

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი
პროფესორ ალექსი გორგიძის სახელობის მექანიკის
სამეცნიერო-სასწავლო ლაბორატორია



ლაბორატორიული სამუშაო №3

ვარიანტი №

ჯგუფი №

სტუდენტი:

ხელმძღვანელი:

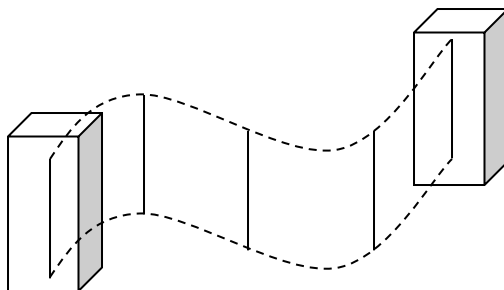
თარიღი:

თბილისი– 2018

თანაბრადცვლადი მოძრაობის კინემატიკური მახასიათებლების განსაზღვრა. ნივთიერი წერტილის დინამიკა

1. გადატანითი მოძრაობა
2. თანაბრადაჩქარებული წრფივი მოძრაობა
3. ნიუტონის კანონები

მყარი სხეულის გადატანითი მოძრაობა ეწოდება სხეულის ისეთ მოძრაობას, როდესაც მასში ნებისმიერად აღებული წრფის მონაკვეთი თავის თავის პარალელური რჩება (ნახ.1). გადატანითი მოძრაობის შემთხვევაში სხეულის ყველა წერტილს ერთნაირი ტრაექტორია, სიჩქარე და აჩქარება აქვთ. მაშასადამე, მყარი სხეულის გადატანითი მოძრაობის შესწავლა დაიყვანება მისი ნებისმიერი წერტილის მოძრაობის შესწავლამდე. მყარი სხეულის გადატანითი მოძრაობა წრფივა, თუ მისი ყველა წერტილის ტრაექტორიები პარალელური წრფეებია; მრუდწირულია, თუ სხეულის წერტილების ტრაექტორიები თავსებადი მრუდი წირებია.

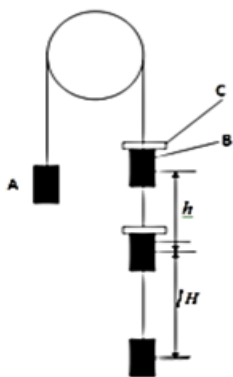


ნახ. 1. – მყარი სხეულის გადატანითი მოძრაობა
ნივთიერი წერტილის ვექტორული აჩქარება გამოითვლება ფორმულით

$$\vec{w} = \frac{d\vec{v}}{dt} = \frac{d^2\vec{r}}{dt^2}, \quad (1)$$

სადაც \vec{v} – ვექტორული სიჩქარეა, \vec{r} – რადიუს-ვექტორია.

როგორც ცნობილია, წერტილის **თანაბარი მოძრაობა** ეწოდება მის მოძრაობას მუდმივი სკალარული სიჩქარით ($v = const$).



ნახ. 2

წერტილის მოძრაობას ეწოდება **თანაბრადცვლადი**, თუ მისი მხები აჩქარების სიდიდე მუდმივია ($w_\tau = const$). თანაბრადცვლადი მოძრაობის მაგალითებია: სხეულის თავისუფალი ვარდნა, ჰორიზონტთან რაიმე კუთხით გასროლილი სხეულის მოძრაობა.

თუ ამოვხსნით

$$\frac{ds}{dt} = v, \quad \frac{dv}{dt} = w_\tau$$

დიფერენციალურ განტოლებებს შემდეგ საწყის პირობებში:

როცა $t = t_0$, $s = s_0$, $v = v_0$, მივიღებთ

ა) თანაბარი მოძრაობის განტოლებას:

$$s = v(t - t_0) + s_0 \quad (2)$$

ბ) თანაბრადცვლადი მოძრაობის განტოლებას და სიჩქარეს:

$$s = \frac{w_{\tau}}{2} (t - t_0)^2 + v_0 (t - t_0) + s_0, \quad (3)$$

$$v = w_{\tau} (t - t_0) + v_0. \quad (4)$$

Ox ღერძის გასწვრივ წრფივი მოძრაობის შემთხვევაში, ნულოვან საწყის პირობებში, (2), (3) და (4) განტოლებებს ექნებათ შემდეგი სახე

$$x(t) = vt, \quad x(t) = \frac{wt^2}{2}, \quad v(t) = wt. \quad (5)$$

ა) სხეულის აჩქარების გამოთვლა

იმ უბანზე, რომელზეც სხეული ასრულებს აჩქარებულ მოძრაობას, მის მიერ განვლილი მანძილი გამოითვლება ფორმულით

$$h = \frac{wt^2}{2} \quad (6)$$

სხეულის აჩქარება შესაძლებელია გამოვთვალოთ ფორმულით:

$$w = \frac{v}{t_1} \quad (7)$$

სადაც v – აჩქარებული მოძრაობის საბოლოო სიჩქარეა. (6) და (7) ტოლობები მოგვცემს

$$h = \frac{v^2}{2w} \quad (8)$$

ახლა განვიხილოთ უბანი, სადაც ტვირთი ასრულებს თანაბარ მოძრაობას. ტვირთი ამ უბანს გაივლის v სიჩქარით. გავლილი მანძილი შეიძლება ჩაიწეროს შემდეგი სახით:

$$H = vt_2 \quad (9)$$

(8) და (9) – დან შეიძლება განვსაზღვროთ სხეულის აჩქარება

$$w = \frac{H^2}{2ht_2^2} \quad (10)$$

ამგვარად, აჩქარების განსასაზღვრავად უნდა გავზომოთ:

1. h – თანაბრდაჩქარებული მოძრაობისას გავლილი მანძილი;
2. H – თანაბრი მოძრაობისას გავლილი მანძილი;
3. t_2 – დრო, რომლის განმავლობაშიც სხეული ასრულებდა თანაბარ მოძრაობას.

$$w_{\text{მდს}} = \frac{H^2}{2ht_2^2}$$

ბ) დინამიკის აქსიომები (ნიუტონის კანონები). კლასიკური დინამიკა აგებულია ნიუტონის კანონებზე, რომლებიც წარმოადგენენ ნიუტონამდე ცნობილი და თვით მის მიერ ექსპერიმენტული მონაცემებისა და თეორიული მასალის განზოგადების საფუძველზე დადგენილ შედეგებს.

I აქსიომა (ინერციის კანონი): ყოველი სხეული ინარჩუნებს უძრაობას ან თანაბარი წრფივი მოძრაობის მდგომარეობას, სანამ სხვა სხეულთა მოქმედება არ აიძულებს მას შეიცვალოს ეს მდგომარეობა.

სხეულთა მექანიკური ურთიერთქმედების დასახასიათებლად შემოდის ძალის ცნება.

ძალა წარმოადგენს მოცემულ სხეულზე სხვა სხეულების მოქმედების ზომას და აიძულებს მოცემულ სხეულს შეიცვალოს სიჩქარე და მოძრაობის მიმართულება.

თუ გავითვალისწინებთ, რომ სხეულის გადატანითი მოძრაობა შეიძლება განვიხილოთ როგორც ნივთიერი წერტილის მოძრაობა, მაშინ პირველი აქსიომა ასეც შეიძლება ჩამოვაყალიბოთ:

თუ ნივთიერ წერტილზე არავითარი ძალა არ მოქმედებს, მაშინ ის ასრულებს წრფივ და თანაბარ მოძრაობას ან იმყოფება უძრაობაში.

პირველი აქსიომა ფორმულით შეიძლება ასე გამოვსახოთ

$$\vec{v} = \overline{const},$$

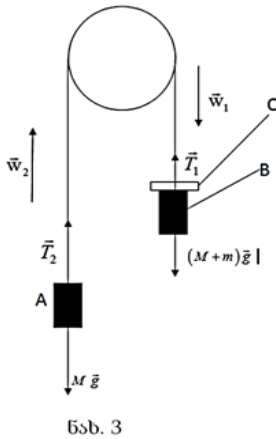
სადაც \vec{v} სხეულის ვექტორული სიჩქარეა.

II აქსიომა (დინამიკის ძირითადი კანონი, ნიუტონის მეორე კანონი). ნივთიერ წერტილზე მოქმედი ძალა პირდაპირპროპორციულია მის მიერ გამოწვეული აჩქარების.

დინამიკის მეორე კანონი ფორმულით ასე გამოისახება:

$$\vec{F} = m\vec{w}$$

სადაც მოქმედი ძალა აღნიშნულია \vec{F} – ით, ხოლო აჩქარება \vec{w} – თი. m პროპორციულობის კოეფიციენტი და მას აქვს გარკვეული ფიზიკური მნიშვნელობა. მას სხეულის მასას უწოდებენ.



ნახ. 3

III აქსიომა (ქმედებისა და უკუქმედების კანონი): ორი ნივთიერი წერტილი ერთმანეთზე მოქმედებს ძალებით, რომლებიც სიდიდით ტოლია და მიმართულია ურთიერთსაწინააღმდეგოდ ამ წერტილების შემაერთებელი წრფის გასწვრივ.

გ) თავისუფალი ვარდნის აჩქარების გამოთვლა

უჰაერო სივრცეში დედამიწის მიზიდულობის ძალის მოქმედებით დედამიწის ზედაპირზე ყველა სხეული ვარდება g აჩქარებით. ეს ნიშნავს, რომ დედამიწასთან დაკავშირებულ ათვლის სისტემაში m მასის ყოველ სხეულზე მოქმედებს ძალა

$$\vec{F} = m\vec{g}.$$

ამ ძალას სიმძიმის ძალას უწოდებენ. თავისუფალი ვარდნის \vec{g} აჩქარება და სიმძიმის \vec{F} ძალა უმნიშვნელოდ არიან დამოკიდებულნი ადგილის განედზე. ამის გარდა, \vec{g} და \vec{F} ასევე დამოკიდებული არიან ზღვის დონიდან ადგილის სიმაღლეზე, მაგრამ დედამიწის ცენტრიდან დაშორებასთან ერთად მათ მნიშვნელობებს შორის განსხვავებები მცირდება.

დინამიკის კანონების გამოყენებით შესაძლებელია გაიზომოს თავისუფალი ვარდნის აჩქარების მნიშვნელობა. ნიუტონის პირველი კანონის თანახმად მატერიის თვისებაა იყოს მუდმივ მოძრაობაში და ადგენს, რომ ყოველი სხეული ინარჩუნებს წრფივ და თანაბარ მოძრაობას ან უძრაობას, სანამ სხვა სხეულები არ აიძულებენ მას არსებული მდგომარეობის შეცვლას. კლასიკურ მექანიკაში, რომელსაც ნიუტონის მექანიკას უწოდებენ, სხეულის მოძრაობა აღიწერება ნიუტონის მეორე კანონით: სხეულზე მოქმედი ძალა პირდაპირ პროპორციულია მის მიერ გამოწვეული აჩქარებისა. პროპორციულობის კოეფიციენტს, რომელსაც აღვნიშნავთ m – ით, აქვს ფიზიკური მნიშვნელობა. მას სხეულის მასა ჰქვია. განასხვავებენ მასის რამდენიმე ცნებას:

გრავიტაციული, ინერტული. თეორიულ მექანიკაში განიხილავენ გრავიტაციულ და ინერტულ მასებს. ექსპერიმენტულად დამტკიცებულია, რომ გრავიტაციული მასა ინერტულისაგან განსხვავდება 10^{-12} კგ სიზუსტით, ამიტომ შემდგომში განვიხილავთ მხოლოდ ინერტულ მასას. ვგულისხმობთ, რომ ინერტული მასა ეწოდება სიდიდეს, რომელიც დამოკიდებულია ნივთიერების რაოდენობაზე და განსაზღვრავს მის ინერტულობის ხარისხს. ინერტულობა სხეულის თვისებაა შეეწინააღმდეგოს სხვა სხეულების მოქმედებას და შეინარჩუნოს არსებული მდგომარეობა.

გამოვიყვანოთ თავისუფალი ვარდნის აჩქარების გამოსათვლელი სამუშაო ფორმულა.

ატვუდის მანქანის სქემის მიხედვით ტვირთების სისტემის მოძრაობის განტოლებებს აქვთ შემდეგი სახე:

$$\begin{cases} (M + m)w_1 = (M + m)g - T_1, \\ Mw_2 = -Mg + T_2. \end{cases}$$

თუ გავითვალისწინებთ, რომ ძაფი უწონადია და უჭიმადია, მაშინ ტვირთების აჩქარებები სიდიდით ტოლია და მიმართული არიან ერთმანეთის საწინააღმდეგოდ. აგრეთვე უწონადი ბლოკის შემთხვევაში $T_1 = T_2 = T$ და სისტემიდან მივიღებთ, რომ

$$g = \frac{2M + m}{m} w,$$

სადაც M – ტვირთის მასაა, m – რგოლისებრი ტვირთის მასაა, g – თავისუფალი ვარდნის აჩქარებაა. თუ უკანასკნელ ფორმულაში ჩავსვათ w აჩქარების ექსპერიმენტულ მნიშვნელობას, გვექნება

$$g_{\text{ახს}} = \frac{2M + m}{m} \frac{H^2}{2ht_2^2}.$$

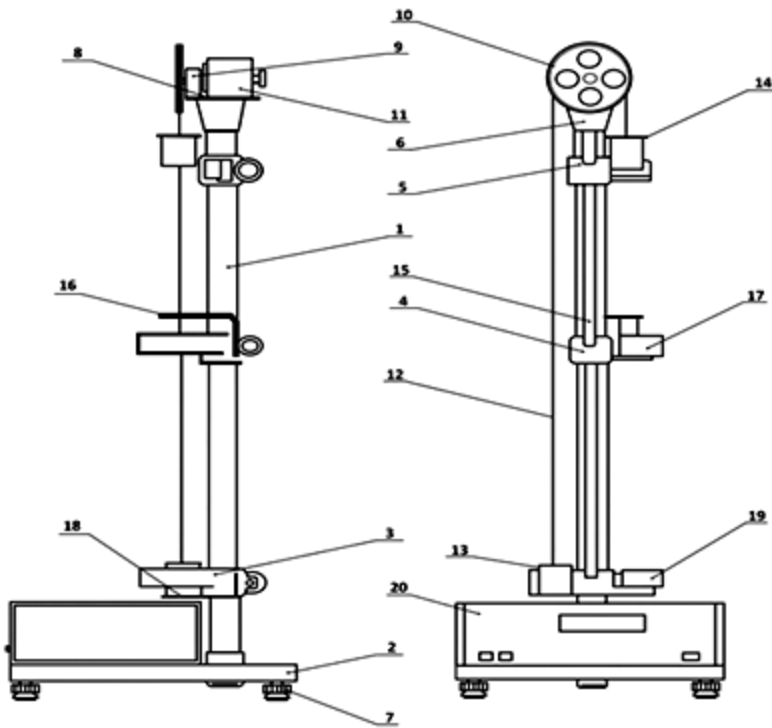
სამუშაოს მიზანი: თანაბარცვლადი მოძრაობის კანონების შესწავლა, სხეულის გადატანითი მოძრაობის კინემატიკის და დინამიკის კანონების შემოწმება ატვუდის მანქანის დახმარებით.

ექსპერიმენტის იდეა: ექსპერიმენტის ჩატარება საშუალებას იძლევა, სისტემის სხეულების მახასიათებლების ანალიზის საფუძველზე შესწავლილი იქნეს თანაბრადცვლადი მოძრაობის კანონები. სწორედ ასეთი ანალიზის ჩასატარებლად გამოიყენება ატვუდის მანქანა, რომელიც საშუალებას იძლევა მივიღოთ სხვადასხვა, თავისუფალი ვარდნის აჩქარებასთან შედარებით მცირე აჩქარებები. კინემატიკურ მახასიათებლებში იგულისხმება გავლილი მანძილი, ტვირთის სიჩქარე და აჩქარება, მოძრაობის დრო.

სხეულის მოძრაობის კანონების შესწავლა მუდმივი ძალის მოქმედებისას

ხელსაწყოები და საკუთრობები: დანადგარი FPM – 02 და ტვირთების ნაკრები.

ატვუდის ექსპერიმენტული დანადგარი: (თეორიული აღწერა) ატვუდის ექსპერიმენტული



ნახაზი 4- დანადგარი FPM-02

დანადგარი ე.წ. „ატვუდის მანქანა“ წარმოადგენს მბრუნავ ბლოკს რაც შეიძლება მცირე ხახუნით, რომელზეც გადაკიდებულია უწონადი, უჭიმადი წვრილი ძაფი. ძაფის ბოლოებზე დაკიდებულია ერთი და იგივე m მასის ორი ერთნაირი სხეული.

„ატვუდის მანქანა“ განკუთვნილია წრფივი, თანაბრადცვლადი მოძრაობის შესასწავლად. კერძოდ, სხეულის თავისუფალი ვარდნის აჩქარების შესასწავლად. ატვუდის მანქანა წარმოადგენს დანადგარს FPM – 02, რომლის საერთო სახე მოცემულია ნახაზ 4-ზე. 2- ფუძეზე დამაგრებულ 1- ვერტიკალურ სვეტზე მიმაგრებულია სამი კრონშტეინი: 3- უძრავი ქვედა

კრონშტეინი და ორი მოძრავი კრონშტეინი – 4 -შუა და 5- ზედა; აგრეთვე 6- მილისა.

ფუძე აღჭურვილია მარეგულირებელი 7-ფეხებით, რომელთა დახმარებით შესაძლებელია დანადგარის მდგომარეობის გასწორება.

ზედა მილისაზე, 8-დისკის საშუალებით დამაგრებულია 9-გორგოლაჭი, 10-ბლოკი და 11 - ელექტრომაგნიტი. ბლოკზე გადაკიდებულია 12- ძაფი, რომლის ბოლოებზე დაკიდებულია 13 და 14 ტვირთები.

ძაფის მიწოდება ელექტრომაგნიტს საშუალებას აძლევს ფრიქციული ქუროს საშუალებით ბლოკი ტვირთებთან ერთად შეაკავოს უძრავ მდგომარეობაში.

შუა და ზედა კრონშტეინები შეიძლება გადავადგილოთ სვეტის გასწვრივ და დავაფიქსიროთ ნებისმიერ ადგილას. ამგვარად, ვადგენთ მანძილს, რომელსაც გაივლის 14 ტვირთი. გავლილი მანძილის განსასაზღვრავად სვეტზე დატანილია მილიმეტრული 15 სკალა. ყველა კრონშტეინს აქვს მდგომარეობის მაჩვენებელი, ხოლო ზედა კრონშტეინს დამატებითი შტრიხი, რომლის მეშვეობით გვიადვილდება ზედა დიდი ტვირთის ქვედა ფუძის თანხვედრა მოძრაობის დასაწყისთან.

შუა კრონშტეინზე დამაგრებული 16 რგოლი და 17 ფოტოელექტრული გადამწოდი. 16 რგოლი ხსნის ვარდნილი დიდი ტვირთიდან დამატებით რგოლისებურ ტვირთს, ხოლო ფოტოელექტრული გადამწოდი ამ დროს წარმოქმნის ელექტრულ იმპულსს, რომელიც აღნიშნავს თანაბარი მოძრაობის დაწყებას.

მართვის ღილაკების დანიშნულება: დანადგარის წინა პანელზე განლაგებულია ღილაკები:

ქსელო- ამ ღილაკზე დაჭერა იწვევს კვების წყაროს ჩართვას და ციფრული ინდიკატორის ავტომატურ ჩამოყრას (ყველა თანრიგში გამონათდება ციფრი ნული და ფოტოგადამწოდის ნათურა ანთებული);

ბაშვმბა - ამ ღილაკზე დაჭერა ანთავისუფლებს ელექტრომაგნიტს და იწყება დროის ათვლა;

ჩამოყრა- ინდიკატორის ნულების დამყენებელი. ამ ღილაკზე დაჭერით იწვევს წამმზომის მაჩვენებლების ჩამოყრას და ტვირთების ფიქსაციას მოცემულ მდგომარეობაში ელექტრომაგნიტის საშუალებით;

გაზომვების შესასრულებლად თავიდან თანამიმდევრობით დააჭირეთ ღილაკებს **ქსელო**, **ბაშვმბა**, **ჩამოყრა**, რის შემდეგაც დაამაგრეთ ტვირთები მოცემულ სიმაღლეზე და დააფიქსირეთ **ბაშვმბა** ღილაკის დახმარებით. **ბაშვმბა**-ის ღილაკზე დაჭერით, გაზომეთ ტვირთის მოძრაობის დრო ზედა და ქვედა ფოტოგადამწოდებს შორის. **ჩამოყრა** ღილაკზე დაჭერით, გაანულებთ ინდიკატორი და თავიდან დააყენეთ იმავე სიმაღლეზე. გადადით მორიგ გაზომვაზე.

ექსპერიმენტის ჩატარების თანამიმდევრობა

1. გაასწორებთ დანადგარს ისე, რომ იგი იდგეს მყარად; იგულისხმება, რომ იგი გაწონასწორებულია ჰორიზონტალურ და ვერტიკალურ სიბრტყეში თარაზოს საშუალებით;
2. ვამოწმებთ ტვირთების მდგომარეობას, რაც გულისხმობს მათ მიზმას ძაფზე (უჭიმადი) და ამ ძაფის ნორმალურად განთავსება მოძრავ ბლოკზე;
3. ვერტიკალურ დგარზე 1 არსებული შკალის საშუალებით 3 და 4 კრონშტეინებს ვაყენებთ 5 სმ-ის დაცილებით;
4. ხაზიანი 5 კრონშტეინი მოთავსდება ვერტიკალურ დგარზე 40 სმ-ის სიმაღლეზე. (სიმაღლის ცვლილება შეიძლება);
5. ვრთავთ ხელსაწყოს **ქსელო** ღილაკზე დაჭერით, ამ დროს ფიქსირდება ბლოკის მდებარეობა ელექტრომაგნიტის მეშვეობით, რომლის დროსაც ტაბლოზე ინდიკაცია არის 0-ები;
6. მოვათავსოთ ტვირთი (პირობითად მარჯვენა) 5 კრონშტეინის ხაზს შევუსაბამებთ ტვირთის ქვედა ფუძის ხაზს.
7. ამავე ტვირთზე ვათავსებთ დამატებით რგოლისებრ ტვირთს, რომლის მასა ცნობილია და ტვირთებს ვაჩერებთ ვერტიკალურ სიბრტყეში ისე, რომ არ ირხეოდნენ;
8. ვაჭერთ ღილაკს **ბაშვმბა** და ტვირთი იწყებს აჩქარებულ მოძრაობას ვერტიკალურად ქვემოთ;
9. ვარდნისას რგოლისებრი ტვირთი – დამჭერის საშუალებით მოცილდება ძირითად ტვირთს და ძირითადი ტვირთი აგრძელებს მოძრაობას მუდმივი სიჩქარით;
10. 3 და 4 კრონშტეინებზე დამაგრებული ფოტოგადამწოდების სინათლის ნაკადის გადაკვეთის შედეგად ტაბლოზე გამოისახება ამ კრონშტეინებს შორის არსებული მანძილის გავლის დრო. მონაცემი შეგვაქვს ცხრილში და ამ ცდას გავიმეორებთ 3-ჯერ;
11. ამის შემდეგ ძირითად ტვირთზე ვამატებთ ტვირთებს და თითოეული დამატებისას ვატარებთ ცდას ზემოთ აღნიშნული მიმდევრობით. თითოეული მნიშვნელობისათვის ცდის შედეგები შეგვაქვს ცხრილში.

		H=	ბ0	h=	ბ0	m=	გ0	M= 60,7,80							
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
N⁰	t₂₍₁₎	t₂₍₂₎	t₂₍₃₎	t_{2(ბ0)}	V₁	V₂	V₃	V_{ბ0}	W₁	W₂	W₃	W_{ბ0}	t_{2(ბ0)}	g_{0,β}	
1															
2															