AZƏRBAYCAN RESPUBLİKASI TƏHSİL NAZİRLİYİ
BAKI DÖVLƏT UNİVERSİTETİ

FİZİKA PRAKTİKUMU ÜZRƏ METODİK GÖSTƏRİŞ

BAKI UNİVERSİTETİ
NƏŞRİYYATI
1991

TƏRTİBÇİLƏR: E.A.Məsimov
F.A.Əhmədov

REDAKTOR: A.Mahmudov

RƏYÇİ: E.Ə. Eyvazov

Fizika praktikumunda əsas məqsəd ölçü cihazları və üsulları ilə tanışlıq, mühazirə materiallarını daha dərindən mənimsəmək və onları tətbiq etmək, təcrübə texnikasına yiyələnməkdən ibarətdir.

1. Fizika tədrisinin başqa formaları kimi fizpraktikum da tələbənin dialektik materialist dünyagörüşünün formalaşmasına xidmət edir, fiziki qanunauyğunluqların dərk edilməsinin dialektik üsulunu öyrədir.

2. Fizika praktikumu tələbələrdə milli vətənpərvərlik hisslərini dərinləşdirir, onlarda milli dəyərlərə münasibət formalaşdırır.

3. Fizika praktikumu tələbənin dərk etmə və müşahidə qabiliyyətini, təfəkkürünü, düşünmə bacarığını və diqqətini inkişaf etdirir.

4. Fizika praktikumu tələbələrin nəzəri biliyinin dərinləşməsinə kömək edir. Mühazirədə göstərilən nümayişlər keyfiyyət xarakteri daşıyır, lakin laboratoriya işlərində fiziki qanunlar, hadisə və proseslər kəmiyyətcə yoxlanılır.

Bu və ya digər qanunauyğunluq tələbə tərəfindən analitik və ya qrafiki təsvir edilir.

5. Müasir ölçü cihazları, hesablama texnikası və maşınları ilə işləmək bacarığı yaranır. Sərbəst iş aparmaq vərdişi aşılanır.

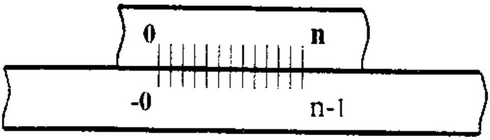
LABORATORİYA İŞİ №1

ŞTANGENPƏRGAR, MİKROMETR VƏ SFEROMETRLƏ İŞLƏMƏ QAYDALARININ ÖYRƏNİLMƏSİ VƏ CİSİMLƏRİN ÖLÇÜLƏRİNİN TƏYİNİ

Tapşırıq 1. ***Noniusun öyrənilməsi. Ştangenpərgar vasitəsilə müxtəlif cisimlərin ölçülərinin təyini.***

Ləvazimat: ştangenpərgar və düzgün həndəsi formalı müxtəlif cisimlər.

Tutaq ki, adi xətkeşin yanına ona paralel əlavə xətkeş yerləşdirilmişdir (şəkil 1). Bölgülərinin qiyməti adi xətkeşin bölgüsünün qiymətindən fərqlənən bu əlavə xətkeşə nonius deyilir. Noniusun bir bölgusünün uzunluğu l_N, adi xətkeşinki isə l_a olsun. Adətən $l_N < l_a$-dır. Noniusun n bölgüsünün uzunluğu adi xətkeşin n-1 bölgüsünün uzunluğuna bərabər olur:



Şəkil 1.

$$n l_N = (n-1) l_a$$

Buradan xətkeşlərin miqyas fərqi üçün

$$\Delta l = l_a - l_N = \frac{l_a}{n}$$

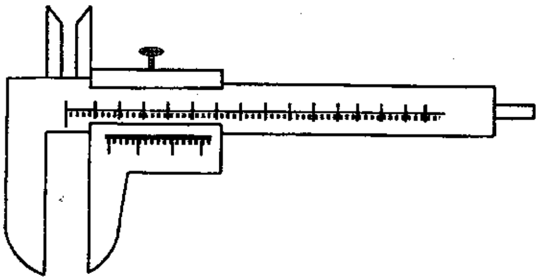
ifadəsi alınır. Bu fərqə noniusun dəqiqliyi deyilir. Tutaq ki, uzun xətkeşin bir bölgüsünün qiyməti 1 mm-dir. Qısa xətkeş üzərindəki bölgülərin sayı 10-a bərabər olarsa, belə noniusun dəqiqliyi 0,1 mm olur. Noniusların dəqiqliyi, əsasən 0,1 və ya 0, 05 mm-ə bərabər olur.

Noniusu əsas xətkeş boyunca Δl qədər sürüşdürsək, onda noniusun sıfırınçı bölgüsü əsas xətkeşin sıfırıncı bölgüsündən $\frac{l_a}{n}$ qədər uzaqlaşacaqdır. Əgər noniusu K dəfə ardıcıl olaraq Δl qədər sürüşdürsək, onların sıfırıncı bölgüləri bir-birindən $k\frac{l_a}{n}$ məsafədə yerləşəcəklər. Adətən, nonius əsas xətkeşdən cox qısa götürülür və ona görə də K-nın ən böyük qiyməti n-ə bərabər olur. Başqa sözlə, noniusun sıfır bölgüsünün əsas xətkeş üzrə bir bölgü yerdəyişməsi zamanı nonius üzrə axırıncı bölgü əsas xətkeş üzrə olan bölgülərlə bir dəfə üst-üstə düşür. Ona görə də ölçü zamanı tam bölgülər əsas xətkeşdəki bölgülərdən, onun hissələri isə nonius üzərindəki bölgülərdən götürülür.

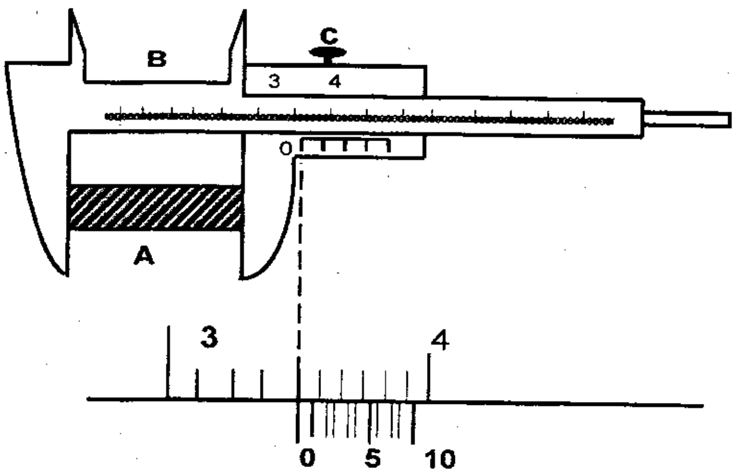
Xətti noniusla təchiz edilmiş xətkeş ştangenpərgar adlanır (şəkil 2). Ştangenpərgar cisimlərin uzunluğunu, onların daxili və xarici radiuslarını, qalınlığını, enini ölçmək üsün istifadə olunur. Ölçüləcək cismi *A* dodaqları arasına yerləşdirir (*B* dodaqları vasitəsilə daxili diametri ölçürlər) və nonius vasitəsilə ehtiyatla sıxıb onun C vintini bağlayırlar. Noniusun sıfırıncı bölgüsünün əsas xətkeş üzərində uyğun gəldiyi bölgü millimetrlərin tam sayını, nonius üzərindəki xətlərdən biri əsas xətkeş üzərindəki xətlərdən birinin davamı kimi görünən bölgü isə millimetrin hissəsini göstərəcəkdir. Şəkil 3-də noniusun sıfırıncı bölgüsü 34 mm-ə uyğundur, noniusun 7-ci xətti isə əsas xətkeşin xətti ilə üst-üstə düşür. Onda yuxarıda deyildiyi kimi, millimetrin hissəsi $7\Delta l$-ə bərabər olacaqdır. Noniusun dəqiqliyi, 0,1 mm-dirsə, onda kəsr hissə 7x0,1mm=0,7 mm olar. Beləliklə, ölçülən cismin uzunluğu L=34 mm+0,7mm =34,7 mm olur. Ümumi şəkildə ölçülən cismin uzunluğunu aşağıdakı kimi yazmaq olar:

$$L = ml_a + kl_N$$

burada *m*-əsas xətkeş üzərində noniusun sıfrına uyğun gələn bölgülərin sayı, *k*-isə əsas xətkeşin xətlərindən birinin uzantısı kimi görünən nonius xəttinin nömrəsidir.



Şəkil 2.



Şəkil 3.

Ola bilər ki, ölçü zamanı nonius xətlərindən heç biri əsas xətkeşin xətlərinin uzantısı kimi görünməsin. Bu halda hansı xətt daha çox üst-üstə düşürsə həmin xətt götürülür. Ona görə də cismin uzunluğu müəyyən xəta ilə tapılmış olur. Belə ölçünün xətası noniusun dəqiqliyinin yarısına bərabər olur.

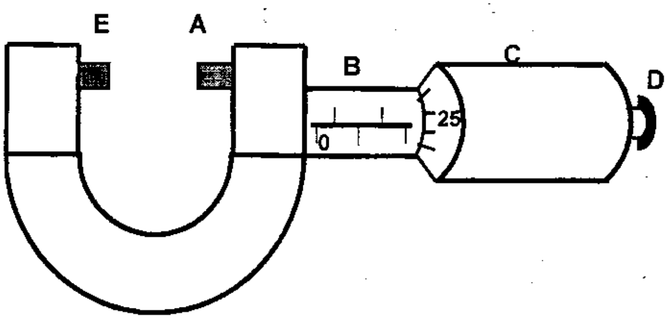
Xətti noniuslardan başqa dairəvi, spiral, xətti transversal və dairəvi transversal noniuslar mövcuddur.

Noniusların dəqiqliyi onların üzərinə həkk olunur.

Tapşırıq 2. ***Mikrometr vasitəsilə lövhələrin qalınlığının ölçülməsi.***

Ləvazimat: mikrometr və müxtəlif qalınlıqlı lövhələr.

Nazik lövhələrin qalınlığını təyin etmək üçün mikrometrlərdən istifadə olunur (şəkil 4). Mikrometrin əsas hissəsi çox səliqə ilə hazırlanmış mikrometrik vintdən ibarətdir. Bu vint nal şəkilli çərçivənin bir tərəfinə elə bağlanmışdır ki, vintin *A* çubuğu irəli və geriyə hərəkət edə bilsin. Şəkildə göstərildiyi kimi, *A* çubuğunun uzantısı üzərində *B* şkalası vardır. Şkala millimetrlərə bölünmüşdür. Çubuq boyunca çəkilmiş düz xəttin yuxarısındakı xətlər aşağıdakı xətlər arasındakı məsafələri yarıya bölür. Deməli, iki qonşu və yuxarı xətlər arasındakı məsafə 0,5 mm olur. Vintin çubuğu üzərinə *C* barabanı geydirilmişdir. Barabanın üzərində 50 bölgü vardır və o bir dəfə dövr etdikdə cubuq boyunca 0,5 mm yerini dəyişir. Deməli, barabanı bir bölgü qədər fırlatsaq, mikrometrin dodaqları (*E* və *A* dodaqları) arasındakı məsafə 0,5/50 mm, yəni 0,01 mm dəyişəcəkdir. Bu mikrometrin dəqiqliyi adlanır.



Şəkil 4.

A və E dodaqları bir-birinə toxunduqda *B* şkalasının sıfrı baraban üzərindəki şkalanın sıfrı ilə üst-üstə düşür. Barabanı fırlatdıqda *A* dodağı *E* dodağından uzaqlaşır. Tutaq ki, nazik lövhə verilmişdir və onun qalınlığını təyin etmək lazımdır. Bunun üçün barabanı fırlatmaqla *A* dodağını E dodağından uzaqlaşdırır və verilmiş lövhəni onların arasına qoyuruq. Barabanı əks istiqamətdə fırlatmaqla *A* dodağını lövhəyə yaxınlışdırır və ehmalca toxundururuq. Lövhəni əzməmək şərtilə dodaqları lövhənin səthinə sıxmaq üçün D vintindən istifadə olunur. D vintini buraraq A dodağını lövhənin səthinə sıxdıqda xarakterik səs çıxır. Bu o deməkdir ki, dodaqlar səthə toxunmuşdur və vinti artıq fırlatmaq olmaz. Tutaq ki, bu zaman mikrometrin vəziyyəti şəkildə göstərildiyi kimi olmuşdur. Lövhənin qalınlığı aşağıdakı kimi tapılır: üfüqi xəttin aşağısında yerləşmiş şkaladan millimetrlərin tam sayı götürülür (şəkildə onların sayı 4-ə bərabərdir, əgər aşağıdakı şkala üzrə axırıncı xətt ilə baraban arasında yuxarı şkalanın xətti varsa, onda əvvəlki millimetrlərin üzərinə 0,5 mm əlavə olunur (şəkildə həmin xətt vardır, ona görə də 4 mm-in üzərinə 0,5 mm əlavə olunur). Millimetrin yüzdə bir hissələri isə baraban üzərindəki şkaladan tapılır: çubuq boyunca çəkilmiş düz xəttin uzantısı kimi görünən barabanın bölgüsünün qiyməti yüzdə bir millimetrləri göstərir (şəkildə bu ədəd 25-ə bərabərdir). Baraban üzərindəki uyğun bölgünün sayı 0,01-ə vurularaq əvvəlki rəqəmlərə əlavə olunur. Məsələn, şəkildə A və E dodaqları arasındakı məsafə

$$L=4\text{mm}+0{,}5\text{mm}+25\cdot 0{,}01\text{mm}=4{,}75\text{mm}$$

olur.

Tapşırıq 3. *Sferometrin öyrənilməsi.*

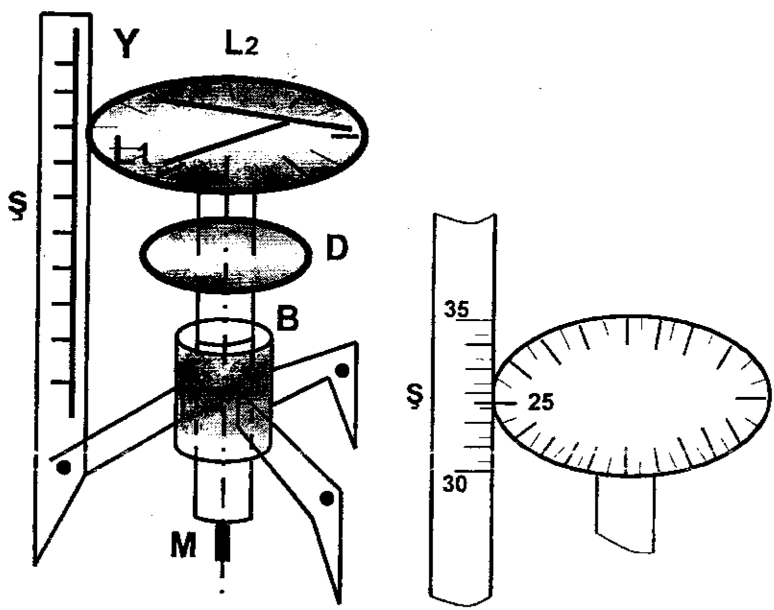
Ləvazimat: sferometr

Sferik səthlərin dərinliyini və ya hündürlüyünü və habelə lövhənin qalınlığını daha dəqiq ölçmək üçün sferometrdən istifadə olunur. Sferometrin üç ayağı vardır (fəzada üç nöqtədən yalnız bir müstəvi keçirmək olar). Onların ortasından addımı 0,5 mm olan mikrometrik vint keçir (şəkil 5). Vintin içərisi deşilmiş və oraya mil salınmışdır. Milin yuxarı ucu dairəvi diskin üzərində yerləşdirilmiş lingə toxunur. Milin aşağı ucu hər hansı bir səthə toxunduqda mil yuxarı itələnir və lingi qaldırır (diskin üzərində bir-birilə əlaqəli iki ling vardır).

Vinti fırlatmaqla elə vəziyyət əldə edilir ki, linglər üfüqi vəziyyət alır, vintin cüzi fırlanması 2-ci lingin ucunun qalxmasına səbəb olur. Bu vəziyyət işci vəziyyət kimi qəbul edilir. Bu vəziyyət ayaqlardan birinə şaquli olaraq bağlanmış və üfüqi yerləşdirilmiş diskin üzərindəki şkala vasitəsilə qeyd edilir. Şaquli xətkeşin hər bölgüsünün qiyməti 0,5 mm-dir (disk bir tam dövr etdikdə şaquli xətkeş boyunca 0,5 mm yerini dəyişir.) Diskin üzərində 500 bölgü olarsa, onun hər bir bölgüsünün qiyməti 0,001 mm olar. Şaquli xətkeşin diskin kənarı ilə eyni səviyyədə olan bölgüsü qeyd edilir və üzərinə diskin üzərindəki uyğun bölgü mində bir vahidlərlə əlavə edilir. Məsələn, şəkildəki vəziyyətə uyğun hündürlük belə tapılır: üfüqi diskin kənarı 30-dan sonra gələn üç xətdən bir az yuxarıda yerləşir. Şaquli xətkeş üzrə hər bölgünün qiyməti 0,5 mm olduğundan üçüncü xəttə uyğun hündürlük

$$30mm+3x0,5mm=31,5mm$$

olar.



Şəkil 5

Millimetrin mində bir hissələri isə diskin üzərindən götürülür. Şəkildə şaquli xətkeşə uyğun gələn bölgü 251-dir. Onda hündürlük 31,5mm+0,251mm=31,751mm olar.

Tapşırıq 4. ***Sferometr vasitəsilə lövhənin qalınlığının təyini.***

Ləvazimat: sferometr, paralel üzlü lövhələr.

Ölçmələr aşağıdakı ardıcıllıqla aparılır:

1. Nazik müstəvi şüşə lövhə üfüqi hamar stolun üzərinə qoyulur, onun üzərinə isə sferometr yerləşdirilir. Sferometri şüşə lövhə üzərinə qoymamışdan əvvəl əmin olmaq lazımdır ki, vintin aşağı ucu sferometrin ayaqlarından yuxarıdadır.

2. *D* dəstəyindən tutub sferometrin vintini saat əqrəbi istiqamətində ehtiyatla fırladaraq milin ucunu şüşə lövhənin səthinə toxundururlar. Toxunma anını lingin qalxması ilə qeyd edirlər. İkinci lingin ucunun bir azca qalxması göstərəcəkdir ki, milin aşağı ucu şüşə müstəviyə toxunmuşdur. Bu vəziyyətə uyğun hündürlük 3-cü tapşırıqda göstərilən qaydada tapılaraq dəftərə qeyd edilir. Bu hündürlük h_0 olsun. Sferometri lövhənin müxtəlif yerlərinə qoymaqla sıfır vəziyyəti qeyd edilir və onların orta qiyməti tapılır.

3. *D* dəstəyindən tutub onu saat əqrəbinin əksinə fırlatmaqla şaquli vinti 15 mm yuxarı qaldırırlar. Qalınlığı ölçüləcək lövhəni üç ayağın ortasına yerləşdirib *D* dəstəyini saat əqrəbi istiqamətində fırladaraq milin aşağı ucunu lövhəyə toxundururlar. Bu vəziyyətə uyğun hündürlüyü yuxarıda göstərilən qaydada təyin edərək dəftərə yazırlar. Bu təcrübəni də lövhənin müxtəlif nöqtələri üçün üç dəfə təkrar edib *h*-nın orta qiymətini hesablayır və $H=h-h_0$ düsturundan lövhənin qalınlığını təyin edirlər.

LABORATORİYA İŞİ №2

DƏQİQ ÇƏKİ QAYDALARI

Ləvazimat: analitik tərəzi, reyterlə birlikdə çəki daşları, kütləsi məlum olan cisim.

Cisimlərin əsas xassələrindən biri onun kütləsidir. Kütlənin miqdarını dəqiq bilmək bir çox fiziki proseslərdə vacib şərtdir. Odur ki, kütləni dəqiq təyin etməyi bacarmaq lazımdır. Kütləni təyin edən üsullardan biri onun məlum kütlə müqayisəsidir. Belə müqayisə tərəzi ilə aparılır. Laboratoriyalarda, əsasən, analitik, ultra və xüsusi məqsədlə işlədilən tərəzilərdən istifadə olunur. Analitik tərəzilər özü analitik, polumikroanalitik və mikroanalitik qruplara bölünür. Analitik qrupa daxil olan tərəzilərin əksəriyyəti bərabər qollu olur. İki gözlü bərabər qollu tərəzilərin üstünlüyü ondan ibarətdir ki, gözlərə təsir edən aerostatik qüvvələr bir-birini tarazlaşdırır. Birqollu tərəzilərin də müsbət cəhəti vardır: belə tərəzilərdə qolların uzunluğunun müxtəlif olmasından irəli gələn xəta olmur.

Bərabərqollu analitik tərəzi oturacağa möhkəm bağlanmış T şəkilli dayaqdan, bu dayağın yuxarı səthinin ortasına bərkidilmiş hamar ləl daşından, iti tilli üçüzlu prizma ilə iki bərabər qola ayrılmış və dayaq üzərinə üfüqi vəziyyətdə yerləşdirilmiş lingdən ibarətdir. Lingin uclarından prizmalı sırğalar, sırğalardan isə tərəzinin gözləri asılmışdır. Orta və kənar prizmalar arasındakı hər iki məsafə 100 bərabər hissəyə bölünmüşdür. Bu reyter şkalası adlanır. Lingin ortasından ona perpendikulyar istiqamətdə tərəzinin oturacağına doğru əqrəb bağlanmışdır. Əqrəbin aşağı ucuna uyğun yerdə şaquli dayağa şkala bərkidilmişdir. Əqrəbin meyli bu şkala ilə təyin edilir.

Analitik tərəzilərdə çəkmə zamanı çəki daşları ilə tarazlıq əldə edilmədikdə reyterdən və tərəzi əqrəbinin göstərdiyi şkaladan istifadə edilir. Müasir tərəzilərdə şkalanın bölgüləri çəki vahidlərində dərəcələnir. Proyeksiyalanan şkalaya malik olan tərəzilərdə imkan geniş olduğundan reyter şkalası lazım olmur.

Analitik tərəzilərdə qolların rəqsini söndürmək üçün hava və ya maqnit dempferindən istifadə olunur. Ətraf mühitin, o cümlədən, temperaturun dəyişməsinin təsirini yox etmək məqsədilə tərəzini kənardan qapıları olan qutu içərisinə yerləştirirlər. Tərəzinin dəqiqliyini sabit saxlamaq üçün onu arretirlə təchiz edirlər. Tərəzi arretirdə olduqda ling dayaq üzərində dayanır, arretirdən çıxardıqda isə lingin prizması ləl daşına söykənir (tərəzi işçi vəziyyətini alır).

Tərəzidə işləməzdən əvvəl onun xarici görünüşünə və ayrı-ayrı hissələrinə diqqət vermək və lazım gələrsə qaydaya salmaq lazımdır. Tərəzinin arretirdə olduğunu müəyyənləşdirdikdən sonra lingin dayaqlar üzərində düzgün dayandığına, tərəzi gözlərini saxlayan üzüklərin kənar prizmalar üzərində düzgün oturmalarına əmin olmaq lazımdır. Yalnız bundan sonra tərəzini ehtiyatla arretirdən çıxarmaq olar. Bu halda tərəzinin əqrəbi şkalanın orta bölgüsünə uyğun vəziyyəti almalıdır. Bu vəziyyəti əldə etmək üçün tərəzi linginin yuxarı hissəsinə bərkidilmiş yivli çubuqlar üzərində hərəkət edə bilən kiçik yüklərdən istifadə edilir.

Tərəzinin sıfır nöqtəsinin təyini. Tərəzidə dəqiq çəki aparmazdan əvvəl lingin tarazlığına uyğun gələn vəziyyəti, yəni tarazlıq halında əqrəbin şkala üzərində hansı bölgünü göstərdiyini müəyyənləşdirmək lazımdır. Həmin bölgü tərəzinin «sıfır nöqtəsi»ni ifadə edəcəkdir. Tərəzinin sıfır vəziyyətini tapmaq üçün onu arretirdən çıxarmalı, qutunun sağ tərəfdən yan qapısını açıb oradakı havanı əl ilə bir-iki dəfə yelləmək lazımdır. Bu zaman tərəzinin gözləri şaquli, əqrəb isə üfüqi istiqamətdə rəqs edəcəkdir. Sağ tərəfdən başlayaraq üç ardıcıl rəqsin amplitudu qeyd edilir. Tutaq ki, tərəzinin əqrəbi üç ardıcıl rəqs zamanı sıfır vəziyyətindən sağ tərəfdə n_1, n_3, n_5, sol tərəfdə isə n_2, n_4 bölgülərinə uyğun amplitudlara malik olmuşdur. Bu rəqəmlərin sağ və sol tərəflər üçün ayrılıqda tapılmış orta qiymətlərinin

$$n' = \frac{n_1 + n_3 + n_5}{3}, \quad n'' = \frac{n_2 + n_4}{2}$$

ədədi ortası

$$n_0 = \frac{n' + n''}{2}$$

tərəzinin «sıfır nöqtəsi»ni göstərəcəkdir. Bu təcrübəni ən azı beş dəfə təkrar edərək tərəzinin «sıfır nöqtəsi»nin ədədi orta qiyməti hesablanır.

Tərəzinin həssaslığının təyini. Tərəzi əqrəbinin 1 mq yükünün təsirilə yaranan meyl bucağına və ya şkala üzrə yerdəyişməsinə tərəzinin həssaslığı deyilir. Yüksüz tərəzinin həssaslığı yüklü tərəzinin həssaslığından fərqlənir. Tərəzi yüksüz olduqda onun lingi deformasiya olunmur və ona görə də AO və OB qolları (şəkil 6) bir düzxətt üzərində yerləşir, əqrəb isə şaquli vəziyyətdə olur. Bu halda qollara təsir edən qüvvələrin momentləri bir-birini tarazlaşdırır, başqa sözlə, sistemin ağırlıq mərkəzinə təsir edən qüvvə vektorunun uzantısı i fırlanma mərkəzindən keçir. Qollardan birinə Δp qədər əlavə yük qoyulduqda tərəzinin əqrəbi $\Delta\alpha$ bucağı qədər meyl edir. Tərifə görə

$$\gamma_0 = \frac{\Delta\alpha}{\Delta p}$$

nisbəti yüksüz tərəzinin həssaslığı adlanır. Şəkil 8-dən momentlər qaydasına görə yazmaq olar:

$$(p + \Delta p)l\cos\Delta\alpha - pl\cos\Delta\alpha = (2p + \Delta p)a\sin\Delta\alpha$$

burada p -tərəzinin qoluna təsir edən ağırlıq qüvvəsi, l-qolun uzunluğu, a -isə ağırlıq mərkəzindən fırlanma oxuna qədər məsafədir. Tarazılıq şərtini ifadə edən yuxarıdakı düsturda $\cos\Delta\alpha = 1$ və $\sin\alpha = \Delta\alpha$ ($\Delta\alpha$ bucağı kiçik olduğundan) qəbul etsək, yüksüz tərəzinin həssaslığı üçün aşağıdakı ifadəni alarıq

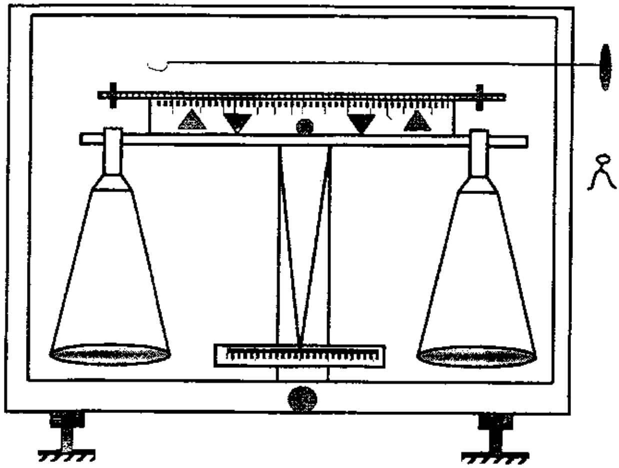
$$\gamma_0 = \frac{\Delta\alpha}{\Delta p} = \frac{l}{(2p + \Delta p)a}. \quad (1)$$

Tərəzi yüklü olduqda onun qolları üfüqi vəziyyətə nəzərən müəyyən α bucağı qədər əyilmiş olur (şəkil 6). Qollara təsir edən qüvvələr 2P, əlavə yükün hesabına yaranan qüvvə ΔP olarsa, yüklü tərəzinin həssaslığı üçün aşağıdakı ifadə alınar:

$$\gamma_0 = \frac{\Delta\alpha}{\Delta p} = \frac{l\cos\alpha}{l(2p+\Delta p)\sin\alpha + ap} \qquad (2)$$

Axırıncı ifadələr göstərir ki, həssaslıq tərəzinin qollarına təsir edən qüvvənin qiymətindən asılıdır: yüngül tərəzi daha həssas olur.

Tərəzinin həssaslığını təyin etmək üçün reyterdən istifadə edilir. Onun forması şəkil 6-da verilmişdir.



Şəkil 6.

Reyter nazik metal məftildən hazırlanır: tərəzidə ən kiçik çəki daşına (20 mq-a) uyğun miqdarda götürülmüş məftil çəkilir, sonra isə onu iki bərabər hissəyə bölürlər. Onda hər bir hissənin çəkisi 10 mq olur. Həmin məftil parçası şəkil 6-da göstərilən formaya salınır və adına reyter deyilir. Aydındır ki, bu reyteri tərəzi qolunun sırğa asılan yerində lingin şkalası üzərinə qoysaq, əqrəb 10-mq-a uyğun meyl edəcəkdir. Bu yerdəyişmə böyük olduğundan reyteri ling şkalasının «10» bölgüsü üzərinə yox, «1» bölgüsü üzərinə qoyurlar. Bu halda tərəzi gözünə təsir edən qüvvə 1 mq olur. Əqrəbin bu qüvvənin təsirilə yerdəyişməsi yüksüz tərəzinin həssaslığını göstərir. Tərəzi əqrəbinin 1 mq yükünün təsirilə yaranan yerdəyişməsini tapmaq üçün «sıfır nöqtəsi»nin tapılma qaydasından istifadə edilir: reyteri şkalada «1» bölgüsü üzərinə qoyur və tərəzini ehtiyatla arretirdən çıxarırlar. Bu zaman tərəzinin əqrəbi müəyyən amplitudla rəqs edəcəkdir. Rəqslərin amplitudlarını qeyd edib, «sıfır nöqtəsi»nin təyini düsturlarında yerinə yazaraq 1 mq-a uyğun tarazlıq vəziyyəti tapılır. Tutaq ki, tapılmış vəziyyətə uyğun bölgü k_0, «sıfır nöqtəsi» isə n_0-dır. Onda $k_0 - n_0$ fərqi yüksüz tərəzinin həssaslığını ifadə edəcəkdir. Tərəzinin həssaslığını dəqiq tapmaq üçün təcrübəni ən azı beş dəfə təkrar etmək lazımdır.

Tərəzidə çəki üsulları. Tərəzidə çəki, əsasən, aşağıdakı üsullarla aparılır.

1. ***Birbaşa çəki üsulu***. Bu üsulda cismin kütləsi onu tarazlaşdıran çəki daşlarının kütləsinə bərabər götürülür və heç bir xəta nəzərə alınmır. Yüksək dəqiqlik tələb olunmadıqda bu üsuldan istifadə olunur.

2. ***İkiqat çəki üsulu (Qauss üsulu)***. Bu üsulda çəki əməliyyatı iki dəfə aparılır: əvvəlcə çəkilən cismi tərəzinin sol gözünə, çəki daşlarını sağ gözünə qoyub cismin kütləsi m_1 tapılır. Sonra çəkilən cisimlə çəki daşlarının yerini dəyişməklə çəki prosesi yenidən aparılır və cismin kütləsi m_2 təyin edilir. Aydındır ki, hər iki halda tərəzinin qollarına təsir edən qüvvələrin momentləri tarazlaşır, yəni

$$mgl_1 = m_1 gl_2 \; ; \; m_2 gl_1 = m\, gl_2$$

olur. Bu ifadələri tərəf-tərəfə bölərək axtarılan kütləni aşağıdakı düsturla hesablayırlar:

$$\frac{m}{m_2} = \frac{m_1}{m} \text{ və ya } m = \sqrt{m_1 m_2}$$

Göründüyü kimi, qolların uzunluğunun fərqli olmasından irəli gələn əsas xəta ikiqat çəki üsulunda aradan çıxır və kütlənin dəqiq tapılmasına təsir göstərmir.

Qolların tarazlıq şərtini ifadə edən momentlər qaydasından istifadə edərək tərəzinin qolları nisbətini aşağıdakı düsturdan almaq olar:

$$\frac{l_1}{l_2} = \sqrt{\frac{m_1}{m_2}}.$$

3. *Əvəzetmə üsulu*. Bu üsulda cisim əvvəlcə yuyulmuş təmiz qumla tarazlaşdırılır, sonra isə cismi tərəzinin gözündən götürərək əvəzində çəki daşları qoyulur və yenidən tarazlıq əldə edilir. Bu tarazlığa uyğun kütlə çəkilən cismin kütləsi olur.

4. *Mendeleyev üsulu*. Tərəzinin çəkmə imkanı daxilində hər hansı böyük kütləli bir cisim tərəzinin bir gözünə qoyulur və çəki daşları ilə tarazlaşdırılır. Sonra tərəzinin çəki daşları olan gözünə kütləsi tapılacaq cismi qoyub çəki daşlarından elə miqdarda götürülür ki, yenidən tarazlıq əldə edilsin. Aydındır ki, götürülən daşların kütləsi axtarılan kütləyə bərabər olacağdır.

Cismin həqiqi kütləsinin tapılması. Aydındır ki, havada çəki apardıqda cisim və çəki daşlarına ağırlıq qüvvəsi, tərəzi gözünün reaksiya qüvvəsindən başqa Arximed qüvvəsi də təsir edir Çəki daşları və çəkilən cismin həcmi eyni olsa idi Arximed qüvvələri bir-birini tarazlaşdırar və cismin həqiqi kütləsinin tapılmasında onun rolu olmazdı. Lakin həcmlər müxtəlif olur və ona görə də Arximed qüvvəsini nəzərə almaq lazım gəlir.

Tutaq ki, cismin həqiqi çəkisi P_1, həcmi V_1, sıxlığı $\rho_1 = \frac{d_1}{g}$, çəki daşlarının uyğun kəmiyyətləri $P_2, V_2, \rho_2 = \frac{d_2}{g}$, havanın sıxlığı isə $\rho = \frac{d}{g}$-dır. Tərəzi havada tarazlıqda olduqda aşağıdakı bərabərlik ödənir:

$$P_1 - V_1 d = P_2 - V_2 d$$

Burada $V_1 = \frac{P_1}{d_1}$, $V_2 = \frac{P_2}{d_2}$ olduğunu nəzərə alsaq

$$P_1(1-\frac{d}{d_1}) = P_2(1-\frac{d}{d_2}) \text{ və ya } P_1 = P_2\frac{1-\frac{d}{d_2}}{1-\frac{d}{d_1}}$$

alınar. Burada $\frac{d}{d_1}$ və $\frac{d}{d_2}$ nisbətləri vahiddən çox kiçik olduğundan axırıncı kəsrin sıraya ayrılışında iki və daha böyük tərtibli hədləri nəzərə almasaq

$$\frac{1-\frac{d}{d_2}}{1-\frac{d}{d_1}} = 1+\frac{d}{d_1}-\frac{d}{d_2}, \qquad \frac{1-\frac{\rho}{\rho_2}}{1-\frac{\rho}{\rho_1}} = 1+\frac{\rho}{\rho_1}-\frac{\rho}{\rho_2},$$

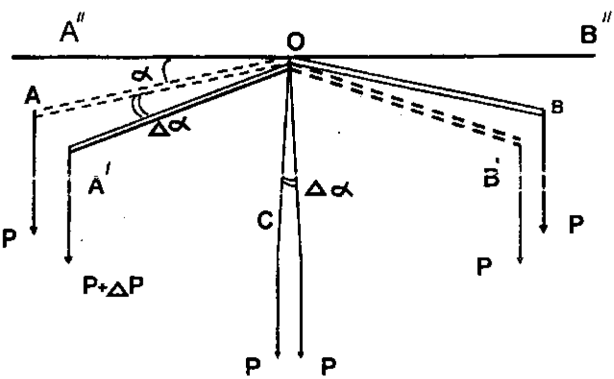
yazmaq olar. Beləliklə cismin həqiqi çəkisi

$$P_1 = P_2(1+\frac{d}{d_1}-\frac{d}{d_2})$$

həqiqi kütləsi isə

$$m_1 = m_2(1+\frac{\rho}{\rho_1}-\frac{\rho}{\rho_2})$$

düsturları ilə hesablanır.



Şəkil 7.

LABORATORİYA İŞİ №3

BƏRK CİSMLƏRIN VƏ MAYELƏRİN SIXLIĞININ TƏYİNİ

Cismin vahid həcmindəki maddənin miqdarı onun sıxlığını təyin edir. Məsələn, qazın sıxlığı bərk cismin sıxlığından çox-çox kiçikdir, yəni adi şəraitdə qazın vahid həcmindəki maddənin miqdarı bərk cismin vahid həcmindəki maddənin miqdarından dəfələrlə azdır. Maddənin sıxlığı onun temperaturundan və başqa kənar faktorlardan asılıdır. Ona görə də sıxlığı təyin etdikdə çalışmaq lazımdır ki, ətraf mühitin temperaturu təcrübə müddətində sabit qalsın.

Verilmiş cismin kütləsi (onun maddəsinin miqdarı) və həcmi məlum olarsa, tərifə görə sıxlığı çox asanlıqla

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

düsturu ilə hesablamaq olar. Cismin kütləsini məlum kütlələrlə müqayisə etməklə, yəni tərəzidə çəkməklə tapmaq olar. Cisim düzgün həndəsi formaya malik olarsa, onun həcmini ştangenpərgar və ya mikrometr vasitəsilə hesablayıb sıxlığı təyin edirlər. Cisim ixtiyari formada olduqda isə həcmini Arximed qanunundan istifadə edərək tapırlar. Bu qanuna görə qaza və ya mayeyə batırılmış cismə aşağıdan yuxarıya doqru yönələn və ədədi qiymətcə cismin sıxışdırıb çıxardığı qazın və ya mayenin çəkisinə bərabər qüvvə təsir edir. Həcmi axtarılan cismi sıxlığı məlum olan mayeyə batırıb, onun sıxışdırıb cıxardığı mayenin kütləsini tapırlar. Sonra isə tapılmış kütləni həmin mayenin məlum sıxlığına bölməklə cismin həcmini hesablayırlar. Naməlum sıxlığın tapılması da bu prinsipə əsaslanmışdır.

Tapşırıq 1. ***Piknometr vasitəsilə bərk cismin sıxlığının təyini.***

Ləvazimat: analitik tərəzi, çəki daşları, piknometr, distillə edilmiş su, xırda hissələrə parçalanmış bərk cisim, su çəkən kağız.

Kiçik həcmli (1-100 sm^3), dar boqazlı şüşə kolba piknometr adlanır. Piknometr–sıxlıqı ölçən deməkdir. Müxtəlif piknometrlər mövcuddur:ağzı mantarla baqlana bilən, boqazında nişan xətti olan piknometrlər vardır. Tədris laboratoriyalarında ən çox belə piknometrlər işlənir. Onların həcmi 25-50 sm^3 intervalında olur. Bunlardan başqa mantarına kapilyar boru keçirilmiş piknometr, kapilyar boru və termometrlə təchiz edilmiş piknometr və aşaqı hissəsində kiçik həcmli rezervuarı olan **U** şəkilli piknometr vardır. Axırıncı növ piknometr uçucu maddələrin sıxlığını təyin etmək üçün istifadə olunur. Piknometrlə sıxlığın təyini üsulu bəzi üstünlüklərə malikdir: bu üsulun dəqiqliyi böyükdür, mayenin səthinin sahəsi kiçik olduğundan onun buxarlanması və ətraf mühitdən rütubət qəbul etməsi çox cüzidir, az miqdarlı maye ilə işləmək mümkündür, həcm kiçik olduğundan bütün nöqtələrdə temperatur təqribən eyni olur. Piknometrlər, adətən, şüşədən hazırlanır. Bu da onunla əlaqədardır ki, şüşənin kimyəvi aktivliyi başqa maddələrə nəzərən çox kiçikdir.

Qeyd edildiyi kimi, sıxlığın təyini həcmin tapılmasına və Arximed qüvvəsinə əsaslanır. Sıxlığın qiyməti dəqiq tələb edilmədikdə havada cismə təsir edən Arximed qüvvəsini nəzərə almamaq olar. Tutaq ki, xırdalanmış bərk cismin kütləsi m, həcmi V, sıxlığı ρ_b, distillə edilmiş suyun sıxlığı ρ_s, çəki daşlarının sıxlığı ρ_d, piknometrlə birlikdə suyun kütləsi M, piknometr, su və bərk cismin birlikdə kütləsi M_0-dır. Xırdalanmış bərk cismin hissələrini tərəzinin sağ gözünə qoyduqda, o vaxt tarazlıq yaranır ki, hər iki gözə təsir edən qüvvələr bərabər olsun. Sol gözdəki bərk cismə $\rho_b Vg$ ağırlıq qüvvəsi və havada $\rho_h Vg$ Arximed qüvvəsi təsir edir. Bu qüvvələr eyni bir cismə tətbiq olunmuş, bir düzxətt üzərində yerləşmiş və əks istiqamətə yönəlmişlər. Ona görə də yekün qüvvə

$$\rho_b Vg - \rho_h Vg = (\rho_b - \rho_h)Vg$$

olar. Sağ gözdə olan çəki daşlarına da aşağıya yönəlmiş mg ağırlıq qüvvəsi, yuxarıya doqru yönəlmiş $\frac{m\rho_h}{\rho_d}$ Arximed qüvvəsi təsir edir. Bu gözdəki çəki daşlarına təsir edən yekun qüvvə

$$mg - m\frac{\rho_h}{\rho_d}g = mg(1 - \frac{\rho_h}{\rho_d})$$

olar. Tərəzinin gözləri tarazlıqda olduqda bu qüvvələr bərabər olur:

$$(\rho_b - \rho_h)Vg = mg(1 - \frac{\rho_h}{\rho_d})$$

və ya

$$(\rho_b - \rho_h)V = m(1 - \frac{\rho_h}{\rho_d}) \qquad (1)$$

Xırdalanmış bərk cisim hissələrini nişan xəttinə qədər su ilə doldurulmuş piknometrin içərisinə tökdükdə suyun səviyyəsi qalxır. Nişan xəttindən yuxarı qalxan suyun həcmi bərk cisim qırıntılarının həcminə bərabər olur. Həmin artıq suya təsir edən ağırlıq qüvvəsi $\rho_s Vg$ və Arximed qüvvəsinin $\rho_h Vg$ fərqi onu tarazlaşdıran çəki daşlarına təsir edən ağırlıq qüvvəsi $(m + M - M_0)g$ və Arximed qüvvəsinin $(m + M - M_0)\frac{\rho_h}{\rho_d}g$ fərqinə bərabər olmalıdır, yəni

$$\rho_s Vg - \rho_h Vg = (m + M - M_0)g - (m + M - M_0)\frac{\rho_h}{\rho_d}g$$

və ya

$$(\rho_s - \rho_h)V = (m + M - M_0)(1 - \frac{\rho_h}{\rho_d}) \qquad (2)$$

Yuxarıdakı (1) və (2) düsturlarını tərəf-tərəfə bölüb sadələşdirsək, bərk cismin axtarılan sıxlığı üçün aşağıdakı ifadə alınar:

$$\rho_b = \frac{m}{m+M-M_0}(\rho_s - \rho_h) + \rho_h \qquad (3)$$

Ölçmələr

1. Sıxlığı təyin ediləcək bərk cisim qırıntılarını tərəzinin sol gözünə, çəki daşlarını isə tərəzinin sağ gözünə qoyaraq onları tarazlaşdırırlar. Çəki daşlarının miqdarı bərk cisim qırıntılarının kütləsinə m bərabər olacaqdır.

2. Piknometri distillə edilmiş su ilə nişan xəttinə qədər doldurub çəkir və M-i tapırlar.

3. Su ilə dolu piknometrin içərisinə kütləsi tapılmış bərk cisim qırıntılarını tökür, suyun nişan xəttindən yuxarıda olan hissəsini su çəkən kağızla sorur və tərəzi vasitəsilə piknometr, su və bərk çismin M_0 kütləsini tapırlar.

4. Tərəzidə çəkmə prosesi hər bir halda üç dəfə təkrar olunur və m, M, M_0–ın orta qiymətləri tapılır. Bu qiymətləri (3) düsturunda yerinə yazaraq bərk cismin sıxlığı hesablanır.

5. İşin xətasını hesabladıqda (3) düsturundakı ikinci həddi birinci həddə nəzərən nəzərə almamaq olar.

Tapşırıq 2. ***Mayenin sıxlığının piknometr vasitəsi ilə təyini.***

Ləvazimat: birinci tapşırıqda verilmişdir.

Piknometrin kütləsini m, su ilə birlikdə kütləsini m_1, tədqiq edilən maye ilə birlikdə kütləsini m_2, mayenin sıxlığını isə ρ_m ilə işarə edək (başqa işarələmələr tapşırıq 1–də olduqu kimi qalır).

Bərk cismin sıxlığının təyinində olduğu kimi mühakimə yürütməklə (1) və (2) düsturlarına uyğun olaraq qüvvələrin tarazlıqı üçün aşağıdaki ifadələri yazmaq olar:

(*maye üçün*)

$$\rho_m Vg - \rho_h Vg = (m_2 - m)g - \frac{m_2 - m}{\rho_d}\rho_h g$$

və ya

$$(\rho_m - \rho_h)V = (m_2 - m)(1 - \frac{\rho_h}{\rho_d}) \qquad (4)$$

(*su üçün*)

$$\rho_s Vg - \rho_h Vg = (m_1 - m)g - \frac{m_1 - m}{\rho_d}\rho_d g$$

və ya

$$(\rho_s - \rho_h)V = (m_1 - m)(1 - \frac{\rho_h}{\rho_d}) \qquad (5)$$

yazmaq olar. Yenə də (4) və (5) düsturlarını tərəf-tərəfə bölüb sadələşdirsək, mayenin sıxlığı üçün aşağdakı ifadə alınar:

$$\rho_m = \frac{m_2 - m}{m_1 - m}(\rho_s - \rho_h) + \rho_h \qquad (6)$$

Ölcmələr

1. Piknometri quruducu şkafda qurutduqdan sonra onu çəkərək m kütləsini tapırlar.

2. Piknometri nişan xəttinə qədər distillə edilmiş su ilə doldurub tərəzi vasittəsilə onun m_1 kütləsini təyin edirlər.

3. Piknometrdən distillə edilmiş suyu boşaldır, onu quruducu şkafda qurudur və sonra tədqiq edilən maye ilə nişan xəttinə qədər doldururlar. Piknometrin maye ilə birlikdə kütləsini m_2 təyin etmək üçün onu tərəzidə çəkirlər.

Çəki əməliyyatı bütün hallar üçün üç dəfə təkrar olunur və m, m_1 və m_2–nin orta qiymətləri tapılır. Bu qiymətləri (6) düsturunda yerinə yazaraq mayenin sıxlığı hesablanır.

Yenə də işin xətasını hesablayarkən (6) ifadəsindəki ikinci həddi nəzərə almamaq olar.

Tapşırıq 3. *Hidrostatik çəki üsulu ilə bərk cismin sıxlığının təyini*

Bu üsulda tədqiq olunan cisim tərəzinin gözünə qoyulmur, ancaq nazik məftil vasitəsi ilə tərəzinin qolundakı qarmaqdan asılır və onun kütləsi m təyin olunur. Cisim və çəki daşlarına təsir edən qüvvələrin bərabərliyi şərtini əvvəlki tapşırıqlardakına uyğun olaraq aşağıdakı kimi yazmaq olar:

$$\rho_b Vg - \rho_h Vg = mg - \frac{m}{\rho_d} g\rho_h$$

və ya

$$(\rho_b - \rho_h)V = m(1 - \frac{\rho_h}{\rho_d}) \qquad (7)$$

Tərəzinin sol qolunun altına kiçik masa yerləşdirib, üstünə içərisində distillə edilmiş su olan stəkan qoyulur. Məftil vasitəsilə tərəzinin qolundakı qarmaqdan asılmış cisim ehtiyatla suyun içərisinə salınır və m_1 kütləsi təyin olunur. Suyun içərisində olan cismə ağırlıq qüvvəsi ilə yanaşı Arximed qüvvəsi təsir edir. Bu qüvvələrin əvəzləyicisi tərəzinin sağ gözündəki çəki daşlarının ağırlıq qüvvəsi və havada təsir edən Arximed qüvvəsinin fərqi ilə tarazlaşır. Bu şərtdən

$$\rho_b Vg - \rho_s Vg = m_1 g - \frac{m_1}{\rho_d} \rho_h g$$

və ya

$$(\rho_b - \rho_s)V = m_1(1 - \frac{\rho_h}{\rho_d}) \qquad (8)$$

yazmaq olar. Axırıncı (7) və (8) düsturlarının birgə həllindən cismin sıxlığı üçün aşağıdakı düstur alınır:

$$\rho_b = \frac{m}{m - m_1}(\rho_s - \rho_h) + \rho_h \qquad (9)$$

Ölçmələr

1. Sıxlığı təyin ediləcək bərk cisim nazik məftil vasitəsilə tərəzinin sol qolundakı qarmaqdan asılır. Tərəzinin sağ gözünə çəki daşları qoymaqla onu tarazlığa gətirir və məftillə birlikdə bərk cismin m kütləsi təyin olunur.

2. Sol qolunun altında tərəzinin oturacağına kiçik masa qoyulur. Masanın üzərinə yarısına qədər distillə edilmiş su tökülmüş stəkan qoyulur. Tərəzinin qolundakı qarmaqdan asılmış bərk cisim ehtiyatla stəkandakı suyun içərisinə salınır. Cisim stəkanın dibinə və divarlarına toxunmamaq şərtilə suya batırılır. Belə vəziyyətdə cismi çəkərək onun m_1 kütləsi təyin edilir.

Çəki əməliyyatı hər iki halda üç dəfə təkrar olunur.

3. Təkrar ölçmələrin nəticələrinə görə m və m_1 kütlələrinin orta qiyməti tapılır və (9) düsturunda yerinə yazaraq bərk cismin sıxlığı hesablanır.

4. İşin xətası hesablandıqda (9) düsturundakı ikinci həddi atmaq olar.

Tapşırıq 4. ***Hidrastatik çəki üsulu ilə mayenin sıxlığının təyini.***

Bu tapşırıqda məftilə bağlanmış bərk cisim həm havada, həm distillə edilmiş suda və həm də sıxlığı təyin olunacaq mayedə cəkilir. Havada çəki zamanı (7) şərti suda çəki zamanı (8) şərti və bunlara analoji olaraq mayedə çəki zamanı aşağıdakı şərt ödənməlidir:

$$(\rho_b - \rho_M)V = m_2(1 - \frac{\rho_h}{\rho_d}) \qquad (10)$$

Burada m_2–məftilə bağlanmış bərk cismin tədqiq olunan mayedə kütləsidir. Yuxarıdakı (7) və (8) düsturlarının birgə həllindən alınan

$$(\rho_s - \rho_h)V = (m - m_1)(1 - \frac{\rho_h}{\rho_d})$$

ifadəsini (8) və (10) düsturlarının birgə həllindən alınan

$$(\rho_M - \rho_h)V = (m - m_2)(1 - \frac{\rho_h}{\rho_d})$$

ifadəsinə tərəf-tərəfə bölüb, mayenin sıxlığını hesablamaq üçün aşağıdakı düsturu almaq olar:

$$\rho_M = \frac{m - m_2}{m - m_1}(\rho_s - \rho_h) + \rho_h$$

Ölçmələr

1. Üçüncü tapşırığın 1 və 2 bəndlərindəki ölçmələrindən məftilə bağlanmış cismin havadakı və sudakı kütləsi üçün alınmış qiymətlər hazır qəbul edilir.

2. Üçüncü tapşırığın 2-ci bəndində göstərilmiş qaydada məftilə bağlanmış cismin götürülmüş mayedə kütləsi tapılır.

3. Tapılmış m, m_1 və m_2–nin qiymətləri (11) düsturunda yerinə yazılır və tədqiq olunan mayenin sıxlığı hesablanır.

Havanın və distillə edilmiş suyun otaq temperaturundakı sıxlığı cədvəldən götürülür.

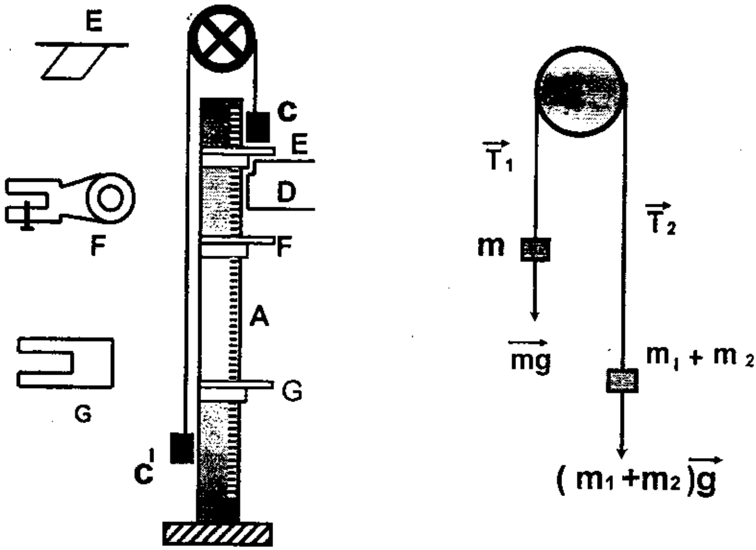
Bütün tapşırıqlar üzrə işin xətasını hesabladıqda işçi düsturunda havanın sıxlığını ifadə edən ikiici həddi atmaq olar.

LABORATORİYA İŞİ №4

ATVUD MAŞINI VASİTƏSİLƏ HƏRƏKƏT QANUNLARININ YOXLANILMASI

Ləvazimat: Atvud maşını və ona aid olan bütöv platforma, həlqə platforma, əsas və əlavə yüklər, saniyəölçən.

İşdə bərabər artan hərəkət qanunları ($S = \frac{at^2}{2}$ və $\upsilon = at$) və Nyutonun ikinci qanunu yoxlanılır. Bu məqsədlə Atvud maşınından istifadə edilir. Atvud maşını möhkəm dayaq üzərində bərkidilmiş şaquli A taxta lövhə və lövhənin yuxarı ucuna bağlanmış B blokundan ibarətdir. A lövhəsinin üzərində hər bölgüsü 1 sm olan şkala vardır (şəkil 8). Çox sürtünmə ilə fırlana bilən B blokundan ip aşırılmış və ipin uclarına eyni m kütləli C və C' yükləri bağlanmışdır. Yüklərin kütləsi eyni olduqda onlara təsir edən qüvvələr uyğun olaraq bir-birini tarazlaşdırır. Ona görə də yüklər ixtiyari vəziyyətdə sükunətdə olacaqdır. Lövhənin yuxarı hissəsinə şkalanın birinci bölgüsü səviyyəsində üfüqi ox ətrafında fırlana bilən E platforması bərkidilmişdir. Platforma D qolu vasitəsilə üfüqi və şaquli vəziyyət ala bilir.



Şəkil 8.

Əgər C yükünün üzərinə m_1 kütləli əlavə yük qoysaq, o bərabərartan hərəkət etməyə başlayacaqdır. Bu hərəkətin təcilini tapmaq olar. Aşağıdakı iki hala baxaq:

a) *Blok çəkisizdir və sürtünmə yoxdur.*

Tutaq ki, B blokunun oxunda sürtünmə olduqca azdır və onu nəzərə almamaq olar. Əgər ip çəkisiz və uzanmayandırsa, onda sağ və sol yüklərin təcilləri ədədi qiymətcə eyni olub, istiqamətcə əks olacaqdır. Həmçinin, qəbul etsək ki, blok çəkisizdir, onda gərilmə qüvvəsi sağ və sol tərəfdə eyni olacaqdır. Yuxarıda deyilənləri nəzərə alsaq, Nyutonun ikinci qanununa görə sağ yükün hərəkət tənliyini $(m+ m_1)a =(m+m_1)g-T$, sol yükün hərəkət tənliyini $-ma = mg -T$ şəklində yaza bilərik. Burada a–sistemin düşmə təcilidir. Yuxarıdakı tənliklərdən a və T üçün aşağıdakı ifadələr alınır:

$$a = \frac{m_1}{2m + m_1} g \;;\; T = \frac{1 + \frac{m_1}{m}}{1 + \frac{m_1}{2m}} mg \qquad (1)$$

b) *Blok sonlu kütləyə malikdir.*

Əgər blokun çəkisini nəzərə alsaq, onda sağ və sol tərəfdə ipin gərilmə qüvvəsi eyni olmayacaq və ona görə də təcil (1) düsturundakı ifadə ilə təyin olunmayacaqdır. Bu halda təcili tapmaq üçün yüklərin irəliləmə hərəkət tənliklərini blokun fırlanma hərəkət tənliyi ilə birlikdə həll etmək lazımdır, yəni aşağıdakı 3 tənlikdən sistemin hərəkət təcili tapılacaqdır:

$$\begin{aligned} (m+m_1)a &= (m+ m_1)\, g - T_2 \\ -ma &= mg - T_1 \\ J\beta &= (T_2 - T_1)\, r \end{aligned} \qquad (2)$$

Burada J-blokun "fırlanan kütləsinin (αm_0) ətalət momenti, m_0- blokun kütləsi, r-onun radiusu, β–bucaq təcilidir. Ипin blokda sürüşmədiyini qəbul etsək, xətti və bucaq təcilləri arasında aşağıdakı münasibəti yaza bilərik:

$$a = \beta r \qquad (3)$$

(2) və (3) düsturlarını birgə həll etsək, sistemin hərəkət təcili üçün aşağıdakı ifadəni alarıq:

$$a = \frac{m_1 g}{2m + m_1 + \alpha m_0}$$

Sistemin hərəkət təcili üçün alınmış ifadələrdən görünür ki, bütün hallarda bu təcil sərbəst düşmə təcilindən kiçik olur.

Ölçmələr

1. ***Yol düsturunun yoxlanılması:*** $S = \dfrac{at^2}{2}$

Bu qanunu yoxlamaq üçün C yükü şkalanın başlanğıcına gətirilir, D qolu vasitəsilə E platforması bağlanır və yük bu vəziyyətdə saxlanır. Bu yükün üzərinə kiçik m_1 kütləli əlavə yük qoyulur. Bütöv G platforması A taxta lövhə üzərinə müəyyən səviyyədə sıxıcı vintlər vasitəsilə bağlanır. C yükünün oturacağından G platformasının səthinə qədər olan məsafə A lövhəsi üzərindəki şkala vasitəsilə qeyd edilir. D qolunu kənara çəkdikdə E platforması açılır, C yükü azad edilir və sistem m_1 yükünün təsirilə təcilli hərəkət etməyə başlayır. Yük azad edilən andan C yükünün oturacağının G platformasına dəyən anına qədər olan müddət saniyəölçən vasitəsilə tapılır. Təcrübə 3 dəfə təkrar edilir. Sonra G platformasının vəziyyəti A taxta lövhəsi boyunca dəyişdirilir və hər vəziyyət üçün təcrübə 3 dəfə təkrar edilir. Bütün hallarda sistemin ümumi kütləsi dəyişmədiyindən və hərəkət eyni bir qüvvənin təsirilə yarandığından təcil platformanın yerdəyişməsindən asılı olmayaraq sabit qalacaqdır:

$$S_1 = \frac{at_1^2}{2},\ S_2 = \frac{at_2^2}{2},\ \ldots.\ S_n = \frac{at_n^2}{2}$$

və ya

$$a = \frac{2S_1}{t_1^2} = \frac{2S_2}{t_2^2} = \cdot\cdot = \frac{2S_n}{t_n^2}$$

Beləliklə, görünür ki, Atvud maşınında bərabərartan hərəkətin yol düsturunun yoxlanması (4) nisbətlərinin bərabərliyinin yoxlanılmasına gətirilir.

2. *Bərabərartan hərəkətin sürət düsturunun yoxlanılması: $\upsilon=at$.*

Bu qanunu yoxlamaq üçün C yükü yuxarı başlanğıc vəziyyətə gətirilir və E platforması D qolu ilə saxlanılır. C yükünün oturacağından hesablanmaqla müəyyən S_1 məsafədə F platforması, F platformasından S_2 məsafədə isə G platforması bağlanılır. Göstərilən S_1 və S_2 məsafələri qeyd edilir. Sonra D qolunu kənara çəkməklə E platforması açılır və C yükü azad edilir. Bu zaman yüklər hərəkət etməyə başlayır: yüklər F platformasına qədər təcilli hərəkət edir, ondan keçdikdə L yükü platformanın səthində qalır və sonrakı hərəkət bərabərsürətli olur. E platformasını açan anda saniyəölçən işə salınır və t_1 və t_2 müddətləri ölçülür. Burada t_1 yükün F platformasına çatdığı ana qədər keçən müddət, t_2 isə bu andan C yükünün G platformasına çatana qədər keçən müddətdir. Əlavə yükü sabit saxlamaqla F və G platformaları ilə C yükü arasındakı məsafələr dəyişdirilir və təcrübə hər bir hal üçün ən azı 3 dəfə təkrar edilir.

Yükün bərabərsürətli hərəkətdə olduğu yolu S_2 və ona uyğun müddəti t_2 bilərək həmin hərəkətin sürətini (υ) tapmaq olar. Əlavə yük sabit qaldıqda yüklərin hərəkət təcili də sabit olacaq, yəni aşağıdakı bərabərliklər ödənəcəkdir:

$$a = \frac{\upsilon_1}{t_1} = \frac{\upsilon_2}{t_2} = \cdots = \frac{\upsilon_n}{t_n} \qquad (5)$$

Deməli, bərabərartan hərəkətin sürət düsturunun yoxlanması (5) bərabərliklərinin yoxlanmasına gətirilir.

3. ***Nyutonun II qanununun yoxlanması***: *F=Ma.*

Bu qanunu yoxlamaq üçün elə etmək lazımdır ki, sistemin kütləsi sabit qalmaqla ona təcil verən qüvvəni dəyişdirmək mümkün olsun. Bu şərtin ödənməsi üçün 4 eyni yük götürülür. Əvvəlcə bu yüklərdən biri C' yükünün, üçü isə C yükünün üzərinə qoyulur. Hərəkət təcili əlavə iki yükün təsirilə yaranacaq və bu zaman

$$F_1 = Ma_1 \quad \text{və} \quad S_1 = \frac{1}{2}a_1 t_1^2 \qquad (6)$$

düsturları hərəkətin, uyğun olaraq dinamikasını və kinematikasını ifadə edəcəklər.

Sonra yüklərin dördünü də C yükünün üzərinə qoyurlar. Bu halda sistem 4 yükün təsirilə təcil alır və (6) düsturlarına analoji olaraq aşağıdakı ifadələr yazılır:

$$F_2 = Ma_2 \quad S_2 = \frac{1}{2}a_2 t_2^2 \qquad (7)$$

(6) və (7) düsturlarından birinci və ikinci halda sistemə təcil verən qüvvələrin nisbətini tapmaq olar:

$$\frac{F_1}{F_2} = \frac{S_1 t_2^2}{S_2 t_1^2}$$

Beləliklə, Nyutonun II qanununun yoxlanması sonuncu düsturun yoxlanmasına gətirilir. Təcrübə S_1 və S_2 məsafələrinin müxtəlif qiymətlərində birinci tapşırıqda göstərilən üsulla aparılır və hər bir hal 3 dəfədən az olmayaraq təkrar edilir.

LABORATORİYA İŞİ №5

UZANMA VƏ ƏYİLMƏ DEFORMASİYASINDA ELASTİKLİK MODULUNUN TƏYİNİ

Ləvazimat: təcrübə qurğusu, yanında xətkeşi olan görüş borusu, mikrometr, ştangenpərgar, müxtəlif düzbucaqlı çubuqlar və yüklər.

Təbiətdə mövcud olan materiallar heç də mütləq bərk cisimlər deyillər. Xarici qüvvə təsir etdikdə onların forma və ölçüsü dəyişir, yəni deformasiya edir. Cismin ölçü və formasının dəyişməsini xarakterizə etmək üçün gərginlik və nisbi deformasiya anlayışlarından istifadə olunur. Cismin vahid en kəsiyinə düşən normal qüvvəyə gərginlik deyilir:

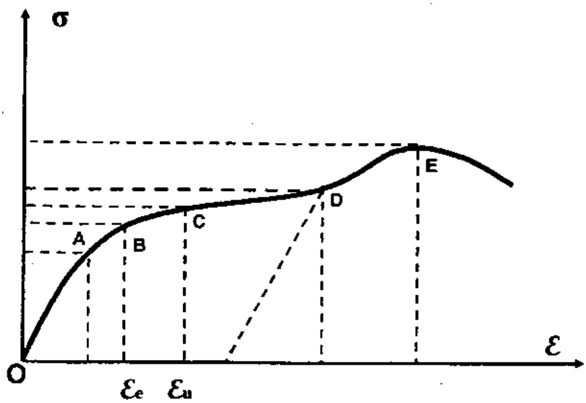
$$\sigma = \frac{F}{S} \tag{1}$$

Nisbi deformasiya isə mütləq uzanmanın cismin ilk uzunluğuna nisbəti ilə ölçülür:

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L} \tag{2}$$

Burada F-sahəsi S olan səthə normal istiqamətdə təsir edən qüvvə, ΔL -cismin (çubuğun, məftilin) mütləq uzanması, L–isə onun başlanğıc uzunluğudur. Beynəlxalq vahidlər sistemində gərginlik $\frac{N}{m^2}$ və ya Paskalla ölçülür, texnikada isə $\frac{kQ}{sm^2}$ və ya $\frac{kQ}{mm^2}$ -la hesablanır. Nisbi deformasiya adsız kəmiyyətdir.

Uzanma deformasiyası. Cismin uclarından onun en kəsiyinə normal istiqamətdə qüvvə təsir edirsə, o uzanacaq və ya sıxılacaqdır. Yaranan deformasiya xarici qüvvənin qiymətindən asılıdır. Bu asılılıq, ümumiyyətlə, mürəkkəb xarakter daşıyır. Şəkil 9–da əksəriyyət materiallar üçün xarakterik olan gərginlik-deformasiya asılılığı göstərilmişdir.



Şəkil 9.

Bu asılılığı ifadə edən qrafik iki hissədən ibarətdir: 1) başlanğıcdan A nöqtəsinə qədər olan hissə; 2) B nöqtəsindən axıra qədər olan hissə. Əgər B nöqtəsinə qədər deformasiya olunmuş baxılan bərk cismi gərginlikdən azad edib özbaşına buraxsaq, o BAO xətti boyunca O nöqtəsinə, yəni əvvəlki vəziyyətinə qayıdacaqdır. Bu zaman cismin başlanğıc vəziyyətindəki ölçüsü və forması tam bərpa olunacaqdır. Qrafikdə B nöqtəsinə uyğun deformasiyaya elastiklik hüdudu deyilir. Gərginliyin deformasiyadan asılılığı xətti olub, Huk qanunu ilə ifadə olunur:

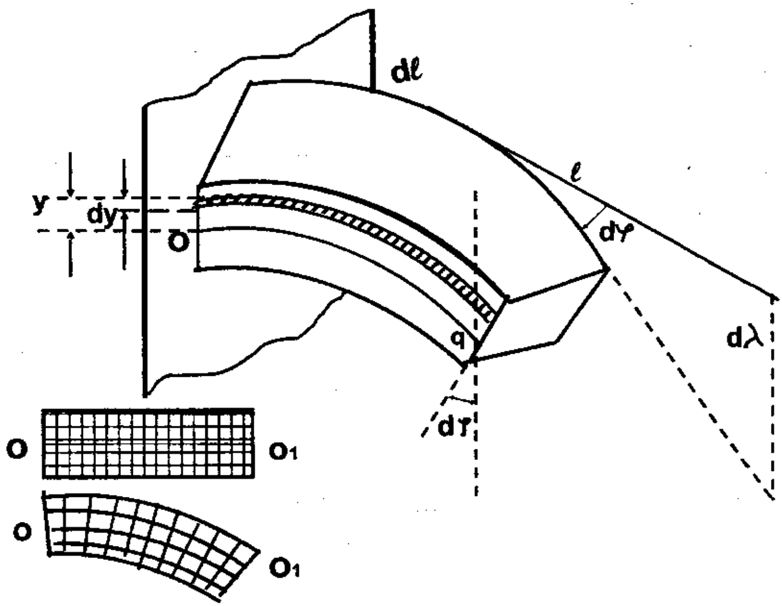
$$\sigma = \varepsilon E \qquad (3)$$

Bu qanun yuxarıda göstərilmiş elastiklik hüdudunda doğrudur. Burada E uzanmada elastiklik modulu və ya Yunq modulu adlanır. Nisbi deformasiya vahidə bərabər olarsa, E=σ olar, yəni Yunq modulu cismi (çubuğu, məftili) özü boyda uzatmaq üçün lazım olan gərginliyə bərabərdir. Əksər cisimlər özü boyda uzanmamış qırılır. Gərginliyin və nisbi deformasiyanın (1) və (2) ifadələrini (3) düsturunda yerinə yazıb, uzanmada Yunq modulunu hesablamaq üçün ifadəni almaq olar:

$$E = \frac{FL}{S\Delta L} \tag{4}$$

Əyilmə deformasiyası. Əyilmə deformasiyasını yaxşı təsvir etmək üçün yan üzünə tor-şəbəkə şəkli çəkilmiş düzbucaqlı çubuq götürək. Çubuğun bir tərəfi divara möhkəm bağlanmış, özü isə üfüqi vəziyyətdə yerləşdirilmişdir. Bu vəziyyətdə çubuğun yan üzünə çəkilmiş şəbəkə öz düzbucaqlı formasını saxlayır. Çubuğun sərbəst ucuna yük asaq. Yük həmin ucu qüvvəsilə aşağıya dartacaq və çubuq əyilmə deformasiyasına uğrayacaqdır. Onun yan üzündəki şəbəkənin düzbucaqlı forması pozulacaqdır: şaquli xətlər mail vəziyyət alacaq, özü də onların meyl bucağı çubuğun bağlanma yerindən uzaqlaşdıqca artacaqdır, üfüqi düzxətlər isə əyiləcək və onların uzunluğu dəyişəcəkdir. Çubuğun uzununa en kəsiyində (orta kəsiyində) yerləşən xətlərin uzunluğu dəyişmir. Həmin kəsikdən yuxarıda yerləşən kəsikdəki xətlər uzanır, aşağıda yerləşən xətlərin uzunluğu isə qısalır. Şəkil 10–da orta kəsiyə uyğun xətt OO_1–lə göstərilmişdir. Deməli, orta kəsikdən yuxarıdakı kəsiklər uzanma, orta kəsikdən aşağıdakı kəsiklər sıxılma deformasiyasına məruz qalır. Bu deformasiyaları yaradan qüvvələrin momentləri ədədi qiymətcə bir-birinə bərabər olub, əks istiqamətdə yönəlmişlər. Şəkildən göründüyü kimi, çubuğun orta kəsiyindən **y** məsafədə götürülmüş dy qalınlıqlı kəsiyin dl uzunluğundakı deformasiyası dx–dır. Deməli, sahəsi dS=ady olan elementar kəsiyə təsir edən dF qüvvəsinin yaratdığı nisbi deformasiya $\frac{dx}{dl}$-ə bərabərdir. Onda Huk qanunu bu kəsiyin deformasiyası üçün aşağıdakı şəkildə yazılır:

$$\frac{dF}{dS} = E\frac{dx}{dl} \quad \text{və ya} \quad dx = \frac{1}{E}\frac{dF}{ady}dl$$



Şəkil 10.

Bu deformasiya şaquli xəttin $d\varphi$ bucağı qədər dönməsinə uyğun olduğundan

$$dx = y\,d\varphi$$

yazmaq olar. Axırıncı ifadələrin bərabərliyindən

$$dF = aE\frac{d\varphi}{dl}ydy$$

alınır. Bu qüvvənin yaratdığı moment isə

$$dM = dFy = aE\frac{d\varphi}{dl}y^2dy$$

olar. Çubuğun bütün en kəsiyinə təsir edən qüvvə momentini tapmaq üçün bu ifadəni y-in $-\frac{b}{2}$ qiymətindən $+\frac{b}{2}$ qiymətinə qədər inteqrallamaq lazımdır:

$$M = \int_{-\frac{b}{2}}^{\frac{b}{2}} Ea\frac{d\varphi}{dl}y^2dy = \frac{1}{12}Eab^3\frac{d\varphi}{dl}.$$

Təcrübədə əyilmə deformasiyasını xarakterizə edən kəmiyyət olaraq əyilmə oxu (çubuğun sərbəst ucunun üfüqi vəziyyətə nəzərən ən böyük meyli) götürülür. Şəkildən göründüyü kimi, l uzunluqlu çubuğun əyilmə oxu

$$d\lambda = ld\varphi$$

olur. Bu meyli çubuğun ucundan asılmış yüklərin ağırlıq qüvvəsinin momenti M=mg$l$ yaradır. Daxili və xarici qüvvələrin momentlərinin tarazlıq şərtindən

$$\mathrm{mg}l = \frac{1}{12}Eab^3\frac{d\lambda}{ldl} \quad \text{və} \quad d\lambda = \frac{12mg}{Eab^3}l^2dl$$

yazmaq olar. Uzunluğu L olan çubuğun sərbəst ucunun əyilmə oxunu tapmaq üçün bu ifadəni 0-dan L-ə qədər inteqrallamaq lazımdır:

$$\lambda = \int_0^L \frac{12mg}{Eab^3}l^2dl = \frac{4mgL^3}{Eab^3}$$

Hər iki ucu dayaq (prizma) üzərinə qoyulmuş çubuğun kütlə mərkəzinə tətbiq edilən qüvvənin təsiri ilə yaranan əyilmə oxunu tapmaq üçün təsəvvür etmək olar ki, çubuq ortadan bağlanmış, uclardan isə şaquli olaraq yuxarıya yönəlmiş $mg/2$ qədər qüvvə təsir edir. Bu qüvvənin qolu $L/2$-yə bərabər olduğundan axırıncı inteqralın yuxarı sərhəddini $L/2$ götürmək lazımdır. Qüvvənin və qolun bu qiymətlərini yuxarıdakı inteqralda nəzərə alsaq $\lambda = \frac{mgL^3}{4Eab^3}$ olar. Buradan əyilmədə elastiklik modulunu hesablamaq üçün aşağıdakı düstur alınır:

$$\mathrm{E} = \frac{mgL^3}{4ab^3\lambda} \qquad (5)$$

Tapşırıq 1. ***Uzanma deformasiyasında Yunq modulunun***

təyini.

Qurğunun təsviri. Divara bağlanmış A dayağından şaquli olaraq tədqiq ediləcək L məftili asılır. Məftilin aşağı ucuna B silindri bağlanmış, silindr isə öz növbəsində üfüqi C qoluna bərkidilmişdir. Bu qol aşağı D dayağına bağlanmış üfüqi ox ətrafında şaquli istiqamətdə hərəkət edə bilir. Qurğu ilə işləmədikdə C qolu E vinti vasitəsilə elə hündürlükdə saxlanılır ki, L məftili sərbəst vəziyyətdə olsun. Üfüqi ox ətrafında dönə bilən F güzgüsünə bağlanmış G linginin sərbəst ucu B silindrinin üzərində yerləşir. Bu silindrin aşağı oturacağından K üzəngisi asılmışdır. Üzənginin üzərinə yük qoyduqda L məftili uzanır, G linginin sərbəst ucu silindrlə bərabər $\Delta L = F'G'$ qədər aşağı düşür və güzgü α bucağı qədər (şəkil 11 və 12) güzgüyə düşən şüa isə 2α qədər dönür: şüa M nöqtəsindən N nöqtəsinə gəlib çıxır. Məftilin deformasiyası sıfra bərabər olduqda şüa xətkeş üzərində n_0 bölgüsünü göstərirdisə, ΔL qədər deformasiya etdikdə n bölgüsünü göstərir: $n-n_0$ =MN. Deməli, ΔL mütləq deformasiyanın ölçülməsi $n-n_0$–ın ölçülməsinə gətirilir. Ona görə də ΔL ilə $n-n_0$ arasındakı münasibəti tapmaq lazımdır. Güzgüyə bağlanmış FG linginin uzunluğu d olarsa $FG'F'$ üçbucağından ΔL=dsinα yazmaq olar. Güzgü ilə xətkeş arasındakı məsafə D olsun. Şəklə görə PMN üçbucağından

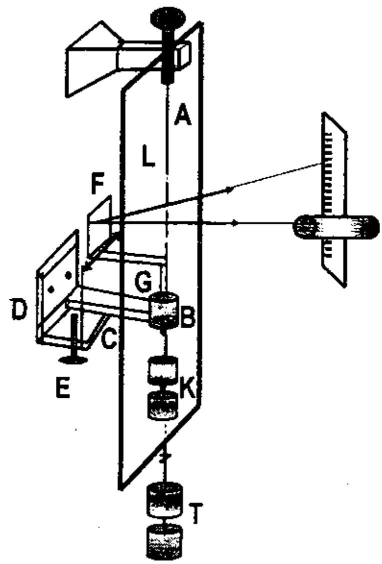
$$\mathrm{tg}2\alpha = \frac{MN}{\Pi M} = \frac{n-n_0}{D}.$$

olduğu görünür. Deformasiya çox kiçik olduğundan güzgünün dönmə bucağı da çox kiçik olacaqdır. Ona görə də tg2α=2α ,

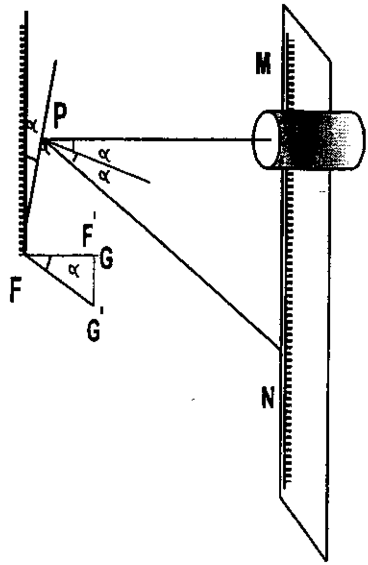
$\sin\alpha=\alpha$ yazmaq olar. Onda $\Delta L=d\sin\alpha=d\alpha=d\frac{n-n_0}{2D}$ kimi

tapılacaqdır. Bu ifadəni və məftilin en kəsiyinin sahəsini ($S=\pi r^2$) (4) düsturunda yerinə yazaraq uzanma deformasiyasında elastiklik modulunu aşağıdakı düsturla tapmaq olar:

$$E = \frac{4FLD}{\pi r^2 d(n - n_0)} \tag{6}$$



Şəkil 11.



Şəkil 12.

Ölçmələr

Yuxarı dayaqdan bir-birinə paralel iki məftil asılmış, aşağıdan çubuğa bağlanmış və çubuğa üzəngi bərkidilmişdir (belə olduqda dayağın deformasiyası tədqiq olunan məftilin deformasiyasından ayrılmış olur). Bu üzəngidə lazımi miqdarda yük olmasına əmin olmaq lasımdır. Təcrübə aparıldıqda bu yüklərdən istifadə olunur.

1. E vintini boşaltmaqla C qolunu azad etməli və məftilin tarım dayanması üçün K üzəngisinin üzərinə 200 qramlıq yük qoymalı. Görüş borusunda xətkeşin güzgüsündəki xəyalını tapmalı və bu vəziyyətdə vizir xəttinə uyğun gələn n_0 bölgüsünü qeyd etməli.

2. Mikrometrlə məftilin diametrini, ştangenpərgarla güzgüyə bağlanmış lingin uzunluğunu, böyük xətkeşlə məftilin uzunluğunu və güzgüdən xətkeşə qədər məsafəni ölçüb qeyd etməli.

3. T üzəngisindən 100 qramlıq yükü götürüb K üzəngisinə qoyaraq görüş borusunda xətkeş üzrə yerdəyişməni tapmalı və qeyd etməli. Bu əməliyyatı hər 100–lıq yük əlavə etməklə 500 q-a qədər aparmalı, sonra isə ardıcıl olaraq hər dəfə 100 q yük götürməklə başlanğıc vəziyyətə uyğun hala qədər davam etdirməli. Yükləmə və yükdən azad etmə əməliyyatını eyni yüklərlə 3 dəfə təkrar etməli. Yadda saxlamaq lazımdır ki, bütün təcrübə müddətində qurğunun ümumi yükü dəyişməməlidir (yüklər T üzəngisindən götürülüb K üzəngisi üzərinə qoyulur və əksinə).

4. Təkrar təcrübələrdən hər bir yük üçün yerdəyişmənin orta qiyməti tapılır və (6) düsturu vasitəsilə Yunq modulu hesablanır. Hesablamalardan alınmış rəqəmlərdən Yunq modulunun orta qiyməti tapılır.

5. Üfüqi oxda yerdəyişmənin, şaquli oxda isə qüvvənin qiymətini yazmaqla qrafik qurulur. Təcrübə elastiklik hüdudu daxilində aparılmışdırsa qrafik düzxətt verəcəkdir. Bu düz xəttin absis oxu ilə əmələ gətirdiyi bucağın tangensi

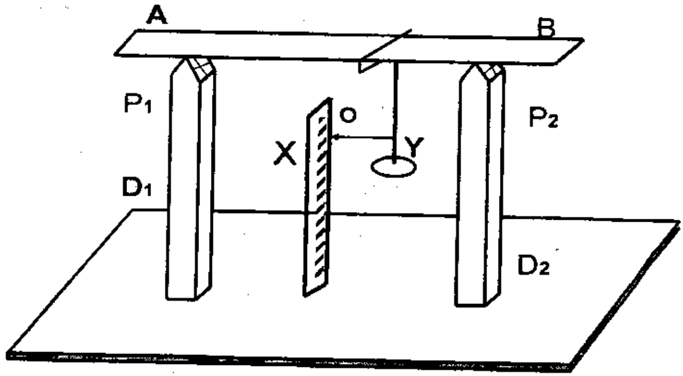
$$tg\varphi = \frac{\pi r^2 dE}{2LD}$$

olar. Buradan E=$\frac{2LD}{\pi r^2 d} tg\varphi$ kimi tapılır.

6. Təcrübənin xətası hesablanır.

Tapşırıq 2. ***Əyilmə deformasiyasında elastiklik modulunun təyini***

Qurğunun təsviri. Əyilmə deformasiyasında Yunq modulunu təyin etmək üçün şəkil 13-də göstərilmiş qurğudan istifadə edilir. Üfüqi səth üzərində olan ağır platformaya şaquli istiqamətdə iki D_1 və D_2 dayağı bərkidilmişdir. Dayaqların başında P_1 və P_2 prizmaları vardır. Prizmaların tilləri üzərinə elastiklik modulu təyin ediləcək AB çubuğu qoyulur. Çubuğun ortasından Y üzəngisi asılır və üzənginin üzərinə müxtəlif yüklər qoyulur. Yüklərin təsirilə AB çubuğu əyilir. Əyilmə deformasiyasını (əyilmə oxunu) ölçmək üçün üzəngiyə üfüqi istiqamətdə bağlanmış kiçik O oxundan istifadə olunur. Oxun ucu platforma üzərində yerləşdirilmiş şaquli X xətkeşinin bölgülərini göstərir. Üzənginin üzərində əlavə yük yoxdursa, oxun ucu xətkeş üzərində sıfır bölgüsünə uyğun olur.



Şəkil 13.

Ölçmələr

Ölçmələr 13--ci şəkildə göstərilmiş qurğuda aşağıdakı ardıcıllıqla aparılır.

1. Xətkeş vasitəsilə prizmaların tilləri arasındakı məsafə 0,5 mm dəqiqliklə ölçülür. Bu məsafə-çubuğun uzunluğu L olacaqdır. Sonra ştangenpərgar və mikrometrlə, uyğun olaraq çubuğun bir neçə yerdən eni (a) və qalınlığı (b) təyin edilir. Həmin kəmiyyətlərin orta qiyməti tapılır.

2. Çubuğun uclarına yaxın yerdə və onun ortasında nişan xətti vardır. Çubuq prizmalar üzərində elə yerləşdirilir ki, onun kənarına yaxın olan xətlər prizmanın tilinə uyğun gəlsin, üzəngi isə orta xətdən asılmış olsun. Bu halda üzəngiyə bağlanmış üfüqi ox xətkeş üzərində başlanğıc vəziyyətə uyğun bölgünü göstərəcəkdir (ola bilər ki, bu vəziyyət sıfır bölgüsünə uyğun gəlməsin). Həmin bölgü n_0 qeyd edilir.

3. Üzəngi üzərinə ehtiyatla yük qoymaqla hər yükə uyğun əyilmə deformasiyası xətkeş vasitəsilə təyin olunur. Sonra təcrübə əksinə aparılır, yəni yükü götürməklə əyilmə oxu qeyd edilir. Üzəngi yükdən tam azad olunduqdan sonra onun oxu şkala üzərində əvvəlki vəziyyətə qayıtmadıqda bu vəziyyət də qeyd edilir.

4. Yükləmə və yükdən azad etmə ardıcıllığı ilə aparılan təcrübə ən azı 3 dəfə təkrar edilir. Təkrar ölçmələrdə alınan n_0 və hər bir yükə uyğun n_i–nin orta qiyməti tapılır və

$$\lambda_{orta} = \frac{n_{iorta} - n_{orta}}{3}$$

düsturu ilə əyilmə oxunun həmin yükə (m) uyğun orta qiyməti təyin edilir.

Tapılmış kəmiyyətlərin orta qiyməti (5) düsturunda yerinə yazmaqla əyilmə modulunun orta qiyməti tapılır.

Təcrübənin xətası hesablanır.

LABORATORİYA İŞİ №6

BURULMA DEFORMASİYASI VASİTƏSİLƏ SÜRÜŞMƏ MODULUNUN TƏYİNİ

***Ləvazimat*:** sürüşmə modulu təyin ediləcək çubuq bağlanmış sistem, xətkeş, ştangenpərgar, mikrometr, saniyəölçən, işıq mənbəyi.

İşin nəzəriyyəsi

Uzunluğu L və radiusu R olan silindrik çubuq daxilində radiusu r olan silindr ayıraq. Fərz edək ki, silindrin yuxarı oturacağı tərpənməz olaraq bağlanmış, aşağı oturacağına isə çubuğu buran qüvvə momenti tətbiq olunmuşdur. Burucu momentin təsiri ilə OA parçası O nöqtəsi ətrafında φ bucağı qədər dönərək OA_1 vəziyyətini alacaqdır (şəkil 14). Burulma bucağı elastik hüdudu daxilində burucu momentlə düz mütənasibdir:

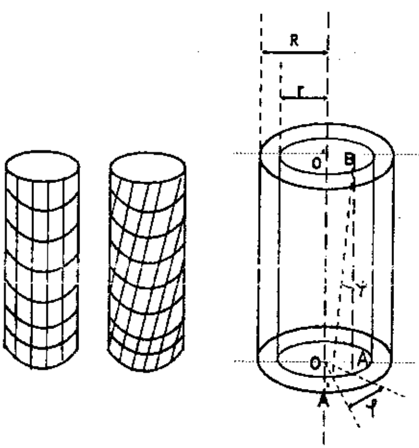
$$\psi = C\,M. \qquad (1)$$

Burada C–verilmiş çubuq üçün sabit olub, onun radiusundan və materialından asılıdır. Bu kəmiyyətlə sürüşmə modulu arasındakı əlaqəni müəyyənləşdirmək lazımdır. Şəkildən görünür ki, qüvvə momentinin təsiri ilə r radiuslu silindrin OO_1 BA müstəvisi ψ bucağı qədər sürüşərək OO_1 BA_1 vəziyyətini almışdır. Silindrin tərpənməz oturacağından l məsafədə dl hündürlükdə və dr qalınlığında həlqə kəsək (şəkil 15). Həlqəni şəkildə göstərilmiş kublar toplusu kimi təsəvvür edərək hər bir kubun səthinin sürüşmə bucağının ($d\psi$) eyni olduğunu görmək olar. Şəkildən görünür ki,

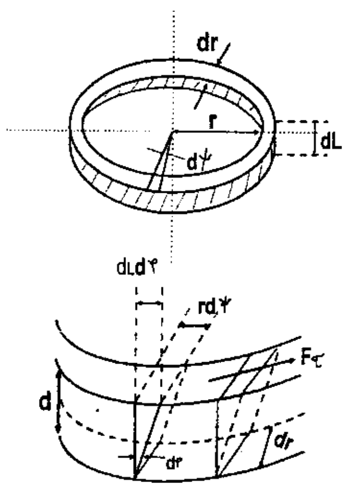
$$r d\psi = dl d\varphi$$

bərabərliyi eyni parçanı ifadə edir. Buradan sürüşmə bucağının seçilmiş kub üçün qiymətini tapmaq olar:

$$d\varphi = r\frac{d\psi}{dl} \qquad (2)$$



Şəkil 14.



Şəkil 15.

Şəkildə göstərilən kub F_t qüvvəsinin təsiri ilə dφ bucağı qədər sürüşmüşdür. Elastiklik hüdudu daxilində sürüşmə bucağı toxunan gərginliklə mütənasibdir:

$$d\varphi = \frac{1}{N}\tau \tag{3}$$

Burada N sürüşmə modulu, τ -vahid səthə düşən və toxunan istiqamətdə təsir edən qüvvədir:

$$\tau = \frac{dF}{dS}, \quad dF_t = \tau\, dS$$

Həlqənin elementar səthinə (dS=2πrdr) təsir edən qüvvə

$$dF = \tau\, 2\pi\, rdr \tag{4}$$

olar. Axırıncı ifadədə (2) və (3) düsturlarını nəzərə alsaq, elementar qüvvə üçün

$$dF = 2\pi r^2 N \frac{d\psi}{dl} dr$$

uyğun qüvvə momenti üçün isə aşağıdakı ifadə alınır:

$$dM = 2\pi r^3 N \frac{d\psi}{dl} dr \tag{5}$$

Silindrin yan səthinə təsir edən qüvvə momentini tapmaq üçün (5) ifadəsini inteqrallamaq lazımdır:

$$M = 2\pi N \frac{d\psi}{dl} \int_0^R r^3 dr = 2\pi N \frac{d\psi}{dl} \frac{r^4}{4} \Big|_0^R = \frac{\pi N R^4}{2} \cdot \frac{d\psi}{dl} \tag{6}$$

Əgər silindr bircinsdirsə, $\frac{d\psi}{dl}$ bütün nöqtələrdə eyni olacaqdır, başqa sözlə

$$\frac{d\psi}{dl} = \frac{\psi}{L} \tag{7}$$

bərabərliyi ödənəcəkdir. Axırıncı ifadəni (6) düsturunda nəzərə alsaq:

$$M = \frac{\pi R^4}{2} N \frac{\psi}{L} \tag{8}$$

olar. (8) və (1) düsturlarının müqayisəsindən

$$C=\frac{2L}{\pi NR^4} \qquad (9)$$

alınır. Buradan isə sürüşmə modulunu tapmaq olar:

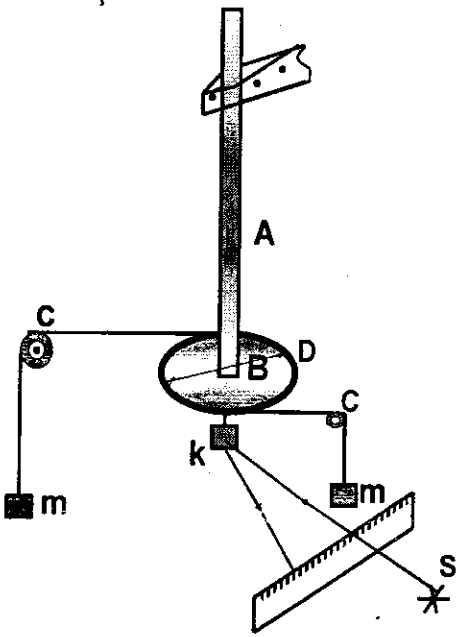
$$N=\frac{2L}{\pi CR^4} \qquad (9)'$$

və ya

$$N=\frac{2L}{\pi R^4}\cdot\frac{M}{\psi} \qquad (10)$$

Təcrübədə sürüşmə modulunu həm statik və həm də dinamik üsulla təyin etmək olar.

Statik üsul: burulma deformasiyasından istifadə edərək sürüşmə modulunu təyin etmək üçün işlədilən cihazın təsviri şəkil 16-da verilmişdir.



Şəkil 16.

Sürüşmə modulu təyin ediləcək A çubuğu yuxarı ucundan bərkidilmiş, aşağı ucundan isə D diametrli B diski bağlanmışdır. Diskin üzərinə eyni istiqamətdə iki ip sarınmış və C blokundan aşırılaraq bərabər m kütləli yüklər asılmışdır. Bu yüklərin təsiri ilə disk dönəcək və ona bağlanmış A çubuğu müəyyən ψ bucağı qədər burulacaqdır. Burulma bucağını görüş borusu vasitəsilə təyin edirlər. Bunun üçün diskin aşağı hissəsinə bağlanmış güzgüdə ondan d mə-safədə yerləşən xətkeşin aydın xəyalını alırlar.

Çubuq sərbəst olduqda vizir xətti xətkeşin n_0 bölgüsünün üzərinə düşürsə, çubuq buruldqdan sonra n bölgüsü üzərinə düşəcəkdir. $(n-n_0)$ fərqi şüanın xətkeş üzərindəki yerdəyişməsini verəcəkdir. Bucağın kiçik qiymətlərində aşağıdakı ifadədən istifadə olunur:

$$\psi = \frac{n - n_0}{2d} \tag{11}$$

m kütləli yüklərin yaratdığı qüvvə momentinin

M=mgD

olduğunu nəzərə alsaq və (11) düsturunu (10)-da yerinə yazsaq sürüşmə modulu üçün aşağıdakı ifadə alınar:

$$N = \frac{4DLd}{\pi R^4} \cdot \frac{mg}{n - n_0} \tag{12}$$

Təcrübi hissə

Statik üsulla sürüşmə modulunu təyin etmək üçün çubuğun yuxarı hissədən möhkəm bağlandığına və aşağı ucundan diskə tərpənməz bərkidildiyinə əmin olmaq lazımdır. Sonra görüş borusu ilə xətkeş güzgüdən eyni məsafədə yerləşdirilir və görüş borusu vasitəsilə xətkeşin güzgüdə aydın xəyalı alınır. Bu vəziyyətdə xətkeş üzərində vizir xəttinin uyğun gəldiyi bölgü (n_0) qeyd edilir. Bloklardan aşırılmış iplərin uclarına eyni miqdarda yük qoyulur. Çubuq və ona bağlanmış güzgü bu yüklərin təsirilə müəyyən ψ bucağı qədər burulur. Güzgüdən qayıdan şüa isə 2ψ qədər meyl etmiş olur. Bu vəziyyətdə vizir xəttinin xətkeş üzərində uyğun gəldiyi bölgü-n qeyd edilir. Bu təcrübə 5 müxtəlif yüklərdə aparılır və üfüqi oxda qüvvə momenti, şaquli oxda isə (n_i-n_o) fərqini götürməklə qrafik qurulur. Ölçmələr həm yüklərin miqdarını artırmaqla və həm də azaltmaqla aparılır. Təcrübə hər bir yük üçün ən azı 3 dəfə təkrar olunur. Qurulmuş qrafikdən və (12) düsturundan sürüşmə modulu tapılır.

Dinamik üsul.

1. Bu üsulla sürüşmə modulunu təyin etmək üçün metal çubuq əvəzinə metal tel götürülür və B diski m yüklərindən azad edilir. Əgər diski müəyyən φ bucağı qədər fırladıb buraxsaq o burulma rəqsləri edəcəkdir. Burulma rəqslərinə səbəb teldə yaranan elastik qüvvənin momentidir. Sistemin ətalət momenti J olarsa, fırlanma hərəkətinin əsas qanununa görə yaza bilərik:

$$-M = J\frac{d^2\varphi}{dt^2}$$

Burada nəzərə alınmışdır ki, elastik qüvvənin momenti xarici qüvvənin momentinin əksinədir.

Amplitudun kiçik qiymətlərində rəqslərin harmonik olduğunu qəbul etsək və (1) düsturunu nəzərə alsaq, hərəkət tənliyini aşağıdakı kimi yazmaq olar:

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

Burada $\omega_0^2 = \frac{1}{CJ}$ olduğundan,

$$T = \frac{2\pi}{\omega_0} = 2\pi\sqrt{CJ} \qquad (13)$$

alınır. Bu düstur o vaxt doğrudur ki, sistemdə rəqslərin sönməsi çox zəif olsun və burulma deformasiyası elastiklik hüdudu daxilində olsun.

Təcrübi hissə

1. B diskinin üzərinə fırlanma oxuna simmetrik olaraq hər biri m kütləli 4 yük bərkidilmişdir. Diskin mərkəzindən yüklərə qədər olan məsafə (l_1) radius boyunca ölçülür.

2. Burulma bucağının doğrudan da elastiklik hüdudu daxilində olduğunu müəyyənləşdirmək üçün diski ψ_1 bucağı qədər döndərib buraxırlar. Sistem rəqs etməyə başlayır. 25-30 tam rəqs üçün sərf olunan zamanı tapıb, T_1 periodunu hesablayırlar. Sonra həmin əməliyyatı $\psi_2 < \psi_1$ bucağında aparırlar. Əgər bu zaman hesablanmış periodlar bərabər olarsa, deməli təcrübəni ψ_1-dən kiçik olan bütün dönmə bucaqlarında aparmaq olar.

3. Kütlələri m olan yükləri mərkəzdən l_2 məsafədə yerləşdirib T_2 periodunu hesablayırlar. Əgər l_1 məsafəsinə J_1, l_2 məsafəsinə J_2 ətalət momenti uyğun olarsa, (13) düsturuna görə yazmaq olar:

$$T_1 = 2\pi\sqrt{C(J+J_1)}\,,\ T_2 = 2\pi\sqrt{C(J+J_2)} \qquad (14)$$

Bu düsturlardan C-ni tapıb

$$C = \frac{T_1^2 - T_2^2}{4\pi^2(J_1 - J_2)}$$

(9′) düsturunda yerinə yazaraq sürüşmə modulu üçün aşağıdakı ifadəni alarıq:

$$N = \frac{32\pi m L(l_1^2 - l_2^2)}{R^4(T_1^2 - T_2^2)} \qquad (15)$$

Bütün ölçmələr ən azı 3 dəfə təkrar edilir və (15) düsturuna görə sürüşmə modulu hesablanır.

Hər bir tapşırığın ayrılıqda xətası hesablanır.

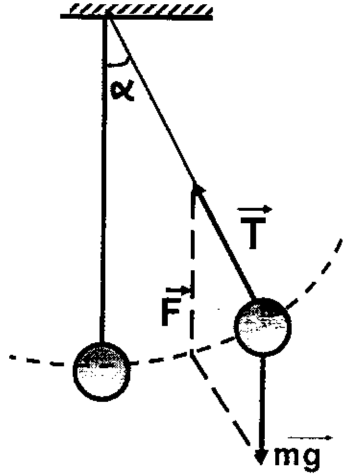
LABORATORİYA İŞİ №7

RƏQQAS VASİTƏSİLƏ AĞIRLIQ QÜVVƏSİ TƏCİLİNİN TƏYİNİ

Tapşırıq 1. ***Riyazi rəqqas vasitəsilə ağırlıq qüvvəsi təcilinin təyini***

Ləvazimat: riyazi rəqqas, xətkeş, ştangenpərgar, saniyəölçən.

Riyazi rəqqas uzanmayan nazik ipdən və onun ucuna bağlanmış kiçik radiuslu kürəcikdən ibarətdir (şəkil 17).



Şəkil 17.

Ip şaquli vəziyyətdə olduqda kürəciyə təsir edən ağırlıq qüvvəsi və ipin gərilmə qüvvəsi bir düz xətt üzərində yerləşir və bir-birini tarazlaşdırır.

Ona görə də kürəcik sükunətdə qalır. Kürəciyi kiçik α bucağı qədər meyl etdirdikdə həmin qüvvələr artıq bir düzxətt üzərində yerləşməyəcəklər. Onların əvəzləyicisi kürəciyi tarazlıq vəziyyətinə qaytarmağa çalışacaqdır. Şəkildən göründü kimi bu qüvvə ədədi qiymətcə mgsinα–ya bərabərdir. Nyutonun ikinci qanununa görə kürəciyin hərəkət tənliyi aşağıdakı kimi olar:

$$ma = -mg\sin\alpha$$

Burada mənfi işarəsi göstərir ki, bu qüvvə α -nın azalması istiqamətinə yönəlmişdir. α -nın kiçik qiymətlərində $\sin\alpha \approx \alpha$ yazmaq olar, onda hərəkət tənliyi aşağıdakı şəklə düşər:

$$ma = -mg\alpha$$

Kürəcik bu qüvvənin təsirilə l radiuslu qövs cızacaqdır. Fırlanma hərəkətinin kinematikasından məlumdur ki, xətti təcil a bucaq təcili $\beta = \frac{d^2 a}{dt^2} = \ddot{a}$ ilə fırlanma radiusunun l hasilinə bərabərdir:

$$a = \beta l = l\ddot{a}$$

$$\ddot{a} + \frac{g}{l}a = 0$$

Bu ifadəni hərəkət tənliyində yerinə yazıb sadələşdirmə aparsaq,

$$\ddot{a} + \frac{g}{l}a = 0$$

alınar. Bu ifadənin harmonik rəqslərin tənliyi ilə müqayisəsindən görünür ki, kürəciyin dairəvi tezliyi $\omega^2 = \frac{g}{l}$ olur. Tezliklə period arasındakı ifadədən $T = \frac{2\pi}{\omega}$ riyazi rəqqasın periodu üçün aşağıdakı ifadə alınır:

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

Bu ifadə göstərir ki, riyazi rəqqasın periodu ağırlıq qüvvəsinin təcilindən asılıdır. Bu asılılıqdan istifadə edərək təcrübi olaraq ağırlıq qüvvəsi təcilini tapmaq olar:

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

bu ifadə işçi düstur olub, l və T məlum olduqda g–ni hesablamağa imkan verir.

Ölçmələr

Rəqqasın uzunluğu l ipin uzunluğu l_0 ilə kürəciyin radiusunun r cəminə bərabərdir. İpin uzunluğu xətkeş, kürəciyin radiusu isə ştangenpərgar ilə ölçülür. Rəqqasın uzunluğu 1 mm dəqiqliyi ilə tapılır.

Rəqqas şaquli vəziyyətdən 5^0 - 7^0 bucaq qədər meyl etdirilir və səliqə ilə sərbəst buraxılır. Rəqqas rəqs etməyə başlayır. Bu rəqsləri harmonik hesab etmək olar. Saniyəölçəni işə salmaqla n=50 tam rəqs üçün sərf olunan müddət tapılır və $T=\frac{t}{n}$ düsturundan rəqsin periodu hesablanır. Bu təcrübə 3 dəfə təkrar olunur və T-nin orta qiyməti təyin edilir. l və T-nin orta qiymətini işçi düsturda yerinə yazmaqla ağırlıq qüvvəsi təcili hesablanır.

Tapşırıq 2. ***Saniyə rəqqası vasitəsilə ağırlıq qüvvəsi təcilinin təyini.***

Ləvazimat: saniyə rəqqası, riyazi rəqqas, xətkeş və ştangenpərgar.

Saniyə rəqqasının periodu 2 saniyəyə bərabərdir (sadə rəqslərin periodu 1 san olduğundan ona saniyə rəqqası deyilir).

Bu işdə saniyə və riyazi rəqqasların müqayisəsindən istifadə olunur. Riyazi rəqqasın uzunluğu 101-102 sm götürülür və hər iki rəqqas kiçik amplitudla hərəkətə gətirilir. Rəqqaslar eyni zamanda eyni istiqamətdə tarazlıq vəziyyətindən keçdikdə saniyə rəqqasının rəqslərini saymağa başlamaq lazımdır. Onun rəqslərini o vaxta qədər saymaq lazımdır ki, onlar yenidən eyni zamanda eyni istiqamətdə tarazlıq vəziyyətindən keçsinlər. Tutaq ki, bu rəqslərin sayı n olmuşdur. Riyazi rəqqasın uzunluğu 100 sm-dən çox olduğundan onun periodu 2 san-dən bir az artıq olacaqdır, yəni saniyə rəqqasının n sayda rəqslərinə sərf olunan müddətdə riyazi rəqqas n-1 sayda rəqs edəcəkdir. Tutaq ki, saniyə rəqqasının periodu T_0, riyazi rəqqasın periodu isə T–dir, hər iki rəqqas eyni müddət hərəkətdə olduğundan $nT_0=(n-1)T$ yazmaq olar. Buradan

$$T=\frac{n}{n-1}T_0$$

alınır. T_0=2san olduğundan riyazi rəqqasın periodu

$$T=\frac{2n}{n-1}$$

düsturu ilə saniyələrlə tapılır.

Təcrübə 3 dəfə təkrar olunur və T-nin orta qiyməti hesablanır. Sonra riyazi rəqqasın uzunluğu 93-99 sm götürülür və yuxarıda təsvir edilmiş qaydada rəqslərin iki ardıcıl, eyni zamanda, eyni istiqamətdə başvermə anları arasında keçən müddətdə saniyə rəqqasının rəqslərinin sayı tapılır. Bu halda riyazi rəqqas 100 sm-dən qısa olduğundan onun periodu 2 sandən kiçik olacaqdır. Deməli, həmin müddətdə saniyə rəqqası n sayda rəqs edəcəkdir. Yenə də bu rəqslər üçün sərf olunan müddətlərin bərabərliyi şərtindən

$$nT_0=(n+1)T$$

yazmaq olar. Buradan isə riyazi rəqqasın periodu üçün

$$T=\frac{n}{n+1}T_0 \text{ və ya } T=\frac{2n}{n+1}$$

düsturu alınır. Yenə də təcrübə 3 dəfə təkrar olunaraq periodun orta qiyməti tapılır. Hər iki halda tapılmış orta periodların ədədi orta qiyməti hesablanaraq (2) düsturunda yerinə yazılır və ağırlıq qüvvəsinin təcili təyin olunur.

Tapşırıq 3. ***Çevrilən rəqqas vasitəsilə ağırlıq qüvvəsi təcilinin təyini.***

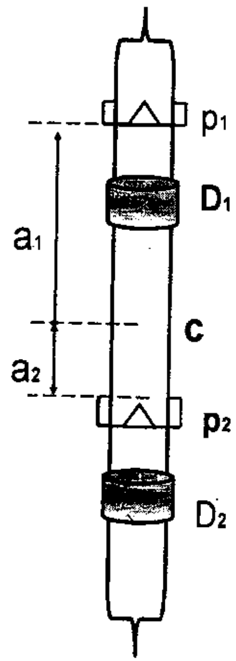
Ləvazimat: çevrilən rəqqas, xətkeş, saniyəölçən.

İşin nəzəriyyəsi

Çevrilən rəqqas uzunluğu 1 metrdən çox olan polad çubuqdan ibarətdir. Polad çubuğun üzərinə bir-birindən müəyyən məsafədə iki (P_1 və P_2) prizma bərkidilmiş, prizmalar arasında D_1, prizmalardan kənarda D_2 yükləri bağlanmışdır. Yüklər çubuq boyunca yerlərini dəyişə bilirlər (şəkil 18). Tutaq ki, P_1 və P_2 prizmalarının tilindən keçən ox ətrafında rəqqasın rəqs periodu uyğun olaraq T_1 və T_2–dir:

$$T_1 = 2\pi\sqrt{\frac{J_0 + ma_1^2}{mga_1}}; \quad T_2 = 2\pi\sqrt{\frac{J_0 + ma_2^2}{mga_2}} \qquad (1)$$

Burada J_o–ağırlıq mərkəzindən keçən və fırlanma oxuna paralel olan oxa nəzərən ətalət momenti, m-rəqqasın kütləsi, a isə fırlanma oxu ilə ağırlıq mərkəzi arasındakı məsafədir. (1) düsturlarından J_0-ı tapıb g–ni aşağıdakı kimi təyin etmək olar:



Şəkil 18.

$$g = \frac{4\pi^2(a_1^2 - a_2^2)}{T_1^2 a_1 - T_2^2 a_2}. \qquad (2)$$

Bu ifadənin sürət və məxrəcini $2(T_1^2 + T_2^2)$ vurub, məxrəcinə $(T_1^2 + T_2^2)(a_1\text{-}a_2)$ ifadəsini əlavə edib çıxsaq, g üçün Besselin verdiyi düsturu almış olarıq:

$$g = \frac{8\pi^2 l}{T_1^2 + T_2^2} \cdot \frac{1}{1 + \frac{(T_1^2 - T_2^2)l}{(T_1^2 + T_2^2)(a_1 - a_2)}} \qquad (3)$$

$T_1 = T_2$ olarsa, (3) düsturu aşağıdakı sadə şəklə düşər:

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

Təcrübədə $T_1 = T_2$ əldə etmək çox çətin olur. Ona görə də ağırlıq qüvvəsi təcilinin qiyməti (4) düsturu ilə hesablanarsa, tapılmış qiymət həmin kəmiyyətin həqiqi qiymətindən fərqlənəcəkdir. Periodların bərabər olmamasından irəli gələn nisbi xətanı aşağıdakı kimi tapmaq olar. Tutaq ki, periodlar bir- birindən ΔT qədər fərqlənirlər:

$$T_1 = T,\ T_2 = T + \Delta T$$

Bu ifadələri (2) düsturunda nəzərə alsaq və $(\Delta T)^2$ daxil olan hədləri eynilik kimi sıfra bərabər qəbul etsək, (2) düsturu aşağıdakı şəklə düşər:

$$g = \frac{4\pi^2 (a_1^2 - a_2^2)}{T_1^2 a_1 - T_2^2 a_2} = \frac{4\pi^2 (a_1 + a_2)}{T^2} \cdot \frac{1}{1 + \frac{2a_1 \Delta T}{T(a_1 - a_2)}}$$

Axırıncı vuruğu $\frac{1}{1+x}$ kimi sıraya ayırıb, ilk iki həddi götürsək:

$$g = 4\pi^2 \frac{l}{T^2}\left[1 - \frac{2a_1 \Delta T}{(a_1 - a_2)T}\right] \qquad (5)$$

olar. (4) və (5) ifadələrindən $\frac{\Delta g}{g}$-ni hesablamaq rahatdır:

$$\frac{\Delta g}{g} = \frac{2a_1 \Delta T}{(a_1 - a_2)T} \qquad (6)$$

Axırıncı ifadə göstərir ki, periodların fərqli olması hesabına yaranan nisbi xəta ağırlıq mərkəzindən prizmalara qədər olan məsafələrin fərqindən asılıdır. Ona görə də çalışmaq lazımdır ki, T_1 vəT_2–ni təyin etdikdə D yükləri elə vəziyyətdə olsun ki, a_1 və a_2 fərqi mümkün qədər böyük olsun. Onların nisbəti 1,5-dən böyük olduqda nəticə yaxşı olur.

Əgər $T_1=T_2=T$, a_1 və a_2 isə bir-birindən kifayət qədər fərqlənirsə, (3) düsturu aşağıdakı sadə şəklə düşər:

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

İşin gedişi

Rəqqas prizmalardan biri üzərinə qoyulur. D_2 yükü rəqqas üzərində 7 sm göstərən bölgünün üzərinə gətirilir. Rəqqası 5^0-7^0 bucaq qədər meyl etdirib buraxırlar və saniyəölçən vasitəsilə n=100 rəqsə sərf olunan müddəti ölçüb, $T=\frac{t}{n}$ düsturundan periodu təyin edirlər. D_2 yükünü rəqqas boyunca 5 mm sürüşdürüb yenə də onun periodunu yuxarıdakı qaydada təyin edirlər. Bu əməliyyat hər sonrakı 5 mm-də təkrar olunur və D_2 yükü 12 sm-i göstərən bölgüyə çatana qədər davam etdirilir. Hər təcrübə ən azı iki dəfə aparılır və D_2 yükünün hər bir vəziyyətinə uyğun periodun orta qiyməti tapılır. Beləliklə, D_2 yükünün II vəziyyətində rəqqasın periodu təyin olunur. Sonra isə rəqqasın periodunun yükün vəziyyətindən asılılıq qrafiki qurulur.

Bu əməliyyatlar qurtardıqdan sonra rəqqası çevirib ikinci prizmanın üzərinə qoyurlar. Birinci prizma ilə aparılan ölçmə və qurmaları eynilə rəqqasın bu vəziyyəti üçün təkrar etmək lazımdır. Rəqqasın birinci vəziyyəti üçün qurulmuş qrafikin üzərində ikinci vəziyyət üçün həmin qrafik qurulur. Qrafikdə qurulmuş xətlərin kəsişmə nöqtəsi hərəkət edən yükün elə vəziyyətinə uyğundur ki, yük həmin yerdə olduqda rəqqasın birinci və ikinci prizmalarının tilindən keçən ox ətrafında rəqs periodları bir-birinə yaxın olur.

Periodların həmin qiymətlərini təyin etmək üçün D_2 yükünü qrafikdə xətlərin kəsişmə nöqtəsinə uyğun gələn məsafədə yerləşdirib, rəqqası birinci və ikinci prizmalar üzərinə ardıcıl olaraq qoyurlar. Hər bir hal üçün 3 dəfədən az olmayaraq 200 tam rəqs üçün sərf olunan zamanı tapırlar və buradan periodu hesablayırlar. Bu əməliyyatı çox dəqiq aparmaq lazımdır ki, a_1 və a_2-ni təyin etmək üçün rəqqası üfüqi müstəvi üzərində düzəldilmiş prizmanın tili üzərinə elə yerləşdirirlər ki, rəqqas tarazlıq vəziyyətində olsun. Tarazlıq vəziyyətində müstəvi səth üzərindəki prizmanın tilindən rəqqas üzərindəki prizmaların tilinə qədər olan məsafələr, uyğun olaraq a_1 və a_2-ni göstərəcəklər. Tapılmış kəmiyyətləri (3) düsturunda yerinə yazmaqla ağırlıq qüvvəsi təcilini hesablayırlar.

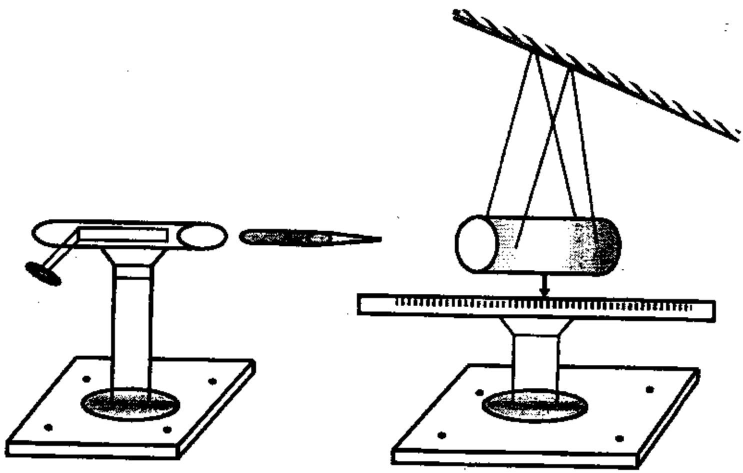
LABORATORİYA İŞİ № 8

BALLİSTİK RƏQQAS VASİTƏSİLƏ MƏRMİNİN UÇMA SÜRƏTİNİN TƏYİNİ

Ləvazimat: ballistik rəqqas, yaylı mərmiatan, ölçü şkalası, mərmilər.

Qurğunun təsviri və işin nəzərriyəsi

Ballistik rəqqas uzun nazik ipdən asılmış silindrdən ibarətdir. Silindrin diametri asıldığı ipin uzunluğuna nəzərən çox-çox kiçikdir. Silindrin içərisi plastilinlə doldurulmuş və aşağısından şaquli istiqamətdə mil bərkidilmişdir. Rəqqasın altında onun hərəkət istiqamətində üzərində bölgüləri olan şkala bərkidilmişdir. Silindrin qarşısında ondan 30-40 sm məsafədə mərmiatan stola bərkidilmişdir. Mərmiatanın borusunun oxu və silindrin oxu bir düz xətt üzərində yerləşdirilmişdir (şəkil 19). Mərmi υ_0 sürətilə hərəkət edərək silindrin ağırlıq mərkəzində onunla qeyri-elastik toqquşur. Bu zərbə nəticəsində ümumi kütlə υ sürəti alır və sistemin agırlıq mərkəzi h hündürlüyünə qalxır. Ümumi halda məsələni həll etmək üçün hərəkət miqdarının saxlanması qanunundan istifadə etmək lazımdır, çünki zərbədə olan cisimlərin kütlələrinin paylanması elə ola bilər ki, zərbə mərkəzi sistemin simmetriya oxu üzərində yerləşməz və zərbə nəticəsində sistem ümumiyyətlə mürrəkkəb hərəkət edər. Ancaq cisimlərin simmetriya oxları zərbə xətti ilə üst-üstə düşərsə və ya cisimlərin kütlə mərkəzləri zərbə xətti üzərində yerləşərsə, onda sistemin zərbədən sonrakı hərəkəti sadə hərəkətlərə gətirilə bilər. Baxılan işdə mərmi və rəqqas üçün yuxarıda qeyd olunan şərtlər ödənir.



Şəkil 19.

Mərmi rəqqas–sistemində hərəkət miqdarı momentinin saxlanması qanunu ödənir. Çünki, istər zərbə xəttində və istərsə də ondan kənarda seçilmiş ixtiyari fırlanma mərkəzinə (məsələn, rəqqasın asılma nöqtəsinə) görə təsir edən güvvələrin momenti sıfra bərabərdir. Onda sistemin zərbədən əvvəl malik olduğu hərəkət miqdarı momenti zərbədən sonrakı hərəkət miqdarı momentinə bərabər olacaqdır. Əgər mərminin kütləsi m, sistemin kütlə mərkəzinin fırlanma oxundan məsafəsi l olarsa,

$$m\upsilon_0 l = J\,\omega \qquad (1)$$

bərabərliyi ödənəcəkdir. Burada I-sistemin ətalət momenti, ω -

onun zərbədən aldığı bucaq sürətidir. Bu yazılışda nəzərdə tutulmuşdur ki, mərminin qeyri-elastik zərbə müddəti rəqqasın periodundan çox-çox kiçikdir, yəni, zərbə müddətində rəqqasın yerdəyişməsi nəzərə alınmayacaq dərəcədə kiçikdir. Bu isə o deməkdir ki, rəqqasın kiçik yerdəyişməsi zamanı meydana çıxan qüvvə momentini nəzərə almamaq olar. Bu şərt daxilində (1) düsturu doğrudur. Göstərmək olar ki, bu məsələdə hərəkət miqdarı momentinin saxlanması qanunu hərəkət miqdarı momentinin saxlanması qanununa gətirilir. Çünki, silindrin ölçüləri onun asıldığı ipin uzunluğuna görə çox-çox kiçikdir. Bu halda baxılan sistemi riyazi rəqqas kimi qəbul etmək olar. Doğrudan da

$$I = (M + m).\, l^2, \quad \omega = \frac{\upsilon}{l}$$

yazıb, ətalət momentinin və bucaq sürətinin bu ifadələrini (1) düsturunda nəzərə alsaq:

$$m\, \upsilon_0\, l = (M + m)\, l^2 \frac{\upsilon}{l}$$

və ya

$$m\, \upsilon_0 = (M + m)\, \upsilon$$

alınar. Bu isə qeyri-elastik zərbədə hərəkət miqdarının saxlanması qanununu ifadə edir. Mərminin və ballistik rəqqasın kütləsi məlum olduqda rəqqasın zərbədən sonrakı sürətini enerjinin saxlanma qanunundan istifadə edərək hesablamaq olar:

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

Buradan $\upsilon = \sqrt{2gh}$ (3) alınır. Rəqqasın qalxma hündürlüyünü şəkil 21-dən istifadə edərək aşağıdakı kimi yazmaq olar:

$$h = l\,(1 - \cos\varphi) = 2\, l \sin^2 \frac{\varphi}{2} \qquad (4)$$

Beləliklə, məsələnin həlli rəqqasın meyl bucağının tapılmasına gətirir. Meyl bucağı aşağıdakı düstürdan tapıla bilər:

$$\mathrm{tg}\varphi = \frac{S}{L}$$

burada S-rəqqasın aşağısından bərkidilmiş milin yerdəyişməsi, L–isə milin ucundan rəqqasın asılma nöqtəsinə qədər olan məsafədir. Şəkil 20-dən $L= l+a$ olduğu görünür. Mərminin sürətini (2) düsturundan tapıb (3) və (4) düsturlarını nəzərə alsaq:

$$\upsilon_0 = 2\frac{M+m}{m}\sqrt{gl}\sin\frac{\varphi}{2}$$

Ölçmələr

Mərmilərin və silindrin kütləsini təyin etdikdən sonra rəqqası elə asmaq lazımdır ki, silindrin oxu üfüqi yerləşməklə iplərin asılma nöqtələrini birləşdirən xəttə perpendikulyar olsun. Şkalanin sıfır bölgüsü milin ucu ilə üst-üstə salınır. Mərmiatan borunun oxu və silindrin oxu bir düz xətt üzərində yerləşdirilir. Mərmiatanın dəstəyini axıra qədər geri çəkib onu 90^0 fırlatmaqla oyuğa salırlar. Mərmilərdən biri mərmiatanın borusuna qoyulur. Mərmiatanin dəstəyini azad etdikdə yay açılır və mərmi υ sürətilə atılır. O silindirlə qeyri-elastik toqquşaraq plastilinin içində qalır, rəqqas isə hərəkət edərək yerini dəyişir. Bu yerdəyişmə silindirin aşağısına şaquli bərkidilmiş mil vasitəsilə qeyd edilir. Hər bir mərmi üçün yuxarıda təsvir olunan təcrübə ən azı beş dəfə aparılır və uyğun mərmilər üçün yerdəyişmənin orta qiyməti tapılır. Bu yerdəyişmə l-ə nisbətən çox kiçik olduğu üçün

$$\mathrm{tg}\,\varphi = \sin\varphi, \quad \frac{S}{2L} = \sin\frac{\varphi}{2}$$

bərabərliyindən istifadə edərək

$$\upsilon_0 = \frac{m+M}{m}\cdot\frac{S}{L}\sqrt{gl}.$$

düsturundan mərminin uçma sürəti hesablanır. Göstərmək olar ki, $\frac{S}{L}$ nisbəti $\frac{m}{M}$ nisbətindən nə qədər çoxdursa υ_0 sürəti υ

sürətindən bir o qədər çoxdur:

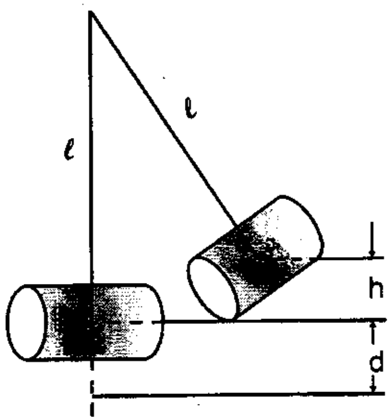
$$\upsilon = \omega l = \sqrt{\frac{g}{l}} \cdot l = \sqrt{gl}$$

$$\upsilon_0 = \frac{m+M}{m}\frac{S}{L}\sqrt{gl} = \frac{m+M}{m}\cdot\frac{S}{l+a}\sqrt{gl}$$

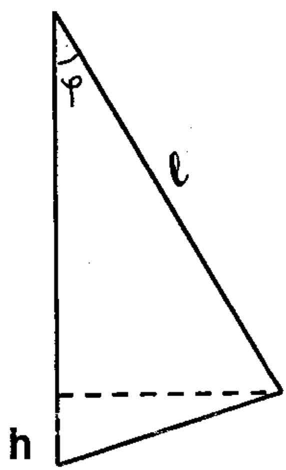
$$\frac{\upsilon_0}{\upsilon} = \frac{M(1+\frac{m}{M})}{m}\cdot\frac{S}{l(1+\frac{a}{l})}$$

$\frac{m}{M}$ və $\frac{a}{l}$ çox kiçik kəmiyyətlər olduğundan, onları nəzərə almamaq olar və düstur aşağıdakı şəklə düşər: $\frac{\upsilon_0}{\upsilon} = \frac{S/l}{m/M}$.

Bu ifadə yuxarıda deyilənləri təsdiq edir.



Şəkil 20.



Şəkil 21.

LABORATORİYA İŞİ №9

BƏRK CİSMİN FIRLANMA HƏRƏKƏTİNİN ÖYRƏNİLMƏSİ

Ləvazimat: saniyəölçən, çəki daşları, ştangenpərgar, xətkeş.

İşin nəzəriyyəsi

İşdə məqsəd fırlanma hərəkətinin əsas qanunu olan

$$M=J\beta$$

ifadəsini yoxlamaqdan ibarətdir. Burada J–cismin fırlanma oxuna nəzərən ətalət momenti, β-bucaq təcili, M-cismə təsir edən qüvvə momentlərinin baş vektorudur. Bu qanunu öyrənmək üçün Oberbek rəqqası adlanan cihazdan istifadə olunur. Cihaz müxtəlif r_1 və r_2 radiuslu iki şkivdən, şkivlərə bağlanmış eyni L-uzunluqlu dörd çubuqdan və çubuqlar üzərinə geydirilmiş eyni m kütləli dörd silindrşəkilli yüklərdən ibarətdir (şəkil 22). Bu sistem şkivlərin mərkəzlərindən keçən üfüqi ox ətrafında fırlana bilər. Tutaq ki, şkivlər üzərinə sarınmış ipin ucuna bağlanmış m kütləli cismin təsiri ilə sistem fırlanır. Sürtünmə nəzərə alınmazsa, bu hərəkət

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

m kütləli yükün irəliləmə hərəkəti isə

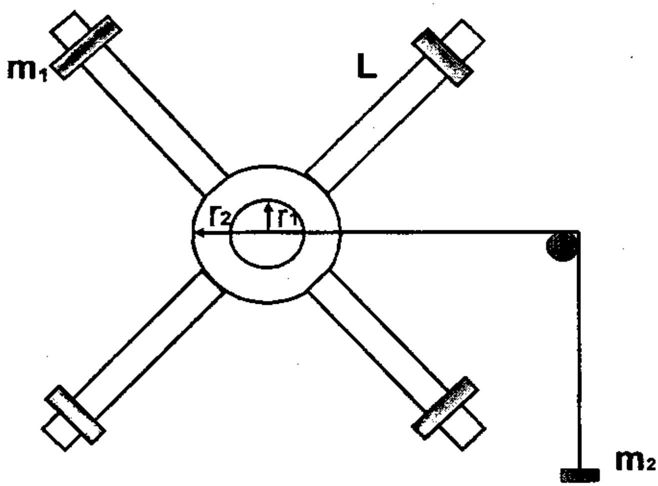
$$ma= mg-T \qquad (2)$$

tənlikləri ilə ifadə olunacaqdır. Şəkildən göründüyü kimi:

$$M = rT$$
$$a = \beta r \qquad (3)$$

burada r-şkivin radiusu, T-ipin gərilmə qüvvəsi, a-ipdən asılmış yükün təcili, β-sistemin fırlanma hərəkətinin bucaq təcilidir.

Hərəkət tənliklərində (3) ifadələrini nəzərə alıb xətti təcili tapmaq olar: $a=\frac{mr^2}{J+mr^2}g$.



Şəkil 22.

Digər tərəfdən $a=\frac{2h}{t^2}$ olduğu məlumdur. Burada h-ipə bağlanmış yükün t müddətində düşdüyü hündürlükdür. İşin gedişində bu hündürlük sabit saxlanılır. Beləliklə, fırlanma hərəkətinin əsas qanununun yoxlanması xətti təcil üçün tapılmış dinamik və kinematik ifadələrin ədədi qiymətlərinin bərabərliyinin yoxlanılmasına gətirilir. Yoxlama müxtəlif hallarda aparıla bilər.

Birinci hal. Sistemin ətalət momentini dəyişməz saxlayaraq qüvvə momentinin müxtəlif qiymətlərində yoxlamanı aparmaq olar. Onda (1-3) tənliklərindən:

$$m_1 r_1^2 (gt_1^2-2h)= m_2 r_2^2(gt_2^2- 2h)\ (4)\text{ alınır.}$$

Bu ifadəyə daxil olan kəmiyyətlər təcrübədən təyin oluna bilər.

İkinci hal. Bu halda ipdən asılmış yürün kütləsi sabit saxlanılır, ətalət momenti isə dəyişir.

Tutaq ki, çubuqlar üzərində hərəkət edə bilən yüklərin öz oxuna nəzərən ətalət momenti J_0-dır. Onda Şteyner teoreminə görə onların fırlanma oxuna nəzərən ətalət momenti $J_0^1 + 4\,m^1\,l$ olar. Yüklərlə birlikdə sistemin tam ətalət momenti aşağıdakı düsturla hesablanar:

$$J = J_0 + J_0^1 + 4m^1 l^2$$

Bu ifadəni yüklərin iki vəziyyəti üçün yazıb tərəf–tərəfə çıxsaq alarıq:

$$J_1 - J_2 = 4m^1 (l_1^2 - l_2^2) \tag{5}$$

Digər tərəfdən,

$$J_1 - J_2 = \frac{M_1}{\beta_1} - \frac{M_2}{\beta_2}$$

olduğunu nəzərə alsaq, təcrübi yoxlanıla bilən aşağıdakı düsturu alarıq:

$$t_1^2 - t_2^2 = 8h\,\frac{m^1}{m}\cdot\frac{l_1^2 - l_2^2}{r^2 g} \tag{6}$$

Yuxarıdakı düsturların çıxarılışında sistemə təsir edən sürtünmə qüvvələrinin momenti nəzərə alınmamışdır. Havanın sürtünmə qüvvəsinin momenti sistemə fırlanma hərəkəti verən momentə nəzərən doğrudan da çox kiçik olduğundan onu hesabata daxil etməmək olar. Ancaq fırlanma oxuna təsir edən sürtənmə qüvvəsinin momentini nəzərə almaq lazımdır. Bunun üçün (1) düsturunda M əvəzi $M\text{-}M_{sür}$ duracaqdır.

İşin gedişi

1. Yükləri çubuqlar üzərində müəyyən məsafədə yerləşdirməklə rəqqasın fərqsiz tarazlıq halı əldə edilir.

2. Şkivə sarınmış ipin sərbəst ucuna bağlanmış yükü tədricən artırmaqla rəqqasın hərəkətə başlaması üçün lazım olan ən kiçik yükü tapırlar. Həmin yükün çəkisinin şkivin radiusuna hasili sürtünmə qüvvəsinin momentinə bərabər olacaqdır.

3. Yükün düşmə hündürlüyünü h_1, şkivlərin radiuslarını r_1 və r_2 ölçüb qeyd etməli.

4. Yükləri oxa ən yaxın məsafədə yerləşdirib onun mərkəzindən fırlanma oxuna qədər məsafəni l_2 ölçməli. l_2-nin ölçülməsini ən azı 3 dəfə aparıb, hər yuk üçün orta qiymət tapılır. Hər yük üçün tapılmış orta qiymətdən 4 yük üçün orta qiymət hesablanır.

5. İpin uçuna m_1 kütləli yük bağlayıb onun h hündürlükdən düşmə müddəti dəqiq tapılır. Sonra ip r_2 radiuslu şkivə sarınır və m_2 kütləli yükün h hündürlükdən düşmə müddəti dəqiq tapılır. Bu ölçmələrə görə (4) düsturu yoxlanılır.

6. Yüklər çubuq üzərində ən uzaq nöqtələrə bərkidilir və onların ağırlıq mərkəzindən fırlanma oxuna qədər olan məsafə l_1 ölçülür. Bu məsafənin tapılması l_2-nin tapılmasına analoji qaydada aparılır.

7. İpə bağlanmış yükün ən azı 6 müxtəlif qiymətlərində təcrübə aparılır və uyğun t_1 və t_2 müddətləri tapılır və (6) düsturu yoxlanılır.

8. Absis oxunda müxtəlif yüklərə uyğun qüvvə momentləri, ordinat oxunda uyğun bucaq təcilləri götürməklə qrafik qurulur və alınan qrafikdən sistemin ətalət momenti hesablanır.

LABORATORİYA İŞİ №10

BURULMA RƏQSLƏRİ VASİTƏSİLƏ HƏLQƏNİN ƏTALƏT MOMENTİNİN TƏYİNİ

Ləvazimat: şaquli məftildən asılmış bütöv disk, xətkeş, ştangenpərgar və saniyəölçən.

Işdə məqsəd həlqənin ətalət momentinin onun simmetriya oxuna nəzərən təcrübi üsulla təyin etməkdir. Bunun üçün burulma rəqqasından istifadə olunur. Burulma rəqqası şaquli məftillə ağırlıq mərkəzindən asılmış metal diskdən ibarətdir. Diski məftil ətrafında müəyyən bucaq qədər (10^0 -yə qədər) fırladıb buraxsaq, məftildə M=-fφ burucu moment yaranacaqdır. Sistem bu momentin təsirilə kvaziharmonik rəqslər edəcəkdir. Bu hərəkətin tənliyi aşağıdakı kimi olacaqdır:

$$J\ddot{\varphi} = -f\varphi$$

Burada J-diskin məftilə nəzərən ətalət momenti, f–

məftilin burulma modulu, φ-burulma bucağıdır. Bu tənliyi harmonik rəqslərin tənliyi ilə müqayisə etsək

$$T=2\pi\sqrt{\frac{J}{f}}$$

alınar. Deməli, disk bu düsturla təyin olunan periodla burulma rəqsləri edəcəkdir. Məftilin burulma modulu məlum olarsa, bu ifadədən diskin ətalət momentini tapmaq olar.

Axırıncı ifadədən göründüyü kimi, burulma rəqslərinin periodu cismin ətalət momentindən asılıdır. Əgər diskin üzərinə ətalət momenti təyin ediləcək həlqə qoysaq, yəni sistemin məftilə nəzərən ətalət momenti (ətalət momentinin hədbəhəd toplanma xassəsinə görə) $J+J_h$, periodu isə

$$T'=2\pi\sqrt{\frac{J+J_h}{f}}$$

olar. Axırıncı iki düsturu tərəf-tərəfə bölsək, məftilin naməlum burulma modulu ixtisar olar və periodların kvadratları nisbəti üçün aşağıdakı ifadə tapılar: $\left(\frac{T}{T^{1}}\right)^2=\frac{J}{J+J_h}$; həlqənin ətalət momenti üçün isə $J_h=J\frac{T'^2-T^2}{T^2}$ düsturu alınar. Bu düsturdan görünür ki, J-məlum olarsa, diskin və onun həlqə ilə birlikdə periodlarını təcrübədən təyin etməklə axırıncı düstur vasitəsilə həlqənin ətalət momentini hesablamaq olar.

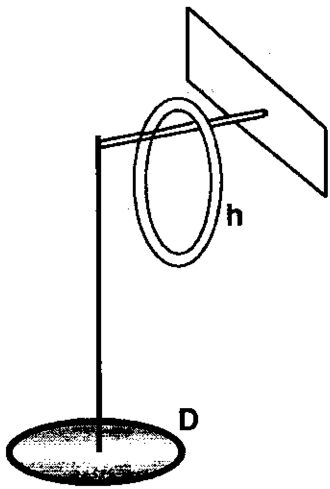
Ölçmələr

Təcrübi qurğu, şəkildə göstərildiyi kimi dayağa bağlanmış burulma rəqqasından ibarətdir.

Təcrübəyə başlamazdan əvvəl həlqə (şəkil 23-də göstərildiyi kimi) dayağın üzərinə qoyulmalı və D diskinin üfüqi vəziyyəti təmin edilməlidir. Məftili fırlanma oxu qəbul etməklə (eyni zamanda simmetriya oxu) diskin radiusunu bir neçə yerdən ölçməli və onun orta qiymətini (r_0) tapmaq lazımdır. Diskin kütləsini m məlum qəbul edərək

$$J=\frac{1}{2}mr_0^{\ 2}$$

düsturundan onun ətalət momenti hesablanır.



Şəkil 23

Diskin burulma rəqslərinin periodunu (T) tapmaq üçün onu məftil ətrafında 10^0–yə qədər fırladıb buraxırlar. O rəqs etməyə başlayır. Saniyəölçən vasitəsilə n=50 rəqsə sərf olunan müddət t tapılır və $T=\frac{t}{n}$ düsturundan diskin burulma rəqslərinin periodu hesablanlr.

Bu təcrübə 3 dəfə təkrar olunur və period üçün tapılmış qiymətlərdən onun orta qiyməti hesablanır. Sonra həlqə dayaqdan götürülür və ehmalca diskin üzərinə qoyulur. Bu zaman həlqənin ağılıq mərkəzi diskin ağırlıq mərkəzi ilə üst-üstə düşməlidir. Buna nail olduqdan sonra disk həlqə ilə birlikdə (həlqə diskə nəzərən hərəkət etməməlidir) şaquli məftil ətrafında 10^0 bucaq qədər meyl etdirilir və buraxılır. Sistem kvaziharmonik rəqs edəcəkdir. Yuxarıdakı qaydada onun periodunun orta qiyməti təyin edilir və göstərilən işçi düsturla həlqənin ətalət momenti tapılır. Işin xətası hesablanır.

LABORATORİYA İŞİ №11

BƏRK CİSİMLƏRİN ƏTALƏT MOMENTİNİN TRİFİLYAR ASQI ÜSULU TƏYİNİ

Ləvazimat: trifilyar asqı, saniyəölçən, ştangenpərgar və ətalət momenti təyin olunacaq cisimlər (disk, silindr, çubuq, içi boş silindr)

İşin nəzəriyyəsi

Trifilyar asqı m kütləli R radiuslu dairəvi lövhədən və bu lövhəyə simmetrik bağlanmış 3 ipdən ibarətdir. Bu iplər yuxarı hissəyə kiçik r radiuslu dairəvi lövhəyə simmetrik bağlanmışdır. Yuxarıdakı lövhəni şaquli ox ətrafında kiçik φ_0 bucağı qədər fırlatdıqda iplər mail vəziyyət alacaq və sistemin ağırlıq mərkəzi fırlanma oxu boyunca yuxarıya sürüşmüş olacaqdır. Sistemi öz başına buraxdıqda onun ağırlıq mərkəzi əvvəlki vəziyyətinə qayıdacaq, lakin bu vəziyyətdə qalmayıb yenidən əks istiqamətdə dönəcəkdir. İxtiyari anda dönmə bucağının qiyməti $\varphi = \varphi_0 \sin\frac{2\pi}{T}t$ düsturu ilə təyin olunacaqdır.

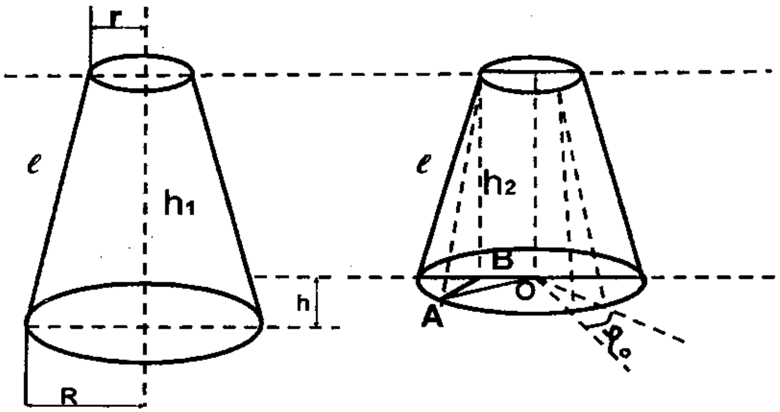
Tutaq ki, aşağı disk döndüyü zaman $h=h_1-h_2$ hündürlüyə qalxır (şəkil 24). Bu halda onun potensial enerjisi

$$\Delta\Pi = mgh$$

qədər dəyişəcəkdir. Ağırlıq mərkəzi tarazlıq vəziyyətinə qayıtdıqda bu enerji tamamilə (sürtünməni nəzərə almasaq) fırlanma hərəkətinin kinetik enerjisinə çevriləcək.

$$K=\frac{1}{2}J\omega^2 \qquad (1)$$

yəni mgh=$\frac{1}{2}J\omega^2$ olacaqdır.



Şəkil 24

Fırlanma bucaq sürətinin dönmə bucağının zamana görə birinci tərtib törəməsi olduğunu nəzərə alsaq

$$\omega = \frac{d\varphi}{dt} = \frac{2\pi\varphi_0}{T}\cos\frac{2\pi}{T}t$$

yazmaq olar. Aydındır ki,

$$\omega_{max} = \frac{2\pi\varphi_0}{T} \tag{2}$$

hündürlüyün dəyişməsini tapmaq üçün $h_1+h_2=2l$ qəbul edək. Onda

$$h=h_1-h_2=\frac{h_1^2-h_2^2}{h_1+h_2}=\frac{h_1^2-h_2^2}{2l} \tag{3}$$

Şəkil 24-dən

$$h_1^2 = l^2-(R-r)^2$$

$$h_2^2 = l^2-(AB)^2 = l^2-(R^2+r^2-2Rr\cos\varphi_0)$$

Bu ifadələri (3) düsturunda yerinə yazsaq alarıq:

$$h=\frac{2Rr(1-\cos\varphi_0)}{2l}=\frac{4Rr\sin^2\frac{\varphi_0}{2}}{2l}$$

φ_0 bucağı çox kiçik olduğundan, $\sin\frac{\varphi_0}{2}=\frac{\varphi_0}{2}$ kimi yazmaq olar. Onda (4) düsturu aşağıdakı şəklə düşər:

$$h=\frac{Rr\varphi_0^2}{2l}$$

(2) və (5) düsturlarını (1) düsturunda yerinə yazıb ətalət momenti üçün aşağıdakı ifadəni yazmaq olar:

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

Əgər sistemin həndəsi ölçüləri (R, r, l) və kütləsi məlum olarsa, burulma rəqslərinin periodunu tapmaqla bu düsturdan istifadə edərək, cisimlərin ətalət momentləırini hesablamaq olar. Ancaq bu düstur o vaxt doğrudur ki, sistemdə sürtünmə olmasın. Əlbəttə, burada sürtünməni tam yox etmək mümkün deyildir. Lakin göstərmək olar ki, potensial enerjinin qiyməti böyük olduqda bir periodda itən enerjini nəzərə almamaq olar və (6) düsturundan istifadə etmək üçün $\tau>>T$ şərtinin ödənməsi kifayətdir. Burada τ amplitudun təqribən 2,72 dəfə azalması üçün keçən müddətdir.

Təcrübi hissə

Burulma rəqslərinin periodunu tapmaq üçün sistemə daxil olan aşağı diski kiçik φ bucağı qədər döndərib buraxırlar. (Bunu diskə bağlanmış xüsusi iplə fırladıcı moment yaratmaqla əldə etmək olar). Sistem burulma rəqsləri edəcəkdir. Saniyəölçənlə 30-50 tam rəqslərə sərf olunan zamanı ölçüb, oradan periodu hesablamaq lazımdır. Burulma rəqslərini elə yaratmaq lazımdır ki, sistemdə digər növ rəqslər əmələ gəlməsin. İş aşağıdakı ardıcıllıqla aparılır.

1. Dönmə bucağının hansı qiymətlərində təcrübənin apa-

rılmasını müəyyənləşdirmək üçün burulma rəqslərinin periodunu dönmə bucağının müxtəlif başlanğıc qiymətlərində tapmaq lazımdır. Əgər $T_1=T_2=...T_i$ olarsa, deməli dönmə bucağının bu çoxluğa daxil olan ixtiyari başlanğıc qiyməti ilə təcrübbəni aparmaq olar.

2. Burulma bucağının başlanğıc qiyməti lövhənin üzərində çəkilmiş xəttin köməyi ilə qeyd edilir və saniyəölçəni işə salmaqla tam rəqsləri saymaq lazımdır. Rəqsləri o vaxta kimi saymaq lazımdır ki, bucağın başlanğıc qiyməti təqribən 2,72 dəfə azalmış olsun. Bu halda saniyəölçənin göstərişi τ-ya bərabər olacaqdır. Rəqslərin periodunu isə saniyəölçənin göstərişini bu müddətdəki tam rəqslərin sayına bölməklə tapırlar τ və T uçün alınmış qiymətlər $\tau >> T$ şərtini ödəyirsə, işin sonrakı mərhələlərini yerinə yetirmək olar.

3. Bu yoxlama mərhələlərini qurtardıqdan sonra aşağı lövhənin ətalət momentini təyin etmək lazımdır. Bunun üçün yuxarıdakı qaydalarla burulma rəqslərinin periodu təyin edilir və (60) düsturundan istifadə edərək ətalət momenti hesablanır.

4. Ətalət momentinin additiv (hədbəhəd toplanan) kəmiyyət olduğunu yoxlamaq lazımdır. Bu tapşırığı yerinə yetirmək üçün silindr formasında m_1 və m_2 kütləli iki cisim götürülür. Əvvəlcə onların hər birinin ayrılıqda J_1 və J_2 ətalət momentləri tapılır. Bu əməliyyatı yerinə yetirmək üçün həmişə cisimlərdən biri aşağı lövhənin üzərinə elə qoyulur ki, lövhənin və cismin ağırlğq mərkəzlərindən keçən şaquli ox üst-üstə düşsün. Sistemi rəqsə gətirib burulma rəqslərinin periodunu tapırıq. Onun qiymətini (6) düsturunda yerinə yazmaqla lövhənin cisimlə birlikdə ətalət momentini almış oluruq. Əgər lövhənin kütləsi *m*, cisim olmadıqda sistemin burulma rəqslərinin periodu T_0 və ətalət momenti J_0 olarsa, 1-ci cismin ətalət momenti aşağıdakı düsturla hesablanir:

$$J_1 = J_0\left[\left(1+\frac{m_1}{m}\right)\frac{T_1^2}{T_0^2}-1\right]$$

Eyni qayda ilə 2-ci cismin ətalət momenti hesablanır. Sonra həmin cisimlər birlikdə aşağı lövhənin üzərinə qoyulur (onların ağırlıq mərkəzləri lövhənin ağırlıq mərkəzindən keçən şaquli ox üzərində olmalıdır) ətalət momenti tapılır və

$$J=J_1+J_2$$

ifadəsi yoxlanılır.

5. Şteyner teoremini yoxlamaq lazımdır. Bunun üçün eyni kütləli iki silindirik cisim götürülür və fırlanma oxundan eyni məsafədə eyni diametr üzərində yerləşdirilir. Bu sistemin yuxarıdakı qaydalar əsasında ətalət momenti hesablanır. Alınmış qiymətin yarısı bir silindrin trifilyar asqının fırlanma oxuna görə ətalət momentini verəcəkdir. Cismin kütləsini bilərək və ştangenpərgarla oxdan cismə qədər olan məsafəni (a) ölçərək

$$J=J_0+m\,a^2$$

düsturu ilə hesablanmış qiyməti təcrübədən alınan qiymətlə müqayisə etmək lazımdır. Hər bir tapşırığın xətası hesablanır.

LABORATORİYA İŞİ №12

ÇARXIN ƏTALƏT MOMENTİNİN TƏYİNİ

Ləvazimat: cihaz, saniyəölçən, ştangenpərgar, xətkeş

Məlumdur ki, irəliləmə hərəkətində cismin kütləsi necə ətalətliliyi xarakterizə edirsə, eləcə də fırlanma hərəkətində ətalət momenti həmin rolu oynayır. Fırlanma hərəkətinin əsas tənliyi

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

dir. Burada J-ətalət momenti, β–bucaq təcili, M isə cismə tətbiq olunan qüvvələrin qüvvə momentidir. Ona görə də cisimlərin fırlanma oxlarına görə ətalət momentlərini təyin etmək böyük əhəmiyyət kəsb edir. Laboratoriya işində çarxın ətalət momenti iki üsulla təyin olunur.

Tapşırıq 1. ***Çarxın ətalət momentinin rəqs üsulu ilə təyini.***

Cihaz fırlanma oxu bərkidilmiş və üzərində iki nazik boru bərkidilmiş velosiped təkərindən ibarətdir. Təkərin oxuna ip vasitəsilə m kütləli yük bərkidilmişdir (şəkil 1). Yük bunlardan biri üzərində yerləşdirildikdə təkər öz oxu ətrafında rəqs edən fiziki rəqqasa çevrilir. Nəzərə alsaq ki, kürənin ölçüləri təkərin ölçülərinə nəzərən çox kiçikdir, onda təkərin hərəkət tənliyini

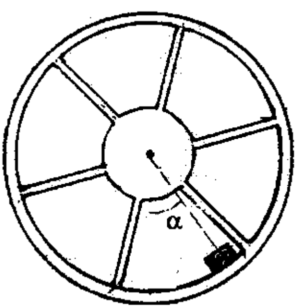
$$(J_x + J)\alpha'' = -mgl\sin\alpha \qquad (2)$$

kimi yazmaq olar. J_x – təkərin borular ilə ətalət momenti, m – kürənin kütləsi, l-kürənin mərkəzi ilə fırlanma oxu arasındakı məsafədir. α-təkərin tarazlıq vəziyyətinə nəzərən meyl bucağıdır. Kiçik bucaqlar üçün $\sin\alpha = \alpha$ götürə bilərik, onda (2) tənliyi

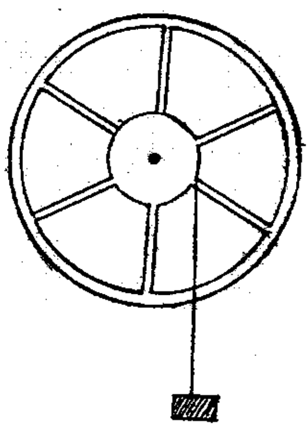
$$(J_x + Y)\ \alpha'' = -mgl\alpha \qquad (3)$$

tənliyinə çevrilir. Bu tənlik harmonik ossilyatorun tənliyidir və həlli

$$\alpha = \alpha_0 \sin\omega t \qquad (4)$$



Şəkil 1



Şəkil 2

şəklində axtarılır. (3) tənliyindən istifadə edərək tsiklik tezlik ω üçün

$$\omega^2 = \frac{mgl}{J_x^{/} + J} = \frac{4\pi^2}{T^2} \qquad (5)$$

alarıq. Kürənin ölçüləri çox kiçik olduğundan onun fırlanma oxuna nəzərən ətalət momenti $J=ml_2$ olacaqdır. Onda təkərin ətalət momenti üçün

$$J_x = ml(\frac{gT^2}{4\pi^2} - l) \qquad (6)$$

alarıq. Deməli, təkərin ətalət momentini təyin etmək üçün rəqsin periodu T, kürənin kütləsi m və kürənin mərkəzindən fırlanma oxuna qədər olan məsafəni təyin etmək lazımdır.

Tapşırıq 2. ***Fırlanma metodu ilə ətalət momentinin təyini.***

Velosiped təkəri üfüqi ox ətrafında kiçik sürtünmə ilə fırlanır (şəkil 2). Onun oxundan keçən kiçik radiuslu silindrin üzərinə ip sarınır və ucuna m kütləli kürə aşağı düşərək təkəri fırladır. Sürtünmə nəzərə alınmadıqda hərəkət tənlikləri

$$ma = mg - T; \; J_x\beta = Tr; \; a = \beta r \qquad (7)$$

şəklində olacaqdır. m-kürənin kütləsi, g–sərbəstdüşmə təcili, T–ipin gərilmə qüvvəsi, r–silindrin radiusudur. (7) tənliklər sistemindən kürənin təcili a üçün

$$a = \frac{mg}{m + \frac{J_x}{r^2}} \qquad (8)$$

alarıq. a–təcilini digər tərəfdən kürənin düşmə hündürlüyü h və ona sərf olunan zaman t- ni təyin etməklə $h = \frac{at^2}{2}$ tənliyi ilə a – nı tapırıq. Nəticədə təkərin ətalət momenti üçün

$$J_x = mr^2\left(\frac{g}{2h}t^2 - 1\right) \qquad (9)$$

düsturunu alırıq. Düsturda olan kəmiyyətləri təcrübədə təyin etməklə ətalət momentini təyin edirik. Əgər sürtünməni nəzərə almaq zəruridirsə, onda enerjinin saxlanma qanunundan istifadə edərək aşağıdakı tənliyi yaza bilərik

$$mgh = E + \varphi M \qquad (10)$$

M-sürtünmə qüvvəsinin qüvvə momenti, E-sistemin tam kinetik enerjisidir. Kürə ip tam açıldıqdan sonra yenidən təkəri tərsinə fırladır və sürtünmə hesabına kürə $h_1<h$ hündürlüyünə qalxır. Enerjinin saxlanması qanununa görə

$$E=mgh+\varphi_1 M \qquad (11)$$

Qeyd edək ki, φ və φ_1 uyğun olaraq kürə düşərkən və qalxarkən tam fırlanma bucağıdır. (10) və (11) ifadələrindən qüvvə momenti üçün

$$M=\frac{mdr(h-h_1)}{h+h_1}= \qquad (12)$$

alırıq. Sürtünmə qüvvəsi momentini təyin etdikdən sonra (7) tənliklər sistemi əvəzinə

$$\begin{aligned} ma &= mg-T \\ J_x\beta &= Tr-M \\ \alpha &= \beta r \end{aligned} \qquad (13)$$

(12) və (13) tənliklərindən

$$J_x = mr^2\left(g\frac{t^2}{2h}(1-\frac{h-h_1}{h+h_1})-1\right) \qquad (14)$$

alarıq və sürtünməni nəzərə almaqla təkərin ətalət momentini (14) təyin etmək olar.

Ölçmələr

1. Rəqs üsulu ilə ətalət momentini təyin etdikdə kürənin kütləsi və fırlanma mərkəzindən kürənin mərkəzinə qədər olan l məsafəsi təyin olunur. Çarxı fırlanma oxu ətrafında kiçik meyl etdirərək rəqsə gətirirlər. 20-30 rəqsə sərf olunan zamanı təyin etməklə rəqsin periodu T təyin edilir. (6) düsturu ilə ətalət momenti təyin olunur.

2. Fırlanma üsulu ilə yenə kürənin kütləsi m təyin olunur və kürə oyuqdan çıxarılıb buraxılır, ip tam açılana qədər sərf olunan zaman saniyəölçənlə təyin edilir. Ipin uzunluğu h və çarxın yenidən maksimum qalxma hündürlüyü h_1 təyin edilir. (14) düsturu ilə ətalət momenti təyin edilir.

LABORATORİYA İŞİ №13

HƏRƏKƏT MİQDARI MOMENTİNİN SAXLANMASI QANUNUNUN YOXLANMASI

Ləvazimat: cihaz, saniyəölçən

Hərəkət miqdarının saxlanması qanunu inersial hesablama sistemində Nyutonun 2-ci və 3-cü qanunlarından çıxan bir nəticədir. Sistemə daxil olan cisimlərin hərəkət miqdarı mometləri cəminin dəyişməsi təsir edən qüvvələrin momentlərinin impulsuna bərabər olduğundan, aşağıdakı tənlik sistemin hərəkətini ifadə edəcəkdir:

$$d\left(\sum J_i\omega_i\right)=\sum M_i dt+\sum N_i dt \qquad (1)$$

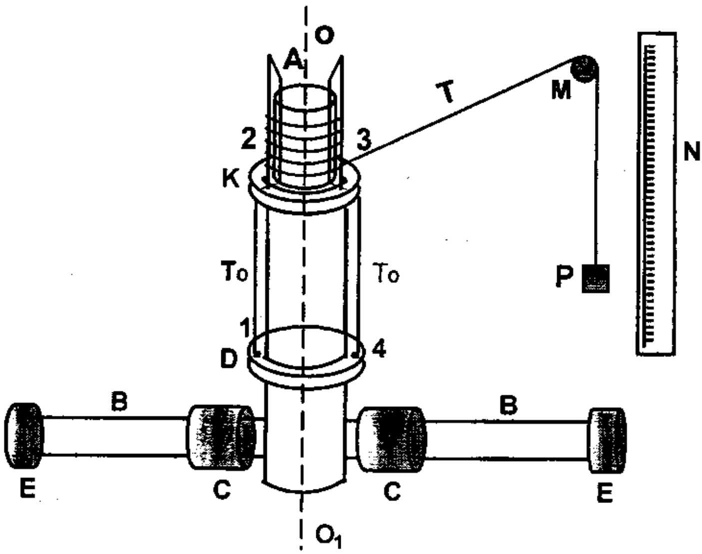
burada J_i-sistemə daxil olan *i*-ci cismin ətalət momenti, ω_i – onun bucaq sürəti, M_i və N_i-uyğun olaraq daxili və xarici qüvvənin momentidir. Xarici qüvvələrin momentlərinin cəmi sıfır olarsa, konservativ sistemdə daxili qövvələrin momenti həmişə sıfra bərabər olduğundan yaza bilərik:

$$\sum J_i\omega_i = const \qquad (2)$$

Bu tənlik qapalı sistemdə hərəkət miqdarı momentinin saxlanması qanununu ifadə edir. Əgər xarici qüvvə momentinin impulsu çox kiçik olarsa, bu qanun müəyyən dəqiqliklə ödənəcəkdir.

Qurğunun təsviri

Qurğunun sxemi şəkil 26-da verilmişdir. Diyircəkli yastıqlara bağlanmış AA bütöv silindri OO_1 oxu ətrafında sərbəst fırlana bilir. Bu silindrə aşağı hissədən silindrik oxlar BB geydirilmişdir. CC yükləri həmiin oxlar boyunca sərbəst sürüşə bilirlər. BB oxlarından yuxarıya silindrə həlqə geydirlmiş və möhkəm bağlanmışdır. Silindrə geydirilmiş və üzərində şaquli lövhələri olan ikinci həlqə isə silindrin boyunca sərbəst hərəkət edə bilər. CC silindrlərindən birinə ipin bir ucu bağlanmış, ikinci ucu isə 1234 deşiklərdən keçirilərək digər CC silindrinə bağlanmışdır.



Şəkil 26.

İkinci ipin isə bir ucu AA silindrinin yuxarı nöqtəsinə bağlanmış, digər ucu M blokundan keçirilərək P yükünə bərkidilmişdir. Bu yükün hərəkət istiqamətində ona yaxın yerdə şaquli vəziyyətdə N şkalası yerləşdirilmişdir.

Əgər K həlqəsinin CC yükləri AA silindrinə yaxınlaşana qədər yuxarı dartıb ikinci ipi lövhələrin üstündən keçməklə silindrin üzərinə sarısaq, P yükü N şkalasının müəyyən bölgüsünə uyğun səviyyəyə qalxacaqdır. Yükü bu səviyyədən sərbəst buraxsaq, o aşağı düşməyə başlayacaq və T ipini gərəcəkdir. Bu qüvvənin momenti AA silindrini OO_1 oxu ətrafında fırladacaq və ip açılacaqdır. Onda K həlqəsi düşəcək və CC yükləri demək olar ki, ani olaraq BB oxlarının uc nöqtələrinə yerlərini dəyişəcəklər. Belə olduqda sistemin ətalət momenti ani olaraq artmış olacaqdır. Hərəkət miqdarı momentinin saxlanması qanununa görə sistemin fırlanma bucaq sürəti azalacaqdır. Sütun öz ətaləti ilə fırlandıqca ip onun üzərinə sarınacaq və P yükü yuxarı qalxacaqdır, lakin düşdüyü hündürlüyə çatmayacaqdır, potensial enerjisi əvvəlkindən az olacaqdır. Potensial enerjinin azalması CC yüklərinin EE dayaqlarına qeyri-elastik zərbəsi sistemin hərəkəti zamanı sürtünmə qüvvələrinə qarşı görülən iş və s. hesabına baş verir.

Şəkildə göstərilən N şkalasından istifadə edərək, P yükünün düşmə və qalxma hündürlükləri ölçülür.

İşin nəzəriyyəsi

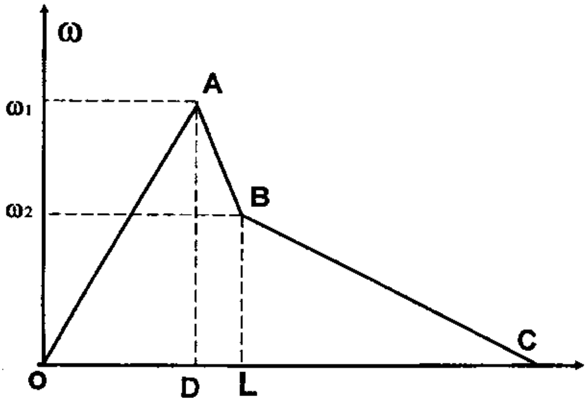
Baxılan sistemin hərəkətini 3 mərhələyə bölmək olar: 1-ci mərhələdə sistem kiçik ətalət mometinə malik olub, bərabəryeyinləşən hərəkət etməyə başlayır. 2-ci mərhələdə onun ətalət momenti ani olaraq artıb ən böyük qiymətini alır və fırlanma bucaq sürəti azalır. 3-cü mərhələdə sistem ən böyük ətalət momenti ilə bərabər yavaşıyan hərəkət edir və nəhayət dayanır. Sistemin fırlanma bucaq sürətinin zamandan asılılığını təqribi olaraq şəkil 27-dəki qrafiklə göstərmək olar. Yuxarıya qalxan OA düzxətti birinci mərhələyə, aşağı enən BC düz xətti isə üçüncü mərhələyə uyğundur. Aşağı enən AB düz xətti sistemin hərəkətinin ikinci mərhələsini ifadə edir. Bu mərhələyə uyğun Δt müddəti birinci və üçüncü mərhələyə uyğun müddətlərdən çox-çox kiçikdir. Bu isə o deməkdir ki, sistemə təsir edən qüvvə momentinin impulsu çox kiçikdir. Bu şərt daxilində hərəkət miqdarı momentinin saxlanması qanununu aşağıdakı şəkildə yaza bilərik:

$$J_1\,\omega_1 = J_2\omega_2 \tag{3}$$

Burada J_1 və J_2 – sistemin uyğun olaraq ən kiçik və ən böyük ətalət momentləridir. Onların nisbətini tapmaq üçün sistemin birinci mərhələdə hərəkət tənliklərini yazaq:

$$m\frac{d\upsilon_1}{dt} = mg - T_1 \tag{4}$$

$$J_1\frac{d\omega_1}{dt} = T_1 r \tag{5}$$



Şəkil 27.

$$\frac{d\upsilon_1}{dt}=r\frac{d\omega_1}{dt} \qquad (6)$$

Burada m-P yükünün kütləsi, $\frac{d\upsilon_1}{dt}$-onun təcili, T_1-ipin gərilmə qüvvəsi, r–AA silindrinin radiusu, $\frac{d\omega_1}{dt}$-onun bucaq təcilidir. Əgər $mr^2 << J_1$ olarsa, yuxarıdakı tənliklərdən

$$\frac{d\upsilon_1}{dt}=\frac{mgr^2}{J_1} \qquad (7)$$

alınar. Digər tərəfdən

$$\frac{d\upsilon_1}{dt}=\frac{2h_1}{t_1^2} \qquad (8)$$

yazmaq olar Burada h_1–yükün t_1 müddətində düşdüyü hündürlükdür. Axırıncı iki tənlikdən J_1 üçün aşağıdakı ifadə alınır:

$$J_1=\frac{mgr^2t_1^2}{2h_1} \qquad (9)$$

Bu ifadəyə analoji olaraq sistemin ən böyük ətalət momenti üçün yaza bilərik:

$$J_2 = \frac{mgr^2 t_2^{\ 2}}{2h_1} \qquad (10)$$

Burada t_2 ətalət momentinin ən böyük halında P yükünün h_1 hündürlüyünün düşməsi üçün sərf etdiyi zamandır. Axırıncı iki tənlikdən yaza bilərik:

$$\frac{J_1}{J_2} = \frac{t_1^{\ 2}}{t_2^{\ 2}} \qquad (11)$$

Bucaq sürətlərini təyin etmək üçün enerjinin saxlanması qanunundan istifadə edək. Birinci mərhələdə P yükü h_1 hündürlüyündən düşdükdə onun malik olduğu potensial enerji sistemin fırlanma enerjisinə, cismin kinetik enerjisinə və bu mərhələdə meydana çıxan sürtünmə qüvvələrinə qarşı görülən işə sərf olunacaqdır:

$$mgh_1 = \frac{1}{2} J_1\, \omega_1^{\ 2} + \frac{1}{2} m\upsilon_1^{\ 2} + A_1 \qquad (12)$$

$$\omega_1 r = \upsilon_1 \qquad (13)$$

Yenə də fərz edək ki, $mr^2 << J_1$ –dir, bu tənliklərdən alarıq:

$$\omega_1 = \sqrt{\frac{2(mgh_1 - A_1)}{J_1}} \qquad (14)$$

Yük yuxarı qalxdıqda enerjinin saxlanması qanununu aşağıdakı kimi yazmaq olar:

$$mgh_1 = mgh_2 + A_1 + A_2 + \frac{1}{2}(J_1\omega_1^{\ 2} - J_2\omega_2^{\ 2}) \qquad (15)$$

burada A_2-yük yuxarı qalxdıqda sistemdə meydana çıxan sürtünmə qüvvələrinə qarşı görülən iş, $\frac{1}{2}(J_1\omega_1^{\ 2} - J_2\omega_2^{\ 2})$ isə CC silindri EE dayaqlarına qeyri-elastik toqquşarkən itən enerjidir. Axırıncı iki tənlikdən

$$\omega_2 = \sqrt{\frac{2(mgh_1 + A_2)}{J_2}}. \qquad (16)$$

alınar. Bucaq sürətlərinin nisbətini tapmaq üçün (14) və (16) ifadələrini tərəf-tərəfə bölmək lazımdır:

$$\frac{\omega_2}{\omega_1}=\sqrt{\frac{(mgh_2+A_2)J_1}{(mgh_1-A_1)J_2}} \tag{17}$$

Əgər (3), (11) və (17) ifadələrini birgə həll etsək alarıq:

$$\frac{t_1^2}{t_2^2}=\frac{mgh_2+A_2}{mgh_1-A_1} \tag{18}$$

Hər iki halda sürtünmə qüvvələrinə qarşı görülən işləri tapmaq üçün aşağıdakı kimi mülahizə aparmaq lazımdır. Tutaq ki, P yükü sistemin ətalət momentinin ən kiçik qiyməti dəyişməyən halda h_1 hündürlüyündən düşür və h_3 hündürlüyünə qalxır. Onda yükün potensial enerjilərinin fərqi sürtünmə qüvvələrinə qarşı görülən işə bərabər olacaqdır. Əgər bu iş yük aşağıya düşdükdə potensial enerjinin α_1 hissəsinə bərabərdirsə $A_1=\alpha_1 mgh_1$, yük yuxarıya qalxdıqda da uyğun potensial enerjinin həmin hissəsinə - $\alpha_1 mgh_3$-ə bərabər olacaqdır. Onda yaza bilərik:

$$\alpha_1 mgh_1+\alpha_1 mgh_3=(h_1-h_3)\,mg$$

buradan α_1 tapılır

$$\alpha_1=\frac{h_1-h_3}{h_1+h_3} \tag{19}$$

$$A_1=mgh_1\frac{h_1-h_3}{h_1+h_3}$$

olar.

Sistem ən böyük ətalət momentinə malik olduqda, P yükü h_1 hündürlüyündən düşərsə, A_1 işinə analoji olaraq A_2 işi üçün aşağıdakı ifadəni alarıq:

$$A_2=mgh_1\frac{h_1-h_4}{h_1+h_4} \tag{20}$$

$$\alpha_2=\frac{h_1-h_4}{h_1+h_4}$$

(19) və (20) ifadələrini (18) düsturunda yerinə yazsaq

$$\frac{t_1^2}{t_2^2}=\frac{h_2}{h_1}\cdot\frac{1+\alpha_2}{1-\alpha_1} \qquad (21)$$

Beləliklə, hərəkət miqdarı momentinin saxlanması qanununun yoxlanması (21) düsturunun yoxlanmasına gətirilmiş olur.

Ölçmələr

P yükünün aşağı düşmə hündürlüyü- h_1 N şkalası ilə ölçülür. Bu məsafə bütün hallarda yükün aşağıya hərəkəti zamanı sabit qalır. Ətalət momentinin dəyişdiyi halda P yükünün yuxarı qalxma hündürlüyünün (h) ölçülməsi aşağıdakı qaydada aparılır. Mütəhərrik K həlqəsi CC yükləri AA silindrinə toxunana qədər yuxarı qaldırılır və ip P yükü N şkalasının sıfır bölgüsünə çatana qədər lövhələrin üzərinə səliqə ilə sarınır. Əgər yükü sərbəst buraxsaq, o düşməyə başlayacaq. Ən aşağı nöqtəyə çatdıqdan sonra yük yuxarı qalxacaq və müəyyən hündürlükdə dayanacaqdır. Bu səviyyədən yükün ən aşağı düşmə səviyyəsinə qədər olan məsafə h_2-yə bərabər olacaqdır.

Ətalət momentinin ən kiçik qiymətinə uyğun t_1 və α_1 kəmiyyətlərini ölçmək üçün CC yüklərini AA silindrinə toxundurub, bu vəziyyətdə onları möhkəm bağlamaq lazımdır. İpi P yükü şkalanın sıfır vəziyyətinə çatana qədər AA silindri üzərinə səliqə ilə sarıyırlar. Yükü azad etməklə saniyəölçən işə salınır və yük aşağı nöqtəyə çatdıqda vaxtı (t_1) qeyd edirik. Silindrin öz ətaləti ilə fırlanması nəticəsində yük yuxarı qalxacaq. Şkaladan yükün qalxdığı h_3 hündürlük qeyd edilir və (19) düsturlarından α_1 hesablanır. Ətalət momentinin ən böyük qiymətinə uyğun olan t_2 və α_2 kəmiyyətlərini təyin etmək üçün CC yükləri EE dayaqlarına toxunmaqla möhkəm bağlanır. Birinci halda analoji qaydada yükün tam düşmə müddəti-t_2 və qalxma hündürlüyü-h_4 ölçülür. (20) düsturlarından α_2 hesablanır. Göstərilən bütün ölçmələr ən azı 3 dəfə təkrar olunur və uyğun kəmiyyətlərin orta qiymətləri tapılır. Kəmiyyətlərin orta qiymətlərindən istifadə edərək (21) düsturu yoxlanılır. Təcrübə xətası daxilində (21) bərabərliyi müəyyən dəqiqliklə ödənilməlidir.

LABORATORİYA İŞİ № 14

MƏCBURİ RƏQSLƏRİN ÖYRƏNİLMƏSİ

***Ləvazimat*:** 1) qurğu, 2) saniyəölçən.

Qurğunun təsviri

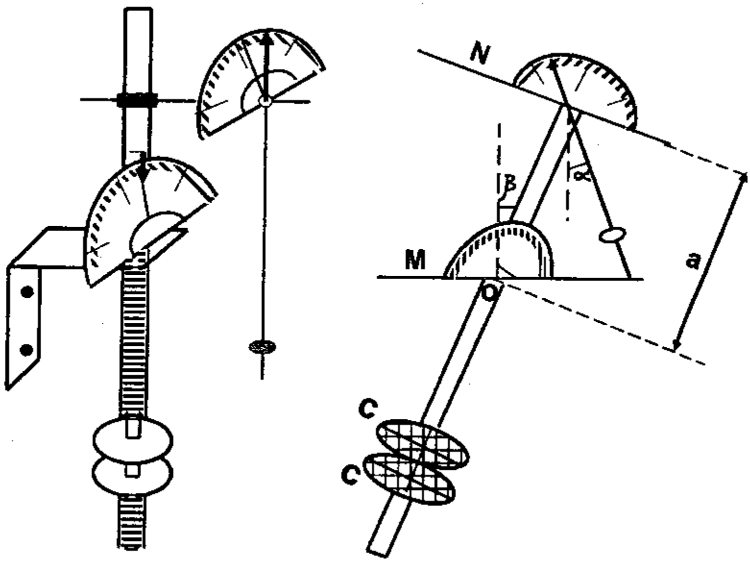
Qurğu iki rəqqas və onların meyl bucağını ölçmək üçün yerləşdirilmiş iki şkaladan ibarətdir. Rəqqaslar bir-birinə paralel olan şaquli müstəvilərdə rəqs edə bilər: böyük rəqqas ona bərkidilmiş prizmanın tili ətrafında, kiçik rəqqas isə prizmanın tilinə paralel yerləşdirilmiş ox ətrafında rəqs edir. Böyük rəqqasın prizmadan aşağı hissədə bir-birindən eyni məsafədə yerləşmiş 13 deşiyi vardır. Onun oxuna geydirilmiş C yükü ox boyunca şaquli istiqamətdə hərəkət edir və müxtəlif deşiklərə uyğun səviyyələrdə bağlana bilər. Yükün yerini dəyişməklə rəqqasın ətalət momenti dəyişir və onun rəqs periodu müxtəlif qiymətlər alır. Rəqqasın meyl bucağını ölçmək üçün ona bağlanmış əqrəbdən və $Ş_1$ şkalasından istifadə edilir (şəkil 28). Kiçik rəqqasın meyl bucağı isə onun yuxarı hissəsinə bağlanmış əqrəb vasitəsilə $Ş_2$ şkalasından təyin edilir. Böyük rəqqas rəqs etdikdə kiçik rəqqasa periodik dəyişən qüvvə təsir edir və o məcburi rəqs edir: kiçik rəqqasda məxsusi rəqslər tezliklə sönür və onda qərarlaşmış məcburi rəqslər yaranır.

İşin nəzəriyyəsi

Sistemdə xarici periodik qüvvənin təsiri ilə yaranan rəqslər məcburi rəqslər adlanır. Kiçik rəqqasa kvazielastik və sürtünmə qüvvələri ilə yanaşı böyük rəqqas tərəfindən $F_0 \cos \Omega t$ məcburedici qüvvə təsir edir. Bu qüvvələrin təsiri ilə yaranan hərəkətin tənliyi aşağıdakı kimi yazılır:

$$J\ddot{\varphi} = -k\varphi - H\dot{\varphi} + M_0 \cos \Omega t \qquad (1)$$

Burada J-rəqqasın fırlanma oxuna görə ətalət momenti, $\dot{\varphi}$-bucaq sürəti, $\ddot{\varphi}$-bucaq təcili, k-kvazielastik qüvvənin, H-sürtünmə qüvvəsinin momentini xarakterizə edən əmsal, M_0-məcburedici qüvvənin momentinin amplitud qiyməti, Ω-böyük rəqqasın tezliyidir.



Şəkil 28.

Məcburi rəqslər sərbəst və avtorəqslərdən, əsasən, onunla fərqlənir ki, bu rəqslərin tezliyi sistemin öz parametrlərindən asılı olmayıb, xarici təsirin dəyişmə tezliyi ilə təyin edilir. Sistemdə məcburi rəqslər tez bir zamanda qərarlaşmır, müəyyən qədər vaxt keçir. Prosesin əvvəlində xarici qüvvənin gördüyü iş sürtünmə nəticəsində itən enerjidən çox olduğundan, rəqsin amplitudu tədricən artır. Bununla əlaqədar olaraq enerji itkisi də çoxalır. Bir müddətdən sonra rəqslər elə xarakter alır ki, xarici periodik qüvvənin gördüyü iş itən enerjiyə bərabər olur və sabit amplitudlu rəqslər yaranır. Bu rəqslərin tezliyi xarici qüvvənin dəyişmə tezliyinə bərabər olur. Yuxarıda deyilənlərdən görünür ki, qərarlaşmış rəqslər yaranana qədər keçən müddət sərbəst rəqslərin sönmə müddətindən asılıdır.

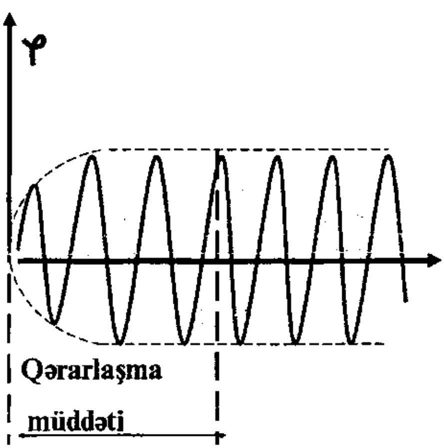
Məcburi rəqsləri ifadə edən (1) tənliyinin həllini aşağıdakı şəkildə axtarmaq olar:

$$\varphi = A_0 e^{-\gamma t} \cos(\omega_0 t + \alpha) + \alpha_0 \cos(\Omega t + \psi) \qquad (2)$$

Burada birinci hədd (1) tənliyinə uyğun bircins diferensial tənliyin ümumi həlli olub, sərbəst rəqsləri ifadə edir. Göründüyü kimi, bu hədd zamanın artması ilə sürətlə azalır və kiçik bir müddətdə praktik olaraq sıfra yaxınlaşır. İkinci hədd qərarlaşmış məcburi rəqsləri ifadə edir. Burada ψ kiçik rəqqasın rəqslərinin qüvvənin rəqslərindən geri qalma fazası, α_0 isə məcburi rəqslərin amplitududur.

Məcburi rəqslərin qərarlaşması şəkil 29-da göstərildiyi kimi yaranır: qərarlaşma müddətindən sonra yalnız (2) düsturundakı ikinci hədd qalır:

$$\varphi = \alpha_0 \cos(\Omega t + \psi) \qquad (3)$$



Şəkil 29.

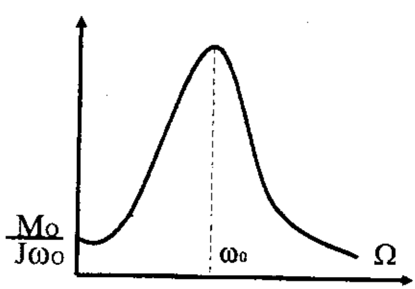
Bu həlli (1) tənliyində yerinə yazıb, alınan eyniliklədən uyğun periodik funksiyaların əmsallarını bərabərləşdirməklə məchul α_0 və ψ kəmiyyətlərini tapmaq olar:

$$\alpha_0 = \frac{M_0}{J\sqrt{(\omega_0^2 - \Omega^2)^2 + 4\Omega^2\gamma^2}} \tag{4}$$

$$tg\psi = -\frac{2\Omega\gamma}{\omega_0^2 - \Omega^2} \tag{5}$$

Burada $\gamma = \dfrac{H}{2J}$ və $\omega_0^2 = \dfrac{K}{J}$ -dir.

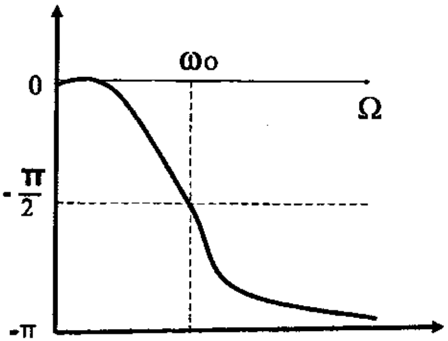
Bu ifadələr göstərir ki, məcburi rəqslərin amplitudu və fazası xarici periodik dəyişən qüvvənin tezliyindən asılıdır. Bu asılılıq şəkil 30-da göstərilmişdir. Xarici qüvvənin dəyişmə tezliyi sistemin məxsusi tezliyinə təqribən bərabər olduqda rəqsin amplitudu ən böyük olur. Bu hadisəyə rezonans deyilir. Rezonans halında rəqsin fazası $-\dfrac{\pi}{2}$ olur. Ümumiyyətlə, tezliyin 0-dan ∞-a qədər dəyişməsində faza 0–dan π-yə qədər qiymətlər alır (şəkil 31).



Şəkil 30.

Bu işdə asılma nöqtəsi üfüqi istiqamətdə rəqs edən rəqqasın kiçik amplitudlu rəqslərinə baxılır. Onun hərəkətini təcilli hesablama sistemində təsvir etmək əlverişlidir. Bu sistemdə rəqqasın hərəkət tənliyi (1) tənliyi kimi olacaqdır, lakin

$M_0 \cos\Omega t$ əvəzinə ətalət qüvvəsinin momenti duracaqdır. Ətalət qüvvəsi, ədədi qiymətcə qeyri -ətalət sisteminin təcilinin cismin kütləsinə hasilinə bərabər olduğundan $F_0 = -m\ddot{x}$ - dir.



Şəkil 31.

Bu qüvvə $-m\ddot{x}l$ momenti yaradacaqdır. Burada m–rəqqasın kütləsi, l- ətalət qüvvəsinin qolu olub, ədədi qiymətcə rəqqasın asılma nöqtəsindən onun kütlə mərkəzinə qədər olan məsafəyə bərabərdir, $\ddot{x}$–rəqqasın asılma nöqtəsinin ətalət hesabat sisteminə nəzərən təcilidir.

Tutaq ki, rəqqasın asılma nöqtəsi kosinus qanunu ilə rəqs edir:

$$x = b\cos\Omega t$$

Burada b–yerdəyişmənin amplitud qiyməti, Ω-böyük rəqqasın dairəvi tezliyidir. Onda kiçik rəqqasa təsir edən ətalət qüvvəsinin momenti

$$m\,lb\,\Omega^2 \cos\Omega t$$

olar və (1) tənliyi aşağıdakı şəklə düşər:

$$J\ddot{\varphi} = -k\varphi - H\dot{\varphi} + mlb\Omega\cos\Omega t \quad (8)$$

Yuxarıda deyilənləri və $J = ml^2$ olduğunu nəzərə alsaq (4) tənliyi müəyyən sadələşmədən sonra aşağıdakı şəklə düşər:

$$\alpha_0 = \frac{b}{l} \cdot \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{\omega_0^2}{\Omega^2} - 1\right)^2 + 4\frac{\gamma^2}{\Omega^2}}}$$

Ölçmələr

1. Amplitudun tezlikdən asılılığı. Rəqqasları işçi vəziyyətə gətirməklə əqrəblərin sıfır bölgüsü üzərində dayandığına əmin olmaq lazımdır. Böyük rəqqasın amplitudu C yükünün bütün vəziyyətlərində eyni olub 5^0–yə bərabər olmalıdır.

Kiçik rəqqasın məxsusi rəqslərinin tezliyi ω_0, sönmə əmsalı γ və rəqslərin tam sönmə müddəti təyin edilir. Bunun üçün böyük rəqqas tarazlıqda- sükunətdə saxlanılır, kiçik rəqqası isə 10^0-15^0 meyl etdirərək buraxırlar. Bu anda saniyəölçən işə salınır. Rəqqasın rəqsləri tamamilə söndükdən sonra saniyəölçəni saxlamaqla tam sönmə müddətini -t_0 tapırlar. Bu təcrübəni ən azı 3 dəfə təkrar etməklə həmin kəmiyyətin orta qiyməti hesablanır. Kiçik rəqqasın məxsusi rəqslərinin periodu 3 tam rəqsə sərf olunan zamandan tapılır. Bu təcrübəni ən azı 10 dəfə təkrar edərək məxsusi rəqslərin periodunun T_0 və tezliyinin ω_0 orta qiyməti hesablanır. Sönmə əmsalını bilmək üçün n sayda tam rəqslərə sərf olunan müddəti- τ saniyəölçənlə tapırlar. Bu müddətdə rəqqasın meyl bucağı α_1–dən α_τ -ya qədər dəyişəcəkdir. Meyl bucaqlarının qiyməti $Ş_2$ şkalasından götürülür. Məxsusi rəqslərin periodu məlumdursa, n sayda tam rəqslərə sərf olunan müddəti $\tau = nT$ düsturundan tapmaq olar. Göstərilən kəmiyyətləri təyin etmək üçün uyğun təcrübəni ən azı 3 dəfə təkrar edib, onların orta qiymətini hesablamaq lazımdır. Tapılmış kəmiyyətlərin orta qiymətlərindən istifadə edərək, aşağıdakı düsturdan sönmə müddəti hesablanır:

$$\gamma = \frac{1}{\tau}\ln\frac{\alpha_1}{\alpha_\tau} = \frac{2{,}30}{\tau}\lg\frac{\alpha_1}{\alpha_\tau}$$

Kiçik rəqqasın amplitudunun müxtəlif tezliklərdə tapılması aşağıdakı ardıcıllıqla aparılır. Prizmanın dayaq üzərində yerləşdiyi yoxlanılır və $Ş_1$ şkalasından istifadə edərək rəqqasın tarazlıq vəziyyətinə uyğun olan bölgü qeyd edilir. Bu zaman kiçik rəqqas da sükunətdə olmalıdır. Böyük rəqqası 5^0 meyl etdirib buraxdıqda saniyəölçən işə salınır. Böyük rəqqasın periodunu tapmaq üçün $t_1>t_0$ müddətində baş verən tam rəqsləri sayırlar və $nT=t_1$ düsturundan T-ni təyin edirlər. Bu müddətdə kiçik rəqqasın rəqsləri tamamilə sönmüş olur, böyük rəqqasın amplitudu demək olar ki, dəyişməz qalır. Kiçik rəqqasın qərarlaşmış rəqslərinin amplitudunu α_0– $Ş_2$ şkalasından götürürlər. Bütün ölçmələr ən azı 5 dəfə aparılır və kiçik rəqqasın amplitudunun $\bar{\alpha}_0$, böyük rəqqasın tezliyinin Ω orta qiyməti tapılır. Bu kəmiyyətlər, analoji olaraq, C yükünün AB çubuğu üzərində olan bütün deşiklərə uyğun vəziyyətlərində tapılır. Beləliklə, böyük rəqqasın 13 müxtəlif tezliklərinə uyğun kiçik rəqqasın qərarlaşmış məcburi rəqslərinin 13 amplitudu qeyd edilmiş olur. Bu asılılıq qrafik şəkildə təsvir edilir: üfüqi oxda böyük rəqqasın tezlikləri, şaquli oxda isə kiçik rəqqasın amplitudu göstərilir.

Qeyd etmək lazımdır ki, böyük rəqqasın tezliyinin kiçik rəqqasın tezliyinə bərabər və ona yaxın qiymətlərində kiçik rəqqasın rəqsləri qeyri-xətti xarakter daşıyır. Bu halda $\sin\alpha$-nı α ilə əvəz etmək mümkün olmadığından (8) tənliyi həmin rəqsi hərəkəti ifadə edə bilməz.

2. Faza bucağının tezlikdən asılılığı. Böyük rəqqasın aşağı tezliklərində kiçik rəqqasın yerdəyişməsi praktik olaraq asılma nöqtəsinin yerdəyişməsi ilə eyni fazada baş verir. Tezliyin böyük qiymətlərində isə bu yerdəyişmələr əks fazada olurlar. Aydındır ki, bu halda faza sürüşmə bucağı 180^0–yə bərabər olacaqdır. Faza sürüşmə bucağının Ω-nın qiymətindən asılı olaraq aldığı kənar qiymətlər (0 və $-\pi$) (5) düsturundan uyğun yaxınlaşmalarda alınan qiymətlərlə üst-üstə düşür. Deməli, ω və γ-nı bilərək Ω-nın müxtəlif qiymətlərində faza sürüşmə bucağını (5) düsturundan istifadə edərək tapmaq olar. Hesablamanı Ω-nın 13 qiyməti üçün aparmaq lazımdır. Onlar-dan biri rezonans tezliyinə uyğun, altısı bu tezlikdən kiçik, altısı isə bu tezlikdən böyük olmalıdır. Hesablanmış qiymətlərdən qrafik qurulur: üfüqi oxda Ω, şaquli oxda isə ψ -nin qiymətləri qeyd edilir.

LABORATORİYA İŞİ №15

DÖYÜNƏN RƏQSLƏRİN PERİODU VƏ PUASSON ƏMSALININ TƏYİNİ

Ləvazimat: qurğu, saniyəölçən, xətkeş.

Bərk cismi deformasiya etdirdikdə o həm də eninə deformasiyaya məruz qalır. Eninə nisbi deformasiyanın qiymətinin uzununa nisbi deformasiyanın qiymətinə olan nisbəti verilmiş maddə üçün sabit kəmiyyət olub Puasson əmsalı adlanır. Uzanma deformasiyası həmişə sürüşmə deformasiyası, sürüşmə deformasiyası isə uzanma deformasıyası yaradır. Sürüşmə modulu – G ilə Yunq modulu – E arasındakı əlaqə aşağıdakı kimidir:

$$G = \frac{E}{2(1+\mu)}. \qquad (1)$$

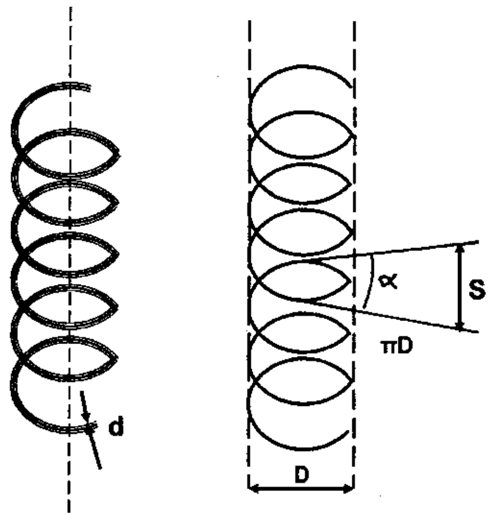
Burada μ-Puasson əmsalıdır. Deməli, hər bir cismi deformasiya etdirib sərbəst buraxsaq, həmin cisimdə iki növ deformasiya yaranacaq: uzununa və eninə deformasiya. Elastik sistemin deformasiyası periodik olduqda orada rəqslər yaranır.

İşin nəzəriyyəsi

Aydındır ki, yaydan asılmış yükü tarazlıq vəziyyətindən çıxarsaq, yuxarıda təsvir olunmuş mənzərə yaranacaqdır: yükü şaquli istiqamətdə çəkib buraxsaq, o həmin istiqamətdə irəliləmə, yay isə şaquli simmetriya oxu ətrafında fırlanma hərəkəti edəcəkdir. Beləliklə, sistemdə həm şaquli, həm də burulma rəqsləri yaranacaqdır. Bu rəqslər bir-birilə əlaqəlidir: bir deformasiya növü digərini yaradır.

Adətən, yay silindr şəklində olub dairəvi en kəsikli polad məftildən hazırlanır. Sarğının diametri D, addımı h, meyl bucağı α və məftilin en kəsiyinin diametri d ilə işarə edilir. Şəkil 32-dən göründüyü kimi sarğının addımı və onun diametri arasında aşağıdakı münasibəti yazmaq olar:

$$h=\pi D tg\alpha.$$



Şəkil 32.

Praktikada işlədilən yayların addımı onun en kəsiyinin diametrindən çox kiçik olur. Əyilmədə elastik deformasiyanın enerjisi əyici momentin gördüyü işə bərabərdir:

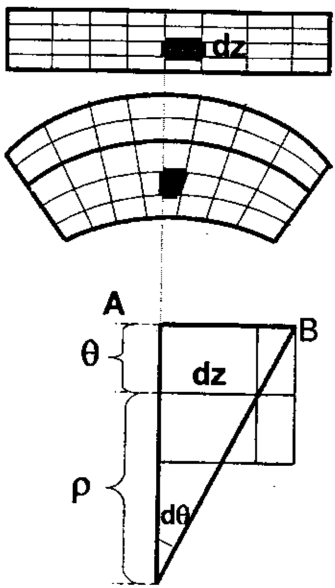
$$U=\int dU=\int\frac{1}{2}Md\theta$$

Şəkil 33-dən $d\theta=\dfrac{dz}{\rho}$, burada ρ-əyrilik radiusudur.

AB-təbəqəsinin nisbi uzanması $\varepsilon = J\dfrac{d\theta}{dz}$ -dir. Huk qanuna görə σ=E, ε=E$\frac{J}{\rho}$ və qüvvə momenti M= $\int\limits_s \sigma y ds$ olduğundan,

$$M=\frac{E}{\rho}\int\limits_S y^2 ds \quad M=\frac{EJ}{\rho}$$

olur.



Şəkil 33.

Beləliklə elastik deformasiyanın enerjisi üçün aşağıdakı ifadə alınır:

$$U=\int\limits_l \frac{M^2 dz}{2EJ}$$

Burada $J=\frac{\pi d^4}{64}$ və $l=\pi Dn$ –dir, n-sarğıların sayıdır.

Kastiliano teoreminə əsasən $\varphi = -\dfrac{dU}{dM}$ kimi tapılır. Buradan bucaq yerdəyişməsi üçün aşağıdakı ifadə alınır:

$$\varphi = -\frac{64nD}{Ed^4}M$$

Bu ifadənin fırlanma hərəkətinin əsas tənliyi ilə müqayisəsindən yayın burulma rəqslərinə qarşı sərtlik əmsalı tapılır:

$$K_2 = \frac{Ed^4}{64nD} \qquad (2)$$

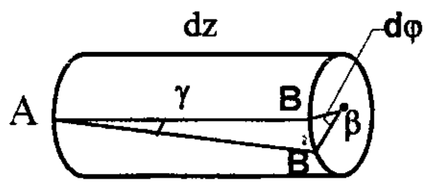
Burulma deformasiyası zamanı potensial enerjinin dəyişməsi

$$dU = \frac{1}{2}M_{bur}\,d\varphi$$

olur.

Şəkil 34-dən göründüyü kimi sağ üz sol üzə nəzərən **dφ** bucağı qədər dönür. Bu zaman silindrin doğuranı AB γ qədər dönərək AB' vəziyyətini alır. BB' parçası bir tərəfdən $\rho d\varphi$-yə, digər tərəfdən $\gamma\, dz$-ə bərabərdir. Onda $\gamma = \rho\dfrac{d\varphi}{dz}$ yazmaq olar.

Burada $\dfrac{d\varphi}{dz} = \theta$ kəmiyyəti nisbi burulma bucağı adlanır. Burada nəzərdə tutulmuşdur ki, neytral xətt kəsiyin ağırlıq mərkəzindən keçir və moment müstəvisi əyrilik müstəvisilə üst-üstə düşür.



Şəkil 34.

Yuxarıda deyilənlərə əsasən $\gamma = \rho\theta$ olur. Huk qanuna görə

τ=Gγ və ya τ= G$\rho\theta$. Burada G-sürüşmə modulu, τ-toxunan gərginlikdir. Elementar τds qüvvəsi

$$M_{bur}=\int \tau\rho ds$$

qədər burulma momenti yaradır. Burada inteqrallama bütün en kəsiyi boyunca aparılır. İnteqral altında

$$\tau=G\theta\,\rho$$

olduğunu nəzərə alsaq

$$M_{bur}=G\theta\int\rho^2 ds \text{ olar.}$$

Burada $\int\rho^2 ds=J_n$ silindrin həndəsi xarakteristikası olub, en kəsiyin polyar ətalət momenti adlanir. Beləliklə,

$$M_{bur}=G\theta J_n \text{ və ya } \theta=\frac{M_{bur}}{GJ_n}.$$

Burada GJ_n-çubuğun burulma sərtliyi adlanır. Burulma bucağı isə aşağıdakı ifadədən tapılır:

$$d\varphi=\frac{M_{bur}dz}{GJ_n} \text{ və ya } \varphi=\int_0^l\frac{M_{bur}dz}{GJ_n},$$

burada l-en kəsikləri arasındakı məsafədir (xüsusi halda çubuğun uzunluğudur). Polyar momentin inteqralaltı ifadəsində $ds=2\pi\rho d\rho$ olduğunu nəzərə alaraq onu inteqrallasaq alarıq

$$J_n=\frac{\pi D^4}{32}.$$

Elementar burulma bucağı üçün alınmış ifadəni enerji düsturunda yerinə yazsaq

$$dU=\frac{1}{2}M_{bur}^2\frac{dz}{GJ_n} \text{ və ya } U=\int_l\frac{M_{bur}^2}{2GJ_n}dz$$

alınar. Burada $M=F\frac{D}{2}$-dir. Yenə də Kastiliano teoreminə əsasən

$$X=-\frac{dU}{d\rho}=-\frac{D^2\pi Dn}{4GJ_n}S$$

olduğunu alarıq. Bu ifadəni hərəkət tənliyi ilə müqayisə edərək yayın şaquli rəqslərə qarşı göstərdiyi sərtliyi xarakterizə edən əmsal üçün aşağıdakı ifadəni alarıq:

$$K_1 = \frac{4GJ_n}{\pi n D^3} \quad \text{və ya} \quad K_1 = \frac{Gd^4}{8\pi D^3} \tag{3}$$

Yuxarıda deyilənlərə əsasən elastik yaydan asılmış yükə bir sərbəstlik dərəcəsinə malik olan sistem kimi baxılır (əslində isə elastik yaydan asılmış yükün rəqslərini ətraflı öyrənmək üçün ona iki sərbəstlik dərəcəsi olan sistem kimi baxmaq lazımdır). Addımı diametrinə nəzərən çox kiçik olan yayda yaranan rəqslərə baxdıqda məsələni sadələşdirmək olur: yayın burulma bucağı kiçik olduqda onun şaquli deformasiyasını və əksinə, şaquli deformasiyası kiçik olduqda burulma deformasiyasını nəzərə almamaq olar. Bu şərt daxilində yükün şaquli və burulma rəqsi hərəkəti uyğun olaraq aşağıdakı tənliklərlə ifadə olunacaqdır:

$$m\ddot{x} \ldots = -k_1 x \tag{4}$$

$$J\ddot{\varphi} = -k_2 \varphi \tag{5}$$

Bu hərəkət tənliklərindən uyğun olaraq, şaquli və burulma rəqslərinin periodu üçün aşağıdakı ifadələr alınır:

$$T_1 = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k_1}} \tag{6}$$

$$T_2 = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k_2}} \tag{7}$$

Beləliklə (1), (2), (3), (6), (7) tənliklərini birlikdə həll edib, Puasson əmsalını aşağıdakı ifadədən tapmaq olar:

$$\mu = \frac{4J}{mD^2} \cdot \frac{T_1^2 - T_2^2}{T_2^2} \tag{8}$$

Bu düsturdan görünür ki, Puasson əmsalının tapılması şaquli və burulma rəqslərinin periodunun tapılmasına gətirilir.

Məlumdur ki, iki sərbəstlik dərəcəsinə malik olan əlaqəli rəqs sistemi iki paralel tezliyə malik olur. Həmin sistemin döyünən rəqslərini öyrənmək üçün normal rəqslərin tezliklərini müəyyən vasitə ilə bir-birinə yaxınlaşdırırlar. Bu işdə baxılan sistemin iki normal tezliyi bir-birindən, ümumiyyətlə fərqlənir. Döyünməni müşahidə etmək üçün sistemin kütləsi sabit olmaqla onun ətalət momentini elə dəyişdirmək olar ki, normal rəqslərin tezlikləri bir-birinə yaxın olsun. Bu halda sistemdə döyünən rəqslər yaranacaq, yəni şaquli və burulma rəqslərinin amplitudu periodik olaraq dəyişəcəkdir. Amplitudun dəyişmə tezliyi uyğun normal tezliklərin fərqi ilə təyin olunacaqdır:

$$\omega = \omega_2^{/} - \omega_1 \qquad (9)$$

Axırıncı ifadədən döyünən rəqslərin periodunu tapmaq olar:

$$\tau = \frac{T_1 \cdot T_2^{/}}{T_2^{/} - T_1} \qquad (10)$$

Burada $\omega_2^{/}$ və $T_2^{/}$ döyünən rəqslərə uyğun gələn burulma rəqslərinin tezliyi və periodudur.

Qurğunun təsviri

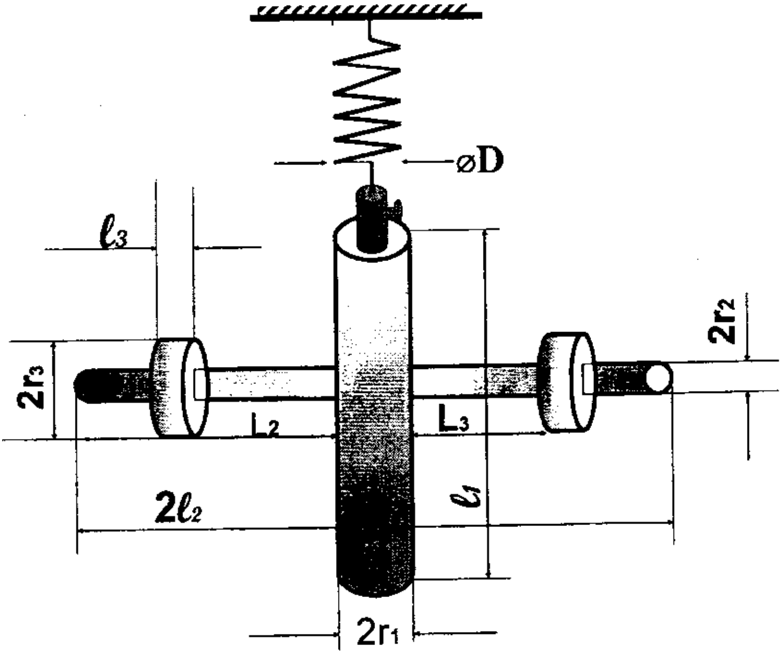
Qurğu iki hissədən-silindr şəkilli yaydan və yükdən ibarətdir (şəkil 35). Yayın yuxarı ucu dayağa bərkidilmiş, aşağı ucundan isə yük asılmışdır. Yük silindr şəkilli böyük cubuqdan və onun yuxarı hissəsinə yaxın yerdə bərkidilmiş, üstündə yivləri olan iki kiçik çubuqdan ibarətdir. Kiçik çubuqların üzərində böyük çubuğa nəzərən simmetrik yerləşmiş iki kiçik disk vardır. Diskləri yivlər üzərində hərəkət etdirməklə onları büyük cubuğa yaxınlaşdırıb uzaqlaşdırmaq olar. Böyük çubuğun kütləsi m_1, kiçik çubuğun kütləsi m_2 və diskin kütləsi m_3 olarsa, onda yaya bağlanmış yükün ümumi kütləsi aşağıdakı cəmdən ibarət olacaqdır:

$$m = m_1 + 2m_2 + 2m_3$$

Ətalət momenti additiv kəmiyyət olduğundan, sistemin ümumi ətalət momenti ayrı-ayrı hissələrin ümumi fırlanma oxuna nəzərən ətalət momentlərinin cəmindən ibarət olacaqdır:

$$J = J_1 + 2J_2 + 2J_3$$

Burada $J_1 = \frac{1}{2} m r_1^2$ –böyük çubuğun, $J = \frac{1}{3} m_2 l_2^2$ bir kiçik çubuğun, $J_3 = m_3 \left\{ l_3^2 + \frac{1}{12}\left[l_3^2 + 3\left(r_3^2 + r_2^2 \right) \right] \right\}$ bir diskin ətalət momentidir.



Şəkil 35.

Ölçmələr

Rəqs edən sistemdə diskləri yivlər boyunca hərəkət etdirməklə elə vəziyyətə nail olmaq lazımdır ki, şaquli rəqslər zamanı yaranan burulma rəqslərinin amplitudu çox kiçik olsun. Bu vəziyyətdə sistemi şaquli rəqs etdirərək 10 tam rəqsə sərf olunan müddəti saniyəölçənlə qeyd edirlər. Təcrübəni ən azı üç dəfə təkrar edərək şaquli rəqslərin periodunun orta qiyməti $\overline{T_1}$ tapılır. Sistemin ətalət momentini dəyişməyərək onu ehtiyatla 10^0–dən çox olmayaraq fırladıb buraxırlar. 10 tam burulma rəqsləri üçün sərf olunan zamanı ölçürlər və üç dəfədən az olmayaraq təcrübəni təkrar edərək, burulma rəqslərinin periodunun orta qiymətini-$\overline{T_2}$ hesablayırlar. Disklərin fırlanma oxundan olan məsafəsi ştangenpərgarla ölçülür. Tapılmış qiymətləri (8) düsturunda yerinə yazmaqla verilmiş yay üçün Puasson əmsalı hesablanır.

Döyünən rəqslərin periodunu tapmaq üçün ətalət momentini dəyişməklə elə vəziyyət almaq lazımdır ki, şaquli rəqslər kifayət qədər böyük amplitudlu burulma rəqsləri, burulma rəqsləri isə kifayət qədər böyük amplitudlu şaquli rəqslər yaratsın. Bu vaxt sistemdə döyünən rəqslər yaranacaq. Sistemi müəyyən bucaq qədər fırladıb 10 tam burulma rəqsləri üçün sərf olunan müddəti ölçərək onun periodunu -T' təyin edirlər. Sonra sistemi şaquli istiqamətdə rəqs etdirərək döyünmə rəqslərinin periodunu, yəni burulma rəqsləri zamanı rəqqasın 2 ardıcıl dayanması arasında keçən müddəti-τ ölçürlər. Göstərilən ölçmələr ən azı 3 dəfə təkrar olunur və $\overline{T_1}$, $\overline{T_2}$ və $\bar{\tau}$ kəmiyyətlərindən istifadə edərək, təcrübə xətası daxilində (10) bərabərliyini yoxlayırlar.

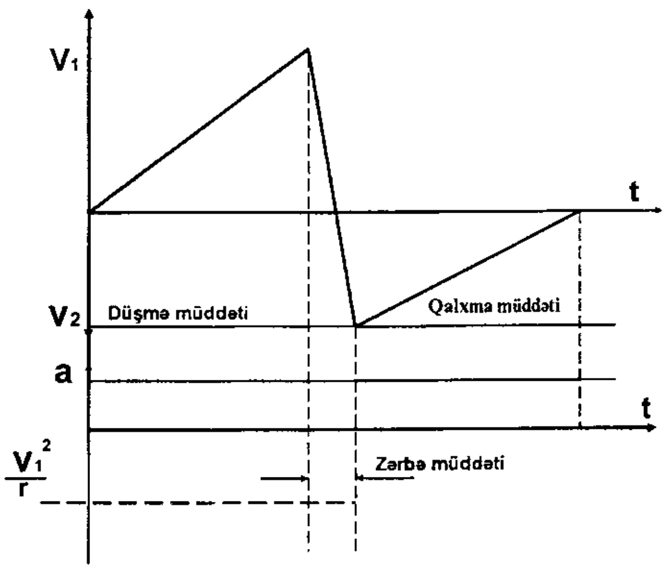
LABORATORİYA İŞİ №16

MAKSVEL RƏQQASININ HƏRƏKƏTİNİN ÖYRƏNİLMƏSİ

Ləvazimat: qurğu, saniyəölçən.

Giriş

Maksvel rəqqasının hərəkəti aşağıdakı üç mərhələyə bölünə bilər: aşağıya hərəkəti, zərbəsi və yuxarıya hərəkəti. Rəqqasın hərəkəti zamanı onun oxunun sürəti və təcilinin zamandan asılı olaraq dəyişməsi sxematik olaraq şəkil 36–da göstərilmişdir. Buna uyğun olaraq rəqqasa təsir edən qüvvələr də uzun müddətli təsir qüvvələrinə (rəqqas düşəndə və qalxanda təsir edən qüvvələr) və qısa müddətli təsir qüvvəsinə (zərbə müddətində təsir edən qüvvə) ayrıla bilər. Birinci qüvvələr zamandan asılı deyildir. Ikinci qüvvə isə kəskin olaraq artır və sonra azalır.



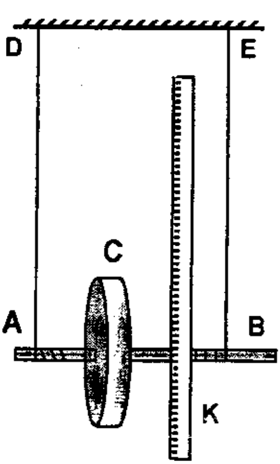
Şəkil 36.

Qeyd etmək lazımdır ki, rəqqas aşağı düşərkən yaranan zərbə başqa zərbələrdən, məsələn, kürəciyin divara zərbəsindən fərqlənir. Belə ki, kürəcik divara dəyərkən ilk zərbə müddətində onun kinetik enerjisi tamamilə yox olur (burada söhbət kürəciyin zərbədən əvvəl malik olduğu kinetik enerjidən gedir). Rəqqasın zərbəsi zamanı isə onun fırlanma hərəkəti hesabına malik olduğu enerjisi eynilə qalır.

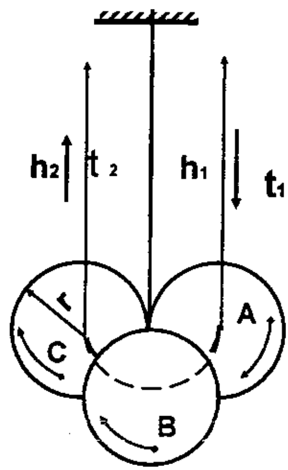
Maksvel rəqqasının bütün mərhələlərdəki hərəkətini vahid hərəkət növü kimi qəbul edib, onu öyrənmək mümkün olmadığından, bu işdə göstərilən mərhələlər ayrılıqda öyrənilir. Maksvel rəqqasının hərəkətini təsdiq etməklə məqsəd cisimlərin müstəvi-paralel hərəkətini və zərbə hadisəsini öyrənməkdir.

Qurğunun təsviri

Rəqqas alüminiumdan düzəldilmiş diskdən ibarətdir. Rəqqasın oxlarına hər iki tərəfdən kütlə mərkəzinə nəzərən simmetrik olan nöqtələrdə möhkəm ip bağlanmışdır. İpin o biri ucları dayağa bərkidilmişdir. Rəqqasın sərbəst asıldığı vəziyyətdə iplər ciddi şaquli istiqamətdə yerləşməli və bir-birinə paralel olmalıdır. Iplərin dayağa bağlandıqları nöqtələrdə onların uzunluqlarını elə tənzim etmək lazımdır ki, rəqqasın oxu ciddi olaraq üfüqi vəziyyətdə yerləşsin.



Şəkil 37.



Şəkil 38.

Rəqqasın hərəkətini öyrənmək üçün onu oxu ətrafında fırlatmaqla ipi səliqə ilə oxun üzərinə şarımaq və xüsusi hazırlanmış dayaq üzərinə qoymaq lazımdır. Bu zaman rəqqasın ilk vəziyyəti şkalanın sıfır bölgüsünə uyğun gələcəkdir. Bundan başqa rəqqası qeyd edilmiş dayağın üzərinə yerləşdirməklə iplərin bağlandıqları nöqtələrin hamısı bir şaquli müstəvi üzərinə gətirilmiş olur. Beləliklə, rəqqasın müstəvi-paralel hərəkəti təmin edilir. Rəqqas dayaqdan azad edildikdə o irəliləmə hərəkəti və öz oxu ətrafında fırlanma hərəkəti edəcəkdir. Irəliləmə hərəkəti zərbə zamanı kəsiləcək. Fırlanma hərəkəti isə rəqqasın ətaləti hesabına davam edəcəkdir. Bu zaman ip yenidən ox üzərinə sarınaraq rəqqası yuxarıya doğru hərəkət etməyə məcbur edəcəkdir. Rəqqasın oxunun aşağı və yuxarı hərəkəti zamanı getdiyi məsafəni şkaladan tapmaq olar.

İşin nəzəriyyəsi

1. Müstəvi-paralel hərəkət. Ixtiyari bərk cismin müstəvi-paralel hərəkəti iki hərəkətin cəmi kimi göstərilə bilər: onun hər hansı bir nöqtəsinin irəliləmə hərəkəti və bu nöqtə ətrafında fırlanma hərəkəti. Kinematikada bu nöqtə bərk cismin ixtiyari nöqtəsi ola bilər. Ancaq bərk cismin dinamikasına baxdıqda həmin nöqtə olaraq kütlə mərkəzini götürmək əlverişlidir. Bu halda hərəkət tənlikləri sadə şəkildə yazılır.

Rəqqasın hərəkəti zamanı meydana çıxan sürtünmə qüvvəsini nəzərə almasaq, onun tənliyini aşağıdakı kimi yazmaq olar:

$$ma=mg-2T \qquad (1)$$

$$J\frac{d\omega}{dt}=2rT \qquad (2)$$

$$a=r\frac{d\omega}{dt} \qquad (3)$$

Bu düsturlardan ətalət momentini tapmaq olar:

$$J=\frac{m}{a}(g-a)r^2 \qquad (2')$$

Burada m-rəqqasın kütləsi, J–onun ətalət momenti, r- rəqqasın oxunun radiusu, T-ipin gərilmə qüvvəsi, a-kütlə mərkəzinin təcili, $\frac{d\omega}{dt}$ - rəqqasın bucaq təcilidir.

Yazılmış tənliklər rəqqasın hərəkətinin birinci və üçüncü mərhələsinə aiddir. Əlbəttə, bu mərhələlərdə hərəkətin başlanğıc şərtləri müxtəlifdir: birinci mərhələdə başlanğıc sürət sıfra bərabərdirsə, ikinci mərhələdə, o sıfırdan fərqli müəyyən bir qiymətə malikdir.

Rəqqas hərəkət zamanı h qədər məsafə getmişsə, onda kinematik olaraq onun təcilini tapmaq olar:

$$a = \frac{2h}{t^2} \tag{4}$$

Rəqqas aşağı hərəkət etdikdə onun malik olduğu sürət

$$\upsilon_1 = at_1 = \frac{2h_1}{t_1} \tag{5}$$

düsturundan təyin oluna bilər. Burada h_1-rəqqasın düşdüyü hündürlük, t_1–isə bu məsafəni düşmək üçün sərf olunan zamandır.

Rəqqas yuxarı hərəkət etdikdə də həmin təcilə malik olacaqdır. Lakin onun yuxarı hərəkəti bərabəryavaşıyan hərəkətdir. Bu hərəkət zamanı rəqqasın kütlə mərkəzinin malik olduğu xətti sürət aşağıdakı düsturla tapılır:

$$-\upsilon_t = -\upsilon_2 + at_2$$

Burada υ_2–rəqqasın yuxarıya doğru hərəkətinin başlanğıc sürətidir. Rəqqasın başlanğıc sürətə malik olmasına səbəb yuxarıda qeyd edildiyi kimi, onun öz oxu ətrafında ətaləti nəticəsində fırlanma hərəkətini davam etdirməsidir. Bu sürət υ_t=0 şərtindən tapıla bilər:

$$\upsilon_2^{/} = at_2 \tag{6}$$

Rəqqasın qalxma hündürlüyü onun düşmə hündürlüyündən az olur. Bunun səbəbi ondan ibarətdir ki, zərbə zamanı kinetik enerjinin bir hissəsi ipləri deformasiya etdirən qüvvələrə qarşı görülən işə sərf olunur.

2. Zərbə. Yuxarıda qeyd edildiyi kimi, rəqqasın zərbəsi zamanı qarşılıqlı təsir qüvvələri qısa müddət ərzində kəskin dəyişir: əvvəlcə kəskin artır, sonra isə kəskin olaraq azalır. Bu qüvvələrin zamandan asılılıq funksiyası aşkar şəkildə məlum deyildir. Ona görə də aşkar şəkildə yazılmış hərəkət tənliklərini bu hadisəyə tətbiq etmək mümkün olmur. Burada inteqral qüvvə impulsundan istifadə olunur:

$$m[\upsilon_1-(-\upsilon_2)]=\int_0^{\Delta t}F(t)dt \qquad (7)$$

Burada υ_1–zərbədən əvvəlki, υ_2 –zərbədən sonrakı sürət, F(t)–zərbə zamanı meydana çıxan qüvvə, Δt–zərbə müddətidir. Baxılan halda iplərin gərilmə qüvvəsi zərbə zamanı dəyişir. Birinci yaxınlaşmada bu dəyişməni aşağıdakı kimi təsvir etmək olar.

Tutaq ki, rəqqas h_1 hündürlükdən düşərək aşağı A nöqtəsinə (şəkil 38) gəlib çatmışdır. Onun sonrakı hərəkəti ipin ən aşağı nöqtəsindən keçən üfüqi ox ətrafındakı fırlanma hərəkətindən ibarət olacaqdır və kütlə mərkəzi ABC qövsünü cızacaqdır. Bu qövsün radiusu rəqqasın oxunun radiusuna bərabərdir. İpin gərilmə qüvvəsi A nöqtəsindən B nöqtəsinə qədər artır, B nöqtəsindən C nöqtəsinə qədər isə azalır. Rəqqas onun radiusu qədər aşağıya düşdükdə (B nöqtəsi), ipin gərilmə qüvvəsinin dəyişməsi maksimum qiymətə çatacaq və ədədi qiymətcə həmin nöqtədə mərkəzəqaçma qüvvəsinə bərabər olacaqdır. İpin uzunluğu oxun radiusuna nisbətən çox böyük olduğundan həmin nöqtədəki sürəti υ_1 sürətinə bərabər qəbul etmək olar:

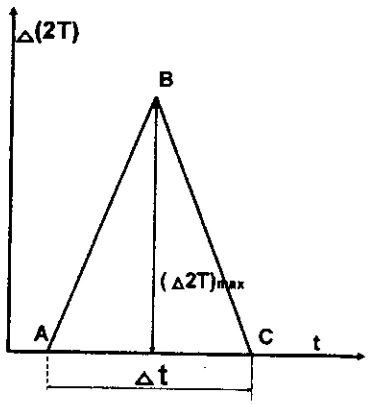
$$[\Delta(2T)]_{max}=\frac{m\upsilon_1^2}{r} \qquad (8)$$

Yuxarıdakı mülahizələrə əsaslanaraq iplərin gərilmə qüvvəsinin dəyişməsinin asılılığını xətti funksiya ilə ifadə etmək olar. Bu asılılıq şəkil 39-da təsvir edilmişdir. Alınmış ABC üçbucağının sahəsi ədədi qiymətcə zərbə müddətində inteqral impulsa bərabər olacaqdır:

$$S=\frac{1}{2}[\Delta(2T)]_{max}\Delta t \qquad (9)$$

Alınmış (7), (8) və (9) ifadələrindən zərbə müddətini tapmaq olar:

$$\Delta t = \frac{2r}{\upsilon_1^2}(\upsilon_1 + \upsilon_2) \qquad (10)$$



Şəkil 39.

Ölçmələr

Rəqqasın oxunun üfüqi vəziyyətdə olduğu yoxlanılır. Buna əmin olduqdan sonra ipi oxa səliqə ilə dolamalı, onu dayaqda qeyd edilmiş xətlərə toxundurub xətkeşin sıfır bölgüsünə uyğun vəziyyətə gətirmək lazımdır. Rəqqası azad etməklə saniyəölçən işə salınır. Rəqqasın ən aşağı nöqtəyə çatma müddəti və bu müddətdə düşdüyü hündürlük qeyd edilir. Bu təcrübə ən azı beş dəfə təkrar olunur, düşmə müddətinin orta qiyməti tapılır və (4), (5) düsturlarından uyğun olaraq hərəkətin təcili və son sürəti hesablanır.

Rəqqasın qalxma müddətini tapmaq üçün ən aşağı nöqtədə saniyəölçən işə salınır və rəqqas dayanana qədər keçən müddət qeyd edilir. Qalxma hündürlüyü isə xətkeşdən tapılır. Bu təcrübə də ən azı beş dəfə təkrar olunur və qalxma müddətinin, qalxma hündürlüyünün orta qiymətindən istifadə edərək (4) və (6) ifadələrinə əsasən uyğun olaraq təcil və başlanğıc sürət hesablanır. Rəqqasın ətalət momentini (2) düsturundan tapıb, alınan qiyməti həndəsi ölçülərinə görə hesablanmış qiymətlə müqayisə etmək lazımdır. Rəqqasın həndəsi ölçüləri və uyğun hissələrinin sıxlığı məlum götürülür.

Yuxarıda verilmiş (8) və (10) düsturlarına əsasən uyğun olaraq ipin gərilmə qüvvəsinin dəyişməsinin maksimum qiyməti və zərbə müddəti hesablanır. Bütün ölçmələr zamanı diqqətli və səliqəli olmaq lazımdır. Rəqqasın yuxarı hərəkətinə xüsusi diqqət tələb olunur. Əgər ipin sarılması simmetrik olmursa, rəqqası mütləq saxlamaq və təcrübəyə yenidən başlamaq lazımdır.

LABORATORİYA İŞİ №17

DİYİRLƏNMƏ SÜRTÜNMƏ ƏMSALININ TƏYİNİ

Ləvazimat: cihaz, müxtəlif metallardan hazırlanmış lövhələr, saniyəölçən.

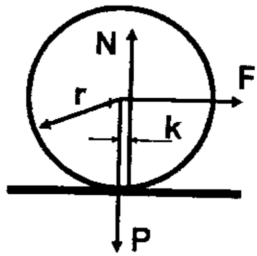
Diyirlənmə sürtünməsinin əmələ gəlməsinə səbəb diyirlənən cismə nəzərən qarşılıqlı təsirdə olan cisimlərin qeyri-simmetrik deformasiyaya uğramasıdır. Ona görə də dayağın reaksiya qüvvəsi diyirlənən cismin kütlə mərkəzindən keçmir və hərəkət istiqamətində müəyyən qədər sürüşmüş olur. Bu isə dayağın reaksiya qüvvəsinin momentinin sıfırdan fərqli olmasına gətirib çıxarır

$$M=kN \qquad (1)$$

Başqa sözlə, (1) düsturu ilə ifadə olunan kəmiyyət diyirlənmə sürtünmə qüvvəsinin momenti adlanır. Burada N-reaksiya qüvvəsi olub ədədi qiymətcə cismin ağırlıq qüvvəsinə bərabərdir, k-diyirlənmə sürtünmə əmsalıdır. Bu əmsal momentin təyininə görə, elə bil ki, reaksiya qüvvəsinin qolu rolunu oynayır. Texnikada adi sürtünmə qüvvəsi anlayışından istifadə edirlər. Bu qüvvə verilmiş cismi diyirlədən qüvvə olub onun oxuna tədbiq olunur:

$$F = k\frac{P}{r} \qquad (1^1)$$

Burada P-cismin ağırlıq qüvvəsi, r isə diyirlənən cismin (məsələn silindrin) radiusudur.



Şəkil 40.

Əksər hallarda diyirlənmə hərəkətinə mane olan qarşılıqlı təsiri materialların tam elastik olmaması ilə izah edirlər. Bu baxımdan yanaşan nəzəriyyə diyirlənmə sürtünmə qüvvəsi üçün mürəkkəb ifadəyə gətirib çıxarır: bu qüvvənin cismin ağırlığından və radiusundan asılılığı artıq (1^1) düsturunda göstərildiyi kimi alınmır. Bütün bunlar qarşılıqlı təsirdə olan cisimlərin deformasiya olunmuş səthlərinin bir-birinə nəzərən sürüşməsi ilə izah olunur. Bəzən bu izahat molekulyar səviyyəyə qədər gəlib çıxır.

Yuxarıda göstərilən (1) və (1^1) düsturları birinci yaxınlaşmadan alınan ifadələrdir və hər bir konkret halda axtarılan parametri tapmağa imkan verir. Diyirlənmə hərəkəti ilə bağlı olan bütün prosesləri nəzərə ala bilən tam nəzəriyyə hələlik işlənib hazırlanmamışdır.

Cihazın təsviri

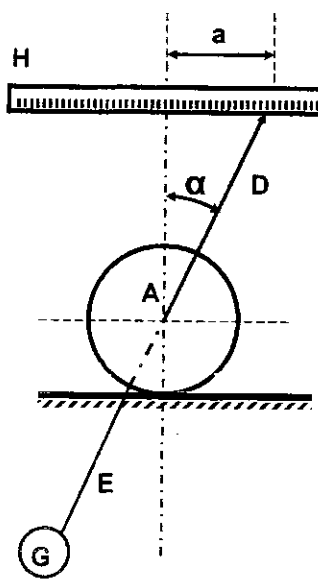
İşdə S.F.Lebedev tərəfindən təklif edilmiş üsuldan istifadə olunur. Polad A silindri B metal lövhəsi üzərinə qoyulur. A silindrinin ağırlıq mərkəzindən onun simmetriya oxuna perpendikulyar iki D və E çubuqları keçirilmişdir. D çubuğu əqrəb rolunu oynayır. İkinci E çubuğu A silindrinin yerləşdiyi lövhəyə olan yarıqdan aşağı keçirilmiş və sərbəst ucuna G yükü bağlanmışdır. Bu sistemin mütəhərrik hissəsini «rəqqas» adlandırmaq olar. Doğrudan da D əqrəbini kiçik bucaq qədər meyl etdirib buraxsaq, o H şkalası üzrə sönən rəqslər etməyə başlayacaqdır. Bu vaxt silindrin oxu irəliləmə hərəkəti, silindr özü isə bu ox ətrafında fırlanma hərəkəti edəcəkdir. Ona görə də şkala üzərində D əqrəbi bu iki yerdəyişmənin cəmini göstərəcəkdir (şəkil 41).

$$a_1 = r\,tg\alpha \tag{2}$$

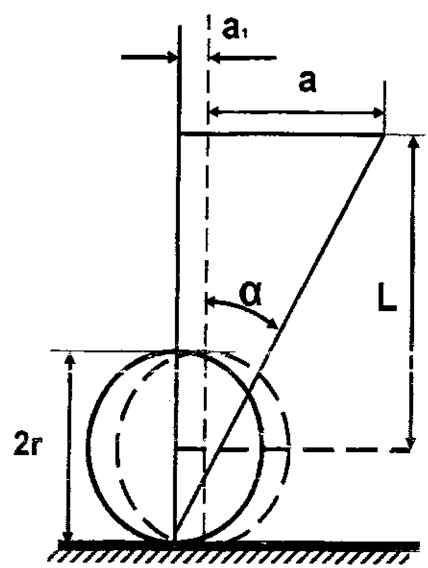
$$a = L\,tg\alpha \tag{3}$$

Burada α -silindrin dönmə bucağı, r-onun radiusu, L-silindrin oxundan şkalaya qədər məsafə, a_1 -silindrin oxunun yerdəyişməsi, a -silindrin öz oxu ətrafında fırlanması nəticəsində yaranan yerdəyişmədir. Aydındır ki, yekun yerdəyişmə bu yerdəyişmələrin cəmindən ibarət olacaqdır.

$$S = a\left(1 + \frac{r}{L}\right) \tag{4}$$



Şəkil 41.



Şəkil 42.

Əgər r<<L olarsa, mötərizədəki ikinci həddi nəzərə almamaq olar. Onda

$$S = a = Ltg\alpha \qquad (5)$$

düsturundan yerdəyişməni tapmaq olar. Meyl bucağının $\alpha < 5^0$ şərtini ödəyən qiymətlərində başlanğıc a_0, α_0 və n tam rəqsdən sonrakı a_n və α_n kəmiyyətləri üçün uyğun olaraq yazmaq olar.

$$\alpha_0 = \frac{a_0}{L}\ ;\ \alpha_n = \frac{a_n}{L} \qquad (6)$$

Müəyyən sayda rəqsdən sonra rəqsin amplitudunun azalması diyirlənmə sürtünməsi hesabına olduğundan a_0, α_0 və ya a_0, a_n kəmiyyətləri diyirlənmə sürtünmə əmsalını təyin etməyə imkan verir.

Platforma və A silindri arasına müxtəlif materiallardan hazırlanmış lövhələr qoymaqla polad-müxtəlif material sərhəddində yaranan diyirlənmə sürtünmə əmsalını təyin etmək olar.

İşin gedişi

Təsvir edilmiş qurğuda diyirlənmə sürtünmə əmsalını hesablamaq üçün lazım olan düsturu çıxaraq. Tutaq ki, diyirlənmə sürtünmə əmsalı rəqqasın hərəkət sürətindən asılı deyildir. Bu halda verilmiş qurğu üçün enerjinin saxlanma qanunundan istifadə etmək olar.

Rəqqasın α_0 bucağı qədər meyl etməsinə uyğun potensial (şəkil 42) aşağıdakı kimi yazıla bilər:

$$E_0 = Ph_0 = Pl(1 - \cos\alpha_0) \qquad (7)$$

Burada h_0-rəqqasın ağırlıq mərkəzinin şaquli ox üzrə yerdəyişməsi, P-onun ağırlıq qüvvəsi, l-rəqqasın ağırlıq mərkəzindən onun oxuna qədər olan məsafədir. Rəqqasın bir tam periodundan sonra onun potensial enerjisi analoji olaraq aşağıdakı kimi olacaq:

$$E_1 = Pl(1 - \cos\alpha_1) \qquad (8)$$

Burada α_1-rəqqasın bir perioddan sonrakı meyl bucağıdır. Potensial enerjinin azalması

$$\Delta E = 2Pl\left(\sin^2\frac{\alpha_0}{2} - \sin^2\frac{\alpha_1}{2}\right) \tag{9}$$

qədər olar. Meyl bucağının kiçik qiymətlərində (9) düsturu sadə şəkil alır:

$$\Delta E = 0{,}5\,Pl\left(\alpha_0^2 - \alpha_1^2\right) \tag{10}$$

Əgər havada sürtünməni nəzərə almasaq enerjinin bu qədər azalmasını diyirlənmə sürtünmə qüvvəsinin gördüyü işə bərabər yazmaq olar. Bu qüvvələrin bir periodda gördükləri iş (şəkil 43):

$$\Delta A = Pk\left(\alpha_0 + \alpha_0' + \alpha_0' + \alpha_1\right) \tag{11}$$

Burada α_0'-yarımperioddan sonra rəqqasın meyl bucağıdır. Tutaq ki, hər yarımperiodda rəqqasın meyl bucağı $\Delta\alpha$ qədər azalır. Onda

$$\alpha_0' = \alpha_0 - \Delta\alpha\,;\ \alpha_1 = \alpha_0' - \Delta\alpha \quad (12)\ \text{olar.}$$

Bu ifadələri (11) düsturunda nəzərə alsaq;

$$\Delta A = 2Pk\left(\alpha_0 + \alpha_1\right) \tag{13}$$

alınar. Axırıncı (13) və (10) ifadələrinin bərabərliyindən

$$k = \frac{1}{4}l\left(\alpha_0 - \alpha_1\right) \tag{14}$$

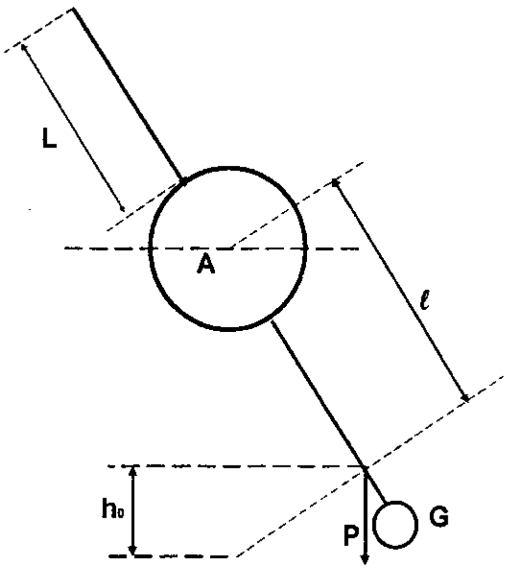
yazmaq olar. Tam rəqslərin sayı n olarsa, (14) düsturu aşağıdakı şəkildə yazılmalıdır:

$$k = \frac{1}{4}l\frac{\alpha_0 - \alpha_n}{n} \tag{15}$$

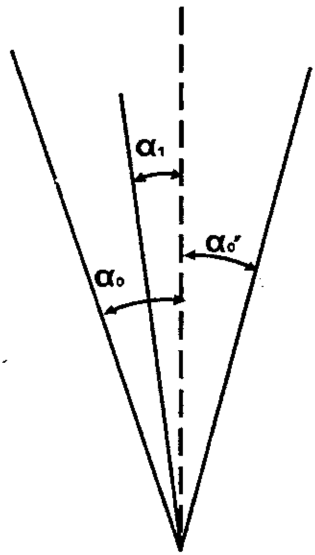
Yerdəyişməyə keçsək (6 düsturu)

$$k = \frac{1}{4}\frac{l}{L}\frac{a_0 - a_n}{n} \tag{16}$$

alınar. Diyirlənmə sürtünmə əmsalını təyin etmək üçün (16) düsturundan istifadə olunur.



Şəkil 43.



Şəkil 44.

Ölçmələr

1. Rəqqasın ilk yerdəyişməsi qeyd edilir.

2. Rəqqasın n tam rəqsindən sonra onun yerdəyişməsi H şkalasından götürülür.

3. Yerdəyişmənin a_0-dan a_n-ə qədər azalması üçün keçən rəqslərin sayı n yazılır (L və l kəmiyyətlərinin ədədi qiymətləri hazır şəkildə verilir).

4. Təcrübə ən azı beş dəfə təkrar olunur. Hesablanmış orta qiymətlərdən (16) düsturu vasitəsi ilə diyirlənmə sürtünmə əmsalı təyin olunur.

Təcrübə zamanı silindri lövhələr üzərinə elə yerləşdirmək lazımdır ki, onlar rəqsi hərəkətə mane olmasın. Şkala üfüqi istiqamətdə yerini dəyişə bilər. Hər bir təcrübəyə başlamazdan əvvəl rəqqasın şaquli vəziyyətində H şkalasının 0 bölgüsünü D əqrəbinin üzərinə salmaq lazımdır. A silindrini fırlatdıqda çalışmaq lazımdır ki, o lövhələr üzərində sürüşməsin.

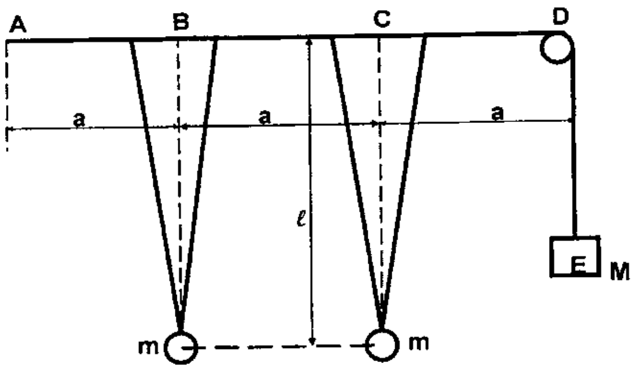
LABORATORİYA İŞİ №18

DÖYÜNƏN RƏQSLƏRİN ÖYRƏNİLMƏSİ

***Ləvazimat*:** 1) Cihaz, 2)Saniyəölçən.

Cihazın təsviri

Əlaqəli rəqs sistemlərində sürtünmənin çox kiçik qiymətlərində döyünən rəqslər müşahidə olunur. Belə rəqsləri öyrənmək üçün lazım olan sadə cihazın təsviri şəkil 45-də verilmişdir.

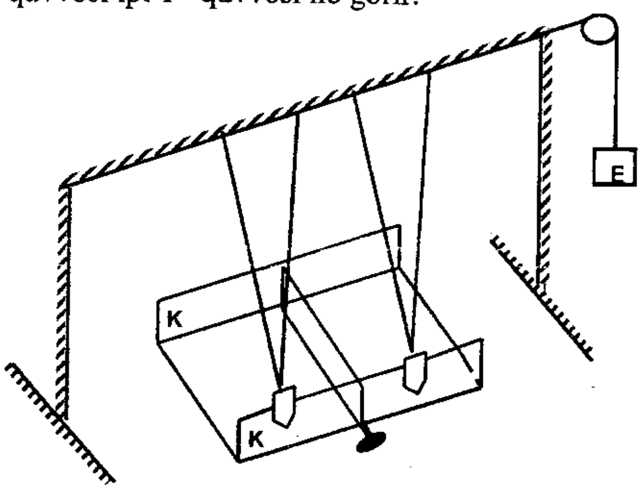


Şəkil 45.

ABCD ipi A nöqtəsinə bağlanmış və D blokundan aşırılmışdır. İpin sərbəst ucuna M kütləli E yükü bağlanmışdır. İpə B və C nöqtələrində uzunluğu l olan bifilyar asqı vasitəsilə eyni m kütləli yüklər asılmışdır. Rəqqaslar şəkil müstəvisinə perpendikulyar olan müstəvidə rəqs edə bilərlər. Rəqqasları hərəkətə gətirmək üçün yüklərdən aşağıda xüsusi qurğu yerləşdirilmişdir. K və L lövhələri uyğun olaraq OO və O_1O_1 oxları ətrafında fırlana bilər. C_1 lövhəsini isə N dəstəyi vasitəsilə üfüqi və şaquli vəziyyətə gətirmək mümkündür. Rəqqaslar ilk anda tarazlıq vəziyyətinə nəzərən müəyyən qədər (məsələn, L lövhəsi vasitəsilə) meyl etmişlərsə, N dəstəyini sağa və ya sola 90^0 fırlatdıqda L və K lövhələri C dayağından azad olacaqlar və rəqqaslar hərəkətə gələcəklər. Rəqslərin amplitud və fazası qurğunun ölçüsündən və lövhələrin vəziyyətindən asılıdır. Rəqslərin tezliyi isə cihazın parametrləri olan m, M, l, a kəmiyyətləri ilə təyin olunur.

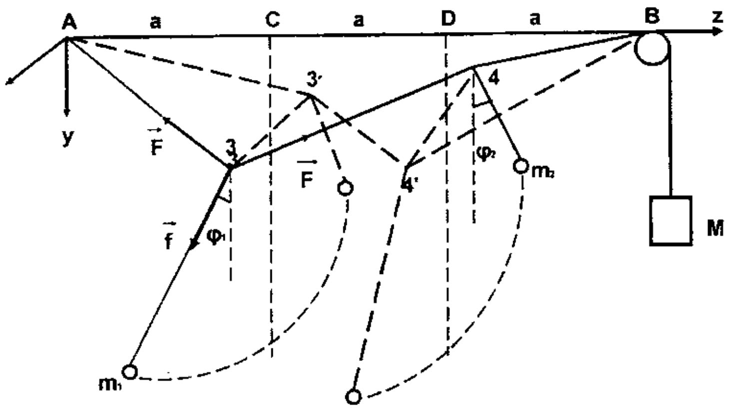
İşin nəzəriyyəsi

ABCD ipi M kütləsinin ağırlıq qüvvəsi ilə gərilmişdir. Rəqqaslar rəqs etdikdə yüklərin ağırlıq qüvvəsinin və kvazielastik qüvvəyə bərabər və onun əksinə yönəlmiş qüvvənin təsirilə ip ABCD düz xətli vəziyyətindən çıxaraq A34B sınıq xətti formasını alır. (Rəqqaslar əks tərəfə hərəkət etdikdə A34B vəziyyətini alır). Fərz edək ki, rəqqasların uzunluqları və kütlələri uyğun olaraq l_1, m_1, l_2, m_2-dir. Rəqqasların meyl bucaqlarını uyğun olaraq φ_1 və φ_2 ilə işarə edək. M kütləsinin ağırlıq qüvvəsi ipi $\vec{F}$ qüvvəsi ilə gərir.



Şəkil 46.

Blokda sürtünməni nəzərə almasaq bu qüvvə ədədi qiymətcə M kütləsinin ağırlıq qüvvəsinə bərabər olacaqdır. M kütləsini dəyişməklə ABCD ipinin gərilmə qüvvəsini dəyişmək olar. Bu qüvvənin qiymətindən asılı olaraq rəqqaslar arasındakı əlaqələr dəyişəcəkdir: qüvvənin kiçik qiymətlərində əlaqə güclü, böyük qiymətlərində isə zəif olur. Bu işdə zəif əlaqəyə baxılır. Bu isə o deməkdir ki, ipin gərilmə qüvvəsi rəqqasların ağırlıq qüvvəsindən çox böyükdür. Baxılan sistemin rəqslərini öyrənmək üçün başlanğıcı A nöqtəsinə bağlanmış düzbucaqlı XYZ koordinat sistemini elə yerləşdirək ki, Z oxu ACDB ipi boyunca, Y oxu ağırlıq qüvvəsi təcili istiqamətində, X oxu isə rəqqasların yerdəyişmə istiqamətində yönəlsin. Rəqqaslar ACDB ipinin gərilmə qüvvəsi rəqqasların ağırlıq qüvvəsindən çox böyük olduğu üçün asılma nöqtələrinin Y oxu boyunca yerdəyişməsini də nəzərə almamaq olar. Beləliklə, yerdəyişmə yalnız X oxu istiqamətində yaranacaqdır.



Şəkil 47.

Yuxarıda göstərilənləri nəzərə aldıqdan sonra rəqqasların hərəkət tənliklərini uyğun olaraq aşağıdakı şəkildə yazmaq olar:

$$m_1\ddot{x}_1 = -f_1\sin\varphi_1\ ;\ m_2\ddot{x}_2 = -f_2\sin\varphi_2 \qquad (1)$$

Nəzərə alsaq ki,

$$\sin\varphi_1 \approx \varphi_1 = \frac{x_1 - x_3}{l_1};$$

$$\cos\varphi_1 = 1; \sin\varphi_2 \approx \varphi_2 = \frac{x_2 - x_4}{l_2}; \cos\varphi_2 = 1$$

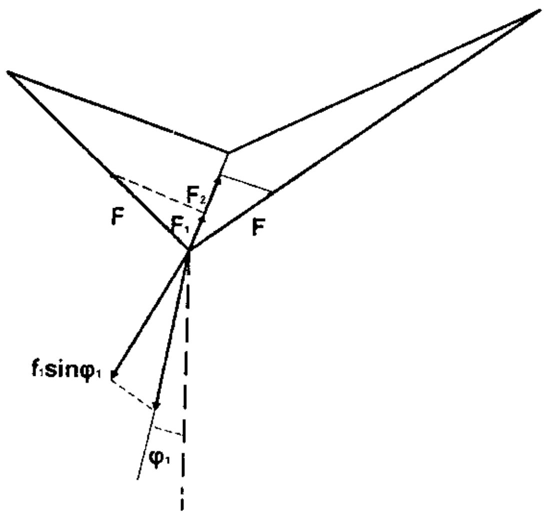
və

$$m_1 g = f_1 \cos\varphi_1 = f_1; \; m_2 g = f_2 \cos\varphi_2 = f_2 \qquad (2)$$

Onda (1) tənlikləri aşağıdakı şəklə düşər:

$$m_1 \ddot{x}_1 = \frac{m_1 g}{l_1}(x_3 - x_1)$$

$$m_2 \ddot{x}_2 = \frac{m_2 g}{l_2}(x_4 - x_2) \qquad (3)$$



Şəkil 48.

İpin C və D nöqtələrində gərilmə qüvvələrinin eyni olması şərtindən ($\vec{f}_1$ və $\vec{f}_2$ qüvvələri $\vec{F}$ qüvvəsini çox az miqdarda dəyişir və onu nəzərə almamaq olar) və 48-ci şəkildən istifadə edərək aşağıdakı tənlikləri yazmaq olar:

$$\vec{F}_1' + \vec{F}_1'' + \vec{f}_1 = 0$$
$$\vec{F}_2' + \vec{F}_2'' + \vec{f}_2 = 0$$

Bu ifadələri X oxuna proyeksiyalayıb (1) münasibətlərini nəzərə alsaq x_1, x_2, x_3 və x_4 koordinatlarını əlaqələndirən bərabərlikləri alarıq:

$$f_1 \frac{x_1 - x_3}{l_1} = F\frac{x_3}{d} + F\frac{x_3 - x_4}{d};$$
$$f_2 \frac{x_1 - x_3}{l_2} = F\frac{x_4}{d} + F\frac{x_4 - x_3}{d} \qquad (4)$$

Bu ifadələrdə (3) bərabərliyini və

$$\sigma_1 = \frac{m_1 g}{l_1} \cdot \frac{\alpha}{F}; \quad \sigma_2 = \frac{m_2 g}{l_2} \cdot \frac{\alpha}{F} \qquad (5)$$

əvəzləmələri nəzərə alsaq (4) tənlikləri aşağıdakı şəkli alar.

$$\sigma_1 x_1 = (2 + \sigma_1)x_3 - x_4$$
$$\sigma_2 x_2 = (2 + \sigma_2)x_4 - x_3$$

Əlaqə zəif olduğu üçün sağ tərəfdəki σ_1 və σ_2 hədlərini 2-dən çox kiçik olduğu üçün nəzərə almamaq olar. Onda x_3 və x_4 üçün aşağıdakı ifadələr alınar:

$$x_3 = \frac{2}{3}x_1\sigma_1 + \frac{1}{3}\sigma_2 x_2$$
$$x_4 = \frac{2}{3}x_2\sigma_2 + \frac{1}{3}\sigma_2 x_2$$

Bu ifadələri (2) tənliklərində nəzərə alaq və sadələşmə aparaq:

$$\ddot{x}_1 = \frac{g}{l_1}\left[(\sigma_1 - 1)x_1 + \frac{1}{3}(\sigma_2 x_2 - \sigma_1 x_1)\right]$$
$$\ddot{x}_2 = \frac{g}{l_2}\left[(\sigma_2 - 1)x_2 + \frac{1}{3}(\sigma_1 x_1 - \sigma_2 x_2)\right] \qquad (6)$$

Fərz edək ki, rəqqasların uzunluqları və kütlələri eynidir, yəni $l_1 = l_2 = l$; $m_1 = m_2 = m$. Onda aydındır ki, $\sigma_1 = \sigma_2 = \sigma$ olar. Bu hal üçün (6) tənlikləri aşağıdakı şəklə düşər:

$$\ddot{x}_1 = \frac{g}{l}\left[(\sigma - 1)x_1 + \frac{\sigma}{3}(x_2 - x_1)\right];$$

$$\ddot{x}_2 = \frac{g}{l}\left[(\sigma - 1)x_2 + \frac{\sigma}{3}(x_1 - x_2)\right] \qquad (7)$$

Alınan tənlikləri bir dəfə tərəf-tərəfə toplayaq və sonra tərəf-tərəfə çıxaq. Bu əməliyyatlardan uyğun olaraq aşağıdakı tənliklər alınar:

$$\ddot{x}_1 = -\frac{g}{l}(1 - \sigma)x_1;$$

$$\ddot{x}_2 = -\frac{g}{l}\left[(1 - \sigma) + \frac{2}{3}\sigma\right]x_2 \qquad (8)$$

Burada $X_1 = x_1 + x_2$ və $X_2 = x_1 - x_2$-dir. Alınan (8) tənliklərini harmonik rəqsin tənlikləri ilə müqayisə etsək aşağıdakı bərabərlikləri yaza bilərik:

$$\omega_1^2 = \frac{g}{l}(1 - \sigma);\ \omega_2^2 = \frac{g}{l}\left[(1 - \sigma) + \frac{2}{3}\sigma\right] \qquad (9)$$

Burada ω_1 və ω_2 rəqs edən sistemin normal tezlikləri adlanır.

$$\frac{\omega_2^2}{\omega_1^2} = 1 + \frac{2}{3}\frac{\sigma}{1 - \sigma}$$

və ya

$$\frac{\omega_2^2}{\omega_1^2} = 1 + \frac{2}{3}\frac{ma}{Ml - ma} \qquad (10)$$

Axırıncı (10) münasibəti normal tezliklərin nisbətini sistemin parametrləri vasitəsilə hesablamağa imkan verir. Bu əməliyyata analoji olaraq döyünən rəqslərin tezliyini də həmin parametrlər vasitəsilə ifadə etmək olar.

$$\omega_d = \sqrt{\frac{g(1 - \sigma)}{l}}\left[\sqrt{1 + \frac{2}{3}\frac{\sigma}{1 - \sigma}} - 1\right]$$

və təcrübi nəticəni bu düsturla hesablanmış qiymətlə müqayisədə yoxlamaq olar.

Ölçmələr və hesablamalar

Ölçmələrə başlamazdan əvvəl bifilyar asqının simmetrik yerləşməsinə və rəqqaslar arasında əlaqənin zəif olmasına əmin olmaq lazımdır (blokdan aşırılmış ipin ucuna bağlanmış yük rəqqasların kütləsindən 5-6 dəfə böyük olmalıdır). M dəstəyini sağa və sola 90^0 döndərdikdə K və L müstəviləri üfüqi vəziyyətə gəlməlidir. Bunları yoxladıqdan sonra ölçmələrə başlamaq olar.

Təcrübədə sistemin normal tezliklərini və döyünən rəqsin tezliyini ölçmək lazımdır. Birinci normal tezliyi (yəni rəqqasların eyni fazada rəqslərinə uyğun tezliyi) təyin etmək üçün A dəstəyi vasitəsilə K və L müstəviləri şaquli vəziyyətə gətirilir və rəqqaslar bu müstəvilərdən biri (məsələn, L) üzərinə söykənərək dayanır.

Dəstəyi 90^0 fırlatsaq lövhələr rəqqasları azad edəcək və onlar eyni fazada rəqsə başlayacaqdır. Rəqqasların burulma rəqsləri (rəqqasların kütlələrinin K və L müstəviləri üzərində düzgün yerləşməsindən bu rəqslər əmələ gələ bilər) söndükdən sonra saniyəölçən işə salınır və rəqqaslardan birinin 100 tam rəqsinə sərf olunan müddət qeyd edilir. Rəqqaslar ciddi olaraq eyni fazada rəqs etməlidir. Heç bir fazalar fərqi yaranmamalıdır. Bu təcrübə ən azı üç dəfə təkrar olunur. Sonra rəqqaslar digər müstəvisinin üzərinə yerləşdirilir və təcrübə əvvəlkinə analoji qaydada aparılır. Qeyd edilmiş müddətlərdən eyni fazalı rəqslərin period və tezliyinin $\omega_1 = \frac{2\pi}{T}$ (birinci normal tezlik) orta qiymətləri hesablanır.

İkinci normal tezliyi, yəni əks fazada baş verən rəqslərin tezliyini tapmaq üçün yüklər müxtəlif lövhələrin üzərinə yerləşdirilir. A dəstəyi vasitəsilə lövhələr endirilir və rəqqaslar əks fazada rəqsə başlayır. Yenə də burulma rəqsləri söndükdən sonra saniyəölçən işə salınır və rəqqaslardan birinin

100 tam rəqsinə sərf olunan müddət qeyd edilir. Təcrübə üç dəfədən az olmayaraq təkrar olunur. Sonra yüklərin yerləri dəyişdirilir və təcrübə yenidən üç dəfədən az olmayaraq təkrar aparılır. Tapılmış müddətlərdən ikinci normal rəqsin periodu T_2 və tezliyinin ω_2 orta qiymətləri hesablanır.

Döyünən rəqsləri almaq üçün rəqqaslardan biri lövhələrdən biri üzərinə yerləşdirilir, digəri isə şaquli vəziyyətdə sükunətdə saxlanılır. Meyl etdirilmiş rəqqası azad etdikdə o rəqsə başlayır. Bir müddətdən sonra onun rəqsi tamamilə sönür və əvvəldən sükunətdə olan rəqqas ən böyük amplitudla rəqs edir. Sonra ikinci sönüb birinci rəqs edir və i. Belə döyünmə zamanı hər iki rəqqas aşağıdakı münasibətlə təyin olunan eyni dairəvi tezliklə rəqs edir:

$$\omega = 0{,}5\left(\omega_1 + \omega_2\right)$$

İki ardıcıl sönmə arasında keçən müddət saniyəölçənlə qeyd olunur. Təcrübə ən azı üç dəfə hər iki rəqqas üçün aparılır və döyünən rəqslərin periodu T_d və tezliyinin $\overline{\omega}_d \approx \frac{2\pi}{\overline{T}_d}$ orta qiyməti hesablanır. Döyünən rəqslər zamanı rəqqasın period və tezliyini tapmaq üçün iki ardıcıl sönmə arasında baş verən rəqslərdən 50 tam rəqs üçün sərf olunan zamanı saniyəölçən vasitəsilə qeyd edirlər. Təcrübəni 3 dəfədən az olmayaraq təkrar edib period və tezliyin $\overline{\omega} = \frac{2\pi}{\overline{T}}$ orta qiymətini hesablayırlar. Alınmış qiymətlərdən istifadə edərək ölçmə xətaları daxilində aşağıdakı bərabərliklər yoxlanılır:

$$\overline{\omega} = \frac{\overline{\omega_1} + \overline{\omega_2}}{2}\ ; \ \overline{\omega_d} = \overline{\omega_2} - \overline{\omega_1}$$

$$\left(\frac{\omega_2}{\omega_1}\right)^2 = 1 + \frac{2}{3}\frac{ma}{Ml - ma}$$

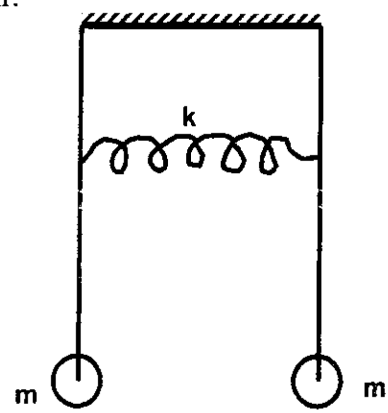
İşin xətası hesablanır.

LABORATORİYA İŞİ №19

ƏLAQƏLİ SİSTEMLƏRİN RƏQSLƏRİNİN ÖYRƏNİLMƏSİ

Ləvazimat: cihaz, saniyəölçən.

Bir-birilə müəyyən vasitə ilə bağlanan iki və daha çox rəqqasdan təşkil olunmuş sistemə əlaqəli sistem deyilir. Şəkil 49-da ən sadə əlaqəli sistem göstərilmişdir. Bu sistem iki eyni rəqqasdan və onları əlaqələndirən K əmsallı yüngül yaydan ibarətdir. O iki sərbəstlik dərəcəsinə malikdir. Rəqqaslar l uzunluqlu çubuqdan və onun üzərinə bağlanmış m kütləli yükdən təşkil olunmuşdur. Çubuqların yuxarı ucu diyircəkli yastıqlarla dayağa bağlanmışdır. Rəqqasları əlaqələndirən yay çubuqlara perpendikulyar olub rəqqasların tarazlıq vəziyyətində deformasiyaya məruz qalmır. Rəqqaslar şaquli müstəvidə dayağa bağlandıqları sərbəst nöqtə ətrafında rəqs edə bilərlər. Diyircəkli yastıqlarda və havada sürtünmə nəzərə alınmır. Çubuqların kütləsi onların uclarına bağlanmış yüklərə nəzərən çox-çox kiçikdir. Ona görə də müəyyən dəqiqliklə həmin rəqqaslara riyazi rəqqas kimi baxmaq olar. Sistem tarazlıq vəziyyətindədirsə, hər bir yükə təsir edən qüvvələrin momenti sıfra bərabərdir.



Şəkil 49.

Əgər rəqqaslardan birini φ_1, digərini φ_2 qədər meyl etdirsək, onda hər bir rəqqasa təsir edən qüvvələrin momenti sıfırdan fərqli olacaq və rəqqaslar bu momentlərin təsirilə tarazlıq vəziyyətinə qayıtmağa çalışacaqlar.

Fırlanma hərəkətinin əsas qanununa görə hər bir rəqqasın hərəkət tənliyi uyğun olaraq aşağıdakı kimi olar:

$$J_1\ddot{\varphi}_1 = -mgl\sin\varphi_1 - k(a\sin\varphi_1 - a\sin\varphi_2)a\cos\varphi_1$$

$$J_2\ddot{\varphi}_2 = -mgl\sin\varphi_2 + k(a\sin\varphi_1 - a\sin\varphi_2)a\cos\varphi_2$$

Rəqqasların meyl bucaqları kiçik olduqda $\sin\varphi_1 \approx \varphi_1$; $\sin\varphi_2 \approx \varphi_2$ və $\cos\varphi_1 \approx \cos\varphi_2 \approx 1$ yazmaq olar. Digər tərəfdən rəqqaslar eyni olduqları üçün $J_1 = J_2 = ml^2$. Yuxarıdakı tənliklərin hər tərəfini ml^2-na bölüb göstərilən şərtləri qəbul etsək, onları aşağıdakı kimi yazmaq olar:

$$\ddot{\varphi}_1 = -\frac{g}{l}\varphi_1 - \frac{k\sigma^2}{ml^2}(\varphi_1 - \varphi_2)$$

$$\ddot{\varphi}_2 = -\frac{g}{l}\varphi_2 - \frac{k\sigma^2}{ml^2}(\varphi_1 - \varphi_2)$$

Alınan tənlikləri tərəf-tərəfə topladıqda

$$\ddot{\alpha}_1 = -\frac{g}{l}\alpha_1 \qquad (1)$$

tərəf-tərəfə çıxdıqda

$$\ddot{\alpha}_2 = -\left(\frac{g}{l} + 2\frac{ka^2}{ml^2}\right)\alpha_2 \qquad (2)$$

alınar. Burada $\alpha_1 = \varphi_1 + \varphi_2$; $\alpha_2 = \varphi_1 - \varphi_2$ (3) qəbul edilmişdir. (1) və (2) tənliklərinin həllini uyğun olaraq aşağıdakı kimi yazmaq olar:

$$\alpha_1 = \alpha_{10}\cos(\omega_1 t + \beta_1) \;;\quad \alpha_2 = \alpha_{10}\cos(\omega_2 t + \beta_2)$$

Burada

$$\omega_1^2 = \frac{g}{l},$$

$$\omega_2^2 = \frac{g}{l} + \frac{2ka^2}{ml^2} \tag{4}$$

Bu ifadələrlə təyin olunmuş tezliklər sistemin normal tezlikləri adlanır. $\alpha_{10}, \alpha_{20}, \beta_1, \beta_2$ isə alınan rəqslərin uyğun olaraq başlanğıc amplitud və fazalarıdır. Onları başlanğıc şərtlərdən tapmaq olar. Baxılan halda başlanğıc şərtlər olaraq ilk anda rəqqasların vəziyyəti və sürəti götürülür. Əgər ilk anda rəqqaslar tarazlıq vəziyyətində şaquli dayanmışlarsa, onda

$$\varphi_1(0) = \varphi_{10} \ ; \quad \varphi_2(0) = \varphi_{20}$$

$$\beta_1 = \beta_2 = 0 \tag{5}$$

Digər tərəfdən (3) əvəzlənməsinə görə

$$\varphi_1 = \frac{\alpha_1 + \alpha_2}{2} \text{ və } \varphi_2 = \frac{\alpha_1 - \alpha_2}{2}$$

olduğundan,

$$\varphi_1(t) = \frac{\alpha_{10}}{2}\cos\omega_1 t + \frac{\alpha_{20}}{2}\cos\omega_2 t$$

$$\varphi_2(t) = \frac{\alpha_{10}}{2}\cos\omega_1 t - \frac{\alpha_{20}}{2}\cos\omega_2 t$$

İlk anda t=0 olduğundan (6) tənliklərindən (5) münasibətlərini nəzərə almaqla α_{10} və α_{20} üçün aşağıdakı ifadələr tapılır.

$$\alpha_{10} = \varphi_{10} + \varphi_{20}; \quad \alpha_{20} = \varphi_{10} - \varphi_{20}$$

Bu ifadələri (6) tənliklərində nəzərə alaraq rəqqasların meyl bucaqlarının zamandan asılılığını aşağıdakı kimi yazmaq olar:

$$\varphi_1(t) = \frac{\varphi_{10} + \varphi_{20}}{2}\cos\omega_1 t + \frac{\varphi_{10} - \varphi_{20}}{2}\cos\omega_2 t$$

$$\varphi_2(t) = \frac{\varphi_{10} + \varphi_{20}}{2}\cos\omega_1 t - \frac{\varphi_{10} - \varphi_{20}}{2}\cos\omega_2 t . \tag{7}$$

Axırıncı tənliklər göstərir ki, hər bir rəqqasın hərəkəti ω_1 və ω_2 tezlikləri ilə baş verən iki rəqsi hərəkətin superpozisiyasından ibarətdir. Ümumiyyətlə, belə halda döyünən rəqslər yaranır. Ancaq rəqqasların başlanğıc meyllərini elə seçmək olar ki, bu rəqslərdən biri və ya digəri əmələ gəlməsin. Doğrudan da, əgər rəqqasların hər ikisini eyni istiqamətdə eyni qədər meyl etdirsək, onda onların başlanğıc şərtləri eyni olacaq, yəni $\varphi_{10} = \varphi_{20} = \varphi_0$ olacaq. Bu şərti (7) tənliklərində nəzərə alsaq:

$$\varphi_1(t) = \varphi_0 \cos\omega_1 t \;\; ; \;\; \varphi_2(t) = \varphi_0 \cos\omega_1 t$$

alınar. Deməli, bu halda hər iki rəqqas eyni fazada yalnız ω_1 tezliyi ilə rəqs edəcəklər və ω_2 tezlikli rəqslər yarışmayacaq. Əgər rəqqasları əks istiqamətdə, lakin ədədi qiymətcə eyni qədər meyl etdirsək, yəni $\varphi_{10} = -\varphi_{20} = \varphi_0$ olarsa, (7) tənliklərindən alarıq:

$$\varphi_1(t) = \varphi_0 \cos\omega_2 t \;\; ; \;\; \varphi_2(t) = \varphi_0 \cos\omega_2 t$$

Bu halda isə rəqqaslar əks fazada, lakin eyni ω_2 tezliyi ilə rəqs edəcəklər, sistemdə ω_1 tezlikli rəqslər əmələ gəlməyəcəkdir.

Baxılan sistemdə döyünən rəqsləri aşkar şəkildə müşahidə etmək üçün ilk onda rəqqaslardan birinin başlanğıc meyli sıfır götürülür.

Tutaq ki,

$$\varphi_1(0) = \varphi_{10}\,; \;\; \varphi_2(0) = \varphi_{20} = 0$$

Bu şərt daxilində (7) tənlikləri aşağıdakı şəklə düşər:

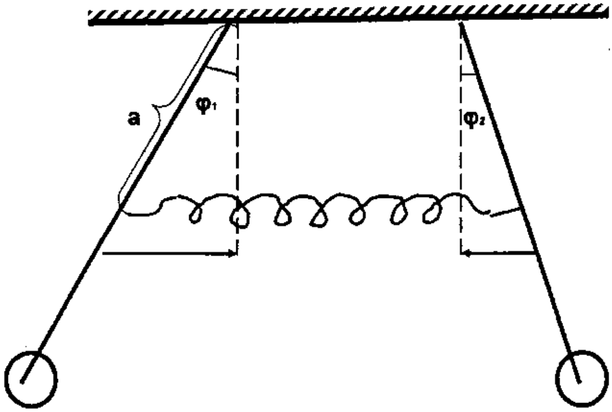
$$\varphi_1(t) = \frac{\varphi_{10}}{2}\cos\omega_1 t + \frac{\varphi_{10}}{2}\cos\omega_2 t$$

$$\varphi_2(t) = \frac{\varphi_{10}}{2}\cos\omega_1 t - \frac{\varphi_{10}}{2}\cos\omega_2 t$$

və ya

$$\varphi_1(t) = \varphi_{10}\cos\frac{\varpi_2 - \omega_1}{2}t \cdot \cos\frac{\omega_2 + \omega_1}{2}t$$

$$\varphi_2(t) = \varphi_{10}\cos\frac{\varpi_2 - \omega_1}{2}t \cdot \sin\frac{\omega_2 + \omega_1}{2}t \qquad (8)$$



Şəkil 50.

Əgər qəbul etsək ki, rəqqaslar arasında əlaqə zəifdir, onda $\omega_2 - \omega_1 \ll \omega_1$ yazmaq olar. Bu isə o deməkdir ki, $\frac{1}{2}(\omega_1 + \omega_2)t$ arqumenti ilə təyin olunan funksiyaya nəzərən $\frac{1}{2}(\omega_2 - \omega_1)t$ arqumenti ilə təyin olunan funksiya çox yavaş dəyişir. Ona görə də (8) tənliklərilə verilən hərəkəti $\bar{\omega} = \frac{1}{2}(\omega_2 + \omega_1)$ tezliyi ilə baş verən rəqs kimi qəbul etmək olar. Ancaq bu rəqsin amplitudu onun tezliyinə nəzərən çox kiçik tezliklə dəyişir. İlk anda (t=0) birinci rəqqas ən böyük amplitudaya malikdir. 2-ci rəqqas isə sükunətdədir. Zaman keçdikcə rəqqasın rəqsləri görünməyə başlayır və $\frac{\tau}{2} = \frac{\pi}{\omega_2 - \omega_1}$ müddətdən sonra maksimuma (φ_{10}) çatır. Bu anda isə birinci rəqqasın rəqsləri tamamilə sönür. $\tau = \frac{2\pi}{\omega_2 - \omega_1}$ müddətdən sonra 2-ci rəqqasın rəqsləri tamamilə sönür və birinci rəqqas maksimum amplitudla rəqs edir və s. Bu müddətə $\left(\tau = \dfrac{2\pi}{\omega_2 - \omega_1}\right)$ münasibətilə təyin olunan, yəni rəqqaslardan birinin iki ardıcıl sönməsi arasında keçən müddətə döyünmə rəqslərinin periodu deyilir. Aydındır ki, döyünmə tezliyi normal tezliklərin fərqi ilə təyin olunacaqdır:

$$\omega_d = \omega_2 - \omega_1 .$$

Cihazın təsviri

Yuxarıda qeyd edildiyi kimi cihaz iki eyni rəqqasdan və onları əlaqələndirən yüngül yaydan ibarətdir. Rəqqaslardan aşağıda üfüqi vəziyyətdə platforma yerləşdirilmişdir. Platforma üzərində rəqqaslardan bərabər məsafədə yerləşən şaquli oxa nəzərən simmetrik lövhə şəkilli dörd dayaq bərkidilmişdir. Dayaqlar rəqqasları müəyyən vəziyyətdə saxlamaq üçündür. Platforma qarmaq vasitəsilə üfüqi vəziyyətdə saxlanır. Qarmağı çəkdikdə platforma OO oxu ətrafında fırlanaraq aşağı düşür. Beləliklə, rəqqaslar dayaqlardan azad olurlar və hərəkətə başlayırlar. Rəqqaslardan uyğun olaraq 1-3 və ya 2-4 dayaqları vasitəsilə ilk vəziyyətləri təyin olunmuşsa, onlar dayaqlardan azad olduqda eyni fazada rəqs edəcəklər. Əgər rəqqasların ilk vəziyyəti 2-3 və ya 1-4 dayaqları vasitəsilə qeyd olunmuşsa, onlar dayaqlardan azad olduqda əks fazada rəqs edəcəklər. Əgər rəqqaslardan birini tarazlıq vəziyyətində saxlayıb, digərini rəqs etdirsək (məsələn, sağdakı rəqqası 4 dayağı vasitəsilə saxlayıb, sonra onu dayaqdan azad etsək) bir müddətdən sonra sükunətdə olan rəqqas rəqs etməyə başlayacaq və elə bir an gəlib çatacaqdır ki, əvvəlcədən rəqs edən rəqqas tamamilə dayanacaq, sükunətdə olan rəqqas isə maksimum amplitudla rəqs edəcəkdir. Beləliklə, döyünmə müşahidə olunacaqdır.

Ölçmələr

Ölçmələrə başlamazdan əvvəl rəqqasların kütlə mərkəzlərinin seçilmiş səviyyədən eyni hündürlükdə olduqlarına əmin olmaq lazımdır. Platformanı azad etmək üçün qarmağı çəkdikdə sistemdə heç bir titrəyiş və ya sirkələnmələr yaranmamalıdır.

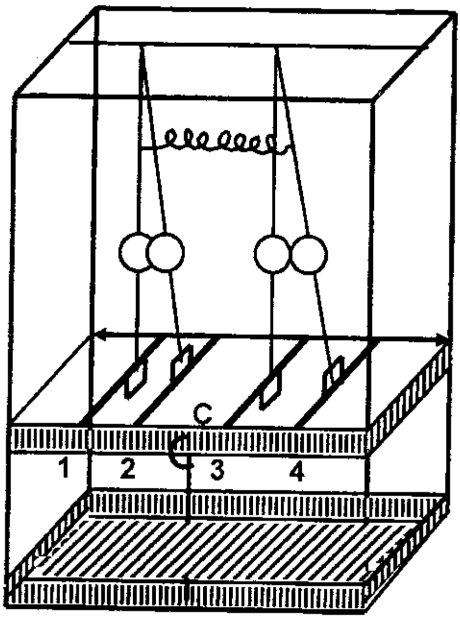
İşdə ölçmələr rəqslərin periodunu ölçməkdən ibarətdir. Eyni fazada baş verən rəqslərin periodunu-T_1 ölçmək üçün platformanın üfüqi vəziyyətində rəqqasları 1-3 dayaqlarına söykəmək lazımdır. Sonra qarmaq vasitəsilə platforma azad edilir və saniyəölçən işə salınır. 50 tam rəqsə sərf olunan müddət qeyd edilir. Bu ölçmə ən azı üç dəfə təkrar olunur. Bu ölçmələr 2-4 dayaqları üçün də ən azı üç dəfə təkrar olunur. Bu ölçmələrdən eyni fazalı rəqslərin periodunun və tezliyinin $\left(\overline{T_1}, \overline{\omega_1}\right)$ orta qiyməti tapılır.

Əks fazada yaranan rəqslərin periodunu-T_2 tapmaq üçün rəqqaslar 1-4 dayaqlarına söykənir. Rəqqasları azad etdikdə saniyəölçən işə salınır. 50 tam rəqs üçün keçən müddət qeyd edilir. Təcrübə ən azı üç dəfə təkrar olunur. Bu prosesi 2-3 dayaqları halında da aparırlar və nəticədə əks fazalı rəqslərin periodunun $\left(\overline{T_2}\right)$ və tezliyinin $\left(\overline{\omega_2}\right)$ orta qiyməti hesablanır.

Döyünən rəqslərin periodunu tapmaq üçün rəqqaslardan biri (məsələn, soldakı) tarazlıq vəziyyətində saxlanılır, digəri 4 dayağına söykənir. Rəqqası azad etməklə saniyəölçən işə salınır. Vaxt keçdikcə soldakı rəqqas rəqs etməyə başlayacaq və nəhayət amplitudu maksimum qiymətə çatacaqdır. Bu anda sağdakı rəqqas dayanacaqdır. Bir müddətdən sonra soldakı rəqqasın rəqsləri tam sönəcək, sağdakı rəqqas maksimum amplitudla rəqs edəcəkdir. Bu anda saniyəölçən dayandırılır. Saniyəölçənin göstərişi ədədi qiymətcə döyünmə perioduna bərabər olcaqdır. Həmin təcrübəni müxtəlif rəqqasların müxtəlif dayaqlar vasitəsilə qeyd olunmuş hallarında aparmaq lazımdır. Hər bir hal üçün ölçmələr ən azı üç dəfə təkrar olunur və alınan nəticələrdən döyünmə rəqslərinin periodunun $\left(\overline{T_d}\right)$ və tezliyinin $\left(\overline{\omega_d}\right)$ orta qiyməti hesablanır.

Döyünmə rəqsləri zamanı rəqqasın öz rəqslərinin periodu onun iki ardıcıl sönməsi arasındakı rəqslərdən tapılır. Ən azı

20 rəqs üçün sərf olunan müddət üç dəfədən az olmayaraq ölçülür və rəqqasın periodunun $(\overline{T})$ tezliyinin $(\overline{\omega})$ orta qiyməti hesablanır.



Şəkil 51.

Alınmış təcrübi nəticələr əsasında aşağıdakı düsturlar (təcrübədə edilmiş xətalar daxilində) yoxlanılır:

$$\overline{\omega_d} = \overline{\omega_2} - \overline{\omega_1}$$

$$2\omega = \overline{\omega_1} + \overline{\omega_2}$$

$$\omega_2^2 - \omega_1^2 = 2\frac{ka^2}{ml^2}$$

Sistemin parametrləri olan k, a, m, l-in ədədi qiymətləri məlum götürülür.

İşin xətası hesablanır.

MÜNDƏRİCAT