სასკოლო ლაბორატორიული ცდები ფიზიკაში

ფიზიკა, ისევე როგორც სხვა საბუნებისმეტყველო მეცნიერებები, ექსპერიმენტული მეცნიერებაა. ამიტომ ფიზიკის სწავლების პროცესში დიდი მნიშვნელობა ენიჭება ლაბორატორიულ ცდებს. სადემონსტრაციო ცდების გარდა, მოსწავლეებს უნდა ჰქონდეთ შესაძლებლობა თავად ჩაატარონ ცდები და შემდეგ წერილობითი ფორმით ჩამოაყალიბონ ჩატარებული ცდის შედეგები. წინამდებარე წერილში მკითხველს ვთავაზობთ ზოგადად მოთხოვნების ჩამონათვალს, რომლებსაც უნდა მოიცავდეს ჩატარებული კვლევის ანგარიში. ეს მოთხოვნები არის ამ წერილის ავტორის მოსაზრება, თუმცა იგი მოიცავს ანგარიშისთვის საჭირო მოთხოვნებს. მათემატიკური ქანქარას მაგალითზე მკითხველს კონკრეტული კვლევის ანგარიშს ვთავაზობთ.

კვლევის ანგარიშის გეგმა

1. **კვლევის სათაური**
2. **შესავალი** - ამ ნაწილში მოკლედ უნდა იყოს ჩამოყალიბებული, თუ რას ეხება დაგეგმილი კვლევა, ეხება იგი რომელიმე სიდიდის გაზომვას, რომელიმე ფიზიკური პროცესის კვლევას თუ ფიზიკურ სიდიდეებს შორის თანაფარდობის კვლევას.
3. **კვლევის დაგეგმვა** - ეს ნაწილი მოიცავს შემდეგ პუნქტებს:
   - **კვლევის მიზანი** - აქ მოცემული უნდა იქნას კვლევის კონკრეტული მიზანი: რომელი ფიზიკური სიდიდე იზომება, ან რომელი თანაფარდობის კვლევა დაიგეგმა;
   - **ჰიპოთეზა** - ეს ნაწილი გამოიყენება იმ შემთხვევაში, თუ ხდება ფიზიკური მოვლენების კვლევა, რომელშიც შეიძლება ივარაუდოთ ცდის შესაძლო შედეგი. აქვე შეიძლება საკვლევი სიდიდის ჰიპოთეტური გრაფიკის აგება (ფიზიკური სიდიდის გაზომვის შემთხვევაში).
   - **ცვლადების აღწერა** - როგორც წესი ცდაში ხდება რაღაც სიდიდეების გაზომვა/ანათვლების აღება. საჭიროა განსაზღვრულ იქნას, თუ რომელია **დამოუკიდებელი, დამოკიდებული და საკონტროლო ცვლადები.** ამ უკანასკნელთ მიეკუთვნებიან სიდიდეები, რომლებმაც შეიძლება ცდის შედეგებზე გავლენა მოახდინონ და ამიტომ შეძლებისდაგვარად უცვლელად უნდა შევინარჩუნოთ ცდის პროცესში. აუცილებელია, მითითებულ უნდა იქნას ყოველი სიდიდის ერთეული. აქვე აღწერილი უნდა იქნას გასაზომი სიდიდეების შეცვლის და გაზომვის მეთოდები, აგრეთვე საკონტროლო სიდიდეების მუდმივად შენარჩუნების გზები.
   - **გამოყენებული მასალები** - აქ მოცემული უნდა იქნას გამოყენებული მასალების ჩამონათვალი თავისი რაოდენობებით; დიაგრამა/ნახაზი, რომელიც ასახავს ცდის დანადგარს, შესაძლებელია აქვე მოცემულ იქნას აწყობილი დანადგარის/ხელსაწყოს სურათი.

- **მეთოდი** - აქ დაწვრილებით უნდა იქნას აღწერილი მეთოდი, რომელიც გამოყენებულ იქნა დაგეგმილი კვლევის განსახორციელებლად, აღწერა სასურველია მოცემულ იქნას წარსულ პასიურ დროში (მაგ. გაზომილი იქნა, მიერთებულ იქნა, იყო და ა.შ.)

4. **მონაცემების შეგროვება** - ამ ნაწილში მოცემული უნდა იქნას მხოლოდ ანათვლების შედეგები, ისიც ცხრილის სახით. საჭიროა ცხრილის, ასევე ყოველი სვეტის დასათაურება ერთეულის და ცდომილების მითითებით. ცდომილებები შეიძლება ცალკე იყოს მითითებული, თუ სვეტის სათაურში არ იქნება ჩაწერილი.
5. **მონაცემების დამუშავება და წარმოდგენა** - აქ დეტალურად უნდა იქნას აღწერილი, თუ როგორ მოხდა ცდის მონაცემების დამუშავება, გამოანგარიშება. გამოანგარიშებული სიდიდეები მოცემული უნდა იქნას ცხრილის სახით. ცხრილი და ცხრილის ყოველი სვეტი უნდა იქნას დასათაურებული. უნდა მოხდეს გაზომვის შედეგების არის განსაზღვრა (მაქსიმალური და მინიმალური მნიშვნელობები), საძიებელი სიდიდის საშუალო მნიშვნელობის და მისი ცდომილების გამოანგარიშება, აგებული უნდა იქნას სათანადო გრაფიკი - პირველ რიგში, წერტილების დიაგრამა, შემდეგ საუკეთესო ფიტირების (მორგების) გრაფიკი, აგებულ უნდა იქნას ცდომილების (საკმარისია დამოკიდებული ცვლადის) სვეტები. თუ გრაფიკი წრფივია მოინახოს მისი დახრილობა (რომელიც შეიძლება უკავშირდებოდეს გასაზომ ფიზიკურ სიდიდეს), აგრეთვე დახრილობის ცდომილება (რომლის მოსაძებნად საჭიროა ცდომილების ფარგლებში უდიდესი და უმცირესი დახრილობის გრაფიკების აგება). ირიბად გასაზომი ცვლადების ცდომილება უნდა იქნას გამოთვლილი ცდომილების გავრცელების შესაბამისი მეთოდებით.
6. **დასკვნა** - ამ ნაწილში ხდება მიღებული შედეგების განხილვა კვლევის მიზანთან (და ჰიპოთეზასთან) მიმართებაში. დასკვნა გაკეთებულ უნდა იქნას შესრულებული გამოანგარიშებებისა და აგებული გრაფიკების საფუძველზე. უნდა მოხდეს გრაფიკების დახრილობის ინტერპრეტაცია, ცდის საბოლოო შედეგები ჩაიწეროს სიდიდის გამოანგარიშებული მნიშვნელობის და მისი ცდომილების მეშვეობით და სათანადო ერთეულის მითითებით.
7. **შეფასება** - აქ უნდა მოხდეს ჩატარებული კვლევის შეფასება, რაც გულისხმობს ცდის მსვლელობის, გამოყენებული მეთოდის სუსტ და ძლიერ მხარეებს, ცდომილებების წყაროებს, მათ სანდოობას. სასურველია მოცემულ იქნას ცდის გაუმჯობესების სავარაუდო გზები.

ამ წერილში და შემდგომ შევეცდებით მოვიტანოთ ზოგიერთი ლაბორატორიული ცდის/კვლევის ანგარიშის ნიმუშები, რომლებიც დაწერილია ზემოთ აღწერილი მოთხოვნების შესაბამისად.

მათემატიკური ქანქარას გამოკვლევა

შესავალი: მათემატიკური ქანქარა წარმოადგენს ძაფზე ჩამოკიდებულ მცირე სხეულს, რომელიც ასრულებს რხევით მოძრაობს გადახრის მცირე კუთხის ფარგლებში. მიღებულია, რომ ძაფი არის უწონო და უკუმშვადი. სხეულის უდაბლეს მდებარეობას ეწოდება წონასწორობის მდგომარეობა. წონასწორობის მდგომარეობიდან მცირე კუთხით გადახრილი სხეული სიმძიმის ძალის გავლენით იწყებს რხევით მოძრაობას. ხახუნის და წინაღობის ძალების გაუთვალისწინებლობის შემთხვევაში მიღებულ რხევას მარტივ ჰარმონიულ რხევას უწოდებენ. როგორც ირკვევა ასეთი რხევის პერიოდი დამოკიდებულია ძაფის სიგრძესა და სიმძიმის ძალის აჩქარებაზე (რომელიც თავის მხრივ დამოკიდებულია გეოგრაფიულ განედზე).

კვლევის საგანი: მოცემული კვლევის მიზანს შეადგენს ძაფის სიგრძის გავლენის შესწავლა ქანქარას რხევის პერიოდზე, აგრეთვე ცდის შედეგებით თავისუფალი ვარდნის აჩქარების სიდიდის გამოთვლა.

ჰიპოთეზა: ქანქარას გადახრის კუთხე კავშირშია ქანქარას სიგრძესთან და გადაადგილე-ბასთან (რომლის მაქსიმალურ მნიშვნელობას ამპლიტუდა ეწოდება). მოცემული კუთხისთვის გადაადგილება (ამპლიტუდა) იზრდება ქანქარას სიგრძის ზრდასთან ერთად. შესაბამისად გაიზრდება შესაბამისი გადაადგილების შესასრულებლად საჭირო დრო. ამიტომ უნდა გაიზარდოს რხევის პერიოდიც. ამრიგად **ქანქარას სიგრძის გაზრდამ უნდა გამოიწვიოს მისი პერიოდის გაზრდა და პირიქით.** შესაძლოა ვივარაუდოთ, რომ ამ დამოკიდებულებას წრფივი ხასიათი აქვს. ამ ვარაუდის შემოწმებას ემსახურებოდა ჩატარებული ცდა.

ცვლადების ნუსხა:

დამოუკიდებელი ცვლადი: დამოუკიდებელი ცვლადი არის ქანქარას სიგრძე l, გაზომილი მეტრებში. ქანქარას სიგრძე იცვლებოდა შემთხვევითი წესით დაწყებული 0.81 მეტრით და შემდგომი შემცირებით. სიგრძის გაზომვა ხდებოდა სახაზავის მეშვეობით.

დამოკიდებელი ცვლადი: რხევების წინასწარ განსაზღვრული რაოდენობის შესასრულებლად საჭირო დრო t, რომლის გასაზომად გამოყენებული იქნა წამზომი. რხევების რიცხვი შეადგენდა 15.

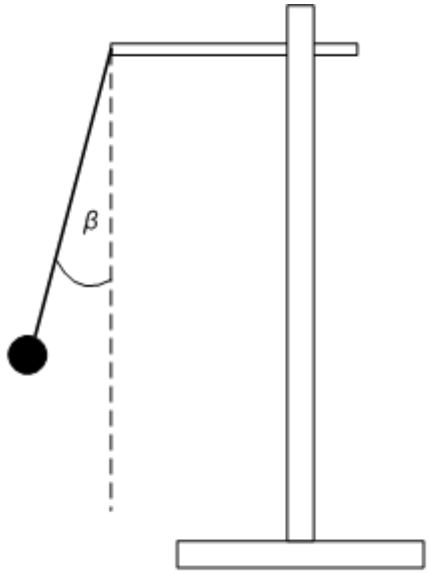
საკონტროლო ცვლადები:

- ქანქარას გადახრის კუთხე (გრადუსებში), არჩეულ იქნა 20°. კუთხე იზომებოდა ტრანსპორტირით;
- ჰაერის წინააღმდეგობის ძალა, რომელიც მუდმივი იყო, რადგან ცდის ჩატარებია ადგილი არ შეცვლილა
- ქანქარას რხევათა რიცხვი N, ეს რიცხვი ტოლი იყო თხუთმეტის მთელი ცდის პროცესში;
- თავისუფალი ვარდნის აჩქარების სიდიდე (ცდის ჩატარების ადგილი არ იცვლებოდა);
- გარემოს ტემპერატურა (ცდა ჩატარდა უწყვეტად ერთ ადგილზე).

გამოყენებული მასალის და ხელსაწყოების ნუსხა:

-

- შტატივი - ერთი;
- ძაფი - 1მ სიგრძის;
- ბურთულა - ერთი;
- სახაზავი - 1 მეტრი სიგრძის;
- წამზომი - ერთი;
- ტრანსპორტირი გადახრის კუთხის გასაზომად - ერთი.



ნახ. 1 ცდაში გამოყენებული მათემატიკური ქანქარა

მეთოდის აღწერა:

1. ძაფის, შტატივის და ბურთულას გამოყენებით აწყობილ იქნა მათემატიკური ქანქარა, როგორც ნაჩვენებია ნახ. 1-ზე;
2. არჩეულ იქნა ძაფის საწყისი სიგრძე, რომელიც გაზომილ იქნა სახაზავით, სიგრძემ შეადგინა 0.81 მეტრი;
3. ბურთულა გადახრილ იქნა 20° კუთხით. კუთხე გაზომილ იქნა ტრანსპორტირით;
4. ბურთულა გაშვებულ იქნა და წამმზომით გაზომილ იქნა $N = 15$ რხევისთვის საჭირო დრო წამებში;
5. შემდეგ ძაფი დამოკლებულ იქნა შემთხვევითი წესით. მისმა სიგრძემ შეადგინა 0.75მ;
6. შემდეგ გამეორებულ იქნა 3. და 4. პუნქტები;
7. ასეთი გზით სულ ჩატარდა 10 გაზომვა ძაფის 10 განსხვავებული შემთხვევითი სიგრძისთვის;
8. ცდის შედეგები შეტანილ იქნა ცხრილში;
9. აღებული მონაცემების შედეგების საფუძველზე ჩატარდა გამოთვლები. გამოანგარიშებულ იქნა რხევის პერიოდი ყოველი ცდისთვის, ცდომილებები. აგებულ იქნა პერიოდის და მისი კვადრატის ძაფის სიგრძეზე დამოკიდებულების გრაფიკები.

მონაცემების შეგროვება:

ცდის აღწერილი მეთოდით შეგროვილი მონაცემები შეტანილია ცხრ. 1-ში.

გადახრის კუთხე β/გრადუსი	რხევათა რიცხვი N	ძაფის სიგრძე l/მ	რხევების დრო t/წმ
20	15	0.26	15.25
20	15	0.33	17.35
20	15	0.36	18.05
20	15	0.44	19.84
20	15	0.48	20.87
20	15	0.56	22.44
20	15	0.64	24.25
20	15	0.69	25.15
20	15	0.75	26.04
20	15	0.81	27.01

ცხრ. 1 ძაფის სიგრძე და 15 რხევისთვის საჭირო დრო

გამზომი ხელსაწყოების ცდომილებებია: სახაზავის - $\Delta l = 0.001$მ, წამმზომის $\Delta t = 0.001$ და კუთხის $\Delta\beta = 1°$.

მონაცემების დამუშავება: ცხრ. 1-ში შეტანილი ანათვლების მიხედვით გამოთვლილი იქნა რხევის პერიოდი ძაფის ყოველი ცალკეული მნიშვნელობისთვის ფორმულით

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

რხევის პერიოდის ცდომილება ყოველი ცალკეული გაზომვისთვის გამოთვლილი იქნა შემდეგი ფორმულის მიხედვით:

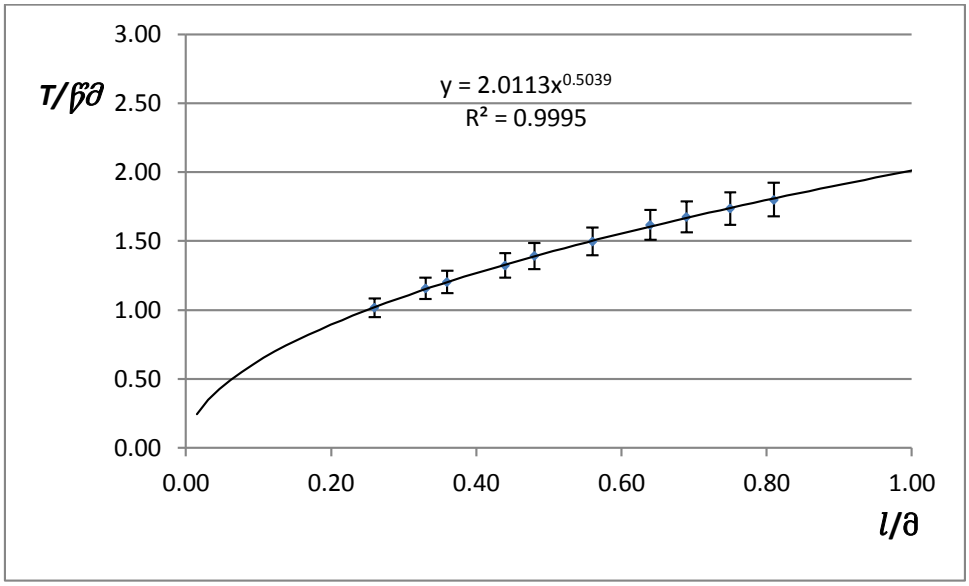
$$\Delta T = \frac{t}{N^2}\Delta N + \frac{1}{N}\Delta t,$$

რომელშიც რხევათა რიცხვის ცდომილებად აღებულ იქნა 1, მიღებული შედეგები მოცემულია ცხრ. 2-ში.

გადახრის კუთხე β/გრადუსი	რხევათა რიცხვი N	ძაფის სიგრძე l/მ	რხევების დრო t/წმ	რხევის პერიოდი T/წმ	პერიოდის აბსოლუტური ცდომილება ΔT/წმ	პერიოდის ფარდობითი ცდომილება $\Delta T/T$%
20	15	0.26	15.25	1.02	0.07	6.73
20	15	0.33	17.35	1.16	0.08	6.72
20	15	0.36	18.05	1.20	0.08	6.72
20	15	0.44	19.84	1.32	0.09	6.72
20	15	0.48	20.87	1.39	0.09	6.71
20	15	0.56	22.44	1.50	0.10	6.71
20	15	0.64	24.25	1.62	0.11	6.71
20	15	0.69	25.15	1.68	0.11	6.71
20	15	0.75	26.04	1.74	0.12	6.71
20	15	0.81	27.01	1.80	0.12	6.70

ცხრ. 2 ცდის მონაცემები და რხევების პერიოდები ცდომილებებითურთ

როგორც ცხრილიდან ჩანს ძაფის სიგრძეები იცვლებოდა შემთხვევითი წესით და ინტერვალში 0.26 მეტრიდან 0.81 მეტრამდე. 15 რხევისთვის საჭირო დრო იცვლებოდა 15.25წმ-დან 27.01წმ-მდე, ხოლო რხევის პერიოდი 1.02წმ-დან 1.80წმ-მდე. ცხრილის მონაცემებზე დაკვირვებით ადვილი მისახვედრია, რომ რხევის პერიოდი არ არის წრფივად დამოკიდებული ძაფის სიგრძეზე. იგივე ჩანს ნათლად გრაფიკიდან (ნახ. 2):



ნახ. 2 რხევის პერიოდის როგორც ძაფის სიგრძის ფუნქციის გრაფიკი.

გრაფიკში რხევის პერიოდის ცდომილებების სვეტების ასაგებად გამოყენებულია პერიოდის ფარდობითი ცდომილების მაქსიმალური მნიშვნელობა 6.73%. გრაფიკზე დატანილია აგრეთვე პერიოდის ძაფის სიგრძეზე დამოკიდებულების განტოლება, რომელიც გვიჩვენებს, რომ პერიოდი პირდაპირ პროპორციულია ძაფის სიგრძიდან კვადრატული ფესვის. დეტერმინაციის კოეფიციენტი R^2=0.9995, რაც იმაზე მიუთითებს, რომ გრაფიკი საუკეთესოდ არის მორგებული ცდის მონაცემებზე. საუკეთსო მორგები წირის განტოლებიდან ჩანს, რომ პერიოდი იცვლება ძფის სიგრძიდან კვადრატული ფესვის პირდაპირპროპორციულად, ხოლო წრფივი დამოკიდებულება უნდა არსებობდეს პერიოდის კვადრატსა და ძაფის სიგრძეს შორის. ამიტომ გამოთვლილ იქნა პერიოდის კვადრატის მნიშვნელობები. პერიოდის კვადრატის ფარდობითი და აბსოლუტური ცდომილებები გამოთვლილ იქნა შემდეგი წესით

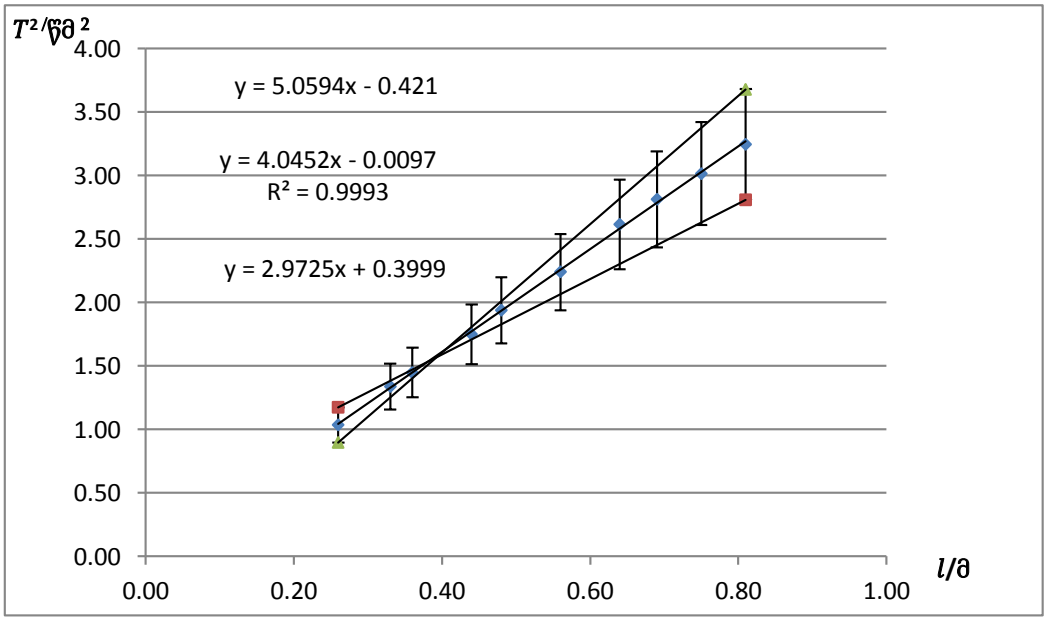
$$k = \frac{\Delta T^2}{T^2} = 2\frac{\Delta T}{T}, \quad \Delta T^2 = kT^2.$$

შედეგები მოცემულია ცხრ. 3-ში.

ძაფის სიგრძე l/მ	პერიოდის კვადრატი T^2/წმ^2	პერიოდის კვადრატის ფარდობითი ცდომილება $\frac{\Delta T^2}{T^2}$%	პერიოდის კვადრატის აბსოლუტური ცდომილება ΔT^2/წმ^2
0.26	1.03	13.46	0.14
0.33	1.34	13.45	0.18
0.36	1.45	13.44	0.19
0.44	1.75	13.43	0.24
0.48	1.94	13.43	0.26
0.56	2.24	13.42	0.30
0.64	2.61	13.42	0.35
0.69	2.81	13.41	0.38
0.75	3.01	13.41	0.40
0.81	3.24	13.41	0.43

ცხრ. 3 პერიოდის კვადრატი და მისი ცდომილებები

ამ ცხრილის მონაცემებით დახაზული იქნა პერიოდის კვადრატის ძაფის სიგრძეზე დამოკიდებულების საუკეთესო მორგების გრაფიკი, რომელიც ასახავს წრფივ დამოკიდებულებას. ცდომილების სვეტების ასაგებად გამოყენებულია პერიოდის კვადრატის



ნახ. 3 პერიოდის კვადრატის როგორც ძაფის სიგრძის ფუნქციის გრაფიკი

ფარდობითი ცდომილებების ყველაზე დიდი მნიშვნელობა 13.46%. ამავე გრაფიკზე აგებულია ცდომილების სვეტების ფარგლებში უდიდესი და უმცირესი დახრილობის მქონე გრაფიკები. იმავე გრაფიკზე დატანებულია სამივე გრაფიკის შესაბამისი განტოლებები. საუკეთესო მორგების გრაფიკის დახრილობის მნიშვნელობა არის $k = 4.0452$ წმ^2/მ ≈ 4.05. ცდომილების სვეტების ფარგლებში უდიდესი და უმცირესი დახრილობის რიცხვითი მნიშვნელობები შესაბამისად ტოლია: $k_1 = 5.0594$ წმ^2/მ $= 5.06$ წმ^2/მ და $k_2 = 2.9725$ წმ^2/მ $= 2.98$ წმ^2/მ. k_1 და k_2 სიდიდეების საშუალებით გამოთვლილ იქნა საუკეთესო მორგების გრაფიკის დახრილობის ცდომილება:

$$\Delta k = \frac{k_1 - k_2}{2} = 1.06 \text{ წმ}^2/\text{მ}.$$

თუ გავიხსენებთ, რომ მათემატიკური ქანქარას რხევის პერიოდი არის

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

სადაც gარის თავისუფალი ვარდნის აჩქარება, k-თვის მივიღებთ შემდეგ გამოსახულებას

$$k = \frac{4\pi^2}{g}.$$

ამ ფორმულიდან მივიღებთ g =9.74 მ/წმ^2. ხოლო მისი ცდომილება ტოლია k-ს ცდომილების იმ პირობით, რომ $\pi = 3.14$ რიცხვის ცდომილებას ჩავთვლით ნულის ტოლად. ამრიგად ჩატარებული ცდის მონაცემების მიხედვით თავისუფალი ვარდნის აჩქარება ტოლია

$$g = (9.74 \pm 1.06) \text{ მ/წმ}^2.$$

g-ს ფარდობითი ცდომილება ტოლია $\Delta g/g = 10.88\%$. თავისუფალი ვარდნის აჩქარების ცდით გამოთვლილი რიცხვითი მნიშვნელობა საყოველთაოდ ცნობილი 9.81მ/წმ^2-გან განსხვავდება 0.07მ/წმ^2 რაც შეადგენს 0.71%. ამიტომ ცდით მიღებული შედეგი შეიძლება ჩაითვალოს კარგ შედეგად.

დასკვნა: ჩატარებული კვლევის მიზანი იყო ძაფის სიგრძის გავლენის შესწავლა მათემატიკური ქანქარას რხევის პერიოდზე. ცდის შედეგებმა აჩვენა, რომ ეს დამოკიდებული არ არის წრფივი, უფრო მეტიც, წრფივი დამოკიდებულება არსებობს პერიოდის კვადრატსა და ძაფის სიგრძეს შორის. ეს დამოკიდებულება კარგად ასახავს მათემატიკური ქანქარას რხევის პერიოდის ფორმულას. თავისუფალი ვარდნის ცდის მონაცემებით მიღებული რიცხვითი მნიშვნელობა 0.71%-ით განსხვავდება საყოველთაოდ მიღებული რიცხვითი მნიშვნელობისგან. ეს ძალიან კარგ მიახლოებად შეიძლება ჩაითვალოს. თუმცა აქვე უნდა აღინიშნოს, რომ ცდით მიღებული რიცხვითი მნიშვნელობის ფარდობითი ცდომილება 10.88% შედარებით მაღალია. თვით პერიოდის გაზომვის ფარდობით ცდომილება ტოლია 6.73%. ეს ცდომილება არ არის დიდი. თუმცა შეიძლებოდა უფრო მცირეც ყოფილიყო, თუ 15 რხევის პერიოდს გავზომავდით არა ერთჯერ, როგორც ეს მოხდა, არამედ რამდენჯერმე და დროისთვის ავიღებდით გაზომილი სიდიდეების საშუალო მნიშვნელობას.

შეფასება: მიღებული შედეგები მოწმობს, რომ ცდაში გამოყენებული მეთოდმა კარგი შედეგები მოგვცა. თუმცა აქვე უნდა აღინიშნოს ხარვეზები, რომელთა აღმოფხვრა შეამცირებდა გაზომვების ცდომილებას:

1. 15 რხევის დრო ათვლილი იქნა ერთჯერ. უმჯობესი იქნებოდა ათვლილიყო რამდენჯერმე და მისი საშუალო მნიშვნელობა ყოფილიყო გამოყენებული;
2. მიუხედავად იმისა, რომ წამმზომის სიზუსტე იყო მაღალი (0.01წმ), დროის ათვლა შედარებით არაზუსტი იყო იმის გამო რომ რთული იყო დაფიქსირება, თუ როდის სრულდებოდა ზუსტად 15 რხევა.

ცდის გაუმჯობესებისთვის სასურველი იქნებოდა დროის ასათვლელად სპეციალური სენსორული მთვლელის გამოყენება, რომელსაც შეუძლია დააფიქსიროს ზუსტად 15 (ან სხვა რაოდენობის) რხევის დრო.

ცდაში პირდაპირ გაზომილი სიდიდეების ცდომილების წყაროს წარმოადგენდა ხელსაწყოების - სახაზავის და წამმზომის, აგრეთვე ტრანსპორტირის ცდომილებები (სისტემა-ტური ცდომილებები). რხევის პერიოდი და პერიოდის კვადრატი წარმოადგენენ ირიბად გაზომილ სიდიდეებს, რომელთა ცდომილები გამოთვლილ იქნა პირდაპირ გაზომილი სიდიდეების ცდომილებების გავრცელების მეთოდის გამოყენებით (პირდაპირი და ირიბი გაზომვის ცდომილებებზე საუბარი გვექნება მომავალში).

დასასრულს აღვნიშნავთ, რომ მონაცემების დასამუშვებლად და გრაფიკების ასაგებად გამოყენებული იყო Excel-ი, რომელსაც გააჩნია ცდის მონაცემების სტატისტიკური დამუშავების მძლავრი მოდული.