ფარდობითობის ზოგადი თეორია“, „ფარდობითობის ზოგადი თეორიის ძირითადი პრინციპები...“

5.2 მასისა და ენერგიის ურთიერთკავშირის კანონი

30 კგ მასის ქვა 2 მ სიმაღლეზე ანეული.

• როგორ შეიცვალა ამ დროს ქვის მასა და ენერგია?

აინშტაინის ფარდობითობის თეორიის მიხედვით, 30 კგ მასის ქვაში ლოკალიზებულია (თავმოყრილია) უზარმაზარი სიდიდის ენერგია – $27 \cdot 10^{17}$ ჯ.

• როგორ არის შესაძლებელი?

კვლევის საშუალო-1. გამოვრება ცოდნის დედა!

ამოცანა 1. ნაწილაკების სისტემის მასის 1 მაე-ით შეცვლისას ($\Delta m = 1$ მაე = $1,6605 \cdot 10^{-27}$ კგ) ამ სისტემის ენერგია 931,5 მეე-ით იცვლება. როგორ შეიცვლება სისტემის ენერგია მისი მასის 4 მაე-ით ცვლილების დროს?

იმსჯელეთ შედეგებზე:

• როგორ განისაზღვრება ნაწილაკების სისტემის ენერგიის ცვლილება, რომელიც ამ სისტემის მასის ცვლილებასთანაა დაკავშირებული (იხ. ფიზიკა 9, გვ 191-192)? რა კავშირია მასასა და ენერგიას შორის?

კავშირი მასასა და ენერგიას შორის. კლასიკურ მექანიკაში არსებობს ორი სახის მატერია: ნივთიერება და ფიზიკური ველი. ნივთიერების მთავარი თვისებაა ის არის, რომ მასა აქვს, ხოლო ფიზიკური ველის მთავარი თვისებაა ის, რომ ენერგია აქვს.

ფარდობითობის თეორიის მიხედვით მასასა და ენერგიას შორის არსებობს ურთიერთკავშირი, ანუ თუ ნივთიერებას აქვს მასა, მას ენერგიაც აქვს. 1905 წელს, აინშტაინმა მასისა და ენერგიის ურთიერთკავშირი კანონის სახით ჩამოაყალიბა:

• ყოველ სხეულს აქვს უძრაობის ენერგია, რომელიც სხეულის მასისა და ვაკუუმში სინათლის სიჩქარის კვადრატის ნამრავლის ტოლია:

$$E_0 = mc^2. \quad (5.1)$$

• უძრაობის ენერგია (E_0) არის სხეულის ენერგია, როდესაც ის მოცემული ათვლის სისტემის მიმართ უძრავია. (5.1) გამოსახულებიდან ჩანს, რომ მასა ენერგიის მნიშვნელოვანი განმსაზღვრელია. მაგალითად, (5.1) ფორმულით ადვილად შეიძლება გამოვთვალოთ, რომ 1 გ მასის სხეულს $9 \cdot 10^{13}$ ჯ უძრაობის ენერგია აქვს:

$$E_0 = 10^{-3} \text{ კგ} \cdot (3 \cdot 10^8)^2 \frac{\text{მ}^2}{\text{წმ}^2} = 9 \cdot 10^{13} \text{ ჯ}.$$

ამ რაოდენობის ენერგია წარმოიქმნება ატომური ბომბის აფეთქების დროს (იხ. ფიზიკა 9, გვ. 191) და ეს ენერგია საკმარისია 30 000 ტონა წყლის ორთქლად გადაქცევისთვის. სისტემის ელექტრომაგნიტური გამოსხივება, მაგალითად სინათლის გამოსხივება, სისტემის შინაგანი ენერგიის გამოსხივების ენერგიად გარდაქმნის პროცესია. ამ პროცესში სისტემის მასაც სისტემის შინაგანი ენერგიის ეკვივალენტურად მცირდება:

$$\Delta m = \frac{E_0}{c^2} = \frac{E_{\text{გამოსხ}}}{c^2}.$$

მასის ცვლილება ენერგიის ცვლილების ეკვივალენტურია (ტოლია):

$$\Delta m = \frac{\Delta E}{c^2}. \quad (5.2)$$

მზისა და სხვა ვარსკვლავების უწყვეტი გამოსხივება ნიშნავს, რომ ისინი განუწყვეტილად კარგავენ ენერგიას და მასას. გამოთვლებით დადგინდა, რომ გამოსხივების შედეგად ყოველ წამში მზის მასა 4 000 000 ტონით მცირდება.

ენერგია რელატივისტურ მექანიკაში (ანუ სრული ენერგია). ფარდობითობის თეორიის თანახმად, სისტემის სრული ენერგია მისი უძრაობის ენერგიისა და კინეტიკური ენერგიის ჯამის ტოლია:

$$E = E_0 + E_{კინ} = mc^2 + E_{კინ} \quad (5.3)$$

აინშტაინის მიხედვით, ნაწილაკის სრული ენერგია, როდესაც ის $v \leq c$ სიჩქარით მოძრაობს და სხვა ნაწილაკებთან არ ურთიერთქმედებს, ერთი ინერციული სისტემიდან მეორეში გადასვლის დროს რელატივისტურ გარდაქმნას განიცდის:

$$E = m \frac{c^2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}. \quad (5.4)$$

თუ სხეული უძრავ მდგომარეობაშია: $v = 0$, (5.4) გამოსახულებიდან მივიღებთ, რომ მას უძრაობის ენერგია აქვს: $E_0 = mc^2$.

კინეტიკური ენერგია რელატივისტურ მექანიკაში. სხეულის კინეტიკური ენერგია მისი სრული ენერგიისა და უძრაობის ენერგიის სხვაობის ტოლია:

$$E_{კინ} = E - E_0 = E - mc^2. \quad (5.5)$$

თუ ამ გამოსახულებაში სრული ენერგიის ნაცვლად (5.4) გამოსახულებას ჩავწერთ, მივიღებთ:

$$E_{კინ} = mc^2 \cdot \left(\frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} - 1 \right). \quad (5.6)$$

იმპულსი რელატივისტურ მექანიკაში. ფარდობითობის თეორიის თანახმად, სისტემის იმპულსი მისი ათვლის ერთი ინერციული სისტემიდან მეორეში გადასვლის დროს რელატივისტურ გარდაქმნას ექვემდებარება:

$$\vec{p} = m \frac{\vec{v}}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}. \quad (5.7)$$

კავშირი სრულ ენერგიასა და იმპულს შორის. რელატივისტურ მექანიკაში სრულ ენერგიასა და იმპულსს შორის შემდეგი კავშირი არსებობს:

$$E^2 = m^2 c^4 + p^2 c^2, \quad (5.8)$$

ან

$$E^2 - p^2 c^2 = m^2 c^4. \quad (5.9)$$

ეს დამოკიდებულება სრულდება ათვლის ყველა ინერციულ სისტემაში. ათვლის ერთი ინერციული სისტემიდან მეორეში გადასვლის დროს სრული ენერგია და იმპულსი იცვლება, მაგრამ მათი სხვაობა უცვლელი რჩება. თუ მასა 0-ის ტოლი ($m = 0$) იქნება, (5.9) გამოსახულებიდან მივიღებთ:

$$E^2 = p^2 c^2 \rightarrow E = pc. \quad (5.10)$$

თუ ბოლო ფორმულაში (5.4) და (5.7) გამოსახულებებს გავითვალისწინებთ, მივიღებთ ნაწილაკის სრულ ენერგიასა და იმპულსს შორის კავშირის ფორმულას:

$$\frac{E}{c^2} = \frac{p}{v}. \quad (5.11)$$

ამ გამოსახულებიდან ჩანს, რომ თუ $m = 0$, ნაწილაკი სინათლის სიჩქარით მოძრაობს (მაგალითად, ფოტონი): $v = c$.

კვლევითი სამუშაო-2. „რომელი ენერგიაა უფრო მეტი?“

ამოცანა 2. განსაზღვრეთ უძრაობის ენერგია, რომელიც აქვს ფიზიკის სახელმძღვანელოს, რომლის მასა 300 გ-ია და შეადარეთ $14 \cdot 10^8$ კეც.სთ. ენერგიას, რომელსაც მინგეჩაურის ელექტროსადგური ერთი წლის განმავლობაში გამოიმუშავებს.

იმსჯელო შედეგებზე:

• რომელი ენერგიაა მეტი: ფიზიკის სახელმძღვანელოს უძრაობის ენერგია თუ მინგეჩაურის ელექტროსადგურის მიერ ერთი წლის განმავლობაში გამოიმუშავებული ენერგია?

შეძენილი ცოდნის გამოყენება ყოველდღიურ ცხოვრებაში:

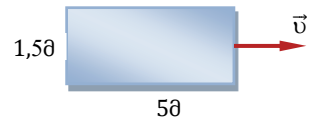
• მეცნიერებისა და წარმოების რომელ სფეროებში ასრულებს მნიშვნელოვან როლს მასისა და ენერგიის კავშირი?

შეაფასეთ თქვენი ცოდნა:

1. რომელი ცნებები გაიმეორეთ გაკვეთილზე? რა გაიგეთ კარგად და რა დარჩა თქვენთვის ნაწილობრივ გაურკვეველი?
2. კლასიკური წარმოდგენებით, რის მახასიათებელია მასა?
3. რა შინაარსი აქვს მასის ცნებას რელატივისტურ მექანიკაში?
4. რა არის უძრაობის ენერგია?
5. რატომ იწვევს მზის გამოსხივება მისი მასის შემცირებას? რომელი ფორმულით შეიძლება ამის დამტკიცება?
6. რით განსხვავდება რელატივისტური ენერგია ენერგიისგან კლასიკურ მექანიკაში?

რა შეიტყვეთ? სამუშაო რეულში დაწერეთ დასახელებული ცნებების განმარტებები: „მასის ცნება ფარდობითობის თეორიაში...“, „უძრაობის ენერგია...“, „მასისა და ენერგიის ეკვივალენტურობა...“, „სრული ენერგია რელატივისტური თვალსაზრისით...“, „კინეტიკური ენერგია რელატივისტური თვალსაზრისით...“, „იმპულსი რელატივისტური თვალსაზრისით...“

- 5.1. რა დრო გავა კოსმოსურ ხომალდზე, რომელიც დედამიწის მიმართ $v = 0,81c$ სიჩქარით მოძრაობს, თუ დედამიწაზე 50 წელი გავიდა?
- 5.2. რა სიჩქარით უნდა მოძრაობდეს კოსმოსური ხომალდი დედამიწის მიმართ, რომ მისი საათი 2,5-ჯერ ჩამორჩეს დედამიწაზე არსებულ საათს?
- 5.3. 16 წლის აზერბაიჯანელი გოგონა ნაზრინი, რომელმაც ფიზიკის ოლიმპიადაზე გამარჯვა, ასტრონავტების საერთაშორისო კავშირმა ასტრონავტების გუნდის წევრად მიიღო. როდესაც ასტრონავტების გუნდი $v = 0,98$ ც სიჩქარით 5-წლიანი ფრენის შემდეგ (კოსმოსური ხომალდის საათის მიხედვით) დედამიწაზე დაბრუნდა, ნაზრინს 21 წელი შეუსრულდა. რა ასაკის იქნებიან მისი კლასელები, რომლებიც დედამიწაზე დარჩნენ?
- 5.4. რის ტოლია 3 მ სიგრძის სახაზავის სიგრძე, როდესაც ის დედამიწის მიმართ $0,9 \cdot c$ სიჩქარით მოძრაობს?
- 5.5. როგორ შეიცვლება მართკუთხედის ზომები, როდესაც ის $0,8 \cdot c$ სიჩქარით მოძრაობს უძრავი დამკვირვებლის მიმართ?
- 5.6. ელექტრონის უძრაობის ენერგია $8,1 \cdot 10^{-16}$ ჯ-ის ტოლია. რის ტოლია მისი მასა?
- 5.7. პროტონი, რომლის მასა $1,7 \cdot 10^{-27}$ კგ-ია, $0,8 \cdot c$ სიჩქარით მოძრაობს. რის ტოლია მისი რელატივისტური კინეტიკური ენერგია?
- 5.8. პროტონი, რომლის მასა $1,7 \cdot 10^{-27}$ კგ-ია, $0,8 \cdot c$ სიჩქარით მოძრაობს. რის ტოლია მისი სრული ენერგია?
- 5.9. პოლარული ვარსკვლავი ყოველ წამში გარემოში $5,4 \cdot 10^{28}$ ჯ ენერგიას ასხივებს. ამის გამო რამდენით მცირდება ვარსკვლავის მასა ყოველ წამში?
- 5.10. ელექტრონი ც სიჩქარით მოძრავი ფოტონის შემხვედრი მიმართულებით $0,4$ ც სიჩქარით მოძრაობს. რის ტოლია ფოტონის სიჩქარე ელექტრონის მიმართ?

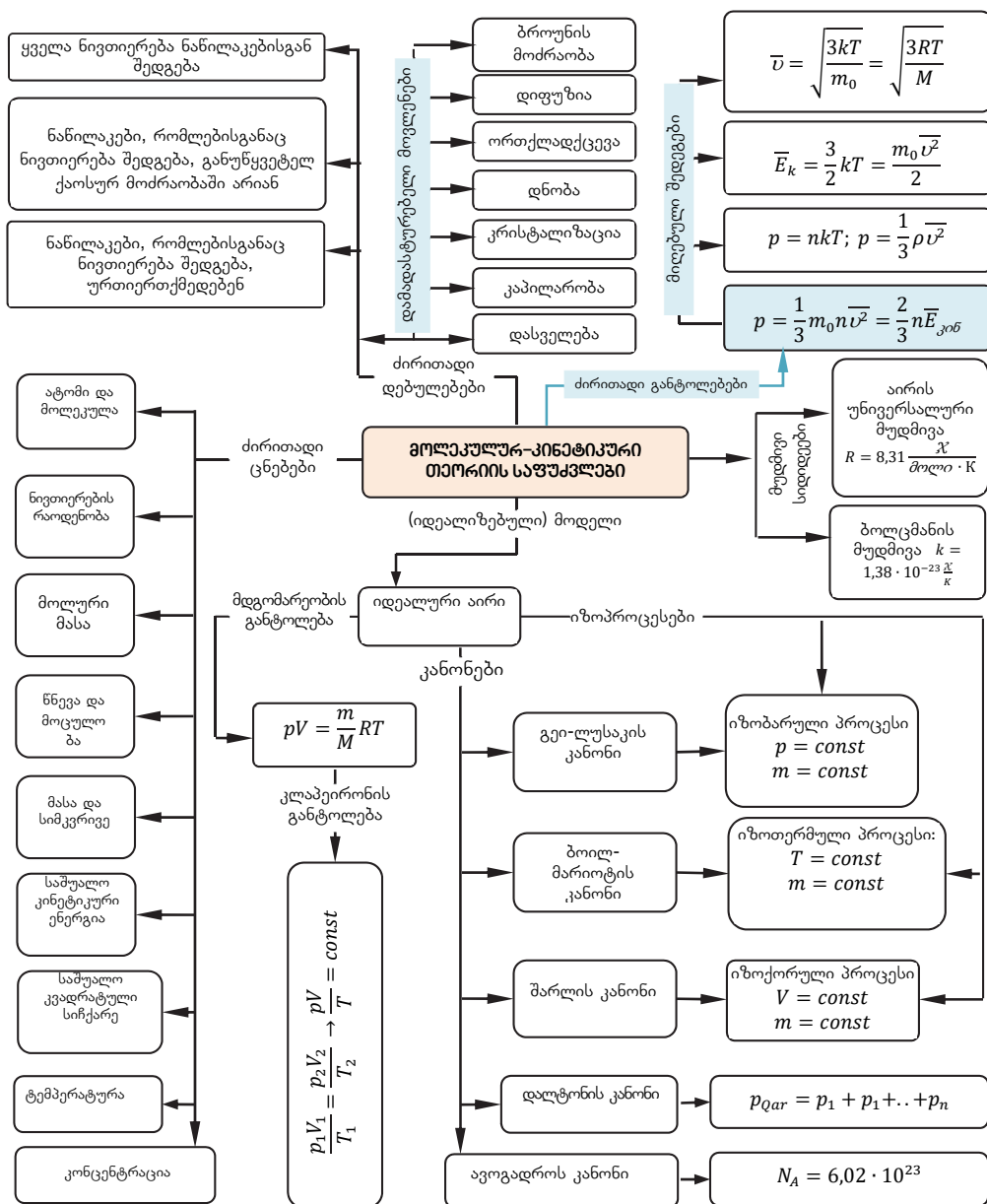


მოლეკულურ-კინეტიკური თეორია

ამ თავის შესწავლის შემდეგ
თქვენ შეძლებთ:

- იმსჯელოთ მოლეკულურ-კინეტიკური თეორიის ძირითადი დებულებებისა და მათგან გამომდინარე შედეგების შესახებ;
- ფორმულების სახით ჩანეროთ მოლეკულურ-კინეტიკური თეორიის ძირითადი განტოლებები და მათგან გამომდინარე შედეგები;
- განმარტოთ იდეალური აირის ცნება, იდეალური აირის მდგომარეობის განტოლება და იდეალური აირის კანონები;
- გამოიკვლიოთ იზოპროცესები და ააგოთ მათი გრაფიკები;
- იმსჯელოთ ქიმიური ბმების როლზე მყარი სხეულების თვისებების ჩამოყალიბებაში, განასხვაოთ კრისტალური და ამორფული სხეულები;
- ახსნათ ორთქლადქცევის პროცესი მოლეკულურ-კინეტიკური თეორიის თვალსაზრისით, განასხვაოთ ნაჯერი და უჯერი ორთქლი;
- ახსნათ სითხეების თვისებები მოლეკულურ-კინეტიკური თეორიის თვალსაზრისით, განახორციელოთ ცდები სითხის ზედაპირული დაჭიმულობის, სითხის მასველებელი თვისებისა და კაპილარული მოვლენების შესასწავლად;
- შეადგინოთ და ამოხსნათ სხვადასხვა ხასიათის ამოცანები მოლეკულურ-კინეტიკური თეორიის ძირითადი განტოლების, იდეალური აირის მდგომარეობისა და იდეალური აირის კანონების გამოყენებაზე.

„ცნებების რუკა“ VI თავისათვის



6.1

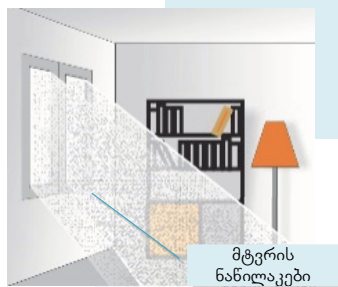
მოლეკულურ-კინეტიკური თეორია და მისი
ძირითადი დავალებები

აღბათ არაერთხელ დაკვირვებიათ მზით განათებულ
პარში მტვრის ნაწილაკების მოძრაობას.

• რატომ რჩებიან მტვრის ნაწილაკები ჰაერში ხანგრძლივად
და არ ვარდებიან დედამიწის მიზიდულობის მოქმედებით?

ცნობილია, რომ ჩვენ მიერ შესუნთქული ჰაერი სხვა-დასხვა
სიმკვრივის აირებისგან შედგება: აზოტისგან (N_2),
ჟანგბადისგან (O_2), ნახშირორჟანგისგან (CO_2) და სხვ.
ნესით, ეს აირები ფენების სახით ერთმანეთზე უნდა
განლაგებულიყო, მათი სიმკვრივისა და მათზე მოქმედი
სიმძიმის ძალის შესაბამისად: დედამიწის ზედაპირთან
ყველაზე ახლოს – ნახშირორჟანგი (CO_2), როგორც დიდი
სიმკვრივის მქონე, მის ზევით – ჟანგბადი (O_2), შემდეგ
აზოტი – N_2 . მაგრამ ასე არ ხდება – ჩვენ ერთ-გვაროვანი აირით ვართ გარემოცული.

• რა არის დედამიწის ატმოსფეროში არსებული სხვადასხვა აირის ერთგვაროვან ნარევიად
გადაქცევის მიზეზი?



კვლევითი სამუშაო-1. რატომ „შენეება“ სხეულები ერთმანეთს?

I ცდა

სამუშაოს მსვლელობა: ტყვიის ცილინდრი დასაკიდი კაუჭით (2 ცალი), ტვირთების
წაკრები, შტატივი სამაგრითა და მომჭერთ.

სამუშაოს მსვლელობა: 1. ცილინდრები გაპრიალებული ზედაპირებით მიაჭირეთ ერთ-
მანეთს, შეეცადეთ, ისინი ერთმანეთს „შენეებო“. შემდეგ კაუჭით შტატივზე დაკიდეთ. 2.
ქვედა კაუჭზე სათითაოდ დაკიდეთ ტვირთი, ვიდრე ცილინდრები ერთმანეთს დამორდება.
ამ სახის „შენეება“ რამდენიმე კილოგრამ დატვირთვას უძლებს (ა).

იმსჯელეთ შედეგებზე: • რა დასკვნებს გააკეთებთ ამ კვლევითი სამუშაოდან?

II ცდა

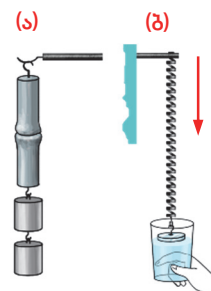
სამუშაოსთვის საჭიროა: 1. მინის ფირფიტა ზედაპირზე მიმაგრებული
კაუჭით, ზამბარა, წყლიანი ჭიქა, შტატივი სამაგრითა და ღერით.

სამუშაოს მსვლელობა: 1. ზამბარის ერთ ბოლოზე მინის ფირფიტა
დაკიდეთ, მეორე ბოლოთი ზამბარა დაკიდეთ შტატივზე. 2. მინის
ფირფიტა წყლის ზედაპირს ჭიქაში ისე მიუახლოეთ, რომ ფირფიტის
ქვედა ზედაპირი წყლის ზედაპირს შეეხოს. შეეცადეთ, ჭიქის ქვევით
მოძრაობით ფირფიტა წყლის ზედაპირს მოაშოროთ (ბ).

იმსჯელეთ შედეგებზე:

• რა საინტერესო მოვლენებს დააკვირდით სამუშაოს პროცესში?

• შეგიძლიათ თუ არა ახსნათ ფირფიტის წყლის ზედაპირთან „შენეების“ მიზეზი?



მოლეკულურ-კინეტიკური თეორია (მკთ). ჩვენ და ჩვენ ირგვლივ არსებული
სამყარო მაკროსკოპული სხეულების სისტემაა.

• მაკროსკოპულია სხეული, რომელიც დიდი რაოდენობის ატომებისა და
მოლეკულებისგან შედგება.

მაკროსკოპული სხეულის მაგალითი შეიძლება იყოს ქვიშის მარცვალი, წყალი
ჭურჭელში, აირი ბალონში, რკინის ღერი, მთვარე, მზე და სხვ. მექა-ნიკაში
მაკროსკოპულ სხეულს განიხილავენ როგორც ობიექტს, რომელსაც აქვს მასა,
სივრცული ზომები, ენერგია, შეისწავლება მისი მდებარეობა სივრცეში და სხვა
სხეულებთან ურთიერთქმედება.

მაგრამ მექანიკას არ შეუძლია ახსნას მაკროსკოპული სხეულის შინაგანი აგებუ-
ლება, მის ატომებსა და მოლეკულებს შორის ურთიერთქმედება და ნივთიერების

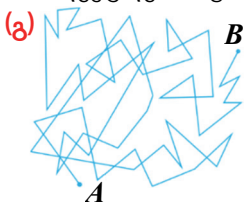
გარკვეული სხვა თვისებები: სითბური გაფართოება, გაცხელება, გაცივება, ორთქლადქცევა, კონდენსაცია, დნობა, გამყარება, დიფუზია, კონვექცია და სხვ. ფიზიკაში გამოყოფილია ნაწილი – *მოლეკულური ფიზიკა*, რომელშიც თავმოყრილია ნივთიერების შინაგანი აგებულების შესწავლის შედეგები.

- *მოლეკულური ფიზიკა* არის ფიზიკის ნაწილი, რომელიც შეისწავლის მაკროსკოპული სხეულების შინაგან აგებულებას, მათი თვისებებსა და მატერიის სითბური მოძრაობის ძირითად კანონზომიერებებს.

- *მოლეკულურ-კინეტიკური თეორია (მკთ) – თეორია*, რომელიც მაკროს-კოპული სხეულების თვისებებისა და მათში მიმდინარე სითბური პროცესების ასახსნელად ეყრდნობა წარმოდგენას ნივთიერებაზე, როგორც ატომებისა და მოლეკულების სისტემაზე, რომლებიც უწყვეტად და ქაოსურად მოძრაობენ და ერთმანეთთან ურთიერთქმედებენ.

მოლეკულურ-კინეტიკური თეორიის ძირითადი დებულებები. მოლეკულურ-კინეტიკური თეორიის საფუძველი შემდეგი სამი დებულებაა:

I დებულება: ყველა ნივთიერება ნაწილაკებისგან – ატომებისა და მოლეკულებისგან – შედგება. ატომებისა და მოლეკულების არსებობა ჯერ კიდევ ძველმა ფილოსოფოსებმა იზიარებდნენ. მაგრამ ამ ფაქტის ნათელი რაოდენობრივი თეორია პირველად ინგლისელმა მეცნიერ-ქიმიკოსმა ჯონ დალტონმა (1766 – 1844) ჩამოაყალიბა. მან რამდენიმე ქიმიური ელემენტის ფარდობითი ატომური მასების ცხრილი შეადგინა, რაც შემდგომში ნივთიერების ატომური აგებულების თეორიის საფუძველი გახდა. ჩვენს დროში ელექტრონული მიკროსკოპის შესაძლებლობების გამოყენებით შეგვიძლია მილიონჯერ გავაძლიოთ ობიექტის ზომები და დიდი ზომის მოლეკულების ფოტოები გადავიღოთ.



II დებულება: ნაწილაკები, რომლებისგანაც ნივთიერება შედგება, განუწყვეტლივ და მოუწესრიგებლად (ქაოსურად) მოძრაობენ.

ამ დებულების ჭეშმარიტება დადასტურდა 1827 წელს ინგლისელი ბოტანიკოსის რობერტ ბროუნის აღმოჩენით, რომელიც წყალში ყვავილის მტვრის ნაწილაკების მოძრაობას მიკროსკოპით აკვირდებოდა. მან დაინახა, რომ მტვრის

ნაწილაკი ქაოსურად მოძრაობს რთულ ტრაექტორიაზე (ა). ნაწილაკის ქაოსური მოძრაობა, რომელსაც „ბროუნის მოძრაობა“ უწოდეს, აინშტაინმა 1905 წელს მოლეკულურ-კინეტიკური თეორიის საფუძველზე ახსნა. ეს თეორია 1909-1911 წლებში ცდებით დაადასტურა ფრანგმა ფიზიკოსმა იან ბატისტ პერენმა (1870 – 1942). მან აღმოაჩინა, რომ წყალში საღებავის ნაწილაკების ქაოსური მოძრაობის მიზეზი წყლის მოლეკულების ქაოსური მოძრაობაა. პერენმა დაადგინა, რომ წყალში ნაწილაკების ბროუნის მოძრაობის ინტენსივობა მათ ქიმიურ ბუნებაზე კი არა, ტემპერატურაზეა დამოკიდებული: ტემპერატურის გაზრდით ბროუნის მოძრაობის ინტენსივობა იზრდება. ამგვარად:

- **ბროუნის მოძრაობა** ეწოდება სითხეში (ან აირში) შეტანილი „უცხო“ ნაწილაკების მოუწესრიგებელ მოძრაობას.

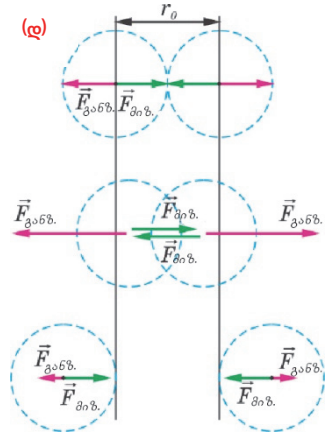
- **დიფუზია** ეწოდება ერთი ნივთიერების ატომების ან მოლეკულების მეორე ნივთიერების ატომებს ან მოლეკულებს შორის არსებულ სივრცეებში თავისთავადი შეღწევის პროცესს.

დიფუზიის პროცესის პირველი რაოდენობრივი შეფასება ეკუთვნის გერმანელ ფიზიკოსსა და ფიზიოლოგს ადოლფ ფიკს (1829 – 1901). ამ კანონს „ფიკის დიფუზიის კანონი“ უწოდეს.

III დებულება: ნივთიერების ნაწილაკები ერთმანეთთან ურთიერთქმედებენ, ანუ მათ შორის ურთიერთმიზიდვისა და განზიდვის ძალები არსებობს. ამ დებულების დადასტურებაა დრეკადობის ძალის წარმოქმნა სხეულის დეფორმაციის დროს. დრეკადობის ძალა ელექტრომაგნიტური ბუნების ძალაა და მისი სიდიდე მნიშვნელოვნად არის დამოკიდებული ნივთიერების შემადგენელ ნაწილაკებს შორის მანძილზე. მაგალითად, მოლეკულებს შორის მიზიდულობის ძალა მცირდება $\frac{1}{r^7}$ კანონით, ხოლო მათ შორის განზიდვის ძალა – $\frac{1}{r^9}$ კანონით. ამ ძალების ტოლქმედი მოლეკულის დიამეტრის ტოლ ($d = d_0$) და მოლეკულის დიამეტრზე 2-3-ჯერ მეტ ($d = 2-3d_0$) მანძილზე, შეიძლება ითქვას, რომ 0-ის ტოლია (დ).

ატომებისა და მოლეკულების მახასიათებლები. თქვენთვის ცნობილია ატომებისა და მოლეკულების მახასიათებელი ფიზიკური სიდიდეები (იხ. ქიმია 8): მათი ხაზოვანი ზომები, ფარდობითი მასა, რაოდენობა მოცულობის ერთეულში, ნივთიერების რაოდენობის ცნება და სხვა რაოდენობრივი მახასიათებლები (იხ. ცხრილი 6.1).

ცხრილი 6.1



ნივთიერების მახასიათებლები	განმარტება და რიცხვითი მნიშვნელობა
მასის ატომური ერთეული (მე) ერთეული (მე)	მასის ატომური ერთეული (მე) არის მასის საზომი ერთეული ატომურ და ბირთვულ ფიზიკაში და ნახშირბადის ატომის $^{12}_6\text{C}$ მასის $1/12$ -ის ტოლია: $1\text{მე} = \frac{1}{12} m_{0,\text{C}} = 1,66 \cdot 10^{-27}\text{გ}$ $m_{0,\text{C}}$ ნახშირბადის ატომის მასაა.
ნივთიერების ფარდობითი მოლეკულური მასა	ნივთიერების ფარდობითი მოლეკულური (ატომური) მასა ეწოდება ნივთიერების მოლეკულის (ატომის) მასის m_0 შეფარდებას ნახშირბადის ატომის მასის $1/12$ -თან: $M_r = \frac{m_0}{\frac{1}{12} m_{0,\text{C}}}$ m ფარდობითი მოლეკულური მასაა, m_0 – ნივთიერების მოლეკულის (ატომის) მასა, $m_{0,\text{C}}$ – ნახშირბადის ატომის მასა. ფარდობითი მოლეკულურ მასას განზომილება არ აქვს.
ნივთიერების რაოდენობა	ნივთიერების რაოდენობა (ν) არის მოცემული ნივთიერების ატომების ან მოლეკულების რაოდენობის შეფარდება ავოგადროს რიცხვთან $N_A \cdot \nu = \frac{N}{N_A}$, N მოცემული ნივთიერების მოლეკულების რაოდენობა. ნივთიერების რაოდენობის საზომი ერთეული SI სისტემაში არის: $[\nu] = 1$ მოლ. 1 მოლი არის ნივთიერების რაოდენობა, რომელშიც იმდენივე მოლეკულა ან ატომია, რამდენიც 0,012 კილოგრამ ნახშირბადში.
ავოგადროს რიცხვი	ავოგადროს რიცხვი მუდმივი სიდიდეა, რომელიც ნებისმიერი ნივთიერების 1 მოლში არსებული მოლეკულების (ან ატომების) რაოდენობის ტოლია: $N_A = 6,02 \cdot 10^{23} \text{მოლი}^{-1}$
მოლური მასა	მოლური მასა ეწოდება ნივთიერების 1 მოლის მასას: $M = m_0 \cdot N_A$ მოლური მასის ერთეული SI სისტემაში არის კილოგრამი შეფარდებული მოლთან ($1 \frac{\text{კგ}}{\text{მოლი}}$): $[M] = 1 \frac{\text{კგ}}{\text{მოლი}}$. $\begin{cases} \text{ნივთიერების ერთი მოლეკულის მასა: } m_0 = \frac{M}{N_A} \rightarrow N_A = \frac{M}{m_0} \\ \text{ნებისმიერი ნივთიერების მასა } m = m_0 \cdot N \rightarrow N = \frac{m}{m_0} \end{cases}$

	აქედან გამომდინარეობს, რომ ნივთიერების რაოდენობა ნივთიერების მასის მის მოლეკულურ მასასთან შეფარდების ტოლია: $v = \frac{m}{M}$.
მოლეკულების რაოდენობა ნივთიერებაში	მოლეკულების რაოდენობა ნებისმიერ ნივთიერებაში, რომლის მასაა m და მოლეკულური მასა M , განისაზღვრება ფორმულით: $N = v \cdot N_A = \frac{m}{M} \cdot N_A$.

კვლევითი სამუშაო-2. გამოყენება. ბროუნის მოძრაობის მოდელი

სამუშაოსთვის საჭიროა: ასანწყობი კონდენსატორის ფირფიტა, მინის ზარხუფი, მეტალის ვინრო ზოლი, დენის წყარო, ალუმინის ფოლგის ღრუ ბურთულები (დიამეტრით 8 მმ, 10-12 ცალი), ძაფზე დაკიდებული პინგ-პონგის ბურთი, ნებოვანი ლენტის, შტატივის სადგამი.

სამუშაოს მსვლელობა:

1. დანადგარი მოამზადეთ ბროუნის მოძრაობის მოდელირებისთვის.

დანადგარის აწყობის თანმიმდევრობა:

I ნაბიჯი. კონდენსატორის ფირფიტა დიელექტრიკული სახელურით ჩაამაგრეთ შტატივის სადგამში, შეეცადეთ მიიღოთ ჰორიზონტალური მაგიდა. მეტალის ვინრო ზოლი ნებოვანი ლენტით მიამაგრეთ მინის ბალონის შიდა კედელზე.

II ნაბიჯი. მიაერთეთ დენის წყაროს პოლუსები ალუმინის მაგიდასა და მეტალის ზოლს.

III ნაბიჯი. ტენისის ბურთიანი ძაფის ბოლო ნებოვანი ლენტით მიამაგრეთ ზარხუფის ზედა წერტილს შიდა მხრიდან. მიიღებთ ძაფიან ქანქარას (ბურთულა 5-6 სმ-ით უნდა იყოს დამორებული ალუმინის მაგიდის ზედაპირიდან).

IV ნაბიჯი. მაგიდის ზედაპირზე გაფანტულ ალუმინის ბურ-თულებს დაახურეთ მინის ზარხუფი. დანადგარი მზადაა (ა).

2. ჩართეთ დენის წყარო, ფირფიტებს შორის შექმენით 25 კვ ძაბვა. ამის შემდეგ ალუმინის ბურთულები, როგორც „სპორტლო-ტოში“, უნესრიგოდ ამოძრავდებიან ალუმინის მაგიდასა და მეტალის ზოლს შორის, დაეჯახებიან ერთმანეთს და ძაფზე დაკიდებულ ტენისის ბურთს. ყურადღებით დააკვირდით ტენისის ბურთის მოძრაობის ტრაექტორიას და სექმატურად დახატეთ სამუშაო რეჟულში.

იმსჯელები შედეგებზე:

• რა არის ბროუნის მოძრაობა? რომელი სხეულების სამუშაოებით მოახდინეთ ბროუნის ნაწილაკებისა და წყლის მოლეკულების მოდელირება? პასუხი დაასაბუთეთ.

შეძენილი ცოდნის გამოყენება ყოველდღიურ ცხოვრებაში:

• რატომ არის აუცილებელი მოლეკულურ-კინეტიკური თეორიის ძირითადი დებულებების ცოდნა? ამ კითხვაზე პასუხის გაცემისას შეგიძლიათ გამოიყენოთ ქვემოთ მოცემული საკვანძო სიტყვები.

საკვანძო სიტყვები: ნივთიერების აგრეგატული მდგომარეობები ბუნებაში; წყლის წრებრუნვა ბუნებაში; ორთქლადქცევა და ტენიანობა ბუნებასა და ყოფა-ცხოვრებაში; დიფუზია ბუნებასა და ყოფა-ცხოვრებაში.

შეაფასეთ თქვენი ცოდნა:

1. რომელი ცნებები გაიმეორეთ გაკვეთილზე? რა გაიგეთ კარგად და რა დარჩა თქვენთვის ნაწილობრივ გაურკვეველი?

2. რაში მდგომარეობს მოლეკულურ-კინეტიკური თეორიის მნიშვნელობა?

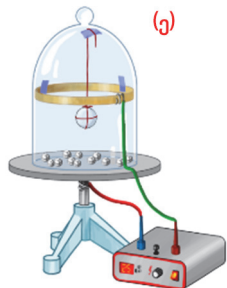
3. რამდენი წყალბადის ატომია მეთანში (CH_4), თუ მისი მასა 12 გ-ია?

$$(N_A = 6 \cdot 10^{23} \text{ მოლი}^{-1}; M = 0,016 \text{ კგ/მოლი})?$$

მოცემულია	ამოხსნა
$m = 12 \text{ გ} = 12 \cdot 10^{-3} \text{ კგ}$	I ნაბიჯი: $N(\text{CH}_4) = m/M \cdot N_A$
$N_A = 6 \cdot 10^{23} \text{ მოლი}^{-1}$	II ნაბიჯი: $N_H = 4 N(\text{CH}_4)$
$M = 0,016 \text{ კგ/მოლი}$	
$N_H = ?$	

4. როგორია ავოგადროს რიცხვის ფიზიკური შინაარსი?

5. დახატეთ „მოლეკულის მახასიათებლების“ კავშირების რუკა.



რა შეიტყვეთ?

სამუშაო რეჟულში დაწერეთ დასახელებული ცნებების განმარტებები: „მაკროსკოპული სხეული“, „მოლეკულური ფიზიკა“, „მოლეკულურ-კინეტიკური თეორია“, „მკთ I დებულება“, „მკთ II დებულება“, „მკთ III დებულება“, „მასის ატომური ერთეული“, „ფარდობითი მოლეკულური მასა“, „ნივთიერების რაოდენობა“, „მოლეკულური მასა“.

6.2 იდეალური აირი. მოლეკულურ-კინეტიკური თეორიის ძირითადი განტოლება

მოლეკულური ფიზიკა სწავლობს ნივთიერების თვისებებს ყველა აგრეგატულ მდგომარეობაში, მათ შორის აირად მდგომარეობაში. ბუნებაში თითქმის არ არსებობს ცალკე აღებული აირი, ატმოსფეროს შემადგენელი რეალური აირი სხვადასხვა აირებისგან შედგენილი რთული სისტემაა.

მოლეკულურ-კინეტიკური თეორიის ძირითადი ამოცანაა ამ რთული სისტემის დამახასიათებელ მაკროსკოპულ და მიკროსკოპულ პარამეტრებს შორის კავშირების დამყარება. ამ მიზნის მისაღწევად რთული შემადგენლობის რეალურ აირს მისი გამარტივებული, იდეალიზებული მოდელით ცვლიან.

- რა თვისებები აქვს აირის გამარტივებულ მოდელს?
- აირის რომელ თვისებებს გამოხატავს აირის მაკროსკოპული და მიკროსკოპული პარამეტრები?

კვლევითი სამუშაო-1. აირის მოლეკულების წნევის მოდელირება

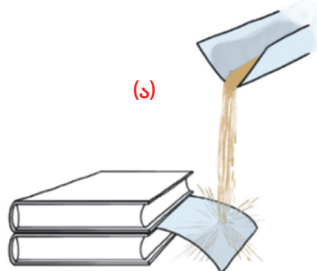
სამუშაოსთვის საჭიროა: მშრალი ქვიშა (0,5 კგ), მუყაოს ფურცელი (2 ცალი), სახელმძღვანელო (2 ცალი), მობილური ტელეფონი.

სამუშაოს მსვლელობა:

1. მუყაოს ფურცელი ორ წიგნს შორის ისე მოათავსეთ, როგორც ნახატზეა ნაჩვენები.
2. გარკვეული სიმაღლიდან ნელ-ნელა დაყარეთ ქვიშა ფურცლის ზედაპირზე და მობილურით გადაიღეთ მიღებული სურათი (ა).
3. წარმოიდგინეთ, რომ ქვიშის ნაწილაკები აირის მოლეკულებია, მუყაოს ფურცელი კი – ჭურჭლის ზედაპირი, რომელშიც აირია მოთავსებული. დაფიქრდით, როგორ ავსნათ აირის წნევის ფიზიკური აზრი.
4. ცდა გაიმეორეთ, გაზარდეთ ქვიშის ნაწილაკების გარდნის სიმაღლე, ანუ ნაწილაკების სიჩქარე. დააკვირდით, რა მოხდება.

იმსჯელეთ შედეგებზე:

- რა დასკვნა გაააკეთეთ: რაში მდგომარეობს აირის წნევის ფიზიკური აზრი, როგორ იქმნება ეს წნევა?
- როგორ იცვლება აირის წნევა „აირის მოლეკულების“ სიჩქარის ზრდასთან ერთად?



იდეალური აირი. ნებისმიერი ფიზიკური თეორიის შექმნის დროს პირველი ნაბიჯია რეალური ობიექტის იდეალიზებული მოდელის შექმნა. მოდელი ყოველთვის რეალობის გამარტივებულ სახეს წარმოადგენს და მისი საშუალებით რეალური ობიექტის თვისებების ხარისხობრივი და რაოდენობრივი კანონზომიერებების დადგენა გარკვეული შეზღუდვების გათვალისწინებით არის შესაძლებელი.

აირების თვისებების შესასწავლად მოლეკულურ-კინეტიკურ თეორიაში გამოიყენება აირის იდეალიზებული მოდელი – „იდეალური აირი“.

• **იდეალური აირი, ფაქტობრივად, გაიშვიათებული აირია, რომელიც შემდეგ პირობებს აკმაყოფილებს:**

– აირის მოლეკულების ზომები ბევრად ნაკლებია მათ შორის მანძილზე და მხედველობაში არ მიიღება. ამიტომ შეიძლება ითქვას, რომ იდეალური აირის მოლეკულები ერთმანეთთან არ ურთიერთქმედებენ, ანუ მოლეკულების ურთიერთქმედების პოტენციური ენერგია ნულის ტოლია:

$$E_{\text{პოტ}} = 0.$$

ამის გამო, იდეალური აირი შეიძლება უსასრულოდ შევკუმშოთ;

– მოლეკულებს შორის განზიდვის ძალები აღიძვრება მხოლოდ მათი ერთ-მანეთთან ან კედლებთან დაჯახების შემდეგ;

– მოლეკულების დაჯახება აბსოლუტურად დრეკადია;

– მოლეკულების სიჩქარემ შეიძლება ნებისმიერი მნიშვნელობა მიიღოს, თითოეული მოლეკულის მოძრაობა კლასიკური მექანიკის კანონებს ემორჩილება.

იდეალური აირის თვისებები ხასიათდება მიკროსკოპული და მაკროსკოპული პარამეტრებით და მათ შორის კავშირებით.

• აირის მიკროსკოპული პარამეტრები ახასიათებს აირის მოლეკულების მოძრაობას. მათ მიეკუთვნება: მოლეკულის მასა, მისი სიჩქარე, იმპულსი და მოძრაობის კინეტიკური ენერგია.

• აირის მაკროსკოპული პარამეტრებია აირის წნევა, მოცულობა და ტემპერატურა, რომლებიც მთლიანობაში განსაზღვრავენ აირის თვისებებს.

მოლეკულურ-კინეტიკური თეორიის ძირითადი ამოცანაა ურთიერთკავშირების დამყარება აირის მიკროსკოპულ და მაკროსკოპულ პარამეტრებს შორის.

იდეალური აირის მოლეკულურ-კინეტიკური თეორიის ძირითადი ამოცანა. ცნობილია, რომ აირის წნევა წარმოიქმნება მოლეკულების განუწყვეტელი და მოუწესრიგებელი დაჯახებების შედეგად იმ ჭურჭლის კედლებთან, რომელშიცაა მოთავსებული. ეს წნევა ზედაპირის ერთეულზე მოქმედი ძალების საშუალო მნიშვნელობის ტოლია:

$$p = \frac{\bar{F}}{S}.$$

1857 წელს გერმანელმა ფიზიკოსმა რუდოლფ კლაუზიუსმა (1822 – 1888), იდეალური აირის მოდელის გამოყენებით დაადგინა აირის წნევის გამოსათვლელი ფორმულა, რომელსაც იდეალური აირის მოლეკულურ-კინეტიკური თეორიის ძირითადი განტოლება ეწოდება.

• იდეალური აირის მოლეკულურ-კინეტიკური თეორიის ძირითადი განტოლება არის განტოლება, რომელიც აირის მაკროსკოპულ პარამეტრს – მის წნევას – აირის მოლეკულების მახასიათებელ მიკროსკოპულ პარამეტრებთან აკავშირებს:

$$p = \frac{1}{3} m_0 n \overline{v^2}. \quad (6.1)$$

სადაც $\frac{1}{3}$ რიცხვითი კოეფიციენტი, რომელიც სივრცის სამგანზომილებიანობაზე მიუთითებს და გამოხატავს სამივე მიმართულების თანასწორობას მოლეკულების ქაოსური მოძრაობის დროს, m_0 ერთი მოლეკულის მასაა, n – მოლეკულების კონცენტრაცია, v – მოლეკულების საშუალო კვადრატული სიჩქარე.

• მოლეკულების კონცენტრაცია არის მოლეკულების რაოდენობა მოცულობის ერთეულში:

$$n = \frac{N}{V}. \quad (6.2)$$

კონცენტრაციის ერთეული SI სიტემაში არის: $[n] = 1/\text{მ}^3 = \text{მ}^{-3}$.

• მოლეკულების საშუალო კვადრატული სიჩქარე ცალკეული მოლეკულების სიჩქარეების კვადრატების საშუალო არითმეტიკულიდან კვადრატული ფესვის ტოლია:

$$\bar{v} = \sqrt{\overline{v^2}} = \sqrt{\frac{v_1^2 + v_2^2 + \dots + v_N^2}{N}}.$$

რადგან მოლეკულების სიჩქარეების კვადრატების საშუალო არითმეტიკული დაკავშირებულია მოლეკულების მოძრაობის კინეტიკური ენერგიის საშუალო მნიშვნელობასთან, იდეალური აირის წნევაც მოლეკულების საშუალო კინეტიკურ ენერგიაზე დამოკიდებული:

$$\overline{E}_{კინ} = \frac{m_0 \overline{v}^2}{2}, \quad (6.3)$$

$$p = \frac{2}{3} n \overline{E}_{კინ} \quad (6.4)$$

• იდეალური აირის წნევა მოლეკულების კონცენტრაციისა და მოლეკულების საშუალო კინეტიკური ენერგიის პირდაპირპროპორციულია.

თუ (6.1) ფორმულაში მხედველობაში მივიღებთ, რომ აირის სიმკვრივე $\rho = \frac{m}{V} = \frac{m_0 N}{V} = m_0 n$ მივიღებთ იდეალური აირის წნევის აირის სიმკვრივეზე დამოკიდებულების ფორმულას:

$$p = \frac{1}{3} \rho \overline{v}^2. \quad (6.5)$$

კვლევითი სამუშაო-1. განსაზღვრეთ აირის ატომების საშუალო კვადრატული სიჩქარე

ამოცანა. შეიძლება ითქვას, რომ მზის ხილული ატმოსფერო (ფოტოსფერო) წყალბადის აირიდან შედგება. ფოტოსფეროს წყალბადის აირში ატომების კონცენტრაცია დაახლოებით $n = 1,6 \cdot 10^{21} \text{ მ}^{-3}$ ტოლია, წნევა კი $p = 1,25 \cdot 10^2 \text{ პა-ია}$. თუ ჩავთვლით, რომ ფოტოსფეროს წყალბადის აირი იდეალური აირია, რის ტოლი იქნება მისი ატომების მოძრაობის საშუალო კინეტიკური ენერგია?

იმსჯელეთ შედეგებზე:

• რა კავშირია იდეალური აირის მოლეკულების (ატომების) მოძრაობის საშუალო კინეტიკურ ენერგიასა და მის წნევას შორის?

შეძენილი ცოდნის გამოყენება ყოველდღიურ ცხოვრებაში:

დავუშვათ, რომ ჩვენი გარემომცველი ჰაერი ერთი სახის მოლეკულებისგან შედგება. ნორმალურ პირობებში რა საშუალო კვადრატული სიჩქარით გვეჯახებიან ეს მოლეკულები? ნორმალურ პირობებში ჰაერის წნევა 10^5 პა-ია , ხოლო სიმკვრივე – $1,29 \text{ კგ/მ}^3$.

შეაფასეთ თქვენი ცოდნა: 1. რომელი ცნებები გაიმეორეთ გაკვეთილზე? რა გაიგეთ კარგად და რა დარჩა თქვენთვის ნაწილობრივ გაუგებარი? 2. როგორ აიხსნება აირის წნევა მოლეკულურ-კინეტიკური თეორიის თვალსაზრისით? 3. რა შემთხვევაში შეიძლება აირს ვუწოდოთ იდეალური? 4. რას ახასიათებენ აირის მაკროსკოპული და მიკროსკოპული პარამეტრები? 5. რატომ ეწოდება იდეალური აირის წნევის ფორმულას მოლეკულურ-კინეტიკური თეორიის ძირითადი განტოლება?

რა შეიტყვით? სამუშაო რვეულში დაწერეთ დასახელებული ცნებების მოკლე განმარტებები: „იდეალური აირი“, „აირის მიკროსკოპული პარამეტრები“, „აირის მაკროსკოპული პარამეტრები“, „იდეალური აირის მკთ-ის ძირითადი განტოლება“, „მოლეკულების კონცენტრაცია“, „მოლეკულების საშუალო კვადრატული სიჩქარე“, „აირის წნევა“.

6.3 სითბური წონასწორობა – ტემპერატურა

ტემპერატურის ცნებას მნიშვნელოვანი ადგილი უჭირავს ყოველდღიურ ცხოვრებაში. როდესაც ტემპერატურას ვახსენებთ, ვგულისხმობთ სხეულის გაცხელების ხარისხს (ცხელია, თბილია, ცივია). ტემპერატურაზე ასეთი წარმოდგენა საკმაოდ სუბიექტურია, რადგან ტემპერატურა დამოკიდებულია არა მარტო განსახილველი სხეულის მდგომარეობაზე, არამედ ჩვენს მგრძნობელობაზეც.

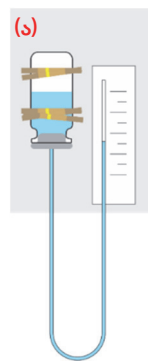
- როგორ ავიცილოთ სუბიექტურობა ტემპერატურის შეფასების დროს?
- ჩვენი სხეულის ტემპერატურის გასაგებად რატომ ვიჩერებთ ვერცხლისწყლიან თერმო-მეტრს იღლიაში 5-10 წთ-ის განმავლობაში?

კვლევითი სამუშაო-1. წყლიანი თერმომეტრის დამზადება

სამუშაოსთვის საჭიროა: მინის ჭურჭელი (ფლაკონი), წვრილი გამჭვრევალე მილი (მაგალითად, ბურთულიანი კალმის ცარიელი ღერი), შეფერადებული წყალი (4-5 მლ), პლასტილინი, ნებოვანი ლენტის, ქაღალდის ფურცელი, მუყაოს ფურცელი (6 სმ x 6 სმ), ძაფი, ყინული, სპირტიანი თერმომეტრი, ჭიქა, ელექტროგამაცხელებელი, წყალი (0,5 ლ), ფანქარი.

სამუშაოს მსვლელობა: 1. ფლაკონი ნახევრამდე შეავსეთ შეფერადებული წყლით და დაახურეთ საცობი. 2. მილის ერთი ბოლო საცობში გაატარეთ და ჭურჭელში ჩაუშვით. მილსა და საცობს შორის შესალო ხვრელი პლასტილინით ამოავსეთ. 3. მილი U-ს ფორმით მოხარეთ და მისი ღია ბოლო ფურცელზე დაამაგრეთ, ეს თერმომეტრის „სკალა“ იქნება. ფლაკონი და „სკალა“ ძაფით მუყაოზე დაამაგრეთ. მიიღეთ წყლიან თერმომეტრს (ა). დააგრადუირეთ თერმომეტრი. ამისთვის წყალი დაახლოებით 50°C-მდე გაცხელეთ და ჭიქაში ჩაასხით. ჩაუშვით სპირტიანი და წყლიანი თერმომეტრები წყალში, დაელოდეთ გარკვეული დროის განმავლობაში და წყლის დონე წყლიანი თერმომეტრის მილში შტრიხით აღნიშნეთ. შტრიხთან დაწერეთ სპირტიანი თერმომეტრის ჩვენების შესაბამისი რიცხვი, მაგალითად 45°C. 5. განაგრძეთ წყლიანი თერმომეტრის გრადუირება ჭიქაში წყლის გაცივების შესაბამისად.

იმსჯელეთ შედეგებზე: 1. რატომ არის თერმომეტრის ჩვენების ცვლილებისთვის საჭირო გარკვეული დრო? 2. რომელ ტემპერატურულ ინტერვალში შევძლებთ ტემპერატურის გაზომვას წყლიანი თერმომეტრით? რატომ? 3. მოლეკულურ-კინეტიკური თეორიის მიხედვით ახსენით, რატომ იზრდება ნივთიერების ტემპერატურა მისი გაცივების დროს და პირიქით, რატომ მცირდება გაცივების დროს?



სითბური წონასწორობა. ცნობილია, რომ ორი სხეულის შეხების დროს, რომლებსაც სხვადასხვა ტემპერატურა აქვთ, მათ შორის ხდება სითბოს მიმოცვლა: მაღალი ტემპერატურის სხეულიდან სითბო დაბალი ტემპერატურის სხეულს გადაეცემა, ვიდრე მათი ტემპერატურა არ გათანაბრდება. ეს ფაქტია გამოყენებული სხეულის ტემპერატურის გაზომვის დროს – თერმომეტრს სხეულს შეახებენ და გარკვეული დროის შემდეგ, რომლის განმავლობაშიც სხეულსა და თერმომეტრს შორის სითბური, ანუ ეგრეთ წოდებული თერმოდინამიკური, წონასწორობა დამყარდება, ნახულობენ თერმომეტრის ჩვენებას. თერმოდინამიკური წონასწორობის დროს სისტემის მაკროსკოპული პარამეტრები უცვლელი რჩება.

- სითბური, ანუ თერმოდინამიკური, წონასწორობა არის სისტემის მდგომარეობა, როდესაც მისი მაკროსკოპული პარამეტრები ხანგრძლივი დროის განმავლობაში უცვლელი რჩება.

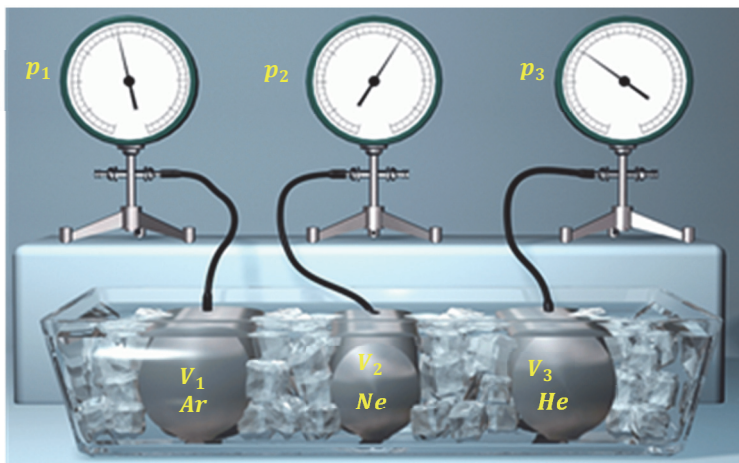
სისტემის სითბური წონასწორობის მდგომარეობა ხასიათდება ტემპერატურით.

- ტემპერატურა ფიზიკური სიდიდეა, რომელიც მაკროსკოპული სისტემის სითბური წონასწორობის მდგომარეობას ახასიათებს: სითბური წონასწორობის მდგომარეობაში სისტემის ყველა ნაწილის ტემპერატურა ერთნაირია.

ტემპერატურის, როგორც სხეულის თვისებრივი და რაოდენობრივი მახასიათებლის, შეფასება უნდა ეფუძნებოდეს ისეთი ფიზიკური სიდიდის განსაზღვრას, რომელიც, ერთი მხრივ, სხეულის მდგომარეობას ახასიათებს, ამასთან, ერთნაირია მასთან სითბურ წონასწორობაში მყოფი ყველა სხეულისთვის. ასეთი ფიზიკური სიდიდეა ნივთიერების მოლეკულების მოძრაობის საშუალო კინეტიკური ენერგია. განვსაზღვროთ ეს ენერგია ერთატომიანი იდეალური აირისათვის.

ამ მიზნით საინტერესო ექსპერიმენტი ჩაატარეს: სხვადასხვა მოცულობის სამი ბალონი, რომლებიც მანომეტრებითაა (წნევის საზომი ხელსაწყოთი) აღჭურვილი, გავსებულია სხვადასხვა აირით, მაგ. არგონით, ნეონითა და ჰელიუმით. ბალონები ჯერ ყინულში მოათავსეს ($t_0 = 0^\circ \text{C}$), მერე – მდულარე წყალში ($t = 100^\circ \text{C}$) (ბ).

(ბ)



გამოთვლებით გაირკვა, რომ ორივე შემთხვევაში (0°C ტემპერატურისა და 100°C ტემპერატურის დროს) სითბური წონასწორობის დამყარების შემდეგ, იმის მიუხედავად, რომ აირების წნევა, მოცულობა და კონცენტრაცია ბალონებში განსხვავებულია, შეფარდება $\frac{PV}{N}$ სამივე ბალონში ერთნაირია და დამოკიდებულია მხოლოდ ტემპერატურაზე:

$$t = 0^\circ \text{C} \rightarrow \frac{p_1 V_1}{N_1} = \frac{p_2 V_2}{N_2} = \frac{p_3 V_3}{N_3} = 3,76 \cdot 10^{-21} \text{H} \cdot \text{M} = 3,76 \cdot 10^{-21} \text{ჯ},$$

$$t = 100^\circ \text{C} \rightarrow \frac{p_1 V_1}{N_1} = \frac{p_2 V_2}{N_2} = \frac{p_3 V_3}{N_3} = 5,14 \cdot 10^{-21} \text{H} \cdot \text{M} = 5,14 \cdot 10^{-21} \text{ჯ}$$

თუ გავითვალისწინებთ, რომ $\frac{V}{N} = \frac{1}{n}$, მივიღებთ, რომ სითბური წონასწორობის დროს აირის წნევის შეფარდება მის კონცენტრაციასთან მუდმივი სიდიდეა და იზომება ენერგიის საზომი ერთეულით – ჯოულით:

$$\frac{p}{n} = \theta. \quad (6.6)$$

სადაც θ (თეტა) მუდმივი სიდიდეა და ყველა აირისთვის, რომლებიც იდეალური აირის მახლობელ მდგომარეობაშია, დამოკიდებულია მხოლოდ აირის ტემპერატურაზე:

$$\theta = kT. \quad (6.7)$$

აქ T აბსოლუტური ტემპერატურაა, k – პროპორციულობის კოეფიციენტი, რომელსაც ბოლცმანის მუდმივა ეწოდება, ავსტრიელი ფიზიკოსის ლუდვიგ ბოლცმანის (1844 – 1906) პატივსაცემად. ექსპერიმენტულად დადგინდა, რომ ბოლცმანის მუდმივა ტოლია:

$$k = 1,38 \cdot 10^{-23} \frac{\text{ჯ}}{\text{K}}. \quad (6.8)$$

ბოლცმანის მუდმივა θ , ტემპერატურას, რომელიც ენერგიის ერთეულებით იზომება, აბსოლუტურ ტემპერატურასთან აკავშირებს, რომელიც კელვინებითაა გაზომილი. (6,6) და (6,7) გამოსახულებებიდან მივიღებთ იდეალური აირის წნევის გამოსათვლელ ფორმულას:

$$p = nkT. \quad (6.9)$$

გამოსახულება შეგვიძლია გამოვიყენოთ აბსოლუტური ტემპერატურის განსაზღვრისათვის კელვინებში:

$$T = \frac{p}{nk}. \quad (6.10)$$

(6.10) ფორმულა ახალი ტემპერატურული სკალის შექმნის საშუალებას იძლევა. ამ ტემპერატურულ სკალას აბსოლუტური ტემპერატურების სკალა ეწოდება, რომლის შექმნის იდეა 1848 წელს წამოაყენა ინგლისელმა ფიზიკოსმა უილიამ თომსონმა (1824 – 1907). ფიზიკაში შეტანილი წვლილისათვის 1892 წელს მას ლორდ კელვინის ტიტული მიენიჭა. ამიტომ ამ სკალას კელვინის

სკალა ეწოდება. კელვინის სკალის ნულოვანი წერტილი, ანუ აბსოლუტური ნულის ტემპერატურა ყველაზე დაბალი ტემპერატურაა, რომელიც თეორიულად და პრაქტიკულად არის შესაძლებელი. ამ სკალის მიხედვით, ყინულის დნობის ტემპერატურაა $T_0 = 273,15 \text{ K}$. ცელსიუსის ტემპერატურული სკალისა და კელვინის სკალის დამაკავშირებელი ფორმულაა:

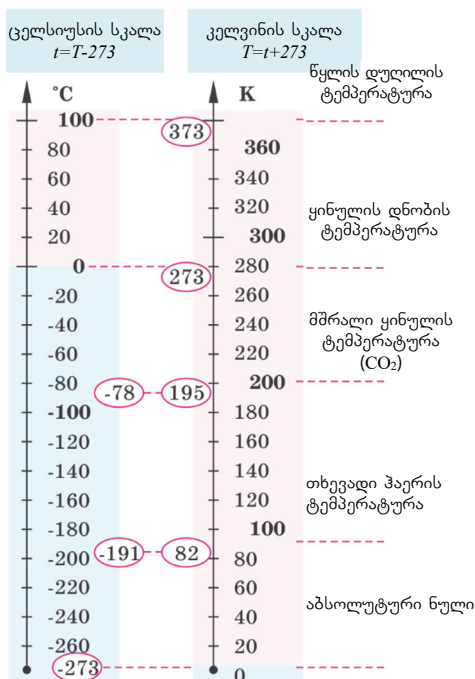
$$T = t + 273,15.$$

გამოთვლების დროს იყენებენ მის გამართივებულ ფორმას:

$$T = t + 273. \quad (6.11)$$

აბსოლუტური ტემპერატურის საზომი ერთეული კელვინი (1 K) SI სისტემის ძირითადი ერთეულია: $[T] = 1\text{K}$. ეს ტემპერატურა ცელსიუსის სკალის 1°C ტემპერატურას შეესაბამება. ამიტომ ტემპერატურათა სხვაობა კელვინის სკალითა და ცელსიუსის სკალით ერთნაირია: $\Delta T = \Delta t$ (გ). ტემპერატურა მოლეკულების საშუალო კინეტიკური ენერგიის სიდიდის გამომხატველია. მართლაც, (6.4) და (6.9)

(გ)



გამოსახულებების შედარებით მივიღებთ, რომ აბსოლუტური ტემპერატურა, რომელიც იდეალური აირის (ანუ გაიშ-ვიათებული აირის) მაკროსკოპული პარამეტრია, დაკავშირებულია აირის მოლეკულების კინეტიკურ ენერგიასთან, რომელიც აირის მიკროსკოპული პარამეტრია:

• აირის მოლეკულების მოძრაობის საშუალო კინეტიკური ენერგია აირის აბსოლუტური ტემპერატურის პირდაპირპროპორციულია:

$$\bar{E}_{კინ} = \frac{3}{2} kT. \quad (6.12)$$

(6.12) ფორმულიდან ჩანს ტემპერატურის ფიზიკური აზრი:

ტემპერატურა განსაზღვრავს სხეულის მოლეკულების საშუალო კინეტიკურ ენერგიას. ეს მტკიცებულება სამართლიანია სითხეებისა და მყარი სხეულებისთვისაც. ფორმულიდან ჩანს, რომ მოლეკულების მოძრაობის საშუალო კინეტიკური ენერგიის მნიშვნელობა და შესაბამისად, მოლეკულების საშუალო კვადრატული სიჩქარე აბსოლუტური ნულის დროს ნულის ტოლია.

მოლეკულების საშუალო კვადრატული სიჩქარე. (6.1), (6.3) და (6.5) ფორმულებიდან შეიძლება გამოვავალოთ მოლეკულების საშუალო კვადრატული სიჩქარე:

$$\bar{v} = \sqrt{\frac{2\bar{E}_{კინ}}{m_0}} = \sqrt{\frac{3kT}{m_0}} = \sqrt{\frac{3p}{\rho}}. \quad (6.13)$$

კვლევიტი საშუაო-2. გამოყენება. რამდენად გაიზრდება ტემპერატურა?

ამოცანა. იდეალური აირის ტემპერატურა 373 K-ის ტოლია. რამდენად გაიზრდება აირის ტემპერატურა, თუ მოლეკულების საშუალო კვადრატული სიჩქარე 3-ჯერ გაიზრდება?

იმსჯელეთ შედეგებზე:

- როგორი კავშირია იდეალური აირის ტემპერატურასა და მისი მოლეკულების საშუალო კინეტიკურ ენერგიას შორის?
- რამდენად გაიზრდება აირის ტემპერატურა, თუ მისი მოლეკულების საშუალო კინეტიკური ენერგია 3-ჯერ გაიზრდება?

შეძენილი ცოდნის გამოყენება ყოველდღიურ ცხოვრებაში:

- როგორ გავუზომოთ ჭიანჭველას ტემპერატურა ჩვეულებრივი თერმომეტრით?

შეფასეთ თქვენი ცოდნა: 1. რომელი ცნებები გაიმეორეთ გაკვეთილზე? რა გაიგეთ კარგად და რა დარჩა ნაწილობრივ გაუგებარი? 2. რას ახასიათებს ტემპერატურა? 3. რა არის სითბური ნონასწორობა? რის თქმა შეიძლება სითბური ნონასწორობის მდგომარეობაში მყოფი სხეულების ტემპერატურაზე? 4. როგორია აბსოლუტური ნულის ფიზიკური შინაარსი? 5. კელვინის სკალის რომელ ტემპერატურას შეესაბამება -73°C ? 6. დახატეთ ტემპერატურასთან დაკავშირებული ცნებების კავშირების რუკა.

რა შეიტყვით? საშუაო რვეულში დაწერეთ შემდეგი ცნებების განმარტებები: „სითბური ნონასწორობა“, „აბსოლუტური ტემპერატურა“, „კელვინისა და ცელსიუსის სკალათა კავშირი“, „ტემპერატურის ფიზიკური აზრი“.

6.4 აირის მოლეკულების მოძრაობის სიჩქარის განსაზღვრა (გაკვეთილი-პრეზენტაცია)

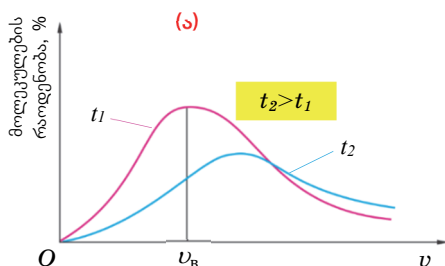
პრეზენტაციის მოსამზადებლად თემაზე „მოლეკულების მოძრაობის სიჩქარის განსაზღვრისა და მათი ურთიერთქმედების ექსპერიმენტული კვლევის შედეგები“ გამოიყენეთ ცოდნა, ჩვევები და თეორიული ინფორმაცია, რომლებიც წინა გაკვეთილზე შეიძინეთ.

აირის მოლეკულების მოძრაობის სიჩქარის განსაზღვრა. აირის მოლეკულები უწყვეტ ქაოსურ მოძრაობას ასრულებენ. გასაკვირია, რომ დიდი რაოდენობის აირის მოლეკულების მოუწერიგებელი მოძრაობა სიჩქარის მიხედვით განაწილების გარკვეულ კანონზომიერებას ემორჩილება. 6.2 ცხრილში მოცემულია აზოტის მოლეკულების განაწილება სიჩქარის მიხედვით (ოთახის ტემპერატურაზე, პროცენტებში, მოლეკულების საერთო რაოდენობის მიმართ).

ცხრილი 6.2

სიჩქარე, მ/წმ	$0 \div 100$	$100 \div 300$	$300 \div 500$	$500 \div 700$	$700 \div 900$	$900 <$
მოლეკულების რაოდენობა, %	1	25	42	24	7	1

ცხრილიდან ჩანს, რომ მოლეკულების საერთო რაოდენობის 1% ძალიან პატარა სიჩქარით მოძრაობს. მოლეკულების მთელი რაოდენობის დაახლოებით ნახევარი (42%) საშუალო სიჩქარით



ყველაზე დიდი ალბათობით აქვს მოლეკულას. ანუ აირის მოლეკულების ყველაზე დიდი ნაწილი მოცემული ტემპერატურისა და მოცულობის დროს v_B -ს ($v_{\text{ალბათური}}$) ტოლი სიჩქარით მოძრაობს. მაგალითად, აზოტისთვის 20°C ტემპერატურის დროს $v_B = 415$ მ/წმ. ტემპერატურის გაზრდა იწვევს დიდ სიჩქარით მოძრავი მოლეკულების რაოდენობის გაზრდას და პატარა სიჩქარით მოძრავი მოლეკულების რაოდენობის შემცირებას. შედეგად იზრდება v_B -ს მნიშვნელობა და სიჩქარეთა „განაწილების“ მრუდის მაქსიმუმი დიდი სიჩქარეების მხარეს წანაცვლდება (იხ. ა).

აირის მოლეკულების სიჩქარის გასაზომად პირველი ექსპერიმენტული კვლევები გერმანელმა მეცნიერმა ოტო შტერნმა (1888 – 1969) ჩაატარა 1920 წელს. მოლეკულების სიჩქარის მის მიერ მიღებული მნიშვნელობები დაემთხვა სიჩქარის მნიშვნელობებს, რომელიც მოლეკულურ-კინეტიკური თეორიის საფუძველზე თეორიული გამოთვლებით იყო მიღებული. შტერნის ცდების სამეცნიერო მნიშვნელობა ის არის, რომ მან აირის მოლეკულების სიჩქარე ექსპერიმენტულად განსაზღვრა, ასევე ის, რომ მისმა ცდებმა დაადასტურა მოლეკულების სიჩქარეების მიხედვით განაწილების კანონზომიერება.

პრეზენტაციის მომზადების გეგმის მაგალითი

I სლაიდი:	• პრეზენტაციის სახელწოდება • მოამზადა
II სლაიდი:	• მაკრო- და მიკროპარამეტრები, რომლებზეც დამოკიდებულია იდეალური აირის მოლეკულების მოძრაობის სიჩქარე
III სლაიდი:	• აირის მოლეკულების სიჩქარის მიხედვით განაწილების კანონზომიერების დადგენა 6.2 ცხრილის ანალიზის საფუძველზე
IV სლაიდი:	• მოლეკულების რაოდენობის სიჩქარეზე დამოკიდებულების გრაფიკის ანალიზი
V სლაიდი:	• შტერნის ცდებით მიღებული შედეგები

6.5 იდეალური აირის მდგომარეობის განტოლება

თქვენ შეიწავლეთ იდეალური აირი მკ თეორიის პოზიციიდან და გაარკვიეთ კავშირი მის მაკროსკოპულ და მიკროსკოპულ პარამეტრებს შორის.

- რომელ მაკროსკოპულ და მიკროსკოპულ პარამეტრებს აკავშირებს იდეალური აირის მოლეკულურ-კინეტიკური თეორიის ძირითადი განტოლება? როგორი სახე აქვს ამ განტოლებას?
- შეიძლება თუ არა, ერთი გამოსახულებით დაკავშირებოთ იდეალური აირის მდგომარეობის დამახასიათებელი სამი მაკროსკოპული პარამეტრი (წნევა, მოცულობა და ტემპერატურა)? როგორ შეიძლება ამის გაკეთება?

კვლევითი სამუშაო-1. როგორ არის დაკავშირებული მოცემული მასის აირის მაკროსკოპული პარამეტრები?

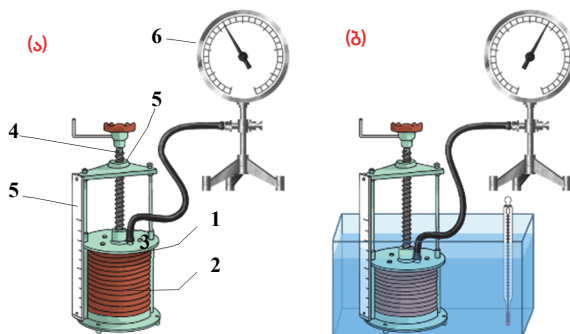
სამუშაოსთვის საჭიროა: სილფონი, მანომეტრი, აკვარიუმი, თერმომეტრი, წყლის გამაცხელებელი, წყალი (2 ლ).

სილფონის მოწყობილობა. ხელსაწყო წარმოადგენს მეტალის გოფირებულ ჰერმეტიკულ ცილინდრს, რომელსაც ცვლადი მოცულობა აქვს – სილფონს (2), რომელზეც მიმაგრებულია სახურავი (1). სახურავს აქვს მილი (3), რომლითაც სილფონი უერთდება მანომეტრს. (4) ზრახნის საშუალებით შესაძლებელია სილფონის მოცულობის შეცვლა, რის შედეგად იცვლება აგრეთვე ჰაერის წნევა ცილინდრის შიგნით. ცილინდრში არსებული ჰაერის მოცულობას ზომავენ პირობითი ერთეულებით სკალის (5) დანაყოფების მიხედვით. სკალა ცილინდრზე გვერდიდანაა მიმაგრებული. წნევას ზომავენ მანომეტრით (6) (ა).

სამუშაოს მსვლელობა: 1. მიუერთეთ სილფონი მანომეტრს, ჩაინიშნეთ ცილინდრში ჰაერის მოცულობა V_1 და წნევა p_1 ოთახის ტემპერატურაზე (T_1). ამ მონაცემების მიხედვით გამოთვალეთ $\frac{p_1 V_1}{T_1}$. შეფარდების მნიშვნელობა. 2. შეცვალეთ სილფონის მოცულობა და ჩადგით თბილ წყალში.

ჩაინიშნეთ ახალი მდგომარეობის შესაბამისი პარამეტრები T_2, V_2, p_2 (ბ). ამ მონაცემების მიხედვით გამოთვალეთ T_2, V_2, p_2 შეფარდების მნიშვნელობა.

3. შეადარეთ ცდის შედეგად მიღებული მნიშვნელობები და გააკეთეთ შესაბამისი დასკვნა.



იმჯელეთ შედეგებზე:

- რა კანონზომიერება გამოვლინდა მაკროსკოპული პარამეტრების გაზომვისა და გამოთვლების შემდეგ, რომლებიც მოცემული მასის აირის (ჰაერის) სხვადასხვა მდგომარეობას შეესაბამება?
- რა დასკვნებთან მივყავართ ჩატარებულ კვლევით სამუშაოს?

კლაპეირონის განტოლება. იდეალური აირის დამახასიათებელ სამ მაკროსკოპულ პარამეტრს (წნევას, მოცულობასა და ტემპერატურას) შორის დამოკიდებულებას განსაზღვრავს იდეალური აირის მდგომარეობის განტოლება.

• იდეალური აირის მდგომარეობის განტოლება აღწერს აირის მდგომარეობას და განსაზღვრავს კავშირს მის პარამეტრებს შორის საწყის და საბოლოო მდგომარეობაში.

თუ იდეალური აირის მოლეკულების რაოდენობა მუდმივია, ანუ მისი მასა და მოლური მასა არ იცვლება, აირის ერთი მდგომარეობიდან მეორეში გადასვლის დროს (6.2) და (6.9) ფორმულებიდან მივიღებთ:

$$\begin{cases} p_1 V_1 = N k T_1 \\ p_2 V_2 = N k T_2. \end{cases} \quad (6.14)$$

სადაც, p_1, V_1, T_1 იდეალური აირის პარამეტრებია საწყის მდგომარეობაში, p_2, V_2, T_2 მისი პარამეტრებია საბოლოო მდგომარეობაში. (6.14) გამოსახულებებიდან მარტივი მათემატიკური გარდაქმნებით მოცემული მასის ($m = \text{const}$) აირისთვის მივიღებთ:

$$\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2} \text{ ან } \frac{pV}{T} = \text{const}. \quad (6.15)$$

ეს განტოლება (6.15), რომელიც იდეალური აირის მდგომარეობას ახასიათებს, 1834 წელს ფრანგმა ფიზიკოსმა ბენუა კლაპეირონმა (1799 – 1864) მიიღო. ამიტომ მას კლაპეირონის განტოლება ეწოდება.

• მოცემული მასის აირის წნევისა და მოცულობის ნამრავლის შეფარდება ტემპერატურასთან მუდმივი სიდიდეა.

მენდელეევი-კლაპეირონის განტოლება. ნივთიერების ნაწილაკების რაოდენობის, ნივთიერების მასის, მოლური მასისა და ავოგადროს რიცხვის დამაკავშირებელი ფორმულის $N = \frac{m}{M} N_A$

გათვალისწინებით (6.14) ფორმულაში მივიღებთ:

$$pV = k N_A \frac{m}{M} T. \quad (6.16)$$

ბოლცმანის მუდმივას ავოგადროს მუდმივაზე ნამრავლიც მუდმივი სიდიდეა და აირის უნივერსალური მუდმივა ეწოდება. აღინიშნება R ასოთი და მისი რიცხვითი მნიშვნელობა ტოლია:

$$R = k N_A = 8,31 \frac{\text{ჯ}}{\text{მოლი} \cdot \text{K}}. \quad (6.17)$$

აირის უნივერსალური მუდმივას ფიზიკური შინაარსი ასეთია: აირის წნევისა და მოცულობის ნამრავლის შეფარდება აბსოლუტურ ტემპერატურასთან მუდმივი სიდიდეა ერთი მოლი ნებისმიერი აირისთვის.

თუ (6.17) გამოსახულებას (6.16)-ში გავითვალისწინებთ, მივიღებთ გამოსახულებას, რომელიც აგრეთვე იდეალური აირის მდგომარეობას ახასიათებს და მენდელეევი-კლაპეირონის განტოლება ეწოდება:

$$pV = \frac{m}{M} RT = \nu RT. \quad (6.18)$$

მენდელეევი-კლაპეირონის განტოლება შეიძლება ასეთი სახითც ჩავწეროთ:

$$p = \frac{\rho}{M} RT. \quad (6.19)$$

სადაც $\rho = \frac{m}{V}$ – აირის სიმკვრივეა.

კვლევითი სამუშაო-2. გამოყენება. შეგიძლიათ თუ არა იდეალური აირის მდგომარეობის განტოლების გამოყენება?

ამოცანა-1. $0,1 \text{ მ}^3$ მოცულობის ბალონში $8,9 \cdot 10^{-3} \text{ კგ}$ მასის აირია, რომლის ტემპერატურაა 0°C და წნევა 10^5 პა . განსაზღვრეთ აირის მოლური მასა. ეს რომელი აირია?

ამოცანა-2. მეტეოროლოგიური ბურთი, რომელიც წყალბადითაა გავსებული, ავიდა სიმაღლეზე, სადაც ჰაერის ტემპერატურა 0°C -ია. განსაზღვრეთ წყალბადის სიმკვრივე, თუ სიმაღლეზე ბურთში წნევა $1,5 \cdot 10^5 \text{ პა}$ -ის ტოლი გახდა.

იმსჯელეთ შედეგებზე:

- რომელი ფორმულით გამოითვლება აირის მოლური მასა?
- ამოცანის პირობაში მოყვანილი პარამეტრების მიხედვით როგორ გავიგოთ აირის სიმკვრივე მეტეოროლოგიურ ბურთში?

შეძენილი ცოდნის გამოყენება:

- რატომ უნდა ვიცოდეთ იდეალური აირის მდგომარეობის განტოლების გამოყენება? რომელ პასუხს აირჩევდით?

1. მდგომარეობის განტოლება საშუალებას იძლევა, განვსაზღვროთ მესამე პარამეტრი ორი სხვა ცნობილი პარამეტრის მიხედვით, რომლებიც აირის მდგომარეობას ახასიათებენ.
2. მდგომარეობის განტოლება საშუალებას იძლევა, მივხედოთ, როგორ განვითარდება სისტემაში მიმდინარე პროცესები კონკრეტული გარემო პირობების შემთხვევაში.
3. მდგომარეობის განტოლება საშუალებას იძლევა, განვსაზღვროთ ჩვენი გარემომცველი სისტემის მდგომარეობის ცვლილებები.

შეაფასეთ თქვენი ცოდნა:

1. რომელი ცნებები გაიმეორეთ გაკვეთილზე? რა გაიგეთ კარგად და რა დარჩა ნაწილობრივ გაუგებარი?
2. რას განსაზღვრავს იდეალური აირის მდგომარეობის განტოლება?
3. რომელი მოვლენების შესწავლის დროს გამოიყენება მდგომარეობის განტოლება?
4. რას ახასიათებს კლაპეირონის განტოლება?
5. აირის რომელ პარამეტრებს შორის დამოკიდებულებას ეწოდება მენდელეევი-კლაპეირონის განტოლება?
6. მოცემული აირის ერთი მდგომარეობიდან მეორეში გადასვლის დროს მისი წნევა მცირდება, ტემპერატურა კი იზრდება. როგორ შეიცვლება აირის მოცულობა?
7. როგორია აირის უნივერსალური მუდმივას ფიზიკური შინაარსი?

რა შეიტყვეთ? სამუშაო რვეულში დაწერეთ დასახელებული ცნებების მოკლე განმარტებები და შეასაბამისი განტოლებები: „იდეალური აირის მდგომარეობის განტოლება“, „კლაპეირონის განტოლება“, „მენდელეევი-კლაპეირონის განტოლება“.

6.6 იდეალური აირის კანონები

დავუშვათ, სიცივიდან თბილ ოთახში მჭიდროდ დახურული ჰაერის ბალონი შემოიტანეთ. გარკვეული დროის შემდეგ:

- ჰაერის მდგომარეობის დამახასიათებელი რომელი პარამეტრები შეიცვლება?
- ჰაერის მდგომარეობის დამახასიათებელი რომელი პარამეტრები არ შეიცვლება?
- რომელი ფორმულით შეიძლება ბალონში არსებული ჰაერის მდგომარეობის აღწერა?

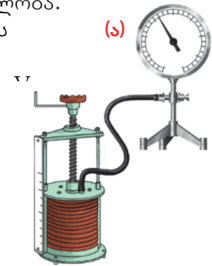
კვლევითი სამუშაო-1. როგორი კანონზომიერი კავშირია მოცემული მასის აირის დანარჩენ ორ პარამეტრს შორის, თუ აირის ტემპერატურა არ იცვლება?

სამუშაოსთვის საჭიროა: სილფონი მასთან მიერთებული მანომეტრით (ა).

სამუშაოს მსვლელობა:

1. ცხრილ 6.3-ში აღნიშნეთ ჰაერის საწყისი პარამეტრები ოთახის ტემპერატურაზე: $p_1 = 10^5 \text{ პა} = 1 \text{ წნევის პირობითი ერთეული}$, $V_1 = 8 \text{ მოცულობის პირობითი ერთეული}$.
2. ხრახნის ბრუნვით თანდათან შეამცრეთ სილფონში ჰაერის მოცულობა. ჩაიწერეთ რამდენიმე ახალი მოცულობისა და შესაბამისი წნევების მნიშვნელობები.

ბმსჯელეთ შედეგებზე: 1. როგორ შეიცვალა მოცემული მასის აირის (ჰაერის) წნევა მისი მოცულობის ცვლილებისას მუდმივი (ოთახის) ტემპერატურის დროს? 2. როგორი კანონზომიერებით არის დაკავშირებული წნევებისა და შესაბამისი მოცულობების ნამრავლები $p_1 V_1$; $p_2 V_2$; ... ცდის ყოველ ეტაპზე? 3. რა დასკვნის გაკეთება შეიძლება ცდის შედეგების მიხედვით?



ცხრილი 6.3.

ვ, პირობითი ერთ.	8	7	6	5	4	3	2
პ, პირობითი ერთ.	1	1,1	...	...	...	...	...

იდეალური აირის მდგომარეობის განტოლებით შეგვიძლია შევისწავლოთ პროცესები, რომელთა დროსაც აირის მასა და აირის დამახასიათებელი ერთ-ერთი მაკროსკოპული პარამეტრი არ იცვლება.

- **აირის კანონები** ეწოდება კანონებს, რომლებიც განსაზღვრავს რაოდენობრივ კავშირს მოცემული მასის ($m = \text{const}$) აირის ორ მაკროსკოპულ პარამეტრს შორის მესამე მაკროსკოპული პარამეტრის მნიშვნელობის მუდმივობის დროს.
- **იზოპროცესები** (ბერძნული *izos* – უცვლელი, ტოლი) ეწოდება პროცესებს, რომლებიც მოცემული მასის ($m = \text{const}$) აირებში მიმდინარეობს ერთ-ერთი მაკროსკოპული პარამეტრის მნიშვნელობის მუდმივობის პირობებში.

ბოილ-მარიოტის კანონი: ეს კანონი 1662 წელს აღმოაჩინეს ინგლისელმა ფიზიკოსმა რობერტ ბოილმა (1627 – 1691) და 1676 წელს – ფრანგმა ფიზიკოსმა ედ მარიოტმა (1620 – 1684).

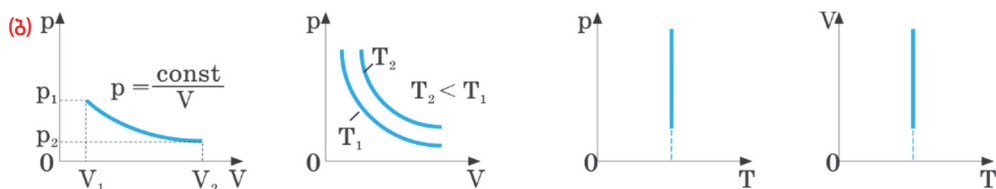
- მოცემული მასის აირის წნევის ნამრავლი მოცულობაზე მუდმივი სიდიდეა, თუ აირის ტემპერატურა არ იცვლება ($T = \text{const}$, $m = \text{const}$):

$$pV = \frac{m}{M} RT = \text{const.} \quad (6.20)$$

მოცემული მასის აირის საწყისი წნევის p_1 ნამრავლი საწყის მოცულობაზე V_1 ტოლია ამავე პარამეტრების p_2 და V_2 მნიშვნელობების ნამრავლის ნებისმიერ შემდეგ მდგომარეობაში, თუ აირის ტემპერატურა არ იცვლება:

$$p_1 V_1 = p_2 V_2 \rightarrow \frac{p_1}{p_2} = \frac{V_2}{V_1}. \quad (6.21)$$

• **იზოთერმული** ენოდება მოცემული მასის ($m = \text{const}$) იდეალური აირის მდგომარეობის ცვლილების პროცესს, რომელიც მუდმივი ტემპერატურის ($T = \text{const}$) პირობებში მიმდინარეობს. იზოთერმულ პროცესებში აირის წნევასა და მოცულობას შორის უკუპროპორციული დამოკიდებულებაა (ბ).



გეი-ლუსაკის კანონი: ეს კანონი 1802 წელს ექსპერიმენტულად დაადგინა ფრანგმა ფიზიკოსმა ჟოზეფ ლუი გეი-ლუსაკმა (1778 – 1850).

• უცვლელი წნევის დროს მოცემული მასის აირის მოცულობის შეფარდება მის აბსოლუტურ ტემპერატურასთან მუდმივი სიდიდეა ($p = \text{const}, m = \text{const}$):

$$\frac{V}{T} = \frac{mR}{M} \cdot \frac{1}{p} = \text{const}. \quad (6.22)$$

უცვლელი წნევის დროს აირის საწყისი მოცულობის V_1 შეფარდება მის ტემპერატურასთან T_1 ტოლია აირის იმავე პარამეტრების V_2 და T_2 შეფარდების ნებისმიერ სხვა მდგომარეობაში:

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}. \quad (6.23)$$

გეი-ლუსაკის კანონი შეიძლება სხვანაირადაც ჩამოვაყალიბოთ:

• უცვლელი წნევის დროს მოცემული მასის იდეალური აირის მოცულობის ფარდობითი ცვლილება ტემპერატურის ცვლილების პირდაპირპროპორციულია ($p = \text{const}, m = \text{const}$):

$$\frac{V - V_0}{V_0} = \alpha(t - t_0), \quad t_0 = 0 \Rightarrow V = V_0(1 + \alpha t) \quad (6.24)$$

სადაც V_0 იდეალური აირის მოცულობაა 0°C ტემპერატურაზე, V – აირის მოცულობა საბოლოო მდგომარეობაში, α – მოცულობითი გაფართოების კოეფიციენტი.

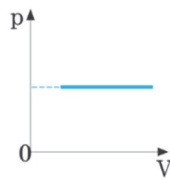
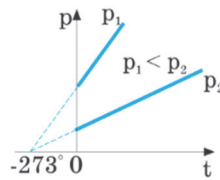
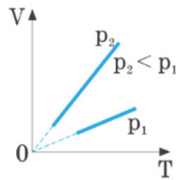
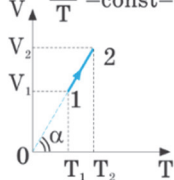
ცდებით გაირკვა, რომ ყველა იდეალური (ანუ გაიშვიათებული) აირის გაცხელებისას 1 K -ით (ანუ 1°C -ით) მუდმივი წნევის დროს მისი მოცულობა საწყისი მოცულობის დაახლოებით $1/273$ ნაწილით იზრდება:

$$\alpha = \frac{V_{100} - V_0}{100^\circ\text{C} \cdot V_0} \approx \frac{1}{273} \frac{1}{^\circ\text{C}} = \frac{1}{273\text{ K}}. \quad (6.25)$$

• **იზობარული** ენოდება მოცემული მასის იდეალური აირის მდგომარეობის ცვლილების პროცესს მუდმივი წნევის დროს ($p = \text{const}$) (გ). იზობარული

პროცესის დროს მოცემული მასის აირის მოცულობა მისი ტემპერატურის პირდაპირპროპორციულია.

(ა) $\frac{V}{T} = \text{const} = \text{tg} \alpha$



შარლის კანონი. ეს კანონი 1787 წელს აღმოაჩინა ფრანგმა ფიზიკოსმა ჟაკ ალექსანდრ სეზარ შარლმა (1746 – 1823):

• მოცემული მასის იდეალური აირის წნევის შეფარდება აბსოლუტურ ტემპერატურასთან მუდმივი მოცულობის დროს უცვლელი სიდიდეა ($v = \text{const}$, $m = \text{const}$):

$$\frac{p}{T} = \frac{mR}{M} \cdot \frac{1}{V} = \text{const}. \quad (6.26)$$

აირის საწყისი p_1 წნევის შეფარდება მის T_1 ტემპერატურასთან ტოლია მისი p_2 და T_2 პარამეტრების შეფარდებისა ნებისმიერ სხვა მდგომარეობაში:

$$\frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2}. \quad (6.27)$$

შარლის კანონი შეიძლება შემდეგნაირადაც ჩამოვყალიბოთ:

• უცვლელი მოცულობის დროს მოცემული მასის იდეალური აირის წნევის ფარდობითი ცვლილება მისი აბსოლუტური ტემპერატურის ცვლილების პირდაპირპროპორციულია ($p = \text{const}$, $m = \text{const}$):

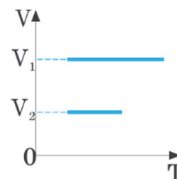
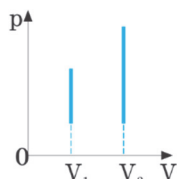
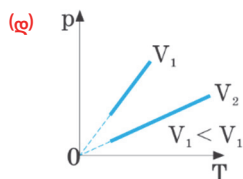
$$\frac{p - p_0}{p_0} = \beta (t - t_0), \quad t_0 = 0 \Rightarrow p = p_0(1 + \beta t) \quad (6.28)$$

სადაც p_0 იდეალური აირის საწყისი წნევაა, t_0 – საწყისი ტემპერატურა, p – საბოლოო წნევა, t – საბოლოო ტემპერატურა, β – წნევის ცვლილების კოეფიციენტი.

გამოთვლებით დადგინდა, რომ ნებისმიერი იდეალური აირის გაცხელებისას 1 K-ით (1°C-ით) მუდმივი მოცულობის დროს მისი წნევა საწყისი წნევის დაახლოებით 1/273 ნაწილით იზრდება:

$$\beta = \frac{p_{100} - p_0}{100^\circ\text{C} \cdot p_0} \approx \frac{1}{273} \frac{1}{^\circ\text{C}} = \frac{1}{273} \frac{1}{\text{K}}. \quad (6.29)$$

• **იზოქორული ეწოდება** მოცემული მასის იდეალური აირის მდგომარეობის ცვლილების პროცესს მუდმივი მოცულობის დროს ($V = \text{const}$) **(ბ)**. იზოქორულ პროცესში მოცემული მასის აირის წნევა მისი ტემპერატურის პირდაპირპროპორციულია.



დალტონის კანონი. ეს კანონი 1801 წლს აღმოაჩინა ინგლისელმა მკვლევარმა ჯონ დალტონმა (1766 – 1844):

- იდეალური აირების ნარევის წნევა (თუ ისინი ერთმანეთთან ქიმიურ რეაქციაში არ შედიან) ამ აირების პარციალური წნევების ჯამის ტოლია:

$$p = \sum_{i=1}^n p_i = p_1 + p_2 + \dots + p_n. \quad (6.30)$$

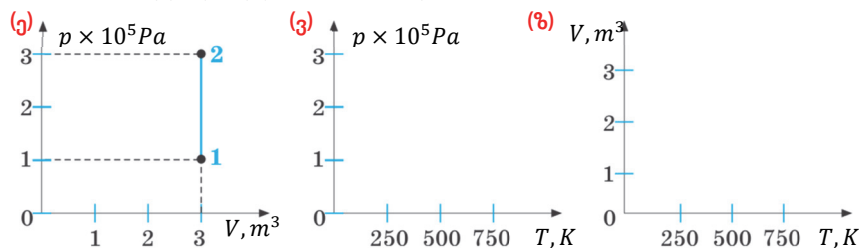
- პარციალური წნევა ნარევის შემადგენლობაში შემავალი თითოეული აირის მიერ წარმოებული წნევაა.

ავოგადროს კანონი: ეს კანონი თავიდან მხოლოდ ვარაუდის სახით 1811 წელს გამოთქვა იტალიელმა ფიზიკოსმა ამედეო ავოგადრომ (1776 – 1856). შემდგომში ეს ვარაუდი მრავალი ცდით დადასტურდა.

- სხვადასხვა აირის ერთნაირ მოცულობაში, ერთნაირი ტემპერატურისა და წნევის დროს, ერთნაირი რაოდენობის მოლეკულებია. მაგალითად, ნებისმიერი აირის 1 მოლში მოლეკულების რაოდენობა ტოლია: $N_A = 6,02 \cdot 10^{23}$ მოლი⁻¹.

კვლევათი სამუშაო-2. რომელი იზოპროცესია გრაფიკზე წარმოდგენილი?

ამოცანა. იდეალურ აირზე შესრულდა (ე) ნახატზე ნაჩვენები პროცესი. ააგეთ ამ პროცესისთვის $p - T$ (ვ) და $V - T$ (ზ) დამოკიდებულების გრაფიკები. საწყის მდგომარეობაში აირის ტემპერატურა 250 K-ის ტოლია.



იმსჯელეთ შედეგებზე:

- რომელი იზოპროცესის გრაფიკია მოცემული ამოცანის პირობაში?
- როგორია ამ პროცესის შესაბამისი $p - T$ და $V - T$ დამოკიდებულების გრაფიკები?

შეძენილი ცოდნის გამოყენება ყოველდღიურ ცხოვრებაში: სუნთქვის პროცესი, როგორც ჩვენი არსებობის მნიშვნელოვანი ატრიბუტი, ფიზიკური პროცესია. სუნთქვის დროს ნეკნებსშორისი კუნთები და დიაფრაგმა პერიოდულად ცვლიან მკერდის მოცულობას. მკერდის გაფართოების დროს ფილტვებში ჰაერის წნევა ატმოსფერულ წნევაზე დაბლა ეცემა, რის გამოც ხდება ჰაერის ჩასუნთქვა. სხვა სიტყვებით, ხდება გარემოდან ფილტვებში ჰაერის თავისთავადი შეღინება ფილტვებში ჰაერის წნევისა და გარემოს ჰაერის წნევის გათანაბრებამდე. ამოსუნთქვის დროს ხდება უკუპროცესი: ფილტვების მოცულობის შემცირების გამო ფილტვებში ჰაერის წნევა ატმოსფერულზე მეტი ხდება და ჰაერი ფილტვებიდან ატმოსფეროში გამოდის.

- რომელი იზოპროცესი ხდება ჰაერის ჩასუნთქვისა და ამოსუნთქვის დროს?

შეფასეთ თქვენი ცოდნა: 1. რომელი ცნებები გაიმეორეთ გაკვეთილზე? რა გაიგეთ კარგად და რა დარჩა თქვენთვის ნაწილობრივ გაუგებარი? 2. რას განსაზღვრავს აირის კანონები? 3. რა არის იზოპროცესი? 4. რაში მდგომარეობს ბოილ-მარიოტის კანონის აზრი? 5. რომელ კავშირს განსაზღვრავს გეი-ლუსაკის კანონი? 6. რაში მდგომარეობს მოცულობითი გაფართოების კოეფიციენტის ფიზიკური შინაარსი? 7. რომელ პარამეტრებს შორის კავშირს განსაზღვრავს შარლის კანონი?

რა შეიტყვეთ? სამუშაო რეგულში დანერგეთ დასახელებული ცნებების განმარტებები: „აირის კანონი“, „იზოპროცესი“, „ბოილ-მარიოტის კანონი“, „გეი-ლუსაკის კანონი“, „შარლის კანონი“, „დალტონის კანონი“, „ავოგადროს კანონი“, „იზოთერმული პროცესი“, „იზოქორული პროცესი“, „იზობარული პროცესი“.

6.7 ორთქლის თვისებები: ნაჯარი და უჯარი ორთქლი

ნისლი ერთ-ერთი ხშირი ბუნებრივი მოვლენაა, რომელსაც სოფლად თუ ქალაქში ვხვდებით.

- თქვენი აზრით, რით განსხვავდება წარმოდგენები, რომლებიც ქალაქისა და სოფლის მოსახლეობას აქვს ნისლის შესახებ?
- რა არის მეცნიერული თვალსაზრისით ნისლი: სად და როდის წარმოიქმნება?
- გინახავთ თუ არა ნისლი სახლში? პასუხი დაასაბუთეთ.

კვლევითი სამუშაო-1. რატომ აქვს წვეთს ძალიან პატარა ზომები?

სამუშაოსთვის საჭიროა: სასაგნე მინები (2 ცალი), სპირტი, წყალი, ზეთი, პიპეტი, სპირტქურა ან სანთელი, ვენტილატორი.

სამუშაოს მსვლელობა: 1. სასაგნე მინაზე დააწვეთეთ თითოეული სითხის (სპირტის, წყლისა და ზეთის) თითო წვეთი. დააკვირდით, როგორ იცვლება წვეთების ზომები სასაგნე მინის ზედაპირზე და გააკეთეთ დასკვნები. 2. დააწვეთეთ ორივე სასაგნე მინის ზედაპირზე ერთი და იმავე რაოდენობის წყალი. ერთი სასაგნე მინა ქვემოდან გაათბეთ, დააკვირდით წყლის მდგომარეობას ორივე სასაგნე მინაზე. 3. დააწვეთეთ ორივე სასაგნე მინის ზედაპირზე ერთი და იმავე რაოდენობის სპირტი. ერთი სასაგნე მინა გვერდით გადადეთ, ხოლო მეორე მინისკენ ვენტილატორიდან წამოსული ჰაერის ნაკადი მიმართეთ. დააკვირდით წვეთების მდგომარეობას ორივე სასაგნე მინის ზედაპირზე.

იმსჯელეთ შედეგებზე: 1. რა დასკვნები გააკეთეთ სამი სხვადასხვა სითხის წვეთებზე დაკვირვების შემდეგ პირველ ცდაში: რომელი სითხის წვეთის ზომები შემცირდა უფრო სწრაფად? რატომ? 2. რა გარკვევით მეორე და მესამე ცდებიდან?

აორთქლება. სითხეებში (და მყარ სხეულებში) ნებიმიერი ტემპერატურის დროს არსებობს მოლეკულების (ან ატომების) გარკვეული რაოდენობა, რომელთა კინეტიკური ენერგია მეტია, ვიდრე მეზობელ მოლეკულებთან მათი ურთიერთქმედების პოტენციური ენერგია. თუ ეს მოლეკულები სითხის ზედაპირთან ახლოს არიან, ისინი ადვილად ტოვებენ სითხეს და სითხის ზედაპირთან ორთქლს წარმოქმნიან.

- **ორთქლადქცევა** ეწოდება ნივთიერების თხევადი მდგომარეობიდან აირად მდგომარეობაში გადასვლის პროცესს.
- **ორთქლადქცევა ხდება** ორი ხერხით: **აორთქლებითა და დუღილით.**
- **აორთქლება არის ორთქლადქცევის პროცესი, რომელიც სითხის თავისუფალი (ღია) ზედაპირიდან ხდება ნებისმიერი ტემპერატურის დროს.**
- **დუღილი არის ორთქლადქცევის პროცესი, რომელიც ხდება სითხის მთლიანი მოცულობიდან გარკვეულ ტემპერატურაზე (იხ. ფიზიკა 8, გვ. 75-76).**

აორთქლების დროს ნაწილაკები, რომელთაც დიდი კინეტიკური ენერგია აქვთ, სითხის თავისუფალი ზედაპირიდან ამოდიან. ამის გამო მცირდება დარჩენილი სითხის ნაწილაკების საშუალო კინეტიკური ენერგია. ამიტომ აორთქლების პროცესში სითხის ტემპერატურა მცირდება (თუ სითხეს გარედან სითბო არ მიეწოდება).

აორთქლების სიჩქარე დამოკიდებულია: **სითხის ტემპერატურაზე, სითხის თავისუფალი ზედაპირის ფართობზე, ჰაერის ნაკადის სიჩქარეზე თავისუფალი ზედაპირის ზევით, თავისუფალ ზედაპირზე წარმოებულ წნევაზე (ზედაპირზე წარმოებული წნევის გაზრდა იწვევს აორთქლების სიჩქარის შემცირებას), სითხის ორთქლადქცევის კუთრი სითბოს მნიშვნელობაზე, ანუ სითხის გვარობაზე (რომელი სითხეა).**

- სითხის ორთქლადქცევის კუთრი სითბო რიცხობრივად სითბოს იმ რაოდენობის ტოლია, რომელიც საჭიროა 1 კგ მასის სითხის იმავე ტემპერატურის ორთქლად გადაქცევისთვის (მუდმივი ტემპერატურის დროს).

$$L = \frac{Q}{m}. \quad (6.31)$$

სადაც L ორთქლადქცევის კუთრი სითბოა, Q – ორთქლადქცევის სითბო. SI სისტემაში ორთქლადქცევის კუთრი სითბოს საზომი ერთეულია:

$$[L] = 1 \frac{J}{kg} = 1 \frac{J}{kg}.$$

ორთქლადქცევის კუთრი სითბო დამოკიდებულია სითხის გვარობასა და მის ტემპერატურაზე – ტემპერატურის გაზრდით ორთქლადქცევის კუთრი სითბო მცირდება. ორთქლადქცევის კუთრ სითბოს მინიმალური მნიშვნელობა აქვს სითხის დუღილის ტემპერატურაზე.

- ორთქლადქცევის სითბო სითბოს ის რაოდენობაა, რომელიც საჭიროა m მასის სითხის ორთქლად გადაქცევისთვის მუდმივი ტემპერატურის პირობებში:

$$Q = Lm. \quad (6.32)$$

ორთქლადქცევის შებრუნებული პროცესი – კონდენსაცია, ერთერთი ბუნებრივი პროცესი, რომლის დროსაც ორთქლი სითხედ გადაიქცევა.

- **კონდენსაცია** არის ორთქლის სითხედ გადაქცევის პროცესი. ორთქლი გარემოს გადასცემს სითბოს რაოდენობას $Q = Lm$ და სითხედ გადაიქცევა. კონდენსაციის დროს იმდენივე რაოდენობის სითბოს გამოიყოფა, რამდენიც დაიხარჯა ამ სითხის ორთქლად გადაქცევისათვის.

ნაჯერი და უჯერი ორთქლი. ორთქლის სიმკვრივისა და წნევის ტემპერატურაზე დამოკიდებულების მიხედვით, ორთქლი შეიძლება იყოს ნაჯერი ან უჯერი.

- ნაჯერი ორთქლი არის ორთქლი, რომელიც დინამიკურ წონასწორობაში თავის სითხესთან. ორთქლსა და სითხეს შორის დინამიკური წონასწორობა მყარდება როდესაც სითხის თავისუფალი ზედაპირიდან ამოსული მოლეკულების რაოდენობა გაუტოლდება სითხეში დაბრუნებული მოლეკულების რაოდენობას, ამიტომ ნაჯერი ორთქლი წარმოიქმნება დახურულ სივრცეში სითხის თავისუფალი ზედაპირის ირგვლივ.

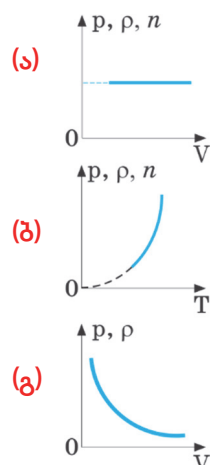
თუ ჭურჭელი, რომელშიც სითხეა, ღიაა, მოლეკულების ნაწილი, რომლებმაც დატოვეს სითხე, სივრცეში იფანტება და სითხეში აღარ ბრუნდება, რის გამო ირღვევა დინამიკური წონასწორობა და ორთქლი უჯერ მდგომარეობაში გადადის.

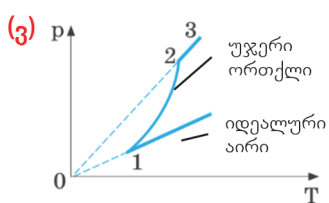
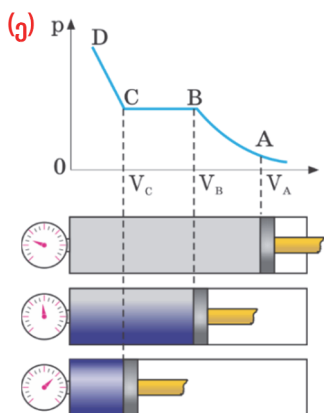
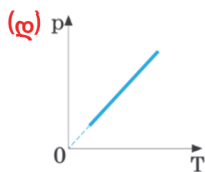
- უჯერი ორთქლი არის ორთქლი, რომელიც არ არის დინამიკურ წონასწორობაში თავის სითხესთან.

ნაჯერი ორთქლის თვისებები

– ნაჯერი ორთქლის წნევა, სიმკვრივე და კონცენტრაცია, მუდმივი ტემპერატურის დროს, არ არის დამოკიდებული ორთქლის მოცულობაზე, ანუ ნაჯერი ორთქლი ბოილ-მარიოტის კანონს არ ემორჩილება (ა).

– ტემპერატურის ზრდასთან ერთად, ნაჯერი ორთქლის წნევა, სიმკვრივე და კონცენტრაცია მკვეთრად იზრდება, ანუ ნაჯერი ორთქლი არ ემორჩილება შარლის კანონს. ეს





იმიტომ ხდება, რომ $p = nkT$ ფორმულის თანახმად, ნაჯერი ორთქლის წნევა იზრდება არა მარტო ტემპერატურის ზრდის გამო, არამედ ორთქლის მოლეკულების კონცენტრაცია-ს (სიმკვრივის) ზრდის გამოც (ბ).

უჯერი ორთქლის თვისებები.

- მოცემული მასის უჯერი ორთქლის წნევა და სიმკვრივე მოცემული ტემპერატურის დროს მისი მოცულობის უკუპროპორციულია, ანუ უჯერი ორთქლის მდგომარეობის ცვლილება ხდება ბოილ-მარიოტის კანონის მიხედვით (ა);
- მოცემული მასის უჯერი ორთქლის წნევა მუდმივი მოცულობის დროს მისი ტემპერატურის პირდაპირპროპორციულია, ანუ უჯერი ორთქლის მდგომარეობის ცვლილება ხდება შარლის კანონის მიხედვით (დ).

ორთქლს შეუძლია ნაჯერი მდგომარეობიდან უჯერ მდგომარეობაში გადასვლა და პირიქით.

- იზოთერმული გაფართოების დროს შეიძლება ნაჯერი ორთქლი უჯერ ორთქლად გარდაიქმნას.
- იზოთერმული შეკუმშვის დროს შეიძლება უჯერი ორთქლი ნაჯერ მდგომარეობაში გადავიდეს.
- იზოთერმული შეკუმშვის დროს, შესაძლებელია უჯერი ორთქლი გადავიდეს ნაჯერ მდგომარეობაში.

ეს გარდაქმნები შემდეგნაირად ხდება. დავუშვათ, ცილინდრში, რომელიც მანომეტრთანაა

მიერთებული, დგუშის ქვეშ მოთავსებულია უჯერი ორთქლი, რომლის ტემპერატურაა T და მოცულობა V_A (ე). ორთქლის იზოთერმული შეკუმშვის დროს მისი მოცულობა მცირდება, ხოლო წნევა, სიმკვრივე და კონცენტრაცია – იზრდება (გრაფიკის AB უბანი).

როდესაც ორთქლის მოცულობა V_B გახდება, ორთქლი კონდენსირებას დაიწყებს, ცილინდრში სითხის წვეთები გაჩნდება – ორთქლი ნაჯერ მდგომარეობაში გადავა. ორთქლის წნევას, სიმკვრივესა და კონცენტრაციას ამ დროს მაქსიმალური მნიშვნელობა აქვს, რომელიც მოცემული ტემპერატურის დროს არის შესაძლებელი. მოცულობის შემდგომი შემცირება გამოიწვევს ორთქლის კონდენსაციას და სითხედ გარდაქმნას (გრაფიკის BC უბანი). ეს პროცესი გაგრძელდება ნაჯერი ორთქლის მთლიანად სითხედ გადაქცევამდე (ნერტილი C). მოცულობის შემდგომი შემცირების დროს შეიკუმშება მხოლოდ სითხე, რაც მისი მცირე კუმშვადობის გამო წნევის მკვეთრ ზრდას გამოიწვევს. ამაში დავრწმუნდებით მანომეტრის ჩვენების მკვეთრი გაზრდით (გრაფიკის CD უბანი).

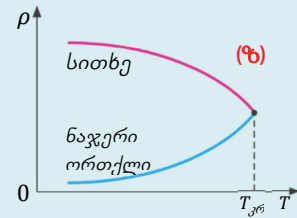
- იზოქორული გაცხელების დროს ნაჯერი ორთქლი უჯერ ორთქლად გადაიქცევა. მუდმივი მოცულობის დროს ორთქლის წნევის ტემპერატურაზე დამოკიდებულების გრაფიკის 1-2 უბანი ორთქლის ნაჯერ მდგომარეობას შეესაბამება (ვ). მე-2 ნერტილში სითხე მთლიანად აორთქლებულია, ამიტომ

ორთქლი უჯერ მდგომარეობაში გადადის და შემდგომში მისი წნევა შარლის კანონის მიხედვით გაიზრდება.

შენიშვნა. იზოთერმული შეკუმშვისას ნაჯერი ორთქლის გარდაქმნა სითხედ შესაძლებელია მხოლოდ კრიტიკულ ტემპერატურაზე დაბალი ტემპერატურის დროს.

• კრიტიკული ტემპერატურა არის ტემპერატურა, რომელზეც ქრება ფიზიკური განსხვავება სითხესა და მის ნაჯერ ორთქლს შორის. კრიტიკულ ტემპერატურაზე ნაჯერი ორთქლის სიმკვრივე სითხის სიმკვრივის ტოლია (**ზ**).

კრიტიკულზე მაღალი ტემპერატურის დროს ნივთიერება შეიძლება იყოს მხოლოდ ერთ აგრეგატულ მდგომარეობაში – აირად (ორთქლის) მდგომარეობაში და ვერც ერთი წნევის დროს ის სითხედ ვერ გადაიქცევა. კრიტიკული ტემპერატურის მნიშვნელობა დამოკიდებულია მხოლოდ ორთქლის სახეობაზე. მაგალითად, ჰელიუმისთვის $T_{კრ} = 4K$, აზოტისთვის – $T_{კრ} = 12K$.



კვლევითი სამუშაო-2. გამოყენება. შეადარეთ ორთქლის მასები

ამოცანა. შეადარეთ ორთქლის მასები წყლის ორთქლის წნევის ტემპერატურაზე დამოკიდებულების გრაფიკის 1, 2 და 3 წერტილებში, მუდმივი მოცულობის დროს (იხ. ნახ. ე).

იმსჯელეთ შედეგებზე: • როგორ იცვლება ორთქლის მასა მუდმივი მოცულობის დრო, წყლის ორთქლის წნევის ტემპერატურაზე დამოკიდებულების გრაფიკის 1-2 და 2-3 უბნებზე? რატომ?

შეძენილი ცოდნის გამოყენება ყოველდღიურ ცხოვრებაში: წარმოიდგინეთ ორთქლის ნაკადი, რომელიც ადუღებული სამოვარის სახურავის პატარა ხვრელიდან გამოდის.

• ორთქლის ნაკადი მხოლოდ ხვრელიდან გარკვეული მანძილით დაშორებული წერტილიდან ხდება ხილული. რატომ?

შეფასეთ თქვენი ცოდნა: 1. რომელი ცნებები გაიმეორეთ გაკვეთილზე? რა გაიგეთ კარგად და რა დარჩა თქვენთვის ნაწილობრივ გაუგებარი? 2. რომელი პროცესებია: სითხის ორთქლად გარდაქმნა და პირიქით – ორთქლის სითხედ გარდაქმნა? 3. რა „ფუნქცია“ აქვს ვენტილატორს? 4. რომელი ორთქლია ნაჯერი? რატომ? 5. რა განსხვავებაა ნაჯერი და უჯერი ორთქლის თვისებებს შორის 6. როგორ გარდავექმნათ უჯერი ორთქლი ნაჯერ ორთქლად? 7. როგორ გარდავექმნათ ნაჯერი ორთქლი უჯერ ორთქლად?

რა შეიტყვეთ? სამუშაო რვეულში დაწერეთ შემდეგი ცნებების განმარტებები: „ორთქლადქცევა“, „აორთქლება“, „ნაჯერი ორთქლი“, „უჯერი ორთქლი“, „ორთქლადქცევის კუთხის სიბო“, „ორთქლადქცევის სიბო“, „კონდენსაცია“, „კრიტიკული ტემპერატურა“.

6.8 ჰაერის ტენიანობა. ნამის წერტილი

ჰაერი, რომლითაც ჩვენ ვსუნთქავთ, ზოგჯერ მშრალია, ზოგჯერ – ტენიანი.

• როგორ არის დამოკიდებული ჰაერის სიმშრალე და ტენიანობა მასში არსებული წყლის ორთქლის ნაჯერობის ხარისხზე?

• რომელი ჰაერია უფრო მძიმე მოცემული ტემპერატურის და წნევის დროს: 1 კუბური მეტრი მშრალი თუ ერთი კუბური მეტრი ტენიანი ჰაერი? რატომ?

• როგორ ჰაერში ხდება ჩვენი სხეულის ზედაპირიდან მეტი აორთქლება, ანუ ჩვენი სხეულის გაგრილება, უფრო სწრაფად: მშრალ ჰაერში თუ ტენიანში? რატომ?

კვლევითი სამუშაო-1. რატომ ეცემა წნევა ტენიან ჰაერში?

ამოცანა-1. ტენიანი ჰაერის შემადგენლობაში გაცილებით მეტი წყლის მოლეკულაა ვიდრე მშრალში. მაგრამ წვიმის წინ, ჰაერის ტენიანობის მომატებასთან ერთად, ბარომეტრ-ანეროიდის ჩვენება მცირდება. რატომ?

იმსჯელეთ შედეგებზე:

- როგორ მოქმედებს ჰაერის წნევის დაცემა ჰაერის სიმკვრივეზე?
- რატომ ეცემა ატმოსფერული წნევა ჰაერის ტენიანობის მატების დროს?



ტენიანია ჰაერი, რომლის შემადგენლობაშიც გარკვეული რაოდენობის წყლის ორთქლია. ტენიანი ჰაერის ძირითადი რაოდენობრივი მახასიათებლებია ჰაერის აბსოლუტური და ფარდობითი ტენიანობა.

• აბსოლუტური ტენიანობა ფიზიკური სიდიდეა, რომელიც მოცემულ პირობებში ჰაერში არსებული წყლის ორთქლის სიმკვრივის ტოლია.

აბსოლუტური ტენიანობა (ანუ წყლის ორთქლის სიმკვრივე) შეიძლება გამოვითვალოთ მენდელეევ-კლაპეირონის განტოლებიდან წყლის ორთქლის პარციალური წნევის საშუალებით:

$$\rho_{\text{წყ}} = \frac{p_{\text{ორთქ}} M}{RT}. \quad (6.33)$$

სადაც $\rho_{\text{წყ}}$ ჰაერში წყლის ორთქლის სიმკვრივე, ანუ აბსოლუტური ტენიანობაა, $M = 18$ გ/მოლი – წყლის მოლური მასა, T – ჰაერის ტემპერატურა, $p_{\text{ორთქ}}$ – ორთქლის პარციალური წნევა, R – აირის უნივერსალური მუდმივა. როგორც წესი, აბსოლუტურ ტენიანობას გამოსახავენ გ/მ³-ში.

მაგრამ წყლის ორთქლის სიმკვრივისა და პარციალური წნევის ცოდნით შეუძლებელია წყლის ორთქლის მდგომარეობის განსაზღვრა: რამდენად შორს არის ის ნაჯერი მდგომარეობიდან. ამიტომ ჰაერის ტენიანობის ხარისხის განსაზღვრად შემოიტანეს მეორე მახასიათებელი სიდიდე – ფარდობითი ტენიანობა.

• ფარდობითი ტენიანობა ფიზიკური სიდიდეა, რომელიც ჰაერის აბსოლუტური ტენიანობის ამავე ტემპერატურაზე ჰაერში წყლის ნაჯერი ორთქლის სიმკვრივესთან შეფარდების ტოლია. ფარდობითი ტენიანობა იზომება პროცენტებით:

$$\varphi = \frac{\rho_{\text{წყ}}}{\rho_0} \cdot 100\%. \quad (6.34)$$

სადაც ρ_0 ჰაერში წყლის ნაჯერი ორთქლის სიმკვრივეა, φ – ჰაერის ფარდობითი ტენიანობა.

(6.33) ტოლობაში ჰაერში წყლის ორთქლის სიმკვრივესა და წყლის ორთქლის პარციალურ წნევას შორის კავშირის გათვალისწინებით ფარდობითი ტენიანობა შეიძლება გამოვსახოთ ჰაერის წნევის საშუალებით:

• ფარდობითი ტენიანობა მოცემულ ტემპერატურაზე ჰაერში წყლის ორთქლის პარციალური წნევის ამავე ტემპერატურაზე წყლის ნაჯერი ორთქლის წნევასთან შეფარდების ტოლია:

$$\varphi = \frac{p_{\text{წყ}}}{p_0} \cdot 100\%. \quad (6.35)$$

ამგვარად, ფარდობით ტენიანობას განსაზღვრავს არა მარტო აბსოლუტური ტენიანობა, არამედ ჰაერის ტემპერატურაც. ფარდობითი ტენიანობა იზომება ფსიქრომეტრითა და ჰიგრომეტრით (იხ. ფიზიკა 8, გვ. 83-86).

თუ ჰაერში წყლის ორთქლის პარციალური წნევა მოცემულ ტემპერატურაზე გაუტოლდება ამავე ტემპერატურაზე წყლის ნაჯერი ორთქლის წნევას, ჰაერში არსებული წყლის ორთქლი ნაჯერ მდგომარეობაში იქნება. თუ ჰაერში არსებული წყლის ორთქლის სიმკვრივე მოცემულ ტემპერატურაზე მეტია ამავე ტემპერატურაზე წყლის ნაჯერი ორთქლის სიმკვრივეზე, ამბობენ, რომ ჰაერში არსებული წყლის ორთქლი გადაჯერებულ მდგომარეობაშია. ამ მდგომარეობიდან შეიძლება დაიწყოს წყლის ორთქლის კონდენსაცია.

ტემპერატურას, რომელზეც იზობარული გაცივების პროცესში ჰაერში არსებული წყლის ორთქლი ნაჯერი ხდება, ნამის ნერტილი ეწოდება. თუ ჰაერის ტემპერატურა ნამის ნერტილზე ნაკლები გახდება, წყლის ორთქლის კონდენსაცია დაიწყება. მაგალითად, დღისით ჰაერის ტემპერატურა $t_1 = 32^{\circ}\text{C}$, ხოლო ჰაერში არსებული წყლის ორთქლის სიმკვრივეა $\rho_{\text{წყ}} = 20 \text{ გ/მ}^3$. ღამით ჰაერის ტემპერატურა $t_2 = 18^{\circ}\text{C}$, ხოლო ნაჯერი ორთქლის სიმკვრივე ამ ტემპერატურაზე $\rho_0 = 10,2 \text{ გ/მ}^3$ -ია. ეს ნიშნავს, რომ ჰაერში არსებული ჭარბი რაოდენობის ორთქლი კონდენსირდება, ანუ ნამი გამოიყოფა. ეს პროცესია ნისლის, ღრუბლებისა და წვიმის წარმოქმნის მიზეზი.

კვლევითი სამუშაო-2. გამოყენება. რის ტოლია ჰაერში არსებული წყლის ორთქლის პარციალური წნევა?

ამოცანა-2. ბაქოში 16°C ტემპერატურის დროს ჰაერის ფარდობითი ტენიანობა 80%-ია. გამოთვალეთ ჰაერში არსებული წყლის ორთქლის პარციალური წნევა (ჰაერში ნაჯერი ორთქლის წნევა 16°C ტემპერატურის დროს 0,8 კპა-ია).

იმსჯელო შედეგები:

- როგორი კავშირია ჰაერის ფარდობით ტენიანობასა და ჰაერში წყლის ორთქლის პარციალურ წნევას შორის მოცემულ ტემპერატურაზე?
- რის ტოლია ჰაერში წყლის ორთქლის პარციალური წნევა მოცემული ამოცანის პირობების მიხედვით?

შეძენილი ცოდნის გამოყენება ყოველდღიურ ცხოვრებაში:

- რა როლს თამაშობს ჩვენს ცხოვრებაში ჰაერის ტენიანობა?
- წლის რომელ დროსაა ჰაერის ტენიანობა მეტი: ზამთარში თუ ზაფხულში? რატომ?

შეაფასეთ თქვენი ცოდნა: 1. რომელი ცნებები გაიმეორეთ გაკვეთილზე? რა გაიგეთ კარგად და რა დარჩა ნაწილობრივ გაუგებარი? 2. რას ნიშნავს გამოთქმა „ტენიანი ჰაერი“? 3. რით განსხვავდება ცნებები „აბსოლუტური ტენიანობა“ და „ფარდობითი ტენიანობა“ თავიანთი ფიზიკური შინაარსის მიხედვით? 4. რა არის „ნამის ნერტილი“? 5. როგორ იცვლება საკლასო ოთახში ჰაერის ტენიანობა ტემპერატურის მომატების დროს? 6. როგორ იცვლება ჰაერის აბსოლუტური და ფარდობითი ტენიანობა ტემპერატურის ზრდის დროს? 7. როგორ განვსაზღვრავთ ჰაერის ფარდობით ტენიანობას ფსიქრომეტრის საშუალებით (იხ. ფიზიკა 8, გვ. 85-86)?

რა შეიტყვით? სამუშაო რვეულში დაწერეთ შემდეგი ცნებების განმარტებები: „ტენიანი ჰაერი“, „აბსოლუტური ტენიანობა“, „ფარდობითი ტენიანობა (სიმკვრივის მიხედვით)“, „ფარდობითი ტენიანობა (წნევის მიხედვით)“, „გადაჯერებული ორთქლი“, „ნამის ნერტილი“.

6.9 სითხის ზედაპირული დაჭიმულობა. კაპილარული მოვლენები

ბაეშვობაში, ალბათ არაერთხელ აგიგიათ „ქვიშის კოშკები“.

- რატომ იყენებდით ამ „მშენებლობების“ დროს სველ ქვიშას და არა მშრალს?



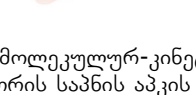
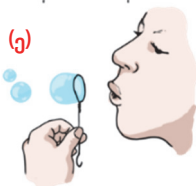
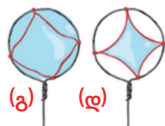
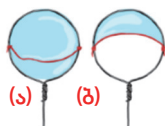
ხატვის გაკვეთილებზე, ალბათ შეგინიშნავთ, როგორ იშლება სახატავი ფუნჯის ბოლო წყალში ჩადების შემდეგ.

- რატომ ხდება, რომ ფუნჯი წყალში ჩადების შემდეგ იშლება, ხოლო ამოღების შემდეგ მისი ბოლო ისევ თავმოყრილი ხდება?
- თუ დაფიქრებულხართ ამ მოვლენების მიზეზის შესახებ?



კვლევითი სამუშაო-1. ექსპერიმენტი საპნის წყლის გამოყენებით.

სამუშაოსთვის საჭიროა: მავთულისგან დამზადებული სახელურიანი რგოლი, მოხალული შაქრის ფხვნილი (5-10 გ), საპნის ბურბუშელა (5-10 გ), წყალი (0,5 ლ), ლაბორა-ტორიული ჭიქა (3 ცალი, მოცულობით 250 მლ), ძაფი, წყლის გამაცხელებელი, ნემსი, სასანი.



სამუშაოს მსვლელობა: 1. მოამზადეთ საპნის წყალხსნარი: ამისთვის ერთ ჭურჭელში 100 მლ წყალში გახსენით მოხალული შაქარი. მეორე ჭურჭელში 100 მლ წყალში გახსენით საპნის ბურბუშელა. შეურიეთ ორივე ხსნარი ერთმანეთს ერთ ჭურჭელში – მიიღებთ საპნის ხსნარს. 2. ძაფი რგოლზე დიამეტრის გასწვრივ დაამაგრეთ ისე, რომ არ გაჭიმოთ და რგოლი საპნის ხსნარში ჩაუშვით. რგოლი ხსნარიდან ფრთხილად ამოიღეთ. დააკვირდით, რა მოხდა (ა). 3. გააცხელეთ ნემსის ბოლო და მისი საშუალებით გახვრიტეთ საპნის აპკი ძაფის ერთ მხარეს. დააკვირდით შედეგს (ბ). 4. ძაფი დაამაგრეთ რგოლზე ისე, რომ რგოლში კვადრატის ფორმა მიიღოთ, ჩაუშვით საპნის ხსნარში და ნელა ამოიღეთ. დააკვირდით შედეგს (გ). 5. გაცხელებული ნემსით გახვრიტეთ აპკები კვადრატის გარე პერიმეტრზე. დააკვირდით შედეგს (დ). 6. თავისუფალი რგოლი საპნის ხსნარში ჩაუშვით, ამოიღეთ და ფრთხილად შეუბერეთ საპნის აპკს. ეს მცდელობა რამდენჯერმე გაიმეორეთ და დააკვირდით, რა ფორმებს მიიღებს საპნის აპკი რგოლიდან მოწყვეტის შემდეგ (ე).

იმჯელეთ შედეგებზე:

- რა შენიშნეთ უცნაური აპკის ფორმის ცვლილებასთან დაკავშირებით, რომელიც ძაფების გამოყენებით იყო წარმოქმნილი მავთულის რგოლში?
- მოლეკულურ-კინეტიკური თეორიის გამოყენებით, როგორ შეიძლება ავხსნათ ძაფებს შორის საპნის აპკის ფართობის შემცირება?
- რატომ შეიძინა საპნის აპკმა სფეროს ფორმა კარკასიდან მოწყვეტის შემდეგ?

ზედაპირული დაჭიმულობის ძალა. აირებისგან განსხვავებით, სითხეებს თავისუფალი ზედაპირი აქვს. სითხის ზედაპირზე განლაგებული მოლეკულები და სითხის შიგნით არსებული მოლეკულები სხვადასხვა პირობებშია:

ა) სითხის შიგნით მოლეკულები სითხის სხვა მოლეკულებითაა გარემოცული. სითხის შიგნით მოლეკულა 1 მეზობელი მოლეკულების მოქმედებას ყველა მხრიდან განიცდის, ამიტომ მასზე მოქმედი მიზიდულობის ძალების ტოლქმედი ნულის ტოლია (**ვ; მოლეკულა 1**);

ბ) სითხის ზედაპირის მოლეკულები სითხის მეზობელი მოლეკულების მოქმედებას მხოლოდ გვერდიდან და ქვევიდან განიცდიან. ზევიდან სითხის ზედაპირზე არსებულ მოლეკულებზე ჰაერის (ან სითხის ორთქლის, ან სხვა აირის) მოლეკულების მიზიდულობის ძალა მოქმედებს, რომელიც გაცილებით ნაკლებია, ვიდრე სითხის მოლეკულების მხრიდან მოქმედი მიზიდულობის ძალები, ამიტომ შეგვიძლია მხედველობაში არ მივიღოთ (იხ. **ვ; მოლეკულა 2**). მოლეკულა 2-ზე მეზობელი მოლეკულების მხრიდან მოქმედი, მაგალითად F_1 და F_2 , ძალა შეგვიძლია ორი მდგენელის სახით წარმოვადგინოთ: სითხის ზედაპირის პარალელური $F_{1\parallel}$ და $F_{2\parallel}$ ძალისა და სითხის ზედაპირის პერპენდიკულარული F_1 და F_2 ძალის სახით. პერპენდიკულარული მდგენელების მოქმედებით ზედაპირის მოლეკულები სითხის სიღრმისკენ მიისწრაფვიან, რის გამოც სითხის ზედაპირული ფენა წნევით მოქმედებს სითხეზე. პარალელური მდგენელების მოქმედებით იქმნება ძალები, რომლებიც ზედაპირს დაჭიმულ მდგომარეობაში ამყოფებს, ანუ ზედაპირული დაჭიმულობის ძალები $F_{\text{დაჭ}}$ (**ზ**).

• ზედაპირული დაჭიმულობის ძალა არის ძალა, რომელიც მიმართულია სითხის ზედაპირის მხეხვის გასწვრივ, სითხის ზედაპირის შემომსაზღვრელი წირის პერპენდიკულარულად და ცდილობს სითხის ზედაპირის ფართობის შემცირებას. ზედაპირული დაჭიმულობის ძალა სითხის თავისუფალი ზედაპირის საზღვრის სიგრძის პირდაპირპროპორციულია:

$$F_{\text{დაჭ}} = \sigma \cdot l. \quad (6.36)$$

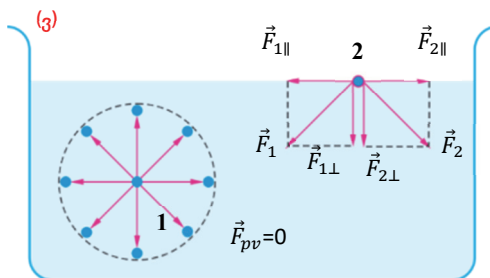
აქ $F_{\text{დაჭ}}$ სითხის ზედაპირული დაჭიმულობის ძალაა, l – სითხის თავისუფალი ზედაპირის ჭურჭლის კედელთან შეხების საზღვრის სიგრძე, σ (სიგმა) ზედაპირული დაჭიმულობის კოეფიციენტი:

• ზედაპირული დაჭიმულობის კოეფიციენტი რიცხობრივად იმ ზედაპირული დაჭიმულობის ძალის ტოლია, რომელიც ზედაპირის შემომსაზღვრელი წირის სიგრძის ერთეულზე მოქმედებს:

$$\sigma = \frac{F_{\text{დაჭ}}}{l}. \quad (6.37)$$

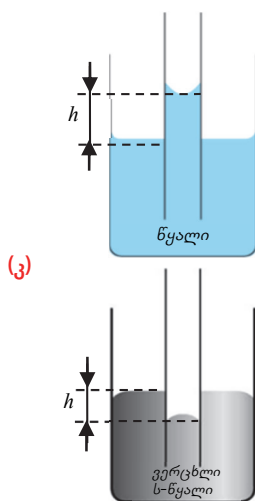
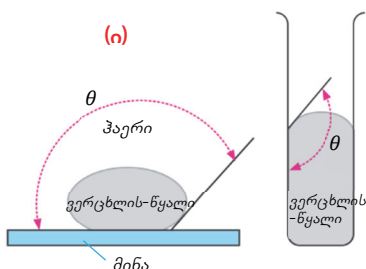
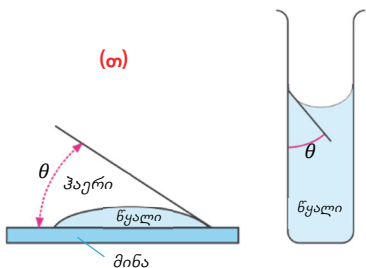
ზედაპირული დაჭიმულობის კოეფიციენტის მნიშვნელობა დამოკიდებულია სითხის სახესა და მის ტემპერატურაზე. სითხის ტემპერატურის გაზრდით მისი ზედაპირული დაჭიმულობის კოეფიციენტი მცირდება და კრიტიკული ტემპერატურის დროს 0-ის ტოლი ხდება. ზედაპირული დაჭიმულობის კოეფიციენტის საზომი ერთეული SI სისტემაში არის:

$$[\sigma] = 1 \frac{\text{H}}{\text{M}}.$$



მასველებელი და არამასველებელი სითხეები. თუ ყურადღებით დავაკვირდებით, დავინახავთ სითხის ზედაპირის გამრუდებას სითხისა და მყარი სხეულის (ჭურჭლის) საზღვარზე.

• მენისკი სითხის გამრუდებული თავისუფალი ზედაპირია სითხის მყარ სხეულთან ან სხვა სითხესთან შეხების საზღვარზე. მენისკის ზედაპირსა და მყარი სხეულის ზედაპირს შორის კუთხეს **გარე კუთხე** ეწოდება.



გარე კუთხის θ -ს (თეტას) მნიშვნელობა იმაზეა დამოკიდებული, მყარი ზედაპირის მასველებელია თუ არამასველებელი სითხე მოცემულ შემთხვევაში:

• მასველებელია სითხე, რომლის სასაზღვრო კუთხე მახვილია. მასველებელი სითხის მოლეკულებსა და მყარი სხეულის მოლეკულებს შორის მიზიდულობის ძალა მეტია, ვიდრე სითხის მოლეკულების ურთიერთმიზიდულობის ძალა. ამის გამო სითხის თავისუფალი ზედაპირი ჩაზნექილი ხდება, მაგალითად, წყალი მინის ჭურჭლისთვის მასველებელი სითხეა (ა).

• არამასველებელია სითხე, რომლის სასაზღვრო კუთხე ბლაგვია. არამასველებელი სითხის მოლეკულებსა და მყარი სხეულის მოლეკულებს შორის მიზიდულობის ძალა ნაკლებია, ვიდრე სითხის მოლეკულების ურთიერთმიზიდულობის ძალა. ამის გამო სითხის თავისუფალი ზედაპირი ამოზნექილია. მაგალითად, ვერცხლისწყალი მინის ჭურჭლისთვის არამასველებელი სითხეა (ბ).

კაპილარული მოვლენები. ყოველდღიურ ცხოვრებაში ხშირად ვიყენებთ სხეულებს, რომლებიც ადვილად იწოვენ წყალს, მაგალითად, პირსახოცს, სამრობ ქაღალდს, შაქარს, აგურს, მცენარეებს და სხვ. სხეულების ეს თვისება მათში დიდი რაოდენობის წვრილი მილაკების – კაპილარების – არსებობით აიხსნება.

• კაპილარი არის წვრილი მილი (არხი), რომლის დიამეტრი 10^{-3} მ-ზე ნაკლებია. კაპილარში სითხის სვეტის სიმაღლე დამოკიდებულია სითხის თვისებებზე (მასველებელია თუ არა სითხე) და განსხვავდება სითხის საერთო დონისაგან:

• **კაპილარული მოვლენები** ეწოდება კაპილარში

მასველებელი სითხის დონის აწევასა და არამასველებელი სითხის დონის დაწევას სითხის საერთო დონესთან შედარებით, რაც სითხის ზედაპირული დაჭიმულობის ძალების მოქმედებითაა გამოწვეული (ვ). ცხრილ 6.4-ში მოყვანილია კაპილარული მოვლენების დამახასიათებელ სიდიდეებს შორის კავშირი.

ცხრილი 6.4

სითხის მახასათებლები კაპილარული მოვლენების დროს	ფორმულა
სითხის სვეტის წონა კაპილარში	$P = mg = F_{s.g} = \sigma l = 2\pi r\sigma = \pi d\sigma.$ (6.37) სადაც, r – კაპილარის რადიუსია, d – კაპილარის დიამეტრი.
სითხის სვეტის მასა კაპილარში	$m = \frac{F_{s.g}}{g} = \frac{2\pi r\sigma}{g} = \frac{\pi d\sigma}{g}.$ (6.38)
სითხის სვეტის სიმაღლე კაპილარში	$h = \frac{2\sigma \cdot \cos\theta}{\rho g r} = \frac{4\sigma \cos\theta}{\rho g d}.$ (6.39) თუ სითხე სრულად მასველებელია, მივიღებთ $\theta = 0^\circ \rightarrow \cos\theta = \cos 0^\circ = 1:$ $h = \frac{2\sigma}{\rho g r} = \frac{4\sigma}{\rho g d}.$ (6.40) სადაც, – სითხის სიმკვრივეა. კაპილარში სითხის დონის სიმაღლე სითხის გვარობა-ზეა დამოკიდებული და კაპილარის რადიუსის უკუპროპორციულია.
სითხის სვეტის წნევა კაპილარში	$p = \rho g h = \rho g \cdot \frac{2\sigma}{\rho g r} = \frac{2\sigma}{r} = \frac{4\sigma}{d}.$ (6.41)

კვლევითი სამუშაო-2. გამოყენება. რის ტოლია ზედაპირული დაჭიმულობის კოეფიციენტი?

ამოცანა. რის ტოლია მოცემული სითხის ზედაპირული დაჭიმულობის კოეფიციენტი, თუ მისი ზედაპირიდან 5 სმ დიამეტრის რგოლის მოცილებისთვის, რგოლს უნდა მოვდოთ 0,016 ნ ძალა?

იმსჯელეთ შედეგებზე:

- რომელი ფორმულით გამოითვლება ზედაპირული დაჭიმულობის კოეფიციენტი და რაზეა ის დამოკიდებული?

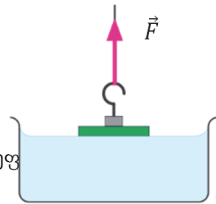
შეძენილი ცოდნის გამოყენება ყოველდღიურ ცხოვრებაში:

მეტალის ნაკეთობების (გემების კორპუსების, ცისტერნების, მილებისა და სხვ.) ექსპლუატაციის დროის გასაზრდელად მათ ზედაპირს ზეთის საღებავით ფარავენ სითხესთან შეხებით გამოწვეული კოროზიისგან დასაცავად.

- რას ნიშნავს: „ზეთის საღებავის ფენა მეტალის სითხესთან კონტაქტში მყოფ ზედაპირს კოროზიისგან იცავს“? როგორ შეიძლება ეს დავაკავშიროთ სითხის ზედაპირულ თვისებებთან?

შეაფასეთ თქვენი ცოდნა:

- რომელი ცნებები გაიმეორეთ გაკვეთილზე? რა გაიგეთ კარგად და რა დარჩა თქვენთვის ნაწილობრივ გაუგებარი?
- რას ნიშნავს: „სითხის თავისუფალ ზედაპირს განსაკუთრებული თვისება აქვს“?
- რა არის სითხის ზედაპირული დაჭიმულობა? რაშია მისი ფიზიკური შინაარსი?
- რომელი მოვლენები ხდება სითხის მოლეკულებისა და მყარი სხეულის მოლეკულების ურთიერთქმედების გამო?
- როგორ განვსაზღვროთ, მასველებელია თუ არა სითხე მოცემულ პირობებში?
- რა არის კაპილარული მოვლენების ფიზიკური შინაარსი?
- მოიყვანეთ კაპილარული მოვლენების მაგალითები, რომლებიც ბუნებასა და ცხოვრებაში გვხვდება.



რა შეიტყვეთ? სამუშაო რვეულში დაწერეთ დასახელებული ცნებების მოკლე განმარტებები: „ზედაპირული დაჭიმულობის ძალა“, „ზედაპირული დაჭიმულობის კოეფიციენტი“, „მენისკი“, „მასველებელი სითხე“, „არამასველებელი სითხე“, „კაპილარები“, „კაპილარული მოვლენები“.

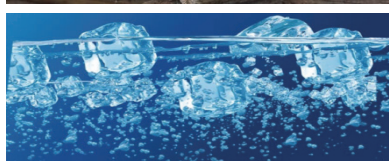
6.10 მყარი სხეულები და მათი ზოგიერთი თვისება

არსებობს გამოთქმა "ტკაცუნა ყინვები", რომლის წარმოშობა დაკავშირებულია იმასთან, რომ ყინვიან ამინდში, დიდი ხეები და კუნძები ტყეში, აგრეთვე ხის ძველი სახლების კედლები გამოსცემენ ტკაცუნის ხმას, თითქოს იმსხვრევიან. ალბათ სოფლად მაცხოვრებლებს ეს არაერთხელ შეუნიშნავთ.



- რატომ გამოცემენ ყინვის დროს ასეთ ხმებს ხეები და კუნძები, ან ხის სახლის კედლები?

თქვენ იცით, რომ ყინული არის წყალი მყარ მდგომარეობაში.



- რატომ არ იძირება ყინული წყალში?

კვლევითი სამუშაო-1. რით განსხვავდება ერთმანეთისგან მყარი სხეულები?

ამოცანა. ჩვენ დედამიწის ზედაპირზე ვცხოვრობთ, რომელიც მყარი სხეულია, ვცხოვრობთ სახლებში, რომლებიც მყარი სხეულებისგან არის აშენებული, კლასში ვსხედვართ მერხებთან, რომლებიც მყარი სხეულებისგან არის დამზადებული. ასევე მყარი სხეულებია ფანქარი, შაქრის ფხვნილი, კანფეტი, მარილი, მინა, ფისი, ძვირფასი ქვები, კაუჩუკი, ფიფქები, პლასტმასის საგნები. მიუხედავად იმისა, რომ ჩვენი სხეული 70%-ით წყლისგან შედგება, ისიც მყარი სხეულია.

იმსჯელო შედეგზე:

- რა თვისებებით შეიძლება ამ სხეულების გარჩევა?
- რა არის მყარი სხეულების საერთო დამახასიათებელი თვისება?



მყარი სხეულები ისეთი სხეულებია, რომლებიც ინარჩუნებენ ფორმასა და მოცულობას, თუ მათზე გარე ზემოქმედება არ ხდება. მაგალითად, მეტალის, პლასტმასის, მინისა და ებონიტისაგან დამზადებული სხეულები მყარი სხეულებია. თავიანთი ბუნებითა და ფიზიკური თვისებებით მყარი სხეულები ორ ჯგუფად იყოფა: **კრისტალურ და ამორფულ სხეულებად.** კრისტალურ სხეულებს მიეკუთვნება მინერალები, მაგალითად სუფრის მარილი, კვარცი, მთის ბროლი, მეტალები მყარ მდგომარეობაში. **ამორფული სხეულებია:** ებონიტი, მინა, პლასტმასები, ფისი, კანიფოლი, ქარვა, ოპალი, ობსიდიანი და სხვ. რით განსხვავდება კრისტალური სხეულები ამორფულისგან?

კრისტალური სხეულები. კრისტალური სხეულების შემადგენელ ნაწილაკებს (ატომებს, მოლეკულებს ან იონებს) სივრცეში მოწესრიგებული კანონზომიერი განლაგება აქვთ და კრისტალურ მესერს ქმნიან. კრისტალურ სხეულებს ბუნებრივად აქვთ გარკვეული დნობის ტემპერატურა.

- კრისტალურ მესერში ნაწილაკების განლაგების ადგილებს **კრისტალური მესრის კვანძები** ეწოდება.

იდეალური კრისტალური სხეული ერთნაირი კრისტალური უჯრედებისგან შედგება, რომლებიც სივრცეში მრავალჯერ მეორდება. ამის გამო კრისტალურ

სხეულში ახლო წესრიგთან ერთად ნაწილაკების განლაგების შორეული წესრიგიც არსებობს.

კრისტალური სხეულები შეიძლება იყოს მონოკრისტალური („mono“ – ერთი) და პოლიკრისტალური („poli“ – ბევრი).

• მონოკრისტალი ისეთი კრისტალია, რომელიც კრისტალიზაციის ერთი ცენტრის ირგვლივ გაზრდის შედეგად მიიღება.

ნაწილაკების მოწესრიგებული განლაგების გამო მონოკრისტალს სიმეტრიული გეომეტრიული ფორმა აქვს, რომელიც ბრტყელი ზედაპირებითაა შემოსაზღვრული (ა).

მონოკრისტალების ძირითადი თვისებაა მათი ანიზოტროპულობა:

(ა) მონოკლინური სიმეტრია	თაბაშირი	კუბისე-ბრი სიმეტრია	ტყვიის მადანი
ჰექსაგონალური სიმეტრია	ზურმუხტი	ტეტრაგონალური სიმეტრია	ილიკრა ზი
ტრიგონალური სიმეტრია	კვარცი	ორთორომბული სიმეტრია	ტოპაზი
ტრიკლინური სიმეტრია	აქსინიტი	(ბ)	

• ანიზოტროპულობა არის ნივთიერების ფიზიკური თვისებების (მექანიკური, სითბური, ელექტრული, ოპტიკური და სხვ.) დამოკიდებულება მიმართულებასზე. მაგალითად, მონოკრისტალის სითბური გაფართოება სხვადასხვა მიმართულებით განსხვავებულია.

ბუნებაში არსებული მყარი სხეულების უმრავლესობა პატარა, უწესრიგოდ ორიენტირებული მონოკრისტალებისგან შედგება. ასეთ მყარ სხეულებს პოლიკრისტალები ეწოდება:

• პოლიკრისტალური სტრუქტურა წარმოიქმნება მრავალი მონოკრისტალის ქაოსურად ორიენტირებული ზრდისა და შერწყმის შედეგად.

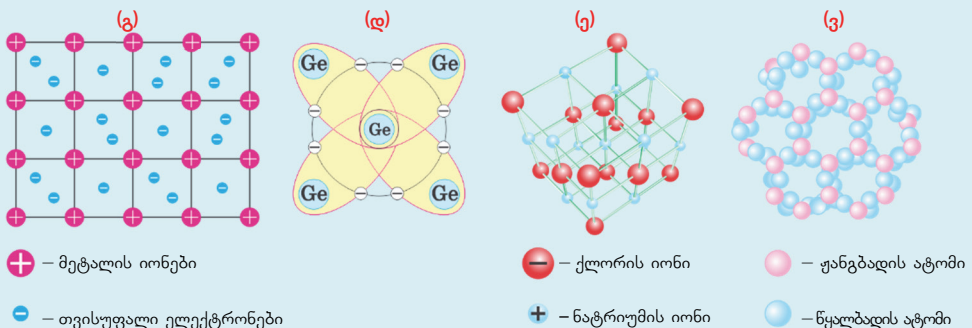
შეიძლება ითქვას, რომ ყველა მეტალს პოლიკრისტალური სტრუქტურა აქვს. მაგალითად, თუ ყურადღებით დავაკვირდებით თუჯის მონატესს, დავინახავთ, რომ ის მრავალი კრისტალური მარცვლისგან შედგება, რომლებსაც არანესიერი ფორმა აქვთ და თან სხვადასხვა მიმართულებით არიან ორიენტირებული (ბ). პოლიკრისტალის თითოეული კრისტალური მარცვალი ანიზოტროპულია, მაგრამ იმის გამო, რომ ისინი უწესრიგოდაა განლაგებული, მთლიანობაში პოლიკრისტალი იზოტროპულია:

• იზოტროპულობა არის კრისტალის ფიზიკური თვისებების დამოუკიდებლობა მიმართულებისგან. მაგალითად, პოლიკრისტალის სითბური გაფართოება ყველა მიმართულებით ერთნაირია.

კრისტალური მესრის სახეები. კრისტალური მესრის კვანძებში განლაგებულ ნაწილაკებს შორის არსებული ქიმიური კავშირის მიხედვით არსებობს ოთხი სახეობის კრისტალური მესერი: მეტალური, ატომური, იონური და მოლეკულური.

მეტალური მესერი. მეტალური მესრის კვანძებში მეტალის დადებითი იონებია განლაგებული. ეს კრისტალები მცირე იონიზაციის ენერგიის მქონე მეტალის ატომების ურთიერთქმედების შედეგად წარმოიქმნება. მეტალის ატომებში გარე სავალენტო ელექტრონები ძალიან სუსტად არიან დაკავშირებული ბირთვთან. მეტალის გამყარებისას ატომები იმდენად უახლოვდებიან ერთმანეთს, რომ სავალენტო ელექტრონები ტოვებენ თავიანთ ატომებს და თავისუფლად გადაადგილდებიან კრისტალის შიგნით.

გათავისუფლებული სავალენტო ელექტრონები, ელექტრონული აირის სახით, უწესრიგოდ მოძრაობენ კრისტალური მესრის დადებით იონებს შორის, მათ ერთმანეთთან აკავშირებენ და მეტალურ ბმებს წარმოქმნიან (ა). მეტალებში თავისუფალი ელექტრონების კონცენტრაცია იონების კონცენტრაციის ტოლია.



ატომური მესერი. ატომური მესრის კვანძებში ნეიტრალური ატომებია განლაგებული. ატომებს შორის კოვალენტური კავშირია, რომელიც მათი სავალენტო ელექტრონების მიერ წარმოქმნილი ელექტრონული წყვილების საშუალებით მყარდება. კოვალენტური კავშირი დამახასიათებელია მენდელეევის სისტემის გარკვეული ელემენტების კრისტალებისთვის. ასეთი კრისტალების მაგალითებია: სილიციუმი, გერმანიუმი და სხვ. ამ ელემენტების ატომებს გარე ელექტრონულ შრეზე ოთხი სავალენტო ელექტრონი აქვთ. ატომის ყოველი სავალენტო ელექტრონი კოვალენტურ ბმას ქმნის მეზობელი ატომის ერთ-ერთ ელექტრონთან. შედეგად წარმოიქმნება ოთხი კოვალენტური კავშირი. ამგვარად, ყოველი ატომი იზიარებს მეზობელი ატომების ოთხ სავალენტო ელექტრონს. ამით ატომების ირგვლივ იქმნება მდგრადი რვაელექტრონიანი ელექტრონული გარსი, რომელიც ატომებს ერთმანეთთან აკავშირებს. კოვალენტური კავშირის დროს ელექტრონების მოძრაობას მონესრიგებული ხასიათი აქვს: ყოველი ელექტრონი ოთხი მეზობელი ბირთვის ირგვლივ მოძრაობს (დ).

იონური მესერი. იონური მესრის კვანძებში დადებითი და უარყოფითი იონებია განლაგებული. მათ შორის იონური კავშირი იონიზაციის სხვადასხვა ენერგიის მქონე ატომებს შორის ელექტრონების გაცვლის შედეგად მყარდება. სხვადასხვანაირი იონებს შორის მოქმედი კულონური მიზიდულობის ძალები იონებს კრისტალური მესრის კვანძებში აკავებს. ამ სახის ნივთიერების მაგალითია NaCl-ის კრისტალური მესერი (ე).

მოლეკულური მესერი. მოლეკულური კრისტალური მესრის კვანძებში მოლეკულებია განლაგებული. გარკვეული წესით განლაგებული მოლეკულები ერთმანეთს შორის მოლეკულურ კავშირებს ქმნიან. ბუნებაში აირად მდგომარეობაში არსებული წყალბადი, ქლორი, ნახშირბადი მყარ მდგომარეობაში მოლეკულურ მესერს ქმნიან. ამ ტიპის კრისტალებში მოლეკულური კავშირები ძალიან სუსტია, ამიტომ ისინი დაბალ ტემპერატურაზე იშლება. ამის კარგი მოდელია ყინულის კრისტალი (ვ). მოდელიდან ჩანს, რომ ჟანგბადის ყოველი ატომი წყალბადის ოთხი ატომითაა გარემოცული. წყალბადის ატომები ერთმანეთთან აკავშირებენ ჟანგბადის ატომებს. ყინულის გათბობის დროს მისი მესერი ადვილად იშლება.

ამორფული სხეულები. ამორფული სხეულების შემადგენელი ნაწილაკების განლაგებაში შორეული წესრიგი არ არსებობს. წესრიგი მხოლოდ მეზობელი ნაწილაკების განლაგებაში არსებობს. ამიტომ ამბობენ, რომ ამორფული სხეულები მყარი სხეულებია, რომელთა ნაწილაკების განლაგებაში ახლო წესრიგი არსებობს. მაღალი კონცენტრაციის სითხეებიც (ბლანტი სითხეები) შეიძლება მყარ ამორფულ სხეულებად მივიჩნიოთ.

• ამორფული სხეულები მყარი სხეულებია, რომელთა ნაწილაკები მოწესრიგებულად არ არის განლაგებული სივრცეში და მათ შიგნით ფიზიკური თვისებები ყველა მიმართულებით ერთნაირია, ანუ ამორფული სხეულების შიდა გარემო იზოტროპულია.

ამორფულ სხეულებს არ აქვთ გარკვეული დნობის ტემპერატურა, გაცხელებასთან ერთად რბილდებიან და თხევად მდგომარეობაში გადადიან.

ნივთიერებებს შეუძლიათ ამორფულიდან კრისტალურში და პირიქით გადასვლა. მაგალითად, თუ შაქრის კრისტალს დავადნობთ, ხოლო შემდეგ გავაცივებთ, ის ამორფულ შაქარს იქნება („მინის“ კანფეტად) გადაიქცევა. გარკვეული დროის შემდეგ მის ზედაპირზე ისევ დაიწყებს წარმოქმნას შაქრის კრისტალები.

დნობა და გამყარება, სუბლიმაცია და დესუბლიმაცია.

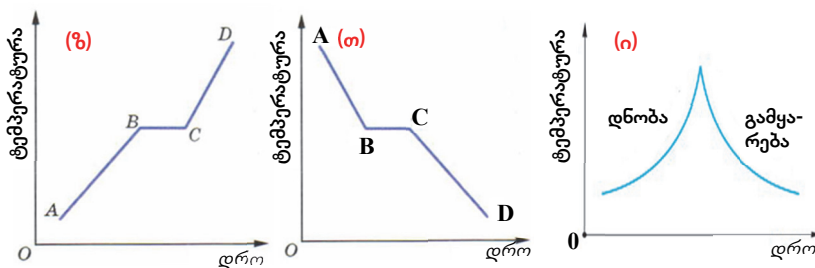
• ნივთიერების მყარი მდგომარეობიდან თხევად მდგომარეობაში გადასვლის პროცესს **დნობა** ეწოდება, ხოლო თხევადი მდგომარეობიდან მყარ მდგომარეობაში გადასვლის პროცესს – **გამყარება** ან **კრისტალიზაცია**.

კრისტალური სხეული დნობა გარკვეულ ტემპერატურაზე – დნობის ტემპერატურაზე – იწყება. მაგალითად, ვოლფრამის დნობის ტემპერატურა 3410°C -ია, ვერცხლისწყლის – -39°C .

• ტემპერატურას, რომელზეც მოცემული კრისტალი დნობას იწყებს, დნობის ტემპერატურა ან დნობის წერტილი ეწოდება.

ცდებიდან ჩანს, რომ სხეულის დასადნობად საკმარისი არ არის მისი დნობის ტემპერატურამდე გაცხელება. საჭიროა გავაგრძელოთ მისთვის სითბოს გადაცემა. მაგრამ, სითბოს გადაცემის მიუხედავად, დნობის პროცესში მყოფი კრისტალის ტემპერატურა არ იზრდება. მხოლოდ კრისტალის სრულად დადნობის შემდეგ მისთვის გადაცემული სითბო გამოიწვევს წარმოქმნილი სითბის ტემპერატურის გაზრდას (**ზ**). კრისტალური სხეულის დნობის გრაფიკის AB უბანი სხეულის დნობის ტემპერატურამდე გაცხელებას შეესაბამება, გრაფიკის BC უბანი – დნობის პროცესს; ამ დროს სხეული ორივე – მყარ და თხევად – მდგომარეობაშია; გრაფიკის CD უბანი მიღებული სითბის გათბობის პროცესს შეესაბამება (იხ. **გ**). ენერგიის მუდმივობის კანონის თანახმად, მიღებული სითბის გამყარება იმავე ტემპერატურაზე დაიწყება, რომელზეც მყარი მდგომარეობიდან სხეულის დნობის პროცესი დაიწყო (**თ**).

რადგან ამორფული სხეულებისთვის დნობისა და გამყარების გარკვეული ტემპერატურა არ არსებობს, ამ პროცესების ტემპერატურის დროზე დამოკიდებულების გრაფიკები განსხვავდება კრისტალური სხეულების შესაბამისი გრაფიკებისგან (**ი**).



• სითბოს რაოდენობას, რომელიც საჭიროა დნობის ტემპერატურის მქონე სხეულს მყარი მდგომარეობიდან თხევად მდგომარეობაში გადასასვლელად, **დნობის სითბო** ეწოდება.

იმისათვის, რომ ერთნაირი მასის სხვადასხვა ნივთიერება, რომლებიც დნობის ტემპერატურამდეა გაცხელებული, მყარი მდგომარეობიდან თხევად მდგომარეობაში გადავიყვანოთ, თითოეულ მათგანს სხვადასხვა რაოდენობის სითბო უნდა მივანწოდოთ.

• დნობის კუთრი სითბო ფიზიკური სიდიდეა, რომელიც განსაზღვრავს, რა რაოდენობის სითბო უნდა გადაეცეს დნობის ტემპერატურის მქონე 1 კგ მასის კრისტალურ ნივთიერებას, რომ მყარი მდგომარეობიდან იმავე ტემპერატურის თხევად მდგომარეობაში გადავიდეს:

$$\lambda = \frac{Q}{m}. \quad (6.42)$$

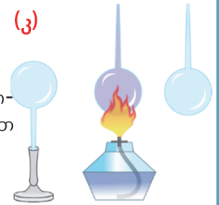
λ მოცემული ნივთიერების დნობის კუთრი სითბოა. დნობის კუთრი სითბოს საზომი ერთეული SI სისტემაში არის: $\lambda = \frac{1\text{ჯ}}{3\text{გ}}$.

ენერგიის მუდმივობის კანონის თანახმად, დნობის პროცესში სხეულის მიერ მიღებული სითბოს რაოდენობა ტოლია სითბოს რაოდენობისა, რომელიც ამ სხეულის გამყარების დროს გამოიყოფა. ზოგჯერ მყარი სხეულები თხევად მდგომარეობაში გადასვლის გარეშე აირად მდგომარეობაში გადადიან და პირიქით, ხდება აირადი მდგომარეობიდან პირდაპირ მყარ მდგომარეობაში გადასვლა:

• მყარი სხეულის თხევად მდგომარეობაში გადასვლის გარეშე აირად მდგომარეობაში გადასვლის პროცესს **სუბლიმაცია** (მყარი სხეულის აორთქლება) ეწოდება. უკუპროცესს, ნივთიერების აირადი მდგომარეობიდან მყარ მდგომარეობაში გადასვლას, **დესუბლიმაცია** ეწოდება.

კვლევითი სამუშაო-2. გამოყენება. სუბლიმაცია და დესუბლიმაცია
სამუშაოსთვის საჭიროა: პერმეიტული კოლბა, რომელშიც იოდის კრისტალებია, სპირტქურა.

სამუშაოს მსვლელობა: 1. კოლბა სპირტქურაზე გააცხელეთ და დააკვირდით იოდის კრისტალებს (კ). 2. ჩააქრეთ სპირტქურა, დაელოდეთ კოლბის გაცივებას და დააკვირდით, რა ხდება კოლბაში.



იმსჯელები შედეგებზე:

- რა ხდებოდა კოლბის გაცხელებისა და გაცივების პროცესში?
- რომელ მოვლენებს დააკვირდით სამუშაოს შესრულების დროს?

შეძენილი ცოდნის გამოყენება ყოველდღიურ ცხოვრებაში: ალბათ, გინახავთ, ზამთარში ხეებზე თრთილი თანდათან როგორ მცირდება, ან როგორ შრება სველი გაყინული ტანსაცმელი.

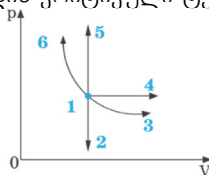
- რომელი ფიზიკური პროცესი ხდება ამ დროს?

შეაფასეთ თქვენი ცოდნა:

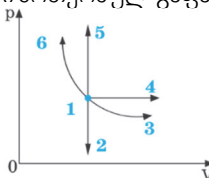
1. რომელი ცნებები გაიმეორეთ გაკვეთილზე? რა გაიგეთ კარგად და რა დარჩა თქვენთვის ნაწილობრივ გაუგებარი?
2. შეადარეთ კრისტალური და ამორფული სხეულები ვენის დიაგრამის მიხედვით.
3. რას ნიშნავს ნაწილაკების განლაგების შორეული და ახლო წესრიგი?
4. რა თვისებებით განსხვავდება მონო- და პოლიკრისტალები?
5. რა არის საერთო დნობისა და გამყარების პროცესებს შორის?
6. რა არის დნობის კუთრი სითბო?

რა შეიტყუეთ? სამუშაო რეველში დაწერეთ დასახელებული ცნებების მოკლე განმარტებები: „კრისტალური სხეული“, „ამორფული სხეული“, „მონოკრისტალი“, „პოლიკრისტალი“, „იზოტროპულობა“, „ანიზოტროპულობა“, „დნობა“, „გამყარება“, „დნობის ტემპერატურა“, „დნობის კუთრი სითბო“, „სუბლიმაცია“, „დესუბლიმაცია“.

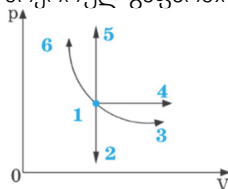
- 6.1. საპაერო ბურთი გავსებულია წყალბადით, რომლის მასა 4 გ-ია. განსაზღვრეთ ბურთში წყალბადის მოლეკულების რაოდენობა.
- 6.2. რა რაოდენობის ნივთიერებაა „მშრალ ყინულში“ (H_2), რომლის მასა 220 გ-ია?
- 6.3. წყალბადის და ჟანგბადის მოლური მასებია $M_{\text{H}_2} = 2 \cdot 10^{-3}$ კგ/მოლ და $M_{\text{O}_2} = 3,2 \cdot 10^{-2}$ კგ/მოლ. განსაზღვრეთ ამ აირების მოლეკულის მასები.
- 6.4. განსაზღვრეთ სპილენძის სულფატის (CuSO_4) მოლური მასა და ერთი მოლეკულის მასა.
- 6.5. განსაზღვრეთ აირადი ჟანგბადის მოლეკულების კონცენტრაცია $2 \cdot 10^5$ პა წნევის დროს. მოლეკულების საშუალო კვადრატული სიჩქარე $4,9 \cdot 10^5$ მ²/წმ²-ია.
- 6.6. განსაზღვრეთ ჟანგბადის მოლეკულის მოძრაობის საშუალო კინეტიკური ენერგია, თუ მოლეკულების კონცენტრაცია $2,7 \cdot 10^{25}$ მ⁻³-ის ტოლია.
- 6.7. აირი, როგორც სისტემა, ერთ შემთხვევაში დახურულ, სითბურად იზოლირებულ ჭურჭელშია, მეორე შემთხვევაში მეთალის ჭურჭელში. შეიძლება თუ არა ეს სისტემები ჩავთვალოთ ჩაკეტილ იზოლირებულ სისტემებად?
- 6.8. ორი, ერთნაირი ზომის ჩაის კოვზი, რომლებიც სხვადასხვა მეთალისგან არის დაზადებული მოთავსებულია მაცივარში და სითბური წონასწორობის მდგომარეობაშია. შეიძლება თუ არა ვივარაუდოთ, რომ მაცივრიდან გამოღების შემდეგ კოვზები ოთახშიც წონასწორობის მდგომარეობაში იქნებიან. შესაძლებელია თუ არა მათ შორის ოთახშიც დამყარდეს წონასწორობის მდგომარეობა?
- 6.9. განვიხილოთ სისტემა წყალი-ყინული: ყინული მოთავსებულია 15°C ტემპერატურის წყალში. ყინულის დნობის დროს, წყალში ჩაშვებული თერმომეტრი აჩვენებს 10°C -ს. შეიძლება თუ არა იმის მტკიცება, რომ სისტემის ტემპერატურა 10°C -ია?
- 6.10. დედამიწის ზედაპირიდან 100 კმ სიღრმეზე ნივთიერების ტემპერატურა 1200°C -ია. რის ტოლია ნივთიერების ტემპერატურა ცელსიუსის სკალით?
- 6.11. წყლის ორთქლის კრიტიკული ტემპერატურაა 647°C . რომელ ტემპერატურაზე იქნება წყალი მხოლოდ აირად მდგომარეობაში?
- 6.12. რომელ აგრეგატულ მდგომარეობაში იქნება ჟანგბადი 150°C და 190°C ტემპერატურების დროს? ჟანგბადის კრიტიკული ტემპერატურა 154°C -ია.



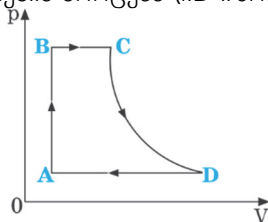
- 6.13. დიაგრამის რომელი უბნები შეესაბამება მოცემული მასის იდეალური აირის იზოთერმულ შეკუმშვას და იზოთერმულ გაფართოებას?



- 6.14. დიაგრამის რომელი უბნები შეესაბამება მოცემული მასის იდეალური აირის იზოქორულ შეკუმშვას და იზოქორულ გაფართოებას?



- 6.15. დიაგრამის რომელი უბანი შეესაბამება მოცემული მასის იდეალური აირის ტემპერატურის შემცირების პროცესს (ჩD იზოთერმა)?



- 6.16. ჭურჭელში 8 გ ჟანგბადია 10^5 პა წნევისა და 300კ ტემპერატურის დროს. გამოთვალეთ აირის მოცულობა: $M = 32 \cdot 10^{-3}$ კგ/მოლ, $\mu = 8$ ჯ/მოლ.
- 6.17. აირის აბსოლუტური ტემპერატურის 6-ჯერ გაზრდის დროს, მუდმივი წნევის პირობებში, მისი მოცულობა $18 \cdot 10^{-3}$ მ³-ის ტოლი გახდა. გამოთვალეთ აირის საწყისი მოცულობა.
- 6.18. მოცემული მასის იდეალური აირის წნევა 2,8-ჯერ გაიზარდა, მოცულობა კი 4-ჯერ შემცირდა. როგორ შეიცვალა აირის აბსოლუტური ტემპერატურა?
- 6.19. განსაზღვრეთ ჰაერის სიმკვრივე 17°ჩ ტემპერატურის და $3 \cdot 10^5$ პა წნევის დროს. ($M_{\text{ჰაერ}} = 29 \cdot 10^{-3}$ კგ/მოლ, $\mu = 8$ ჯ/მოლ)
- 6.20. ჰაერში წყლის ორთქლის კონცენტრაცია 27°ჩ ტემპერატურის დროს, $2 \cdot 10^{-23}$ მ⁻³-ს ტოლია. როგორია წყლის ორთქლის პარციალური წნევა? ($\mu = 1,4 \cdot 10^{-23}$ ჯ/კგ)?
- 6.21. ჰაერში წყლის ორთქლის სიმკვრივე 15°ჩ ტემპერატურაზე $9,1$ გ/მ³-ია, ხოლო ფარდობითი ტენიანობაა 70%. როგორია ამ ტემპერატურაზე წყლის ნაჯერი ორთქლის წნევა?
- 6.22. რა რაოდენობის სითბო გამოიყოფა 200 გ სპირტის ორთქლის კონდენსაციის დროს, მუდმივ ტემპერატურაზე? ($\mu = 9 \cdot 10^5$ ჯ/კგ) ?
- 6.23. რა რადიუსის კაპილარულ მილში შევა ვერცხლისწყალი 30 სმ სიმაღლეზე

$$(\sigma = 510 \frac{\text{მნ}}{\text{მ}}, \rho = 13,6 \cdot 10^3 \frac{\text{კგ}}{\text{მ}^3}, g = 10 \frac{\text{მ}}{\text{წმ}^2})?$$
- 6.24. განსაზღვრეთ 0,25 მმ რადიუსის კაპილარულ მილში შესული წყლის მოცულობა

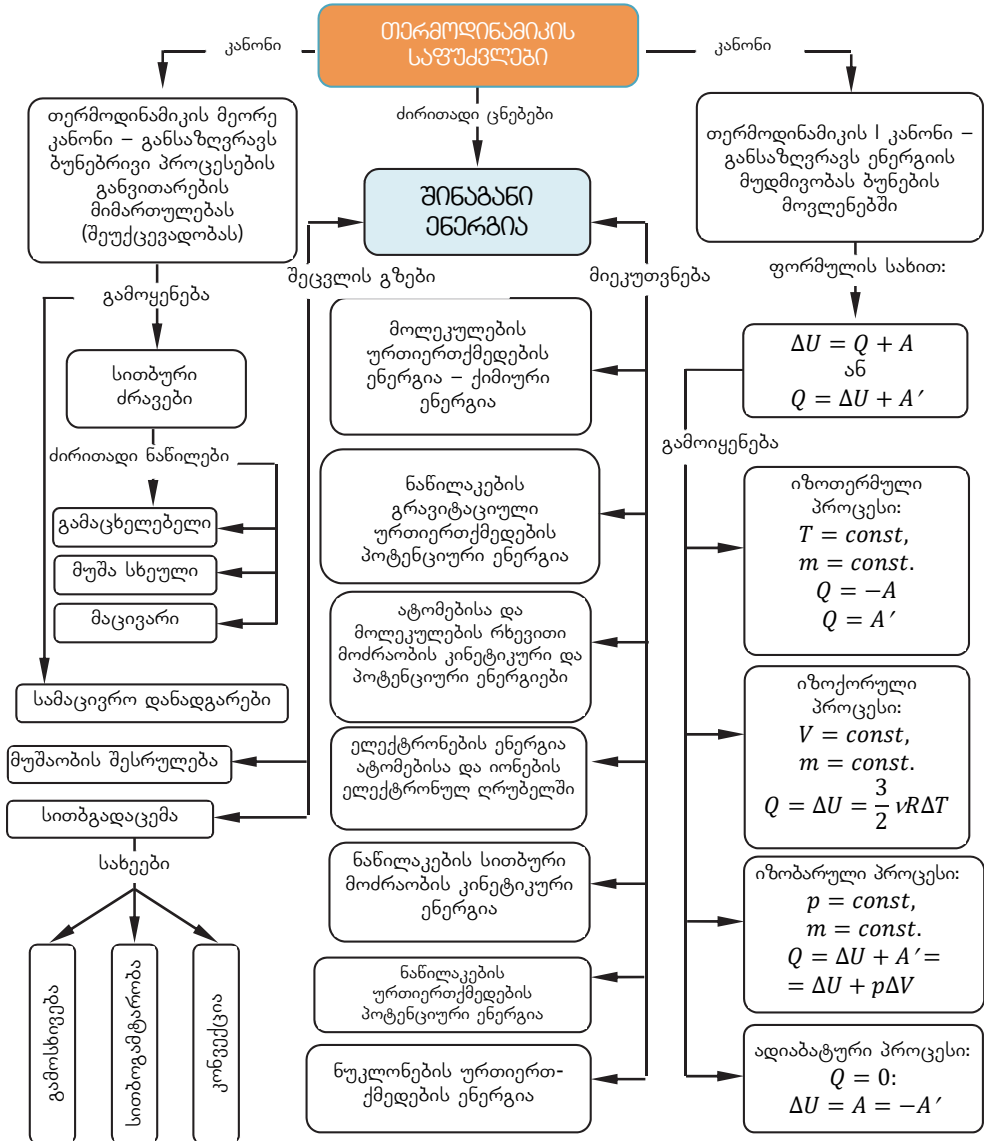
$$(\sigma = 72 \frac{\text{მნ}}{\text{მ}}, \rho = 10^3 \frac{\text{კგ}}{\text{მ}^3}, g = 10 \frac{\text{მ}}{\text{წმ}^2}, \pi = 3)$$
- 6.25. წყლის წვეთი ვარდება 2 მმ დიამეტრის ვერტიკალური მილიდან. განსაზღვრეთ წყლის წვეთის მასა ($\sigma_{\text{წყალი}} = 73 \frac{\text{მნ}}{\text{მ}}$).
- 6.26. პიპეტიდან ჩამოვარდნილი მინერალური ზეთის 76 წვეთის მასა 910 მგ-ია. პიპეტის შიდა დიამეტრი 1,2 მმ-ია. განსაზღვრეთ ზეთის ზედაპირული დაჭიმულობის კოეფიციენტი.
- 6.27. რა განაპირობებს კრისტალის ანიზოტროპულობას?
- 6.28. რომელი გარეგანი ნიშნებით შეიძლება მონოკრისტალების ამოცნობა?

თერმოდინამიკის საფუძვლები

ამ თავის შესწავლის შემდეგ
თქვენ შეძლებთ:

- განასხვაოთ თერმოდინამიკური სისტემა ყველა სხვა სისტემიგან თავისი თვისებების მიხედვით;
- განიხილოთ შინაგანი ენერგია, როგორც თერმოდინამიკური სისტემის მდგომარეობის გამომხატველი სიდიდე;
- მოახდინოთ შინაგანი ენერგიის შეცვლის გზების ექსპერიმენტული დემონსტრირება;
- იმსჯელოთ თერმოდინამიკის პირველი კანონის შესახებ და ახსნათ მისგან გამომდინარე შედეგები;
- ახსნათ სითბური პროცესის შეუქცევადობა, იმსჯელოთ თერმოდინამიკის II კანონის ფიზიკურ შინაარსზე;
- ახსნათ სითბური ძრავებისა და სამაცივრო დანადგარების მუშაობის პრინციპი;
- ისაუბროთ მეცნიერების დამსახურების შესახებ სითბური ფიზიკის შექმნასა და განვითარებაში;
- დაადგინოთ კავშირი თერმოდინამიკური პროცესების დამახასიათებელ ფიზიკურ სიდიდეებს შორის;
- დასვათ და ამოხსნათ სითბური მოვლენების გამოყენებასთან დაკავშირებული სხვადასხვა ხასიათის ამოცანები.

„ცნებების რუკა“ VII თავისათვის



7.1 თერმოდინამიკური სისტემა. შინაგანი ენერგია

დაასრულეთ წინადადებები მოცემული საკვანძო სიტყვების (შეგიძლიათ საკვანძო სიტყვების რამდენჯერმე გამოყენება) გამოყენებით, შეძენილი ცოდნის საფუძველზე (იხ. ფიზიკა 8, გვ. 20-26).

სხეულის ... ზრდასთან ერთად იზრდება მისი ..., რადგან იზრდება სხეულის შემადგენელი მოლეკულებისა და ატომების მოძრაობის ... ეს ნიშნავს, რომ ასევე იზრდება ამ სხეულის მოლეკულების ... სხეულის ... შემცირების დროს მისი ... მცირდება. სხეულის მიმართ ... ან სხეულის ... მისი ... იცვლება – იზრდება.

საკვანძო სიტყვები:

სიჩქარე
მექანიკური მუშაობა
ტემპერატურა
გამოსხივება
ატომი და მოლეკულა
საშუალო კინეტიკური ენერგია
შინაგანი ენერგია
გაცხელება
შინაგანი ენერგია

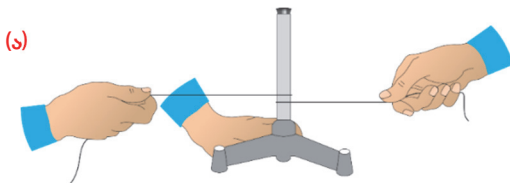
- რას გულისხმობენ გამოთქმაში „სხეულის შინაგანი ენერგია“?
- როგორ არის შესაძლებელი სხეულის შინაგანი ენერგიის შეცვლა?
- როგორ შეიცვლება სხეულის, მაგალითად აირის, შინაგანი ენერგია გარე ძალების მოქმედების შედეგად, თუ ამ დროს ის იკუმშება ან ფართოვდება?

კვლევითი სამუშაო-1. რის ხარჯზე შეიცვალა სისტემის შინაგანი ენერგია?

სამუშაოსთვის საჭიროა: მეტალის თხელკედლიანი მილი, რომელსაც ერთი ბოლო დარჩილული აქვს, ეთერის სპირტი, ზონარი, შტატივის სადგამი.

სამუშაოს მსვლელობა:

1. მილი ჩაამაგრეთ სადგამში და ჩაასხით მასში 3-4 სმ³ სპირტი. (ა) ნუთს დაელოდეთ და მილის თავისუფალ ბოლოს მჭიდროდ დაახურეთ საცობი.
2. ზონარი მილს ერთხელ შემოახვიეთ, მის ბოლოებს ხელი მოჰკიდეთ და ხან ერთ, ხან მეორე მხარეს გასწიეთ ისე, რომ ზონარმა მილის ზედაპირზე ისრიალოს (ა). ეს პროცესი იქამდე განაგრძეთ, ვიდრე სისტემაში რამე „უცნაური“ მოვლენა არ მოხდება.



იმსჯელებზე შედეგებზე:

- რა „უცნაური“ მოვლენა მოხდა სისტემაში მილის ზედაპირზე ზონრის ხახუნის დროს? რა შეიძლება იყოს ამ მოვლენის გამომწვევი მიზეზი?
- რა კავშირია ამ მოვლენასა და სისტემის შინაგანი ენერგიის ცვლილებას შორის?

თერმოდინამიკური სისტემა. ფიზიკის ნაწილს, რომელიც მაკროსკოპულ სისტემებში მიმდინარე სითბურ მოვლენებს შეისწავლის, თერმოდინამიკა ეწოდება. თერმოდინამიკის საფუძველია თერმოდინამიკის კანონები, რომლებიც ექსპერიმენტულად დადგენილი უამრავი ფაქტიდან გამომდინარეობს. ეს კანონები პასუხობენ კითხვაზე: „როგორ?“, მაგალითად, როგორ იცვლება სხეულის (მყარი, თხევადი ან აირადი) მდგომარეობა გაცხელების (ან გაცივების) დროს, როგორ და რომელი მიმართულებით გადაეცემა სითბო, როგორ იცვლება აირის ტემპერატურა მისი გაფართოების დროს და სხვ. თერმოდინამიკის შესწავლის ობიექტია თერმოდინამიკური სისტემები.

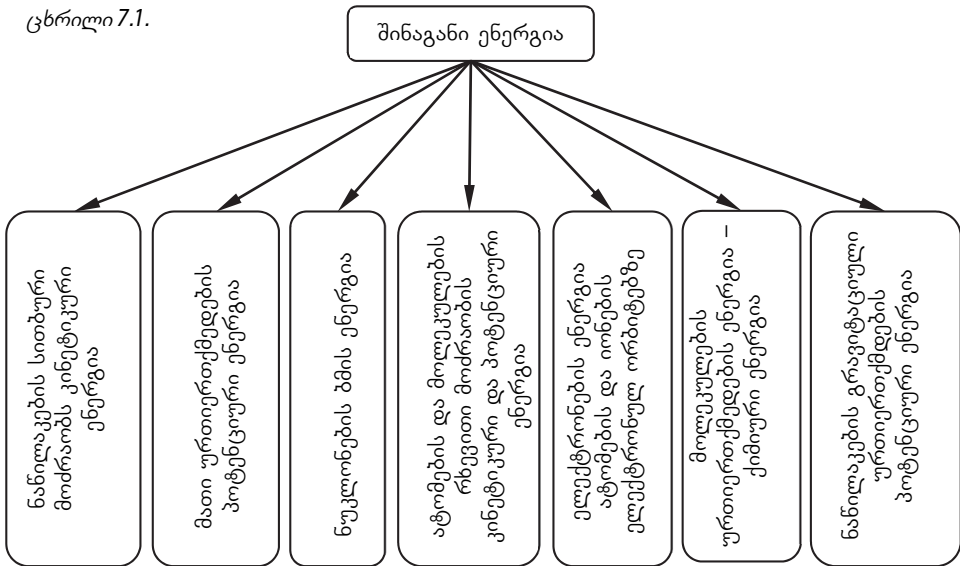
• **ნებისმიერი მაკროსკოპული სხეული ან მაკროსკოპული სხეულების სისტემა** თერმოდინამიკური სისტემაა. თერმოდინამიკური სისტემის მდგომარეობა ხასიათდება მაკროსკოპული, ანუ თერმოდინამიკური, პარამეტრებით (მასით, სიმკვრივით, მოცულობით, წნევით, ტემპერატურით).

შინაგანი ენერგია. სიდიდეებს, რომლებიც განსაზღვრავენ დროის მოცემულ მომენტში თერმოდინამიკური სისტემის მდგომარეობას ან ამ მდგომარეობის

შესაბამის მაკროსკოპულ პარამეტრებს, მდგომარეობის ფუნქციები ეწოდება. ამ სიდიდეებს შორის ძირითადია სისტემის შინაგანი ენერგია.

• შინაგანი ენერგია არის სისტემის შემადგენელი ნაწილაკების მოძრაობის სხვადასხვა სახის კინეტიკური ენერგიებისა და ამ ნაწილაკების ურთიერთქმედების პოტენციური ენერგიების ჯამი (იხ. ცხრილი 7.1).

ცხრილი 7.1.



თერმოდინამიკური სისტემის შინაგანი ენერგია დამოკიდებულია სისტემის ტემპერატურასა და მოცულობაზე, რომლებიც განსაზღვრავს სისტემის მდგომარეობას: $U(T, V)$.

ერთატომიანი იდეალური აირის შინაგანი ენერგია. აირს, რომლის მოლეკულა ერთი ატომისგან შედგება, ერთატომიანი აირი ეწოდება. ერთატომიანი აირის შინაგანი ენერგია მისი შემადგენელი ნაწილაკების მოძრაობის კინეტიკური და ურთიერთქმედების პოტენციური ენერგიების ჯამის ტოლია:

$$U = N \cdot \bar{E}_{\text{კინ}} + E_{\text{პოტ}}$$

(N აირის შემადგენელი ნაწილაკების რაოდენობაა). მაგრამ იდეალური აირის შემთხვევაში აირის შინაგანი ენერგია მისი ქაოსურად მოძრავი ნაწილაკების საშუალო კინეტიკური ენერგიების ჯამის ტოლია:

$$U = N \cdot \bar{E}_{\text{კინ}}$$

რადგან იდეალური ერთატომიანი აირის ერთი ნაწილაკის საშუალო კინეტიკური ენერგია გამოითვლება ფორმულით $\bar{E}_{\text{კინ}} = \frac{3}{2} kT$, გამოდის, რომ შინაგანი ენერგია მხოლოდ ტემპერატურაზეა დამოკიდებული:

$$U = \frac{3}{2} N \cdot kT = \frac{3}{2} \nu N_A \cdot kT = \frac{3}{2} \nu \cdot RT = \frac{3}{2} \frac{m}{M} RT. \quad (7.1)$$

ეს გამოსახულება ჯოულის კანონის ფორმულაა:

• იდეალური აირის შინაგანი ენერგია დამოკიდებულია მის მასაზე, აირის გვარობაზე (მოლურ მასაზე) და ტემპერატურაზე. მაშინაც, როდესაც აირის წნევა და მოცულობა იცვლება, თუ მისი ტემპერატურა მუდმივია, აირის შინაგანი ენერგია არ შეიცვლება.

(7.1) ფორმულიდან და მენდელეევ-კლაპეირონის განტოლებიდან მივიღებთ:

$$U = \frac{3}{2}pV. \quad (7.2)$$

შინაგანი ენერგიის შეცვლის გზები. თერმოდინამიკური სისტემის შინაგანი ენერგიის შესაცვლელად საჭიროა, შევცვალოთ მისი მოლეკულების სითბური მოძრაობის საშუალო კინეტიკური ენერგია ან მათი ურთიერთქმედების პოტენციური ენერგია, ან ერთდროულად ორივე ენერგია. მრავალი ცდების შემდეგ გაირკვა, რომ შინაგანი ენერგიის შეცვლის ორი საშუალება არსებობს: სითბოს გადაცემა და მუშაობის შესრულება (იხ. ფიზიკა 8, გვ. 23).

• სისტემის შინაგანი ენერგიის ცვლილება ხდება ორი საშუალებით: Q სითბოს რაოდენობის გადაცემით და A მუშაობის შესრულებით.

$$\Delta U = Q + A. \quad (7.3)$$

თუ შინაგანი ენერგიის ცვლილება მხოლოდ სითბოს მიმოცვლით ხდება, მაშინ ის სისტემისთვის გადაცემული (ან სისტემიდან მიღებული) სითბოს რაოდენობის ტოლია. მაგალითად, სხეულის გაცხელების ან გაცივების დროს, მისი შინაგანი ენერგიის ცვლილება განისაზღვრება ფორმულით:

$$\Delta U = Q = cm(T_2 - T_1) = cm\Delta T \quad (7.4)$$

შინაგანი ენერგიის ცვლილება მყარი სხეული დნობის ან სითხის კრიტალიზაციის პროცესში მოლეკულების ურთიერთქმედების პოტენციური ენერგიის ცვლილების ხარჯზე ხდება. ამ პროცესების დროს შინაგანი ენერგიის ცვლილება დნობის (ან კრიტალიზაციის) სითბოს ტოლია:

$$\Delta U = Q_{\text{დნ}} = \lambda m. \quad (7.5)$$

სადაც, λ – დნობის კუთრი სითბოა.

შინაგანი ენერგიის ცვლილება ორთქლადქცევის ან კონდენსაციის პროცესში ამ პროცესებში დახარჯული ან მიღებული სითბოს რაოდენობის ტოლია:

$$\Delta U = Q_{\text{ორთქ}} = Lm. \quad (7.6)$$

სადაც, L – ორთქლადქცევის კუთრი სითბოა.

ერთატომიანი იდეალური აირის შინაგანი ენერგიის ცვლილებას განსაზღვრავს მისი ტემპერატურის ცვლილება:

$$\Delta U = U_2 - U_1 = \frac{3}{2} \nu \cdot R(T_2 - T_1) = \frac{3}{2} \frac{m}{M} R(T_2 - T_1) = \frac{3}{2} \frac{m}{M} R\Delta T. \quad (7.7)$$

სადაც U_1 და U_2 ერთატომიანი აირის შინაგანი ენერგიებია შესაბამისად საწყის და საბოლოო მდგომარეობაში.

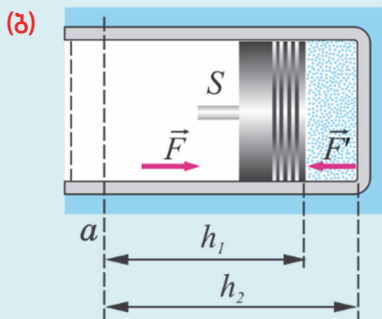
ყურადღება! თერმოდინამიკური სისტემის შინაგანი ენერგიის ცვლილება არ არის დამოკიდებული პროცესის სახეზე, რომლის საშუალებითაც ეს ცვლილება ხდება, დამოკიდებულია მხოლოდ სისტემის საწყის და საბოლოო მდგომარეობაზე.

მუშაობა თერმოდინამიკაში. თუ სისტემის შინაგანი ენერგიის ცვლილება მხოლოდ მექანიკური მუშაობის შესრულებით ხდება,

მაშინ ეს ცვლილება გარე ძალების მიერ სისტემაზე შესრულებული მუშაობის (A) ან სისტემის მიერ გარე ძალების საწინააღმდეგოდ შესრულებული მუშაობის (A') ტოლია:

$$\Delta U = A = -A'. \quad (7.8)$$

• თერმოდინამიკაში მუშაობა თერმოდინამიკური სისტემის შინაგანი ენერგიის შეცვლის ერთ-ერთი საშუალებაა.



აირის მუშაობა. დავუშვათ, რომ ცილინდრში მოთავსებულია აირი, რომელიც დგუშის მოქმედებით არის შეკუმშული. შეკუმშვის დროს დგუშში საკუთარი კინეტიკური ენერგიის ნაწილს აირის მოლეკულებს გადასცემს, რის შედეგად აირის შინაგანი ენერგია და ტემპერატურა იზრდება – აირზე გარე ძალები ასრულებენ მუშაობას. აირის გაფართოების დროს, პირიქით, აირის მოლეკულები თავისი კინეტიკური ენერგიის ნაწილს დგუშს გადასცემენ, მათი სიჩქარე მცირდება და აირი ცივდება – ის მუშაობას ასრულებს გარე ძალების საწინააღმდეგოდ (ბ).

განვიხილოთ აირის იზობარული გაფართოების პროცესი (ამ დროს მისი წნევა და მასა მუდმივია, ტემპერატურა კი იზრდება). გაფართოების დროს აირის მიერ გარე ძალების დასაძლევად შესრულებული მუშაობა ტოლია:

$$A' = F \cdot \Delta h = pS \cdot (h_2 - h_1) = p(S h_2 - S h_1)$$

ან

$$A' = p(V_2 - V_1) = p\Delta V. \quad (7.9)$$

ამ დროს გარე ძალებს მიერ აირზე შესრულებული მუშაობა ტოლია:

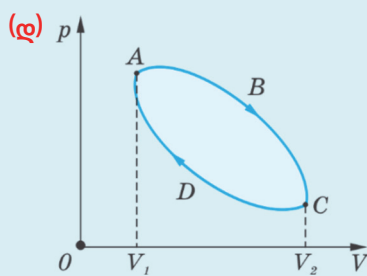
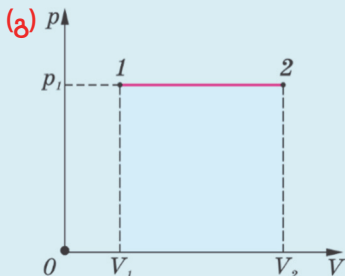
$$A = -A' = -p(V_2 - V_1) = p(V_1 - V_2) = -p\Delta V. \quad (7.10)$$

სადაც $F = pS$ არის ძალა, რომელთაც აირი დგუშზე მოქმედებს, Δh დგუშის გადაადგილება, p – აირის წნევა, S – ცილინდრის განივკვეთის ფართობი, ΔV – აირის მოცულობის ცვლილება.

შესრულებული მუშაობა რიცხობრივად იმ ფიგურის ფართობის ტოლია, რომელიც $p - V$ დამოკიდებულების გრაფიკის ქვემოთ წარმოიქმნება (გ): აირის გაფართოების დროს (ანუ აირის მოცულობის გაზრდის დროს) $A' > 0$ ან $A < 0$; აირის შეკუმშვის დროს (ანუ აირის მოცულობის შემცირების დროს) $A' < 0$ ან $A > 0$.

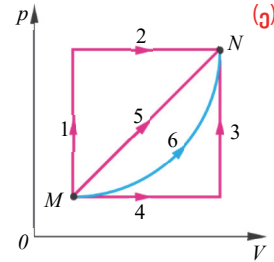
თუ აირი მდგომარეობის ცვლილების დროს მუშაობას ასრულებს და საწყის მდგომარეობაში ბრუნდება, პროცესს ჩაკეტილიანციკლური პროცესი ეწოდება.

გრაფიკის იმ უბანზე, სადაც ისარი, რომელიც ციკლური პროცესის მიმდინარეობის მიმართულებას აჩვენებს, საათის ისრის მოძრაობის მხარეს არის მიმართული, აირის მიერ შესრულებული მუშაობა დადებითია, ხოლო გარე ძალების მუშაობა – უარყოფითი (დ). თუ პროცესის მაჩვენებელი ისრის მიმართულება საწინააღმდეგოა, გრაფიკის ეს უბანი აირის უარყოფით და გარე ძალების დადებით მუშაობას შეესაბამება.



კვლევითი სამუშაო-1. გამოყენება. რომელი პროცესის დროს იცვლება შინაგანი ენერგია უფრო მეტად?

ამოცანა: თერმოდინამიკურ სისტემაში შესრულდა პროცესები, რომლებიც $p - V$ დიაგრამაზეა გამოსახული (ვ). შეადარეთ სისტემის შინაგანი ენერგიის ცვლილება და მუშაობები, რომელიც სისტემამ შეასრულა M-იდან N წერტილში გადასვლის დროს.



იმსჯელეთ შედეგებზე:

- რაზე დამოკიდებული თერმოდინამიკური სისტემის შინაგანი ენერგიის ცვლილება?
- რომელი პროცესის დროს იცვლება სისტემის შინაგანი ენერგია უფრო მეტად?
- რომელი პროცესის დროს ასრულებს სისტემა მეტ მუშაობას? რატომ?

შეძენილი ცოდნის გამოყენება ყოველდღიურ ცხოვრებაში:

საკლასო ოთახის სიგანე 5 მ-ია, სიგრძე – 10 მ, სიმაღლე – 4 მ. ჰაერის ტემპერატურა ოთახში 20°C-ია, ატმოსფერული წნევა – ნორმალური.

- ოთახში არსებული ჰაერი რომ ერთატომიანი იდეალური აირი იყოს, რის ტოლი იქნებოდა მისი შინაგანი ენერგია?
- ამ შინაგანი ენერგიით რა სიმაღლეზე შეიძლება ავნიოთ 2 ტ მასის ავტომობილი ($g = 10 \text{ მ/წმ}^2$)?

შეაფასეთ თქვენი ცოდნა:

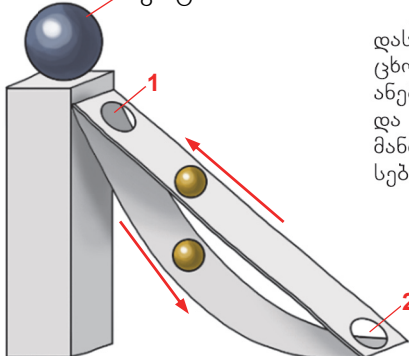
1. რომელი ცნებები გაიმეორეთ გაკვეთილზე? რა გაიგეთ კარგად და რა დარჩა თქვენთვის ნაწილობრივ გაუგებარი?
2. რომელი მაკროსკოპული პარამეტრები განსაზღვრავს სხეულის შინაგან ენერგიას?
3. რომელ მაკროსკოპულ პარამეტრებზეა დამოკიდებული ერთატომიანი იდეალური აირის შინაგანი ენერგია?
4. რის ტოლია თერმოდინამიკური სისტემის შინაგანი ენერგიის ცვლილება, თუ მასში მხოლოდ სითბოს მიმოცვლა ხდება?
5. რატომ შეუძლია შესრულებულ მექანიკურ მუშაობას სისტემის შინაგანი ენერგიის შეცვლა?
6. თერმოდინამიკური სისტემის რომელი მაკროსკოპული პარამეტრები იცვლება მუშაობის შესრულების პროცესში?
7. რატომ განსხვავდება ნიშნის მიხედვით აირის მიერ შესრულებული და აირზე შესრულებული მუშაობები?

რა შეიტყუეთ?

სამუშაო რეგულში დაწერეთ დასახელებული ცნებების მოკლე განმარტებები: „თერმოდინამიკა“, „თერმოდინამიკური სისტემა“, „შინაგანი ენერგია“, „მოცემული მასის იდეალური აირის შინაგანი ენერგია“, „შინაგანი ენერგიის შეცვლის გზები“, „მუშაობა თერმოდინამიკაში“.

7.2 თერმოდინამიკის პირველი კანონი

(ა) მაგნიტი



ყოველდღიური ცხოვრება წარმოუდგენელია სხვა-დასხვა დანიშნულების ტექნიკის გარეშე, რომელიც ცხოვრებას აადვილებს. ტექნიკის დახმარებით ადამიანები ხნავენ მინას, მოიპოვებენ ნავთობს, აირს, მადანს და სხვა სასარგებლო წიაღისეულს, „ამოკლებენ“ დიდ მანძილებს და სხვ. ყოველგვარი ტექნიკის მთავარი თვისება მის მიერ მუშაობის შესრულების უნარია.

ამიტომაც ადამიანები ძველი დროიდან ცდილობდნენ, შეექმნათ მუდმივად მომუშავე „perpetuum mobile“, ანუ მუდმივი ძრავა. როგორც ერთ-ერთი საინტერესო იდეა ამ მიმართულებით, შეიძლება განვიხილოთ მე-17 საუკუნის ინგლისელი მღვდლის ჯონ ვილკენსონის ორიგინალური პროექტი, რომელიც მაგნიტური ველის მოქმედებაზე დაფუძნებული.

პროექტის იდეით, მუდმივი ძრავა შემდგენიარად უნდა მუშაობდეს: სფეროს ფორმის მაგნიტი მოთავსებულია მაღალ საყრდენზე, რომელზეც მიმაგრებულია ორი დახრილი სიბრტყე: ზედა სიბრტყე სწორია, ქვედა – ჩაზნექილი (ა).

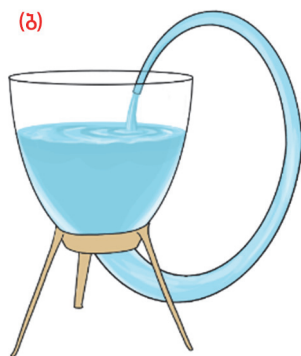
მაგნიტის მიზღუდლობის გამო სწორი სიბრტყის ქვედა ნაწილში მოთავსებული ბურ-თულა ზევით მოძრაობას დაიწყებს და ხერელ 1-ში ჩავარდება. შემდეგ ქვედა, ჩაზნექილ სიბრტყეზე ჩამოვარდება, ხერელ 2-ში გაძვრება და ისევ სწორი სიბრტყის დასაწყისში აღმოჩნდება. მერე ყველაფერი თავიდან გამეორდება.

• იმუშაებს თუ არა მუდმივად ეს ძრავა? რატომ?

• რომელი ფუნდამენტური კანონი უნდა სრულდებოდეს იმისათვის, რომ ძრავამ იმუშაოს?

კვლევითი სამუშაო-1. შეიძლება თუ არა, უწყვეტად სრულდებოდეს მუშაობა დამატებითი ენერგიის მიღების გარეშე?

აზრობრივი ექსპერიმენტი. ფრანგმა გამომგონებელმა დენი პაპენმა (1647 – 1712) წარმოადგინა მარტივი ჰიდრავლიკური მანქანის პროექტი, რომელიც მუდმივად შეძლებდა მუშაობას. პროექტის მიხედვით, განიერი ჭურჭლის შევიწროებულ ფუძეზე მიდებულია მოხრილი მილი ისე, რომ მილის მეორე ბოლო ჭურჭლის ღია ზედაპირის ზევითაა (ბ). გამომგონებლის აზრით, რადგან წყლის წონა ჭურჭლის განიერ ნაწილში მეტია, ვიდრე ვიწრო ნაწილში, წნევათა სხვაობა აღძრავს წყლის მუდმივ მოძრაობას მილის ვიწრო ნაწილისკენ. პაპენის ამ „perpetuum mobile“-მ არ იმუშავა.



იმჯველეთ შედეგებზე:

- რაში მდგომარეობს გამომგონებლის შეცდომა? რომელი კანონი არ გაითვალისწინა მან ძრავას კონსტრუქციაში?
- როგორ არის შესაძლებელი მუდმივი მექანიკური მუშაობის შესრულება?

თერმოდინამიკის პირველი კანონი. ბუნების ერთ-ერთი ფუნდამენტური კანონის – ენერგიის მუდმივობის კანონის მიხედვით, ჩაკეტილი სისტემის სრული (მექანიკური და შინაგანი) ენერგია მუდმივი რჩება ამ სისტემის შიგნით მიმდინარე ყველა პროცესის დროს:

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

როდესაც ენერგიის მუდმივობის კანონს სითბური პროცესებისთვის იყენებენ, მას თერმოდინამიკის პირველ კანონს უწოდებენ:

- თერმოდინამიკური სისტემის შინაგანი ენერგიის ცვლილება სითბოს რაოდენობის, რომელიც სისტემას გადაეცა და გარე ძალების მუშაობის, რომელიც სისტემის მიმართ შესრულდა, ჯამის ტოლია:

$$\Delta U = Q + A \quad (7.11)$$

თუ სისტემა ჩაკეტილი და იზოლირებულია, ეს ნიშნავს, რომ მის მიმართ გარე ძალები მუშაობას არ ასრულებენ ($A = 0$) და გარემოსთან სითბური მიმოცვლა არ ხდება ($Q = 0$). ამ შემთხვევაში, თერმოდინამიკის პირველი კანონის თანახმად, ჩაკეტილი, იზოლირებული სისტემის შინაგანი ენერგია არ იცვლება:

$$\Delta U = U_2 - U_1 = 0 \rightarrow U_2 = U_1$$

რადგან მუშაობა, რომელსაც სისტემა გარე ძალების დასაძლევად ასრულებს, გარე ძალების მიერ სისტემაზე შესრულებული მუშაობის ტოლია, ოღონდ საპირისპირო ნიშნით: $A = -A'$, თერმოდინამიკის პირველ კანონს ამ შემთხვევაში ასეთი სახე ექნება:

- სითბოს რაოდენობა, რომელიც თერმოდინამიკურ სისტემას გადაეცა, დაიხარჯება სიტემის შინაგანი ენერგიის შეცვლასა და მუშაობაზე, რომელსაც სისტემა გარე ძალების დასაძლევად შეასრულებს:

$$Q = \Delta U + A' \quad (7.12)$$

ენერგიის მუდმივობის კანონის აღმოჩენის შემდეგ ცხადი გახდა, რომ შეუძლებელია პირველი გვარის მუდმივი ძრავას შექმნა.

- პირველი გვარის მუდმივი ძრავა („perpetuum mobile I“) ისეთი ძრავაა, რომელიც ერთხელ ამოქმედების შემდეგ გარედან ენერგიის მიღების გარეშე, მუდმივად შეასრულებს მუშაობას.

(7.11) გამოსახულების თანახმად, იმისათვის, რომ სისტემამ მუშაობა შეასრულოს, მან ენერგია ან გარედან უნდა მიიღოს, ან საკუთარი შინაგანი ენერგია გამოიყენოს:

$$A' = Q - \Delta U \quad (7.13)$$

ნინაალმდეგ შემთხვევაში, ანუ თუ $Q = 0$ და $\Delta U = 0$, მუშაობაც ნულის ტოლი იქნება $A' = 0$

ეს კი ნიშნავს, რომ მუდმივი ძრავის არსებობა შეუძლებელია.

თერმოდინამიკის პირველი კანონის გამოყენება სხვადასხვა პროცესებისათვის.

1. იზოთერმული პროცესი ($m = \text{const}$, $T = \text{const}$).

რადგან ამგვარი პროცესის დროს სისტემის ტემპერატურა არ იცვლება, მუდმივი რჩება სისტემის შინაგანი ენერგიაც, ე. ი. შინაგანი ენერგიის ცვლილება ნულის ტოლია:

$$U = \text{const} \rightarrow \Delta U = 0.$$

თერმოდინამიკის პირველი კანონის გამოსახულებებიდან (7.11) და (7.12) მივიღებთ:

$$Q = A' \quad (7.14)$$

$$Q = -A \quad (7.15)$$

•იზოთერმული პროცესის დროს სისტემისთვის გადაცემული მთელი სითბოს რაოდენობა მუშაობის შესრულებაზე იხარჯება.

2. იზოქორული პროცესი ($m = \text{const}$, $V = \text{const}$).

რადგან ამ პროცესის დროს სისტემის მოცულობა არ იცვლება, (7.10) გამოსახულების თანახმად, მუშაობა არ სრულდება ($A = 0, A' = 0$). თერმო-დინამიკის პირველი კანონის თანახმად, მივიღებთ:

$$Q = \Delta U \quad (7.16)$$

ერთატომიანი იდეალური აირისთვის:

$$Q = \Delta U = \frac{3}{2} \frac{m}{M} R \Delta T \quad (7.17)$$

•იზოქორული პროცესის დროს სისტემისთვის გადაცემული სითბოს რაოდენობა მთლიანად მისი შინაგანი ენერგიის შეცვლაზე იხარჯება.

ერთატომიანი იდეალური აირის კუთრი სითბოტევადობა მუდმივი მოცულობის დროს. თუ (7.17) გამოსახულებას გავითვალისწინებთ ერთატომიანი იდეალური აირის სითბოს რაოდენობის (7.4) $Q = cm\Delta t$ გამოსახულებაში კუთრი სითბოტევადობისთვის (მუდმივი მოცულობის დროს), მივიღებთ:

$$c_V = \frac{3}{2} \frac{R}{M} \quad (7.18)$$

3. იზობარული პროცესი ($m = \text{const}$, $p = \text{const}$).

ამგვარ პროცესებში სისტემის წნევა არ იცვლება, ტემპერატურა და მოცულობა – იცვლება. ამ პროცესისთვის თერმოდინამიკის პირველ კანონს ასეთი სახე აქვს:

$$Q = \Delta U + A' = \Delta U + p\Delta V. \quad (7.19)$$

•იზობარული (გაფართოების) პროცესის დროს სისტემისთვის გადაცემული სითბოს რაოდენობა იხარჯება სისტემის შინაგანი ენერგიის გაზრდასა და სისტემის მიერ გარე ძალების დაძლევაზე შესრულებულ მუშაობაზე.

ერთატომიანი იდეალური აირის კუთრი სითბოტევადობა მუდმივი წნევის დროს.

(7.19) გამოსახულებაში (7.17)-ის გათვალისწინებით ერთატომიანი იდეალური აირის-თვის მივიღებთ:

$$\begin{cases} A' = p\Delta V = \frac{m}{M} R \Delta T, \\ \Delta U = \frac{3}{2} \frac{m}{M} R \Delta T \end{cases} \quad (7.20)$$

აქედან:

$$Q = \frac{5}{2} \frac{m}{M} R \Delta T. \quad (7.21)$$

ამ გამოსახულების საფუძველზე ერთატომიანი იდეალური აირის კუთრი სითბოტევადობა მუდმივი წნევის დროს, შეგვიძლია, გამოვივსვალოთ ფორმულით:

$$c_p = \frac{5}{2} \frac{R}{M} = c_V + \frac{R}{M}. \quad (7.22)$$

$$\Delta U = 0,6 Q, \quad (7.23)$$

$$\Delta U = 1,5 A', \quad (7.24)$$

$$A' = 0,4 Q. \quad (7.25)$$

4. ადიაბატური პროცესი ($m = \text{const}$, $Q = 0$).

• **ადიაბატური პროცესი** არის პროცესი, რომელიც სისტემასა და გარემოს შორის სითბური მიმოცვლის გარეშე მიმდინარეობს.

რადგან ამ პროცესში არ ხდება სითბოს მიმოცვლა სისტემასა და გარემოს შორის, თერმოდინამიკის პირველ კანონს ასეთი სახე ექნება:

$$\Delta U = -A'$$

ან

$$\Delta U = A \quad (7.26)$$

აირის ადიაბატური გაფართოების დროს მისი ტემპერატურა და შინაგანი ენერგია მცირდება, ანუ აირი ცივდება, ხოლო ადიაბატური შეკუმშვის დროს, პირიქით, მისი ტემპერატურა და შინაგანი ენერგია იზრდება, ანუ აირი ცხელდება.

კვლევითი სამუშაო-2. გამოყენება. რამდენად შეიცვალა შინაგანი ენერგია?

ამოცანა: ერთატომიანი იდეალური აირი $2 \cdot 10^5$ პა წნევის დროს იზობარულად გაფართოვდა. მისი მოცულობა $\Delta V = 0,5 \text{ მ}^3$ -ით გაიზარდა. განსაზღვრეთ ამ პროცესში აირის შინაგანი ენერგიის ცვლილება და მიღებული სითბოს რაოდენობა.

იხსაველეთ შედეგებზე:

- რის ტოლია ერთატომიანი იდეალური აირის შინაგანი ენერგიის ცვლილება მისი იზობარული გაფართოების დროს?
- როგორ განსაზღვრება ამ პროცესში იდეალური აირის მიერ მიღებული სითბოს რაოდენობა?

შეძენილი ცოდნის გამოყენება ყოველდღიურ ცხოვრებაში:

ალბათ, დაკვირვებებიანთ ზაფხულში თავსხმა წვიმასა და სეტყვას. როგორ ხდება ეს? დედამიწის ზედაპირთან გამთბარი ჰაერი ატმოსფეროს ზედა ფენებისკენ დიდი სიჩქარით გადაადგილდება, ფართოვდება და მკვეთრად ცივდება. ჰაერში არსებული წყლის ორთქლი პატარა წვეთებად კონდენსირდება, ყინულის კრისტალებად გადაიქცევა და „მძიმე“ ღრუბლებს წარმოქმნის. შემდეგ დედამიწაზე წვიმის ან სეტყვის სახით მოდის.

• რომელი პროცესი ხდება ჰაერში (აირში) აღწერილი ატმოსფერული მოვლენების დროს?

შეაფასეთ თქვენი ცოდნა:

1. რომელი ცნებები გაიმეორეთ გაკვეთილზე? რა გაიგეთ კარგად და რა დარჩა თქვენთვის ნაწილობრივ გაუგებარი?
2. ბუნების რომელი ფუნდამენტური კანონის გამოხატულებაა თერმოდინამიკის პირველი კანონი?
3. რა მნიშვნელოვანი დასკვნის გაკეთება შეიძლება თერმოდინამიკის პირველი კანონიდან?
4. იზოქორული პროცესის დროს აირისთვის გადაცემული სითბოს რაოდენობა რატომ იხარჯება მთლიანად აირის შინაგანი ენერგიის ცვლილებაზე?
5. იზოთერმული პროცესის დროს აირისთვის გადაცემული სითბოს რაოდენობა რატომ არის შესრულებული მუშაობის ტოლი?
6. რის ხარჯზე სრულდება მექანიკური მუშაობა აირის ადიაბატური გაფართოების დროს?
7. რის ხარჯზე სრულდება მექანიკური მუშაობა ადიაბატური შეკუმშვის დროს?

რა შეიტყუეთ? სამუშაო რეველში დანერგეთ დასახელებული ცნებების მოკლე განმარტებები: „თერმოდინამიკის პირველი კანონი“, „თერმოდინამიკის პირველი კანონი იზოთერმული პროცესისთვის“, „თერმოდინამიკის პირველი კანონი იზობარული პროცესისთვის“, „თერმოდინამიკის პირველი კანონი იზოქორული პროცესისთვის“, „ადიაბატური პროცესი“, „პირველი გვარის მუდმივი ძრავა“.

7.3 თერმოდინამიკის მეორე კანონი. სითბური ძრავების მუშაობის პრინციპი

ზოგჯერ გვხვდება მექანიკური მოვლენები, რომლებშიც პროცესი პირდაპირი და შებრუნებული მიმართულებით აბსოლუტურად ერთნაირად მიმდინარეობს. მაგალითად, თუ მათემატიკური ან ზამბარიანი ქანქარის რხევის პროცესის ვიდეოჩანაწერს გავაკეთებთ, მისი პირდაპირი და შებრუნებული მიმართულებით დემონსტრირების დროს ვნახავთ, რომ რხევის პროცესი შებრუნებული მიმართულებით ზუსტად იმეორებს რხევის პროცესს ჩანაწერის პირდაპირი დემონსტრირების დროს.

- რა შეიძლება ეწოდოს მოვლენის ფორმის ასეთი გამეორებას? რამდენად მნიშვნელოვანია ამ მოვლენებისთვის პროცესის განვითარების მიმართულება?
- სრულდება თუ არა ამ მოვლენების დროს ენერგიის მუდმივობის კანონი? პასუხი დაასაბუთეთ.

მაგრამ ბუნების ყველა მოვლენას ერთი გარკვეული მიმართულება აქვს; მაგალითად, მცენარეების ზრდა, წყლის ვარდნა ჩანჩქერში, ადამიანის დაბერება და სხვ. ასევე გარკვეული მიმართულება ახასიათებს ცხოვრებისეულ მოვლენებს, რომლებში ჩვენც ვმონაწილეობთ; მაგალითად, ფეხბურთელის დარტყმის შემდეგ ბურთი ჯერ აჩქარდება, შემდეგ შენელებს და გაჩერდება, ასევე სიმაღლიდან ვარდნილი ქვა დავარდნის შემდეგ ჩერდება, ჩაიდანში უყურადღებოდ დატოვებული წყალი მთლიანად ორთქლად გადაიქცევა და სხვ.

- შეიძლება თუ არა, ყველა ეს პროცესი თავისთავად განხორციელდეს შებრუნებული მიმართულებით? მაგალითად, წვიმის ნაკადი დედამიწიდან ცისკენ მიიმართოს, ქვა ზევით ავარდეს, გაჩერებული ბურთი აჩქარებით ამოძრავდეს ფეხბურთელისკენ, ჩანჩქერის „ნაკადი“ ზევით იყოს მიმართული, მოხუცი გაახალგაზრდავდეს და სხვა?
- რა შეიძლება ეწოდოს პროცესებს, რომლებიც მხოლოდ ერთი მიმართულებით მიმდინარეობს?
- სრულდება თუ არა მათთვის თერმოდინამიკის პირველი კანონი?

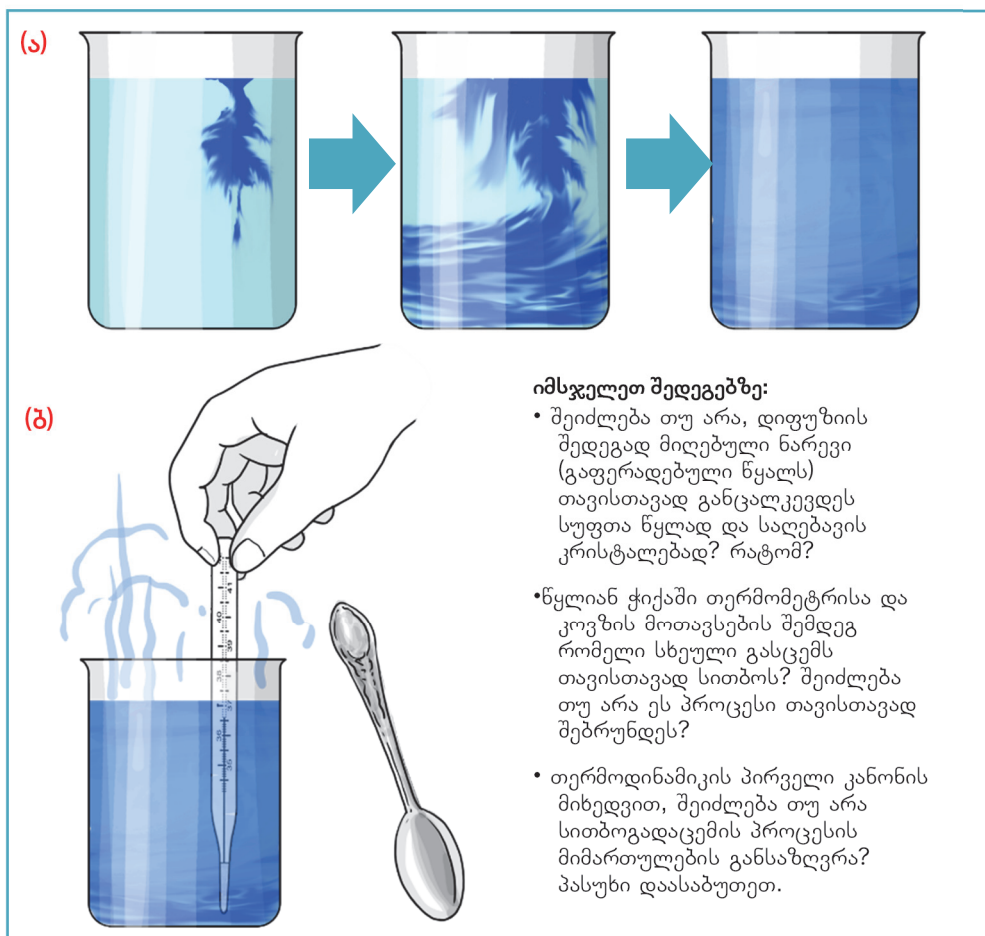
კვლევათი სამუშაო-1. რა დასკვნას გააკეთებთ დაკვირვებიდან, რომელსაც სამუშაოს დროს განახორციელებთ?

სამუშაოსთვის საჭიროა: წყლის გამაცხლებელი, ლაბორატორიული ჭიქა (2 ცალი), სალბავის კრისტალები, მეტალის კოვზი, თერმომეტრი.

სამუშაოს მსვლელობა:

ცდა 1. ჭიქა თბილი წყლით გაავსეთ. ჩაყარეთ სალბავის კრისტალები წყალში და დააკვირდით დიფუზიის პროცესს, ანუ წყლის მთელი მოცულობის გაფერადებას (**ა**).

ცდა 2. მეორე ჭიქაში ჩაასხით თბილი წყალი და თერმომეტრით გაზომეთ მისი ტემპერატურა. გარკვეული დროის შემდეგ ჭიქაში ოთახის ტემპერატურის კოვზი ჩაუშვით (**ბ**). განსაზღვრეთ ტემპერატურა სითბური წონასწორობის დამყარების შემდეგ.



თერმოდინამიკის მეორე კანონი. თერმოდინამიკის პირველი კანონი ენერგიის მუდმივობის კანონია სითბური პროცესებისათვის. ეს კანონი ადასტურებს პირველი გვარის მუდმივი ძრავას შექმნის შეუძლებლობას. მაგრამ ეს კანონი ვერ განსაზღვრავს სითბოგადაცემის პროცესის მიმართულებას. მაგალითად, შევახოთ ერთმანეთს ორი სხეული, რომლებსაც სხვადასხვა ტემპერატურა აქვთ. გარკვეული დროის შემდეგ მათ შორის სითბური წონასწორობა დამყარდება, ანუ თერმოდინამიკის პირველი კანონის თანახმად, რა რაოდენობის სითბოსაც გასცემს უფრო ცხელი სხეული, იმავე რაოდენობის სითბოს შეიძენს უფრო ცივი სხეული. ეს პროცესი პირიქით რომ განხორციელებულიყო, ანუ ცივ სხეულს თავისთავად, გარედან ჩარევის გარეშე გადაეცა სითბო ცხელი სხეულისთვის, თერმოდინამიკის პირველი კანონი მაინც შესრულდებოდა. მაგრამ საუკუნეების განმავლობაში ვერც ერთი ექსპერიმენტი ვერ დადასტურდა ამ პროცესის თავისთავად განხორციელების შესაძლებლობა.

სხვა სიტყვებით, თერმოდინამიკურ სისტემაში სითბოგადაცემის პროცესი შეუქცევადია. ეს იდეა, რომელიც 1850 წელს გამოთქვა გერმანელმა მეცნიერმა რ. კლაუზიუსმა (1822 – 1888), საფუძვლად უდევს თერმოდინამიკის მეორე კანონს:

•**შეუძლებელია განხორციელდეს პროცესი, რომლის შედეგი ცივი სხეულიდან ცხელი სხეულისათვის სითბოს თავისთავადი გადაცემა იქნება.** სითბური ენერგია თავისთავად შეიძლება გადაეცეს მხოლოდ სითბური წონასწორობის დამყარების მიმართულებით, ანუ ცხელიდან ცივ სხეულს.

თერმოდინამიკის მეორე კანონი გამოხატავს კანონზომიერებას, რომელიც განსაზღვრავს თერმოდინამიკური პროცესის მიმართულებას. ამ კანონის მიხედვით, შედარებით ცივი სხეულიდან ცხელი სხეულისთვის სითბოს თავისთავად გადაცემის პროცესი შეუძლებელია. ის შეიძლება მხოლოდ მუშაობის შესრულების შედეგად განხორციელდეს.

შემდგომი კვლევებით გაირკვა, არა მარტო სითბური პროცესები, არამედ საერთოდ ყველა ბუნებრივი პროცესი შეუქცევადია.

•**შეუქცევადი პროცესი** არის პროცესი, რომლის თავისთავადი განვითარება საპირისპირო მიმართულებით შეუძლებელია.

სითბური ძრავას მუშაობის პრინციპი. სითბური ძრავების (მანქანების) მუშაობის სამეცნიერო საფუძველია თერმოდინამიკის მეორე კანონი.

•**სითბური მანქანა** თერმოდინამიკური სისტემაა, რომელიც ასრულებს ციკლურ პროცესს (ასრულებს მექანიკურ მუშაობას) – სითბოს ერთი სხეულიდან მეორე სხეულს უწყვეტად გადასცემს დროის განმავლობაში.

სითბური მანქანები ორი სახისაა: **სითბური ძრავები** და **სამაცივრო დანადგარები**.

•**სითბური ძრავა** ენოდება დანადგარს, რომელიც სხვადასხვა სახის საწვავის შინაგან ენერგიას მექანიკურ მუშაობად გარდაქმნის.

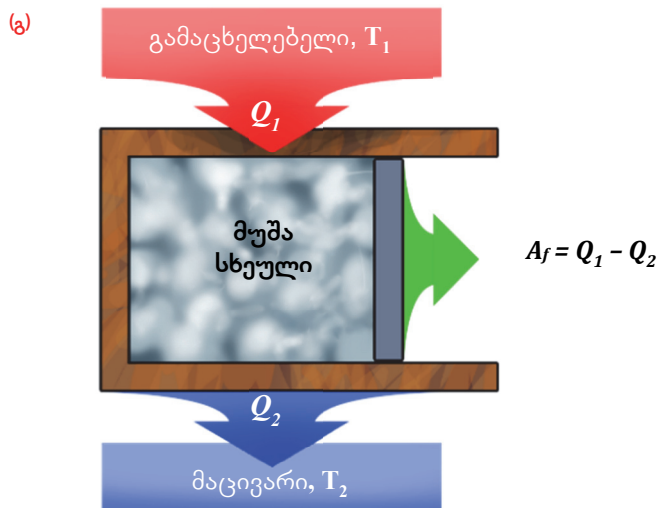
კონსტრუქციული განსხვავებების მიუხედავად, ყველა სითბურ ძრავას სამი ძირითადი ნაწილი აქვს (იხ. ფიზიკა 8, გვ. 90-92).

1. **გამაცხელებელი** – ძრავას ნაწილი, რომელიც მუდმივად მაღალ T_1 ტემპერატურას ინარჩუნებს სხვადასხვა საწვავის წვის ან ბირთვული რეაქციის შედეგად გამოყოფილი ენერგიის ხარჯზე.
2. **მუშა სხეული** – აირი ან ორთქლი, რომელიც ფართოვდება ან იკუმშება და მუშაობას ასრულებს.
3. **მაცივარი** – ძრავას ნაწილი, რომლის ტემპერატურა T_2 გამაცხელებლის ტემპერატურაზე ნაკლებია ($T_2 < T_1$). მის ფუნქციას ზოგჯერ გარემო (მაგ., ატმოსფერო) ან წყალი ასრულებს.

სითბური ძრავას მუშაობის პრინციპული სქემა შემდეგია: მუშა სხეული გამაცხელებლისგან იღებს Q_1 სითბოს რაოდენობას, მაცივარს გადასცემს Q_2

სითბოს რაოდენობას და თითოეული ამ ციკლის განმავლობაში $A_{სს}$ სასარგებლო მუშაობას ასრულებს (ა):

$$A_{\Pi} = Q_1 - Q_2. \quad (7.27)$$



სითბური ძრავას უწყვეტი მუშაობისთვის ძრავაში მიმდინარე ფიზიკური პროცესი ციკლური უნდა იყოს. პროცესის დასაწყისში მუშა სხეული (აირი) მიღებული სითბოს ხარჯზე ფართოვდება, მოქმედებს დგუშზე და ასრულებს მუშაობას, შემდეგ იკუმშება და საწყის მდგომარეობაში ბრუნდება. ამის შემდეგ აირი ისევ ფართოვდება და ეს ციკლი მეორდება (ხახუნი და სითბოს დანაკარგი ძრავაში მინიმუმამდეა შემცირებული) (იხ. გ).

1851 წელს ინგლისელმა მეცნიერმა უილიამ (კელვინ) ტომსონმა (1824 – 1907) სითბური ძრავას მუშაობის პრინციპის შესწავლის შემდეგ სხვა სახით ჩამოაყალიბა თერმოდინამიკის მეორე კანონი:

• *სითბურ ძრავას, რომელიც ციკლურ პროცესს ასრულებს, მაცივრის გარეშე მუშაობა არ შეუძლია.*

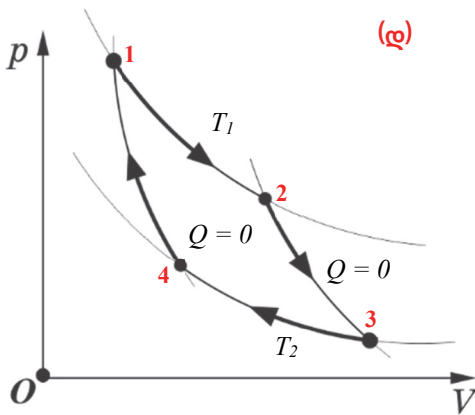
მართლაც, გამაცხელებლისგან მიღებული Q_1 სითბოს რაოდენობის მხოლოდ ნაწილი ხმარდება სასარგებლო მუშაობის შესრულებას. იმისათვის, რომ ძრავას მუშაობის ციკლი გაგრძელდეს, საჭიროა, დარჩენილი სითბოს რაოდენობა Q_2 მაცივარს გადაეცეს. მახასიათებელი, რომელიც განსაზღვრავს გამაცხელებლისგან მიღებული სითბოს რა რაოდენობა დაიხარჯა სასარგებლო მუშაობის შესრულებაზე, სითბური ძრავას მარგი ქმედების კოეფიციენტი (მქკ).

• *სითბური ძრავას მარგი ქმედების კოეფიციენტი (η) ეწოდება ძრავას მიერ შესრულებული სასარგებლო მუშაობის შეფარდებას გამაცხელებლისგან მიღებულ სითბოს რაოდენობასთან:*

$$\eta = \frac{A_{სს}}{Q_1} = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{Q_2}{Q_1}. \quad (7.28)$$

რადგან სითბური ძრავას მუშაობისთვის მაცივრის არსებობა აუცილებელია, მისი მქკ ყოველთვის 100%-ზე ნაკლებია. ეს კი ნიშნავს, რომ თერმო-დინამიკის

მეორე კანონი ადასტურებს მეორე გვარის მუდმივი ძრავას (*perpetuum mobile II*) შექმნის შეუძლებლობას.



•მეორე გვარის მუდმივი ძრავა (*perpetuum mobile II*) არის ძრავა, რომელიც გამაცხელებლისგან მიღებულ სითბოს რაოდენობას მთლიანად სასარგებლო მუშაობად გარდაქმნის.

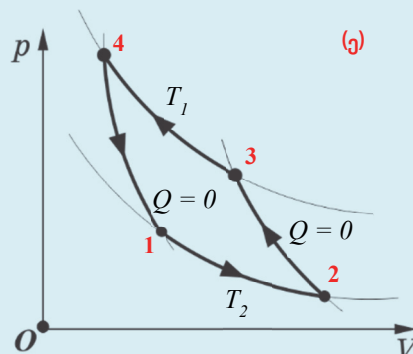
1824 წელს ფრანგმა მეცნიერმა სადი კარნომ (1796 – 1832) ჩამოაყალიბა იდეალური სითბური ძრავას (ძრავა, რომლის მუშაობა აირის კანონებს ემორჩილება) მუშაობის თეორიული პრინციპები. ამ თეორიის მიხედვით, იდეალური სითბური ძრავას მაქსიმალური მქც და-მოკიდებულია გამაცხელებლისა და მა-ცივრის აბსოლუტურ ტემპერატურებზე:

$$\eta_{\text{მაქს}} = \frac{T_1 - T_2}{T_1} = 1 - \frac{T_2}{T_1}. \quad (7.29)$$

(7.29) გამოსახულებიდან ჩანს, რომ ძრავას მქც-ის გასაზრდელად საჭიროა გამაცხელებლის ტემპერატურის გაზრდა და მაცივრის ტემპერატურის შემცირება.

ციკლური პროცესი, რომელიც იდეალურ სითბურ ძრავაში მიმდინარეობს, ორი იზოთერმული და ორი ადიაბატური პროცესისგან შედგება და კარნოს ციკლი ეწოდება (დ). სითბური ძრავებისთვის ამ ციკლს პირდაპირი ციკლი ეწოდება.

სამაცივრო დანადგარების მუშაობის პრინციპი. ძრავას სამაცივრო დანადგარის რეჟიმში მუშაობისთვის კარნოს ციკლის შებრუნებული ციკლი უნდა განხორციელდეს (ე).



სამაცივრო დანადგარში ენერგიის გარდაქმნის სქემიდან ჩანს, რომ მუშა სხეული ფართოვდება და გაფართოების დროს მაცივრისგან გარკვეული Q_2 რაოდენობის სითბოს იღებს. ამის შემდეგ, გარე ძალები ასრულებენ A მუშაობას და კუმშავენ მუშა სხეულს, შედეგად, მუშა სხეული გამაცხელებელს გარკვეული Q_1 რაოდენობის სითბოს გადასცემს ($Q_1 > Q_2$) (ვ):

$$Q_1 = Q_2 + A.$$

როგორც ვხედავთ, ცივი სხეულიდან ცხელი სხეულისთვის სითბოს გადაცემა, თერმოდინამიკურ სისტემაში, ხდება არა თავისთავად, არამედ გარე ძალების მიერ შესრულებული მუშაობის შედეგად.

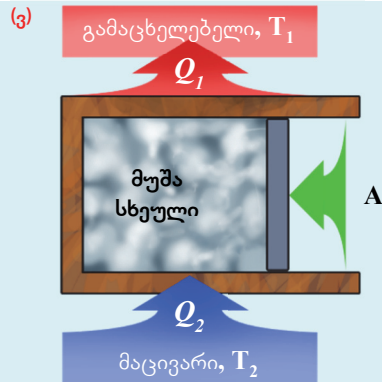
სამაცივრო დანადგარის მნიშვნელოვანი მახასიათებელია გაცივების კოეფიციენტი.

გაცივების კოეფიციენტი (ξ – ქსი) ეწოდება მაცივრიდან მიღებული სითბოს რაოდენობის შეფარდებას გარე ძალების მიერ (მაგალითად, ელექტროძრავას მიერ) შესრულებულ მუშაობასთან:

$$\xi = \frac{Q_2}{A} = \frac{Q_2}{Q_1 - Q_2}. \quad (7.30)$$

იდეალური სამაცივრო დანადგარის გაცივების კოეფიციენტია:

$$\xi_{\text{მაქს}} = \frac{T_2}{T_1 - T_2}. \quad (7.31)$$



კვლევითი სამუშაო-2. გამოყენება. სითბური ძრავას მიერ შესრულებული სასარგებლო მუშაობის განსაზღვრა.

ამოცანა: სითბურმა ძრავამ გამაცხელებლისგან 800 კჯ სითბოს რაოდენობა მიიღო. ამის შემდეგ მან შეასრულა სასარგებლო მუშაობა, რომელიც მაცივრისთვის გადაცემული სითბოს რაოდენობის 40%-ის ტოლია. განსაზღვრეთ სითბური ძრავას მიერ შესრულებული სასარგებლო მუშაობა.

იმაჯვლეუთ შედეგებზე:

- რომელი ფორმულით გამოითვლება სითბური ძრავას მიერ შესრულებული სასარგებლო მუშაობა?
- რის ტოლია სითბური ძრავას სასარგებლო მუშაობა, რომელიც ამოცანის ამოხსნის შემდეგ მიიღეთ?

შეძენილი ცოდნის გამოყენება ყოველდღიურ ცხოვრებაში:

შეადარეთ ავტომობილის ძრავას მქკ-ის მაქსიმალური მნიშვნელობა ზამთრისა და ზაფხულის თვეებში. ძრავას გამაცხელებლის ტემპერატურა 1000°C-ია, ატმოსფეროს ტემპერატურა ზამთარში – 3°C, ზაფხულში – 37°C.

- რაზეა დამოკიდებული სითბური ძრავას მქკ-ის მაქსიმალური მნიშვნელობა?
- როგორ ამინდშია მაქსიმალური მქკ-ის მნიშვნელობა უფრო მეტი?

შეაფასეთ თქვენი ცოდნა:

1. რომელი ცნებები გაიმეორეთ გაკვეთილზე? რა გაიგეთ კარგად და რა დარჩა თქვენთვის ნაწილობრივ გაუგებარი?
2. რა არის ბუნების მოვლენებისთვის დამახასიათებელი ძირითადი თვისება?
3. ჩამოაყალიბეთ თერმოდინამიკის მეორე კანონი.
4. რა არის მეორე გვარის მუდმივი ძრავა?
5. რის ტოლია სითბური ძრავას მქკ?
6. რის ტოლია იდეალური სითბური ძრავას მქკ?
7. რა მნიშვნელობა აქვს თერმოდინამიკის მეორე კანონის ცოცხალი სისტემებისთვის?

რა შეიტყვით? სამუშაო რვეულში დანერგეთ დასახელებული ცნებების მოკლე განმარტებები: „თერმოდინამიკის მეორე კანონის განმარტება კლაუზიუსის მიხედვით“, „თერმოდინამიკის მეორე კანონის განმარტება ტომსონის მიხედვით“, „შეუქცევადი პროცესი“, „სითბური ძრავა“, „სითბური ძრავას ძირითადი ნაწილები“, „სითბური ძრავას მქკ“, „მეორე გვარის მუდმივი ძრავა“, „კარნოს ციკლი“.

- **პროექტი** • მოამზადეთ ელექტრონული პრეზენტაცია თემაზე „სითბური ძრავები და გარემო“

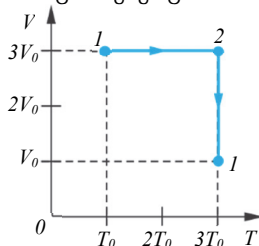
პროექტის გეგმა:

1. სითბური ძრავების გავლენა გარემოს დაბინძურებაზე.
2. მყარი საწვავის გამოყენების დადებითი და უარყოფითი ასპექტები.
3. ატმოსფეროში „სითბურის“ ეფექტის გაჩენა და მისი მავნე ზემოქმედება გარემოზე.
4. „ძრავას მქკ-ის გაზრდის პერსპექტივები“.

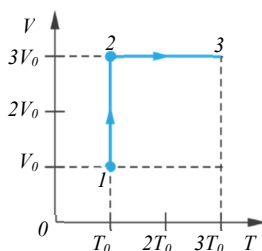
ღესურსები:

- az.wikipedia.org > Ətraf mühitin çirklənməsi
- eco.gov.az/uploads/hesabat/Jurnal-1.pdf
- [library.adau.edu.az/upload/book/324_mühazirə 9.doc](http://library.adau.edu.az/upload/book/324_mühazirə%209.doc)
- [ardda.gov.az>NewSite/wp-content/uploads/2012/07/...](http://ardda.gov.az/NewSite/wp-content/uploads/2012/07/...)
- [unece.org>fileadmin/DAM/env/eia/meetings/...](http://unece.org/fileadmin/DAM/env/eia/meetings/...)
- wikimapia.org/29881298...Ətraf-mühitin-çirklənməsi
- [video.yandex.ru>istilik mühərrikləri və ətraf mühitin çirklənməsi](http://video.yandex.ru/istilik_mühərrikləri_və_ətraf_mühitin_çirklənməsi)
- [statistika.nmr.az>source/environment/index.php](http://statistika.nmr.az/source/environment/index.php)
- [aliyasalimova.com>index/fizika...ekologiya_elementl...](http://aliyasalimova.com/index/fizika...ekologiya_elementl...)
- [stat.gov.az>menu/4/e-reports/az/07/007.php](http://stat.gov.az/menu/4/e-reports/az/07/007.php)
- [addy.gov.az>index/pdf/BGW_TK2_Official EIA.pdf](http://addy.gov.az/index/pdf/BGW_TK2_Official_EIA.pdf)
- [book.ilkaddimlar.com>d_pdf_book_diger_23485.do](http://book.ilkaddimlar.com/d_pdf_book_diger_23485.do)
- toyotabaku.az
- [bakuexpocenter.az>az/exhibitions.php](http://bakuexpocenter.az/az/exhibitions.php)
- [ncp.ge>files/ESG...azerbaijanulad/sabunebismetyvelo...](http://ncp.ge/files/ESG...azerbaijanulad/sabunebismetyvelo...)

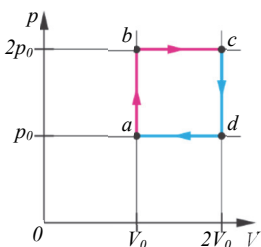
- 7.1. აირადი არგონის ნივთიერების რაოდენობა 2 მოლია. გაცხელების დროს მისი შინაგანი ენერგია $\Delta U = 480$ ჯ-ით იზრდება. რამდენით გაიზარდა ამ დროს არგონის ტემპერატურა? ($\mu = 8$ ჯ/მოლ)?
- 7.2. გამოთვალეთ მუშაობა, რომელიც შესრულდა მოცემული მასის ჰაერის გაფართოების დროს $0,05$ მ³-დან $0,1$ მ³-მდე მუდმივი $2 \cdot 10^5$ პა წნევის დროს.
- 7.3. მოცემული მასის აირმა 2 ლ-დან 5 ლ-მდე იზობარული გაფართოების დროს 4 კჯ მუშაობა შეასრულა. განსაზღვრეთ ჰაერის წნევა.
- 7.4. აირზე შესრულდა 40 კჯ მუშაობა. აირმა გარემოს 60 კჯ სითბოს რაოდენობა გადასცა. როგორ შეიცვალა აირის შინაგანი ენერგია?
- 7.5. იდეალურმა აირმა მდგომარეობა შეიცვალა 1-2-3 პროცესის შესაბამისად. როგორ შეიცვალა აირის შინაგანი ენერგია ამ პროცესის 1-2 და 2-3 ეტაპებზე?



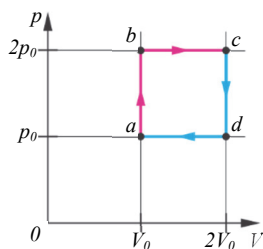
- 7.6. იდეალურმა აირმა მდგომარეობა შეიცვალა 1-2-3 პროცესის შესაბამისად. როგორ შეიცვალა აირის შინაგანი ენერგია ამ პროცესის 1-2 და 2-3 ეტაპებზე?



- 7.7. იდეალური სითბური ძრავას მუშაობის დროს ა ბ ც დ ა ციკლური პროცესი მიმდინარეობს. განსაზღვრეთ მუშაობა, რომელსაც აირი ასრულებს ამ პროცესის ა ბ ც ეტაპზე.



- 7.8. იდეალური სითბური ძრავას მუშაობის დროს ა ბ ც დ ა ციკლური პროცესი მიმდინარეობს. განსაზღვრეთ აირის შინაგანი ენერგიის ცვლილება ამ პროცესის ა ბ ც ეტაპზე.



- 7.9. ჭურჭელში მოთავსებული ერთატომიანი იდეალური აირისთვის 5 კჯ სითბოს რაოდენობის გადაცემის შემდეგ მისი ტემპერატურა 0°C -დან 100°C -მდე გაიზარდა. განსაზღვრეთ:
- რამდენით გაიზარდა აირის შინაგანი ენერგია;
 - ჭურჭელში არსებული ნივთიერების რაოდენობა.
- 7.10. სითბური ძრავას მქკ 20 %-ია. განსაზღვრეთ ძრავას მიერ შესრულებული სასარგებლო მუშაობა, თუ ერთი ციკლის განმავლობაში მაცივრისთვის გადაცემული სითბოს რაოდენობა 1,2 კჯ-ს ტოლია.

აბსოლუტური ტენიანობა – ფიზიკური სიდიდე, რომელიც მოცემულ პირობებში ჰაერში არსებული წყლის ორთქლის წნევის ტოლია.

აბსოლუტური ტენიანობა (ჰაერში არსებული წყლის ორთქლის წნევა) შეიძლება გამოვსახოთ ჰაერში არსებული წყლის ორთქლის პარციალური წნევით მენდელეე-კლაპეირონის განტოლების საშუალებით:

$$p_{\text{წყ}} = \frac{p_{\text{ორთქ}} M}{RT}.$$

სადაც $p_{\text{წყ}}$ ჰაერში არსებული წყლის ორთქლის სიმკვრივე, ანუ ჰაერის აბსოლუტური ტენიანობა, $M = 18$ გ/მოლი – წყლის მოლეკულის მასა, T – ჰაერის ტემპერატურა, $p_{\text{ორთქ}}$ – წყლის ორთქლის პარციალური წნევა, $R = 8,31$ ჯ/მოლი. როგორც წესი, აბსოლუტური ტენიანობა გ/მ³-ში იზომება.

ადიაბატური პროცესი – პროცესი, რომელიც სისტემაში მიმდინარეობს გარემოსთან სითბოცვლის გარეშე.

ავოგადროს რიცხვი (ავოგადროს მუდმივა) – მოლეკულების (ატომების) რაოდენობა 1 მოლ ნივთიერებაში. რიცხობრივად 12 გ ნახშირბადადში $^{12}_6\text{C}$: ატომების რაოდენობის ტოლია:

$$N_A = 6,02 \cdot 10^{23} \text{ მოლ}^{-1}.$$

ავოგადროს კანონი – ტოლი მოცულობის აირებში ერთნაირი ტემპერატურისა და წნევის დროს ერთნაირი რაოდენობის მოლეკულაა.

ათვლის სისტემა – სისტემა, რომელიც შედგება ათვლის სხეულის, ამ სხეულთან დაკავშირებული საკოორდინატო სისტემისა და დროის საზომი ხელსაწყოგან.

ამორფული სხეულები – მყარი სხეულები, რომელთა ატომები და მოლეკულები სივრცეში მოწესრიგებულად არ არის განლაგებული და ამის გამო მათი ფიზიკური თვისებები სხეულის შიგნით ყველა მიმართულებით ერთნაირია, ანუ იზოტროპულია. ამორფულ სხეულებს არ აქვთ კონკრეტული დნობის ტემპერატურა, ანუ გათბობის პროცესში თანდათან რბილდებიან და თხევად მდგომარეობაში გადადიან.

ამპლიტუდა – მერხევი სხეულის მაქსიმალური გადახრა წონასწორობის მდგომარეობიდან.

ანიზოტროპულობა – ნივთიერების (სხეულის) ფიზიკური თვისებების (მექანიკური, სითბური, ელექტრული, ოპტიკური) დამოკიდებულება მიმართულებაზე.

აორთქლება – ორთქლის წარმოქმნის პროცესი, რომელიც ნებისმიერ ტემპერატურის დროს მიმდინარეობს სითხის ზედაპირიდან.

არამასველებელი სითხე – სითხე, რომლის მოლეკულები ერთმანეთთან უფრო დიდი ძალით მიიზიდებიან, ვიდრე მყარი სხეულის მოლეკულებთან. შედეგად ჭურჭელში სითხის თავისუფალი ზედაპირი ამოზურცულია (სითხის მოლეკულებს შორის მოქმედი მიზიდულობის ძალები ცდილობენ, სითხეს წვეთის ფორმა მიაღებინონ). ასე იქცევა, მაგ., ვერცხლიწყალი მინის ზედაპირზე, წყალი – პარაფინზე. არამასველებელი სითხისთვის სასაზღვრო კუთხე (დასველების კუთხე) ბლაგვია (თუ სითხე სრულად არამასველებელია, $\theta = 180^\circ$).

აქსელერომეტრი (ლათ. *accelero* – ვაჩქარებ და ბერძნ. *metreo* – ვზომავ) – ხელსაწყო, რომელიც აჩქარებას ზომავს.

აჩქარება – ვექტორული ფიზიკური სიდიდე, რომელიც ტოლია სიჩქარის ცვლილების შეფარდებისა დროსთან, რომლის განმავლობაშიც ეს ცვლილება მოხდა:

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

აჩქარების ვექტორის მიმართულება ემთხვევა სიჩქარის ცვლილების ვექტორის $\Delta \vec{v}$ მიმართულებას.

ბ

ბოილ-მარიოტის კანონი – მოცემული მასის აირის წნევის ნამრავლი მოცულობაზე, უცვლელი ტემპერატურის დროს, მუდმივი სიდიდეა ($T = const, m = const$):

$$pV = \frac{m}{M}RT = const.$$

მოცემული მასის აირის საწყისი p_1 წნევის ნამრავლი საწყის V_1 მოცულობაზე ამ პარამეტრების მნიშვნელობების p_2 და V_2 ნამრავლის ტოლია ნებისმიერ შემდეგ მდგომარეობაში:

$$p_1 V_1 = p_2 V_2 \rightarrow \frac{p_1}{p_2} = \frac{V_2}{V_1}.$$

მოცემული მასის იდეალური აირის მდგომარეობის ცვლილების პროცესს მუდმივი ტემპერატურის დროს ($T = const$) **იზოთერმული პროცესი** ეწოდება. იზოთერმულ პროცესში აირის წნევა და მოცულობა ერთმანეთის მიმართ უკუპროპორციულად იცვლება.

ბროუნის მოძრაობა – აირში ან სითხეში შენონილი მცირე ზომის ნაწილაკების დაუსრულებელი ქაოსური მოძრაობა.

ბ

გადაადგილება – წრფის მიმართული მონაკვეთი, რომელიც მოძრავი მატერიალური ნერტილის საწყის მდებარეობას მის მომდევნო მდებარეობასთან აერთებს.

გადატანითი მოძრაობა – სხეულის მოძრაობა, როდესაც მისი ყველა ნერტილი ერთნაირ ტრაექტორიაზე მოძრაობს.

გალილეის ფარდობითობის პრინციპი – მექანიკის კანონები ერთნაირია ათვლის ყველა ინერციულ სისტემაში.

განივი ტალღა – ტალღა, რომელიც გარემოს ნაწილაკების რხევის პერპენდიკულარულად ვრცელდება. განივი ტალღები მხოლოდ დრეკად გარემოში და სითხის ზედაპირზე ვრცელდება. განივი ტალღები გარემოში ვრცელდება ამოზექილი და ჩაზნექილი უბნების მონაცვლეობის სახით.

გეი-ლუსაკის კანონი – მოცემული მასის აირის მოცულობის შეფარდება აბსოლუტურ ტემპერატურასთან უცვლელი წნევის დროს მუდმივი სიდიდეა ($p = const, m = const$):

$$\frac{V}{T} = \frac{mR}{M} \cdot \frac{1}{p} = const.$$

უცვლელი წნევის დროს აირის V_1 საწყისი წნევის შეფარდება T_1 საწყის ტემპერატურასთან აირის ნებისმიერ შემდეგ მდგომარეობაში V_2 და T_2 პარამეტრების შეფარდების ტოლია:

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}.$$

იდეალური აირის მდგომარეობის ცვლილების პროცესს მუდმივი წნევის ($p = \text{const}$) დროს **იზობარული პროცესი** ეწოდება. იზობარული პროცესის დროს მოცემული მასის აირის მოცულობა მისი ტემპერატურის პირდაპირპროპორციულია.

გორვის ხახუნის ძალა – ხახუნის ძალა, რომელიც აღიძვრება, როდესაც ერთი სხეული მეორის ზედაპირზე მიგორავს.

გრავიტაციული ველის დაძაბულობა – ვექტორული ფიზიკური სიდიდე – ტოლია მატერიალურ წერტილზე (სხეულზე) გრავიტაციულ ველში მოქმედი მიზიდულობის ძალის შეფარდებისა მის მასასთან:

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

სადაც g გრავიტაციული ველის დაძაბულობაა, m – მატერიალური წერტილის (სხეულის) მასა, F – მიზიდულობის ძალა, რომელიც მატერიალურ წერტილზე მოქმედებს გრავიტაციულ ველში.

გრავიტაციული ველის დაძაბულობის მოდული ველის მოცემულ წერტილში პირდაპირპროპორციულია ამ გრავიტაციული ველის წარმომქმნელი სხეულის მასისა და უკუპროპორციულია სხეულიდან მოცემულ წერტილამდე მანძილის კვადრატისა. გრავიტაციული ველის დაძაბულობის სიდიდე (მოდული) არ არის დამოკიდებული ამ ველში შეტანილი სხეულის მასაზე. გრავიტაციული ველის დაძაბულობის ვექტორი ველის ნებისმიერ წერტილში მიმართულია ველის წარმომქმნელი სხეულის ცენტრისკენ, რადიუსის გასწვრივ. დედამიწის გრავიტაციული ველის მოცემულ წერტილში გრავიტაციული ველის დაძაბულობის ვექტორის მოდული და მიმართულება იგივეა, რაც თავისუფალი ვარდნის აჩქარების ვექტორის მოდული და მიმართულება.

გრავიტაციული მუდმივა – უნივერსალური ფიზიკური მუდმივა, რომელიც პროპორციულობის კოეფიციენტია მსოფლიო მიზიდულობის კანონის ფორმულაში და რიცხობრივად 1 კგ მასის 1 მ-ით დაშორებულ ორ მატერიალურ წერტილს შორის მოქმედი მიზიდულობის ძალის ტოლია.

გრავიტაციული მუდმივას რიცხვითი მნიშვნელობა 1798 წელს ცდებით განსაზღვრა ინგლისელმა მეცნიერმა ჰენრი კავენდიშმა (1731 – 1810). ეს მნიშვნელობა ერთნაირია სამყაროში არსებული ყველა სხეულისთვის, მათი ზომებისა და მასების მიუხედავად:

$$G = 6,67 \cdot 10^{-11} \frac{\text{ნ} \cdot \text{მ}^2}{\text{კგ}^2}.$$

გრავიტაციული ურთიერთქმედების პოტენციური ენერგია – ენერგია, რომელიც აქვს ურთიერთქმედ სხეულებს (ან ნაწილაკებს):

$$E_p = mgh.$$

გრძივი ტალღა – ტალღა, რომელიც გარემოს ნაწილაკების რხევითი მოძრაობის გასწვრივ ვრცელდება. გრძივ ტალღებს ყველა გარემოში (მყარ სხეულებში, სითხეებსა და აირებში) შეუძლიათ გავრცელება. გრძივი ტალღები სივრცეში ვრცელდება ნივთიერების შეკუმშული და გაფართოებული უბნების მონაცვლეობის სახით.

დ

დალტონის კანონი – იდეალური აირების ნარევის წნევა თითოეული აირის პარციალური წნევების ჯამის ტოლია:

$$p = \sum_{i=1}^n p_i = p_1 + p_2 + \dots + p_n.$$

დეფორმაცია – გარე ძალის მოქმედებით სხეულის ფორმისა და ზომების ცვლილება.

დეფორმირებული დრეკადი სხეულის პოტენციური ენერგია – პოტენციური ენერგია, რომელიც დეფორმირებულ დრეკად სხეულს აქვს, სხეულის სიხისტისა და მისი წაგრძელების კვადრატის ნამრავლის ნახევრის ტოლია:

$$E_{\text{პოტ}} = \frac{kx^2}{2}.$$

დინამიკა (ბერძნ. „dynamikos“ – ძლიერი, მძლავრი) – მექანიკის ნაწილი, რომელიც შეისწავლის მექანიკური მოძრაობის წარმოქმნის მიზეზებს და მათ გავლენას მექანიკური მოძრაობის ხასიათზე.

დინამიკის ძირითადი ამოცანა – სხეულის მოძრაობის ხასიათის განსაზღვრა მასზე მოქმედი ძალის მიხედვით, ან პირიქით, სხეულის მოძრაობის ხასიათის მიხედვით განსაზღვრა, როგორი ძალა მოქმედებს სხეულზე.

დნობის კუთრი სითბო – სითბოს რაოდენობა, რომელიც საჭიროა 1 კგ დნობის ტემპერატურამდე მიყვანილი კრისტალური ნივთიერების იმავე ტემპერატურის სითხედ გადაქცევისთვის:

$$\lambda = \frac{Q}{m}.$$

SI სისტემაში დნობის კუთრი სითბოს საზომი ერთეულია:

$$[\lambda] = 1 \frac{\text{ჯ}}{\text{კგ}} = 1 \frac{\text{ჯ}}{\text{კგ}}.$$

დრეკადი ტალღები – დრეკად გარემოში მექანიკური რხევის გავრცელების პროცესი.

დრეკადობის ძალა – ძალა, რომელიც აღიძვრება სხეულის დეფორმაციის დროს და მოქმედებს სხეულის საწყისი ფორმის აღდგენის მიმართულებით.

დროის ერთგვაროვნება – დრო ერთგვაროვანია. ჩაკეტილი სისტემის ფიზიკური თვისებები არ არის დამოკიდებული დაკვირვების დანყების მომენტის არჩევაზე, ანუ დროის ყველა მომენტი ეკვივალენტურია (თანასწორია). მოვლენები, რომელიც ერთსა და იმავე პირობებში, მაგრამ დროის სხვადასხვა პერიოდში ხდება, ერთნაირად მიმდინარეობს.

ე

1 ნიუტონი (1 ნ) – ძალის საზომი ერთეული SI სისტემაში. 1 ნიუტონი არის ძალა, რომლის მოქმედებით 1 კგ მასის სხეული 1 მ/წმ² აჩქარებას შეიძენს:

$$[F] = [m][a] = 1 \frac{\text{კგ} \cdot \text{მ}}{\text{წმ}^2} = 1 \text{ ნ}.$$

ვატი (1 ვტ) – სიმძლავრის საზომი ერთეული SI სისტემაში. 1 ვტ იმ მექანიზმის სიმძლავრეა, რომელიც 1 წმ-ში 1 ჯ მუშაობას ასრულებს.

ვექტორული სიდიდე – სიდიდე, რომელსაც რიცხვითი მნიშვნელობის (მოდულის) გარდა მიმართულებაც ახასიათებს.

ზ

ზამბარიანი ქანქარა – რხევითი სისტემა, რომელიც ზამბარისა და მასზე დამაგრებული სხეულისაგან შედგება.

ზედაპირული დაჭიმულობის კოეფიციენტი – პროპორციულობის კოეფიციენტი ზედაპირული დაჭიმულობის ძალის გამოსათვლელ ფორმულაში. რიცხობრივად ზედაპირის შემომსაზღვრელი კონტურის ერთეულოვან მონაკვეთზე მოქმედი ზედაპირული დაჭიმულობის ძალის ტოლია:

$$\sigma = \frac{F_{\text{დაჭ}}}{l}.$$

ზედაპირული დაჭიმულობის ძალა – ძალა, რომელიც მიმართულია ზედაპირის გასწვრივ, ზედაპირის შემომსაზღვრელი წირის მართობულად და ცდილობს ზედაპირის ფართობის შემცირებას. ზედაპირული დაჭიმულობის ძალა სითხის ზედაპირის მყარი სხეულის ზედაპირთან შეხების საზღვრის სიგრძის პირდაპირპროპორციულია:

$$F_{\text{დაჭ}} = \sigma \cdot l.$$

სადაც $F_{\text{დაჭ}}$ სითხის ზედაპირული დაჭიმულობის ძალაა, l – სითხის ზედაპირის მყარი სხეულის ზედაპირთან შეხების საზღვრის სიგრძე, σ – სითხის ზედაპირული დაჭიმულობის კოეფიციენტი.

თ

თავისუფალი ვარდნა – სხეულის მოძრაობა მხოლოდ სიმძიმის ძალის მოქმედებით (დედამინის მიზიდულობის ძალის მოქმედებით). თავისუფალი ვარდნა თანაბრად აჩქარებული მოძრაობაა უძრავი მდგომარეობიდან ($v_0 = 0$), გ აჩქარებით.

თავისუფალი რხევები – რხევები, რომლებიც ჩაკეტილ სისტემაში აღიძვრება შიდა, კონსერვატიული ძალების მოქმედებით.

თანაბარი მოძრაობა წრეწირზე – მოძრაობა, რომლის ტრაექტორია წრეწირია და წრეწირის ყველა წერტილში მატერიალური წერტილის სიჩქარის მოდული უცვლელი სიდიდეა.

თანაბრად ცვლადი მოძრაობა – მოძრაობა, რომელშიც დროის ნებისმიერ ტოლ შუალედებში სიჩქარე ერთნაირად იცვლება. თანაბრად ცვლადი მოძრაობის დროს აჩქარების სიდიდე და მიმართულება არ იცვლება:

$$\vec{a} = \frac{\vec{v} - \vec{v}_0}{t} = \frac{\Delta \vec{v}}{t} = \text{const.}$$

თეორემა კინეტიკური ენერგიის შესახებ – მუდმივი ძალის მიერ სხეულზე შერულებული მუშაობა სხეულის კინეტიკური ენერგიის ცვლილების ტოლია:

$$A = E_{\text{კინ62}} - E_{\text{კინ61}} = \Delta E_{\text{კინ6}}$$

აქ $E_{\text{კინ61}}$ და $E_{\text{კინ62}}$ სხეულის კინეტიკური ენერგიის საწყისი და საბოლოო მნიშვნელობებია.

თეორემა პოტენციური ენერგიის შესახებ – სიმძიმის ძალის მიერ შესრულებული მუშაობა სხეულის პოტენციური ენერგიის ცვლილების ტოლია, საპირისპირო ნიშნით:

$$A = -(E_{\text{პოტ2}} - E_{\text{პოტ1}}) = \Delta E_{\text{პოტ}}$$

თერმოდინამიკა – ფიზიკის ნაწილი, რომელიც მაკროსკოპული სისტემების სითბურ თვისებებს, მათში ენერგიის გადაცემისა და გარდაქმნის ხერხებს შეისწავლის.

თერმოდინამიკის პირველი კანონი – თერმოდინამიკური სისტემის შინაგანი ენერგიის ცვლილება სითბოს რაოდენობის, რომელიც სისტემას გადაეცა და მუშაობის, რომელიც ამ სისტემის მიმართ შესრულდა, ჯამის ტოლია:

$$\Delta U = Q + A.$$

თერმოდინამიკის პირველი კანონი შეიძლება შემდეგნაირად ჩავწეროთ: სითბოს რაოდენობა, რომელიც თერმოდინამიკურ სისტემას გადაეცა, იხარჯება სისტემის შინაგანი ენერგიის ცვლილებასა და მუშაობაზე, რომელსაც სისტემა გარე ძალების საწინააღმდეგოდ შეასრულებს:

$$Q = \Delta U + A'$$

თერმოდინამიკის მეორე კანონი – განსაზღვრავს თერმოდინამიკური პროცესის მიმართულებას: სითბური ენერგია თავისთავად შეიძლება გადაეცეს მხოლოდ სითბური წონასწორობის დამყარების მიმართულებით, ანუ თბილი სხეულიდან ცივ სხეულს. ცივი სხეულიდან ცხელი სხეულისთვის სითბოს გადაცემა შესაძლებელია მხოლოდ მუშაობის შესრულების შედეგად.

თერმოდინამიკური სისტემა – ნებისმიერი მაკროსკოპული სხეული ან სხეულების სისტემა. მაკროსკოპული სისტემის მდგომარეობა ხასიათდება მაკროსკოპული, ანუ თერმოდინამიკური, პრამეტრებით (მასა, სიმკვრივე, მოცულობა, წნევა, ტემპერატურა).

o

იდეალური აირი – აირი, რომელიც აკმაყოფილებს ჩამოთვლილ პირობებს:

– მოლეკულებს შორის მანძილი მრავალჯერ მეტია მოლეკულების ზომებზე. მოლეკულების ჯამური მოცულობა უმნიშვნელოდ მცირეა, ამიტომ იდეალური აირი უსასრულოდ შეიძლება შევკუმშოთ;

– მოლეკულებს შორის ურთიერთქმედება უსასრულოდ მცირეა და შეიძლება არ გავითვალისწინოთ. ამიტომ მოლეკულების ურთიერთქმედების პოტენციური ენერგია ნულის ტოლია:

$$E_{\text{პოტ}} = 0.$$

– მხოლოდ ერთმანეთთან ან ჭურჭლის კედლებთან დაჯახების დროს აღიძვრება მოლეკულებს შორის განზიდვის ძალები; მოლეკულების დაჯახებები აბსოლუტურად დრეკადია;

– მოლეკულამ შეიძლება ნებისმიერი სიჩქარე შეიძინოს; ყოველი მოლეკულის მოძრაობა ნიუტონის კლასიკური მექანიკის კანონებს ემორჩილება.

იდეალური აირის მდგომარეობის განტოლება – განტოლება, რომელიც აღწერს აირის მდგომარეობას და განსაზღვრავს კავშირს მის მაკროსკოპულ პარამეტრებს შორის სანყის და საბოლოო მდგომარეობაში:

$$\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2} \text{ ან } \frac{pV}{T} = \text{const.}$$

იდეალური აირის მოლეკულურ-კინეტიკური თეორიის ძირითადი განტოლება – განტოლება, რომელიც აკავშირებს აირის მაკროსკოპულ პარამეტრს – წნევას მიკროსკოპულ პარამეტრებთან, რომლებიც აირის მოლეკულებს ახასიათებს:

$$p = \frac{1}{3} m_0 n \overline{v^2}.$$

იზოტროპულობა – ნივთიერების თვისება, როდესაც მისი ფიზიკური თვისებები არ არის დამოკიდებული ნივთიერებაში მიმართულების არჩევაზე – ყველა მიმართულებით ერთნაირია.

იზოქორული პროცესი ($V = \text{const}$) – მოცემული მასის იდეალური აირის მდგომარეობის ცვლილების პროცესი მუდმივი მოცულობის დროს. იზოქორული პროცესის დროს მოცემული მასის აირის წნევა მისი ტემპერატურის პირდაპირპროპორციულია.

იმპულსი – იმპულსი, ანუ მოძრაობის რაოდენობა, ვექტორული ფიზიკური სიდიდეა, რომელიც სხეულის მასისა და სიჩქარის ნამრავლის ტოლია. აღინიშნება $\vec{p}$ ასოთი:

$$\vec{p} = m\vec{v}.$$

იმპულსის მუდმივობის კანონი: ჩაკეტილ სისტემაში შემავალი სხეულების იმპულსების ჯამი მუდმივი სიდიდეა:

$$\vec{p}_1 + \vec{p}_2 + \vec{p}_3 + \dots + \vec{p}_n = \text{const}$$

იუნგის მოდული – პროპორციულობის კოეფიციენტი მექანიკურ ძაბვასა და ფარდობით ნაგრძელებას შორის ჰუკის კანონში. რიცხობრივად იმ მექანიკური ძაბვის ტოლია, რომელიც სხეულში აღიძვრება მისი 2-ჯერ ნაგრძელების დროს. იუნგის მოდული ახასიათებს ნივთიერების უნარს წინააღმდეგობა გაუწიოს დეფორმაციას, დამოკიდებულია მხოლოდ ნივთიერების თვისებებზე და არ არის დამოკიდებული სხეულის ზომებსა და ფორმაზე. მისი საზომი ერთეული SI სისტემაში არის პასკალი:

$$[E] = \frac{[\sigma]}{[\varepsilon]} = 1\text{პა}.$$

იძულებითი რხევები – რხევები, რომელიც პერიოდულად ცვლადი გარე ძალების მოქმედებით მიმდინარეობს.

3

კაპილარი – 10^{-3} მ-ზე ნაკლები დიამეტრის მილი (არხი).

კინეტიკური ენერგია – ენერგია რომელიც აქვს მოძრავ სხეულს:

$$E_{\text{კინ}} = \frac{mv^2}{2}.$$

კონდენსაცია – ორთქლის სითხედ გადაქცევის პროცესი. კონდენსირებისას აირი გარემოს გადასცემს სითბოს რაოდენობას $Q = Lm$. ორთქლის კონდენსაციის დროს გამოიყოფა სითბოს ის რაოდენობა, რომელიც სითხის ორთქლად გადასაქცევად დაიხარჯა.

კრიტიკული ტემპერატურა – ტემპერატურა, რომელზეც ქრება განსხვავება სითხესა და მის ნაჯერ ორთქლს შორის. კრიტიკულზე მაღალ ტემპერატურაზე, რაც უნდა მაღალი წნევის ქვეშ აღმოჩნდეს აირი, შეუძლებელია მისი სითხედ გადაქცევა (კონდენსირება).

კუთხური სიჩქარე (ან წრიული სიხშირე) – ფიზიკური სიდიდე, რომელიც ტოლია წრეწირზე მოძრავი სხეულის შემობრუნების კუთხის შეფარდებისა იმ დროსთან, რომელშიც ეს შემობრუნება შესრულდა:

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

სადაც ω კუთხური სიჩქარეა. წრენირზე თანაბრად მოძრავი მატერიალური ნერტილის კუთხური სიჩქარე მუდმივი სიდიდეა ($\omega = \text{const}$). SI სისტემაში კუთხური სიჩქარის საზომი ერთეულია რადიანი შეფარებული წამთან:

$$[\omega] = 1 \frac{\text{რად}}{\text{წმ}}.$$

ა

მათემატიკური ქანქარა – იდეალიზებული რხევითი სისტემა, რომელიც უწონო და უჭიმად ძაფზე დაკიდებულ მატერიალურ ნერტილს წარმოადგენს.

მაკროსკოპული სხეული – სხეული, რომელიც დიდი რაოდენობის ატომებისა და მოლეკულებისაგან შედგება.

მასველებელი სითხე – სითხე, რომლის მოლეკულები ერთმანეთთან უფრო მცირე ძალით მიიზიდებიან, ვიდრე მყარი სხეულის მოლეკულებთან. შედეგად ჭურჭელში სითხის თავისუფალი ზედაპირი ჩაზნექილია (სითხე მიისწრაფვის მყარი სხეულის ზედაპირისკენ, ცდილობს, განერთხას ზედაპირზე). ასე იქცევა, მაგ., ვერცხლისწყალი თუთიის ზედაპირზე, წყალი – მინაზე. მასველებელი სითხისთვის გარე კუთხე (დასველების კუთხე) მახვილია (თუ სითხე ზედაპირისთვის სრულად მასველებელია, $\theta = 0^\circ$).

მასის ატომური ერთეული (მაე) – მასის სისტემარეშე ერთეული, რომელიც გამოიყენება მოლეკულების, ატომების, ატომების ბირთვებისა და ელემენტრული ნაწილაკების მასის გამოსახატავად და რომელიც ნახშირბადის $^{12}_6\text{C}$ ატომის მასის $\frac{1}{12}$ -ის ტოლია:

$$1 \text{ მაე} = \frac{1}{12} m_{0,\text{C}} = 1,66 \cdot 10^{-27} \text{ კგ}.$$

მატერიალური ნერტილი – სხეული, რომლის ზომები მოცემული ამოცანის პირობებში შეგვიძლია უგულებელვყოთ.

მეორე გვარის მუდმივი ძრავა (perpetuum mobile II) – ძრავა, რომელიც გამაცხელებლისგან მიღებულ სითბოს რაოდენობას (ენერგიას) სრულად გარდაქმნის სასარგებლო მუშაობად.

მექანიკა – მეცნიერება, რომელიც მექანიკური მოძრაობის კანონებსა და მოძრაობის წარმოქმნის მიზეზებს შეისწავლის (ბერძნული სიტყვიდან „mekhane“ – მანქანა, მექანიზმი).

მექანიკური მოძრაობა – სივრცეში სხეულის მდებარეობის ცვლილება სხვა სხეულების მიმართ დროის განმავლობაში.

მექანიკური მუშაობა – სკალარული ფიზიკური სიდიდე – სხეულზე ძალის მოქმედების რაოდენობრივი მახასიათებელი. სიდიდით სხეულზე მოქმედი ძალების ტოლქმედის მოდულის, სხეულის გადაადგილების მოდულისა და ძალისა და გადაადგილების ვექტორებს შორის კუთხის კოსინუსის ნამრავლის ტოლია:

$$A = F \cdot s \cdot \cos \alpha$$

მექანიკური რხევითი მოძრაობა – სხეულის მოძრაობის გამეორება მისი მდგრადი წონასწორობის მდგომარეობის ხან ერთ, ხან მეორე მხარეს.

მექანიკური ტალღა – მექანიკური რხევების გავრცელება დრეკად გარემოში (მექანიკური ტალღა ვაკუუმში არ ვრცელდება).

მობრუნების კუთხე – კუთხე, რომლითაც მობრუნდება რადიუს-ვექტორი, რომელიც წრენირზე მოძრავ სხეულს წრენირის ცენტრთან აკავშირებს. მობრუნების კუთხე სხეულის სანყის და საბოლოო მდგომარეობას შორის არსებული წრენირის რკალის სიგრძის წრენირის რადიუსთან შეფარდების ტოლია:

$$\varphi = \frac{l}{R}.$$

აქ φ – მობრუნების კუთხეა, l – რკალის სიგრძე, რომელიც მობრუნების კუთხეს შეესაბამება, R – წრეწირის რადიუსი.

მოლეკულების კონცენტრაცია – მოლეკულების რაოდენობა მოცულობის ერთეულში:

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

მოლეკულების საშუალო კვადრატული სიჩქარე – კვადრატული ფესვი სიჩქარის კვადრატის საშუალო მნიშვნელობიდან:

$$\bar{v} = \sqrt{\bar{v}^2} = \sqrt{\frac{v_1^2 + v_2^2 + \dots + v_N^2}{N}}.$$

მოლეკულურ-კინეტიკურ თეორიაში საშუალო კვადრატული სიჩქარე გამოითვლება ფორმულებით:

$$\bar{v} = \sqrt{\frac{2\bar{E}_j}{m_0}} = \sqrt{\frac{3kT}{m_0}} = \sqrt{\frac{3p}{\rho}}.$$

სადაც T აბსოლუტური ტემპერატურაა, k – ბოლცმანის მუდმივა, m_0 – ერთი მოლეკულის მასა, n – მოლეკულების კონცენტრაცია, $\bar{E}_j$ – მოლეკულების მოძრაობის კინეტიკური ენერგიის საშუალო მნიშვნელობა, ρ – სიმკვრივე, p – წნევა.

მოლეკულური ფიზიკა – ფიზიკის ნაწილი, რომელიც შეისწავლის მაკროსკოპული სხეულების შინაგან აგებულებას, მათ თვისებებსა და მატერიის სითბური მოძრაობის ძირითად კანონზომიერებებს. მოლეკულურ-კინეტიკური თეორიის დებულებებია:

I დებულება: ყველა ნივთიერება ნაწილაკებისგან – ატომებისა და მოლეკულებისგან – შედგება.

II დებულება: ნაწილაკები, რომლებისგანაც ნივთიერება შედგება, განუწყვეტელ, უწყვეტ (ქაოსურ) მოძრაობას ასრულებენ.

III დებულება: ნივთიერების შემადგენელი ნაწილაკები ურთიერთქმედებენ – მათ შორის არსებობს მიზიდვისა და განზიდვის ძალები.

მოლური მასა – ნივთიერების 1 მოლის მასა:

$$M = m_0 \cdot N_A$$

სადაც m_0 ერთი მოლეკულის მასაა, N_A – 1 მოლში ნაწილაკების რაოდენობა. მოლური მასის საზომი ერთეული SI სისტემაში არის კგ/მოლ.

მონოკრისტალი – კრისტალი, რომელიც კრისტალიზაციის ერთი ცენტრიდანაა გაზრდილი.

მსოფლიო მიზიდულობის კანონი – ნებისმიერ ორ მატერიალურ ნერტილს შორის მოქმედებს ურთიერთმიზიდულობის ძალა, რომელიც მათი მასების ნამრავლის პირდაპირპროპორციულია და მათ შორის მანძილის კვადრატის უკუპროპორციულია:

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

სადაც F მიზიდულობის (გრავიტაციული) ძალის მოდულია, m_1 და m_2 – მატერიალური ნერტილების მასები, r – მატერიალურ ნერტილებს შორის მანძილი, G – პროპორციულობის კოეფიციენტი, რომელსაც მსოფლიო მიზიდულობის მუდმივა ან უბრალოდ გრავიტაციული მუდმივა ეწოდება.

ნაჯერი ორთქლი – ორთქლი, რომელიც დინამიკურ წონასწორობაშია თავის სითხესთან. სითხესა და მის ორთქლს შორის დინამიკური წონასწორობა მყარდება, როდესაც დროის ერთეულში სითხიდან ამოსული მოლეკულების რაოდენობა გაუტოლდება იმავე დროში სითხეში დაბრუნებული მოლეკულების რაოდენობას.

ნივთიერების რაოდენობა (ν) – ფიზიკური სიდიდე, რომელიც ნივთიერებაში არსებული ნაწილაკების (მოლეკულების, ატომებისა და სხვ.) რაოდენობას გამომხატავს. განისაზღვრება შემდეგნაირად:

$$\nu = \frac{N}{N_A}$$

N მოლეკულების რაოდენობაა მოცემულ ნივთიერებაში.

ნივთიერების რაოდენობის საზომი ერთეული $[\nu] = 1$ მოლი SI სისტემის ძირითადი ერთეულია. 1 მოლი – ნივთიერების რაოდენობაა, რომელშიც იმდენივე მოლეკულა ან ატომია, რამდენიც 0,012 კგ ნახშირბადაში.

ნივთიერების ფარდობითი მოლეკულური (ატომური) მასა – ფიზიკური სიდიდე, რომელიც ნივთიერების ატომის (მოლეკულის) m_0 მასის ნახშირბადის ატომის მასის $1/12$ -თან შეფარდების ტოლია:

$$M_r = \frac{m_0}{\frac{1}{12}m_{0,c}}$$

M ფარდობითი მოლეკულური მასაა, m_0 – ნივთიერების მოლეკულის (ატომის) მასა, $m_{0,c}$ – ნახშირბადის ატომის მასა.

ნიუტონის I კანონი – არსებობს ისეთი ათვლის სისტემები, რომელთა მიმართ სხეული უძრავი რჩება ან განაგრძობს სწრაფ და თანაბარ მოძრაობას, თუ მასზე გარე ძალები არ მოქმედებს ან ძალების მოქმედება ერთმანეთს ანონასწორებს.

ნიუტონის II კანონი – ათვლის ინერციულ სისტემაში სხეულის მიერ შეძენილი აჩქარება სხეულზე მოქმედი ძალის პირდაპირპროპორციულია და სხეულის მასის უკუპროპორციული:

$$\vec{a} = \frac{\vec{F}}{m}$$

ან

$$m\vec{a} = \vec{F}$$

ნიუტონის III კანონი – ათვლის ინერციულ სისტემაში ძალები, რომლებითაც ორი სხეული ერთმანეთზე მოქმედებს, მოდულით ტოლია და საპირისპიროდაა მიმართული:

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

ო

ორთქლადქცევა – ნივთიერების თხევადი მდგომარეობიდან აირად მდგომარეობაში გადასვლა.

ორთქლადქცევის კუთრი სითბო – ფიზიკური სიდიდე, რომელიც რიცხობრივად იმ სითბოს რაოდენობის ტოლია, რომელიც საჭიროა 1 კგ მასის სითხის იმავე ტემპერატურის ორთქლად გადასაქცევად:

$$L = \frac{Q}{m}$$

SI სისტემაში ორთქლადქცევის კუთრი სითბოს საზომი ერთეულია:

$$[L] = 1 \frac{\text{ჯ}}{\text{კგ}} = 1 \frac{\text{ჯ}}{\text{წმ}^2}$$

ორთქლადქცევის სიბო – სიბოს რაოდენობა, რომელიც საჭიროა m მასის სიბის იმავე ტემპერატურის ორთქლად გადაქცევისთვის:

$$Q = L m$$

პ

პარციალური წნევა – აირების ნარევის რომელიმე ცალკეული კომპონენტის წნევა. აირების ნარევის წნევა მისი კომპონენტების პარციალური წნევების ჯამის ტოლია.

პირველი გვარის მუდმივი ძრავა (perpetuum mobile I) – ძრავა, რომელიც ერთხელ ამოქმედების შემდეგ უსასრულოდ იმუშავებს გარედან ენერგიის მიღების გარეშე.

პოლიკრისტალები – კრისტალები, რომლებიც მიიღება მრავალრიცხოვანი, სივრცეში ქაოსურად ორიენტირებული, მონოკრისტალის ზრდისა და შეერთების შედეგად.

რ

რადიუს-ვექტორი – ვექტორი, რომელიც კოორდინატთა სათავეს მატერი-ალური წერტილის მდებარეობასთან აერთებს.

რეზონანსი – იძულებითი რხევის ამპლიტუდის მკვეთრი ზრდა, როდესაც მაიძულებელი ძალის მოქმედების სიხშირე სისტემის საკუთარი სიხშირის ტოლია.

რელატივისტური მექანიკა – ფიზიკის ნაწილი, რომელიც განიხილავს მექანიკის კანონებს (მოდრაობის კანონებს) სინათლის სიჩქარესთან მიახლოებული სიჩქარით მოძრაობებისათვის.

რხევის პერიოდი – დრო, რომლის განმავლობაშიც ერთი სრული რხევა სრულდება.

რხევის სიხშირე – ფიზიკური სიდიდე, რომელიც რიცხობრივად ერთ წამში შესრულებული რხევების რიცხვის ტოლია.

ს

სამაცივრო დანადგარის გაცივების კოეფიციენტი (ξ – ქსი) – მაცივრის მიერ მიღებული სიბოს რაოდენობის შეფარდება მუშაობასთან, რომელიც გარე ძალებმა (მაგ., ელექტროძრავამ) შეასრულებს:

$$\xi = \frac{Q_2}{A} = \frac{Q_2}{Q_1 - Q_2}.$$

იდეალური სამაცივრო დანადგარის გაცივების კოეფიციენტია:

$$\xi_{\text{მაქს}} = \frac{T_2}{T_1 - T_2}.$$

სიბოური, ანუ თერმოდინამიკური, წონასწორობა – სისტემის მდგომარეობა, როდესაც მისი მაკროსკოპული პარამეტრები არ იცვლება ხანგრძლივი დროის განმავლობაში.

სიბოური მანქანა – თერმოდინამიკური სისტემა, რომელიც ციკლურ პროცესს ასრულებს (მექანიკურ მუშაობას ასრულებს) – სიბოს ერთი სხეულიდან მეორე სხეულს გადასცემს.

სიბოური ძრავა – დანადგარი, რომელიც სხვადასხვა სახის სანვავის შინაგან ენერგიას მექანიკურ ენერგიად გარდაქმნის.

აგებულიების თავისებურებების მიუხედავად, ყველა სიბოური ძრავა სამი ძირი-თადი ნაწილისგან შედგება:

1. გამაცხელებელი – ძრავას ნაწილი, რომელიც საწვავის წვის ან ბირთვული რეაქციის შედეგად გამოყოფილი ენერგიის ხარჯზე მუდმივად მაღალ ტემპერატურას (T_1) ინარჩუნებს.

2. მუშა სხეული – აირი ან ორთქლი, რომელიც გაფართოების ან შეკუმშვის შედეგად მექანიკურ მუშაობას ასრულებს.

3. მაცივარი – ძრავას ნაწილი, რომლის ტემპერატურაა T_2 ($T_2 < T_1$). წარმოადგენს გარემოს (ატმოსფეროს ან წყალს).

ერთი ციკლის განმავლობაში მუშა სხეული გამაცხელებლისგან იღებს Q_1 სითბოს რაოდენობას, მაცივარს გადასცემს Q_2 სითბოს რაოდენობას და ასრულებს სასარგებლო მუშაობას $A_{\text{სას}}$:

$$A_{\text{სას}} = Q_1 - Q_2$$

სითბური ძრავას მარგი ქმედების კოეფიციენტი (η) – ძრავას მიერ შესრულებული სასარგებლო მუშაობის შეფარდება გამაცხელებლისგან მიღებულ სითბოს რაოდენობასთან:

$$\eta = \frac{A_{\text{სას}}}{Q_1} = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{Q_2}{Q_1}.$$

სითხის მენისკი – სითხის თავისუფალი ზედაპირის გამრუდება მისი მყარი სხეულის ზედაპირთან (ან სხვა სითხესთან) შეხების შედეგად.

სიმძიმის ძალა – ძალა, რომლითაც დედამიწა სხეულებს იზიდავს. სიმძიმის ძალა სხეულის მასისა და თავისუფალი ვარდნის აჩქარების ნამრავლის ტოლია:

$$\vec{F}_{\text{სიმძ}} = m\vec{g}.$$

სიმძლავრე – სკალარული ფიზიკური სიდიდე, რომელიც შესრულებული მუშაობის იმ დროსთან შეფარდების ტოლია, რომელიც ამ მუშაობის შესასრულებლად დაიხარჯა:

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

სიმძლავრის საზომი ერთეული SI სისტემაში არის ვატი (ვტ):

$$[N] = 1 \frac{\text{ჯ}}{\text{წმ}} = 1 \frac{\text{კგ} \cdot \text{მ}^2}{\text{წმ}^3} = 1 \text{ვტ}.$$

სრიალის ხახუნის ძალა – ხახუნის ძალა, რომელიც აღიძვრება ერთი სხეულის მეორის ზედაპირზე სრიალის დროს. სრიალის ხახუნის ძალის რიცხვითი მნიშვნელობა საყრდენის რეაქციის ძალის (საყრდენზე წნევის ძალის) პირდაპირპროპორციულია და უძრაობის ხახუნის ძალის მაქსიმალური მნიშვნელობის ტოლია:

$$(F_{\text{ხახ}})_{\text{სრიალ}} = (F_{\text{ხახ}})_{\text{მაქს უძრ}} = \mu N.$$

სადაც μ – პროპორციულობის კოეფიციენტი, რომელსაც სრიალის ხახუნის კოეფიციენტი ეწოდება, დამოკიდებულია მასალაზე, რომლისგანაც დამზადებულია შეხებაში მყოფი სხეულები და მათი ზედაპირების დამუშავების ხარისხზე. μ კოეფიციენტი, რომელსაც განზომილება არ აქვს.

სრული მექანიკური ენერგიის მუდმივობის კანონი – სხეულების ჩაკეტილი სისტემის სრული მექანიკური ენერგია მუდმივი სიდიდეა:

$$E_{\text{კინ1}} + E_{\text{პოტ1}} = E_{\text{კინ2}} + E_{\text{პოტ2}}$$

$$E_{\text{სრული}} = \text{const.}$$

ტ

ტალლა – სივრცეში რხევის გავრცელების პროცესი დროის განმავლობაში.

ტალლის სიგრძე – მანძილი ($l = \lambda$), რომელზეც ტალლა ვრცელდება რხევის ერთი პერიოდის განმავლობაში ($t = T$). ერთგვაროვან გარემოში ტალლის სიგრძე პირდაპირპროპორციულია რხევის პერიოდისა და უკუპროპორციულია რხევის სიხშირისა.

ტალლის სიჩქარე – გარემოში რხევების გავრცელების სიჩქარე. ტალლის გავრცელების სიჩქარე დამოკიდებული არ არის მასში რხევის სიხშირესა და პერიოდზე. ტალლის სიჩქარე დამოკიდებულია გარემოს თვისებებსა და აგრეგატულ მდგომარეობაზე. ერთი გარემოდან მეორეში გადასვლის დროს ტალლის სიხშირე და პერიოდი არ იცვლება, იცვლება მხოლოდ სიჩქარე და ტალლის სიგრძე.

ტალლის სიხშირე (პერიოდი) – ტალლის გამომწვევი წყაროს რხევის სიხშირე (პერიოდი).

ტემპერატურა – მაკროსკოპული სიდიდე, რომელიც სისტემის სითბური წონასწორობის მდგომარეობას ახასიათებს: სითბური წონასწორობის დროს სისტემის ყველა ნაწილის ტემპერატურა ერთნაირია. ტემპერატურა განსაზღვრავს სხეულის მოლეკულების მოძრაობის საშუალო კინეტიკურ ენერგიას (მოლეკულების კინეტიკური ენერგიის ზომა).

ტრაექტორია – წირი, რომელსაც სხეული შემოწერს მოძრაობის დროს მოცემულ ათვლის სისტემაში.

უ

უძრაობის ენერგია – იმ სხეულის ენერგია, რომელიც უძრავია მოცემულ ათვლის სისტემაში.

უძრაობის ხახუნის ძალა – ხახუნის ძალა, რომელიც ერთმანეთის მიმართ უძრავ სხეულებს შორის აღიძვრება. უძრაობის ხახუნის ძალა მოდულით წვევის ძალის ტოლია, რომელიც შეხების ზედაპირის გასწვრივ მოქმედებს და მის სანინაალმდეგოდაა მიმართული.

უჯერი ორთქლი – ორთქლი, რომელიც არ არის დინამიკურ წონასწორობაში თავის სითხესთან.

ფ

ფარდობითი ტენიანობა – ფიზიკური სიდიდე, რომელიც მოცემულ ტემპერატურაზე ჰაერის აბსოლუტური ტენიანობის ამავე ტემპერატურაზე ნაჯერი ორთქლის წნევასთან შეფარდების ტოლია. ფარდობითი ტენიანობა პროცენტებით გამოიხატება:

$$\varphi = \frac{p}{p_0} \cdot 100\%.$$

სადაც p_0 ჰაერში წყლის ნაჯერი ორთქლის წნევაა, p – ჰაერში წყლის ორთქლის წნევა (ანუ ჰაერის აბსოლუტური ტენიანობა), φ – ჰაერის ფარდობითი ტენიანობა.

ფარდობითობის თეორიის პირველი პრინციპი – ეკვივალენტურობის პრინციპი ან სუსტი ეკვივალენტურობის პრინციპი: ამ პრინციპის თანახმად, ინერტული მასა გრავიტაციული მასის ეკვივალენტურად ითვლება, ანუ ისინი ერთმანეთის ტოლია.

ფარდობითობის თეორიის მეორე პრინციპი – ძლიერი ეკვივალენტურობის პრინციპი: ამ პრინციპით, სისტემაში, რომელიც თავისუფალი ვარდნის აჩქარებით ვარდება, ფიზიკის ყველა კანონი ისე სრულდება, თითქოს გრავიტაცია არ

არსებობს, ანუ ამ სისტემაში შეუძლებელია აღმოაჩინო მიზიდულობის ეფექტი და მოძრაობის აჩქარებული ხასიათი.

ფარდობითობის სპეციალური თეორია:

I პოსტულატი – ფიზიკის ყველა კანონი ერთნაირია ათვლის ყველა ინერციულ სისტემაში და ვერც ერთი ფიზიკური ცდით ვერ შევძლებთ ამ სისტემების ერთმანეთისგან გარჩევას.

II პოსტულატი – სინათლის სიჩქარე ვაკუუმში ერთნაირია ათვლის ყველა ინერციულ სისტემაში და არ არის დამოკიდებული სინათლის წყაროსა და სინათლის მიმღების მოძრაობის სიჩქარეებზე. სინათლის სიჩქარე სამყაროში არსებული მაქსიმალური სიჩქარეა.

შ

შარლის კანონი – თუ მოცემული მასის აირის მოცულობა არ იცვლება, აირის წნევის შეფარდება აბსოლუტურ ტემპერატურასთან მუდმივი სიდიდეა ($V = const$, $m = const$):

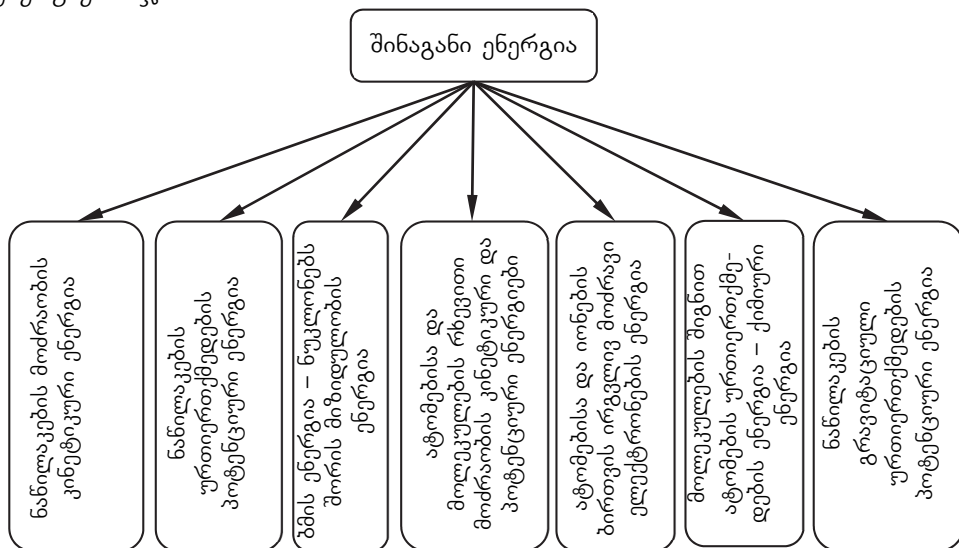
$$\frac{p}{T} = \frac{mR}{M} \cdot \frac{1}{V} = const.$$

თუ აირის მოცულობა არ იცვლება, აირის საწყის მდგომარეობაში p_1 წნევის შეფარდება T_1 ტემპერატურასთან ნებისმიერ შემდეგ მდგომარეობაში p_2 და T_2 პარამეტრების შეფარდების ტოლია:

$$\frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2}.$$

შეუცევადი პროცესი – პროცესი, რომელიც თავისთავად მხოლოდ ერთი მიმართულებით შეიძლება მიმდინარეობდეს.

შინაგანი ენერგია – სხეულის შემადგენელი ნაწილაკების სხვადასხვა სახის ენერგიების ჯამი.



ჩ

ჩაკეტილი სისტემა – იმ სხეულებისგან შედგენილი სისტემა, რომლებიც მხოლოდ ერთმანეთთან ურთიერთქმედებენ და არ ურთიერთქმედებენ სხვა სხეულებთან, რომლებიც ამ სისტემაში არ შედიან. მუდმივობის კანონები სამართლიანია მხოლოდ ჩაკეტილი სისტემებისთვის.

ც

ციკლური სიხშირე – ფიზიკური სიდიდე, რომელიც გამოხატავს, რამდენ რხევას ასრულებს სხეული 2π წამის ($6,28$ წამის) განმავლობაში. ამიტომ ციკლური სიხშირე 2π -ჯერ მეტია რხევის სიხშირეზე.

დ

ძაბვის დიაგრამა – მყარ სხეულში აღძრული მექანიკური ძაბვის სხეულის ფარდობით წაგრძელებაზე დამოკიდებულების გრაფიკი.

ე

ენინალობის ძალა – ძალა, რომელიც აღიძვრება მყარი სხეულის მოძრაობის დროს სითხეში ან აირში.

წირითი სიჩქარე – წრეწირზე მოძრავი მატერიალური წერტილის სიჩქარის მოდული.

წონა – ძალა, რომლითაც სხეული დედამიწის მიზიდულობის გამო აწვება საყრდენს ან ჭიმავს საკიდს.

წონასწორობის პირობები:

1. სხეული, რომელიც გადატანით მოძრაობას ასრულებს, წონასწორობის მდგომარეობაშია, თუ მასზე მოქმედი ძალების ტოლქმედი (მასზე მოქმედი ყველა ძალის გეომეტრიული ჯამი) ნულის ტოლია: $\vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \dots + \vec{F}_n = \vec{F} = 0$.

2. უძრავი ბრუნვის ღერძის მქონე სხეული წონასწორობის მდგომარეობაშია, თუ მასზე ბრუნვის ღერძის მიმართ მოქმედ ძალთა მომენტების ჯამი ნულის ტოლია:

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

წრეწირზე ბრუნვის პერიოდი – დრო, რომელიც წრეწირზე მოძრავ მატერიალურ წერტილს ერთი სრული ბრუნვის შესასრულებლად სჭირდება:

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

სადაც T ბრუნვის პერიოდია, $N - t$ დროში შესრულებულ სრულ ბრუნვათა რიცხვი. ბრუნვის პერიოდის ერთეული SI სიტემაში არის წამი: $[T] = 1$ წმ.

წრეწირზე ბრუნვის სიხშირე – წრეწირზე მოძრაობის დროს დროის ერთეულში შესრულებულ სრულ ბრუნვათა რიცხვი:

SI სისტემაში ბრუნვის სიხშირის საზომ ერთეულად მიღებულია ერთი სრული ბრუნვი ერთი წამის განმავლობაში – ჰერცი:

$$[\nu] = \frac{1}{\text{წმ}} = \text{წმ}^{-1} = 1 \text{ ჰც}.$$

ბრუნვის სიხშირე ბრუნვის პერიოდის შებრუნებული სიდიდეა:

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

წრფივი არათანაბარი მოძრაობა – წრფივი მოძრაობა, რომლის დროსაც მატერიალური წერტილი დროის ტოლ შუალედებში სხვადასხვა გადაადგილებას ასრულებს.

წრფივი თანაბარი მოძრაობა – მოძრაობა, რომლის ტრაექტორია წრფეა და დროის ტოლ შუალედებში მატერიალური წერტილი ერთნაირ გადაადგილებას ასრულებს. წრფივი თანაბარი მოძრაობის დროს სიჩქარის სიდიდე და მიმართულება დროის განმავლობაში არ იცვლება:

$$\vec{v} = \text{const.}$$

ჯ

ჯოული (1 ჯ) – მუშაობის საზომი ერთეული SI სისტემაში. 1 ჯ არის მუშაობა, რომელსაც 1 ნ ძალა ასრულებს სხეულის 1 მ მანძილზე გადასადგილებლად ძალის მოქმედების მიმართულებით:

$$[A] = 1\text{ნ} \cdot 1\text{მ} = 1 \frac{\text{კგ} \cdot \text{მ}^2}{\text{წმ}^2} = 1\text{ჯ}.$$

ჰ

ჰარმონიული რხევები – სისტემის თავისუფალი რხევები, როდესაც მისი მდგომარეობის დამახასიათებელი ფიზიკური სიდიდეები დროის განმავლობაში სინუსის ან კოსინუსის კანონით იცვლება.

პასუხები

I თავი

- 1.1. $N(\approx 4,25 \text{ მ}; 2,5 \text{ მ})$.
- 1.2. $\approx 4,03 \text{ მ}; 2 \text{ მ და } -3,5 \text{ მ}; 29^\circ$.
- 1.3. $\vec{c} = \vec{a} + \vec{b}; c = \sqrt{a^2 + b^2} = \sqrt{3^2 + 4^2} = 5$.
- 1.4. $a_x = 0, a_y = -8; b_x = -3, b_y = 4; c_x = 0, c_y = 6; d_x = 9, d_y = -7; e_x = -4, e_y = -3$.
- 1.5. $3600 \text{ მ}; 0$.
- 1.6. $12 \text{ მ და } \approx 11,06 \text{ სმ}; 24 \text{ სმ და } 16 \text{ სმ}; 36 \text{ სმ და } \approx 11,06 \text{ სმ}; 48 \text{ სმ და } 0 \text{ სმ}$.
- 1.7. M და O ურიკები N ურიკის მარჯვენა მხარეს მოძრაობენ.
- 1.8. M და O ურიკები N ურიკის მიმართ უძრაობის მდგომარეობაშია.
- 1.9. $\approx 11,7 \text{ მ}; 5 \text{ კმ}$.
- 1.11. $90 \text{ მ}; \approx 41,23 \text{ მ}; 10,246 \text{ წმ}$.
- 1.12. $0 \text{ მ}; 180000 \text{ მ}; 0 \text{ მ/წმ}^2$
- 1.13. $20 \text{ მ/წმ}; 36 \text{ კმ}$.
- 1.15. მოძრაობის მიმართულების სანინალმდეგოდ: $\approx 0,17 \text{ მ/წმ}^2$
- 1.16. $v_1 = 10 \frac{\text{მ}}{\text{წმ}}, v_2 = 20 \frac{\text{მ}}{\text{წმ}}, v_3 = 2 \frac{\text{მ}}{\text{წმ}};$
 $u_{\text{სამ}} = 14 \frac{\text{მ}}{\text{წმ}}; 0 \frac{\text{მ}}{\text{წმ}^2}.$
- 1.17. $50 \text{ მ}; 40 \text{ მ}$.
- 1.19. $10 \frac{\text{მ}}{\text{წმ}}; 2,5 \frac{\text{რად}}{\text{წმ}}.$
- 1.20. $\approx 6,7 \frac{1}{\text{წმ}}.$

II თავი

- 2.1. $14 \text{ წ}; 2 \text{ წ}$.
- 2.2. $\approx 12, 16 \text{ წ}; 10 \text{ წ}$.
- 2.3. $0 - t_1; t_3 - t_4; t_5 - t_6$.
- 2.4. არ ეწინააღმდეგება, მომხდარი ინერციული მოვლენაა
- 2.5. $1,875 \text{ მ/წმ}^2$
- 2.6. 216 კმ .
- 2.7. $14,4 \text{ კმ}$.
- 2.8. $4,5 \text{ ს}$.
- 2.9. 3 მ/წმ^2 ; ზევით.
- 2.10. $2 \text{ მ/წმ}^2; 2 \text{ კმ}; 18 \text{ კმ} \cdot \text{წმ}; 261 \text{ მ}$.
- 2.11. 9-ჯერ გაიზრდება.
- 2.12. $g_h = \left(\frac{gR_{\text{ერ}}^2}{(h+R_{\text{ერ}})^2} \right) = 0,61 \text{ მ/წმ}^2$
- 2.13. 200 კმ/მ
- 2.14. 40 სმ
- 2.15. $\approx 60 \text{ სმ}; \approx 66,7 \text{ წმ}$.
- 2.16. 90 წ .
- 2.17. $l_t = 87,5 \text{ ავტომობილი ფარას დაეჯახება}$.
- 2.18. $\approx 13 \cdot 10^5 \text{ მ/წმ}^2$
- 2.19. $2 \text{ მ/წმ}^2; 25 \text{ კმ}$.

III თავი

- 3.1. $0,1 \text{ მ/წმ}$.
- 3.2. $0,75 \text{ მ/წმ}$.
- 3.3. 400 მ/წმ .
- 3.4. $1,6 \text{ მ/წმ}$.
- 3.5. 144 წ .
- 3.6. 100 წ .
- 3.7. $-5 \text{ წ}; 5 \text{ წ}; 0$
- 3.8. არა.
- 3.9. $E_{\text{კი61}} = 25 \text{ ჯ}; E_{\text{კი62}} = 0 \text{ ჯ}$.
- 3.10. 4 - ჯერ გაიზრდება.
- 3.11. $2,5 \text{ სმ}$.
- 3.12. $A = \frac{m}{2} (v_2^2 - v_1^2) = -80 \text{ ჯ}$
- 3.13. $0,02 \text{ წ}$
- 3.14. კინეტიკური ენერგია შემცირდება, პოტენციური ენერგია გაიზრდება.
- 3.15. კინეტიკური ენერგია გაიზრდება, პოტენციური ენერგია შემცირდება.
- 3.16. $3,75 \text{ კმ}$.
- 3.17. $2 \text{ კმ}, 40 \text{ მ/წმ}$.
- 3.18. $11,25 \text{ მ}; 28,125 \text{ წ}$.
- 3.19. 18 მ/წმ .
- 3.20. 10 მ .

IV თავი

- 4.1. $0,5 \text{ წმ}$.
- 4.2. 20 A .
- 4.3. $1,5 \text{ ჰც}; \approx 0,67 \text{ სეკ}; 9 \text{ ჰც}$.
- 4.4. $100 \text{ რხევა}; 5 \text{ ჰც}; 30 \text{ ჰც}$.
- 4.5. $a = -3,2?$
- 4.6. $x = 0,2 \sin 12t$.
- 4.7. $14,4 \text{ წმ}$.
- 4.8. $0,75 \text{ წმ}$.
- 4.9. $2,4 \text{ მმ}$.
- 4.10. $x = 0,05 \cos(15t + 0,75) \text{ მ}$.
- 4.11. $4,5 \text{ მ}; 2 \text{ ჰც}$.
- 4.12. $\frac{3}{4} \pi$.
- 4.13. $0,1875 \text{ მ/წმ}$.
- 4.14. $0,0075 \text{ მ/წმ}^2$.
- 4.15. 12 მ/წმ^2 .
- 4.16. 16 მ .
- 4.17. $2 \text{ მ}; 0,05 \text{ წმ}; 20 \text{ ჰც}$.
- 4.18. 11 მ .
- 4.19. 8 მ .
- 4.20. 2 ჰც .
- 2.20. $400 \text{ წ}; 1200 \text{ წ}$.

V თავი

- 5.1. ≈ 29 წელი.
5.2. $\approx 0,92 \cdot c$
5.3. $\approx$ დაახლოებით 41 წლისა.
5.4. $\approx 1,3$ მ.
5.5. განივი ზომა არ შეიცვლება, სიგრძე 2 მ-ით შემცირდება.
5.6. $9 \cdot 10^{-31}$ კგ.
5.7. $10,251 \cdot 10^{-11}$ ჯ.
5.8. $25,5 \cdot 10^{-11}$ ჯ.
5.9. $0,6 \cdot 10^9$ ტ.
5.10. c

VI თავი

- 6.1. $1,2 \cdot 10^{24}$
6.2. 5 მოლი.
6.3. $3,3 \cdot 10^{-27}$ კგ; $5,3 \cdot 10^{-26}$ კგ.
6.4. $M = 0,16 \frac{\text{კგ}}{\text{მოლი}}$;
 $m_0 = 2,7 \cdot 10^{-25}$ კგ
6.5. $2,3 \cdot 10^{25} \text{მ}^{-3}$
6.6. $5,6 \cdot 10^{-21}$ ჯ
6.7. პირველ შემთხვევაში, დიახ. მეორე შემთხვევაში – ჩაკეტილია, მაგრამ იზოლირებული არ არის.
6.8. არა, თავიდან სხეულებს შორის სითბოცვლა არ ხდება. დიახ, ნარევის ტემპერატურისა და ოთახში ჰაერის ტემპერატურის ტოლობა მიანიშნებს, რომ მათ შორის სითბური წონასწორობა დამყარდა.
6.9. არა, სისტემა სითბურ წონასწორობაში არ იყო.
6.10. 927°C
6.11. 647 K -ზე მაღალი ტემპერატურის დროს.
6.12. 150 K ტემპერატურაზე – სითხეა, 190 K ტემპერატურაზე – აირი.
6.13. უბნები $1 \rightarrow 6$ იზოთერმულ შეკუმშვას შეესაბამება, უბნები $1 \rightarrow 3$ – იზოთერმულ გაფართოებას.
6.14. უბნები $1 \rightarrow 2$ იზოქორულ გაცივებას შეესაბამება, უბნები $1 \rightarrow 5$ – იზოქორულ გათბობას.

- 6.15. DA უბანი.
6.16. $6 \cdot 10^{-3} \text{ მ}^3$
6.17. $3 \cdot 10^{-3} \text{ მ}^3$
6.18. გაიზარდა $0,7$ -ჯერ.
6.19. $5 \frac{\text{მგ}}{\text{მ}^3}$
6.20. 840 პა
6.21. $13 \frac{\text{მ}}{\text{მ}^3}$
6.22. 180 კჯ.
6.23. $0,25$ მმ.
6.24. $10,8$ მმ³
6.25. $0,043$ გ.
6.26. $\sigma_{\text{ზეთი}} = 31,8 \frac{\text{მგ}}{\text{მ}}$
6.27. სხვადასხვა ფიზიკური თვისება სხვადასხვა მიმართულებით ნივთიერების შიგნით.
6.28. გვერდებს შორის კუთხეების რაოდენობითა და ფორმით.

VII თავი

- 7.1. 20 K
7.2. 10 კჯ.
7.3. $5 \cdot 10^5$ პა.
7.4. შემცირდა 20 კჯ-ით.
7.5. უბანზე $1 - 2$ გაიზარდა 3 -ჯერ;
უბანზე $2 - 3$ არ შეცვლილა.
7.6. უბანზე $1 - 2$ არ შეცვლილა;
უბანზე $2 - 3$ გაიზარდა 3 -ჯერ.
7.7. $2p_0V_0$
7.8. $U = \frac{3}{2}pV$;
 $\Delta U = U_c - U_a = \frac{3}{2}(4p_0V_0 - p_0V_0) = \frac{9}{2}p_0V_0$.
7.9. ა) გაიზარდა 3 კჯ-ით;
ბ) $2,4$ მოლი.
7.10. $0,3$ $0,3$ კჯ.