პ. ნ. გორდაძე და გ. რ. ფირაძე

სახელმძღვანელო ფიზიკის ლაბორატორიისათვის

დოც. დ. მ. ჩარქვიანის რედაქციით

სახელმწიფო გამომცემლობა „ტექნიკა და შრომა“
თბილისი 1944 წ.

წინასიტყვაობა

ამ წიგნის მიზანია მომსახურეობა გაუწიოს თბილისის კიროვის სახელობის ინდუსტრიული ინსტიტუტის ფიზიკის ლაბორატორიას.

იგი შეიცავს იმ ამოცანების აღწერას, რომლებიც მუშავდება ამჟამად ინსტიტუტის ლაბორატორიაში.

წიგნის შედგენისას გამოვიყენეთ ის სახელმძღვანელოები, რომლებიც უმაღლესი სასწავლებლების ლაბორატორიებისათვის არის მიღებული.

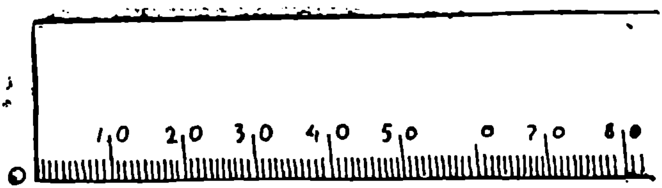
ავტორები.

ზოგიერთი საზომი იარაღი

1. მასშტაბიანი სახაზავი (ნახ. 1). ეს იარაღი წარმოადგენს სახაზავს, რომელიც დაყოფილია სანტიმეტრებად და მილიმეტრებად.

სახაზავი უნდა მივადვათ გასაზომ სხეულს ისე, რომ სახაზავის 0 დანაყოფი ემთხვეოდეს სხეულის ერთ ბოლოს. თუ სხეულის მეორე ბოლო მოჰყვა სახაზავის m და $(m+1)$ დანაყოფებს შორის, მაშინ გასაზომი სიგრძე უდრის m მთელ მილიმეტრს + მილიმეტრის განსაზღვრული ნაწილი.

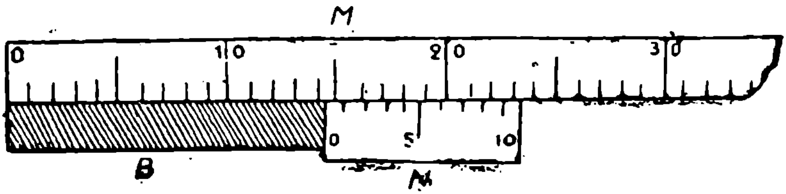
ამ შემთხვევაში მილიმეტრის მთელი ნაწილები თვალდათვალ უნდა ავთვალოთ.



ნახ. 1.

2. მასშტაბი ნონიუსით. სიგრძის უფრო ზუსტი გაზომვისათვის ხმარობენ მასშტაბს ნონიუსით (ნახ. 2). ნონიუსი ეწოდება მოძრავ სახაზავს (N), რომელიც დაყოფილია თანასწორ ნაწილებად.

ნონიუსი სრიალებს მასშტაბიან (M) სახაზავის გასწვრივ.



ნახ. 2.

ნონიუსზე დანაყოფები გადაზომილია შემდეგნაირად: (M) სახაზავის $(n-1)$ დანაყოფი დაყოფილია n თანასწორ ნაწილად.

მაშინ ნონიუსის ერთი დანაყოფი (M) მასშტაბის დანაყოფის $\frac{n-1}{n}$ ნაწილს შეადგენს.

თუ მასშტაბის თითოეული დანაყოფის სიგრძე არის—l, ხოლო ნონიუსის დანაყოფის სიგრძე l_1, მაშინ ნონიუსის მთელი სიგრძე იქნება:

$$nl_1=(n-1)\,l;$$

აქედან ნონიუსის ერთი დანაყოფის სიგრძე:

$$l_1=\frac{n-1}{n}l$$

ნონიუსის თითოეული დანაყოფის სიგრძე განსხვავდება მასშტაბის თითოეული დანაყოფის სიგრძისაგან:

$$l-l_1=l-\frac{n-1}{n}\,l=l\left(1-\frac{n-1}{n}\right)=\frac{1}{n}l$$

ე. ი.

$$l-l_1=\frac{1}{n}l \qquad (1)$$

პრაქტიკაში უფრო ხმარობენ მილიმეტრებიან მასშტაბს. ასეთი მასშტაბის ნონიუსის სიგრძე უდრის 9 მმ-ს და დაყოფილია 10 თანასწორ ნაწილად.

(1) ფორმულის თანახმად ასეთი ნონიუსის თითოეული დანაყოფი მასშტაბის დანაყოფისაგან 0,1 მმ-ით განსხვავდება.

ნონიუსით უნდა გავზომოთ ასე:

მილიმეტრებიან (M) მასშტაბზე (ნახ. 2) სრიალებს 9 მმ სიგრძის (N) ნონიუსი, რომელიც დაყოფილია 10 თანასწორ ნაწილად.

ვთქვათ გასაზომი გვაქვს (B) ღეროს სიგრძე.

მასშტაბი უნდა მივადგათ B ღეროს ისე, რომ ერთი ბოლო დაემთხვეს მასშტაბის 0 დანაყოფს; გამოვწიოთ (N) ნონიუსი მარცხნივ ისე, რომ ის მჭიდროდ მიედგას (B) ღეროს მეორე ბოლოს. ჩვენს მაგალითში გასაზომი ღეროს მარჯვენა ბოლო და, მაშასადამე, ნონიუსის ნულოვანი დანაყოფიც მდებარეობს მასშტაბის მე-14 და მე-15 დანაყოფებს შორის.

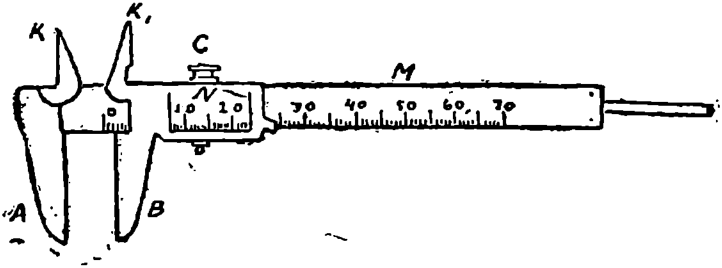
მაშასადამე, ღეროს სიგრძე 14 მმ-ზე მეტია და 15 მმ-ზე ნაკლებია. უნდა გავიგოთ, რას უდრის მასშტაბის მე-14 დანაყოფის იქით გადაცილებული ღეროს სიგრძის ნაწილი, ანუ რა ნაწილით გადაიწია ნონიუსის ნულოვანმა დანაყოფმა მასშტაბის მე-14 დანაყოფიდან.

თუ დავაკვირდებით ნონიუსის დანაყოფებს, შევამჩნევთ, რომ ერთი მათგანი სახელდობრ: მე-5, ემთხვევა მასშტაბის დანაყოფს.

ვინაიდან ჩვენი ნონიუსის თითოეული დანაყოფი განსხვავდება მასშტაბის თითოეული დანაყოფისაგან 0,1 მმ-ით, ამიტომ ნონიუსის პირველი დანაყოფი მასშტაბის რომელიმე დანაყოფს რომ შეხვედროდა, მაშინ მასშტაბის მე-14 დანაყოფიდან ნონიუსის ნული გადაიწევდა 0,1 მმ-ით, ნონიუსის მეორე დანაყოფი რომ შეხვედროდა მასშტაბის რომელიმე დანაყოფს, მაშინ ნონიუსის ნული გადაიწევდა მე-14 დანაყოფიდან 0,2 მმ-ით და ა. შ. ჩვენს შემთხვევაში კი ნონიუსის მე-5 დანაყოფი შეხვდა მასშტაბის დანაყოფს. ამიტომ შეგვიძლია ვთქვათ, რომ ნონიუსის ნულმა მე-14 დანაყოფიდან გადაინაცვლა 0,5 მმ-ით, ე. ი. გასაზომი ღეროს სიგრძე ყოფილა 14,5 მმ.

საბოლოოდ, შეგვიძლია ჩამოვაყალიბოთ შემდეგი წესი: **მილიმეტრების მთელი რიცხვი აითვლება მასშტაბზე, ხოლო მილიმეტრის მეათედი ნაწილები აითვლება ნონიუსზე და გამოიხატება იმ რიცხვით, რომლითაც ნონიუსის დანაყოფი დაემთხვა მასშტაბის რომელიმე დანაყოფს.**

3. **შტანგენ ფარგალი.** ნონიუსის პრინციპი გამოყენებულია შტანგენ ფარგალში.



ნახ. 3.

შტანგენ ფარგალი გამართულია შემდეგნაირად (ნახ. 3): მილიმეტრებად დაყოფილ ფოლადის M სახაზავს ერთ ბოლოზე აქვს (A) უძრავი ფეხი (K) ნისკარტით; სახაზავზე სრიალებს C—ჩარჩო, რომელსაც მიმაგრებული აქვს (B) ფეხი K_1 ნისკარტით და C ხრახნი, რომლითაც შეიძლება ჩარჩო მივამაგროთ სახაზავის ნებისმიერ წერტილს.

ჩარჩოზეა სახაზავის დანაყოფები; ჩარჩოს ჩაჭრილ ნაწილზე მოთავსებულია (N) ნონიუსი, რომლის ნულოვანი დანაყოფი იმ შემთ-

ხვევაში ემთხვევა სახაზავის (მასშტაბის) ნულოვან დანაყოფს, როცა (B) ფეხი მჭიდროდ არის მიდგმული A ფეხზე.

საზომ საგანს A და B ფეხებს შორის ათავსებენ და გაიგებენ სიგრძეს ისე, როგორც ნონიუსიანი მასშტაბის შემთხვევაში.

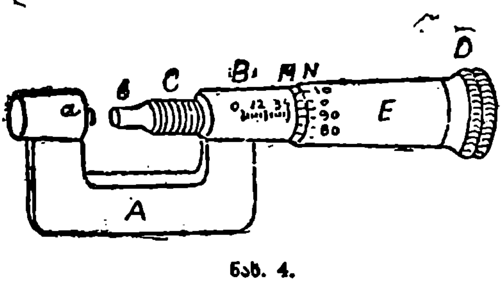
შტანგენ ფარგალით შეიძლება გაიზომოს: სიგრძე, სისქე, მილის შინაგანი დიამეტრი; გარეგანი დიამეტრი და სიღრმე.

მილის შინაგანი დიამეტრის გასაზომად სარგებლობენ K და K_1 ნისკარტებით, რომლებსაც ჩაჰყოფენ მილში და ნისკარტებს გასწევენ ისე, რომ მჭიდროდ ეხებოდენ გასაზომი მილის კედლებს; დიამეტრის სიგრძეს ათვლიან ჩვეულებრივად (M) მასშტაბისა და (N) ნონიუსის დანაყოფებით.

სიღრმის გასაზომად შტანგენ ფარგალს შემდეგი მოწყობილობა აქვს: ჩარჩოს (სახაზავის შიგნიდან) მიმაგრებული აქვს L ღერო, რომელიც ჩარჩოსთან ერთად მოძრაობს.

როცა A და B ფეხები ერთმანეთს ეხებიან, მაშინ L ღეროს ბოლო ემთხვევა სახაზავის ბოლოს. გასაზომ სიღრმეში (მოძრავი ჩარჩოს საშუალებით) L ღეროს ისე ჩაუშვებენ, რომ ღერო ეხებოდეს გასაზომი სიღრმის ფსკერს, ხოლო (M) სახაზავის ბოლო უნდა ეხებოდეს სიღრმის ზევითა პირს. ამისთვის, ცხადია, დაგვჭირდება C ჩარჩოს L ბოლოსკენ დაწევა, რაც გამოიწვევს A და B ფეხების ერთმანეთისაგან დაშორებას. A და B ფეხებს შორის მანძილი გასაზომი სიღრმის ტოლი იქნება. ამ მანძილს გავზომავთ ჩვეულებრივად M მასშტაბისა და N ნონიუსის საშუალებით.

4. მიკრომეტრული ხრახნი (სისქემზომი) (ნახ. 4) მიკრომეტრული ხრახნი ანუ მიკრომეტრი მცირე სიგრძეთა გასაზომად იხმარება, მაგალითად, თხელი ფირფიტის სისქის ან მავთულის დიამეტრის გასაზომად.



ნახ. 4.

მიკრომეტრი შესდგება ფოლადის (A) ჭამირისაგან, რომლის მარჯვენა შტო შიგნით ამოხარატებულ ხრახნულ B მილს წარმოადგენს. ამ ლარში C ხრახნი შედის, რომელიც მიმაგრებულია E მასრაზე. E მასრა (D) თავის საშუალებით ბრუნავს.

ჩვეულებრივ ხრახნის ბიჯი ერთ მილიმეტრს უდრის; ასე რომ ერთი ბრუნვით ხრახნი ერთი მმ-ით გადინაცვლებს (წინ ან უკან). როდესაც ხრახნი სავსებით ჩახრახნილია და მისი (b) ბოლო ეხება (a) გამონაშვერს, მაშინ მასრაზე მოთავსებული (N) რკალის დანაყოფი ემთხვევა (B) მილზე მოთავსებულს (M) მასშტაბის ნულოვან დანაყოფს.

ხრახნის ერთი ბრუნვით მისი (b) ბოლო (a) გამონაშვერს ერთი მმ-ით დაშორდება; ორი ბრუნვით 2 მმ-ით და, საზოგადოდ, ხრახნის n ბრუნვით b ბოლო a ბოლოს n მმ-ით დაშორდება.

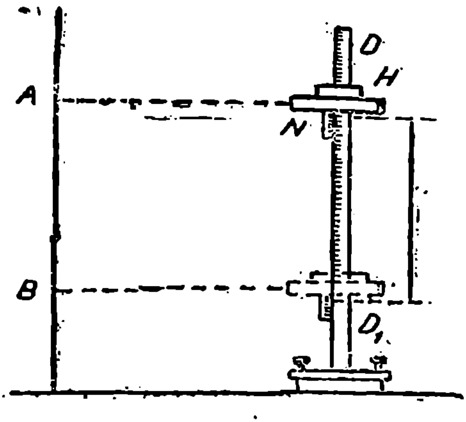
თუ ხრახნს ვაბრუნებთ $\frac{1}{m}$ ნაწილით, მაშინ მისი გადანაცვლება იქნება $\frac{1}{m}$ მმ. ერთი ბუნვის ნაწილების ასათვლელად და მილიმეტრების ნაწილების ასათვლელად E მასრის მთელი ნაპირი ირგვლივ დაყოფილია 100 თანასწორ ნაწილად (N სკალა).

როცა E მასრა N რკალის ერთ დანაყოფზე მობრუნდება, მაშინ ხრახნი გადაინაცვლებს 0,01 მმ-ით.

გაზომვას აწარმოებენ ასე: გასაზომ სისქეს ათავსებენ a და b გამონაშვერებს შორის და D თავის საშუალებით ჩახრახნიან ხრახნს მანამდე, სანამ გასაზომი სხეული არ იქნება ჩაჭედილი a და b-ს შორის. გასაზომი სხეული მაშინ ჩაითვლება მთლიანად ჩაჭედილად a და b გამონაშვერებს შორის, როდესაც D თავის ბრუნვა არ იწვევს ხრახნის ბრუნვას და მხოლოდ D თავი (ფუჭი სვლა) ბრუნავს.

გასაზომი სისქის მილიმეტრთა მთელ რიცხვს ათვლიან M მასშტაბზე, ხოლო მილიმეტრის მეასედ ნაწილებს N სკალაზე.

5. კატეტომეტრი. კატეტომეტრის (ნახ. 5) დანიშნულებაა: ერთ ვერტიკალზე მდებარე ორ წერტილს (A და B) შორის მანძილის გაზომვა.



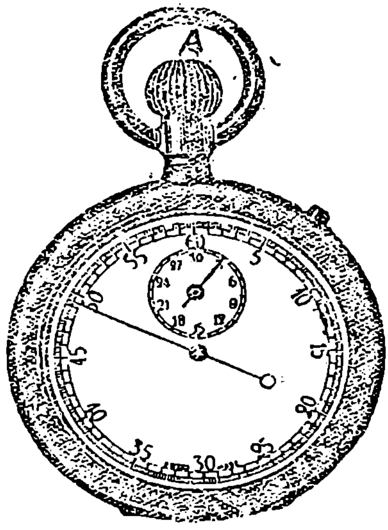
ნახ. 5.

კატეტომეტრის უმარტივეს სახეს წარმოადგენს დანაყოფებიანი D ვერტიკალური სახაზავი, რომელზედაც მოძრაობს ჰორიზონტალურად დაყენებული ჭოგრი (H).

ჭოგრს უმიზნებენ ჯერ ერთ A წერტილს და შემდეგ მეორე B წერტილს. ორთავე შემთხვევაში აიღებენ ანათვლებს D სახაზავისა და N ნონიუსის სკალების საშუალებით. ამ ანათვლათა სხვაობა გასაზომი AB მანძილი იქნება.

6. **წამმზომი** (ნახ. 6). დროის მცირე შუალედების გასაზომად ხმარობენ წამმზომს. მისი მოწყობილობა ისეთივეა, როგორც ჩვეულებრივი უბის საათისა, მაგრამ ჩვეულებრივ საათისაგან განსხვავდება იმით, რომ წამმზომს აქვს ორი ისარი: ერთი – მცირე, წუთების ასათვლელად, მეორე კი—დიდი, წამების ასათვლელად. დიდი ისრის ერთი ბრუნვისას მცირე ისარი გადაინაცვლებს ერთი დანაყოფით.

მცირე ისრის ციფერბლატის ერთი დანაყოფი შეესაბამება ან ერთ მთელს, ან ნახევარ წუთს.



ნახ. 6.

დიდი ისრის თითოეული დანაყოფი, რომელიც ერთი წამის მაჩვენებელია, თავის მხრივ დაყოფილია 5 თანასწორ ნაწილად; მაშასადამე, წამმზომი ზომავს დროს 0,2 წამის სიზუსტით (ნახ. 6). წამმზომის გაშვება, ან გაჩერება ხდება A საჭერზე თითის დაჭერით.

დროის შუალედი შემდეგნაირად უნდა გავზომოთ:

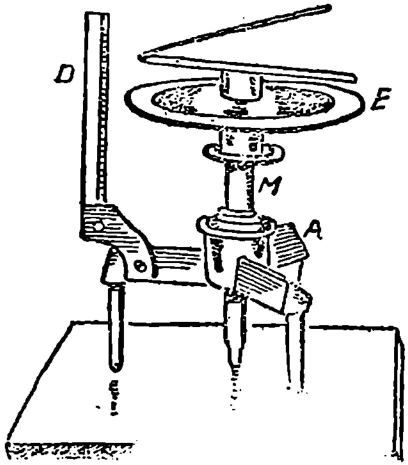
შუალედის საწყის მომენტში საჭერს დავაჭერთ თითს; მაშინვე ამოძრავდება ორთავე ისარი.

შუალედის დასრულების მომენტში ისევ დავაჭერთ თითს A-ს, ორთავე ისარი მყისვე გაჩერდება. მცირე ისრის ციფერბლატზე ავითვლით წუთების მთელ რიცხვს, ხოლო დიდი ისრის ციფერბლატზე — წამების რიცხვს 0,2 წამის სიზუსტით.

ზოგიერთი წამმზომის მექანიზმი მუდამ მუშაობს, თუმცა შეიძლება ისრები უძრავად იყვნენ, ზოგის მექანიზმი კი ამუშავდება მხოლოდ A-ზე თითის დაჭერით.

წამმზომის მექანიზმი რომ ამუშავდეს, ამისთვის A-ს ბრუნვით იგი უნდა მოიმართოს.

7. **სფერომეტრი.** სფერომეტრი ხელსაწყოა, რომლის საშუალებითაც ზომავენ სფერული მინების (ლინზების) სიმრუდის რადიუსს, ბრტყელი ფირფიტების სისქესა და ზედაპირის უსწორმასწორობას.



ნახ. 7.

სფერომეტრის მთავარ ნაწილს წარმოადგენს მიკრომეტრული ხრახნი (M) რომელიც მიდგმულია სამფეხა სადგარის (A) ქანჩზე (ნახ. 7) მიკრომეტრულ ხრახნის ქვედა ბოლო წაწვეტილია, ზედა ბოლოზე გაკეთებულია E დისკო, რომელიც დაყოფილია 50 ტოლ ნაწილად.

მიკრომეტრული ხრახნის ბიჯი უდრის 0,5 მმ-ს, ე. ი. ერთი სრული ბრუნვისას ხრახნის ბოლო გადაინაცვლებს 0,5 მმ-ით. სამფეხზე

მიმაგრებულია „D" სახაზავი დანაყოფით. მიკრომეტრული ხრახნის ბრუნვისას დისკო გადაინაცვლებს (აიწევს ან დაიწევს) სახაზავის გასწვრივ. სახაზავზე აითვლება მილიმეტრების მთელი რიცხვი, ხოლო დისკოს სკალაზე მილიმეტრების მეასედი ნაწილები.

ცთომილებათა შესახებ

ექსპერიმენტალურ მეცნიერებათა შორის ფიზიკას ერთ-ერთი პირველი ადგილთაგანი უკავია. აქედან კი ის გამომდინარეობს, რომ ფიზიკაში ექსპერიმენტს (ცდას) დიდი მნიშვნელობა აქვს. ფიზიკის კანონების დიდი უმრავლესობა მიღებულია ცდების საშუალებით. რაიმე ფიზიკური კანონის გამოკვლევა ნიშნავს იმას, რომ უნდა ვიპოვოთ დამოკიდებულება იმ სიდიდეთა შორის, რომლებიც მონაწილეობას იღებენ მოცემულ კანონზომიერებაში. ამ მიზანს გაზომვით აღწევენ. რაიმე სიდიდის გაზომვა იმას ნიშნავს, რომ საჭიროა ამ სიდიდის შედარება ისეთ სიდიდესთან, რომელიც პირობით მიღებულია ერთეულად. აშკარაა, რომ გაზომვის დროს დიდ როლს თამაშობს ჩვენი გრძნობათა ორგანოები. გაზომვის დროს მივმართავთ ჩვენი გრძნობის რომელიმე ორგანოს, უფრო ხშირად კი—თვალსა და ყურს. აღნიშნული ორგანოები კი ისე არ არის განვითარებული, რომ ზუსტად შეაფასონ მოვლენის რაოდენობითი მხარე. ხშირად ორ სიდიდეს ერთმანეთის ტოლად ვთვლით, თუ მათ შორის სხვაობა მეტად მცირეა. მაშასადამე, შესაძლებლობა არა გვაქვს ვიპოვოთ ზუსტი ფარდობა ერთი სიდიდისა მეორესთან (ერთეულთან), არამედ ყოველთვის და ყოველ გაზომვის შედეგად მიღებული ფარდობანი მიახლოებითია, ე. ი. გარკვეულ ცთომილებას შეიცავს. ფიზიკა კი, როგორც ცნობილია, ზუსტ მეცნიერებათა კატეგორიას ეკუთვნის. მეცნიერების სიზუსტე მკვლევარისაგან მოითხოვს, რომ შეფასებული იყოს გაზომვის შედეგად მიღებული რიცხვების სიზუსტის ხარისხი. ზემოთ ნათქვამის ჩამოყალიბება ასეც შეიძლება: რადგან ყოველი გაზომვა შეიცავს ჩვენი გრძნობათა ორგანოების ან გასაზომი ხელსაწყოს მიერ დაშვებულ ცთომილებას, ამიტომ სავალდებულოა ამ ცთომილებათა გამოთვლა. ჩვენი გრძნობათა ორგანოების გარდა, ცთომილებებზე გავლენას ახდენს კიდევ სხვა ფაქტორებიც: მაგ., ხელსაწყოს დაყენების სისწორე, მისი ჩვენების სიზუსტე, ლაბორატორიის სინესტე, ტემპერატურა და ა. შ. ამიტომ რაიმე სიდიდის გაზომვისას სიდიდის რიცხვითი მნიშვნელობის გარდა საჭიროა აგრეთვე ამ პასუხის სიზუსტის გამოკვლევაც, ე. ი. რომელი ათწილადი ნიშნის მიახლოებით არის გაზომილი ესა თუ ის სიდიდე.

ფიზიკის ლაბორატორიაში პრაქტიკულ მეცადინეობის მიზანს შეადგენს ის, რომ სტუდენტს გააცნოს ბუნების მოვლენები და კანონები უფრო ახლოვ; ვიდრე ეს შესაძლებელია სალექციო დემონსტრაციების საშუალებით. ამას გარდა ლაბორატორიის მიზანია ხელსაწყოების გაცნობა და ფიზიკურ გაზომვათა ძირითადი მეთოდების ათვისება.

1. ცთომილებათა თეორია. როგორც ზემოთ იყო აღნიშნული, ცთომილებანი შეიძლება გამოწვეული იქნეს: ან ხელსაწყოების უწესივრობით, მათი არასწორი დადგმით, თვით გაზომვის მეთოდის უვარგისობით, ან ჩვენი გრძნობათა ორგანოების არასიზუსტით და ა. შ. ამ მიზეზების მიხედვით ცთომილებანი სისტემატიურ და შემთხვევით ცთომილებად დაიყოფიან.

სისტემატიური ცთომილება გამომდინარეობს ან გაზომვის მეთოდის უვარგისობით, ან ხელსაწყოს რაიმე დეფექტით და ამიტომ მათი აცილების შესაძლებლობა ყოველთვის არის. ამ მიზნისათვის კი საჭიროა, რაც შეიძლება დაწვრილებით იქნეს შესწავლილი ხელსაწყოს და ექსპერიმენტის ყველა პირობები. თუ, მაგალითად, ხელსაწყოს შესწავლის დროს გამოირკვა, რომ იგი იძლევა არა სწორ ჩვენებას, მაშინ გაზომვის წარმოების დროს ეს მდგომარეობა უნდა იქნეს მიღებული მხედველობაში სათანადო შესწორების შეტანით.

შემთხვევითი ცთომილებათა მიზეზად შეიძლება დავასახელოთ ჩვენი გრძნობათა ორგანოები. შემთხვევითი ცთომილებათა კატეგორიას მიეკუთვნებიან აგრეთვე ის განსხვავებანი, რომლებსაც ვღებულობთ ჩვენ არა ერთგვაროვანი სხეულის გაზომვის დროს; მაგალითად, მავთულის დიამეტრის გაზომვის დროს მავთულის სხვადასხვა ადგილას ჩვენ მივიღებთ ერთმანეთისაგან განსხვავებულ შედეგებს იმიტომ, რომ მავთულის დიამეტრი სხვადასხვა ადგილას მართლაც სხვადასხვანაირია.

შემთხვევითი ცთომილებანი არავითარ მუდმივ კანონებს არ ემორჩილება. თუ ერთი გაზომვის დროს მიღებული შედეგი ჭეშმარიტ მნიშვნელობაზე ნაკლები აღმოჩნდება, მაშინ ერთერთ შემდეგ გაზომვას შეუძლია მოგვცეს ჭეშმარიტ მნიშვნელობაზე მეტი შედეგი. შემთხვევითი ცთომილებათა საკითხი დაწვრილებით განხილულია უმაღლეს მათემატიკაში—ალბათობათა თეორიაში.

ალბათობათა თეორიის საშუალებით შესაძლებელია, როგორც გასაზომი სიდიდის რიცხვითი მნიშვნელობის შეფასება, აგრეთვე წარმოებული გაზომვის სიზუსტის ხარისხის გამოთვლაც.

თუ ერთიდაიგივე სიდიდის რამდენიმე ერთმანეთისაგან დამოუკიდებელი გაზომვაც იყო წარმოებული და ამ გაზომვის შედეგად მი-

ღებულია ერთმანეთისაგან განსხვავებული რიცხვითი მნიშვნელობანი, მაშინ ალბათობათა თეორიის ერთ-ერთი დებულების თანახმად მიღებულ შედეგების საშუალო არითმეტიკული უნდა წარმოადგენდეს ისეთ რიცხვს, რომელიც თავის მნიშვნელობით ყველაზე უფრო მიახლოებულია საძიებელ სიდიდის ჭეშმარიტ მნიშვნელობასთან.

საშუალო არითმეტიკულს ასე ვიპოვით:

დავუშვათ, რომ ვაწარმოეთ საკვლევი სხეულის n გაზომვა და ამ გაზომვის დროს მივიღეთ ასეთი რიცხვები: $K_1, K_2, K_3 \ldots K_n$

$$K_{საშ}=\frac{K_1+K_2+\cdots+K_n}{n}=\frac{\Sigma K_i}{n}$$

პირველი გაზომვის შედეგად მიღებული K_1 რიცხვი $K_{საშ}$-საგან ΔK-ით განსხვავდება

$$K_{საშ}-K_1=\pm\Delta K,$$

ანალოგიურად

$$K_{საშ}-K_2=\pm\Delta K_2$$

და ა. შ.

$$K_{საშ}-K_n=\pm\Delta K_n$$

რომელიმე გაზომვით მიღებულ რიცხვს (Ki) და საშუალო არითმეტიკულს ($K_{საშ}$) შორის სხვაობით მიღებულ შედეგს გაზომვის აბსოლუტური ცთომილება ეწოდება. როგორც ჩანს, აბსოლუტური ცთომილება შეიძლება იყოს როგორც დადებითი, ისე უარყოფითი, რადგან გადახრა საშუალო შედეგიდან შესაძლებელია როგორც მეტობით აგრეთვე ნაკლებობით. აბსოლუტურ ცთომილებათა რიცხვითი მნიშვნელობის საშუალო არითმეტიკულს, საშუალო აბსოლუტური ცთომილება ეწოდება ($\Delta K_{საშ}$). განმარტების თანახმად:

$$\Delta K_{საშ}=\frac{(\Delta K_1)+(\Delta K_2)+\cdots+(\Delta K_n)}{n}$$

საშუალო აბსოლუტური ცთომილების შეფარდებას საზომი სიდიდის საშუალო მნიშვნელობასთან საშუალო ფართობითი ცთომილება (E) ეწოდება.

ნათქვამის თანახმად

$$E=\pm\frac{\Delta K_{საშ}}{K_{საშ}}$$

ჩვეულებრივად E-ს გამოსახავენ პროცენტებში. ამიტომ

$$E=\pm\frac{\Delta K_{საშ}}{K_{საშ}}\cdot 100\%$$

კვადრატული ფესვი წილადიდან, რომლის მრიცხველია აბსოლუტურ ცთომალებათა კვადრატების ჯამი, მნიშვნელი კი დაკვირვებათა რიცხვი ერთის გამოკლებით, თითოეული დაკვირვების საშუალო კვადრატულ ცთომილებს (f) წარმოადგენს

$$f=\pm\sqrt{\frac{\Delta K_1^2+\Delta K_2^2+\cdots+\Delta K_n^2}{n-1}}$$

მთელი შედეგის საშუალო კვადრატული ცთომილებისათვის ალბათობის თეორია ასეთ ფორმულას იძლევა:

$$F=\pm\sqrt{\frac{\Delta K_1^2+\Delta K_2^2+\cdots+\Delta K_n^2}{n(n-1)}}$$

ალბათობის თეორიის კანონების თანახმად, თუ საშუალო კვადრატულ ცთომილებას (როგორც ყოველ დაკვირვების, აგრეთვე მთელი შედეგის) გავამრავლებთ 0,6745-ზე ალბათობით ცთომილებას მივიღებთ.

მაშასადამე, თითოეული დაკვირვების ალბათობითი ცთომილება (W)

$$W=0{,}6745f=\pm0{,}6745\sqrt{\frac{\Delta K_1^2+\Delta K_2^2+\cdots+\Delta K_n}{n-1}}$$

და მთელი შედეგის ალბათობითი ცთომილება (W)

$$W=0{,}6745\sqrt{\frac{\Delta K_1^2+\Delta K_2^2+\cdots+\Delta K_n^2}{n(n-1)}}$$

მაგალითი: [1]) მიკრომეტრის საშუალებით გაზომილი იყო მავთულის D დიამეტრი 5-ჯერ. მიღებულია ასეთი რიცხვები:

$=0{,}53$ მმ
$=\ ,52$ მმ
$=0{,}53$ მმ
$=0{,}54$ მმ
$=0{,}51$ მმ

$$D_{\text{საშ}}=\frac{0{,}53+\ ,52+0{,}53+0{,}54+0{,}51}{5}=0{,}526 \text{ მმ}$$

---

[1]) აღებულია კულაკოვის სახელმძღვანელოდან.

გამოვთვალოთ ეხლა აბსოლუტური ცთომილებანი:

$$\Delta D_1 = D_{საშ} - D_1 \quad = 0{,}526 - 0{,}53 = +0{,}004$$
$$\Delta D_2 = D_{საშ} - D_2 \quad = 0{,}526 - 0{,}52 = +0{,}006$$
$$\Delta D_3 = D_{საშ} - D_3 \quad = 0{,}526 - 0{,}53 = +0{,}004$$
$$\Delta D_4 = D_{საშ} - D_4 \quad = 0{,}526 - 0{,}54 = +0{,}014$$
$$\Delta D_5 = D_{საშ} - D_5 \quad = 0{,}526 - 0{,}51 = +0{,}016$$

საშუალო აბსოლუტური ცთომილება ($\Delta D_{საშ}$)

$$\Delta D_{საშ} = \frac{+0{,}004 + 0{,}006 + 0{,}004 + 0{,}014 + 0{,}016}{5} = \frac{0{,}044}{5}$$

მაშ $\Delta D_{საშ} = 0{,}0088 \quad = 0{,}009$ მმ

საბოლოო შედეგი იქნება:

$$D = 0{,}526 \pm 0{,}009 \text{ მმ.}$$

ჩვენ ვიპოვეთ ის ზღვრები, რომელთა შორისაც მოთავსებულია საძიებელი სიდიდის რიცხვითი მნიშვნელობა. ეს ზღვრებია $+0{,}009$ მმ და $-0{,}009$ მმ; ამიტომ შეგვიძლია დავწეროთ:

$$0{,}526 - 0{,}009 < D < 0{,}526 + 0{,}009$$

ანუ

$$0{,}517 < D < 0{,}535$$

საშუალო ფარდობითი ცთომილება

$$E = \pm \frac{0{,}009}{0{,}526} = 0{,}017 = 1{,}7\%.$$

ლაბორატორიაში მუშაობის დროს ხშირად ისმება კითხვა იმის შესახებ, თუ როგორ უნდა იყოს გაზომილი აბსოლუტური ცთომილება იმ შემთხვევაში, როდესაც რამდენიმე გაზომვის შედეგად ვღებულობთ ერთსა და იმავე რიცხვებს. მაგალითად, თუ მავთულის დიამეტრის რამდენიმე ადგილას გაზომვისას მივიღეთ ერთი და იგივე რიცხვი, სახელდობრ—0,55 მმ., ეს იმის მაჩვენებელია, რომ მავთულის დიამეტრის შესაძლებელი გადახრები საშუალოდან არ აღემატება მიკრომეტრის ერთი დანაყოფის ნახევარს. რადგან მიკრომეტრის ერთი დანაყოფი ესაბამება მმ-ის 0,01, ამიტომ დანაყოფის ნახევარია 0,005 მმ და შესაძლებელი აბსოლუტური ცთომილებაა (გადახრა) ($0{,}55 \pm 0{,}005$) მმ.

ხშირად გასაზომი სიდიდე წარმოადგენს ერთი ან რამდენი მესიდიდის ფუნქციას, მაგალითად, (S) ფართი არის ზედაპირის სიგრძის (a) და სიგანის (b) ფუნქცია. როგორ უნდა გამოვთვალოთ ცთომილება? შევთხვდეთ და საშუალო ცთომილების ნაცვლად მაქსიმალური ცთომილება გამოვთვალოთ, რადგან

$$S=a\cdot b,$$

ამიტომ დავუშვათ, რომ a სიგრძის გამოთვლისას მაქსიმალური აბსოლუტური ცთომილება $\pm\Delta a$ ტოლი იყო და სიგანის გაზომვისას კი $\pm\Delta b$. აშკარაა, რომ ფართის გაზომვისას დაშვებული ცთომილება იქნება $\pm\Delta S$. მაშასადამე,

$$S\pm\Delta S=(a\pm\Delta a)(b\pm\Delta b)$$

რადგან გვაინტერესებს არა მინიმალური, არამედ მაქსიმალური ცთომილება, ამიტომ განტოლებაში დავტოვებთ $+$ ნიშანს და მივიღებთ:

$$S+\Delta S=(a+\Delta a)(b+\Delta b)=ab+b\Delta a+a\Delta b+\Delta a\cdot\Delta b.$$

ახლა ვიპოვოთ მაქსიმალური ფარდობითი ცთომილება.

$$S+\Delta s=ab+b\Delta a+a\Delta b+\Delta a\cdot\Delta b;\quad S=ab$$

$$\text{ამიტომ}\ \Delta S=b\cdot\Delta a+a\cdot\Delta b+\Delta a\cdot\Delta b$$

რადგან $\Delta a\cdot\Delta b$ მცირე სიდიდეებია, ამიტომ ნამრავლი უფრო მცირე იქნება და შეიძლება ამ ნამრავლის უგულებელყოფა;
ამიტომ

$$\Delta S=b\Delta a+a\Delta b$$

$$E=\frac{\Delta s}{s}=\frac{b\Delta a}{ab}+\frac{a\Delta b}{ab},$$

საბოლოოდ:

$$\frac{\Delta s}{s}=\frac{\Delta a}{a}+\frac{\Delta b}{b}$$

ანალოგიურად შეგვიძლია გამოვთვალოთ მოცულობის (V) ფარდობითი ცთომილება:

$$\frac{\Delta V}{V}=\frac{\Delta a}{a}+\frac{\Delta b}{b}+\frac{\Delta c}{c}$$

და საერთოდ, თუ

$$N=a\cdot b\cdot c\cdot d\cdot\cdots\cdot m,$$

მაშინ ფარდობითი ცთომილება

$$\frac{\Delta N}{N}=\frac{\Delta a}{a}+\frac{\Delta b}{b}+\frac{\Delta c}{c}+\frac{\Delta d}{d}+\cdots+\frac{\Delta m}{m},$$

ე. ი. მივიღებთ წესს, რომლის თანახმადაც ნამრავლის ფარდობითი ცთომილება თანამრავლების ფარდობითი ცთომილებების ჯამის ტოლია. თუ გვექნებოდა ხარისხიანი ფუნქცია, ე. ი. $a=b=c=d=\cdots m$ (სულ n ტოლი თანამრავლი), ე. ი. $N=a^n$, მაშინ

$$\frac{\Delta N}{N}=\frac{\Delta a}{a}+\frac{\Delta a}{a}+\cdots+\frac{\Delta a}{a},$$

$$\frac{\Delta N}{N}=\pm n\frac{\Delta a}{a}.$$

გამოვთვალოთ ამ შემთხვევისათვის აბსოლუტური ცთომილება (ΔN)

$$\Delta N=\pm n\frac{\Delta a}{a}\cdot N=\pm n\,\frac{\Delta a}{a}\cdot a^n \text{ ანუ } \Delta N=\pm n\cdot a^{n-1}\cdot\Delta a$$

ხარისხის აბსოლუტური ცთომილება უდრის ხარისხის მაჩვენებელს (n) გამრავლებულს არგუმენტზე, რომლის ხარისხის მაჩვენებელია ($n-1$) და გამრავლებულს არგუმენტის აბსულუტურ ცთომილებაზე.

თუ გვაქვს წილადი მაგ., d სიმკვრივე, რომელიც როგორც ცნობილია, წარმოადგენს მასის (m) ფარდობას (V) მოცულობასთან, მაშინ ფარდობითი ცთომილების საპოვნელად ასე ვიქცევით. დავწეროთ სიმკვრივის ფორმულა $d=\frac{m}{V}$ და ვიპოვოთ ფარდობითი ცთომილება, ე. ი. $\frac{\Delta d}{d}$.

დავუშვათ, რომ მასის გაზომვისას დაშვებული ცთომილება იყო $\pm\Delta m$, და მოცულობის გაზომვისას $\pm\Delta V$, და სიმკვრივის გაზომვისას $\pm\Delta d$.

ასეთ შემთხვევაში

$$d\pm\Delta d=\frac{m\pm\Delta m}{V\pm\Delta V}$$

რადგან ჩვენ გვაინტერესებს მაქსიმალური ფარდობითი ცთომილება, ამიტომ მრიცხველში ვტოვებთ $+$ ნიშანს, მნიშვნელში კი $-$.

მაშასადამე, გვაქვს $d\pm\Delta d=\dfrac{m+\Delta m}{V-\Delta V}$

$$\mp d = \mp \frac{m}{V}$$

$$\Delta d = \frac{m+\Delta m}{V-\Delta V} - \frac{m}{V} =$$

$$= \frac{mV + V \cdot \Delta m - mV - m\Delta V}{V(V-\Delta V)} = \frac{V\Delta m + m\Delta v}{V^2\left(1-\frac{\Delta V}{V}\right)}.$$

რადგან ΔV-მცირეა, ამიტომ $\frac{\Delta V}{V}$ შეიძლება უკუვაგდოთ, მივიღებთ:

$$\Delta d = \frac{V\Delta m + m\Delta V}{V^2} \ldots\ldots \quad (ა)$$

d-ზე გაყოფით გვექნება:

$$\frac{\Delta d}{d} = \frac{V \cdot \Delta m + m\Delta V}{V^2} : \frac{m}{V} = \frac{V\Delta m}{Vm} + \frac{\Delta V \cdot m}{Vm}$$

საბოლოოდ მივიღებთ:

$$\frac{\Delta d}{d} = \frac{\Delta m}{m} + \frac{\Delta v}{v},$$

ე. ი. წილადის ფარდობითი ცთომილება მრიცხველის და მნიშვნელის ფარდობით ცთომილებათა ჯამის ტოლია.

აბსოლუტური ცთომილება კი იქნება [იხ. (ა) ფორმულა]:

$$\Delta d = \frac{m\Delta v + v\Delta m}{m^2}.$$

რადგან რაიმე სიდიდის ფესვი შეიძლება წარმოვიდგინოთ, როგორც წილადიანი ხარისხი, ამიტომ შეგვიძლია დავწეროთ:

$$x = \sqrt[n]{a} = a^{1/n}.$$

მაშინ ფარდობითი ცთომილება

$$\frac{\Delta x}{x} = \pm \frac{1}{n} \quad \frac{\Delta a}{a}.$$

დიფერენციალური აღრიცხვის მეთოდებით ცთომილებათა გამოთვლა იოლია.

დავუშვათ, რომ საძიებელი N სიდიდე, ფუნქციონალურ დამოკიდებულებაშია მეორე სიდიდესთან (x-თან), რომლის გაზომვასაც ვაწარმოებდით, ე. ი.

$$N=f(x).$$

დავუშვათ შემდეგ, რომ x-ის გაზომვისას მიღებული მაქსიმალური ცთომილება უდრის $\pm dx$, მაშინ ეს შეცთომა გამოიწვევს სათანადო შეცთომას $\pm \Delta N$ შედეგში, ამიტომ

$$N\pm dN=f(x\pm dx) \qquad (1)$$

ამ განტოლების მარჯვენა მხარე დავშალოთ ტაილონის წკრივად, მივიღებთ:

$$N\pm dN=f(x)\pm dx\frac{df(x)}{dx}\pm\frac{(dx)^2}{2!}\cdot\frac{d^2f(x)}{dx^2}\pm\ldots$$

dx-ის სიმცირის გამო ამ წკრივის ყველა წევრი, რომლებიც შეიცავენ ერთზე მეტ ხარისხის მაჩვენებელს, შეიძლება უკუვაგდოთ და დაგვრჩება:

$$N\pm dN=f(x)\pm\frac{df(x)}{dx}dx$$

ორთავე მხარეს გამოვაკლოთ $N=f(x)$ და მივიღებთ

$$dN=\pm dx\frac{df(x)}{dx}.$$

წესი: ფუნქციის აბსოლუტური ცთომილება არგუმენტის აბსოლუტური ცთომილების და ამ ფუნქციის წარმოებულის ნამრავლის ტოლია:

ამ შემთხვევაში ფარდობითი E ცთომილება

$$E=\pm\frac{\Delta N}{N}$$

მიიღებს ასეთ სახეს.

$$E=\pm\frac{dx}{f(x)}\quad\frac{df(x)}{dx}.$$

რიგი	მოქმედება	აბსოლუტური ცთომილება	ფარდობითი ცთომილება
1	$x=a+b$	$\Delta x=\pm(\Delta a+\Delta b)$	$\frac{\Delta x}{x}=\pm\frac{\Delta a+\Delta b}{a+b}$
2	$x=a-b$	$\Delta x=\pm(\Delta a+\Delta b)$	$\frac{\Delta x}{x}=\pm\frac{\Delta a+\Delta b}{a-b}$
3	$x=ab$	$\Delta x=\pm(b\Delta a+a\Delta b)$	$\frac{\Delta x}{x}=\pm\left(\frac{\Delta a}{a}+\frac{\Delta b}{b}\right)$
4	$x=a^n$	$\Delta x=\pm na^{n-1}\Delta a$	$\frac{\Delta x}{x}=\pm n\frac{\Delta a}{a}$
5	$x=\frac{a}{b}$	$\Delta x=\pm\frac{b\Delta a+a\Delta b}{b^2}$	$\frac{\Delta x}{x}=\pm\left(\frac{\Delta a}{a}+\frac{\Delta b}{b}\right)$
6	$x=\sqrt[n]{a}$	$\Delta x=\pm\frac{1}{n}\,\frac{\Delta a}{\sqrt[n]{a^{n-1}}}$	$\frac{\Delta x}{x}=\pm\frac{1}{n}\,\frac{\Delta a}{a}$
7	$x=\sin\alpha$	$\Delta x=\pm\cos\alpha$	$\frac{\Delta x}{x}=\pm\operatorname{ctg}\alpha\ d\alpha.$
8	$x=\cos\alpha$	$\Delta x=\pm\sin\alpha$	$\frac{\Delta x}{x}=\pm\operatorname{tg}\alpha\ d\alpha$

გავეცნოთ კერძო მაგალითზე ცთომილებათა გამოთვლის წესს. ვთქვათ გამოსათვლელია იმ ლითონის სიმკვრივე, რომლიდანაც გაკეთებულია ცილინდრი. ცნობილია, რომ d სიკვრივე $d=\frac{m}{v}$

სადაც:

m არის მასა და v მოცულობა.

ცილინდრის მოცულობა

$$v=\frac{\pi D^2}{4}\cdot h,$$

სადაც D დიამეტრია და h ცილინდრის სიმაღლე.

d სიმკვრივის ფორმულაში ჩასმით მივიღებთ:

$$d=\frac{m}{\frac{\pi D^2 h}{4}}=\frac{4m}{\pi D^2 h}.$$

რადგან d წილადია, ამიტომ

$$\frac{\Delta d}{d}=\frac{\Delta(4m)}{4m}+\frac{\Delta(\pi D^2 h)}{\pi D^2 h}$$

რადგან მუდმივ რიცხვებს (4 და π) არ ვზომავთ, ამიტომ

$$\frac{\Delta d}{d}=\frac{\Delta m}{m}+\frac{\Delta(D^2 h)}{D^2 h}, \text{ მაგრამ}$$

$$\frac{\Delta(D^2 h)}{D^2 h}=2\frac{\Delta D}{D}+\frac{\Delta h}{h}, \text{ ამიტომ}$$

$$\frac{\Delta d}{d}=\frac{\Delta m}{m}+2\frac{\Delta D}{D}+\frac{\Delta h}{h}.$$

ვთქვათ გვესაჭიროება ცილინდრის სიმკვრივის გამოთვლა მოცემული სიზუსტით, მაგ., 1%-ის მიახლოებით. რადგან $1\%=0{,}01$ და $\frac{\Delta d}{d}$ შეიცავს ოთხ შესაკრებს $\left(\frac{\Delta D}{D}\text{ შედის ორჯერ}\right)$, ამიტომ 0,01 უნდა განაწილდეს ოთხ შესაკრებზე. თითოეულ შესაკრებს საშუალოდ ხვდება $1/4\%$ ანუ 0,0025 და ამიტომ

$$\frac{\Delta m}{m}=0{,}0025;\quad 2\frac{\Delta D}{D}=0{,}005 \text{ და } \frac{\Delta h}{h}=0{,}0025$$

აქედან კი შეგვიძლია აბსოლუტურ ცთომილებათა გამოთვლა

$$\Delta m=0{,}0025\,m;\ 2\Delta D=0{,}005D \text{ და } \Delta h=0{,}0025\,h.$$

ვთქვათ, სიზუსტის დაუცველად გავზომეთ m, D და h და ასეთი გაზომვით მივიღეთ:

$m=400$ გ; $D=4$ მმ და $h=4$ მმ. ახლა შეიძლება გამოვთვალოთ Δm, $2\Delta D$ და Δh.

$\Delta m=0{,}0025\cdot 400=1$ გ; $2\Delta D=0{,}005\cdot 4=0{,}02$ და $\Delta h=0{,}0025\cdot 4=0{,}01$

ამგვარად, სხეულის მასის გაზომვის აბსოლუტური ცთომილება არ უნდა აღემატებოდეს 1 გ. ამისათვის კი სავსებით დამაკმაყოფილებელია ჩვეულებრივი ტექნიკური სასწორი. რაც შეეხება დიამეტრის და სიმაღლის აბსოლუტურ ცთომილებებს, როგორც ჩანს, მათი სიზუსტის 1 მმ-ის მეასედებით იზომება. მაშასადამე, სავსებით გამოსადეგი იქნება შტანგენფარგალი. გამოთვლათა წარმოებისას ხშირად

უშვებენ დიდ შეცთომას იმის გამო, რომ არითმეტიკულ მოქმედებას აწარმოებენ რიცხვის ზედმეტ ნიშნებზე. მაგალითად, თუ სიგრძეს ვზომავთ შტანგენფარგალით, მაშინ აშკარაა, რომ მეათასედებს არავითარი ფასი არ აქვთ, რადგან შტანგენფარგალით შეუძლებელია სანტიმეტრის მეათასედის გაზომვა. ამიტომ, თუ ორი მიახლოებითი რიცხვის შეკრებას ვახდენთ და თუ ერთი შესაკრები აღებულია მეათედის სიზუსტით, მაშინ მეორე შესაკრების მეასედ და მეათასედ ნიშნებს არა აქვს არავითარი ფასი, რადგან ჯამის აბსოლუტური ცთომილება სულ ერთია, არ იქნება 0,1-ზე ნაკლები.

აქედან გამომდინარეობს, რომ მიახლოებითი რიცხვების გამრავლების და გაყოფისას უკანასკნელნი აღებულნი უნდა იყოს ერთნაირი სიზუსტით, რადგან ცთომილება როგორც ნამრავლის, აგრეთვე წილადისა თითოეული წევრის ცთომილებაზე მეტია.

ზოგიერთი მითითებანი ლაბორატორიაში მუშაობის წესის შესახებ

1. ყოველი მუშაობის შედეგი წერილობით უნდა იყოს გაფორმებული ოქმის სახით.

2. ყოველი ოქმის პირველ გვერდზე უნდა იყოს:

ა) სამუშაოს სახელწოდება:

ბ) სამუშაოს მიზანი და გამოკვლევის ობიექტის დასახელება;

გ) ხელსაწყოთა სქემა მათი მოკლე აღწერით.

მეორე გვერდზე:

ა) დაკვირვებათა ცხრილი;

ბ) საძიებელ სიდიდის გამოსათვლელი ფორმულა;

გ) საძიებელი სიდიდის გამოთვლა;

დ) აბსოლუტური და ფარდობითი ცთომილების გამოსათვლელი ფორმულა;

ე) აბსოლუტური და ფარდობითა ცთომილებათა გამოთვლა.

მესამე გვერდზე:

ა) გრაფიკები და დიაგრამები, თუ კი ეს საჭიროებას მოითხოვს;

მეოთხე გვერდზე:

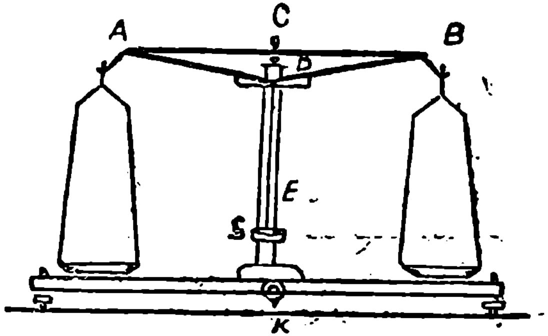
მუშაობის მსვლელობა (საკუთარი სიტყვებით).

ლაბორატორიიდან გასვლისას სტუდენტმა უნდა მიიღოს მითითება იმის შესახებ, თუ რა სამუშაოს შეასრულებს იგი შემდეგ მოსვლაზე, რათა სათანადოთ მოამზადოს მორიგი ამოცანის თეორია.

ამოცანა № 1.

დაუტვირთავი სასწორის ნულოვანი წერტილის პოვნა და ზუსტი აწონვა.

ზუსტი ანუ ანალიზური სასწორი ჩვეულებრივი ტექნიკური სასწორისაგან განსხვავდება, როგორც *AB* უღლის კონსტრუქციით, ისე შუა საყრდენში და ჯამების დაკიდვის წერტილებში ხახუნის სიმცირით.



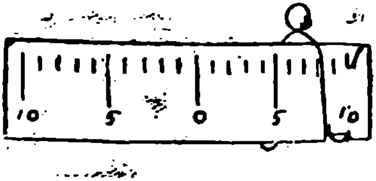
ნახ. 8.

ანალიზური სასწორი შესდგება ტოლმხრიანი *AB* ბერკეტისაგან, რომელსაც უღელი ეწოდება. ეს უღელი დაყრდნობილია ფოლადის პრიზმის (*D*) წიბოზე. რადგან უღლის სიმძიმის ცენტრი მდებარეობს საყრდნობ წერტილის დაბლა, ამიტომ მისი წონასწორობა მდგრადია, ე. ი. ის ყოველთვის დაუბრუნდება ჰორიზონტალურ მდებარეობას. უღლის ორივე ბოლოზე ჯამების დასაკიდად გვაქვს სპეციალური მოწყობილობა პრიზმების სახით. ზუსტ სასწორებში საშუალო და განაპირა პრიზმების წიბოები პარალელურნი უნდა იყვნენ. დაუტვირთავი სასწორის შემთხვევაში უღელი ჰორიზონტალურად უნდა მდებარეობდეს. ამის გამოსარკვევად კი უღელს შუაში აქვს მიმაგრებული გრძელი ისარი (*DE*). ამ ისრის ბოლო ირყევა *S* სკალის გასწვრივ. უღლის ჰორიზონტალური მდებარეობისას ეს ისარი უნდა გვაჩვენებდეს სკალის შუა დანაყოფს.

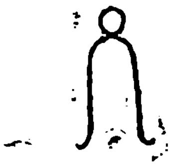
ამას გარდა აღსანიშნავია კიდევ ლითონის სახელური—*K*, რომელიც აქვს ყოველ ზუსტ სასწორს და რომლის მოტრიალებითაც შესაძლებელია უღლისა და ჯამების აწევა ზევით. ამის გამო უღლისა და ჯამების პრიზმები აღარ აწვებიან საყრდენ სიბრტყეს და ამით თავიდან ვიცილებთ ამ პრიზმების წიბოების ნაადრევ გაცვეთას. ასეთ პირობებში სასწორით სარგებლობა არ შეიძლება და ამბობენ,

რომ სასწორი არეტირებულია. სასწორის რეარეტერებისათვის საჭიროა სახელურის მოტრიალება და ამით უღელი და ჯამები განთავისუფლებულნი იქნებიან.

რადგან აბრები 1 მილიგრამიდან 10 მილიგრამამდე თავისი სიმცირის გამო ხმარებისათვის დიდ უხერხულობას წარმოადგენენ, ამიტომ ასეთი აბრების ნაცვლად იხმარება მავთულის მარყუჟი, რომელსაც რეიტერი ეწოდება (ნახ. 10). რადგან უღელი შუა (0) წერტილიდან (ნახ. 9) მარცხნივ და მარჯვნივ ათ ტოლ ნაწილადაა დაყოფილი, ამიტომ ბერკეტის კანონის თანახმად, რეიტერი აიწონის იმდენ მგ-ს, რომელ დანაყოფზედაც იგი იქნება დაკიდული. მაგალითად, თუ რეიტერი დაკიდულია მე-3 დანაყოფზე იგი ზემოდ ნათქვამის თანახმად მოგვცემს დამატებით წონას 3 მგ-ს, ანუ 0,003 გ.



ნახ. 9.


ნახ. 10. რეიტერი.

მტვერისა და ჰაერის მოძრაობისაგან დასაფარავად სასწორს ათავსებენ შუშაბანდიან ხის კოლოფში, რომლის წინა კედელი ასახდელია და გვერდებში აქვს კარები.

სასწორი წარმოადგენს მეტად ზუსტ ფიზიკურ ხელსაწყოს. ამჟამად ისეთი ანალიზური სასწორები არსებობს, რომლებიც 1 მგ დატვირთვის დროს შესამჩნევ გადახრას იძლევიან, თუ ჯამებზე დაწყობილი ტვირთები განსხვავდებიან 0,001 მგ-ით.

სასწორის მაღალი გრძნობიერობა მოითხოვს ყოველი დამკვირვებელისაგან ყურადღებით და გულდასმით იქნეს შესწავლილი აწონვის შემდეგი წესები:

აწონვის წესები:

1. არ შეეხოთ ხელით სასწორის უღელსა და ჯამებს, რადგან სასწორის ყოველ გაჭუჭყიანებას მოჰყვება ცთომილება აწონვაში.

2. არ შეიძლება სასწორის ჯამებზე ჭუჭყიანი, სველი ან ცხელი სხეულების დადება.

3. ასაწონი სხეული მოათავსეთ სასწორის მარცხენა ჯამზე, აბრები კი — მარჯვენაზე.

4. ყოველ სასწორს აქვს თავისი ზღვრული დატვირთვა. აკრძალუ-

ლია ისეთი სხეულების აწონვა, რომელთა წონაც აღემატება სასწორის ზღვრულ დატვირთვას.

5. აბრების ამოწყობა ყუთიდან და სასწორზე დალაგება აწარმოეთ პინცეტით (მაშით).

6. აწონვისას არ აჩქარდეთ. დამკვირვებელი უნდა იჯდეს სასწორის პირდაპირ და არა გვერდით.

7. სასწორის ჯამიდან აღებული აბრების მაგიდაზე დალაგება აკრძალულია. აბრები უნდა ჩააწყოთ ყუთის სათანადო უჯრებში.

8. თუ სასწორით მუშაობას არ აწარმოებთ, ასეთი სასწორი არეტირებული უნდა იყოს. არეტირის ჩამოშვება ხდება ანათვლების აღებისას.

9. არეტირება უნდა აწარმოოთ იმ მომენტში, როდესაც ისარი გადის ქვედა სკალის ნულოვან დანაყოფზე.

I.

დაუტვირთავი სასწორის ნულოვანი (n_0) წერტილის პოვნა

დაუტვირთავი სასწორის ნულოვანი (n_0) წერტილი სკალის იმ დანაყოფს ეწოდება, რომელზედაც გაჩერდება სასწორის ისარი მას შემდეგ, როგორც კი შეწყდება საწორის რყევა. n_0-ის საპოვნელად არ არის სავალდებულო და საჭირო, რომ არეტირებიდან განთავისუფლებული ისარი მრავალი რყევის შესრულების შემდეგ შეჩერდეს. არსებობს შესაძლებლობა, რომლითაც ისრის რყევებით შეიძლება საძიებელი ნულოვანი (n_0) წერტილის პოვნა. სამი, ხუთი, შვიდი და საერთოდ კენტი რიცხვების მარჯვნივ და მარცხნივ გადახრათა საშუალო არითმეტიკულების ნახევარი ჯამი იძლევა ნულოვან წერტილს.

n_0 წერტილის გამოთვლისას უარყოფითი რიცხვების თავიდან ასაცილებლად მიღებულია პირობით, რომ ქვედა სკალის მარცხენა განაპირა დანაყოფი ჩაითვალოს ნულად, შუა დანაყოფი ათად და განაპირა მარჯვენა დანაყოფი კი—ოცად. შუა (მეათე) დანაყოფი რომ

აგვეღო ნულად, მაშინ მარცხნივ და მარჯვნივ დაგვჭირდებოდა უარყოფითი და დადებითი რიცხვების შემოღება, რაც გაართულებდა გამოთვლებს.

ნულოვანი წერტილის მოსაძებნად და ჩაწერის წესის გასაცნობად გავარჩიოთ კერძო მაგალითი.

დაუტვირთავი სასწორის ნულოვანი (n_o) წერტილის მოძებნა

რიგი	გადახრები — მარცხნივ	გადახრები — მარჯვნივ	შენიშვნა
1	$a_1=6,4$	$a_2=19,8$	ეს რიცხვები მოყვანილია ნიმუშად. სტუდენტმა დაკვირვებათა წარმოების დროს a_1, a_2... და ა. შ. მაგიერ უნდა ჩაწეროს ცდის დროს მიღებული რიცხვები.
2	$a_3=6,5$	$a_4=19,2$	
3	$a_5=6,6$		
საშუალო	$K_1=6,5$	$K_2=19,5$	

$$n_o=\frac{6,5+19,5}{2}=13$$

ზოგადი n_o-ის გამოსათვლელად გვაქვს მარცხენა გადახრების საშუალო

$$K_1=\frac{a_1+a_3+a_5}{3},$$

მარჯვენა გადახრების საშუალო

$$K_2=\frac{a_2+a_4}{2};$$

$$n_o=\frac{K_1+K_2}{2}.$$

შენიშვნა: 1. სკალის დანაყოფის მეათედ ნაწილებს თვალ-ოვალად აიღებენ.
2. სასწორს ფრთხილად უნდა მოვეპყრათ, რადგან ყოველი მცირე ბიძგიც კი სცვლის მის ნულოვან წერტილს

II.

აწონვა

n_o-ის პოვნის შემდეგ შევუდგებით სხეულის აწონვას: სასწორის მარცხენა ფიალაზე ვათავსებთ ასაწონ სხეულს, მარჯვენაზე კი— აბრებს. აბრების დაწყობა ფიალაზე უნდა ხდებოდეს მიმდევრობით— დიდი წონის აბრიდან მცირესაკენ ისე, რომ უღლის განთავისუფლების შემდეგ ისარი არ გამოდიოდეს ქვედა სკალის (S) ფარგლიდან. რადგან სასწორის საშუალებით სხეულის ზუსტი წონის გამორკვევა ერთბაშად დიდ სიძნელეს წარმოადგენს, ამიტომ ჯერ ავიღებთ სხეულის წონას ნაკლებობით, ე. ი. ისე, რომ აბრების წონა რეიტერით იყოს ნაკლები სხეულის წონაზე და ისრის რყევის ამპლიტუდა არა

სცილდებოდეს სკალას. ავიღებთ, როგორც დაუტვირთავი სასწორის შემთხვევაში (სამი მარცხენა და ორი მარჯვენა გადახრის საშუალებით) სასწორის ნულოვანი მდგომარეობის წერტილს, რომელიც n_1-ის ტოლი უნდა იყოს. შემდეგ უღელზე მარჯვნივ რეიტერის რამდენიმე დანაყოფზე გადანაცვლებით ავიღებთ სხეულის წონას სიჭარბით, ე. ი. ამ შემთხვევაში აბრების წონა სჭარბობს სხეულის წონას და ისრის რყევის ამპლიტუდა არა სცილდება სკალის ფარგლებს. ამ შემთხვევისათვისაც ვიღებთ სასწორის ნულოვანი მდგომარეობის წერტილს, რომელსაც აღვნიშნავთ n_2-ით.

ზემოთ აღნიშნული რომ უფრო ნათელი შეიქნეს, მოვიყვანოთ რიცხვითი მაგალითი: სასწორის მარცხენა მხარეზე ასაწონი სხეულია, მარჯვენა მხარეზე კი—აბრები. $50+20+10+5+2+0{,}5+0{,}1+$ $+0{,}02=87{,}62$ გ. ამის გარდა, რეიტერი მდებარეობს უღლის მარჯვენა მხრის მესამე დანაყოფზე (0,003 გ). მაშასადამე, სხეულის დაახლოებითი წონა (ნაკლებობით) იქნება 87,623 გ.

სასწორის ასეთი მდებარეობისას ისრის რყევებიდან მიღებულია $n_1=15$.

როდესაც უღელზე რეიტერი გადავანაცვლეთ მარჯვნივ ორი დანაყოფით, ცხადია, შეიცვლებოდა სასწორის ნულოვანი წერტილიც და ამიტომ გვესაჭიროება მისი კვლავ მოძებნა. დავუშვათ რომ მისი სიდიდეა $n_2=10$. მაშასადამე, გვაქვს სხეულის წონა ნაკლებობით—87,623 გ და სათანადო ნულოვანი წერტილები: $n_0=13$, $n_1=15$, $n_2=10$. რეიტერის მარჯვნივ ორ დანაყოფზე გადაწევით მივიღეთ ნულოვანი წერტილის შეცვლა n_1-იდან n_2-მდე (15-დან 10-მდე), ე. ი. 5 ერთეულით, რაც ესაბამება 0,002 გ. ცხადია, რომ თუ სკალის დანაყოფის 5 ერთეული ეთანადება 0,002 გ,—ერთი დანაყოფისათვის მივიღებთ $\frac{0{,}002}{5}$; ჩვენ კი გვესაჭიროება n_1-დან n_0-ზე გადასასვლელად არა ერთი დანაყოფი, არამედ – ორი ($n_1-n_2=2$).

თუ სკალის ყოველი დანაყოფისათვის ჩვენ გვქონდა $\frac{0{,}002}{5}$, აშკარაა, რომ ორი დანაყოფისათვის გვექნება ორჯერ მეტი, ე. ი.

$$\frac{0{,}002}{5}\cdot 2=0{,}0008 \text{ გ}.$$

მაშასადამე, სხეულის წონის ზუსტი მნიშვნელობა უნდა იყოს 87,6238 გ.

თუ ამ წონას P-თი აღვნიშნავთ, წონის ნაკლებობით P_1-ით (ჩვენს შემთხვევაში $P_1=87{,}623$ გ) დამატებითი აბრას—ΔP-თი ჩვენს შემთხვევაში დამატებით აბრის როლში იყო რეიტერის გადანაცვლება უღელზე

მარჯვნივ ორი დანაყოფით და ამიტომ $\Delta P=0{,}002$ გ), მაშინ ჩვენ კერძო შემთხვევისათვის ამ რიცხვების მაგიერ მათი აღნიშვნების ჩასმის შემდეგ მივიღებთ ზოგად ფორმულას:

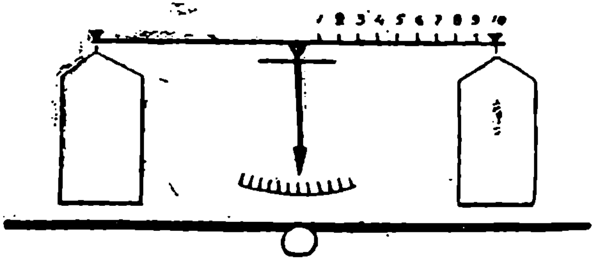
$$\boxed{P=P_1+\Delta P\frac{n_1-n_0}{n_1-n_2}}$$

სიზუსტისათვის აწონვა რამდენჯერმე უნდა ჩატარდეს და მხოლოდ ის ათწილადი ნიშნებია მისაღები, რომლებიც თანხვდენილნი იქნებიან თითოეული აწონვის შემდეგ.

ამოცანა № 2

მყარი სხეულის წონაკუთრის განსაზღვრა ჰიდროსტატიკური აწონვით

საჭირო ხელსაწყოები: 1. სასწორი 2. საცდელი მყარი სხეული. 3. აზრები, 4. ჭიქა წყლით და 5. სკამი (სასწორის ფიალაზე გადასადგამი).



ნახ. 11.

ცნობილია, რომ სხეულის წონაკუთრი ეწოდება ამ სხეულის ერთი კუბური სანტიმეტრის მოცულობის წონას, გამოხატულს გრამებში. ამიტომ, სხეულის წონაკუთრი რომ გავიგოთ, საჭიროა ამ სხეულის წონა (გრამებში) გავყოთ მოცულობაზე (სმ³-ში).

თუ წონაკუთრს აღვნიშნავთ d ასოთი, წონას P-თი და მოცულობას V-თი, მაშინ მივიღებთ შემდეგ ფორმულას:

$$d=\frac{P}{V} \qquad \text{(I)}$$

მაშასადამე, წონაკუთრის გამოსაანგარიშებლად უნდა ვიცოდეთ: 1) სხეულის წონა გრამებში და 2) მოცულობა სმ³-ში.

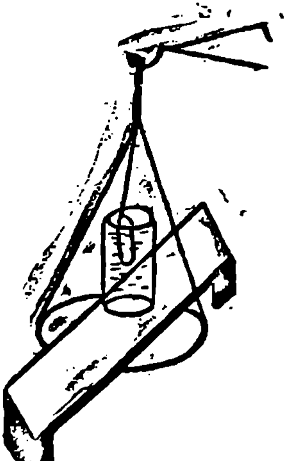
წონას გავიგებთ აწონვით სიზუსტით 1 მგ-დე.

მოცულობის გასაგებად კი მოვიქცეთ ასე: არქიმედის კანონის თანახმად, **სითხეში ჩაძირული სხეული თითქოს ჰკარგავს წონაში იმდენს, რამდენსაც იწონის ამ სხეულის მოცულობის ტოლი სითხე.**

ვთქვათ სხეულის წონა ჰაერში არის P გრამი, ხოლო იმავე სხეულის წონა წყალში P_1 გრამი; მაშინ სხვაობა $(P-P_1)$ იმდენი გრამი იქნება, რამდენი კუბური სანტიმეტრიც არის წყალში ჩაძირული სხეულის მოცულობა. (ვგულისხმობთ რომ წყლის წონაკუთრი $d=1\frac{\text{გრამი}}{\text{სმ}^3}$).

ამგვარად, მოცულობა კუბიკურ სანტიმეტრებში უდრის წონის დანაკარგს გრამებში:

$$V=P-P$$



ნახ. 12.

თუ ჩავსვამთ V-ს მიღებულ მნიშვნელობას (I) ფორმულაში, მივიღებთ წონაკუთრის გამოსაანგარიშებელ საბოლოო ფორმულას:

$$d=\frac{P}{P-P_1} \qquad \text{(II)}$$

ცდის მსვლელობა:

1. აწონეთ სხეული ჰაერში სიზუსტით 1 მგ-დე—P;
2. აწონეთ იგივე სხეული წყალში—P_1;

ამისათვის სასწორის ფიალაზე (ნახ. 12) გადასწიეთ სკამი, ზედ დადგით ჭიქა წყლით. ასაწონი სხეული ჩამოჰკიდეთ სასწორის მარ-

ცხენა მხარეზე, აწონეთ სიზუსტით 1 მგ-დე და შემდეგ ჩაუშვით წყლიან ჭიქაში ისე, რომ სხეული არ ეხებოდეს ჭიქის არც ფსკერს, არც კედლებს და არც სითხის ზედაპირს.

წონასწორობის აღსადგენად მარჯვენა ჯამიდან მოვაკლოთ აბრები; ჯამზე დარჩენილი აბრების წონა გამოხატავს სხეულის წონას წყალში—P_1.

P-სა და P_1-ის მნიშვნელობანი შეიტანეთ (I) ფორმულაში და მიიღებთ წონაკუთრის რიცხვით მნიშვნელობას.

დაკვირვება აწარმოეთ 5-ჯერ, შედეგები შეიტანეთ ცხრილში და გამოიანგარიშეთ. როგორც ფარდობითი, ისე აბსოლუტური ცთომილება.

დაკვირვებათა ცხრილი

რიგი	სხეულის წონა ჰაერში—P	სხეულის წონა წყალში—P_1	$P-P_1$	d	Δd
1					
2					
3					
4					
5					

$$d=$$

ფარდობითი ცთომილება $E_d=$

შენიშვნა: ჩვენ მიერ მიღებული ფორმულა:

$$d=\frac{P}{P-P_1}$$

არ მოგვცემს სხეულის წონაკუთრის ზუსტ მნიშვნელობას შემდეგი მიზეზის გამო:

1. აწონვის დროს ჩვენ მხედველობაში არ მიგვიღია სხეულისა და აბრების წონის დანაკარგი ჰაერში.

2. წყლის წონაკუთრი მოცემულ ტემპერატურის დროს განსხვავდება 1-საგან.

თუ შევიტანთ შესწორებას ჰაერში წონის დანაკარგზე, მივიღებთ:

$$d=\left[\frac{P}{P-P_1}(\delta-\gamma)+\gamma\right],$$

სადაც: δ არის წყლის წონაკუთრი მოცემულ ტემპერატურის დროს და γ ჰაერის წონაკუთრი. თუ შევიტანთ შესწორებას ტემპერატუ-

რაზე, მაშინ სხეულის წონაკუთრი $O°C$ ტემპერატურის დროს გამოიანგარიშება ფორმულით:

$$d_0=\left[\frac{P}{P-P_1}(\delta-\gamma)+\gamma\right](1+\beta t),$$

სადაც β არის მოცემული სხეულის გაფართოების თერმული კოეფიციენტი, ხოლო t ოთახის ტემპერატურა.

II შ ე მ თ ხ ვ ე ვ ა

ისეთი სხეულის წონაკუთრის განსაზღვრა, რომელიც წყალში არ იძირება.

თუ სხეული წყალში არ იძირება, მაშინ მისი წონაკუთრის გამოსაანგარიშებლად უნდა მოვიქცეთ ასე:

1. ავწონოთ საცდელი სხეული ჰაერში, მისი წონა იყოს P_1 გრამი.

2. ავიღოთ ისეთი დამხმარე სხეული, რომელიც იძირება წყალში. ავწონოთ იგი წყალში—P_2 გრამი.

შევკრათ დამხმარე და საცდელი სხეული ერთად და ავწონოთ წყალში—P_3 გრამი.

4. საცდელი სხეულის წონა წყალში იქნება: (P_3-P_2) გრამი

5. საცდელი სხეულის წონის დანაკარგი წყალში იქნება: $(P_1-P_3+P_2)$ გრამი.

მაშასადამე, საცდელი სხეულის წონაკუთრი

$$d=\frac{P_1}{P_1-P_3+P_2}\cdots \quad (I)$$

სადაც,

P_1 არის საცდელი სხეულის წონა ჰაერში,
P_2 „ დამხმარე სხეულის წონა წყალში,
P_3 „ დამხმარე და საცდელი სხეულების წონა წყალში.

შენიშვნა: (I) ფორმულა არ მოგვცემს სხეულის წონაკუთრის ზუსტ მნიშვნელობას. საჭიროა შესწორების შეტანა, როგორც ჰაერში წონის დანაკარგზე, ისე ტემპერატურაზე.

თუ აღვნიშნავთ: წყლის წონაკუთრს მოცემულ ტემპერატურის დროს δ-ასოთი, ჰაერის წონაკუთრს γ-თი, სხეულის გაფართოების კოეფიციენტს β-თი, ხოლო ოთახის ტემპერატურას t-თი, მაშინ მივიღებთ წონაკუთრის გამოსაანგარიშებელ შესწორებულ ფორმულას:

$$d_0=\left[\frac{P_1}{P_1-P_3+P_2}(\delta-\gamma)+\gamma\right](1+\beta t).$$

დაკვირვებათა ცხრილი

№№	P_1	P_2	P_3	$P_1-P_3+P_2$	d	Δd
1						
2						
3						
4						
5						

$d=$

ფარდობითი ცთომილება $E_d=$

III შემთხვევა

სითხის წონაკუთრის განსაზღვრა ჰიდროსტატიკური აწონვით.

უნდა ავიღოთ დამხმარე სხეული, რომელიც იძირება როგორც საცდელ სითხეში, ისე წყალში:

1. ავწონოთ ეს სხეული ჰაერში—P;

2. ავწონოთ იგივე სხეული წყალში—P_1;

მაშინ სხვაობა $(P-P_1)$ გრამი მოგვცემს იმ წყლის წონას, რომლის მოცულობა უდრის დამხმარე სხეულის მოცულობას.

3. ავწონოთ დამხმარე სხეული საცდელ სითხეში—P_2,

მაშინ სხვაობა $(P-P_2)$ გრამი იქნება იმ საცდელი სითხის წონა, რომლის მოცულობა უდრის დამხმარე სხეულის მოცულობას.

4. ამგვარად აღებული სხეულის მოცულობის საცდელი სითხის წონა არის $(P-P_2)$ გრამი, ხოლო იმავე მოცულობის წყლის წონა არის $(P-P_1)$ გრამი.

5. დამხმარე სხეულის, მაშასადამე, საცდელი სითხის მოცულობა იქნება: $\frac{P-P_1}{\delta}$ სმ³.

მაშინ საცდელი სითხის წონაკუთრი მოცემულ ტემპერატურაზე იქნება:

$$d=\frac{P-P_2}{P-P_1}\,\delta,$$

სადაც δ არის წყლის წონაკუთრი მოცემულ ტემპერატურის დროს.

მაშასადამე, სითხის წონაკუთრის გამოსაანგარიშებლად, დამხმარე სხეული უნდა აიწონოს სამჯერ:

1) ჰაერში (P_1), 2) წყალში (P_2) და საცდელ სითხეში (P_3).

დაკვირვებათა ცხრილი

№№	P	P_1	P_2	d	Δd
1					
2					
3					
4					
5					

$d=$

ფარდობ. ცთ-ბა $E_d=$

ამოცანა № 3

სხეულის წონაკუთრის განსაზღვრა მისი წონით და გეომეტრიულ განზომილებათა მიხედვით

საჭირო ხელსაწყოები და მასალა: 1) გეომეტრიულად წესიერი სხეულები (ერთი და იგივე ნივთიერებისა): ცილინდრი და პარალელეპიპედი; 2) შტანგენფარგალი და 3) აწონები ყუთით.

სხეულის წონაკუთრი უდრის ამ სხეულის წონას (გრამებში) გაყოფილს მის მოცულობაზე (სმ³-ში) ე. ი.

$$d=\frac{P}{V}\cdot\cdot\cdot\cdot \qquad \text{(I)}$$

წონას (P) გამოიანგარიშებთ აწონვით სიზუსტით 1 მილიგრამამდე. მოცულობას გამოიანგარიშებთ გეომეტრიული წესებით:

1. ცილინდრის მოცულობა

$$V=\pi R^2 H \quad \text{ან}$$

$$V=\frac{1}{4}\pi D^2 H,$$

სადაც:

R არის ცილინდრის რადიუსი (სმ-ში),

H „ „ სიმაღლე (სმ-ში),

და D „ „ დიამეტრი (სმ-ში).

2) პარალელეპიპედის მოცულობა $V=abc$, სადაც a, b და c არის პარალელეპიპედის განზომილებანი (სიგრძე, სიგანე და სიმაღლე).

ცდის მსვლელობა

1. აწონეთ ცილინდრი სიზუსტით 0,001 გრამამდე; გაიგებთ P-ს.

2. გაზომეთ შტანგენფარგალით ცილინდრის H სიმაღლე და D დიამეტრი. მიღებული შედეგები ჩასვით ცილინდრის მოცულობის ფორმულაში და გაიგებთ V-ს.

3. P და V-ს მნიშვნელობანი შეიტანეთ წონაკუთრის ფორმულაში $\left(d=\frac{P}{V}\right)$ და მიიღებთ იმ ნივთიერების წონაკუთრს, რომლისაგანაც დამზბდებულია ცილინდრი.

4. შტანგენფარგალით გაზომეთ პარალელეპიპედის სიგრძე (a), სიგანე (b) და სიმაღლე (c).

მიღებული შედეგები შეიტანეთ პარალელეპიპედის მოცულობის ფორმულაში და გაიგებთ პარალელეპიპედის V მოცულობას.

5. აწონეთ პარალელეპიპედი სიზუსტით 1 მგ-დე და გაიგებთ P-ს.

6. P და V-ს მნიშვნელობანი შეიტანეთ წონაკუთრის ფორმულაში $\left(d=\frac{P}{V}\right)$ და გაიგებთ d-ს.

რადგან ცილინდრი და პარალელეპიპედი ერთ და იგივე ნივთიერებისაგან არის დამზადებული, ამიტომ გამოიყვანეთ წონაკუთრის საშუალო მნიშვნელობა.

დაკვირვებათა ცხრილი

№№	ცილინდრის სიმაღლე H	ცილინდრის დიამეტრი D	V	P	d	Δd
1						
2						
3						

პარალელეპიპედის:

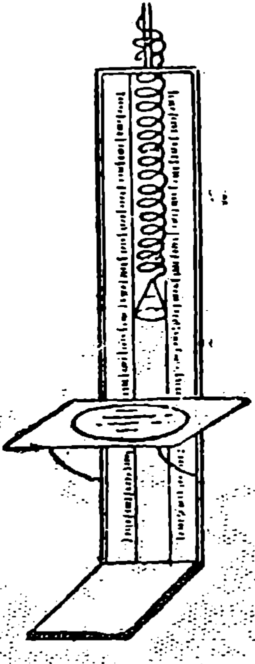
სიგრძე a	სიგანე b	სიმაღლე c	V	P	d	Δd
1						
2						
3						

ამოცანა № 4

სითხის წონაკუთრის განსაზღვრა ჟოლის სასწორით

ჩამოვკიდოთ სასწორის ზამბარაზე (ნახ. 13) რაიმე მყარი სხეული და გავიგოთ მისი წონით გამოწვეული წაგრძელება, რომელიც ვთქვათ, უდრის h_1-დანაყოფს.

თუ Q ტვირთის დაკიდება იწვევს სასწორის ზამბარის ერთი დანაყოფით წაგრძელებას, მაშინ ზამბარაზე დაკიდებული სხეულის წონა (ჰაერში) იქნება Qh_1 გრამი. შევუდგათ ამ სხეულს ქვევიდან წყალი და გავიგოთ წყალში ჩაძირული სხეულის მიერ გამოწვეული წაგრძე-



ნახ. 13.

ლება—h_2; მაშინ წყალში ჩაძირული სხეულის წონა იქნება Qh_2 გრამი, ხოლო წონის დანაკარგი წყალში ჩაძირვის დროს $Q(h_1-h_2)$ გ. წყალში ჩაძირული სხეულის მოცულობაა $\frac{Q(h_1-h_2)}{\delta}$ სმ³, სადაც δ არის წყლის წონაკუთრი.

როცა ცნობილია სხეულის წონა (გრამებში) და მოცულობა (სმ³-ში), მაშინ ამ სხეულის წონაკუთრი გამოიხატება შემდეგი ფორმულით:

$$d=\frac{Q h_1}{\frac{Q(h_1-h_2)}{\delta}}$$

ანუ:

$$d=\frac{h_1}{h_1-h_2}\delta \cdots \quad (1),$$

სადაც δ არის წყლის წონაკუთრი.

თუ იგივე სხეულს ეხლა ჩავძირავთ არა წყალში, არამედ საკვლევ სითხეში, მაშინ იმავე მყარი სხეულის წონაკუთრისათვის საკვლევი სითხის მიმართ მივიღებთ ფორმულას:

$$d=\frac{h_1}{h_1-h^1_2}\delta^1 \cdots \quad (2),$$

სადაც h^1_2 არის საკვლევ სითხეში ჩაძირული მყარი სხეულის მიერ გამოწვეული ზამბარის წაგრძელება, ხოლო δ საკვლევი სითხის წონაკუთრი.

(1) და (2) ფორმულებიდან მივიღებთ საკვლევი სითხის წონაკუთრის გამოსაანგარიშებელ საბოლოო ფორმულას:

$$\delta'=\frac{h_1-h'_2}{h_1-h_2}\delta \cdots \quad (3).$$

როგორც ვხედავთ, ამ ხერხით სითხის წონაკუთრის გამოსაანგარიშებლად საჭიროა გავზომოთ:

1) დამხმარე სხეულის დაკიდვით გამოწვეული წაგრძელება ჰაერში—h_1;

2) წყალში ჩაძირული იმავე სხეულის დაკიდვით გამოწვეული წაგრძელება—h_2;

3) საკვლევ სითხეში ჩაძირული იმავე სხეულით გამოწვეული წაგრძელება—h'_2.

და 4) წყლის წონაკუთრი მოცემული ტემპერატურის დროს.

ცდის მსვლელობა

ათვალეთ სკალაზე ფიალას საწყისი მდებარეობა—N_0.

ჩამოჰკიდეთ სასწორის ფიალაზე დამხმარე მყარი სხეული და ათვალეთ ფიალას ახალი მდებარეობა—N_1. ჩაძირეთ დამხმარე სხეული წყალში ისე, რომ იგი არ ეხებოდეს ჭურჭლის ფსკერს, კედლებს და სითხის ზედაპირს და აითვალეთ ფიალას მდებარეობა—N_2.

ჩაძირეთ სხეული საკვლევ სითხეში და ათვალეთ ფიალას მდებარეობა—N'_2.

გამოთვალეთ წაგრძელებანი:

$$h_1 = N_1 - N_0$$
$$h_2 = N_2 - N_0$$
$$h'_2 = N'_2 - N_0$$

მიღებული შედეგები ჩასვით მე-(3) ფორმულაში და გაიგებთ საკვლევი სითხის წონაკუთრს.

ცდა განიმეორეთ სამჯერ, მხოლოდ ყოველი ცდისათვის დამხმარე სხეული სხვადასხვა იყოს.

გამოითვალეთ აბსოლუტური და ფარდობითი ცთომილებანი.

დაკვირვებათა ცხრილი

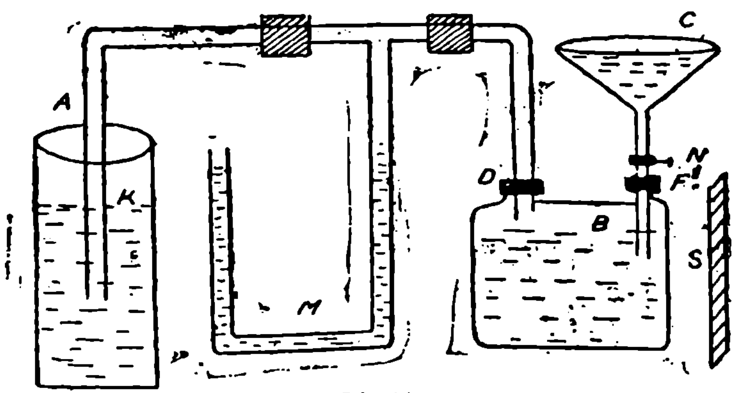
დაკვირვე-ბათა რიგი	ჰ ა ე რ შ ი			წყალში		საკვლევ სითხეში		საკვლ. სით-ხის წონაკუთ	აბს. ცდო-მილება
	N_0	N_1	h_1	N_2	h_2	N'_2	h'_2	δ'	$\Delta\delta'$
1									
2									
3									

$\delta' =$

ფარდ. ცდომილება $E_\delta =$

ამოცანა № 5

სითხის ზედაპირული დაჭიმულობის პოვნა ისდარის მეთოდით



ნახ. 14.

საჭირო იარაღები: მიკრომეტრი—კაპილარის (k) რადიუსის გასაგებად და თერმომეტრი—წყლის ტემპერატურის გასაგებად.

ხელსაწყოს აღწერა. ხელსაწყო (ნახ. 14) შედგება მინის ჭურჭლისაგან (B), რომელსაც აქვს ორი საცობი: F და D. (ნახ. 14). F საცობში გაყრილია მინის მილაკი, რომელიც რეზინის მილით შეერთებულია C ძაბრთან. D საცობში კი გაყრილია მინის მილაკი, რომელიც შეერთებულია M მანომეტრთან. ამ მილაკის გაგრძელება ბოლოვდება k კაპილარით, რომელიც ჩაშვებულია A ჭიქაში. ამ ჭიქის ვერტიკალურ კედელზე მიმაგრებულია S სკალა იმისათვის, რომ გაგებულ იქნეს k კაპილარის A ჭიქაში ჩაშვების სიღრმე.

თუ კაპილარში, რომლის ერთი ბოლო ჩაშვებულია საკვლევ სითხეში, გავატარებთ მცირე წნევის ქვეშ ჰაერს, მაშინ ამ კაპილარის ბოლოზე, რომელიც ჩაშვებულია სითხეში, წარმოიქმნება ჰაერის ბუშტები. ამ ბუშტებში წნევა ატმოსფერულ წნევაზე მეტია შემდეგი სიდიდით:

$$\left(gDh+\frac{2\alpha}{R}\right) \qquad (1).$$

(1) გამოთქმაში g—სიმძიმის ძალით გამოწვეული აჩქარებაა (981 სმ/სეკ^2); D—საკვლევი სითხის სიმკვრივე; h—სიღრმე, რომელზედაც ჩაშვებულია კაპილარი სითხეში; R—კაპილარის გარეგანი რადიუსია და α—საძიებელი ზედაპირული დაჭიმულობა.

აღნიშნული წნევა წონასწორდება ბუშტის შიგნით არსებული ჰარბი წნევით

$$gD'H \qquad (2),$$

სადაც D' მანომეტრული სითხის სიმკვრივეა. g—სიმძიმის ძალით გამოწვეული აჩქარება და H—მანომეტრის მუხლებს შორის სითხის დონეთა სხვაობა.

რადგან მე-(2) გამოთქმა (1)-ის ტოლია, ამიტომ

$$gD'H=gDh+\frac{2\alpha}{R},$$

საიდანაც მივიღებთ

$$\alpha=\frac{Rg(D'H-Dh)}{2} \qquad (3)$$

მე-(3) განტოლებაში უნდა შევიტანოთ შესწორება R-ზე. რადგან R-ით აღნიშნულია ბუშტის რადიუსი, რომლის გამოთვლაც სიძნელეს წარმოადგენს და ჩვენ კი ბუშტის რადიუსის ნაცვლად ვზომავთ

კაპილარის რადიუსს, ამიტომ ბუშტის რადიუსის გამოსათვლელად საჭიროა კაპილარის რადიუსის (R-ის) გამრავლება 0,62-ზე, რაც გამოხატავს წვეთის ყელის დავიწროების კოეფიციენტს.

ამ შესწორების შეტანის შემდეგ α-სათვის საბოლოოდ შემდეგ გამოსათვლელ ფორმულას მივიღებთ:

$$\alpha = \frac{0{,}62\, Rg\,(D'H - Dh)}{2}.$$

ცდა შემდეგი მიმდევრობით შევასრულოთ:

1. შევადგინოთ დაკვირვებათა ცხრილი, რომელშიაც შევიტანოთ გაზომვის შედეგად მიღებული რიცხვები.
2. გავზომოთ K კაპილარის რადიუსი (R-სმ).
3. გავზომოთ ის სიმაღლე (h-სმ), რომელზედაც ჩაშვებულია (k) კაპილარი A ჭიქაში.
4. N მომჭერის საშუალებით წვეთების დინება B ჭურჭელში მოვაწესრიგოთ ისე, რომ A ბუშტების რაოდენობა არ აღემატებოდეს 3 ან 4 წვეთს წამში.
5. გავზომოთ მანომეტრის მუხლებს შორის სითხის დონეთა სხვაობა (H სმ) იმ მომენტში, როდესაც ბუშტი სწყდება კაპილარს.
6. გავზომოთ სითხის ტემპერატურა $t^\circ C$-ში.
7. ცდა განვიმეოროთ რამდენიმეჯერ და α-სათვის ავიღოთ საშუალო მნიშვნელობა.
8. გამოვთვალოთ ფარდობითი ცთომილება.

დაკვირვებათა ცხრილი

რიგის №	კაპილარის რადიუსი R-სმ	კაპილარის ჩაშვების სიღრმე h სმ	სითხის დონეთა შორის სხვაობა მანომეტრში H სმ	სითხის ტემპერატურა $t^\circ C$	ზედაპირული დაჭიმულობა α

ამოცანა № 6

სითხის ზედაპირული დაჭიმულობის ძალის გამოთვლა წვეთის მოწყვეტის საშუალებით

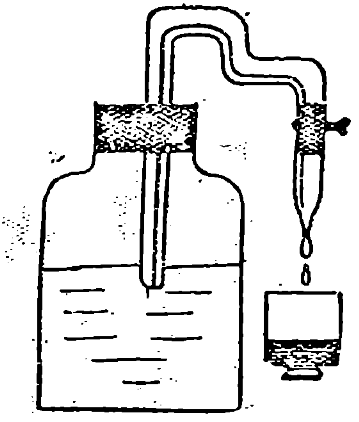
საჭირო ხელსაწყოები და მასალა: 1. სასწორი აბრებით; 2. სადგამზე მოთავსებული მინის ჭურჭელი გამოსაკვლევი სითხით; ამ ჭურჭელს გაკეთებული აქვს მოხრილი სიფონიანი მილი, რომელსაც ბოლოში ჩამოცმული აქვს კაუჩუკის მილი მოსაჭერით და მინის მილი წვეთების მისაღებად (ნახ. 15); 3. შტანგენფარგალი ან მიკრომეტრი და 4. ჭიქა სახურავით წვეთების ასაწონად.

სითხის ზედაპირული დაჭიმულობა გაიზომება იმ ძალით, რომელიც მოქმედებს სითხის ზედაპირზე ნებისმიერად აღებულ სიგრძის ერთეულზე, ამ სიგრძის პერპენდიკულარულად და სითხის ზედაპირის მხებად.

თუ l სიგრძეზე მოქმედებს F ძალა, მაშინ ზედაპირული დაჭიმულობის ძალა

$$\alpha = \frac{F}{l} \quad \frac{\text{მილიგრამი}}{\text{მმ}} \quad \ldots\ldots \quad (1)$$

ხელსაწყოს აღწერილობა: (ნახ. 16).



ნახ. 15.

ნახ. 16.

თუ სითხის წვეთი ჩამოდის ვიწრო მილიდან, მაშინ მოწყვეტის მომენტში წვეთი ღებულობს მე-16 ნახაზზე მოცემულ „ა—ბ“ ფორმას.

ამ მომენტში წვეთის წონა ტოლია მოწყვეტის კონტურზე მოქმედი დაჭიმულობის ძალისა.

მინის მილის გარეგანი დიამეტრი იყოს $D=2r$ (მმ-ში), მაშინ წვეთის შევიწროებული ნაწილის რადიუსი $0,62r$ ტოლი იქნება, სადაც 0,62 მილის შევიწროების კოეფიციენტია.

მოწყვეტის მომენტში კონტურის სიგრძე

$$l=2\pi\cdot 0,62r$$

ანუ

$$l=0,62\pi D \qquad (2)$$

ამ ფორმულით გავიგებთ იმ კონტურის სიგრძეს, რომელზედაც მოქმედობს F ძალა. F-ის გამოსაანგარიშებლად ასე უნდა მოვიქცეთ:

1. ავწონოთ ცარიელი ჭიქა, რომლის წონა იყოს P_1 მილიგრამი.
2. ჩაუშვათ ამ ჭიქაში 30-დან 50-დე წვეთი და ავწონოთ წვეთებიანი ჭიქა—P_2 მილიგრამი.

თუ წვეთების რაოდენობა n უდრის, მაშინ ერთი წვეთის წონა იქნება:

$$\frac{P_2-P_1}{n} \text{ მილიგრამი.}$$

მაგრამ ერთი წვეთის წონა სწორედ l სიგრძის კონტურზე მოქმედ ძალას უდრის, ე. ი.

$$F=\frac{P_2-P_1}{n} \text{ მგ} \qquad (3)$$

(1) ფორმულაში ჩავსვათ F-ისა და l-ის მნიშვნელობანი მე-(3) და მე-(2) ფორმულებიდან და მივიღებთ ზედაპირული დაჭიმულობის ძალის გამოსაანგარიშებელ საბოლოო ფორმულას:

$$\alpha=\frac{P_2-P_1}{0,62\pi nD} \qquad (4)$$

ცდის მსვლელობა:

1. აწონეთ ცარიელი ჭიქა და მისი (P_1) წონა შეიტანეთ დაკვირვებათა ცხრილში.
2. ჩაუშვით ჭიქაში 30-დან 50-დე წვეთი ისე, რომ წამში ჩადიოდეს არა უმეტეს 5—6 წვეთისა.
3. აწონეთ წვეთებიანი ჭიქა და მისი წონა P_2 და წვეთების n რაოდენობა შეიტანეთ დაკვირვებათა ცხრილში.
4. სხვადასხვა ადგილას მიკრომეტრით ორჯერ გაზომეთ მილის დიამეტრი და მისი საშუალო მნიშვნელობა (D) შეიტანეთ დაკვირვებათა ცხრილში.
5. მიღებული შედეგები ჩასვით მე-(4) ფორმულაში და გაიგებთ α-ს.

ცდა განიმეორეთ 3-ჯერ და გამოიყვანეთ α-ს საშუალო მნიშვნელობა. გამოთვალეთ აბსოლუტური და ფარდობითი ცთომილებანი.

დაკვირვებათა ცხრილი

რიგის №	ცარიელი პიქის წონა P_1	წვეთების რიცხვი n	წვეთებიანი პიქის წონა P_2	მილის გარეგანი დიამეტრი D	ზედაპირ. დაჭიმულობა $\alpha \frac{\text{მგრ}}{\text{მმ}}$	$\Delta\alpha$
1						
2						
3						

$\alpha =$

ფარდ. ცთომილება $E_a =$

ამოცანა № 7

ლინზის სიმრუდის რადიუსის განსაზღვრა სფერომეტრის საშუალებით

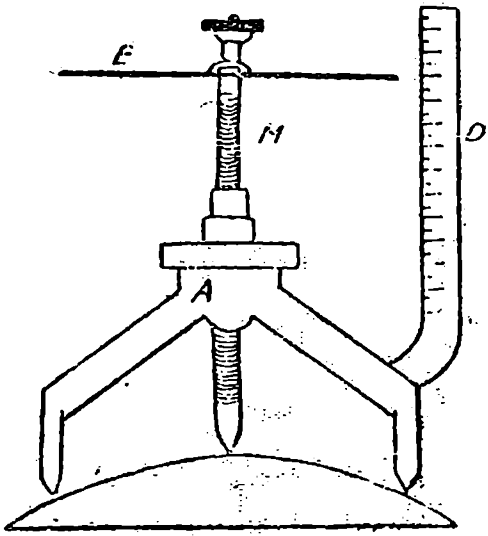
საჭირო ხელსაწყოები და მასალა: 1) სფერომეტრი; 2) სარკისებური მინა და 3) ლინზა, რომლის სიმრუდის რადიუსი უნდა განვსაზღვროთ.

ხელსაწყოს აღწერა: სფერომეტრი ხელსაწყოა, რომლითაც ზომავენ სფერული მინების (ლინზების) სიმრუდის რადიუსს, ბრტყელი ფირფიტების სისქესა და ზედაპირის უსწორმასწორობას.

სფერომეტრის მთავარ ნაწილს წარმოადგენს მიკრომეტრული ხრახნი M, რომელიც ჩადგმულია სამფეხა სადგარის (A) ქანჩში (ნახ. 17). მიკრომეტრული ხრახნის ქვედა ბოლო წაწვეტილია, ზედა ბოლოზე გაკეთებულია E დისკო, რომელიც დაყოფილია 50 თანასწორ ნაწილად. მიკრომეტრული ხრახნის ბიჯი უდრის 0,5 მმ-ს (ე. ი. ერთი სრული ბრუნვის დროს ხრახნის ბოლო გადაინაცვლებს 0,5 მმ-ით).

სამფეხზე მიმაგრებულია (D) სახაზავი დანაყოფებით.

მიკრომეტრული ხრახნის ბრუნვისას დისკო გადაინაცვლებს (აიწევს ან დაიწევს) სახაზავის გასწვრივ.



ნახ. 17.

ფორმულის გამოყვანა

სფერომეტრს ფრთხილად დადგამთ სარკისებურ მინაზე და მიკრომეტრულ ხრახნს დაუშვებთ მანამდე, სანამ იგი არ შეეხება მინას (როცა მიკროხრახნი მეტად დაშვებულია, მაშინ მის ზედაბოლოზე მოთავსებული ბერკეტი მაღლა აიწევს).

ვერტიკალურ სკალაზე დანიშნავთ დისკოს მდებარეობის დანაყოფს და დისკოს სკალაზე იმ დანაყოფს, რომლითაც დისკო ეხება სახაზავის პირს.

ვერტიკალურ სკალაზე დანაყოფთა რიცხვი იყოს N, დისკოს დანაყოფი კი—n.

სფერომეტრს ლინზაზე დგამთ და ხრახნს მანამდე აბრუნებთ, სანამ მისი ქვედა ბოლო არ შეეხება ლინზას. ახალი ანათვალი ვერტიკალურ სკალაზე იყოს—N_1, დისკოზე კი—n_1.

ვერტიკალური სკალის ანათვალით სხვაობა—$(N-N_1)$ გვიჩვენებს ლინზის სეგმენტის სისქეს მილიმეტრებში.

რადგან დისკო დაყოფილია 50 თანასწორ ნაწილად და დისკოს ერთი სრული ბრუნვის დროს მიკრომეტრული ხრახნი გადაინაცვლებს 0,5 მმ-ით, ამიტომ დისკოზე ანათვალთა სხვაობა გამრავლებული 0,5-ზე და გაყოფილი 50-ზე გვიჩვენებს მილიმეტრის ნაწი-

ლებს, რომელიც უნდა დაემატოს მილიმეტრების მთელ რიცხვს, რომ მივიღოთ სეგმენტის სისქე.

მილიმეტრების მთელი რიცხვია: (N_1-N) მილიმეტრების ნაწილებია:

$$\frac{(n_1-n)\cdot 0{,}5}{50}=\frac{n_1-n}{100}$$

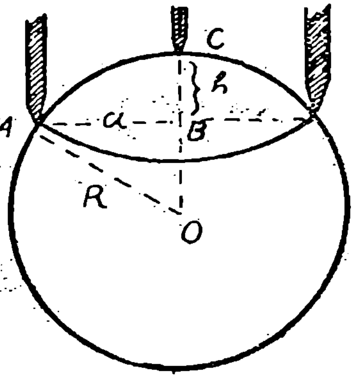
სეგმენტის სისქე იქნება:

$$h=\left(N_1-N+\frac{n_1-n}{100}\right)\text{მმ} \qquad (1)$$

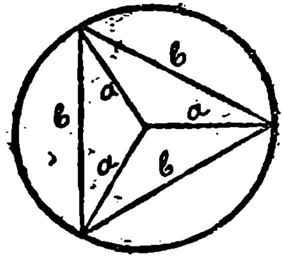
სფერომეტრს დადგამთ სუფთა ქაღალდზე და აღნიშნავთ მისი სამი ფეხის მდებარეობას.

სახაზავით გაზომავთ მანძილებს ფეხებს შორის (მილიმეტრებში) და გაიგებთ საშუალო მანძილს:

$$b=\frac{b_1+b_2+b_3}{3} \qquad (2).$$



ნახ. 18.



ნახ. 19.

განვიხილოთ მე-18 ნახაზი.

$CB=h$ სეგმენტის სისქეა.

$AO=R$ სეგმენტის (ლინზის) სიმრუდის რადიუსია.

პითაგორის თეორემის თანახმად:

$$R^2=AB^2+OB^2,$$
$$R^2=a^2+(R-h)^2,$$
$$R^2=a^2+R^2-2Rh+h^2,$$
$$2Rh=a^2+h^2,$$

$$R=\frac{a^2+h^2}{2h} \qquad (3).$$

a გამოსაანგარიშებლად, განვიხილოთ ის წესიერი სამკუთხედი რომელიც შეიქმნება მიკრომეტრის სამივე ფეხების საყრდენ წერტილების შეერთებით (ნახ. 19).

ამ სამკუთხედისათვის a შემოხაზული წრის რადიუსია, ამიტომ:

$$b=a\sqrt{3}$$

აქედან

$$a=\frac{b}{\sqrt{3}},$$

ხოლო

$$a^2=\frac{b^2}{3} \qquad (4)$$

a^2 მიღებული მნიშვნელობა შევიტანოთ მე-(3) ფორმულაში და ლინზის სიმრუდის რადიუსის გამოსაანგარიშებელ ფორმულას მივიღებთ:

$$R=\frac{\frac{b^2}{3}+h^2}{2h}.$$

ანუ

$$R=\frac{b^2+3h^2}{6h} \qquad (5).$$

მაშასადამე, ლინზის სიმრუდის რადიუსის მოსაძებნად უნდა გავიგოთ:

1) სეგმენტის სიმაღლე $=h$—(1) ფორმულიდან.

2) ფეხებს შორის საშუალო მანძილი $=b$—(2) ფორმულიდან და შემდეგ ჩავსვათ საბოლოო (5) ფორმულაში.

ცდა გავიმეოროთ სამჯერ და გამოვიყვანოთ R-ის საშუალო მნიშვნელობა.

დაკვირვებათა ცხრილი

რიგის №	N	n	N_1	n_1	h	b_1	b_2	b_3	b	R
1										
2										
3										

ამოცანა № 8

სიმძიმის ძალის აჩქარების განსაზღვრა მარტივი საქანით

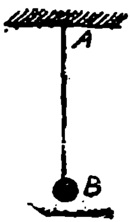
საჭირო ხელსაწყოები: ძაფზე დაკიდებული მძიმე ბირთვი (ნახ. 20); წამმზომი ან საათი წამიანი ისრით; მასშტაბი, მიკრომეტრი ან შტანგენფარგალი.

ამოცანის მიზანია სიმძიმის ძალის აჩქარების განსაზღვრა მარტივი საქანით.

თეორიიდან ცნობილია, რომ მარტივი საქანის რხევის პერიოდსა (T), სიგრძესა (L) და სიმძიმის ძალის აჩქარებას (g) შორის მცირე ამპლიტუდების დროს შემდეგი დამოკიდებულება არსებობს:

$$T=2\pi\sqrt{\frac{L}{g}}\left(1+\frac{1}{4}\sin^2\frac{\alpha}{2}\right) \qquad (1),$$

სადაც α ვერტიკალური მდგომარეობიდან გადახრის კუთხეა.



ნახ. 20.

თუ ცდის წარმოებისას ვეცდებით, რომ საქანის გადახრის კუთხე მცირე იყოს (არ აღემატებოდეს 4° ან 5°), მაშინ შეგვიძლია კუთხის სიმცირის გამო მხედველობაში არ მივიღოთ განტოლების უკანასკნელი წევრი და (1) განტოლება შემდეგ სახეს მიიღებს.

$$T=2\pi\sqrt{\frac{L}{g}},$$

საიდანაც

$$\boxed{g=\frac{4\pi^2L}{T^2}} \qquad (2)$$

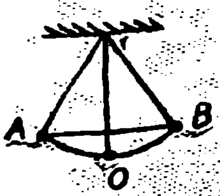
როგორც მე-(2) განტოლება გვიჩვენებს g-ს გამოსათვლელად საჭირო ყოფილა: საქანის სიგრძე (L) და მისი რხევის პერიოდი (T).

გაზომვა. საქანის L სიგრძედ ჩაითვლება მანძილი მისი დაკიდების წერტილიდან ბირთვის სიმძიმის ცენტრამდე. ამისათვის ძაფის მთე-

ლი სიგრძე უნდა გაიზომოს დაკიდების წერტილიდან (A-დან) ბირთვამდე და მას დაემატოს ბირთვის რადიუსის (r) მნიშვნელობა. ამ რადიუსის საპოვნელად შტანგენფარგალით ან მიკრომეტრით გავზომავთ ბირთვის დიამეტრს (d-ს) და მას შუაზე გავყოფთ. მაშასადამე,

$$L=l+\frac{d}{2}.$$

პერიოდის (T-ს) გასაზომად ასე მოვიქცეთ: როგორც ზემოთ იყო აღნიშნული T ერთი სრული რყევის პერიოდია, ე. ი. ერთ სრულ რყევაზე დახარჯული დრო. პერიოდის გამოსათვლელად საჭიროა შევთანხმდეთ იმაში, თუ საქანის რა მდებარეობა ჩაითვალოს რყევის დასაწყისად. რყევის დასაწყისად ის მომენტი ჩავთვალოთ, როდესაც საქანი გაივლის განაპირა მარცხენა წერტილს (A-ს) (ნახ. 21) და ამ მომენტში გავუშვათ წამმზომი. ამის შემდეგ უნდა ვთვალოთ სრული რყევების რიცხვი (ამ შემთხვევაში სრული რყევა იქნება



ნახ. 21.

$(AB+BA)$ და როდესაც დავთვლით n სრულ რყევას (n იყოს 50-დან 100-მდე), შევაჩერებთ წამმზომს. წამმზომის ჩვენება გვაძლევს n რყევაზე დახარჯულ დროს (t-ს); ერთ რყევაზე დახარჯული დრო, კი იქნება:

$$T=\frac{t}{n} \text{ წამი.}$$

ამგვარად ვიპოვით L და T; მათი რიცხვითი მნიშვნელობების ჩასმის შემდეგ (2) განტოლებაში მივიღებთ g-ს რიცხვით მნიშვნელობას.

g-ს გამოსათვლელად არსებობს ხერხი, რომელიც არ მოითხოვს საქანის სიგრძის გაზომვის აუცილებლობას. ამ ხერხის თანახმად საქანის პირვანდელი სიგრძე (L_1) რამდენიმე სმ-ით (15-დან 25 სმ-დე) უნდა დამოკლდეს და აგრეთვე უნდა ვიცოდეთ ის პერიოდები (T_1 და T_2) რომლებიც ესაბამებიან პირვანდელ და დამოკლებულ საქანის სიგრძეებს.

ფორმულის გამოყვანა: დავუშვათ, რომ L_1 სიგრძეს ესაბამება T_1 პერიოდი, L_2-ს კი—T_2. მაშინ მე-(2) განტოლების მიხედვით გვაქვს:

$$T^2_1 = 4\pi^2 \frac{L_1}{g} \qquad (a)$$

და

$$T^2_2 = 4\pi^2 \frac{L_2}{g} \qquad (b)$$

(a)-ს გამოვაკლოთ—(b); მივიღებთ:

$$T^2_1 - T^2_2 = \frac{4\pi^2}{g} (L_1 - L_2).$$

საიდანაც

$$g = \frac{4\pi^2 (L_1 - L_2)}{T^2_1 - T^2_2}$$

ანუ, რაც იგივეა

$$\boxed{g = \frac{4\pi^2 (L_1 - L_2)}{(T_1 + T_2)(T_1 - T_2)}}$$

პირველი ხერხის მიხედვით ცდა შემდეგი მიმდევრობით ჩავატაროთ:

1. შევადგინოთ პირველი ხერხის შესაბამისი დაკვირვებათა ცხრილი და მასში შევიტანოთ გაზომვის შედეგად მიღებული რიცხვები.

2. გავზომოთ ძაფის სიგრძე საკიდი წერტილიდან ბირთვამდე (l სმ).

3. გავზომოთ ბირთვის დიამეტრი (d·სმ) და გამოვთვალოთ საქანის სიგრძე $\left(L = l + \frac{d}{2} \right)$.

4. გამოვიყვანოთ საქანი წონასწორობიდან, რამდენიმე რყევის შემდეგ ავამუშავოთ წამმზომი და დავიწყოთ რყევათა რიცხვის თვლა.

5. პირველი ცდის დროს ავითვალოთ 50 სრული რყევა და ამ მომენტში შევაჩეროთ წამმზომი და მისი ჩვენება შევიტანოთ დაკვირვებათა ცხრილში. შემდეგი ცდების დროს სრულ რყევათა რაოდენობას თანდათან უმატოთ (60, 70, 80 და ა. შ.) რყევები.

6. განვიმეოროთ ცდა რამდენიმეჯერ.

7. გამოვთვალოთ ცთომილებანი.

II ხ ე რ ხ ი

ამ შემთხვევაში ცდა ჩავატაროთ შემდეგი მიმდევრობით:

1. შევადგინოთ ამ ხერხის შესაბამისად დაკვირვებათა ცხრილი და მასში შევიტანოთ გაზომვის შედეგად მიღებული რიცხვები.
2. გავზომოთ წინა ხერხის თანახმად საქანის პირვანდელი სიგრძის (დაახლოებით 1 მ-ია) ერთი სრული რხევის პერიოდი—T_1-წამი.
3. დავამოკლოთ ჩვენი საქანი ჯერ 15 სმ-ით, შემდეგ 20 და 25-ით. ზემოაღნიშნული წესების მიხედვით ხელმეორედ ვიპოვოთ მათი პერიოდები—T_2-წამი.
4. ცდა განვიმეოროთ რამდენიმეჯერ.
5. გამოვთვალოთ ცთომილებანი.

პირველი ხერხით მიღებული ანათვლები შევიტანოთ შემდეგ ცხრილში.

დ ა კ ვ ი რ ვ ე ბ ა თ ა ც ხ რ ი ლ ი

რიგის №	ძაფის სიგრძე l სმ	ბირთვის დიამეტრი d-სმ	ბირთვის რადიუსი $r=\frac{d}{2}$	საქანის სიგრძე $L=l+r$	რხევათა რიცხვი n	n რხევის ხანგრძლივობა t	სრული რხევის პერიოდი $T=\frac{t}{n}$	g სმ/სეკ²

მე-II ხერხით მიღებული ანათვლები შევიტანოთ დაკვირვებათა ცხრილში.

რიგის №	სრული რხევათა პერიოდი		რამდენი სმ-ით დამოკლდა საქანი (L_1-L_2) სმ	$g=\frac{4\pi^2(L_1-L_2)}{(T_1-T_2)(T_1+T_2)}$ $\frac{\text{სმ}}{\text{წამ}^2}$
	რომელიც შეესაბამება დაუმოკლებელ საქანს T_1-წამ.	რომელიც შეესაბამება დამოკლებულ საქანს T_2-წამ.		

ამოცანა № 9

იუნგის მოდულის პოვნა მავთულის გაჭიმვით

საჭირო ხელსაწყოები: საცდელი მავთული (AA_1) ცილინდრით ($KBEF$), რომელიც მიმაგრებულია მავთულის ბოლოზე; ბერკეტი (RS) სარკით (M) ჭოგრი (G) განათებული სკალით (n); აბრები (p), მიკრომეტრი მავთულის დიამეტრის გასაზომად და მასშტაბი.

თეორია. თუ ერთი ბოლოთი დამაგრებული მავთულის (ნახ. 22) თავისუფალ ბოლოზე ვიმოქმედებთ მექანიკური ძალით, მაგალითად, რაიმე ტვირთის დაკიდვით, მაშინ მავთულის პირვანდელი სიგრძე (L_1) L_2-ით შეიცვლება. სხვაობას

$$L_2 - L_1 = \Delta L$$

აბსოლუტური წაგრძელება ეწოდება. თანახმად ჰუკის ცნობილი კანონისა, ეს აბსოლუტური წაგრძელება (ΔL), პირდაპირ პროპორციულია საწყისი სიგრძის (L_1), მოქმედი ძალის (P) და უკუპროპორციულია მავთულის განივკვეთის ფართისა (S):

$$\Delta L = k\frac{PL_1}{S} \qquad (1)$$

ამ ფორმულაში k აღნიშნავს პროპორციულობის კოეფიციენტს, რომლის სიდიდეც დამოკიდებულია მავთულის ნივთიერების გვარობაზე[1]). ტექნიკაში k-ს ნაცვლად მისი შებრუნებულ $E=\frac{1}{k}$ სიდიდეს იყენებენ, რომელსაც იუნგის მოდული[2]) ეწოდება. მისი განზომილებაა კგ/მმ^2.

k-ს მაგიერ (1) განტოლებაში შევიტანოთ $\frac{1}{E}$, მივიღებთ:

$$\Delta L = \frac{PL_1}{ES}$$

და აქედან კი საძიებელი

$$E = \frac{PL_1}{\Delta L \cdot S} \qquad (2)$$

---

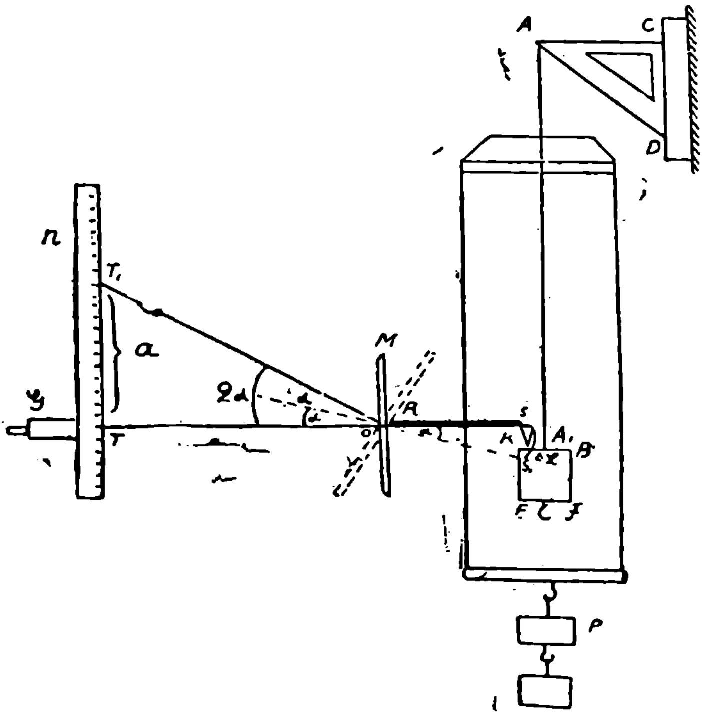
[1]) თუ $L=1$, $R=1$ და $S=1$, მაშინ $\Delta L = k$.

მაშასადამე, k რიცხობრივ უდრის ისეთი მავთულის წაგრძელებას, რომლის სიგრძე და განივი კვეთის ფართობი ერთეულების ტოლია და მასზე მოქმედი ძალაც უდრის ერთეულს.

[2]) იუნგის მოდული რიცხობრივად იმ ძალის ტოლია, რომელსაც შეუძლია გამოიწვიოს ერთის ტოლი დეფორმაცია, ე. ი. ჩვენი შემთხვევისათვის გააორკეცოს მავთულის სიგრძე.

ცდის წარმოებისას მთავარ სიძნელეს წარმოადგენს აბსოლუტური წაგრძელების ΔL პოვნა (მისი სიმცირის გამო). ამიტომ ამ სიდიდის საპოვნელად ჩვენ ვისარგებლებთ მეტად მგრძნობიარე მეთოდით, ე. წ. პოგრისა და სკალის მეთოდით.

ხელსაწყოს აღწერა. AA_1 მავთული, რომლის სიგრძეა L_1 მმ და განივი კვეთის ფართი S მმ², დაკიდებულია კრონშტეინზე (ACD-ზე). მის მეორე თავისუფალ ბოლოზე ჰკიდია ცილინდრი



ნახ. 22.

($KBEF$). ამ ცილინდრის ზედა ფუძეზე დაყრდნობილია (RS) ბერკეტის თავისუფალი ბოლო (S). ამ ბერკეტის მეორე ბოლოზე (R) მიმაგრებულია ბრტყელი სარკე (M). როდესაც საკვლევ მავთულს დავტვირთავთ გარკვეული აზრით, მაშინ მავთული წაგრძელდება, მასზე დაყრდნობილი ბერკეტი დაიწევს და მოატრიალებს სარკეს გარკვეულ კუთხეზე. ცდამდე პოგრს დავაყენებთ ისე, რომ მისი ძაფების გადაკვეთის წერტილში მივიღოთ სკალის რომელიმე დანაყოფი. ნახაზიდან ჩანს, რომ დატვირთვის გამო მავთული ქვემოთ და-

იწევს და მასთან ერთად დაიწევს აგრეთვე ბერკეტიც, რომელიც მოატრიალებს M სარკეს α კუთხით. როგორც ცნობილია თეორიიდან, თუ სარკე მოტრიალდება α კუთხით, მაშინ მისგან არეკლვილი სხივი უნდა მოტრიალდეს 2α-თი.

2α კუთხეს ვღებულობთ იმიტომ, რომ სარკის α კუთხით მობრუნების გამო სხივის დაცემის კუთხე გაიზრდება α კუთხით, აგრეთვე α კუთხით გაიზრდება არეკლვის კუთხეც. აქედან ვღებულობთ, რომ სხივის ახალი მიმართულება 2α-თი განსხვავდება ძველი მიმართულებისაგან.

ΔRSS_1-დან გვაქვს:

$$SS_1 = RS \cdot \sin\alpha,$$

მაგრამ SS_1 არის მავთულის აბსოლუტური წაგრძელება, ე. ი. ΔL RS კი ბერკეტის სიგრძე (r), ე. ი.

$$\Delta L = r \cdot \sin\alpha$$

რადგან α მცირეა, შეიძლება მივიღოთ: $\sin\alpha = \alpha$ და ამიტომ

$$\Delta L = r \cdot \alpha \qquad (3)$$

მეორეს მხრივ ΔTOT_1-დან გვაქვს:

$$TT_1 = OT \cdot \operatorname{tg} 2\alpha \qquad (4)$$

რადგან TT_1 სკალაზე ანათვალთა სხვაობაა (a), OT მანძილი სარკესა და სკალას შორის, რომელსაც აღვნიშნავთ l-ით და α სიმცირის გამო $\operatorname{tg} 2\alpha = 2\alpha$, ამიტომ მე-(4) განტოლება ასეთ სახეს მიიღებს:

$$a = l \cdot 2\alpha,$$

საიდანაც

$$\alpha = \frac{a}{2l} \qquad (5)$$

α მიღებული მნიშვნელობა ჩავსვათ მე-(3) განტოლებაში, მივიღებთ:

$$\Delta L = \frac{ar}{2l} \qquad (6)$$

აქ a, როგორც ნახაზიდან ჩანს, სკალაზე ანათვალთა სხვაობაა, r — ბერკეტის სიგრძე და l — მანძილი სარკესა და სკალას შორის [1]).

---

[1] უნდა გვახსოვდეს, რომ ყველა ხაზოვანი სიდიდეები გაზომილ უნდა იქნას მმ-ებში.

ΔL-ის მიღებული მნიშვნელობა შევიტანოთ მე-(2) განტოლებაში:

$$E=\frac{PL_1}{\frac{ar}{2l}\cdot S}=\frac{2lPL_1}{arS} \tag{7}$$

აქ S მავთულის განივკვეთის ფართია

$$S=\frac{\pi d^2}{4},$$

სადაც d მავთულის დიამეტრია.

თუ მე-(7) ფორმულაში შევიტანთ S-ის მნიშვნელობას იუნგის მოდულისათვის შემდეგი სახის გამოსათვლელ ფორმულას მივიღებთ:

$$\boxed{E=\frac{8PlL_1}{\pi d^2\,ar}}\ \frac{\text{კგ}}{\text{მმ}^2}\,. \tag{8}$$

ცდის შესრულებისათვის დავიცვათ შემდეგი მიმდევრობა:

1. შევადგინოთ დაკვირვებათა ცხრილი და თანდათანობით შევიტანოთ გაზომვის შედეგები.

2. გავზომოთ მასშტაბით მავთულის სიგრძე (L_1) დაკიდვის წერტილიდან მის თავისუფალ ბოლომდე.

3. რამდენიმე ადგილას მიკრომეტრით გავზომოთ მავთულის დიამეტრი (d) და ავიღოთ მათი საშუალო.

4. სახაზავით გავზომოთ ბერკეტის სიგრძე (r-მმ) რამდენჯერმე და ცხრილში შევიტანოთ მათი საშუალო მნიშვნელობა.

5. დავაყენოთ ჭოგრი ვერტიკალურ სკალის გარკვეულ მანძილზე (1-დან—2 მეტრამდე) სარკიდან ისე, რომ ჭოგრის ძაფების გადაკვეთის წერტილში ჩანდეს ვერტიკალური სკალის რომელიმე დანაყოფი.

6. გავზომოთ მანძილი სარკესა და ჭოგრს შორის (l მმ).

7. a-ს შემდეგნაირად გამოვითვლით: ვთქვათ დავაყენეთ ჭოგრი ისე, რომ მისი ძაფების გადაკვეთის წერტილში მოსჩანს ვერტიკალური სკალის რომელიმე დანაყოფი, მაგ. a_0. ეს იყოს ჭოგრის საწყისი ანათვალი. P_1 კგ-ით დატვირთვის შემდეგ მავთულის წაგრძელების გამო ჭოგრის ძაფების გადაკვეთის წერტილში მივიღებთ სკალის ახალ დანაყოფს a_1-ს:

$$a_1-a_0=\Delta a_1$$

Δa_1 წაგრძელება გამოწვეულია P_1 კგ—მიერ.

წონის ერთეულით გამოწვეული წაგრძელება კი იქნება:

$$n_1=\frac{\Delta a_1}{P_1}$$

P_2 კგ დატვირთვის შემდეგ ჭოგრში მივიღებთ a_2 ანათვალს და ამიტომ

$$\Delta a_2=a_2-a_1.$$

წონის ერთეული კი გამოიწვევს წაგრძელებას

$$n_2=\frac{\Delta a_2}{P_2}$$

და ა. შ.

n საშუალო არითმეტიკული წარმოადგენს a-ს მნიშვნელობას.

8. ცდა განვიმეოროთ რამდენჯერმე და გამოვთვალოთ ცთომილებანი.

დაკვირვებათა ცხრილი

რიგის №	დატვირთუ-ლობა	ანათვლები სკალაზე			მავთულის		ბერკეტის სიგრძე r მმ	მანძილი სარკე-სა და სკალის შორის l მმ	იუნგის მოდული E კგ/მმ-ს
		საწყისი a_0	დატვირთვის დროს a_1	სხვაობა a_1-a_0	სიგრძე L მმ	დიამეტრი d მმ			

ამოცანა № 10

ბრეხვის მოდულის პოვნა

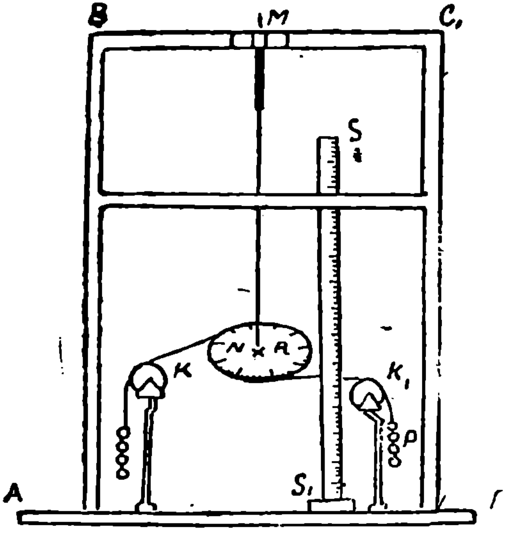
(სტატიკური მეთოდი)

საჭირო ხელსაწყოები: სპეციალურად დამზადებულ ხის ჩარჩოში (ნახ. 23) ($ABCD$) მოთავსებულია მავთული (MN); რომლის ქვედა ნაწილზე დამაგრებულია დისკო რადიუსით—R; მასშტაბი მაჩვენებლით (SS_1); კაუჭიანი აბრები; მიკრომეტრი და დისკოს წრეხაზის გასაზომად საჭირო ქაღალდის ზოლი.

თეორია. წარმოვიდგინოთ, რომ მავთულის ერთი ბოლო დამაგრებულია M წერტილში და თავისუფალ ბოლოზე მოქმედებს ძალთა წყვილი, რომლის მომენტია

$$M=2RP=DP, \qquad (1)$$

სადაც P მოქმედი ძალაა და $D=2R$ დიამეტრი.



ნახ. 23.

როგორც ცნობილია ფიზიკის ელემენტარული კურსიდან, სხეულზე მოქმედი ძალთა წყვილი იწვევს უკანასკნელის გრეხვას და ამიტომ მავთული დაიგრიხება რაიმე φ კუთხით. ამ კუთხეს (φ) გრეხის კუთხე ეწოდება და ჰუკის კანონის თანახმად (φ) პროპორციულია მოქმედ ძალთა წყვილის მომენტისა.

$$\varphi=CM \qquad (2)$$

ამ განტოლებაში C-თი აღნიშნულია გრეხის კოეფიციენტი, რომელიც რიცხვობრივად უდრის გრეხვის კუთხეს იმ შემთხვევაში, თუ მბრუნავი ძალის მომენტი უდრის ერთს. მართლაც, თუ $M=1$, მაშინ

$$\varphi=C \qquad (3)$$

ტექნიკაში გრეხვის C კოეფიციენტის ნაცვლად მიღებულია მისი

შებრუნებული სიდიდე $\frac{1}{C}=f$, რომელსაც გრეხის მოდული ეწოდება. აქვე უნდა აღინიშნოს, რომ არსებობს გრეხვის ორი მოდული (f და F). პირველი (f) გამოსახავს სიდიდეს, რომელიც ახასიათებს მოცემულ სხეულს (მის გეომეტრიულ ფორმას), მეორე (F) კი—სიდიდეს, რომელიც ახასიათებს ნივთიერების გვარობას. ვიპოვოთ დამოკიდებულობა ამ ორ მოდულს შორის.

ვისარგებლოთ კულონის კანონით[1]), რომლის თანახმადაც გრეხვის კუთხე (φ) პირდაპირ პროპორციულია მბრუნავი ძალის მომენტის (M) და მავთულის სიგრძის (L) ნამრავლის უკუპროპორციულია მავთულის რადიუსის (r-ის) მეოთხე ხარისხისა, ე. ი.

$$\varphi=\frac{1}{F}\,\frac{ML}{r^4} \tag{4}$$

ამ განტოლებაში F-ით აღნიშნულია ის მოდული, რომელიც ახასიათებს სხეულის არა გეომეტრიულ ფორმას, არამედ ნივთიერების გვარობას. მე-(4) ფორმულიდან გამოვთვალოთ F. მივიღებთ:

$$F=\frac{ML}{\varphi r^4} \tag{5}$$

რადგან $\frac{M}{\varphi}=f$, ამიტომ

$$F=f\frac{L}{r^4}\cdot$$

ხელსაწყოს აღწერა: ხელსაწყო (ნახ. 23) შედგება ხის ჩარჩოში ($ABCD$) დაკიდებული მავთულისაგან (MN), რომლის ქვედა ნაწილზე მიმაგრებულია ლითონის დისკო (R რადიუსით). ეს დისკო დაყოფილია 360°. დისკოს დიამეტრულად საწინააღმდეგო ნაპირებზე დამაგრებულია ორი ზონარი, რომელთა მეორე ბოლოებიც გადაკიდულნი არიან უძრავ ჭალებზე (k და k_1). ზონრის ამ ბოლოებზე დაიკიდება ტვირთები.

ცდა შევასრულოთ შემდეგი მიმდევრობით:

1. შევადგინოთ ქვემოთ აღნიშნული წესის მიხედვით დაკვირვებათა ცხრილი, რომელშიაც შევიტანოთ ყველა გაზომილი სიდიდეების მნიშვნელობანი.

2. მასშტაბით გავზომოთ მავთულის სიგრძე (L მმ) დაკიდვის ზედა წერტილიდან დისკოს დამაგრების წერტილამდე.

---

[1]) იგულისხმება, რომ მავთული ცილინდრულია.

3. მიკრომეტრით გავზომოთ საკვლევი მავთულის დიამეტრი (d-მმ) რამდენიმე ადგილას და დაკვირვებათა ცხრილში შევიტანოთ მათი მნიშვნელობა.

4. გავზომოთ დისკოს დიამეტრი: შემოვავლოთ მას ქაღალდის ზოლი, და მასშტაბით გავიგოთ მისი სიგრძე. ეს იქნება დისკოს წრეხაზის სიგრძე $C=\pi D$, საიდანაც $D=\frac{C}{\pi}$ მმ.

5. მასშტაბის (SS_1) წვეტიანი მაჩვენებელი დისკოს რომელიმე დანაყოფთან (გრადუსთან) დავაყენოთ, რომელიც ჩვენი ცდისათვის წარმოადგენს საწყის ანათვალს $(a_0)^{\circ}$.

6. დისკოზე დამაგრებული ზონარი ჰალებზე (k და k_1) გადავკიდოთ ისე, რომ ეს ზონარი დისკოსადმი მხები იყოს. ამის შემდეგ ზონარზე დავკიდოთ ტოლ-ტოლი აბრები (ძალთა წყვილი).

7. ძალთა წყვილის მოქმედების გამო მავთული დაიგრიხება (გრეხვის კუთხეს დისკო მოგვცემს). მავთულის დაგრეხის გამო მავთულთან ერთად მოტრიალდება დისკოც და მაჩვენებელთან გაჩერდება მისი ახალი დანაყოფი (a_1°). სხვაობა ამ დანაყოფსა და საწყის ანათვალს შორის ($a_1^{\circ}-a_0^{\circ}$) გრეხის φ კუთხეს მოგვცემს, რომელიც რადიანებში გადაყვანის შემდეგ შეგვაქვს დაკვირვებათა ცხრილში. (ერთი გრადუსი რადიანებში გადაყვანილი იძლევა 0,01745 რადიანს).

8. ამის მსგავსად დაკიდული აბრების კაუჭებს დავუმატოთ ახალ-ახალი აბრები და შედეგები შევიტანოთ ცხრილში.

9. φ კუთხის გამოსათვლელად ვიქცევით ასე: ვთქათ, რომ დისკოს საწყისი ანათვალია [1] a_0°, P_1 ტვირთის დაკიდვის შემდეგ კი—a_1°, მაშინ $a_1^{\circ}-a_0^{\circ}=\Delta\varphi$, (გრეხვა გამოწვეულია p_1 ტვირთის მიერ). წონის ერთეულით გამოწვეული გრეხვა იქნება:

$$\varphi_1=\frac{\Delta\varphi_1}{P_1}.$$

ამის მსგავსად, ვმსჯელობთ ტვირთების მეორე წყვილის მიმართაც: P_2 ტვირთის დაკიდვამდე დისკოს ჩვენება იყო—a_1°, მისი დაკიდვის შემდეგ დისკო გვიჩვენებს a_2°—დანაყოფს:

$$a_2^{\circ}-a_1^{\circ}=\Delta\varphi_2$$

გრეხვა გამოწვეულია P_2 კგ-ის მიერ და წონის ერთეული კი გამოიწვევდა

---

[1] არ დაგვავიწყდეს, რომ ყოველთვის დისკოს ჩვენება უნდა გამოისახოს რადიანებში.

$$\varphi_2=\frac{\Delta\varphi_2}{P_2};$$

ცხადია, რომ φ_1 და φ_2 და ა. შ. უნდა გადავიყვანოთ რადიანებში. φ კუთხე წარმოადგენს საშუალო არითმეტიკულს

$$\varphi=\frac{\varphi_1+\varphi_2+\varphi_3+\varphi_4}{4}.$$

10. ახლა გამოვთვალოთ $F=\frac{ML}{\varphi r^4}$ ან რადგან $M=DP$

ამიტომ
$$\boxed{F=\frac{DPL}{\varphi r^4}}$$

11. განვიმეორროთ ცდა რამდენიმეჯერ და გამოვთვალოთ ცთომილებანი.

დაკვირვებათა ცხრილი

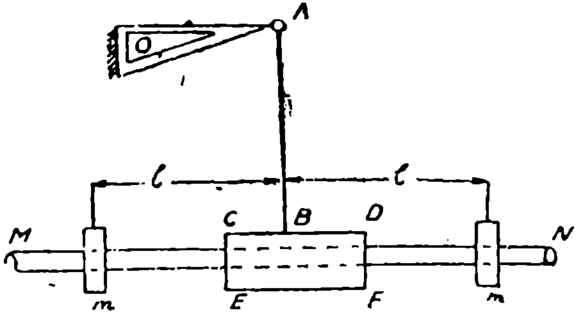
ცდის №	მავთულის			დისკოს დიამეტრი D მმ	აბრის წონა P	გრეხის კუთხე	გრეხის მოდული F
	სიგრძე L მმ	დიამეტრი d მმ	რადიუსი $r=\frac{d}{2}$ მმ				
						$\varphi_1=$ $\varphi_2=$ $\varphi_3=$ $\varphi_4=$	

ამოცანა № 11

იუნგის მოდულის პოვნა დინამიკური ხერხით

ხელსაწყოს აღწერა. საცდელი მავთული (AB) (ნახ 24) დაკიდებულია კრონშტეინზე (O). მავთულის (AB) ბოლოზე დამაგრებულია ცილინდრი—$CDEF$, რომელშიაც მავთულის პერპენდიკულარულად გაყრილია ღერო MN. ღეროზე (MN) ჩამოცმულია ერთნაირი მასის სხეულები (m), რომლებიც ტოლი მანძილებით არიან დაშორებულნი მავთულიდან; ამას გარდა ამოცანას ეკუთვნის წამმზომი ან საათი სეკუნდიანი ისრით და მიკრომეტრი.

თეორია. ფიზიკის კურსიდან ცნობილია, რომ ერთი ბოლოთი დამაგრებული და დაგრეხილი მავთული შინაგანი ძალების გავლენით იწყებს რყევითი ძრაობას T პერიოდით.



ნახ. 24.

მექანიკიდან ცნობილია, რომ ამ შემთხვევაში პერიოდი (T) გამოითვლება შემდეგი ფორმულით:

$$T=2\pi\sqrt{\frac{J}{f}} \qquad (1)$$

ამ განტოლებაში J ინერციის მომენტია [მასისა (m) და ბრუნვის ღერძიდან (AB) დაშორების მანძილის (l) კვადრატის ნამრავლი, ე. ი. $J=ml^2$], f—კი მოცემული სხეულის გრეხვის მოდულია:

$$f=\frac{P}{\varphi} \qquad (2)$$

სადაც P არის მგრეხავი ძალის მომენტი [1]) და φ კი—გრეხის კუთხე.

რადგან ინერციის მომენტი დამოკიდებულია მანძილზე (l), ამიტომ ამ უკანასკნელის შეცვლით შეიცვლება საქანის პერიოდიც (T). ამიტომ პერიოდს (T) ასეთ საქანისათვის განვსაზღვრავთ ორჯერ: ერთხელ, როდესაც მასები (m) დაცილებულნი არიან l_1 მანძილით; პერიოდი ამ შემთხვევისათვის იყოს T_1—იგივე მასები დავაცილოთ AB მავთულს l_2 მანძილით; შესაბამი პერიოდი იყოს—T_2 წამი. თუ ტვირთების (m) ინერციის მომენტს საკუთარ ღერძის მიმართ აღვნიშნავთ J_0-ით, მაშინ საქანის ინერციის მომენტისათვის გვექნება საერთო ფორმულა:

[1]) როგორც ცნობილია, ძალის მომენტი ეწოდება ძალის და მხარის (უმოკლესი მანძილია ძალის მიყენების წერტილსა და ბრუნვის ღერძს შორის) ნამრავლს.

$$J = J_0 + 2ml^2,$$

l_1 და l_2 მანძილებისათვის ინერციის მომენტებია:

$$J_1 = J_0 + 2ml_1^2,$$
$$J_2 = J_0 + 2ml_2^2.$$

დავწეროთ რყევათა პერიოდების მნიშვნელობანი ორთავე შემთხვევისათვის:

$$T_1 = 2\pi \sqrt{\frac{J_0 + 2ml_1^2}{f}},$$
$$T_2 = 2\pi \sqrt{\frac{J_0 + 2ml_2^2}{f}}.$$

ავამაღლოთ ორივე განტოლება კვადრატში და გამოვაკლოთ ერთი მეორეს, მივიღებთ:

$$T_1^2 = 4\pi^2 \frac{J_0 + 2ml_1^2}{f};$$
$$T_2^2 = 4\pi^2 \frac{J_0 + 2ml_2^2}{f}.$$
$$T_1^2 - T_2^2 = 4\pi^2 \left[\frac{J_0 + 2ml_1^2 - J_0 - 2ml_2^2}{f} \right];$$
$$T_1^2 - T_2^2 = 4\pi^2 \frac{2m(l_1^2 - l_2^2)}{f} = \frac{8\pi^2 m (l_1^2 - l_2^2)}{f}$$

აქედან

$$f = \frac{8\pi^2 m (l^2 - l_2^2)}{T_1^2 - T_2^2} \qquad (3)$$

ასე გამოითვლება გრეხვის მოდული (f) მოცემული სხეულისათვის. მაგრამ, როგორც ცნობილია გრეხვის მოდული ორნაირია: ერთი — სხეულის დამახასიათებელი (f) და მეორე კი — ნივთიერების დამახასიათებელი (F). გამოვთვალოთ ეხლა ნივთიერების დამახასიათებელი გრეხვის მოდული (F). კულონის კანონის თანახმად ნივთიერების დამახასიათებელი გრეხვის მოდული (F) პირდაპირ პროპორციულია მგრეხავი ძალის მომენტისა (P) და მავთულის სიგრძის (L) ნამრავლისა და უკუპროპორციულია მავთულის რადიუსის მე-4 ხარისხისა და გრეხვის კუთხის (რადიანებში გამოსახულს) ნამრავლისა, ე. ი.

$$F = \frac{PL}{r^4 \varphi}, \qquad (4)$$

მაგრამ, რადგან მე-(2) განტოლებიდან: $f=\frac{P}{\varphi}$,
ამიტომ

$$F=\frac{fL}{r^4} \tag{5}$$

ამ განტოლებაში ჩავსვათ f-ის მნიშვნელობა მე-(3) განტოლებიდან.

$$\boxed{F=\frac{8\pi^2 m\,(l_1^2-l_2^2)\,L}{(T_1^2-T_2^2)\,r^4}} \tag{6}$$

ამოცანას შევასრულებთ შემდეგი თანმიმდევრობით:

1. ქვემოთ აღნიშნული სქემის მიხედვით შევადგინოთ დაკვირვებათა ცხრილი, რომელშიაც თანდათანობით შევიტანთ დაკვირვებით მიღებულ რიცხვებს.

2. MN მავთულზე გავზომოთ ჩამოცმული სხეულის მასა (m). რადგან $m=\frac{p}{g}$, ამიტომ ამ სხეულის წონა გამოსახული კგ-ში უნდა გავყოთ $g=9810$ მმ/წ²-ზე

3. გავზომოთ მმ-ებში (l_1) მანძილი m სხეულის ცენტრიდან AB მავთულამდე.

4. მასშტაბით გავზომოთ მმ-ებში მავთულის სიგრძე (L).

5. მიკრომეტრით გავზომოთ მმ-ებში მავთულის (AB-ს) დიამეტრი (d) რამდენიმე ადგილას. დაკვირვებათა ცხრილში შევიტანოთ $\frac{d}{2}=r$ რადიუსის საშუალო მნიშვნელობა).

6. ავამოძრაოთ საქანი და გამოვთვალოთ პერიოდი (T_1—წ). ამისათვის ავიღოთ რამდენიმე რყევა, მაგ. n და წამმზომით გამოთვლილი დრო t_1, გავყოთ n-ზე

$$T_1=\frac{t_1}{n}$$

7. (m) სხეულების მანძილები AB მავთულის მიმართ შევცვალოთ—l_2 მმ-ით. (გავზომოთ l_2 მანძილიც AB-დან m-მდე).

8. მე-6 შემთხვევის მსგავსად გამოვთვალოთ პერიოდი T_2, რომელიც ესაბამება l_2 მანძილს.

9. რამდენიმეჯერ გამოვთვალოთ F.

10. გამოვთვალოთ ცთომილებანი.

დაკვირვებათა ცრილი

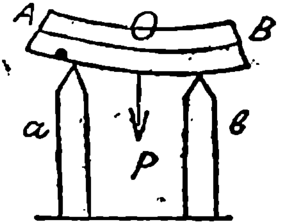
№ რიგზე	მავთულის		სხეულის (m) მასა $\frac{კგ \cdot სეკ^2}{მმ}$	პირველი შემთხვევა				მეორე შემთხვევა				F
	სიგრძე L მმ	რადიუსი $\frac{d}{2}=r$ მმ		მანძილი სხეულს და მავთულ შორის l_1-მმ	რყევათა რიცხვი nR	n რყევის ხანგრძლივობა t_1-სეკ	პერიოდი $T_1=\frac{t_1}{n}$	მანძილი სხეულს და მავთულ შორის l_2-მმ.	რყევათა რიცხვი n	n რყევის ხანგრძლივობა t_1-სეკ.	პერიოდი $T_2=\frac{t_2}{n}$ სეკ.	

ამოცანა № 12

იუნგის მოდულის გამოთვლა ღეროს ჩაღუნვით

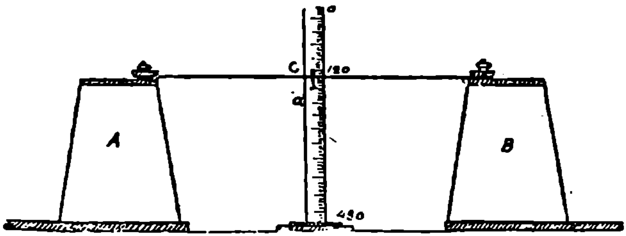
საჭირო ხელსაწყოები: სადგამი (*A* და *B*) პრიზმებით; ლითონის რამდენიმე ღერო; ლითონის ჩარჩო კაუჭით (*a*) (ნახ. 26), რომელზედაც ვკიდებთ ფიალას აბრებისათვის; აბრები—(თვითეულის წონაა 50 გ); შტანგენფარგალი, მიკრომეტრი და მასშტაბი.

თეორია: თუ *a* და *b* პრიზმებზე მდებარე *AB* ღეროს შუა *O* წერტილზე მოქმედებს რაიმე ძალა (*P*) (ნახ. 25), მაშინ ამ ძალის ქმედებით ღერო ჩაიღუნება, ე. ი. ღეროს შეეცვლება ფორმა. ამ მოვლენას ღუნვის დეფორმაცია ეწოდება.



ნახ. 25.

მოქმედი ძალის (*P*) მიყენების წერტილის გადაადგილებას (*S*) ღუნვის ისარი ეწოდება. ღუნვის დეფორმაციის დროს ღეროს დამაგრების სამი საშუალება არსებობს (ნახ. 26 და 27).



ნახ. 26.

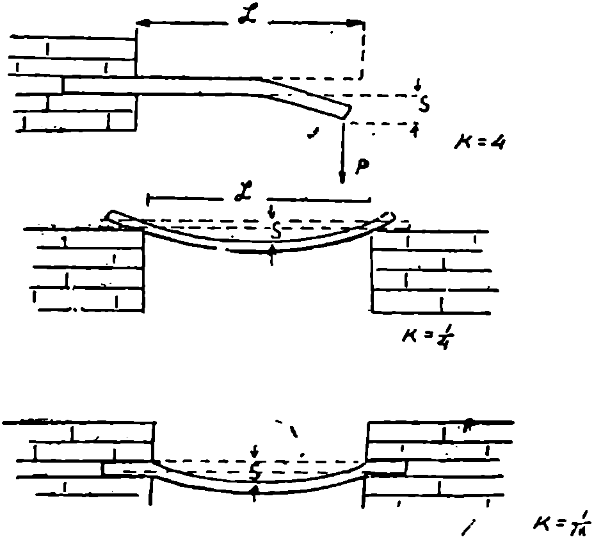
1) ღერო დამაგრებულია ერთი ბოლოთი და მის მეორე თავისუფალ ბოლოზე მოქმედებს *P* ძალა (ნახ. 27ა).

2) ღეროს ორივე ბოლო თავისუფლად ეყრდნობა პრიზმის წიბოებს. ძალა მოქმედებს ღეროს შუა წერტილზე (ნახ. ბ).

3) ღერო ორივე ბოლოთია დამაგრებული. ძალა მოქმედებს მის შუა წერტილზე ნახ. გ).

ღუნვის დროს ხდება ღეროს ერთი ფენების გაჭიმვა და მეორე ფენების კუმშვა. რადგან გაჭიმვა და კუმშვა დამოკიდებულია იუნგის მოდულზე, ამიტომ თეორიულად შესაძლებელია ღუნვის დეფორმაციის დაკავშირება იუნგის მოდულთან. თეორია ღუნვის ისრისათვის (S) შემდეგ ფორმულას იძლევა:

$$S = \frac{1}{E}\, k\, \frac{PL^3}{ab^3} \qquad (1)$$



ნახ. 27.

ამ ფორმულაში S-ით აღნიშნულია ღუნვის ისარი მმ-ებში, რომელსაც ავითვლით დაკვირვებისას. k პროპორციულობის კოეფიციენტია, რომელიც დამოკიდებულია იმაზე, თუ რა სახით არის დამაგრებული ღერო:

1) თუ ღეროს ერთი ბოლოა დამაგრებული, მაშინ $k=4$;

2) თუ ღერო არც ერთი ბოლოთი არაა დამაგრებული მაშინ $k=\frac{1}{4}$;

3) თუ ღერო ორივე ბოლოთია დამაგრებული, მაშინ $k=\frac{1}{16}$.

P-თი აღნიშნულია (კგ-ებში გამოსახული) ღეროზე მოქმედი ძალა, L არის მმ-ებში გამოსახული ღეროს სიგრძე, a—ღეროს სიგანე და b კი—სიმაღლე (სისქე)—მმ-ებში. E საკვლევი სხეულის დამახასიათებელი სიდიდეა, რომელიც ჩვენთვის საძიებელია და რომელსაც ი უ ნ გ ი ს მ ო დ უ ლ ი ეწოდება.

(1) განტოლებიდან იუნგის მოდულის გამოსათვლელად შემდეგ ფორმულას მივიღებთ:

$$\boxed{E=K\frac{PL^3}{Sab^3}}\ \text{კგ/მმ}^2 \qquad (2)$$

ხელსაწყოს აღწერა: ხელსაწყო შედგება (ნახ. 26) ორი სადგარისაგან (A და B), რომლებზედაც ხრახნებით დამაგრებულია ორი პრიზმა. გამოსაკვლევი ღეროს ბოლოებს ვათავსებთ—ან ამ პრიზმებზე, ან პრიზმების ქვეშ (იმისდამიხედვით, თუ რომელი ხერხით ვაწარმოებთ ცდას). ღეროზე ჩამოცმულია ლითონის ჩარჩო (c) კაუჭით, ტვირთების დასაწყობად დაიკიდება მავთული ფიალათი. ღეროს უკან ათავსებენ ვერტიკალურ სკალას, ღუნვის ისრის (S-ის) გასაგებად.

ცდის წარმოებისას შემდეგი მიმდევრობა დავიცვათ:

1. თანახნად ქვემოთ აღნიშნულისა შევადგინოთ დაკვირვებათა ცხრილი და მასში შევიტანოთ გაზომვის შედეგად მიღებული რიცხვები.

2. გავზომოთ ღეროს სიგრძე (L-მმ). ღეროს სიგრძედ ითვლება მანძილი პირველი შემთხვევისათვის იმ წერტილიდან, სადაც ღერო შორდება საყრდენს, ღეროს ბოლო წერტილამდე; მეორე და მესამე შემთხვევებში კი L სიგრძედ ითვლება მანძილი საყრდენებს შორის.

3. მიკრომეტრით გავზომოთ ღეროს a სიგანე და b სისქე (გამოისახოს მმ-ებში).

4. ლითონის ჩარჩოს მაჩვენებლის წინ დავაყენოთ ვერტიკალური სკალა. ამ სკალაზე ავიღოთ საწყისი ანათვალი.

5. ფიალაზე დავდოთ რამდენიმე ტვირთი და ვიპოვოთ ღუნვის ისარი, ე. ი. მმ-ების ის რიცხვი, რამდენზედაც გადინაცვლებს ვერტიკალურ სკალაზე ჩარჩოს მაჩვენებელი; შემდეგ ფიალაზე დავდოთ ახალი ტვირთი და კვლავ ვიპოვოთ ღუნვის ისარი და ა. შ.

6. ღუნვის ისარს ვიპოვით ასე: დავუშვათ, რომ საწყისი ანათვალი ვერტიკალურ სკალაზეა a_0 მმ. როდესაც დავკიდებთ პირველ აზრას (P_1 კგ-ს), მაშინ ცხადია ღეროს ჩაღუნვის მაჩვენებელი მოგვცემს ახალ ანათვალს და ყოველ სხვა ახალი დატვირთვის შემდეგ მივიღებთ სხვადასხვა ანათვალებს. დავუშვათ, რომ:

P_1 კგ დატვირთვას ესაბამება ვერტიკალური სკალის ჩვენება—a_1
P_2 კგ " —a_2
P_3 კგ " —a_3

და ა. შ., მაშინ

$a_1-a_0=\Delta S_1$ არის ღუნვა გამოწვეული P_1 კგ-ის მიერ
$a_2-a_1=\Delta S_2$ P_2 კგ-ის მიერ
$a_3-a_2=\Delta S_3$ P_3 კგ-ის მიერ

და ა. შ.

რადგან P_1 კგ-მა ღერო ჩაღუნა ΔS_1 მმ-ით, ამიტომ ტვირთის ერთეული (1 კგ) ჩაღუნავდა ამ ღეროს

$$S_1=\frac{\Delta S_1}{P_1} \text{ მმ-ით.}$$

ამის მსგავსად, თუ P_2 კგ-მა ღერო ჩაღუნა ΔS_2 მმ-ით, ტვირთის ერთეული კი ჩაღუნავდა ამ ღეროს

$$S_2=\frac{\Delta S_2}{P_2} \text{ მმ-ით.}$$

ამის ანალოგიურად

$$S_3=\frac{\Delta S_3}{P_3} \text{ და ა. შ.}$$

ღუნვის ისრისათვის ჩვენ უნდა ავიღოთ S_1, S_2, S_3 და ა. შ. საშუალო არითმეტიკული

$$S=\frac{S_1+S_2+\cdots+S_n}{n}$$

დაკვირვებათა ცხრილი

რიგი	ღეროს სიგრძე L მმ	ღეროს სიგანე a მმ	ღეროს სიმაღლე (სისქე) b მმ	ტაფაზე დაკიდული ტვირთის წონა P კგ.	ვერტიკალური სკალის საწყისი ანათვალი a_0 = მმ		წონის ერთეულით გამოწვეული ღუნვა $S_i = \frac{\Delta S_i}{P_i}$	იუნგის მოდული $E = K\frac{PL^3}{ab^3} - \frac{კგ}{მმ^2}$	შენიშვნა
					მისი ჩვენება შესაბამ ტვირთზე	სხვაობა Δs			
				$P_1 =$	$a_1 =$	$a_1 - a_0 =$	$\frac{\Delta S_1}{P_1} =$		
				$P_2 =$	$a_2 =$	$a_2 - a_1 =$	$\frac{\Delta S_2}{P_2} =$		
				$P_3 =$	$a_3 =$	$a_3 - a_2 =$	$\frac{\Delta S_3}{P_3} =$		
							საშ. $S =$		

ამოცანა № 13

მყარი სხეულის ხაზობრივი გაფართოების კოეფიციენტის განსაზღვრა

საჭირო ხელსაწყოები და მასალა: 1) თითბრის მილი. 2) ჭოგრი სკალით, 3) მასშტაბი, 4) მადუღებელი, 5) სითბოს წყარო (ელექტრო-ქურა ან პრიმუსი).

ხაზობრივი გაფართოების კოეფიციენტი α ის რიცხვია, რომელიც გვიჩვენებს, თუ რა ნაწილს იმატებს სხეულის ხაზობრივი ზომა (სიგრძე, სიგანე ან სიმაღლე), როცა მას ვათბობთ 1°-ით.

ვთქვათ t_1° ტემპერატურაზე სხეულის სიგრძეა l_1;
„ t_2° „ „ l_2,
მაშინ სიგრძის ნამატი იქნება: (l_2-l_1);

ამდენი მოიმატა სხეულმა t_2-t_1) გრადუსით გათბობის დროს; ხოლო 1°-ით გათბობისას მოიმატებდა: $\frac{l_2-l_1}{t_2-t_1}$; თუ გვინდა გავიგოთ α, ე. ი. თუ რა ნაწილი მოიმატა სხეულის სიგრძემ 1°-ით გათბობისას, ამისათვის საჭიროა სიგრძის ნამატი გავყოთ საწყის სიგრძეზე, მივიღებთ:

$$\alpha=\frac{l_2-l_1}{l_1(t_2-t_1)}.$$

აღვნიშნოთ სიგრძის ნამატი: $l_2-l_1=\Delta l$, ამიტომ

$$\alpha=\frac{\Delta l}{l_1(t_2-t_1)}. \qquad (1)$$

ამ შემთხვევაში α იქნება ხაზობრივი გაფართოების საშუალო კოეფიციენტი t_1 და t_2 ტემპერატურათა შორის.

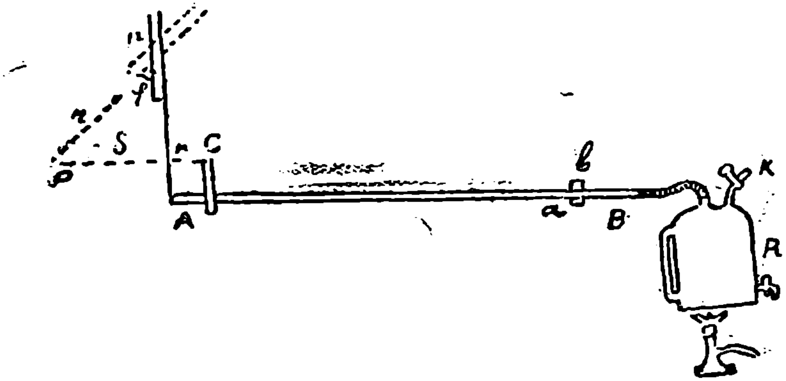
როგორც ვხედავთ α-ს გამოსაანგარიშებლად საჭიროა: სხეულის სიგრძის გაზომვა ორჯერ t_1 და t_2 ტემპერატურის დროს.

მაგრამ ჩვეულებრივად ასე იქცევიან: გაზომავენ სიგრძეს (l_1)-ს ოთახის ტემპერატურის (t_1°) დროს. ხოლო სიგრძის ნამატს Δl გამოთვლიან მეტად მგრძნობიარე, ე. წ. ოპტიკური მეთოდით (ჭოგრისა და სარკის მეთოდით).

ხელსაწყოს აღწერა (ნახ. 28): ხელსაწყო შესდგება თითბრის AB მილისაგან, რომელიც თავის ერთი a ბოლოთი დამაგრებულია b ხრახნზე; მეორე თავისუფალ ბოლოზე მიმაგრებულია რგოლი C, რომელსაც ებჯინება r ბერკეტის წვერი. ამ ბერკეტზე ვერტიკალურად მიმაგრებულია m სარკე ზამბარით. მილის უმნიშვნელო წაგრძელებაც კი იწვევს სარკის მიტრიალებას მცირე φ კუთხით. ხელსაწყო მიმაგრებულია ხის დაფაზე, რომელიც მილურსმულია კედელზე.

ფორმულის გამოყვანა: მასშტაბით გაზომავენ თითბრის მილის სიგრძეს მარჯვენა b ხრახნის შუა ვერტიკალურ ხაზიდან C რგოლის გარეგან ნაპირამდე. ეს იქნება მილის საწყისი სიგრძე (l_1) ლაბორატორიის ტემპერატურის დროს (უნდა აითვალოს ლაბორატორიაში ჩამოკიდებულ თერმომეტრზე ოთახის ტემპერატურა ($t_1°$) და შეტანილ იქნას ცხრილში).

ჭოგრს დააყენებენ სარკიდან 1,5—2 მეტრის მანძილზე ისე, რომ სარკეში გამოჩნდეს ჭოგრზე მიმაგრებული სკალის შუა დანაყოფები. ჭოგრი ისე უნდა იყოს დაყენებული, რომ ოკულარის ვერტიკალური ძაფი ხვდებოდეს სკალის შუა ნაწილის რომელიმე დანაყოფს. წყალს ადუღებენ და როცა რეზინის მილიდან ორთქლი იწყებს დენას, მაშინ ამ მილს გოფმანის (K) მომჭერით დაკეტავენ; ორთქლი შევა თითბრის მილში; მილი გახურდება, დაგრძელდება, მიაწვება ბერკეტს და გამოიწვევს ბერკეტისა და სარკის შებრუნებას. ამიტომ ეხლა ჭოგრში გამოჩნდება სხვა დანაყოფები. ორთქლი მილში უნდა



ნახ. 28.

გადიოდეს მანამდე, სანამ ჭოგრში დანაყოფების გადანაცვლება ვერტიკალური ძაფის მიმართ არ შეწყდება. ავითვალოთ ეხლა ჭოგრში ეს დანაყოფი, რომელიც გამოჩნდება ვერტიკალური ძაფის პირდაპირ. ეს ახალი ანათვალი შევიტანოთ ცხრილში. ანათვალთა სხვაობა ჭოგრში იყოს d (ახალ ანათვალს ვაკლებთ საწყის ანათვალს).

განვიხილოთ $\triangle mpn$ (ნახ. 28). კატეტი pn არის მილის წაგრძელება, რომელიც აღვნიშნოთ Δl-ით. მაშინ:

$$Pn = mp \cdot \sin\varphi$$

ანუ

$$\Delta l = r \sin\varphi;$$

აქ r არის ბერკეტის სიგრძე და უდრის 50 მმ-ს.

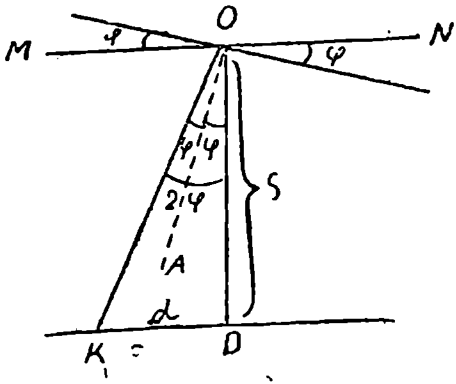
φ არის რადიანებში გაზომილი ის კუთხე, რომლითაც მიბრუნდა ბერკეტი.

რადგანაც φ ძლიერ მცირეა, ამიტომ შეიძლება $\sin\varphi$ შევცვალოთ φ-ით.

მივიღებთ

$$\Delta l = r\varphi \qquad (2)$$

განვიხილოთ 29 ნახაზი, აქ φ არის MN სარკის შებრუნების კუთხე. რადგანაც სხივის არეკვლის კუთხე უდრის დაცემის კუთხეს, ამიტომ როცა სარკე მოტრიალდება φ კუთხით, მაშინ სხივი OD მოტრიალდება 2φ კუთხით და მიიღებს OK მიმართულებას: $DO=S$



ნახ. 29.

არის მანძილი სარკიდან (O) ჰოგრზე მიმაგრებულ სკალამდე (D).
$KD=d$ არის ანათვალთა სხვაობა სკალაზე.

$\triangle KOD$-დან:

$$KD = OD \cdot \operatorname{tg} 2\varphi,$$

ე. ი.

$$d = S \cdot \operatorname{tg} 2\varphi.$$

ვინაიდან φ კუთხე მცირეა, ამიტომ $\operatorname{tg} 2\varphi$ შეიძლება შევცვალოთ 2φ კუთხით; მივიღებთ:

$$d = 2S\varphi$$

აქედან:

$$\varphi = \frac{d}{2S};$$

φ-ის მიღებული მნიშვნელობა ჩავსვათ (2) ფორმულაში; მივიღებთ:

$$\Delta l = \frac{rd}{2S};$$

Δl-ის მნიშვნელობა ჩავსვათ (1) ფორმულაში და მივიღებთ საბოლოო ფორმულას:

$$\alpha = \frac{rd}{2Sl_1(t_2 - t_1)} \qquad (3)$$

როგორც ამ ფორმულიდან ჩანს α-ს გამოსაანგარიშებლად უნდა ვიცოდეთ:

1) ბერკეტის სიგრძე (ცნობილია $r = 50$ მმ-ს);

2) d ანუ ანათვალთა სხვა (საბოლოო ანათვალს გამოვაკლებთ საწყის ანათვალს);

3) S—მანძილი ჰოგრიდან სარკემდე (გავზომავთ რულეტით).

4) t_1 ანუ საწყისი ტემპერატურა (აითვალეთ ოთახის თერმომეტრი).

5) t_2 ანუ ორთქლის ტემპერატურა გამოთვალეთ ბარომეტრით და ცხრილის საშუალებით, რომელიც გვიჩვენებს, თუ მოცემულ წნევის დროს რას უდრის წყლის დუღილის ტემპერატურა.

ყველა ამ გაზომვის შედეგებს შეიტანთ ცხრილში და შემდეგ მე-(3) ფორმულის საშუალებით გაიგებთ α-ს.

ცდას განიმეორებთ 5-ჯერ და გამოთვლით, როგორც აბსოლუტურ, ისე ფარდობით ცთომილებებს.

დაკვირვებათა ცხრილი

№№ დაკვირვ. რიგი	თითბერის მილის საწყისი სიგრძე	ოთახის ტემპერატ. (მილის საწყ. ტემპ.)	ბერკეტის სიგრძე	საწყისი ანათვალი ჰოგრში	ჰოგრში ანათვალი ორთქლის გატარების შემდეგ	შკალაზე ანათვალთა სხვაობა	მანძილი სარკესა და შკალას შორის	ბარომეტრის ჩვენება	ორთქლის ტემპერა-ტურა	ხაზოვანი გაფართ. კოეფიციენტი	აბსოლ. ცთომილება
	l_1	t_1	$r = 50$ *mm*			d	S	H	t_2	α	$\Delta\alpha$
1											
2											
3											
4											
5											

პასუხი: $\alpha =$

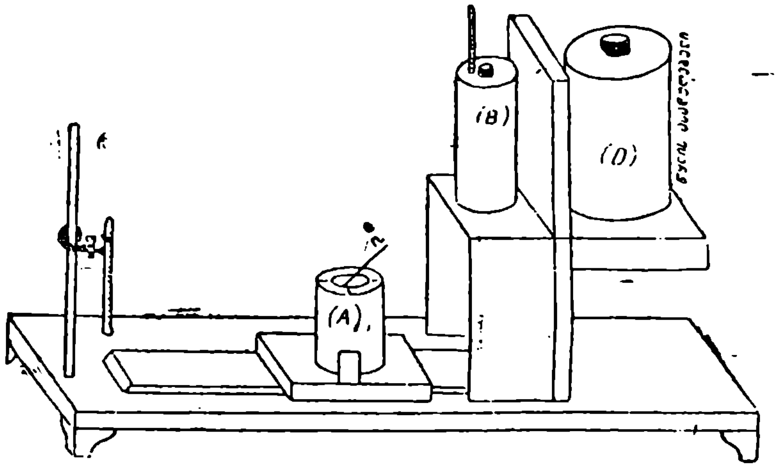
სადაც ფარდ. ცთომილება $\varepsilon_\alpha =$

ამოცანა № 14.

მყარი სხეულის კუთრი სითბოტევადობის განსაზღვრა შერევის ხერხით

საჭირო ხელსაწყოები და მასალა: 1) გამთბობი (B) თერმომეტრით, 2) რენიოს კალორიმეტრი თერმომეტრით (A), 3) სარევი (n), 4) გამოსაკვლევი მყარი სხეული, 5) წყალი და 6) სასწორი აბრებით.

ნივთიერების კუთრი სითბოტევადობა იზომება სითბოს იმ რაოდენობით, რომელიც საჭიროა 1 გრამი ნივთიერების 1°-ით გასათბობათ, ან სითბოს იმ რაოდენობით, რომელსაც გამოჰყოფს 1 გრამი ნივთიერება 1°-ით გაციების დროს.



ნახ. 30.

ფორმულის გამოყვანა: საკვლევი ნივთიერების m გრამს გაახურებენ T გრადუსამდე და შემდეგ ჩააგდებენ კალორიმეტრში მოთავსებულ წყალში.

იქ ადგილი ექნება შემდეგ პროცესებს:

1) გახურებული ნივთიერების m გრამი გაცივდება საშუალო ტემპერატურამდე და ამ დროს გამოჰყოფს სითბოს (სითბოს შემოსავალი).

2) ეს სითბო დაიხარჯება: ა) კალორიმეტრისა და სარევის გათბობაზე, ბ) წყლის გათბობაზე და გ) თერმომეტრის გათბობაზე (სითბოს გასავალი).

რადგან სითბოს შემოსავალი უნდა უდრიდეს გასავალს, ამიტომ

შეიძლება სითბური ბალანსის განტოლების შედგენა, საიდანაც გავიგებთ საკვლევ ნივთიერების კუთრ სითბოტევადობას.

შემოვიღოთ აღნიშვნები:

საკვლევი სხეულის მასა . . . m გრამი
„ „ კუთრი სითბოტევადობა . $C=?$
„ „ ტემპერატურა T°
კალორიმეტრის და სარევის მასა . . m_1
„ „ კუთრისითბოტევადობა $C=0,094$
კალორიმეტრში ჩასხმული წყლის მასა . . . M
კალორიმეტრისა და წყლის საწყისი ტემპერატურა . . t_0°
თერმომეტრის წყლის ექვივალენტი . . . k
საბოლოო ტემპერატურა, რომელიც დამყარდა
კალორიმეტრში ცდის ბოლოს . . . t°

სითბოს შემოსავალი	სითბოს გასავალი
1. საკვლევი m გრამი სხეულის მიერ გამოყოფილი სითბო, როცა იგი გაცივდა T°-დან t°-დე: $q_1=cm(T-t)$	1) კალორიმეტრისა და სარევის გათბობაზე დახარჯული სითბო: $q_2=c_1m_1(t-t_0)$; 2) წყლის გათბობაზე დახარჯული სითბო: $q_3=M(t-t_0)$. 3) თერმომეტრის გათბობაზე დახარჯული სითბო: $q_4=K(t-t_0)$.

თუ შევადგენთ სითბურ ბალანსს, მივიღებთ შემდეგ განტოლებას:

$$Cm(T-t)=c_1m_1(t-t_0)+M(t-t_0)+k(t-t_0).$$

აქედან უცნობი კუთრი სითბოტევადობა:

$$C=\frac{(c_1m_1+M+k)(t-t_0)}{m(T-t)} \qquad \text{(I)}$$

შენიშვნა: ამ ფორმულაში k არის თერმომეტრის ექვივალენტი, მისი წყალში ჩაძირვის დროს განსაზღვრულ დანაყოფამდე.

თერმომეტრის წყლის ექვივალენტი არის სითბოს ის რაოდენობა, რომელიც იხარჯება თერმომეტრის წყალში ჩაძირული ნაწილის გასათბობად 1°-ით. ლაბორატორიებში წინასწარ გამოანგარიშებულია თერმომეტრის წყლის ექვივალენტი და შედგენილია ცხრილი სხვადასხვა დანაყოფამდე ჩაძირვის შემთხვევისათვის. ამ ცხრილიდან გაიგებთ K-ს იმ დანაყოფის შესაბამისად, სანამდისაც იქნება თერმომეტრი ჩაძირული წყალში ცდის დროს.

ხელსაწყოს აღწერა: (ნახ. 30). რენიოს კალორიმეტრი (A) შედგება თითბრის თხელკედლებიან ჭურჭლისაგან; სითბოს კარგვის თავიდან ასაცილებლად ეს ჭურჭელი ჩადგმულია მეორე განიერ ჭურჭელში ისე, რომ შიგნითა ჭურჭელი დგას სითბოს ცუდ გამტარებზე (ხე, ქეჩა, კორპი ან სხვა). კალორიმეტრში მოთავსებულია თითბერის n სარევი. კალორიმეტრი დგას ხის პატარა ბორბლებზე, რომელთა დახმარებით შეგვიძლია კალორიმეტრი შევასრიალოთ გამთბობის ქვეშ.

გამთბობში ათავსებენ იმ სხეულს, რომლის კუთრი სითბოტევადობასაც ვეძებთ. გამთბობი წარმოადგენს ლითონის ცილინდრულ ჭურჭელს ორმაგი კედლებით; იგი, როგორც ზევიდან, ისე ქვევიდან დახურულია: ზევიდან კორპის საცობით, რომელშიაც გაყრილია გამთბობის შიგნით ტემპერატურის გასაზომად თერმომეტრები, ხოლო ქვევიდან დახურულია ან ფარით და ან ისევ კორპის საცობით. გამოსაკვლევ სხეულს ათავსებენ გამთბობში და ზემოდან მოთავსებული მილის საშუალებით გამთბობის კედლებს შუა წყლის ორთქლს შეუშვებენ; ქვევიდან მოთავსებული მილის საშუალებით გამოდის სითხედ ქცეული ორთქლი.

ცდის მსვლელობა: 1) ავწონოთ გამოსაკვლევი სხეული და მისი წონის მნიშვნელობა, m გრამი შევიტანოთ დაკვირვებათა ცხრილში.

2) მოვათავსოთ საკვლევი სხეული გამთბობში და შევუნთოთ ცეცხლი.

3) ავწონოთ კალორიმეტრის შიდა ჭურჭელი სარევით და მათი მასა m_1 შევიტანოთ დაკვირვებათა ცხრილში.

4) ჩავასხათ კალორიმეტრის შიდა ჭურჭელში წყალი ისეთი ვარაუდით, რომ შიგ დაიფაროს საკვლევი სხეული. ავწონოთ წყლიანი კალორიმეტრის შიდა ჭურჭელი სარევით, გამოვაკლოთ მას ცარიელი კალორიმეტრისა და სარევის წონა და მივიღებთ წყლის სუფთა მასას (M).

5) გავზომოთ და შევიტანოთ ცხრილში წყლის საწყისი ტემპერატურა—$t_0°$.

6) თვალი ვადევნოთ გამთბობში მოთავსებულ თერმომეტრს და იმ მომენტიდან, როცა ქვედა მილიდან იწყებს გამოსვლას მშრალი ორთქლი, დავიცადოთ 10—15 წუთი, რომ საკვლევ სხეულმა მიიღოს გამთბობის ტემპერატურა, ავთვალოთ და შევიტანოთ ცხრილში გამთბობის (ე. ი. საკვლევი სხეულის) ტემპერატურა $T°$.

7) შევასრიალოთ კალორიმეტრი გამთბობის ქვეშ, ამ უკანასკნელს მოვხსნათ ქვედა საცობი და საკვლევი სხეული ჩავაგდოთ კალორიმეტრში.

8) სწრაფად გამოვწიოთ კალორიმეტრი, მოვურიოთ წყალს და თვალი ვადევნოთ შიგ მოთავსებულ თერმომეტრს.

პირველად ტემპერატურა მაღლა იწევს და როცა დასრულდება სითბოს გადაცემა, მაშინ ტემპერატურა იქნება უმაღლესი. აი, ეს უმაღლესი ტემპერატურა არის საშუალო ტემპერატურა—t°, რომელიც უნდა ავთვალოთ და შევიტანოთ ცხრილში.

ამის შემდეგ ვისარგებლოთ (I) ფორმულით: ჩავსვათ ასოების მაგივრათ მათი მნიშვნელობანი და გავიგოთ უცნობი—C.

ცდა უნდა განიმეოროთ 3-ჯერ და გამოიანგარიშოთ C-ს საშუალო მნიშვნელობა.

ცალკე ცდები ერთმანეთისაგან უნდა განსხვავდებოდეს კალორიმეტრში ჩასხმული წყლის მასით, საწყისი ტემპერატურით და თუ შესაძლებელია საკვლევი სხეულის მასითაც.

დაკვირვებათა ცხრილი

ცდის №	საკვლევი სხეულის მასა	კალორიმეტრის და სარევის მასა	წყლის მასა	წყლის საწყისი ტემპერატურა	თერმომეტრის წყლის ეკვივალენტი	კალორიმეტრის კუთრი სითბოტევადობა	საკვლევი სხეულის ტემპერატურა	საშუალო ტემპერატურა	საკვლევი სხეულის კუთრი სითბოტევადობა
	m	m_1	M	t_0°	K	$C_1=0{,}094$	T°	t°	C
1									
2									
3									

ამოცანა № 15

წყლის დუღილის სითბოს განსაზღვრა შერევის მეთოდით

საჭირო ხელსაწყოები და მასალა: 1) კალორიმეტრი სარევით, 2) თერმომეტრი, 3) ორთქლსაშრობი (დეფლექტორი), 4) მადუღებელი და 5) პრიმუსი.

წყლის დუღილის სითბო სითბოს იმ რაოდენობას ეწოდება, რომელიც უნდა მივცეთ 1 გრამ წყალს დუღილის წერტილზე, რომ მი-

ვიღოთ იმავე ტემპერატურის ორთქლი, ანუ სითბოს იმ რაოდენობას, რომელსაც გამოჰყოფს 1 გრამი ორთქლი დუღილის წერტილზე, წყლად ქცევისას.

ფორმულის გამოყვანა. m გრამ ორთქლს გაატარებენ კალორიმეტრში მოთავსებულ წყალში. ორთქლი ცივდება და წყლად იქცევა. აქ ადგილი ექნება შემდეგ პროცესებს: 1) წყლად ქცევისას m გრამი ორთქლი გამოყოფს ე. წ. დუღილის სითბოს. 2) წყლად ქცეული ორთქლი შემდეგ ცივდება ორთქლად ქცევის (დუღილის) ტემპერატურიდან საშუალო ტემპერატურამდე. ამ პროცესში გამოყოფილი სითბო იხარჯება: 1) კალორიმეტრის და სარევის, 2) წყლის და 3) თერმომეტრის გათბობაზე.

შემოვიღოთ აღნიშვნები: 1. კალორიმეტრში გატარებული წყლის ორთქლის რაოდენობა . . . . m გრამი

2. კალორიმეტრში ჩასხმული წყლის წონა . M გ
3. კალორიმეტრისა და სარევის წონა . . . M_1 გ
4. კალორიმეტრის კუთრი სითბოტევადობა . . . . $C_1=0{,}094$
5. წყლისა და კალორიმეტრის საწყისი ტემპერატურა . t_0
6. ორთქლის ტემპერატურა . . . T
7. დუღილის ფარული სითბო . $\lambda=?$
8. თერმომეტრის წყლის ექვივალენტი . . . . K
9. ცდის ბოლოს დამყარებული საშუალო ტემპერატურა t.

სითბოს შემოსავალი	სითბოს გასავალი
1. m გრამ ორთქლის მიერ წყლად გადაქცევის დროს გამოყოფილი სითბო: $q_1=m\lambda$;	1. კალორიმეტრის გათბობაზე დახარჯული სითბო: $q'_1=C_1M_1\,(t-t_0)$
2. m გრამ წყალმა T-დან საშუალო ტემპერატურამდე (t) გაცივების დროს გამოჰყო სითბო: $q_2=m\,(T-t)$.	2. წყლის გათბობაზე დახარჯული სითბო: $q'_2=M\,(t-t_0)$.
	3. თერმომეტრის გათბობაზე დახარჯული სითბო: $q'_3=K\,(t-t_0)$.

თუ შევადგენთ სითბურ ბალანსს (შემოსავალ გასავალს), შემდეგ განტოლებას მივიღებთ:

$$m\lambda+m\,(T-t)=C_1M_1\,(t-t_0)+M\,(t-t_0)+K\,(t-t_0);$$

$$m\lambda = C_1M_1(t-t_0)+(M+K)(t-t_0)-m(T-t)$$

$$\lambda = \frac{(C_1M_1+M+K)(t-t_0)-m(T-t)}{m}; \qquad (I)$$

შენიშვნა: ამ ფორმულაში K თერმომეტრის წყლის ექვივალენტია წყალში განსაზღვრულ დანაყოფამდე ჩაძირვისას.

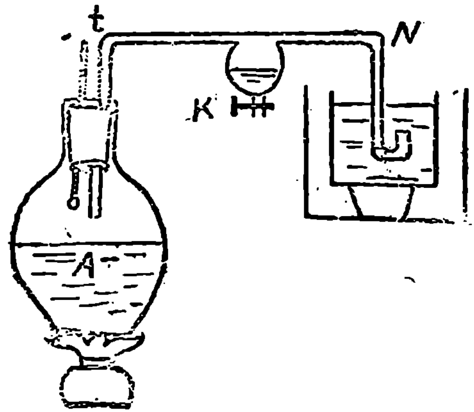
თერმომეტრის წყლის ექვივალენტი სითბოს ის რაოდენობაა, რომელიც იხარჯება თერმომეტრის წყალში ჩაძირული ნაწილის გასათბობად 1°-ზე.

თუ თერმომეტრის ჩაძირული ნაწილის გასათბობად 1°-ზე იხარჯება K გრამ-კალორია სითბო, მაშინ მის გათბობაზე t_0°-დან t°-დე დაიხარჯება სითბო:

$$q'_3 = k(t-t_0).$$

ლაბორატორიებში წინასწარ გამოანგარიშებულია თერმომეტრის წყლის ექვივალენტი. სხვადასხვა დანაყოფისათვის შესაფერისი ცხრილია შედგენილი. ამ ცხრილიდან გაიგებთ K-ს იმ დანაყოფის შესაბამად, სადამდისაც იქნება ჩაძირული თერმომეტრი წყალში ცდის დროს.

ცდის შესრულება: 1) აწონეთ კალორიმეტრის შიდა ჭურჭელი სარევით და შეიტანეთ დაკვირვებათა ცხრილში (M_1) (ნახ. 31).



ნახ. 31.

2) ჩაასხით კალორიმეტრში წყალი $\left(\text{დაახლოებით } \frac{2}{3}\text{-ზე}\right)$ და აწონეთ. გაიგეთ წყლის წმინდა წონა (M).

3) გაიგეთ კალორიმეტრში ჩასხმული წყლის საწყისი ტემპერატურა (t_0).

4) შეუნთეთ A მადუღებელს ცეცხლი. როცა წყლის ადუღების შემდეგ გამაშრობელიდან დაიწყებს მშრალი ორთქლი დენას, დაჰკეტეთ K ონკანი და N მილი ჩაუშვით წყლიან კალორიმეტრში.

5) როცა კალორიმეტრში წყლის ტემპერატურა აიწევს 20—30 გრადუსზე, მაშინ გამოაცალეთ N მილი, მოურიეთ წყალს და გაიგებთ წყლის საშუალო t ტემპერატურას.

6. ცდის დასასრულს აწონეთ კალორიმეტრი და გამოაკელით მას კალორიმეტრის წონა ორთქლის გატარებამდე; მიიღებთ იმ ორთქლის წონას (m), რომელიც გადაიქცა წყლად. მიღებული შედეგები ჩასვით (I) ფორმულაში და გაიგებთ λ-ს.

ცდა განიმეორეთ 3-ჯერ.

დაკვირვებათა ცხრილი

ცდის №	კალორიმეტრის და სარევის წონა M_1	წყლის წონა M	თერმომეტრის წყლის ექვივალენტი K	კალორიმეტრის კუთრი სითბოტევადობა $C_1=0,094$	კალორიმეტრის საწყისი ტემპერატურა t_0	ორთქლის ტემპერატურა T	ორთქლის წონა m	საშუალო ტემპერატურა t	ფარული სითბო λ
1									
2									
3									

ამოცანა № 16

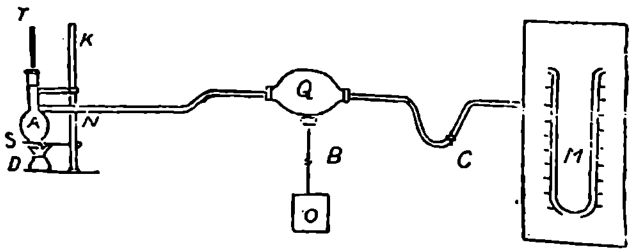
წყლის ორთქლის დრეკადობის განსაზღვრა სხვადასხვა ტემპერატურის დროს

საჭირო ხელსაწყოები: ვერცხლის წყლის მანომეტრი (M) (ნახ. 32); შტატივი დამჭერით და ბადით (K და S); კოლბა (300—400 სმ³) A; სითბოს წყარო (D); ორი მომჭერი (B და C); ორთქლსაშრობი (Q); თერმომეტრი (T).

ამ ამოცანის მიზანია წყლის ორთქლის დრეკადობის განსაზღვრა სხვადასხვა ტემპერატურის დროს.

ხელსაწყოს აღწერა: ხელსაწყო შედგება მინის კოლბისაგან (A), რომელიც დახურულია რეზინის საცობით; რეზინის მილში გაყრი-

ლია (T) თერმომეტრი. (N) კოლბა მილით შეერთებულია ორთქლსაშრობთან (Q). აქედან გამოდის რეზინის B და C მილები მომჭერებით. ერთი მილი შეერთებულია ვერცხლის წყლის მანომეტრთან (M); მეორე მილის დანიშნულება კი იმაში მდგომარეობს, რომ



ნახ. 32.

ორთქლსაშრობში (Q) დაგროვილი წყლის წვეთები გამოუშვას ჭიქაში (O). ცდის დასაწყისში C მომჭერი დაკეტილია, B კი—ღიაა.

ცდა შემდეგი მიმდევრობით შევასრულოთ. 1. A კოლბას სითბოს (D) წყარო შევუდგათ და დავიწყოთ წყლის გათბობა.

2. რადგან B მომჭერი ღიაა, ამიტომ წყლის ადუღების შემდეგ ჭიქაში (O) დაიწყებს დინებას ჯერ წყალი და შემდეგ ორთქლი. ვადუღებთ წყალს დაახლოებით კიდევ 5 წუთს, რის შემდეგაც ერთდროულად ვკეტავთ B მომჭერს და ვაღებთ C მომჭერს. ამავე მომენტში A კოლბას ვაცლით სითბოს (D) წყაროს.

3. თვალყურს ვადევნებთ მანომეტრს, ჩვენ ვამჩნევთ, რომ მანომეტრის მუხლებს შორის დონეთა სხვაობა იწყებს ზრდას.

4. რადგან მანომეტრის მუხლებს შორის დონეთა სხვაობა სწრაფად იცვლება, ამიტომ უმჯობესია, რომ ეს ცდა ერთდროულად აწარმოოს სამმა დამკვირვებელმა შემდეგი წ ე ს ი თ: იმ დროს, როდესაც პირველი დამკვირვებელი თვალყურს ადევნებს თერმომეტრს და ხმამაღლა აღნიშნავს თერმომეტრის ჩვენებებს: 98°, 96°, 94°, 92°,... და ა. შ., იგივე პირი სწრაფად იწერს ვერცხლის წყლის დონეებს მანომეტრის ორივე მუხლში (h_1 და h_2), რომელსაც უკარნახებენ მას მეორე და მესამე დამკვირვებლები.

7. საჭიროა დიაგრამის აგება. აბსცისათა ღერძზე გადავზომავთ ტემპერატურის პროპორციულ მონაკვეთებს (მასშტაბი 2°—1 სმ), ორდინატთა ღერძზე კი—ორთქლის წნევის პროპორციულ მონაკვეთებს (მასშტაბი 1 სმ წნევა—0,5 სმ).

დაკვირვებათა ცხრილი

ტემპერატურა	მანომეტრის ჩვენებები		ატმოსფეროს წნევა H სმ	ორთქლის წნევა H—h
	მარცხენა მუხლის h_1	მარჯვენა მუხლის h_2 სმ.		

ამოცანა № 17

$\frac{C_p}{C_v}$ ფარდობის განსაზღვრა Clement და Desormes-ის—მეთოდით აირისათვის

აირის სითბოტევადობას ვარჩევთ ორ შემთხვევაში: სითბოტევადობას მუდმივი წნევის დროს—C_p და სითბოტევადობას მუდმივი მოცულობის დროს—C_v.

C_p ანუ სითბოტევადობა მუდმივი წნევის დროს, იზომება სითბოს იმ რაოდენობით, რომელიც იხარჯება 1 გრამი აირის 1°-ზე გასათბობად, როცა წნევა რჩება უცვლელი.

C_v ანუ სითბოტევადობა მუდმივი მოცულობის დროს იზომება სითბოს იმ რაოდენობით, რომელიც იხარჯება 1 გრამი აირის 1°-ზე გასათბობად, როცა აირის მოცულობა რჩება უცვლელი.

C_p—ადვილად შეიძლება ვიპოვოთ უშუალო ცდით. რაც შეეხება C_v-ს, მისი პოვნა უშუალო ცდით საკმაო სიძნელეს წარმოადგენს.

მაგრამ არსებობს საშუალება ვიპოვოთ ფარდობა $\frac{C_p}{C_v}$. თუ გვეცოდინება $\frac{C_p}{C_v}$ ფარდობა და C_p, ცხადია ადვილად გამოვთვლით C_v-ს.

ამ ამოცანის მიზანია ვიპოვოთ ფარდობა $\frac{C_p}{C_v}$.

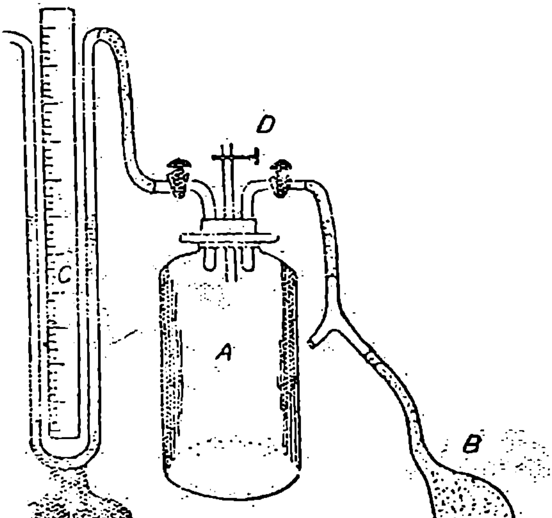
საჭირო ხელსაწყოები: 1) მინის ჭურჭელი (A), 2) მანომეტრი (C) და რეზინის ბალონი (B). (ნახ. 33, იხ. გვ. 80).

ფორმულის გამოყვანა: $\frac{C_p}{C_v}$ ფარდობის განსაზღვრის დროს ჩვენ საქმე გვექნება აირის ადიაბატურ და იზოთერმულ პროცესებთან. ადიაბატური პროცესი ისეთ პროცესს ეწოდება, რომლის დროს აირის მდგომარეობა ისე შეიცვლება, რომ აირი არც იღებს გარედან სითბოს და არც ჰკარგავს.

ცხადია თუ აირი ადიაბატურად იკუმშება, იგი გათბება, ხოლო თუ ადიაბატურად ფართოვდება, მაშინ აირი გაცივდება. თუ შეკუმშულ აირს მივცემთ სწრაფად გაფართოების საშუალებას, მაშინ იგი ადიაბატურად გაფართოვდება და ამიტომ გაცივდება. ხოლო თუ აირს სწრაფად შევკუმშავთ, მაშინ იგი ადიაბატურად შეიკუმშება და ამიტომ გათბება.

იზოთერმიული პროცესი ისეთ პროცესს ეწოდება, რომლის დროს აირის მოცულობის ან წნევის შეცვლა ტემპერატურის შეუცვლელად წარმოებს.

თუ აირი ფართოვდება, მაშინ იგი ასრულებს მუშაობას და ამიტომ უნდა გაცივდეს; ტემპერატურა რომ არ შეიცვალოს, ამისათვის გარედან უნდა მივაწოდოთ სითბო. ამგვარ გაფართოებას აირის იზოთერმიული გაფართოება ეწოდება.



ნახ. 33.

თუ აირი იკუმშება, მაშინ გარეგანი შემკუმშავი ძალა ასრულებს მუშაობას; ეს მუშაობა სითბოდ იქცევა და ამიტომ აირი უნდა გათბეს; მაგრამ თუ ამ დროს აირს ვაცივებთ, მაშინ მისი ტემპერატურა შეკუმშვის დროს არ შეიცვლება, ასეთი პროცესი აირის იზოთერმიული შეკუმშვაა.

თუ აირის მდგომარეობა ადიაბატურად იცვლება, მაშინ აირი ემორჩილება პუასონის განტოლებას:

$$P_1V^k_1=P_0V_0^k;$$

სადაც

P_0 არის საწყისი წნევა;

V_0 " საწყისი მოცულობა;

P_1 " ადიაბატურად შეცვლილი წნევა;

V_1 " ადიაბატურად შეცვლილი მოცულობა;

ხოლო,

$$K=\frac{C_p}{C_v}.$$

თუ აირის მდგომარეობა იზოთერმიულად იცვლება, მაშინ იგი ემორჩილება ბოილ-მარიოტის კანონს

$$P_0V_0=P_1V_1,$$

სადაც:

P_1 საწყისი წნევაა,

V_0 " მოცულობა,

P_1 იზოთერმიულად შეცვლილი წნევა,

V_1 " " მოცულობა

Clement და Desormes-ის მეთოდით $\frac{C_p}{C_v}$ ფარდობის განსაზღვრა შემდეგი ხელსაწყოთი წარმოებს:

მინის (A) ჭურჭელი (ნახ. 33) შეერთებულია ერთის მხრივ აირის დამტენ და B რეზინის ბალონთან და მეორეს მხრივ ღია C მანომეტრთან. D ონკანის საშუალებით ჭურჭელი შეიძლება ჩავკეტოთ, როცა ეს საჭირო იქნება.

ვთქვათ აირის საწყისი მოცულობაა V_0 (ერთეული მასის მოცულობა), წნევა — P_0 და ტემპერატურა t_0. დავკეტოთ ონკანი D და B და ბალონის საშუალებით დავტენოთ ჰაერი A ჭურჭელში. მაშინ ერთეული მასის მოცულობა იკლებს და ხდება V_1; წნევა იზრდება და აირი თბება შეკუმშვის გამო. აირი თანდათან ცივდება, მიიღებს ოთახის ტემპერატურას და ამიტომ წნევა ნელ-ნელა იკლებს. როდესაც შეკუმშული აირის ტემპერატურა გაუტოლდება ოთახის ტემპერატურას, მაშინ მისი წნევა მეტი იქნება. ატმოსფეროს წნევაზე რაიმე h_1 სიდიდით (მანომეტრის მარცხენა მილში სითხე უფრო ზევით იქნება h_1 დანაყოფით).

თუ ატმოსფეროს წნევას აღვნიშნავთ b-თი და ახალ წნევას P_1-ით, მაშინ:

$$P_1=b+h_1.$$

ცოტა ხნით გავაღოთ D ონკანი და ისევ სწრაფად დავკეტოთ.

მაშინ A ჭურჭლიდან გამოვა ზედმეტი ჰაერი და მოცულობა გახდება ისევ V_0, წნევა—P_0 და ტემპერატურა —t, რომელიც ნაკლებია t_0-ზე, რადგან ადიაბატური გაფართოების დროს აირი ცივდება.

რამდენიმე ხნის შემდეგ გარშემო ჰაერი გაათბობს A-ჭურჭელს და აირის ტემპერატურა გახდება ისევ t_0; წნევა მიიღებს ახალ მნიშვნელობას:

$$P_2=b+h_2,$$

სადაც h_2 მანომეტრის მილებში დამყარებულ დონეთა სხვაობაა. ამოვწეროთ თუ რა მდგომარეობებში იყო ჰაერი:

I . . .	V_1, P_1	ტემპერატურა	t_0,	
II . . .	V_0, P_0	"	t,	$(t<t_0)$
III . . .	V_0, P_2	"	t_0	

I და III მდგომარეობებში ტემპერატურა ერთნაირია (იზოთერმიული პროცესი), ამიტომ ჰაერი ემორჩილება ბოილ-მარიოტის კანონს:

$$\frac{V_0}{V_1}=\frac{P_1}{P_2} \qquad (1)$$

I-დან მე-II-ზე გადასვლა ხდება ადიაბატურად, ამიტომ შეგვიძლია დავწეროთ პუასონის განტოლება:

$$P_1V_1^k=P_0V_0^k$$

ანუ

$$\frac{V_0^k}{V_1^k}=\frac{P_1}{P_0}.$$

(1) ფორმულის თანახმად ფარდობა $\frac{V_0}{V_1}$ შეიძლება შეიცვალოს ფარდობით $\frac{P_1}{P_2}$, მივიღებთ:

$$\left(\frac{P_1}{P_2}\right)^K=\frac{P_1}{P_0}$$

გავალოგარითმოთ ორთავე მხარე:

$$K\lg\frac{P_1}{P_2}=\lg\frac{P_1}{P_0},$$

$$K=\frac{\lg\frac{P_1}{P_0}}{\lg\frac{P_1}{P_2}}$$

საიდანაც

$$K=\frac{\lg P_1-\lg P_0}{\lg P_1-\lg P_2}.$$

რადგან P_0, P_1 და P_2 სიდიდეები მცირედ განსხვავდებიან ერთმანეთისაგან, ამიტომ ლოგარითმების სხვაობა შეიძლება შეიცვალოს თვით რიცხვების სხვაობით; მივიღებთ:

$$K=\frac{P_1-P_0}{P_1-P_2};$$

მაგრამ:

$$P_1=b+h_1;\quad P_0=b \text{ და } P_2=b+h_2$$

ამიტომ:

$$K=\frac{h_1}{h_1-h_2}$$

მაგრამ:

$$K=\frac{C_p}{C_v},$$

ამიტომ:

$$\frac{C_p}{C_v}=\frac{h_1}{h_1-h_2} \qquad (2)$$

როგორც მე-(2) ფორმულიდან ვხედავთ, $\frac{C_p}{C_v}$ ფარდობის გასაგებად უნდა გავზომოთ მხოლოდ h_1 და h_2 და შემდეგ ვისარგებლოთ (1) ფორმულით.

ცდის მსვლელობა: B რეზინის ბალონით ჰაერი ჩავუშვით A ჭურჭელში მანამდე, სანამ მანომეტრის დონეთა სხვაობა არ დადგება 25—30 დანაყოფზე; დაიცადეთ 2—3 წუთი, შემდეგ აითვალეთ მანომეტრის დონეთა სხვაობა h_1 და შეიტანეთ დაკვირვებათა ცხრილში.

გააღეთ და მაშინვე სწრაფად დაკეტეთ ონკანი; დაიცადეთ 2—3 წუთი და შემდეგ აითვალეთ მანომეტრის დონეთა სხვაობა h_2.

მიღებული შედეგები ჩასვით მე-(2) ფორმულაში და გაიგებთ ფარდობას $\frac{C_p}{C_v}$.

ცდა გაიმეორეთ ათჯერ. გამოიანგარიშეთ აბსოლუტური და ფარდობითი ცთომილებანი.

დაკვირვებათა ცხრილი

№№	h_1	h_2	h_1-h_2	$\frac{C_p}{C_v}$	$\Delta\frac{C_p}{C_v}$
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					

$$\frac{C_p}{C_v}=$$

ფარდობითი ცთომილება $E_k=$

ამოცანა № 18

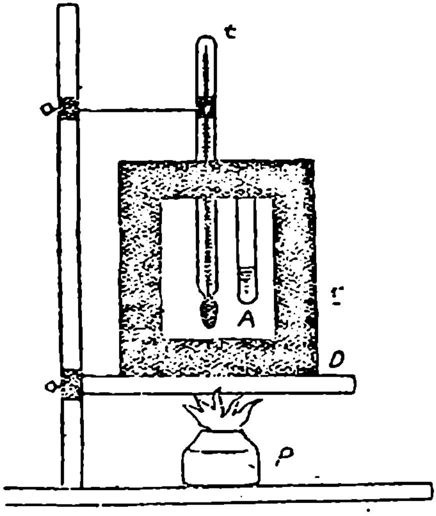
სითხის კრიტიკული ტემპერატურის პოვნა

საჭირო ხელსაწყოები: (ნახ. 34) მინის დახშული მილი (A), ეთერით ან რაიმე სხვა სითხით; ჰაერის D აუზი; სითბოს წყარო—P; თერმომეტრი—t.

კრიტიკული ტემპერატურა ისეთი ტემპერატურაა, რომელზედაც და რომლის ზევითაც ნივთიერებები აიროვან მდგომარეობაშია და ვერავითარი წნევით მას სითხედ ვერ გადავაქცევთ. ნივთიერების კრიტიკული ტემპერატურის მოსაპოვებლად სხვადასხვა მეთოდი არსებობს. ამ ამოცანის გადასაწყვეტად ვსარგებლობთ მენისკის მოსპობის მეთოდით.

ფიზიკის კურსიდან ცნობილია, რომ მენისკი (ე. ი. სითხის ზედაპირის მოხაზულობა) გამოწვეულია მოლეკულური ძალებით. იმ შემთხვევაში, როდესაც სითხე ასველებს ჭურჭლის კედლებს, მენისკი ჩაზნექილია, წინააღმდეგ შემთხვევაში კი—ამოზნექილი. თეორიიდან ცნობილია აგრეთვე, რომ კრიტიკულ მდგომარეობაში გადასვლისას, ის განსხვავება, რომელიც კი არსებობს სითხესა და მის ორთქლს შორის, ისპობა. მენისკი, რომელიც ანცალკევებს სითხეს ორთქლისაგან, თანდათანობით ჰქრება და კრიტიკული მდგომარეო-

ბის მომენტზე გადასვლის შემდეგ მთელ ჭურჭელში ერთგვაროვანი ნივთიერება წარმოიქმნება, რადგან მოლეკულური ძალები მცირდება და ამ მომენტში უტოლდება ნულს. სწორედ მენისკის გაქრობის მეთოდზეა დამყარებული კრიტიკული ტემპერატურის პოვნა კრიტიკული ტემპერატურის საპოვნელად ჩვენ სქელკედლიანი მინის პატარა დახშული მილით ვსარგებლობთ, რომელშიაც ჩასხმულია საკვლევი სითხე. სითხეს უკავია ამ მილის მოცულობის დაახლოებით $\frac{1}{3}$ ამ სითხის ზევით იმყოფება მხოლოდ სითხის ორთქლი, რადგან



ნახ. 34.

ჰაერი მილის დამზადებისას სავსებით გამოდევნილია. ეს მილი მოთავსებულია ჰაერის აბაზანაში, რომელშიაც მოთავსებულია თერმომეტრიც.

ჰაერის აბაზანა წარმოადგენს თუნუქის კოლოფს მინის ორი სარკმელით. კოლოფის სახურავის ხვრელს გაკეთებული აქვს საცობი, რომელშიაც ჩაყრილია მავთულის ნაჭერი, ამ მავთულზე ჰკიდია მილი გამოსაკვლევი სითხით. ამავე საცობში გაყრილია თერმომეტრი, რომლითაც გავიგებთ აბაზანის ტემპერატურას გათბობისას.

ცდის შესრულება: ჰაერის აბაზანას შევუდგათ გახურებული პრიმუსი და თვალი ვადევნოთ სითხის მენისკს. მილში სითხე გათბობის გამო ფართოვდება (სითხე განსაკუთრებით ფართოვდება კრიტიკულ ტემპერატურის მახლობლად); ჩაზნექილი მენისკი თანდათან გაბრ-

ტყელდება და ბოლოს სრულიად გაჰქრება. **ტემპერატურა, რომელსაც თერმომეტრი გვიჩვენებს მენისკის გაქრობის მომენტში სწრაფად უნდა აითვალოს.** ამ მომენტში სითხე მთლიანად ორთქლად არის ქცეული. როგორც კი მენისკი გაქრება, სითბოს წყაროს გამოაცლიან. მილი იწყებს გაცივებას და რამდენიმე ხნის შემდეგ მთელ მილში ნისლი ჩნდება და ამის შემდეგ გამოჩნდება სითხე თავის მენისკით. **ნისლის გაჩენის მომენტის შესაფერი ტემპერატურა** სწრაფად უნდა აითვალოს თერმომეტრზე. მენისკის გაქრობის მომენტის და ნისლის გაჩენის მომენტის შესაბამ ტემპერატურათა საშუალო სითხის კრიტიკულ ტემპერატურას წარმოადგენს.

საბოლოო კრიტიკული ტემპერატურის მისაღებად ასეთი დაკვირვება რამდენჯერმე უნდა განმეორდეს და მიღებულ კრიტიკულ ტემპერატურათა საშუალო უნდა იქნას აღებული.

დაკვირვებათა ცხრილი

რიგის №	სითხის მენისკის გაქრობის ტემპერატურა	ნისლის გაჩენის ტემპერატურა	საშუალო	კრიტიკული ტემპერატურა

ამოცანა № 19

პოტენციალის ვარდნა ელწრედის გასწვრივ და პოტენციალის გრადიენტის გამოთვლა

საჭირო ხელსაწყოები და მასალა: 1) დაფა, რომელზედაც გაჭიმულია სხვადასხვა განივკვეთის ორი გამტარი, 2) ვოლტმეტრი (V), 3) ამპერმეტრი (A) და 4) რეოსტატი (R).

ცნობილია, რომ დენის ძალა მოცემულ უბანზე პირდაპირ პროპორციულია პოტენციალთა სხვაობისა ანუ ძაბვის და უკუპროპორციულია წინაღობისა (ომის კანონი), ე. ი.

$$J=\frac{V}{R} \tag{1}$$

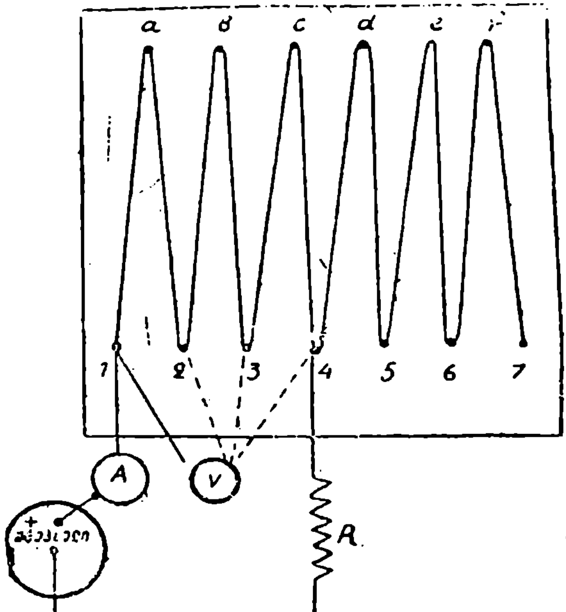
აქედან

$$V=JR \tag{2}$$

სადაც J დენის ძალაა, R—უბნის წინაღობა და V—ძაბვა ანუ პოტენციალის ვარდნა (სხვაობა).

თუ დენის ძალა მუდმივია, მაშინ როგორც ჩანს მეორე ფორმულიდან პოტენციალის ვარდნა პირდაპირ პროპორციულია წინაღობისა.

რადგან გამტარის წინაღობა დამოკიდებულია მის სიგრძეზე და



ნახ. 35.

განივკვეთის ფართობზე, ამიტომ პოტენციალის ვარდნაც დამოკიდებული იქნება გამტარის სიგრძესა და განივკვეთის ფართობზე.

ამ ამოცანის მიზანია: შევისწავლოთ თუ როგორი დამოკიდებულებაა პოტენციალის ვარდნასა და გამტარის სიგრძეს შორის სხვადასხვა განივკვეთის გამტარებისათვის; 2) გამოვითვალოთ პოტენციალის გრადიენტი სხვადასხვა განივკვეთის გამტარისათვის. პოტენ-

ციალის გრადიენტი ეწოდება პოტენციალთა სხვაობას, რომელიც წილად ხვდე'ა გამტარის ერთ სანტიმეტრ სიგრძესა და გამოიანგარიშება ფორმულით:

$$V_{\text{გრ.}}=\frac{V}{l}\ \frac{\text{ვოლტი}}{\text{სმ}},$$

სადაც V პოტენციალის ვარდნაა l სიგრძის გამტარზე (სმ-ში), ხოლო $V_{\text{გრ}}$ პოტენციალის გრადიენტი, რომლის განზომილებაა $\frac{\text{ვოლტი}}{\text{სმ}}$.

მაგალითად, თუ 10 სმ სიგრძის გამტარზე პოტენციალის ვარდნა=2 ვოლტს, მაშინ გრადიენტი

$$V_{\text{გრ.}}=\frac{2\ \text{ვოლტი}}{10\ \text{სმ}}=0{,}2\ \frac{\text{ვოლტი}}{\text{სმ}}.$$

წრედის შედგენა: (ნახ. 35). კედელზე მიმაგრებულ დაფაზე გაჭიმულია ორი სხვადასხვა დიამეტრის, მაგრამ ერთი და იგივე ნივთიერების გამტარი; პირველი გამტარი, რომლის დიამეტრია $D=0{,}5$ მმ-ს, გაჭიმულია 1, a, 2, b, 3, c და 4—მომჭერებს შორის ისე, რომ თითოეული უბნის (მაგ. 1-დან—a-დე) სიგრძეა $l=60$ სმ. მეორე, უფრო მცირე განივკვეთის გამტარი ($D=0{,}25$ მმ-ს), გაჭიმულია 4, d, 5, e, 6, φ და 7—მომჭერებს შორის.

თითოეული უბნის სიგრძე აქაც 60 სმ-ია.

წრედი შეადგინეთ ასე: მუდმივი დენის შტეპსელის (+) პოლუსიდან დენი მიდის ამპერმეტრში (A), ამპერმეტრიდან დაფის 1 მომჭერთან, დაფაზე გაჭიმულ გამტარში მე-4 მომჭერამდე, რეოსტატში (R) და შტეპსელის (—) პოლუსთან.

ვოლტმეტრის (V) ერთი პოლუსი მუდამ შეერთებულია დაფის 1 მომჭერთან, ხოლო მეორე პოლუსი შეგვიძლია შევაერთოთ ნებისმიერ მომჭერთან.

ცდის შესრულება: 1) შეადგინეთ ელწრედი სქემის მიხედვით (დენი არ ჩართოთ ხელმძღვანელის დაუკითხავათ;

2) გაატარეთ დენი 0,5 A ძალით (მოაწესრიგეთ რეოსტატით);

3) ვოლტმეტრით გაზომეთ პოტენციალის ვარდნა 1-სა და a-ს შორის და ჩასწერეთ ცხრილის V სვეტში 60 სმ-ის გასწვრივ;

4) გაზომეთ პოტენციალის ვარდნა 1-სა და 2-ს შორის და ჩასწერეთ ცხრილში 120 სმ-ის გასწრივ; შემდეგ: 1-სა და b-ს შორის, 1-სა და 3-ს შორის, 1-სა და c-ს შორის და 1-სა და 4-ს შორის;

5) ყოველ უბანზე ცალკე გაიგეთ გრადიენტი ფორმულით $V_{\text{გრ.}}=\frac{V}{l}\ \frac{\text{ვოლტი}}{\text{სმ}}$ და შეიტანეთ ცხრილში;

6) გამოთვალეთ გრადიენტის საშუალო მნიშვნელობა გამტარისათვის, რომლის განივკვეთის დიამეტრია $D=0{,}5$ მმ.

7) ამორთეთ ელწრედიდან უბანი 1-დან 4-მდე და მის მაგივრად ჩართეთ უფრო მცირე განივკვეთის ($D=0{,}25$ მმ) გამტარი; ამ შემთხვევაში ისევ განიმეორეთ ცდა.

8) ააგეთ გრაფიკი, რომელიც გამოხატავდეს დამოკიდებულებას გამტარის სიგრძესა და პოტენციალის ვარდნას შორის ორივე გამტარისათვის ცალცალკე (ერთი კოორდინატთა სიბრტყეზე).

ამისათვის აიღეთ დეკარტის მართკუთხა კოორდინატთა სისტემა; აბსცისთა ღერძზე გადაზომეთ გამტარის სიგრძეთა პროპორციული მონაკვეთები (60 სმ, 120 სმ, 180 სმ და ასე შემდეგ), ხოლო ორდინატთა ღერძზე შესაბამისი პოტენციალის ვარდნის პროპორციული მონაკვეთები.

9) გამოარკვიეთ მიღებული გრაფიკის ფიზიკური მნიშვნელობა.

დაკვირვებათა ცხრილი

რიგის №	განივკვეთი $S=\frac{1}{4}\pi\cdot 0{,}25^2$ მმ².			განივკვეთი $S=\frac{1}{4}\pi\cdot 0{,}25^2$ მმ²		
	l	V	V გრადიენტი $\frac{\text{ვოლტი}}{\text{სმ}}$	l	V	V გრადიენტი $\frac{\text{ვოლტი}}{\text{სმ}}$
	60 სმ			60 სმ		
	120 სმ			120 —		
	180 სმ			180 —		
	240 სმ			240 —		
	300 სმ			300 —		
	360 სმ			360 —		

ამოცანა № 20

გამტარის კუთრი წინაღობის გამოანგარიშება მოცემულ ტემპერატურის დროს

საჭირო ხელსაწყოები და მასალა: 1) დაფაზე გაჭიმულია სხვადასხვა განივკვეთის გამტარები; 2) რეოსტატი (R); 3) ამპერმეტრი (A) და 4) ვოლტმეტრი (V).

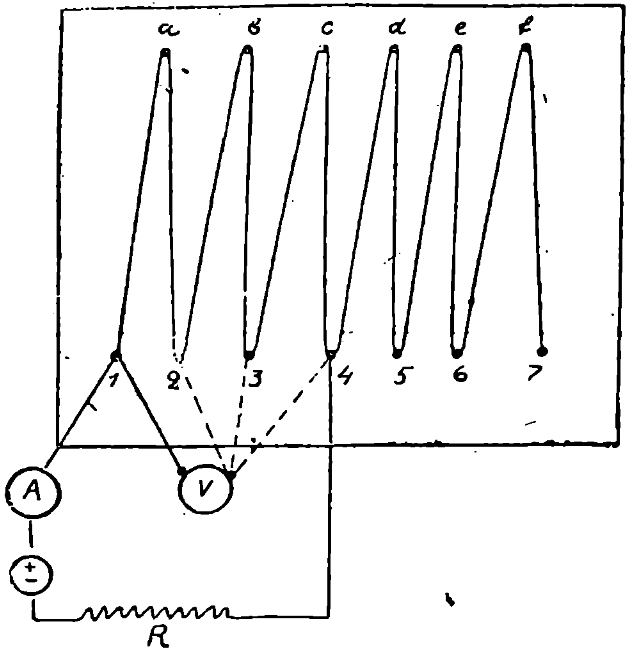
გამტარის კუთრი წინაღობა (ρ) იზომება იმ წინაღობით, რომელიც აქვს ისეთ გამტარს, რომლის სიგრძეა 1 მეტრი, განივკვეთის ფართობი 1 მმ² და ტემპერატურა 15°C.

ამოცანის მიზანია — გამოთვლილ იქნას მოცემული (ოთახის) ტემპერატურის დროს გამტარის კუთრი წინაღობა.

ფორმულის გამოყვანა: როგორც ვიცით, გამტარის წინაღობა (R) პირდაპირ პროპორციულია გამტარის სიგრძისა (l) და უკუპროპორციულია განივკვეთის ფართისა (S), ე. ი.

$$R = \rho \frac{l}{S} \qquad (1)$$

სადაც ρ არის გამტარის კუთრი წინაღობა მოცემული ტემპერატურის დროს. მეორეს მხრივ ომის კანონის თანახმად:



ნახ. 36.

$$J = \frac{V}{R},$$

საიდანაც

$$R = \frac{V}{J} \qquad (2)$$

თუ მე-(2) ფორმულაში R-ის ნაცვლად შევიტანთ მის მნიშვნელობას (1) ფორმულიდან, მაშინ მივიღებთ:

$$\rho \frac{l}{S} = \frac{V}{J};$$

აქედან მივიღებთ საბოლოო ფორმულას:

$$\rho = \frac{VS}{Jl} \tag{3}$$

როგორც მე-(3) ფორმულიდან ვხედავთ, მოცემულ ტემპერატურის დროს, კუთრი წინაღობის (ρ) გამოსაანგარიშებლად უნდა ვიცოდეთ:

1) გამტარის სიგრძე—l (ცნობილია);

2) ძაბვა ამ გამტარის ბოლოებზე—V (უნდა გაიზომოს);

3) დენის ძალა—S. (უნდა გაიზომოს);

4) გამტარის განივკვეთის ფართი—S (ცნობილია).

წრედის შედგენა: (ნახ. 36). კედელზე მიმაგრებულ დაფაზე გაჭიმულია ორი სხვადასხვა განივკვეთის გამტარი: პირველი გამტარი, რომლის განივკვეთის დიამეტრია $D = 0{,}5$ მმ, გაჭიმულია 1, a, 2, b, 3, c და 4 მომჭერებს შორის. თითოეული უბნის სიგრძე $= 0{,}6$ მეტრს $= 60$ სმ-ს (მაგალითად, სიგრძე გამტარისა 1-დან a-დე $= 0{,}6$ მ).

მეორე უფრო წვრილი გამტარი, რომლის დიამეტრია $D = 0{,}25$ მმ, გაჭიმულია 4, d, 5, l, 6 f და 7 მომჭერებს შორის. თითოეული უბნის სიგრძე აქაც 0,6 მეტრია.

წრედი შედგენილია ასე: მუდმივი დენის შტეპსელის (+) პოლუსიდან დენი მიდის ამპერმეტრში (A), ამპერმეტრიდან დაფაზე გაჭიმულ მავთულში 1-დან 4-დე, შემდეგ რეოსტატში (R) და რეოსტატიდან შტეპსელის (—) პოლუსთან. ვოლტმეტრის (V) ერთი პოლუსი მუდამ შეერთებულია დაფის მავთულის 1-ლ მომჭერიან, ხოლო მეორე პოლუსი შეგვიძლია შევაერთოთ ნებისმიერ მომჭერთან.

ცდის შესრულება: 1) შეადგინეთ ელწრედი სქემის მიხედვით (დენი არ ჩართოთ ხელმძღვანელის დაუკითხავად);

2) გაატარეთ დენი 0,5 A ძალით (მოაწესრიგეთ რეოსტატი);

3) ვოლტმეტრით გაზომეთ პოტენციალის ვარდნა 1-დან 2-დე (მანძილი $= 1{,}2$ მ) ჩასწერეთ ცხრილში 1,2 მეტრის გასწვრივ V სვეტში;

4) გაზომეთ პოტენციალის ვარდნა 1-დან 3-დე (მანძილი $= 2{,}4$ მ), შემდეგ 1-დან 4-დე (მანძილი $= 3{,}6$ მ) და შეიტანეთ ცხრილში V სვეტში შესაბამისად 3,4 მ-ის და 3,6 მ-ის გასწვრივ.

5) ამორთეთ ელწრედიდან (უბანი 1-დან 4-დე) მსხვილი განივკვეთის გამტარი და მის მაგიერ ჩართეთ წვრილი განივკვეთის გამტარი (უბანი 4-დან 7-დე).

განიმეორეთ იგივე ცდა ამ გამტარისათვისაც.

ყოველი დაკვირვების მიხედვით ცალ-ცალკე გამოთვალეთ ρ მე-3 ფორმულის მიხედვით.

დაბოლოს გამოიყვანეთ ρ-ს საშუალო მნიშვნელობა. გამოთვალეთ აბსოლუტური და ფარდობითი ცთომილებანი.

დაკვირვებათა ცხრილი

რიგის №	l (მეტ-ში)	S (მმ²-ში)	J	V	ρ	$\Delta\rho$
1	1,2 მეტრი	$\frac{1}{4}\pi \cdot 0{,}5^2$				
2	2,4	$\frac{1}{4}\pi \cdot 0{,}5^2$				
3	3,6	$\frac{1}{4}\pi \cdot 0{,}5^2$				
4	1,2	$\frac{1}{4}\pi \cdot 0{,}5^2$				
5	2,4	$\frac{1}{4}\pi \cdot 0{,}5^2$				
6	3,6	$\frac{1}{4}\pi \cdot 0{,}5^2$				

$\rho =$

ფარდ. ცთომილება $\varepsilon_\rho =$

ამოცანა № 21

ნათურის წინაღობის დამოკიდებულება მასში გამავალ დენის ძალაზე

საჭირო ხელსაწყოები (ნახ. 37): ნათურები (P), როგორც ნახშირისა, აგრეთვე ვოლფრამის ძაფებით, ამპერმეტრი (A), ვოლტმეტრი (V), სადენები, ჩამრთველი (K) და რეოსტატი (R_0).

თეორია. ცნობილია, რომ ელდენის გავლისას გამტარებში, გამოიყოფა სითბო, რომელიც, ცხადია, ასწევს ამ გამტარების ტემპერატურას. ტემპერატურის აწევით კი გამტარების წინაღობა იცვლება. ელემენტარული ფიზიკის კურსიდან ცნობილია, რომ წინაღობის ტემპერატურული კოეფიციენტი (α) ზოგი გამტარებისათვის (მაგ., ლითონებისათვის) დადებითია და ზოგისათვის კი—უარყოფითი (მაგ., ელექტროლიტებისათვის). ცნობილია აგრეთვე, რომ წინაღობის ტემპერატურული კოეფიციენტი (α) იმის მაჩვენებელია, თუ წინაღობის რა ნაწილს მოიმატებს გამტარი 1°-ზე გათბობისას.

თუ რეოსტატის საშუალებით შევცვლით ელნათურაში გამავალ დენის ძალას, მაშინ ამ ნათურის წინაღობა იქნება სხვადასხვა და ამიტომ ვოლტმეტრის ჩვენებასაც მივიღებთ სხვადასხვას. ომის კანონის თანახმად კი გამტარის წინაღობას გავზომავთ ფორმულით:

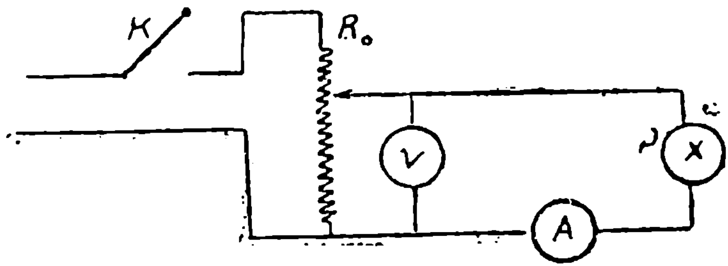
$$R = \frac{V}{J} \qquad (2)$$

სადაც R—წინაღობაა გაზომილი ომებში (Ω), V—პოტენციალთა სხვაობა—ვოლტებში და J დენის ძალაა გაზომილი ამპერებში.

(2) ფორმულით გამოვთვლით წინაღობას (R) მოცემული ნათურისათვის სხვადასხვა ძალის დენის გავლისას.

ცდა შევასრულოთ შემდეგი მიმდევრობით.

1. შევადგინოთ წრედი თანახმად აღნიშნული სქემისა[1]. წრედში ჩავრთოთ ვოლფრამის ნათურა ძაფებით.



ნახ. 37.

2. შევადგინოთ დაკვირვებათა ცხრილი, რომელშიაც მიმდევრობით შევიტანოთ ამპერმეტრის და ვოლტმეტრის ჩვენებანი.

3. რეოსტატის მცოცი დავაყენოთ ისე, რომ ვოლტმეტრის ჩვენება იყოს 10 V და ავითვალოთ ამპერმეტრის ჩვენება.

4. შემდეგ ეს მცოცი გადავაადგილოთ ისე, რომ ვოლტმეტრის ჩვენება იცვლებოდეს ხუთ-ხუთი ვოლტით და თითოეული შემთხვევისათვის ავითვალოთ ამპერმეტრის ჩვენებანი.

5. ცდები იმავე მიმდევრობით განვიმეოროთ ნახშირის ნათურაზე.

6. შევადგინოთ დამოკიდებულების გრაფიკი R და J შორის. აბსცისათა ღერძზე გადავზომოთ დენის ძალის პროპორციული მონაკვეთები, ორდინატთა ღერძზე კი—წინაღობის პროპორციული მონაკვეთები.

[1] ხელმძღვანელის მიერ შემოწმების გარეშე წრედის ჩართვა აკრძალულია.

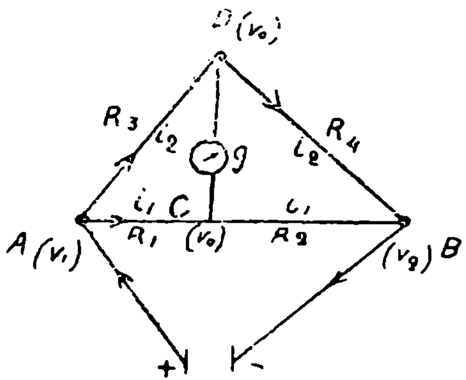
დაკვირვებათა ცხრილი

რიგის №	ვოლტმეტრის ჩვენება V—ვოლტი	ამპერმეტრის ჩვენება A—ამპერი	წინაღობა $R=\frac{V}{J}$ Ω ომი	შენიშვნა

ამოცანა № 22

გამტარის წინაღობის გამოანგარიშება უიტსტონის ხიდით

I. თეორიული საფუძვლები: 38 ნახაზზე გამოსახულია ორი გამტარი ACB და ADB, რომლებიც პარალელურად არიან ჩართული წრედში A და B წერტილებს შორის. აღვნიშნოთ A წერტილის პოტენციალი V_1-ით, B წერტილის პოტენციალი კი V_2-თი.



ნახ. 38.

ADB გამტარში პოტენციალი თანდათან ეცემა V_1-დან V_2-დე. პოტენციალის ასეთივე დაცემა ხდება ACB გამტარში.

თუ ADB გამტარზე ავიღებთ რომელიმე D წერტილს V_0 პოტენციალით, მაშინ ACB გამტარზე ყოველთვის მოიძებნება ისეთი C წერტილი, რომლის პოტენციალი იქნება V_0.

თუ შევაერთებთ C და D წერტილებს გამტარით, მაშინ CD-ში დენი არ იქნება და მგრძნობიარე გალვანომეტრის (g) ისარი არ გადიხრება.

აღვნიშნოთ:

AC გამტარის წინაღობა R_1-ით
CB „ R_2-ით
AD R_3-ით
და DB „ „ R_4-ით

დენის ძალა AC უბანზე . . i_1
„ CB აგრეთვე იქნება i_1
„ AD „ . . . i_2
„ „ DB „ აგრეთვე იქნება i_2

კირჰგოფის მეორე წესის თანახმად; $ACDA$ კონტურში:

$$i\ R_1 - i_2 R_3 = 0$$

აქედან

$$i_1 R_1 = i_2 R_3 \qquad (1)$$

$CBDC$ კონტურში:

$$i_1 R_2 - i_2 R_4 = 0$$

აქედან

$$i_1 R_2 = i_2 R_4 \qquad (2)$$

(1) ტოლობას მე-(2)-ზე თუ გავყოფთ მივიღებთ:

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_3}{R_4} \qquad (3)$$

ე. ი. თუ C წერტილი ისეა შერჩეული, რომ CD გამტარში დენი არ არის, მაშინ R_1, R_2, R_3 და R_4 წინაღობანი (3) პროპორციას შეადგენენ.

თუ ამ ოთხი სიდიდედან სამი ცნობილია, მაშინ შეგვიძლია გავიგოთ მეოთხეც.

ამისათვის იქცევიან ასე:

AD გამტარის მაგივრად ათავსებენ X წინაღობის გამტარს (ნახ. 39), ხოლო DB გამტარის მაგივრად წინასწარ ცნობილ წინაღობას.

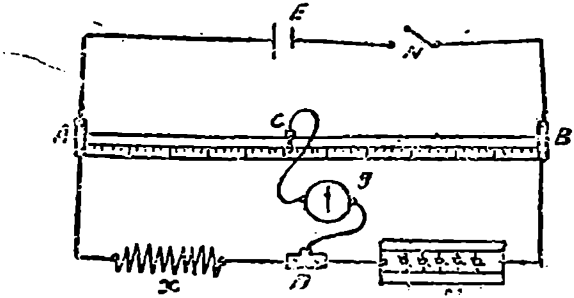
AC და CB გამტარებად აღებულია 100 სმ სიგრძის წვრილი მავთული.

II. ელწრედის სქემა და ცდის მსვლელობა. შევადგინოთ წრედი: E ელემენტი (ნახ. 39) შეერთებულია K გასაღების საშუალებით A და B წერტილებთან. A და B-ს შორის გაჭიმულია 1 მ სიგრძის წვრილი გამტარი.

AB-ს პარალელურად ერთმანეთთან მიმდევრობით ჩართულია X წინაღობის გამტარი და წინაღობათა წყობილი M.

C და D წერტილები შეერთებულია გალვანომეტრის (g) საშუალებით.

(M) წყობილის საშუალებით რაიმე წინაღობა R ჩავრთოთ და ვამოძრაოთ C მცოცი კონტაქტი მანამდე, სანამ გალვანომეტრის ისარი არ დადგება 0-ზე.



ნახ. 39.

ამ შემთხვევაში C და D წერტილებს ექნება ერთნაირი პოტენციალი და ამიტომ შეგვიძლია დავწეროთ პროპორცია:

$$\frac{X}{R}=\frac{R_1}{R_2} \qquad (4)$$

სადაც R_1 არის AC-ს წინაღობა, R_2 კი—CB წინაღობა.

რადგანაც წინაღობა სიგრძის პროპორციულია, ამიტომ შეგვიძლია დავწეროთ:

$$\frac{X_1}{R}=\frac{l_x}{100-l_x},$$

სადაც l_x არის AC გამტარის სიგრძე, $(100-l_x)$-კი CB გამტარისა.

თუ წინა ფორმულაში (4) წინაღობათა შეფარდებას გამტარების სიგრძეების შეფარდებით შევცვლით, მივიღებთ:

$$\frac{x}{R}=\frac{l_x}{100-l_x} \qquad (5)$$

ამგვარად, X-ის გამოსაანგარიშებლად:

1) წინაღობათა წყობილის (M) საშუალებით უნდა ჩავრთოთ რაიმე R წინაღობა.

2) ვამოძრაოთ C მცოცი კონტაქტი მანამდე, სანამ გალვანომეტრის ისარი არ დადგება 0-ზე.

3) ავითვალოთ მანძილი $l_x = AC$-ს და მიღებული სიდიდეები ჩავსვათ მე-(5) ფორმულაში.

4) ცდას განვიმეორებთ 5-ჯერ და გამოვიყვანთ x-ის საშუალო მნიშვნელობას.

5) თითოეული ცდის დროს უნდა ჩავრთოთ სხვადასხვა წინაღობა (R).

6) უნდა გამოვითვალოთ აბსოლუტური და ფარდობითი ცთომილებანი.

დაკვირვებათა ცხრილი

რიგის №	R	l_x	$100-l_x$		Δx
1					
2					
3					
4					
5					

$x =$

ფარდობითი ცთომილება $\varepsilon_x =$

ამოცანა № 23

წინაღობის ტემპერატურული კოეფიციენტის განსაზღვრა პირველი გვარის გამტარებისათვის

საჭირო ხელსაწყოები: 1) საცდელი გამტარის (R_t)—ხვეულა, რომელიც ჩაშვებულია ზეთიან ჭურჭელში; 2) ელემენტი—E; 3) წინაღობათა წყობილი (M); 4) გალვანომეტრი—(g).

თეორიული საფუძვლები: ცნობილია, რომ ტემპერატურის შეცვლით იცვლება გამტარის წინაღობა.

t^0-დე გამთბარი სხეულის წინაღობა გამოიანგარიშება ფორმულით:

$$R_t = R_0 (1 + \alpha t) \qquad (1)$$

სადაც, R_0 მოცემული გამტარის წინაღობაა 0 გრადუსზე;

R_t არის t^0-დე გამთბარი გამტარის წინაღობა;

t გრადუსი, რომლითაც შეიცვლა გამტარის ტემპერატურა; α გამტარის წინაღობის ტემპერატურული კოეფიციენტია.

წინაღობის ტემპერატურული კოეფიციენტი (α) ის რიცხვია, რომელიც გვიჩვენებს, თუ რა ნაწილით შეიცვალა გამტარის წინაღობა, როცა მისი ტემპერატურა გადიდდა 1°-ით.

(1) ფორმულა გამოგვადგება მაშინ, როცა ვიცით, ან საშუალება გვაქვს გავიგოთ R_0, ე. ი. წინაღობა 0°-ის დროს.

თუ კი R_0 არ ვიცით და მის მაგივრად შეგვიძლია გავიგოთ წინაღობა მოცემული ტემპერატურის დროს, ე. ი. t_1°-ის დროს, მაშინ პირველი ფორმულა იცვლება.

მართლაც:

$$\left.\begin{aligned} R_t &= R_0(1+\alpha t) \\ R_{t1} &= R_0(1+\alpha t_1) \end{aligned}\right\}$$ გავყოთ პირველი ტოლობა მეორეზე და მივიღებთ:

$$\frac{R_t}{R_{t1}} = \frac{1+\alpha t}{1+\alpha t_1};$$

$$R_t + R_t\alpha t_1 = R_{t_1} + R_{t_1}\alpha t!$$
$$\alpha(R_t t_1 - R_{t1}t) = R_{t1} - R_t;$$

$$\alpha = \frac{R_{t1} - R_t}{R_t \cdot t_1 - R_{t_1} t}.$$

t შევცვალოთ t_2-თი და მივიღებთ საბოლოო ფორმულას:

$$\alpha = \frac{R_{t_2} - R_{t1}}{R_{t1} \cdot t_2 - R_{t1} \cdot t_1} \qquad (2)$$

როგორც ამ ფორმულიდან ჩანს, α გამოსაანგარიშებლად უნდა გავიგოთ: 1) t_1 ტემპერატურის დროს მოცემული გამტარის წინაღობა (R_{t1}); 2) იმავე გამტარის წინაღობა—(R_{t_2}) სხვა t°_2—ტემპერატურის დროს და მიღებული შედეგები ჩავსვათ მე-(2) ფორმულაში.

ელწრედის სქემა და ცდის მსვლელობა: (ნახ. 40). E ელემენტიდან დენი მიდის A წერტილში, სადაც იგი განშტოვდება ორად: ერთი შტო იქნება ADB მიმართულებით, ხოლო მეორე შედგენილია ასე: A წერტილიდან დენი მიდის წინაღობათა წყობილში (M), შემდეგ C წერტილში, C-დან საცდელ გამტარში (R_t) და ბოლოს B წერტილიდან K გასაღებში.

C წერტილიდან გამოყვანილია შტო, რომელიც გაივლის (g) გალვანომეტრში და შემდეგ უერთდება მცოცავ კონტაქტს (D).

ცდა ჩაატარეთ ასე: 1) წინაღობათა წყობილების (M) საშუალებით ჩართეთ რაიმე წინაღობა R_M, გაზომეთ ტემპერატურა (t_1) ზეთში ჩაშვებული გამტარისა და ამოძრავეთ მცოცი კონტაქტი (D) მანამდე, სანამ გალვანომეტრის ისარმა არ გიჩვენოთ ნული.

2) გაზომეთ მანძილები: $AD = l_M$ და $DB = l_R$, მაშინ $t_1°$-დე გამთბარ გამტარის წინაღობას გაიგებთ პროპორციიდან:

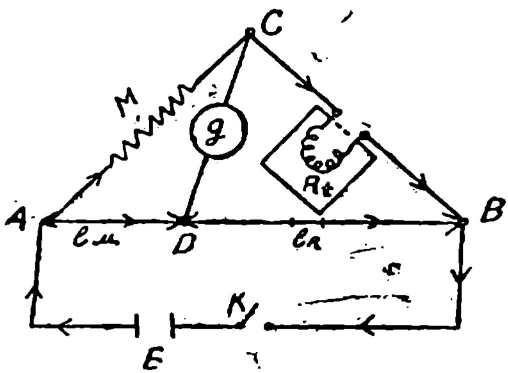
$$\frac{R_{t_1}}{R_M} = \frac{l_R}{l_M};$$

საიდანაც

$$R_{t_1} = \frac{R_M \cdot l_R}{l_M}.$$

R_{t_1} მიღებული მნიშვნელობა შეიტანეთ დაკვირვებათა ცხრილში.

3) გაათბობთ ზეთს და, მაშასადამე, მასში მოთავსებულ საცდელ გამტარსაც t_2 გრადუსამდე და როგორც წინა შემთხვევაში გამოთვლით წინაღობას t_2-ის დროს, ე. ი. R_{t_2}.



ნახ. 40.

4) t_1, R_{t_1}, t_2 და R_2 სიდიდეების მნიშვნელობათა მიხედვით გამოიანგარიშებთ α-ს მე-(2) ფორმულიდან.

5) ცდას განიმეორებთ ამგვარად 4-ჯერ და გაიგებთ α-ს საშუალო მნიშვნელობას.

საჭიროა აბსოლუტური და ფარდობითი ცთომილებათა გამოთვლაც.

დაკვირვებათა ცხრილი

ცდის №	R_{t_1}-ის გამოანგარიშება				R_{t_2}-ის გამოანგარიშება				α	$\Delta\alpha$
	t_1	l_M	l_R	R_{t_1}	t_2	l_M	l_R	R_{t_2}		
1										
2										
3										
4										

ამოცანა № 24

მუშაობის თერმიული ეკვივალენტის განსაზღვრა ჯოულ-ლენცის კანონით

საჭირო ხელსაწყოები და მასალა (ნახ. 41): 1) კალორიმეტრი (C), 2) სპირალური ხვეულა (B), 3) ვოლტმეტრი (V), 4) ამპერმეტრი (A) და 5) საათი.

დენის სითბური ქმედების შესახებ ჯოულმა და ლენცმა შემდეგი კანონი დაამყარეს:

დენის მიერ გამტარში გამოყოფილი სითბოს რაოდენობა პირდაპირ პროპორციულია დენის ძალის კვადრატის, წინაღობის და დენის მოქმედების ხანგრძლივობის (დროის) ნამრავლისა, ე. ი.

$$Q=KJ^2 Rt \qquad (1)$$

მაგრამ, ომის კანონიდან $R=\frac{V}{J}$; თუ ჩავსვამთ R-ის მნიშვნელობას წინა (1) ფორმულაში მივიღებთ:

$$Q=KJVt \qquad (2)$$

სადაც, Q გამოყოფილი სითბოს რაოდენობაა,

J—დენის ძალა (ამპერებში),

V—ძაბვა (ვოლტებში), და t დენის მოქმედების ხანგრძლივობა (წამებში). ნამრავლი JVt დენის მიერ შესრულებული მუშაობაა ჯოულებში.

K კოეფიციენტი დენის მუშაობის თერმიული ეკვივალენტია, რომელიც რიცხობრივად მცირე კალორიების იმ რაოდენობას უდრის,

რომელიც გამოიყოფა დენის მიერ 1 ჯოული მუშაობის შესრულებისას, ანუ K იზომება სითბოს იმ რაოდენობით, რომელსაც გამოჰყოფს გამტარში დენი, თუ $J=1$ ამპერს, $V=1$ ვოლტს და $t=1$ წამს. მე-(2) ფორმულიდან მივიღებთ:-

$$K=\frac{Q}{JVt}; \qquad (3)$$

Q-ს გამოსაანგარიშებლად ასე მოვიქცეთ: კალორიმეტრში ჩავასხათ და შიგ მოთავსებულ ხვეულაში გავატაროთ დენი t წამის განმავლობაში. დენის მიერ გამოყოფილი სითბო გაათბობს კალორიმეტრს, თერმომეტრს და წყალს და, ამიტომ მათი ტემპერატურა იმატებს.

შემოვიღოთ აღნიშვნები:

კალორიმეტრის და სარევის მასა . . . m გრამი,

" კუთრი სითბოტევადობა . . $C=0,094$,

კალორიმეტრში ჩასხმული წყლის მასა . . m_1,

თერმომეტრის წყლის ექვივალენტი . . . . . N,

კალორიმეტრის და წყლის საწყისი ტემპერატურა . . T_1,

ცდის ბოლოს დამყარებული ტემპერატურა . . . T_2

კალორიმეტრის და სარევის გათბობაზე დახარჯული სითბო

$$q_1=mc\,(T_2-T_1).$$

თერმომეტრის გათბობაზე დახარჯული სითბო

$$q_2=N(T_2-T_1)$$

წყლის გათბობაზე დახარჯული სითბო

$$q_3=m_1\,(T_2-T_1)$$

მთლიანად დენის მიერ გამოყოფილი სითბო:

$$Q=q_1+q_2+q_3$$

ანუ

$$Q=(mc+N+m_1)\,(T_2-T_1).$$

Q-ს მიღებულ მნიშვნელობას მე-(3) ფორმულაში თუ ჩავსვამთ K-ს გამოსაანგარიშებელ საბოლოო ფორმულას მივიღებთ:

$$K=\frac{(mc+N+m_1)(T_2-T_1)}{JVt} \qquad (4)$$

ელწრედის სქემა და ცდის მსვლელობა: 1) შეადგინეთ ელწრედი მოცემული სქემის მიხედვით.

2) ასწონეთ კალორიმეტრის შიდა ცარიელი ჭურჭელი სარევით და მისი მასა შეიტანეთ ცხრილში:

3) ჩაასხით კალორიმეტრში იმდენი წყალი, რომ დაფაროს B სპირალი.

4) აწონეთ კალორიმეტრის შიდა ჭურჭელი წყლით, გამოაკელით ცარიელი ჭურჭლის წონა და გაიგებთ წყლის მასას—m_1.

5) გაზომეთ კალორიმეტრში არსებული საწყისი ტემპერატურა—T_1.

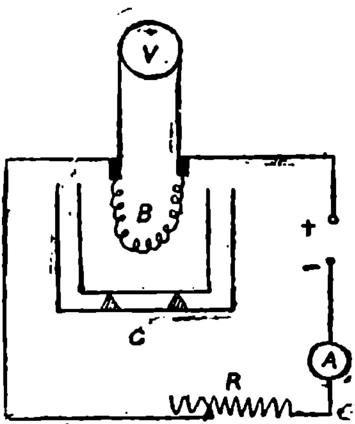
6) თერმომეტრის წყალში ჩაძირვის შესაბამისად გაიგეთ თერმომეტრის წყლის ექვივალენტი—N (ჰკითხეთ ხელმძღვანელს).

7) შეამოწმებინეთ წრედი ხელმძღვანელს და გაუშვით დენი.

8) ყოველ 3 წუთში გაზომეთ დენის J ძალა და V ძაბვა.

9) როცა კალორიმეტრში ტემპერატურა გადიდდება 20—30 გრადუსით, ამორთეთ დენი და ჩაიწერეთ საბოლოო ტემპერატურა (T_2).

10) შეაჯამეთ დენის მოქმედების საერთო ხანგრძლივობა; ეს იქნება t წამი, რომელსაც შეიტანთ მე-(4) ფორმულაში.



ნახ. 41.

11) გამოთვალეთ J და V-ს საშუალო მნიშვნელობანი და შემდეგ შეიტანეთ მე-(4) ფორმულაში.

ცდა განიმეორეთ 3-ჯერ. გამოთვალეთ, როგორც აბსოლუტური, ისე ფარდობითი ცთომილებანი.

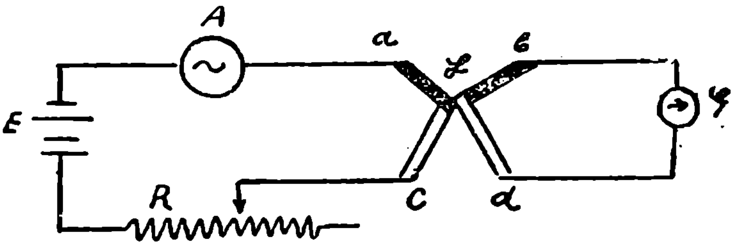
დაკვირვებათა ცხრილი

რიგის №	m	m_1	C	N	T_1	T_2	J	V	t	K	ΔK

ამოცანა № 25

თერმოელემენტის დაგრადუირება

საჭირო იარაღები: (ნახ. 42) გალვანომეტრი (φ), რომლითაც ვზომავთ თერმოდენს; ამპერმეტრი (A), რომლითაც ვზომავთ იმ დენის ძალას (J), რომელსაც ვიყენებთ დასაგრადუირებლათ; ab და cd სხვადასხვა ლითონებად ერთმანეთთან დაკავშირებული გამტარები (თერმოწყვილი); რეოსტატი სრიალა კონტაქტით (R), რომლითაც გარკვეულ ზღვრებში ვცვლით დენის ძალას (J-ს). თერმოწყვილის შეკავშირების L წერტილი.



ნახ. 42.

თეორია: თუ ორი სხვადასხვა ლითონიდან აღებული ab და cd მავთულები შევაკავშირეთ და გავათბეთ, მაშინ ამ ორ ერთად შეკავშირებულ ლითონში წარმოიქმნება ელდენი, რომელსაც თერმოდენი ეწოდება. ამ თერმოდენის ელექტრომამოძრავებელი ძალა ტემპერატურის განსაზღვრულ შუალედში პროპორციულია ტემპერატურათა სხვაობისა, რომელიც არსებობს დაკავშირების L წერტილსა და ლითონების ბოლოებს შორის[1]. ამიტომ თერმოელემენტების

[1]) იგულისხმება, რომ ტემპერატურათა სხვაობა იცვლება განსაზღვრულ ფარგლებში თითოეული თერმოწყვილისთვის, რასაც აკმაყოფილებს ბეკერელის განტოლება: $E=a(t-t_0)$, სადაც $(t-t_0)$ ტემპერატურათა სხვაობაა, a—პროპორციულობის კოეფიციენტი, რომელიც გვიჩვენებს თერმოწყვილის გვარობას.

გამოყენება შესაძლებელია თერმომეტრების ნაცვლად. ტემპერატურის გაზომვის გარდა თერმოელემენტებს სხვა გამოყენებაც აქვს. მაგალითად, თერმოელემენტებით ზომავენ სუსტ ცვლად დენს (1 *mA*-მდე). ასეთ შემთხვევებში თერმოელემენტებს ხშირად აძლევენ ჯვრის ფორმას. *aLc* გამტარში გამავალი ცვლადი დენი *L* წერტილის გათბობის გამო თერმოდენის ელექტრომამოძრავებელ ძალას წარმოქმნის, რომლის სიდიდეც დამოკიდებულია *L* წერტილის ტემპერატურაზე. თუ თერმოელემენტის *b* და *d* ბოლოებს შევაერთებთ მგრძნობიარე გალვანომეტრით, მაშინ ამ გალვანომეტრის ჩვენება მოგვცემს თერმოდენის (i) ძალას; თერმოდენის i ძალა მით მეტი იქნება, რაც მეტია *L* წერტილში გამავალი ცვლადი დენის (J) ძალა.

თერმოელემენტის დაგრადუირება იმას ნიშნავს, რომ უნდა ვიპოვნოთ დამოკიდებულება თერმოდენის (i) ძალას და ცვლადი დენის (J) ძალას შორის.

ცდა შემდეგი მიმდევრობით შევასრულოთ:

1. შეადგინეთ ნახაზზე აღნიშნული სქემის მიხედვით წრედი და შეამოწმებინეთ მისი სისწორე ხელმძღვანელს (უხელმძღვანელოდ ჩართვა არ შეიძლება).

2. შეადგინეთ დაკვირვებათა ცხრილი.

3. რეოსტატის (R) წინაღობის შემცირებით (სრიალას გადანაცვლებით) შეარჩიეთ დენის ისეთი ძალა (J), რომ მან გამოიწვიოს გალვანომეტრის (G) ისრის გადახრა ერთ დანაყოფზე.

4. შემდეგ, რეოსტატზე სრიალა კონტაქტის გადანაცვლებით, თანდათანობით ზარდეთ ცვლადი დენის ძალა (J) წრედში. აღნიშნული ზრდა აწარმოეთ იმ ზღვრამდე, რომელსაც იძლევა რეოსტატი და რომელიც დასაშვებია მოცემულ თერმოელემენტისათვის.

5. შეადგინეთ გრაფიკი. აბსცისთა ღერძზე გადაზომეთ თერმოდენის ძალის პროპორციული მონაკვეთები (გალვანომეტრის ჩვენებანი), ორდინატთა ღერძზე კი—ცვლადი დენის ძალის პროპორციული მონაკვეთები (ამპერმეტრის ჩვენებანი).

დაკვირვებათა ცხრილი

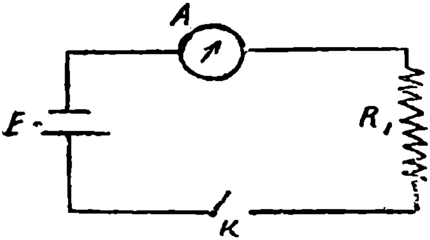
რიგის №	გალვანომეტრის ჩვენება i	ამპერმეტრის ჩვენება J

ამოცანა № 26

დენის წყაროს ელექტრომამოძრავებელი ძალის განსაზღვრა ცნობილი წინაღობით

საჭირო ხელსაწყოები (ნახ. 43): ელემენტი (E); მილიამპერმეტრი (A); შტეფსელიანი რეოსტატი (R_1); ჩამრთველ-ამომრთველი (K); სადენები.

თეორია. ამ ამოცანის გადაწყვეტა დაიყვანება საცდელი წყაროს წრედში დენის ძალის ორჯერ გაზომვაზე. დავუშვათ, რომ მოცემულია: დენის წყარო (E), რომლის შინაგანი წინაღობაა r ომი; მილიამპერმეტრი, რომლის შინაგანი წინაღობაც—R_0-ია, და ამას გარდა კიდევ მოცემულია შტეფსელიანი რეოსტატის სახით გარეშე წინა-



ნახ. 43.

ლობა (R_1), რომლის სიდიდეც ცნობილია. თუ წრედის ჩართვის შემდეგ წრედში გაივლის J_1 დენის ძალა (ავითვლით A ამპერმეტრით), მაშინ ომის კანონის თანახმად

$$J_1=\frac{E}{R_1+R_0+r}$$

ანუ

$$E=J_1(R_1+R_0+r) \qquad (1)$$

თუ შემდეგ შტეფსელიანი რეოსტატის საშუალებით, სათანადო შტეფსელის ამოღებით რეოსტატიდან, R_1 წინაღობას შევცვლით R_2-ით, მაშინ წრედში გამავალი დენის ძალა შეიცვლება J_2-თი, ამიტომ, (1) განტოლების მსგავსად, მივიღებთ:

$$E=J_2(R_2+R_0+r)$$

(1) განტოლება გარდავქმნათ ასე:

$$E=J_1(r+R_0)+J_1R_1,$$

საიდანაც

$$r+R_0=\frac{E-J_1R_1}{J_1} \qquad (3)$$

(1)-ის მსგავსად გარდავქმნათ მე-(2) განტოლებაც

$$E=J_2(r+R_0)+J_2R_2 \qquad (4)$$

მე-(3) განტოლებიდან $(r+R_0)$-ის მნიშვნელობა ჩავსვათ მე-(4) განტოლებაში, მივიღებთ:

$$E=\frac{J_2(E-J_1R_1)}{J_1}+J_2R_2 \qquad (5)$$

მიღებული განტოლება ამოვხსნათ E-ს მიმართ, მივიღებთ

$$EJ_1=J_2E-J_1J_2R_1+J_1J_2R_2,$$

$$EJ_1-EJ_2=J_1J_2R_2-J_1J_2R_1,$$

$$E(J_1-J_2)=J_1J_2(R_2-R_1),$$

აქედან

$$E=\frac{J_1J_2(R_2-R_1)}{J_1-J_2}.$$

როგორც ვხედავთ დენის წყაროს ელექტრომამოძრავებელი ძალის გაზომვა დაიყვანება: J_1 დენის ძალის გაზომვაზე, რომელიც ესაბამება R_1 წინაღობას და J_2-ის გაზომვაზე, რომელიც ესაბამება R_2-ს.

ამოცანას შემდეგი თანმიმდევრობით ვასრულებთ:

1. შეადგინეთ წრედი თანახმად აღნიშნული სქემისა. ჩართვა წრედში ხელმძღვანელის ნებართვით უნდა მოხდეს.

2. შეადგინეთ დაკვირვებათა ცხრილი, რომელშიაც შეიტანეთ დაკვირვებათა შედეგად მიღებული მნიშვნელობანი.

3. ჩართეთ წრედში R_1 წინაღობა და აითვალეთ მისი შესაფერი დენის ძალა—J_1; მსგავსად ამისა შემდეგ ჩართეთ R_2 ($R_2 < R_1$-ზე) და აითვალეთ მისი შესაფერი დენის ძალა—J_2.

4. ჩასვით მიღებული მნიშვნელობანი ფორმულაში და გამოთვალეთ E.

5. ცდა გაიმეორეთ რამდენიმეჯერ და გამოთვალეთ ცთომილებანი.

დაკვირვებათა ცხრილი

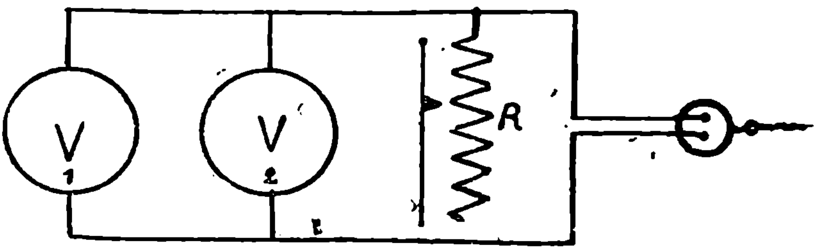
რიგის №	წინაღობა $R_1\ \Omega$	დენის ძალა $J_1 A$	წინაღობა $R_2\ \Omega$	დენის ძალა $J_2 A$	ელექტრომამოძრავებელი ძალა $E=\frac{J_1 J_2 (R_2-R_1)}{J_1-J_2}$

ამოცანა № 27

ვოლტმეტრის შემოწმება

საჭირო ხელსაწყოები: 1) ზუსტი ვოლტმეტრი (V_1), 2) შესამოწმებელი ვოლტმეტრი (V_2) და R რეოსტატი.

ვთქვათ გვაქვს ვოლტმეტრი, რომელიც სწორად არ გვიჩვენებს. ასეთი ვოლტმეტრით შეიძლება მუშაობა, თუ მის ჩვენებებს შევადარებთ მეორე ზუსტად მომუშავე ვოლტმეტრის ჩვენებებს და ავაგებთ მრუდს.



ნახ. 44.

ელწრედის სქემა. შეადგინეთ წრედი გასაღებისა და R რეოსტატისაგან. R რეოსტატის პარალელურად ჩავრთოთ ორთავე ვოლტმეტრი: ზუსტი V_1 და შესამოწმებელი—V_2.

ცდის მსვლელობა: 1) გასაღებით ჩართეთ დენი და აითვალეთ ორთავე ვოლტმეტრის ჩვენებანი; შედეგები შეიტანეთ ცხრილში.

2) R რეოსტატის საშუალებით მოუმატეთ წინაღობა და ისევ ათვალეთ ორთავე ვოლტმეტრის ჩვენებანი.

3) კიდევ გაადიდეთ წინაღობა და აიღეთ ახალი ანათვლებიც ასე მოიქცევით მანამდე, სანამ არ ჩართავთ R რეოსტატის მთელ წინაღობას.

4) მიიღებთ რამდენიმე ანათვალს, როგორც ზუსტი, ისე შესამოწმებელ ვოლტმეტრისათვის.

5) ააგეთ გრაფიკი: აბსცისთა ღერძზე გადაზომეთ ზუსტ ვოლტმეტრზე აღებული ანათვლების პროპორციული სიდიდეები, ხოლო ორდინატთა ღერძზე გადაზომეთ შესამოწმებელი ვოლტმეტრის ჩვენებათა პროპორციული სიდიდეები.

დაკვირვებათა შედეგები შეიტანეთ ცხრილში:

რიგის №	V_1	V_2
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		

ამოცანა № 28

ელექტროღუმელის-მარგი ქმედების კოეფიციენტის გამოანგარიშება

საჭირო ხელსაწყოები და მასალა (ნახ. 45): 1) ელექტროღუმელი (B), 2) ქურჭელი წყლით, 3) ამპერმეტრი (A); 4) ვოლტმეტრი (V) და 5) საათი.

ფორმულის გამოყვანა: ელექტროღუმელის მ. ქ. კ. ეწოდება ღუმელიდან დანიშნულებისამებრ მიღებული სითბური ენერგიის შეფარდებას იმ ენერგიასთან, რომელსაც დენი ღუმელში გამოჰყოფს. ეს შეფარდება უნდა გამოიხატოს პროცენტებში. თუ ავღიშნავთ ღუმელიდან დანიშნულებისამებრ გამოყოფილ სითბური ენერგიის რაოდენობას Q_1 ასოთი, ხოლო დენის მიერ ღუმელში გამოყოფილ სითბური ენერგიის რაოდენობას Q ასოთი, მაშინ მ. ქ. კ. გამოიანგარიშება ფორმულით:

$$K=\frac{Q_1}{Q}\cdot 100\% \qquad (ა)$$

როგორც ამ ფორმულიდან ჩანს, მ. ქ. კ.-ის გამოსაანგარიშებლად უნდა გავიგოთ:

1) რამდენი სითბო Q გამოჰყო დენმა ღუმელში და 2) რამდენი სითბო (Q_1) დაიხარჯა აქედან დანიშნულებისამებრ.

ა) Q-ს **გამოანგარიშება:** თუ გამხურებელს კვებავს დენი, რომლის ძალა არის J ამპერი და ძაბვა—V ვოლტი, მაშინ t წამის განმავლობაში გამოყოფილი სითბოს რაოდენობა გამოიანგარიშება ჯოულ-ლენცის ფორმულით:

$$Q=0{,}24\ JVt \text{ მც. კალ.)} \qquad (\text{ა})$$

ბ) Q_1-ის **გამოანგარიშება:** ელექტროღუმელზე დავდგათ ჰურჰელი წყლით, გავუშვათ დენი t წამის განმავლობაში და გავიგოთ ჰურჰლისა და წყლის მიერ შეძენილი სითბოს რაოდენობა.

შემოვიღოთ აღნიშვნები:

ჰურჰლის მასა . . . m გრამი

" კუთრი სითბოტევადობა . C;

ჰურჰელში ჩასხმული წყლის მასა . . M;

ჰურჰლისა და წყლის საწყისი ტემპერატურა . . T_0;

საბოლოო ტემპერატურა . T_n;

ჰურჰლის გათბობაზე დახარჯული სითბო:

$$q_1=Cm\,(T_n-T_0);$$

წყლის გათბობაზე დახარჯული სითბო:

$$q_2=M\,(T_n-T_0);$$

სულ დანიშნულებისამებრ დახარჯული სითბო:

$$Q_1=q_1+q_2.$$

$$Q_1=Cm\,(T_n-T_0)+M\,(T_n-T_0);$$

$$Q_1=(Cm+M)\,(T_n-T_0) \qquad (\text{ბ})$$

თუ (1) ფორმულაში ჩავსვამთ Q_1 და Q მნიშვნელობებს (ა) და (ბ) ფორმულებიდან, მივიღებთ მ. ქ. კ.-ის გამოსაანგარიშებელ საბოლოო ფორმულას:

$$K=\frac{(cm+M)\,(T_n-T_0)}{0{,}24\,JVt}\cdot 100\% \qquad (\text{დ})$$

ელწრედის სქემა და ცდის მსვლელობა: 1) შეადგინეთ ელწრედი მოცემული სქემის მიხედვით (დენს ნუ ჩართავთ, სანამ არ შეამოწმოს ხელმძღვანელმა).

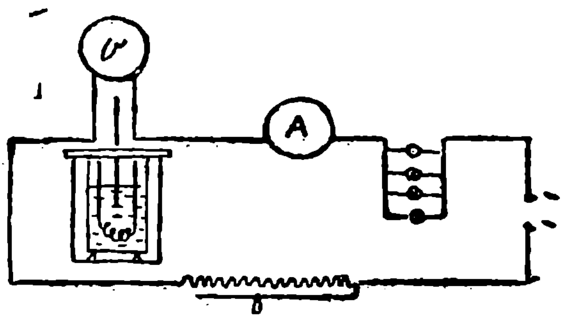
2) გაიგეთ ცარიელი ჭურჭლის m წონა;

3) ჩაასხით ჭურჭელში წყალი, აწონეთ წყლიანი ჭურჭელი, გამოაკლეთ ცარიელი ჭურჭლის წონა და გაიგებთ წყლის M წონას.

4) გაზომეთ წყლის საწყისი T_0 ტემპერატურა და ჩართეთ დენი.

5) ამპერმეტრით გაზომეთ დენის J—ძალა, ხოლო ვოლტმეტრით V ძაბვა.

6) ყოველი 5 წუთის შემდეგ გაზომეთ დენის J ძალა, V ძაბვა და T ტემპერატურა მანამდე, სანამ წყლის ტემპერატურა არ მიაღწევს 80—90 გრადუსს.



ნახ. 45.

6) ყველა ანათვლებიდან გამოთვალეთ საშუალო დენის J ძალა, საშუალო V ძაბვა და დენის ჩართვის მომენტიდან ამორთვამდე მთელი დრო (t—წამი).

მიღებული შედეგები შეიტანეთ (დ) ფორმულაში და გამოითვალეთ მარგი ქმედების K კოეფიციენტი.

დაკვირვებათა ცხრილი

რიგის №	m	C	M	T_0	T_n	J	$J_{საშ.}$	V	$V_{საშ.}$	K
1										
2										
3										
4										
5										
6										
7										
8										

ამოცანა № 29

დენის წყაროს (ელემენტის ან ბატარეის) სიმძლავრის გამოთვლა

საჭირო ხელსაწყოები (ნახ. 46): დენის წყარო (E); ამპერმეტრი (A); ვოლტმეტრი (V); რეოსტატი სრიალა კონტაქტით (R); ჩამრთველ-ამომრთველი (K).

თეორია. დავუშვათ, რომ დენის წყაროს მომჭერებზე ძაბვა V ვოლტის ტოლია. რადგან (e) მუხტის გადანაცვლების დროს შესრულებული მუშაობაა

$$W=eV \text{ ჯოული.} \qquad (1)$$

ამიტომ ერთი კულონის გადანაცვლების დროს შესრულდება მუშაობა:

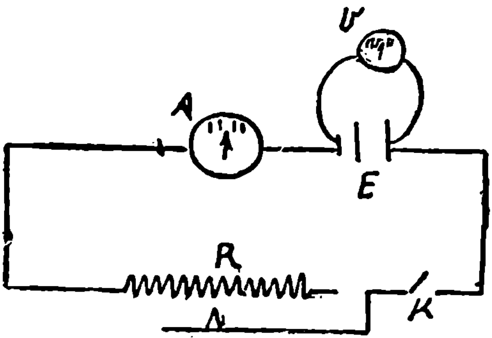
$$W=V \text{ ჯოული} \qquad (2)$$

ცნობილია, რომ დენის ძალა იზომება გამტარის განივკვეთში დროის ერთეულში გამავალი ელექტრობის რაოდენობით, ე. ი.

$$1 \text{ ამპერი} = \frac{\text{კულონი}}{\text{წამში}},$$

ამიტომ თუ წრედში გამავალი დენის ძალა J ამპერია, ეს იმის მაჩვენებელია, რომ ყოველ წამში მავთულის განივკვეთში გადის J კულონი ელექტრობა. თუ ერთი კულონის ელექტრობის გადანაცვლების დროს სრულდება

$$W=V \text{ ჯოული მუშაობა,}$$



ნახ. 46.

აშკარაა, რომ J კულონის გადანაცვლებით ყოველ წამში შესრულდება მუშაობა:

$$W=JV \text{ ჯოული.}$$

ვიცით, რომ წამში შესრულებული მუშაობა რიცხობრივ ტოლია სიმძლავრისა (N), ე. ი. ამ შემთხვევაში W და N რიცხობრივ ტოლნი არიან. ამიტომ

$$N = IV \quad \text{ვატს.}$$

აქედან ჩანს, რომ დენის ძალისა (I) და ძაბვის (V) საშუალებით შეიძლება გამოვითვალოთ სიმძლავრე (N).

ცდა შევასრულოთ შემდეგი მიმდევრობით: 1. შევადგინოთ 1) წრედი, თანახმად აღნიშნული სქემისა და 2) დაკვირვებათა ცხრილი.

2. დავაყენოთ რეოსტატის სრიალა კონტაქტი მაქსიმალურ წინაღობაზე და ავითვალოთ დენის ძალა (I) და ძაბვა (V).

3. სრიალა კონტაქტის საშუალებით ვცვალოთ წინაღობა და ყოველ შემთხვევისათვის ცალკე ავითვალოთ I და V.

მიღებული სიდიდეები შევიტანოთ დაკვირვებათა ცხრილში და თითოეულ შემთხვევისთვის გამოვთვალოთ სიმძლავრე (N).

5. ავაგოთ გრაფიკი, რომელიც გამოხატავს დამოკიდებულებას სიმძლავრესა და დენის ძალას შორის; ამისთვის აბსცისათა ღერძზე გადავზომოთ დენის ძალის პროპორციული მონაკვეთები და ორდინატთა ღერძზე კი—სიმძლავრის პროპორციული მონაკვეთები.

დაკვირვებათა ცხრილი

რიგის №	დენის ძალა (I) ამპერი	ძაბვა V ვოლტი	სიმძლავრე N ვატი	შენიშვნა

ამოცანა № 30

დენის წყაროს (ელემენტის ან ბატარიის) მარგი ქმედების კოეფიციენტის გამოთვლა

საჭირო ხელსაწყოები (ნახ. 47): დენის წყარო (E); ამპერმეტრი (A); ვოლტმეტრი (V); რეოსტატი სრიალა კონტაქტით (R); ჩამრთველ-ამომრთველი (K).

თეორია. გვაქვს დენის წყარო, რომლის ელექტრომამოძრავებელი ძალა E ვოლტია და მის მომჭერებზე ძაბვა კი V ვოლტს უდრის.

რადგან ელექტრობის (e) გადატანაზე დახარჯული მუშაობა (W) იზომება

$$W = eV \quad \text{ჯოულით,}$$

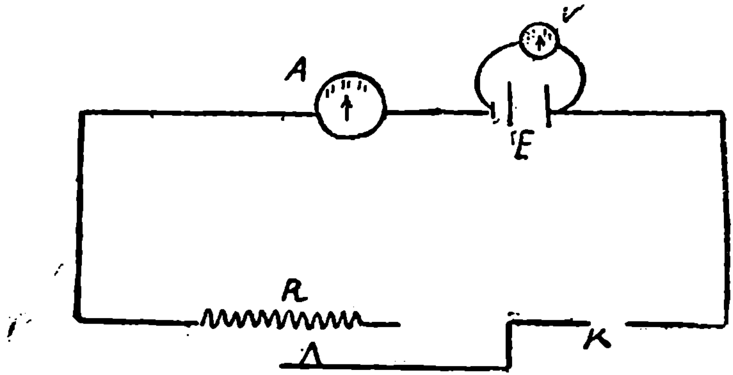
ამიტომ ყოველი კულონი ელექტრობის გადანაცვლებაზე დაიხარჯება

$$W_1 = V \quad \text{ჯოული} \qquad (1)$$

ასე გამოითვლება დენის წყაროს გარეგან წრედში ყოველი ერთი კულონი ელექტრობის გადაადგილების დროს შესრულებული მუშაობა.

რადგან ელმამოძრავებელი ძალა E ვოლტია, ამიტომ მთელ წრედში ყოველი კულონის გადაადგილებაზე დენი შეასრულებს მუშაობას

$$W_2 = E \quad \text{ჯოული} \qquad (2)$$



ნახ. 47.

აქედან ცხადია, რომ თითოეული კულონის გადაადგილებაზე შიდა წრედში (ელემენტის შიგნით) დაიხარჯება.

$$W_2 - W_1 = (E - V) \quad \text{ჯოული} \qquad (3)$$

თუ წრედში გამავალი დენის ძალა J ამპერია, ეს იმის მაჩვენებელია, რომ გამტარის განივკვეთში ყოველ წამში გადის J კულონი ელექტრობა. რადგან დენის ძალა იზომება გამტარის განივკვეთში დროის ერთეულში გამავალი ელექტრობის რაოდენობით, ე. ი.

$$1 \text{ ამპერი} = \frac{\text{კულონი}}{\text{წამში}},$$

ამიტომ, თუ წრედში გამავალი დენის ძალა J ამპერია, ეს იმის მაჩვენებელია, რომ ყოველ წამში მავთულის განივკვეთში გადის J კულონი ელექტრობა, თუ ერთი კულონის გადანაცვლებაზე გარეწრედში სრულდება მუშაობა

$$W_1 = V$$

და მთელ წრედში კი ერთი კულონის გადანაცვლებაზე სრულდება მუშაობა:

$$W_2 = E \quad \text{ჯოული.}$$

ამიტომ აშკარაა, რომ J კულონის გადანაცვლებით ყოველ წამში შესრულებული მუშაობა (W_1) გარეგან წრედში იქნება

$$W_1 = JV$$

და მთელ წრედში კი (W_2)

$$W_2 = JE.$$

ვიცით, რომ წამში შესრულებული მუშაობა რიცხობრივად ტოლია სიმძლავრისა (N). ამტომ სიმძლავრისათვის გარეგან წრედში მივიღებთ:

$$N_1 = JV,$$

მთელ წრედში კი

$$N_2 = JE.$$

მარგი ქმედების კოეფიციენტი (η) ეწოდება სასარგებლო სიმძლავრის შეფარდებას მთელ იმ სიმძლავრესთან, რომელსაც ანვითარებს გენერატორი (დენის წყარო).

ჩვენს შემთხვევაში გარეგან წრედის სიმძლავრე შეიძლება ჩაითვალოს სასარგებლოდ, რადგან იგი გამოიყენება სასარგებლო მუშაობისათვის. ამიტომ თანახმად განმარტებისა

$$\eta = \frac{N_1}{N_2} = \frac{JV}{JE} = \frac{V}{E} \tag{4}$$

ომის კანონის თანახმად ცალკე უბნისთვის გვაქვს

$$J = \frac{V}{R_{\text{გარ.}}},$$

მთელი წრისათვის კი

$$J = \frac{E}{R_{\text{გარ.}} + R_{\text{შიგ.}}},$$

აქედან

$$E = JR_{\text{გარ.}} + JR_{\text{შინ.}}$$

მაგრამ

$$JR_{\text{გარ.}} = V,$$

ამიტომ

$$E = V + JR_{\text{შინ.}},$$

ან

$$V = E - JR_{\text{შინ.}}$$

მე-(4) ფორმულაში ჩასმით მივიღებთ [1]):

$$\boxed{\eta = \frac{E - JR_{\text{შინ.}}}{E}}$$

როგორც ვხედავთ, მ. ქ. კ.-ის გამოთვლა დაყვანილ იქნა E და J გამოთვლაზე; ელემენტის შინაგანი წინაღობა ($R_{\text{შინ}}$) კი წინასწარ ცნობილია.

ცდა შემდეგი მიმდევრობით შევასრულოთ: 1. სქემის თანახმად შევადგინოთ შემდეგი წრედი.

2. გავზომოთ დენის წყაროს ელექტრომამოძრავებელი ძალა (E) ვოლტმეტრით, ამისათვის ის შევუერთოთ წყაროს პოლუსებს.

3. ჩავრთოთ წრედში ამპერმეტრი და რეოსტატი მიმდევრობით.

4. კონტაქტის გასრიალებით რეოსტატის გასწვრივ ვცვალოთ წრედში გამავალი დენის ძალა (J) ისე, რომ ამპერმეტრის ჩვენება იცვლებოდეს დაახლოებით 0,1 ამპერით.

5. ავაგოთ $\eta = f(J)$; ფუნქციის გრაფიკი; ამისათვის აბსცისათა ღერძზე გადავზომოთ დენის ძალის პროპორციული მონაკვეთები, ორდინატთა ღერძზე კი—მ. ქ. კ. მნიშვნელობანი.

დაკვირვებათა ცხრილი

რიგის №	ელექტრომამოძრავებელი ძალა V ვოლტი	დენის ძალა Jამპ.	

[1]) η პროცენტებში უნდა იქნეს გამოხატული.

ამოცანა № 31

დედამიწის მაგნიტური არეს ჰორიზონტალური მდგენილის განსაზღვრა ტანგენს-ბუსოლის საშუალებით

საჭირო ხელსაწყოები: 1) ტანგენს-ბუსოლი და 2) ნათურათა წინაღობა.

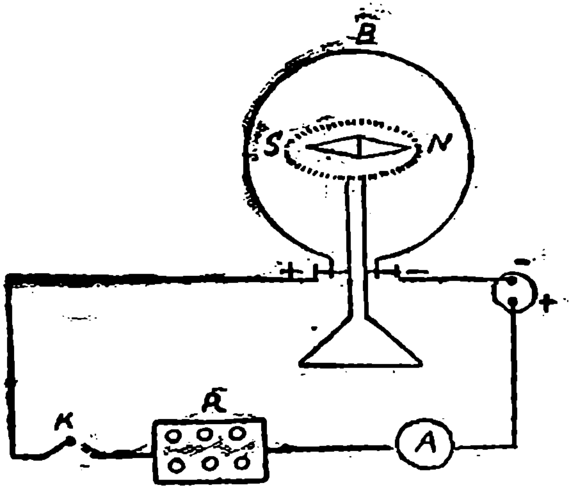
თეორიული საფუძვლები: ცნობილია, რომ ჰორიზონტალურ სიბრტყეში თავისუფლად მოძრავი მაგნიტური ისარი ყოველთვის დადგება მაგნიტური მერიდიანის მიმართულებით

თუ ისარს ამ მდგომარეობიდან გამოვიყვანთ, მაშინ იგი დედამიწის მაგნიტური არეს გავლენით მაინც მობრუნდება და დადგება დედამიწის მაგნიტური მერიდიანის მიმართულებით.

იმ ძალას, რომელიც მოქმედებს მაგნიტური ისრის ჩრდილო პოლუსზე და აბრუნებს მას მაგნიტური მერიდიანის სიბრტყეში, დედამიწის მაგნიტური არეს ჰორიზონტალური მდგენელი ეწოდება და $H_{დ}$ ასოთი აღინიშნება.

ამ ამოცანის მიზანია: ჰორიზონტალური მდგენლის გამოანგარიშება.

ამ მიზნისათვის იხმარება ხელსაწყო, რომელსაც **ტანგენს-ბუსოლი** ეწოდება.



ნახ. 48.

ტანგენს-ბუსოლი (ნახ. 48). წარმოადგენს წრიულ სადენს (B), რომლის ცენტრში მოთავსებულია მაგნიტური ისარი (ყიბლანა); ამ ისარს თავისუფლად შეუძლია ჰორიზონტალურ სიბრტყეში ბრუნვა.

ბიო-სავარის კანონის თანახმად წრიული დენის ცენტრში მაგნიტური არეს დაძაბულობა

$$H=\frac{0,2\,\pi J n}{r} \qquad (1)$$

თუ წრიული დენის ცენტრში, რომლის სიბრტყე დედამიწის მაგნიტური მერიდიანის თანხვედრილია, მოვათავსებთ მოკლე მაგნიტურ ისარს, მაშინ ისარზე იმოქმედებს ორი არე: დენის მაგნიტური არე და დედამიწის მაგნიტური არე.

დენის მაგნიტური არე ისარს აყენებს დენის სიბრტყის მართობულად, ხოლო დედამიწის მაგნიტურ არეს ჰორიზონტალური მდგენელი აბრუნებს მას დენის სიბრტყეში.

ამ ძრეების გავლენით ისარი დედამიწის მაგნიტური არეს დაძაბულობის ჰორიზონტალურ ($H_დ$) მდგენელთან რაიმე α კუთხეს ჰქმნის. 49 ნახაზიდან გვაქვს:

$$\frac{H_დ}{H}=\operatorname{ctg}\alpha,$$

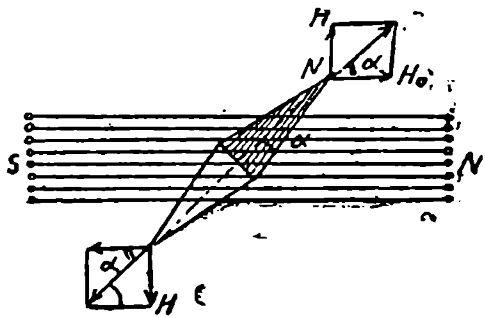
ანუ

$$H_დ=H\operatorname{ctg}\alpha=\frac{H}{\operatorname{tg}\alpha}=\frac{0,2\,\pi J n}{r\operatorname{tg}\alpha},$$

საბოლოოდ:

$$H_დ=\frac{0,2\,\pi J n}{r\operatorname{tg}\alpha} \qquad (2)$$

ამ ფორმულაში $H_დ$ — დედამიწის მაგნიტური არეს ჰორიზონტალური მდგენელია,



ნახ. 49.

J—დენის ძალა გაზომილი ამპერებში,
n—ხვეულათა რიცხვი (ჩვენს შემთხვევაში $n=1$),
r—წრიული დენის (ხვეულის) რადიუსი სმ-ში,
α—ისრის გადახრის კუთხე.

ბ. ცდის მსვლელობა: 1) შეადგინეთ წრედი (ნახ. 48), რომელშიაც თანმიმდევრობით ჩართულია: ნათურათა რეოსტატი (R), ტანგენს-ბუსოლი (B), ამპერმეტრი (A) და ჩამრთველი (K) (წრედი შეამოწმებინეთ ხელმძღვანელს).

2) აბრუნეთ ტანგენს-ბუსოლი მანამდე, სანამ მაგნიტური ისარი არ დადგება 0-ზე. ეს იმის მაჩვენებელია, რომ გამტარის სიბრტყე მაგნიტური მერიდიანის თანხვედრილია.

3) ჩაკეტეთ წრედი და აითვალეთ გადახრის კუთხე ისრის ორივე ბოლოებზე α_1 და α_2; მათი საშუალო არითმეტიკული $\alpha=\frac{\alpha_1+\alpha_2}{2}$ ისრის გადახრის კუთხეა; ამ კუთხის ტანგენსს იპოვით ცხრილში.

4) ამპერმეტრის საშუალებით აითვალეთ დენის ძალა J.

5) დენის ძალა შეცვალეთ ნათურათა რეოსტატის საშუალებით და ხელმეორედ აიღეთ ანათვლები.

6) ცდას განიმეორებთ 5-ჯერ.

7) წრიული დენის ხვეულის რადიუსს გამოთვლით ფორმულიდან $r=\frac{C}{2\pi}$, სადაც C ხვეულის სიგრძეა (გაზომავთ რულეტით).

8) მიღებულ შედეგებს შეიტანთ მე-(2) ფორმულაში და გამოიანგარიშებთ $H_დ$-ს.

დაკვირვებათა ცხრილი

რიგის №	J	α_1	α_2	$\alpha=\frac{\alpha_1+\alpha_2}{2}$	tg α	r	n	$H_დ$
1								
2								
3								
4								
5								

ამოცანა № 32

საილენძის ელექტროქიმიური ექვივალენტის გამოანგარიშება

I. საჭირო ხელსაწყოები: 1) აკუმულატორი, 2) ამპერმეტრი, 3) საათი და 4) შაბიამნის ხსნარი.

II. თეორიული საფუძვლები: თუ დენს გავატარებთ მჟავას ან მარილის ხსნარში, მაშინ დენი დაშლის ხსნარს ისე, რომ კათოდზე გამოიყოფა წყალბადი ან მეტალი, თუ კი არ მოხდა მეორადი რეაქციები, დანარჩენი ნაწილები გამოიყოფა ანოდზე.

ამ მოვლენას ელექტროლიზი ეწოდება.

ელექტროლიზის შესახებ ფარადეს მიერ დამყარებულია შემდეგი (I კანონი):

ელექტროლიზის დროს დენის მიერ ელექტროდებზე გამოყოფილი ნივთიერების რაოდენობა, პირდაპირ პროპორციულია დენის ძალის და დენის მოქმედების ხანგრძლივობის ნამრავლისა.

ე. ი.

$$m = KJt \qquad (1)$$

სადაც:

J—დენის ძალაა ამპერებში,

t—დენის მოქმედების ხანგრძლივობა წამებში,

m—გამოყოფილ ნივთიერების რაოდენობა.

K კოეფიციენტი დამოკიდებულია ნივთიერების გვარობაზე და მას ეწოდება ნივთიერების ელექტროქიმიური ექვივალენტი.

ელექტროქიმიური ექვივალენტის ფიზიკური შინაარსი რომ გამოვარკვიოთ (1) ფორმულაში დაუშვათ, რომ: $J=1$ ამპერს და $t=1$ წამს, მაშინ მივიღებთ:

$$m = K.$$

ამგვარად, ელექტროქიმიური ექვივალენტი (K) იზომება იმ ნივთიერების რაოდენობით, რომელსაც გამოჰყოფს 1 ამპ. დენის ძალა 1 წამის განმავლობაში.

$m=KJt$ ფორმულიდან მივიღებთ:

$$K = \frac{m}{Jt} \qquad (2)$$

მაშასადამე, ელექტროქიმიური ექვივალენტის გამოსაანგარიშებლად საჭიროა გავიგოთ m, ე. ი. ის ნივთიერების რაოდენობა, რომელსაც გამოჰყოფს ხსნარიდან J ამპერიანი დენი t წამში და შემდეგ ჩავსვათ მე-(2) ფორმულაში.

III. ელწრედის სქემა და ცდის მსვლელობა: (ნახ. 50). აკუმულატორიდან დენი თანმიმდევრობით მიდის (B) ელექტროლითურ აბაზანაში, სადაც ჩასხმულია $CuSO_4$-ის ხსნარი, (A) ამპერმეტრში და (R) რეოსტატში

ცდა აწარმოეთ ასე:

1. კათოდზე მიმაგრებული ფირფიტი გაფხიკეთ სუფთად, გარეცხეთ, გამოაშრეთ და აწონეთ ზუსტ სასწორზე; მისი P_1 წონა შეიტანეთ ცხრილში.

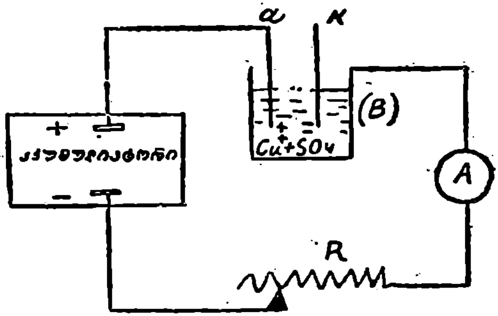
2. შეუერთეთ ფირფიტა კათოდს, ჩაუშვით აბაზანაში და გაუშვით დენი 0,3-დან 0,5 ამპერამდე (მოაწესრიგეთ რეოსტატით).

3. 10 წუთის შემდეგ ამორთეთ დენი, მოხსენით კათოდის ფირფიტა, გარეცხეთ, გამოაშრეთ და მეორეჯერ აწონეთ; ახალი (P_2) წონა შეიტანეთ ცხრილში.

4. გამოაკელით ახალ წონას პირველი წონა და $m=P_2-P_1$ სხვაობა შეიტანეთ ცხრილში.

5. გამოიანგარიშეთ, რამდენ წამში იყო ჩართული დენი და წამთა რაცხვი (t) შეიტანეთ ცხრილში.

6. ჩასვით შე-(2) ფორმულაში m, J და t-ს მნიშვნელობანი და გაიგეთ K.



ნახ. 50.

ცდა განიმეორეთ 3-ჯერ და გამოიანგარიშეთ აბსოლუტური და ფარდობითი ცთომილებანი.

დაკვირვებათა ცხრილი

რიგის №	J	P_1	P_2	m	t	k	Δk
1							
2							
3							

$K=$

ფარდობითი ცთომილება $E_k=$

ამოცანა № 33

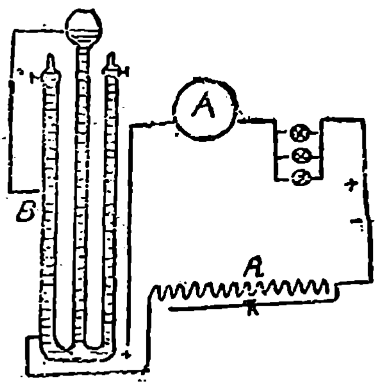
წყალბადის ელექტროქიმიური ეკვივალენტის გამოთვლა

საჭირო ხელსაწყოები (ნახ. 51): აირვოლტმეტრი (B); ამპერმეტრი (A); რეოსტატები: (r) ნათურების და სრიალა კონტაქტიანი (R); სადენები; თერმომეტრი, მასშტაბი, წამმზომი.

თეორია. არენიუსის ელექტროლიზური დისოციაციის თეორიის თანახმად გოგირდმჟავას (H_2SO_4) მოლეკულები, რომლებიც წყლის ხსნარშია, ყოველთვის ნაწილობრივად დისოციირებულნი (დაშლილნი) არიან ($\overset{++}{H_2}$ და ($\overline{SO}$)-ად. მოლეკულის ამ ნაწილებს იონები ეწოდება. წყალბადის მოლეკულა კარგავს ორ ელექტრონს, რომელსაც იძენს მჟავას (SO_4) რადიკალი, რის გამო H_2 ელექტროვდება დადებითად (H_2^{++}) და SO_4 კი—უარყოფითად (SO_4^{--}). წყალბადის იონები გამოიყოფა კათოდზე; (SO_4)-ის იონები კი—უნდა გამოიყოს ანოდზე· მაგრამ მეორადი რეაქციების გამო ანოდზე გამოიყოფა O_2 თანახმად შემდეგი რეაქციისა:

$$2SO_4+2H_2O=2H_2SO_4+O_2.$$

O_2 გამოიყოფა ანოდზე ბუშტების სახით, აქედან ნათლად ჩანს, რომ ხსნარში იხარჯება მხოლოდ წყალი. დენი კი H_2SO_4-ზე არავითარ გავლენას არ ახდენს.



ნახ. 51.

გოფმანის ხელსაწყოს, რომელშიაც ხდება დენის ქიმიური მოქმედება, აირვოლტმეტრი ეწოდება, პროცესს კი—ელექტროლიზი. ფარადეს კანონის თანახმად, კათოდზე გამოყოფილი ნივთიერების

რაოდენობა (m) პროპორციულია დენის ძალისა (J) და მისი გავლის დროისა (t წამი). ფორმულით ეს კანონი ასე გამოისახება:

$$m = KJt, \tag{1}$$

აქ K საძიებელი ელექტროქიმიური ეკვივალენტია, რომელიც რიცხობრივად ტოლია ერთი ამპერი დენის ძალის მიერ ერთ წამში გამოყოფილი ნივთიერების რაოდენობისა.

(1) განტოლებიდან მივიღებთ:

$$K = \frac{m}{Jt} \tag{2}$$

როგორც ჩანს, K-ს გამოსათვლელად საჭიროა: გამოყოფილი წყალბადის რაოდენობის (m) და დროის გამოთვლა. გოფმანის ხელსაწყოთი კი ჩვენ გამოყოფილი წყალბადის მასას კი არ გავიგებთ, არამედ მოცულობას (V-ს). m-ის გამოსათვლელად ვისარგებლოთ კავშირით m-სა და V-ს შორის:

$$m = V_0 D, \tag{3}$$

სადაც D წყალბადის სიმკვრივეა (წყალბადის სიმკვრივე ნორმალურ წნევასა და O° ტემპერატურის დროს ტოლია $D = 0{,}00009$ გ/სმ^3. რადგან D გამოთვლილია აირის გარკვეულ პარამეტრების (ნორმალურ წნევასა და O-ზე) მიმართ, მოცულობა (V) კი აღებულია ლაბორატორიის ტემპერატურისა (τ°) და წნევის მიმართ (B), ამისათვის საჭიროა მოცულობის დაყვანა ნორმალურ პირობებზე, რისთვისაც უნდა გამოვიყენოთ ბოილ-მარიოტ-გეილუსაკის კანონი;

$$\frac{VP}{(1+\alpha\tau)} = V_0 P_0 \tag{4}$$

აქ P_0—ნორმალური წნევაა (760 მმ).

P—წნევაა, რომელიც აქვს გამოყოფილ წყალბადს. ეს წყალბადი ბარომეტრული (B—ავითვალოთ ბარომეტრით) წნევისა და ხსნარის სვეტს (h—იხ. ნახაზი) წნევის ქვეშ არის. ამას გარდა წყალბადზე მოქმედებს ხსნარის ორთქლის წნევა ($0{,}9f$[1]), მიმართული ატმოსფერული წნევის საწინააღმდეგოდ. ამის გამო

[1] h იყოფა 12-ზე, რადგან ხსნარის სიმკვრივე 12-ჯერ ნაკლებია ვერცხლის წყლის სიმკვრივეზე; f—(წყლის ორთქლის წნევა) მრავლდება 0,9-ზე, რადგან ხსნარის ოროქლის წნევა წყლის ორთქლის წნევის 0,9-ს შეადგენს. წყლის ორთქლის წნევას (f-ს) კი ავიღებთ ცხრილიდან, რომელიც გაკრულია კედელზე.

$$P=B+\frac{h}{12}-0{,}9f \tag{5}$$

V_0—მოცულობაა 0° და 760 მმ-ის წნევის დროს,
V —მოცულობა $\tau°$ და P წნევის დროს,
$\tau°$—წყალბადის ტემპერატურა.
α—აირების გაფართოების კოეფიციენტი: $\alpha=0{,}00367$.
მე-(3) განტოლებიდან გვაქვს:

$$V_0=\frac{VP}{P_0(1+\alpha\tau°)} \tag{6}$$

ამ განტოლებაში სათანადო მნიშვნელობათა ჩასმის შემდეგ გვექნება:

$$V_0=\frac{V\left(B+\frac{h}{12}-0{,}9f\right)}{760\,(1+0{,}00367\,\tau)} \tag{7}$$

V_0- და D_0-ის მნიშვნელობა ჩავსვათ მე-(3) განტოლებაში, მივიღებთ:

$$m=\frac{V\left(B+\frac{h}{12}-0{,}9f\right)}{760\,(1+0{,}00367\,\tau)}\cdot 0{,}00009 \text{ გრ.}$$

m-ის მნიშვნელობის ჩასმის შემდეგ მე-(2) განტოლება ასეთ სახეს მიიღებს:

$$\boxed{K=\frac{V\left(B+\frac{h}{12}-0{,}9f\right)}{760\,(1+0{,}00367\,\tau)\cdot J\cdot t}\cdot 0{,}00009\ \frac{\text{გრ.}}{\text{ამპ. წამი}}}$$

ცდა გაწარმოოთ შემდეგი მიმდევრობით:

1. შევადგინოთ წრედი თანახმად სქემისა (ჩართვა ხელმძღვანელის დაუკითხავად არ შეიძლება).
2. შევადგინოთ დაკვირვებათა ცხრილი, რომელშიაც შევიტანოთ დაკვირვების შედეგად მიღებული მნიშვნელობანი.
3. ჩავრთოთ წრედი და რეოსტატის (R) სრიალათი დავამყაროთ წრედში დენის გარკვეული ძალა (0,5-დან—1 ამპერამდე).
4. შემდეგ განვრთოთ წრედი და მილები (1, 2) განვათავისუფლოთ (ონკანის გაღებით) იქ დაგროვილი აირებისაგან.

ჩავრთოთ ისევ წრედი და ერთდროულად აღვნიშნოთ დრო (წამ-მზომის ამუშავებით) და დენის ძალა (J).

6. რამდენიმე წუთის შემდეგ (ხელმძღვანელის მითითებით) განვ-რთოთ წრედი, ერთდროულად გავაჩეროთ წამმზომი. ჩავრთოთ წამ-მზომის ჩვენება. ეს იქნება დენის გავლის დრო (t წამი).

7. გოფმანის ჭურჭლის მილზე ავთვალოთ გამოყოფილი წყალბადის მოცულობა (V სმ³).

8. ჩავუშვათ გოფმანის ჭურჭლის ღია მილში (3) თერმომეტრი და გავიგოთ ხსნარის ტემპერატურა (t°).

9. მასშტაბით გავიგოთ ხსნარის დონეთა სხვაობა მე-3 და 1 მი-ლებს შორის (h მმ).

10. ბარომეტრით ავთვალოთ ატმოსფეროს წნევა (B მმ).

11. ცხრილიდან ავიღოთ მოცემული t° ტემპერატურაზე წყლის ორთქლის წნევა (f-მმ) და გავამრავლოთ 0,9-ზე.

12. გამოვთვალოთ K-ს მნიშვნელობა.

13. გამოვთვალოთ ცთომილებანი.

დაკვირვებათა ცხრილი

რიგის №	გამოყოფილი წყალბადის მოცუ-ლობა V სმ³	გატარებული დენის ძალა J ამპ	ბარომეტრის ჩვენება B მმ	1 და 3 მილების შორის დონეთა სხვაობა h მმ	ხსნარის ორთქლის წნევა (ტაბულიდან) f მმ.	ხსნარის ტემპერა-ტურა t°	დენის გავლის დრო t სეკ	K

ამოცანა № 34

ამპერმეტრის დაგრადუირება აირვოლტმეტრის საშუალებით

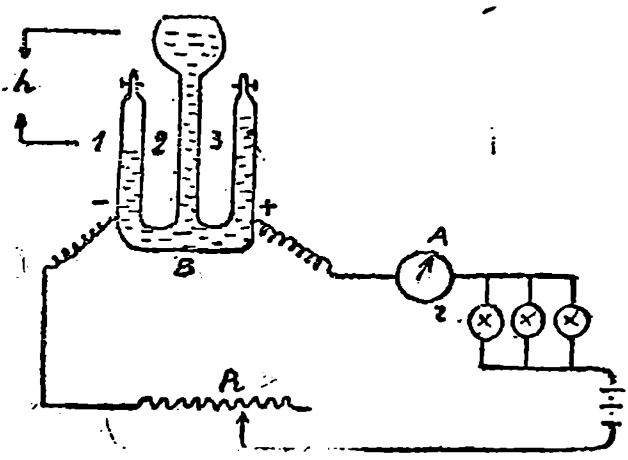
საჭირო ხელსაწყოები (ნახ. 52). საცდელი ამპერმეტრი (A); აირ-ვოლტმეტრი (B); ნათურებისაგან შედგენილი რეოსტატი (r); რეოს-ტატი სრიალათი (R) წამმზომი; სადენები, მასშტაბი.

თეორია. ამპერმეტრის დაგრადუირება იმას ნიშნავს, რომ უნდა ვი-პოვოთ დენის ძალის ისეთი მნიშვნელობანი, რომლებიც შეესა-

ბამებიან ამპერმეტრის დანაყოფებს. ამ ცდისათვის ჩვენ ვსარგებლობთ აირვოლტმეტრით[1]), რომლის საშუალებითაც გავიგებთ ამპერმეტრში გამავალ დენის ძალას, თუ ვიცით ვოლტმეტრში გამოყოფილი აირის (წყალბადის ან ჟანგბადის) რაოდენობა და დრო. აირვოლტმეტრად ჩვენ ცდაში აღებულია გოფმანის ხელსაწყო, რომელიც შედგება სამი მილისაგან: 1 მილი შეერთებულია დენის წყაროს უარყოფით პოლუსთან, მე-3 მილი კი—დადებითთან. ნახაზზე არის საცდელი ამპერმეტრი, r—ნათურებიდან შედგენილი რეოსტატი და R რეოსტატი სრიალათი. ამას გარდა აღსანიშნავია, რომ თითოეული დანაყოფი 1 და 3 მილებზე 1 სმ^3 შეესაბამება.

ფარადეს კანონის თანახმად კათოდზე გამოყოფილი ნივთიერების რაოდენდბაა

$$m = KJ\tau \tag{1}$$



ნახ. 52.

სადაც K წყალბადის ელექტროქიმიური ექვივალენტია, i—წრედში გამავალი დენის ძალა (საძიებელი სიდიდეა), τ—კი წრედში დენის გავლის ხანგრძლივობა (წამებში). რადგან გოფმანის ხელსაწყოს მილების დანაყოფები შეესაბამებიან—1 სმ^3, ამიტომ გამოთვლების გასაადვილებლად შესაძლებელია (1) განტოლების გარდაქმნა ისე, რომ წყალბადის რაოდენობა სათანადო მოცულობით იყოს შეცვლილი.

მართლაც, თუ ცდის წარმოებისას მილში გამოიყოფა V_t სმ^3 წყალ-

[1]) გოფმანის ხელსაწყოთი.

ბადი და თუ ერთი ამპერი ერთ წამში გამოჰყოფს K სმ³ წყალბადს, მაშინ, თანახმად ნათქვამისა

$$V_0 = KJ \cdot \tau \qquad (2)$$

სადაც $K = 0{,}116$ სმ³ (წყალბადის ამ მოცულობას გამოჰყოფს ერთი ამპერი ერთ წამში, თუ წნევა ნორმალურია და ტემპერატურა 0°C. V დავიყვანოთ ნორმალურ პირობებზე. ამისათვის ვისარგებლოთ ბოილ-მარიოტ-გელუსაკის კანონით, რომლის ძალითაც:

$$\frac{V_t P_t}{1+\alpha t} = V_0 P_0 \qquad (3)$$

საიდანაც

$$V_0 = \frac{V_t P_t}{P_0 (1+\alpha t)}, \qquad (4)$$

P_t—გამოსახავს იმ წნევას, რომელსაც განიცდის გამოყოფილი წყალბადი. გარდა ატმოსფერული წნევისა (B), რომელსაც ავითვლით ბარომეტრით, გამოყოფილ წყალბადს აწვება h-სმ სიმაღლის ხსნარის დამატებითი სვეტი (იხ. ნახაზი 52); ამას გარდა წყალბადზე მოქმედებს ხსნარის ორთქლის წნევა (0,9 f), ატმოსფერული წნევის საწინააღმდეგოდ მიმართული. ამის გამო [1])

$$P_t = B + \frac{h}{12} - 0{,}9\,f \qquad (5)$$

P_0—ნორმალური ატმოსფერული წნევაა (76 სმ),
α—გაზების გაფართოების კოეფიციენტი ($\alpha = 0{,}00367$),
t^0—ტემპერატურა.
მე-(2) განტოლებიდან გვაქვს:

$$J = \frac{V_0}{0{,}116\,\tau}$$

V_0 მნიშვნელობის ჩასმის შემდეგ, მივიღებთ:

$$\boxed{J = \frac{V_t\left(B + \frac{h}{12} - 0{,}9\,f\right)}{0{,}116 \cdot 760\,(1+\alpha t)\tau}} \qquad (6)$$

---

[1]) h იყოფა 12-ად, რადგან ხსნარის სიმკვრივე 12-ჯერ ნაკლებია ვერცხლის წყლის სიმკვრივეზე; f მრავლდება 0,9, რადგან ხსნარის ორთქლის წნევა წყლის ორთქლის წნევის 0,9 შეადგენს. წყლის ორთქლის წნევას (f-ს) ავიღებთ ცხრილიდან, რომელიც გაკრულია კედელზე.

ცდას ვაწარმოებთ ასეთი მიმდევრობით:

1. შევადგინოთ წრედი თანახმად აღნიშნული სქემისა, რომლის ჩართვაც მოვახდინოთ ხელმძღვანელის შემოწმების შემდეგ.

2. შევადგინოთ დაკვირვებათა ცხრილი, რომელშიაც შევიტანოთ გაზომვის შედეგად მიღებული რიცხვები.

3. ჩავრთოთ წრედში (ხელმძღვანელის მითითების თანახმად) რამდენიმე ნათურა და რეოსტატის სრიალათი ისე მოვაწესრიგოთ დენის ძალა, რომ საცდელი ამპერმეტრის ისარი გაჩერდეს გარკვეულ დანაყოფზე. ამის შემდეგ დენი ამოვრთოთ.

4. ავთვალოთ ტემპერატურა $t°C$[1]); ამის შემდეგ ჩავრთოთ წრედში დენი და ერთდროულად ავამუშაოთ წამმზომი.

5. 1—2 წუთის შემდეგ წრედი გამოვრთოთ და ავითვალოთ V_t და h.

6. ამის შემდეგ შევცვალოთ დენის ძალა (დავაყენოთ ისარი ამპერმეტრის ახალ დანაყოფზე) და ცდა განვიმეოროთ.

7. ასეთი გაზომვები ამპერმეტრის სკალის მიხედვით რამდენიმეჯერ უნდა ვაწარმოოთ.

8. თითოეულ შემთხვევისათვის გამოვითვალოთ დენის ძალის მნიშვნელობა, თანახმად მე-(6) განტოლებისა.

9. ავაგოთ გრაფიკი. ამისათვის აბსცისათა ღერძზე გადავზომოთ ამპერმეტრის დენის ძალის პროპორციული მონაკვეთები, ორდინატთა ღერძზე კი—მიღებული დენის ძალების პროპორციული მონაკვეთები.

დაკვირვებათა ცხრილი

რიგის №	ბარომეტრის ჩვენება B სმ	წყალბადის ტემპერატურა $t°C$	წყლის ორთქლის წნევა მოც. ტემპერატურაზე f მმ	გამოყოფილი წყალბადის მოცულობა V_t სმ³	ხსნარის წნევა გამოყოფილ წყალბადზე h მმ	დენის გავლის დრო τ სეკ.	დენის ძალები: გამოთვლილი ფორმულით $J=\dfrac{V_t\left(B+\dfrac{h}{12}-0{,}9\,f\right)}{0{,}116.760\,(1+\alpha t)\,\tau}$ J გამ	დენის ძალები: ამპერმეტრის ჩვენება J ამპ.

[1] ტემპერატურას (t) გავიგებთ თერმომეტრის ჩაშვებით მე-(2) მილში.

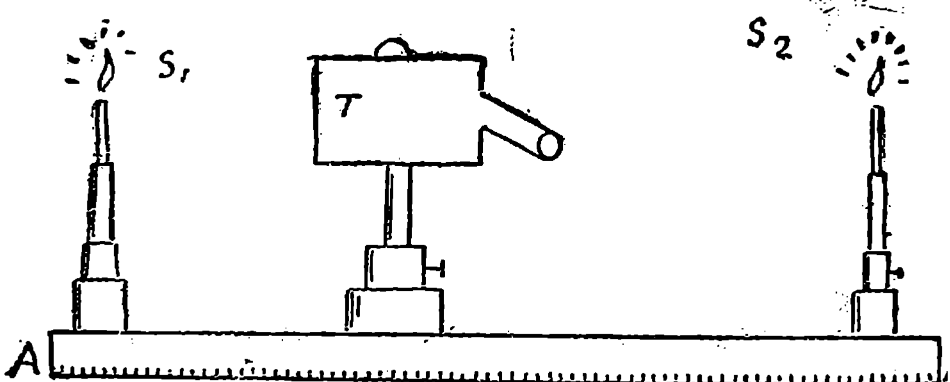
ამოცანა № 35

ნათურის სინათლის ძალის გამორკვევა ლუმერ-ბროდხუნის ფოტომეტრით

ხაჭირო იარალები (ნახ. 53): ფოტომეტრული დგამი (AB), რომლის შუა წერტილზე მოთავსებულია ფოტომეტრი (T), ნაპირებზე კი—ნათურები (S_1 და S_2). ამ ნათურებიდან ერთი (S_1) წარმოადგენს ეტალონს (ან ისეთ ნათურას, რომლის სინათლის ძალაც ცნობილია), მეორე (S_2) ნათურის სინათლის ძალა კი გამოსარკვევია.

თეორია. რაიმე ზედაპირის E განათებულობა პირდაპირ პროპორციულია სინათლის (J) ძალისა. იმ (α) კუთხის კოსინუსისა, რომელსაც სხივი შეადგენს ზედაპირისადმი აგებულ ნორმალთან და შექცევით პროპორციულია (r) მანძილის კვადრატისა

$$E=\frac{J}{r^2}\cdot\cos\alpha \qquad (1)$$



ნახ. 53.

ვთქვათ გვაქვს რაიმე ზედაპირი, რომელიც თანაბრადაა განათებული მის მარცხნივ და მარჯვნივ მოთავსებული ნათურებით (S_1 და S_2). ამ ნათურების სინათლის ძალები აღვნიშნოთ J_1 და J_2-ით, მანძილები ფოტომეტრამდე—r_1 და r_2-ით, კუთხეები კი, რომლებსაც ადგენენ სხივები ზედაპირისადმი აგებულ ნორმალთან,—α_1 და α_2-ით, ამ აღნიშვნების თანახმად (1) განტოლება მიიღებს სახეს:

$$E=\frac{J_1}{r_1^2}\cos\alpha_1$$

და

$$E_2 = \frac{J_2}{r_2^2} \cos.\alpha_2.$$

თუ ზედაპირი ორივე ნათურით თანაბრადაა განათებული და $\alpha_1 = \alpha_2$, ე. ი.

$$E_1 = E_2,$$

მაშინ მავიღებთ

$$\frac{J_1}{r_1^2} = \frac{J_2}{r_2^2},$$

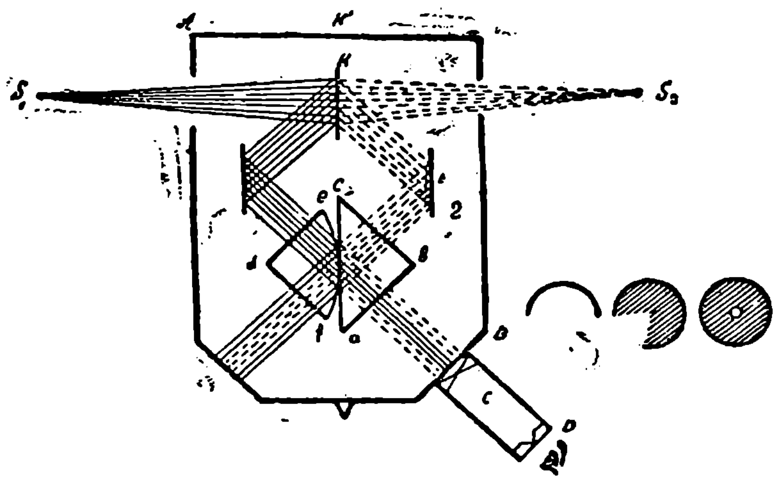
საიდანაც გამოსარკვევი ნათურის სინათლის ძალა (J_2)

$$\boxed{J_2 = J_1 \frac{r_2^2}{r_1^2}}$$

ლუმერ-ბროდხუნის ფოტომეტრი წარმოადგენს (ნახ. 54) T კამერას, რომლის შიგნითაც მოთავსებულია ცარციდან ამოჭრილი ფირფიტა (K), სარკეები 1 და 2 და ლუმერის კუბი, რომელიც შედგენილია მინის ორი პრიზმისაგან: abc და fde. ამ პრიზმების გარდატეხის მაჩვენებლები ტოლია; ერთი პრიზმი — სრული შინაგანი არეკლვის პრიზმია (abc), მეორეს კი (cdf) აქვს სფერული ზედაპირი, რომლის ნაწილიც გაბრტყელებულია. ამ გაბრტყელებული ნაწილით იგი მიდებულია მეორე პრიზმზე (abc) სრულ ოპტიკურ კონტაქტამდე, რაც ნიშნავს იმას, რომ ორივე პრიზმი შეხების სიბრტყეში წარმოადგენენ ერთ მთლიან გამჭვირვალე სხეულს.

S_1 და S_2 სინათლის წყაროების შესადარებელი ძალები ეცემა ცარცის ზედაპირს (K); ამ ზედაპირიდან კი განბნეული სინათლე ეცემა 1 და 2 სარკეებს; სარკეებიდან არეკლვის შემდეგ ეს სხივები ეცემა პრიზმებს და კვლავ აირეკლებიან მათი წახნაგებიდან, სინათლე, რომელიც ეცემა პრიზმების შეხების სიბრტყეს (m), გადის ამ პრიზმებში და მილში (CD) შეჭვრეტით ჩვენ მივიღებთ 1 სარკიდან არეკლილ სინათლეს. სხივთა ის კონა, რომელიც ეცემა პრიზმების შეხების სიბრტყეს, გადის ამ კუბში (L). დამკვირვებელი მილში შეჭვრეტით ღებულობს პირველი სარკიდან იმ სხივებს, რომლებიც გადის შეხების სიბრტყეში და მე-2 სარკიდან კი იგი ღებულობს სხივებს სრული შინაგანი არეკლვით. თუ ორივე მხრიდან ფირფიტის (K) გვერდები თანაბრად განათებულნი არ არიან, ამ შემთხვევაში დამკვირვებელი დაინახავს განათებულ ფონზე ბნელ ლაქას, ან პირიქით, ბნელ ფონზე

განათებულ ლაქას. ფირფიტის (*K*) გვერდების ორთავე მხარეს თანაბარი განათების დროს ლაქები ისპობა. ფოტომეტრი და სინათლის შესადარებელი წყაროები მოთავსებულია ოპტიკურ დგამზე (*AB*), რომელზედაც შესაძლებელია მათი სრიალი. ამ დგამს მიმაგრებული აქვს სკალა მილიმეტრიანი დანაყოფებით ნათურების (S_1 და S_2) ფოტომეტრიდან დაშორების მანძილების (r_1 და r_2) გასაგებად. ცდის დროს ფოტომეტრს ვათავსებთ დგამის შუაზე და ნაპირებზე კი—სინათლის წყაროებს (S_1 და S_2). შემდეგ გავაცოცებთ ფოტომეტრს მარჯვნივ ან მარცხნივ ისე, რომ საჭვრეტ მილში (*CD*) მოისპოს ლაქა.



ნახ. 54.

ცდა შეასრულეთ შემდეგი მიმდევრობით: 1. შეადგინეთ დაკვირვებათა ცხრილი.

2. დააყენეთ ფოტომეტრი დგამის შუაზე და სინათლის წყაროები კი დგამის ნაპირებზე.

3. ფოტომეტრის გადანაცვლებით მარცხნივ ან მარჯვნივ მოსპეთ ლაქა მილში (*CD*) და ათვალეთ მანძილები (r_1 და r_2).

5. განიმეორეთ ცდა რამდენჯერმე.

4. გამოთვალეთ ცთომილებანი.

დაკვირვებათა ცხრილი

$J_1 = 1$

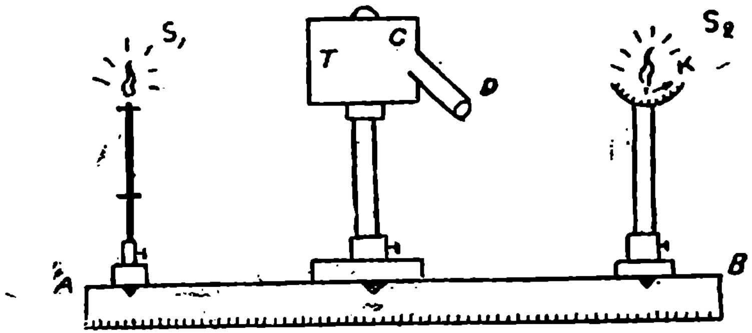
რიგის №	მანძილები ფოტომეტრიდან: ცნობილ ნათურამდე r_1-სმ	მანძილები ფოტომეტრიდან: საკვლევ ნათურამდე r_2-სმ	$J_2 = J_1 \frac{r_2^2}{r_1^2}$	ΔJ_2

ამოცანა № 36

ნათურას გარშემო სინათლის ნაკადის განაწილების გამოკვლევა ლუმერ-ბროდხუნის ფოტომეტრით

საჭირო იარაღები: ფოტომეტრის დგამი (AB), რომლის შუა წერტილზე მოთავსებულია ფოტომეტრი T, ნაპირებზე კი—ნათურები (S_1 და S_2). ამ ნათურებიდან ერთი (S_1) წარმოადგენს ეტალონის ნათურას (ან ისეთ ნათურას, რომლის სინათლის ძალაც ცნობილია), მეორე ნათურის სინათლის ძალას კი გამოვარკვევთ განტოლებით:

$$J_2 = J_1 \frac{r_2^2}{r_1^2}.$$



ნახ. 55.

ხელსაწყოს აღწერა (ნახ. 55). მოცემულია ოპტიკური დგამი (იხ. წინა ამოცანა) ლუმერ-ბროდხუნის ფოტომეტრით და მის ნაპირებზე სინათლის წყაროები. ერთი მათგანის (S_1) სინათლის ძალა ცნობილია და მეორეს (S_2) კი—უცნობია.

ამოცანის მიზანს შეადგენს გრაფიკული გამოკვლევა სინათლის ნაკადისა, რომელსაც იძლევა ეს ნათურა.

ნათურა (S_2) ბრუნავს ჰორიზონტალურ ღეროს გარშემო. ბრუნვის ღერძს მიმაგრებული აქვს ისარი (K), რომელიც ბრუნავს ნათურასთან ერთად. ეს ისარი (K) ნათურის მობრუნების კუთხის მაჩვენებელია.

ცდა შეასრულეთ შემდეგი მიმდევრობით: 1. შეადგინეთ დაკვირვებათა ცხრილი.

2. დააყენეთ საკვლევი ნათურა ისე, რომ კუთხის მაჩვენებელი ისარი იყოს 0-ზე (ეს იქნება ნულოვანი ანათვალი).

გამოთვალეთ J_2 განტოლებით:

$$J_2=J_1\frac{r_2^2}{r_1^2}$$ (იხ. წინა ამოცანა).

3. შემოაბრუნეთ ნათურა 30°-ით და გამოთვალეთ ამ შემთხვევისთვის J_2-ის მნიშვნელობა.

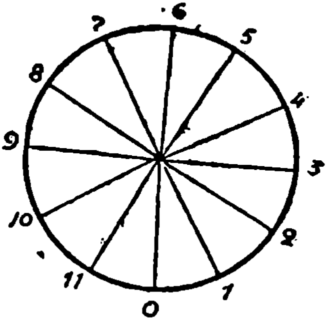
4. გაადიდეთ კუთხე ოცდაათ-ოცდაათი გრადუსით და თითოეული მომენტისათვის გამოთვალეთ J_2-ს მნიშვნელობანი.

5. ნებისმიერი რადიუსით შემოხაზეთ წრეხაზი და ჩახაზეთ 12 ტოლი ცენტრალური კუთხე. ამ კუთხეების გვერდებზე შესაბამად გადაზომეთ J_2-ს მიღებული მნიშვნელობანი წინასწარ შერჩეული მასშტაბით.

დაკვირვებათა ცხრილი

$J_1=1$

ცდის №	კუთხეების ანათვლები	მანძილები		J_2	ცთომილება
		r_1-სმ	r_2-სმ		



ნახ. 56.

ამოცანა № 37

ნათურის სინათლის ძალის განსაზღვრა ბუნზენის ფოტომეტრით

საჭირო ხელსაწყოები (ნახ. 57): დაფა დანაყოფებით (*AB* ოპტიკური დგამი), რომელზედაც მოთავსებულია სამი მცოცი ანუ სრიალა. ამ სრიალაზე დამაგრებულია: *f* ფოტომეტრი (შუაზე) და ელნათურები (S_1 და S_2) მის მარცხნივ და მარჯვნივ. ერთ-ერთი ნათურის სინათლის ძალა წინასწარ ცნობილია.

თეორია. როგორც ცნობილია, სინათლის ძალის ერთეულად მიღებულია, ე. წ. საერთაშორისო სანთელი. პრაქტიკაში ამ ერთეულით სარგებლობის გასაადვილებლად ამზადებენ ელნათურებს, რომელთა სინათლის ძალაც ზუსტად ტოლია ერთი ან რამდენიმე საერთაშორისო სანთლისა. ცნობილია, რომ სინათლის ძალა პროპორციულია სინათლის წყაროს მიერ გამოსხივებული ენერგიისა. ცნობილია აგრეთვე, რომ ზედაპირის განათებულება გაიზომება ენერგიის იმ რაოდენობით, რომელიც ყოველ წამში ეცემა ფართის ერთეულს და თანაბრადაა მასზე განაწილებული.

თუ განათებულებას აღვნიშნავთ E-თი, სინათლის ძალას J-თი და ფართის დაშორებას სინათლის წყაროდან r-ით, მაშინ განათებულებისათვის მივიღებთ ასეთ ფორმულას

$$E=\frac{J}{r^2}\cos\alpha \qquad (1)$$

სადაც α კუთხეა სხივსა და ფართისადმი აგებულ ნორმალს შორის. ვთქვათ, გვაქვს სინათლის ორი წყარო: S_1 და S_2, რომლებიც ერთნაირად ანათებენ რაიმე ფართის ორივე მხარეს და სხივები ამ ფართისადმი ნორმალებთან ერთნაირ კუთხეებს ქმნიან, ე. ი. $\alpha_1=\alpha_2$.

დავწეროთ განათებულების ფორმულა თითოეულ შემთხვევისათვის.

$$E_1 = \frac{J_1}{r_1^2} \cos \alpha_1$$

და

$$E_2 = \frac{J_2}{r_2^2} \cos \alpha_2.$$

რადგან პირობის თანახმად

$$E_1 = E_2$$

და

$$\alpha_1 = \alpha_2$$

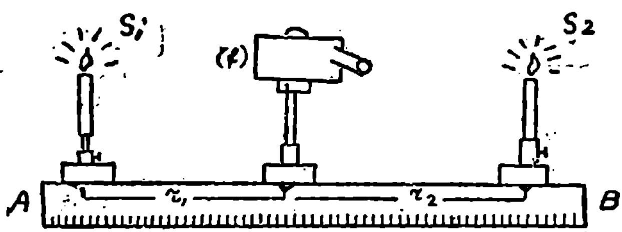
ამიტომ შეგვიძლია დავწეროთ:

$$\frac{J_1}{J_2} = \frac{r_1^2}{r_2^2},$$

საიდანაც საკვლევი ნათურის სინათლის ძალა

$$J_2 = J_1 \frac{r_2^2}{r_1^2}.$$

ბუნზენის ფოტომეტრში ფარის როლს თამაშობს ქაღალდის ფურცელი, რომლის შუა ალაგზე ზეთის ლაქაა.



ნახ. 57.

ქაღალდთან შედარებით ზეთის ლაქა მეტ სხივებს გაატარებს, ამიტომ, თუ მას უყურებთ სხივების მიმართულებით, ლაქა უფრო მკრთალად გვეჩვენება, ვიდრე ქაღალდის ზედაპირი. თუ კი მას უცქერით დაცემული სხივების საწინააღმდეგო მიმართულებით, მაშინ ლაქა მოგვეჩვენება უფრო განათებულად, ქაღალდის ზედაპირთან შედარებით.

თუ განათებულება ორთავე მხრიდან ერთნაირია, მაშინ ლაქა შე-

უმჩნეველი უნდა იყოს. ამ მიზნით ვასრიალოთ ნათურები მანამდე, სანამ ეს ლაქა არ დაიკარგება (ლაქას მთლიანი მოსპობა შეუძლებელია).

ცდა შეასრულეთ შემდეგი მიმდევრობით: 1. შევადგინოთ დაკვირვებათა ცხრილი, რომელშიაც შევიტანოთ გაზომვის შედეგად მიღებული რიცხვები.

2. დავაყენოთ ფოტომეტრი დგამის შუაზე, ნათურები კი—დგამის ნაპირებზე.

3. ნათურების გადაწევ-გადმოწევით მივაღწიოთ ლაქის დაკარგვას და ავითვალოთ r_1 და r_2 მანძილები.

4. გამოვთვალოთ J_2 და ცდა განვიმეოროთ რამდენიმეჯერ.

5. გამოვთვალოთ აბსოლუტური და ფარდობითი ცთომილებანი.

დაკვირვებათა ცხრილი

რიგის №	მანძილები		J_1	$J_2 = J_1 \frac{r_2^2}{r_1^2}$	შენიშვნა
	ფოტომეტრიდან ცნობილ ნათურამდე r_1-სმ	ფოტომეტრიდან საკვლევ ნათურამდე r_2-სმ			

ამოცანა № 38

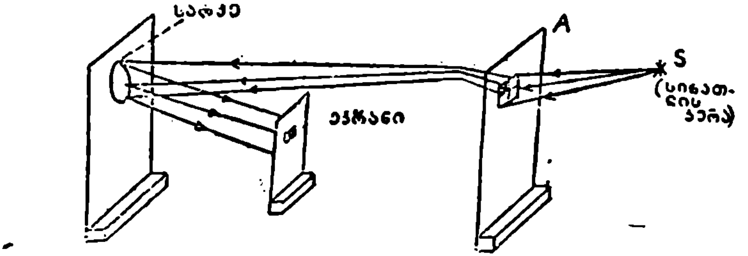
ჩაზნექილი სფერული სარკის ფოკალური მანძილის გამოთვლა

საჭირო იარაღები (ნახ. 58): ჩაზნექილი სარკე; მკრთალი მინა (A), რომელზედაც დახაზულია უჯრები; ამ მინის უკან იდგმება ელნათურა (S); მასშტაბი მილიმეტრიანი დანაყოფებით.

თუ ჩაზნექილი სფერული სარკის მთავარი ოპტიკური ღერძის (OC) პარალელურად (ნახ. 59) ეცემიან სხივები, მაშინ ყველა ეს სხივები არეკლვის შემდეგ ერთმანეთს გადაჰკვეთენ ერთ წერტილში. ამ წერტილს სარკის მთავარი ფოკუსი ეწოდება, სარკის შუა (O) წერტილს და მთავარ ფოკუსს შორის მანძილს კი ფოკალური მანძილი. თეორია ამტკიცებს, რომ სფერული სარკის მთავარი ფოკალური მანძილი ამ

სარკის სიმრუდის რადიუსის ნახევარს შეადგენს. მთავარი ფოკალური მანძილის გამოსათვლელად სხვადასხვა მეთოდი არსებობს.

იმ შემთხვევაში, როდესაც A წერტილი დაშორებულია სარკეს d სმ-ით და მიღებული გამოსახულება იმავე სარკეს დაშორებულია f სმ-ით [1]), მაშინ თეორიის თანახმად, მთავარი ფოკალური მანძილისათვის (F) ვღებულობთ

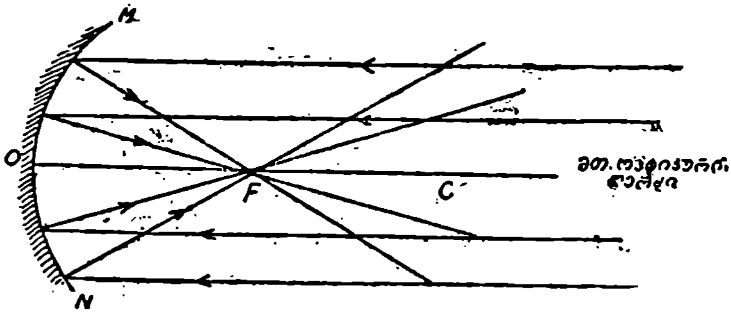


ნახ. 58.

$$F=\frac{df}{d+f} \qquad (1)$$

მაშასადამე, თუ ვიცით d და f-ის მნიშვნელობანი, ვიპოვით F-ის მნიშვნელობას.

დავაკავშიროთ F-ი საგნის და გამოსახულების სიმაღლესთან (x და y). (ნახ. 61).



ნახ. 59.

რადგან $\triangle ABC \backsim \triangle KDC$ (ნახ. 61), ამიტომ საგნის სიმაღლე (x) ისე ეფარდება გამოსახულების სიმაღლეს (y), როგორც $CA=d-R=$ $=d-2F$ ეფარდება $KC=R-f=2F-f$, ე. ი.

[1]) იგულისხმება, რომ წერტილიდან გამავალი სხივები მთავარ ოპტიკურ ღერძთან მცირე კუთხეს ქმნიან.

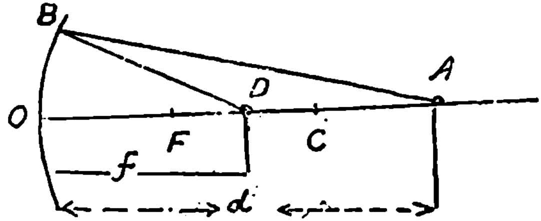
$$\frac{x}{y}=\frac{CA}{KC}$$

(1)-დან გვაქვს

$$f=\frac{Fd}{d-F}$$

და

$$d=\frac{fF}{f-F}$$



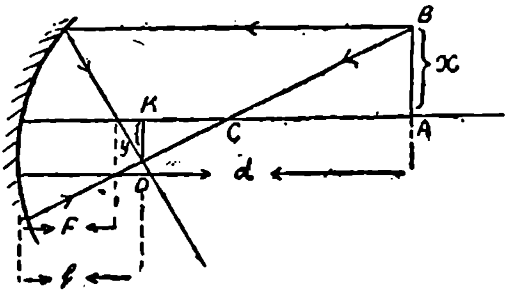
ნახ. 60.

ამიტომ:

$$CA=\frac{fF}{f-F}-2F=\frac{fF-2fF+2F^2}{f-F}=\frac{2F^2-fF}{f-F}=\frac{F(2F-f)}{f-F}$$

და

$$KC=2F-\frac{Fd}{d-F}=\frac{2dF-2F^2-Fd}{d-F}=\frac{Fd-2F^2}{d-F}=\frac{F(d-2F)}{d-F}$$



ნახ. 61.

ამიტომ

$$\frac{x}{y}=\frac{(d-2F)}{\frac{F(d-2F)}{d-F}},$$

შეკვეცის შემდეგ მივიღებთ:

$$\frac{x}{y}=\frac{d-F}{F} \tag{2}$$

ან

$$\frac{x}{y}=\frac{\frac{F(2F-f)}{f-F}}{2F-f},$$

შეკვეცის შემდეგ მივიღებთ

$$\frac{x}{y}=\frac{F}{f-F} \tag{3}$$

თუ მეორე და მესამე განტოლებებს ამოვხსნით F-ის მიმართ, მივიღებთ:

$$F=\frac{yd}{x+y}$$

და

$$F=\frac{xf}{x+y}.$$

მაშასადამე, საბოლოოდ ფოკალური მანძილის (F) გამოსათვლელად, გვექნება სამი ფორმულა:

$$F=\frac{df}{d+f}; \qquad F=\frac{yd}{x+y} \quad \text{და} \quad F=\frac{xf}{x+y}$$

ამ განტოლებებში: d—მანძილია საგანსა და სარკეს შორის; f—გამოსახულობასა (ეკრანსა) და სარკეს შორის; x—საგნის სიმაღლეა და y—კი გამოსახულების სიმაღლეა. ანალოგიურად ამისა, თუ საგნის სიგანეს აღვიშნავთ x_1-ით და გამოსახულების სიმაღლეს y_1-ით, მივიღებთ:

$$F=\frac{fx_1}{x_2+y_1}$$

ცდა ვაწარმოოთ შემდეგი მიმდევრობით: 1. შევადგინოთ დაკვირვებათა ცხრილი, რომელშიაც შევიტანოთ გაზომვის შედეგად მიღებული მნიშვნელობანი.

2. მოვათავსოთ საგანი ისეთ მანძილზე სარკიდან, რომ მივიღოთ ამ საგნის რაც შეიძლება ნათელი გამოსახულება ეკრანზე.

3. გავზომოთ მანძილი სარკესა და საგანს შორის (d სმ); გავზომოთ მანძილი სარკესა და გამოსახულებას (ეკრანს) შორის (f სმ).

4. გავზომოთ საგნის სიმაღლე—x სმ და გამოსახულების—y სმ.

5. გავზომოთ საგნის ფუძე—x_1 სმ და გამოსახულების ფუძე—y_1 სმ.

6. შევცვალოთ მანძილი სარკესა და საგანს შორის და კვლავ აღნიშნული წესით ვაწარმოოთ ათვლა.

7. გამოვთვალოთ F-ის მნიშვნელობა.

8. ცდა განვიმეოროთ რამდენიმეჯერ და გამოვთვალოთ ცთომილებანი.

დაკვირვებათა ცხრილი

რიგის №	მანძილები		სიმაღლე		ფუძე		$F=\frac{fd}{d+f}$	$F_1=\frac{dy_1}{x_1+y_1}=\frac{fx_1}{x_1+y_1}$	$F_2=\frac{dy_2}{x_2+y_2}=\frac{fx_2}{x_2+y_2}$
	საგანს და სარკეს შორის d-სმ	ეკრანს და სარკეს შორის f-სმ	საგნისა x_1-სმ	გამოსახულებისა y_1-სმ	საგნისა x_2-სმ	გამოსახულებისა y_2-სმ			

ამოცანა № 39

ლინზის ფოკალური მანძილის და ოპტიკური ძალის განსაზღვრა

საჭირო ხელსაწყოები (ნახ. 62): ოპტიკური დგამის შუაზე მოთავსებულია ხის ჩარჩო, რომელშიაც ჩადგმულია ლინზა; ამ ლინზის ერთ მხარეზე მოთავსებულია სხეული (სხეულად ვიღებთ ხის ბუდეში მოთავსებულ ელნათურას. ამ ბუდეს ლინზის მიმართულებით აქვს ხვრელი). ლინზის მეორე მხარეზე მოთავსებულია ეკრანი.

ფიზიკის ელემენტარული კურსიდან ცნობილია, რომ ორმხრივ ამოზნექილი ლინზის ძირითადი ფორმულა ასეთია:

$$\frac{1}{F}=\frac{1}{d}+\frac{1}{f} \qquad (1)$$

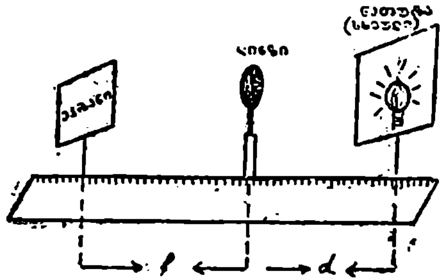
ანუ

$$\boxed{F=\frac{fd}{d+f}} \qquad (2)$$

სადაც d მანძილია სხეულსა და ლინზას შორის, f კი — მანძილი ეკრანსა და სხეულს შორის.

მე-(2) განტოლებიდან ჩანს, რომ ლინზის მთავარი ფოკალური (F) მანძილის საპოვნელად საჭირო ყოფილა: მანძილი საგნიდან ლინზამდე (d-სმ) და გამოსახულებიდან (ეკრანიდან) ლინზამდე (f-სმ).

თუ ფოკალური მანძილი გამოვთვალეთ, მაშინ შესაძლებელია ამ ლინზის ოპტიკური ძალის განსაზღვრაც.



ნახ. 62.

როგორც ცნობილია, ლინზის ოპტიკური ძალა ისეთ სიდიდეს ეწოდება, რომელიც რიცხობრივ ტოლია ფოკალური მანძილის (F) შებრუნებულ სიდიდის $\left(\frac{1}{F}\right)$ და გაიზომება ერთეულებში, რომელსაც დიოპტრი ეწოდება. ერთი დიოპტრი ოპტიკური ძალა ისეთ შემკრებ ლინზას აქვს, რომლის ფოკალური მანძილი — 1 მეტრია. ლინზის ოპტიკური ძალა დიოპტრებში რომ გაიზომოს, საჭიროა მისი ფოკალური მანძილის მეტრებში გამოსახვა. გამფანტავი ლინზების ოპტიკური ძალა უარყოფითია.

ცდას ვასრულებთ შემდეგი მიმდევრობით: 1. შევადგინოთ დაკვირვებათა ცხრილი.

2. საგნის მკაფიო გამოსახულების მისაღებად ეკრანზე ვამოძრაოთ უკანასკნელი და აგრეთვე ლინზაც ოპტიკურ დგამზე.

3. ეკრანზე მკაფიო გამოსახულების მიღების შემდეგ ავითვალოთ მანძილები d და f.

4. ჩავსვათ მიღებული მნიშვნელობანი ფ-(2)-ში და გამოვთვალოთ F.

5. ცდა გავიმეოროთ რამდენიმეჯერ და გამოვთვალოთ ცთომილებანი.

დაკვირვებათა ცხრილი

რიგის №	მანძილები		ლინზის მთავარი ფოკალური მანძილი F-სმ	ლინზის ოპტიკური ძალა $\frac{1}{F}$ ც.
	საგნიდან ლინზამდე d-სმ	ეკრანიდან ლინზამდე f-სმ		

ამოცანა № 40

მინის გარდატეხის კოეფიციენტის განსაზღვრა

საჭირო ხელსაწყოები და მასალა: 1) მინის პარალელეპიპედი, 2) მილიმეტრიანი ქაღალდი და 3) ქინძისთავები.

თუ სინათლის სხივი ერთი გარემოდან მეორეში გადადის, მაშინ სხივი იცვლის მიმართულებას. ამ მოვლენას **სინათლის გარდატეხა** ეწოდება. სინათლის გარდატეხის შესახებ დამყარებულია შემდეგი კანონები:

1. დაცემული სხივი, გარდატეხილი სხივი და დაცემის წერტილში აღმართული პერპენდიკულარი ერთ სიბრტყეში მდებარეობენ.

2. მოცემული წყვილი გარემოსათვის დაცემისა და გარდატეხის კუთხეების სინუსების შეფარდება მუდმივი სიდიდეა, რომელსაც ეწოდება გარდატეხის მაჩვენებელი მეორე გარემოსი პირველის მიმართ და ასე აღინიშნება:

$$n_{1,2}=\frac{\sin\alpha}{\sin\beta},$$

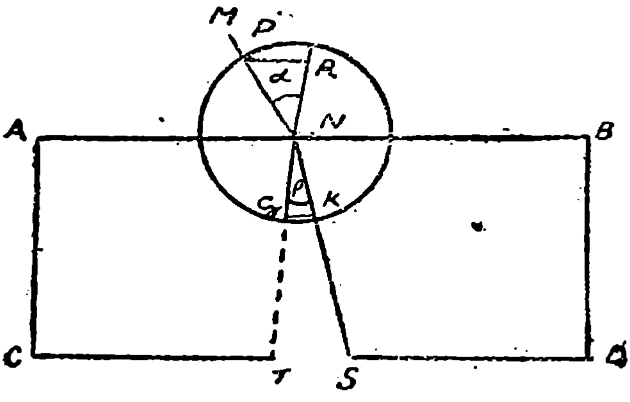
სადაც α დაცემის კუთხეა, ე. ი. კუთხე, რომელსაც ჰქმნის დაცემული სხივი გარდამტეხ გარემოს ზედაპირისადმი დაცემის წერტილში აღმართულ პერპენდიკულართან; β გარდატეხის კუთხეა, ე. ი. კუთხე, რომელსაც ჰქმნის გარდატეხილი სხივი პერპენდიკულართან.

თუ გადატეხის კოეფიციენტი გარემოსი გამოანგარიშებულია იმ შემთხვევისათვის, როცა სხივი გადადის სიცარიელედან მოცემულ გარემოში, მაშინ ასეთ გადატეხის მაჩვენებელს ეწოდება მოცემული გარემოს გადატეხის აბსოლუტური მაჩვენებელი და ასე აღინიშნება:

$$n_{0,1}=\frac{\sin\alpha}{\sin\beta}$$

ჩვენი ამოცანის მიზანია: გამოვიანგარიშოთ მინის გადატეხის მაჩვენებელი ჰაერის მიმართ, რაც დაახლოებით მინის აბსოლუტურ მაჩვენებელს უდრის.

ცდის მსვლელობა: მინის $ABCD$ პარალელეპიპედი დავდოთ მილიმეტრიან ქაღალდზე და ფანქრით შემოვავლოთ მისი გვერდები $ABCD$ მილიმეტრიან ქაღალდზე, AB გვერდის ზევით M წერტილში, დავარჭოთ ქინძისთავი, ხოლო მერე ქინძისთავი ჩავარჭოთ AB გვერდის რომელიმე N წერტილში. შემდეგ CD გვერდიდან გავხედოთ MN ხაზს და მესამე ქინძისთავი ჩავარჭოთ ისეთ წერტილში (S),



ნახ. 63.

რომ სამივე ქინძისთავი მოგვეჩვენოს მინაში ერთ სწორ ხაზზე (MNS) დალაგებული. სინამდვილეში MNS არის ტეხილი ხაზი, რადგან სხივი პარალელეპიპედმა გადატეხა. დავნიშნოთ ქინძისთავის დამაგრების M, N და S წერტილები და ავიღოთ პარალელეპიპედი. ეს წერტილები შევაერთოთ ტეხილი ხაზით.

$\angle MNR=\alpha$ დაცემის კუთხეა და $\angle TNS=\beta$ გადატეხის კუთხე. მაშინ ჰაერის მიმართ მინის გადატეხის კოეფიციენტი:

$$n_{0,1}=\frac{\sin\alpha}{\sin\beta};$$

ნებისმიერ (r) რადიუსით N წერტილიდან შემოვხაზოთ წრეხაზი; დავუშვათ მართობები PR და C_1K, მაშინ:

$$\sin\alpha = \frac{PR}{r};$$

$$r = PN;$$

და

$$\sin\beta = \frac{c_1k}{r};$$

ამიტომ:

$$n_{0,1} = \frac{\frac{PR}{r}}{\frac{ck}{r}} = \frac{PR}{ck};$$

$$n_{0,1} = \frac{PR}{ck} \qquad (1)$$

გავზომოთ მილიმეტრიან ქაღალდზე PR და C_1K, ჩავსვათ (1) ფორმულაში და მივიღებთ n-ის მნიშვნელობას. ცდა გავიმეოროთ 5-ჯერ და გამოვთვალოთ, როგორც აბსოლუტური, ისე ფარდობითი ცთომილებანი.

დაკვირვებათა ცხრილი

რიგის №	PR სიგრძე მმ-ში	C_1K სიგრძე მმ-ში	გადატეხის მაჩვენებელი $n=\frac{PR}{C_1K}$	აბსოლ. ცთომილება Δn
1				
2				
3				
4				
5				

ამოცანა № 41

ჭოგრის გადიდების გამოთვლა

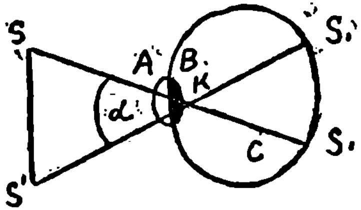
საჭირო ხელსაწყოები: ჭოგრი და ვერტიკალური სკალა.

თეორია. ფიზიკის ელემენტარული კურსიდან ცნობილია, რომ თვალის წინა კამერა (A) (ნახ. 64), ბროლი[1]) (B) და მინისმაგვარი სითხე, რომელიც ავსებს თვალის შიდა კამერას ბროლის უკან,—ერთ

[1]) ორ მხრივ ამოზნექილი გამჭვირვალე სხეული.

მთლიან ოპტიკურ სისტემას წარმოადგენენ. ამ სისტემის ოპტიკურ ცენტრს (K), რომელიც დაახლოებით მდებარეობს ბროლის უკან, **თვალის კვანძი** ეწოდება. ცნობილია აგრეთვე, რომ რაიმე სხეულის ორი განაპირა წერტილიდან გატარებული ხაზებით შედგენილ კუთხეს, რომლის წვეროც თვალის კვანძშია (K) **მხედველობის კუთხე** ეწოდება (α).

64 ნახაზიდან ჩანს, რომ რაც უფრო ახლოა საგანი თვალთან, მით მეტია მხედველობის კუთხე. თუ მხედველობის კუთხე დიდია—საგანი უფრო მკაფიოდ გვეჩვენება, წინააღმდეგ შემთხვევაში კი—პირიქით. ყოველ თვალისთვის არსებობს ე. წ. საუკეთესო მხედველობის მანძილი. ნორმალურ თვალისთვის საუკეთესო მხედველობის მანძილი დაახლოებით 25 სმ-ია. თუ საგანი თვალიდან ამ მანძილზე შორსაა, იმ



ნახ. 64.

შემთხვევაში, ცხადია, მხედველობის კუთხე შემცირდება და როგორც აღნიშნული იყო, მხედველობის კუთხის შემცირება გამოიწვევს იმას, რომ საგანი თვალისთვის ისე მკაფიო აღარ იქნება. საგნის დაშორების გარდა თვალიდან, მხედველობის კუთხე კიდევ იმაზეა დამოკიდებული, შეიარაღებულია თუ არა თვალი რაიმე ოპტიკური ხელსაწყოთი. ვთქვათ საგანს, რომელიც გარკვეული მანძილითაა დაცილებული ჩვენგან ვუცქერით, როგორც ჭოგრით, აგრეთვე შეუიარაღებელი თვალით. პირველ შემთხვევაში მხედველობის კუთხე მეტი იქნება, ვიდრე მეორეში. ოპტიკური იარაღით შეიარაღებული თვალით მიღებულ მხედველობის კუთხის შეფარდებას იმ მხედველობის კუთხესთან, რომელსაც მივიღებთ შეუიარაღებელი თვალით, **ოპტიკური იარაღის გადიდება** ეწოდება.

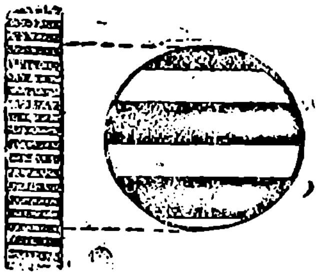
მაშასადამე, ამოცანის შესრულება მოითხოვს, რომ ერთ და იმავე საგანს (მაგ., ვერტიკალურ სკალას) უყურებდეთ ერთდროულად, როგორც შეიარაღებული, აგრეთვე შეუიარაღებელი თვალითაც. დავუშვათ, რომ ჭოგრის საშუალებით უყურებთ რაიმე ვერტიკალურ სკალას (საგანი), რომელიც ამ ჭოგრიდან დაშორებულია 4-5 მეტრით. თუ ცალი თვალი (მაგ., მარჯვენა) შეიარაღებულია ჭოგრით და მე-

ორე კი (მარცხენა) შეუიარაღებელია და ასეთ პირობებში ვაწარმოებთ სკალის ათვლას. მაშინ აშკარაა, რომ ჭოგრით შეიარაღებული თვალი მეტ დანაყოფს აითვლის (N), ვიდრე შეუიარაღებელი (n). ფარდობია $\frac{N}{n}$ წარმოადგენს ჭოგრის გადიდებას (W), მაშასადამე, მივიღებთ

$$W=\frac{N}{n}$$

მაგ., თუ ჭოგრით ჩვენ დავითვალეთ 100 დანაყოფი ვერტიკალურ სკალაზე, შეუიარაღებელი თვალით კი—4, მაშინ $W=25$.

ცდის შესრულების მიმდევრობა უკვე აღნიშნულია თეორიაში.



ნახ. 65.

დაკვირვებათა ცხრილი

რიგის №	დანაყოფების რაოდენობა, რომელსაც ვხედავთ ვერტიკალურ სკალაზე		ჭოგრის გადიდება $W=\frac{N}{n}$
	შეიარაღებული თვალით N	შეუიარაღებელი თვალით n	

ამოცანა № 42

მიკროსკოპის გადიდების განსაზღვრა

საჭირო ხელსაწყოები: 1) მიკროსკოპი, 2) საობიექტივო მიკრომეტრი, 3) მილიმეტრიანი მასშტაბი და 4) 45°კუთხით დახრილი სარკე.

ოპტიკური იარაღის გადიდება ეწოდება გამოსახულების ხაზოვანი ზომების შეფარდებას საგნის ხაზოვან ზომებთან. როგორც ვიცით, მიკროსკოპი შესდგება ობიექტივისა და ოკულარისაგან, ამიტომ მისი გადიდება უდრის ობიექტივის და ოკულარის გადიდებათა ნამრავლს. როგორც ოკულარი, ისე ობიექტივი ლინზების მეტად რთულ სისტემებს წარმოადგენს, ამიტომ მათი გადიდების ცალ-ცალკე გამოთვლა ძნელია. არსებობს მარტივი ხერხი, რომლითაც შესაძლებელია მიკროსკოპის მთლიანი გადიდების განსაზღვრა. ეს ხერხი შემდეგში მდგომარეობს:

ორი საგნის დაკვირვებას ვაწარმოებთ ერთდროულად: ერთს ვაკვირდებით მიკროსკოპის საშუალებით, მეორეს კი შეუიარაღებელი თვალით. ჩვენს ამოცანაში ასეთი საგნებია: 1) საობიექტივო[1] მიკრომეტრი, რომელსაც ვათავსებთ მიკროსკოპის ობიექტივის ქვეშ.

2) მილიმეტრიანი მასშტაბი N, რომელიც მოთავსებულია მიკროსკოპიდან 25 სმ-ის დაშორებით. (ნახ. 66). ჩვენ ერთდროულად უნდა ვაწარმოოთ დაკვირვება, როგორც ობიექტივის მიკრომეტრზე, ისე N მასშტაბის სკალაზე. თუ მასშტაბის „A" დანაყოფი ემთხვევა მიკრომეტრის „B" დანაყოფს, მაშინ მიკროსკოპის გადიდება გამოიხატება:

$$K=\frac{A}{0{,}1\ B} \qquad (I)$$

სადაც 0,1 მმ მიკრომეტრის დანაყოფის ფასია.

N მასშტაბის დანაყოფის ფასია 1 მმ.

ცდის მსვლელობა: 1. ობიექტივის მიკრომეტრი მოათავსეთ მიკროსკოპის ობიექტივის ქვეშ.

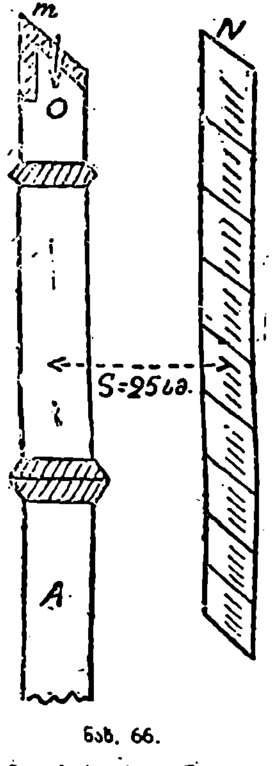
2. ოკულარზე (O) ჩამოაცვით ცილინდრი, რომელზედაც მოთავსებულია 45°-ით დახრილი m სარკე.

3. მიკროსკოპიდან დაახლოვებით 25 სმ-ის დაშორებით მოათავსეთ N მასშტაბი ისე, რომ ობიექტივის ხვრელში გამოჩნდეს ერთ-

---

[1]) საობიექტივო მიკრომეტრი მინის ფირფიტაა, რომელზედაც ძლიერ ახლოსაა გატარებული პარალელური ხაზები.

დროულად ერთმანეთზე დამთხვეული მიკრომეტრისა და N სკალის დანაყოფები. ობიექტივის ქვეშ არსებული მიკროსკოპის სარკე უნდა აბრუნოთ ისე, რომ ოკულარში მხედველობითი არე კარგად განათებული გამოჩნდეს. მიკროსკოპის ტუბუსი ხრახნის საშუალებით უნდა ამოძრაოთ ისე, რომ მხედველობის არეში გარკვევით გამოჩნდეს მიკრომეტრის დანაყოფები.



ნახ. 66.

4. აითვალეთ მიკრომეტრის ის დანაყოფი, რომელიც ჩანს ოკულარის ხვრელში; მათი რიცხვი „A“ შეიტანეთ დაკვირვებათა ცხრილში.

5. აითვალეთ N სკალის ის დანაყოფი, რომელიც ემთხვევა მიკრომეტრის A დანაყოფს; ეს რიცხვი „B“ შეიტანეთ დაკვირვებათა ცხრილში.

6. „A“ და „B“-ს მნიშვნელობათა მიხედვით (I) ფორმულიდან გამოთვალეთ K.

ცდა განიმეორეთ სამჯერ და გამოთვალეთ გადიდების საშუალო მნიშვნელობა.

დაკვირვებათა ცხრილი

რიგის №	მიკრომეტრის დანაყოფები	N სკალის დანაყოფები	გადიდება
რიგზე	A	B	K
1			
2			
3			

ამოცანა № 43

სპექტროსკოპის სკალის დაგრადუირება ჰელიუმის სპექტრის საშუალებით

საჭირო ხელსაწყოები: 1) სპექტროსკოპი, 2) აკუმულატორი და 3) მილები წყალბადის და ჰელიუმის აირით.

თუ სამწახნაგოვან პრიზმაში გავატარებთ გავარვარებული აირის მიერ გამოსხივებულ სინათლის სხივებს, მაშინ მივიღებთ სპექტრს, რომელიც შედგება რამდენიმე სხვადასხვა ფერის ცალკე ხაზებისაგან. ასეთ სპექტრს **ხაზოვანი სპექტრი** ეწოდება.

ყოველ აირს თავისი დამახასიათებელი ხაზოვანი სპექტრი აქვს.

ხაზოვანი სპექტრის შესწავლით შეიძლება გავზომოთ გამოსხივებული რომელიმე ფერის ტალღის სიგრძე. მრავალმეთოდთა შორის უმარტივეს ხერხს წარმოადგენს რომელიმე ფერის ტალღის სიგრძის გაზომვა სპექტროსკოპის საშუალებით.

სპექტროსკოპი (ნახ. 67) ორი ერთმანეთთან მიმაგრებულ მილებისაგან შედგება: ერთი გრძელი მილია (A), მეორე კი მოკლე (B).

გრძელ მილს ერთმხარეზე აქვს ხვრელი (i), რომლის წინ აყენებენ სხივების წყაროს, ხოლო მეორე მხარეზე საჭვრეტი-ოკულარი (O); მილში არის სამწახნაგოვანი პრიზმი—(m), რომელიც შლის რთულ სხივს შემადგენელ ფერის სხივებად.

მოკლე მილის (B) ბოლოზე, შიგნით, არის გამჭვირვალე (S) სკალა, რომლის წინ აყენებენ სინათლის წყაროს.

(A) მილის (i) ხვრელიდან შესული სხივი გაივლის სამკუთხოვან (m) პრიზმაში და დაიშლება შემადგენელი ფერების სხივებად ისე, რომ სხვადასხვა ფერის შესაბამი ზოლი დაემთხვევა სკალის სხვადასხვადანაყოფს.

მოკლე (B) მილში შემოსული სინათლის სხივი გაივლის გამჭვირვალე

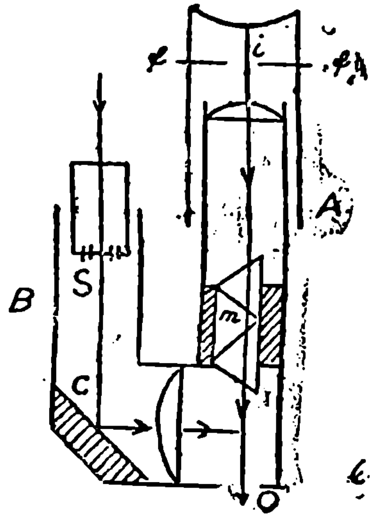
(S) სკალაში, აირეკლება (C) სარკიდან და მოხვდება ოკულარის მხედველობის არეში.

ამიტომ დამკვირვებელი ერთდროულად ხედავს სპექტრს და სკალას, რაც საშუალებას აძლევს მას აითვალოს, თუ რომელი ფერის ზოლი რა დანაყოფს ემთხვევა.

ცდის მსვლელობა: 1) ჩართეთ წრედში გეისლერის მილი ჰელიუმით და დააყენეთ სპექტროსკოპის i ხვრელის წინ (თუ ხვრელი ფართოა, მოაწესრიგეთ ff_1 ხრახნის ტრიალით).

2) აითვალეთ, რა ფერის ზოლი რომელ დანაყოფს ემთხვევა და შეიტანეთ ცხრილში შესაბამი ტალღის სიგრძის გასწვრივ.

3) **ააგეთ გრაფიკი:** აბსცისათა ღერძზე გადაზომეთ სკალის დანაყოფების პროპორციული სიდიდეები, ხოლო ვერტიკალურ ღერძზე შესაბამ ტალღის სიგრძეთა პროპორციული სიდიდეები.



ნახ. 67.

4) ჩართეთ წრედში გეისლერის მილი წყალბადით და დაინიშნეთ, რა ფერის ხაზი რომელ დანაყოფს ემთხვევა.

5) აგებული გრაფიკის საშუალებით გაიგეთ წყალბადის გამოსხივების ფერების ტალღის სიგრძე.

აქვე მოცემულია ჰელიუმის მიერ გამოსხივებული ფერების ტალღის სიგრძეთა ცხრილი.

	კ ე ლ ი უ მ ი ს ა თ ვ ი ს			წ ყ ა ლ ბ ა დ ი ს ა თ ვ ი ს	
—	ფერები	ტალღის სიგრძე	სკალის დანაყოფი	სკალის დანაყოფი	ტალღის სიგრძე
1	I წითელი	706,8			
2	II წითელი	667,8			
3	ყვითელი	587,6			
4	მწვანე	500,6			
5	ლურჯი	471,3			
6	I იისფერი	447,1			
7	II იისფერი	402,6			

ამოცანა № 44

შთანთქმის სპექტრების შესწავლა

თუ გავარვარებული მყარი სხეულის მიერ გამოსხივებულ სხივებს გავატარებთ ფერად გარემოში (ფერადი მინა ან შეფერადებული სითხე) და შემდეგ სპექტროსკოპში, მაშინ მივიღებთ **შთანთქმის სპექტრს.**

შთანთქმის სპექტრში ზოგიერთი ზოლები მთლიანად ან ნაწილობრივ დაბნელებულია. ამ ზოლებს **შთანთქმის ზოლები** ეწოდება.

შთანთქმის ზოლების წარმოქმნა ასე აიხსნება:

გავარვარებულ მდგომარეობაში სხეული გამოასხივებს ყველა ფერის სხივებს; მაგრამ ზოგიერთ მათგანს შთანთქავს ის ფერადი გარემო, რომელშიც გავატარეთ სხივები. ამ შთანთქმული ფერების სხივების ადგილები სპექტრში ნაწილობრივ ან მთლიანად დაბნელებული რჩება.

შთანთქმის ზოლები სხვადასხვა მშთანთქმელ გარემოსათვის სხვადასხვაა.

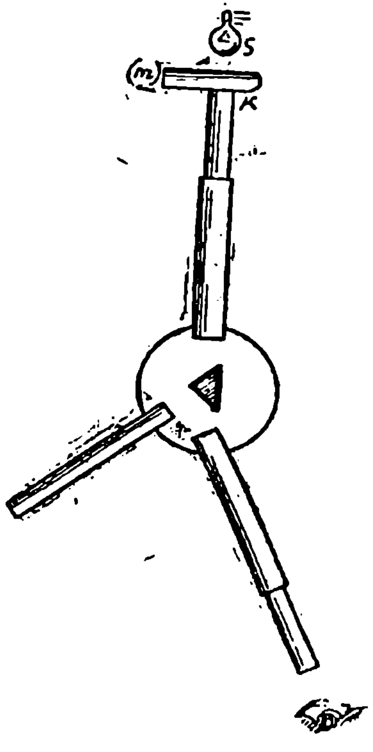
ცდის მსვლელობა: (ნახ. 68) 1) სპექტროსკოპის კოლიმატორის (K) ხვრელის წინ აანთეთ (S) ნათურა. სპექტროსკოპში დაინახავთ განუწყვეტელ სპექტრს (ვინაიდან ნათურის ძაფები გავარვარებულ მდგომარეობაში განუწყვეტელ სპექტრს მოგვცემს).

2) დაინიშნეთ ხილვადი ნაწილის ფერების ზღვრები სპექტროსკოპის სკალაზე.

3) ნათურასა და ხვრელს შორის მოათავსეთ ერთერთი ფერადი მინა ან სინჯარა (m) შეფერადებული სითხით. დაინიშნეთ ის შუა-

ლედი, რომელშიც მოხდა სრული შთანთქმა. თუ ზოგიერთმა ფერებმა განიცადა მხოლოდ ნაწილობრივი შთანთქმა, მაშინ ამ ფერების სიკაშკაშე ანუ ინტენსიობა შემცირდება. შთანთქმის ხარისხს შეამოწმებთ მიახლოებით თვალდათვალ და გამოსახავთ წილადით იმ ვარაუდით, რომ სრული შთანთქმა მიღებულია ერთეულად.

დაკვირვებათა შედეგს გამოხატავთ დიაგრამით:



ნახ. 68.

აბსცისათა ღერძზე გადაზომავთ სკალის დანაყოფებს, ორდინატთა ღერძზე კი ნებისმიერ მასშტაბში გამოსახულ შთანთქმის ხარისხს. თუ შთანთქმის ზოლი მოკვეთილია, მაშინ დიაგრამაზე ზოლის ზღვრები ღერძის მართობულია; თუ შთანთქმა თანდათან იზრდება ან მცირდება, მაშინ დიაგრამაზე მივიღებთ აღმავალ (ან დაღმავალ) მრუდს.

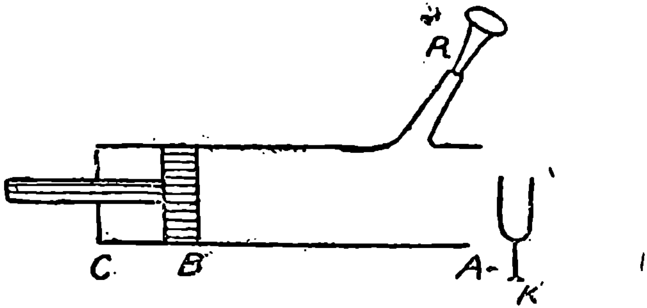
დაკვირვება უნდა აწარმოოთ სხვადასხვა ფერის მინებზე და სხვადასხვა ფერის ხსნარებზე.

დიაგრამას თითოეული მათგანისათვის ააგებთ ცალცალკე.

ამოცანა № 45

ბგერის სიჩქარის გამოთვლა კვინკეს ხელსაწყოთი

ხელსაწყოს აღწერა. კვინკეს ხელსაწყო (ნახ. 69) წარმოადგენს მილის ცილინდრს (CA), რომელიც დამაგრებულია (ჩაჭედილია) ხის ჩარჩოში. ამ ცილინდრში მოძრაობს დგუში (B), ამას გარდა ცილინდრს აქვს ხვრელი რეზინის მილით შეერთებული ძაბრთან[1] (R). ხის ჩარჩოზე მმ-იანი დანაყოფებია დგუშის (B) მდებარეობის გამოსარკვევად. ცდის დროს ცილანდრის ღია ბოლოსთან (A) ცილინდრის ღერძისადმი პერპენდიკულარულად K კამერტონს ათავსებენ.



ნახ. 69.

თეორია. ვთქვათ გვაქვს ცილინდრი (CA), რომლის ერთი ბოლო (C) დაკეტილია. ამ ცილინდრში მოძრავი დგუშის (B) საშუალებით მეორე ბოლო კი ღიაა (A). ღია ბოლოსთან მოვათავსოთ რაიმე ვიბრატორი (მაგ., კამერტონი—K), მაშინ ამ ვიბრატორის მიერ წარმოქმნილი ტალღები გავრცელდებიან AB სივრცეში, B დგუშის ზედაპირზე დაცემის შემდეგ აირეკლება და დაბრუნდება უკან.

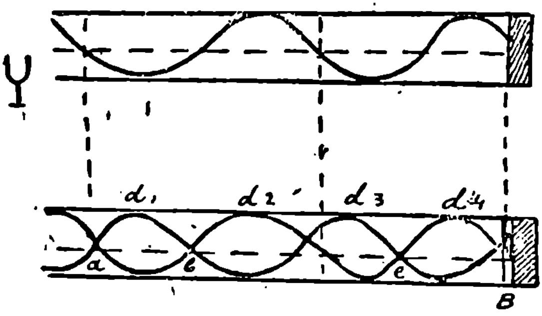
ამგვარად, AB სივრცეში წარმოიქმნება ორი შემხვედრი ტალღა. ამ მოვლენას **ინტერფერენცია ეწოდება.**

შემხვედრი სხივების ინტერფერენციის შედეგად იმ წერტილებში, სადაც ერთმანეთს შეხვდებიან, მოწინააღმდეგე ფაზაში მყოფი რყევები მოისპობა.

ამ წერტილებს **მდგარი ტალღის კვანძები** ეწოდებათ (a, b, c, e, B), საკვანძე წერტილებს შორის ჩვენ გვხვდება ისეთი წერტილები, რომლებიც თანხვდენილნია ფაზებით. ეს წერტილები მაქსიმალური ამპლიტუდებით ირყევიან. მათ **მდგარი ტალღის სიბურცეები** ეწო-

[1] ყურთან მისადებად.

დება. ზემოაღნიშნულის უფრო ნათელი წარმოდგენისათვის, 70 ნახაზზე სიგრძივი რყევები გამოსახულია სინუსოიდით. რადგან ერთნაირი ფაზის წერტილები პერიოდულად მეორდებიან ყოველ ორი სიბურცის ან ორი საკვანძე წერტილის შემდეგ, ამიტომ მანძილები, რომლებიც შეიცავენ ორ სიბურცეს (a-დან c-მდე. ან b-დან e-მდე). ან ორ კვანძს (d_1-დან d_3-მდე, ან d_2-დან d_4-მდე) უნდა წარმოადგენდნენ ტალღის სიგრძეს. იმავე ნახაზიდან ჩანს, რომ ცილინდრის გასწვრივ B დგუშამდე მოთავსდა ტალღის 9 მეოთხედი. დგუში რომ ყოფილიყო e წერტილში, მივიღებდით $^7/_4$ ტალღისას, β-ში — $^8/_4$ ტალღისას, და ა. შ.



ნახ. 70.

ყოვლად შეუძლებელია, რომ მოცემული სიხშირის კამერტონმა მოგვცეს მდგარი ტალღა B დგუშის სხვა მდგომარეობაში, გარდა ზემოაღნიშნულისა.

ამგვარად, ცილინდრში მოთავსებულ ჰაერის სვეტი (AB) ტალღის მეოთხედის კენტი რიცხვის ტოლი უნდა იყოს, ე. ი.

$$AB=(2n-1)\frac{\lambda}{4}.$$

ჰაერის სვეტი ამ შემთხვევაში შეგვიძლია განვიხილოთ, როგორც ახალი ვიბრატორი, რომლის რყევათა სიხშირე კამერტონის რყევის სიხშირის ტოლია. თეორიიდან კი ცნობილია, რომ ასეთ შემთხვევაში ადგილი უნდა ჰქონდეს რეზონანსის მოვლენას. ამის გამო ბგერა ცილინდრში ძლიერდება.

თუ ცნობილია კამერტონის სიხშირე[1] (γ) შეიძლება გამოვთვალოთ ბგერის სიჩქარე (v) შემდეგი განტოლებით

$$v=\gamma\lambda \qquad (1)$$

[1]) კამერტონზე დაწერილი.

აქ λ არის ტალღის სიგრძე, რომელსაც გამოვთვლით B დგუშის მდებარეობით.

(1) განტოლებით გამოითვლება ბგერის სიჩქარე (v) ოთახის ტემპერატურის დროს ($t^\circ C$). ახლა გამოვთვალოთ ბგერის სიჩქარე $0^\circ C$ დროს, თეორიიდან ცნობილია, რომ

$$v=v_0\sqrt{1+0{,}00367t},$$

საიდანაც

$$v_0=\frac{v}{\sqrt{1+0{,}00367t}}$$

ცდას ვახრულებთ ასეთი მიმდევრობით: 1. შევადგინოთ დაკვირვებათა ცხრილი.

2. დავაყენოთ (B) დგუში ცილინდრის ღია ბოლოსთან და ჩაქუჩის დარტყმით მოვიყვანოთ კამერტონი რყევაში (კამერტონი დავიჭიროთ AB ცილინდრის პერპენდიკულარულად).

3. ერთმა დამკვირვებელმა ყურზე მიიდოს ძაბრი, მეორემ კი—ამოძრაოს დგუში (B-ს) (ღია ბოლოდან—დახშულისაკენ).

4. ცილინდრში ბგერის გაძლიერების მომენტში სწრაფად ავითვალოთ დგუშის მდებარეობასა (n_1) და დგუშის ხელახლა გადაადგილებით ვიპოვოთ ბგერის გაძლიერების ახალი მომენტი (n_2).

5. ცხადია, რომ სხვაობა ამ ორ მდებარეობათა შორის ($n_2—n_1$) სმ წარმოადგენს ნახევარ ტალღას. მისი გაორკეცებით კი—მივიღებთ—მთელ ტალღას.

6. ცდა განვიმეოროთ რამდენიმეჯერ და გამოვთვალოთ ცთომილებანი.

დაკვირვებათა ცხრილი.

კამერტონის სიხშირე= ოთახის ტემპერატ. t°=

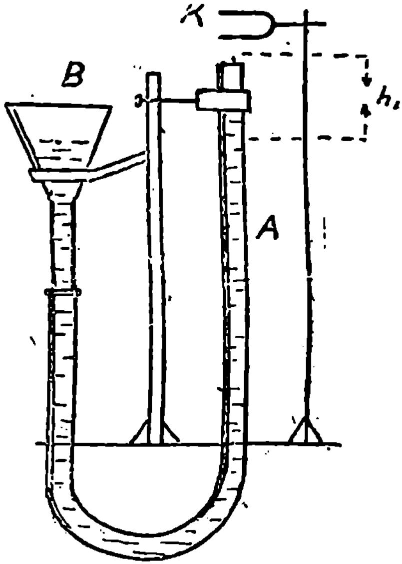
რიგის №	დგუშის მდებარეობა		ტალღის სიგრძე $\lambda=2(n_2—n_1)$	ბგერის სიჩქარე $v=\gamma\lambda$	v_0-სმ
	ბგერის პირველი გაძლიერების შემთხვევაში n_1-სმ	ბგერის მეორე გაძლიერების შემთხვევაში n_2-სმ			

ამოცანა № 46

კამერტონის სიხშირის განსაზღვრა რეზონანსის მეთოდით (კვინკეს ხერხი)

საჭირო ხელსაწყოები. ცილინდრული მილი (A), რომელიც რეზინის მილით შეერთებულია B ძაბრთან. ამ ძაბრში ჩასხმულია წყალი. A მილის თავზე შტატივზე ვამაგრებთ კამერტონს (K) ისე, რომ მისი ფეხით ირხეოდნენ A ცილინდრის ღერძის გასწვრივ.

თეორიიდან ცნობილია, რომ თუ კამერტონის (K) სიხშირე ტოლია იმ სიხშირისა, რომელიც აქვს ცილინდრ A-ში მოთავსებულ ჰაერის სვეტს, მაშინ უნდა მოხდეს რეზონანსი.



ნახ. 71.

თეორიის თანახმად რეზონანსისათვის საჭიროა, რომ ჰაერის სვეტის სიგრძე უნდა უდრიდეს კამერტონის მიერ წარმოშობილ ტალღის მეოთხედის კენტ რიცხვს

$$1\frac{\lambda}{4}, \quad 3\frac{\lambda}{4}, \quad 5\frac{\lambda}{4}, \quad 7\frac{\lambda}{4} \text{ და ა. შ.}$$

ჩავასხათ ძაბრში წყალი და მოვიყვანოთ კამერტონი რყევაში. შემდეგ ძაბრის მაღლა აწევით ან დაბლა დაწევით ვიპოვოთ წყლის

დონის ისეთი მდებარეობა A ცილინდრში, რომ ამ წყლის ზევით ჰაერის სვეტს (h_1) და კამერტონს (K) შორის დამყარდეს რეზონანსი.

ასეთივე გზით ვიპოვით ძაბრის დაწევით ჰაერის სვეტის ახალ სიმაღლეს (h_2), რომელიც რეზონანსში იქნება კამერტონთან.

ცხადია, რომ h_1 შეესაბამება $\frac{1}{4}\lambda$ და h_2—კი $\frac{3}{4}\lambda$ აქედან

$$h_2 - h_1 = \frac{\lambda}{2}$$

და კამერტონის მიერ წარმოშობილი ბგერის ტალღის სიგრძე

$$\lambda = 2\,(h_2 - h_1) \qquad (1)$$

ტალღის სიგრძე სიხშირესთან (γ) დაკავშირებულია შემდეგი განტოლებით:

$$\gamma = \frac{V}{\lambda} \qquad (2)$$

სადაც V ბგერის სიჩქარეა, რომელსაც გამოვთვლით ასე: ცნობილია, რომ ბგერის სიჩქარე 0^0-ზე არის 332 მ/წამში. ანუ 33200 სმ/წამში და ბგერის სიჩქარე—t^0-ზე (ოთახის ტემპერატურაზე) არის

$$V = 33200\sqrt{1+0{,}00367t}$$

V-ს ამ მნიშვნელობის შეტანით მე-(2) განტოლებაში და სიხშირისათვის (V) მივიღებთ საბოლოო ფორმულას

$$\boxed{\gamma = \frac{33200\sqrt{1+0{,}00367t}}{\lambda}}$$

ცდა **შემდეგი თანმიმდევრობით შევასრულოთ**: 1. შევადგინოთ დაკვირვებათა ცხრილი.

2. ჩავასხათ ძაბრში წყალი. ჩაქუჩის დარტყმით მოვიყვანოთ რყევაში შტატივზე დამაგრებული კამერტონის ფეხები ისე, რომ მათი რყევა ხდებოდეს ცილინდრის (—A-ს) ღერძის გასწვრივ.

3. ძაბრის აწევ-დაწევით მივაღწიოთ პირველი რეზონანსის დამყარებას და ავითვალოთ A ცილინდრში ჰაერის სვეტის სიმაღლე (h_1-სმ).

4. ძაბრის ხელახალი დაწევით ვიპოვოთ წყლის დონის ისეთი მდებარეობა, როდესაც მყარდება რეზონანსის მოვლენა ხელმეორედ. ჰაერის სვეტის სიმაღლე ამ შემთხვევაში იყოს—h_2 სმ.

5. გამოვთვალოთ $\lambda = 2\,(h_2 - h_1)$ სმ.

6. ავითვალოთ ოთახის ტემპერატურა ($t^\circ C$) და შესაბამი ფორმულით გამოვთვალოთ V.

$$V=33200\sqrt{1+0{,}00367t}\,.$$

7. გამოვთვალოთ კამერტონის სიხშირე ფორმულით

$$\gamma=\frac{33200\sqrt{1+0{,}00367t}}{\lambda}$$

8. გამოვთვალოთ ცთომილებანი.

დაკვირვებათა ცხრილი

რიგის №	ჰაერის სვეტის სიმაღლე		ტალღის სიგრძე $\lambda=2(h_2-h_1)$ სმ	ბგერის სიჩქარე V	კამერტონის სიხშირე γ
	პირველი რეზონანსის დროს h_1-სმ	მეორე რეზონანსის დროს h_2-სმ			

ტაბულა 1

ოთხნიშნა ლოგარითმების ტაბულა

პროპორციული ნაწილები

რიცხვ.	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	0000	0043	0086	0128	0170	0212	0253	0294	0334	0374	4	8	12	17	21	25	29	33	37
11	0414	0453	0492	0531	0569	0607	0645	0682	0719	0755	4	8	11	15	19	23	26	30	34
12	0792	0828	0864	0899	0934	0969	1004	1038	1072	1106	3	7	10	14	17	21	24	28	31
13	1139	1173	1206	1239	1271	1303	1335	1367	1399	1430	3	6	10	13	10	19	23	26	29
14	1461	1492	1523	1553	1584	1614	1644	1673	1703	1732	3	6	9	12	15	18	21	24	27
15	1761	1790	1818	1847	1875	1903	1931	1959	1987	2014	3	6	8	11	14	17	20	22	25
16	2041	2068	2095	2122	2148	2175	2201	2227	2253	2279	3	5	8	11	13	16	18	21	24
17	2304	2380	2355	2380	2405	2430	2455	2480	2504	2529	2	5	7	10	12	15	19	20	22
18	2553	2577	2601	2625	2648	2672	2695	2718	2742	2765	2	5	7	9	12	14	16	19	21
19	2788	2810	2833	2856	2878	2600	2923	2945	2967	2989	2	4	7	6	11	13	16	18	20
20	3010	3032	3054	3075	3096	3118	3139	3160	3181	3201	2	4	6	8	11	13	15	17	19
21	3222	3243	3263	3284	3304	3324	3345	3365	3385	3404	2	4	6	8	10	12	14	16	18
22	3424	3444	3464	3483	3502	3522	3541	3560	3579	3598	2	4	6	8	10	12	14	15	17
23	3617	3636	3655	3674	3692	3711	3729	3747	3766	3784	2	4	6	7	9	11	13	15	17
24	3802	3820	3838	3856	3874	3892	3909	3929	3945	3962	2	4	5	7	9	11	12	14	16
25	3979	3997	4014	4031	4048	4065	4082	4099	4116	4133	2	3	5	7	9	10	12	14	15
26	4150	3166	4183	4200	4216	4232	4249	4265	4281	4298	2	3	5	7	8	10	11	13	15
27	4314	4330	4346	4362	4378	4393	4409	4425	4410	4456	2	3	5	6	8	9	11	13	14
28	4472	4487	4502	4518	4583	4548	4564	4579	4594	4609	2	3	5	6	8	9	11	12	14
29	4624	4639	4654	4669	4683	4698	4713	4728	4742	4757	1	3	4	6	7	9	10	12	13
30	4771	4786	4800	4814	4829	4843	4857	4871	4886	4900	1	3	4	6	7	9	10	11	13
31	4914	3928	4942	4955	4969	4983	4997	5011	5024	5038	1	3	4	6	7	8	19	11	12
32	5051	5065	5079	5092	4105	5119	5132	5145	5159	5172	1	3	4	5	7	8	9	11	12
33	5185	5198	5211	5224	5237	5250	5263	5276	5289	5302	1	3	4	5	6	8	9	10	12
34	5315	5328	5340	5353	5366	5378	5391	5403	5416	5428	1	3	4	5	6	8	9	10	11
35	5441	5453	5465	5478	5490	5502	5514	5527	5539	5551	1	2	4	5	6	7	8	10	11
36	5563	5575	5587	5599	5611	5623	5635	5647	5658	5670	1	2	4	5	6	7	8	10	11
37	5682	5694	5705	5717	5729	5740	5752	5763	5775	5786	1	2	3	5	6	7	8	9	10
38	5798	5809	5821	5832	5843	5855	5866	5877	5888	5899	1	2	3	5	6	7	8	9	10
39	5911	5922	5633	5944	5955	5966	5977	5688	5999	6010	1	2	3	4	5	7	8	9	10
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	1	2	3	4	5	6	7	8	9

პროპორციული ნაწილები

რიცხვი	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	1	2	3	4	5	6	7	8	9
40	6021	6031	6042	6053	6064	6075	6085	6096	6107	6117	1	2	3	4	5	6	8	9	10
41	6128	6138	6149	6160	6170	6180	6191	6201	6212	6222	1	2	3	4	5	6	7	8	9
42	6232	6243	6253	6263	6274	6284	6294	6304	6314	6325	1	2	3	4	5	6	7	8	9
43	6335	6345	6355	6365	6375	6385	6395	6405	6415	6425	1	2	3	4	5	6	7	8	9
44	6435	6444	6454	6464	6474	6484	6493	6505	6513	6522	1	2	3	4	5	6	7	8	9
45	6532	6542	6551	6561	6571	6580	6590	6599	6609	6618	1	2	3	4	5	6	7	8	9
46	6628	6637	6646	6656	6665	6675	6684	6693	6702	6712	1	2	3	4	5	6	7	7	8
47	6721	6730	6739	6749	6758	6767	6776	6785	6794	6803	1	2	3	4	5	5	6	7	8
48	6812	6821	6830	6839	6848	6857	6866	6875	6884	6893	1	2	3	4	4	5	6	7	8
49	6902	6911	6920	6928	6937	6946	6955	6964	6972	6981	1	2	3	4	4	5	6	7	8
50	6990	6998	7007	7016	7024	7033	7042	7050	7559	7067	1	2	3	3	4	5	6	7	8
51	7076	7084	7093	7101	7110	7118	7126	7135	7143	7152	1	2	3	3	4	5	6	7	8
52	7160	7168	7177	7185	7193	7202	7210	7218	7226	7235	1	2	2	3	4	5	6	7	8
53	7243	7251	7259	7267	7275	7284	7292	7300	7308	7316	1	2	2	3	4	5	6	6	7
54	7324	7332	7340	7348	7356	7364	7372	7380	7388	7396	1	2	2	3	4	5	6	6	7
55	7404	7412	7419	7427	7435	7443	7351	7459	7466	7374	1	2	2	3	4	5	5	6	7
56	7482	7490	7497	7505	7513	7520	7528	7536	7543	7551	1	2	2	3	4	5	5	6	7
57	7559	7566	7574	7582	7589	7597	7604	7612	7619	7627	1	2	2	3	4	5	5	6	7
58	7634	7642	7649	7657	7665	7672	7679	4686	7694	7701	1	1	2	3	4	4	5	6	7
59	7709	7716	7723	7731	7738	7745	7752	7760	7767	7774	1	1	2	3	4	4	5	6	7
60	7782	7789	7796	7803	7810	7818	7825	7832	7839	7846	1	1	2	3	4	4	5	6	6
61	7853	7860	7868	7875	7882	7889	7896	7903	7910	7917	1	1	2	3	4	4	5	6	6
62	7924	7931	7938	7945	7952	7959	7966	7973	7980	7987	1	1	2	3	3	4	5	6	6
63	7993	8000	8007	8014	8021	8028	8035	8011	8048	8055	1	1	2	3	3	4	5	6	6
64	8062	8069	8075	8082	8089	8096	8102	8109	8116	8122	1	1	2	3	3	4	5	5	6
65	8129	8136	8142	8149	8156	8162	8169	8176	8182	8189	1	1	2	3	3	4	5	5	6
66	8195	8202	8209	8215	8222	8228	8235	8241	8248	8254	1	1	2	3	3	4	5	5	6
67	8261	8267	8274	8280	8287	8293	8299	8306	8312	8319	1	1	2	3	3	4	5	5	6
68	8325	8331	8338	8344	8351	8357	8363	8370	8376	8382	1	1	2	3	3	4	4	5	6
69	8388	8395	8401	8407	8414	8420	8426	8432	8439	8445	1	1	2	3	3	4	4	5	6
რიცხვი	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	1	2	3	4	5	6	7	8	9

რიცხვ.	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	პროპორციული ნაწილები 1	2	3	4	5	6	7	8	9
70	8451	8457	8463	8470	8476	8482	8488	8494	8500	8506	1	1	2	2	3	4	4	5	6
71	8513	8519	8525	8531	8537	8543	8549	8555	8561	8567	1	1	2	2	3	4	4	5	5
72	8573	8579	8585	8591	8597	8603	8609	8615	8621	8627	1	1	2	2	3	4	4	5	5
73	8633	8639	8645	8651	8657	8663	8669	8675	8681	8686	1	1	2	2	3	4	4	5	5
74	8692	8698	8704	8710	8716	8722	8727	8733	8739	8745	1	1	2	2	3	4	4	5	5
75	8751	8756	8762	8768	8774	8779	8785	8791	8797	8802	1	1	2	2	3	3	4	5	5
76	8808	8814	8820	8825	8831	8837	8842	8848	8854	8859	1	1	2	2	3	3	4	5	5
77	8865	8871	8876	8882	8887	8893	8899	8904	8910	8915	1	1	2	2	3	3	4	4	5
78	8921	8927	8632	8938	8943	8949	8954	8960	8965	8971	1	1	2	2	3	3	4	4	5
79	8976	8982	8687	8993	8998	9004	9009	9015	9020	9025	1	1	2	2	3	3	4	4	5
80	9031	9036	9042	9047	9053	9058	9063	9069	9074	9079	1	1	2	2	3	3	4	4	5
81	9085	9090	9096	9101	9106	9112	9117	9122	9128	9133	1	1	2	2	3	3	4	4	5
82	9138	9143	9149	9154	9159	9165	9170	9175	9180	9186	1	1	2	2	3	3	4	4	5
83	9191	9196	9201	9206	9212	9217	9222	9227	9232	9238	1	1	2	2	3	3	4	4	5
84	9243	9248	9253	9258	9263	6269	9274	9279	9284	9289	1	1	2	2	3	3	4	4	5
85	9294	9299	9304	9309	9315	9320	9325	9330	9335	9340	1	1	2	2	3	3	4	4	5
86	9345	9350	9355	9360	9365	6370	9375	9380	9385	9390	1	1	2	2	3	3	4	4	5
87	9395	9400	9405	9410	9415	9420	9425	9430	9435	9440	0	1	1	2	2	3	3	4	4
88	9445	9450	9455	9460	9465	9469	9474	9479	9484	9489	0	1	1	2	2	3	3	4	4
89	9494	9499	9505	9509	9513	9518	9523	9528	9533	9535	0	1	1	2	2	3	3	4	4
90	9542	9547	9552	9557	9562	9566	9571	9576	9581	9586	0	1	1	2	2	3	3	4	4
91	9590	9595	9600	9605	9609	9614	9619	9624	9628	9633	0	1	1	2	2	3	3	4	4
92	9638	9643	9647	9652	9657	9661	9666	9671	2675	9680	0	1	1	2	2	3	3	4	4
93	9685	9689	9694	9699	9703	9708	9713	9717	9722	9727	0	1	1	2	2	3	3	4	4
94	9731	9736	9741	9745	9550	9754	9759	9763	9768	9773	0	1	1	2	2	3	3	4	4
95	9777	9782	9786	9791	9795	9800	9805	9809	9814	9818	0	1	1	2	2	3	3	4	4
96	9823	9827	9832	9836	9841	9845	9850	9854	9859	9863	0	1	1	2	2	3	3	4	4
97	9868	9872	9877	9881	9886	9890	9894	9899	9903	9908	0	1	1	2	2	3	3	4	4
98	9912	9917	9921	9926	9930	9934	9939	9943	9948	9952	0	1	1	2	2	3	3	4	4
99	9956	9961	9965	9969	9974	9978	9983	9987	9991	9996	0	1	1	2	2	3	3	3	4
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	1	2	3	4	5	6	7	8	9

ტაბულა № 2

ანტილოგარითმები

პროპორციული ნაწილები

Log	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	1	2	3	4	5	6	7	8	9
.00	1000	1002	1005	1007	1009	1012	1014	1016	1019	1021	0	0	1	1	1	1	2	2	2
.01	1023	1026	1028	1030	1033	1035	1038	1040	1042	1045	0	0	1	1	1	1	2	2	2
.02	1047	1050	1052	1054	1057	1059	1062	1064	1067	1069	0	0	1	1	1	1	2	2	2
.03	1072	1074	1076	1079	1081	1084	1086	1089	1091	1094	0	0	1	1	1	1	2	2	2
.04	1096	1099	1102	1104	1107	1109	1112	1114	1117	1119	0	1	1	1	1	1	2	2	2
.05	1122	1125	1127	1130	1132	1135	1138	1140	1143	1146	0	1	1	1	1	2	2	2	2
.06	1148	1151	1153	1156	1159	1161	1164	1167	1169	1172	0	1	1	1	1	2	2	2	2
.07	1175	1178	1180	1183	1186	1189	1191	1194	1197	1199	0	1	1	1	1	2	2	2	2
.08	1202	1205	1208	1211	1213	1216	1219	1222	1225	1227	0	1	1	1	1	2	2	2	3
[illegible]	1230	1233	1236	1239	1242	1145	1247	1250	1253	1256	0	1	1	1	1	2	2	2	3
.10	1259	1262	1265	1268	1271	1274	1276	1279	1282	1285	0	1	1	1	1	2	2	2	3
.11	1288	1291	1294	1297	1300	1303	1306	1309	1312	1315	0	1	1	1	2	2	2	2	3
.12	1318	1321	1324	1327	1330	1334	1337	1340	1343	1346	0	1	1	1	2	2	2	2	3
.13	1349	1352	1355	1358	1361	1365	1368	1371	1374	1377	0	1	1	1	2	2	2	3	3
.14	1380	1384	1387	1390	1393	1396	1400	1403	1406	1409	0	1	1	1	2	2	2	3	3
.15	1413	1416	1419	1422	1426	1429	1432	1435	1439	1442	0	1	1	1	2	2	2	3	3
.16	1445	1449	1452	1455	1459	1462	1466	1469	1472	1476	0	1	1	1	2	2	2	3	3
.17	1479	1483	1486	1489	1493	1496	1500	1503	1507	1510	0	1	1	1	2	2	2	3	3
.18	1514	1517	1521	1524	1528	1531	1535	1538	1542	1545	0	1	1	1	2	2	2	3	3
.19	1549	1552	1556	1560	1563	1567	1570	1574	1578	1581	0	1	1	1	2	2	2	3	3
.20	1585	1589	1592	1596	1600	1603	1607	1611	1614	1618	0	1	1	1	2	2	3	3	3
.21	1622	1626	1629	1633	1637	1641	1644	1648	1652	1656	0	1	1	2	2	2	3	3	3
.22	1660	1663	1667	1671	1675	1679	1683	1687	1690	1694	0	1	1	2	2	2	3	3	3
.23	1698	1702	1706	1710	1714	1718	1722	1726	1730	1734	0	1	1	2	2	2	3	3	4
.24	1738	1742	1746	1750	1754	1758	1762	1766	1770	1774	0	1	1	2	2	2	3	3	4
.25	1778	1782	1786	1791	1795	1799	1803	1807	1811	1816	0	1	1	2	2	2	3	3	4
.26	1820	1824	1828	1832	1837	1841	1845	1849	1854	1858	0	1	1	2	2	3	3	3	4
.27	1862	1866	1871	1875	1879	1884	1888	1892	1897	1901	0	1	1	2	2	3	3	3	4
.28	1905	1910	1914	1919	1923	1928	1932	1936	1941	1945	0	1	1	3	2	3	3	4	4
.29	1950	1954	1959	1963	1968	1972	1977	1982	1986	1991	0	1	1	2	2	3	3	4	4
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	1	2	3	4	5	6	7	8	9

პროპორციული ნაწილები

Log	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	1	2	3	4	5	6	7	8	9
.30	1995	2000	2004	2009	2014	2018	2023	2028	2032	2037	0	1	1	2	2	3	3	4	4
.31	2042	2046	2051	2056	2061	2065	2070	2075	2080	2084	0	1	1	2	2	3	3	4	4
.32	2069	2094	2099	2104	2109	2113	2118	2123	2128	2133	0	1	1	2	2	3	3	4	4
.33	2138	2143	2148	2153	2158	2163	2168	2173	2178	2183	0	1	1	2	2	3	3	4	4
.34	2188	2193	2198	2203	2208	2213	2218	2223	2228	2234	1	1	2	2	3	3	4	4	5
.35	2239	2244	2249	2254	2259	2265	2270	2275	2280	3286	1	1	2	2	3	3	4	4	5
.36	2291	2296	2301	2307	2312	2317	2323	2328	2333	2339	1	1	2	2	3	3	4	4	5
.97	2344	2350	2355	2360	2366	2371	2377	2382	2388	2393	1	1	2	2	3	3	4	4	5
.38	2399	2404	2410	2415	2421	2427	2432	2438	2443	2449	1	1	2	2	3	3	4	4	5
.39	2455	2460	2466	2472	2477	2483	2489	2495	2500	2506	1	1	2	2	3	3	4	5	5
.40	2512	2518	2523	2529	2535	2541	2547	2553	2559	2564	1	1	2	2	3	4	4	5	5
41	2570	2576	2582	2588	2594	2600	2606	2612	2618	2624	1	1	2	2	3	4	4	5	5
.42	2630	2636	2642	2649	2655	2661	2667	2673	2679	2685	1	1	2	2	3	4	4	5	6
.43	2692	2698	2704	2710	2716	2723	2729	2735	2742	2748	1	1	2	3	3	4	4	5	6
.44	2754	2761	2767	2773	2780	2786	2793	2799	2805	2812	1	1	2	3	3	4	4	5	6
.45	2818	2825	2831	2838	2344	2851	2858	2864	2871	2877	1	1	2	3	3	4	5	5	6
.46	2884	2891	2897	2904	2911	2917	2924	2931	2938	2944	1	1	2	3	3	4	5	5	6
.47	2951	2958	2965	2972	2979	2985	2992	2999	3006	3013	1	1	2	3	3	4	5	5	6
.48	3020	3027	3034	3041	3048	3055	3062	3069	3076	3083	1	1	2	3	4	4	5	6	6
.49	3090	3097	3105	3112	3119	3126	3133	3141	3148	3155	1	1	2	3	4	4	4	6	6
.50	3162	3170	3177	3184	3192	3199	3206	3214	3221	3228	1	1	2	3	4	4	5	6	7
.51	3236	3243	3251	3258	3266	3273	3281	3289	3296	3304	1	2	2	3	4	5	5	6	7
.52	3311	3319	3327	3334	3342	3350	3357	3365	3373	3381	1	2	2	3	4	5	5	6	7
.53	3388	3396	3404	3412	3420	3428	3436	3443	3451	3459	1	2	2	3	4	5	6	6	7
.54	3467	3475	3483	3491	3499	3508	3516	3524	3532	3540	1	2	2	3	4	5	6	6	7
.55	3548	3556	3565	3573	3581	3589	3597	3606	3614	3622	1	2	2	3	4	5	6	7	7
.56	3631	3639	2648	3656	3664	3673	3681	3690	3693	3707	1	2	3	3	4	5	6	7	8
57	3715	3724	3733	3741	3750	3758	3767	3776	3784	3793	1	2	3	3	4	5	6	7	8
.58	3802	3811	3819	3823	3837	3846	3855	3864	3873	3882	1	2	3	4	5	5	6	7	8
.59	3890	3899	3908	3917	3926	3936	3945	3954	3963	3972	1	2	3	4	5	5	6	7	8
.60	3981	3990	3999	4009	4018	4027	4036	4046	4055	4064	1	2	3	4	5	6	6	7	8
.61	4074	4083	4093	4102	4111	4121	4130	4140	4150	4159	1	2	3	4	5	6	7	8	9
.62	4169	4178	4188	4198	4207	4217	4227	4236	4246	4256	1	2	3	4	5	6	7	8	9
.63	4266	4276	4285	4295	4305	4315	4325	4335	4345	4355	1	2	3	4	5	6	7	8	9
.64	4365	4375	4385	4395	4406	4416	4426	4436	4446	4457	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	1	2	3	4	5	6	7	8	9

პროპორციული ნაწილები

Log	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	1	2	3	4	5	6	7	8	9
.65	4467	4477	4487	4498	4508	4519	4529	4539	4550	4560	1	2	3	4	5	6	7	8	9
.66	4571	4581	4592	4603	4613	4624	4634	4645	4656	4667	1	2	3	4	5	6	7	9	10
.67	4677	4688	4699	4710	4721	4732	4742	4753	4764	4775	1	2	3	4	5	7	8	9	10
.68	4786	4797	4808	4819	4831	4842	4853	4864	4875	4887	1	2	3	4	6	7	8	9	10
.69	4898	4909	4920	4932	4943	4955	4966	4977	4989	5000	1	2	3	5	6	7	8	9	10
.70	5012	5023	5035	5047	5058	5070	5082	5093	5105	5117	1	2	4	5	6	7	8	9	11
.71	5129	5140	5152	5164	5176	5188	5200	5212	5224	5236	1	2	4	5	6	7	8	10	11
.72	5248	5260	5272	5284	5297	5309	5321	5333	5346	5358	1	2	4	5	6	7	9	10	11
.73	5370	5383	5395	5408	5420	5433	5445	5458	5470	5483	1	3	4	5	6	8	9	10	11
.74	5495	5508	5521	5534	5546	5559	5572	5585	5598	5610	1	3	4	5	6	8	9	10	12
.75	5623	5636	5649	5662	5675	5689	5702	5715	5728	5741	1	3	4	5	7	8	9	10	12
.76	5754	5768	5781	5794	5808	5821	5834	5848	5861	5875	1	3	4	5	7	8	9	10	12
.77	5888	5902	5916	5929	5943	5957	5970	5984	5998	6012	1	3	4	5	7	8	10	11	12
.78	6026	6039	6053	6067	6081	6095	6109	6124	6138	6152	1	3	4	6	7	8	10	11	13
.79	6166	6180	6194	6209	6223	6237	6252	6266	6281	6295	1	3	4	6	7	9	10	11	13
.80	6310	6324	6339	6353	6368	6383	6397	6412	6427	6442	1	3	4	6	7	9	10	12	13
.81	6457	6471	6486	6501	6516	6531	6546	6561	6577	6592	2	3	5	6	8	9	11	12	14
.82	6607	6622	6637	6653	6668	6683	6699	6714	6730	6745	2	3	5	6	8	9	11	12	14
.83	6761	6776	6792	6808	6823	6839	6855	6871	6887	6902	2	3	5	6	8	9	11	13	14
.84	6918	6934	6950	6966	6982	6998	7015	7031	7047	7063	2	3	5	6	8	10	11	13	15
.85	7079	7096	7112	7129	7145	7161	7178	7194	7211	7228	2	3	5	7	8	10	12	13	15
.86	7244	7261	7278	7295	7311	7328	7345	7362	7379	7396	2	3	5	7	8	10	12	13	15
.87	7413	7430	7447	7464	7482	7499	7516	7534	7551	7568	2	3	5	7	9	10	12	14	16
.88	7586	7603	7621	7638	7656	7674	7691	7709	7727	7745	2	4	5	7	9	11	12	14	16
.89	7762	7780	7798	7816	7834	7852	7870	7889	7907	7925	2	4	5	7	9	11	13	14	16
.90	7943	7962	7980	7998	8017	8035	8054	8072	8091	8110	2	4	6	7	9	11	13	15	17
.91	8128	8147	8166	8185	8204	8222	8241	8260	8279	8299	2	4	6	8	9	11	13	15	17
.92	8318	8337	8356	8375	8395	8414	8433	8453	8472	8492	2	4	6	8	10	12	14	15	17
.93	8511	8531	8551	8570	8590	8610	8630	8650	8670	8690	2	4	6	8	10	12	14	16	18
.94	8710	8730	8750	8770	8790	8810	8831	8851	8872	8892	2	4	6	8	10	12	14	16	18
.95	8913	8933	8954	8974	8995	9016	9036	9057	9078	9099	2	4	6	8	10	12	15	17	19
.96	9120	9141	9162	9183	9204	9226	9247	9268	9290	9311	2	4	6	8	11	13	15	17	19
.97	9333	9354	9376	9397	9419	9441	9462	9484	9506	9528	2	4	7	9	11	13	15	17	20
.98	9550	9572	9594	9616	9638	9661	9683	9705	9727	9750	2	4	7	9	11	13	16	18	20
.99	9772	9795	9817	9840	9863	9886	9908	9931	9954	9977	2	5	7	9	11	14	16	18	20
	0	1	2	3	3	5	6	7	8	9	1	2	3	4	5	6	7	8	9

ტაბულა № 3

რიცხვები	ლოგა-რითმები	რიცხვები	ლოგა-რითმები
[1]) $\pi = 3{,}14159$	0,49715	[2]) $\frac{1}{\pi} = 0{,}31831$	$\bar{1}{,}50285$
$2\pi = 6{,}28319$	0,79818		
$\frac{\pi}{4} = 0{,}78540$	$\bar{1}{,}89509$	$\frac{1}{2\pi} = 0{,}15915$	$\bar{1}{,}20182$
$\frac{\pi}{6} = 0{,}52360$	$\bar{1}{,}71900$	$\frac{4}{\pi} = 1{,}27324$	0,10491
$\frac{4\pi}{3} = 4{,}18879$	0,62209	$\frac{6}{\pi} = 1{,}90986$	0,28100
		$\frac{3}{4\pi} = 0{,}23873$	$\bar{1}{,}37791$
$\frac{\pi}{360} = 0.00873$	$\bar{3}{,}94085$	$\frac{360}{\pi} = 114{,}59156$	2,05915
$\pi^2 = 9{,}86960$	0,99430	$\frac{1}{\pi^2} = 0{,}10132$	$\bar{1}{,}00570$
$\sqrt{\pi} = 1{,}77245$	0,24857		
$\sqrt[3]{\frac{\pi}{6}} = 0{,}80600$	$\bar{1}{,}90633$	$\sqrt{\frac{1}{\pi}} = 0{,}56419$	$\bar{1}{,}75143$
$\sqrt[3]{\frac{4\pi}{3}} = 1{,}61199$	0,20736	$\sqrt[3]{\frac{6}{\pi}} = 1{,}24070$	0,09367
წრ. სრ. რკალი$=360^\circ$	2,55630	$\sqrt[3]{\frac{3}{4\pi}} = 0{,}62035$	$\bar{1}{,}79264$
$= 21600'$	4,33445		
		რადიანი $=57^\circ{,}17'44''{,}806$	
$=1296000''$	6,11261	$=57^\circ 29578$	1,75812
[3]) $e=2{,}71828$	0,43429	$=3437'{,}747$	3,53627
		$206264''{,}8$	5,31443
		$M=lge=0{,}43429$	$\bar{1}{,}63778$

[1]) $\pi=3{,}14159\ 26535\ 89793\ 23846...$
[2]) $1/\pi=0{,}31830\ 98861\ 83790\ 67153...$
[3]) ნეპერის ლოგარითმების ფუძე $e=2{,}71828\ 18284...$

ტ ა ბ უ ლ ა № 4

ნატურალური ტანგენსები

	0′ 0°.0	6′ 0°.1	12′ 0°.2	18′ 0°.3	24′ 0°.4	30′ 0°.5	36′ 0°.6	42′ 0°.7	48′ 0°.8	54′ 0°.9	საშუალო სხვაობანი 1	2	3	4	5
0	.0000	0017	0035	0052	0070	0087	0105	0122	0140	0157	3	6	9	12	15
1	.0175	0192	0209	0227	0244	0262	0279	0297	0314	0332	3	6	9	12	15
2	.0349	0367	0384	0402	0419	0437	0454	0672	0489	0507	3	6	9	12	15
3	.0524	0542	0559	0577	0594	0612	0629	0647	0664	0682	3	6	9	12	15
4	.0699	0717	0734	0752	0760	0787	0805	0822	0840	0857	3	6	9	12	15
5	.0875	0892	0910	0928	0945	0963	0981	0998	1016	1033	3	6	9	12	15
6	.1051	1069	1086	1104	1122	1139	1157	1175	1192	1210	3	6	9	12	15
7	.1228	1246	1263	1281	1299	1317	1334	1352	1370	1388	3	6	9	12	15
8	.1405	1423	1441	1459	1477	1495	1512	1530	1548	1566	3	6	9	12	15
9	1584	1602	1620	1638	1655	1673	1691	1709	1727	1745	3	6	9	12	15
10	.1763	1781	1799	1817	1835	1853	1871	1890	1908	1926	3	6	9	12	15
11	.1944	1962	1980	1998	2016	2035	2053	2071	2089	2107	3	6	9	12	15
12	.2126	2144	2162	2180	2199	2217	2235	2254	2272	2290	3	6	9	12	15
13	.2309	2327	2345	2364	2382	2401	2419	2438	2456	2475	3	6	9	12	15
14	.2493	2512	2530	2549	2568	2586	2605	2623	2642	2661	3	6	9	12	16
15	.2679	2698	2717	2736	2754	2773	2792	2811	2830	2849	3	6	9	13	16
16	.2867	2886	2905	2924	2943	2962	2981	3000	3019	3038	3	6	9	13	16
17	.3057	3076	3096	3115	3134	3153	3172	3191	3211	3230	3	6	10	13	16
18	.3249	3269	3288	3307	3327	3346	3365	3385	3404	3424	3	6	10	13	16
19	.3443	3463	3482	3502	3522	3541	3561	3581	3600	3620	3	7	10	13	16
20	.3640	3659	3679	3699	3719	3739	3759	3779	3799	3819	3	7	10	13	17
21	.3839	3859	3879	3899	3919	3939	3959	3979	4000	4020	3	7	10	13	17
22	.4040	4061	4081	4101	4122	4142	4163	4183	4204	4224	3	7	10	14	17
23	.4245	4265	4286	4307	4327	4348	4369	4390	4411	4431	3	7	10	14	17
24	.4452	4473	4494	4515	4536	4557	4578	4599	4621	4642	4	7	11	14	18
25	.4663	4684	4706	4727	4748	4770	4791	4813	4834	4856	4	7	11	14	18
26	.4877	4899	4921	4942	4964	4986	5008	5029	5051	5073	4	7	11	15	18
27	.5095	5117	5139	5161	5184	5206	5228	5250	5272	5295	4	7	11	15	18
28	.5317	5340	5362	5384	5407	5430	5452	5475	5498	5520	4	8	11	15	19
29	.5543	5566	5589	5612	5635	5658	5681	5704	5727	5750	4	8	12	15	19
30	.5774	5797	5820	5844	5867	5890	5914	5938	5961	5935	4	8	12	16	20
31	.6009	6032	6056	6080	6104	6128	6152	6176	6200	6224	4	8	12	16	20
32	.6249	6273	6297	6322	6346	6371	6395	6420	6445	6469	4	8	12	16	20
33	.6494	6519	6544	6569	6594	6619	6644	6669	6694	6720	4	8	13	17	21
34	.6745	6771	6796	6832	6847	6873	6899	6924	6950	6976	4	9	13	17	21
35	.7002	7028	7054	7080	7107	7133	7159	7186	7212	7239	4	9	13	18	22
36	.7265	7292	7319	7346	7373	7400	7427	7454	7481	7508	5	9	14	18	23
37	.7536	7563	7590	7618	7646	7673	7701	7729	7757	7785	5	9	14	18	23
38	7813	7841	7869	7898	7926	7954	7983	8012	8040	8069	5	9	14	19	24
39	.8098	8127	8156	8185	8214	8243	8273	8302	8332	8361	5	10	15	20	24
40	.8391	8421	8451	8481	8511	8541	8571	8601	8632	8662	5	10	15	20	25
41	.8693	8724	8754	8785	8816	8847	8878	8910	8941	8972	5	10	16	21	26
42	.9004	9036	9067	9099	9131	9163	9195	9228	9260	9293	5	11	16	21	27
43	.9325	9358	9391	9424	9457	9490	9523	9556	9590	9623	6	11	17	22	28
44	.9657	9691	9725	9759	1993	9327	6861	9896	9930	9965	6	11	17	23	29

ნატურალური ტანგენსები

	0′	6′	12′	18′	24′	30′	36′	42′	48′	54′	საშუალო სხვაობანი				
	0°.0	0°.1	0°.2	0°.3	0°.4	0°.5	0°.6	0°.7	0° 8	0°.9	1	2	3	4	5
45	1.0000	0035	0070	0105	0141	0176	0212	0247	0283	0319	6	12	10	24	30
46	1.0355	0392	0428	0464	0501	0538	0575	0612	0649	0686	9	12	18	25	31
47	1.0724	0761	0799	0837	0875	0913	0951	0990	1028	1067	6	13	19	25	32
48	1.1106	1145	1184	1224	1263	1303	1343	1383	1423	1463	7	18	20	27	33
49	1.1504	1544	1585	1626	1667	1708	1750	1792	1833	1875	7	14	21	28	34
50	1 1918	1960	2002	2045	2088	2131	2174	2218	2261	2305	7	14	22	29	36
51	1.2349	2393	2437	2182	2527	2572	2617	2662	2708	2753	8	15	23	30	38
52	1.2799	2846	2892	2938	2985	3032	3079	3127	3175	3222	8	16	24	31	39
53	1 3270	3319	3367	3416	3465	3514	3564	3613	3663	3713	8	16	25	33	41
54	1.3764	3814	3865	3916	3968	4019	4071	4124	4176	4229	9	17	26	34	43
55	1.4281	4335	4388	4442	4496	4550	4605	4659	4715	4770	9	18	27	36	45
56	1 4826	4882	4938	4994	5051	5108	5166	5224	5282	5340	10	19	29	38	48
56	1.5399	5458	5517	5577	5637	5697	5757	5818	5880	9941	10	20	30	40	50
58	1.6003	6066	6128	6191	6255	6319	6383	6447	6512	6577	11	21	32	43	53
59	1.6643	6709	6775	6842	6909	6977	7045	7113	7182	7251	11	23	34	45	56
60	1.7321	7391	7461	7532	7603	7675	7747	7820	7893	7966	12	24	36	48	60
61	1 8045	8115	8190	8265	8341	8418	8495	8572	8650	8728	13	26	38	51	64
62	1 8807	8687	8967	9047	9128	9210	9292	9375	9458	9542	14	27	41	55	68
63	1.9626	9711	9797	9883	9970	2·0057	2.0145	2·0233	2.0323	2.0413	15	29	44	58	73
64	2.0503	0594	0686	0778	0872	0965	1060	1155	1251	1348	16	31	47	63	78
65	2.1445	1543	1642	1742	1842	1943	2045	2148	2251	2355	17	34	51	68	85
66	2.2460	2566	2673	2781	2889	2998	3109	3220	3332	3445	18	37	55	73	92
67	2.3559	3673	3789	3906	4023	4142	4262	4383	4504	4627	20	40	60	79	99
68	2.4751	4876	5002	5129	5257	5386	5517	5649	5782	5916	22	43	65	87	108
69	2.6051	6187	6325	6464	6605	6746	6889	7034	7179	7326	24	47	71	95	119
70	2.7475	7625	7776	7929	8083	8239	8397	8556	8716	8878	26	52	78	104	131
71	2.9042	9208	9375	9544	9714	9887	3.0061	3.0237	3.0415	3.0595	29	58	87	116	145
72	3.0777	0961	1146	1334	1524	1716	1910	2106	2305	2506	32	64	96	129	161
73	3,2709	2914	3122	3332	3544	3759	3977	4197	4420	4646	36	72	108	144	180
74	3.4874	5105	5339	5576	5816	6059	6305	6554	6806	7062	41	81	122	163	204
75	3.7321	7583	7848	8118	8391	8667	8947	9232	9520	9812	46	93	139	186	232
76	4 0108	0408	0713	1022	1335	1653	1976	3203	2635	2972	53	107	160	213	267
77	4.3315	3662	4015	4374	4737	5107	5483	5864	6252	6646					
78	4.7046	7453	7867	8288	8716	9152	9594	5.0045	5.0504	5.0970					
79	5.1446	1929	2422	2924	3435	3955	4486	5026	5578	6140					
80	5.6713	7297	7894	8502	9124	9758	6.0405	6.1000	6.1742	6.2432					
81	6.3138	3859	4596	5350	6122	6912	7720	8548	9395	7.0204					
82	7.1154	2066	3002	3962	4947	5958	6996	8062	9158	8.0285					
83	8 1443	2636	3863	5126	6427	7769	9152	9.0579	9.2052	9.3572					
84	9.5144	9 677	9 845	10.02	10.20	10.39	10.58	10.78	10.99	11.20					
85	11.43	11.66	11 91	12.16	12 43	12.71	13.00	13 30	13 62	13.95					
86	14.30	14.67	15.06	15.46	15.89	16.35	16.83	17.34	17.89	18.46					
87	19 08	19 74	20 45	21 20	22 02	22.90	23.86	24 90	26 03	27.27					
88	28 64	30.14	31.82	33 69	35 80	38.19	40.92	44.07	47 74	52 08					
89	57.29	63 66	71.62	81.85	95.49	114.6	143.2	191.0	286 5	573.0					
90	∞														

სხვაობათა სწრაფი ცვლილების გამო არ შეიძლება ისარგებლოთ საშუალო სხვაობებით

ტ ა ბ უ ლ ა № 5
ვერცხლის წყლის სიმკვრივე (*d*) მოცემულ ტემპერატურაზე (*t*)

$t°$	*d*	$t°$	*d*	$t°$	*d*
0	13,5955	10	13,5708	20	13.5461
1	13,5930	11	13,5683	21	13,5437
2	13,5905	12	13.5658	22	13,5412
3	13,5880	13	13,5634	23	13,5388
4	13,5856	14	13,5609	24	13,5363
5	13,5831	15	13.5584	25	13,5339
6	13,5806	16	13.5560	26	13,5314
7	13,5782	17	13,5535	27	13.5290
8	13,5757	18	13,5511	28	13,5265
9	13,5732	19	13,5486	29	13,5241
10	13,5708	20	13,5461	30	13,5216

ტ ა ბ უ ლ ა № 6
წყლის სიმკვრივე (*d*) სხვადასხვა ტემპერატურაზე (*t*)

t	*d*	*t*	*d*	*t*	*d*
0°	0,99988	10°	0,99974	20°	0,99827
1	0,99993	11	0,99965	21	0,99806
2	0,99997	12	0,99955	22	0,99784
3	0,99999	13	0.99943	23	0,99761
4	1,00000	14	0,99930	24	0,99737
5	0,99999	15	0,99915	25	0,99713
6	0,99997	16	0,99900	26	0,99688
7	0,99994	17	0,99884	27	0,99661
8	0,99988	18	0,99866	28	0,99634
9	0,99982	19	0,99847	29	0,99606
10	0,99974	20	0,99827	30	0,99578

ტ ა ბ უ ლ ა № 7

მშრალი ჰაერის სიმკვრივე მოცემულ ტემპერატურასა და წნევაზე

წნევა გამოსახულია ვერცხლის წყლის სვეტის მმ-ებში

t°	700	710	720	730	740	750	760	770	780
	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0.00
0	1101	1208	1225	1242	1259	1276	1293	1310	1327
1	1187	1204	1221	1238	1255	1272	1288	1305	1322
2	1182	1199	1216	1233	1250	1267	1284	1301	1318
3	1178	1195	1212	1229	1245	1262	1279	1296	1313
4	1174	1191	1207	1224	1241	1258	1274	1291	1308
5	1170	1186	1203	1220	1236	1253	1270	1287	1303
6	1165	1182	1199	1215	1232	1249	1265	1282	1299
2	1161	1178	1194	1211	1228	1244	1261	1277	1294
8	1157	1174	1190	1207	1223	1240	1256	1273	1289
9	1153	1169	1186	1202	1219	1235	1252	1268	1285
10	1149	1165	1182	1198	1215	1231	1247	1264	1280
11	1145	1161	1178	1194	1210	1227	1243	1259	1276
12	1141	1157	1173	1190	1206	1222	1339	1255	1271
13	1137	1153	1169	1186	1202	1218	1234	1251	1267
14	1133	1149	1165	1181	1198	1214	1230	1246	1262
15	1129	1145	1161	1177	1193	1210	1220	1242	1258
16	1125	1141	1157	1173	1189	1205	1221	1238	1254
17	1121	1137	1153	1169	1185	1201	1217	1233	1249
18	1117	1133	1149	1165	1181	1197	1213	1229	1245
19	1113	1129	1145	1161	1177	1193	1209	1225	1241
20	1010	1126	1141	1157	1173	1189	1205	1221	1236
21	1106	1122	1137	1153	1169	1185	1201	1216	1232
22	1102	1118	1134	1149	1165	1181	1197	1212	1228
23	1098	1114	1130	1145	1161	1177	1193	1208	1224
24	1095	1110	1126	1142	1157	1173	1189	1204	1220
25	1091	1107	1122	1138	1153	1169	1185	1200	1216
26	1087	1103	1118	1134	1149	1165	1181	1196	1212
27	1084	1099	1115	1130	1146	1161	1117	1192	1208
28	1080	1096	1111	1126	1142	1157	1173	1188	1204
29	1077	1092	1107	1123	1138	1153	1169	1184	1200
30	1073	1088	1104	1119	1134	1150	1165	1180	1196

ტაბულა № 8

გაზის მოცულობის დაყვანა ნორმალურ პირობებზე

თუ t^0-ზე და N-მმ-ის წნევაზე მოცულობა და სიმკვრივე რაიმე გაზის ტოლია V_t და δ_t, მაშინ 0° და 760 მმ-ის წნევაზე აღნიშნული პარამეტრები იქნებიან ტოლნი

$$V_0 = \frac{V_t}{1+\beta . t} \cdot \frac{H}{760}$$

და

$$\delta_0 = \delta_t (1+\beta . t) \cdot \frac{760}{H},$$

სადაც

$$\beta = \frac{1}{273} = 0{,}00367.$$

t^0	$1+\beta t$
10°	1,0367
11°	1,0404
12°	1,0440
13°	1,0477
14°	1,0514
15°	1,0550
16°	1,0587
17°	1,0624
18°	1,0661
19°	1,0697
20°	1,0734
21°	1,0771
22°	1,0807
23°	1,0844
24°	1,0881
25°	1,0917
26°	1,0954
27°	1,0991
28°	1,1028
29°	1,1064
30°	1,1101

H	$\frac{H}{760}$
700	0,9211
710	0,9342
720	0,9474
730	0,9605
740	0,9737
750	0,9868
760	1,0000
770	1,0132
780	1,0263
790	1,0395
800	1,0526
810	1,0658
820	1,0789

PP		
მ. მ.	0,0131	0,0132
1	0,0013	0,0013
2	26	26
3	39	40
4	52	53
5	66	66
6	79	79
7	92	92
8	105	106
9	118	111

ტ ა ბ უ ლ ა № 9

წყლის დუღილის ტემპერატურა (T) სხვადასხვა წნევაზე (H) მმ

H	T^0	H	T^0	H	T^0
720	98.50	740	99.26	760	100.00
721	98,54	741	99,30	761	100,04
722	98.57	742	99,33	762	100,07
723	98,61	743	99.37	763	100,11
724	98,65	744	99,41	764	100,15
725	98.69	745	99,44	765	100 18
726	98,73	746	99,48	766	100,22
727	98,77	747	99,52	767	100,26
728	98.80	748	99,56	768	100,29
729	98.84	749	99,59	769	100.33
730	98,88	750	99,63	770	100,36
731	98,92	751	99.67	771	100,40
732	98,95	752	99,71	772	100,44
733	98,99	753	99,74	773	100.47
734	99.03	754	99,78	774	100,51
735	99,07	755	99,82	775	100 55
736	99,11	756	99.85	776	100,58
737	99,14	757	99 89	777	100.62
738	99,18	758	99,93	778	100,65
739	99,22	759	99.96	779	100,69
740	96,26	760	100,00	780	100,73

ტ ა ბ უ ლ ა № 10

t^0	f მმ-ში	t^0	f მმ-ში
—10°	2,2	10°	9,1
— 9	2,3	11	9,8
— 8	2,5	12	10,4
— 7	2,7	13	11,1
— 6	2.9	14	11.9
— 5	3 2	15	12,7
— 4	3,4	16	13,5
— 3	3,7	17	14,4
— 2	3,9	18	15,3
— 1	4,2	19	16.3
0	4,6	20	17,4
1	4.9	21	18.5
2	5,3	22	19.6
3	5,7	23	20,9
4	6,1	24	22,2
5	6,5	25	23.5
6	7,0	26	25,0
7	7.5	27	26,5
8	8.0	28	28,1
9	8,5	29	29,7
10	9,1	30	31,5

ტ ა ბ უ ლ ა № 11

მყარი სხეულების ზოგიერთი კონსტანტები

მყარი სხეულის სახელწოდება	სიმკვრივე გ/სმ³ 20°-C-ზე	ხაზობრივი გაფართოების საშუალო კოეფიციენტი ინტერვალში 0°-დან 100°-მდე	კუთრითი სითბოტევადობა $\frac{\text{კალ}}{\text{გ. გრად.}}$	თბოგამტარობის კოეფიციენტი $\frac{\text{კალ}}{\text{გ სმ. სეკ}}$	დნობის წერტილი °C	დნობის სითბო კალ/გ.	ბგერის სიჩქარე მ/სეკ.	იუნგის მოდული კგ/მმ²
ალუმინი	2,65—2,8	0,000024	0,214	0,48	658,7	76.8	5000	6300— 7500
ვერცხლი	10,25—10,60	0,0000197	0,056	1,01	960,5	21	2700	7000— 8000
თუთია	6,9—7,2	0,000029	0,098	0,265	419,4	28,1	3700	8000—13000
კალა	7,0—7,3	0,000023	0,055	0,157	231,9	14,0	2600	4000— 5000
მინა	2,4—2,8	0,000009	0,16	0,0016	—	—	2000—6000	5000— 8000
პლატინა	21,37	0,000009	0,028	0,166	1773	—	2800	16000—17500
სპილენძი	8,3—8,95	0,000017	0,094	0,92	1083	42	3600	10000—13000
თუჯი	7,03—7,73	0,0000114	—	0,12	—	—	5100	7500—18000
თითბერი	8,44—8,70	0,000019	0,092	0,26	900	—	3200	8000—10000
ტყვია	11,34	0,000029	0,03	0,083	327	5,36	1300	1500— 1700
ფოლადი	7,6—7,8	0,0000106	0,12	0,11	1530	23—33	5100	20000—22000

ტაბულა № 12

გაზების კონსტანტები

გაზის სახელწოდება	სიმკვრივე 0°C-ზე და 760 მმ		კუთრითი სითბოტევადობა C_p კალ / გ გრად	$\frac{C_p}{C_v}$	კრიტიკული მდგომარეობა		თხევადი მდგომარეობა	
	მ/ლ	ჰაერის მიმართ			ტემპერა-ტურა °C	წნევა ატმ.	დუღილის ტემპერა-ტურა °C	დუღილის სითბო კალ გ.
აზოტი	1,251	0,967	0,249	1,41	—147,1	33,5	—195,8	49,8
ამიაკი	0,771	0,596	0,512	1,26	130,0	115,0	—33,4	321
ჟანგბადი	1.429	1,106	0,218	1,40	—119	49,7	—183,0	51
ქლორი	3,214	2,490	0,125	1,34	141,0	83,9	—34,5	67,4
წყალბადი	0,08985	0,0695	3,41	1,41	—239,3	12,8	—252,8	109,5
ჰაერი	1,293	1,000	0,243	1,40	—140,0	39,0	—192	51
ჰელიუმი	0,179	0,139	1,25	1,64	—267,9	2,3	—268,9	—

ტაბულა № 13

სითხეების ზოგიერთი კონსტანტები

სითხის დასახელება	სიმკვრივე გ სმ³ 0°C	მოცულობითი გაფართოების კოეფიციენტი	კუთრითი სითბოტევადობ. კალ. გ. გრად.	გამყარების ტემპერატურა °C	დნობის სითბო კალ/გ.	დუღილის ტემპერატურა °C	ორთქლადქცევის სითბო კალ/გ.	კრიტიკული ტემპერატ. °C	კრიტიკული წნევა ატმ.
ალკოჰოლი—0°C	0,79	0,00105	0,593	—114	—	78	206	243	63
ანილინი—0°C	1,015	0,000086	0,491	—6	21	184,4	113	426	52,4
ბენზინი	0,879	0,00124	0,413	+5,8	30	80,2	94	289	48
გლიცერინი	1,26	0,0005	0,576	—19	42,5	290	—	—	—
ეთერი	0,716	0,0016	0,564	—123,5	27,4	35,6	90,5	193,8	35,6
ვერცხლის წყალი 18°C	13,596	0,00018	0,033	—38,9	2,82	357	68	1077	456
კეროსინი	0,8	0,001	0,51	—	—	—	—	—	—
წყალი 4°C	1,000	0,0002	0,999	0	79,6	100	539	374	217,5

ტ ა ბ უ ლ ა № 14

კუთრითი წინაღობანი (ρ) და წინაღობის ტემპერატურული კოეფიციენტები (α) ზოგიერთი გამტარების

ნივთიერების დასახელება	ρ სმ მგ / α	α გრად.$^{-1}$
ვერცხლი . .	0,016	0,0040
სპილენძი . . .	0,017	0,0041
ალუმინი . .	0,028	0,0042
თუთია .	0,062	0,0041
რკინა .	0,12	0,006
ტყვია .	0,22	0,0042
პლატინა .	0,108	0,0039
ვერცხლის წყალი .	0,94	0,004
ნიკელინი (54% Cu, 26% Ni, 200% Zu) . .	0,42	0,0003
კონსტანტანი (58% Cu, 41% Nl, 1%Mu) .	0,49	0,000002
მანგანინი (84% Cu, 4% Ni, 12%Mu) . .	0,042	0,000006
ნახშირი .	10—100	— 0,8

ტ ა ბ უ ლ ა № 15

ელექტროქიმიური ექვივალენტები

1 ამპერი დენის ძალა გამოჰყოფს:

	ვერცხლის მგ	სპილენძს მგ	წყალბადს მგ	წყალბადს 0° და ზხამს სმ³
1 სეკუნდში	1,118	0,3294	0,01036	0,1160
1 მინუტში .	67,08	19,76	0,6215	6 96
1 საათში . . .	4025	1186	37,29	417

ტ ა ბ უ ლ ა № 16

გარდატეხის მაჩვენებლები ზოგიერთ ნივთიერებათათვის

ალმასი	2,42	კანადის ბალზამი	1,54
წყალი	1,33	ყინული	1,31
წყალბადი	1,00014	სკიპიდარი	1,47
ჰაერი	1,00029	სპირტი	1,36
გლიცერინი	1,47	ეთერი	1,36
ქვა-მარილი	1,55	მინები (სხვადასხვა ხარისხის)	1,51—1,75
ქვარცი	1,55		

ტ ა ბ უ ლ ა № 17

მიახლოებითი ფორმულები.

თუ α, β და γ მცირენი არიან ერთთან შედარებით, მაშინ შეიძლება სარგებლობა შემდეგი მიახლოებითი ფორმულებით.

1. $(1\pm\alpha)^m = 1\pm m\alpha$
2. $(1\pm\alpha)^2 = 1\pm 2\alpha$
3. $\sqrt{1\pm\alpha} = 1\pm\frac{1}{2}\alpha$
4. $\frac{1}{1+\alpha} = 1-\alpha;\quad \frac{1}{1-\alpha} = 1+\alpha$
5. $\frac{1}{(1+\alpha)^2} = 1-2\alpha;\quad \frac{1}{(1-\alpha)^2} = 1+2\alpha$
6. $\sqrt{\frac{1}{1+\alpha}} = 1-\frac{1}{2}\alpha;\quad \sqrt{\frac{1}{1-\alpha}} = 1+\frac{1}{2}\alpha$
7. $(1\pm\alpha)(1\pm\beta)(1\mp\gamma) = \cdots = 1+\alpha+\beta+\gamma+\cdots$
8. $\frac{(1\pm\alpha)(1\pm\beta)}{(1\pm\gamma)(1\pm\delta)} = 1\pm\alpha\pm\beta\pm\gamma\pm\delta$
9. თუ α და β-ს შორის მცირე განსხვავებაა, მაშინ

$$\sqrt{\alpha\beta} = \frac{1}{2}(\alpha+\beta).$$

თუ α მცირე კუთხეა (გამოსახულია რადიანებში და არ აღემატება 2°, მაშინ

10. $\sin\alpha = \alpha$
11. $\operatorname{tg}\alpha = \alpha$
12. $\cos\alpha = 1$

სარჩევი

პ/მგ. რედაქტორი დოც. დ. ჩარკვიანი

ხელმოწერილია დასაბეჭდად 26/II-44 წ. უე 01146. შეკვ. № 2106. ტირ. 1000.

საქართველოს სსრ სახელმწიფო გამომცემლობის ბეჭდვითი სიტყვის კომბინატი.
თბილისი, ჟორესის ქ. № 5.