პეტრე გელხვიიძე
მევლუდი ვერულაშვილი

ლაბორატორიული პრაქტიკუმი ფიზიკაში

აკაკი წერეთლის სახელმწიფო უნივერსიტეტის
გამომცემლობა

ქუთაისი 2010

პეტრე გელხვიიძე, მევლუდი ვერულაშვილი– “ლაბორატორიული პრაქტიკუმი ფიზიკაში”

წინამდებარე ნაშრომი წარმოადგენს საუნივერსიტეტო ზოგადი ფიზიკის (საბაკალავრო სასწავლო პროგრამით გათვალისწინებულ) ლაბორატორიული პრაქტიკუმის სახელმძღვანელოს, რომლის მიზანს შეადგენს, სტუდენტს გამოუმუშაოს ფიზიკურ სიდიდეთა გაზომვის პრაქტიკული ჩვევები და ცდით მიღებული შედეგების გაანალიზების უნარი.

სახელმძღვანელო განკუთვნილია, როგორც ზუსტ და საბუნებისმეტყველო ასევე საინჟინრო ფაკულტეტების სტუდენტებისათვის.

ავტორები სიამოვნებით მიიღებს ყველა იმ რჩევებსა და შენიშვნებს, რომლებიც სახელმძღვანელოს შემდგომში უფრო სრულყოფილს გახდის.

გვ.297; ნახ.87 ცხ.67

.

რედაქტორი: ასოც. პროფ. დ.თედორაძე

რეცენზენტი: ასოც. პროფ. გ.ტომარაძე

ავტორები მადლობას უხდის ზ.ამყოლაძეს ნაშრომის კომპიუტერული უზრუნველოფის საქმეში გაწეული დახმარებისათვის

©აკაკი წერეთლის სახელმწიფო უნივერსიტეტის გამომცემლობა
ქუთაისი, 4600, თამარ მეფის 59. ტელ: 4 00 21; 2 21 46
E-mail:atsuph@atsu.edu.ge

ISBN 978-9941-417-28-3

შესავალი

მეცნიერების და ტექნიკის განვითარების დღევანდელ ეტაპზე, ფიზიკურ სიდიდეთა გაზომვის ჩვევები, მოვლენებისა და შესაბამის კანონ ზომიერებათა ცოდნა აუცილებელია კვალი ფიციური სპეციალისტისათვის. ის უნდა ერკვეოდეს რიგ გამზომ ხელსაწყოთა აგებულებასა და მოქმედების პრინციპებში, იცოდეს მათი გამოყენება, ჰქონდეს ხელსაწყოების მოპყრობის სათანადო კულტურა. ლაბორატორიული მეცადინეობა ძირითადი გზაა ამ ამოცანების განხორციელებისათვის.

ლაბორატორიული მეცადინეობა სწავლების აქტუალური ფორმაა. იგი ხელს უწყობს ცოდნის დამოუკიდებლად გაღრმავება-გაფართოების უნარის განვითარებას, წარმოადგენს საუკეთესო საშუალებას თეორიული ცოდნის პრაქტიკაში გამოყენებისათვის და თეორიასა და პრაქტიკას შორის ურთი-ერთკავშირის დამყარებისათვის. ლაბორატორიული სამუშაოს შესრულებით სტუდენტი ეჩვევა ცალკეული მოვლენების და ფაქტების ანალიზს, ამა თუ იმ შემთხვევითი ფაქტორების გამორიცხვას, მიღებული შედეგებიდან დასკვნების გამოტანას და გარკვეული კანონზომიერების დადგენას.

ლექციაზე სტუდენტი ეცნობა თეორიულ მასალას, ამა თუ იმ სიდიდეების ფიზიკურ შინაარსს და კავშირს ფიზიკურ სიდიდეებს შორის, მათ ერთეულებს და განზომილებებს, ლაბორატორიაში კი იღრმავებს ცოდნას, კონკრეტულად ეცნობა მოვლენათა რაოდენობრივ მხარეს, აწარმოებს ექსპერიმენტული დანადგარის მონტაჟს, თანმი-მდევრობით გეგმავს სამუშაოს ცალკეულ ეტაპებს, აწარმოებს დაკავშირებას და ზომავს მოვლენის დამახასიათებელ პარამეტრებს, ასრულებს მატე-მატიკურ გამოთვლებს და ამყარებს გაზომილი პარამეტრების ურთიერთკავშირს.

ფიზიკური სიდიდის გაზომვა

ფიზიკური სიდიდე განსაზღვრავს სამყაროში ობიექტურად არსებული მატერიალური სხეულის ან სხეულების რომელიღაც ერთ თვისებას. მაგალითად, ტემპერატურა ახასიათებს სხეულის შინაგანი ენერგიის ცვლილებას, ძალა–სხეულების ურთი-ერთქმედებას, გარდატეხის მაჩვენებელი–ორ ნივთიერებაში სინათლის გავრცელების სიჩქარის ფარდობას და ა. შ.

ერთნაირი თვისებების სხვადასხვა მატერიალურ სხეულებს ახასიათებენ ფიზიკური სიდიდის რიცხვითი მნიშვნელობით. თვისობრივად ერთი და იმავე ფიზიკურ სიდიდეს შეიძლება ქონდეს სხვადასხვა რიცხვითი მნიშვნელობა. მაგალითად, ფიზიკური სიდიდე–სიჩქარე სინათლის ტალღე-ბისათვის (ვაკუუმში) 3.10^8 მ/წმ -ია, ბგერითი ტალღებისათვის (ჰაერში ნორმალური პირობები-სათვის) $–3,4.10^2$ მ/წმ. ფიზიკური სიდიდეების ურთი-ერთშედარება შეიძლება მხოლოდ ერთი და იგივე ფიზიკური სიდიდის რიცხვითი მნიშვნელობით.

ფიზიკური სიდიდის შედარება შეიძლება ცდების საშუალებით, რომლის დროსაც მნიშვნელოვან როლს გაზომვა ასრულებს.

ფიზიკური სიდიდის გაზომვა ნიშნავს მის შედარებას სხვა ერთგვაროვან სიდიდესთან რომელიც პირობითად მიღებულია ერთეულად.

თუ A გასაზომი ფიზიკური სიდიდეა, B –მისი ერთეული ფიზიკური სიდიდე და n –რიცხვი რომელიც გაზომვის შედეგად მიიღება, მაშინ გაზომვის განსაზღვრის საფუძველზე გვაქვს

$$A = nB$$

ეს დამოკიდებულება წარმოადგენს გაზომვის ძირითად განტოლებას, რომლის მარჯვენა მხარე გაზომვის შედეგია.

გაზომვა ორი სახისაა – პირდაპირი და არაპირ-დაპირი. მთელ რიგ შემთხვევაში გასაზომი ფიზიკური სიდიდის მნიშვნელობას უშუალოდ ვღებულობთ გაზომვის შედეგად. გამზომი ხელსაწყო წინასწარ განსაზღვრულ ერთეულებშია დაგრადუირებული ან ვაწარმოებთ უშუალოდ შედარებას გასაზომი ფიზიკური სიდიდეებისას მის ზომასთან. მაგალითად სითხის ტემპერატურას უშუალოდ ვზომავთ მასში მოთავსებული თერმომეტრით. სხეულის მასის განსაზღვრისათვის მის მასას ვადარებთ საწონების მასას და ა. შ.

გაზომვას, რომლის დროსაც ფიზიკური სიდიდის მნიშვნელობას უშუალოდ გამზომი ხელსაწყოთი ვადგენთ, პირდაპირი გაზომვა ეწოდება. მაგრამ ყველა ფიზიკური სიდიდე არ შეიძლება გაიზომოს პირდაპირი გაზომვის გზით, რიგ შემთხვევაში გასაზომი ფიზიკური სიდიდის განსაზღვრისათვის საჭიროა გაიზომოს სხვა ფიზიკური სიდიდეები, რომელზედაც დამოკიდებულია გასაზომი ფიზიკური სიდიდე, ასეთი სახის გაზომვას არაპირდაპირი ეწოდება. მაგალითად სხეულის კინეტიკური $(E_k = \dfrac{m\upsilon^2}{2})$ ენერგიის განსაზღვრისათვის წინასწარ უნდა განისაზღვროს სხეულის მასა (m), სიჩქარე (υ) და შემდეგ მათზე გარკვეული მათემატიკური ოპერაციების ჩატარებით გამოითვალოს საძიებელი ფიზიკური E_k სიდიდე.

პირდაპირი გაზომვა შეიძლება ჩატარდეს შემდეგი მეთოდებით:

1) ***უშუალო შეფასების მეთოდი***. ამ მეთოდით გასაზომი ფიზიკური სიდიდის მნიშვნელობა განისაზღვრება უშუალოდ ხელსაწყოზე ანათვალის აღებით;
2) ***ნულოვანი მეთოდი***. ამ შემთხვევაში გასაზომი სიდიდე გაწონასწორებულია წინასწარ ცნობილი მსგავსი სიდიდით ისე, რომ ორივე მოქმედება შეიძლება ნულის ტოლი მივიღოთ.
3) ***თანხვედრის მეთოდი***. ამ მეთოდით გასაზომი ფიზიკური სიდიდის შესაბამისი ნიშანთა რიგი თანხვდება ცნობილი სიდიდის ნიშანთა რიცხვს.
4) ***ჩანაცვლების მეთოდი***. ამ შემთხვევაში ხელსაწყოში გასაზომი სიდიდე იცვლება თანატოლი ერთგვაროვანი სიდიდით.
5) ***დიფერენციალური მეთოდი***. ამ მეთოდის გამოყენებისას გამზომი ხელსაწყოთი განისა-ზღვრება სხვაობა საძიებელ სიდიდესა და ცნობილ ერთგვაროვან სიდიდეს შორის, როდესაც ეს სიდიდეები ერთმანეთისაგან მცირედ განსხვავდება. როგორც პირდაპირი, ისე არაპირდაპირი გაზომვის შედეგად მიიღება ფიზიკური სიდიდის რიცხვითი მნიშვნელობა, გამოსახული შესაბამის საზომ ერთეულებში.

გაზომვის ცდომილებანი. ექსპერიმენტული მონაცემების დამუშავების ძირითადი მეთოდები

ფიზიკური მოვლენების შესასწავლად ჩვეულებრივ ისეთ ექსპერიმენტებს ატარებენ, რომლის დროსაც საჭიროა ერთი ან რამდენიმე ფიზიკური სიდიდის გაზომვა. ყოველი გაზომვა, რა გულმოდგინედაც არ უნდა ჩატარდეს იგი, არ იძლევა მათემტიკურად ზუსტ შედეგს. ***რაიმე გასაზომი ფიზიკური სიდიდის ჭეშმარიტ მნიშვნელობასა და გაზომვით მიღებულ შედეგს შორის სხვაობას ცდომილება ეწოდება.*** ცდომილება შეიძლება გამოწვეული იყოს გამზომი ხელსაწყოს არასრულყოფილებით, მისი თვისებების შეცვლით –მექანიკური, ატმოსფერული, სითბური და ა.შ. მიზეზების გავლენით, ან მოცემული სიდიდის გაზომვის მეთოდის არასწორი შერჩევით. თუ გასაზომი სიდიდის ჭეშმარიტ სიდიდესა და გაზომვით მიღებულ შედეგს შორის სხვაობა მხოლოდ გამზომი ხელსაწყოთი არის გამოწვეული, მაშინ მას ***სისტემატიურ ცდომილებას*** უწოდებენ. სისტემატიური ცდომილება შეიძლება მინიმუმამდე შევამციროთ გაზომვის მეთოდის დაზუსტებით, ხელსაწყოს გაუმჯობესებით და იმ ფაქტორების გათვალისწინებით, რომლებიც გაზომვის შედეგზე ახდენენ გავლენას. მაგრამ სისტემატური ცდომილების გამორიცხვა შეუძლებელია.

ცდომილების მეორე სახეა ე.წ. ***შემთხვევითი ცდომილება.*** ცდომილება შემთხვევითია, თუ გასაზომ ფიზიკურ სიდიდესა და გაზომვით მიღებულ შედეგს შორის სხვაობა გამოწვეულია დამკვირვებლის არაკვალიფიციურობით, ან გრძნობათა ორგანოების ფიზიოლოგიური ცვლილებით.

შემთხვევითი ცდომილების აცილება პრინცი-პულად შეუძლებელია, მაგრამ ცდომილებათა თეორიის საშუალებით, რომელიც დამუშავებული იქნა გაუსის მიერ, შეიძლება გამოვთვალოთ მოსა-ლოდნელი ცდომილება და დავამტკიცოთ საზღვრები, რომელთა შორის უნდა იყოს მოთავსებული გასაზომი სიდიდის ჭეშმარიტი მნიშვნელობა.

ცდომილების შემცირების მიზნით მიზანშეწო-ნილია მოცემული ფიზიკური სიდიდის მრავალ-ჯერადი გაზომვის ჩატარება. გაზომვისას ერთნაირი ალბათობით არის მოსალოდნელი როგორც ჭეშმარიტზე მეტი მნიშვნელობის, ასევე ნაკლები მნიშვნელობის შედეგები, ამიტომ მრავალი გაზომვის შედეგის საშუალო არითმეტიკული ცხადია, გაზომვის თითეულ შედეგზე უფრო ახლოს იქნება გასაზომი სისდიდის ჭეშმარიტ მნიშვნელობასთან. ვთქვათ ჩატარდა რაიმე ფიზიკური სიდიდის გაზომვა $n-$ჯერ და გაზომვის შედეგად მიღებული იქნა მნიშვნელობები $x_1, x_2 ...., x_n.$ გასაზომი სიდიდის საშუალო მნიშვნელობა, რომელიც უფრო ახლოსაა სიდიდის ჭეშმარიტ მნიშვნელობასთან, წარმოადგენს გაზომვის შედეგად მიღებული მნიშვნელობის საშუალო არითმეტიკულს.

$$\overline{x} = \frac{x_1 + x_2 + ... + x_n}{n} = \frac{\sum_{i=1}^{n} x_i}{n}$$

განსხვავებას გასაზომი სიდიდის საშუალო მნიშვნელობასა და გაზომვის შედეგად მიღებულ მნიშვნელობას შორის ეწოდება აბსოლუტური ცდომილება. განმარტების თანახმად, თითოეული გაზომვის აბსოლუტური ცდომილება ტოლია:

$$\Delta x_1 = \left| \overline{x} - x_1 \right|$$
$$\Delta x_2 = \left| \overline{x} - x_2 \right|$$
....
....
....
$$\Delta x_n = \left| \overline{x} - x_n \right|$$

ცხადია, ცალკეულ დაკვირვებათა ცდომილების აბსოლუტურ მნიშვნელობათა საშუალო არით-მეტიკული იქნება ცდის საშუალო აბსოლუტური ცდომილება

$$\Delta\overline{x} = \frac{\Delta x_1 + \Delta x_2 + \ldots + \Delta x_n}{n} = \frac{\sum_{i=1}^{n} \Delta x_i}{n}$$

გასაზომი სიდიდის ჭეშმარიტი მნიშვნელობა მოთავსებული იქნება $\overline{x} - \Delta\overline{x}$ და $\overline{x} + \Delta\overline{x}$ მნიშვნელობებს შორის

$$\overline{x} - \Delta\overline{x} \leq x \leq \overline{x} + \Delta\overline{x}$$

სიდიდის ჭეშმარიტი მნიშვნელობა შემდეგნაირად დაიწერება

$$x = \overline{x} \pm \Delta\overline{x}$$

მარტო აბსოლუტური ცდომილება ვერ განსაზღვრავს გაზომვის სიზუსტეს. ერთი და იგივე აბსოლუტური ცდომილება შეიძლება მცირედ ჩაითვალოს ერთ შემთხვევაში და, პირიქით, ძალზე უხეშ ცდომილებად მეორე შემთხვევაში. ეს დამოკიდებულია გასაზომი ფიზიკური სიდიდის მნიშვნელობაზე. ამიტომ გაზომვის სიზუსტის შესაფასებლად აბსოლუტური ცდომილების გარდა საჭიროა შემოვიღოთ ***ფარდობითი ცდომილება***. ფარდობითი ცდომილება არის აბსოლუტური ცდომილების შეფარდება გასაზომი ფიზიკური სიდიდის მნიშვნელობასთან;

$$\delta\overline{x} = \frac{\Delta\overline{x}}{x}$$

ფარდობითი ცდომილება გვიჩვენებს გასაზომი სიდიდის რა ნაწილს შეადგენს აბსოლუტური ცდომილება.

ჩვეულებრივ, ფარდობით ცდომილებას პროცენ-ტებში გამოხატავენ

$$\delta\overline{x} = \frac{\Delta\overline{x}}{x} 100\%$$

თავი I. მექანიკა
სფერული ზედაპირის სიმრუდის რადიუსის განსაზღვრა სფერომეტრით

სფერული ზედაპირის სიმრუდის რადიუსი ეწოდება იმ სფეროს რადიუსს, საიდანაც მოცემული სეგმენტია აღებული.

ვთქვათ მოცემულია $ABCD$ სფერული სეგმენტის ზედაპირი, რომლის სიმაღლე $BD = H$ და ფუძის რადიუსი $AD = r$ (ნახ.1) აღვნიშნოთ სფერული ზედაპირის სიმრუდის რადიუსი $R = AO = BO$

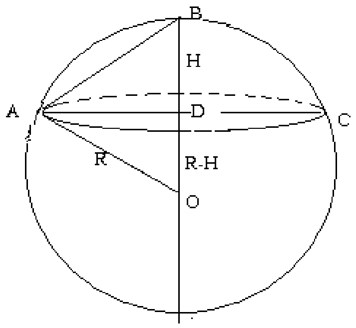
დავუშვათ, რომ სფერული სეგმენტის კვეთის სიბრტყე BE დიამეტრის პერპენდიკულარულია, მაშინ $r \perp BD$ და ამიტომ AOD მართკუთხა სამკუთეხედისათვის ვწერთ

$$R^2 = (R-H)^2 + r^2$$

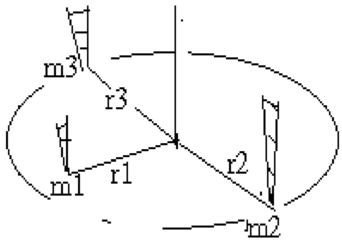
საიდანაც

$$R = \frac{H^2 + r^2}{2H} \qquad (1)$$

ამ ფორმულაში შემავალი H და r სიდიდეები შეიძლება გაიზომოს სფერომეტრის საშუალებით.



ნახ.1



ნახ.2

მუშაობის მსვლელობა

1. მოათავსეთ საათის ტიპის ინდიკატორიანი სფერომეტრი სასაგნე მინაზე და აბრუნეთ ისე, რომ ისარი ნულს აჩვენებდეს. ამის შემდეგ გადაიტანეთ სფერულ ზედაპირზე, როგორც ეს ნაჩვენებია ნახ. 2–ზე. სფერომეტრის ისრის ჩვენება იქნება სფერული სეგმენტის H სიმაღლე.
2. გადაიტანეთ სფერომეტრი ქაღალდზე და აღნიშნეთ m_1, m_2, m_3 და m წერტილები. შტანგენ- ფარგლით გაზომეთ $r_1 = mm_1; r_2 = mm_2; r_3 = mm_3$ მანძილები. მათი საშუალო მნიშვნელობა $r = \frac{r_1 + r_2 + r_3}{3}$ მოგცემთ იმ სფერული სეგმენტის ფუძის რადიუსს, რომელსაც სფერომეტრის ფეხებზე გამავალი სიბრტყე ჩამოკვეთს სფერული ზედაპირიდან და რომლის სიმაღლე არის H.
3. მონაცემები შეიტანეთ დაკვირვებათა ცხრილში და (1) ფორმულით იანგარიშეთ სფეროს სიმრუდის რადიუსი.
4. ცდა გაიმეორეთ 4–5 ჯერ სფერული სეგმენტის სხვადასხვა ადგილზე და გამოიყვანეთ სიმრუდის რადიუსის საშუალო მნიშვნელობა.
5. თუ ზედაპირი ჩაზნექილია, მაშინ სფერომეტრი მოათავსეთ მასზე და აბრუნეთ, ვიდრე მაჩვენებელი ფეხი არ შეეხება ზედაპირს და დააყენეთ ნულზე. შემდეგ გადაიტანეთ სიბრტყეზე და სფერომეტრის ჩვენება მოგცემთ H –ს.
6. იანგარიშეთ ფარდობითი და აბსოლუტური ცდომილება.

დაკვირვებათა ცხრილი

დაკვირვებათა რიგი	საწყისი ანათვალი სფერომეტრზე h_1– მ.	საბოლოო ანათვალი სფერომეტრზე h_2-- მ.	სფერული სეგმენტის სიმაღლე $H=h_2-h_1$	სფერული სეგმენტის ფუძის რადიუსები			სფერული სეგმენტის ფუძის რადიუსი r მ.	სფერული ზედაპირის სიმრუდის რადიუსი R მ.	სფერული ზედაპირის სიმრუდის რადიუსის საშ. მნიშვნელობა	აბსოლუტური ცდომილება	ფარდობითი ცდომილება
				r_1 მ.	r_2 მ.	r_3 მ.					

საკონტროლო კითხვები

1. რას ეწოდება სიმრუდის რადიუსი?
2. გამოიყვანეთ სიმრუდის რადიუსის ფორმულა.
3. აღწერეთ ხელსაწყო და ცდის მსვლელობა.
4. ჩამოაყალიბეთ ცდომილების გამოთვლის წესი.

კითხვები დასკვნისათვის

1. რა სიდიდეების განსაზღვრაა საჭირო ცდის დროს? რა ხელსაწყოებით? რა ერთეულებში? რა სიზუსტით?
2. შეიძლება თუ არა სიმრუდის რადიუსის გაზომვა სფერომეტრის გარეშე? როგორ?

სხეულების სიმკვრივის განსაზღვრა

ერთგვაროვანი სხეულებისათვის კუთრი წონა ეწოდება სიდიდეს, რომელიც იზომება სხეულის წონის შეფარდებით მის მოცულობასთან.

$$d = \frac{P}{V} \qquad (1)$$

სადაც d სხეულის კუთრი წონაა, P სხეულის წონა და V მოცულობა. კუთრი წონის საზომი ერთეული არის ნ/მ^3.

სიმკვრივე ეწოდება სიდიდეს, რომელიც იზომება სხეულის მასის შეფარდებით მის მოცულობასთან ფორმულით ასე გამოიხატება:

$$\rho = \frac{m}{V}$$

სადაც ρ არის ნივთიერების სიმკვრივე, m მასა და V მოცულობა. თუ (1) ფორმულაში P -ს შევცვლით მისი მნიშვნელობით, მივიღებთ

$$d = \frac{mg}{V} = \rho g$$

ამრიგად, სხეულის კუთრი წონა თავისუფალი ვარდნის აჩქარებისა და სხეულის სიმკვრივის ნამრავლის ტოლია.

სიმკვრივის საზომი ერთეული არის კგ./მ^3 არსებობს სხეულების სიმკვრივის გაზომვის მრავალი მეთოდი. ჩვენ შევისწავლით რამდენიმე მათგანს.

მყარი სხეულის და სითხის სიმკვრივის განსაზღვრა ჰიდროსტატიკური აწონის მეთოდით

მყარი სხეულის სიმკვრივის განსაზღვრა ჰიდროსტატიკური აწონის მეთოდით შემდეგში მდგომარეობს: m მასის სხეული ჩავუშვათ გამოხდილ წყალში, რომელზეც იმოქმედებს ამომგდები ძალა:

$$F = mg - m_1 g \qquad (1)$$

სადაც m_1 სხეულის მასაა გამოხდილ წყალში. არქიმედის კანონის თანახმად ამომგდები ძალა სხეულის მიერ გამოძევებული სითხის წონა ტოლია, ამიტომ შეიძლება დავწეროთ:

$$mg - m_1 g = \rho_1 g V$$

აქედან

$$m - m_1 = \rho_1 V \qquad (2)$$

სადაც ρ_1 გამოხდილი წყლის სიმკვრივეა, ხოლო V გამოსაკვლევი სხეულის მოცულობა. თუ (2) განტოლებაში შევიტანთ V-ს მნიშვნელობას:

$$V = \frac{m}{\rho}$$

მივიღებთ:

$$m - m_1 = \frac{\rho_1}{\rho} m \qquad (3)$$

სადაც ρ არის გამოსაკვლევი სხეულის სიმკვრივე. თუ განვსაზღვრავთ ρ-ს (3) ფორმულიდან მივიღებთ:

$$\rho = \frac{\rho_1 m}{m - m_1} \qquad (4)$$

სხეულის ზუსტი აწონვისათვის საჭიროა მხედვე-ლობაში მივიღოთ სხეულის წონის დანაკარგი ჰაერში. თუ ჰაერის სიმკვრივეს აღვნიშნავთ ρ_2-თი, შეიძლება დავწეროთ, რომ სხეულის მასა ჰაერში იქნება $m - \rho_2 V$, სადაც $\rho_2 V$ განსაზღვრავს გამოსაკვლევი სხეულის მიერ გამოძევებული ჰაერის მასას. თუ აღნიშნულს გავითვალისწინებთ (4) ფორმულაში, გვექნება

$$\rho = \frac{m + \rho_2 V}{m + \rho_2 V - m_1} \qquad (5)$$

წონის შესწორების შემდეგ (2) ფორმულა ასე დაიწერება:

$$m + \rho_2 V - m_1 = \rho_1 V$$

აქედან

$$V = \frac{m - m_1}{\rho_1 - \rho_2} \qquad (6)$$

ამ მნიშვნელობას თუ შევიტანთ (5) ფორმულაში, საბოლოოდ მივიღებთ

$$\rho = \frac{m}{m - m_1}(\rho_1 - \rho_2) + \rho_2 \qquad (7)$$

სითხის სიმკვრივის განსაზღვრისათვის საჭირო იქნება დამხმარე სხეული. ვთქვათ ამ სხეულის მასა გამოსაკვლევ სითხეში არის m_2, არქიმედის კანონის თანახმად.

$$mg - m_2 g = DgV$$

საიდანაც გამოსაკვლევი სითხის სიმკვრივე

$$D = \frac{m - m_2}{V} \qquad (8)$$

თუ (8) ფორმულაში შევიტანთ V-ს მნიშვნელობას (6) ფორმულიდან, მივიღებთ

$$D = \frac{m - m_2}{m - m_1}(\rho_1 - \rho_2) \qquad (9)$$

ჰაერში წონის დაკარგვაზე შესწორების შეტანის შემდეგ მიიღება გამოსაკვლევი სითხის სიმკვრივის საბოლოო ფორმულა

$$D = \frac{m - m_2}{m - m_1}(\rho_1 - \rho_2) + \rho_2 \qquad (10)$$

მუშაობის მსვლელობა

1. ტექნიკურ სასწორზე აწონეთ გამოსაკვლევი სხეული 10^{-4}კგ. სიზუსტით და გაიგეთ მისი m მასა, გაუკეთეთ ძაფი და ჩამოკიდეთ სასწორის მარცხენა მხარეს.
2. სასწორის ამავე მხარეს მაგიდაზე მოათავსეთ ჭურჭელი გამოხდილი წყლით, ჩაუშვით მასში გამოსაკვლევი სხეული ისე, რომ ფსკერს ან კედლებს არ ეხებოდეს და დაიფაროს წყლით აწონეთ გამოსაკვლევი სხეული წყალში ზემოთ ნაჩვენები სიზუსტით და განსაზღვრეთ მისი m_1 მასა.
3. წყლიანი ჭურჭლის მაგიერ მის ადგილზე მოათავსეთ გამოსაკვლევი სითხე და აწონა აწარმოეთ უკვე ცნობილი წესით. განსაზღვრეთ სხეულის m_2 მასა.
4. წყლის ρ_1 და ჰაერის ρ_2 სიმკვრივეები იპოვეთ ფიზიკური მუდმივების ცხრილებში ოთახის ტემპერატურისათვის.
5. მონაცემები შეიტანეთ დაკვირვებათა ცხრილში.
6. (7) და (10) ფორმულებით გამოთვალეთ მყარი სხეულის და სითხის სიმკვრივეები.
7. ცდა ჩაატარეთ 3–4 ჯერ და იანგარიშეთ სიმკვრივეთა საშუალო მნიშვნელობა.
8. გამოთვალეთ ფარდობითი და აბსოლუტური ცდომილება.

შენიშვნა: თუ საცდელად აღებული სხეულის სიმკვრივე უახლოვდება საწონების სიმკვრივეს, ჰაერში წონის დაკარგვის შესწორება მხედველობაში არ მიიღება და უმჯობესია გამოვიყენოთ (4) და (9) ფორმულები

საკონტროლო კითხვები

1. რას ეწოდება კუთრი წონა? სიმკვრივე? რით იზომებიან ისინი?
2. გამოიყვანეთ მყარი სხეულის და სითხის სიმკვრივის გამოსათვლელი ფორმულა თქვენი ცდისათვის.
3. დაასახელეთ საჭირო ხელსაწყოები.
4. აღწერეთ ცდის მსვლელობა.

5. დაწერეთ ფარდობითი და აბსოლუტური ცდომილობის ფორმულები.დაკვირვებათა ცხრილი

დაკვირვებათა რიგი	გამოსაკვლევი სხეულის მასა			სიმკვრივე ფიზიკური მუდმივების ცხრილებიდან ოთახის ტემპერატურა–ზე		გამოსაკვლევი სიმკვრივე				ცდომილება			
						მყარი სხეულები-სათვის		სითხი-სათვის		მყარი სხეულები-სათვის		სითხი-სათვის	
	ჰაერში m– კგ.	გამოხდილ წყალში m_1 –-კგ.	გამოსაკვლევ სითხეში m_2–კგ.	წყლის სიმკვრივე– კგ./მ^3	ჰაერის სიმკვრივე– კგ./მ^3	თითოეული ცდის შედეგი – კგ./მ^3	რამდენიმე შედეგის საშუალო მნიშვნელობა –.	თითოეული ცდის შედეგი – კგ./მ^3	რამდენიმე ცდის შედეგის საშუალო მნიშვნელობათა	აბსოლუტური	ფარდობითი	აბსოლუტური	ფარდობითი
1													
2													
3													
4													

კითხვები დასკვნისათვის

1. რა სიდიდეების გაზომვაა საჭირო ცდის დროს? რა ერთეულებში? რა სიზუსტით?
2. რა შემთხვევაში შეიძლება ჰაერში წონის დანაკარგის უგულებელყოფა? დაასაბუთეთ.
3. თუ სხეულის სიმკვრივე ცნობილია. რა შეიძლება გაიზომოს აღწერილი ცდით? როგორ?

ჰაერის სიმკვრივის განსაზღვრა

აღვნიშნოთ დახურულ ჭურჭელში მყოფი გაზის მოცულობა V- თი, წნევა -P და ტემპერატურა T-თი.

გამოვტუმბოთ ჭურჭლიდან m მასის ჰაერი, დარჩენილი ჰაერის მოცულობა აღვნიშნოთ υ–თი, მაშინ გამოტუმბული ჰაერის მოცულობა იქნება:

$$V_1 = V - \upsilon \qquad (1)$$

დავუშვათ, რომ გაიშვიათების შემდეგ დარჩენილმა ჰაერმა დაიკავა კოლბის მთელი ტევადობა, მისი წნევა არის $H-h$, სადაც H არის ატმოსფეროს წნევა; h––მანომეტრში ვერცხლისწყლის დონეთა სხვაობა.

ბოილ–მარიოტის კანონის თანახმად გვექნება:

$$V(H-h) = \upsilon H$$

აქედან:

$$\upsilon = \frac{H-h}{H} V$$

υ–ს ამ მნიშვნელობას თუ შევიტანთ (1) ფორმულაში, მივიღებთ კოლბიდან ამოტუმბული ჰაერის მოცულობას:

$$V_1 = \frac{h}{H}V \qquad (2)$$

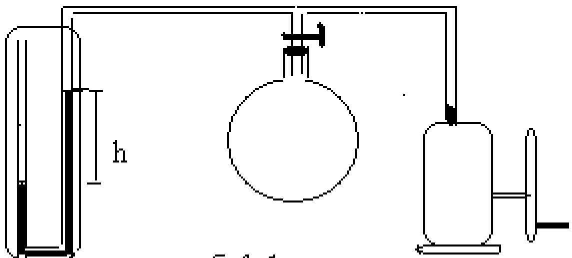
რადგანაც ვიცით კოლბიდან გამოტუმბული ჰაერის მასა და მოცულობა სიმკვრივის განმარტების თანახმად ვწერთ:

$$\rho = \frac{m}{V_1} = \frac{mH}{Vh} \qquad (3)$$

(3) ფორმულით გამოვთვლით ჰაერის სიმკვრივეს ოთახის ტემპერატურაზე.

მუშაობის მსვლელობა

1. აწონეთ ჰაერიანი კოლბი საცობთან და მომჭერთან ერთად და ჩაინიშნეთ მისი m_1 მასა.
2. შეაერთეთ კოლბი რეზინის მილით ტუმბოსთან (ნახ. 1), ამოტუმბეთ ჰაერი და დანიშნეთ მანომეტრში დონეთა სხვაობა h. აწონეთ კოლბი უჰაეროდ, დაინიშნეთ მისი m_2– მასა.
3. გაიგეთ კოლბიდან ამოტუმბული ჰაერის მასა $m = m_1 - m_2$;
4. ბარომეტრზე ათვალეთ H- წნევა, თერმომეტრზე მონახეთ ოთახის t– ტემპერატურა.
5. მონაცემები შეიტანეთ დაკვირვებათა ცხრილში. (3) ფორმულით იანგარიშეთ ჰაერის სიმკვრივე.
6. ცდა გაიმეორეთ 3–4–ჯერ და გამოიყვანეთ სიმკვრივის საშუალო მნიშვნელობა.
7. ფიზიკური მუდმივების ცხრილებში მონახეთ ჰაერის სიმკვრივე მოცემული ტემპერატურისა და წნევისათვის და შეადარეთ თქვენი ცდით მიღებულ შედეგს.
8. იანგარიშეთ ფარდობითი და აბსოლუტური ცდომილება.



ნახ.1

საკონტროლო კითხვები

1. გამოიყვანეთ ჰაერის სიმკვრივის ფორმულა თქვენი ცდისათვის.
2. დაასახელეთ ცდისათვის საჭირო ხელსაწყოები.
3. აღწერეთ ცდის მსვლელობა.
4. დაწერეთ აბსოლუტური და ფარდობითი ცდომილების ფორმულები.

დაკვირვებათა ცხრილი

დაკვირვებათა რიგი	კოლბის მასა		კოლბიდან ამოტუმბული ჰაერის მასა m კგ.	მანომეტრში ვერცხლისწყლის დონეთა სხვაობა h	ატმოსფერული წნევა ცდის დროს H მ.	ჰაერის საწყისი მოცულობა V მ²	ოთახის ტემპერატურა t	ჰაერის სიმკვრივე ოთახის ტემპერატურაზე	ჰაერის სიმკვრივის საშუალო მნიშვნელობა	ჰაერის სიმკვრივე ფიზიკური მუდმივების ცხრილებიდან	აბსოლუტური ცდომილება	ფარდობითი ცდომილება
	ჰაერით m_1–კგ.	უჰაეროდ m_2კგ.										
1												
2												
3												
4												

კითხვები დასკვნისათვის

1. რა სიდიდეების გაზომვაა საჭირო ცდის დროს? რა ხელსაწყოებით? რა ერთეულებში? რა სიზუსტით?
2. არის თუ არა ჰაერის სიმკვრივე დამოკიდებული ტემპერატურაზე? როგორ? დაამტკიცეთ.

ხსნარის სიმკვრივის, კონცენტრაციის და მასში გახსნილი ნივთიერების რაოდენობის განსაზღვრა არეომეტრით

ერთეული მოცულობის ხსნარის მასას ხსნარის სიმკვრივე ეწოდება. იზომება კგ./მ³–ში.

გახსნილი ნივთიერების მასის შეფარდებას ხსნარის მასასთან, გამოსახულს პროცენტებში, ამ ხსნარის კონცენტრაცია ეწოდება.

აღვნიშნოთ გახსნილი ნივთიერების მასა m–ით, ხსნარისა M-ით და კონცენტრაცია C–თი. განმარტების თანახმად შეგვიძლია დავწეროთ:

$$C = \frac{m}{M}.100\% \qquad (1)$$

ხსნარის კონცენტრაცია შეიძლება გაიზომოს ამ ხსნარისა და ქიმიურად სუფთა წყლის სიმკვრივის საშუალებით. აღვნიშნოთ ხსნარის სიმკვრივე D–თი, ხოლო სუფთა წყლის სიმკვრივე ρ–თი. შეიძლება დავწეროთ:

$$C = \frac{D-\rho}{D} \cdot 100\% \qquad (2)$$

სადაც $(D-\rho)$ რიცხობრივად გამოხატავს ერთეულ მოცულობაში გახსნილი ნივთიერების რაოდენობას. (1) ფორმულიდან გახსნილი ნივთიერების მასა:

$$m = M \cdot C$$

თუ ამ ფორმულაში შევიტანთ $M = D \cdot V$, საბოლოოდ მივიღებთ

$$m = D \cdot C \cdot V \qquad (3)$$

სადაც V ხსნარის მოცულობაა.

მუშაობის მსვლელობა

1. ჩაასხით მენზურაში ხსნარი და ჩაინიშნეთ მისი V მოცულობა ($მ^3$–ში).
2. ჩაუშვით არეომეტრი და გაზომეთ ხსნარის D სიმკვრივე.
3. გაზომეთ ხსნარის ტემპერატურა და ამ ტემპერატურაზე ფიზიკური მუდმივების ცხრილებში იპოვეთ წყლის ρ სიმკვრივე.
4. მონაცემები შეიტანეთ დაკვირვებათა ცხრილში, (2) ფორმულით იანგარიშეთ ხსნარის კონცენტრაცია, (3) ფორმულით კი – მასში გახსნილი ნივთიერების მასა.
5. გაათბეთ იგივე ხსნარი და ცდა გაიმეორეთ სხვადასხვა ტემპერატურაზე 4–5-ჯერ.
6. გამოიანგარიშეთ ხსნარის კონცენტრაციისა და მასში გახსნილი მასის საშუალო მნიშვნელობა.
7. იანგარიშეთ ფარდობითი და აბსოლუტური ცდომილება.

საკონტროლო კითხვები

1. რას ეწოდება ხსნარის სიმკვრივე? რა ერთეულებში იზომება?
2. რას ეწოდება ხსნარის კონცენტრაცია? როგორია მისი ფორმულა?
3. როგორ ვიანგარიშოთ ხსნარში გახსნილი ნივთიერების რაოდენობა?
4. რა არის არეომეტრი? აღწერეთ ცდის მსვლელობა.

დაკვირვებათა ცხრილი

დაკვირვებათა რიგი	არის ტემპერატურა	წყლის სიმკვრივე	ხსნარის სიმკვრივე	ხსნარის მოცულობა	ხსნარის კონცენტრაცია	კონცენტრაციის საშუალო მნიშვნელობა	გახსნილი ნივთიერების მასა	გახსნილი ნივთიერების მასის საშუალო მნიშვნელობა	ცდომილება: ხსნარის კონცენტრაციისათვის – აბსოლუტური	ცდომილება: ხსნარის კონცენტრაციისათვის – ფარდობითი	ცდომილება: მასისათვის – აბსოლუტური	ცდომილება: მასისათვის – ფარდობითი
1												
2												
3												

.კითხვები დასკვნისათვის

1. არეომეტრები იხმარება ხსნარში ცხიმიანობის, სპირტიანობის და შაქრიანობის გასაზომად. რა პრინციპს ემყარება ეს? როგორი არეომეტრები იქნება საჭირო?
2. შეიძლება თუ არა არეომეტრის დახმარებით განვსაზღვროთ ხსნარის ტემპერატურა? დაასაბუთეთ.

ბირთვების დაჯახებათა შესწავლა

სხეულის იმპულსი ეწოდება ამ სხეულის მასისა და სიჩქარის ნამრავლს:

$$\vec{K} = m\vec{\upsilon}$$

ურთიერთმოქმედ სხეულთა ერთობლიობას ეწოდება სისტემა. სისტემას ეწოდება ჩაკეტილი თუ მასში შემავალი სხეულები ურთიერთქმედებენ მხოლოდ ერთმანეთზე და არ ურთიერთქმედებენ სხვა სხეულებთან, რომლებიც მოცემულ სისტემაში არ შედიან.

სისტემის იმპულსი ეწოდება მასში შემავალი სხეულების იმპულსების ჯამს:

$$\vec{K} = \sum_{i=1}^{n} m_i\vec{\upsilon}_i$$

მტკიცდება, რომ ჩაკეტილი სისტემისათვის სამართლიანია იმპულსის შენახვის კანონი:

$$\sum_{i=1}^{n} m_i\vec{\upsilon}_i = const \qquad \text{(I)}$$

განვიხილოთ იმპულსის შენახვის კანონი ორი ბირთვის დაჯახების მაგალითზე. ბირთვების მასები იყოს m_1 და m_2, მათი სიჩქარეები დაჯახებამდე $\vec{\upsilon}_1$ და $\vec{\upsilon}_2$, ხოლო დაჯახების შემდეგ $\vec{\upsilon}_1'$ და $\vec{\upsilon}_2'$, მაშინ (I) ფორმულა მიიღებს შემდეგ სახეს:

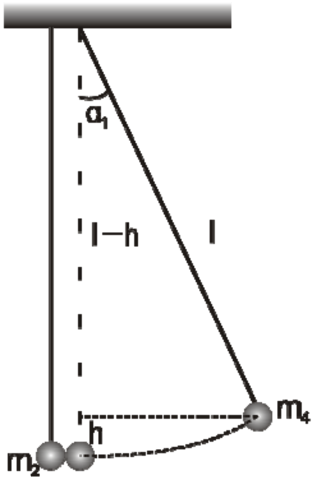
$$m_1\vec{\upsilon}_1 + m_2\vec{\upsilon}_2 = m_1\vec{\upsilon}_1' + m_2\vec{\upsilon}_2' \qquad (2)$$

ბირთვების დაჯახებას უწოდებენ აბსოლუტურად დრეკადს, თუ ბირთვების თავდაპირველი მექანიკური ენერგია არ გადადის შინაგან ენერგიაში. ასეთი დაჯახების პროცესში წარმოშობილი დეფორმაცია მთლიანად ისპობა. ე.ი. ბირთვები აღიდგენენ პირვანდელ ფორმასა და მოცულობას. ამ დროს იმპულსის შენახვის კანონი გამოისახება (2) ფორმულით.

ბირთვების დაჯახებას უწოდებენ აბსოლუტურად არადრეკადს თუ დაჯახების შემდეგ ისინი მოძრაობენ ერთნაირი სიჩქარით. აღვნიშნოთ ეს სიჩქარე $\vec{\upsilon}$ – თი. ამ დროს დეფორმაციის პოტენციალური ენერგია არ აღიძვრება: ბირთვების კინეტიკური ენერგია მთლიანად ($\vec{\upsilon} = 0$) ან ნაწილობრივ ($\vec{\upsilon} \neq 0$) გადადის მათ შინაგან ენერგიაში. ბირთვების აბსოლუტურად არადრეკადი დაჯახებისას იმპულსის მუდმივობის კანონი მიიღებს შემდეგ სახეს:

$$m_1\vec{\upsilon}_1 + m_2\vec{\upsilon}_2 = (m_1 + m_2)\vec{\upsilon}$$

ლაბორატორიულ პირობებში ბირთვების სიჩქარეები შეიძლება შემდეგნაირად განვსაზღვროთ: l სიგრძის ძაფებზე ჩამოვკიდოთ m_1 და m_2 მასის ბირთვები (ნახ. I) ცდის გამარტივების მიზნით უმჯობესია ერთი ბურთულა (მაგალითად m_2) წონასწორობაში დავტოვოთ. მაშინ მისი სიჩქარე $\upsilon_2 = 0$.



m_1 მასის ბირთვი წონასწორობიდან გადავხაროთ ისე, რომ მან აიწიოს გარკვეულ h სიმაღლეზე, როგორც ნახაზიდან ჩანს

$$l = h + l\cos\alpha_1$$
$$h = l(1-\cos\alpha_1)$$
$$h = 2l\sin^2\frac{\alpha_1}{2}$$

ნახ.1

სადაც α_1, არის კუთხე, საიდანაც იწყებს მოძრაობას პირველი ბურთულა. მცირე კუთხეებისათვის $\sin\alpha_1 \approx \alpha_1$, ამიტომ

$$h = 2l\frac{\alpha_1^{\ 2}}{\Delta l}$$

ამ მდგომარეობაში ბირთვის პოტენციალური ენერგია

$$E_1 = m_1 gl\frac{\alpha_1^{\ 2}}{2} \qquad (3)$$

თუ m_1 ბურთულას გავანთავისუფლებთ, მაშინ ის დაეჯახება უძრავად მყოფ m_2 ბურთულას. დაჯახების შემდეგ m_1 ბურთულა გადაიხარა რაღაც α_1' კუთხეზე, ხოლო m_2 ბურთულა α_2' კუთხეზე. ამ მდგომარეობაში ბურთულების ენერგიები გამო-ითვლება (3) ფორმულის დახმარებით:

$$E_1' = mgl\frac{\alpha_1^{\ 2}}{2}; \qquad E_2' = mgl\frac{\alpha_2'}{2} \qquad (4)$$

ვინაიდან ბურთულას პოტენციალური ენერგია უმაღლეს წერტილში ტოლია მისი კინეტიკური ენერგიისა უმდაბლეს წერტილში, ამიტომ ბურთულათა სიჩქარეებით დაჯახების შემდეგ, ენერგიის მუდმივობის კანონის თანახმად

$$\frac{m_1\upsilon^2}{2} = m_1 gl\frac{\alpha_1^{\ 2}}{2}$$

საიდანაც $\upsilon_1' = \sqrt{gl}\cdot\alpha_1'$ ანალოგიურად მივიღებთ

$$\upsilon_2' = \sqrt{gl}\alpha_2'$$
$$\upsilon_1 = \sqrt{gl}\alpha_1 \qquad (5)$$

(4) და (5) ფორმულებში კუთხეები ყველგან რადიანებშია გაზომილი. იგულისხმება, რომ $1^\circ \approx \frac{1}{57}$ რად.

ცნობილი m_1 და m_2 მასის შემთხვევაში, შეიძლება ცდაზე გაიზომოს α_1, α_1' და α_2' კუთხეები. მაშინ შეგვიძლია შევამოწმოთ იმპულსის მუდმივობის კანონი, რომელიც ჩვენს შემთხვევაში მიიღებს შემდეგ სახეს:

$$m_1\alpha_1 = m_1\alpha_1' + m_2\alpha_2'$$

თუ დაჯახება აბსოლუტურად არადრეკადია, მაშინ ცხადია, რომ $\alpha_1' = \alpha_2'$.

დაჯახების ტიპის შესამოწმებლად შეიძლება ვიპოვოთ მექანიკური ენერგიის ცვლილება დაჯახების შემდეგ. რაც მეტია იგი, მით უფრო არადრეკადია დაჯახება.

ცდის მსვლელობა

1. დაამაგრეთ ხელსაწყოზე ლითონის ორი ბირთვი. გადახარეთ მარჯვენა ბირთვი და შეახეთ ელექტრომაგნიტს. იგი უნდა გაჩერდეს ამ მდგომარეობაში;
2. ჩაინიშნეთ ბირთვების მასები (მარჯვენა – m_1, მარცხენა m_2) და გადახრის საწყისი α_1 (რადიანებში);
3. დააჭირეთ "пуск" ღილაკს. დაჯახების შემდეგ ჩაიწერეთ მაქსიმალური გადახრები (მარჯვენა α_1' მარცხენა α_2') რადიანებში;
4. გაიმეორეთ ცდა სამჯერ და იპოვეთ საშუალო α_1' და α_2';
5. გამოთვალეთ K_1, K_1', K_2' იმპულსები და E_1, E_1' და E_2' ენერგიები. იპოვეთ ცხრილში მოცემული სიდიდეები;
6. შეცვალეთ მარცხენა ბურთულა. გაიმეორეთ ცდის 1 – 5 პუნქტები.
7. მარცხენა ბურთულის მაგიერ დაამაგრეთ პლასტილინის ბურთულა და ისევ გაიმეორეთ 1–5 პუნქტები. ცდის მონაცემები შეიტანეთ დაკვირვებათა ცხრილში.

საკონტროლო კითხვები

1. განმარტეთ სხეულის იმპულსი.
2. განმარტეთ სხეულთა სისტემა და სისტემის იმპულსი.
3. ჩამოაყალიბეთ იმპულსის მუდმივობის კანონი.
4. რას ეწოდება ბირთვების დრეკადი და არადრეკადი დაჯახება?
5. ჩამოაყალიბეთ მექანიკური ენერგიეს მუდმივობის კანონი.
6. აღწერეთ ხელსაწყო და ცდის მსვლელობა.

დაკვირვებათა ცხრილი

№	m_1	m_2	α_1	α_1'	α_2'	$K_1' + K_2'$	$\frac{\Delta K}{K_1}$	E_1	$E_1' + E_2'$	ΔE	$\frac{\Delta E}{E_1}$
1 2 3											
4 5 6 .											
7 8 9											

სამუშაო ფორმულები

$$K = m\sqrt{gl} \cdot \alpha$$

$$E = mgl\,\frac{\alpha^2}{2}$$

$$\Delta K = K_1 - K_1' - K_2'$$

$$\Delta E = E_1 - E_1' - E_2'$$

სიმძიმის ძალის აჩქარების განსაზღვრა

სიმძიმის ძალის მოქმედებით უჰაერო სივრცეში სხეულის ვარდნას თავისუფალი ვარდნა ეწოდება. მოცემულ ადგილზე სიმძიმის ძალა მუდმივი სიდიდეა, მუდმივი ძალით გამოწვეული მოძრაობა კი თანაბრად აჩქარებულია, ე.ი. თავისუფალი ვარდნა თანაბრად აჩქარებული მოძრაობაა. სიმძიმის ძალით გამოწვეულ აჩქარებას თავისუფალი ვარდნის აჩქარება ანუ სიმძიმის ძალის აჩქარება ეწოდება. აღინიშნება g–თი.

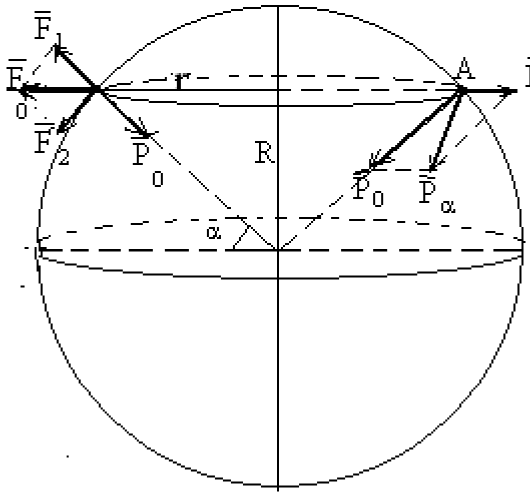
როგორც ცნობილია, სიმძიმის ძალა დამოკიდებულია დედამიწის გეოგრაფიულ განედზე და ზღვის დონიდან სხეულის დაშორების სიმაღლეზე. სიმძიმის ძალის დამოკიდებულება გეოგრაფიულ განედზე ნაწილობრივ გამოწვეულია დედამიწის არასფერული ფორმით (ეკვატორული და პოლარული რადიუსების სხვაობით), ძირითადად კი – დედამიწასთან ერთად სხეულის დღეღამური ბრუნვით ღერძის ირგვლივ.

განვიხილოთ როგორ არის დამოკიდებული სხეულის წონა გეოგრაფიულ განედზე.

ვთქვათ A წერტილში, რომლის გეოგრაფიული განედი არი a, მოთავსებულია სხეული (ნახ. 1). ამ სხეულზე ორი ძალა მოქმედებს:

1. დედამიწის მიზიდულობის P_0 ძალა, რომელიც მიმართულია დედამიწის ცენტრისაკენ.

2. ინერციის ცენტრიდანული F_0 ძალა, რომელიც მიმართულია r რადიუსის გასწვრივ.



ნახ.1

ამ ორი ძალის P_a ტოლქმედი წარმოადგენს სხეულის წონას A წერტილში. ამ წერტილში საქანი რომ ჩამოვკიდოთ, მისი მიმართულება დაემთხვევა არა P_0-ს, არამედ P_a ძალის მიმართულებას, ე.ი. P_a განსაზღვრავს მოცემულ ადგილზე ვერტიკალურად მიმართულ სიმძიმის ძალას. P_0 არის ის ძალა (წონა), რომელიც ექნებოდა სხეულს დედამიწა რომ უძრავი ყოფილიყო.

დავშალოთ F_0 ცენტრიდანული ძალა ორ მდგენელად F_1, ძალად, რომელიც მიმართულია დედამიწის მიზიდულობის P_0 ძალის საწინააღმდეგოდ და მის მართობ F_2 ძალად. მიახლოებით შეიძლება ჩავთვალოთ, რომ F_2 ცვლის მხოლოდ მიზიდულობის ძალის მიმართულებას, ხოლო F_1 ამცირებს მის სიდიდეს. რადგან იგი მიმართულია მიზიდულობის ძალის საწინააღმდეგოდ, ამიტომ:

$$P_a \approx P_0 - F_1$$

ნახაზიდანდან ჩანს, რომ

$$F_1 = F_0 \cos a = m\omega^2 r \cos a$$

მაგრამ $R\cos a = r$, სადაც R დედამიწის რადიუსია, ამიტომ

$$P_a = P_0 - m\omega^2 R \cos^2 a$$

რადგან $P_0 = mg$, ამიტომ

$$P_a = mg - m\omega^2 R \cos^2 a = mg(1 - \frac{\omega^2 R}{g}\cos^2 a)$$

ცდებით დადგენილი არის რომ

$$\frac{\omega^2 R}{g} = 0,0034$$

და ის ყოველთვის მუდმივი სიდიდეა, ამიტომ:

$$P_a = P_0(1 - 0,0034\cos^2 a) \qquad (1)$$

(1) ფორმულა გამოსახავს სიმძიმის ძალის გეოგრაფიულ განედზე დამოკიდებულებას.

აღვნიშნოთ სიმძიმის ძალის აჩქარება a განედზე g_a-თი, მაშინ (1) განტოლებიდან მივიღებთ:

$$g_a = g(1 - 0,0034\cos^2 a) \qquad (2)$$

(2) ფორმულა გვაძლევს სიმძიმის ძალის აჩქარების დამოკიდებულებას დედამიწის გეოგრაფიულ განედზე.

როგორც (1) და (2) ფორმულებიდან ჩანს, სიმძიმის ძალა და სიმძიმის ძალის აჩქარება უდიდესია პოლუსზე და უმცირესია ეკვატორზე. (პოლუსზე $a = 90$ და ეკვატორზე $a = 0$). დადგენილია, რომ პოლუსზე $g = 9,83221$ მ/წმ^2, ხოლო ეკვატორზე $g = 9,78049$ მ/წმ^2.

სიმძიმის ძალის აჩქარება მცირდება ზღვის დონიდან სხეულის დაშორების სიმაღლის ზრდის მიხედვით.

ჩვეულებრივ პირობებში 1–2 კმ. სიმაღლეზე ეს ცვლილება იმდენად მცირეა რომ შეიძლება უგულებელვყოთ.

არსებობს სიმძიმის ძალის აჩქარების განსაზღვრის მრავალი მეთოდი, განვიხილავთ რამდენიმე მათგანს.

სიმძიმის ძალის აჩქარების განსაზღვრა მათემატიკური საქანით

მათემატიკური საქანი წარმოადგენს უწონად და უჭიმად ძაფზე დაკიდულ მატერიალურ წერტილს. ზუსტი მათემატიკური საქანის მიღება შეუძლებელია. მაგრამ შეიძლება მიახლოებით მიღებულ იქნას ისეთი საქანი, რომელიც მათემატიკური საქანის ყველა მოთხოვნას აკმაყოფილებს. ასეთი საქანია მცირე მოცულობის ბირთვი, დაკიდული 1 მეტრზე მეტი სიგრძის წვრილ უჭიმად ძაფზე.

წონასწორობიდან გამოყვანის შემდეგ საქანი ასრულებს რხევით მოძრაობას. ამასთან, საქანის მცირე რხევები წარმოადგენს ჰარმონიულ რხევებს, ე.ი. ისეთ რხევებს, რომლის გამომწვევი ძალა გადახრის პირდაპირპროპორციულია და მიმართულია წონასწორობისაკენ.

თეორიიდან ცნობილია რომ l სიგრძის საქანის რხევის პერიოდი განისაზღვრება ჰიუგენსის ფორმულით:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}} \qquad (1)$$

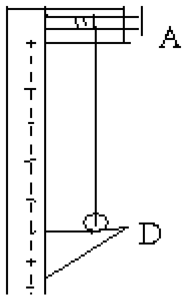
სადაც T არის დრო, რომლის განმავლობაშიც საქანი ერთ სრულ რხევას ასრულებს. (1) ფორმულიდან:

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

(2) ფორმულით გამოითვლება სიმძიმის ძალის აჩქარება.

ხელსაწლყოს აღწერა

მილიმეტრიანი სკალის მქონე სახაზავზე დამაგრე-ბულია სპეციალური A ღერო (ნახ.1) ძაფის ჩამოსაბმელად. ღეროზე დახვეულია წვრილი უჭიმადი ძაფი, რომელზედაც ჩამოკიდებულია ფოლადის ბირთვი. A ღეროს ბრუნვით შეიძლება ძაფის სიგრძის შეცვლა.



ნახ.1

მუშაობის მსვლელობა

1. მართკუთხა სამკუთხედი მიადეთ მასშტაბს ისე, რომ მისი ერთი კათეტი გაჰყვეს ვერტიკალურ ხაზს, ხოლო მეორე კათეტი შეახეთ ბურთულას ქვედა წერტილს და აითვალეთ მასშტაბზე ძაფის L სიგრძე. დაკიდების წერტილიდან სამკუთხედის ჰორიზონ-ტალურ კათეტამდე.
2. გაზომეთ ბურთულას r რადიუსი (მოიფიქრეთ როგორ) და საქანის $l = L - r$ სიგრძე.
3. გადახარეთ საქანი მცირე კუთხით (4––5^0-ით), იგი დაიწყებს რხევით მოძრაობას. როდესაც საქანი წონასწორობიდან უდიდესი გადახრის მდგომა-რეობაში იქნება, აამუშავეთ წამმზომი და განსაზღვრეთ t დრო, რომელიც საჭიროა საქანის n სრული რხევის შესრულებისათვის.
4. გამოთვალეთ რხევის $T = \frac{t}{n}$ პერიოდი.
5. ცდა ჩაატარეთ 4–5–ჯერ საქანის სხვადასხვა სიგრძისა და რხევათა რიცხვისათვის. გაზომვის შედეგები შეიტანეთ დაკვირვებათა ცხრილში და გამოთვალეთ სიმძიმის ძალის აჩქარების სიდიდე (2) ფორმულით. გამოიყვანეთ რამდენიმე გაზომვის საშუალო მნიშვნელობა.
6. იანგარიშეთ ფარდობითი და აბსოლუტური ცდომილება.

დაკვირვებათა ცხრილი

დაკვირვებათა რიგი	მანძილი დაკიდების წერტილიდან L წერტილამდე–	ბირთვის რადიუსი r	საქანის სიგრძე l	რხევათა რიცხვი n	n რხევისათვის საჭირო დრო t-წმ	რხევის პერიოდი T-წმ	სიმძიმის ძალის აჩქარება g	სიმძიმის ძალის აჩქარების საშუალო $g_{\text{საშ}}$ მნიშვნელობა –	აბსოლუტური ცდომილება Δg	ფარდობითი ცდომილება Δg/g

საკონტროლო კითხვები

1. რას ეწოდება მათემატიკური საქანი? როგორ შეიძლება დამზადდეს იგი?
2. დაწერეთ მათემატიკური საქანის რხევის პერიოდის ფორმულა, სიმძიმის ძალის აჩქარების ფორმულა.
3. აღწერეთ ხელსაწყო და ცდის მსვლელობა.

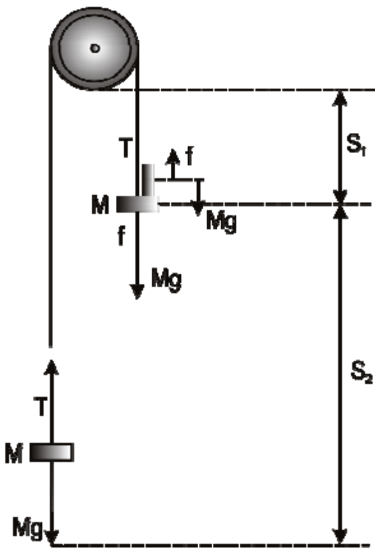
კითხვები დასკვნისათვის

1. რა ხელსაწყოები დაგჭირდებათ ამოცანის შესრულებისათვის?
2. რა სიდიდეების გაზომვას აწარმოებთ ცდის დროს? რა ერთეულებში?
3. საქანის სიგრძის ოთხჯერ გადიდებით როგორ შეიცვლება სიმძიმის ძალის აჩქარება? რხევის პერიოდი?

თავისუფალი ვარდნის აჩქარების განსაზღვრა ატვუდის ხელსაწყოს საშუალებით

არსებობს თავისუფალი ვარდნის აჩქარების (g) გაზომვის სხვადასხვა მეთოდები. ერთ–ერთი ასეთი მეთოდია g–ს განსაზღვრა ე.წ. ატვუდის ხელსაწყოს საშუალებით.

ატვუდის ხელსაწყო წარმოადგენს მბრუნავ ბლოკს, რომელზეც გადა-დებულია უჭიმავი ძაფი მასზე დამაგრებული M მასის ტვირთებით. რადგან ტვირთების მასები ერთნა-ირია, ამიტომ სისტემა თავდაპირველად იმყოფება წონასწორობის მდგომარე-ობაში. თუ ერთ–ერთ ტვირთზე მოვათავსებთ m მასის მქონე დამატებით ტვირთს, მაშინ სისტემა დაიწყებს თანაბარაჩქა-რებულ მოძრაობას ნახაზზე ნაჩვენები მიმართუ-ლებით.



სისტემა თანაბარაჩქარებულად მოძრაობს S_1 მანძილზე. რის შემდეგ ხდება m მასის ტვირთის სისტემიდან მოცილება. ამის შემდეგ სისტემა თანაბრად მოძრაობს S_2 მანძილზე. ცხადია, რომ ამ თანაბარი მოძრაობის სიჩქარე ტოლი იქნება იმ მყისი სიჩქარისა, რომელიც სისტემას ჰქონდა S_1 გზის ბოლოს.

აღვწეროთ სისტემის მოძრაობა. ამ მიზნით დავწეროთ ნიუტონის II კანონი თვითეული ტვირთისთვის ცალ–ცალკე. მივიღებთ განტოლებათა შემდეგ სისტემას:

$$\begin{cases} Mg - T + f = Ma \\ mg - f = ma \\ T - Mg = Ma \end{cases}$$

სადაც T ძაფის დაჭიმულობის ძალაა. f არის m მასის ტვირთის წონა (რომელიც ტოლია ამ ტვირთზე მოქმედი რეაქციის ძალისა), ხოლო a–სისტემის აჩქარება.

ამ სისტემის ამოხსნა გვაძლევს:

$$g = \frac{(2M+m)}{m} \cdot a$$

მაგრამ $a = \dfrac{\upsilon^2}{2S_1}$, სადაც υ არის სიჩქარე თანაბარაჩქარებული მოძრაობის ბოლოს. მაშინ

$$g = \frac{(2M+m)\upsilon^2}{2S_1 m}$$

ვინაიდან S_2 გზაზე მოძრაობა თანაბარია, ამიტომ

$$\upsilon = \frac{S_2}{t}$$

ამრიგად, საბოლოოდ მივიღებთ:

$$g = \frac{(2M+m){S_2}^2}{2S_1 t^2 m}$$

ცდის მსვლელობა

1. დააყენეთ ატვუდის ხელსაწყოზე შუა და ზედა კრონშტეინების მეშვეობით ნებისმიერი S_1 და S_2 მანძილები; ჩართეთ კლავიში „СЕТЬ";
2. ჩართეთ კლავიში „СБРОС". ინდიკატორზე ყველა ციფრი უნდა უჩვენებდეს ნულს; კლავიში „ПУСК" უნდა იყოს ამორთულ მდგომარეობაში. შეამოწმეთ აჩერებს თუ არა ელექტრომაგნიტი ბლოკს;
3. მარჯვენა ტვირთი ასწიეთ ისე, რომ მისი ქვედა ნაპირი გაუსწორდეს ზედა კრონშტეინზე გამოსახულ ხაზს;
4. მოათავსეთ m მასის მქონე დისკო მარჯვენა ტვირთზე;
5. დააჭირეთ თითი კლავიშს „ПУСК"; ტვირთები ამოძრავდებიან და მარჯვენა ტვირთი გაივლის შუა და ქვედა კრონშტეინებს. ამ დროს ლითონის დისკო დარჩება შუა კრონშტეინის რგოლზე. ქვედა კრონშტეინის გავლის შემდეგ ელექტრომაგნიტი ავტომატურად დაამუხრუჭებს ტვირთებს, ხოლო წამზომზე გამოისახება S_2 მანძილის გავლის დრო.
6. შეიტანეთ ცხრილში ცდის დროს მიღებული შედეგები: დიდი ტვირთების მასა – M, ლითონის დისკოს მასა m, მანძილები S_1 და S_2 და წამზომის ჩვენება t.
7. დააჭირეთ თითი კლავიშს „СБРОС". ლექტ-რომაგნიტმა უნდა გაათავისუფლოს გორგოლაჭი და ტვირთების მოძრაობა თავისუფლად უნდა შეიძლებოდეს;
8. 2–7 პუნქტები გაიმეორეთ სამჯერ სხვადასხვა მასის მქონე დისკოებისა და სხვადასხვა S_1 და S_2 მანძილებისათვის;

დაკვირვებათა ცხრილი

№	$\boldsymbol{M}$,	m	S_1	S_2	t	g	$\boldsymbol{g}_{საშ.}$	$\boldsymbol{\Delta g}$	$\frac{\Delta g}{g}$

საკონტროლო კითხვები

1. რას ეწოდება თავისუფალი ვარდნის აჩქარება და რას უდრის მისი მნიშვნელობა დედამიწის ზედაპირის მახლობლობაში?
2. გამოიყვანეთ g–ს გამოსათვლელი ფორმულა.
3. აღწერეთ ატვუდის ხელსაწაყო და ცდის მსვლელობა

სიმძიმის ძალის აჩქარების განსაზღვრა ბირთვის გორვის მეთოდით

მოვათავსოთ ბირთვი ჩაზნექილ MN ზედაპირზე (ნახ. 1) B წერტილში ბირთვის ცენტრს უკავია უდაბლესი მდებარეობა, რომელსაც შეესაბამება მინიმალური პოტენციური ენერგია, გამოვიყვანოთ ბირთვი წონასწორობის მდგომარეობიდან და მივცეთ მოძრაობის საშუალება, იგი დაიწყებს რხევას B წერტილის მიმართ. თუ ხახუნს მხედველობაში არ მივიღებთ, ბირთვი შეასრულებს ჰარმონიულ რხევას მუდმივი a ამპლიტუდით.

მექანიკური ენერგიის შენახვის კანონის თანახმად პოტენციური ენერგია გადახრის უმაღლეს A წერტილში ტოლია კინეტიკური ენერგიისა უდაბლეს B წერტილში:

$$E_{Ap} = E_{Bk} \qquad (1)$$

გამოვთვალოთ: E_{Ap} და E_{Bk}. ვიცით რომ პოტენციური ენერგია $E_{Ap} = mgh$, სადაც h ბირთვის ცენტრის აწევის სიმაღლეა B წერტილიდან.

ჩაზნექილი ზედაპირის სიმრუდის O ცენტრიდან შემოვხაზოთ $R_1 = OB$ რადიუსიანი წრეხაზი და A წერტილი შევუერთოთ D წერტილს. გეომეტრიის ელემენტალური კურსიდან ცნობილია, რომ

$$BC \cdot CD = AC^2$$

ნახაზიდან ჩანს, რომ $BC = h,; CD = 2R_1 - h$, და $AC = a$ ამიტომ ვწერთ

$$h(2R_1 - h) = a^2 \qquad (2)$$

თუ რხევა მცირე ამპლიტუდით წარმოებს, მაშინ სიმცირის გამო $\boldsymbol{h^2}$ შეიძლება უგულებელვყოთ და მივიღებთ $\boldsymbol{a^2 = 2R_1 \cdot h}$, საიდანაც

$$h = \frac{a^2}{2R_1}.$$

ამ მნიშვნელობას თუ შევიტანთ პოტენციური ენერგიის ფორმულაში მივიღებთ:

$$E_{Ap} = \frac{mga^2}{2R_1} \qquad (3)$$

დავუშვათ, ჩაზნექილ სფერულ ზედაპირზე ბირთვის სრიალს ადგილი არა აქვს, იგი მხოლოდ გორავს. ამ შემთხვევაში ბირთვის კინეტიკური ენერგია ტოლია გადატანითი მოძრაობის კინეტიკური ენერგიის და ცენტრის გარშემო ბრუნვის კინეტიკური ენერგიის ჯამისა

$$\boldsymbol{E_{Bk} = E_{\text{გ}} + E_{\text{ბ}}}. \qquad (4)$$

როგორც ცნობილია, გადატანითი მოძრაობის კინეტიკური ენერგია

$$\boldsymbol{E_{\text{გ}} = \frac{m\upsilon^2}{2}}$$

ჰარმონიული რხევითი მოძრაობის სიჩქარე $\boldsymbol{\upsilon = \frac{2\pi a}{T}}$, ამიტომ

$$\boldsymbol{E_{\text{გ}} = \frac{1}{2} m \left(\frac{2\pi a}{T} \right)^2}$$

ბრუნვითი მოძრაობის კინეტიკური ენერგია

$$E_{\text{ბ}} = \frac{I\omega^2}{2},$$

სადაც I ბირთვის ინერციის მომენტია დიამეტრის მიმართ, $I=\frac{2}{5}mr^2$;

$\omega-$ ბრუნვის კუთხური სიჩქარე, $\omega=\frac{\upsilon}{r}=\frac{2\pi a}{rT}$, ამიტომ

$$E_{ბ}=\frac{2}{5}mr^2\left(\frac{2\pi a}{rT}\right)^2\cdot\frac{1}{2}=\frac{1}{5}m\left(\frac{2\pi a}{T}\right)^2$$

კინეტიკური ენერგია B წერტილში

$$E_{Bk}=\frac{1}{2}m\left(\frac{2\pi a}{T}\right)^2+\frac{1}{5}m\left(\frac{2\pi a}{T}\right)^2=\frac{7}{10}m\left(\frac{2\pi a}{T}\right)^2$$

ენერგიის მუდმივობის კანონის თანახმად:

$$\frac{mga^2}{2R_1}=\frac{7}{10}m\left(\frac{2\pi a}{T}\right)^2$$

აქედან:

$$g=\frac{5{,}6\pi^2R_1}{T^2}$$

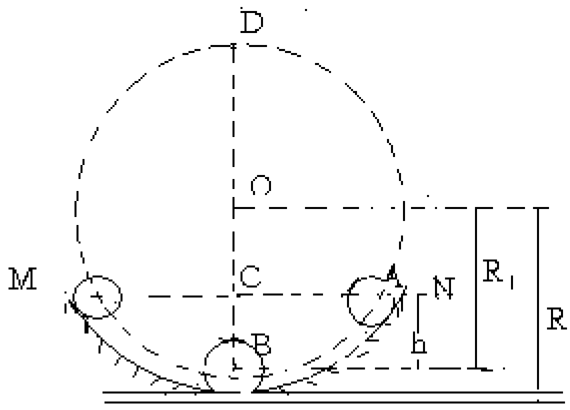
თუ სფერული ზედაპირის სიმრუდის რადიუსს აღვნიშნავთ $R-$ით, მაშინ შეგვიძლია დავწეროთ $R_1=R-r$. ჩავსვათ $g-$ს მნიშვნელობაში R_1-ის მნიშვნელობა, გვექნება:

$$g=\frac{55{,}3(R-r)}{T^2} \qquad (5)$$

(5) ფორმულით გამოითვლება სიმძიმის ძალის აჩქარება.

ხელსაწყოს აღწერა

დიდი სიმრუდის რადიუსის მქონე გლუვი სფერული სეგმენტის ზედაპირი დამაგრებულია შტატივზე ისე, რომ მისი სიბრტყე ჰორიზონტალურ მდგომარეობაშია (ნახ. 1).



ნახ.1

მუშაობის მსვლელობა

1. განსაზღვრეთ ჩაზნექილი სფერული ზედაპირის სიმრუდის ***R*** რადიუსი (იხ. ამოცანა №1).

1. გაზომეთ ბირთვის ***r*** რადიუსი.
2. როცა ბირთვი იმყოფება წონასწორობის მდებარეობიდან უდიდესი გადახრის მდგომარეობაში, აამუშავეთ წამზომი და აითვალეთ $n = 5 - 10$ სრული რხევისათვის საჭირო t დრო. განსაზღვრეთ ბირთვის სრული რხევის $T = \dfrac{t}{n}$ პერიოდი.
3. მიღებული ანათვლები შეიტანეთ დაკვირვებათა ცხრილში და გამოთვალეთ სიმძიმის ძალის აჩქარება.
4. ცდა ჩაატარეთ რამდენჯერმე სხვადასხვა დიამეტრის ბირთვებისათვის და იპოვეთ სიმძიმის ძალის აჩქარების საშუალო სიდიდე.
5. იანგარიშეთ ფარდობითი და აბსოლუტური ცდომილება.

დაკვირვებათა ცხრილი

დაკვირვებათა რიგი	სფერული ზედაპირის სიმრუ-დის რადიუსი R.	ბირთვის რადიუსი r.	სრული რხევის რაოდენობა n.	ირხევისათვის საჭირო დრო t	რხევის პერიოდი T.	სიმძიმის ძალის აჩქარება g.	სიმძიმის ძალის აჩქარების საშუალო მნიშვნელობა $g_{საშ}$	აბსოლუტური ცდომილება Δg	ფარდობითი ცდომილება Δg/g

საკონტროლო კითხვები

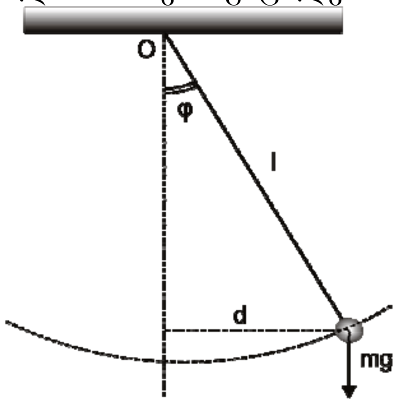
1. რა არის ამოცანის მიზანი?
2. გამოთვალეთ ბირთვის პოტენციური და კინეტიკური ენერგია.
3. გამოიყვანეთ ცდის მიხედვით სიმძიმის ძალის აჩქარების ფორმულა.
4. აღწერეთ ცდის მსვლელობა და ცდომილების გამოთვლის წესი.

კითხვები დასკვნისათვის

1. რა სიდიდეების გაზომვაა საჭირო ცდის დროს? რა ერთეულებში? რა ხელსაწყოებით? რა სიზუსტით?
2. იქნება თუ არა დამოკიდებული სიმძიმის ძალის აჩქარება ბირთვის რადიუსზე? როგორ?
3. სიმძიმის ძალის აჩქარება ცნობილია, რა შეიძლება გაიზომოს იგივე ცდით? დაწერეთ ფორმულა.

სიმძიმის ძალის აჩქარების განსაზღვრა მათემატიკური საქანის საშუალებით*

მათემატიკური საქანი ეწოდება უჭიმავ და უწონო ძაფზე დაკიდებულ სხეულს, რომლის ზომები გაცილებით მცირეა ძაფის სიგრძესთან შედარებით. (ნახ.1)



გავიხსენოთ ზოგიერთი ცნება რხევითი მოძრაობის თეორიიდან, რომლებიც დაგვჭირდება მოცემული სამუშაოს შესრულებისას.

აღვნიშნოთ $x-$ით მერხევი სხეულის დაცი-ლება წონასწორობის მდგომარეობიდან დროის ნებისმიერ მომენტში. ამ სიდიდეს წანაცვლება ეწოდება. ცხადია, რომ $x = x(t)$. თუ წანაცვლება იზრდება სინუსის ან კოსინუსის კანონით, მაშინ რხევას ეწოდება ჰარმონიული. ჰარმონიული რხევის განტოლებას აქვს შემდეგი სახე:

$$x = x_0 \sin(\omega_0 t + \alpha) \quad \text{ან} \quad x = x_0 \cos(\omega_0 t + \alpha)$$

ამ ფორმულებში x_0 არის სხეულის მაქსიმალური წანაცვლება და მას ამპლიტუდა ეწოდება;

$\omega_0 t + \alpha$ – არის რხევის ფაზა, ხოლო $\alpha-$საწყისი ფაზა;

რხევის პერიოდი T ეწოდება დროს, რომლის განმავლობაშიც სხეული ასრულებს ერთ სრულ რხევას, ხოლო რხევის სიხშირე ეწოდება ერთ წამში შესრულებულ რხევათა რიცხვს. ამ სიდიდეებს შორის არსებობს შემდეგი მარტივი დამოკიდებულება:

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

ციკლური სიხშირე ω_0 დამოკიდებულია რხევის პერიოდთან და სიხშირესთან შემდეგნაირად:

$$\omega_0 = \frac{2\pi}{T} = 2\pi\nu$$

მათემატიკური საქანის მოძრაობა შეიძლება განვიხილოთ როგორც მატერიალური წერტილის ბრუნვითი მოძრაობის კერძო შემთხვევა. ეს საშუალებას გვაძლევს გამოვიყენოთ ბრუნვითი მოძრაობის დინამიკის ძირითადი განტოლება:

$$M = I\beta \qquad \text{(I)}$$

სადაც M არის სხეულზე მოქმედი სიმძიმის ძალის მომენტი;

I –სხეულის ინერციის მომენტია O წერტილზე გამავალი ღერძის მიმართ. $\beta-$ კუთხური აჩქარებაა.

მაგრამ

$$M = -mg\alpha = -mgl\sin\varphi$$

$$I = ml^2$$

$$\beta = \frac{d\omega}{dt} = \frac{d^2\varphi}{dt^2}$$

მაშინ (I) განტოლება მიიღებს სახეს:

$$\frac{d^2\varphi}{dt^2} + \frac{g}{l}\sin\varphi = 0$$

რხევის მცირე კუთხეებისათვის $\sin\varphi \approx \varphi$. შემოვიღოთ აღნიშვნა

$$\frac{g}{l} = \omega_0^2 \qquad (2)$$

მივიღებთ:

$$\frac{d^2\varphi}{dt^2} + \omega_0^2\varphi = 0$$

უშუალო ჩასმით შეიძლება დავრწმუნდეთ, რომ ამ განტოლების ამონახსენს აქვს შემდეგი სახე:

$$\varphi = \varphi_0 \cos(\omega_0 t + \alpha),$$

სადაც φ_0 და α მუდმივებია, რომელთა დადგენა შეიძლება საწყისი პირობებით. ამრიგად, მათემატიკური საქანის რხევა ჰარმონიულია.

რხევის პერიოდის დასადგენად $\omega_0 = \frac{2\pi}{T}$ ფორმულა შევიტანოთ (2) –ში, მივიღებთ:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}} \qquad (3)$$

(3) ფორმულიდან

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

(4) ფორმულიდან ჩანს, რომ g სიდიდის გასაგებად საკმარისია გავზომოთ მათემატიკური საქანის l სიგრძე და რხევის T პერიოდი. ეს უკანასკნელი გამოითვლება ფორმულით:

$$T = \frac{t}{n} \qquad (5)$$

სადაც t არის n რხევის შესაბამისი დრო.

ცდის მსვლელობა

1. ქვედა კრონშტეინი დააყენეთ ღერძის ქვედა ნაწილში, მიაქციეთ ყურადღება იმას, რომ მათემატიკური საქანის სიგრძე არ იყოს ნაკლები 50 სმ.–ზე;
2. დააყენეთ საქანი ისე, რომ ხაზი ბურთულაზე ემთხვეოდეს ელექტრონული მოწყობილობის კორპუსზე არსებულ ხაზს;
3. გადახარეთ საქანი წონასწორობის მდგომარე-ობიდან 4–5^0 - ით;
4. დააჭირეთ თითი ღილაკს „СБРОС";
5. გაუშვით საქანი, დაახლოებით 10 რხევის შემდეგ დააჭირეთ თითი ღილაკს „СТОП";
6. (5) ფორმულით იანგარიშეთ საქანის რხევის პერიოდი T;
7. გაზომეთ სკალაზე საქანის სიგრძე l;
8. (4) ფორმულით იანგარიშეთ სიმძიმის ძალის აჩქარება;
9. ცდა გაიმეორეთ სამჯერ, იპოვეთ g–ს საშუალო მნიშვნელობა, გამოთვალეთ აბსოლუტური და ფარდობითი ცდომილობები.

დაკვირვებათა ცხრილი

№	l,მ.	n	t წმ.	T წმ.	g	g საშ.	Δg საშ.	$\delta = \frac{\Delta g}{9.8} \cdot 100\%$

სამუშაო ფორმულები

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

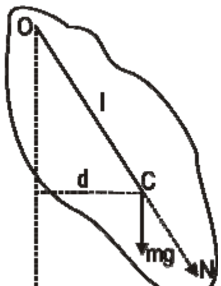
$$g = \frac{4\pi^2 l}{T^2}$$

საკონტროლო კითხვები

1. რას ეწოდება რხევა? როგორ რხევას ეწოდება ჰარმონიული?
2. დაწერეთ ჰარმონიული რხევის განტოლება. რა შემთხვევაში იქნება ამ განტოლებაში სინუსი და კოსინუსი?
3. განმარტეთ რხევითი მოძრაობის მახასიათებელი სიდიდეები (წანაცვლება, ამპლიტუდა, ფაზა, საწყისი ფაზა). დაასახელეთ მათი ერთეულები.
4. განმარტეთ რხევის პერიოდი, სიხშირე და ციკლური სიხშირე. როგორი კავშირია მათ შორის?
5. დაწერეთ ბრუნვითი მოძრაობის დინამიკის ძირითადი განტოლება და დაასახელეთ მასში შემავალი სიდიდეები.
6. რას ეწოდება მათემატიკური საქანი? დაწერეთ მისი რხევის პერიოდის ფორმულა.
7. აღწერეთ ცდის მსვლელობა

სიმძიმის ძალის აჩქარების განსაზღვრა ფიზიკური საქანის საშუალებით*

ფიზიკური საქანი ეწოდება ნებისმიერ სხეულს, რომელსაც შეუძლია შეასრულოს რხევითი მოძრაობა ნებისმიერი ღერძის მიმართ, რომელიც არ გადის მისი სიმძიმის ცენტრში (ნახ.I).



ნახ. I

გავიხსენოთ ზოგიერთი ცნება რხევითი მოძრაობის თეორიიდან, რომლებიც დაგვჭირდება მოცემული სამუშაოს შესრულებისას.

აღვნიშნოთ $x-$ით მერხევი სხეულის დაცილება წონასწორობის მდგომარეობიდან დროის ნებისმიერ მომენტში. ამ სიდიდეს წანაცვლება ეწოდება. ცხადია, რომ $x = x(t)$. თუ წანაცვლება იცვლება სინუსის ან კოსინუსის კანონით, მაშინ რხევას ეწოდება ჰარმონიული. ჰარმონიული რხევის განტოლებას აქვს შემდეგი სახე:

$$x = x_0 \sin(\omega_0 t + \alpha) \quad \text{ან} \quad x = x_0 \cos(\omega_0 t + \alpha)$$

ამ ფორმულებში x_0 არის სხეულის მაქსიმალური წანაცვლება და მას ამპლიტუდა ეწოდება;

$\omega_0 t + \alpha$ – არის რხევის ფაზა, ხოლო α – საწყისი ფაზა; ω_0 სიდიდეს ეწოდება ციკლური სიხშირე.

რხევის პერიოდი T ეწოდება დროს, რომლის განმავლობაშიც სხეული ასრულებს ერთ სრულ რხევას, ხოლო რხევის სიხშირე ν ეწოდება ერთ წამში შესრულებულ რხევათა რიცხვს. ამ სიდიდეებს შორის არსებობს შემდეგი მარტივი დამოკიდებულება:

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

ციკლური სიხშირე ω_0 დაკავშირებულია რხევის პერიოდთან და სიხშირესთან შემდეგნაირად:

$$\omega_0 = \frac{2\pi}{T} = 2\pi\nu$$

აღვწეროთ ფიზიკური საქანის მოძრაობა. ნახაზზე l არის მანძილი ბრუნვის O ღერძიდან სხეულის სიმძიმის C წერტილამდე. საქანის მოძრაობა შეიძლება განვიხილოთ როგორც მყარი სხეულის ბრუნვითი მოძრაობის კერძო შემთხვევა. ეს საშუალებას გვაძლევს გამოვიყენოთ ბრუნვითი მოძრაობის დინამიკის ძირითადი განტოლება:

$$M = I\beta, \qquad (1)$$

სადაც M არის სხეულზე მოქმედი სიმძიმის ძალის მომენტი; $I-$სხეულის ინერციის მომენტი O წერტილზე გამავალი ღერძის მიმართ; $\beta-$კუთხური აჩქარებაა.

მაგრამ

$$M = -mgd = -mgl\sin\varphi$$

$$\beta = \frac{d\omega}{dt} = \frac{d^2\varphi}{dt^2}$$

მაშინ (I) განტოლება მიიღებს სახეს:

$$\frac{d^2\varphi}{dt^2} + \frac{mgl}{I}\sin\varphi = 0$$

რხევის მცირე კუთხეებისათვის $\sin\varphi = \varphi$. შემოვიღოთ აღნიშვნა

$$\frac{mgl}{I} = \omega_0{}^2 \qquad (2)$$

მივიღებთ:

$$\frac{d^2\varphi}{dt^2} + \omega_0{}^2\varphi = 0$$

უშუალო ჩასმით შეიძლება დავრწმუნდეთ, ამ განტოლების ამონახსენს აქვს შემდეგი სახე:

$$\varphi = \varphi_0 \cos(\omega_0 t + \alpha),$$

სადაც φ_0 და α მუდმივებია, რომელთა დადგენა შეიძლება საწყისი პირობებით. ამრიგად, ფიზიკური საქანის რხევა ჰარმონიულია.

რხევის პერიოდის დასადგენად $\omega_0 = \dfrac{2\pi}{T}$ ფორმულა შევიტანოთ (2)–ში. მივიღებთ:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{I}{mgl}} \qquad (3)$$

სიდიდეს $l' = \dfrac{I}{ml}$ ეწოდება ფიზიკური საქანის დაყვანილი სიგრძე. მაშინ

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{l'}{g}} \qquad (4)$$

(4) ფორმულიდან

$$g = \frac{4\pi^2 l'}{T^2} \qquad (5)$$

რხევის პერიოდი T (5) ფორმულაში შეიძლება გამოვთვალოთ ფორმულით:

$$T = \frac{t}{n} \qquad (6)$$

სადაც t არის n რხევის შესაბამისი დრო.

(5) ფორმულის გამოყენება თავისუფალი ვარდნის აჩქარების დასადგენად, დაკავშირებულია ფიზიკური საქანის დაყვანილი სიგრძის l'–ის განსაზღვრასთან. ვთქვათ l' ცნობილია. გადავზომოთ 0 და C წერტილებზე გამავალ წრფეზე O წერტილიდან l'ის ტოლი მონაკვეთი ON. შევაბრუნოთ საქანი და ვაიძულოთ იგი შეასრულოს რხევითი მოძრაობა წერტილზე გამავალი ღერძის მიმართ. თეორია ამტკიცებს, რომ ამ დროს საქანის რხევის პერიოდი T' ტოლი იქნება საქანის რხევის T პერიოდისა, როცა იგი ასრულებდა რხევით მოძრაობას O წერტილზე გამავალი ღერძის მიმართ.

ცხადია, რომ თუ მოვიქცევით პირიქით, ე. ი. ვიპოვით ისეთ წერტილს, რომ შესრულდეს პირობა $T' = T$, მაშინ $ON = l'$. სწორედ ამ გზით გამოითვლება l'.

ცდის მსვლელობა

1. შემოაბრუნეთ ზედა კრონშტეინი 180^0–ით;
2. განალაგეთ დისკოები ფიზიკური საქანის ღეროზე არასიმეტრიულად ისე, რომ ერთი დისკო ახლოს იყოს ღეროს ბოლოსთან, მეორე კი – ღეროს შუა ნაწილთან;
3. ერთი პრიზმა დააფიქსირეთ ღეროს მეორე ბოლოდან ისეთ მანძილზე რომელიც დაახლოებით დისკოებს შორის მანძილის ნახევრის ტოლი იყოს;
4. დაამაგრეთ საქანი ზედა კრონშტეინზე იმ პრიზმით, რომელიც ახლოსაა ღეროს ბოლოსთან;
5. ქვედა კრონშტეინი გადაადგილეთ ღერძის მიმართ ისე, რომ საქანის ღერო კვეთდეს ფოტოელექტრონული მოწყობილობის ოპტიკურ ღერძს;
6. გადახარეთ საქანი წონასწორობის მდგომარე- ობიდან $4–5^0$ – ით;
7. დააჭირეთ თითი ღილაკს “СБРОС”.
8. გაუშვით საქანი და დაახლოებით 10 რხევის შემდეგ დააჭირეთ თითი ღილაკს “СТОП”.
9. (2) ფორმულით დაადგინეთ საქანის რხევის პერიოდი T;
10. ჩამოხსენით საქანი, შეაბრუნეთ იგი და დაამაგრეთ კრონშტეინზე მეორე პრიზმით;
11. ქვედა კრონშტეინი გადაადგილეთ ღერძის მიმართ ისე, რომ საქანის ღერო კვეთდეს ფოტო-ელექტრონული მოწყობილობის ოპტიკურ ღერძს;
12. გადახარეთ საქანი წონასწორობის მდგომა-რეობიდან $4–5^0$–ით;

13. დააჭირეთ თითი ღილაკს “СБРОС”;
14. გაუშვით საქანი და დაახლოებით 10 რხევის შემდეგ დააჭირეთ თითი ღილაკს “СТОП”;
15. (2) ფორმულით დაადგინეთ საქანის რხევის პერიოდი T'; შეადარეთ იგი T – ს; თუ $T' < T$, მაშინ მეორე პრიზმა გადაადგილეთ იმ დისკოს მიმართულებით, რომელიც დამაგრებულია ღეროს ბოლოსთან ახლოს; თუ $T' > T$, მაშინ პრიზმა გადაადგილეთ ღეროს შუა ნაწილისაკენ; ამ დროს პირველი პრიზმისა და დისკოების მდებარეობები უცვლელი უნდა იყოს.
16. ხელახლა გავზომოთ T' და ა.შ. მანამ სანამ არ შესრულდება ტოლობა $T = T'$ (სიზუსტით 0.5%);
17. აითვალეთ ღეროზე ფიზიკური საქანის დაყვანილი სიგრძე, რომელიც წარმოადგენს მანძილს პრიზმებს შორის;
18. (5) ფორმულით იანგარიშეთ თავისუფალი ვარდნის აჩქარება;
19. ცდა გაიმეორეთ სამჯერ; იპოვეთ $g-$ საშუალო მნიშვნელობა. გამოთვალეთ აბსოლუტური და ფარდობითი ცდომილება.

დაკვირვებათა ცხრილი

№	n	t_1	T_1	n'	t_1'	T_1'	l_1'	g,	$g_{\text{საშ.}}$	Δg	δ

სამუშაო ფორმულები

$$T = \frac{t}{n}, T' = \frac{t'}{n}$$

$$g = \frac{4\pi^2}{T^2} l'$$

$$\Delta g = \left| g_{\text{საშ}} - 9{,}8 \right|$$

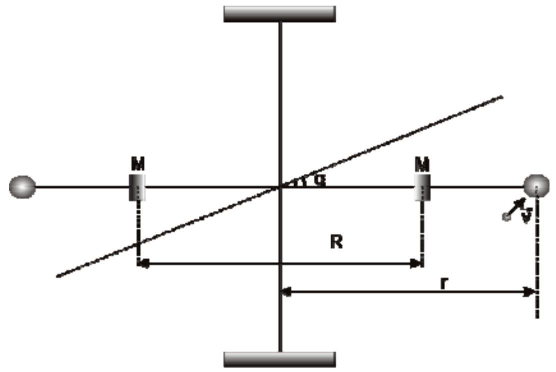
$$\delta = \frac{\Delta g}{9{,}8} \cdot 100\%$$

საკონტროლო კითხვები

1. რას ეწოდება რხევა? როგორ რხევას ეწოდება ჰარმონიული?
2. დაწერეთ ჰარმონიული რხევის განტოლება. რა შემთხვევაში იქნება ამ განტოლებაში სინუსი და კოსინუსი?
3. განმარტეთ რხევითი მოძრაობის მახასიათებელი სიდიდეები წანაცვლება, ამპლიტუდა, ფაზა, საწყისი ფაზა, რხევის პერიოდი და სიხშირე.
4. დაწერეთ ბრუნვითი მოძრაობის დინამიკის ძირითადი განტოლება და განმარტეთ მასში შემავალი სიდიდეები.
5. რას ეწოდება ფიზიკური საქანი? როგორ შეიძლება განვსაზღვროთ ფიზიკური საქანის დაყვანილი სიგრძე?
6. აღწერეთ ცდის მსვლელობა.

სხეულის სიჩქარის განსაზღვრა ბალისტიკური საქანის საშუალებით

გრეხითი ბალესტიკური საქანის მთავარ ნაწილს წარმოადგენს ღერძი, რომელიც დაკიდებულია ლითონის ძაფზე (იხ. ნახ. I). ღერძზე დამაგრებულია ორი მოძრავი ტვირთი და პლასტილინიანი ძაფები. ბალისტიკური საქანის დანადგარში შედის ზამბარიანი "თოფი", რომლიდანაც გარკვეული υ სიჩქარით გამოიტყორცნება ცილინდრული ფორმის m მასის სხეული. ტყვია აბსოლუტურად არადრეკადად ეჯახება პლასტილინიან ფარს და გამოიწვევს საქანის ღერძის გადახრას. გადახრის მაქსიმალური კუთხე აღვნიშნოთ α–თი. ნახაზზე M–ით აღნიშნულია ტვირთების მასები, ხოლო R – ით მანძილი ტვირთებს შორის. ამოცანის მიზანს წარმოადგენს ტყვიის υ სიჩქარის დადგენა.



ნახ. I

გამოვიყვანოთ ფორმულა, რომელიც ცდის მონაცემების საფუძველზე საშუალებას მოგვცემს გამოვთვალოთ ტყვიის υ სიჩქარე.

ტყვიის პლასტილინიან ფარზე დაჯახების შედეგად საქანი შეასრულებს რხევით მოძრაობას. ამ რხევის პერიოდი აღვნიშნოთ T_1–ით. შეიძლება ვიგულისხმოთ, რომ ტყვიის პლასტილინიან ფართან ურთიერთქმედების დრო ტოლია $\frac{T_1}{4}$ – ისა. მაშინ ტყვიისა და ფარის ურთიერთქმედების ძალა

$$F = \frac{4m\upsilon}{T_1} \qquad (1)$$

F ძალის მომენტი

$$M = F \cdot r$$

მეორეს მხრივ M პროპორციულია გადახრის მაქსიმალური კუთხისა:

$$M = K\alpha$$

სადაც K წარმოადგენს ლითონის ძაფის გრეხით სიხისტეს. ბოლო ორი ფორმულის შედარება გვაძლევს, რომ

$$F \cdot r = K\alpha$$

თუ გავითვალისწინებთ (1) ფორმულას, მივიღებთ:

$$\upsilon = \frac{K\alpha}{4mr} \cdot T_1 \qquad (2)$$

ადვილად შეიძლება ვაჩვენოთ, რომ ბალისტიკური საქანის რხევები ჰარმონიულია, ხოლო რხევის პერიოდი T გამოისახება ფორმულით:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{I}{K}} \qquad (3)$$

სადაც $I -$ საქანის ინერციის მომენტია.
(3) ფორმულიდან

$$K = \frac{4\pi^2 I}{T^2} \qquad (4)$$

(3) ფორმულაში შემავალი I საქანის ინერციის მომენტი

$$I = I_0 + 2M\left(\frac{R}{2}\right)^2 = I_0 + \frac{MR^2}{2}, \qquad (4')$$

სადაც I_0 არის პლასტილინიანი ფარებისა და საქანის ღერძის ინერციის მომენტი. ეს სიდიდე შეიძლება გამოვრიცხოთ საბოლოო ფორმულიდან, თუ ჩავატარებთ ორ ცდას ტვირთებს შორის სხვადასხვა R_1 და R_2 მანძილების დროს, (3) ფორმულის თანახმად

$$T_1^2 = \frac{4\pi^2 I_1}{K} = \frac{4\pi^2}{K}\left(I_0 + \frac{MR_1^2}{2}\right) \text{ და}$$

$$T_2^2 = \frac{4\pi^2 I_2}{K} = \frac{4\pi^2}{K}\left(I_0 + \frac{MR_2^2}{2}\right)$$

ბოლო ორი ფორმულიდან ვღებულობთ

$$T_1^2 - T_2^2 = \frac{2\pi^2 M}{K}\left(R_1^2 - R_2^2\right)$$

აქედან

$$K = 2\pi^2 M \frac{R_1^2 - R_2^2}{T_1^2 - T_2^2}$$

თუ ბოლო ფორმულას შევიტანთ (2) – ში მივიღებთ:

$$\upsilon = \frac{\pi^2 M \alpha T_1\left(R_1^2 - R_2^2\right)}{2mr\left(T_1^2 - T_2^2\right)} \qquad (5)$$

ჩვენს ცდაში α კუთხე იზომება გრადუსებში, ხოლო ბოლო ფორმულაში კი იგულისხმება, რომ α კუთხე იზომება რადიანებში. ამიტომ (5) ფორმულაში შევა კოეფიციენტი $\frac{1}{57{,}5}$ (1 რად.$\approx 57{,}5^\circ$)

ცდის მსვლელობა

1. გაზომეთ ტყვიის m მასა და შეიტანეთ ცხრილში. ცხრილში აღვნიშნეთ აგრეთვე მოძრავი ტვირთის M მასის სიდიდე /იხილეთ წარწერა ტვირთზე/;
2. მაქსიმალურად მიუახლოვეთ ერთმანეთს მოძრავი ტვირთები და შეიტანეთ ცხრილში მათ ცენტრებს შორის მანძილი R_2;
3. თუ პლასტილინიან ფარზე გავლებული ხაზი არ ემთხვევა სკალის ნულს, ნელა მოაბრუნეთ ზედა ქანჩი /რომელშიც მავთულის ბოლოა ჩამაგრებული /ნულის მიმართულებით და დააყენეთ საქანი ნულზე. /თუ სხვაობა ძალიან დიდია, მიმართეთ მასწავლებელს/;
4. ჩართეთ ხელსაწყო ქსელში. დააჭირეთ “СЕТЬ” ღილაკს;

5. და მოახდინეთ გასროლა. პირველივე გადახრაზე ათვალეთ სკალის ის მაქსიმალური დანაყოფი, რომელსაც მიაღწევს საქანის ფარზე გავლებული ხაზი. ეს იქნება α კუთხე /გრადუსებში/. აითვალეთ $r-$იც.

6. გადახარეთ საქანი α კუთხეზე, დააჭირეთ “СБРОС” ღილაკს და გაუშვით ხელი. გამოთვალეთ დაახლოებით 10 რხევისათვის საჭირო დრო.

7. იპოვეთ ერთი რხევის პერიოდი T_2;

8. მოძრავი ტვირთები მაქსიმალურად დააშორეთ ერთმანეთს. მათ შორის მანძილი იქნება R_1. გაიმეორეთ მე–3 და მე–6 პუნქტები;

9. იპოვეთ T_1 /ისევე როგორც მე–7 მე–5 პუნქტში T_2/;

10. (6) ფორმულის საშუალებით იპოვეთ υ;

11. ცდა ჩაატარეთ რამოდენიმეჯერ იპოვეთ საშუალო სიჩქარე $\upsilon_{\text{საშ.}}$;

12. გამოთვალეთ აბსოლუტური და ფარდობითი ცდომილება.

დაკვირვებათა ცხრილი

№	M	m,	r_1	R_2	α^0	T_2,	R_1,	α°	T_1,	υ	$\upsilon_{\text{საშ.}}$	$\Delta\upsilon$	$\frac{\Delta\upsilon}{\upsilon}$.
1 2 3													

ძირითადი ფორმულა:

$$\upsilon = \frac{\pi^2 M \alpha T_1 \left(R_1^2 - R_2^2\right)}{2mr\left(T_1^2 - T_2^2\right)}$$

საკონტროლო კითხვები

1. განმარტეთ აბსოლუტურად დრეკადი დაჯახება. არადრეკადი დაჯახება.
2. განმარტეთ ჰარმონიული რხევა. რხევის პერიოდი და სიხშირე.
3. დაწერეთ რატომ გამოისახება საქანის ინერციის მომენტი $(4')$ ფორმულით?

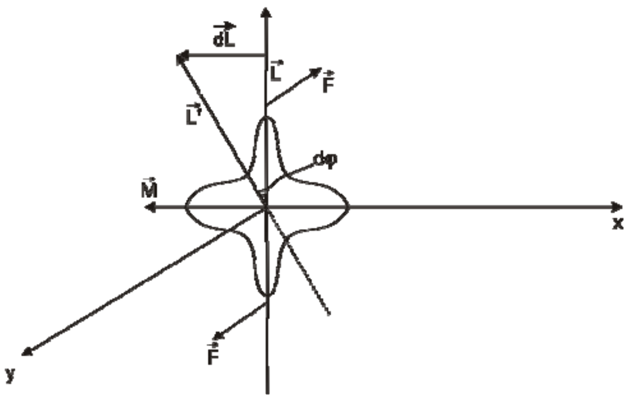
აღწერეთ ხელსაწყო და ცდის მსვლელობა

გიროსკოპული ეფექტის შესწავლა

გიროსკოპი ეწოდება მასიურ სიმეტრიულ სხეულს, რომელიც დიდი სიჩქარით ბრუნავს სიმეტრიის ღერძის გარშემო. ამ ღერძს გიროსკოპის ღერძი ეწოდება. აღსანიშნავია, რომ გიროსოკპის ღერძს სივრცეში თავისუფლად შეუძლია შეიცვალოს მიმართულება.

თუ შევეცდებით გიროსკოპის ღერძის შემობრუნებას (მაგალითად, ox ღერძის ირგვლივ) და ვიმოქმედებთ მასზე სათანადო მიმართულების F ძალით (იხ. ნახ. I).

შევამჩნევთ თავისებურ ეფექტს, კერძოდ, გიროსკოპის ღერძი შემობრუნდება oy ღერძის მიმართ. ამ ეფექტს გიროსკოპული ეფექტი ეწოდება.



გიროსკოპული ეფექტი აიხსნება ბრუნვითი მოძრაობის დინამიკის კანონების საფუძველზე.

ვთქვათ გიროსკოპი ბრუნავს საათის ისრის მიმართულებით oz ღერძის მიმართ. მაშინ იმპულსის მომენტის $\vec{L}$ ვექტორი ამ ღერძის თანხვდენილი იქნება.

ძალის მაბრუნებელი მომენტი $\vec{M}$, როგორც ეს ადვილად შეიძლება დადგინდეს ბურღის წესით, მიმართული იქნება ox ღერძის საწინააღმდეგოდ.

ვისარგებლოთ ბრუნვითი მოძრაობის დინამიკის ძირითადი განტოლებით:

$$\vec{M} = \frac{d\vec{L}}{dt} \qquad \text{(I)}$$

ამ ფორმულიდან ჩანს, რომ $\vec{L}$ ვექტორის ნაზრდი $d\vec{L}$ მიმართულია $\vec{M}$ ვექტორის თანხვდენილად, ე.ი. ox ღერძის საპირისპიროდ. მაშინ, ვექტორების შეკრების წესის თანახმად იმპულსის მომენტის ახალი ვექტორი

$$\vec{L}^1 = \vec{L} + d\vec{L}$$

სივრცეში იღებს ახალ მიმართულებას. როგორც ნახაზიდან ჩანს, გიროსკოპის ღერძი შემობრუნდა oy ღერძის მიმართ. (1) ფორმულიდან

$$d\vec{L} = \vec{M} \cdot dt$$

ნახაზიდან ჩანს, რომ

$$d\varphi = \frac{\left|d\vec{L}\right|}{\left|L\right|} = \frac{M \cdot dt}{L} \qquad (2)$$

ახალ მდგომარეობაში გიროსკოპის ბრუნვის კუთხური სიჩქარე

$$\omega' = \frac{d\varphi}{dt} = \frac{M}{L}$$

აქედან

$$M = \omega' L \qquad (3)$$

ან ვექტორულად

$$\vec{M} = \left[\vec{\omega}' \cdot \vec{L}\right]$$

თუ გიროსკოპის ღერძი ვერტიკალიდან გადახრილია გარკვეული კუთხით, მაშინ სიმძიმის ძალის მომენტის გავლენით ეს ღერძი შემობრუნდება ვერტიკალის გარშემო და აღწერს სივრცეში კონუსურ ზედაპირს. გიროსკოპის ასეთ მოძრაობას ეწოდება პრეცესია, მტკიცდება, რომ პრეცესიის კუთხური სიჩქარე

$$\omega' = \frac{mgl}{I\omega},$$

სადაც m არის გიროსკოპის მასა, $l-$მანძილი უძრავი წერტილიდან გიროსკოპის ინერციის ცენტრამდე, $I-$ გიროსკოპის ინერციის მომენტი, ხოლო $\omega-$ გიროსკოპის ბრუნვის საკუთარი სიხშირე.

ცდის მსვლელობა

ჩავრთოთ ხელსაწყო. გადავწიოთ და დავაფიქსიროთ მოძრავი ტვირთი ისე, რომ გიროსკოპის ღერძი დაიხაროს – ეს მიუთითებს ძალის $\vec{M}$ მომენტის არსებობაზე. მოვაბრუნოთ ძრავის მარეგულირებელი სახელური. გიროსკოპი დატრიალდება და გარკვეული დროის შემდეგ მიაღწევს სტაბილურ სიჩქარეს. ბრუნთა რიცხვი შეგვიძლია გავიგოთ სკალაზე ისრის ჩვენებით. (ვთქვათ, $n = 6\cdot 10^3$, მაშინ ω ასე ითვლება;

$$\omega = 2\pi\nu = 2\pi\frac{n}{60}; \quad \omega = \frac{6,28\cdot 6\cdot 10^3}{60} = 628 \text{ რად/წმ}$$

ახლა ვიპოვოთ ω' შემდეგნაირად: ავწიოთ გიროსკოპის ღერძი ჰორიზონტალურ მდგომარეობამდე და გავუშვათ. იგი დაიწყებს მობრუნებას ვერტიკალის ირგვლივ. დავაჭიროთ ღილაკს “СБРОС”. მრიცხველი დაითვლის მობრუნების კუთხეს, ხოლო წამზომი დროს, როდესაც მრიცხველი უჩვენებს დაახლოებით 10–ს. დავაჭიროთ თითო “СТОП” ღილაკს. მრიცხველზე აღნიშნული K რიცხვისა და t დროის საშუალებით ვიპოვოთ $\omega'-$ს.

$$\omega' = \frac{K}{2\pi t}$$

ექსპერიმენტი შეიცავს შემდეგ საფეხურებს:

I) გავარკვიოთ $\omega'(\omega)$ დამოკიდებულების სახე. ამისათვის ერთიდაიგივე მდგომარეობაში დაფიქსი-რებული ტვირთისათვის $(\alpha = const)$ გავზომოთ ω' ხუთი სხვადასხვა $\omega-$ს დროს ზემოაღწერილი მეთოდიკით. ცდის შედეგები შევიტანოთ I ცხრილში და ავაგოთ შესაბამისი გრაფიკი: აბსცისთა ღერძზე – ω, ხოლო ორდინატთა ღერძზე – ω',

2. შევისწავლოთ $\omega'(l)$ დამოკიდებულება:

დავაყენოთ გიროსკოპის ბრუნვის სიხშირე დაახლოებით 8–9.10^3 ბრ./წთ.–ს დონეზე. მუდმივი $\omega-$თვის გავზომოთ პრეცესიის ω' კუთხური სიჩქარე ხუთი სხვადასხვა $l-$ის შემთხვევაში. შედეგები შევიტანოთ II ცხრილში. ავაგოთ გრაფიკი: აბსცისთა ღერძზე გადავზომოთ l, ხოლო ორდინატთა ღერძზე – ω'.

ცხრილი I

№	l	n	ω	k	t	ω'
1						
2						
3						
4						
5						

ცხრილი II

№	n	ω	l	k	t	ω'

1						
2						
3						
4						
5						

ძირითადი ფორმულები:

$\omega = 2\pi \frac{n}{60}$ ($n-$სკალაზე ათვლილი ბრუნთა რიცხვია წუთში)

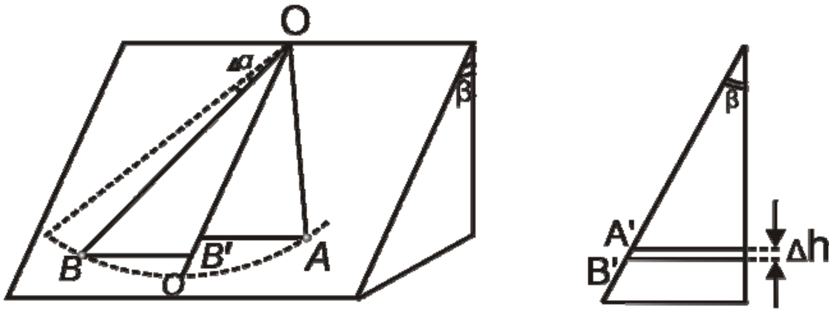
$\omega' = \frac{k}{2\pi t}$ (k $-$ მრიცხველის ჩვენება x 10; $t-$წამმზომის ჩვენება.)

საკონტროლო კითხვები

1. რას წარმოადგენს გიროსკოპი?
2. განმარტეთ გიროსკოპის მთავარი ღერძი.
3. აღწერეთ და ახსენით გიროსკოპული ეფექტი
4. რა არის პრეცესია?
5. რა ფორმულით გამოისახება პრეცესიის კუთხური სიჩქარე?

გორვის ხახუნის კოეფიციენტის განსაზღვრა დახრილი საქანის საშუალებით

დახრილი საქანი წარმოადგენს გრძელ წვრილ ძაფზე დაკიდებულ ბურთულას, რომელიც გორავს დახრილ სიბრტყეზე. ბურთულა გორვისას ასრულებს მუშაობას ხახუნის დაძლევაზე, რის შედეგადაც მისი მექანიკური ენერგია თანდათან გადადის შინაგან ენერგიაში.



ნახ. I

ეს გამოიხატება ბურთულის რხევის ამპლიტუდის შემცირებაში. კერძოდ, თუ თავიდან ბურთულა იმყოფება A წერტილში, მაშინ ნახევარი რხევის შემდეგ იგი უმაღლეს მდგომარეობას მიაღწევს B წერტილში (ნახ. I). პოტენციური ენერგიის დანაკარგი იქნება:

$$\Delta E_{\text{პ.}} = mg \cdot \Delta h = mg\left|A'B'\right|\cos\beta$$

თავის მხრივ

$$\left|A'B'\right| = l\cos(\alpha - \Delta\alpha) - l\cos\alpha = l[\cos(\alpha - \Delta\alpha) - \cos\alpha]$$

ცხადია, რომ პოტენციური ენერგიის დანაკარგი ტოლი იქნება ხახუნის ძალის მუშაობისა, ე. ი.

$$\Delta E_{p.} = \mathrm{A}_{p.} = F_6 \cdot S = \mu N \cdot S$$

სადაც $N-$რეაქციის ძალაა და იგი ტოლია:

$$N = mg\sin\beta;$$

$S-$არის განვლილი გზა:

$$S = l(2\alpha - \Delta\alpha);$$

$\mu-$არის გორვის ხახუნის კოეფიციენტი, მაშინ

$$\mathrm{A}_6 = \mu mgl(2\alpha - \Delta\alpha) \cdot \sin\beta$$

გავუტოლოთ A_6 და ΔE_p; მივიღებთ:

$$\mu tg\beta = \frac{\cos(\alpha - \Delta\alpha) - \cos\alpha}{2\alpha - \Delta\alpha}$$

როცა $\Delta\alpha$ საკმაოდ მცირეა, შეიძლება დავწეროთ

$$\cos(\alpha - \Delta\alpha) - \cos\alpha = \Delta\alpha \cdot \sin\alpha \qquad \text{მაშინ}$$

$$\mu tg\beta = \frac{\Delta\alpha \cdot \sin\alpha}{2\alpha} \qquad \text{აქედან}$$

$$\Delta\alpha = 2\mu tg\beta \cdot \frac{\alpha}{\sin\alpha}$$

მცირე $\alpha-$თვის ($\alpha < \mathrm{I}0^0$) $\sin\alpha \approx \alpha$ ე.ი. ნახევარი რხევის განმავლობაში α კუთხის შემცირება ტოლია:

$$\Delta\alpha = 2\mu tg\beta$$

ერთი რხევის შემდეგ გადახრის კუთხის შემცირება

$$\Delta\alpha_1 = 4\mu tg\beta$$

მაშინ n რხევის შემდეგ გადახრის კუთხის შემცირება გამოისახება ფორმულით:

$$\Delta\alpha_n = 4n\mu tg\beta$$

აქედან

$$\mu = \frac{\Delta\alpha_n}{4n} \cdot ctg\beta$$

(α კუთხე უნდა გაიზომოს რადიანებში: $I^0 \approx \frac{1}{57}$ რად.)

ეს ფორმულა საშუალებას გვაძლევს ცდით განვსაზღვროთ გორვის ხახუნის კოეფიციენტი.

ჩვენი ცდის სპეციფიკის გათვალისწინებით ბოლო ფორმულა უმჯობესია პირდაპირ გრადუსებში გაზომილი $\Delta\alpha_n$–თვის ჩავწეროთ:

$$\mu = \frac{\Delta\alpha_n}{57 \cdot 4n} \cdot ctg\beta$$

$$\mu \approx \frac{\Delta\alpha_n}{230n} \cdot ctg\beta$$

ცდის მსვლელობა

1. დააყენეთ სამაგრში ერთ–ერთი ლითონის ფირფიტა. ძელი დააყენეთ ვერტიკალურად და დააკვირდით ბურთულის მდგომარეობას იგი ოდნავ უნდა ეხებოდეს ფირფიტას;
2. დახარეთ ძელი 30^0–ით:
3. გადახარეთ ბურთულა. დაიმახსოვრეთ გადახრის კუთხე. გაუშვით და დაითვალეთ, რამდენი რხევის შემდეგ დაკარგავს იგი ამპლიტუდის 2^0–ს მონაცემები შეიტანეთ ცხრილში;
4. გაიმერეთ მე–3 პუნქტი, ოღონდ კუთხის ცვლილება აიღეთ 3^0; შემდეგ ისევ გაიმეორეთ ცდა. კუთხის 4^0–ით შემცირებამდე. მონაცემები რხევათა რაოდენობის შესახებ შეიტანეთ ცხრილში;
5. დახარეთ ძელი 45^0–ით. გაიმეორეთ 3 და 4 პუნქტები;
6. იგივე გააკეთეთ, როცა ძელი დახრილია 60^0–ით;
7. გამოთვალეთ μ კოეფიციენტები ყველა შემთხვევისათვის. შეავსეთ ცხრილი. იპოვეთ μ თითოეული β კუთხისათვის და $\mu_{\text{საშ.}}$ (ყველა μ–ს გასაშუალებით).

დაკვირვებათა ცხრილი

β	α	$\Delta\alpha_1$	n_1	μ_1	$\Delta\alpha_2$	n_2	μ_2	$\Delta\alpha_3$	n_3	μ_3	μ	$\mu_{\text{საშ.}}$
30		2^0			3^0			4^0				
45		2^0			3^0			4^0				
60		2^0			3^0			4^0				

სამუშაო ფორმულა

$$\mu = \frac{\Delta\alpha_n}{230n} \cdot ctg\beta$$

საკონტროლო კითხვები

1. რა არის დახრილი საქანი?
2. როდის იქნება მეტი გორვის ხახუნის ძალა როცა სიბრტყე დახრილია ვერტიკალისადმი 30^0–ით თუ 60^0–ით?

3. დაასაბუთეთ დამოკიდებულია თუ არა გორვის ხახუნის ძალა ბირთვის რადიუსზე.
4. დაწერეთ ერთი პერიოდის განმავლობაში კუთხის ცვლილების ფორმულა. რატომ შედის მასში β კუთხე?

კამერტონის სიხშირის განსაზღვრა დრეკად გარემოში ტალღის გავრცელების სიჩქარის საშუალებით

გაჭიმულ სიმს თუ უბიძგებთ სიგრძის პერპენდიკულარულად, მის მთელ სიგრძეზე გაირბენს ამოზნექილობა, ჩაზნექილობა, ე.ი. განივი ტალღა. ტალღის გავრცელების სიჩქარე დამოკიდებულია გარემოს ფიზიკურ თვისებებზე, კერძოდ – გარემოს დრეკადობის კოეფიციენტზე და სიმკვრივეზე.

გამოვთვალოთ განივი ტალღის გავრცელების სიჩქარე დრეკად გარემოში. განვიხილოთ l სიგრძის ღერო, რომლის განივი კვეთის ფართობი არის s. დავარტყათ ჩაქუჩი ამ ღეროს მარცხენა ფუძეს, სიგრძის პერპენდიკულარული მიმართულებით. ძალის მოქმედების დრო აღვნიშნოთ Δt–თი. ამ დროის განმავლობაში მარცხენა ფუძე გადაინაცვლებს წონასწორობიდან რაღაც Δl მანძილზე და ღერო განიცდის ძვრის დეფორმაციას. აღვნიშნოთ ძვრის დეფორმაციის გავრცელების სიჩქარე υ–თი. Δt დროის განმავლობაში დეფორმაცია გავრცელდება $l=\upsilon\Delta t$ მანძილზე. l სიგრძის ღეროს მასა $m=\rho sl$. დასაწყისში ეს მასა უძრავი იყო, ხოლო Δt შუალედის ბოლოს მისი თითოეული ნაწილაკის სიჩქარე იქნება $\frac{\Delta l}{\Delta t}$, ამიტომ განხილული ნაწილის იმპულსის ცვლილება იქნება:

$$mu-O=\rho sl\cdot\frac{\Delta l}{\Delta t}=\rho s\upsilon\Delta l\,.$$

იმპულსის ნაზრდი ძალის იმპულსის ტოლია:

$$F\Delta t=\rho s\upsilon\Delta l \qquad (1)$$

სადაც F არის დეფორმაციის გამომწვევი ძალა. ჰუკის კანონის თანახმად:

$$F=G\cdot\frac{s\Delta l}{l}$$

სადაც კოეფიციენტი G ძვრის მოდულია. რადგან $l=\upsilon\Delta t$, ამიტომ:

$$F=G\frac{\Delta l}{\upsilon\Delta t}\cdot s$$

ხოლო ძალის იმპულსი:

$$F\Delta t=G\cdot\frac{\Delta l}{\upsilon}\cdot s$$

ძალის იმპულსის ეს მნიშვნელობა შევიტანოთ (1) განტოლებაში, მივიღებთ:

$$G \cdot \frac{\Delta l}{\upsilon} \cdot s = \rho s \upsilon \Delta l \quad \text{ან}$$

$$\frac{G}{\rho} = \upsilon^2$$

აქედან:

$$\upsilon = \sqrt{\frac{G}{\rho}}, \qquad (2)$$

ასეთია დრეკად გარემოში განივი ტალღის გავრცელების სიჩქარე, სადაც ρ დრეკადი გარემოს სიმკვრივეა.

(2) განტოლებაში ძვრის მოდულს თუ შევცვლით მისი მნიშვნელობით, მივიღებთ:

$$\upsilon = \sqrt{\frac{F \cdot l}{\rho s \Delta l}} \qquad (3)$$

$\rho s \Delta l$ ღეროს მერხევი ნაწილის მასაა. როცა მთელი ღერო მოვა რხევით მოძრაობაში, მაშინ:

$$\upsilon = \sqrt{\frac{Fl}{m}} \qquad (4)$$

თუ გვეცოდინება ღეროს F დატვირთვა, მისი l სიგრძე და m მასა, (4) ფორმულის საშუალებით შევძლებთ გავზომოთ მასში განივი ტალღის გავრცელების სიჩქარე.

დამოკიდებულება ტალღის გავრცელების სიჩქარესა, ტალღის სიგრძესა და სიხშირეს შორის ასეთი ფორმულით გამოისახება:

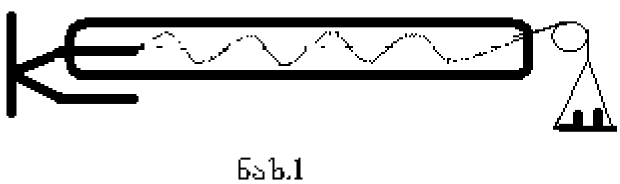
$$\upsilon = \lambda \nu, \quad \text{აქედან} \quad \nu = \frac{\upsilon}{\lambda} \qquad (5)$$

სადაც ν არის რხევის სიხშირე, λ– ტალღის სიგრძე. ტალღის სიგრძის გაზომვა უნდა ვაწარმოოთ ცდის საშუალებით. საბოლოოდ:

$$\nu = \frac{1}{\lambda}\sqrt{\frac{Fl}{m}} \qquad (6)$$

ხელსაწყოს აღწერა

კამერტონი, რომელსაც ერთ ფეხზე გაკეთებული უნდა ჰქონდეს ხვრელი ძაფის გამოსაბმელად, დამაგრებულია შტატივზე, (ნახ. 1). გამობმული აქვს 2 მეტრამდე სიგრძის ძაფი, რომლის მეორე (ჭაღზე გადადებულ) ბოლოზე მობმულია ჯამი საწონების დასაწყობად. საჭირო არის 1000 გ–მდე სხვადასხვა საწონი და მილიმეტრებიანი სახაზავი. უმჯობესია თუ სახაზავის მაგიერ სიმის პირდაპირ სკალის მსგავსად დავამაგრებთ განიერ მილიმეტრებიან დაფას, როგორც ეს ნახ. 1–ზეა მოცემული.



ნახ.1

მუშაობის მსვლელობა

1. დაჭიმეთ თოკი გარკვეული ძალით და მოიყვანეთ კამერტონი რხევით მოძრაობაში თავისი ჩაქუჩით. ადევნეთ თვალი ტალღის წარმოშობას.
2. დაუკვირდით მასშტაბზე ტალღის λ სიგრძეს, ეს იქნება მანძილი ორ მეზობელ ამოზნექილობას და ჩაზნექილობას შორის.
3. ჩაწერეთ ცხრილში სიმის დამჭიმავი F ძალა და შესაბამისი ტალღის სიგრძე.
4. გაიანგარიშეთ (6) ფორმულის საშუალებით რხევის სიხშირე.
5. ცდა გაიმეორეთ რამდენჯერმე სხვადასხვა დატვირთვისათვის და გამოიყვანეთ სიხშირის საშუალო სიდიდე.
6. იგივე ცდა გაიმეორეთ სხვა სიხშირის კამერტონზე.
7. მონაცემები შეიტანეთ დაკვირვებათა ცხრილში.

დაკვირვებათა ცხრილი

დაკვირვებათა რიგი	ძაფის სიგრძე l მ.	ძაფის დატვირთვა F.	ძაფის მასა m, კგ.	ტალღის სიგრძე λ.	ტალღის სიჩქარე υ.	რხევის სიხშირე ν ჰერცი.	ფარდობითი ცდომილება Δν/ν.	აბსოლუტური ცდომილება Δν.

საკონტროლო კითხვები

1. რაზეა დამოკიდებული დრეკად გარემოში განივი ტალღის გავრცელების სიჩქარე?
2. დაწერეთ დრეკად გარემოში ტალღის გავრცელების სიჩქარის ფორმულა. რა არის G–? ρ–?
3. რას ეწოდება განივი ტალღის სიგრძე?
4. როგორია კავშირი ტალღის სიგრძესა, სიჩქარესა და სიხშირეს შორის?
5. აღწერეთ ხელსაწყო და მუშაობის მსვლელობა.

კითხვები დასკვნისათვის

1. რა სიდიდეებს ვზომავთ ცდის დროს? რა ხელსაწყოებით? რა ერთეულებში? რა სიზუსტით?
2. იქნება თუ არა ტალღის გავრცელების სიჩქარე ტოლი ერთნაირი სიგრძისა და განივი კვეთის სხვადასხვა ნივთიერების სიმში ერთნაირი დატვირთვისათვის?
3. ძაფის დატვირთვის ცვლილება გამოიწვევს თუ არა ტალღის სიგრძის ცვლილებას? როგორ? დაასაბუთეთ.
4. იქნება თუ არა დამოკიდებული სიმის დატვირთვაზე კამერტონის რხევის სიხშირე? რატომ?

ბგერის სიჩქარის განსაზღვრა ჰაერში

ყოველი მერხევი სხეული იძლევა ბგერით ტალღებს, რომელთა პერიოდიც ტოლია ამ სხეულის საკუთარი რხევის პერიოდისა. ბგერად სხეულზე გარეშე ტალღების ზეგავლენით ბგერა ძლიერდება. ბგერის ასეთ გაძლიერებას ბგერითი რეზონანსი ეწოდება.

ყოველ სხეულს, რომელსაც უნარი აქვს გამოეხმაუროს მასთან მისულ ბგერას, რეზონატორი ეწოდება. თუ რეზონატორს რხევის გარკვეული პერიოდი აქვს, მაშინ იგი აუცილებლად გამოეხმაურება იმ ტონს, რომლის პერიოდიც უდრის მის საკუთარ პერიოდს. ამგვარ რეზონატორს წარმოადგენს მილი, რომლის ერთი ბოლო დახურულია, მეორე კი ღიაა. თუ მილის ღია ბოლოსთან მივიტანთ აჟღერებულ კამერტონს, მისი რხევები გამოიწვევენ ჰაერის სვეტის სიგრძივ რხევებს, რომლებიც გავრცელდებიან მილში, აირეკლებიან დახურული ბოლოდან და უკან ბრუნდებიან. შემხვედრი ტალღების ამ ორი სისტემის ერთმანეთთან ინტერფერირების გამო მილში წარმოიშობა მდგრადი ტალღები, ე. ი. კვანძებისა და ბურცობების პერიოდული მწკრივი. რეზონანსს ადგილი ექნება ყველა იმ შემთხვევაში, როდესაც მილში მყოფი ჰაერის სვეტის სიგრძე ტოლი აღმოჩნდება კამერტონის ბგერითი ტალღის სიგრძის მეოთხედის კენტი რიცხვისა.

ვთქვათ ჰაერის იმ სვეტის სიგრძე, რომელიც რეზონანსს იძლევა არის $\boldsymbol{L}$, ბგერითი ტალღის სიგრძე— $\boldsymbol{\lambda}$, თანმომდევნო მთელი რიცხვები — $\boldsymbol{n}$, მაშინ იმ სვეტის სიგრძე, რომელიც რეზონანსს გვაძლევს იქნება:

$$\boldsymbol{L = (2n-1)\frac{\lambda}{4}} \qquad (1)$$

ცნობილია, რომ რხევის გავრცელების სიჩქარე:

$$\upsilon = \lambda \nu \qquad (2)$$

თუ ტალღის სიგრძეს განვსაზღვრავთ (1) ფორმულიდან და შევიტანთ (2)-ში, გვექნება:

$$\upsilon = \frac{4\nu L}{2n-1} \qquad (3)$$

სადაც ν რხევის სიხშირეა ჰერცებში.

ამგვარად, რეზონანსს ადგილი ექნება ყოველთვის, როცა კი ჰაერის სვეტის სიგრძე არის:

$$\boldsymbol{\frac{\lambda}{4};\ \ \frac{3}{4}\lambda;\ \ \frac{5}{4}\lambda;...;\ \ \frac{2n-1}{2}\cdot\frac{\lambda}{4}}$$

რეზონანსის დროს ჰაერის ორ მომდევნო სვეტის სიგრძეთა სხვაობა ყოველთვის უდრის $\boldsymbol{\frac{\lambda}{2}}$–ს.

თუ რეზონანსის დროს ორ მეზობელ კვანძს ან ბურცობს შორის მანძილს აღვნიშნავთ $\boldsymbol{l}$–ით, შეიძლება დავწეროთ, რომ

$$\boldsymbol{l = \frac{\lambda}{2}},\ \text{ე.ი. } \boldsymbol{\lambda = 2l}$$

ამის მიხედვით (2) ფორმულა ასეთ სახეს მიიღებს:

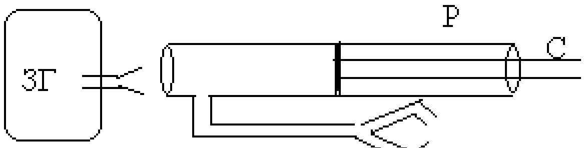
$$\upsilon = 2l\nu \qquad (4)$$

(4) ფორმულით განისაზღვრება ბგერის გავრცელების სიჩქარე ჰაერში მოცემულ ტემპერატურაზე.

ხელსაწყოს აღწერა

ხელსაწყო წარმოადგენს 1,5 მ. სიგრძის მილს, რომელშიც მოძრაობს ***C*** ღეროზე დამაგრებული დგუში. მილს ერთ ბოლოში აქვს განშტოება, რომელსაც უკავშირდება ***M*** ფონენდოსკოპი (მოსასმენი მოწყობილობა) (ნახ. 1).

C ღეროზე გაკეთებული არის მილიმეტრებიანი სკალა. მილის წინ ათავსებენ მცირე ზომის ხმამაღლამოლაპარაკეს, რომელიც შეერთებულია ბგერითი სიხშირის გენერატორთან.



ნახ.**1**

მუშაობის მსვლელობა

1. დააყენეთ მილში დგუში ისე, რომ ღეროს ნულოვანი დანაყოფი შეუთავსდეს მილის ***P*** მაჩვენებელს.
2. გაიკეთეთ მოსასმენი მოწყობილება ყურებზე და ბგერითი სიხშირის გენერატორთან შეაერთეთ დინამიკი (ხმამაღლამოლაპარაკე).
3. ნელ–ნელა გასწიეთ ღერო მილიდან და როცა შეიგრძნობთ მკვეთრ გაძლიერებას, გააჩერეთ და ჩაინიშნეთ ღეროზე ***P*** მაჩვენებლის მდებარეობა.
4. ცდა განაგრძეთ ახალ გაძლიერებამდე და ისევ ჩაინიშნეთ ***P*** მაჩვენებლის მდებარეობა ღეროზე.
5. ამ ორ მდებარეობას შორის მანძილი იქნება ტალღის სიგრძის ნახევარი l.
6. ცდა განაგრძეთ მილის ბოლომდე და შემდეგ შექცევით.
7. მონაცემები შეიტანეთ დაკვირვებათა ცხრილში და გამოთვალეთ ბგერის გავრცელების სიჩქარე ჰაერში (4) ფორმულით. გამოთვალეთ რამდენიმე გაზომვის საშუალო სიდიდე.
8. გამოირკვიეთ ფარდობითი და აბსოლუტური ცდომილება.

დაკვირვებათა ცხრილი

დაკვირვებათა რიგი	მანძილი ორ ბურცობსშორის l მ.	კამერტონის სიხშირე ν, ჰერცი	ბგერის სიჩქარე ჰაერში υ	ფარდობითი ცდომილება Δυ/υ	აბსოლუტური ცდომილება υΔ	შენიშვნა

საკონტროლო კითხვები

1. რას ეწოდება ბგერის რეზონანსი? რა არის რეზონატორი?
2. ჰაერის სვეტის როგორი სიგრძე მოჰყავს ბგერის წყაროს რეზონანსში?

3. როგორია ბგერის გავრცელების სიჩქარის ფორმულა?
4. აღწერეთ ხელსაწყო და ცდის მსვლელობა.

კითხვები დასკვნისათვის

1. რა სიდიდეების გაზომვაა საჭირო ცდის დროს? რა ხელსაწყოებით? რა ერთეულებში? რა სიზუსტით?
2. არის თუ არა ბგერის გავრცელების სიჩქარე დამოკიდებული გარემოს თავისებურებებზე?
3. როგორ დამოკიდებულებაშია ბგერის გავცელების სიჩქარე ჰაერის ტემპერატურაზე?
4. შეიძლება თუ არა აღწერილი ხელსაწყოთი განვსაზღვროთ ბგერის სიხშირე? დაასაბუთეთ.
5. მოიფიქრეთ ბგერის სიჩქარისა და სიხშირის გაზომვის სხვაგვარი საშუალებანი.

დრეკადობის მოდულის განსაზღვრა ღეროს გაჭიმვით

ვისარგებლოთ ჰუკის კანონით $\frac{\Delta l}{l}=\frac{p}{E}$ და განვსაზღვროთ დრეკადობის მოდული:

$$E=p\frac{l}{\Delta l}=\frac{F}{s}\cdot\frac{l}{\Delta l} \qquad (1)$$

სიმარტივისათვის დავუშვათ, რომ საცდელად აღებული ღერო მრგვალია, რომლის დიამეტრი აღვნიშნოთ d –თი, მაშინ შეიძლება დავწეროთ რომ:

$$s=\frac{\pi d^2}{4}$$

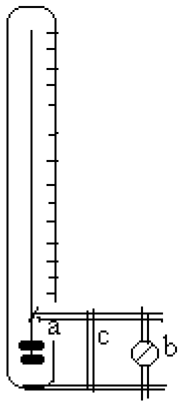
ამის მიხედვით (1) განტოლება მიიღებს შემდეგ სახეს:

$$E=\frac{4Fl}{\pi d^2\Delta l} \qquad (2)$$

ამ ფორმულის მარჯვენა მხარეში შემავალი სიდიდეები შეიძლება გაიზომოს ცდის საშუალებით.

ხელსაწყოს აღწერა

მილიმეტრებიანი სახაზავი, რომლის სიგრძე 2–2,5 მ–ია, ლითონის ღეროთი ჩამოკიდებულია კედელზე (ნახ. 1). ღეროზე ჩამოკიდებულია მავთული, რომლის მეორე ბოლოზე მოდებულია F დატვირთვა და გამზომი მოწყობილობა საათის ტიპის ინდიკატორით. ab ბერკეტი ბრუნავს c ღერძის გარშემო. c წერტილი ab მანძილს შუაზე ყოფს, ე.ი. ბერკეტის მხრები ტოლია $ac=bc$. ბერკეტის b ბოლო სახსრულად არის დაკავშირებული ინდიკატორის ღერძთან, ასევე უკავშირდება a ბოლო მავთულს.



ნახ.1

მუშაობის მსვლელობა

1. გაზომეთ ცნობილი სიგრძის მავთულის დიამეტრი 3–4-ჯერ სხვადასხვა ადგილზე და განსაზღვრეთ საშუალო სიდიდე.
2. მავთულის კაუჭზე ჩამოკიდეთ 1 კგ.–მდე ტვირთი და ინდიკატორის ისრის შესაბამისი ჩვენება მიიღეთ საწყის ანათვალად.
3. დაუმატეთ 0,2 კგ. ტვირთი და ჩანიშნეთ ინდიკატორის ჩვენება. ინდიკატორის უკანასკნელი და საწყისი ანათვლის სხვაობა მოგცემთ აბსოლუტურ წაგრძელებას.
4. მონაცემები შეიტანეთ დაკვირვებათა ცხრილში და გამოთვალეთ (2) ფორმულით დრეკადობის მოდული.
5. ცდა გაიმეორეთ 3–4-ჯერ სხვადასხვა დატვირთვისათვის და გამოიყვანეთ დრეკადობის მოდულის საშუალო სიდიდე.
6. იანგარიშეთ ფარდობითი და აბსოლუტური ცდომილება.

დაკვირვებათა ცხრილი

დაკვირვებათა რიგი	მასალის დასახელება	ღეროს საწყისი სიგრძე l მ	ღეროს დიამეტრი d.	ღეროს დატვირთვა F.ნ.	საწყისი ანათვალი ინდიკატორზე λ_0.	ანათვალი ცდის დროს λ	აბსოლუტური წაგრძელება $\Delta l = l - l_0$.	დრეკადობის მოდული E ნ/მ^2.	დრეკადობის მოდულის საშუალო მნიშვნელობა $E_{საშ.}$	აბსოლუტური ცდომილება ΔE.	ფარდობითი ცდომილება $\Delta E/E$.

საკონტროლო კითხვები

1. როგორ სხეულებს ეწოდებათ დრეკადი?
2. რა არის დეფორმაცია? დაასახელეთ დეფორმაციის სახეები.
3. რას ეწოდება ძაბვა? რით იზომება?
4. რაში მდგომარეობს ჰუკის კანონი?

5. რას გვიჩვენებს დრეკადობის მოდული? გამოიყვანეთ დრეკადობის მოდულის საანგარიშო ფორმულა თქვენი ცდისათვის.
6. აღწერეთ ხელსაწყო და ცდის მსვლელობა.

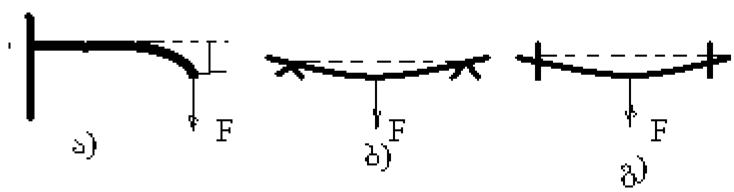
კითხვები დასკვნისათვის

1. რა სიდიდეების გაზომვაა საჭირო ცდის დროს? რა ხელსაწყოებით? რა ერთეულებში? რა სიზუსტით?
2. მოიფიქრეთ მასალის დრეკადობის მოდული იქნება მეტი თუ დრეკადობის ზღვარი?
3. არის თუ არა დამოკიდებული ღეროს სიგრძეზე მასალის დრეკადობის მოდული?
4. როგორ დავუკავშიროთ დეფორმირებული სხეულის მასას დრეკადობის მოდული? გამოიყვანეთ შესაბამისი ფორმულა.

დრეკადობის მოდულის პოვნა ღეროს ჩაღუნვით

ღუნვის დეფორმაციას დიდი მნიშვნელობა აქვს ნაგებობათა სიმტკიცისა და მასალათა გამძლეობის საკითხებში.

მასალის ღუნვა შეიძლება სამი სახით წარმოებდეს (ნახ. 1)



ნახ.1

1. ღეროს ორივე ბოლო თავისუფლად ეყრდნობა და $F-$ ძალა მოდებულია ღეროს შუა წერტილში (ნახ. 1. ბ.).
2. ღერო მხოლოდ ერთი ბოლოთია უძრავად დამაგრებული და $\boldsymbol{F}$ ძალა მოდებულია თავისუფალ ბოლოზე (ნახ. 1.ა.).
3. ღერო ორივე ბოლოთი უძრავადაა დამაგრებული და $\boldsymbol{F}$ ძალა მოდებულია შუა წერტილზე (ნახ. 1. გ.).

სამივე შემთხვევისათვის ძალის მოდების წერტილი დაიწევს $\boldsymbol{\lambda}$ სიმაღლეზე, რომელსაც ღუნვის ისარი ეწოდება. ღუნვის ისარი დამოკიდებულია ძალის სიდიდეზე, მასალის ზომებზე და მისი ბოლოების დამაგრების სახეობაზე. ზოგადად ღუნვის ისრის ფორმულა ასე გამოისახება:

$$\lambda = C \cdot \frac{Fl^2}{ab^3E}$$

საიდანაც:

$$E = \frac{CFl^3}{ab^3\lambda} \qquad (1)$$

აქ l ღეროს სიგრძეა, a—ფუძის სიგანე და b—ფუძის სიმაღლეა. ამ ფორმულაში c კოეფიციენტი დამოკიდებულია ღეროს ბოლოების დამაგრების სხეობაზე:

ა) როცა ღერო ერთი ბოლოთია დამაგრებული, მაშინ $C = 4$, ამიტომ:

$$E = 4\frac{l^3F}{ab^3\lambda} \qquad (2)$$

ბ) როდესაც ღეროს ორივე ბოლო თავისუფალად ეყრდნობა პრიზმის წიბოებს, მაშინ:

$$C = \frac{1}{4}$$

C−ეს ეს მნიშვნელობა შევიტანოთ (1) ფორმულაში, მივიღებთ:

$$E = \frac{1}{4}\frac{l^3}{ab^3}\cdot\frac{F}{\lambda} \qquad (3)$$

გ) როდესაც ღერო ორივე ბოლოთია დამაგრებული $C = \frac{1}{16}$, ამიტომ:

$$E = \frac{1}{16}\cdot\frac{l^3}{ab^3}\cdot\frac{F}{\lambda}$$

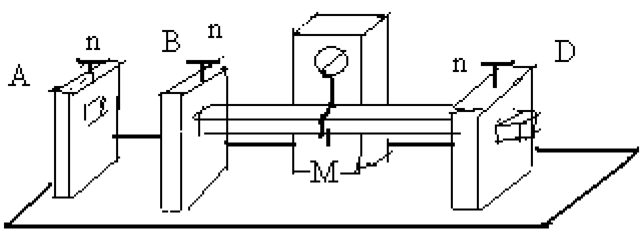
თუ ღერო ცილინდრული ფორმისაა, მისთვის:

$$E = C\cdot\frac{Fl^3}{3\pi r^4\lambda} \qquad (4)$$

სადაც r ღეროს განივი კვეთის რადიუსია და C კოეფიციენტი იგივეა, რაც ოთხკუთხედი ღეროსათვის.

ხელსაწყოს აღწერა

ჰორიზონტალურ სადგამზე დამაგრებულია A, B და D საბჯენები, რომლებსაც გაკეთებული აქვს ოთხკუთხოვანი ჭრილი გამოსაკვლევი ღეროს მოსათავსებლად და n მომჭერები. სადგამზე არის D ღერო, რომელზედაც დამაგრებულია ინდიკატორი. გამოსაკვლევ ღეროზე შეუძლია სრიალი M ტვირთების კაუჭს (ნახ. 2).



ნახ.2

მუშაობის მსვლელობა

1. მოათავსეთ გამოსაკვლევი ღერო AB საბრჯენში ისე, რომ ღეროს მეორე ბოლო კაუჭით ინდიკატორის ქვეშ მოხვდეს და მოუჭირეთ n მომჭერები.

2. ჩაინიშნეთ ინდიკატორის საწყისი $\boldsymbol{\lambda_0}$ ანათვალი.

3. ჩამოკიდეთ კაუჭზე $\boldsymbol{m}$ ტვირთი, ჩანიშნეთ ინდიკატორის $\boldsymbol{\lambda_1}$ ანათვალი და ღეროს დატვირთვის $\boldsymbol{F_1}$ სიდიდე.

4. ცდა გაიმეორეთ სხვადასხვა დატვირთვისათვის და ათვალეთ $\boldsymbol{F_i}$–ის შესაბამისი $\boldsymbol{\lambda_i}$ ანათვალი.

5. $\boldsymbol{\lambda = \lambda_i - \lambda_0}$ მოგცემთ ღეროს ჩაღუნვის ისარს.

6. გაზომეთ ღეროს $\boldsymbol{l}$ სიგრძე საბჯენიდან $\boldsymbol{M}$ კაუჭამდე, $\boldsymbol{a}$ სიგანე და $\boldsymbol{b}$ სიმაღლე.

7. მონაცემები შეიტანეთ დაკვირვებათა ცხრილში და (2) ფორმულით გამოთვალეთ დრეკადობის მოდული.

8. გამოსაკვლევი ღერო $\boldsymbol{B}$ და $\boldsymbol{D}$ საბჯენში მოათავსეთ თავისუფლად, მომჭერების გარეშე. $\boldsymbol{M}$ კაუჭი ინდიკატორის ქვეშ მოათავსეთ და გაზომეთ ღეროს სიგრძე $\boldsymbol{B}$ საბრჯენიდან $\boldsymbol{D}$ საბჯენამდე.

9. ცდა პირველი ცდის მსგავსად გაიმეორეთ და ანათვლები შეიტანეთ ცხრილში.

10. (3) ფორმულით გამოიანგარიშეთ დრეკადობის მოდული.

11. მომჭერები მოუჭირეთ და ცდა გაიმეორეთ, შესაბამისი ანათვლები შეიტანეთ ცხრილში და (4) ფორმულით გამოიანგარიშეთ დრეკადობის მოდული.

12. თითოეული შემთხვევისათვის 3 ანათვალი მაინც აიღეთ და ამის მიხედვით იანგარიშეთ დრეკადობის მოდულის საშუალო $E_{i\text{საშ.}}$ სიდიდე.

13. გამოიყვანეთ საშუალო სიდიდე $\boldsymbol{E}_{\text{საშ.}}$ სამივე შემთხვევისათვის.

14. გამოიანგარიშეთ ფარდობითი და აბსოლუტური ცდომილება, რადგანაც სამივე შემთხვევაში ჩვენ გამოვარკვიეთ ერთი და იგივე ნივთიერების დრეკადობის მოდული, ამიტომ დასაშვებია აბსოლუტური ცდომილება შემდეგი ფორმულით გამოვიანგარიშოთ:

$$\Delta E = \frac{\left| E_{\text{საშ.}} - E_{i\text{საშ.}} \right|}{3}$$

დაკვირვებათა ცხრილი

დაკვირვებათა რიგი	ღეროს მასალა	ღეროს სიგრძე l.	ღეროს სიგანე α	ღეროს სიმაღლე b.	c– კოეფიციენტის მნიშვნელობა	ღეროს დატვირთვა –. F	ინდიკატორის საწყისი ანათვალი λ_0 –	ინდიკატორის ანათვალი λ_i	ჩაღუნვის ისარი $\lambda=\lambda_i-\lambda_0$	დრეკადობის მოდული E ნ/მ²	$E_{i\text{საშ.}}$	სამივე შემთხვევის საშუალო სიდიდე –.	ΔE	ΔE/E	შენიშვნა
1 2 3															ერთი ბოლო დამაგრებულია
1 2 3															ორივე ბოლო თავისუფალია
1 2 3															ორივე ბოლო დამაგრებულია

საკონტროლო კითხვები

1. როგორ წარმოებს ღუნვის დეფორმაცია?
2. დაწერეთ დრეკადობის მოდულის ფორმულა ღუნვის დეფორმაციისათვის.
3. რაზეა დამოკიდებული C კოეფიციენტი? რას უდრის?
4. აღწერეთ ხელსაწყო და ცდის მსვლელობა?
5. ჩამოაყალიბეთ ფარდობითი ცდომილების გამოყვანის თანმიმდევრობა.

კითხვები დასკვნისათვის

1. რა სიდიდეების გაზომვაა საჭირო ცდის დროს? რა ერთეულებში? რა ხელსაწყოებით? რა სიზუსტით?
2. იქნება თუ არა დამოკიდებული დრეკადობის მოდული ღეროს მასაზე? დაასაბუთეთ.
3. როგორ გავზომოთ მრგვალი ღეროსათვის დრეკადობის მოდული?
4. შეიძლება თუ არა გაიზომოს მოცემული ცდით მადეფორმირებელი ძალის მუშაობა? იქნება თუ არა დამოკიდებული ეს მუშაობა ღეროს დამაგრების სახეობაზე.
5. თუ დრეკადობის მოდული ცნობილია რა შეიძლება განისაზღვროს იგივე ცდით?

სხეულის ინერციის მომენტის განსაზღვრა

განვიხილოთ მატერიალური წერტილის ბრუნვა წრეწირზე, რომლის რადიუს–ვექტორი არის r_i.

სიდიდეს, რომელიც იზომება მატერიალური წერტილის მასისა და ბრუნვის ღერძამდე რადიუს–ვექტორის კვადრატის ნამრავლით ამ წერტილის ინერციის მომენტი ეწოდება. იგი გამოისახება ფორმულით:

$$I = mr^2 \qquad (1)$$

ყოველი მყარი სხეული შეიძლება დავყოთ ელემენტალურ m_i მასებად და i–ური ნაწილისათვის დავწეროთ ინერციის მომენტი:

$$I_i = m_i r_i^2 \qquad (2)$$

მთელი სისტემის ინერციის მომენტის განსაზღვრისათვის საჭირო არის (2) ფორმულის შეჯამება:

$$I = \sum_{i=1}^{n} I_i = \sum_{i=1}^{n} m_i r_i^2 \qquad (3)$$

სხეულის მასების უსასრულო დანაწილების შემთხვევაში ჯამის მაგივრად შეიძლება აღებულ იქნას ინეგრალი:

$$I = \int r^2 dm$$

წესიერი გეომეტრიული ფორმის მქონე სხეულების ინერციის მომენტის საანგარიშო ფორმულის მისაღებად საჭიროა (3) ინტეგრალის გამოთვლა.

მართკუთხა პარალელეპიპედის ფორმის სხეულე-ბისათვის სიმძიმის ცენტრზე გამავალი ერთ–ერთი წახნაგის პერპენდიკულარული ღერძის მიმართ ინერციის მომენტის გამოსათვლელ ფორმულას აქვს ასეთი სახე:

$$I = m\frac{a^2 + b^2}{12} \qquad (4)$$

სადაც m არის პარალელეპიპედის მასა, a და b –ღერძის პერპენდიკულარული წახნაგის წიბოების სიგრძეები მრგვალი ცილინდრული ფორმის სხეულებისათვის. ინერციის მომენტი სიმძიმის ცენტრში გამავალი გეომეტრიული ღერძის პერპენდიკულარული ღერძის მიმართ გამოითვლება შემდეგი ფორმულით:

$$I_0 = m\frac{l^2 + 3R^2}{12} \qquad (5)$$

იმავე სხეულის ინერციის მომენტი მისი სიმძიმის ცენტრში გამავალი გეომეტრიული ღერძის მიმართ იქნება:

$$I_0 = \frac{1}{2}mR^2 \qquad (5^1)$$

სადაც m არის ცილინდრული სხეულის მასა; l – მისი მსახველი; R ფუძის რადიუსი.

წრიული რგოლის ინერციის მომენტი რგოლის სიბრტყის პერპენდიკულარულად გამავალი ცენტრალური ღერძის მიმართ ტოლია:

$$I_0 = m\frac{R_1^2 + R_2^2}{2} \qquad (6)$$

სადაც m რგოლის მასაა, R_1 და R_2 – რგოლის შიგა და გარე რადიუსები.

არსებობს სხეულის ინერციის მომენტის განსაზღვრის რამდენიმე მეთოდი. ჩვენ განვიხილავთ ზოგიერთ მათგანს.

სხეულის ინერციის მომენტის განსაზღვრა გრეხითი რხევის მეთოდით

დრეკად ძაფზე ჩამოვკიდოთ ლითონის დისკო სიმძიმის ცენტრით და წონასწორობის მდგომარეობიდან გამოვიყვანოთ. დისკო იწყებს ჰარმონიულ რხევას, რაც გამოწვეულია ძაფში აღძრული დრეკადი ძალების გამო. ჩვენი მერხევი სისტემის რხევის პერიოდი გამოითვლება ფორმულით:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{I}{M}} \qquad (7)$$

სადაც I სისტემის ინერციის მომენტია უძრავი ღერძის მიმართ; M –იმ ძალთა წყვილის მომენტი, რომელიც ძაფს გრეხს ერთი ერთეულით.

(7) ფორმულიდან შეიძლება დავწეროთ, რომ:

$$I = \frac{T^2 M}{4\pi^2} \qquad (8)$$

ამ ფორმულაში უცნობი არის M, მისი გამორიცხვის მიზნით შევცვალოთ სისტემის რხევის პერიოდი მასზე მასის დამატებით. შესაბამისად შეიცვლება ინერციის მომენტიც:

$$I_1 = \frac{T_1^2 M}{4\pi^2} \qquad (9)$$

სხვაობა $I_0 = I_1 - I$ გამოსახავს დამატებული მასის ინერციის მომენტის რაოდენობას, ე.ი.

$$I_0 = \frac{\left(T_1^2 - T^2\right)}{4\pi^2} \cdot M \qquad (10)$$

(8) განტოლება გავყოთ (10)–ზე და მივიღებთ:

$$\frac{I}{I_0} = \frac{T^2}{T_1^2 - T^2} \quad \text{აქედან} \quad I = I_0 \frac{T^2}{T_1^2 - T^2} \qquad (11)$$

(11) ფორმულით გამოვიანგარიშებთ სისტემის ინერციის მომენტს, სადაც T და T_1 ცდით უნდა გამოითვალოს, მხოლოდ დამატებით ტვირთად წესიერი ფორმის სხეული (წრიული რგოლი) უნდა გამოვიყენოთ და I_0 (6) ფორმულით უნდა გამოვიანგარიშოთ.

ხელსაწყოს აღწერა

დრეკადი მავთულის ერთი ბოლო მკვიდრად არის ჩამაგრებული B მომჭერში, მეორე ბოლოზე მიმაგრებულია სიმძიმის ცენტრით წრიული C დისკო. დისკოზე ვერტიკალურად დამაგრებულია D ისარი. ცდის დაწყების წინ ML წრფე, დრეკადი მავთული და ისარი ერთ სიბრტყეში უნდა მდებარეობდეს. წრიულ რგოლს (ნახ. 1) აქვს ჭრილი დისკოზე მოთავსებისათვის.

მუშაობის მსვლელობა

1. განსაზღვრეთ რგოლის მასა 0,5 გ. სიზუსტით.
2. გაზომეთ რგოლის შიგა და გარე რადიუსები.
3. (6) ფორმულით იანგარიშეთ რგოლის ინერციის მომენტი.
4. დისკო შემოატრიალეთ წონასწორობიდან დაახლოებით 30^0–იანი კუთხით და გაუშვით.
5. იმ მომენტში, როცა C ისარი, დრეკადი ძაფი და ML წრფე ერთ სიბრტყეში მოხვდება, ჩართეთ წამმზომი. ამის შემდეგ თანმიმდევრულად აითვალეთ მათი ერთ სიბრტყეში მდებარეობა 30–40-მდე და გამორთეთ წამმზომი.
6. წამმზომი გიჩვენებთ თქვენს მიერ ათვლილი n ნახევარპერიოდისათვის საჭირო t დროს. გაყავით ეს დრო $2n$–ზე, ე.ი. სრულ რხევათა რაოდენობაზე და მიიღებთ დისკოს ერთი სრული რხევის პერიოდს:

$$T = \frac{t}{2n}$$

7. დისკოზე მოათავსეთ რგოლი ისე, რომ მავთული რგოლის ცენტრს ემთხვეოდეს და ცდა გაიმეორეთ პირვანდელის მსგავსად. ამჯერად მიიღებთ რგოლის და დისკოს 1 სრული რხევისათვის საჭირო დროს:

$$T_1 = \frac{t_1}{2n_1}$$

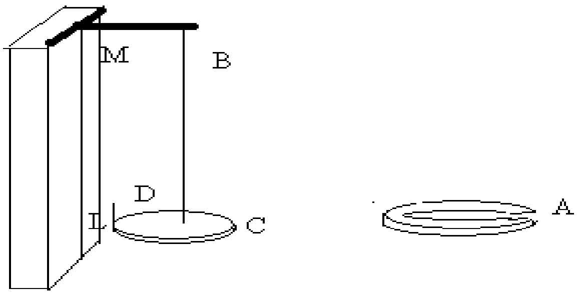
8. ცდის მონაცემები შეიტანეთ დაკვირვებათა ცხრილში და (11) ფორმულით იანგარიშეთ სისტემის ინერციის მომენტი.

9. ცდა გაიმეორეთ 4–5-ჯერ და გამოიყვანეთ სისტემის ინერციის მომენტის საშუალო სიდიდე.
10. იანგარიშეთ ფარდობითი და აბსოლუტური ცდომილება.

საკონტროლო კითხვები

1. რას ეწოდება ინერციის მომენტი? რა ერთეულით იზომება?
2. როგორია წრიული რგოლის ინერციის მომენტის ფორმულა?
3. გამოიყვანეთ ინერციის მომენტის ფორმულა თქვენი ცდისათვის.

აღწერეთ ხელსაწყოები და ცდის მსვლელობა



ნახ.1

დაკვირვებათა ცხრილი

დაკვირვებათა რიგი	წრიული რგოლის მასა m კგ.	წრიული რგოლის შიგა რადიუსი R_1 მ.	წრიული რგოლის გარე რადიუსი R_2 მ.	წრიული რგოლის ინერციის მომენტი I_0.	დისკოს ნახევარ რხევათა რაოდენობა n.	n რხევათა რაოდენობისათვის საჭირო დრო t.წმ	დისკოს რხევის პერიოდი –T წმ.	დისკოს და რგოლის n_1 ნახევარ რხევათა რაოდენობა	n_1 რხევათა რაოდენობისათვის საჭირო დრო t_1.	დისკოსა და რგოლის სრული რხევის პერიოდი T_1.	სისტემის ინერციის მომენტი I კგ.მ^2.	აბსოლუტური ცდომილება ΔI.	ფარდობითი ცდომილება $\Delta I/I$ .100%

.

კითხვები დასკვნისათვის

1. რა სიდიდეებს ვზომავთ ცდის დროს? რა ხელსაწყოებით? რა ერთულებში? რა სიზუსტით?
2. დამოკიდებულია თუ არა ინერციის მომენტი სხეულის ფორმაზე და გვარობაზე?
3. დამოკიდებულია თუ არა ინერციის მომენტი ბრუნვის ღერძის მდებარეობაზე?

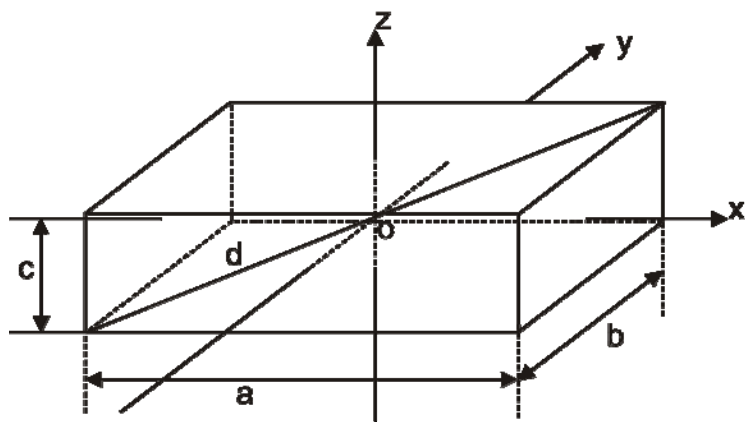
4. წრიული დისკოს ინერციის მომენტი $I = \frac{mR^2}{2}$, როგორ ფიქრობთ, დაემთხვევა თუ არა თეორიულად ნაანგარიშები (11) ფორმულით მიღებულ შედეგს? რატომ? როგორ დაამტკიცებთ?

ინერციის მომენტის შესწავლა გრეხითი საქანის მეშვეობით*.

სხეული შეიძლება ვაიძულოთ იბრუნოს ნებისმიერი ღერძის ირგვლივ; ამისათვის საჭიროა ღერძი ჩავამაგროთ, რათა ბრუნვისას წარმოქმნილმა ვიბრაციამ არ გადახაროს იგი – არ შეიცვალოს მისი მიმართულება. მაგრამ აღმოჩნდა, რომ არსებობენ ისეთი ღერძები, რომელთა ირგვლივ ბრუნვა სხეულს ჩაუმაგრებლადაც შეუძლია – მაგალითად, უწონობის მდგომარეობაში მბრუნავი სხეული სწორედ ასეთი ღერძის ირგვლივ ტრიალებს. ასეთ ღერძს თავისუფალი ღერძი ეწოდება.

შეიძლება დამტკიცდეს, რომ ნებისმიერ მყარს სხეულს, მიუხედავად მისი ფორმისა და მასის განაწილებისა, აუცილებლად გააჩნია მინიმუმ სამი ურთიერთმართობული თავისთავადი ღერძი /ისინი სხეულის ინერციის ცენტრში გადაიკვეთებიან/ ამ ღერძებს "ინერციის მთავარი ღერძები" ჰქვია.

თუ სხეულს მოწესრიგებული ფორმა აქვს, მთავარი ღერძების მოძებნა საკმაოდ იოლია, მაგალითად, ერთგვაროვანი მართკუთხა პარალელეპიპედისათვის ასეთი ღერძები X, Y, Z გადადიან მოპირდაპირე წახნაგების ცენტრებში /იხ. ნახ. I/. ნახაზზე O წერტილი არის პარალელეპიპედის ინერციის ცენტრი.



ნახ. I

მთავარი ღერძების მიმართ სხეულს გააჩნია ინერციის მომენტები I_x, I_y და I_z, რომლებსაც "ინერციის მომენტები" ეწოდება. ზოგად შემთხვევაში $I_x \neq I_y \neq I_z$. თუ სხეულს ღერძული სიმეტრია აქვს /მაგ. ცილინდრი/ მაშინ ორი მთავარი მომენტი ერთმანეთის ტოლია; თუ სხეულს ცენტრალური სიმეტრია ახასიათებს /კუბი. სფერო/, ყველა მთავარი მომენტი ერთნაირია: $I_x = I_y = I_z$. ამ უკანასკნელ შემთხვევაში სხეულს "სფერული ბზრიალა" ეწოდება. სფერულ ბზრიალას ინერციის ცენტრში გამავალი ნებისმიერი ღერძი მთავარ ღერძებს წარმოადგენს.

თუ ცნობილია სხეულის I_x, I_y, I_z მთავარი ინერციის მომენტები. შეიძლება გამოითვალოს ამ სხეულის ინერციის მომენტი რაიმე სხვა d ღერძის მიმართ. კერძოდ, თუ ასეთი d ღერძი გადის სხეულის ინერციის ცენტრში, d ღერძის მიმართ ინერციის I_α მომენტის გამოსათვლელად გამოიყენება მარტივი ფორმულა:

$$I_\alpha = I_x \cos^2(xd) + I_y \cos^2(yd) + I_z \cos^2(zd) \qquad (1)$$

სადაც (xd) არის კუთხე x და d ღერძების შორის /ასევე (yd) და (zd)/.

დავუბრუნდეთ მართკუთხა პარალელეპიპედის მაგალითს. ვთქვათ, d ღერძი გადის პარალელეპიპედის დიაგონალზე. (I) ფორმულაში შემავალი კუთხეების სიდიდის გაზომვა ამ დროს მოუხერხებელია; უკეთესია გამოვიყენოთ გეომეტრიიდან ცნობილი ფორმულა მართკუთხა სამკუთხედებში მახვილი კუთხის კოსინუსისათვის. მართკუთხა სამკუთხედის ჰიპოტენუზად თუ დიაგონალს ავიღებთ, ხოლო ერთ–ერთ გვერდად – პარალელეპიპედის a სიგრძეს, მაშინ ცხადია, რომ /იხ. ნახ. I/.

$\cos(xd) = \dfrac{a}{\sqrt{a^2+b^2+c^2}}$; აქ $\sqrt{a^2+b^2+c^2}$ დიაგონალის სიგრძეა. ასევე

$$\cos(yd) = \frac{b}{\sqrt{a^2+b^2+c^2}}, \qquad \cos(zd) = \frac{c}{\sqrt{a^2+b^2+c^2}}$$

თუ ამ ფორმულებს ჩავსვამთ (I)–ში, მივიღებთ, რომ

$$I_d = \frac{a^2 I_2 + b^2 I_y + c^2 I_2}{a^2+b^2+c^2} \qquad (2)$$

(2) ფორმულა საშუალებას გვაძლევს პარალელე-პიპედის მთავარი ინერციის მომენტებით ვიპოვოთ მისი ინერციის მომენტი დიაგონალზე გამავალი ღერძის მიმართ.

სხვა ღერძებისათვის შეიძლება მოხერხდეს (I) ფორმულაში $(xd),(yd)$ და (zd) კუთხეების უშუალო გაზომვა. საერთოდ, (I) ფორმულა უნივერსალურია, მას მხოლოდ ერთი პირობის დაცვა სჭირდება – d ღერძი აუცილებლად სხეულის ინერციის ცენტრზე უნდა გადიოდეს. /წინააღმდეგ შემთხვევაში შეიძლება გამოვიყენოთ შტეინერის თეორემა./.

პარალელეპიპედის ინერციის მომენტების განსაზღვრა მოცემულ სამუშაოში ხდება რხევითი საქანის საშუალებით, რომელზეც მაგრდება აღნიშნული პარალელეპიპედი.

თეორიიდან ცნობილია, რომ გრეხვითი რხევის პერიოდი გამოითვლება შემდეგი ფორმულით:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{I}{K}} \qquad (3)$$

სადაც K არის დაჭიმული მავთულის გრეხვითი სიხისტე, ხოლო $I-$ მერხევი სხეულის ინერციის მომენტი იმ ღერძის მიმართ, რომლის გარშემოც მიმდინარეობს რხევა.

თუ გვაქვს რაიმე ეტალონი, რომლის I_0 ინერციის მომენტიც ცნობილი სიდიდეა, შეგვიძლია უცნობი ინერციის მომენტი I გამოვთვალოთ (3) ფორმულის თანახმად:

$$I = I_0 \frac{T^2}{T_0^2} \qquad (4)$$

სადაც T_0 და T – შესაბამისად ეტალონისა და გასაზომი სხეულის რხევის პერიოდებია გრეხით საქანში. (4) ფორმულა მოსახერხებელია იმიტომ, რომ მასში აღარ გამოიყენება K სიხისტე და ცდაში მისი გაზომვა აღარ გვჭირდება.

(4) ფორმულიდან:

$$T = T_0\sqrt{\frac{I}{I_0}} \qquad (5)$$

წინამდებარე სამუშაოს დანადგარზე იზომება სწორედ საქანში ჩამაგრებული სხეულის რხევის პერიოდი; ვნახოთ როგორ, შეიძლება სხეულის მთავარი x, y, z ღერძების ირგვლივ რხევის T_x, T_y, და T_2 პერიოდების გამოყენებით გამოვთვალოდ მისი T_d რხევის პერიოდი d ღერძის მიმართ. ვგულისხმობთ, რომ d ღერძი გადის პარალელეპიპედის დიაგონალზე. მე–(4) ფორმულა ასე გადაიწერება:

$$I_x = I_0\frac{T_x^2}{T_0^2}; \qquad I_y = I_0\frac{T_y^2}{T_0^2}; \qquad I_z = I_0\frac{T_z^2}{T_0^2}; \qquad I_d = I_0\frac{T_d^2}{T_0^2}$$

ჩავსვათ ეს ფორმულები (2) ფორმულაში და შევკვეცოთ $\frac{I_0}{T_0^2}$ – ზე. მივიღებთ:

$$T_d = \sqrt{\frac{a^2T_x^2 + b^2T_y^2 + c^2T_z^2}{a^2 + b^2 + c^2}} \qquad (6)$$

მე–(6) ფორმულაში a, b, c პარალელეპიპედის სიგრძეებია შესაბამისად x, y და z ღერძების გასწვრივ (იხ. ნახ. I), ხოლო T_x, T_y, T_z ამავე ღერძების მიმართ რხევის პერიოდებია.

ცდის მიზანია ექსპერიმენტულად შევამოწმოთ (6) ფორმულა: თუ გამოთვლების შედეგად მიღებული T_d–ს მნიშვნელობა დაემთხვევა უშუალოდ ცდაში გაზომილს, შეიძლება ითქვას, რომ (6) ფორმულა ჭეშმარიტია: მაშინ დამტკიცებული იქნება (I) ფორმულის სისწორეც.

ცდის მსვლელობა

1. აიღეთ ერთ–ერთი პარალელეპიპედი და გაზომეთ მისი a სიგრძე, b სიგანე და c სიმაღლე. მონაცემები შეიტანეთ ცხრილში;
2. ჩაამაგრეთ პარალელეპიპედი საქანის ჩარჩოში ისე, რომ ბრუნვის ღერძი იყოს x ღერძი. ყურადღება მიაქციეთ, რომ ღერძი პარალელურია α წიბოსი: ე. ი. პარალელეპიპედი უნდა დამაგრდეს ისე, რომ a წიბო ვერტიკალურად იყოს მიმართული;
3. ჩართეთ ხელსაწყო ქსელში “СЕТЬ” ღილაკით. “ПУСК” ღილაკი დააფიქსირეთ ამოწეულ მდგომარეობაში. “СБРОС” ღილაკზე დაჭერით წამოზომისა და პერიოდის ამრიცხველთა ჩვენება დააყენა ნულზე;
4. დააჭირეთ ღილაკს “ПУСК”. ჩარჩო დაიწყებს რხევას: დაითვალეთ არანაკლებ ათი რხევისათვის საჭირო დრო t_x გამოთვალეთ რხევის პერიოდი T_x ფორმულით:

$$T_x = \frac{t_x}{n},$$

სადაც n– რხევათა რაოდენობაა.
5. ჩაამაგრეთ პარალელეპიპედის საქანის y ღერძის პარალელურად /ვერტიკალურად მიმართული იქნება l წიბო/. გაიმეორეთ 3 და 4 პუნქტები და იპოვეთ T_y. იგივე გააკეთეთ Z ღერძისათვის /წიბო/ და გამოთვალეთ T_z;

6. პარალელეპიპედი ჩაამაგრეთ საქანში d დიაგონალით: გაიმეორეთ 3 და 4 პუნქტები. იპოვეთ დიაგონალის ირგვლივ რხევის პერიოდის ექსპერიმენტული მნიშვნელობა T_{de};
7. აღებული მონაცემები ჩასვით (6) ფორმულაში: გამოთვალეთ დიაგონალის ირგვლივ რხევის პერიოდის თეორიული მნიშვნელობა T_d;
8. იპოვეთ აბსოლუტური ცდომილება $\Delta T_d = \left|T'_{de} - T'_d\right|$ და ფარდობითი ცდომილება $\delta = \dfrac{\Delta T_d}{T_d} \cdot 100\%$
9. აიღეთ სხვა პარალელეპიპედი და I–8 პუნქტები ჩაატარეთ თავიდან.

დაკვირვებათა ცხრილი

№	a	$b,$	$c,$	n	t_x	t_y	t_z	t_{de}	T_x	T_y	T_z	T_{de}	T_d	ΔT_d	δ

საკონტროლო კითხვები

1. რას ეწოდება მყარი სხეულის ინერციის მომენტი?
2. რა არის თავისუფალი ღერძი? ინერციის მთავარი ღერძი?
3. რამდენი მთავარი ღერძი აქვს სფერულ ბზრიალას? დაასახელეთ სფერული ბზრიალას მგალითები.
4. რას ეწოდება ინერციის მთავარი მომენტი?
5. რას გვაძლევს ინერციის მთავარი მომენტების ცოდნა?
6. რას წარმოადგენს გრეხვითი საქანი? რა ფორმულით გამოისახება მისი პერიოდი?
7. აღწერეთ ცდის მსვლელობა.

მაქსველის ქანქარას ინერციის მომენტის გამოთვლა

ბრუნვითი მოძრაობისას სხეულის ინერციულობა ხასიათდება სიდიდით, რომელსაც ინერციის მომენტი ეწოდება. მატერიალური წერტილის ინერციის მომენტი წარმოადგენს სიდიდეს

$$\mathrm{I} = \mathrm{mr}^2,$$

სადაც m – მატერიალური წერტილის მასაა, r – მისი ბრუნვის რადიუსი.

თუ უძრავი ღერძის მიმართ ბრუნავს მყარი სხეული, მაშინ მისი ინერციის მომენტი

$$I = \sum_{i=1}^{n} \Delta m_i r_i^2$$

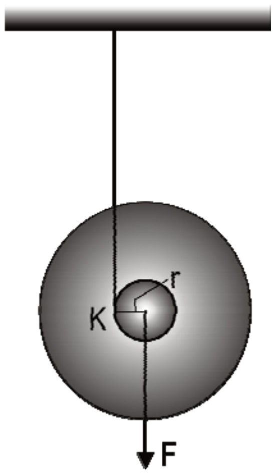
სადაც $\Delta m_i (i = 1,2,...,n)$ წარმოადგენს ელემენტალურ მასას, ხოლო r_i მისი ბრუნვის რადიუსია.

მაქსველის ქანქარა წარმოადგენს ხელსაწყოს, რომელიც საშუალებას გვაძლევს განვსაზღვროთ დისკოს ინერციის მომენტი ბრუნვითი მოძრაობის დინამიკის ძირითადი განტოლების საფუძველზე. ამ განტოლებას შემდეგი სახე აქვს

$$M = I\beta$$

სადაც M არის სხეულზე მოქმედი ძალის მომენტი, I−სხეულის ინერციის მომენტი, ხოლო β−კუთხური აჩქარება. შევნიშნოთ, რომ (I) ფრომულა წარმოადგენს ნიუტონის II კანონის ანალოგიას ბრუნვითი მოძრაობისათვის.

მაქსველის ქანქარა წარმოადგენს ღერძზე ჩამოცმულ მასიურ დისკოს (ნახ. I.). ღეროს ორივე მხარე დამაგრებულია ვერტიკალურ ძაფებზე. თუ ძაფს დავახვევთ და ქანქარას გარკვეული სიმაღლიდან გავუშვებთ, მაშინ დისკო დაიწყებს ბრუნვას და დაშვებას ერთდროულად. მინიმალურ სიმაღლეზე ქანქარას გააჩნია ბრუნვის კინეტიკური ენერგია, რის გამოც ძაფი ისევ ეხვევა ღერძზე და



იწყებს მოძრაობას ვერტიკალურად ზევით.

(1) (ფორმულიდან)

$$I = \frac{M}{\beta} \qquad (2)$$

როგორც ნახაზიდან ჩანს, დისკოს ბრუნვის ღერძი გადის K წერტილში. ამიტომ ძალის მხარი ტოლი იქნება r−ის,. თუ გავითვალისწინებთ, რომ ძაფის მიმართ ქანქარა მოძრაობს a აჩქარებით, მაშინ

$$F = m(g - a),$$

ნახ.1 სადაც m დისკის მასაა. მაშინ

$$M = Fr = m(g - a)r$$

თუ ვისარგებლებთ ფორმულით, რომელიც გამოსახავს კავშირს კუთხურ და ტანგენციალურ აჩქარებას შორის.

$$\beta = \frac{a}{r}$$

მაშინ (2) ფორმულიდან მივიღებთ

$$I = mr^2 \frac{g-a}{a}$$

a აჩქარების პოვნა ადვილია, თუ ვიცით ვარდნის სიმაღლე h და შესაბამისი t დრო .

$$a = \frac{2h}{t^2}$$

ამის გათვალისწინებით (2) ფორმულა საბოლოოდ მიიღებს სახეს

$$\mathrm{I} = \mathrm{mr}^2\left(\frac{\mathrm{gt}^2}{2\mathrm{h}} - 1\right)$$

თუ ცდაით გავზომავთ m r t და h სიდიდეებს, მაშინ ბოლო ფორმულის საშუალებით შეიძლება ვიპოვოთ სხეულის ინერციის მომენტი.

ცდის მსვლელობა

1. ჩამოაცვით ქანქარაზე ერთ–ერთი დამატებითი რგოლი, ქანქარის და რგოლის ჯამური m მასის მნიშვნელობა შეიტანეთ ცხრილში;
2. დაახვიეთ ძაფი ისე, რომ ქანქარა მიებჯინოს ზედა კრონშტეინზე მყოფ ელექტრომაგნიტს: ჩართეთ ღილაკი „СЕТ", ამოსწიეთ ღილაკი “ПУСК". ქანქარა უნდა გაჩერდეს ასეთ მდგომარეობაში. შეიტანეთ ცხრილში ვარდნის h სიმაღლე;
3. დააჭირეთ თითი ღილაკს „СБРОС” და „ПУСК” ჩაინიშნეთ ვარდნის დრო t;
4. გაიმეორეთ ცდა 5–ჯერ.
5. იპოვეთ I_1 $I_{\text{საშ.}}$, $\Delta I_{\text{საშ.}}$, S. შეავსეთ დაკვირვებათა ცხრილი;
   შენიშვნა:
   ბრუნვის r რადიუსის გამოსათვლელად ღეროს რადიუსს უნდა მივუმატოთ ძაფის გაორმაგებული რადიუსი

$$r = r_{\text{ღერო.}} + 2r_{\text{ძაფი.}} = r_{\text{ღერო.}} + \alpha_{\text{ძაფი.}}$$

დაკვირვებათა ცხრილი

№	r, მ	m, კგ.	h, მ	t, წმ.	I კგ.მ^2	$I_{\text{საშ.}}$	ΔI	$\Delta I_{\text{საშ.}}$	δ

საკონტროლო კითხვები

1. განიხილეთ ქანქარას ვარდნა მექანიკური ენერგიების ურთიერთში გადასვლის თვალსაზრისით. რატომ ბრუნდება ქანქარა უკან?
2. განმარტეთ წერტილისა და სხეულის ინერციის მომენტი.
3. დაწერეთ ბრუნვითი მოძრაობის დინამიკის ძირითადი განტოლება;
4. გადატანითი მოძრაობისას არსებობს ცნებები:
   ძალა, მასა, აჩქარება. დაასახელეთ მათი ანალოგიური ცნებები ბრუნვითი მოძრაობისათვის. დაწერეთ ნიუტონის მეორე კანონის ანალოგიური განტოლება ბრუნვითი მოძრაობისათვის.

მყარი სხეულის ინერციის მომენტის განსაზღვრა ობერბეკის საქანით

სხეულის ინერტულობა გადატანითი მოძრაობისას ხასიათდება მასით, ბრუნვითი მოძრაობისას კი ინერტულობა დამოკიდებულია არა მარტო სხეულის მასაზე, არამედ ბრუნვის რადიუსზეც.

თუ m მასის მატერიალური წერტილი ბრუნავს r რადიუსიან წრეწირზე, მისი ინერტულობა ხასიათდება სიდიდით

$$I = mr^2$$

რომელსაც მატერიალური წერტილის ინერციის მომენტი ეწოდება.

თუ რაიმე უძრავი ღერძის მიმართ ბრუნავს მყარი სხეული, მაშინ მისი ინერციის მომენტის გამოსათვლელად შემდეგნაირად უნდა მოვიქცეთ:

დავყოთ ეს სხეული ძალიან მცირე ნაწილებად – ელემენტალურ Δm_i ($i = 1,2,3,...n$) მასებად. თვითეული ელემენტალური მასა Δm_i ბრუნავს r_i რადიუსიან წრეწირზე. მაშინ სხეულის ინერციის მომენტი

$$I = \sum_{i=1}^{n} \Delta m_i r_i^2 \quad \text{ან უფრო ზუსტად,} \quad I = \int r^2 dm$$

არსებობს სხვადასხვა ფორმის მქონე სხეულების ინერციის მომენტების გამოთვლის როგორც თეორიული, ასევე ექსპერიმენტული მეთოდები.

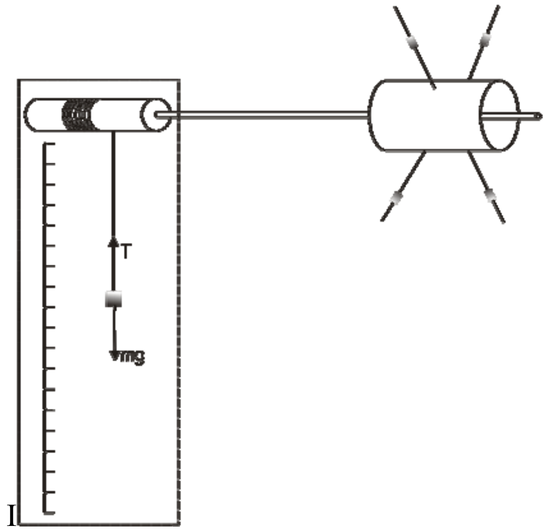
ობერბეკის საქანი საშუალებას იძლევა გამოვთვალოთ სხეულის ინერციის მომენტი ბრუნვითი მოძრაობის დინამიკის ძირითადი განტოლების საფუძველზე. ამ განტოლებას შემდეგი სახე აქვს:

$$M = I\beta \qquad (1)$$

სადაც M არის სხეულზე მოქმედი ძალის მომენტი, ხოლო β – კუთხური აჩქარება ამ ფორმულიდან.

$$I = \frac{M}{\beta} \qquad (2)$$

თუ ცდაზე გავზომავთ ძალის მომენტს (M) და კუთხურ აჩქარებას (β), მაშინ (2) ფორმულით გამოვთვლით სხეულის ინერციის მომენტს. ზონარზე ჩამოკიდებული m მასის სხეული იწყებს ვარდნას a აჩქარებით და ბრუნვით მოძრაობაში მოყავს ჯვრისებრი საქანი (ნახ. I). ვარდნილ სხეულზე მოქმედებს სიმძიმის ძალა $P = mg$ და ძაფის დაჭიმულობის ძალა T.



ნახ. I

ნიუტონის II კანონის თანახმად

$$mg - T = ma$$

$$T = m(g - a)$$

თუ სხეული t წამში დაეშვა h სიმაღლიდან, მისი აჩქარება

$$a = \frac{2h}{t^2}$$

ამიტომ

$$T = m\left(g - \frac{2h}{t^2}\right)$$

მაშინ ამ ძალის მომენტი

$$M = mr(g - \frac{2h}{t^2}) \qquad (3)$$

სადაც r არის იმ დისკოს რადიუსი, რომელზეც დახვეულია ზონარი. ვიპოვოთ ახლა კუთხური აჩქარება β. ვისარგებლოთ ფორმულით

$$\beta = \frac{a}{r},$$

სადაც a არის დისკოს ზედაპირის წერტილების ტანგენციალური აჩქარება. (რომელიც ტვირთის აჩქარების ტოლია). მაშინ

$$\beta = \frac{2h}{rt^2} \qquad (4)$$

(3) და (4) ფორმულები შევიტანოთ (2) ფორმულაში მივიღებთ:

$$I = mr^2\left(\frac{gt^2}{2h} - 1\right) \qquad \text{ანუ}$$

$$I = \frac{m\left(g - \frac{2h}{t^2}\right) \cdot r^2 t^2}{2h} \qquad (5)$$

ცდის მსვლელობა

1. დაამაგრეთ საქანში ტვირთების წინასწარ შერჩეული რაოდენობა

2. ტვირთები ქვედა ნაპირი დააყენეთ ზუსტად ზედა ფოტოელექტრონულ მოწყობილობაზე აღნიშნულ ხაზთან;
3. ღერძზე მოთავსებულ სკალაზე ათვალეთ ვარდნის სიგრძე h;
4. დააჭირეთ თითი ღილაკს “PУCK”;
5. ათვალეთ ვარდნის დრო;
6. (5) ფორმულის საშუალებით გამოთვალეთ ინერციის მომენტი I;
7. შეცვალეთ ტვირთების მასა. ცდა გაიმეორეთ სამჯერ;
8. დაახვიეთ ზონარი მეორე დისკოზე (დიდი დისკოს რადიუსია 4 სმ., პატარასი – 2 სმ.) გაიმეორეთ ცდა დისკოსათვის სამჯერ სხვადასხვა მასის ტვირთებისათვის;
9. გამოთვალეთ $I_{\text{საშ.}}$, ΔI, $\Delta I_{\text{საშ.}}$, δ.
10. მონაცემები შეიტანეთ დაკვირვებათა ცხრილში

დაკვირვებათა ცხრილი

r (მ)	m_1 (კგ.)	h_1 (მ.)	t_1 (წმ.)	I (კგ.მ^2)	I საშ. (კგ.მ^2)	ΔI	$\delta = \frac{\Delta I}{I} \cdot$

საკონტროლო კითხვები

1. განმარტეთ მატერიალური წერტილისა და მყარი სხეულის ინერციის მომენტი.
2. დაწერეთ ბრუნვითი მოძრაობის დინამიკის ძირითადი განტოლება.
3. რა კავშირი არსებობს კუთხურ და ტანგენციალურ აჩქარებებს შორის?
4. აღწერეთ ცდის მსვლელობა.

თავი II. სითხის თვისებები

სითხის ზედაპირული დაჭიმულობის კოეფიციენტის განსაზღვრა წვეთის წონით

წვრილი მილიდან გამოდინებისას სითხის წვეთების წარმოშობა წარმოადგენს ზედაპირული დაჭიმულობის ძალების მოქმედების შედეგს.

ვერტიკალური მილიდან სითხის ნელი გამოდინებისას მის ქვედა ბოლოზე წარმოიშობა წვეთები, ეს წვეთები მიაღწევენ გარკვეულ $P-$ წონას, რომელიც უცვლელია ერთი და იგივე სითხის და ერთი და იგივე ტემპერატურისათვის, მოწყდებიან და ვარდებიან. წვეთის მოწყვეტის მომენტში მას აქვს ფორმა, რომელიც მოცემულია ნახ. 1-ზე. წვეთს იკავებს მისი შევიწროებული ყელის წრეწირის გასწვრივ არსებული დაჭიმულობა. აღვნიშნოთ $d-$თი წვეთის დიამეტრი. წვეთის მოწყვეტის მომენტში ზედაპირული დაჭიმულობის ძალა ტოლი იქნება წვეთის წონისა, ამიტომ დავწერთ:

$$\boldsymbol{p = \sigma l}$$

რადგანაც ყელი მრგვალია, ამიტომ $l = \pi d$

$$p = \sigma \pi d$$

აქედან

$$\sigma = \frac{p}{\pi d}$$

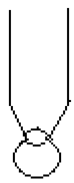
წვეთის შევიწროებული ყელის დიამეტრის გაზომვა წვეთის მოწყვეტის მომენტში რთულია, ცდებით დადგენილია, რომ:

$$d = 0{,}63D$$

სადაც D მილის დიამეტრია იმ ადგილას, სადაც წვეთის წარმოქმნა ხდება. თუ d –ს მნიშვნელობას შევიტანთ (1) ფორმულაში, საბოლოოდ მივიღებთ:

$$\sigma = \frac{p}{1{,}978D} \qquad (2)$$

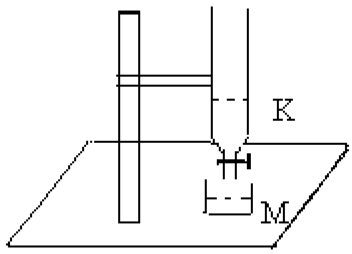
სადაც p არის ერთი წვეთის წონა.



ნახ.1

ხელსაწყოს აღწერა

ბიურეტი დამაგრებულია შტატივზე ისე, რომ K ონკანის საშუალებით (ნახ. 2) შესაძლებელი იყოს M ჭიქაში წვეთების მიწოდება.



ნახ.2

მუშაობის მსვლელობა

1. ჩაასხით ბიურეტში ქიმიურად სუფთა წყალი;
2. აწონეთ ანალიზურ სასწორზე გაწმენდილი M ჭიქა და ჩაინიშნეთ მისი p_1 წონა.
3. ბიურეტის საშუალებით მიიღეთ წვეთები და ორმოცდაათამდე წვეთი ჩათვალეთ ჭიქაში.
4. აწონეთ ჭიქა წვეთებიანად და ჩაინიშნეთ მისი p_2 წონა.
5. $p_2 - p_1$ წონათა სხვაობა გაყავით წვეთების რაოდენობაზე და მიიღებთ ერთი წვეთის p წონას:

$$p = \frac{p_2 - p_1}{n}$$ (წვეთის წონა გამოსახეთ ნიუტონებში).

6. მიკრომეტრით გაზომეთ მილის ყელის დიამეტრი, მეტრებში, რამდენიმეჯერ და საშუალო მნიშვნელობა შეიტანეთ დაკვირვებათა ცხრილში.
7. (2) ფორმულით გამოიანგარიშეთ სითხის ზედაპირული დაჭიმულობის კოეფიციენტი.
8. ცდა ჩაატარეთ 3–4 ჯერ და გამოიყვანეთ რამდენიმე ცდის შედეგის საშუალო მნიშვნელობა.
9. იანგარიშეთ აბსოლუტური და ფარდობითი ცდომილება.

დაკვირვებათა ცხრილი

დაკვირვებათა რიგი	სითხის დასახელება	ცარიელი ჭურჭლის წონა $-P_1$ კგ.	წვეთებიანი ჭურჭლის წონა $-P_2$ კგ	წვეთების რიცხვი $-n$	ერთი წვეთის წონა $-P$ ნ.	მილის ყელის დიამეტრი $-d$	ოთახის ტემპერატურა $-t$	ზედაპირული დაჭიმულობის კოეფიციენტი $-\sigma$	ზედაპირული დაჭიმულობის კოეფიციენტის საშუალო მნიშვნელობა $-\sigma_{საშ}$	აბსოლუტური ცდომილება $\Delta\sigma$	ფარდობითი ცდომილება $\Delta\sigma/\sigma$
1											
2											
3											
4											

საკონტროლო კითხვები

1. რა არის მოლეკულის ქმედების სფერო?
2. რა იწვევს სითხის ზედაპირულ დაჭიმულობას?
3. რაზეა დამოკიდებული ზედაპირული დაჭიმულობის ძალა?
4. რას უდრის რიცხობრივად ზედაპირული დაჭიმულობის კოეფიციენტი? რით იზომება?
5. აღწერეთ ხელსაწყო და ცდის მსვლელობა.
6. დაწერეთ აბსოლუტური და ფარდობითი ცდომილების საანგარიშო ფორმულები.

კითხვები დასკვნისათვის

1. რა ხელსაწყოებია ამ ამოცანის შესრულებისათვის საჭირო? რა სიდიდეებს ვზომავთ? რა ერთეულებში? რა სიზუსტით?
2. როგორ შეიცვლება სითხის ზედაპირული დაჭიმულობის კოეფიციენტი მასში მინარევების შეტანით.
3. როგორ ახსნით ზედაპირული დაჭიმულობის კოეფიციენტის დამოკიდებულებას სითხის ტემპერატურაზე?
4. სითხის ზედაპირული დაჭიმულობის კოეფიციენტს ხომ ვერ დააკავშირებთ ორთქლადქცევის სითბოსთან? მოიფიქრეთ ამის შესახებ.

სითხის შინაგანი ხახუნის (სიბლანტის) კოეფიციენტის განსაზღვრა სტოქსის კანონით

როდესაც მოძრავი სითხის ცალკეულ ფენებს სხვადასხვა სიჩქარე აქვთ, მაშინ ფენებს შორის მოქმედებს შინაგანი ხახუნის ძალები. ეს ძალები ფენების ზედაპირის მხებად არიან მიმართული. უფრო სწრაფად მოძრავ ფენაზე მოქმედებს შემანელებელი ძალა, ხოლო ნელა მოძრავ ფენაზე – ამაჩქარებელი ძალა. ცნობილია, რომ შინაგანი ხახუნის ძალა პირდაპირპროპორციულია ფენების შეხების ფართობისა და სიჩქარის გრადიენტისა:

$$f = \eta s \frac{d\upsilon}{dn} \qquad (1)$$

ეს ფორმულა სტოქსის ფორმულის სახელითაა ცნობილი, სადაც s არის ორი ფენის შეხების ზედაპირის ფართობი; $\frac{d\upsilon}{dn}$ —სიჩქარის გრადიენტი (სიჩქარეი გრადიენტი განსაზღვრავს ფენის სიჩქარის ცვლილებას მოძრაობის პერპენდიკულარული მიმართულებით, ერთეულოვანი სიგრძის მანძილზე გადანაცვლების დროს); η პროპორციულობის კოეფიციენტს შინაგანი ხახუნის /(სიბლანტის) კოეფიციენტი ეწოდება. თუ დავუშვებთ რომ $s = 1$მ^2, $\frac{d\upsilon}{dh} = \frac{1\text{მ/წმ}}{\text{მ}}$, მაშინ (1) ფორმულიდან მივიღებთ $\eta = f$. ამრიგად, შინაგანი ხახუნის კოეფიციენტი რიცხობრივად იმ ძალის ტოლია, რომელიც მოქმედებს სითხის ორი ფენის შეხების ფართობის ერთეულზე, როდესაც მოძრაობის პერპენდიკულარული მიმართულებით ერთეული სიგრძის მანძილზე გადანაცვლების დროს სიჩქარე იცვლება ერთი ერთეულით. სითხის შინაგანი ხახუნის კოეფიციენტი დამოკიდებულია სითხის გვარობაზე და მის ფიზიკურ მდგომარეობაზე (სიმკვრივე, ტემპერატურა, კონცენტრაცია).

(1) ფორმულიდან შეიძლება განისაზღვროს სიბლანტის კოეფიციენტის განზომილება:

$$\eta = \frac{fdh}{sd\upsilon} = \frac{\text{კგ} \cdot \text{მ} \cdot \text{წმ}^{-2}\text{მ}}{\text{მ}^2 \cdot \text{მ} \cdot \text{წმ}^{-1}} = \text{კგ} \cdot \text{მ}^{-1}\text{წმ}^{-1}$$

ვთქვათ, ვაკვირდებით სხეულის ვარდნას რაიმე სითხეში. სითხის ის ფენა, რომლითაც გარშემორტყმულია სხეული, მოძრაობს სხეულის მოძრაობის სიჩქარით, ამის გამო სითხის ამ ფენასა და მეზობელ ფენას შორის აღიძვრება ხახუნის ძალა. თუ მცირე დიამეტრის ბირთვი ვარდება უსაზღვრო სითხეში, მაშინ როგორც სტოქსმა დაამტკიცა, ხახუნის ძალა ტოლია

$$f = 6\pi\eta r\upsilon$$

აქ r ბირთვის რადიუსია, υ–მისი ვარდნის სიჩქარე. f ძალა მიმართულია მოძრაობის საწინააღმდეგოდ და ამცირებს ვარდნის სიჩქარეს. მეორე მხრივ, ბირთვზე მოქმედებს სიმძიმის p ძალა, რომელიც არქიმედის კანონის გათვალისწინებით იქნება

$$p = (m - m_0)g = (\rho - \rho_0)Vg$$

სადაც ρ ბირთვის სიმკვრივეა, ρ_0–სითხის სიმკვრივე, V–ბირთვის მოცულობა, ხოლო g–სიმძიმის ძალის აჩქარება. ვინაიდან $V = \frac{4}{3}\pi r^3$, ამიტომ:

$$p = \frac{4}{3}\pi r^3 g(\rho - \rho_0)$$

ბირთვი ბლანტ სითხეში ვარდნისას თავდაპირველად მოძრაობს აჩქარებულად, სიმძიმის ძალა არ არის დამოკიდებული სიჩქარეზე, ხოლო ხახუნის ***f*** ძალა იზრდება სიჩქარის მიხედვით. როდესაც ეს ძალები უტოლდებიან ერთმანეთს, ბირთვის ვარდნის სიჩქარე აღარ გაიზრდება და ბირთვის მოძრაობა თანაბარი გახდება. აღვნიშნოთ ბირთვის თანაბარი მოძრაობის სიჩქარე υ -ით, მაშინ:

$$6\pi\eta r\upsilon = \frac{4}{3}\pi r^3 g\left(\rho-\rho_0\right)$$

საიდანაც

$$\eta = \frac{4\pi r^3 g\left(\rho-\rho_0\right)}{18\pi r\upsilon} = \frac{2}{9}r^2 g\frac{\rho-\rho_0}{\upsilon}$$

როდესაც ბირთვი ვარდება ***D*** დიამეტრის მქონე მილში მყოფ სითხეში მილის ღერძის გასწვრივ და ***t*** წამში გადის ***l*** მანძილს, მაშინ სიბლანტის კოეფიციენტის გამოსათვლელ ფორმულას შემდეგი სახე ექნება:

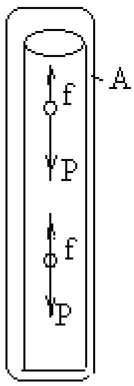
$$\eta = \frac{gtd^2\left(\rho-\rho_0\right)}{18l\left(1+2,4\dfrac{d}{D}\right)} \qquad (2)$$

სადაც ***d*** ბირთვის დიამეტრია. ამ ფორმულის მარჯვენა მხარეში შემავალი სიდიდეები შეიძლება გაიზომოს ცდის საშუალებით.

ხელსაწყოს აღწერა

ხელსაწყო შედგება მინის ცილინდრული ***A*** ჭურჭლისაგან (ნახ. 1), რომელიც ავსებულია ბლანტი სითხით, მილი ზემოდან დახურულია საცობით. საცობის ხვრელში ჩადგმულია მინის წვრილი მილი ან ძაბრი სითხეში ბირთვის ჩასაგდებად. მინის ცილინდრული ჭურჭელი დამაგრებულია ვერტიკალურ სადგამზე, რომელსაც აქვს სკალა. სითხეში ჩავარდნილი ბირთვის ამოსაღებად ცილინდრში ჩაშვებულია გრძელი კოვზი ბადით.

ხელსაწყოს ვერტიკალურად დაყენებისათვის აქვს შვეული და მოძრავი ხრახნები.



ნახ.1

მუშაობის მსვლელობა

1. ცილინდრი გამოსაკვლევი სითხით დააყენეთ ვერტიკალურ მდგომარეობაში ხრახნებისა და შვეულის დახმარებით.
2. გაზომეთ ბირთვის დიამეტრი. ჩაუშვით ძაბრით გამოსაკვლევ სითხეში და 15–20 სმ-ის გავლის შემდეგ აამუშავეთ წამმზომი. ბირთვის დაცემამდე გააჩერეთ წამმზომი და გაზომეთ ის ***l*** მანძილი, რომელიც გაიარა ბირთვმა წამმზომის ჩართვიდან გამორთვამდე, ე.ი. ***t*** დროში.

3. ცდა გაიმეორეთ 5–ჯერ სხვადასხვა დიამეტრის ბირთვებისა და l– ის სხვადასხვა მნიშვნელობისათვის, ბირთვისა და სითხის სიმკვრივე მონახეთ ფიზიკური მუდმივების ცხრილებში, მილის $\boldsymbol{D}$ დიამეტრი გაზომეთ შტანგერფარგლით, მონაცემები შეიტანეთ დაკვირვებათა ცხრილში და (2) ფორმულით იანგარიშეთ სითხის შინაგანი ხახუნის კოეფიციენტი და რამდენიმე გაზომვის $\boldsymbol{\eta}_{\text{საშ.}}$ საშუალო მნიშვნელობა.

4. გამოთვალეთ ფარდობითი და აბსოლუტური ცდომილება.

5. დაკვირვებათა ცხრილში შეიტანეთ ოთახის ტემპერატურა და გამოსაკვლევი სითხის შინაგანი ხახუნის კოეფიციენტი ამ ტემპერატურაზე მუდმივების ცხრილიდან.

საკონტროლო კითხვები

1. რა იწვევს შინაგან ხახუნს სითხეში? რას უდრის შინაგანი ხახუნის ძალა? რა არის სიჩქარის გრადიენტი?
2. დაადგინეთ შინაგანი ხახუნის კოეფიციენტის განზომილება?
3. გამოიყვანეთ შინაგანი ხახუნის კოეფიციენტის ფორმულა ცდის მიხედვით.
4. აღწერეთ ხელსაწყო და ცდის მსვლელობა.
5. გამოიყვანეთ ცდომილების საანგარიშო ფორმულა

დაკვირვებათა ცხრილი

დაკვირვებათა რიგი	სითხის დასახელება	ოთახის ტემპერატურა $-t^0C$	მანძილი, რომელიც გაიარა ბირთვმა $-t$ დროში $-l$	ბირთვის სიმკვრივე $-\rho$	სითხის სიმკვრივე $-\rho_0$	ბირთვის დაღვენილი მოძრაობის დრო $-t$	ბირთვის დიამეტრი $-d$	მილის დიამეტრი $-D$	შინაგანი ხახუნის კოეფიციენტი $-\eta$	შინაგანი ხახუნის კოეფიციენტის საშუალო მნიშვნელობა $-\eta_{საშ}$	შინაგანი ხახუნის კოეფიციენტი ფიზიკური მუდმივების ცხრილიდან $-\eta_ც$	ფარდობითი ცდომილება $-\Delta\eta/\eta$	აბსოლუტური ცდომილება $-\Delta\eta$

კითხვები დასკვნისათვის

1. ამოცანაში მოთხოვნილია რომ $d << D$, რატომ არ შეიძლება $\boldsymbol{d = D}$? ფორმულით არის თუ არა დასაშვები ეს ტოლობა? დაასაბუთეთ.
2. როგორ არის დამოკიდებული შინაგანი ხახუნის კოეფიციენტი სითხის ტემპერატურაზე?
3. როგორ მიიღება ბირთვის თანაბარი მოძრაობა სითხეში? ახსენით ამის მიზეზი. არის თუ არა დამოკიდებული სხეულის მოძრაობის სიჩქარე სითხეში სხეულის წონაზე?

4. რა ხელსაწყოებია ამოცანის შესრულებისათვის საჭირო? რა სიდიდეებს ვზომავთ? რა ერთეულებში? რა სიზუსტით?

თავი III. სითბო და მოლეკულური ფიზიკა

აირის კანონების ექსპერიმენტული შემოწმება

საჭირო ხელსაწყოები: სასწორი საწონებით, კოლბა, მანომეტრი, ბარომეტრი, თერმომეტრი, აირტუმბო, ერთი ბოლოთი ღია $8 \div 10$ მმ. დიამეტრის და 600 მმ. სიგრძის მინის მილი, $40 \div 50$ მმ. დიამეტრის ცილინდრული მინის ჭურჭელი, პლასტილინი, წყლის გამაცხელებელი, სახაზავი.

სამუშაოს მიზანი: იდეალური აირის მდგომარეობის კლაპეირონ–მენდელეევის განტოლე-ბის საფუძველზე ექსპერიმენტულად განსაზღვრული იქნას აირის უნივერსალური მუდმივა და შემოწმდეს ბოილ–მარიოტისა და გეილუსაკის კანონები.

იდეალური აირის მდგომარეობა აღიწერება კლაპეირონ–მენდელეევის განტოლებით.

$$PV = \frac{m}{M} RT \qquad (1)$$

სადაც P წნევაა, V მოცულობა, m აირის მასა, M მოლური მასა, R აირის უნივერსალური მუდმივა, T აბსოლუტური ტემპერატურა, რომელიც ცელსიუსის სკალით გაზომილ t ტემპერატურასთან დაკავშირებულია გამოსახულებით:

$$T = 273 + t \qquad (2)$$

იდეალური აირის მდგომარეობის განტოლებიდან, როგორც კერძო შემთხვევა მიიღება აირის კანონები, რომლებიც ორი თერმოდინამიკური პარამეტრის დამოკიდებულებას გამოსახავს მესამის მუდმივობისას მოცემული მასის აირისათვის, მაგალითად:

როცა $T = const, \quad PV = const$ /ბოილ–მარიოტის კანონი/

როცა $P = cons, \quad \frac{V}{T} = const$ /გეილუსაკის კანონი/

როცა $V = const, \quad \frac{P}{T} = const$ /შარლის კანონი/

დავალება I.

აირის უნივერსალური მუდმივას ექსპერიმენტული განსაზღვრა.

აირის უნივერსალური მუდმივას განსაზღვრა ამოტუმბვის მეთოდით შეიძლება განხორციელდეს ნახ. I–ზე მოცემული მოწყობილობის საშუალებით, რომელიც შედგება V მოცულობის მქონე მინის ბალონისაგან რომელიც ერთდროულად შეერთებულია მანომეტრთან და აირტუმბოსთან.

P_1 ატმოსფერული წნევისა და t ტემპერატურის მქონე V მოცულობის ბალონში m_1 მასის აირის მდგომარეობის განტოლება ასე ჩაიწერება

$$P_1V = \frac{m_1}{M}R(273+t)$$

ხოლო ბალონიდან აირის ამოტუმბვის შემდეგ კი:

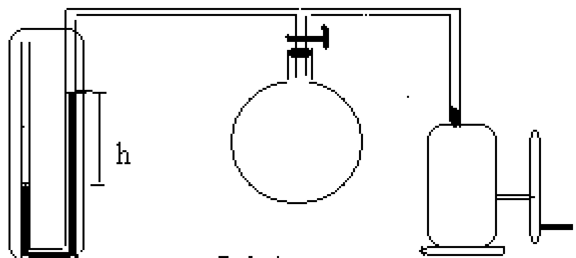
$$P_2V = \frac{m_2}{M}R(273+t)$$

მარტივი გარდაქმნით მივიღებთ

$$R = \frac{(P_1 - P_2)MV}{(m_1 - m_2)(273+t)}$$

თუ გავითვალისწინებთ, რომ $p_1 - p_2 = \rho gh$ სადაც ρ მანომეტრში მოთავსებული სითხის სიმკვრივეა, ხოლო h შესაბამისი დონეთა სხვაობა. მაშინ საძიებელი აირის უნივერსალური მუდმივა გამოითვლება ფორმულით:

$$R = \frac{\rho ghMV}{(m_1 - m_2)(273+t)} \qquad (3)$$



ნახ.1

ცდის მსვლელობა:

1. აწონეთ ბალონი და ჩაინიშნეთ m_1' მნიშვნელობა $/m_1 = m_1' - m_0$ / $/m_0$ ბალონის მასაა/.
2. რეზინის მილით შეაერთეთ ბალონი სისტემასთან ისე, როგორც ნახ. I–ზეა ნაჩვენები.
3. ამოტუმბეთ ჰაერი ბალონიდან, ჩაიწერეთ მანომეტრში სითხის დონეთა სხვაობა h.
4. შტუცერის საშუალებით გადაკეტეთ რეზინის მილი ისე, რომ ბალონში შენარჩუნებული იქნას შესაბამისი ვაკუუმი. ფრთხილად მოხსენით ბალონი და ხელმეორედ აწონეთ, ჩაინიშნეთ შესაბამისი m_2' მნიშვნელობა $/m_2 = m_2' - m_0/$. გაითვალისწინეთ, რომ $m_1 - m_2 = m_1' - m_2'$.
5. თერმომეტრზე აითვალეთ ოთახის ტემპერატურა t.
6. გაზომვებით მიღებული მნიშვნელობები ჩასვით (3) ფორმულაში.
7. ცდა გაიმეორეთ რამოდენიმეჯერ და მიღებული შედეგები შეიტანეთ დაკვირვებათა ცხრილში.

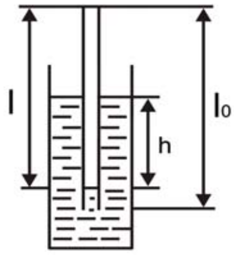
დაკვირვებათა ცხრილი

№	m_1'	m_2'	$m_1 - m_2$	h	R	R საშ.

დავალება 2.

ბოილ–მარიოტის კანონის ექსპერიმენტული შემოწმება

ბოილ–მარიოტის კანონის ექსპერიმენტული შემოწმებისათვის გამოიყენეთ ნახ. 2–ზე მოცემული სისტემა. რომელიც შედგება დიდი დიამეტრის ცილინდრული მინის ჭურჭლისაგან რომელშიც ჩასხმულია წყალი და მცირე დიამეტრის l_0 სიგრძის მინის მილისაგან რომლის ერთი ბოლო დარჩილულია.



ნახ.2

ცდის მსვლელობა:

1. ბარომეტრის საშუალებით გაზომეთ ატმოსფეროს წნევა P_0;
2. გაზომეთ წვრილი მილის სიგრძე l_0 და პირობით ერთეულებში /სიგრძის მიხედვით/ განსაზღვრეთ მილის მოცულობა $V_0 = Sl_0$.
3. დიდი დიამეტრის წყლიან მინის ცილინდრულ ჭურჭელში ჩაუშვით წვრილი მილი ისე, რომ დახურული ბოლო იყოს ზემოთ.
4. გაზომეთ მილში ჰაერის სვეტის სიმაღლე l და გამოთვალეთ /პირობით ერთეულებში/ ჰაერის მოცულობა $V = Sl$.
5. გაზომეთ სითხის დონეთა სხვაობა h.
6. გამოთვალეთ ჰაერის წნევა მილში $P = P_0 + \rho gh$.
7. გამოთვალეთ წნევისა და მოცულობის ნამრავლი PV და შეადარეთ P_0V_0 ნამრავლს.
8. ცდის დროს დაშვებული ცდომილება შეამოწმეთ ფორმულით

$$X = \frac{|PV - P_0V_0|}{P_0V_0} \cdot 100\%$$

9. ცდა გაიმეორეთ რამოდენიმეჯერ და მიღებული შედეგები შეიტანეთ დაკვირვებათა ცხრილში

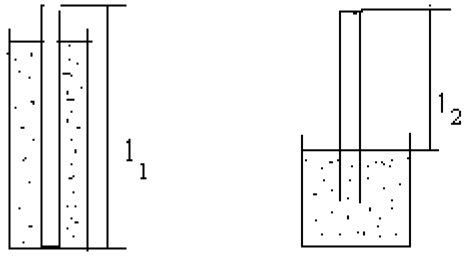
დაკვირვებათა ცხრილი:

№	P_0	V_0	P	V	PV	X

დავალება 3:

გეილუსაკის კანონის ექსპერიმენტული შემოწმება

გეილუსაკის კანონის ექსპერიმენტული შემოწმებისათვის გამოიყენეთ ნახ. 3–ზე მოცემული სისტემა.



ნახ.3

ცდის მსვლელობა:

1. გაზომეთ წვრილი მილის სიგრძე l_1 და /პირობით ერთეულებში/ განსაზღვრეთ მოცულობა $V_1 = Sl_1$.
2. დიდი დიამეტრის ცილინდრულ ჭურჭელში ჩაასხით ცხელი წყალი და გაზომეთ მისი ტემპერატურა t_1 $(t_1 < 60^0C)$ გამოთვალეთ T_1.
3. ცხელი წყლით სავსე ჭურჭელში ჩაუშვით წვრილი მილი /ღია ბოლოთი ზემოთ/ და გააჩერეთ შიგ $3 \div 5$ წთ.
4. მილს ღია ბოლოზე გაუკეთეთ პლასტილინის საცობი და სწრაფად გადაიტანეთ ოთახის t_2 ტემპერატურის მქონე წყლიან ჭურჭელში, მოხსენით საცობი.
5. გაზომეთ მილში ჰაერის სიმაღლე l_2 და /პირობით ერთეულებში/ გამოთვალეთ მოცულობა $V_2 = Sl_2$.
6. შეადარეთ ერთმანეთს $\frac{T_1}{T_2}$ და $\frac{V_1}{V_2} = \frac{l_1}{l_2}$ სიდიდეები.
7. ცდით დაშვებული ცდომილება გამოთვალეთ ფორმულით

$$X = \frac{\left|\frac{l_1}{T_1} - \frac{l_2}{T_2}\right|}{\frac{l_1}{T_1}} \cdot 100\%$$

8. ცდა გაიმეორეთ რამოდენიმეჯერ და მიღებული შედეგები შეიტანეთ დაკვირვებათა ცხრილში.

დაკვირვებათა ცხრილი:

№	l_1	t_1	T_1	l_2	t_2	T_2	X

გაზების უნივერსალური მუდმივის განსაზღვრა *

იდეალური გაზების მდგომარეობის განტოლებას (მენდელეევ–კლაპეირონის) აქვს ასეთი სახე:

$$pV = \frac{m}{M} RT \qquad (1)$$

სადაც $\boldsymbol{p}$ არის გაზის წნევა; V – მისი მოცულობა; m – მოცულობის გაზის მასა; $\boldsymbol{T}$ – აბსოლუტური ტემპერატურა;
M – ჰაერის ერთი კილომოლის მასა; $\boldsymbol{R}$ – გაზების უნივერსალური მუდმივა.

ერთი კილომოლის გაზისათვის $m = M$ და (1) განტოლება ასეთ სახეს მიიღებს:

$$pV = RT \qquad (2)$$

გავათბოთ გაზი მუდმივი წნევის დროს $\boldsymbol{T^0}$– დან $(\boldsymbol{T}+\boldsymbol{1})^{\boldsymbol{0}}$–მდე, მისი მოცულობა მოიმატებს და გახდება $(V+\Delta V)$. ამ შემთხვევისათვის (2) განტოლება ასე დაიწერება:

$$p(V+\Delta V) = R(T+1) \qquad (3)$$

გამოვაკლოთ (3) განტოლებას (2), მივიღებთ:

$$p\Delta V = R \qquad (4)$$

$p\Delta V$ არის მუშაობა, რომელიც შესრულდა 1 კილომოლი გაზის გასათბობად 1^0**C**–ით, ე. ი. გაზის უნივერსალური მუდმივა რიცხობრივად ტოლია იმ მუშაობისა, რომელიც სრულდება 1 კილომოლი გაზის გასათბობად 1^0**C**–ით, მუდმივი წნევის დროს.

ამოვტუმბოთ კოლბიდან გაზის ნაწილი და შიგ დარჩენილი მასის რაოდენობა აღვნიშნოთ m'–ით. ცხადია, m' მასა დაიკავებს მთელ მოცულობას და ამ შემთხვევისათვის (1) განტოლება ასე დაიწერება:

$$p_1 V = \frac{m}{M} RT \qquad (5)$$

ვგულისხმობთ, რომ ტემპერატურა ორივე შემთხვევაში ერთნაირია, (1) განტოლებას გამოვაკლოთ (5) და მივიღებთ:

$$V(p-p_1) = \frac{m-m'}{M} RT$$

აქედან:

$$R = \frac{MV(p-p_1)}{(m-m')T} \qquad (6)$$

განტოლებაში $(\boldsymbol{p}-\boldsymbol{p_1})$ წნევათა სხვაობა შეიძლება გამოვთვალოთ ცდის საშუალებით.

როცა მანომეტრთან შეერთებული კოლბიდან ამოვტუმბავთ ჰაერს, გარეშე ატმოსფერული $\boldsymbol{p}$ წნევისა და კოლბაში დარჩენილი ჰაერის $\boldsymbol{p_1}$ წნევათა სხვაობის გამო მანომეტრის მილებს შორის წარმოიშობა ვერცხლისწყლის დონეთა $\boldsymbol{h}$ სიმაღლე.

ამ დროს გარეშე ატმოსფერული წნევა აწონასწორებს კოლბაში მყოფი ჰაერის წნევას და $\boldsymbol{h}$ სიმაღლის ვერცხლისწყლის სვეტის $\boldsymbol{p_2}$ წნევას, ე. ი.

$$\boldsymbol{p = p_1 + p_2} \qquad (7)$$

სადაც $(\boldsymbol{p_2 = \rho g h}), \boldsymbol{\rho}$ არის ვერცხლისწყლის სიმკვრივე, $\boldsymbol{g}$–თავისუფალი ვარდნის აჩქარება. ამის მიხედვით (7) განტოლებიდან შეიძლება დავწეროთ:

$$\boldsymbol{p - p_1 = \rho g h} \qquad (8)$$

(8) განტოლებას თუ გავითვალისწინებთ (6)–ში, მივიღებთ:

$$R = \frac{MV\rho gh}{\left(m - m'\right)T} \qquad (9)$$

ამ განტოლებაში $m - m'$ სხვაობა არის ბალონიდან ამოტუმბული ჰაერის მასა, აღვნიშნოთ $m_0 = m - m'$.

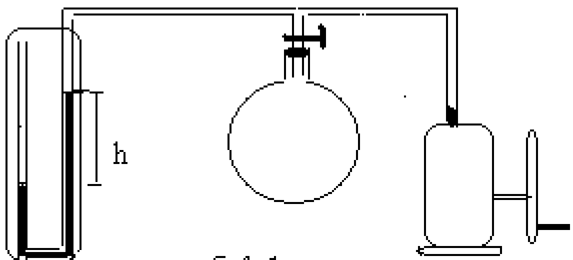
საბოლოოდ

$$R = \frac{M\rho ghV}{m_0 T} \qquad (10)$$

სადაც V არის ცდისათვის გამოყენებული კოლბის მოცულობა მ^3-ში.

ხელსაწყოს აღწერა

ცნობილი მოცულობის კოლბი $\boldsymbol{T}$-ს მაგვარი მილით შეერთებულია მანომეტრთან და ჰაერტუმბოსთან. კოლბას (ნახ. 1) გაკეთებული აქვს მომჭერი. მანომეტრი გათვალისწინებული უნდა იყოს 75–80 სმ. ვერცხლისწყლის სვეტის წნევის გასაზომად.



ნახ.1

მუშაობის მსვლელობა

1. ზუსტად აწონეთ ჰაერიანი კოლბი, გაათავისუფლეთ მომჭერისაგან, შემდეგ შეუერთეთ ჰაერტუმბოს.
2. ამოტუმბეთ კოლბიდან ჰაერი, ჩანიშნეთ შესაბამის დონეთა სხვაობა მანომეტრში $\boldsymbol{h = h_2 - h_1}$ და კვლავ მოუჭირეთ მომჭერი.
3. განსაზღვრეთ კოლბიდან ამოტუმბული ჰაერის მასა. როგორ? მოიფიქრეთ თვითონ.
4. ჩაინიშნეთ ოთახის ტემპერატურა, შეავსეთ ცდის მონაცემებით დაკვირვებათა ცხრილი.
5. (10) ფორმულით აწარმოეთ გაზის უნივერსალური მუდმივის გამოთვლა.

დაკვირვებათა ცხრილი

დაკვირვებათა რიგი	ჰაერის კილომოლის მასა –M კგ/მოლი	კოლბის მოცულობა V $მ^3$	ვერცხლისწყლის სიმკვრივე კგ./$მ^3$	თავისუფალი ვარდნის აჩქარება g მ/$წმ^2$	ვერცხლისწყლის დონეთა სხვაობა მანომეტრში h	კოლბის მასა ჰაერიანად m	კოლბის მასა ჰაერის ამტუმბვის შემდეგ m´	ამოტუმბული ჰაერის მასა m-m´.	ჰაერის აბსოლუტური ტემპერატურა ცდის დროს T^0 K.	გაზის უნივერსალური მუდმივა R	ფარდობითი ცდომილება ΔR/R.	აბსოლუტური ცდომილება ΔR

საკონტროლო კითხვები

1. დაწერეთ მენდელეევ–კლაპეირონის განტოლება.
2. განსაზღვრეთ რა არის ***R*** და რას უდრის იგი რიცხობრივად? დაამტკიცეთ.
3. გამოიყვანეთ ***R***–ის საანგარიშო ფორმულა.
4. რატომ არის აუცილებელი მანომეტრი გათვალისწინებული იყოს 75–80 სმ. წნევაზე?
5. დაასახელეთ საჭირო ხელსაწყოები. აღწერეთ მუშაობის მსვლელობა.

კითხვები დასკვნისათვის

1. რა სიდიდეების გაზომვაა საჭირო ცდის დროს? რა ხელსაწყოებით? რა ერთეულებში? რა სიზუსტით?
2. ახსენით მოლეკულურ–კინეტიკური თეორიის საფუძველზე კოლბაში ჰაერის ამოტუმბვით წნევის შემცირება?
3. არის თუ არა გაზის უნივერსალური მუდმივა დამოკიდებული გაზის დამახასიათებელ პარამეტრებზე?
4. თუ ***R*** ცნობილია, იგივე ცდით რა შეიძლებოდა გაგვესაზღვრა?
5. ხომ არ შეგიძლიათ დაასახელოთ გაზის უნივერსალური მუდმივის განსაზღვრის პრაქტიკული მეთოდი?
6. შეიძლება თუ არა გაზის უნივერსალური მუდმივა ვიანგარიშოთ არა გამოტუმბული გაზის მასის მიხედვით, არამედ კოლბაში დარჩენილი ჰაერის m' მასის მიხედვით? რა არის ამისათვის საჭირო?

ნივთიერების კუთრი სითბოტევადობის განსაზღვრა

სხეულის გასათბობად $t_1{}^0C$ –დან $t_2{}^0C$ –მდე საჭირო სითბოს რაოდენობა პირდაპირპროპორციულია მასისა და ტემპერატურის სხვაობის ნამრავლისა:

$$Q = cm(t_2 - t_1) \qquad (1)$$

საიდანაც:

$$c = \frac{Q}{m(t_2 - t_1)} \qquad (2)$$

c პროპორციულობის კოეფიციენტია, მას სხეულის კუთრი სითბოტევადობა ეწოდება. თუ დავუშვებთ რომ $t_2 - t_1 = 1^0C$ და $m = 1$კგ., მაშინ $c = Q$, ე.ი. სხეულის კუთრი სითბოტევადობა იზომება სითბოს იმ რაოდენობით, რომელიც საჭიროა ერთეული მასის გასათბობად 1^0C –ით. მისი საზომი ერთეულია ჯ/კგ.გრად.

(2) ფორმულა განსაზღვრავს სხეულის საშუალო კუთრ სითბოტევადობას $t_2 - t_1$ ტემპერატურის შუალედში.

კუთრი სითბოტევადობის ჭეშმარიტი მნიშვნელობა წარმოადგენს ზღვარს, რომლისკენაც მიისწრაფვის საშუალო მნიშვნელობა, როცა ტემპერატურული ინტერვალი მიისწრაფვის ნულისაკენ.

$$c = \frac{1}{m}\lim_{\Delta t \to 0}\frac{\Delta Q}{\Delta t} = \frac{1}{m}\cdot\frac{dQ}{dt}$$

ლაბორატორიულლ პირობებში (2) ფორმულის საშუალებით გამოვთვლით კუთრ სითბოტევადობას.

კუთრი სითბოტევადობის გაზომვის მრავალი მეთოდი არსებობს, ჩვენ ვისარგებლოთ შედარების მეთოდით, რომლის არსი მდგომარეობს უცნობი და ცნობილი კუთრი სითბოტევადობის შედარებაში. m_1 და m_1' მასის კალორიმეტრებში მოვათავსოთ ერთში ცნობილი m_2 (წყალი) და მეორეში გამოსაკვლევი m_2' მასის სითხე. კუთრი სითბოტევადობები, შესაბამისად აღვნიშნოთ: კალორიმეტრებისა c_1 და c_1'; სითხეებისა $-c_2$ და c_2'.

ცდის დაწყების წინ კალორიმეტრების და სითხეების ტემპერატურა აღვნიშნოთ t –თი.

ცდის დასასრულს ცნობილი სითხის ტემპერატურა აღვნიშნოთ Θ_1–ით, გამოსაკვლევისა $-\Theta_2$ –ით.

სითბოს რაოდენობა, რომელიც მიიღო ცნობილმა სითხემ და m_1– მასის კალორიმეტრმა:

$$Q_1 = (c_1 m_1 + c_2 m_2)(\Theta_1 - t) \qquad (3)$$

სითბოს რაოდენობა, რომელიც მიიღო გამოსაკვლევმა სითხემ და m_1' მასის კალორიმეტრმა:

$$Q_2 = \left(c_2' m_2' + c_1' m_1'\right)(\Theta_2 - t) \qquad (4)$$

თუ გათბობას ვაწარმოებთ ერთდროულად ერთნაირი სიმძლავრის გამათბობელით, მაშინ შეიძლება დავწეროთ:

$$(c_1 m_1 + c_2 m_2)(\Theta_1 - t) = \left(c_2' m_2' + c_1' m_1'\right)(\Theta_2 - t)$$

ამ ტოლობიდან შეიძლება განვსაზღვროთ გამოსაკვლევი სითხის კუთრი სითბოტავადობა:

$$c_2' = \frac{(c_1m_1 + c_2m_2)(\Theta_1 - t) - c_1' m_1' (\Theta_2 - t)}{m_2' (\Theta_2 - t)} \qquad (5)$$

ცდის გამარტივების მიზნით თუ დავუშვებთ, რომ კალორიმეტრები ერთნაირია, ე. ი. $m_1 = m_1'$ და $c_1 = c_1'$, მაშინ (5) განტოლება ასეთ სახეს მიიღებს:

$$c_2' = \frac{c_2m_2(\Theta_1 - t) - c_1m_1(\Theta_1 - \Theta_2)}{m_2'(\Theta_2 - t)} \qquad (6)$$

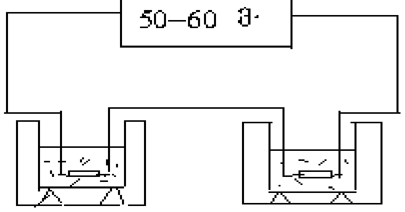
ამის მსგავსად აწარმოებენ მყარი სხეულის კუთრი სითბოტევადობის განსაზღვრასაც მხოლოდ იმ განსხვავებით, რომ საცდელად იღებენ ორივე კალორიმეტრში ერთნაირი რაოდენობის წყალს და ერთ–ერთ მათგანში უშვებენ გამოსაკვლევ მყარ სხეულს.

აღვნიშნოთ გამოსაკვლევი მყარი სხეულის მასა m–ით და კუთრი სითბოტევადობა $-c$–თი. (6) ფორმულის ანალოგიურად მივიღებთ:

$$c = \frac{(c_1m_1 + c_2m_2)(\Theta_1 - \Theta_2)}{m(\Theta_2 - t)} \qquad (7)$$

ხელსაწყოს აღწერა

ორ ერთნაირ კალორიმეტრში მოთავსებულია მიმდევრობით შეერთებული ერთნაირი სიმძლავრის ორი გამახურებელი (ნახ. 1).



ნახ.1

მუშაობის მსვლელობა

1. აიღეთ ორი ერთნაირი მასისა და ნივთიერების კალორიმეტრები, განსაზღვრეთ კალორიმეტრის m_1 და m_1' მასები.
2. ჩაასხით ერთში ცნობილი სითხე (წყალი), მეორეში გამოსაკვლევი სითხე, განსაზღვრეთ მათი m_2 და m_2' მასები.
3. გაზომეთ საწყისი t ტემპერატურა.
4. ჩაუშვით კალორიმეტრებში გამათბობელი და შეუერთეთ 50–60 ვ ძაბვის წყაროს.
5. ტემპერატურის 40–50^{0}C–ით მომატების შემდეგ აითვალეთ თერმომეტრებზე Θ_1 და Θ_2. აღებული ანათვლები შეიტანეთ დაკვირვებათა ცხრილში და (6) ფორმულით იანგარიშეთ გამოსაკვლევი სითხის კუთრი სითბოტევადობა.
6. იმავე კალორიმეტრებში ერთნაირი რაოდე-ნობის წყალი ჩაასხით. განსაზღვრეთ მათი m_2 და m_2' მასები და ერთ–ერთ მათგანში ჩაუშვით ცნობილი m მასის გამოსაკვლევი მყარი სხეული.
7. ცდა პირვანდელის მსგავსად გაიმეორეთ. ანათვლები შეიტანეთ დაკვირვებათა ცხრილში და (7) ფორმულით იანგარიშეთ გამოსაკვლევი მყარი სხეულის კუთრი სითბოტევადობა.

8. მუდმივების ცხრილებში მონახეთ გამოსა-კვლევი სითხისა და მყარი სხეულის კუთრი სითბოტევადობები.

9. იანგარიშეთ ფარდობითი და აბსოლუტური ცდომილება. აბსოლუტურ ცდომილებად ჩათვალეთ მუდმივების ცხრილებიდან აღებული მნიშვნელობებისა და ცდით მიღებულ შედეგს შორის სხვაობა. ეს სხვაობა გაყავით ცხრილიდან აღებულ მნიშვნელობაზე და მიიღებთ ფარდობით ცდომილებას.

დაკვირვებათა ცხრილი

დაკვირვებათა რიგი	პირველი კალორიმეტრის მასა m_1 კგ	მეორე კალორიმეტრის მასა m_1' კგ.	ცნობილი სითხის მასა m_2. კგ	გამოსაკვლევი სითხის მასა m_2' კგ	გამოსაკვლევი მყარი სხეულის მასა m კგ.	საწყისი ტემპერატურა –t	ცნობილი სითხის (წყალი) და კალორიმეტრის საბოლოო ტემპერატურა – Θ_1.	გამოსაკვლევი სითხის და კალორიმეტრის საბოლოო ტემპერატურა -Θ_2.	წყლის კუთრი სითბოტევადობა c_2 ჯ/კგ ·გრად.	გამოსაკვლევი სითხის კუთრი სითბოტევადობა მუდმივების ცხრილიდან აღებული	გამოსაკვლევი სითხის კუთრი სითბოტევადობა .	გამოსაკვლევი სითხის კუთრი სითბოტევადობა მუდმივების ცხრილიდან აღებული –	აბსოლუტური ცდომილება	ფარდობითი ცდომილება

საკონტროლო კითხვები

1. რას ეწოდება კუთრი სითბოტევადობა და რას უდრის ფორმულით? რა ერთეულებში იზომება?
2. გამოიყვანეთ ცდის შესაბამისი კუთრი სითბოტევადობის ფორმულა სითხისა და მყარი სხეულისათვის.
3. აღწერეთ ხელსაწყო და მუშაობის მსვლელობა.
4. დაწერეთ ფარდობითი და აბსოლუტური ცდომილების ფორმულები.

კითხვები დასკვნისათვის

1. რა სიდიდეები გაზომეთ ცდის დროს? რა სიდიდეები აიღეთ ცხრილიდან?
2. არის თუ არა დამოკიდებული სხეულის კუთრი სითბოტევადობა მასაზე?
3. ერთნაირი სიმძლავრის გამახურებლით ერთნაირი დროში რატომ არ ხურდება გამოსაკვლევი სითხე და წყალი ერთნაირ ტემპერატურამდე?
4. თქვენის აზრით როდის იქნება ცდით მიღებული გამოანგარიშება უფრო ზუსტი, როცა სითხის ტემპერატურა ახლოს არის ოთახის ტემპერატურასთან, თუ როცა ამ ტემპერატურებს შორის სხვაობა დიდია?

ჰაერის სითბოტევადობათა შეფარდების განსაზღვრა

სითბოს რაოდენობას, რომელიც საჭიროა 1 კილოგრამმოლი გაზის გასათბობად 1^0C–ით, მოლეკულური სითბოტევადობა ეწოდება. ოლე-კულური სითბოტევადობა დამოკიდებულია გაზის გათბობის პირობებზე. თუ გაზს ვათბობთ მუდმივი მოცულობის პირობებში, მთელი სითბო ხმარდება გაზის შინაგანი ენერგიის გაზრდას; მაგრამ თუ მას ვათბობთ მუდმივი წნევის პირობებში, მაშინ სითბოს ნაწილი იხარჯება გაზის შინაგანი ენერგიის გაზრდაზე, ნაწილი – გაზის გაფართოების გამო გარეგანი წნევის დასაძლევად. კილოგრამმოლი გაზის გასათბობად 1^0C-ით მუდმივი მოცულობის დროს ნაკლები სითბოა საჭირო, ვიდრე მუდმივი წნევის დროს. აღვნიშნოთ სითბოტევადობა მუდმივი მოცულობის დროს c_v-თი და მუდმივი წნევის დროს $-\boldsymbol{c_p}$-ით. შეფარდება $\boldsymbol{\gamma = \frac{c_p}{c_v}}$ განსაზღვრავს თუ რამდენჯერ მეტია გაზის სითბოტევადობა მუდმივი წნევის დროს ამავე გაზის სითბოტევადობაზე მუდმივი მოცულობის დროს.

$\boldsymbol{\gamma}$-ს განსაზღვრას მთელი რიგი მოვლენებისათვის დიდი პრაქტიკული მნიშვნელობა აქვს. ჩვენი ამოცანის მიზანია განვსაზღვროთ იგი ცდით გაზის ადიაბატურ პროცესზე დაყრდნობით.

ადიაბატური პროცესი ეწოდება გაზის მდგომარეობის ცვლილებას ისე, რომ იგი სითბოს არც ღებულობს გარემოდან და არც გასცემს.

პრაქტიკულად ადიაბატური პროცესის განხორ-ციელება შეუძლებელია, მაგრამ ისეთი პროცესები, რომლებიც სწრაფად მიმდინარეობს, შეიძლება ჩაითვალოს ადიაბატურად.

ვთქვათ საცდელი გაზი იმყოფება მანომეტრთან შეერთებულ დახურულ ჭურჭელში ოთახის $\boldsymbol{T_1}$ ტემპერატურაზე. აღვნიშნოთ მისი წნევა ამ პირობებში $\boldsymbol{p_0}$-ით. ჩავტუმბოთ ჭურჭელში ჰაერი, რაც გაზრდის წნევას და იქნება:

$$\boldsymbol{p_1 = p_0 + h}$$

ჩავთვალოთ გაზის ეს მდგომარეობა საწყისად $(P_1;T_0)$ პარამეტრებით. გავაფართოვოთ გაზი სწრაფად, რაც შინაგანი ენერგიის ხარჯზე მოხდება, ე. ი. პროცესი ადიაბატურია, რომლის დროსაც შემცირდება გაზის ტემპერატურა $\boldsymbol{T_2{}^0K}$–მდე, გაზი ისევ მიიღებს P_0 წნევას. გაზის ეს მდგომარეობა ჩავთვალოთ II მდგომარეობად $(P_0;T_2)$ პარამეტრებით.

დავკეტოთ ჭურჭელი და დაველოდოთ მასში გაცივებული გაზის გათბობას. ამჯერად პროცესი იზოქორულია, გაზი მიიღებს ისევ ოთახის $\boldsymbol{T_1}$ ტემპერატურას და $\boldsymbol{p_2 = p_0 + h_2}$ წნევას, სადაც $\boldsymbol{h_2}$ იქნება სითხის დონეთა სხვაობა II მდგომარეობიდან III-ში $(p_2;T_1)$ მდგომარეობაში გადასვლის დროს.

ვისარგებლოთ გაზის მდგომარეობის განტოლებით ადიაბატური პროცესისათვის და გამოვიყენოთ იგი ჩვენს მაგალითზე I მდგომარეობიდან II–ში გადასვლისათვის:

$$\left(\frac{p_1}{p_0}\right)^{\gamma-1} = \left(\frac{T_1}{T_2}\right)^{\gamma} \qquad (1)$$

ამ განტოლებას პუასონის განტოლება ეწოდება. II მდგომარეობიდან III მდგომარეობაში გადასვლისათვის გამოვიყენოთ შარლის კანონი:

$$\frac{p_0}{T_2} = \frac{p_2}{T_1} \quad \text{ე. ი.} \quad \frac{T_1}{T_2} = \frac{p_2}{p_0} \qquad (2)$$

თუ (2) განტოლებიდან $\frac{T_1}{T_2}$-ს მნიშვნელობას შევიტანთ პირველ განტოლებაში, მივიღებთ:

$$\left(\frac{p_1}{p_0}\right)^{\gamma-1} = \left(\frac{p_2}{p_0}\right)^{\gamma}$$

ამოვიღოთ ორივე მხრიდან γ ხარისხის ფესვი:

$$\left(\frac{p_1}{p_0}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} = \frac{p_2}{p_0} \qquad (3)$$

შევიტანოთ ამ განტოლებაში $p_1 = p_0 + h_1$ და $P_2 = P_0 + h_2$ მნიშვნელობები და გავამარტივოთ:

$$\left(1+\frac{h_1}{p_0}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} = 1+\frac{h_2}{p_0} \qquad (4)$$

ამ განტოლების მარცხენა მხარე იმის გამო, რომ $\frac{h_1}{p_0}$ საკმაოდ მცირე სიდიდეა, შეიძლება გავშალოთ ბინომის სახით და მხოლოდ I და II წევრით დავკმაყოფილდეთ:

$$\left(1+\frac{h_1}{p_0}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} = 1+\frac{\gamma-1}{\gamma}\cdot\frac{h_1}{p_0}$$

თუ მიღებულ გამოსახულებას გავითვალისწინებთ (4) განტოლებაში, მივიღებთ:

$$1+\frac{\gamma-1}{\gamma}\cdot\frac{h_1}{p_0} = 1+\frac{h_2}{p_0}, \quad \text{ე.ი.} \quad \frac{\gamma-1}{\gamma}\cdot h_1 = h_2 \qquad (5)$$

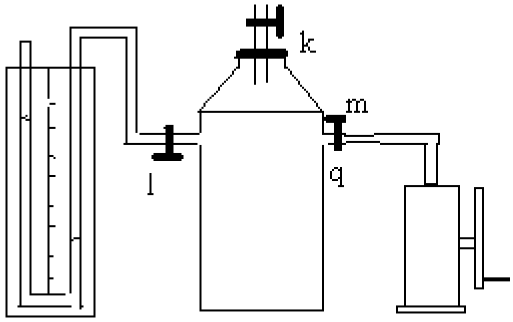
(5) განტოლებიდან თუ ამოვხსნით γ-ს, საბოლოოდ გვექნება:

$$\gamma = \frac{h_1}{h_1 - h_2} \qquad (6)$$

(6) ფორმულის საშუალებით ცდის მონაცემების მიხედვით უნდა ვიანგარიშოთ γ კოეფიციენტი.

ხელსაწყოს აღწერა

ხელსაწყო წარმოადგენს 15–20 ლიტრის ტევადობის ბალონს, რომელიც მჭიდროდ არის დახურული საცობით, მასში გაყრილია მინის მილი ***K*** ონკანით. ბალონს აქვს ***l*** და ***q*** სარქველები. ***l*** სარქველით უკავშირდება მანომეტრს ***q*** სარქველში ჩამაგრებულია ***m*** ონკანი, რომელიც შეერთებული არის ჰაერტუმბოსთან (ნახ. 1).



ნახ.1

მუშაობის მსვლელობა

1. დახურეთ ***K*** ონკანი, გააღეთ ***m*** ონკანი და ბალონში ჩატუმბეთ ჰაერი, ვიდრე მანომეტრში დონეთა სხვაობა 30–35 სანტიმეტრს არ მიაღწევს. ჩაიწერეთ სითხის დონეთა სხვაობა მანომეტრში h_1.
2. გააღეთ ***K*** ონკანი და როცა მანომეტრში დონეთა სხვაობა გაუტოლდება ნულს–დახურეთ.
3. დაელოდეთ 3–4 წუთის განმავლობაში, შემდეგ ჩანიშნეთ h_2.
4. მონაცემები შეიტანეთ დაკვირვებათა ცხრილში და (6) ფორმულით გამოთვალეთ γ კოეფიციენტი.
5. იპოვეთ რამდენიმე გაზომვის საშუალო მნიშვნელობა.
6. იანგარიშეთ ფარდობითი და აბსოლუტური ცდომილება.

დაკვირვებათა ცხრილი

დაკვირვებათა რიგი	მანომეტრში სითხის დონეთა სხვაობა ჰაერის ჩატუმბვის შდეგ h_1 მმ.	მანომეტრში სითხის დონეთა სხვაობა იზოქორული გათბობის შემდეგ h_2 მმ.	კოეფიციენტი —γ.	ფარდობითი ცდომილება Δγ/γ	აბსოლუტური ცდომილება Δγ.	შენიშვნა
1						
2						
3						
4						
5						

საკონტროლო კითხვები

1. რას ეწოდება მოლური სითბოტევადობა?
2. რამდენი სითბოტევადობა ახასიათებს გაზს?
3. რით აიხსნება განსხვავება c_p-სა და c_v-ს შორის? დაასაბუთეთ.
4. რას აღნიშნავს γ?

5. როგორ პროცესს ეწოდება ადიაბატური? დაწერეთ გაზის მდგომარეობის განტოლება ამ პროცესისათვის.

6. როგორ ვაწარმოებთ $\gamma = \dfrac{h_1}{h_1 - h_2}$ ფორმულის გამოყვანას?

7. აღწერეთ ხელსაწყო და ცდის მსვლელობა.

კითხვები დასკვნისათვის

1. ახასიათებს თუ არა სითხეებს და მყარ სხეულებს ორგვარი სითბოტევადობა? დაასაბუთეთ.

2. შეიძლება თუ არა კოეფიციენტის განსაზღვრა თუ გავზომავთ გაზის T_1 და T_2 ტემპერატურებს? როგორი იქნებოდა ამისათვის საჭირო ფორმულა? როგორი ხელსაწყო იქნებოდა საჭირო?

თავი IV. ელექტრობა და მაგნიტიზმი

შესავალი

ელექტრობისა და მაგნეტიზმის ლაბორატორიული სამუშაოების დაწყებამდე სტუდენტი ვალდებულია გაეცნოს წინამდებარე სავალდებულო მოთხოვნებს:

1. ყველა ელექტრონული სქემა იკრიბება შემაერთებელი მავთულებით, რომლის ბოლოებიც უნდა იყოს გასუფთავებული.
2. კონტაქტები სქემის ყველა უბანზე უნდა იყოს კარგი.
3. შემაერთებელი მავთულები არ უნდა იყოს ერთმანეთზე გადაგრეხილი.
4. წრედის აკრებისას დენის წყარო ჩაირთვება წრედში ბოლოს, ხოლო დაშლისას ამოირთვება პირველ რიგში.
5. სქემაში ჩართული ყველა ჩამრთველი უნდა იყოს ამორთულ მდგომარეობაში.
6. სასტიკად აკრძალულია წრედის ჩართვა მასწავლებლის /ან ლაბორანტის/ ნების გარეშე.
7. არ აწარმოოთ ძაბვის ქვეშ არსებულ სქემაში რაიმე გადართვები.
8. არ შეეხოთ წრედის არაიზოლირებულ ნაწილებს.
9. წრედი ჩართული უნდა იყოს მხოლოდ ანათვლების აღებისას.
10. არ დატოვოთ ჩართული წრედი უმეთვალყუროდ!!!

ელექტრომზომი ხელსაწყოების გაცნობა

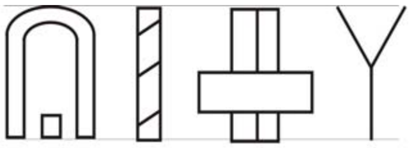
ელექტრომზომი ხელსაწყოების კლასიფიცირება მოვახდინოთ შემდეგი მოთხოვნების მიხედვით:

1. გასაზომი სიდიდეების ხასიათის: ამპერმეტრი, ვოლტმეტრი, ომმეტრი, ვატმეტრი, მრიცხველი და სხვა.

2. დენის სახეობის: მუდმივი დენის ხელსაწყოები, ცვლადი დენის ხელსაწყოები და მუდმივი და ცვლადი დენის ხელსაწყოები.
3. მოქმედების პრინციპის მიხედვით: მაგნიტო-ელექტრული, ელექტრომაგნიტური, ელექტროდინამი-კური, ინდუქციური, სითბური, ელექტროსტატიკური და სხვა.
4. გაზომვის სიზუსტის /კლასის/ მიხედვით: 0,1; 0,2; 0,5; 1,0; 1,5; 2,5; 4,0 – კლასის ხელსაწყოები.
ხელსაწყოები – 0,1; 0,2; 0,5; კლასის სიზუსტით გამოიყენება ზუსტი გაზომვის საწარმოებლად. /ამ ტიპის ხელსაწყოებს ზოგჯერ პრეცეზიულსაც უწოდებენ/.

ხელსაწყოს შკალაზე გაკეთებული აღნიშვნები უჩვენებს: მოქმედების პრინციპს (ნახ. I); ა) მაგნიტოელექტრული; ბ)ელექტრომაგინტური; გ)ელექტროდინამიკური: დ) სითბური.

დენის სახეობას – /მუდმივი დენის შემთხვევაში /–/ და / ~ / – ცვლადი დენის შემთხვევაში/; ხელსაწყოს ორიენტაციის მუშა მდგომარეობაში/ /↑/–ვერტიკალურს და /→/ ჰორიზონტალურს/; იზოლაციის გამრღვევ ძაბვას /N'2кB /; სიზუსტის კლასს.



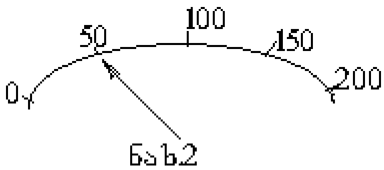
ნახ.1

ელექტრომზომის ხელსაწყოები შედგება უძრავი და მოძრავი ნაწილებისაგან. გაზომვისას ხელსაწყოს მოძრავი ნაწილის მაბრუნებელი მომენტი გაწონასწორებულია სპირალის /ან სხვა რაიმე მექანიკური სისტემის/ შესაბამისი მომენტით. ამ მდგომარეობაში ხელსაწყოს მაჩვენებელი ისარი შემობრუნებულია რაღაც კუთხით. ცნობილია დამოკიდებულება შემობრუნების კუთხესა და გასაზომ სიდიდეს შორის ხდება ხელსაწყოს შკალის დაგრადუირება გასაზომი სიდიდის ერთეულებით.

სიდიდეს, რომელიც ტოლია შემობრუნების კუთხის ფარდობისა გასაზომი სიდიდის მნიშვნელობასთან, ხელსაწყოს მგრძნობიარობა ეწოდება. თუ $d\varphi$ არის შემობრუნების კუთხე განპირობებული დენის dI ცვლადებით მაშინ ხელსაწყოს მგრძნობიარობა:

$$S = \frac{d\varphi}{dI}$$

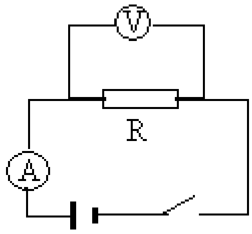
სიდიდეს $C = \frac{1}{S}$ ეწოდება ხელსაწყოს დანაყოფის ფასი /ანუ სიდიდე, რომელიც ხელსაწყოს ისარს ერთ დანაყოფზე შემოაბრუნებს/.



ნახ.2

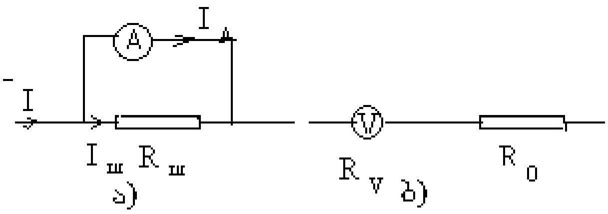
(ნახ. 2)–ზე მოცემული ვოლტმეტრისათვის ხელსაწყოს მგრძნობიარობა $S=\frac{d\varphi}{du}=\frac{4}{200}=0,02$ დან./ვ ხოლო დანაყოფის ფასი $C=\frac{1}{S}=\frac{200}{4}=50$ ვ./დან. აქვე შეიძლება გავაკეთოთ შენიშვნა, რომ ხელსაწყოს შკალაზე ისრის ჩვენება შეიძლება შეესაბამებოდეს გასაზომი სიდიდის რიცხვით მნიშვნელობას ან საჭირო იყოს ხელსაწყოს დანაყოფის ფასისა და დანაყოფების რიცხვის გამრავლებით გასაზომი სიდიდის დადგენა.

<u>ამპერმეტრი</u> <u>და</u> <u>ვოლტმეტრი</u>: წრედში გამავალი დენი იზომება ამპერმეტრის საშუალებით. ამპერმეტრს წრედში რთავენ მიმდევრობით (ნახ. 3). რის გამოც მას უნდა ჰქონდეს მეტად მცირე წინაღობა. ყოველი ამპერმეტრი გაანგარიშებულია რაღაც ზღვრული დენის ძალის გასაზომად, მაგრამ თუ ამპერმეტრთან პარალალელურად მივუერთებთ წინაღობას /შუნტს/ შეიძლება გავზარდოთ ამპერმეტრის გაზომვის ზღვრული მნიშვნელობა.



ნახ.3

შუნტი წარმოადგენს წინაღობას, რომელიც ამპერმეტრთან მიერთებულია პარალელურად.



ნახ.4

(ნახ. 4 ა). რის გამოც ამპერმეტრში გაივლის გასაზომი დენის გარკვეული ნაწილი. თუ გვსურს ამპერმეტრის გაზომვის ზღვრის $\boldsymbol{n}$ ჯერ გადიდება $\boldsymbol{n=\frac{I}{I_A}}$ შუნტის წინაღობა უნდა აკმაყოფილებდეს პირობას.

$$R_ш=\frac{R_A}{n-1}$$

სადაც $\boldsymbol{R_A}$– ამპერმეტრის საკუთარი წინაღობაა /$\boldsymbol{I_A}$– ამპერმეტრი გამავალი დენი, ხოლო $\boldsymbol{I}$ დენი წრედის განუშტოებელ ნაწილში/.

წრედის უბანზე ძაბვის გასაზომად იყენებენ ვოლტმეტრს. ვოლტმეტრი წრედის მოცემულ უბანს უერთდება პარალელურად (ნახ. 3), წრედის აღნიშნულ უბანზე, რომ არ მოხდეს დენის განშტოება ვოლტმეტრის საკუთარი წინაღობა $\boldsymbol{R_v}$ უნდა იყოს ძალზე დიდი. ნებისმიერი ვოლტმეტრი გაანგარიშებულია $\boldsymbol{U_0}$ ზღვრულ ძაბვაზე. მაგრამ თუ გასაზომი ძაბვა $\boldsymbol{U=nU_0}$, მაშინ ვოლტმეტრს უნდა მივუერთოთ მიმდევრობით $\boldsymbol{R_0}$ დამატებითი წინაღობა (ნახ. 4 ბ) რომელიც აკმაყოფილებს პირობას: $\boldsymbol{R_0=R_v(n-1)}$.

ელექტროსტატიკური ველის შესწავლა

საჭირო ხელსაწყოები: ტრენაჟორი, მინის აბაზანა წყლით, მილიმეტრიანი ბადე, ბრტყელი ელექტროდები, ზონდი, შემაერთებელი მავთულები.

სამუშაოს მიზანი: შესწავლილი იქნას ერთგვაროვანი ელექტროსტატიკური ველი, ექვიპოტენციალური ზედაპირების საშუალებით განისაზღვროს ველის დაძაბულობის სიდიდე.

სივრცეს, რომლის საშუალებითაც ხორცი-ელდება უძრავი მუხტების ურთიერთქმედება, ელექტროსტატიკური ველი ეწოდება. ლექტრო-სტატიკური ველი ხასიათდება დაძაბულობის ვექტორით. ველის მოცემულ წერტილში დაძაბულობა იზომება იმ ძალით, რომლითაც ველი მოქმედებს ამ წერტილში მოთავსებული მუხტის დადებით ერთეულზე. თუ q მუხტზე ველი მოქმედებს F ძალით, მაშინ განმარტების თანახმად, დაძაბულობა

$$\overline{E} = \frac{\overline{F}}{q}$$

წირს, რომლის ყოველ წერტილში გავლებული მხების მიმართულება გვიჩვენებს ველის დაძაბულობის ვექტორის მიმართულებას, დაძა-ბულობის წირი ან ძალწირი ეწოდება.

ვინაიდან დაძაბულობის უშუალოდ გაზომვა დიდ სიძნელეს წარმოადგენს, ამიტომ შემოტანილია ველის სკალარული მახასიათებელი – პოტენციალი. პოტენ-ციალი იზომება იმ მუშაობით, რომელსაც ელექტრული ძალები ასრულებენ ერთეულოვანი დადებითი მუხტის გადასატანად ველის მოცემული წერტილიდან უსასრულობაში. ცხადია, მუშაობა, რომელიც სრულდება q მუხტის გადაადგილებისას ველის ორ წერტილს შორის, ტოლი იქნება

$$A = q(V_1 - V_2),$$

სადაც V_1 და V_2–ით აღნიშნულია მუხტის საწყისი და საბოლოო მდებარეობის შესაბამისი წერტილების პოტენციალები. ელექტროსტატიკური ველის სხვადასხვა წერტილში პოტენციალს სხვადასხვა მნიშვნელობა აქვს, მაგრამ ველში ყოველთვის მოინახება ტოლი პოტენციალების მქონე წერტილები. ტოლი პოტენციალების მქონე წერტილთა გეომეტრიულ ადგილს ექვიპოტენ-ციალური ზედაპირი ეწოდება. ადვილად მტკიცდება, რომ ელექტროსტატიკური ველის დაძაბულობის ვექტორი ველის ყოველ წერილში მიმართულია ამ წერტილში გამავალი ექვიპოტენციალური ზედაპირის მართობულად. აქედან გამომდინარე, თუ მოვძებნით ერთნაირი პოტენციალის მქონე წერტილებს, ე.ი. ავაგებთ ექვიპოტენციალურ ზედაპირს და გავავლებთ მის მართობ ხაზებს, მივიღებთ საძიებელ ძალწირს.

ვინაიდან კავშირი ველის დაძაბულობასა და პოტენციალთა სხვაობას შორის, უმარტივეს შემთხვევაში, ასეთია

$$E = \frac{V_1 - V_2}{d}, \qquad (1)$$

სადაც d ზედაპირებს შორის მანძილია, ნორმალის გასწვრივ, ამიტომ ელექტროსტატიკური ველის დაძაბულობის განსაზღვრა დაიყვანება პოტენციალების განსაზღვრამდე.

ცდის მსვლელობა

აღნიშნული მეთოდით ელექტროსტატიკური ველის შესწავლა შეიძლება მოხდეს ნახ. 1–ზე მოცემული სქემის გამოყენებით. (ამ შემთხვევაში ელექტროსტატიკური ველის შექმნა ხდება დროის მიხედვით უცვლელი, სტაციონალური, დენის საშუალებით). სქემაზე ვოლტმეტრის ერთი ბოლო შეერთებულია ერთ–ერთ ელექტროდთან, ხოლო მეორე – ზონდთან.

1. ჩართეთ წრედი, მოათავსეთ ზონდი წყლიან აბაზანაში და ჩაიწერეთ ვოლტმეტრის ჩვენება და წერტილის შესაბამისი კოორდინატები.
2. ზონდის გადაადგილებით მონახეთ იგივე პოტენციალების მქონე წერტილები (არანაკლებ ხუთისა), ჩაიწერეთ შესაბამისი კოორდინატები.
3. ანალოგიური ცდები გაიმეორეთ განსხვავებული პოტენციალის მქონე წერტილებისათვის.
4. ააგეთ ექვიპოტენციალური ზედაპირები და (1) ფორმულის გამოყენებით გამოთვალეთ ველის დაძაბულობა.
5. ცდით მიღებული შედეგები შეიტანეთ დაკვირვებათა ცხრილში.

ცდის სქემა:

V

ნახ.1

დაკვირვებათა ცხრილი:

№	X,Y	X,Y	X,Y	X,Y	X,Y	X,Y	X,Y	V	E
1									
2									
3									
4									
5									

გამტართა წინაღობის, ინდუქციურობისა და კონდენსატორთა ელექტროტევადობის განსაზღვრა ბოგირული მეთოდით

<u>საჭირო ხელსაწყოები</u>: ტრენაჟორი (შესაბამისი კომპლექტით), წინაღობათა წყობილი, რეოქორდი, თერმოსტატი, თერმომეტრი, ტელეფონი, შემაერთებელი მავთულები.

სამუშაოს მიზანი: ბოგირული მეთოდის გამოყენებით განსაზღვრული იქნას გამტართა წინაღობა, წინაღობის ტემპერატურული დამოკიდებულება, კონდენსატორის ელექტროტევადობა და კოჭას ინდუქციურობა.

გამტართა წინაღობის, კონდენსატორის ელექტ-როტევადობის და კოჭას ინდუქციურობის განსა-ზღვრის მრავალი მეთოდი არსებობს. ერთ–ერთ გავრცელებულ მეთოდს წარმოადგენს უიტსტონის ბოგირი.

უიტსტონის ბოგირი წარმოადგენს ოთხი წინაღობისაგან შეკრულ ელექტრულ წრედს (ნახ. 2), რომლის ერთ დიაგონალში ჩართულია დენის წყარო, ხოლო მეორეში – გამზომი ხელსაწყო.

ნახ.2

სქემაზე R_0, R_1, R_2 და R წინაღობებია, ხოლო I_0, I_1, I_2 და I შესაბამისი დენის ძალები. აღნიშნულ სიდიდეებს შორის დამოკიდებულების დასამ-ყარებლად გავითვალისწინოთ, რომ ბოგირული სქემა წონასწორობაშია, როცა CD დიაგონალში დენი არ გადის. მაშინ კირხჰოფის II კანონის $\left(\sum I_K R_K = \sum \varepsilon_K\right)$ გამოყენებით ACD და CBD კონტურებისათვის დავწერთ:

$$\begin{cases} IR - I_1 R_1 = 0 \\ I_0 R_0 - I_2 R_2 = 0 \end{cases} \qquad (1)$$

C და D კვანძებისათვის კი კირხოფის I კანონის $\left(\sum I_K = 0\right)$ გამოყენებით მივიღებთ:

$$\begin{cases} I_0 = I, \\ I_1 = I_2. \end{cases} \qquad (2)$$

(1) და (2) გამოსახულებათა საფუძველზე R წინაღობისათვის გვექნება:

$$R = R_0 \frac{R_1}{R_2} \qquad (3)$$

პრაქტიკაში R_1 და R_2 წინაღობების როლს ასრულებს შესაბამისად რეოქორდის AD და DB უბნები ($D-$ს მოსრიალე კონტაქტი რეოქორდს ყოფს ორ ნაწილად). იმის გამო, რომ რეოქორდი დამზადებულია ერთგვაროვანი გამტარისაგან, ამიტომ წინაღობათა შეფარდება შეიძლება შეიცვალოს შესაბამისი l_1 და l_2 გამტარების სიგრძეთა შეფარდებით, ე.ი.

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{l_1}{l_2} \qquad (4)$$

(4) ფორმულის გათვალისწინებით უცნობი წინაღობის გამოსათვლელი (3) გამოსახულება მიიღებს სახეს:

$$R = R_0 \frac{l_1}{l_2}$$

ინდუქციური და ტევადური წინაღობის შემთხვევაში შესაბამისად $R=\omega L$, $R=\frac{1}{\omega C}$, სადაც $\boldsymbol{L}$ ინდუქციურობაა, $\boldsymbol{C}$ ტევადობა და ω ციკლური სიხშირე.

დავალება 1.

გამტართა წინაღობის განსაზღვრა

ცდის მსვლელობა:

1. აკრიბეთ (ნახ.3–ზე) მოცემული სქემა, სადაც $\boldsymbol{R_0}$ ცნობილი წინაღობაა. ***ADB*** პოტენციომეტრს გააჩნია ***n*** დანაყოფი.
2. ჩართეთ წრედი და პოტენციომეტრის საშუალებით მიაღწიეთ ბოგირის წონასწორობას, აითვალეთ შესაბამისი $\boldsymbol{n_1}$ და $\boldsymbol{n_2}$ დანაყოფების რიცხვი. (ვინაიდან ***AD*** უბნის წინაღობა $\boldsymbol{R_{AD}=\frac{R_{AB}\cdot n_1}{n}}$, ხოლო ***DB*** უბნის წინაღობა კი – $\boldsymbol{R_{DB}=\frac{R_{AB}\cdot n_2}{n}}$. ბოგირული სქემის ანგარიშით მივიღებთ:

$$\boldsymbol{\frac{R_{AD}}{R_{BD}}=\frac{n_1}{n_2}}.$$

3. ისარგებლეთ ფორმულით - $\boldsymbol{R=R_0\frac{n_1}{n_2}}$ და გამოთვალეთ საძიებელი წინაღობა.
4. თითოეული უცნობი წინაღობისათვის ცდა გაიმეორეთ რამოდენიმეჯერ.
5. გამოთვალეთ შესაბამისი აბსოლუტური და ფარდობითი ცდომილება.
6. ცდით მიღებული შედეგები შეიტანეთ ცხრილში.

ცდის სქემა

ნახ.3

დაკვირვებათა ცხრილი

№	$\boldsymbol{R_0}$	$\boldsymbol{n_1}$	$\boldsymbol{n_2}$	$\boldsymbol{R}$	$\boldsymbol{R}$	$\boldsymbol{\Delta R}$	$\boldsymbol{\frac{\Delta R}{R}\cdot 100\%}$

დავალება 2.

გამტართა წინაღობის განსაზღვრის მეორე ვარიანტი

ცდის მსვლელობა:

1. აკრიბეთ (ნახ. 4–ზე) მოცემული სქემა. სქემაზე R_0 ცნობილი წინაღობაა, ხოლო ADB რეოქორდი l_1 და l_2 მხრებით.
2. ჩართეთ წრედი და რეოქორდის საშუალებით მიაღწიეთ ბოგირის წონასწორობას, აითვალეთ შესაბამისი l_1 და l_2 მნიშვნელობები.
3. ისარგებლეთ ფორმულით $R = R_0 \dfrac{l_1}{l_2}$ და გამოთვალეთ საძიებელი წინაღობა.
4. თითოეული უცნობი წინაღობისათვის ცდა გაიმეორეთ რამოდენიმეჯერ.
5. გამოთვალეთ შესაბამისი აბსოლუტური და ფარდობითი ცდომილება.
6. ცდით მიღებული შედეგები შეიტანეთ დაკვირვებათა ცხრილში.

ცდის სქემა:

ნახ.4

დაკვირვებათა ცხრილი:

№	R_0	l_1	l_2	R	$\overline{R}$	ΔR	$\dfrac{\Delta R}{R}\cdot 100\%$
1							
2							
3							
4							

დავალება 3:

გამტართა მიმდევრობითი და პარალელური შეერთების კანონის შემოწმება

ელექტრული წრედების შედგენის დროს ხშირად გვჭირდება გამტართა შეერთება გარკვეული წესით.

გამტართა მიმდევრობითი შეერთება ეწოდება ისეთ შეერთებას, როცა პირველი გამტარის ბოლო შეერთებულია მეორე გამტარის საწყისთან და ა. შ. (ნახ. 5 ა.). მიმდევრობითი შეერთების დროს ორივე გამტარში დენის ძალა ერთნაირია $I = I_1 = I_2$, ხოლო ძაბვა AC უბანზე (U) ტოლია AB უბანზე (U_1) ძაბვისა და BC უბნის (U_2) ძაბვათა ჯამის, ე.ი.

$$U = U_1 + U_2$$

თუ გავითვალისწინებთ ომის კანონის ფორმულას $(U_1 = I_1R_1; \; U_2 = I_2R_2)$, სადაც R_1 და R_2 მიმდევრობით შეერთებული წინაღობებია, ხოლო R წრედის AC უბნის საერთო წინაღობა. მივიღებთ:

$$R = R_1 + R_2$$

გამტართა პარალელური შეერთება ეწოდება ისეთ შეერთებას, როდესაც მათი საწყისები შეერთებულია ერთ კვანძად, ხოლო ბოლოები – მეორედ (ნახ. 5.ბ).

ნახ.5

პარალელურად შეერთებულ R_1 და R_2 წინაღობებზე ერთი და იგივე ძაბვაა მოდებული

$$U = U_1 = U_2$$

ხოლო დენის ძალები აკმაყოფილებს პირობას:

$$I = I_1 + I_2$$

ომის კანონის გათვალისწინებით მივიღებთ:

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \Rightarrow \quad R = \frac{R_1R_2}{R_1 + R_2}$$

ცდის მსვლელობა:

1. აკრიბეთ (დავალება 2–ის) ნახ. 4–ზე მოცემული ბოგირული სქემა. სქემაზე R წინაღობის ნაცვლად ჩართეთ მიმდევრობით შეერთებული R_1 და R_2 წინაღობები.
2. ჩართეთ წრედი და რეოქორდის საშუალებით მიაღწიეთ ბოგირის წონასწორობას. აითვალეთ შესაბამისი l_1 და l_2 მნიშვნელობები.
3. გამოთვალეთ მიმდევრობით ჩართული გამტარების წინაღობა.
4. ანალოგიური ცდები გაიმეორეთ პარალელურად შეერთებული გამტარების შემთხვევაში.
5. ცდით მიღებული შედეგები შეადარეთ თეორიულად გამოთვლილ მნიშვნელობებს.
6. გამოთვალეთ შესაბამისი აბსოლუტური და ფარდობითი ცდომილება.
7. ცდით მიღებული შედეგები შეიტანეთ დაკვირვებათა ცხრილში.

დაკვირვებათა ცხრილი:

№	R_0	l_1	l_2	$R^{მ}$	$R^{მი}$	$R^{პა}$	$R^{პა}$	$\overline{R}^{მი}$	$\overline{R}^{პარ.}$	ΔR	ΔR	$\frac{\Delta R}{R^{პ}}$	$\frac{\Delta R}{R}$
1						–	–		–		–		–
2						–	–		–		–		–

3				–	–			–		–		–
4				–	–			–		–		–

დავალება 4:

გამტარის წინაღობის ტემპერატურული დამოკიდებულების შესწავლა

გამტართა ელექტრული წინაღობა დამოკიდებულია ტემპერატურაზე. პირველი გვარის გამტარებში ტემპერატურის გაზრდა იწვევს წინაღობის ზრდას. ამასთან ეს დამოკიდებულება წრფივია. თუ გამტარის წინაღობას 0^0–**C**–ზე აღვნიშნავთ $\boldsymbol{R_0'}$–ით, ხოლო $\boldsymbol{t^0C}$–ზე $\boldsymbol{R_t}$–თი, მაშინ ტემპერატურათა მცირე ინტერვალისთვის შეიძლება დავწეროთ დამოკიდებულება:

$$R_t = R_0'\left(1+\alpha t\right),$$

სადაც $\boldsymbol{\alpha}$ წინაღობის ტემპერატურული კოეფიციენტია და გამოითვლება ფორმულით:

$$\boldsymbol{\alpha = \frac{R_t - R_0'}{R_0' t}}$$

ცდის მსვლელობა:

1. აკრიბეთ დავალება 2–ის ნახ.4–ზე მოცემული სქემა. საკვლევი $\boldsymbol{R_t}$ წინაღობა მოთავსებულია თერმოსტატში.
2. ჩაიწერეთ თერმომეტრის ჩვენება.
3. ჩართეთ წრედი და ბოგირული მეთოდის გამოყენებით გამოთვალეთ $\boldsymbol{R_t}$ წინაღობა.
4. ჩართეთ თერმოსტატი და ტემპერატურის ყოველი 5^0**C**–ით ცვლილებისას გაიმეორეთ მე–3 პუნქტის მოთხოვნები.
5. ააგეთ $\boldsymbol{R = f(t)}$ დამოკიდებულების გრაფიკი.
6. გრაფიკის საშუალებით განსაზღვრეთ $\boldsymbol{R_0'}$–ის მნიშვნელობა (გრაფიკი გააგრძელეთ წინაღობათა ღერძის გადაკვეთამდე, ღერძთან გადაკვეთის წერტილი შეესაბამება $\boldsymbol{R_0'}$–ს).
7. გამოთვალეთ წინაღობის ტემპერატურული კოეფიციენტი $\boldsymbol{\alpha}$.
8. ცდით მიღებული შედეგები შეიტანეთ დაკვირვებათა ცხრილში.

დაკვირვებათა ცხრილი:

№	$\boldsymbol{R_0}$	$\boldsymbol{l_1}$	$\boldsymbol{l_2}$	$\boldsymbol{R_t}$	$\boldsymbol{R_0'}$	$\boldsymbol{\alpha}$	$\boldsymbol{\alpha}$	$\boldsymbol{\Delta\alpha}$	$\frac{\Delta\alpha}{\alpha}\cdot$	შენიშვნა
1										

2									
3									
4									
5									
6									
7									

დავალება 5:

კოჭას ინდუქციურობის განსაზღვრა*

ცდის მსვლელობა:

1. აკრიბეთ ნახ.6–ზე მოცემული ცვლადი დენის ბოგირული სქემა, სადაც L_0 ინდუქციურობა ცნობილია.
2. ჩართეთ წრედი და რეოქორდის საშუალებით მიაღწიეთ ბოგირის წონასწორობას. აითვალეთ შესაბამისი l_1 და l_2 მნიშვნელობები.
3. გამოიყენეთ ფორმულა $L = L_0 \dfrac{l_1}{l_2}$ და გამოთვალეთ საძიებელი ინდუქციურობა.
4. ცდა გაიმეორეთ რამოდენიმეჯერ.
5. გამოთვალეთ შესაბამისი აბსოლუტური და ფარდობითი ცდომილება.
6. ცდით მიღებული შედეგები შეიტანეთ დაკვირვებათა ცხრილში.

ცდის სქემა:

ნახ.6

დაკვირვებათა ცხრილი:

№	L_0	l_1	l_2	L	ΔL	$\frac{\Delta L}{L}\cdot 100\%$	შენიშვნა
1							
2							

3							

იმ შემთხვევაში, როცა წინასწარ არაა ცნობილი კოჭას ინდუქციურობა (L_0), მაშინ არსებობს შედარებით რთული ცვლადი დენის ბოგირული სქემა (ოვენის ბოგირი) (ნახ. 7). ამ შემთხვევაში უცნობი ინდუქციურობის განსაზღვრა ხდება ფორმულით:

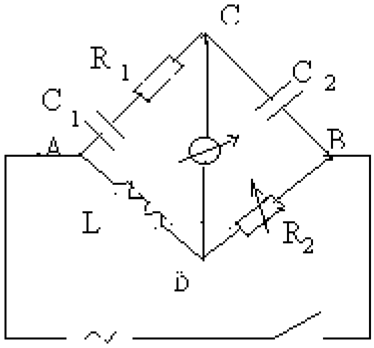
$$L = R_1R_2C_2$$

ხოლო კოჭის წინაღობის აქტიური მდგენელისა კი – $R = \frac{C_2}{C_1}R_2$.

ცდის მსვლელობა:

1. აკრიბეთ ნახ. 7–ზე მოცემული სქემა.
2. ჩართეთ წრედი და R_2 წინაღობათა წყობილის საშუალებით მიაღწიეთ ბოგირის წონასწორობას.
3. გამოთვალეთ კოჭას ინდუქციურობა და მისი აქტიური მდგენელის მნიშვნელობები.
4. ცდით მიღებული შედეგები შეიტანეთ დაკვირვებათა ცხრილში.

ცდის სქემა:



ნახ.7

დაკვირვებათა ცხრილი:

№	R_1	R_2	C_1	C_2	L	ΔL	R	ΔR	$\frac{\Delta L}{L}\cdot$	$\frac{\Delta R}{R}\cdot$
1										
2										
3										

დავალება 6.

კონდენსატორის ელექტროტევადობის განსაზღვრა და კონდენსატორთა შეერთების კანონის შემოწმება

ცდის მსვლელობა:

1. აკრიბეთ ნახ. 8–ზე მოცემული ცვლადი დენის ბოგირული სქემა. სქემაზე $\boldsymbol{C_0}$ ცნობილი ტევადობაა, ხოლო $\boldsymbol{T}$ – ტელეფონი.
2. ჩართეთ წრედი და რეოქორდის საშუალებით მიაღწიეთ ტელეფონში ბგერის მინიმუმს. აითვალეთ შესაბამისი $\boldsymbol{l_1}$ და $\boldsymbol{l_2}$ მნიშვნელობები.
3. საძიებელი ელექტროტევადობა გამოთვალეთ ფორმულით:

$$\boldsymbol{C = C_0 \frac{l_2}{l_1}}$$

4. ცდა გაიმეორეთ რამოდენიმეჯერ თითოეული უცნობი კონდენსატორისათვის.
5. უცნობი კონდენსატორის ნაცვლად ჩართეთ მიმდევრობით შეერთებული ორი კონდენსატორი და განსაზღვრეთ მიღებული სისტემის ელექტროტევადობა (მე–3 პუნქტის გამოყენებით).
6. მიღებული მნიშვნელობა შეადარეთ თეორიულად $\left(\boldsymbol{C = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2}}\right)$ გამოთვლილ მნიშვნელობას.
7. ანალოგიური ცდები ჩაატარეთ პარალელურად შეერთებული კონდენსატორისათვის (გაით-ვალისწინეთ, რომ თეორიულად $\boldsymbol{C = C_1 + C_2}$).
8. გამოთვალეთ შესაბამისი აბსოლუტური და ფარდობითი ცდომილება.
9. ცდით მიღებული შედეგები შეიტანეთ დაკვირვებათა ცხრილში.

ცდის სქემა:

ნახ.8

დაკვირვებათა ცხრილი:

№	C_0	l_1	l_2	C	C	$C^{მი}$	$C^{მიმ.}$	$C^{პა}$	$C^{პარ.}$	$\Delta C^{მი}$	$\Delta C^{პა}$	$\frac{\Delta C}{C^{მ}}$	$\frac{\Delta C}{C^{პ.}}$
1													
2													
3													

4												
5												
6												
7												
8												

კირხჰოფის კანონების შესწავლა

<u>საჭირო ხელსაწყოები</u>: ტრენაჟორი, ომმეტრი, წინაღობები, შემაერთებელი მავთულები.

<u>სამუშაოს მიზანი</u>: ექსპერიმენტალურად იქნას შესწავლილი კირხჰოფის ორივე კანონი.

წერტილს, რომელშიც თავს იყრის არა ნაკლებ სამი გამტარისა, ეწოდება განშტოების წერტილი ან კვანძი. კირხჰოფის I კანონის თანახმად, კვანძში დენების ალგებრული ჯამი ნულის ტოლია, ე.ი. კვანძში შესული დენების ჯამი კვანძიდან გასული დენების ჯამის ტოლია, ფორმულით:

$$\sum I_K = 0$$

კირხჰოფის II კანონი ამყარებს დამო-კიდებულებას რთული განშტოებული წრედიდან გამოყოფილი ჩაკეტილი კონტურის ცალკეულ უბნებში არსებულ დენის ძალებს, ელექტრო-მამოძრავებელ (ემძ) ძალებსა და უბნის წინაღობებს შორის. ფორმულით ამ დამოკიდებულებას ზოგადად აქვს სახე:

$$\sum I_K R_K = \sum E_K$$

ცალკეული კონტურებისათვის ამ კანონის გამოყენების დროს აუცილებელია დენის ძალებისა და ელექტრომამოძრავებელი ძალების ნიშნების გათვალისწინება შემდეგი წესით: წინასწარ შევარჩევთ კონტურის შემოვლის მიმართულებას (მაგალითად, საათის ისრის ბრუნვის მიმართულებას), ამის შემდეგ დადებითად ჩავთვლით იმ დენებს, რომელთა მიმართულება ემთხვევა კონტურის შემოვლის მიმართულებას. ელექტრომამოძრავებელი ძალა დადებითია, თუ იგი ზრდის პოტენციალს კონტურის შემოვლის მიმართულებით. წინააღმდეგ შემთხვევაში დენის ძალა ან ემძ. უარყოფითია.

განვიხილოთ მაგალითად, მე–9 ნახაზზე მოცემული წრედი. გამოვიყენოთ კირხჰოფის კანონები, შესაბამისად დავწეროთ:

Bწერტილისათვის $I_1 + I_2 + I_3 + I_4 = 0$

Dწერტილისათვის $I_1 + I_3 + I_5 = 0$

Eწერტილისათვის $I_2 + I_4 + I_5 = 0$

ABDAკონტურისათვის $I_1 R_1 + I_3 R_3 = E_1;$

DBEDკონტურისათვის $I_3 R_3 + I_4 R_4 + I_5 R_5 = 0;$

BCEBკონტურისათვის $I_2 R_2 + I_4 R_4 = E_2$

ომის კანონის თანახმად, $U = IR$ შესაბამისად დავწერთ:

$$\left.\begin{aligned} &\frac{U_1}{R_1}+\frac{U_2}{R_2}+\frac{U_3}{R_3}+\frac{U_4}{R_4}=0\\ &\frac{U_1}{R_1}+\frac{U_3}{R_3}+\frac{U_5}{R_5}=0\\ &\frac{U_2}{R_2}+\frac{U_4}{R_4}+\frac{U_5}{R_5}=0 \end{aligned}\right\}(1)\text{ და }\left.\begin{aligned} &U_1+U_3=E_1\\ &U_3+U_4+U_5=0\\ &U_2+U_4=E_2 \end{aligned}\right\}(2)$$

ცდის სქემა:

ნახ.9

ცდის მსვლელობა:

1. აკრიბეთ (ნახ. 9) მოცემული სქემა. ჩაიწერეთ წინაღობათა შესაბამისი მნიშვნელობები.
2. გაზომეთ დენის წყაროს ემძ–ის და თითოეულ წინაღობაზე ძაბვის შესაბამისი სიდიდეები.
3. სქემაზე აჩვენეთ დენების მიმართულება.
4. შეამოწმეთ (1) და (2) ფორმულები.
5. მიღებული შედეგები შეიტანეთ დაკვირვებათა ცხრილში.

დაკვირვებათა ცხრილი:

№	R_K	U_K	$\sum\frac{U_K}{R_K}$	E_1	E_2	$\sum U_K$	შენიშვნა

დენის წყაროს ელექტრომამოძრავებელი ძლის (ემძ) განსაზღვრა და ელემენტთა შეერთების კანონის შემოწმება

<u>საჭირო ხელსაწყოები</u>: ტრენაჟორი, წინაღობათა წყობილი, შემაერთებელი მავთულები.

<u>სამუშაოს მიზანი</u>: ცდით განისაზღვროს ემძ და შემოწმდეს ელემენტთა შეერთების კანონი.

გამტარში მუდმივად ელექტრული დენის არსებობისათვის საჭიროა მის ბოლებზე მუდმივი პოტენციალთა სხვაობის შენარჩუნება, რაც წრედში დენის წყაროს ჩართვით არის შესაძლებელი.

დენის წყაროს ემძ არის სიდიდე, რომელიც ტოლია ჩაკეტილ წრედში ერთეულოვანი დადებითი მუხტის გადაადგილებაზე შესრულებული მუშაობის.

$$E=\frac{A}{q},$$

სადაც $A = A_1 + A_2$ წრედის შიგა (R_0 წინაღობით) და გარე (R წინაღობით) უბნებზე შესრულებული მუშაობებია. თუ გავითვალისწინებთ, რომ

$$U_1 = \frac{A_1}{q}, \quad U_2 = \frac{A_2}{q},$$

მივიღებთ: $E = U_1 + U_2$, ე.ი. ემძ წრედის გარე და შიგა უბნებზე ძაბვის ვარდნათა ჯამის ტოლია. მაშინ ომის კანონი ჩაკეტილი წრედისათვის მიიღებს სახეს:

$$I = \frac{E}{R + R_0} \qquad (1)$$

განვიხილოთ ნახ. 10–ზე მოცემული სქემა. სქემაზე R წარმოადგენს წინაღობათა წყობილს. თუ წყობილის R_1 წინაღობის დროს წრედში დენის ძალა არის I_1, ხოლო R_2–ის დროს I_2, მაშინ ამ ორი შემთხვევისათვის ომის კანონი შემდეგნაირად დაიწერება:

$$I_1 = \frac{E}{R_1 + R_0} \text{ და } I_2 = \frac{E}{R_2 + R_0}$$

ხოლო ემძ–სათვის მივიღებთ:

$$E = \frac{I_1 I_2}{I_1 - I_2}(R_2 - R_1). \qquad (2)$$

პრაქტიკული მიზნებისათვის ხშირად საჭიროა ელემენტების ერთმანეთთან გარკვეული წესით შეერთება.

ელემენტთა მიმდევრობითი შეერთება ეწოდება ისეთ შეერთებას, როდესაც თითოეული ელემენტის დადებითი პოლუსი შეერთებულია მომდევნო ელემენტის უარყოფით პოლუსთან. პარალელური შეერთებისას კი ერთნაირი ნიშნის პოლუსები – ერთად. თეორიულად

$$E_{\text{მიმ.}} = nE\left(R_{0\,\text{მიმ.}} = nR_0\right) \qquad E_{\text{პარ.}} = E\left(R_{0\,\text{პარ.}} = \frac{R_0}{n}\right).$$

ცდის მსვლელობა:

1. აკრიბეთ ნახ.10–ზე მოცემული სქემა.
2. ჩართეთ წრედი, R_1 წინაღობის დროს აითვალეთ I_1 დენის ძალა, ხოლო R_2–ისას კი შესაბამისი I_2.
3. მე–(2) ფორმულის გამოყენებით გამოთვალეთ ემძ.
4. ცდა გაიმეორეთ ჯერ მიმდევრობით, ხოლო შემდეგ პარალელურად შეერთებული ელემენტებისათვის. გამოთვალეთ ემძ.
5. ცდით მიღებული შედეგები შეიტანეთ დაკვირვებათა ცხრილში.

ცდის სქემა:

ნახ.10

დაკვირვებათა ცხრილი:

№	R_1	R_2	I_1	I_2	E	$\overline{E}$	$E_{თეო}$	$\frac{\Delta E}{E}$	შენიშვნა
1									
2									
3									
4									
5									
6									
7									
8									

ელექტროქიმიური ექვივალენტისა და ელექტრონის მუხტის განსაზღვრა

საჭირო ხელსაწყოები: მუდმივი დენის წყარო, შაბიამნის წყალხსნარი, ამპერმეტრი, რეოსტატი, წამზომი, სასწორი საწონებით, შემაერთებელი მავთულები.

სამუშაოს მიზანი: ფარადეის კანონებზე დაყრდნობით დადგენილი იქნას ელექტროქიმიური ექვივალენტის, ფარადეის მუდმივის და ელექტრონის მუხტის მნიშვნელობები.

ხსნარში ნივთიერების მოლეკულების დაშლას იონებად, გამხსნელი ნივთიერების პოლარული მოლეკულების ელექტრული ველის გავლენით, ელექტროლიტური დისოციაცია ეწოდება. თუ ასეთ ხსნარში მოვათავსებთ ელექტროდებს, მაშინ უარყოფითი იონები იმოძრავებენ ანოდისაკენ, ხოლო დადებითი იონები კი – კათოდისაკენ.

ხსნარში დენის გავლისას ელექტროდებზე ნივთიერების გამოყოფის პროცესს ელექტროლიზი ეწოდება.

ელექტროლიზის კანონები ექსპერიმენტულად შესწავლილი იქნა ფარადეის მიერ და ჩამო-ყალიბებული იქნა ორი კანონი:

1. ელექტროლიტში დენის გავლისას ელექტროდზე გამოყოფილი ნივთიერების მასა პროპორციულია დენის ძალისა და დენის დინების დროის.

$$m = KIt,$$

სადაც K კოეფიციენტს ელექტროქიმიური ექვივალენტი ეწოდება და გამოითვლება ფორმულით:

$$K = \frac{m}{It} \qquad (1)$$

2. ნივთიერების ელექტროქიმიური ექვივალენტი მისი ქიმიური ექვივალენტის პროპორციულია:

$$K = \frac{1}{F}\frac{A}{n}, \qquad (2)$$

სადაც $F = eN$ ფარადეის რიცხვია, e – ელექტრონის მუხტი, N – ავოგადროს რიცხვი, A – ნივთიერების ატომური მასა, n – ვალენტობა.

ცდის მსვლელობა:

1. აკრიბეთ ნახ. 11–ზე მოცემული სქემა.
2. გაწმინდეთ კათოდის ფირფიტა და აწონეთ მილიგრამების სიზუსტით. ჩაიწერეთ m_1 მასა.
3. ჩართეთ წრედი და წამმზომი ერთდროულად, რეოსტატის საშუალებით გაატარეთ ელექტროლიტში 0,5–2,5 ამპერი დენი დაახლოებით 20–25 წუთის განმავლობაში.
4. წრედი და წამმზომი გამორთეთ ერთდროულად. მოხსენით კათოდი, გააშრეთ და ისევ აწონეთ. ჩაინიშნეთ m_2 მასა.
5. (1) ფორმულაში გაითვალისწინეთ $m = m_2 - m_1$ და გამოთვალეთ ელექტროქიმიური ექვივალენტი.
6. (2) ფორმულის საშუალებით გამოთვალეთ ფარადეის რიცხვი F. ხოლო ამ უკანასკნელის საშუალებით – ელექტრონის მუხტი e.
7. ცდით მიღებული შედეგები შეიტანეთ დაკვირვებათა ცხრილში.

ცდის სქემა:

ნახ.11

დაკვირვებათა ცხრილი:

№	m_1	I	t	m_2	m	K	F	e	შენიშვნა

დედამიწის მაგნიტური ველის
დაძაბულობის ჰორიზონტალური მდგენელის განსაზღვრა

<u>საჭირო ხელსაწყოები</u>: ტრენაჟორი, ტანგენს გალვანომეტრი, რეოსტატი, მუდმივი დენის წყარო, გადამრთველი, შემაერთებელი მავთულები.

<u>სამუშაოს მიზანი</u>: ცდის საფუძველზე განისაზღვროს დედამიწის მაგნიტური ველის დაძაბულობის ჰორიზონტალური მდგენელის მნიშვნელობა.

დედამიწა წარმოადგენს უზარმაზარ ბუნებრივ მაგნიტს, რომლის პოლუსებიც მოთავსებულია გეოგრაფიული პოლუსების მახლობლად.

დედამიწის მაგნიტური ველის დაძაბულობის წირები ეკვატორთან ჰორიზონტალურადაა განლა-გებული, ხოლო პოლუსებთან ვერტიკალურად. დედამიწის სხვა წერტილებში კი ჰორიზონტის მიმართ ქმნის რაღაც კუთხეს. მაგნიტური ველის დაძაბულობის პროექციას ჰორიზონტალური სიბრ-ტყის მიმართ, დაძაბულობის ჰორიზონტალური მდგენელი ქვია. მაგნიტური ისარი, რომელსაც შეუძლია ბრუნვა ვერტიკალური ღერძის მიმართ განიცდის დედამიწის მაგნიტური ველის დაძა-ბულობის ჰოტიზონტალური მდგენელის მოქმედებას. მეორეს მხრივ მაგნიტურ ისარზე შეიძლება ვიმოქმედოთ დენიანი გამტარის მიერ შექმნილი მაგნიტური ველით. ამ შემთხვევაში წრიული დენის მაგნიტური ველით, რომელსაც ქმნის ე.წ. ტანგენს გალვანომეტრი ($\boldsymbol{R}$ რადიუსიანი $\boldsymbol{n}$ ხვიისაგან შემდგარი სისტემა). თუ გავითვალისწინებთ, რომ ორი ურთიერთმართობი მაგნიტური ველის (დედამიწის მაგნიტური ველის დაძაბულობის $\boldsymbol{H_1}$ ჰორიზონტალური მდგენელისა და წრიული დენის მაგნიტური ველის დაძაბულობის $\boldsymbol{H_2}$–ის) მოქმედებით მაგნიტური ისარი შემობრუნდება რაღაც კუთხით ისე, რომ სამართლიანია პირობა $\boldsymbol{H_1 = \frac{H_2}{tg\alpha}}$ (ნახ. 12). ვინაიდან წრიული დენის მაგნიტური ველის დაძაბულობა წრის ცენტრში $\boldsymbol{H_2 = \frac{In}{2R}}$ ამიტომ მივიღებთ:

$$H_1 = \frac{In}{2Rtg\alpha} \qquad (1)$$

ნახ.12

ცდის მსვლელობა:

1. აკრიბეთ ნახ. 13–ზე მოცემული სქემა.
2. ტანგენს გალვანომეტრი მოათავსეთ დედამიწის მაგნიტური ველის მერიდიანის სიბრტყეში.

3. ჩართეთ წრედი და რეოსტატის საშუალებით შეარჩიეთ დენი ძალის ისეთი მნიშვნელობა, რომ მაგნიტური ისრის შემობრუნების კუთხე 45^0–ის ფარგლებში იყოს.
4. გადართეთ გადამრთველი (ე.ი. შეცვალეთ პოლარობა).
5. განსაზღვრეთ მე–3 და მე–4 პუნქტებით გაზომილი კუთხეების საშუალო მნიშვნელობა α.
6. (1) ფორმულის გამოყენებით გამოთვალეთ დედამიწის მაგნიტური ველის დაძაბულობის ჰორიზონტალური მდგენელის მნიშვნელობა.
7. ცდა გაიმეორეთ რამოდენიმეჯერ.
8. გამოთვალეთ შესაბამისი აბსოლუტური და ფარდობითი ცდომილება.
9. მიღებული შედეგები შეიტანეთ დაკვირვებათა ცხრილში.

ცდის სქემა:

ნახ.13

დაკვირვებათა ცხრილი:

№	I	α_1	α_2	α	n	H_1	ΔH_1	$\frac{\Delta H_1}{H_1}$	შენიშვნა
1									
2									
3									

თავი V. ოპტიკა

გეომეტრიული ოპტიკის ძირითადი კანონების ექსპერიმენტული შემოწმება

<u>საჭირო ხელსაწყოები</u>: სინათლის წყარო, ოპტიკური მერხი, ოპტიკური წრე /შესაბამისი კომპლექტით/, ეკრანი, შემკრები ლინზები, ჩაზნექილი სფერული ეკრანი, შემკრები ლინზები, ჩაზნექილი სფერული სარკე, ლაზერი.

სამუშაოს მიზანი: ექსპერიმენტულად შემოწმდეს არეკვლის და გარდატეხის კანონები. შედეგები გამოყენებული იქნას თხელი ლინზებისა და სფერული სარკეებისათვის.

გეომეტრიულ ოპტიკას საფუძვლად უდევს შემდეგი ძირითადი კანონები:

სინათლის არეკვლის კანონები:

1. დაცემული სხივი, არეკვლილი სხივი და სხივის დაცემის წერტილში აღმართული მართობი ერთ სიბრტყეში მდებარეობენ.

2. დაცემის კუთხე, არეკვლის კუთხის ტოლია ---

სინათლის გარდატეხის კანონები:

1. დაცემული სხივი, გარდატეხილი სხივი და სხივის დაცემის წერტილში აღმართული მართობი ერთ სიბრტყეში მდებარეობენ.

2. დაცემის – კუთხის სინუსის ფარდობა გარდატეხის – კუთხის სინუსთან, მოცემული ორი ერთგვაროვანი გარემოსათვის, მუდმივ სიდიდეს წარმოადგენს რომელსაც მეორე გარემოს ფარდობითი გარდატეხის მაჩვენებელი ქვია პირველის მიმართ.

$$\frac{\sin a}{\sin \beta} = n_{21} \qquad (1)$$

თავის მხრივ $n_{21} = \frac{n_2}{n_1}$ სადაც n_1 და n_2 შესაბამისად პირველი და მეორე გარემოს აბსოლუტური გარდატეხის მაჩვენებელია ვაკუუმის მიმართ.

როცა სინათლის სხივი გადადის მეტად მკვრივი გარემოდან ნაკლებად მკვრივ გარემოში, მაშინ დაცემის კუთხის გარკვეული მნიშვნელობის დროს გარდატეხის კუთხე 90^0–ის ტოლია /დაცემის α_0 კუთხის ასეთ მნიშვნელობას სრული შინაგანი არეკვლის ზღვრული კუთხე ქვია/ და გარდატეხის კანონი ასე ჩაიწერება:

$$\sin \alpha_0 = \frac{1}{n} \qquad (2)$$

სფერული ზედაპირით შემოსაზღვრულ გამჭვირვალე სხეულს ლინზა ქვია. თუ ლინზის ნივთიერების ფარდობითი გარდატეხის მაჩვენებელია /გარემოს მიმართ/ n ხოლო ზედაპირის სიმრუდის რადიუსები R_1 და R_2 მაშინ თხელი ლინზის შემთხვევაში ლინზიდან d მანძილით დაშორებული საგნის გამოსახულება მიიღება ლინზიდან f მანძილზე ფორმულით:

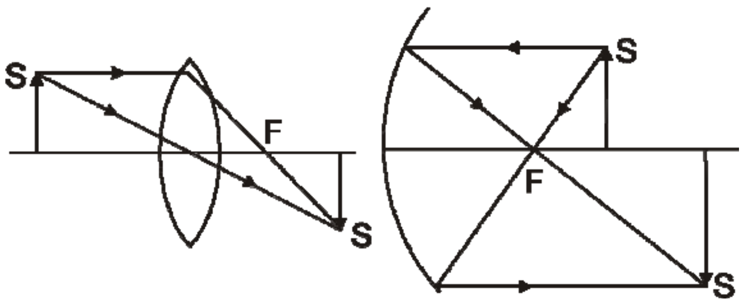
$$\frac{1}{d} + \frac{1}{f} = (n-1)\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}\right) \qquad (3)$$

თუ გამოვიყენებთ ფოკუსური მანძილის ცნებას /მთავარი ოპტიკური ღერძის პარალელური სხივები ლინზაში გავლის შემდეგ იკრიბება ფოკუსში/, მაშინ F ფოკუსური მანძილის გამოყენებით თხელი ლინზის ფორმულა ასე ჩაიწერება:

$$\frac{1}{d} + \frac{1}{f} = \frac{1}{F} \qquad (4)$$

(4) ფორმულა სამართლიანი სფერული სარკის შემთხვევაშიც.

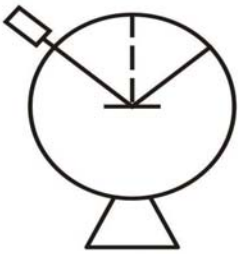
/შენიშვნა: თხელ ლინზაში და ჩაზნექილ სფერულ სარკეში საგნის გამოსახულების აგების ნიმუშები ნაჩვენებია ნახაზზე./



დავალება 1.

სინათლის არეკვლის კანონების შემოწმება

არეკვლის კანონების ექსპერიმენტალური წემოწმებისათვის გამოიყენეთ ნახ. 1–ზე მოცემული წრე.



ნახ.1

ცდის მსვლელობა:

1. ოპტიკური წრის ცენტრში დაამაგრეთ ბრტყელი სარკე /დაადგინეთ წრეზე კუთხის დანაყოფის ფასი/.
2. ჩართეთ გამანათებელი და გაზომეთ შესაბამისი დაცემისა და არეკვლის კუთხეები.
3. ცდა გაიმეორეთ დაცემის კუთხის სხვადასხვა მნიშვნელობებისათვის.
4. მიღებული შედეგები შეიტანეთ დაკვირვებათა ცხრილში.

დაკვირვებათა ცხრილი:

№	α	α'	შენიშვნა

დავალება 2.

მინის გარდატეხის მაჩვენებლის და სრული შინაგანი არეკვლის ზღვრული კუთხის განსაზღვრა

გარდატეხის მაჩვენებლის ექსპერიმენტალური განსაზღვრისათვის გამოიყენეთ ნახ. 1 განხილული ოპტიკური წრე.

ცდის მსვლელობა:

1. ოპტიკური წრის ცენტრში დაამაგრეთ მინის ნახევარცილინდრი ისე, რომ სხივები ეცემოდეს მისი სწორი ზედაპირის ცენტრს.
2. ჩართეთ გამანათებელი და გაზომეთ შესაბამისი დაცემისა და გარდატეხის კუთხეები.
3. ტრიგონომეტრიული ცხრილების გამოყენებით იპოვეთ შესაბამისად დაცემისა და გარდატეხის კუთხის სინუსის მნიშვნელობები.
4. (1) ფორმულის გამოყენებით გამოთვალეთ მინის გარდატეხის მაჩვენებელი.
5. ცდა გაიმეორეთ დაცემის კუთხის სხვადასხვა მნიშვნელობებისათვის.
6. ოპტიკური წრის ცენტრში მოათავსეთ მინის ნახევარცილინდრი ისე, რომ სხივები ეცემოდეს მის ცილნდრულ ზედაპირს და გაიმეორეთ 2-3 პუნქტები.
7. (2) ფორმულის გამოყენებით გამოთვალეთ გარდატეხის n მაჩვენებელი.
8. შეადარეთ ერთმანეთს გარდატეხის მიღებული მნიშვნელობები.
9. ცდით მიღებული შედეგები შეიტანეთ დაკვირვებათა ცხრილში.

დაკვირვებათა ცხრილი:

№	α	α_0	β	$\sin\alpha$	$\sin\alpha_0$	$\sin\beta$	n_{21}	n

დავალება 3:

ლინზის ზედაპირის სიმრუდის რადიუსის განსაზღვრა

ოპტიკური მეთოდით შემკრები ლინზის სიმრუდის რადიუსის განსაზღვრისათვის გაითვალისწინეთ (3) ფორმულა. იმ შემთხვევისათვის, როცა $R = R_1 = R_2$ მაშინ:

$$R = \frac{2(n-1)df}{d+f} \qquad (5)$$

ხოლო ბრტყელ–ამოზნექილი ლინზის შემთხვევაში:

$$R = R_1, \quad R_2 = \infty$$ ე.ი.

$$R = \frac{(n-1)df}{d+f} \qquad (6)$$

ცდის მსვლელობა:

1. ოპტიკურ მერხზე მნათ საგანსა და ეკრანს შორის მოათავსეთ შემკრები ლინზა. ეკრანზე მიიღეთ საგნის მკაფიო გამოსახულება.
2. გაზომეთ მანძილი მნათი საგნიდან ლინზამდე d და ლინზიდან ეკრანამდე f.
3. მუდმივების ცხრილიდან აიღეთ მინის გარდატეხის მაჩვენებლის მნიშვნელობა.
4. (5) ფორმულის საშუალებით (ბრტყელ–ამოზნექილი ლინზის შემთხვევაში (6)) გამოთვალეთ ლინზის ზედაპირის სიმრუდის რადიუსი.
5. ცვალეთ მანძილი მნათ საგანსა და ეკრანს შორის და ცდა გაიმეორეთ რამოდენიმეჯერ.
6. ცდით მიღებული შედეგები შეიტანეთ დაკვირვებათა ცხრილში.

დაკვირვებათა ცხრილი

№	n	d	f	R	$R_{\text{საშ.}}$	შენიშვნა

დავალება 4:

თხელი ლინზის ფოკუსური მანძილისა და ოპტიკური ძალის განსაზღვრა

ლინზის ოპტიკური ძალა ეწოდება ფოკუსური მანძილის შებრუნებულ სიდიდეს, ფორმულით $D = \frac{1}{F}$ და მისი ერთეულია დიოპტრი.

<u>ცდის მსვლელობა</u>:

1. ოპტიკურ მერხზე მნათ საგანსა და ეკრანს შორის მოათავსეთ შემკრები ლინზა. ეკრანზე მიიღეთ საგნის მკაფიო გამოსახულება.
2. გაზომეთ მანძილი საგნიდან ლინზამდე d და ლინზიდან გამოსახულებამდე f.
3. (4) ფორმულის გამოყენებით გამოთვალეთ ლინზის ფოკუსური მანძილი $F = \frac{df}{d+f}$.
4. გამოთვალეთ ლინზის ოპტიკური ძალა.
ცდა გაიმეორეთ რამოდენიმეჯერ და მიღებული შედეგები შეიტანეთ დაკვირვებათა ცხრილში.

დაკვირვებათა ცხრილი:

№	d	f	F	D

დავალება 5:

ჩაზნექილი სფერული სარკის სიმრუდის რადიუსის განსაზღვრა

გეომეტრიული ოპტიკიდან ცნობილია, რომ (4) ფორმულა სამართლიანია სფერული სარკის შემთხვევაშიც.

სარკული ზედაპირის სიმრუდის რადიუსი $R = 2F$

ცდის მსვლელობა:

1. ჩაზნექილ სფერულ სარკესა და ეკრანს შორის მოათავსეთ მნათი საგანი. მიაღწიეთ საგნის მკაფიო გამოსახულებას ეკრანზე.
2. გაზომეთ მანძილი მნათი საგნიდან სარკემდე d და სარკიდან ეკრანამდე f.
3. (4) ფორმულის გამოყენებით გამოთვალეთ სარკის ფოკუსური მანძილი F და შესაბამისად სარკის სიმრუდის რადიუსი R.
4. ცდა გაიმეორეთ რამოდენიმეჯერ და მიღებული შედეგები შეიტანეთ დაკვირვებათა ცხრილში.

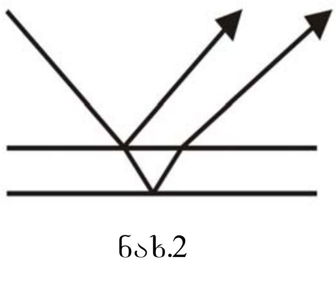
დაკვირვებათა ცხრილი:

№	d	f	F	R	$R_{საშ.}$	შენიშვნა

სინათლის ინტერფერენციის მოვლენის დაკვირვება

<u>საჭირო ხელსაწყოები</u>: სინათლის წყარო, მინის ორი ცალი ფირფიტა, შუქფილტრები.

სინათლის ტალღების შეკრების მოვლენას, რომლის დროსაც სივრცის სხვადასხვა წერტილში ადგილი აქვს რხევის გაძლიერებას და შესუსტებას, ინტერფერენცია ეწოდება. იმისათვის, რომ შეკრების დროს წარმოიქმნას მყარი ინტერფერენციული სურათი, ტალღები უნდა იყოს კოჰერენტული, ე. ი. ჰქონდეთ ერთი და იგივე ტალღის სიგრძე და ფაზათა მუდმივი სხვაობა. მაგალითად ინტერფერენციული სურათი დაიკვირება იმ შემთხვევაში თუ მინის ფირფიტის ზედა და შიგა ზედაპირებიდან ხდება სინათლის სხივების არეკვლა /ნახ.2/.



ნახ.2

ცდის მსვლელობა:

1. გაწმინდეთ კარგად მინის ფირფიტები მჭიდროდ შეახეთ ერთმანეთს და თითებით მიაჭირეთ.
2. დააკვირდით ფირფიტებს არეკვლილ სინათლეში, მუქ ფონზე.
3. ფირფიტების შეხების ცალკეულ ადგილებში დააკვირდით ცისარტყელასებრ რგოლებს ან არასწორი ფორმის ზოლებს.
4. შეცვალეთ ფირფიტების ერთმანეთზე მიჭერის ძალა და დააკვირდით ინტერფერენციული ზოლების ფორმისა და განლაგების ცვლილებას.
5. სცადეთ იგივე ცდების დაკვირვება შუქფილტრების გამოყენებით.

სინათლის დიფრაქციაზე დაკვირვება

<u>საჭირო ხელსაწყოები</u>: ნათურა ვარვარების სწორი ძაფით, შტანგერფარგალი, შუქფილტრები.

ცდის მსვლელობა:

1. შტანგერფარგლის ტუჩები დააშორეთ 0.5 მმ–ით.
2. მიიტანეთ მიღებული ჭვრიტე თვალთან ახლოს /ვერტიკალურად/.
3. ჭვრიტეს საშუალებით შეხედეთ ნათურას ვერტიკალურად მოთავსებულ ვარვარების ძაფს და დააკვირდით ძაფის ორივე მხარეს ცისარტყელასებრ ზოლებს.
4. ცვალეთ ჭვრიტეს სიგანე 0.5–დან 0.8–მმ–მდე და დააკვირდით როგორ მოქმედებს ეს დიფრაქციულ სპექტრებზე.
5. იგივე ცდებს დააკვირდით შუქფილტრების გამოყენებით.

მინის გარდატეხის მაჩვენებლის განსაზღვრა მიკროსკოპის საშუალებით

ცნობილია, რომ სინათლის სხივი ერთგვაროვან გარემოში სწორხაზოვნად ვრცელდება. მაგრამ, როცა იგი გადადის მეორეში, მაშინ მისი მიმართულება იცვლება. ამ მოვლენას სინათლის გარდატეხა ეწოდება.

დავადგინოთ სინათლის გარდატეხის კანონი. ამისათვის ვისარგებლოთ ფერმას პრინციპით, რომელიც შემდეგში მდგომარეობს:

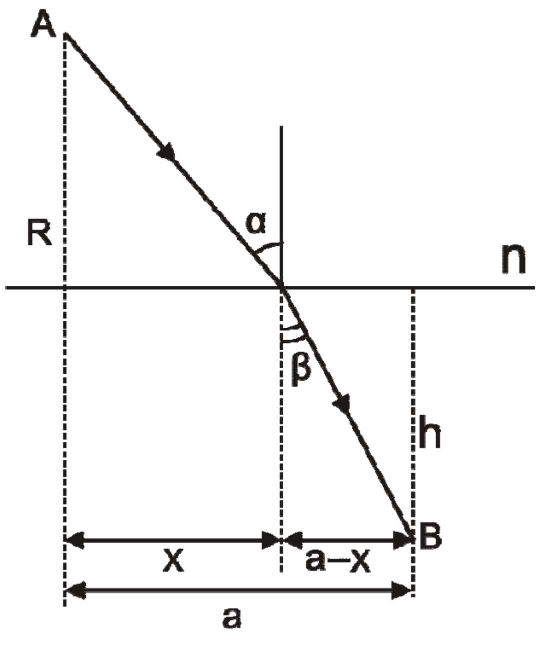
სივრცის ერთი წერტილიდან მეორეში გადასვლისას სინათლის სხივი ყოველთვის ირჩევს მინიმალურ ოპტიკურ გზას.

ოპტიკური გზა ეწოდება სინათლის მიერ გავლილ მანძილს გამრავლებულს გარემოს გარდატეხის მაჩვენებელზე:

$$L = nS$$

ვთქვათ სინათლის სხივი პირველი გარემოს A წერტილიდან აღწევს მეორე გარემოს B წერტილს და მიემართება AOB ტეხილის გასწვრივ. (ნახ. I).

გარემოს გარდატეხის აბსოლუტური მაჩვენებლები აღვნიშნოთ შესაბამისად n_1 და n_2–ით, დაცემის კუთხე– α–თი, გარდატეხის კუთხე $-\beta$–თი, ხოლო დანარჩენი დამხმარე სიდიდეები კი ნაჩვენებია ნახაზზე.



ნახ.1

შევადგინოთ ოპტიკური გზის გამოსახულება:

$$L = n_1\sqrt{R^2 + x^2} + n_2\sqrt{h^2 + (a - x)^2}$$

ფერმას პრინციპის თანახმად L უნდა იყოს მინიმალური. ამის პირობაა კი

$$\frac{dL}{dx} = 0$$

გავაწარმოოთ L –ის გამოსახულება:

$$n_1\frac{x}{\sqrt{R^2 + x^2}} - n_2\frac{a - x}{\sqrt{h^2 + (a - x)^2}} = 0$$

ნახაზიდან ჩანს, რომ

$$\frac{x}{\sqrt{R^2 + x^2}} = \sin\alpha \qquad \frac{a - x}{\sqrt{h^2 + (a - x)^2}} = \sin\beta$$

ამიტომ:

$$n_1 \sin\alpha - n_2 \sin\beta = 0$$

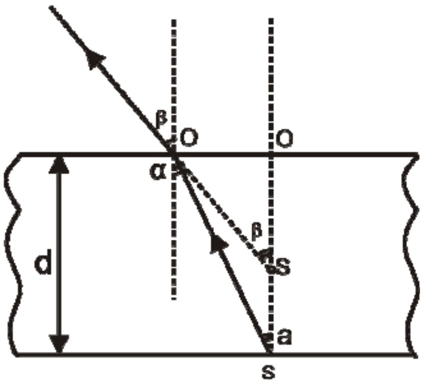
აქედან

$$\frac{\sin\alpha}{\sin\beta} = \frac{n_2}{n_1} \qquad (1)$$

(1) ფორმულა გამოსახავს სინათლის გარდატეხის კანონს.

გამოვიყენოთ ეს კანონი კერძო მაგალითზე, რომელიც მოგვცემს საშუალებას პრაქტიკულად ვიპოვოთ მინის გარდატეხის მაჩვენებელი.

განვიხილოთ მინის თხელი ფირფიტა, რომელსაც ქვედა ზედაპირზე აქვს განაკაწრი. თუ ფირფიტას ზემოდან დავაკვირდებით (უმჯობესია მიკროსკოპში), მაშინ განაკაწრის ნებისმიერი $-S$ წერტილი აწეული მოგვეჩვენება და მას $-S'$ წერტილში დავინახავთ. (ნახ.2)



ნახ.2

ეს არაა გასაკვირი! გაიხსენეთ, როდესაც თქვენ უყურებთ მდინარის ან ზღვის ფსკერს, იგი ყოველთვის "აწეული" გეჩვენებათ (ტყუვდებით სიღრმის განსაზღვრაში). ასე ხდება აქაც. ფირფიტა უფრო თხელი გეჩვენებათ.

დაუბრუნდეთ ნახაზს. ნახაზიდან ჩანს, რომ

$$tg\alpha = \frac{00'}{d} \qquad tg\beta = \frac{00'}{d-a}$$

აქედან

$$\frac{tg\alpha}{tg\beta} = \frac{d-a}{d}$$

მცირე კუთხეების შემთხვევაში ტანგენსი შეგვიძლია შევცვალოთ სინუსით. მაშინ მივიღებთ:

$$\frac{\sin\alpha}{\sin\beta} = \frac{d-a}{d}$$

თუ მინის გარდატეხის მაჩვენებელს n –ით აღვნიშნავთ და გავიხსენებთ, რომ ჰაერის გარდატეხის მაჩვენებელი ერთის ტოლია, მაშინ (I) ფორმულის თანახმად მივიღებთ:

$$\frac{\sin\alpha}{\sin\beta} = \frac{1}{n}$$

ამიტომ

$$\frac{1}{n} = \frac{d-a}{d} \Rightarrow n = \frac{d}{d-a} \qquad (2)$$

საჭირო ხელსაწყოები

1. მიკროსკოპი ინდიკატორით

2. გამანათებელი
3. მინის ფირფიტები განაკაწრებით.

ცდის თანმიმდევრობა

1. ამოძრავეთ მიკროსკოპის ტუბუსი სანამ ინდიკატორის ღერო არ შეეხება სასაგნე მაგიდას. დააყენეთ ინდიკატორი ნულზე.
2. მოათავსეთ მიკროსკოპის სასაგნე მაგიდაზე ინდიკატორის ღეროს ქვეშ მინის ფირფიტა. ჩაინიშნეთ ინდიკატორის ჩვენება. ცხადია იგი მინის სისქეს გვიჩვენებს (d).
3. სასაგნე მაგიდა გაანათეთ გამანათებლით.
4. ამოძრავეთ მიკროსკოპის ტუბუსი სანამ არ მიიღებთ ქვედა განაკაწრის მკაფიო გამოსახულებას. ჩაინიშნეთ ინდიკატორის ჩვენება (N_1).
5. ანალოგიურად მიიღეთ ზედა განაკაწრის გამოსახულება. ჩაინიშნეთ ინდიკატორის ჩვენება (N_2).
6. გამოთვალეთ ფირფიტის მოჩვენებითი სისქე:

$$d - a = |N_1 - N_2|$$

7. გამოთვალეთ მინის გარდატეხის მაჩვენებელი, რისთვისაც ისარგებლეთ (2) ფორმულით.
8. ცდა გაიმეორეთ სხვადასხვა სისქის მქონე ფირფიტებზე.
9. აბსოლუტური და ფარდობითი ცდომილობის გაანგარიშება არაა საჭირო, რადგან მინა სხვადასხვა ხარისხის შეიძლება იყოს.

საკონტროლო კითხვები

1. რას ეწოდება სინათლის გარდატეხა?
2. რაში მდგომარეობს ფერმას პრინციპი.
3. რა არის ოპტიკური გზა?
4. რაში მდგომარეობს ფუნქციის მინიმუმის პირობა?
5. შეასრულეთ ნახაზი იმ შემთხვევისათვის, როცა სხივი შედის ფირფიტაში და როცა გამოდის ფირფიტიდან.
6. რას დაარქმევდით $(d - a)$ სიდიდეს?

დაკვირვებათა ცხრილი

N	ფირფიტის სისქე d	პირველი ანათვალი N_1	მეორე ანათვალი N_2	ფირფიტის მოჩვენებითი სისქე $N_1 - N_2$	მინის გარდატეხის მაჩვენებელი n

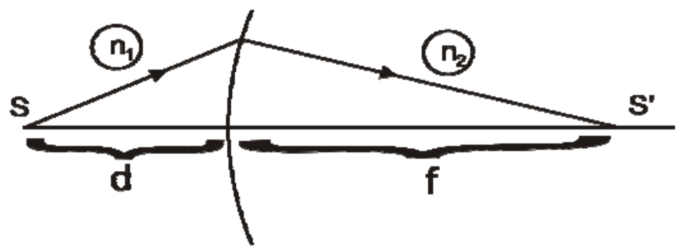
$$n = \frac{d}{d - a}$$

ლინზისა და სარკის ფოკუსური მანძილების განსაზღვრა*

საჭირო ხელსაწყოები

1. ოპტიკური მერხი
2. გამანათებელი საგნით
3. შემკრები ლინზა და სფერული სარკე
4. ეკრანი

ვთქვათ ორი ერთგვაროვანი გარემო, რომელთა გარდატეხის აბსოლუტური მაჩვენებლებია n_1 და n_2, გაყოფილია სფერული ზედაპირით. თუ სფერული ზედაპირის წინ მოვათავსებთ სინათლის S წყაროს, მაშინ მის მეორე მხარეს მივიღებთ ამ წყაროს S' გამოსახულებას. (ნახ. 1).



ნახ.1

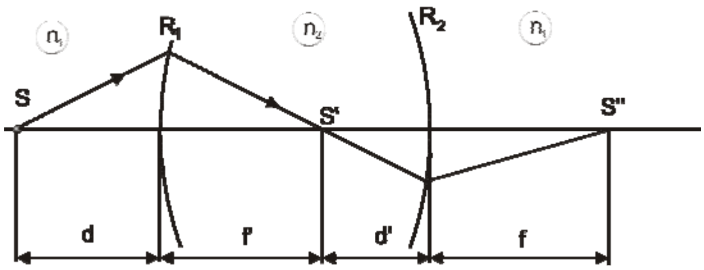
აქ d არის მანძილი ზედაპირსა და სინათლის წყაროს შორის; f მანძილი ზედაპირსა და გამოსახულებას შორის, R სფერული ზედაპირის სიმრუდის რადიუსი.

სინათლის გარდატეხა სფერულ ზედაპირზე აკმაყოფილებს შემდეგ პირობას (გამოყვანა ლექციებში):

$$\frac{n_1}{d}-\frac{n_2}{f}=\frac{n_1-n_2}{R} \qquad \text{(I)}$$

ამ ფორმულაში d, f და R ალგებრული სიდიდეებია. მათი ნიშნის დადგენა შემდეგი წესით ხდება: სიდიდე, რომელიც სფერული ზედაპირის მარჯვნივ მდებარეობს დადებითია, მარცხნივ კი – უარყოფითი. ჩვენს შემთხვევაში f და R სიდიდეები დადებითია, ხოლო d უარყოფითი.

დავადგინოთ ლინზის ფორმულა. ლინზა ეწოდება ორი სფერული ზედაპირით შემოსაზღვრულ გამჭვირვალე სხეულს. ამიტომ იგი შეგვიძლია წარმოვიდგინოთ ორი სფერული ზედაპირის სისტემის სახით, მათი რადიუსები აღვნიშნოთ R_1 და R_2–ით (ნახ. 2).



ნახ.2

განვიხილოთ შუალედური S' წყარო. იგი S წყაროსათვის არის გამოსახულება, ხოლო S'' გამოასხულებისათვის კი – წყაროა.

(I) ფორმულის თანახმად თითოეული ზედაპირისათვის შეგვიძლია დავწეროთ (ნიშნების გათვალისწინებით):

$$\frac{n_1}{-d} - \frac{n_2}{f'} = \frac{n_1 - n_2}{R_1}$$

$$\frac{n_2}{d'} - \frac{n_1}{f} = \frac{n_2 - n_1}{-R_2}$$

ან:

$$\frac{n_1}{d} + \frac{n_2}{f} = \frac{n_2 - n_1}{R_1}$$

$$\frac{n_2}{d'} + \frac{n_1}{f} = \frac{n_2 - n_1}{R_2}$$

პრაქტიკაში უფრო ხშირად გამოიყენება თხელი ლინზები. ამიტომ მათი სისქე (ნახ.2) $d' + f' \approx 0$. აქედან $d' = -f'$ ამის გათვალისწინებით შევკრიბოთ ბოლო ფორმულა:

$$\frac{n_1}{d} + \frac{n_1}{f} = (n_2 - n_1)\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}\right)$$

გავყოთ განტოლების ორივე მხარე $n_1 -$ ზე და გავითვალისწინოთ, რომ $\frac{n_2}{n_1} = n -$ ლინზის გარდატეხის ფარდობითი მაჩვენებელია. მივიღებთ:

$$\frac{1}{d} + \frac{1}{f} = (n - 1)\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}\right) \qquad (2)$$

შემოვიღოთ აღნიშვნა:

$$(n - 1)\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}\right) = \frac{1}{F} \qquad (3)$$

აქედან:

$$F = \frac{1}{(n - 1)\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}\right)}$$

ეს ფორმულა განსაზღვრავს ლინზის ფოკუსურ მანძილს, თუ ვიცით მისი გარდატეხის მაჩვენებელი და სიმრუდის რადიუსები.

(3)–ის გათვალისწინებით (2) ფორმულა მიიღებს სახეს:

$$\frac{1}{d}+\frac{1}{f}=\frac{1}{F}$$ მიღებულ ფორმულას თხელი ლინზის ფორმულა ქვია.

აქედან

$$F=\frac{df}{d+f} \qquad (4)$$

ახლა დავადგინოთ სფერული სარკის ფორმულა. სფერული სარკე ეწოდება გაუმჭვირვალე სფერულ ზედაპირს, რომელსაც გააჩნია სინათლის არეკვლის თვისება.

არეკვლის დროს სინათლე იგივე გარემოში რჩება – მაგრამ იცვლის მიმართულებას. ამიტომ უფრო ზუსტია დავწეროთ

$$n_2=-n_1$$

ამის გათვალისწინებით (I) ფორმულა მიიღებს სახეს:

$$\frac{1}{d}+\frac{1}{f}=\frac{2}{R} \qquad (5)$$

შემოვიღოთ აღნიშვნა

$$\frac{2}{R}=\frac{1}{F}\Rightarrow F=\frac{R}{2} \qquad (6)$$

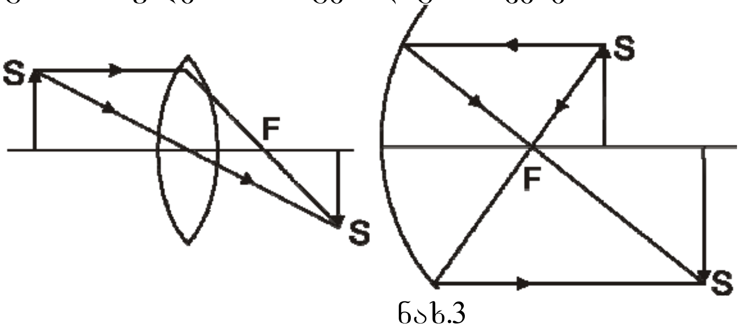
მაშასადამე, სფერული სარკის ფოკუსური მანძილი მისი სიმრუდის რადიუსის ნახევრის ტოლია. (6) ფორმულის გათვალისწინებით (5) ფორმულა მიიღებს სახეს:

$$\frac{1}{d}+\frac{1}{f}=\frac{1}{F}$$ სფერული სარკის ფორმულა

$$F=\frac{df}{d+f} \qquad (7)$$

როგორც ვხედავთ ლინზის და სარკის ფოკუსური მანძილების განსაზღვრისათვის საკმა-რისია ვიცოდეთ სინათლის წყაროს და მისი გამოსახულების მდებარეობა ლინზის ან სარკის მიმართ, ე.ი. ვიცოდეთ d და f მანძილები.

<u>შენიშვნა</u>: თხელ ლინზაში და ჩაზნექილ სფერულ სარკეში საგნის გამოსახულების ასაგებად გამოიყენეთ ნახ.3



ნახ.3

ცდის თანმიმდევრობა

I. ლინზის ფოკუსური მანძილის განსაზღვრა;

1. ოპტიკურ მერხზე მნათ საგანსა და ეკრან შორის მოათავსეთ შემკრები ლინზა. ლინზის გადაადგილებით მიაღწიეთ საგნის მკაფიო გამოსახულების მიღებას (ხან გადიდებული, ხან შემცირებული).
2. აითვალეთ შესაბამისი d და f მანძილები.
3. ცდა გაიმეორეთ 3–ჯერ ეკრანის სხვადასხვა მდებარეობისათვის.

4. ყოველი ცდის შესაბამისად იანგარიშეთ ლინზის ფოკუსური მანძილი.
5. გამოთვალეთ ფოკუსური მანძილის საშუალო მნიშვნელობა.
6. დაადგინეთ აბსოლუტური და ფარდობითი ცდომილებები.

II.სარკის ფოკუსური მანძილის განსაზღვრა.

1. ოპტიკურ მერხზე მოათავსეთ ფართო ეკრანი გამანათებლის უკან, ხოლო სარკე გამანათებლის წინ. სარკის გადაადგილებით მიიღეთ მკაფიო გადიდებული გამოსახულება.
2. აითვალეთ შესაბამისი d და f მანძილები.
3. ცდა გაიმეორეთ 3–ჯერ ეკრანის სხვადასხვა მდებარეობისათვის;
4. ყოველი ცდის შესაბამისად იანგარიშეთ სარკის ფოკუსური მანძილი.
5. გამოთვალეთ ფოკუსური მანძილის საშუალო მნიშვნელობა.
6. დაადგინეთ აბსოლუტური და ფარდობითი ცდომილობები.

დაკვირვებათა ცხრილი

№	d სმ.	f სმ.	F სმ.	$F_{საშ}$	ΔF	$\frac{\Delta F}{F}$
1						
2						
3						

შენიშვნა: ანალოგიური ცხრილი ცალკე შეადგინეთ სფერული სარკისათვის

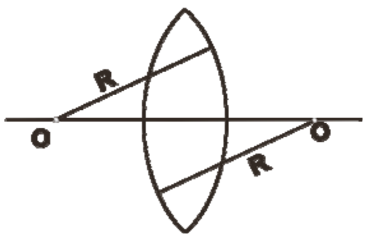
$$F = \frac{df}{d+f}$$

საკონტროლო კითხვები

1. დაწერეთ სფერულ ზედაპირზე გარდატეხის ფორმულა. გააკეთეთ ნახაზი.
2. რას ეწოდება ლინზა? დაწერეთ ლინზის ფორმულა.
3. დაადგინეთ ლინზის ფოკუსური მანძილის ფორმულა თუ მისი სიმრუდის რადიუსები ერთნაირია $R_1 = R_2 = R$ (სიმეტრიული ლინზა);
4. რას ეწოდება სფერული სარკე? დაწერეთ სარკის ფორმულა.
5. როგორ გამოისახება მათემატიკურად სარკიდან სხივის არეკვლა?
6. რა უნდა ვიცოდეთ, რომ ვიანგარიშოთ ლინზის ან სარკის ფოკუსური მანძილები?

გამბნევი ლინზის ფოკუსური მანძილის განსაზღვრა

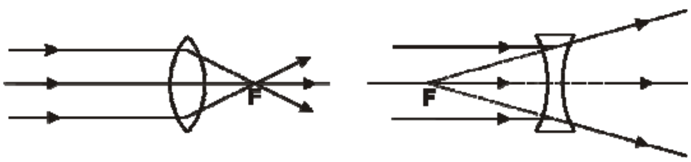
ლინზა ეწოდება ორი სფერული ზედაპირით შემოსაზღვრულ გამჭვირვალე სხეულს (ნახ.I) ერთერთი ზედაპირი ბრტყელიც შეიძლება იყოს, რადგან ბრტყელი ზედაპირი შეგვიძლია განვიხილოთ, როგორც უსასრულო რადიუსის მქონე სფერული ზედაპირი.



სფერული ზედაპირის ცენტრზე გამავალ O_1O_2 წრფეს ლინზის მთავარი ოპტიკური ღერძი ეწოდება.

არსებობს ორი სახის ლინზები – შემკრები და გამბნევი. შემკრებ ლინზებს შუა ნაწილი უფრო განიერი აქვთ, ვიდრე კიდეები. გამბნევ ლინზებში კი – პირიქით. შემკრებ ლინზებში გამავალი სხივები მთავარი ოპტიკური ღერძისაკენ იხრება, გამბნევ ლინზებში კი შორდებიან ღერძს ("განიბნევიან").

თუ ლინზას ოპტიკური ღერძის პარალელურად ეცემა სინათლის კონა მაშინ ლინზაში გავლის შედეგად სინათლის სხივები ერთ წერტილში გადაიკვეთებიან (შემკრები ლინზა), ან ერთ წერტილში გადაიკვეთება მათი გაგრძელება (გამბნევი ლინზა). ამ წერტილებს ლინზის ფოკუსები ეწოდება. (ნახ. 2) გამბნევი ლინზის ფოკუსი წარმოსახვითია.



ნახ.2

მანძილს ლინზის ცენტრიდან ფოკუსამდე ფოკუსური მანძილი ეწოდება (F)– ფოკუსური მანძილის შებრუნებული სიდიდე კი ლინზის ოპტიკურ ძალას წარმოადგენს.

$$D = \frac{1}{F}$$

ოპტიკური ძალა დიოპტრებში იზომება. დიოპტრი არის ისეთი ოპტიკური ძალა, რომელიც გააჩნია I მ. ფოკუსური მანძილის მქონე ლინზას.

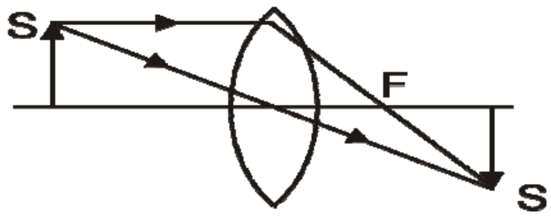
იმისთვის, რომ ავაგოთ გამოსახულება ლინზებში, საკმარისია ვიცოდეთ ორი საყრდენი სხივის გარდატეხის წესი:

1. სხივი, რომელიც ლინზის ოპტიკურ ცენტრზე გადის, არ გარდატყდება.
2. მთავარი ოპტიკური ღერძის პარალელურად მიმავალი სხივი ლინზაში გარდატეხის შემდეგ ფოკუსში გაივლის (ან გაივლის ფოკუსში მისი გაგრძელება).

გასაგებია, რომ სინათლის სხივების შექცევადობის გამო, ფოკუსზე გამავალი სხივი ლინზაში გარდატეხის შედეგად ოპტიკური ღერძის პარალელურად გავრცელედება.

შემკრებ ლინზაში გამოსახულება შეიძლება იყოს როგორც ნამდვილი (თუ მნათი საგანი ფოკუსის გარეთაა). ასევე წარმოსახვითი (თუ მნათი საგანი ლინზასა და ფოკუსს შორის არის მოთავსებული). გამბნევ ლინზაში გამოსახულება ყოველთვის წარმოსახვითია.

მაგალითისათვის ვაჩვენოთ გამოსახულების აგება შემკრებ ლინზებში. (ნახ. 3)



ნახ.3

საგნის და მისი გამოსახულების ურთიერთგანლაგება განისაზღვრება ლინზის ფორმულის საფუძველზე, რომელსაც შემდეგი სახე აქვს:

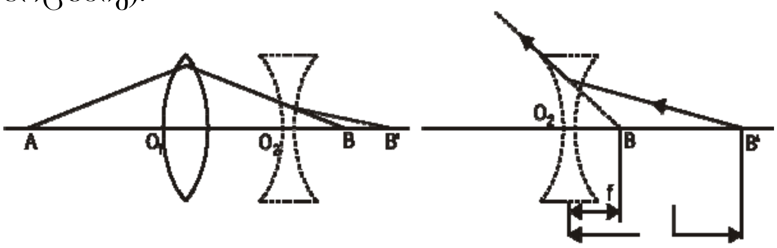
$$\frac{1}{d}+\frac{1}{f}=\frac{1}{F} \qquad \text{(I)}$$

აქ d – მანძილია ლინზიდან საგნამდე, ხოლო f მანძილი ლინზიდან გამოსახულებამდე. აღსანიშნავია, რომ თუ საგანი, გამოსახულება ან ფოკუსი წარმოსახვითია, მაშინ (I) ფორმულაში შემავალი შესაბამისი სიდიდე უარყოფითი იქნება.

(1) ფორმულა გვაძლევს საშუალებას მარტივად განვსაზღვროთ შემკრები ლინზის ფოკუსური მანძილი შესაბამისად d და f მანძილების საშუალებით.

მაგრამ გაცილებით უფრო რთულია გამბნევი ლინზის ფოკუსური მანძილის განსაზღვრა ის ხომ ეკრანზე გამოსახულებას არ გვაძლევს: (ეს გამოსახულება წარმოსახვითია.)

ამ ამოცანის გადასაჭრელად ჩავატაროთ ასეთი ცდა. ვთქვათ მნათი A წერტილის გამოსახულება შემკრებ ლინზაში B წერტილში მიიღება. (ნახ. 4, მარცხნივ).



ნახ.4

მოვათავსოთ შემკრებ ლინზასა და B წერტილს შორის გამბნევი ლინზა. მაშინ მნათი წერტილის გამოსახულება უფრო შორს მიიღება, რადგან სხივები დაშორდებიან ოპტიკურ ღერძს. ეს გამოსახულება B' –ით აღვნიშნოთ.

სხივების შექცევადობის გამო B წერტილი შეიძლება ჩაითვალოს B' წერტილის გამოსახულებად. (ნახ. 4, მარჯვნივ). მაშინ (I) ფორმულის თანახმად შეგვიძლია დავწეროთ:

$$\frac{1}{d}-\frac{1}{f}=-\frac{1}{F}$$

აქედან

$$F=\frac{df}{d-f}$$

სადაც $d=O_2B'$, ხოლო $f=O_2B$. ეს სიდიდეები კი ადვილად გასაზომია. ვიცით რა ეს სიდიდეები, შეგვიძლია განვსაზღროთ გამბნევი ლინზის ფოკუსური მანძილი F.

საჭირო ხელსაწყოები

1. გამანათებელი მნათი საგნით

2. ოპტიკური მერხი.
3. შემკრები და გამბნევი ლინზები.
4. ეკრანი.

ცდის თანმიმდევრობა

1. ოპტიკურ მერხზე მნათ საგანსა და ეკრანს შორის მოათავსეთ შემკრები ლინზა და მისი გადაადგილებით მიიღეთ ეკრანზე საგნის მკაფიო გამოსახულება.
2. მოათავსეთ ლინზასა და ეკრანს შორის გამბნევი ლინზა და გაზომეთ მანძილი გამბნევი ლინზიდან ეკრანამდე (*f*).
3. გადაადგილეთ ეკრანი ისე, რომ კვლავ მიიღო საგნის მკაფიო გამოსახულება. გაზომეთ მანძილი გამბნევ ლინზასა და ეკრანს შორის ***(d)***.
4. გამოთვალეთ გამბნევი ლინზის ფოკუსური მანძილი ***(F)***.
5. ცდა გაიმეორეთ 3–ჯერ.
6. იანგარიშეთ ფოკუსური მანძილის საშუალო მნიშვნელობა.
7. დაადგინეთ აბსოლუტური და ფარდობითი ცდომილობები.

დაკვირვებათა ცხრილი

№	მანძილი გამბნევ ლინზასა და ეკრანს შორის		ლინზის ფოკუსური მანძილი ***F***	***F*** საშ	ΔF	$\frac{\Delta F}{F}$
	ეკრანის I მდებარეობა ***f***	ეკრანის II მდებარეობა ***d***				
1						
2						
3						

საკონტროლო კითხვები

1. რა არის ლინზა? რა სახის ლინზები იცით?
2. განმარტეთ მთავარი ოპტიკური ღერძის ცნება.
3. რას ეწოდება ლინზის ოპტიკური ცენტრი და ფოკუსი?
4. განმარტეთ ოპტიკური ძალა. რა ერთეულებში იზომება იგი?
5. ჩამოაყალიბეთ საყრდენი სხივების გარდატეხის წესები.
6. ააგეთ გამოსახულება ლინზაში (მასწავლებლის დავალებით).

ლინზის სფერული აბერაციის შესწავლა

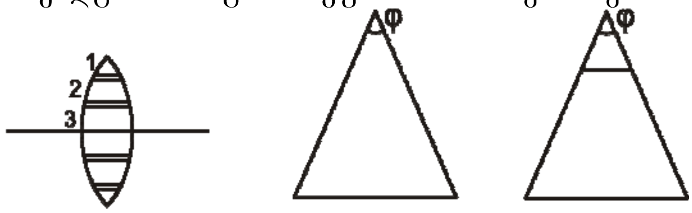
აბერაცია დამახინჯებას ნიშნავს. ოპტიკაში დამახინჯების ქვეშ იგულისხმება საგნის გამოსახულების დამახინჯება, რომელიც ლინზის საშუალებით მიიღება.

ლინზა წარმოადგენს გამჭვირვალე ნივთიერებას, რომელიც ორივე მხრიდან შემოსაზღვრულია სფერული ზედაპირებით (ერთერთი ზედაპირი ბრტყელიც შეიძლება იყოს).

ლინზა იძლევა სრულყოფილ, მკვეთრ გამოსახულებას მხოლოდ იმ შემთხვევაში, როცა საგნიდან გამოსული სხივები ვრცელდებიან ოპტიკური ღერძის ახლოს ვიწრო კონით. ასეთ სხივებს პარაქსიალური სხივები ეწოდება.

მაგრამ ვიწრო კონებით მიღებული გამოსახულება იქნება ფერმკრთალი, რადგან სინათლის ნაკადი მცირეა. ამიტომ პრაქტიკულად უფრო მოსახერხებელია გამოვიყენოთ ფართო კონები. ეს გამოიწვევს საგნის გამოსახულების დამახინჯებას. რატომ?

განვიხილოთ, მაგალითისათვის, ორმხრივ ამოზნექილი, შემკრები ლინზა. წარმოვიდგინოთ იგი სამკუთხა პრიზმების ერთობლიობად (ნახ. I).



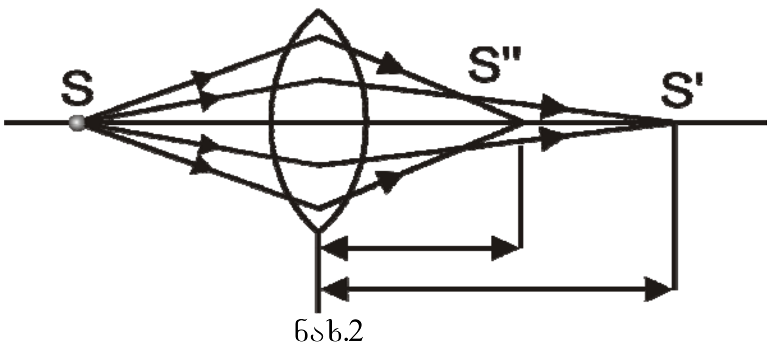
ნახ.1

თითოეული პრიზმა გადიდებული სახით ნაჩვენებია ნახაზის მარჯვენა მხარეში.

როგორც ვიცით, პრიზმაში გამავალი სხივები მით უფრო მეტად გარდატყდებიან, რაც მეტია პრიზმის გარდამტეხი კუთხე (φ).

ლინზის კონსტრუქციიდან ჩანს, რომ №1 პრიზმის გარდამტეხი კუთხე ყველაზე დიდია და ამიტომ მასში გამავალი სხივები, დანარჩენ სხივებთან შედარებით, უფრო მეტად გარდატყდებიან. სხვანაირად რომ ვთქვათ, კიდურა სხივები მეტად გარდატყდებიან, ვიდრე ცენტრალური ანუ პარაქსიალური სხივები.

ამის გამო საგნის გამოსახულება იქნება განფენილი O' და O'' წერტილებს შორის (ნახ.2).



ნახ.2

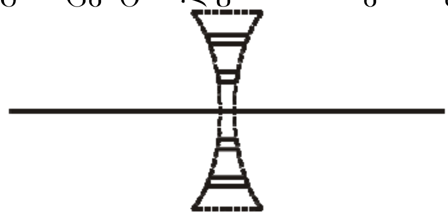
გამოსახულების ასეთ დამახინჯებას, როცა იგი ერთ სიბრტყეში არ მიიღება, სფერული აბერაცია ეწოდება.

სფერული აბერაციის დასახასიათებლად იყენებენ მანძილთა სხვაობას ყველაზე ახლოს და ყველაზე შორს მდებარე გამოსახულებებს შორის. მას δ–თი აღნიშნავენ.

$$\delta = f'' - f'$$

როგორც ნახაზიდან ჩანს, შემკრები ლინზის შემთხვევაში $\delta < O$-, რადგან $f'' < f'$.

ადვილად გასაგებია, რომ გამბნევი ლინზისათვის $\delta > O$. მართლაც, ამ შემთხვევაში უფრო მეტად გარდატყდებიან ცენტრალური სხივები ვიდრე კიდურა, რადგან ცენტრალურ პრიზმებს მეტი გარდამტეხი კუთხე აქვს (ნახ. 3).



ნახ.3

ნახ.4

ლინზების ეს თვისება გვაძლევს საშუალებას შევამციროთ სფერული აბერაცია. ამისათვის საჭიროა გამოვიყენოთ შემკრები და გამბნევი ლინზათა სისტემა, ლინზები უნდა შევარჩიოთ ისე, რომ მათი აბერაციები აკომპენსირებდნენ ერთმანეთს. ასეთი სისტემა ნაჩვენებია ნახ.4–ზე.

შევნიშნოთ, რომ სფერული აბერაციის გარდა არსებობს სხვა სახის აბერაციებიც. მათ შორის ყველაზე მარტივად გასაგებია ე.წ. ქრომატული აბერაცია. როგორ წარმოიშობა იგი?

ჩვენ ვიცით, რომ სინათლის გარდატეხის მაჩვენებელი დამოკიდებულია სინათლის ტალღის სიგრძეზე (ან სიხშირეზე), უბრალოდ კი – ფერზე. ამიტომ სხვადასხვა ფერის სხივები სხვადასხვა კუთხით გარდატყდებიან ლინზაში და გამოსახულება კვლავ არ იქნება ერთსა და იმავე სიბრტყეში. თანაც იგი კიდეებზე ფერადი იქნება. ამიტომ ამ აბერაციას ქრომატული უწოდეს.

ქრომატული აბერაციის შესამცირებლად იყენებენ შემკრები და გამბნევი ლინზების სისტემას, რომლებიც დამზადებული არიან სხვადასხვა გარდატეხის მაჩვენებლის მქონე მინებისაგან. ასეთ ლინზას აქრომატული ლინზა ეწოდება.

საჭირო ხელსაწყოები

1. ოპტიკური მერხი
2. გამანათებელი მნათი საგნით
3. შემკრები ლინზა მოძრავი დიაფრაგმით
4. ეკრანი

ცდის თანმიმდევრობა

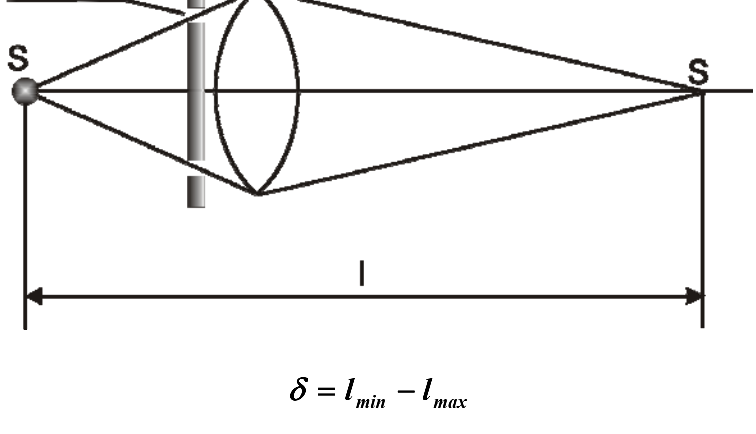
1. მოათავსეთ მნათ საგანსა და ეკრანს შორის შემკრები ლინზა ხვრელების მქონე დიაფრაგმით.
2. ჩაწიეთ ბოლომდე დიაფრაგმა ისე, რომ ლინზის ცენტრის სიმეტრიულად ჩანდეს ორი კიდურა ხვრელი.
3. ეკრანის გადაადგილებით მიაღწიეთ საგნის მკაფიო გამოსახულებას, ჩაინიშნეთ მანძილი საგანსა და ეკრანს შორის (f_1). გაზომეთ მანძილი ხვრელებს შორის დიაფრაგმაზე (D).
4. ამოწიეთ თანდათან დიაფრაგმა და გაიმეორეთ მე–3–ე პუნქტში ჩამოთვლილი ოპერაციები.
5. მონაცემები შეიტანეთ დაკვირვების ცხრილში.

6. გაიმეორეთ იგივე გაზომვები დიაფრაგმის ჩაწევის შემთხვევაში. ჩაიწერეთ ეკრანის ახალი მდებარეობები $-(l_2)$ ხვრელებს შორის მანძილის შესაბამისად.
7. იანგარიშეთ D–ს ყოველი მნიშვნელობისათვის ეკრანის მდებარეობის დამახასიათებელი საშუალო მანძილი: $l = \dfrac{l_1 + l_2}{2}$

8. იპოვეთ l–ის მაქსიმალური და მინიმალური მნიშვნელობები.
იანგარიშეთ აბერაციის სიდიდე: $\delta = l_{min} - l_{max}$
9. ააგეთ l– სა და D–ს შორის დამოკიდებულების გრაფიკი. /მასშტაბი შეარჩიეთ მონაცემების მიხედვით/.

დაკვირვებათა ცხრილი

№	D სმ.	l_1 სმ.	l_2 სმ.	l	$l$mi	$l$max	δ
1							
2							
3							
4							
5							



$\delta = l_{min} - l_{max}$

საკონტროლო კითხვები

1. რას ნიშნავს სიტყვა “აბერაცია”?
2. რით არის გამოწვეული სფერული აბერაცია?
3. რით ვახასიათებთ სფერულ აბერაციას?
4. რით არის გამოწვეული ქრომატული აბერაცია?
5. როგორ შეიძლება შევამციროთ სფერული აბერაცია? ქრომატული აბერაცია?

განათებულობის კანონის შესწავლა

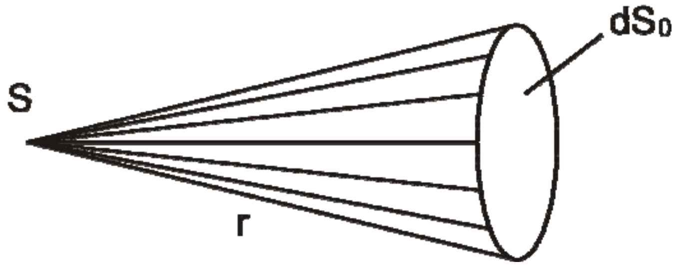
განვიხილოთ ოპტიკის ნაწილი, რომელსაც ფოტომეტრია ეწოდება. ფოტომეტრია შეისწავლის სინათლის ენერგეტიკულ მხარეს. მისი ერთერთი მნიშვნელოვანი ამოცანაა დაახასიათოს და შეისწავლოს სინათლის წყაროები და სინათლის მოქმედება საგნების ზედაპირებზე.

ამისათვის შემოღებულია სხვადასხვა სიდიდეები, რომელთაგან ძირითადია სინათლის ნაკადი. სინათლის სრული ნაკადი წარმოადგენს უბრალოდ სინათლის წყაროს სიმძლავრეს ანუ დროის ერთეულში ყველა მიმართულებით გამოსხივებულ ენერგიას.

ზოგადად კი სინათლის ნაკადი ეწოდება სხივური ენერგიის სიმძლავრეს, რომელიც ვრცელდება გარკვეულ სხეულოვან კუთხეში. სინათლის ნაკადი $\boldsymbol{\phi}$–ით აღინიშნება და იზომება ლუმენებში.

გავიხსენოთ, რომ სხეულოვანი კუთხე იზომება მის მიერ r – რადიუსის მქონე “ამოჭრილი” ფართობის შეფარდებით რადიუსის კვადრატთან (ნახ.1). იგი $\boldsymbol{\Omega}$–თი აღინიშნება. მაშასადამე ელემენტალური სხეულოვანი კუთხე განისაზღვრება ფორმულით:

$$d\Omega = \frac{dS_0}{r^2} \qquad \text{(I)}$$



ნახ.1

სინათლის წყაროს დასახასიათებლად იყენებენ ფიზიკურ სიდიდეს – სინათლის ძალას. სინათლის ძალა ეწოდება სინათლის ნაკადის შეფარდებას სხეულოვან კუთხესთან, რომელშიც იგი ვრცელდება.

$$I = \frac{d\Phi}{d\Omega} \qquad (2)$$

სინათლის ძალის ერთეულია კანდელი. კანდელი – სპეციალური გამომსხივებლის სინათლის ძალაა.

სინათლის მოქმედება საგნის ზედაპირზე უპირველეს ყოვლისა გამოიხატება ამ ზედაპირის ცალკეული უბნების სხვადასხვანაირ ხილვადობაში. სინათლის ამ მოქმედებას სხეულის ზედაპირზე ახასიათებენ განათებულობით.

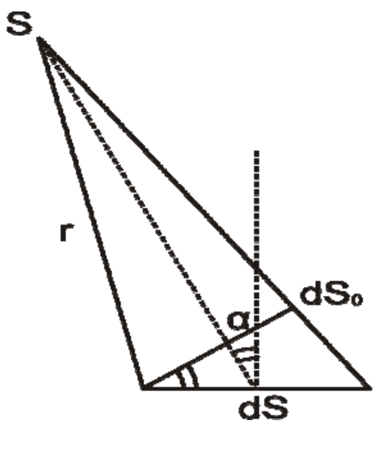
განათებულობა ეწოდება სინათლის ნაკადის შეფარდებას ფართობთან რომელზეც იგი ეცემა.

$$E = \frac{d\Phi}{dS} \qquad (3)$$

საერთაშორისო სისტემაში განათებულობა ლუქსებში იზომება.

პრაქტიკიდან ცნობილია, რომ ზედაპირის განათებულობა დამოკიდებულია სინათლის წყაროს ძალაზე, რომლითაც იგი დაშორებულია სხეულის ზედაპირიდან და ზედაპირზე დაცემის კუთხეზე. დავადგინოთ ამ სიდიდეებს შორის კავშირი.

აღვნიშნოთ სინათლის წყაროს ძალა I–თი, მანძილი ზედაპირამდე r–ით, ხოლო დაცემის კუთხე α–თი. (ნახ. 2).



ნახ.2

(2) ფორმულის თანახმად

$$d\Phi = Id\Omega$$

ჩავსვათ $d\Omega$– ს მნიშვნელობა (I) ფორმულიდან:

$$d\Phi = I\frac{dS_0}{r^2}$$

ნახაზიდან ჩანს, რომ

$$dS_0 = dS\cos\alpha$$

$$d\Phi = I\frac{dS\cos\alpha}{r^2}$$

ამიტომ ჩავსვათ ეს მნიშვნელობა (3) ფორმულაში. მივიღებთ:

$$E = \frac{I}{r^2}\cos\alpha$$

ეს ფორმულა გამოსახავს განათებულობის ძირითად კანონს. იგი სავსებით ეთანხმება პრაქტიკიდან ცნობილ ფაქტებს. მართლაც, განათებულობა მით მეტია, რაც მეტია სინათლის ძალა და რაც ნაკლებია მანძილი წყარომდე. ამასთან ერთად განათებულობა ყველაზე დიდია მაშინ, როცა სინათლე პერპენდიკულარულად ეცემა ზედაპირს.

ჩვენ ამოცანას წარმოადგენს განათებულობის მანძილზე დამოკიდებულების შესწავლა. ამისათვის მოსახერხებელია მივმართოთ სინათლის ნაკადი საგნის მართობულად. მაშინ გვექნება:

$$E = \frac{I}{r^2}$$

აქედან

$$Er^2 = I$$

რადგან ცდის განმავლობაში სინათლის ძალა უცვლელია, ამიტომ

$$Er^2 = const$$

სწორედ ეს თანაფარდობა უნდა შემოწმდეს ცდით.

საჭირო ხელსაწყოები

1. გამანათებელი
2. ფოტომეტრი
3. მიკროამპერმეტრი
4. სახაზავი

ცდის თანმიმდევრობა

1. დააყენეთ გამანათებელი მინიმალურ მანძილზე ფოტომეტრისაგან. ჩაიწერეთ მიკროამპერმეტრის ჩვენება (E_{max}). ეს აღნიშვნა შეესატყვისება იმ ფაქტს, რომ განათებულობა ფოტოდენის პროპორციულია და პირობითად შეგვიძლია მის ტოლად ჩაითვალოს.
2. გამანათებლის 2-2 სმ–ით გადაადგილებით ცვალეთ r მანძილი და ჩაიწერეთ მიკროამპერმეტრის შესაბამისი ჩვენებები.
3. მონაცემები შეიტანეთ ცხრილში.
4. იანგარიშეთ Er^2 ნამრავლი. იპოვეთ მისი საშუალო მნიშვნელობა.
5. იანგარიშეთ აბსოლუტური ცდომილება:

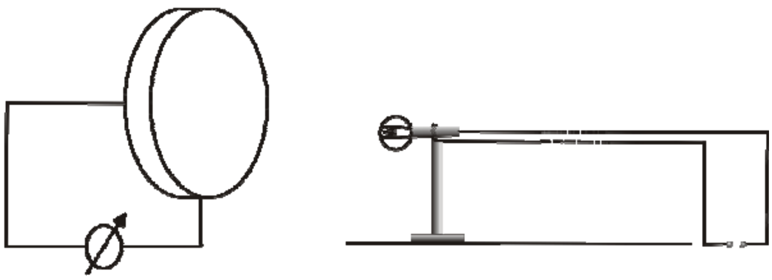
$$\Delta\left(Er^2\right) = \left|\left(Er^2\right) - E_{max} r^2{}_{min}\right|$$

6. იანგარიშეთ ფარდობითი ცოდმილება:

$$\frac{\Delta\left(Er^2\right)}{\left(Er^2\right)} \cdot 100\%$$

დაკვირვებათა ცხრილი

№	r_{min}	E_{max} μA	r	E	r^2E	$\left(r^2E\right)$	$\Delta\left(r^2E\right)$	$\frac{\Delta\left(r^2E\right)}{\left(r^2E\right)}$



$$Er^2 = const$$

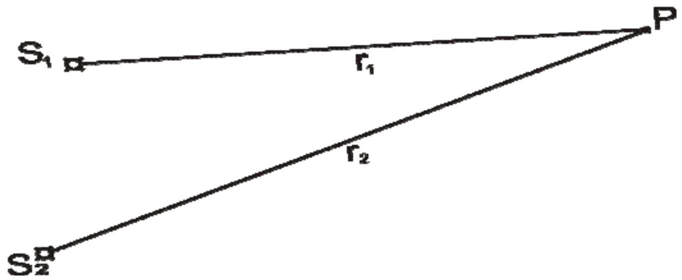
საკონტროლო კითხვები

1. რას შეისწავლის ფოტომეტრია?
2. რა არის სხეულოვანი კუთხე?
3. დაასახელეთ და განმარტეთ ფოტომეტრიის ძირითადი სიდიდეები. დაასახელეთ მათი ერთეულები.
4. რაზეა დამოკიდებული ზედაპირის განათებულობა?
5. დაწერეთ და გააანალიზეთ განათებულობის კანონი.

სინათლის ტალღის სიგრძის განსაზღვრა ნიუტონის რგოლების მეთოდით

განვიხილოთ წინასწარ ინტერფერენციის მოვლენა, რომელიც საფუძვლად უდევს ნიუტონის რგოლების წარმოშობას. ინტერფერენცია ეწოდება ტალღების ზედდებას (შეკრებას), რომლის შედეგად ისინი ან აძლიერებენ, ან ასუსტებენ ერთმანეთს. იქ, სადაც სინათლის ტალღები აძლიერებენ ერთმანეთს, მიიღება განათებული ზოლი, ხოლო სადაც ასუსტებენ –ბნელი ზოლი. განათებული და ბნელი ზოლების ერთობლიობას ინტერფერენციული სურათი ეწოდება.

დავადგინოთ ტალღების გაძლიერების და შესუსტების პირობები. ვთქვათ S_1 და S_2 სინათლის წყაროდან გამოსული ტალღები, გაივლიან რა შესაბამისად r_1 და r_2 მანძილებს, იკრიბება P წერტილში. (ნახ.I). დავწეროთ ამ ტალღების განტოლებები P წერტილში:



ნახ.1

$$E_1 = E_0 \cos\frac{2\pi}{T}\left(t - \frac{r_1}{C}\right)$$

$$E_2 = E_0 \cos\frac{2\pi}{T}\left(t - \frac{r_2}{C}\right)$$

აქ მივიჩნიეთ, რომ რხევის ამპლიტუდები ერთმანეთის ტოლია (E_0) და ტალღებს აქვს ერთი და იგივე სიხშირე (პერიოდი, ტალღის სიგრძე).

შევკრიბოთ ეს განტოლებები. ამით ჩვენ მივიღებთ ჯამურ განტოლებას.

$$E = E_1 + E_2$$

$$E = E_0\left\{\cos\frac{2\pi}{T}\left(t - \frac{r_1}{C}\right) + \cos\frac{2\pi}{T}\left(t - \frac{r_1}{C}\right)\right\}$$

მარტივი ტრიგონომეტრიული გარდაქმნის შედეგად მივიღებთ:

$$E = 2E_0 \cos\frac{\pi(r_2 - r_1)}{CT} \cdot \cos\frac{2\pi}{T} \cdot \left(t - \frac{r_1 + r_2}{2C}\right)$$

აქედან ჩანს, რომ ჯამური რხევის ამპლიტუდა გამოისახება ფორმულით:

$$E_m = 2E_0 \cos\frac{\pi(r_2 - r_1)}{CT}$$

შევნიშნოთ, რომ $CT = \lambda$ და წარმოადგენს სინათლის ტალღის სიგრძეს, ხოლო სიდიდეს $\Delta = r_2 - r_1$ ოპტიკური სვლათა სხვაობა ეწოდება. ამის გათვალისწინებით მივიღებთ:

$$E_m = 2E_0 \cos\frac{\pi \cdot \Delta}{\lambda}$$

ადვილად გასაგებია, რომ განათებულობის მაქსიმუმი მიიღება იქ, სადაც ჯამური რხევის ელექტრული ველის დაძაბულობის მოდული $|E_k|$ იქნება მაქსიმალური, ხოლო განათებულობის მინიმუმი (სიბნელე – სადაც $|E_k|$ მინიმალურია. ეს პირობები შესაბამისად შემდეგი ფორმულით გამოისახება:

$$\frac{\pi \cdot \Delta}{\lambda} = \kappa\pi \qquad \text{და} \qquad \frac{\pi \cdot \Delta}{\lambda} = \left(\kappa + \frac{1}{2}\right)\pi$$

აქედან

$$\Delta = \kappa\lambda = 2\kappa\frac{\lambda}{2}$$ მაქსიმუმის პირობა

და

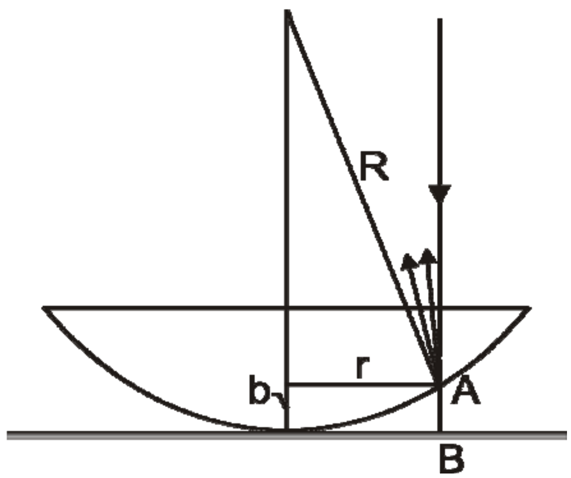
$$\Delta=\left(\kappa+\frac{1}{2}\right)\lambda=(2\kappa+1)\frac{\lambda}{2} \qquad \text{მინიმუმის პირობა}$$

მაშასადამე ტალღები აძლიერებენ ერთმანეთს, თუ მათ შორის სვლათა სხვაობა ლუწი ნახევარტალღის ჯერადია და ასუსტებენ ერთმანეთს, თუ სვლათა სხვაობა კენტი ნახევარტალღის ჯერადია.

და ბოლოს შევნიშნოთ, რომ ინტერფერენციული სურათის მდგრადობისათვის საჭიროა ტალღებს შორის სვლათა სხვაობა არ იცვლებოდეს დროთა განმავლობაში. ასეთ ტალღებს კოჰერენტული ტალღები ეწოდება.

ახლა გავარჩიოთ თუ როგორ წარმოიშობა ნიუტონის რგოლები. მოვათავსოთ მინის ბრტყელ ფირფიტაზე ბრტყელამოზნექილი ლინზა, რომელსაც აქვს დიდი სიმრუდის რადიუსი. მათი შეხების მახლობლად წარმოიშობა ჰაერის სქელი ფენა.

ვთქვათ სინათლის სხივი ეცემა ლინზას მისი ბრტყელი ზედაპირის პერპენდიკულარულად. ეს სხივი აირეკლება A და B წერტილებში და გაიყოფა ორ კოჰერენტულ სხივად (ნახ.2)



ნახ.2

ცხადია ამ სხივებს შორის სვლათა სხვაობა იქნება $2b$ -ს ტოლი ($b=AB$ და წარმოადგენს ჰაერის ფენის სისქეს), რადგან B წერტილში არეკვლილი სხივი გადის $2b$–თი მეტ მანძილს, ვიდრე A წერტილში არეკვლილი სხივი.

აღსანიშნავია ერთი საინტერესო ფაქტი: უფრო მკვრივი გარემოდან არეკვლისას სხივის ფაზა ნახტომისებურად იზრდება π თი, ხოლო ოპტიკური სვლათა სხვაობა შესაბამისად იზრდება $\frac{\pi}{2}$ ით. ამის გათვალისწინებით სვლათა სხვაობა ჩვენ სხივებს შორის იქნება:

$$\Delta=2b+\frac{\pi}{2}$$

განათებულობის მინიმუმი მიიღება ლინზის იმ წერტილებში, სადაც ამრიგად:

$$2b+\frac{\lambda}{2}=(2k+1)\frac{\lambda}{2}$$

აქედან:

$$b=\frac{\kappa\lambda}{2}$$

მაშასადამე განათებულობის მინიმუმი მიიღება ლინზის იმ წერტილებში, რომლებიც მუდმივი მანძილით არიან დაშორებული ფირფიტისაგან. ეს წერტილები წრეწირს შეადგენენ. სწორედ ასეთ წრეწირებს ეწოდება ნიუტონის რგოლები.

აღვნიშნოთ ერთერთი რგოლის რადიუსი r-—ით. როგორც ნახაზიდან ჩანს:

$$r^2 = R^2 - (R - b)^2$$

$$r^2 = 2Rb - b^2$$

რადგან b^2 ძალიან მცირე სიდიდეა, ამიტომ შეიძლება იგი უგულებელვყოთ. მაშინ მივიღებთ:

$$r^2 = 2Rb$$

თუ ამ ფორმულაში ჩავსვამთ b–ს მნიშვნელობას, მივიღებთ:

$$r^2 = R\kappa\lambda$$

საიდანაც განისაზღვრება სინათლის ტალღის სიგრძე:

$$\lambda = \frac{r^2}{\kappa R} \qquad \text{ან} \qquad \lambda = \frac{D^2}{4\kappa R}$$

სადაც D–ნიუტონის K–ური რგოლის დიამეტრია.

საჭირო ხელსაწყოები

1. მიკროსკოპი გამანათებელით
2. კასეტა ბრტყელ–ამოზნექილი ლინზით და ბრტყელი ფირფიტით.

ცდის თანმიმდევრობა

1. ჩართეთ მიკროსკოპის სასაგნე მაგიდის გამანათებელი;
2. სასაგნე მაგიდაზე მოათავსეთ კასეტა ბრტყელ–ამოზნექილი ლინზით. კასეტის გადაადგილებით მიაღწიეთ იმას, რომ სავიზირო ხაზების გადაკვეთის წერტილი ემთხვეოდეს ნიუტონის რგოლების ცენტრს.
3. მილიმეტრიანი ბადის საშუალებით გაზომეთ ერთერთი K–ური ბნელი რგოლის ჰორიზონტალური და ვერტიკალური დიამეტრი (D_1 და D_2) ჩაინიშნეთ K–ს მნიშვნელობა. იანგარიშეთ რგოლის საშუალო დიამეტრი $\left(D = \frac{D_1 + D_2}{2}\right)$.
4. ცდა გაიმეორეთ 3–ჯერ K–ს სხვადასხვა მნიშვნელობისათვის.
5. მონაცემები შეიტანეთ დაკვირვებათა ცხრილში.
6. იანგარიშეთ სინათლის ტალღის სიგრძე და მისი საშუალო მნიშვნელობა.
7. დაადგინეთ აბსოლუტური ცდომილება, რისთვისაც $\lambda_{\text{საშ.}}$ შეადარეთ ლაზერის ტალღის სიგრძეს $\lambda = 0.63 \cdot 10^{-3}$ მმ.).

$$\Delta\lambda = |\lambda - \lambda_0|$$

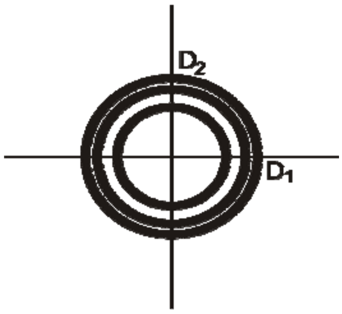
8. დაადგინეთ ფარდობითი ცდომილება:

$$\frac{\Delta\lambda}{\lambda} \cdot 100\%$$

დაკვირვებათა ცხრილი

№	$R = 1.2 \cdot 10^3$ მმ.				$\lambda_0 = 0.63 \cdot 10^{-3}$ მმ.			
	K	D_1	D_2	D	λ	$\lambda_{\text{საშ}}$	$\Delta\lambda$	$\frac{\Delta\lambda}{\lambda} \cdot 100\%$

$$\lambda = \frac{D^2}{4\pi K}$$



საკონტროლო კითხვები

1. რას ეწოდება ინტერფერენცია? ინტერფერენციული სურათი?
2. როდის არის ინტერფერენციული სურათი მდგრადი?
3. ჩამოაყალიბეთ განათებულობის მაქსიმუმის და მინიმუმის პირობები.
4. რა არის ოპტიკური სვლათა სხვაობა?
5. როგორ მიიღება ნიუტონის რგოლები?
6. რა ემართება სხივის ფაზას უფრო მკვრივი გარემოდან არეკვლისას?

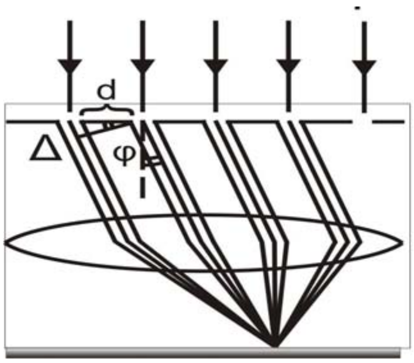
სინათლის ტალღის სიგრძის განსაზღვრა დიფრაქციული მესრით

დიფრაქციული მესერი ეწოდება ვიწრო ხვრელთა ერთობლიობას, რომლებიც მცირე მანძილით არიან დაშორებული ერთმანეთისაგან. დიფრაქციული მესერი მზადდება სპეციალური დამყოფი მანქანით, რომელიც მინის ფირფიტაზე პარალელურ შტრიხებს (განაკაწრებს) ხაზავს. განაკაწრების რიცხვი I მმ-ზე ხშირად რამდენიმე ათასს აღწევს.

განვიხილოთ დიფრაქციული მესრის მოქმედების პრინციპი. ვთქვათ ხვრელებს შორის მანძილი არის d --. ამ მანძილს მესრის პერიოდი ეწოდება (ან მესრის მუდმივა). თუ დიფრაქციულ მესერს ეცემა სინათლის პარალელური კონა ანუ ბრტყელი ტალღა, მაშინ მესრის თითოეული ხვრელი შეგვიძლია განვიხილოთ როგორც დამოუკიდებელი წყარო, რომელიც ყველა მიმართულებით ასხივებს სინათლეს. ეს წყაროები კოჰერენტული იქნებიან რადგან წარმოშობილი არიან ერთი ტალღისაგან.

თითოეული ხვრელი ქმნის საკუთარ დიფრაქციულ სურათს. ეს სურათები იდენტური არიან. მათი ზედდების შედეგად მიიღება გაცილებით უფრო რთული სურათი, რომელიც შეიცავს მთავარ მაქსიმუმებსა და მინიმუმებს და აგრეთვე დამატებით მაქსიმუმებს და მინიმუმებს.

მთავარი მაქსიმუმები მიიღება იქ, სადაც ხვრელები აძლიერებენ ერთმანეთის მოქმედებას. დავადგინოთ მთავარი მაქსიმუმების მიღების პირობა. ვთქვათ დიფრაქციის შედეგად სინათლის სხივები განიცდიან φ კუთხით გადახრას (ნახ.I).



ნახ.1

ნახაზიდან ჩანს, რომ მეზობელ ხვრელებიდან გამოსულ ტალღებს შორის წარმოიშობა სვლათა სხვაობა

$$\Delta = d \sin\varphi$$

d –დიფრაქციული მესრის პერიოდია.

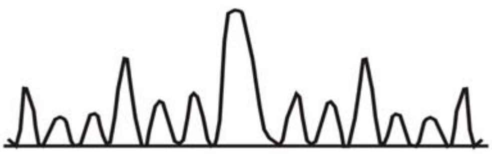
ცნობილია, რომ ტალღები გააძლიერებენ ერთმანეთს თუ მათ შორის სვლათა სხვაობა ლუწი ნახევარტალღის ჯერადია, ე.ი.

$$\Delta = 2K\frac{\lambda}{2} = K\lambda$$

მაშასადამე მთავარი მაქსიმუმები მიიღება იქ, სადაც

$$d \sin\varphi = K\lambda \qquad (1)$$

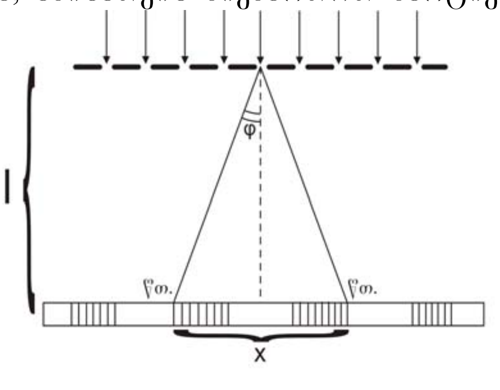
მთავარ მაქსიმუმებს შორის მოთავსებულია დამატებითი მაქსიმუმები და მინიმუმები. მათი რიცხვი განისაზღვრება ხვრელთა რაოდენობით დიფრაქციულ მესერში. კერძოდ, თუ მესერი შეიცავს N ხვრელს მაშინ მიიღება $N-2$ დამატებითი მაქსიმუმები და $N-1$ დამატებითი მინიმუმი (ნახ.2).



ნახ.2

ამ ნახაზზე ნაჩვენებია შემთხვევა, როცა $N = 4$.

(I) ფორმულის გამოყენებით შეგვიძლია განვსაზღვროთ სინათლის ტალღის სიგრძე, თუ ცნობილია მესრის პერიოდი და მიმართულება (φ) ერთ–ერთ მათავარ მაქსიმუმზე. მაგრამ უმჯობესია დავადგინოთ პრაქტიკულად უფრო გამოსადეგი ფორმულა, ამისათვის მივმართოთ მარტივ ნახაზს (ნახ. 3)



ნახ.3

l – მანძილია მესრიდან ეკრანამდე: x -- მანძილი წითელ ზოლებს შორის K –ური რიგის სპექტრებში. (ან სხვა ფერის ზოლებს შორის).
ნახაზიდან ჩანს, რომ

$$\sin\varphi = \frac{x}{2l}$$

ამიტომ (I) ფორმულა ასე ჩაიწერება:

$$\frac{xd}{2l} = \kappa\lambda$$

აქედან

$$\lambda = \frac{xd}{2\kappa l}$$

ეს ფორმულა საფუძვლად უდევს სინათლის ტალღის სიგრძის განსაზღვრას დიფრაქციული მესრის გამოყენებით.

საჭირო ხელსაწყოები

1. საპროექციო აპარატი;
2. სპეციალური ეკრანი სახაზავით;
3. დიფრაქციული მესერი
4. დიაფრაგმა.

ცდის თანმიმდევრობა

1. ჩართეთ საპროექციო აპარატი;
2. დაარეგულირეთ დიაფრაგმის ჭრილი ისე, რომ ინტერფერენციულ სურათში მკაფიოდ ჩანდეს პირველი და მეორე რიგის სპექტრები ($K = 1$ და $K = 2$);
3. გაზომეთ მანძილი დიფრაქციულ მესერსა და ეკრანს შორის (l).
4. გაზომეთ მანძილი წითელ ზოლებს შორის ჯერ პირველი რიგის, შემდეგ მეორე რიგის სპექტრებში (x)
5. იგივე გაზომვები გაიმეორეთ იისფერი ზოლების შემთხვევაში;
6. იანგარიშეთ ტალღის სიგრძის საშუალო მნიშვნელობები;
7. შეადარეთ მიღებული შედეგები ცხრილიდან ამოწერილ მნიშვნელობებს. იანგარიშეთ აბსოლუტური და ფარდობითი ცდომილობები.

დაკვირვებათა ცხრილი

K	d მმ.	l მმ.	x მმ.	λ 10^{-3} მმ.	λ საშ.	λ	$\Delta\lambda$ ცხრ. 10^{-3} მმ.	$\frac{\Delta\lambda}{\lambda}$	სინათლის ფერი
1									
2									
1									
2									

$$\lambda = \frac{xd}{2Kl}$$

საკონტროლო კითხვები

1. რას ეწოდება დიფრაქციული მესერი? როგორ მზადდება იგი? რას ეწოდება დიფრაქციული მესრის პერიოდი?
2. ჩამოაყალიბეთ მთავარი მაქსიმუმების მიღების პირობა.
3. რამდენი დამატებითი მაქსიმუმი და მინიმუმი თავსდება ორ მთავარ მაქსიმუმებს შორის?
4. დახაზეთ დიფრაქციული სურათი $N = 6$ (ან სხვა რიცხვი) ხვრელის შემთხვევისათვის.
5. გასამეორებლად: რას ეწოდება ინტერფერენცია, დიფრაქცია, კოჰერენტული ტალღები?

ინტენსივობის განაწილების შესწავლა დიფრაქციულ სურათში*

სინათლის დიფრაქცია ეწოდება სინათლის ტალღის წრფივი გავრცელებიდან გადახრას ან უბრალოდ მის მიერ დაბრკოლების შემოვლას. დიფრაქცია – სუფთა ტალღური მოვლენაა. აღსანიშნავია, რომ დიფრაქციასა და ინტერფერენციას შორის არავითარი არსებითი ფიზიკური განსხვავება არ არსებობს. საქმე იმაშია, რომ თუ წყაროების რაოდენობა მცირეა (მაგალითად ორი), მაშინ ურთიერთქმედების შედეგს უფრო ხშირად ინტერფერენციას უწოდებენ, მრავალი წყაროს შემთხვევაში კი – დიფრაქციას.

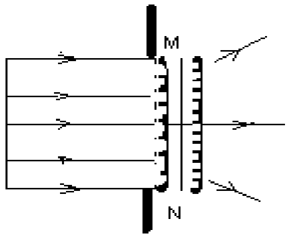
დიფრაქციის მოვლენა მარტივად აიხსნება ჰიუგენს-ფრენელის პრინციპით. ეს პრინციპი ორი ნაწილისაგან შედგება. პირველი ნაწილი განსაზღვრავს ტალღის გავრცელებას (ჰიუგენსის პრინციპი), მეორე ნაწილი – ტალღის ინტენსივობას (ფრენელის პრინციპი). ეს პრინციპი ასე შეგვიძლია ჩამოვაყალიბოთ:

I. დროის მოცემულ მომენტში ტალღური ზედაპირის ყველა წერტილი შეიძლება ჩავთვალოთ მეორადი ტალღების ელემენტალურ წყაროებად, ხოლო მათი მომვლები მოგვცემს დროის შემდგომ მომენტისათვის ტალღური ზედაპირის ახალ მდებარეობას.

II. იმისათვის, რომ დავადგინოთ ტალღის ინტენსივობა ნებისმიერ წერტილში, უნდა შევკრიბოთ მეორადი წყაროებიდან მოსული ტალღები მათ შორის ფაზათა სხვაობის გათვალისწინებით.

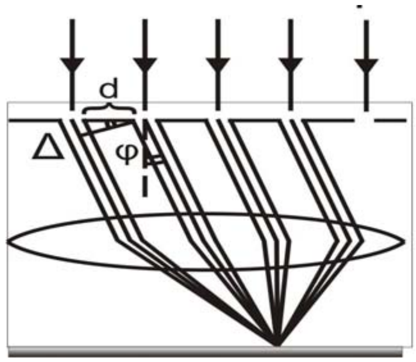
განვიხილოთ შემდეგი მაგალითი. ვთქვათ სინათლის ბრტყელი ტალღა (სინათლის პარალელური კონა) ეცემა ვიწრო ხვრელს. ჰიუგენსის პრინციპის თანახმად ხვრელის ყველა წერტილი გახდება სინათლის მეორად წყაროდ და გამოასხივებს სფერულ ტალღებს (ნახ. I). მათი მომვლები MN – მოგვცემს ტალღური ზედაპირის ახალ მდებარეობას. ამ პრინციპის მრავალჯერადი გამოყენებით ჩვენ დავადგენთ ტალღის გავრცელების მიმართულებას. (ნახაზზე ეს პრინციპი 2–ჯერ არის გამოყენებული). როგორც ვხედავთ სინათლე შეიჭრა ჩრდილის არეში, გადაიხარა ანუ განიცადა დიფრაქცია.

დიფრაქციას ბრტყელ ტალღებზე ფრაუნჰოფერის დიფრაქცია ეწოდება, ხოლო სფერულ ტალღებზე – ფრენელის დიფრაქცია. ზემოთ ჩვენ განვიხილეთ ფრაუნჰოფერის დიფრაქციის თვისობრივი მხარე. ახლა გავარჩიოთ მისი რაოდენობრივი მხარე.



ნახ.1

ვთქვათ ხვრელში გასვლის შედეგად სინათლის სხივები φ– კუთხით გადაიხრებიან. გადახრილ სხივებს დავუხვედროთ შემკრები ლინზა, რომელიც მათ შეკრებს P– წერტილში (ნახ. 2). დავადგინოთ სინათლის ინტენსივობა ამ წერტილში.



ნახ.2

ამისათვის AB ხვრელი წარმოვადგინოთ მრავალი წყაროს ერთობლიობად. ამ წყაროებიდან გამოსულ ტალღებს შორის სვლათა სხვაობა დაწყებული A– წერტილიდან თანდათან იზრდება და აღწევს მაქსიმალურ მნიშვნელობას B წერტილში. ნახაზიდან ჩანს, რომ ეს მნიშვნელობა ტოლია

$$\Delta = b\sin\varphi \qquad (1)$$

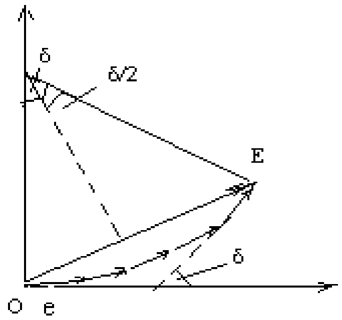
სადაც b ხვრელის სიგანეა

ამ სვლათა სხვაობას შეესაბამება ფაზათა სხვაობა

$$\delta = 2\pi\frac{\Delta}{\lambda} \qquad (2)$$

თითოეული წყაროს მიერ გამოსხივებული ტალღის ელექტრული ველის დაძაბულობა $\vec{e}$ ვექტორით წარმოვადგინოთ და შევაჯამოთ ისინი. შეჯამების დროს გავითვალისწინოთ ტალღებს შორის ფაზათა სხვაობის ზრდა. ფაზა – ეს იგივე კუთხეა, რომელსაც $\vec{e}$ ვექტორი ადგენს გარკვეულ ღერძთან. ამიტომ ფაზის ზრდა კუთხის ზრდას ნიშნავს.

ამის გათვალისწინებით $\vec{e}$ ვექტორების შეჯამების შედეგი ასეთი ვექტორული დიაგრამით გამოისახება (ნახ. 3)



ნახ.3

როგორც ნახაზიდან ჩანს, ჯამური ელექტრული ველის დაძაბულობა $\boldsymbol{E}$ ტოლი იქნება:

$$E = 2R\sin\frac{\delta}{2}$$

მაგრამ $\boldsymbol{\delta = \frac{O\breve{B}}{R}}$ ანუ $\boldsymbol{R = \frac{O\breve{B}}{\delta}}$ მაშინ გვექნება:

$$E = O\breve{B}\frac{\sin\frac{\delta}{2}}{\frac{\delta}{2}} \qquad (3)$$

დავადგინოთ $\boldsymbol{O\breve{B}}$ ფიზიკური შინაარსი. ვთქვათ $\boldsymbol{\varphi = 0}$, ე.ი. ვიხილავთ ინტენსივობას ცენტრალურ წერტილიში, მაშინ (I) ფორმულის თანახმად $\boldsymbol{\Delta \to 0}$ და მაშასადამე $\boldsymbol{\delta \to 0}$. ამ პირობებში (3) ფორმულა მოგვცემს ინტენსივობას ცენტრალურ წერტილში, რომელიც $\boldsymbol{E_0}$ აღვნიშნოთ. მაშინ გვექნება:

$$\boldsymbol{E_0 = O\breve{B}}$$

მაშასადამე

$$\boldsymbol{E = E_0\frac{\sin\frac{\delta}{2}}{\frac{\delta}{2}}}$$

ავიყვანოთ განტოლების ორივე მხარე კვადრატში და შემოვიღოთ აღნიშვნა $\boldsymbol{\frac{\delta}{2} = x}$,

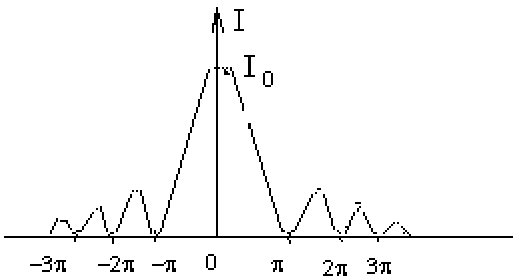
მივიღებთ:

$$E^2 = E_0{}^2\frac{\sin^2 x}{x^2}$$

გავიხსენოთ, რომ ტალღის ინტენსივობა მისი ელექტრული ველის დაძაბულობის კვადრატის პროპორციაა. ამიტომ საბოლოოდ ვიღებთ:

$$I = I_o\frac{\sin^2 x}{x^2}$$

ამ ფუნქციას აქვს შემდეგი ლამაზი გრაფიკი. იგი გამოსახავს ინტენსივობის გამოსახულებას დიფრაქციულ სურათში (ნახ.4)



ნახ.4

საჭირო ხელსაწყოები

1. სინათლის წყარო – ლაზერი.
2. დიაფრაგმა ვიწრო ხვრელით.
3. ფოტოდიოდი
4. მიკროამპერმეტრი
5. ეკრანი

ცდის მსვლელობა

1. ლაზერსა და ეკრანს შორის მოათავსეთ დიაფრაგმა ვიწრო ხვრელით. დიაფრაგმა ლაზერთან ახლოს უნდა იყოს. ეკრანის გადაადგილებით მიაღწიეთ იმას, რომ დიფრაქციული სურათი (წითელი ზოლები) იკავებდეს დაახლოებით 10 სმ სიგრძეში.
2. ხრახნის საშუალებით გადაადგილეთ ფოტოდიოდი ცენტრალური მაქსიმუმის არეში და მიაღწიეთ მიკროამპერმეტრის მაქსიმალურ ჩვენებას. (სკალის გადაფარვის შემთხვევაში შეამცირეთ მიკროამპერმეტრის მგრძნობიარობა). მიკროამპერ-მეტრის ჩვენება სინათლის ინტენსივობის პროპორციულია და მის ტოლად შეიძლება ჩაითვალოს. ჩაიწერეთ მიკროამპერმეტრის მაქსი-მალური ჩვენება (I_0).
3. ხრახნის თითო სრული შემობრუნებით გადააადგილეთ ფოტოდიოდი დიფრაქციული სურა-თის გასწვრივ მარჯვნივ და ყოველი შემობრუნების შემდეგ ჩაიწერეთ მიკროამპერმეტრის ჩვენება. გაზომვები აწარმოეთ ვიდრე არ გაივლით 2–3 მინიმუმს.
4. დააბრუნეთ ფოტოდიოდი პირვანდელ მდგომა-რეობაში და ჩაატარეთ იგივე გაზომვები ფოტოდიოდის მარცხნივ გადაადგილებით.
5. მონაცემები შეიტანეთ ცხრილში.
6. დახაზეთ ინტენსივობის განაწილების შესაბამისი გრაფიკი. ამისათვის აბსცისათა ღერძზე გადაზომეთ მანძილი ცენტრალური მაქსიმუმიდან პირობით ერთეულებში (ხრახნის შემობრუნების რაოდენობა), ხოლო ორდინატთა ღერძზე – სინათლის ინტენსივობა (I). მასშტაბი აირჩიეთ მონაცემების მიხედვით.
7. თქვენ მიერ მიღებული გრაფიკი უნდა შეესაბამებოდეს თეორიულ გრაფიკს, რომელიც მოყვანილია ამოცანის აღწერილობაში.

დაკვირვებათა ცხრილი

ხრახნის შემობრუნების რაოდენობა (მარჯვნივ)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	...

მიკროამპერმეტრის ჩვენება										
ხრახნის შემობრუნების რაოდენობა (მარცხნივ)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	...
იკროამპერმეტრის ჩვენება										

საკონტროლო კითხვები

1. რას ეწოდება დიფრაქცია?
2. რა სახის დიფრაქციები იცით?
3. რის საშუალებით გვაძლევს ჰიუგენსის პრინციპი? ფრენელის პრინციპი?
4. ჩამოაყალიბეთ ჰიუგნსის პრინციპი.
5. ახსენით დიფრაქციის მოვლენა ნახაზის საშუალებით.
6. განათებულობა და სიბნელე მიიღება დიფრაქციული სურათის ცენტრში? დახაზეთ დიფრაქციულ სურათში ინტენსივობის განაწილების შესაბამისი გრაფიკი.

ფრაუნჰოფერის დიფრაქციის შესწავლა ორი ხვრელიდან*

დიფრაქცია ეწოდება სინათლის ტალღის სწორხაზოვანი გავრცელებისაგან გადახრას ან უბრალოდ მის მიერ დაბრკოლების შემოვლას. ბუნებრივ პირობებში ჩვენ ამას ვერ ვამჩნევთ და დარწმუნებული ვართ, რომ სხივი ყოველთვის სწორხაზოვნად ვრცელდება, მაგრამ გაატარეთ სინათლე ვიწრო ხვრელში. დაინახავთ, რომ განათებული ვიწრო ხვრელის ნაცვლად ეკრანზე მიიღება საკმაოდ გაშლილი სურათი. რომელიც შეიცავს განათებულს და ბნელ უბნებს. სხივის კონა გაიშალა. ეს დიფრაქციის გამო მოხდა.

მაგრამ რამ გამოიწვია ზოგიერთი უბნების დაბნელება? საქმე იმაშია, რომ ხვრელებიდან გამოსული სინათლის სხივები ხან აძლიერებენ ერთმანეთს (განათებული უბანი), ხან ასუსტებენ (ბნელი უბნები) როგორც ვიცით ამ მოვლენას ინტერფერენცია ეწოდება ტალღები აძლიერებენ ერთმანეთს, თუ მათ შორის სვლათა სხვაობა (მანძილთა სხვაობა) ლუწი ნახევრატალღის ჯერადია

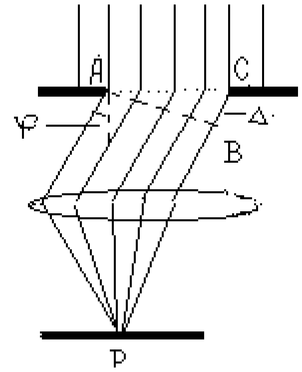
$$\Delta = 2K\frac{\lambda}{2}$$

და ასუსტებენ ერთმანეთს, თუ სვლათა სხვაობა კენტი ნახევარტალღის ჯერადია:

$$\Delta = (2K+1)\frac{\lambda}{2}$$

განვიხილოთ წინასწარ დიფრაქცია ერთ ხვრელზე. ვთქვათ ***b*** სიგანის მქონე ვიწრო ხვრელს ეცემა პარალელური კონა ანუ ბრტყელი ტალღა. ასეთ კონას იძლევა ლაზერი. დიფრაქციას ბრტყელ ტალღებზე ფრაუნჰოფერის დიფრაქცია ეწოდება.

განვიხილოთ φ კუთხით გადახრილი სხივები (ნახ. I) დავუხვედროთ მათ ლინზა და შევკრიბოთ ეკრანის P წერტილში.



ნახ.1

A წერტილიდან მარჯვენა კიდურა სხივზე დავუშვათ პერპენდიკულარი AB. ამით დავადგენთ კიდურა სხივებს შორის სვლათა სხვაობას (Δ) დავყოთ BC მონაკვეთი $\frac{\lambda}{2}$–ის ტოლა მონაკვეთებად და გავავლოთ AB წრფის პარალელური წრფეები.

AC ხვრელი დაიყოფა შესაბამისი რაოდენობის ზონებად. ცხადია, რომ ყოველი მეზობელი ზონიდან გამოსული სხივები ახშობენ ერთმანეთს, რადგან მათ შორის სვლათა სხვაობა $\frac{\lambda}{2}$–ს ტოლია (ერთი ნახევარტალღა). ასეთ ზონებს ფრენელის ზონები ეწოდება.

თუ ხვრელში თავსდება ლუწი რაოდენობის ზონა, მაშინ ისინი წყვილ–წყვილად ახშობენ ერთმანეთს და P წერტილში მიიღება სიბნელე (განათებულობის მინიმუმი). მაშასადამე, მინიმუმის პირობა იქნება

$$\Delta = 2K\frac{\lambda}{2} = K\lambda$$

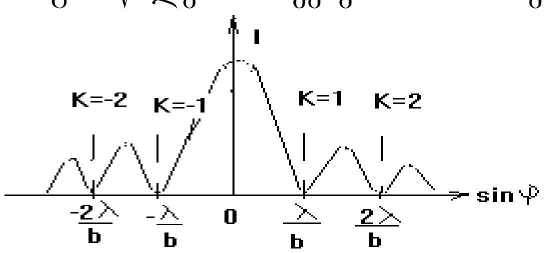
როგორც ნახაზიდან ჩანს

$$\Delta = b\sin\varphi \qquad (b = AC)$$

ამიტომ მინიმუმის პირობა ასე ჩაიწერება:

$$b\sin\varphi = K\lambda$$

K მთელი რიცხვია (დადებითი ან უარყოფითი). თუ $K = +1,$, მაშინ ეკრანის ცენტრის სიმეტრიულად მიიღება I რიგის მინიმუმები. ცხადია მათ შორის, ცენტრში იქნება მაქსიმუმი (სხვანაირად არ შეიძლება 1). თუ $K = +2$, მიიღება II რიგის მინიმუმი და ასე შემდეგ. მინიმუმებს შორის იქნება მოთავსებული მაქსიმუმები. მიიღება ე.წ. დიფრაქციული სურათი. ამ სურათში სინათლის ინტენსივობის განაწილება ნაჩვენებია ნახაზზე (ნახ. 2).

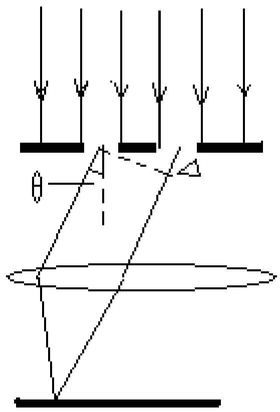


ნახ.2

ახლა განვიხილოთ დიფრაქცია ორ ხვრელზე. დიფრაქციული სურათი ამ შემთხვევაში განისაზღვრება ორივე ხვრელის ერთდროული მოქმედებით. ჯერ ერთი, თითოეული ხვრელი დამო უკიდებლად ქმნის საკუთარ დიფრაქციულ სურათს და ეს სურათები ერთმანეთისაგან არ განსხვავ-დებიან. მათი ზედდების შედეგად მიიღება ნახ. 2 ზე გამოსახული სურათი. ამ სურათში შემავალ მაქსიმუმებს და მინიმუმებს პირველადი მაქსიმუმები და მინიმუმები ეწოდება.

მეორე მხრივ ადგილი აქვს ხვრელებიდან გამოსული სხივების ინტერფერენციას. ვთქვათ თითოეული ხვრელის სიგანეა კვლავ $\boldsymbol{b}$, ხოლო მათ შორის მანძილი $\boldsymbol{d}$. განვიხილოთ $\boldsymbol{\theta}$ კუთხით გადახრილი სხივები (ნახ. 3). ეს სხივები გააძლიერებენ ერთმანეთს, თუ მათ შორის სვლათა სხვაობა

$$\boldsymbol{\Delta = 2n\frac{\lambda}{2} = n\lambda}$$



ნახ.3

როგორც ნახაზიდან ჩანს

$$\boldsymbol{\Delta = d\sin\theta}$$

ამიტომ მაქსიმუმის პირობა ასე ჩაიწერება:

$$\boldsymbol{d\sin\theta = n\lambda} \qquad (2)$$

ამ მაქსიმუმებს მთავარი მაქსიმუმები ჰქვია. ეს მაქსიმუმები უფრო ვიწრონი არიან, რადგან $d > b$ შეიძლება დამტკიცდეს, რომ პირველადი ცენტრა-ლური მაქსიმუმის არეში თავსდება $\boldsymbol{N = 2n - 1}$ მთავარი მაქსიმუმი, სადაც

$$\boldsymbol{n = \frac{d}{b}}$$

აქედან

$$\boldsymbol{b = \frac{d}{n} = \frac{2d}{N+1}} \qquad (3)$$

დავადგინოთ კავშირი ორ მეზობელ მთავარ მაქსიმუმს შორის. ვთქვათ $\boldsymbol{n}$–ური მაქსიმუმი დაშორებულია ცენტრიდან $\boldsymbol{x_n}$ მანძილით. მაშინ (თუ $\boldsymbol{l}$ მანძილია ეკრანამდე)

$$\sin\theta = \frac{x_n}{l}$$

ამიტომ (2) ფორმულიდან მივიღებთ:

$$\boldsymbol{\frac{dx_n}{l} = n\lambda}$$

$$\boldsymbol{x_n = \frac{n\lambda l}{d}}$$

მეზობელი მაქსიმუმის კოორდინატი იქნება $x_{n+1} = \frac{(n+1)\lambda l}{d}$. მაშინ

$$\Delta x = x_{n+1} - x_n$$

$$\Delta x = \frac{\lambda l}{d}$$

ამ სიდიდეს ინტერფერენციული ზოლის სიგანე ეწოდება. აქედან:

$$\lambda = \frac{d}{l} \cdot \Delta x \qquad (4)$$

საჭირო ხელსაწყოები

1. ლაზერი
2. დიაფრაგმა ორი ხვრელით
3. ეკრანი.

ცდის თანმიმდევრობა

1. ჩართეთ ლაზერი და გაატარეთ სინათლის სხივი დიაფრაგმაში, რომელიც შეიცავს ორ ხვრელს. დიაფრაგმიდან არა ნაკლებ 50სმ. მანძილზე მოათავსეთ ეკრანი. დიაფრაგმის შემობრუნებით ჰორიზონტალურ სიბრტყეში მიაღწიეთ ეკრანზე დიფრაქციული სურათის მკაფიო გამოსახულებას.
2. დაითვალეთ რამდენი მთავარი მაქსიმუმია მოთავსებული პირველადი ცენტრალური მაქსიმუმის არეში (N).
3. იცით რა ხვრელებს შორის – მანძილი (აწერია დიაფრაგმას), (3) ფორმულის საფუძველზე იანგარიშეთ ხვრელის სიგანე (b).
4. გაზომეთ მანძილი კიდურა მთავარ მაქსიმუმებს შორის (x). იანგარიშეთ ინტერფერენციული ზოლის სიგანე

$$\Delta x = \frac{x}{N-1}$$

5. გაზომეთ მანძილი დიაფრაგმასა და ეკრანს შორის (l).
6. იანგარიშეთ სინათლის ტალღის სიგრძე (λ).
7. ბოლო ცდა გაიმეორეთ 3–ჯერ ეკრანის სხვადასხვა მდებარეობისათვის.
8. იანგარიშეთ სინათლის ტალღის საშუალო მნიშვნელობა.
9. დაადგინეთ აბსოლუტური და ფარდობითი ცდომილობები.

დაკვირვებათა ცხრილი

№	$d = 0.15$ მმ.		$N =$		$b =$ მმ.	
	მანძილი კიდურა მაქსიმუმებს შორის x მმ.	ზოლის სიგანე Δx მმ.	სინათლის ტალღის სიგრძე λ მმ.	λ საშ.	$(\Delta\lambda)$ საშ.	$\frac{(\Delta\lambda)}{\lambda} \cdot 100\%$

$$b = \frac{2d}{N+1}$$

$$\lambda = \frac{d}{l} \cdot \Delta x$$

საკონტროლო კითხვები

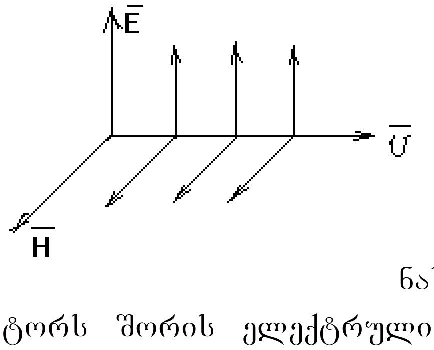
1. რას ეწოდება დიფრაქცია?
2. რა პირობებში ამჟღავნებს სინათლე დიფრაქციას?
3. რა არის ინტერფერენცია? ჩამოაყალიბეთ მაქსიმუმის და მინიმუმის პირობები.
4. დახაზეთ ინტენსივობის განაწილების გრაფიკი დიფრაქციის შემთხვევაში ერთი ხვრელიდან.
5. რატომ არიან მთავარი მაქსიმუმები პირველად მაქსიმუმებზე უფრო ვიწრო?
6. რამდენი მთავარი მაქსიმუმი მოთავსდება ცენტრალური პირველადი მაქსიმუმის არეში, თუ ხვრელებს შორის მანძილი მათ სიგანეზე 3–ჯერ მეტია?

მალიუსის კანონის ექსპერიმენტული შემოწმება

სინათლე წარმოადგენს ელექტრომაგინტურ ტალღას. რა არის ელექტრომაგნიტური ტალღა?

ელექტრომაგნიტიზმიდან ვიცით, რომ ცვლადი ელექტრული ველი ქმნის ცვლად მაგნიტურ ველს და პირიქით. წარმოიშობა ელექტრომაგნიტური ველი. თუ ამ ველს მიეცემა სივრცეში გავრცელების საშუალება, იტყვიან რომ სივრცეში ვრცელდება ელექტრომაგნიტური ტალღა.

სინათლე ელექტრომაგნიტური ტალღის ნაირსახეობას წარმოადგენს. სინათლის ტალღა განივია. მასში ელექტრული ველის დაძაბულობის $-\vec{E}$ ვექტორი და მაგნიტური ველის დაძაბულობის $\vec{H}$ ვექტორი ტალღის გავრცელების მიმართულების პერპენდიკულარულად ირხევა. ამასთან ერთად ყოველთვის $\vec{E} \perp \vec{H}$ (ნახ. I)



ნახ.1

ამ ორ ვექტორს შორის ელექტრული ველის დაძაბულობის $\vec{E}$– ვექტორს უფრო დიდი როლი ენიჭება, რადგან ნივთიერებასთან ურთიერთქმედების დროს ელექტრული ველი უფრო ძლიერად მოქმედებს ნივთიერებაზე, ვიდრე მაგნიტური ველი. ამიტომ შემდგომში მხოლოდ $\vec{E}$ ვექტორზე გავამახვილებთ ყურადღებას.

ბუნებრივ სინათლეში ელექტრული ველის დაძაბულობის ვექტორის რხევა ქაოსურად წარმოებს. არცერთ მიმართულებას არ ენიჭება რაიმე უპირატესობა მაგრამ შესაძლებელია ამ რხევების მოწესრიგება.

სინათლის ტალღაში ელექტრული (ან მაგნი-ტური) რხევების მოწესრიგებას პოლარიზაცია ეწოდება.

თუ პოლარიზებულ სინათლეში $\vec{E}$ ვექტორი გარკვეულ სიბრტყეში ირხევა და ეს სიბრტყე არ იცვლის ორიენტაციას სივრცეში, ასეთ სინათლეს ბრტყლად პოლარიზებული ეწოდება. თუ $\vec{E}$ ვექტორი იცვლის მიმართულებას სივრცეში, მაგრამ ისე, რომ მისი წვერო შემოწერს წრეწირს, მაშინ სინათლეს წრიულად პოლარიზებული ეწოდება.

განვიხილოთ როგორ მიიღება პოლარიზებული სინათლე. ცნობილია, რომ კრისტალებში სინათლის გავრცელების სიჩქარე სხვადასხვაა სხვადასხვა მიმართულებით. აღმოჩნდა, რომ არსებობს კრისტალები, რომლებიც “გრძნობენ” ვექტორის რხევასაც. ასეთებია მაგალითად: ტურმალინი, გერაპატიტი და სხვა.

ასეთ კირსტალებში არსებობს განსაკუთრებული მიმართულება (ან რამდენიმე მიმართულება), რომლის გასწვრივ სინათლის სიჩქარე არაა დამოკიდებული ვექტორის ორიენტაციაზე. ამ მიმართულებას კრისტალის ოპტიკურის ღერძი ეწოდება. ამ ღერძს გააჩნია საინტერესო და მეტად მნიშვნელოვანი თვისება. თუ კრისტალში გაივლის სინათლე, რომლის $\vec{E}$ ვექტორი ამ ღერძის პარალელურად ირხევა, ასეთი სინათლე შთაინთქმება (არ გამოვა კრისტალიდან), ხოლო თუ $\vec{E}$ ვექტორი ამ ღერძის პერპენდიკულარულად ირხევა, მაშინ სინათლე კრისტალში თავისუფლად გადის.

მაშასადამე ასეთ კრისტალებში სინათლის გატარებისას, ჩვენ მივიღებთ ბრტყლად პოლარიზებულ სინათლეს. ასეთ კრისტალებს პოლარიზატორები ეწოდება.

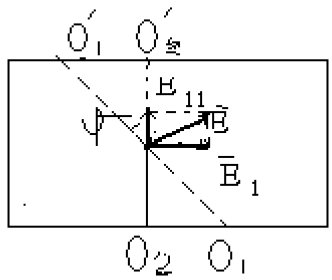
პოლარიზებული სინათლის მისაღებად იყენებენ აგრეთვე პოლაროიდებს. პოლაროიდი წარმოადგენს გერაპატიტის კრისტალის თხელ აფსკს, რომელიც წასმულია ცელულოიდზე ან მინის ფირფიტაზე.

განვიხილოთ პოლარიზატორიდან გამოსული სინათლის ინტენსივობა. თუ მასში გავატარებთ ბუნებრივ სინათლეს, მაშინ, ცხადია, გამოსული სინათლის ინტენსივობა (I) შესული სინათლის ინტენსივობის (I_0) ნახევრის ტოლი იქნება (ნახევარი შთაინთმება, ნახევარი გამოვა). ამიტომ

$$I = \frac{I_0}{2}$$

ახლა განვიხილოთ პოლარიზებული სინათლის გავლა მეორე პოლარიზატორში. ამ უკანასკნელს ანალიზატორი ეწოდება.

ვთქვათ პოლატიზატორის $O_1 O_1'$ ოპტიკური ღერძი ადგენს φ კუთხეს ანალიზატორის $-O_2 O_2'$ ღერძთან. პოლარიზაციის თვისებიდან გამომდინარე ცხადია, რომ პოლარიზებული სხივის $\vec{E}$ ვექტორი $O_1 O_1'$ ღერძის პერპენდიკულარული იქნება. დავშალოთ $\vec{E}$ ვექტორი ორ მდგენელად: E_I და E_{11} (ნახ. 2).



ნახ.2

ანალიზატორი გაატარებს მხოლოდ E_1 მდგენელს, რომელიც $O_2 O_2'$ ღერძის პერპენდიკულარულია. ამიტომ გამოსული სინათლის ელექტრული ველის დაძაბულობა ტოლი იქნება:

$$E_1 = E\cos\varphi$$

ამ ტოლობის ორივე მხარე ავიყვანოთ კვადრატში. მივიღებთ:

$$E_1^2 = E^2\cos^2\varphi$$

გავიხსენოთ, რომ სინათლის ტალღის ინტენსივობა პროპორციულია მისი ელექტრული ველის დაძაბულობის კვადრატისა. მაშინ $E_1^2 \sim I$ და წარმოადგენს გამოსული სინათლის ინტენსივობას, ხოლო $E^2 \sim I_0$ და შესული სინათლის ინტენსივობას გამოსახავს ამის გათვალისწინებით მივიღებთ:

$$I = I_0\cos^2\varphi$$

ამ დამოკიდებულებას მალიუსის კანონი ეწოდება.

საჭირო ხელსაწყოები

1. სინათლის წყარო
2. პოლარიზატორი და ანალიზატორი
3. ფოტოელემენტი
4. მიკროამპერმეტრი

ცდის თანმიმდევრობა

1. დააყენეთ სინათლის წყარო ისე, რომ მისგან გამოსული სხივები გადიოდეს პოლარიზატორში, ანალიზატორში და ხვდებოდეს ფოტოელემენტს.
2. ანალიზატორის ლიმბი (ისარი) დააყენეთ 0 – ზე.
3. პოლარიზატორის ბრუნვით მიაღწიეთ მიკროამპერმეტრის ისრის მაქსიმალურ გადახრას. (ამ დროს პოლარიზატორის და ანალიზატორის ოპტიკური ღერძები პარალელური იქნება) თუ მიკროამპერმეტრის ისარი გადასცდება სკალას, სინათლის წყაროს კვების ბლოკის სახელურით შეამცირეთ სინათლის ძალა.
4. აბრუნეთ ანალიზატორი და ყოველი 10^0–ით შემობრუნების შემდეგ ჩაიწერეთ მიკროამპერმეტრის ჩვენება (I). ეს ჩვენება გამოსული სინათლის ინტენსივობის პროპორციულია და პირობითად შეიძლება ჩაითვალოს ინტენსივობის ტოლად. მონაცემები შეიტანეთ ცხრილში.
5. იანგარიშეთ $\cos\varphi$ და $\cos^2\varphi$–ს მნიშვნელობები. შედეგები შეიტანეთ ცხრილში.
6. ააგეთ I–სა და $\cos^2\varphi$–ს შორის დამოკიდებულების შესაბამისი გრაფიკი/. თუ ამოცანა სწორედ გაქვთ შესრულებული უნდა მიიღოთ წრფე, რადგან მალიუსის კანონის თანახმად ეს დამოკიდებულება წრფივია.

დაკვირვებათა ცხრილი

φ	0^0	10^0	20^0	30^0	40^0	50^0	60^0	70^0	80^0	90^0
$\cos\varphi$										
$\cos^2\varphi$										
$I\mu A$										

$$I = I_0 \cos^2 \varphi$$

საკონტროლო კითხვები

1. რას ეწოდება სინათლის პოლარიზაცია?
2. რით განსხვავდება ბუნებრივი სინათლე პოლარიზებულისაგან?
3. რა სახის პოლარიზაციები იცით?
4. კრისტალების რა თვისება უდევს საფუძვლად პოლარიზებული სინათლის მიღებას?
5. დახაზეთ მალიუსის კანონის გამოყვანისათვის საჭირო ნახაზი.
6. ჩამოაყალიბეთ მალიუსის კანონი (დაწერეთ ფორმულა).

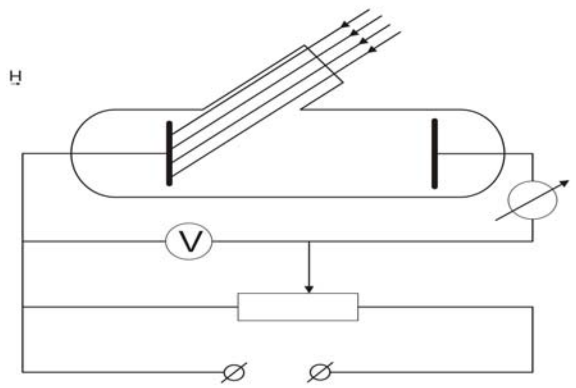
ფოტოეფექტის ძირითადი კანონების შესწავლა

ფოტოელექტრული ეფექტი ანუ ფოტოეფექტი ეწოდება ელექტრონების ამოფრქვევას ლითონიდან მასზე სინათლის მინათების შედეგად, ამოტყორცნილ ელექტრონებს ფოტოელექტრონები ჰქვია.

ფოტოეფექტის მოვლენა აღმოაჩინა ჰერცმა, ხოლო დეტალურად შეისწავლა სტოლეტოვმა.

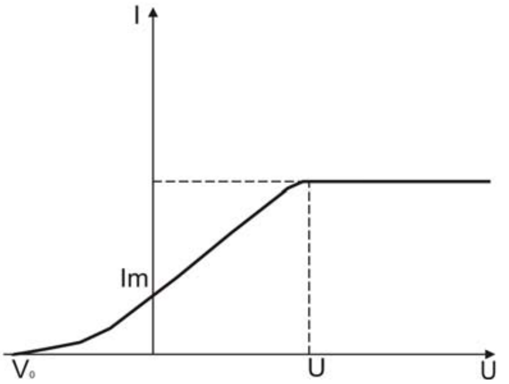
სტოლეტოვის ცდა შემდეგში მდგომარეობს: ავიღოთ მინისაგან დამზადებული მილი და მოვათავსოთ მასში ორი ელექტროდი (ფირფიტა). ამოვტუმბოთ მილიდან ჰაერი. ელექტროდებზე მოვდოთ ძაბვა, რომლის რეგულირება შეიძლება R პოტენციომეტრით, ხოლო გაზომვა $-V$ ვოლტმეტრით. დენის ძალის გასაზომად წრედში ჩავრთოთ მიკროამპერმეტრი (μA). ამპერმეტრის ჩართვა არ ივარგებს, რადგან დენი ძალზე სუსტია/.

მივასხივოთ უარყოფით ელექტროდს (კათოდს) სინათლის კონა. კათოდიდან ამოიფრქვევა ელექტრონები და წრედში აღიძვრება დენი (ნახ. I).



ნახ.1

თუ ძაბვას თანდათან გავზრდით, დენის ძალაც გაიზრდება და გარკვეული U' ძაბვისათვის მაქსიმალურ I_m მნიშვნელობას მიაღწევს. ამ დენს ნაჯერობის დენი ეწოდება. (ნახ.2). დენის ძალის



ნახ.2

დამოკიდებულებას ძაბვაზე ვოლტ–ამპერული მახასიათებელი ეწოდება. გრაფიკიდან ჩანს, რომ წრედში დენი არსებობს მაშინაც, როცა ძაბვა ელექტროდებს შორის ნულის ტოლია, მაგრამ მათ გააჩნიათ გარკვეულ სიჩქარე და ისინი ძაბვის მოდების გარეშეც აღწევენ ანოდს (დადებით ელექტროდს). იმისათვის, რომ შევწყვიტოთ ეს დენი საჭიროა მოვდოთ შემაკავებელი ძაბვა (ე.ი. შევუცვალოთ პოლარობა) ელექტრონების ნაკადი (დენი) შეწყდება მაშინ, როცა ისინი თავიანთ კინეტიკურ ენერგიას მთლიანად დახარჯავენ პოტენციალთა სხვაობის გადასალახავად შესრულებულ მუშაობაზე ამიტომ შეგვიძლია დავწეროთ:

$$\frac{m\upsilon^2}{2} = eU_0$$

e – ელექტრონის მუხტია: U_0 – შემაკავებელი ძაბვა; ***m*** – ელექტრონის მასა.

ეს ფორმულა გვაძლევს საშუალებას, ვიცით რა შემაკავებელი ძაბვა, ვიანგარიშოთ ფოტო ელექტრონების სიჩქარე.

აღწერილი ცდის საფუძველზე სტოლეტოვმა დაადგინა შემდეგი ორი კანონი:

1. **სინათლის მიერ ერთ წამში ლითონის ზედაპირიდან ამოტყორცნილი ელექტრონების რაოდენობა სინათლის ინტენსივობის პროპორციულია.**
2. **ფოტოელექტრონების მაქსიმალური სიჩქარე განისაზღვრება მხოლოდ სინათლის სიხშირით და იზრდება სიხშირის ზრდასთან ერთად.**

პირველი კანონი გასაგებია – დიდი ინტენ-სივობის სინათლე მეტი რაოდენობით ელექტრონებს ამოტყორცნის ლითონიდან. მაგრამ მეორე კანონი გაუგებარია: დიდი ინტენსივობის სინათლე უნდა ანიჭებდეს ელექტრონებს დიდ ენერგიას და მათი სიჩქარეც დიდი უნდა ყოფილიყო. მაგრამ ეს ასე არაა!

სტოლეტოვის მეორე კანონი აინშტაინმა ახსნა (ფოტოეფექტის და დიფუზიის თეორიის შექმნაში მან ნობელის პრემია მიიღო). აინშტაინმა დაუშვა, რომ სინათლე პორციებით ანუ კვანტებით გამოსხივდება. პლანკის ფორმულის თანახმად, თითოეული კვანტის ენერგია ტოლია

$$\varepsilon = h\nu$$

$h-$ პლანკის მუდმივაა; ν − სინათლის სიხშირე.

აინშტაინის აზრით ელექტრონი მთლიანად შთანთქავს კვანტის ენერგიას, მოდის აღგზნებულ მდგომარეობაში და ამოიტყორცნება ლითონიდან. მინიჭებული ენერგიის ხარჯზე იგი ასრულებს ლითონიდან ამოსვლაზე საჭირო მუშაობას (გამოსვლის მუშაობა) და თუ დარჩება ენერგია – შეიძენს კინეტიკურ ენერგიას, ნათქვამი შეგვიძლია გამოვსახოთ აინშტაინის ცნობილი ფორმულით:

$$h\nu = A + \frac{mv^2}{2}$$

$\boldsymbol{A}$ – გამოსვლის მუშაობა. იგი სხვადასხვაა სხვადასხვა ლითონისათვის.

ამ ფორმულიდან ჩანს რომ, რაც მეტია სინათლის სიხშირე მით მეტია ელექტრონების სიჩქარე და სტოლეტოვის კანონიც გასაგები ხდება.

შევნიშნოთ, რომ ფოტოეფექტი იწყება მაშინ, როცა

$$\nu \geq \frac{A}{h}$$

ნაკლები სიხშირის მქონე სინათლე ვერ ამოტყორცნის ელექტრონებს ლითონიდან. მინიმალური სიხშირე, რომლის ზემოთ ადგილი აქვს ფოტოეფექტს განისაზღვრება ფორმულით:

$$\nu_{\min} \approx \frac{A}{h}$$

ამ სიხშირეს ფოტოეფექტის “წითელი საზღვარი” ეწოდება. “წითელი” იმიტომ, რომ მინიმალური სიხშირე წითელი ფერის სინათლეს შეესაბამება.

ფოტოეფექტს მრავალი გამოყენება აქვს. მისი მეშვეობით ამეტყველდა კინო და არსებობს ტელევიზორი. ფოტოეფექტზე დამზადებული ხელსაწ-ყოები – ფოტოელემენტები, ადამიანის თვალის როლს ასრულებენ, მაგრამ გაცილებით მგრძნობიარე და ზუსტი არიან.

საჭირო ხელსაწყოები

1. ფოტოელემენტი
2. გამანათებელი
3. მუდმივი დენის წყარო
4. ვოლტმეტრი და მიკროამპერმეტრი

ცდის თანმიმდევრობა

1. ჩართეთ მუდმივი დენის წყარო. გამანათებელი მიანათეთ ფოტოელემენტს და ვოლტმეტრის ისარი დააყენეთ ნულზე.
2. გაზომეთ მანძილი ფოტოელემენტსა და გამანათებელს შორის /მიახლოებით/ $(\boldsymbol{r})$.
3. 10–10 ვოლტის მომატებით ცვალეთ ძაბვა და ჩაიწერეთ მიკროამპერმეტრის შესაბამისი ჩვენებები.
4. ცდა გაიმეორეთ 3–ჯერ გამანათებლის სხვადასხვა მდებარეობისათვის, ე.ი. სხვადასხვა $\boldsymbol{r}$–სათვის.

5. მონაცემების მიხედვით ააგეთ ერთ ნახაზზე სამივე ვოლტ–ამპერული მახასიათებელი. არწ-მუნდით, რომ გარკვეული ძაბვიდან დენი ნაჯერობას აღწევს. ნაჯერი დენი მით მეტია, რაც მეტია განათებულობა ანუ რაც ნაკლებია ***r*** მანძილი.

დაკვირვებათა ცხრილი

№	r_1		r_2		r_3	
	ძაბვა **U**	დენის ძალა $I(\mu A)$	ძაბვა **U**	დენის ძალა **I**	ძაბვა **U**	დენის ძალა **I**
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						
11						
12						

$$\hbar v = A + \frac{mv^2}{2}$$

საკონტროლო კითხვები

1. რაში მდგომარეობს ფოტოეფექტის მოვლენა?
2. დახაზეთ სტოლეტოვის ცდების შესაბამისი ელექტრული სქემა.
3. რას ეწოდება ვოლტ–ამპერული მახასიათებელი? დახაზეთ მისი გრაფიკი.
4. როგორ შეგვიძლია გავზომოთ ფოტოელექტრონების სიჩქარე?
5. ჩამოაყალიბეთ სტოლეტოვის კანონები.
6. დაასაბუთეთ აინშტაინის ფორმულა და ახსენით სტოლეტოვის II კანონი.
7. როგორ გამოსხივდება და შთაინთქმება სინათლე?
8. როგორ ფერს აირჩევდით ფოტოეფექტის დაკვირვებისათვის?

სპექტროსკოპის დაგრადუირება

ცნობილია, რომ სინათლე მუდმივი სიჩქარით (300000კმ./წმ) ვრცელდება მხოლოდ ვაკუუმში. სხვადასხვა გარემოში სინათლის სიჩქარე სხვადა-სხვაა და განისაზღვრება გარემოს გარდატეხის მაჩვენებლით. გარემოს გარდატეხის მაჩვენებელი გვიჩვენებს თუ რამდენჯერ მცირდება სინათლის სიჩქარე გარემოში ვაკუუმთან შედარებით.

$$n = \frac{c}{\upsilon} \qquad (1)$$

აღსანიშნავია, რომ სინათლის გარდატეხის მაჩვენებელი დამოკიდებულია სინათლის ტალღის სიხშირეზე (ფერზე). ამ დამოკიდებულებას დისპერსია ეწოდება. მათემატიკურად ეს გამოისახება შემდეგი სახით:

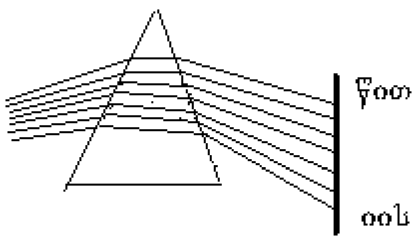
$$n = n(\omega)$$

ჩვეულებრივად გარდატეხის მაჩვენებელი იზდება, როცა იზრდება სინათლის სიხშირე. ამ დამოკიდებულებას ნორმალური დისპერსია ეწოდება. ნორმალური დისპერსიის პირობაა:

$$\frac{dn}{d\omega} > 0$$

ნორმალური დისპერსიის შედეგად სინათლე იშლება ფერებად, როცა იგი გაივლის მაგალითად სამკუთხა პრიზმას. დისპერსიის შედეგად მიღებულ ფერთა ზოლს სპექტრი ეწოდება. სპექტრს უწოდებენ აგრეთვე სიხშირეთა ერთობლიობას, რომელიც ახასიათებს გამოსხივების შემადგენლობას.

პრიზმაში გავლისას ყველაზე მეტად გარდატყდებიან იისფერი სხივები, რადგან მათი სიხშირე დიდია (ნახ. I).



ნახ.1

არის შემთხვევები, როცა სინათლის სიხშირის ზრდასთან ერთად გარდატეხის მაჩვენებელი მცირდება. ასეთ დისპერსიას ანომალური ეწოდება. ანომალური დისპერსიის პირობაა

$$\frac{dn}{d\omega} < 0$$

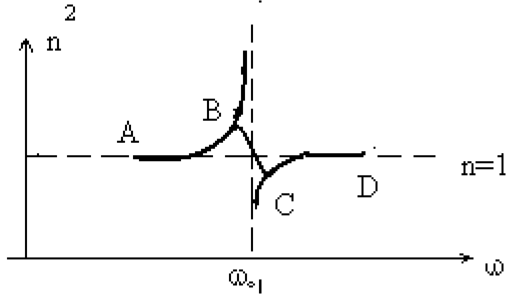
იმისათვის, რომ ავხსნათ ორი სახის დისპერსიის არსებობა, განვიხილოთ დისპერსიის ელემენტალური თეორია. ვიცით, რომ ნივთიერება შედგება ატომებისა და მოლეკულებისაგან, ხოლო მათ შემადგენლობაში შედიან დამუხტული ნაწილაკები ელექრონები და ატომბირთვები. პირველ მიახლოვებაში შეგვიძლია ჩავთვალოთ, რომ ატომბირთვები უძრავი არიან, ხოლო ელექტრონები განიცდიან რხევას. ყოველი ელექტრონი ხასიათდება საკუთარი ω_{0i} რხევის სიხშირით.

როცა სინათლის ტალღა გადის ნივთიერებაში, იგი იწვევს ელექტრონების იძულებით რხევებს. ამის შედეგად წარმოიშობა მეორადი ტალღები. პირველადი და მეორადი ტალღების სუპერპოზიცია გვაძლევს ახალ ტალღას, რომლის სიჩქარე განსხვავდება პირველადი ტალღის სიჩქარისაგან ვაკუუმში. ეს განსხვავება დამოკიდებულია სინათლის სიხშირეზე. მაშინ ცხადია, (1) ფორმულის თანახმად გარდატეხის მაჩვენებელიც იქნება დამოკიდებული სინათლის სიხშირეზე. სწორედ ამაში მდგომარეობს დისპერსიის ფიზიკური შინაარსი.

თუ მოვიშველიებთ ელექტრომაგნეტიზმში განხილულ იძულებითი რხევების თეორიას, მაშინ დავადგენთ, რომ

$$n^2 = 1 + \frac{A}{{\omega_{0i}}^2 - \omega^2}$$

A – მუდმივი სიდიდეა მოცემული ნივთიერები სათვის, ω – სინათლის სიხშირე. (ამ ფორმულის შესაბამისი გრაფიკი გაიხსენეთ სალექციო მასალიდან).(ნახ.2)



ნახ.2

ფორმულიდან ჩანს, რომ თუ $\omega \to \omega_{0i}$; მაშინ $n \to +\infty$ ცხადია სინამდვილეში ეს ასე არ არის. გაანგარიშების დროს ჩვენ უნდა გაგვე-თვალისწინებია ელექტრონების რხევების მილე-ვადობა და შესაბამისად მაშინ ფორმულის სახე შეიცვლებოდა AB და CD უბნებზე ადგილი აქვს ნორმალურ დისპერსიას – გარდატეხის მაჩვენებელი იზრდება სიხშირის ზრდასთან ერთად. BC უბანი შეესაბამება ანომალურ დისპერსიას. ეს უბანი გაცილებით უფრო ვიწროა, ვიდრე ნორმალური დისპერსიის უბნები. ამიტომაა, რომ ნორმალური დისპერსია უფრო ხშირად ამჟღავნებს თავს, ვიდრე ანომალური.

საინტერესოა აღვნიშნოთ, რომ თუ $\omega > \omega_{0i}$. მაშინ $n < 1$ და (1) ფორმულის თანახმად სინათლის სიჩქარე გარემოში მეტი იქნება ვიდრე სინათლის სიჩქარე ვკუუმში (C)!? ერთი შეხედვით ეს ეწინააღმდეგება ფარდობითობის თეორიას, რომელიც კრძალავს სიგნალების არსებობას, რომელთა სიჩქარე აღემატება სინათლის სიჩქარეს ვაკუუმში. მაგრამ ასეთი $\upsilon > C$ სიჩქარით ვრცელდება მხოლოდ ტალღის ფაზა და არა სიგნალი (ენერგია). ამ სიჩქარეს ფაზური სიჩქარე ეწოდება.

დისპერსიის შესწავლისათვის იყენებენ სპეციალურ ხელსაწყოს – სპექტროსკოპს. სპექტროსკოპი გვაძლევს საშუალებას დავაფიქსიროთ სპექტრში შემავალი ნებისმიერი ხაზის (ზოლის) ადგილმდებარეობა, რომელიც ამა თუ იმ ფერს შეესაბამება. თუ წინასწარ ამ მდებარეობებს შევუსაბამებთ ცნობილ ტალღის სიგრძეს, მაშინ შეგვიძლია ავაგოთ მრუდი, რომლის მიხედვით შემდეგში განვსაზღვრავთ უცნობი ტალღის სიგრძესაც. ამ ოპერაციას სპექტროსკოპის დაგრადუირება ეწოდება.

საჭირო ხელსაწყოები

1. სპექტროსკოპი
2. რუმკორტის კოჭა
3. დენის წყარო
4. სპექტრული მილები

ცდის თანმიმდევრობა

1. მივუერთეთ რუმკორდის კოჭას ჰელიუმით შევსებული სპექტრული მილი. ჩართეთ წრედი და სპექტროსკოპის გადაადგილებით მიაღწიეთ იმას, რომ სპექტროსკოპში ჩანდეს მკვეთრი ზოლოვანი სპექტრი.
2. მიკრომეტრული ხრახნის ბრუნვით შეუთავსეთ სამიზნე ხაზი სპექტრის ფერადი ზოლების შუა ნაწილებს და ჩაიწერეთ მიკრომეტრული ხრახნის შესაბამისი ჩვენებები (N).

3. ამოიწერეთ ცხრილიდან ფერების შესაბამისი ტალღის სიგრძეები (λ).
4. მონაცემები შეიტანეთ დაკვირვებათა ცხრილში.
5. ააგეთ $\boldsymbol{\lambda}(\boldsymbol{N})$ დამოკიდებულების გრაფიკი.
6. შეცვალეთ სპექტრული მილი. (ამ დროს წრედი გამორთული უნდა იყოს!!!)
7. მონახეთ სპექტრში ყველაზე მკვეთრი ზოლი, შეუთავსეთ მას სამიზნე ხაზი და ჩაიწერეთ მიკრომეტრლი ხრახნის ჩვენება $(\boldsymbol{N_x})$.
8. გრაფიკის საშუალებით გაიგეთ ამ ზოლის შესაბამისი ტალღის სიგრძე $(\boldsymbol{\lambda_x})$.
9. ზოლის ფერის მიხედვით დაადგინეთ ცხრილიდან მისი ტალღის შესაბამისი სიგრძე $(\boldsymbol{\lambda_0})$.
10. იანგარიშეთ აბსოლუტური და ფარდობითი ცდომილობები.

დაკვირვებათა ცხრილი

$\boldsymbol{N}$ (დან.)	$\boldsymbol{\lambda}$ 10^{-7}მ.	$\boldsymbol{N_x}$	$\boldsymbol{\lambda_x}$ 10^{-7}	$\boldsymbol{\lambda_0}$ 10^{-7}	$\boldsymbol{\Delta\lambda}$	$\boldsymbol{\frac{\Delta\lambda}{\lambda}}$	ზოლების ფერი

საკონტროლო კითხვები

1. რას გვიჩვენებს გარდატეხის მაჩვენებელი?
2. რას ეწოდება დისპერსია? რა სახის დისპერსიები იცით? დაწერეთ მათი მათემატიკური პირობა.
3. რატომ იშლება სიანთლე ფერებად პრიზმაში გავლისას? როგორ არიან განლაგებული ფერები? რატომ?
4. დაწერეთ დისპერსიის ელემენტალური ფორმულა და ააგეთ შესაბამისი გრაფიკი. დაასახელეთ ნორმალური და ანომალური დისპერსიის უბნები.
5. შეიძლება თუ არა სინათლის სიჩქარე გარემოში აღემატებოდეს სინათლის სიჩქარეს ვაკუუმში? ახსენით ეს მოვლენა.
6. როგორ განვსაზღვროთ ტალღის სიგრძე სპექტროსკოპის საშუალებით?

დანართი

ერთეულთა საერთაშორისო სისტემა (Si)

ძირითადი ერთეულები				
№	სახელწოდება	განზომილება	სახელწოდება	აღნიშვნა
1	სიგრძე	L	მეტრი	მ
2	მასა	M	კილოგრამი	კგ
3	დრო	T	წამი	წმ
4	თერმოდინამიკური ტემპერატურა	Θ	კელვინის გრადუსი	K
5	დენის ძალა	I	ამპერი	ა
6	სინათლის ძალა	J	კანდელი	კდ
7	ნივთიერების რაოდენობა	N	მოლი	მოლი
დამატებითი ერთეულები				
№	სახელწოდება	განზომილება	სახელწოდება	აღნიშვნა
1	კუთხე(სიბრტყეზე)	α	რადიანი	რად.
2	კუთხე(სივრცეში)	Ω	სტერადიანი	სრ

ათჯერადი თავსართები

დასახელება	დამოკიდებულება ძირითად ერთეულებთან	აღნიშვნა	
		ქართული	საერთაშორისო
ტერა	10^{12}	ტ.	T
გიგა	10^{9}	გ.	G
მეგა	10^{6}	მგ.	M
კილო	10^{3}	კ.	K
ჰექტო	10^{2}	ჰ.	h
დეკა	10^{1}	დკ.	da

დასახელება	დამოკიდებულება ძირითად ერთეულებთან	აღნიშვნა	
		ქართული	საერთაშორისო
დეცი	10^{-1}	დ	d
სანტი	10^{-2}	ს	c
მილი	10^{-3}	მ	m
მიკრო	10^{-6}	მკ.	μ
ნანო	10^{-9}	ნ	n
პიკო	10^{-12}	პკ.	p

ზოგიერთი მყარი ნივთიერების სიმკვრივე ($t=20^0$ C)

მყარი სხეული	კგ/მ^3	მყარი სხეული	კგ/მ^3
აგური	1800	ოქრო	19300
ალუმინი	2700	ორგანული მინა	1200
ბეტონი	2300	ოსმიუმი	22600
გოგირდი	2000	პარაფინი	900
ებონიტი	1200	პლატინა	21500
ვერცხლი	10500	პოლიეთილენი	920
თითბერი	8500	საწერი ქაღალდი	1000
თუჯი	7000	სპილენძი	8900
თუთია	7100	სუფრის მარილი	2160
ირიდიუმი	22400	ტყვია	11300
კალა	7300	ფაიფური	2300
კაპრონი	1100	ფოლადი, რკინა	7800
კორპი	240	ქარვა	1070
კორუნდი	4000	ყინული	900
მარმარილო	2700	შაბიამანი(კრისტალ.)	2250
მინა	2500	შაქარი(რაფინადი)	1600
მშრალი ფიჭვი	400	ცარცი	2200
მშრალი მუხა	700	ძვალი	1850

ზოგიერთი სითხის სიმკვრივე ($t=20^0$ C)

სითხე	კგ/მ^3	სითხე	კგ/მ^3
ანილინი	1020	თაფლი	1350
აცეტონი	790	თხევადი ჰაერი($t=-194^0$ C)	860
ბენზინი	710	თხევადი კალა ($t=400^0$ C	6800

გლიცერინი	1260	ნავთი	800
გოგირდმჟავა	1800	რძე	1030
დიზელის საწვავი	800	სპირტი	800
ეთერი	710	წყალი სუფთა	1000
ვერცხლისწყალი	13600	წყალი ზღვის	1030
ზეთი(მზესუმზირის)	930		
ზეთი მანქანის	900		

ზოგიერთი აირის სიმკვრივე
(ნორმალურ ატმოსფერულ წნევაზე და $t=20^0$ C)

აირი	კგ/მ^3	აირი	კგ/მ^3
არგონი	1,78	ჟანგბადი	1,43
აზოტი	1,250	ქლორი	3,210
ბუნებრივი აირი	0,800	წყალბადი	0,090
მეთანი	0,72	ჰელიუმი	0,180
ნახშირბადის ოქსიდი(II)(მხუთავიაირი)	1,250	წყლის ორთქლი ($t=100^0$ C)	0,590
ნახშირბადის ოქსიდი(IV)(ნახშირმჟავა)	1,980	ჰაერი ($t=0^0$ C)	1,290

σ– გაჭიმვის, სიმტკიცის ზღვარი და E
დრეკადობის მოდული

ნივთიერება	σ, მგპა	E, გპა
ალუმინი	100	70
სპილენძი	400	120
კალა	20	50
ტყვია	15	15
ვერცხლი	140	80
ფოლადი	500	200

ბგერის სიჩქარე (მ/წმ)

წყალი	1450
ჰაერი (მშრალი, ნორმალურ პირობებში)	332

ნივთიერების სითბური თვისებები

მყარი სხეული			
ნივთიერება	კუთრი სითბოტევადობა კჯ/კგ·K	დნობის ტემპერატურა, ^0C	დნობის კუთრი სითბო კჯ/კგ
ალუმინი	0,88	660	380
ყინული	2,1	0	330
სპილენძი	0,38	1083	180
კალა	0,23	232	59
ტყვია	0,13	327	25
ვერცხლი	0,23	960	87
ფოლადი	0,46	1400	82

სითხე			
ნივთიერება	კუთრი სითბოტევადობა კჯ/კგ·K	დუღილის ტემპერატურა, ^0C	ორთქლადქცევის კუთრი სითბო მგჯ/კგ
წყალი	4,2	100	2,3
ვერცხლისწყალი	0,12	357	0,29
სპირტი	2,4	78	0,85

აირი		
ნივთიერება	კუთრი სითბოტევადობა კჯ/კგ·K	კონდენსაციის ტემპერატურე, ^0C
აზოტი	1,0	–196
წყალბადი	14	–253
ჰაერი	1,0	–
ჟანგბადი	0,92	–183

სითხის ზედაპირული დაჭიმულობის კოეფიციენტი, მნ/მ (20^0C-ზე)

წყალი	73	ვერცხლისწყალი	510
ნავთი	24	სპირტი	22
ნავთობი	30	საპნისწყალხსნარი	40

სითხის სიბლანტე 20^0C-ზე (მპა.წმ)

წყალი	1,0
გლიცერინი	850
აბუსალათინის ზეთი	1000
მანქანის ზეთი	100
ვერცხლისწყალი	1,6

ნივთიერების დიელექტრიკული შეღწევადობა

წყალი	81		პარაფინი	2,1
ნავთი	2,1		ქარსი	6
ზეთი	2,5		მინა	7

კუთრი წინაღობა ρ (20^0 C–ზე), წინაღობის α ტემპერატურული კოეფიციენტი ლითონებისა და შენადნობებისათვის

ნივთიერება	ρ $*10^{-8}$ომ.მ ან$*10^{-2}$ ომ.მმ^2/მ	α K^{-1}		ნივთიერება	ρ $*10^{-8}$ომ.მ ან$*10^{-2}$ ომ.მმ^2/მ	α K^{-1}
ალუმინი	2,8	0,0042		ნიქრომი	110	0,0001
ვოლფრამი	5,5	0,0048		ტყვია	21	0,0037
თითბერი	7,1	0,001		ვერცხლი	1,6	0,004
სპილენძი	1,7	0,0043		ფოლადი	12	0,006
ნიკელინი	42	0,0001				

ელექტროქიმიური ეკვივალენტი, (10^{-6} კგ/კ)

ალუმინი (Al^{3+})	0,093	ნიკელი (Ni^{2+})	0,30
წყალბადი (H^+)	0,0104	ვერცხლი (Ag^+)	1,12
ჟანგბადი (O^{2-})	0,083	ქრომი (Cr^{3+})	0,18
სპილენძი (Cu^{2+})	0,33	თუთია (Zn^{2+})	0,34
კალა (Sn^{2+})	0,62		

ელექტრონის გამოსვლის მუშაობა, ევ($1,6.10^{-19}$ ჯ.)

ვოლფრამი	4,5	პლატინა	5,3
კალიუმი	2,2	ვერცხლი	4,3
ლითიუმი	2,4	თუთია	4,2
ბარიუმის ოქსიდი	1,0		

ზოგიერთი ნივთიერების გარდატეხის მაჩვენებელი

1	ალმასი	2,42
2	წყალი	1,33
3	ყინული	1,31
4	სკიპიდარი	1,48
5	მინა	1,5–1,9

ზოგიერთი ელემენტალური ნაწილაკის
მასა და ენერგია

ნაწილაკი	კგ.	მ.ე.ვ.	ჯ
ელექტრონი	9,11	0.531	$8.16.10^{-14}$
პროტონი	$1.672.10^{-27}$	938	$1.50.10^{-10}$
ნეიტრონი	$1.675.10^{-27}$	939	$1.51.10^{-10}$
დეიტრონი	$9.35.10^{-27}$	1876	$9.00.10^{-10}$

ზოგიერთი ფიზიკური სიდიდის რიცხვითი მნიშვნელობები

№	ფიზიკური მუდმივა	აღნიშვნა	რიცხვითი მნიშვნელობა
1	თავისუფალი ვარდნის აჩქარება	g	9,8 მ/წმ^2
2	გრავიტაციული მუდმივა	γ	$6,67.10^{-11}$ ნ.მ^2/კგ^2
3	ავოგადროს რიცხვი	N	$6,02.10^{26}$ კმოლი$^{-1}$
4	აირისუნივერსალური მუდმივა	R	$8,31.10^3$ ჯ/(მოლი.K)
5	ერთი მოლი აირის მოცულობა(ნორმალურ პირობებში)	V_0	22,4 მ^3/კმოლი
6	ბოლცმანის მუდმივა	k	$1,38.10^{-23}$ჯ/K
7	ფარადეის რიცხვი	F	$9,65.10^7$კ/კგ.ეკვ
8	ელემენტარული მუხტი	e	$1,6.10^{-19}$ კ
9	სინათლის სიჩქარე ვაკუუმში	c	3.10^8 მ/წმ
10	სტეფან–ბოლცმანის მუდმივა	k	$5,67.10^{-8}$ ვტ/მ^{2}K^4
11	ვინის მუდმივა	b	$2.9.10^{-3}$ მ
12	პლანკის მუდმივა	h	$6.63.10^{-34}$
13	რიდბერგის მუდმივა	R	$1.1.10^7$ მ$^{-1}$
14	ელექტრონის მუხტი	e	$1.6.10^{-19}$ კ
15	მასის ატომური ერთეული		$1,66.10^{-27}$ კგ
16	ელექტრონის უძრაობის მასა	m_0	$9.11.10^{-31}$ კგ

17	პროტონის უძრაობის მასა	m_p	$1.672.10^{-27}$ კგ
18	ნეიტრონის უძრაობის მასა	m_n	$1.675.10^{-27}$კგ.=1.00899 მ.ა.ე.

ძირითადი კანონები და ფორმულები

ფიზიკური სიდიდეების და ფიზიკური კანონების დასახელება	ფორმულა
მოძრაობის სიჩქარე	$V=\Delta r/\Delta t$
კუთხური სიჩქარე	$\omega=\Delta\varphi/\Delta t$
აჩქარება	$a=\Delta v/\Delta t$
კუთხური აჩქარება	$\beta=\Delta\omega/\Delta t$
ძალა	$F=ma$
ძალის მომენტი	$M=Fd$
წნევა	$P=F/S$
მუშაობა	$A=FS$
სიმძლავრე	$N=A/t$
ინერციის მომენტი	$J=mr^2$
იმპულსის მომენტი	$L=J\omega$
კავშირი პერიოდსა და სიხშირეს შორის	$T=1/\gamma$

ციკლური სიხშირე	$\omega=2\pi\gamma$
სითბოს რაოდენობა	$Q=A$
კუთრი სითბოტევადობა	$C=Q/(m\Delta T)$
თბოუნარიანობა	$q=Q/m$
სითბური ნაკადი	$\Phi=Q/t$
ზედაპირული დაჭიმულობის ძალა	$F=\sigma l$
დენის ძალა	$I=q/t$
ელექტრული ველის დაძაბულობა	$E=F/q=U/l$
პოტენციალი	$\varphi=A/q$
ელექტროტევადობა	$C=q/U$

ელექტრული წინაღობა	$R=U/I$
წინაღობის დამოკიდებულება გამტარის ზომებზე	$R=\rho l/S$
წინაღობის დამოკიდებულება ტემპერატურაზე	$R=R_0(1+\alpha t)$
ელექტრული გამტარობა	$g=1/R$
ომის კანონი წრედის უბნისათვის	$I=U/R$
ომის კანონი ჩაკეტილი წრედისათვის	$I=\varepsilon/(R+r)$
ჯოულ-ლენცის კანონი	$Q=I^2Rt$
ელექტრული დენის მაგნიტური მომენტი	$P_m=IS$
მაგნიტური ნაკადი	$\Phi=BS$
ინდუქციურობა	$L=\Phi/I$

სინათლის არეკვლის კანონი	α=β
სინათლის გარდატეხის კანონი	$\frac{\sin\alpha}{\sin\beta} = n_{21}$
გარდატეხის ფარდობითი მაჩვენებელი	$n_{21} = \frac{n_2}{n_1}$
გარდატეხის აბსოლუტური მაჩვენებელი	$n = \frac{C}{\upsilon}$
თხელი ლინზის ფორმულა	$\frac{1}{F} = \frac{1}{f} + \frac{1}{d}$
ლინზის ოპტიკური ძალა	$D = \frac{1}{F}$
ორი ლინზისაგან შემდგარი სისტემის ოპტიკური ძალა	$D = D_1 + D_2$
ლინზის ხაზოვანი გამადიდებლობა	$\Gamma = \frac{f}{d}$
ლუპის გამადიდებლობა	$\Gamma = \frac{1}{F}$
სინათლის წერტილოვანი წყაროს მიერ შექმნილი განათებულობა	$E = \frac{I}{r^2}\cos\alpha$
განათებულობა	$E = \frac{\Phi}{S}$
დიფრაქციული მესრის ფორმულა	$d\sin\varphi = n\lambda$
დიფრაქციული მესრის მუდმივა	$d = \frac{1}{N}$
ბრიუსტერის კანონი	$tg\alpha = n_{21}$
სტეფან–ბოლცმანის კანონი	$R_e = \sigma T^4$
ვინის კანონი	$\lambda_0 = \frac{C'}{T}$
კვანტის ენერგია	$\varepsilon = h\nu = h\frac{C}{\lambda}$
აინშტაინის ფორმულა ფოტოეფექტისათვის	$h\nu = A + \frac{m\upsilon^2}{2}$
ფოტოეფექტიდს წითელი საზღვარი	$\nu_k = \frac{A}{h} \qquad \nu_c = \frac{c}{\lambda}$

ს ა რ ჩ ე ვ ი

აკაკი წერეთლის სახელმწიფო უნივერსიტეტის გამომცემლობა

ქუთაისი, 4600, თამარ მეფის 59. ტელ: 4 00 21; 2 21 46
E-mail: atsuph@atsu.edu.ge