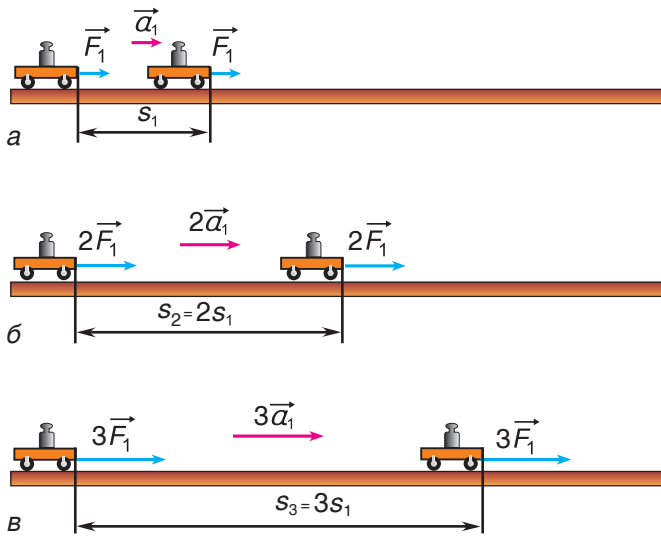




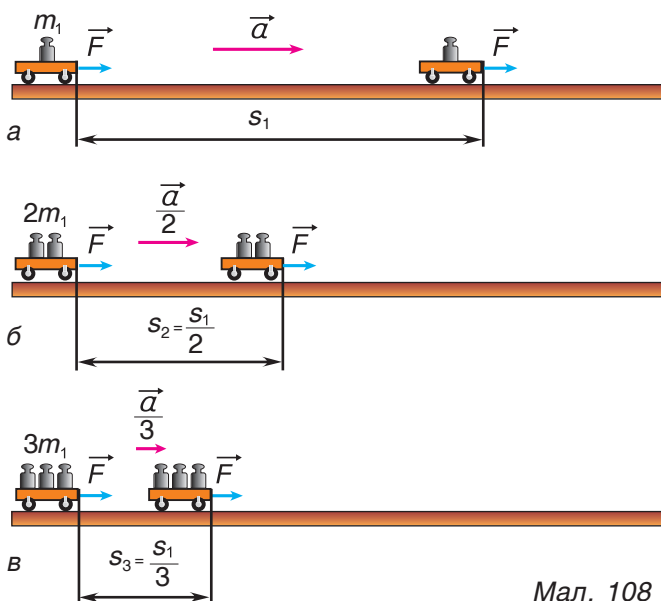
§ 17.

Другі закон Ньютана — асноўны закон дынамікі

Першы закон Ньютана адказвае на пытанне: «Як паводзіць сябе цела, калі на яго дзейнічаюць сілы, што кампенсуюць адна адну?» А што будзе з целам, калі сілы не скампенсаваны? На гэта пытанне дае адказ другі закон Ньютана.



Мал. 107



Мал. 108

Разгледзім дослед. Прыкладзём сілу \vec{F}_1 да цялежкі, якая знаходзіцца на гладкай гарызантальнай паверхні (мал. 107, а). Акрамя сілы \vec{F}_1 , на цялежку дзейнічаюць сіла цяжару і рэакцыя апоры (на малюнку яны не паказаны), якія кампенсуюць адна адну. Сілу трэння качэння можна не ўлічваць. Таму сіла \vec{F}_1 роўна выніковай усіх сіл, прыкладзеных да цялежкі. Пад дзеяннем сілы \vec{F}_1 цялежка набывае паскарэнне \vec{a}_1 .

Паскарэнне цялежкі будзем вызначаць па формуле $a = \frac{2s}{t^2}$, пройдзены шлях s вымяраць рулеткай, час t — секундамерам, сілу F — дынамометрам. Як звязана паскарэнне з прыкладзенай да цялежкі выніковай сілай?

Павялічым сілу ў два разы ($\vec{F}_2 = 2\vec{F}_1$) (мал. 107, б). За такі ж час t цялежка пройдзе шлях, у 2 разы большы: $s_2 = 2s_1$. Значыць, $a_2 = 2a_1$, г. зн. у два разы большая сіла надае цэлу ў два разы большае паскарэнне. Працягнуўшы дослед, атрымаем, што пры павелічэнні выніковай сілы ў 3, 4, ... разы модуль паскарэння a павялічыцца таксама ў 3, 4, ... разы. Зробім вывад.

Паскарэнне цела прама прапарцыянальна выніковай усіх сіл, прыкладзеных да яго:

$$\vec{a} \sim \vec{F}. \quad (1)$$

А як залежыць паскарэнне ад масы цела? Будзем цяпер сілу \vec{F} прыкладаць да цел розных мас (мал. 108, а, б, в). Пад дзеяннем адной і той жа сілы цела ў 2 разы большай масы набывае ў 2 разы меншае паскарэнне. Паскараючы целы ў 3, 4, ... разы большай масы, мы ўбачым, што модуль паскарэння ў 3, 4, ... разы паменшыцца.

Модулі паскарэнняў, атрыманых цэламі пад дзеяннем аднолькавых сіл, адваротна прапарцыянальны масам гэтых цел:

$$a \sim \frac{1}{m}. \quad (2)$$

А як накіравана паскарэнне? У нашым даследзе напрамкі паскарэння \vec{a} і сілы \vec{F} супадалі (мал. 108). Разгледзім яшчэ два прыклады.

1. Да цялежкі прыклалі сілу \vec{F} , накіраваную супраць яе скорасці \vec{v} (мал. 109, а). Скорасць цялежкі будзе памяншацца, і яе паскарэнне \vec{a} будзе накіравана супраць скорасці, але ў той жа бок, што і выніковая сіла \vec{F} .

2. Шарык, падвешаны на нітцы, рухаецца па акружнасці (мал. 109, б). Паскарэнне шарыка накіравана да яе цэнтра O . Дослед паказвае, што і ў гэтым выпадку напрамкі паскарэння \vec{a} і выніковай \vec{F} усіх сіл, прыкладзеных да цела (сілы цяжару $\vec{F}_ц$ і сілы нацяжэння ніткі $\vec{F}_н$), супадаюць.

У выніку прыходзім да высновы.

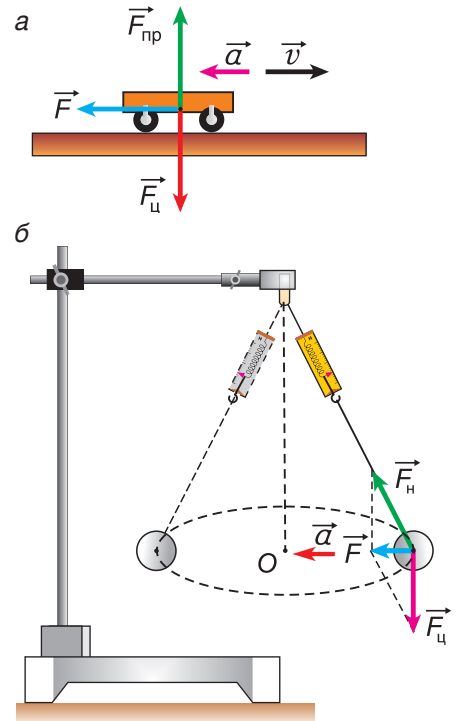
Паскарэнне цела прама прапарцыянальна выніковай усіх сіл, прыкладзеных да яго, адваротна прапарцыянальна масе цела і накіравана гэтак жа, як выніковая сіла:

$$\vec{a} = \frac{\vec{F}}{m}. \quad (3)$$

Гэта асноўны закон дынамікі — другі закон Ньютана. З формулы (3) вынікае, што напрамкі паскарэння \vec{a} і выніковай сілы \vec{F} супадаюць.

Запішам другі закон Ньютана ў выглядзе:

$$\vec{F} = m\vec{a}. \quad (4)$$



Мал. 109

У адпаведнасці з формулай (4) вызначаецца адзінка сілы ў СІ — ньютан (Н).

1 Н — сіла, пад дзеяннем якой цела масай **1 кг** набывае паскарэнне $1 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$.

У якіх сістэмах адліку выконваецца другі закон Ньютана?

У § 15 мы высветлілі, што калі сістэма неінерцыяльная, то пры выніковай $\vec{F} = \vec{0}$ паскарэнне цела $\vec{a} \neq \vec{0}$. Але згодна з другім законам Ньютана пры $\vec{F} = \vec{0}$ паскарэнне \vec{a} павінна быць роўна нулю. Значыць, *другі закон Ньютана выконваецца толькі ў інерцыяльных сістэмах адліку.*

А як карыстацца формулай (4), калі цела нельга разглядаць як матэрыяльны пункт? У такіх выпадках пад паскарэннем \vec{a} трэба разумець паскарэнне пункта, які называецца *цэнтрам цяжару* гэтага цела. Паняцце «цэнтр цяжару» мы разгледзім у наступным раздзеле.

■ Галоўныя вывады

1. Паскарэнне цела прама прапарцыянальна выніковай усіх сіл, якія дзейнічаюць на яго, і адваротна прапарцыянальна масе цела.
2. Паскарэнне цела накіравана таксама, як выніковая ўсіх прыкладзеных да яго сіл.
3. Адзінка сілы ў СІ — 1 ньютан. Гэта сіла, пад дзеяннем якой цела масай 1 кг рухаецца з паскарэннем $1 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$.
4. Другі закон Ньютана выконваецца толькі ў інерцыяльных сістэмах адліку.

? Кантрольныя пытанні

1. Як накіравана паскарэнне адносна сіл, якія дзейнічаюць на цела?
2. Як знайсці модуль паскарэння, калі на цела дзейнічае некалькі сіл?
3. Куды накіравана выніковая прыкладзеных да цела сіл, калі яно рухаецца па акружнасці з пастаянным модулем скорасці?
4. Як вызначаецца адзінка сілы ў СІ? Як гэта спалучаецца з азначэннем сілы 1 Н, якое вы вывучалі ў 7-м класе?



Прыклады рашэння задач

1. Сані масай $m = 120$ кг цягнуць па гарызантальным участку шляху, прыкладаючы сілу \vec{F} пад вуглом $\alpha = 45^\circ$ да гарызонту. Модуль сілы $F = 400$ Н. Модуль сілы трэння слізгання $F_{\text{тр}} = 100$ Н. Вызначыце паскарэнне саней.

Дадзена:

$$m = 120 \text{ кг}$$

$$F = 400 \text{ Н}$$

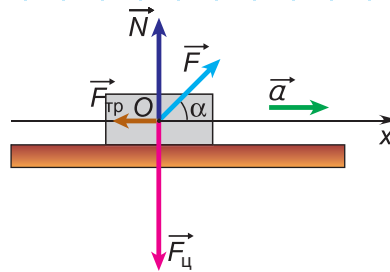
$$\alpha = 45^\circ$$

$$F_{\text{тр}} = 100 \text{ Н}$$

$$a = ?$$

Рашэнне

Выканаем малюнак да задачы (мал. 110).



Мал. 110

Да саней прыкладзены чатыры сілы: сіла цяжару $\vec{F}_{\text{ц}}$, сіла рэакцыі апоры \vec{N} , сіла трэння $\vec{F}_{\text{тр}}$ і сіла \vec{F} . Па другім законе Ньютана:

$$m\vec{a} = \vec{F} + \vec{F}_{\text{ц}} + \vec{F}_{\text{тр}} + \vec{N}. \quad (1)$$

У праекцыі на вось Ox ураўненне (1) прыме выгляд:

$$ma_x = F_x + F_{\text{ц}x} + F_{\text{тр}x} + N_x, \quad (2)$$

дзе $a_x = a$, $F_x = F \cos \alpha$, $F_{\text{ц}x} = 0$, $F_{\text{тр}x} = -F_{\text{тр}}$, $N_x = 0$.

Тады з ураўнення (2) вынікае:

$$ma = F \cos \alpha - F_{\text{тр}};$$

$$a = \frac{F \cos \alpha - F_{\text{тр}}}{m} = \frac{400 \text{ Н} \cdot 0,71 - 100 \text{ Н}}{120 \text{ кг}} = 1,53 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}.$$

Адказ: $a = 1,53 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$.

2. Два цыліндры — сталны і алюмініевы — аднолькавага аб'ёму падвешаны да канцоў ніткі, перакінутай праз нерухомы блок. Які шлях пройдзе кожны цыліндр за час $t = 0,50$ с? Сілы супраціўлення не ўлічваць. Блок лічыць бязважкім, нітку — бязважкай і нерасцяжнай. Прыняць $g = 10 \frac{\text{Н}}{\text{кг}}$.

Дадзена:

$$V_1 = V_2$$

$$t = 0,50 \text{ с}$$

$$g = 10 \frac{\text{Н}}{\text{кг}}$$

$$\rho_{\text{ст}} = 7,8 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$$

$$\rho_{\text{ал}} = 2,7 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$$

$$s = ?$$

Рашэнне

Выканаем малюнак да дадзенай задачы (мал. 111).

На кожную гіру дзейнічае сіла цяжару $\vec{F}_{\text{ц}}$ і сіла нацяжэння ніткі $\vec{F}_{\text{н}}$.

Згодна з другім законам Ньютана:

$$m_{\text{ст}} \vec{a}_1 = \vec{F}_{\text{ц1}} + \vec{F}_{\text{н1}}; \quad (1)$$

$$m_{\text{ал}} \vec{a}_2 = \vec{F}_{\text{ц2}} + \vec{F}_{\text{н2}}. \quad (2)$$

Модулі сіл цяжару $F_{\text{ц}} = mg$, дзе m — маса грузу. Паколькі нітка нерасцяжная, $|\vec{a}_1| = |\vec{a}_2| = a$. Паколькі блок і нітка бязважкія, $|\vec{F}_{\text{н1}}| = |\vec{F}_{\text{н2}}| = F_{\text{н}}$.

Запішам ураўненні (1) і (2) у праекцыі на вертыкальную вось Oy (гл. мал. 111):

$$m_{\text{ст}} a = m_{\text{ст}} g - F_{\text{н}}; \quad (3)$$

$$-m_{\text{ал}} a = m_{\text{ал}} g - F_{\text{н}}. \quad (4)$$

Адняўшы ад ураўнення (3) ураўненне (4), атрымаем:

$$(m_{\text{ст}} + m_{\text{ал}}) \cdot a = (m_{\text{ст}} - m_{\text{ал}}) \cdot g.$$

Адсюль

$$a = \frac{(m_{\text{ст}} - m_{\text{ал}}) \cdot g}{m_{\text{ст}} + m_{\text{ал}}}.$$

Масы цыліндраў:

$$m_{\text{ст}} = \rho_{\text{ст}} \cdot V; \quad m_{\text{ал}} = \rho_{\text{ал}} \cdot V.$$

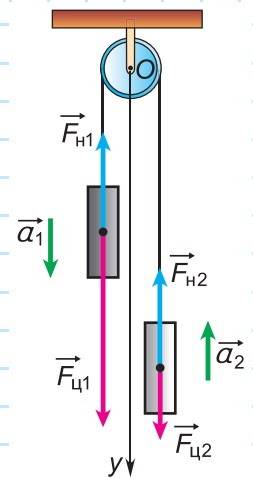
Тады

$$a = \frac{(\rho_{\text{ст}} - \rho_{\text{ал}}) \cdot g}{\rho_{\text{ст}} + \rho_{\text{ал}}}.$$

Шлях, пройдзены кожным з цыліндраў:

$$s = \frac{at^2}{2};$$

$$s = \frac{(\rho_{\text{ст}} - \rho_{\text{ал}}) \cdot g \cdot t^2}{2(\rho_{\text{ст}} + \rho_{\text{ал}})} = \frac{5,1 \frac{\text{г}}{\text{см}^3} \cdot 10 \frac{\text{Н}}{\text{кг}} \cdot 0,25 \text{ с}^2}{10,5 \frac{\text{г}}{\text{см}^3} \cdot 2} = 0,61 \text{ м.}$$

Адказ: $s = 0,61 \text{ м.}$ 

Мал. 111

Практыкаванне 13

1. На якой фізічнай з’яве заснавана стрэсванне снегу з шапкі?

2. Цела масай $m = 6,0$ кг перамяшчаюць па гладкай гарызантальнай паверхні, прыкладаючы гарызантальную сілу, модуль якой $F = 4,2$ Н. Вызначыце паскарэнне цела.

3. Вядро з пяском масай $m = 20$ кг паднімаюць уверх з паскарэннем $a = 2,5 \frac{\text{М}}{\text{с}^2}$, дзейнічаючы на яго вертыкальна ўверх сілай \vec{F} .

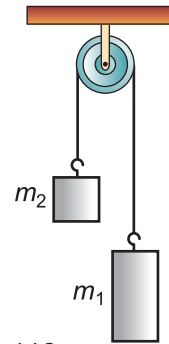
Вызначыце модуль сілы F . Казэфіцыент g тут і ў наступных задачах прыняць роўным $10 \frac{\text{Н}}{\text{кг}}$.

4. Дзве гіры масамі $m_1 = 2,0$ кг і $m_2 = 1,0$ кг падвешаны на канцах бязважкай нерасцяжнай ніткі, перакінутай праз бязважкі нерухомы блок (мал. 112). Кожная гіра прайшла шлях $s = 0,80$ м. Вызначыце паскарэнні гір і іх скорасці ў канцы шляху.

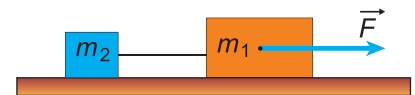
5. Два грузы масамі $m_1 = 400$ г і $m_2 = 200$ г звязаны бязважкай нерасцяжнай ніткай (мал. 113), разлічанай на гранічную нагрузку $F_{\text{max}} = 8,20$ Н. Вызначыце максімальную сілу \vec{F} , з якой можна цягнуць груз масай m_1 па гладкай гарызантальнай паверхні, каб нітка не парвалася.



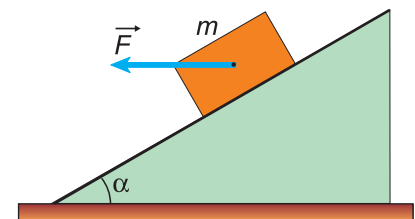
6. На гладкай нахіленай плоскасці з вуглом нахілу $\alpha = 30^\circ$ (мал. 114) знаходзіцца брусок масай $m = 5,0$ кг, на які дзейнічае гарызантальная сіла, модуль якой $F = 15$ Н. Вызначыце паскарэнне цела і сілу ціску цела на плоскасць.



Мал. 112



Мал. 113



Мал. 114