

*Гродзенскі дзяржаўны ўніверсітэт імя Янкі Купалы
Кафедра агульнай фізікі
Лабараторыя механікі
ауд. 409*

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 з дапамогай нахіленага маятніка.

Прылады і абсталяванне:

Прылада для вызначэння каэфіцыента трэння качання (нахілены маятнік), розныя пласціны, штангенцыркуль.

Тэарэтычныя асновы

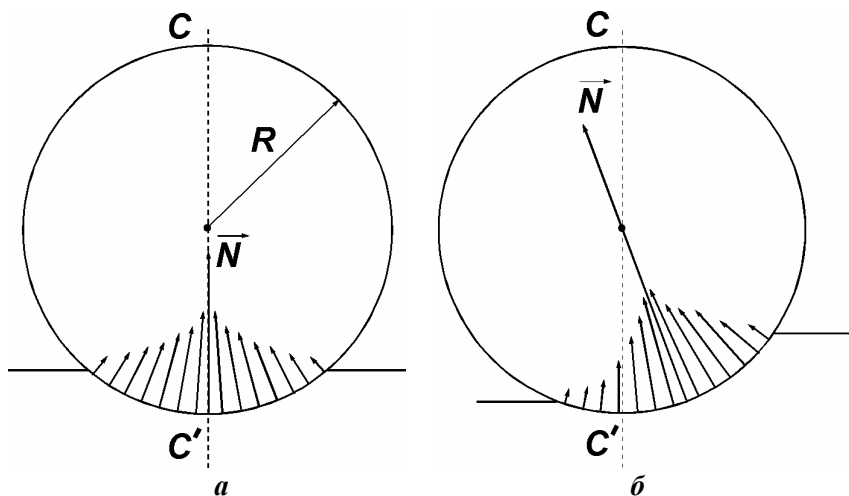
Ва ўсіх механічных сістэмах пры руху ўзнікаюць сілы трэння. Пры гэтым частка механічнай энергіі пераўтвараецца ў цяпло.

Пры качанні цыліндра ці шара па плоскасці могуць узнікаць тры тыпы трэння: слізганне, счапленне і качанне (заканамернасць узнікнення сіл трэння для цыліндра і для шара – аднолькавая).

Сіла трэння слізгання ўзнікае пры праслізгванні цыліндра па плоскасці качання. Калі праслізгвання цыліндра няма, то і сілы трэння слізгання адсутнічаюць.

Сілы трэння счаплення ўзнікаюць паміж пунктамі цыліндра і плоскасці, якія знаходзяцца ў спакоі адносна адзін аднаго, тады, калі на цыліндр дзейнічае момант знешніх сіл, які імкнецца павярнуць цыліндр адносна яго восі. Сіла трэння счаплення, як і сіла трэння спакою, не перавышае некаторай велічыні. Дзякуючы сіле трэння счаплення адбываецца рух колавага транспарту.

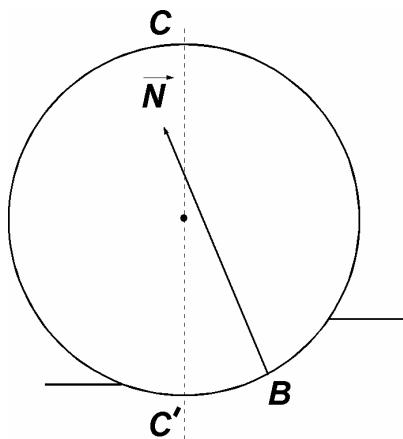
Сіла трэння качання выклікаецца няпругкімі дэфармацыямі цыліндра і плоскасці ў пунктах іх датыкання падчас руху (качання) цыліндра. Пры пругкіх дэфармацыях сіла трэння качання ўзнікнуць не можа. Гэта тлумачыцца сіметрычнасцю сіл рэакцыі апоры (малюнак 1а) адносна вертыкальнай плоскасці CC' , якая праходзіць праз вось цыліндра. Выніковая сіла рэакцыі апоры \vec{N} накіравана вертыкальна ўверх і праходзіць праз вось цыліндра. Момант такой сілы адносна восі цыліндра роўны нулю і таму не можа выклікаць тармажэння. Пры наяўнасці няпругкіх дэфармацый сіметрычнасць сіл рэакцыі апоры парушаецца (малюнак 1б).



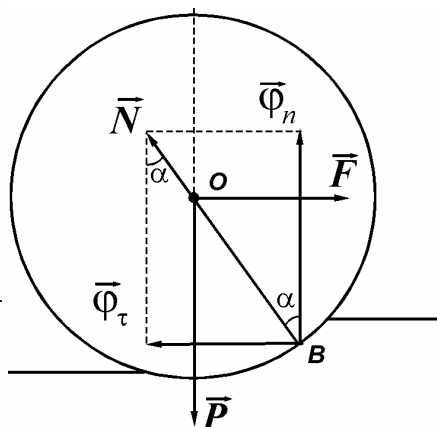
Мал. 1. Вигляд сіл реакції, якія дзейнічаюць з боку паверхні на цыліндр

У гэтым выпадку выніковая сіл рэакцыі апоры \vec{N} не будзе вертыкальнай (малюнак 1б). Момент гэтай сілы адносна восі цыліндра не роўны нулю і павінен выклікаць тармажэнне. Для гэтага сіла павінна быць нахілена ў бок, процілеглы напрамку руху, пункт яе прыкладання B знаходзіцца наперадзе вертыкальнай плоскасці CC' , а лінія яе дзеяння праходзіць вышэй восі цыліндра (малюнак 2). Гарызантальная складаючая сілы \vec{N} (малюнак 3) з'яўляецца сілай трэння качання $\vec{\varphi}_\tau$, а вертыкальная складаючая $\vec{\varphi}_n$ з'яўляецца сілай нармальнай рэакцыі апоры.

Калі да цыліндра прыкладзі знешнюю сілу \vec{F} такой велічыні, што пад яе ўздзеяннем цыліндр будзе каціцца раўнамерна, то сіла \vec{N} павінна праходзіць праз вось цыліндра. У гэтым выпадку выніковы момант сіл, дзеючых на цыліндр, павінен быць роўным нулю. Таму момант сілы трэння качання $\vec{\varphi}_\tau$ (малюнак 3) адносна пункта O раўняецца моманту нармальнай сілы рэакцыі апоры $\vec{\varphi}_n$ адносна таго ж пункта:



Мал. 2. Выніковая сіла рэакцыі паверхні пры няпругкіх дэфармацыях



Мал. 3. Складаючыя сілы рэакцыі паверхні пры няпругкіх дэфармацыях

$$[\vec{r}, \vec{\varphi}_\tau] + [\vec{k}, \vec{\varphi}_n] = 0, \quad (1)$$

або ў алгебраічным выглядзе:

$$r\varphi_\tau = k\varphi_n, \quad (2)$$

дзе r – радыус цыліндра, k – плячо сілы $\vec{\varphi}_n$. Тады

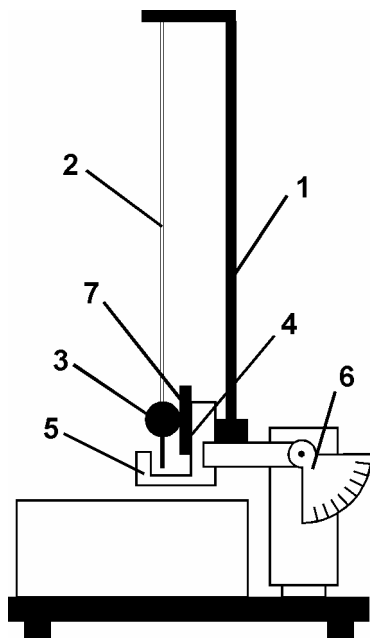
$$\varphi_\tau = k\varphi_n / r. \quad (3)$$

Модуль сілы нармальнай рэакцыі апоры роўны модулю сілы ціску. Такім чынам, сіла трэння качання прама прапарцыянальна сіле ціску і адваротна прапарцыянальна радыусу цыліндра. Велічыня k , якая мае размернасць адлегласці, называецца каэфіцыентам трэння качання. Лікава ён роўны адлегласці ад вертыкальнага дыяметра цыліндра да пункту, у якім прыкладзена сіла рэакцыі апоры. Каэфіцыент трэння качання залежыць ад матэрыялаў цыліндра і плоскасці.

Доследная прылада

Прылада “нахілены маятнік” прадстаўлена на малюнку 6. Ён складаецца з вертыкальнай стойкі 1 і прымацаванай да яе ніці 2 са зменнымі шарамі 3, зробленымі з розных матэрыялаў. Маюцца

таксама даследуемыя ўзоры ў выглядзе прамавугольных пласцінак 4, зробленых з тых жа матэрыялаў.



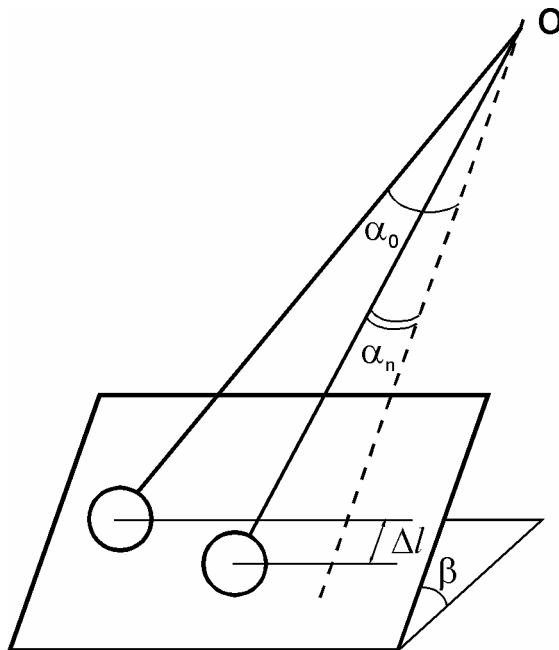
Мал. 6. Схема прылады “нахілены маятнік”

Для адліку колькасці перыядаў у прыладзе маецца фотаэлектрычны датчык 5. Каб змяніць вугал нахілу маятніка, маецца механізм з ручкай і шкалай 6. Устаноўлены вугал нахілу можна фіксаваць спецыяльнай шрубай. Для адліку велічыні амплітуды ваганняў маятніка ў прыладзе маецца шкала 7 (у градусах).

Тэорыя метаду

Шарык, падвешаны на ніці, апіраецца на нахіленую плоскасць, вугал нахілу якой β можна змяняць (малюнак 7). Калі вывесці шарык са становішча раўнавагі, то ён пачне рухацца па плоскасці,

прычым гэты рух будзе ўяўляць сабой затухаючыя ваганні. З малюнка 8 відаць, што сіла рэакцыі пласцінкі:



Мал. 7. Схематычны выгляд прылады для вызначэння каэфіцыента трэння качання

$$N = mg \cos \beta, \quad (4)$$

дзе m – маса шарыка.

Выраз для падліку каэфіцыента трэння качання можна атрымаць, выкарыстаўшы сувязь паміж работай і энергіяй. Змяненне патэнцыяльнай энергіі U роўна рабоце сіл трэння качання:

$$\Delta U = A. \quad (5)$$

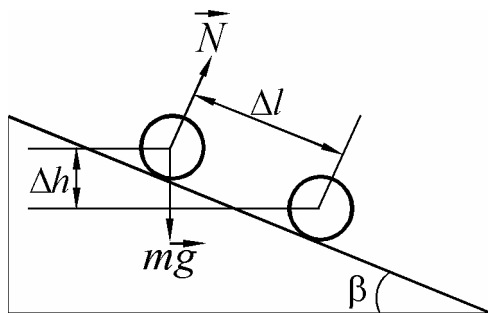
Увядзём пазначэнні: L – даўжыня маятніка, R – радыус шарыка, α_0 – вугал адхілення маятніка ў пачатковы момант, α_n – вугал адхілення маятніка пасля n ваганняў, $\langle \alpha \rangle$ – сярэдні вугал

адхілення маятніка, Δh – змяненне вышыні цэнтру цяжару шарыка, S – шлях, пройдзены шарыкам за n ваганняў.

Работа сілы трэння качання вызначаецца выразам:

$$A = -F_{mp} \cdot S,$$

$$\text{дзе } F_{mp} = \frac{kN}{R}, \quad S = 4nL\langle\alpha\rangle, \quad \langle\alpha\rangle = (\alpha_0 + \alpha_n)/2.$$



Мал. 8. Да разліку каэфіцыента трэння качання

Пасля падстаноўкі канчаткова атрымаем:

$$A = -2kNnL(\alpha_0 + \alpha_n)/R. \quad (6)$$

За n перыядаў патэнцыяльная энергія зменшыцца на велічыню:

$$\Delta U = mg\Delta h,$$

$$\text{дзе } \Delta h = -\Delta l \sin \beta, \quad \Delta l = L(\cos \alpha_n - \cos \alpha_0).$$

Для малых вуглоў $\cos x \approx 1 - x^2/2 + \dots$ З улікам гэтага канчаткова атрымаем выраз для змянення патэнцыяльнай энергіі:

$$\Delta U = \frac{-mgL(\alpha_0^2 - \alpha_n^2)\sin \beta}{2} \quad (7)$$

Падставіўшы (6), (7) і (4) ў выраз (5), атрымаем выраз для разліку каэфіцыента трэння качання:

$$k = \frac{(\alpha_0 - \alpha_n)R \cdot \operatorname{tg} \beta}{4n}, \quad (8)$$

дзе вуглы α_0 і α_n выражаны ў радыянах.

Парадак выканання работы:

1. Усталюйце ніць маятніка супраць нулявога дзялення шкалы 7.
2. Усталюйце даследуемы ўзор шара 3.
3. З дапамогай прыстасавання 6 усталюйце вугал нахілу маятніка β роўным 30° .
4. Адхіліце маятнік ад становішча раўнавагі на вугал α_0 і адпусціце.
5. Падлічыце колькасць поўных ваганняў маятніка (Вуглы α_0 і α_n задаюцца выкладчыкам або лабарантам).
6. Паўтарыце вымярэнні 5 разоў.
7. Вымерайце радыус шарыка 5 разоў па розных дыяметрах.
8. Разлічыце каэфіцыент трэння качання па выразе (8).
9. Правядзіце вымярэнні для вуглоў $\beta = 45^\circ$ і $\beta = 60^\circ$.
10. Пункты 1-9 паўтарыце для іншых узораў шароў (або паверхняў качання, удакладніўшы ў выкладчыка або лабаранта).
11. Ацаніце хібнасці вымярэнняў.

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?