

*Гродзенскі дзяржаўны ўніверсітэт імя Янкі Купалы
Кафедра агульнай фізікі
Лабараторыя механікі
ауд. 408*

Лабараторная работа №6

ВЫВУЧЭННЕ ТРЭННЯ КАЧАННЯ

для студэнтаў спецыяльнасці “ФІЗІКА”

Гродна, 2010

ВЫВУЧЭННЕ ТРЭННЯ КАЧАННЯ

Мэта работы:

Вывучэнне трэння качання. Доследнае вызначэнне каэфіцыента трэння качання.

Прылады і абсталяванне:

Прылада для вызначэння каэфіцыента трэння качання, дзве пары розных пласцін (пластыкавыя і металічныя), штангенцыркуль.

Тэарэтычныя асновы

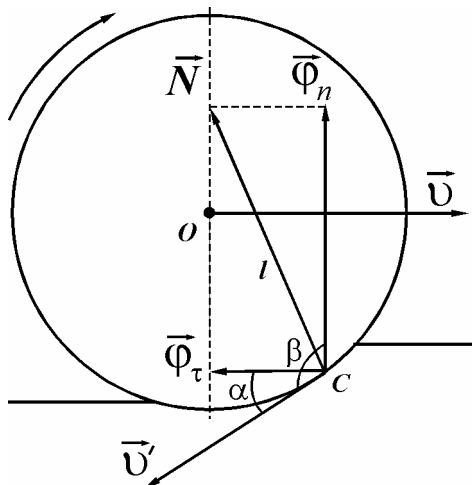
Доследы сведчаць пра наяўнасць сіл супраціўлення, якія дзейнічаюць на цэлы пры іх качанні па паверхні іншых целаў.

Так, напрыклад, пры качанні цыліндрычнага цела па плоскай гарызантальнай паверхні, калі яно прадстаўлена самому сабе, з цягам часу паступова запавольваецца як яго паступальны рух, так і вярчальны вакол сваёй восі. Качанне целаў запавольваецца, дзякуючы дзеянню на іх сіл з боку паверхні. Калі маецца чыстае качанне, то праслізгвання няма, а, значыць, гаворкі пра сілу трэння слізгання быць не можа.

Паколькі пры качанні цыліндра з цягам часу памяншаецца скорасць яго паступальнага руху, то на цела павінна ў такім выпадку дзейнічаць нейкая сіла F_{τ} , накіраваная супрацьлегла скорасці паступальнага руху (Мал. 1.).

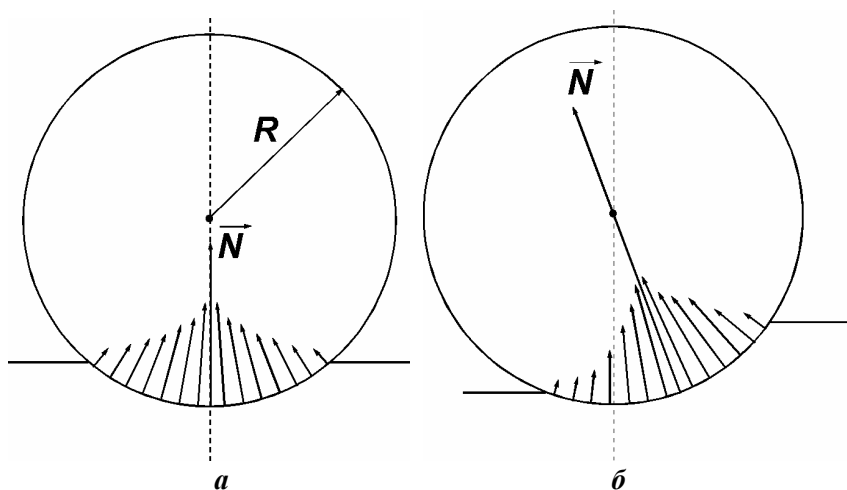
Гэтая сіла павінна была б павялічваць пры гэтым велічыню лінейнай скорасці вярчэння цыліндра вакол сваёй восі, таму што яна кіраваная пад вуглом α да вектара лінейнай скорасці \vec{v}' у пункце яе прыкладання C . Такім чынам, дзеянне сілы F_{τ} праяўляецца ў адначасовым памяншэнні скорасці паступальнага руху цыліндра v і ва ўзрастанні лінейнай скорасці пунктаў пры вярчальным руху v' , што непазбежна павінна было выклікаць слізганне цыліндра па плоскасці. Аднак на самой справе слізгання не ўзнікае, таму што разам з памяншэннем скорасці паступальнага руху цыліндра адпаведна змяншаецца скорасць яго вярчэння. Такое можа адбывацца толькі пры ўмове, што акрамя сілы F_{τ} на

цыліндр дзейнічае сіла $\vec{\Phi}_n$, накіраваная перпендыкулярна да скорасці яго паступальнага руху. Для гэтага неабходна, каб сіла $\vec{\Phi}_n$, маючы дастатковую велічыню, была накіравана пад тупым вуглом β да велічыні лінейнай скорасці вярчэння \vec{v}' у пункце яе прыкладання. Такое можна назіраць толькі пры ўмове знаходжання пункта прыкладання C сілы $\vec{\Phi}_n$ спераду вертыкальнага дыяметра цыліндра.



Мал. 1. Сілы, прыкладзеныя да цыліндра падчас качання.

Сілы $\vec{\Phi}_\tau$ і $\vec{\Phi}_n$, якія дзейнічаюць на цыліндр, з'яўляюцца складаючымі сіламі рэакцыі $\vec{N} = \vec{\Phi}_\tau + \vec{\Phi}_n$ з боку паверхні, па якой адбываецца качанне. Паверхня пры гэтым пад дзеяннем сіл ціску паспытвае дэфармацыі, несіметрычныя адносна вертыкальнай плоскасці, якая праходзіць праз вось цыліндра. Калі б дэфармацыя паверхні была сіметрычнай адносна дадзенай паверхні, то сілы f і f' , якія дзейнічаюць на цыліндр з боку яе сіметрычных элементаў, таксама былі б сіметрычнымі адносна дадзенай плоскасці, паколькі вызначаюцца велічыняй дэфармацыі (Мал. 2а).



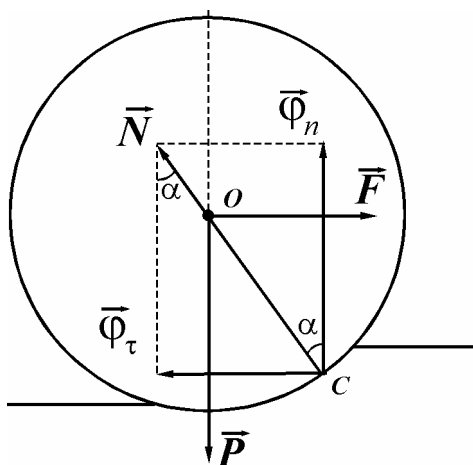
Мал. 2. Выгляд сіл рэакцыі, якія дзейнічаюць з боку паверхні на цыліндр.

Тады выніковая сіла рэакцыі, якая дзейнічае на цыліндр як геаметрычная сума папарна сіметрычных сіл, мела б пункт прыкладання на вертыкальным дыяметры цыліндра і была б скіраваная праз вось цыліндра. У такім выпадку не можа ўзнікнуць ні гарызантальнай, ні вертыкальнай складаючай сілы рэакцыі.

Калі ж дэфармацыя паверхні, на якой адбываецца качанне, несіметрычна адносна ўказанай плоскасці (напрыклад, мае месца астаткавая дэфармацыя), то несіметрычнымі акажуцца і элементарныя сілы рэакцыі, якія дзейнічаюць на цыліндр (Мал. 2б), якія вызначаюцца велічынёй дэфармацыі.

Сілы рэакцыі, якія дзейнічаюць з боку элементаў паверхні, па якой адбываецца качанне, якія знаходзяцца спераду дадзенай плоскасці і скіраваныя пад вуглом супраць напрамку паступальнага руху, будуць па велічыні больш сіл, якія дзейнічаюць пад вуглом у напрамку паступальнага руху з боку элементаў паверхні, якія знаходзяцца ззаду ад гэтай плоскасці. Выніковая сіла будзе прыкладзенай спераду ад вертыкальнага дыяметра і будзе скіраваная пад вуглом супраць напрамку руху. У гэтым выпадку

яна будзе мець гарызонтальную складаючую φ_τ , якая запавольвае паступальны рух цыліндра. Вертыкальная складаючая φ_n будзе памяншаць лінейную скорасць вярчэння цыліндра, што магчыма пры ўмове праходжання лініі дзеяння выніковай сілы \vec{N} вышэй восі цыліндра (толькі ў гэтым выпадку вугал паміж сілай \vec{N} і вектарам лінейнай скорасці вярчэння \vec{v}' будзе тупым). Адным з доследных метадаў вызначэння сілы трэння качання φ_τ складаецца ў тым, што даследуемае цыліндрычнае цела масы m прыводзіцца ў стан качання па дадзенай гарызонтальнай паверхні з дапамогай сілы F , якая прыкладаецца да восі цела і можа быць непасрэдна вымеранай (малюнак 3).



Мал. 3. Да разліку каэфіцыента трэння качання

Велічыня гэтай сілы падбіраецца такой, каб качанне адбывалася раўнамерна, гэта значыць каб скорасць паступальнага руху восі цыліндра, а таксама скорасць яго вярчэння вакол сваёй восі заставаліся пастаяннымі. Тады напрамкі сілы рэакцыі плоскай паверхні \vec{N} , сілы цяжару, знешняй сілы павінны праходзіць праз вось цыліндра (толькі ў такім выпадку вуглавая скорасць вярчэння

цыліндра акажацца пастаяннай). Паколькі скорасць руху восі пастаянна, то

$$\varphi_{\tau} = N \sin \alpha = F, \quad (1)$$

гэта значыць знешняя сіла F і сіла трэння качання φ_{τ} павінны ўзаемна ўраўнаважвацца.

Акрамя гэтага, ураўнаважваюцца і вертыкальна накіраваныя сілы:

$$\varphi_n = N \cos \alpha = P. \quad (2)$$

Калі дэфармацыі, якія ўзніклі пры качанні, дастаткова малыя, то адлегласць S ад вертыкальнага дыяметра цыліндра да пункта прыкладання C сілы \vec{N} будзе вельмі малой у параўнанні з радыусам цыліндра R . Тады вугал α паміж вертыкальным дыяметрам цыліндра і напрамкам сілы \vec{N} будзе вельмі малым так, што можна лічыць $\cos \alpha = 1$; $\sin \alpha \approx \alpha \approx S/R$. Таму,

$$\varphi_n = N \cos \alpha = N = P,$$

а сіла трэння качання

$$\varphi_{\tau} = N \sin \alpha \approx P\alpha = SP/R = F. \quad (3)$$

Такім чынам, сіла трэння качання па велічыні прама прапарцыянальна сіле P , з якой цела цісне на паверхню іншага цела (у дадзеным выпадку гэтая сіла роўна вазе цела), і адваротна прапарцыянальна радыусу R цела, якое коціцца. Каэфіцыентам прапарцыянальнасці з'яўляецца велічыня $S \ll R$, якая называецца каэфіцыентам трэння качання, і пазначаецца $S = k$.

Каэфіцыент трэння качання з'яўляецца размернай велічынёй, якая мае размернаць даўжыні. З (3) атрымаем $[k] \frac{[P]}{[R]} = [F]$, адкуль

$$[k] = [R] = L.$$

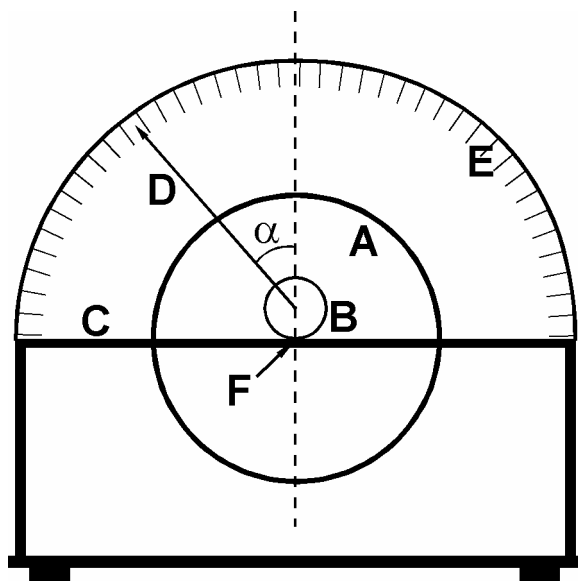
Сапраўды, велічыня $S = k$ ёсць адлегласць ад вертыкальнага дыяметра цела, якое коціцца, да пункта прыкладання сілы рэакцыі \vec{N} , гэта значыць яна павінна мець размернасць даўжыні. Неабходна пры гэтым заўважыць, што каэфіцыент трэння слізгання з'яўляецца безразмернай велічынёй. Звычайна для двух дадзеных цел каэфіцыент трэння качання k і слізгання μ звязаны няроўнасцю:

$$\frac{k}{R} \ll \mu. \quad (4)$$

Сіла трэння качання для двух цел па велічыні вельмі малая ў параўнанні з сілай трэння слізгання, якая дзейнічае паміж імі. Добра вядома, што для качання цыліндрычнага цела па плоскай паверхні патрабуецца прыкладаць нашмат меншую сілу, чым у выпадку яго слізгання па той жа паверхні.

Доследная прылада

Асноўнымі часткамі выкарыстоўваемай прылады (малюнак 4) з'яўляюцца дыск A , цыліндр B . Цыліндр коціцца па плоскай паверхні C . Стрэлка D вызначае вугал адхілення сістэмы па шкале E (у градусах). Цэнтр мас сістэмы не супадае з імгненнай воссю вярчэння (пункты датыкання цыліндра з паверхняй F).



Мал. 4. Знешні выгляд прылады па вызначэнні каэфіцыента трэння качання

Такім чынам, рухомая частка прылады можа быць трактуемая як маятнік. Пры адхіленні яго ад стану раўнавагі, назіраюцца затухаючыя ваганні (змяншэнне амплітуды ваганняў). Вось цыліндра пры гэтым рухаецца паступальна, сам цыліндр (разам з дыскам) варочаецца вакол сваёй восі.

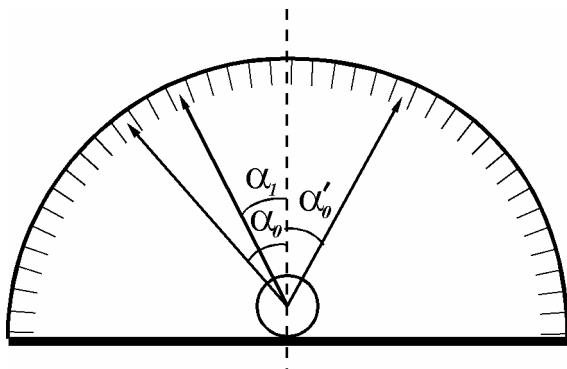
Змяншэнне вугла адхілення за пэўную колькасць перыядаў дае магчымасць вылічыць каэфіцыент трэння качання.

Тэорыя метаду

Скарыстаемся законам захавання энергіі. Пры першапачатковым адхіленні маятніка на вугал α_0 (малюнак 5) яго патэнцыяльная энергія можа быць прадстаўлена ў выглядзе:

$$E_0 = Ph_0 = Pl(1 - \cos \alpha_0) = 2Pl \sin^2(\alpha_0/2), \quad (5)$$

дзе h_0 – перамяшчэнне па вертыкалі цэнтра мас маятніка (малюнак 6), P – вага маятніка, l – адлегласць ад цэнтра мас маятніка да імгненнай восі вярчэння.



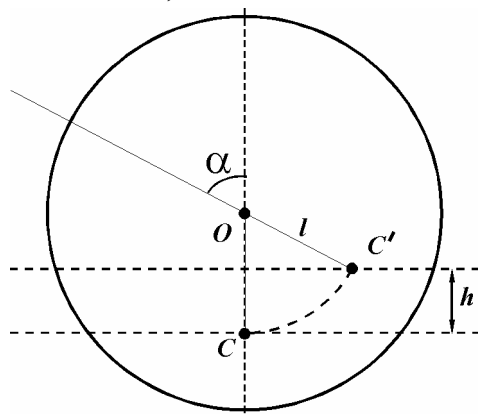
Мал. 5. Да разліку каэфіцыента трэння качання

Праз адзін поўны перыяд ваганняў

$$E = Ph = Pl(1 - \cos \alpha_1) = 2Pl \sin^2(\alpha_1/2), \quad (6)$$

дзе α_1 – вугал адхілення маятніка праз адзін поўны перыяд ваганняў. Тады рознасць паміж пачатковай і канчатковай энергіямі:

$$\Delta E = 2Pl \left(\sin^2 \frac{\alpha_0}{2} - \sin^2 \frac{\alpha_1}{2} \right). \quad (7)$$



Мал. 6. Да разліку каэфіцыента трэння качання

Пры малых вуглах ($\alpha \leq 10^\circ$) $\sin \alpha \approx \alpha$, таму (7) можна запісаць у выглядзе:

$$\Delta E = \frac{1}{2} Pl (\alpha_0^2 - \alpha_1^2). \quad (8)$$

Гэта змяншэнне энергіі выклікана работай супраць сіл трэння качання. Калі не ўлічваць сілы супраціўлення паветра, то гэту работу можна вызначыць як

$$A = Pk(\alpha_0 + \alpha'_0 + \alpha'_0 + \alpha_1), \quad (9)$$

дзе k – каэфіцыент трэння качання, які не залежыць ад скорасці руху, α'_0 – вугал адхілення пасля аднаго паўперыяду (малюнак 5).

Выключым α'_0 з (9). Няхай $\Delta\alpha$ – змяншэнне вугла адхілення за адзін паўперыяд. Будзем лічыць $\Delta\alpha = \text{const}$. Тады

$$\alpha'_0 = \alpha_0 - \Delta\alpha, \quad \alpha_1 = \alpha'_0 - \Delta\alpha. \quad (10)$$

З суадносін (9) і (10) атрымаем:

$$A = 2Pk(\alpha_0 + \alpha_1). \quad (11)$$

Прыраўняем (8) і (11), атрымаем

$$k = \frac{l}{4} (\alpha_0 - \alpha_1).$$

Для n поўных перыядаў ваганняў канчаткова маем:

$$k = \frac{l}{4} \frac{\alpha_0 - \alpha_n}{n}. \quad (12)$$

Парадак выканання работы:

1. Штангенцыркулем вызначце адлегласць ад цэнтра мас маятніка да імгненнай восі вярчэння l (радыус цыліндра).
2. Размясціце маятнік на выбраных пласцінах нерухомай стойкі так, каб назіралася чыстае (без трэння аб іншыя дэталі прылады) качанне.
3. Задайце пачатковы α_0 ($\alpha_0 \leq 10^\circ$) і канчатковы α_n вуглы адхілення маятніка.
4. Падлічыце колькасць поўных ваганняў n маятніка, адхіляючы па тры разы ўлева і ўправа, пры змяненні амплітуды ваганняў з α_0 да α_n .
5. Вылічыўшы сярэдняе арыфметычнае $\langle n \rangle$, знайдзіце велічыню сярэдняга каэфіцыента трэння качання па (12).
6. Паўтарыце пункты 4-5, задаўшы яшчэ два розныя вуглы α_n .
7. Задайце большы пачатковы вугал α_0 ($\alpha_0 \geq 10^\circ$) і адвольны канчатковы α_n вуглы адхілення маятніка.
8. Падлічыце аналагічна папярэдняму заданню колькасць поўных ваганняў n маятніка.
9. Падлічыце сярэдні каэфіцыент трэння качання для дадзеных умоў.
10. Ацаніце хібнасць вызначэння каэфіцыента трэння качання пры выкарыстанні (12) для вуглоў $\alpha_0 \geq 10^\circ$.
11. Замяніце пласціны, паўтарыце пункты 3-10.
12. Ацаніце хібнасці вымярэнняў. Зрабіце высновы.

Пытанні для самакантролю:

1. Ахарактарызуйце сухое і вадкае трэнне.
2. У чым прычыны ўзнікнення сіл трэння?
3. Патлумачце механізмы ўтварэння сіл трэння спакою і слізгання. Прывядзіце прыклады.
4. Растлумачце ўзнікненне сілы трэння качання.
5. Вызначце фізічны сэнс каэфіцыента трэння качання. Якімі фактарамі абумоўліваецца яго значэнне?