

სიმძიმის ძალის აჩქარების განსაზღვრა ბირთვის გორვის მეთოდით

საბუნებისმეტყველო მეცნიერებათა სწავლების პროცესში, განსაკუთრებით ფიზიკაში, დიდი მნიშვნელობა ენიჭება რეალური ექსპერიმენტების ჩატარებას. ექსპერიმენტი საშუალებას გვაძლევს, თეორიული მოდელები ემპირიულად გადავამოწმოთ და ბუნებრივი მოვლენების მექანიზმები სიღრმისეულად გავაანალიზოთ. მოსწავლეს ეძლევა შესაძლებლობა, უშუალოდ დააკვირდეს ფიზიკურ პროცესებს, შეაგროვოს მონაცემები, ერთმანეთთან დააკავშიროს სხვადასხვა პარამეტრი და ეს კავშირი გააზრებულად გააანალიზოს. ეს პროცესი არა მხოლოდ ფიზიკის უკეთესად შესწავლას უწყობს ხელს, არამედ საფუძველს უყრის მეცნიერული კვლევის უნარების განვითარებასაც.

ფიზიკური სიდიდე განსაზღვრავს სამყაროში ობიექტურად არსებული მატერიალური სხეულის ან სხეულთა სისტემის რაიმე კონკრეტულ თვისებას. ფიზიკური სიდიდის ექსპერიმენტული გაზომვა გულისხმობს მის შედარებას სხვა ერთგვაროვან სიდიდესთან, რომელიც პირობითად ერთეულად არის მიღებული.

არსებობს **გაზომვის ორი მეთოდი - პირდაპირი და არაპირდაპირი**. პირდაპირია გაზომვა, როდესაც სიდიდის მნიშვნელობას უშუალოდ ზომავს შესაბამისი, წინასწარ დაგრაღულირებული გამზომი ხელსაწყო. ასეთ ხელსაწყოებს მიეკუთვნება, მაგალითად, თერმომეტრი და სასწორი, რომლებიც გამოიყენება ტემპერატურისა და მასის განსაზღვრად. უმეტეს შემთხვევაში გასაზომი ფიზიკური სიდიდის განსაზღვრისთვის საჭიროა, გაიზომოს სხვადასხვა ფიზიკური სიდიდე, რომლებზეც დამოკიდებულია გასაზომი ფიზიკური სიდიდე. გაზომვის ამ მეთოდს უწოდებენ არაპირდაპირს. არაპირდაპირი გაზომვის რამდენიმე მაგალითია:

- სხეულის სიმაღლის განსაზღვრა ჩრდილის მიხედვით;
- სხეულის სიმკვრივის გამოთვლა მასისა და მოცულობის მონაცემებით;
- სხეულის მასის განსაზღვრა დინამომეტრით, წონის ($p = mg$) ფორმულით;
- სიჩქარის დადგენა გავლილი მანძილისა და დროის მიხედვით;
- წინაღობის გამოთვლა ძაბვისა და დენის მიხედვით (ომის კანონი);
- ენერგიის გამოთვლა სიმძლავრისა და დროის მონაცემებით;
- ნივთიერების რაოდენობის დადგენა მასისა და მოლური მასის გამოყენებით;
- სიმძიმის ძალის აჩქარების განსაზღვრა მათემატიკური ან ფიზიკური საქანის საშუალებით;
- სიმძიმის ძალის აჩქარების განსაზღვრა ბირთვის გორვის მეთოდით.

ნებისმიერი ექსპერიმენტის დროს მიღებული შედეგი ჭეშმარიტ მნიშვნელობასთან მიმართებაში იძლევა ცდომილებას. განასხვავებენ **ორი სახის ცდომილებას, სისტემურს და შემთხვევითს**. სისტემური ცდომილება უკავშირდება გაზომვის მეთოდს და ექსპერიმენტისთვის საჭირო მოწყობილობების გამართულობას. შემთხვევითი ცდომილება კი ექსპერიმენტის არასწორად, ხარვეზებით ჩატარებით არის განპირობებული.

მიზანშეწონილია, ექსპერიმენტის რამდენჯერმე ჩატარება და მიღებული მონაცემების საშუალო არითმეტიკულის პოვნა. ვთქვათ, საძიებელი სიდიდეა x და ექსპერიმენტი ჩატარდა n -ჯერ. მაშინ

$$x_{საშ} = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_n}{n}.$$

გასაზომი სიდიდის საშუალო მნიშვნელობასა და გაზომვის შედეგად მიღებულ თითოეულ მნიშვნელობას შორის სხვაობას ეწოდება **აბსოლუტური ცდომილება**.

$$\Delta x_1 = |x_{საშ} - x_1|$$

$$\Delta x_2 = |x_{საშ} - x_2|$$

$$\Delta x_3 = |x_{საშ} - x_3|$$

.....

$$\Delta x_n = |x_{საშ} - x_n|$$

ამის შემდეგ საჭიროა **აბსოლუტური ცდომილების საშუალო მნიშვნელობის** გამოთვლა:

$$\Delta x_{საშ} = \frac{\Delta x_1 + \Delta x_2 + \Delta x_3 + \dots + \Delta x_n}{n}.$$

გაზომვის ჭეშმარიტი მნიშვნელობა მოთავსებული იქნება $(x_{საშ} - \Delta x_{საშ})$ და $(x_{საშ} + \Delta x_{საშ})$ მნიშვნელობებს შორის.

$$x_{საშ} - \Delta x_{საშ} \leq x \leq x_{საშ} + \Delta x_{საშ}$$

მხოლოდ აბსოლუტური ცდომილება ვერ განსაზღვრავს გაზომვის სიზუსტეს. საჭიროა **ფარდობითი ცდომილების** გამოთვლა, რაც გულისხმობს აბსოლუტური ცდომილების შეფარდებას გასაზომი ფიზიკური სიდიდის მნიშვნელობასთან. ფარდობითი ცდომილება გვიჩვენებს, გასაზომი სიდიდის რა ნაწილს შეადგენს აბსოლუტური ცდომილება. ფარდობით ცდომილებას გამოსახავენ პროცენტებში:

$$\delta x_{საშ} = \frac{\Delta x_{საშ}}{x} \cdot 100\%$$



წინამდებარე სტატიაში წარმოგიდგენთ სიმძიმის ძალის აჩქარების განსაზღვრის მეთოდს სფერულ სეგმენტში ბირთვის გორვის საშუალებით. ექსპერიმენტი ემყარება ჩაზნექილ სფერულ ზედაპირზე ბირთვის მიერ შესრულებული რხევების ფიზიკური კანონზომიერების აღწერას. სფერული ზედაპირი და ბირთვი, ისეთი მასალისაგან უნდა იყოს დამზადებული, რომ შეგვეძლოს ხახუნის უგულებელყოფა. თავისუფალი ვარდნის აჩქარების განსაზღვრისთვის ვიყენებთ ენერგიის მუდმივობის კანონს.

მოვათავსოთ ბირთვი ჩაზნექილ ზედაპირზე. ბირთვი დაიკავებს უდაბლეს მდებარეობას, რომელსაც შეესაბამება უმცირესი პოტენციური ენერგია. გამოვიყვანოთ ბირთვი წონასწორობიდან და მივცეთ მას მოძრაობის საშუალება. თუ ხახუნს არ

თუ რხევა წარმოებს მცირე ამპლიტუდით, მაშინ სიმცირის გამო შესაძლებელია h^2 უგულებელვყოთ და მივიღებთ $a^2 = 2R_1 h$, აქედან კი

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

შევიტანოთ h -ის ეს მნიშვნელობა პოტენციური ენერგიის ფორმულაში, მივიღებთ

$$E_{\text{პოტ}} = \frac{mg a^2}{2R_1} \quad (3).$$

იმის გათვალისწინებით, რომ ზედაპირზე ბირთვი გორავს, მისი კინეტიკური ენერგია ტოლია გადატანითი და ცენტრის გარშემო ბრუნვის კინეტიკური ენერგიების ჯამის -

$$E_{B_{\text{კინ}}} = E_{\text{კინ.გად}} + E_{\text{კინ.ბრ}} \quad (4)$$

გადატანითი მოძრაობის კინეტიკური ენერგია

$$E_{\text{კინ.გად}} = \frac{m v^2}{2} \quad (5);$$

ჰარმონიული რხევითი მოძრაობისას სიჩქარე $v = \frac{2\pi a}{T}$, ამიტომ

$$E_{\text{კინ.გად}} = \frac{1}{2} m \left(\frac{2\pi a}{T} \right)^2 \quad (6);$$

ბრუნვითი მოძრაობის კინეტიკური ენერგია

$$E_{\text{კინ.ბრ}} = \frac{J \omega^2}{2},$$

სადაც J ბირთვის ინერციის მომენტი დიამეტრის მიმართ, ω კი ბრუნვის კუთხური სიჩქარე,

$$J = \frac{2}{5} m r^2$$

$$\omega = \frac{v}{r} = \frac{2\pi a}{rT}.$$

ამ ფორმულების გათვალისწინებით მივიღებთ

$$E_{\text{კინ.ბრ}} = \frac{1}{2} \cdot \frac{2}{5} m r^2 \left(\frac{2\pi a}{rT} \right)^2 = \frac{1}{5} m \left(\frac{2\pi a}{T} \right)^2$$

$$E_{\text{კინ.ბრ}} = \frac{1}{5} m \left(\frac{2\pi a}{T} \right)^2 \quad (7)$$

(6) და (7), შევიტანოთ (4) ფორმულაში, მივიღებთ

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

$$E_{\text{კინ}} = \frac{7}{10} m \left(\frac{2\pi a}{T} \right)^2 \quad (8).$$

ენერგიის მუდმივობის კანონის თანახმად, (3) = (8)

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

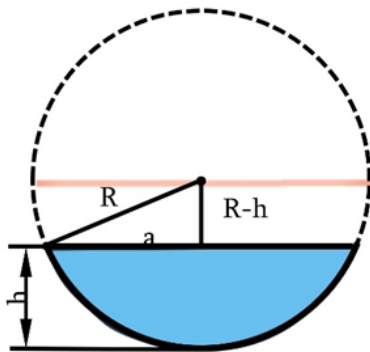
აქედან კი, შეგვიძლია თავისუფალი ვარდნის აჩქარების პოვნა

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

სფერული ზედაპირის სიმრუდის რადიუსი აღვნიშნოთ R -ით, ბირთვის რადიუსი კი r , მაშინ $R_1 = R - r$; საბოლოოდ, თავისუფალი ვარდნის აჩქარების გამოსათვლელად მივიღებთ შემდეგ ფორმულას

$$g = \frac{5,6\pi^2}{T^2} (R - r) \quad (9).$$

ექსპერიმენტის ჩატარებით და მიღებული ფორმულით, თავისუფალი ვარდნის აჩქარება გაიზომება საკმაოდ მარტივად. დამატებით საჭიროა სფერული სეგმენტის R რადიუსის გაზომვის მეთოდის განხილვა. თუ სფერული სხეული იქნება ზუსტად ნახევარსფეროს ზომის, მაშინ რადიუსის (დიამეტრის) გაზომვა ნახაზიდან თვალსაჩინოა. სხვა შემთხვევისთვის კი, მარტივი მათემატიკური გამოთვლებით შეიძლება დავწეროთ



ნახ.2.

$$a^2 + (R-h)^2 = R^2$$

$$a^2 + R^2 - 2Rh + h^2 = R^2$$

$$a^2 = 2Rh - h^2$$

$$R = \frac{a^2 + h^2}{2h}$$

a და h სიდიდის მნიშვნელობები გაიზომება ორი სახაზავის გამოყენებით.



➤ ექსპერიმენტისთვის საჭირო რესურსები:

1. სფერული სეგმენტი
2. მცირე ზომის სხვადასხვა დიამეტრის ბირთვები
3. ორი სახაზავი
4. წამმზომი
5. მარკერი

➤ სამუშაოს მსვლელობა:

1. სახაზავის საშუალებით გაზომეთ a და h სიდიდეები (ნახ.2) და განსაზღვრეთ ჩაზნექილი სფერული ზედაპირის სიმრუდის R რადიუსი ფორმულით

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

a (მ)	h (მ)	R (მ)

2. სახაზავით გაზომეთ ბირთვის რადიუსი r;
3. წონასწორობის მდებარეობიდან უდიდესი გადახრის წერტილიდან ბირთვს დააწყებინეთ რხევები;
4. გამოიყენეთ წამმზომი და ათვალეთ რამდენიმე რხევისთვის საჭირო დრო (t);
5. განსაზღვრეთ ბირთვის ერთი სრული რხევის პერიოდი

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

6. ცდა გაიმეორეთ რამდენჯერმე სხვადასხვა დიამეტრის ბირთვებისთვის და ყველა შემთხვევისთვის გამოთვალეთ თავისუფალი ვარდნის აჩქარება

$$g = \frac{5,6\pi^2}{T^2} (R - r);$$

7. გამოიანგარიშეთ g-ს საშუალო მნიშვნელობა;
8. გამოიანგარიშეთ აბსოლუტური და ფარდობითი ცდომილება.

➤ დაკვირვებათა ცხრილი

N	სფერული ზედაპირის სიმრუდის რადიუსი R	ბირთვის რადიუსი r	რხევითა რაოდენობა n	n რხევების საჭირო დრო t	რხევის პერიოდი T	სიმძიმის ძალის აჩქარება g	სიმძიმის ძალის g _{საშ.}	აბსოლუტური ცდომილება $\Delta g_{\text{საშ}}$	$\frac{\Delta g_{\text{საშ}}}{g} \cdot 100\%$
1.									
2.									
3.									
4.									
5.									

კლასის საჭიროებიდან გამომდინარე, მასწავლებელმა თავად უნდა გადაწყვიტოს, ფორმულები საბოლოო სახით გააცნოს მოსწავლეებს თუ ერთად განიხილონ მათი მიღების გზა. მნიშვნელოვანია, რომ მოზარდებმა გაიაზრონ ის ფიზიკური შინაარსი, რომლებზეც დამყარებულია სამუშაო ფორმულის გამოყვანა და მისი თითოეული ეტაპი.

სფერულ სეგმენტში სიმძიმის ძალის განსაზღვრა გორვის მეთოდით არის მარტივი, ხელმისაწვდომი და საინტერესო ექსპერიმენტი, რომლის ჩატარება მინიმალური რესურსებით არის შესაძლებელი. ამ მეთოდის გამოყენებით მოსწავლეები არა მხოლოდ ამოიცნობენ სიდიდეთა შორის ურთიერთკავშირს, არამედ უკეთ გაიაზრებენ სიმძიმის ძალის მოქმედების ფიზიკურ არსს.

რეალური ექსპერიმენტები ავითარებენ კვლევით უნარებს და ხელს უწყობენ სიდიდეთა შორის მიზეზ-შედეგობრივ კავშირებზე ფიქრს. მსგავსი აქტივობები აძლიერებს ფიზიკის სწავლების მიზანს - ფიზიკური კანონზომიერებების გაგებას და მათ ყოველდღიურ ცხოვრებასთან დაკავშირებას.

გამოყენებული მასალა:

აკაკი წერეთლის სახელმწიფო უნივერსიტეტის ფიზიკის დეპარტამენტის
ლაბორატორიულ ამოცანათა კრებული