

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

Лабараторная работа №16

ВЫВУЧЭННЕ РУХУ МАЯТНІКА МАКСВЭЛА

для студэнтаў спецыяльнасці “ФІЗІКА”

Гродна, 2010

ВЫВУЧЭННЕ РУХУ МАЯТНІКА МАКСВЭЛА

Мэта работы:

Азнямленне з плоскапаралельным рухам цвёрдага цела на прыкладзе руху маятніка Максвэла. Доследнае вызначэнне сілы нацяжэння ніці пры руху маятніка і рыўку, моманту інерцыі маятніка Максвэла.

Прылады і абсталяванне:

Маятнік Максвэла, прылада з аўтаматычным секундамерам, штангенцыркуль, лінейка.

Тэарэтычныя асновы

Цвёрдае цела (абсалютна цвёрдае цела) – цела, адлегласць паміж часцінкамі якога не змяняецца (нязменная сістэма матэрыяльных пунктаў).

Паступальны рух цвёрдага цела – рух, пры якім любая простая, праведзеная праз цела, застаецца паралельнай самой сабе.

*Усе пункты цвёрдага цела пры паступальным руху апісваюць аднолькавыя траекторыі, якія зрушаны адна адносна адной, маюць аднолькавыя скорасці і паскарэнні. Пры вывучэнні паступальнага руху дастаткова апісаць рух толькі аднаго пункту – *цэнтра мас* цела.*

*Вярчальны рух цвёрдага цела вакол *нерухомай* восі – рух, пры якім усе пункты цела, змешчаныя на адной простае, якая называецца воссю вярчэння, застаюцца *нерухомымі*, а астатнія пункты апісваюць канцэнтрычныя акружнасці з *цэнтрамі* на восі вярчэння. Гэтыя акружнасці размешчаны перпендыкулярна восі вярчэння.*

Для апісання вярчальнага руху цвёрдага цела ўводзяцца велічыні, якія адносяцца да ўсяго цела цалкам, а не да яго асобных пунктаў: вугал павароту, вуглавая скорасць і паскарэнне.

*Плоскапаралельны (плоскі) рух цела – рух, пры якім усе пункты цела рухаюцца ў *пласкасцях*, паралельных адной *пласкасці*.*

Прыкладам плоскапаралельнага руху з'яўляецца качэнне цыліндра. З прыведзенага прыкладу вынікае, што плоскі рух можа быць камбінацыяй паступальнага руху цэнтра мас і вярчальнага руху вакол восі, якая праходзіць праз цэнтр мас.

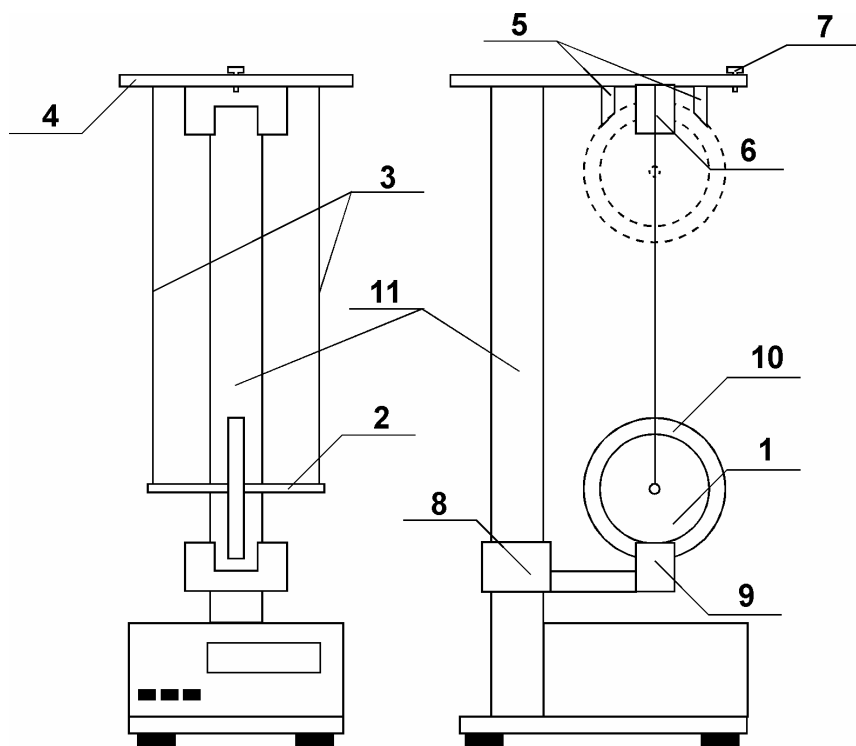
Для дынамічнага апісання паступальнага і вярчальнага руху выкарыстоўваюцца адпаведна асноўныя ўраўненні дынамікі: паступальнага руху (другі закон Ньютана) і вярчальнага руху. Плоскапаралельны рух апісваецца абодвума ўраўненнямі.

Такім чынам, другі закон Ньютана $\vec{F} = m\vec{a}$ (дзе \vec{F} – геаметрычная сума сіл, якія дзейнічаюць на цела, m – маса цела, \vec{a} – вектар паскарэння) неабходна запісаць для паступальнага руху цэнтра мас у праекцыях на выбраныя восі.

Асноўнае ўраўненне дынамікі вярчальнага руху $\vec{M} = J\vec{\epsilon}$ (дзе \vec{M} – момант дзеючых адносна восі вярчэння сіл, J – момант інерцыі цела адносна восі вярчэння, $\vec{\epsilon}$ – вектар вуглавога паскарэння) неабходна запісаць для вярчальнага руху ў праекцыях на вось вярчэння з улікам дамоўленасцей: момант сілы мае дадатную праекцыю, калі пад дзеяннем гэтай сілы цела паварочваецца вакол восі ў бок гадзіннікавай стрэлкі, і наадварот. Напрамак вектара вуглавой скорасці вызначаецца правілам правага свярдзёлка.

Доследная прылада

Маятнік Максвэла ўяўляе сабой металічны дыск 1, у сярэдзіне якога замацаваны металічны стрыжань 2 (малюнак 1). Да канцоў стрыжня прывязаны дзве ніткі 3, з дапамогай якіх маятнік прымацаваны да верхняга кранштэйна 4. На верхнім кранштэйне знаходзіцца электрамагніт 5, фотаэлектрычны датчык 6 і рэгулюючы вінт 7 для замацавання і рэгуліроўкі даўжыні біфілярнага падвеса маятніка. Ніжні кранштейн 8 разам з прымацаваным да яго фотаэлектрычным датчыкам 9 можна перасоўваць уздоўж калоны і фіксаваць у адвольна выбраным становішчы вінтом.



Мал. 1. Маятник Максвелла

На дыск маятніка можна накладаць зменныя кольцы 10, такім чынам змяняючы момант інерцыі сістэмы. Маятник з накладзеным кольцам утрымліваецца ў верхнім становішчы электрамагнітам. Даўжыня маятніка вызначаецца па міліметровай шкале на калоне 11 прылады.

Тэорыя метада

Пры адключэнні электрамагніта маятник вызваляецца і пачынае рух: паступальны ўніз цэнтра мас і вярчальны вакол сваёй восі сіметрыі. Вярчэнне, якое працягваецца за кошт інерцыі ў ніжнім пункце руху (калі ніткі цалкам разматаны) прыводзіць да новага намотвання нітак на стрыжань, а, значыць, да пад'ёма маятніка.

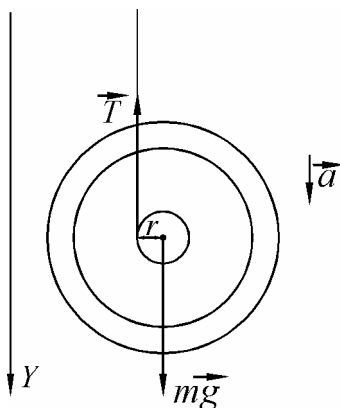
Рух маятніка пасля гэтага запавольваецца, маятнік прыпыняецца на некаторай вышыні пасля чаго ізноў пачынае свой рух уніз.

Ураўненні руху маятніка (паступальнага цэнтра мас і вярчальнага адносна восі сіметрыі) без уліку сіл трэння і супраціўлення ў праекцыях на восі маюць выгляд адпаведна (гл. малюнак 2):

$$ma = mg - 2T, \quad (1)$$

$$J\varepsilon = 2Tr, \quad (2)$$

дзе m – маса маятніка (стрыжань, дыск, кольца), J – момант інерцыі маятніка, r – знешні радыус стрыжня, T – сіла нацяжэння адной ніткі, a – паскарэнне паступальнага руху цэнтра мас маятніка, ε – вуглавое паскарэнне маятніка адносна восі вярчэння.



Мал. 2. Дзеючыя на маятнік Максвэла сілы

Для дадзенага руху паміж лінейным і вуглавым паскарэннем мае месца судачыненне:

$$a = \varepsilon r. \quad (3)$$

Лінейнае паскарэнне цэнтра мас a можа быць атрымана па вымераных параметрах руху (часе t і вышыні h , на якую апускаецца маятнік) з улікам таго, што пачатковая скорасць роўна нулю:

$$h = \frac{at^2}{2}. \quad (4)$$

З запісаних ураўненняў (1)–(4) шляхам нескладаных пераўтварэнняў можна атрымаць выраз для вызначэння моманту інерцыі маятніка:

$$J = \frac{1}{4}md^2 \left(\frac{gt^2}{2h} - 1 \right), \quad (5)$$

дзе $d = 2r$ – знешні дыяметр восі маятніка.

З гэтых жа ўраўненняў (1)–(4) можна знайсці выраз для сілы нацяжэння ниткі, якая пры апусканні і падняцці маятніка мае адно і тое ж значэнне:

$$T = \frac{mg}{2} \left(1 - \frac{2h}{gt^2} \right). \quad (6)$$

У час рыўка нитка вытрымлівае дадатковае нацяжэнне. Для ацэнкі сярэдняга нацяжэння ниткі за час рыўка T_p скарыстаемся другім законам Ньютана ў імпульснай форме:

$$F\Delta t = \Delta p. \quad (7)$$

Пазначым праз v максімальную лінейную хуткасць дыска ў ніжнім становішчы. За час паўабароту дыска $\Delta t = \frac{\pi r}{v}$ імпульс дыска змяняецца на $\Delta p = 2mv$. Змяненне імпульсу дыска роўна імпульсу сілы, якая дзейнічае на дыск за той жа час, г.зн. $(2T_p - mg)\Delta t$. Тады выраз (7) набудзе выгляд:

$$(2T_p - mg) \frac{\pi r}{v} = 2mv.$$

Пасля выражэння сілы рыўка атрымоўваем наступнае:

$$T_p = \frac{mg}{2} \left(1 + \frac{2v^2}{\pi r g} \right),$$

або канчаткова:

$$T_p = \frac{mg}{2} \left(1 + \frac{8h^2}{t^2 \pi r g} \right). \quad (8)$$

Момант інерцыі маятніка можна вызначыць і тэарэтычным шляхам, выкарыстаўшы ўласцівасць адытыўнасці гэтай велічыні. Такім чынам, тэарэтычнае значэнне моманту інерцыі вызначыцца выразам:

$$J_m = J_0 + J_\partial + J_\kappa.$$

Скарыстаўшыся папярэдне вылічанымі значэннямі момантаў інерцыі асобных сіметрычных (!) частак маятніка, атрымаем:

момант інерцыі стрыжня $J_0 = \frac{m_0}{8}(d^2 + d_1^2)$, дзе d – знешні дыяметр восі маятніка, d_1 – унутраны дыяметр восі маятніка;

момант інерцыі дыска $J_\partial = \frac{m_\partial}{8}(d_2^2 + d_1^2)$, дзе d_2 – знешні дыяметр дыска;

момант інерцыі кольца $J_\kappa = \frac{m_\kappa}{8}(d_3^2 + d_2^2)$, дзе d_3 – знешні дыяметр кольца.

Канчаткова выраз для разліку тэарэтычнага моманту інерцыі маятніка будзе мець выгляд:

$$J_m = \frac{1}{8} \left[m_0(d^2 + d_1^2) + m_\partial(d_2^2 + d_1^2) + m_\kappa(d_3^2 + d_2^2) \right]. \quad (9)$$

Парадак выканання работы:

1. Правярце камплектнасць прылады. Падключыце прыладу да электрычнай сеткі.
2. На дыск маятніка накладзіце кольца, прыціскаючы да ўпора.
3. Ніжні кранштэйн прыбора зафіксуйце ў ніжнім становішчы так, каб край кольца ў самым ніжнім становішчы знаходзіўся прыблізна на 1–2 мм ніжэй аптычнай восі ніжняга фотаэлектрычнага датчыка.
4. Вызначце даўжыню маятніка.
5. Вымерайце дыяметр восі маятніка.
6. На вось маятніка намотайце нітку так, каб віткі прылягалі шчыльна адзін да аднаго. Пры ненаціснутай клавiшы ПУСК

замацуйце электрамагнітам маятнік у верхнім становішчы (прасачыце, каб маятнік не трымаўся за кошт сіл трэння).

7. Націсніце клавiшу ПУСК. Адзначце па прыладзе час падзення маятніка.

8. Паўтарыце вымярэнне часу для маятніка з кольцам не меней за 5 разоў. Вызначце сярэдняе значэнне часу падзення.

9. Ажыццявіце вымярэнні для двух іншых кольцаў дадаткова аналагічна пп. 6–8.

10. Вылічыце масу маятніка разам з кольцам: $m = m_0 + m_\delta + m_\kappa$, дзе m_0 – маса восі маятніка, m_δ – маса дыска, m_κ – маса кольца (значэнні мас асобных элементаў выбітыя на іх).

11. Па выразе (5) разлічыце момант інерцыі маятніка Максвэла з трыма рознымі кольцамі.

12. Па выразе (6) разлічыце значэнне сілы нацяжэння ніткі пры руху маятніка з трыма рознымі кольцамі.

13. Па выразе (8) разлічыце значэнне сілы нацяжэння ніткі ў час прыўку пры руху з трыма рознымі кольцамі.

14. Параўнайце атрыманыя значэнні момантаў інерцыі маятніка з тэарэтычнымі значэннямі J_m , разлічанымі па выразе (9).

15. Ацаніце хібнасці вымярэнняў. Зрабіце выснову.

Пытанні для самакантролю:

1. Дайце азначэнне паступальнага, вярчальнага і плоскапаралельнага руху.

2. Ахарактэрызуйце фізічныя велічыні, якія ўваходзяць у выразы другога закону Ньютана і асноўнага ўраўнення дынамікі вярчальнага руху.

3. З сістэмы ўраўненняў (1)–(4) атрымайце выразы (5) і (6).

4. Патлумачце, чаму змяненне імпульсу маятніка за час яго паўабароту роўна $\Delta p = 2mv$?

5. Што такое момант інерцыі матэрыяльнага пункту, сістэмы матэрыяльных пунктаў, суцэльнага цела?