

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

**Лабараторная работа №4**

**ВЫВУЧЭННЕ ПРАМАЛІНЕЙНАГА РУХУ  
З ДАПАМОГАЙ МАШЫНЫ АТВУДА**

*для студэнтаў спецыяльнасці “ФІЗІКА”*

**Гродна, 2010**

## ВЫВУЧЭННЕ ПРАМАЛІНЕЙНАГА РУХУ З ДАПАМОГАЙ МАШЫНЫ АТВУДА

### Мэта работы:

*Вывучэнне прамалінейнага руху з дапамогай машыны Атвуда. Доследнае вызначэнне кінематычных і дынамічных характарыстык сістэмы.*

### Прылады і абсталяванне:

*Машына Атвуда, два грузы, даважкі, секундамер.*

### Тэарэтычныя асновы

*Паступальным рухам* цела называецца такі рух, пры якім прстая, праведзеная праз два адвольныя пункты гэтага цела, застаецца паралельнай самой сабе. Прыватным выпадкам паступальнага руху з'яўляецца прамалінейны рух.

Згодна першаму закону Ньютана ў інерцыяльнай сістэме адліку цела, на якое не дзейнічаюць іншыя целы, або іх дзеянне скампенсаванае, будзе *рухацца раўнамерна (з пастаяннай па модулю скорасцю) прамалінейна або знаходзіцца ў стане спакою.*

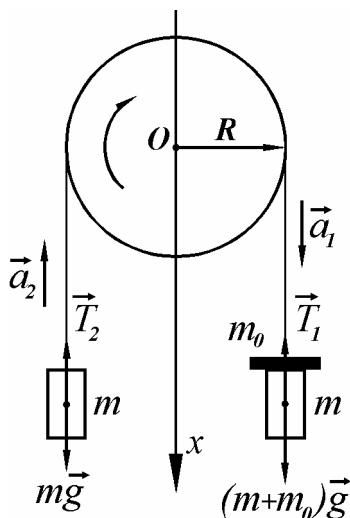
Калі ж на цела дзейнічае нейкая сіла, то згодна другому закону Ньютана яна можа або дэфармаваць цела, або прымусяць яго рухацца. Пры пастаяннай па модулю велічыні дзеючай сілы цела рухаецца з пастаянным паскарэннем – раўнапаскорана або раўназапаволена.

Калі ж велічыня сілы з цягам часу змяняецца, то назіраемы рух будзе паскораным або запаволеным, прычым паскарэнне таксама будзе з'яўляцца функцыяй часу.

Машына Атвуда, якая выкарыстоўваецца ў дадзенай лабараторнай рабоце, уяўляе сабой лёгкі блок, замацаваны на вертыкальнай калоне. Праз блок перакінута лёгкая нітка з грузамі аднолькавай масы  $m$ . Калі на адзін з грузаў пакласці даважак масы  $m_0$ , то ўся сістэма пачне рухацца.

Калі не ўлічваць масу блока, то ўраўненні другога закону Ньютана (малюнак 1) ў вектарным выглядзе, якія апісваюць рух грузаў, запішуцца наступным чынам:

$$\begin{cases} (m + m_0) + \vec{T}_1 = (m + m_0)\vec{a}_1, \\ m\vec{g} + \vec{T}_2 = m\vec{a}_2. \end{cases} \quad (1)$$



**Мал. 1.** Сілы, прыкладзеныя да грузаў

У адзначаным выпадку сілы нацяжэння нітак, прыкладзеныя да абодвух грузаў роўныя па модулю:  $|\vec{T}_1| = |\vec{T}_2| = T$ . Такая выснова вынікае з таго, што нітка бязважкая (дакладней, лёгка).

Модулі паскарэнняў таксама роўныя ( $|\vec{a}_1| = |\vec{a}_2| = a$ ) з-за таго, што нітка нерасцяжная.

У алгебраічным выглядзе, такім чынам, з улікам знакаў праекцый адпаведных вектарных велічынь на вось  $Ox$  сістэма ўраўненняў (1) запішацца ў выглядзе:

$$\begin{cases} (m + m_0)g - T = (m + m_0)a, \\ -T + mg = -ma, \end{cases}$$

або, дамнажаючы на  $-1$  другое ўраўненне сістэмы, атрымаем канчаткова:

$$\begin{cases} (m + m_0)g - T = (m + m_0)a, \\ T - mg = ma. \end{cases} \quad (2)$$

З гэтай сістэмы атрымаем выраз для разліку тэарэтычнага паскарэння грузаў:

$$a_m = \frac{m_0 g}{2m + m_0}. \quad (3)$$

## Доследная прылада

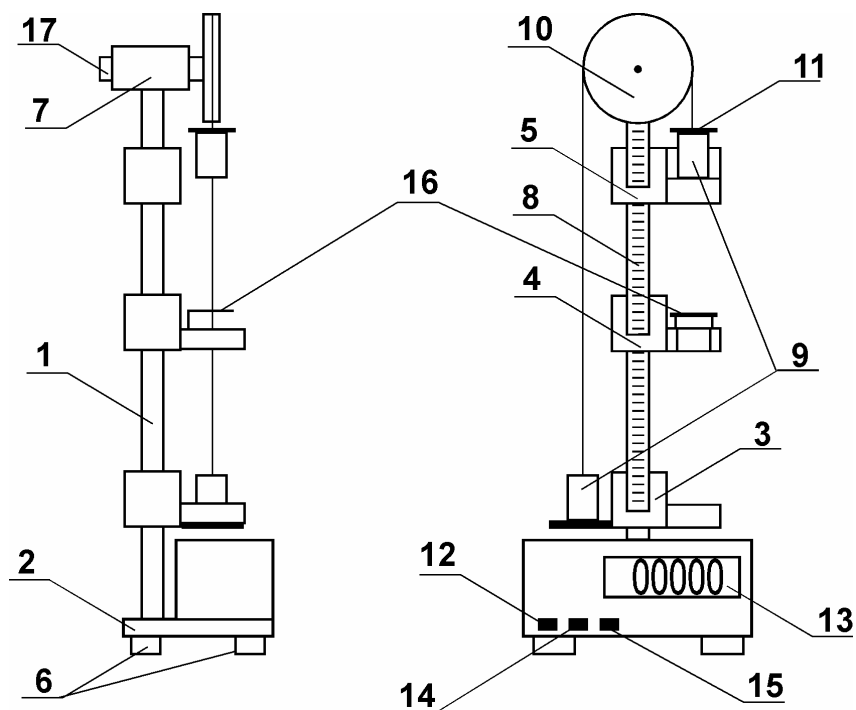
Агульны выгляд машыны Атвуда паказаны на малюнку 2. Да вертыкальнай калоны 1, замацаванай на аснове 2 прымацаваны тры кранштэйны: ніжні кранштэйн 3, сярэдні 4 і верхні 5. Аснова мае ножкі 6, з дапамогай якіх усталёўваюць прыладу вертыкальна. Зверху калоны замацаваны электрамагніт 7, з дапамогай якога можна утрымліваць сістэму ў спакоі. Верхні і сярэдні кранштэйны могуць перамяшчацца ўздоўж калоны і фіксавацца ў любым становішчы, што дазваляе змяняць даўжыню шляхоў роўнапаскоранага і раўнамернага руху. Для вызначэння гэтых шляхоў на калоне маецца міліметровая шкала 8. Грузы аднолькавай масы злучаныя ніткай 9, перакінутай праз блок 10. На сярэднім кранштэйне замацаваны фотаэлектрычны датчык. Кранштэйн здымае з падаючага ўніз грузу даважак 11, фотаэлектрычны датчык у гэты момант рэагуе і запуская адлік часу секундамерам працягласці раўнамернага руху грузаў. Ніжні кранштэйн 3 аздоблены гумавым амартызатарам і фотаэлектрычным датчыкам, які ўтварае электрычны сігнал у момант заканчэння руху, прыпыняючы адлік часу.

Прылада на пярэдняй панэлі мае наступныя клавiшы:

«СЕТЬ» – выключальнік сеткі 12. Націсканне гэтай клавiшы выклікае ўключэнне напружання (ўсе індыкатары 13 высвечваюць лічбу нуль і гараць лямпачкі фотаэлектрычных датчыкаў).

«СБРОС» – устаноўка нуля вымяральніка 14.

«ПУСК» – кіраванне электрамагнітам 15.



Мал. 2. Выгляд машыны Атвуда

## Практыкаванне 1

### ВЫЗНАЧЭННЕ ПАСКАРЭННЯ РОЎНАПАСКОРАНАГА РУХУ

#### Тэорыя метаду

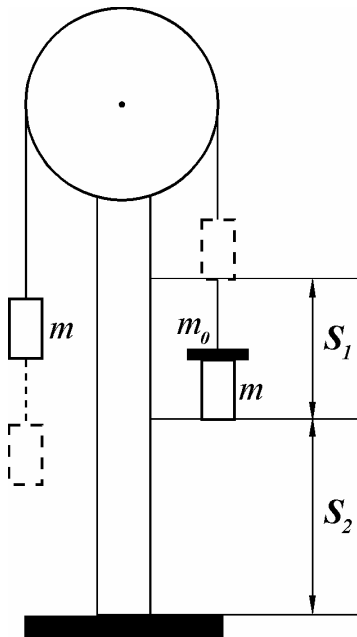
У гэтай лабараторнай рабоце паскарэнне можна вызначыць доследна. Калі на адзін з грузаў 9 пакласці даважак 11 (малюнак 2), сістэма пачне рухацца раўнапаскорана і груз з перагрузкам пройдзе шлях  $S_1$  (малюнак 3). На кальцы 16 (малюнак 2) даважак здымаецца і далей сістэма рухаецца раўнамерна. Секундамер вымярае час  $t$  раўнамернага руху груза. Ведаючы шлях  $S_2$  раўнамернага руху, можна вызначыць скорасць раўнамернага руху:

$$v = \frac{S_2}{t} \quad (4)$$

Гэтую скорасць груз набыў, калі прайшоў раўнапаскорана шлях  $S_1$ , гэта значыць:

$$S_1 = \frac{v^2}{2a} \quad (5)$$

адкуль паскарэнне  $a = \frac{v^2}{2S_1} \quad (6)$



Мал. 3.

З улікам выразу (4) атрымаем канчаткова для разліку паскарэння судачыненне:

$$a = \frac{S_2^2}{2S_1 t^2} \quad (7)$$

## Парадак выканання работы:

1. На правы груз пакладзіце адзін з даважкаў і з дапамогай шкалы вызначце мяркуемыя шляхі роўнапаскоранага  $S_1$  і раўнамернага  $S_2$  руху грузу (малюнак 3).
2. Правы груз перамясціце ў верхняе становішча. Пакладзіце на яго даважак і праверце, ці ўтрымлівае сістэму ў спакоі электрамагніт.
3. Націсніце кlawішу “ПУСК”. Вызначце час  $t$  руху грузу, вымераны секундамерам і адлюстраваным на індыкатарнай панэлі.
4. Калі здарылася так, што даважак быў дрэнна зняты кольцам 16 (малюнак 2), або сам груз на сваім шляху зачэпіўся за якую-небудзь дэталю канструкцыі, ажыццявіце настройку прылады для пазбягання гэтых недарэчнасцяў шляхам рэгулявання вышыні ножаў 6 прылады, палажэнняў кранштэйнаў 3, 4 і 5 адносна калоны 1 (малюнак 2).
5. Ажыццявіце вымярэнне часу не менш, чым 5 разоў і знайдзіце сярэдняе значэнне часу.
6. Па выразе (7) вызначце доследнае паскарэнне.
7. Памяняйце не менш 3 разоў шляхі  $S_1$  і  $S_2$ . Для кожнай з серый паўтарыце пункты 4–6.
8. Вызначце сярэдняе значэнне паскарэння для трох серый доследаў.
9. Вызначце тэарэтычнае паскарэнне грузаў па выразе (3) і параўнайце атрыманыя значэнні тэарэтычнага і доследнага паскарэнняў.
10. Ацаніце хібнасці вымярэнняў. Зрабіце выснову.
11. Паўтарыць пункты 1–9 для іншых даважкаў (удакладніце колькасць у выкладчыка або лабаранта).

## Практыкаванне 2

### ВЫЗНАЧЭННЕ СІЛЫ ТРЭННЯ Ў ВОСІ БЛОКА

#### Тэорыя метаду

Калі ўлічваць масу блока, а таксама сілу трэння, дзеючую на блок з боку восі 17 (малюнак 2), то ўраўненні запішуцца так:

$$\begin{cases} (m + m_0)g - T_1 = (m + m_0)a, \\ T_2 - mg = ma, \\ T_1 R - T_2 R - M_{mp} = J\varepsilon, \end{cases} \quad (8)$$

дзе  $T_1$  і  $T_2$  – сілы нацяжэння правай і левай частак ніткі,  $J$  – момант інерцыі блока адносна яго восі,  $\varepsilon$  – вуглавое паскарэнне блока,  $R$  – радыус блока,  $M_{mp}$  – момант сілы трэння, якая дзейнічае на блок з боку восі.

Асноўнае ўраўненне дынамікі вярчальнага руху (апошняе ў сістэме (8)) атрымана пры праектаванні адпаведных момантаў сіл і вуглавога паскарэння на вось вярчэння блока. Пры гэтым улічана, што сіла, якая імкнецца павярнуць блок па ходзе гадзіннікавай стрэлкі, будзе мець дадатны момант і наадварот.

Вуглавое паскарэнне звязана з лінейным паскарэннем  $a$  судачыненнем:

$$\varepsilon = \frac{a}{R} \quad (9)$$

З сістэмы (8) з улікам (9) атрымаем выраз для разліку доследнага паскарэння:

$$a = \frac{m_0 g - M_{mp} / r}{2m + m_0 + J / R^2} \quad (10)$$

дзе  $r$  – радыус восі.

Калі ўлічыць, што  $m_0 \ll 2m + J / R^2$ , то выраз можна запісаць у выглядзе:

$$a(2m + J / R^2) = m_0 - M_{mp} / R .$$



Калі сумарны момант сіл адносна восі вярчэння блока пастаянны ( $M = \text{const}$ ), то паскарэнне сістэмы лінейна залежыць ад  $m_0 g$ .

Пры  $a = 0$ ,

$$\frac{M_{mp}}{r} = (m_0 g)_{a=0} \quad (11)$$

Але  $M_{mp} / r = F_{mp}$ , гэта значыць, калі сістэма рухаецца без паскарэння ( $a = 0$ ), то сіла трэння вызначыцца па формуле:

$$F_{mp} = m_0 g \quad (12)$$

Для вызначэння сілы трэння з боку восі на блок  $F_{mp}$  трэба пабудаваць графік залежнасці  $a$  ад  $m_0 g$  (Бярэцца сярэдняе значэнне  $a$  для кожнага даважка). Адрэзак на восі абсцыс ад пачатку каардынатаў да пункту, у якім графік перасякаецца з воссю абсцыс, і дае шукаемую велічыню  $F_{mp}$ .

### **Парадак выканання работы:**

1. Пабудуйце графік залежнасці лінейнага паскарэння грузаў  $a$  ад сілы цяжару  $m_0 g$  даважкаў.
2. З дапамогай графіка вызначце модуль сілы трэння.
3. Ацаніце хібнасці. Зрабіце выснову.

### **Практыкаванне 3**

#### **ВЫЗНАЧЭННЕ СІЛЫ НАЦЯЖЭННЯ НІТКІ**

#### **І СІЛЫ ЦІСКУ ДАВАЖКА НА ГРУЗ**

1. З сістэмы ўраўненняў (2) атрымайце формулу для вызначэння сілы нацяжэння ниткі і вызначце яе модуль.
2. Запішыце другі закон Ньютана для руху даважка і атрымайце формулу для вызначэння сілы ціску даважка на груз. Вылічыце модуль сілы ціску.
3. Пункты 1–2 выканайце для ўсіх даважкаў, выдадзеных для работы.

### **Пытанні для самакантролю:**

1. Што называюць матэрыяльным пунктам, сістэмай адліку?
2. Што называюць траекторыяй? Як падраздзяляюць рух па тыпе траекторыі?
3. Што называецца перамяшчэннем, шляхам? Пры якім руху модуль перамяшчэння і шлях супадаюць?