



§ 36.

Закон захавання енергії

Поўная энергія сістэмы складаецца з яе механічнай энергіі і ўнутранай энергіі цел, якія ўваходзяць у сістэму. Пры якіх умовах механічная і поўная энергія сістэмы змяняюцца? Застаюцца пастаяннымі?

Пры пад'ёме цела ўзрастае яго патэнцыяльная энергія, а пры павелічэнні скорасці — кінетычная. А ці могуць змяніцца і кінетычная, і патэнцыяльная энергія адначасова? Разгледзім прыклад. Будзем падымаць са стала гіру масай m (мал. 258) з дапамогай трывалай ніткі. Для механічнай сістэмы «гіра + Зямля» сіла нацяжэння ніткі з'яўляецца знешняй сілай: $\vec{F}_H = \vec{F}_{\text{знеш}}$. Пры $F_H > mg$ гіра не толькі падымецца на вышыню h , але і павялічыць сваю скорасць ад \vec{v}_0 да \vec{v} . Работа знешняй сілы выкліча змяненне як кінетычнай, так і патэнцыяльнай энергіі сістэмы «гіра + Зямля». Знайдзем сувязь паміж гэтымі велічынямі. Прымем за нулявы ўзровень паверхню стала.

Па тэарэме аб змяненні кінетычнай энергіі

$$\frac{mv^2}{2} - \frac{mv_0^2}{2} = A, \quad (1)$$

дзе A — работа выніковай сілы $\vec{F}_{\text{вын}} = \vec{F}_H + m\vec{g}$, роўная:

$$A = (F_H - mg)h. \quad (2)$$

З роўнасцей (1) і (2) вынікае:

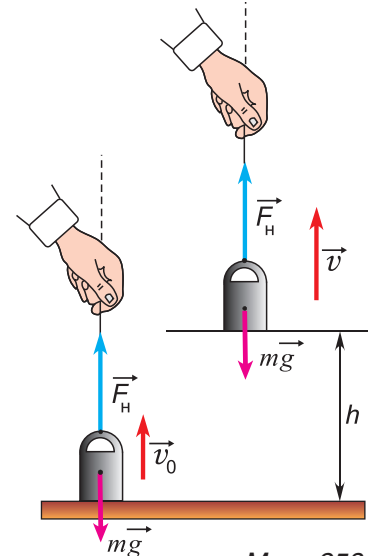
$$\frac{mv^2}{2} - \frac{mv_0^2}{2} + mgh = F_H h, \quad (3)$$

дзе $\frac{mv^2}{2} - \frac{mv_0^2}{2} = \Delta E_k$ — змяненне кінетычнай энергіі, $mgh = \Delta E_{\text{п}}$ — змяненне патэнцыяльнай энергіі, а $F_H h = A_{\text{знеш}}$ — работа знешняй сілы. Значыць, у нашым прыкладзе

$$\Delta E_{\text{мех}} = A_{\text{знеш}}, \quad (4)$$

дзе $\Delta E_{\text{мех}}$ — змяненне механічнай энергіі сістэмы. Гэта роўнасць прымяняльная да любой механічнай сістэмы, у якой дзейнічаюць толькі сілы цяжару або сілы пругкасці. Знешнімі сіламі могуць быць любыя сілы, напрыклад сіла трэння, сіла супраціўлення.

Змяненне механічнай энергіі сістэмы, у якой дзейнічаюць толькі сілы цяжару або пругкасці, роўна рабоце знешніх сіл.



Мал. 258

Калі сістэма замкнутая, г. зн. на яе не дзейнічаюць знешнія сілы, то з роўнасці (1) вынікае $\Delta E_{\text{мех}} = 0$, а значыць, $E_{\text{мех}1} = E_{\text{мех}2}$, або

$$E_{\text{мех}} = \text{const} . \quad (5)$$

Механічная энергія замкнутай сістэмы, у якой дзейнічаюць толькі сіла цяжару і сілы пругкасці, застаецца пастаяннай (захоўваецца). Гэта сцверджанне называюць *законам захавання механічнай энергіі*.

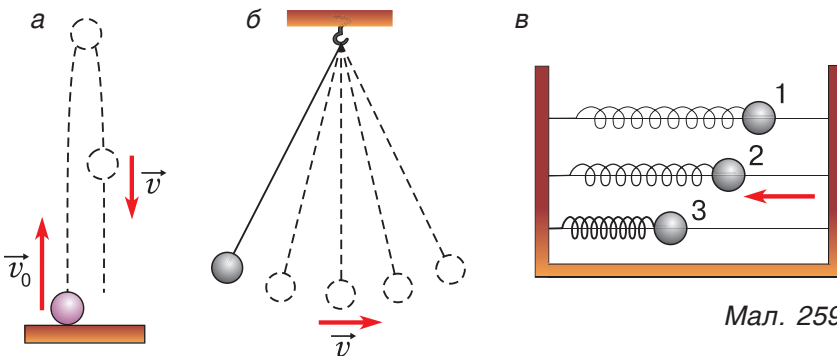
Адзначым, што захоўваецца не кінетычная і патэнцыяльная энергія асобна, а іх сума. У выніку ў замкнутай сістэме пры памяншэнні (павелічэнні) кінетычнай энергіі настолькі ж павялічваецца (памяншаецца) патэнцыяльная: $\Delta E_{\text{к}} = -\Delta E_{\text{п}}$.

Абмяркуйце, як кінетычная энергія пераходзіць у патэнцыяльную і назад пры руху цел, паказаных на малюнку 259, а, б, в.

А што адбываецца, калі сістэма замкнутая, але сярод яе ўнутраных сіл ёсць сілы трэння і сілы супраціўлення? Правядзём просты дослед. Нададзім пачатковую скорасць \vec{v}_0 драўлянаму бруску масай m , які знаходзіцца на паверхні стала. Прайшоўшы некаторую адлегласць, брусок спыніцца з-за дзеяння сілы трэння — унутранай сілы сістэмы «брусок + стол» (мал. 260). Нягледзячы на тое што знешняя сіла (сіла цяжару) работу не выконвала, механічная энергія гэтай сістэмы паменшылася на велічыню $m \frac{v_0^2}{2}$.

З-за сіл трэння страты механічнай энергіі адбываюцца ў любым рэальным устраве. Ваганні цел, паказаных на малюнку 259, б, в, паступова згасаюць, пры выключаным рухавіку губляе скорасць аўтамабіль і г. д.

Ці знікае пры гэтым механічная энергія бяследна? Пры руху бруска па сталае адбывалася награванне бруска і стала. Толькі яно было малым, а таму непрыметным. Пры тармажэнні цягніка, аўтамабіля награвваюцца тармажныя ўстравы. Пад дзеяннем сіл супраціўлення паветра распальваюцца метэарыты. Пры трэнні аднаго аб другі награвваюцца і нават могуць плавіцца кавалкі лёду.



Мал. 259



Мал. 260

Награванне адбываецца і пры няпругкіх дэфармацыях. Сагнуце і разагнуце некалькі разоў металічны дрот. Вы адчуеце, што ў месцы згібу ён нагрэўся.

Што агульнае маюць гэтыя з'явы? Тое, што *дзеянне сіл трэння і супраціўленьня прыводзіць да павелічэння ўнутранай энергіі цел*. Хаатычныя цеплавы рух атамаў і малекул становіцца больш хуткім — расце ўнутраная кінетычная энергія. Можна павялічыцца і ўнутраная патэнцыяльная энергія (напрыклад, пры плаўленні цел).

Увесь назапашаны дослед і спецыяльна праведзеныя эксперыменты паказваюць, што ў любой замкнутай сістэме памяншэнне механічнай энергіі дакладна роўна павелічэнню ўнутранай энергіі, а іх сума (г. зн. поўная энергія) застаецца пастаяннай:

$$E_{\text{поўн}} = \text{const} . \quad (6)$$

Поўная энергія замкнутай сістэмы захоўваецца.

Так фармулюецца адзін з найважнейшых законаў прыроды — *закон захаваньня энергіі*.

Закон захаваньня энергіі не мае выключэнняў. Ён выконваецца для усіх фізічных, хімічных, біялагічных і іншых з'яў. Гэты закон выкарыстоўваецца ў самых розных галінах навукі і тэхнікі; з'яўляецца навуковай асновай найважнейшай галіны вытворчасці — энергетыкі.

Здабыча энерганосьбітаў (нафты, газу, вугалю), выкарыстанне розных крыніц энергіі (вады, ветру, сонечнага выпраменьвання і г. д.), перадача энергіі на вялікія адлегласці, барацьба са стратамі энергіі (энергазберажэнне) з'яўляюцца найважнейшымі задачамі ўсёй сусветнай супольнасці.

■ Галоўныя вывады

1. Змяненне механічнай энергіі сістэмы, у якой дзейнічаюць сілы цяжару і пругкасці, роўна рабоце знешніх сіл.
2. Поўная энергія замкнутай сістэмы захоўваецца заўсёды, а яе механічная энергія захоўваецца толькі пры адсутнасці сіл трэння і супраціўлення.
3. Закон захаваньня энергіі выконваецца для ўсіх з'яў прыроды.

? Кантрольныя пытанні

1. Пры якіх умовах поўная энергія сістэмы захоўваецца?
2. Пры якіх умовах захоўваецца механічная энергія сістэмы?
3. Дзеянне якіх сіл выклікае пераход механічнай энергіі ва ўнутраную?

**Прыклад рашэння задачы**

Мяшок цэменту масай $m = 20$ кг падымаюць вертыкальна ўверх, прыкладаючы пастаянную сілу, модуль якой $F = 0,24$ кН. Вызначыце кінетычную энергію мяшка ў момант, калі ён апынецца на вышыні $h = 2,0$ м ад пачатковага становішча. Пачатковая скорасць мяшка роўна нулю. Супраціўленне паветра не ўлічваць; модуль паскарэння свабоднага падзення прыняць $g = 10 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$.

Дадзена:

$$m = 20 \text{ кг}$$

$$F = 0,24 \text{ кН} = 240 \text{ Н}$$

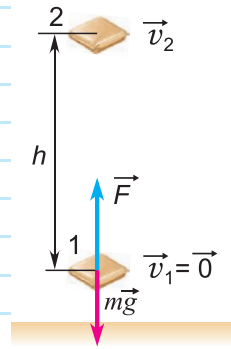
$$h = 2,0 \text{ м}$$

$$g = 10 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$$

$$E_{\text{к}2} \text{ — ?}$$

Рашэнне

Сістэма «мяшок + Зямля» не з'яўляецца замкнутай. На мяшок дзейнічае знешняя сіла \vec{F} . Работа гэтай сілы роўна змяненню механічнай энергіі мяшка пры яго руху з пункта 1 у пункт 2 (мал. 261)



Мал. 261

$$A_{\text{знеш}} = \Delta E_{\text{мех.}}$$

Па ўмове задачы: $A_{\text{знеш}} = Fh$; $\Delta E_{\text{мех}} = \Delta E_{\text{к}} + \Delta E_{\text{п}}$, $\Delta E_{\text{к}} = E_{\text{к}2}$, $\Delta E_{\text{п}} = mgh$. Тады з роўнасці $A_{\text{знеш}} = \Delta E_{\text{мех}}$ атрымаем $Fh = E_{\text{к}2} + mgh$, адкуль $E_{\text{к}2} = (F - mg)h$; $E_{\text{к}2} = (240 \text{ Н} - 200 \text{ Н}) \cdot 2,0 \text{ м} = 80 \text{ Дж}$.

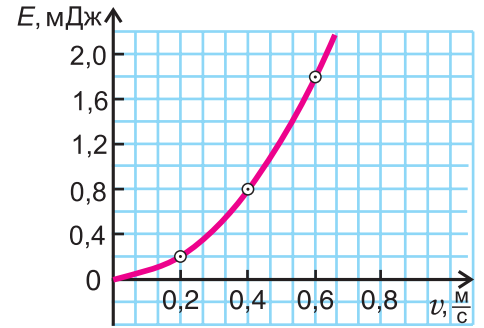
Адказ: $E_{\text{к}2} = 80 \text{ Дж}$.**Практыкаванне 29**

1. Легкавы аўтамабіль масай $m = 800$ кг рухаецца са скорасцю, модуль якой $v = 20 \frac{\text{м}}{\text{с}}$. Вызначыце кінетычную энергію аўтамабіля.

2. Кінетычная энергія мяча масай $m = 0,50$ кг у момант кідання вертыкальна ўверх $E_{\text{к}} = 20$ Дж. Вызначыце модуль скорасці руху мяча ў гэты момант. На якую максімальную вышыню падымецца мяч, калі супраціўленне паветра вельмі малое? Тут і ў наступных задачах $g = 10 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$.

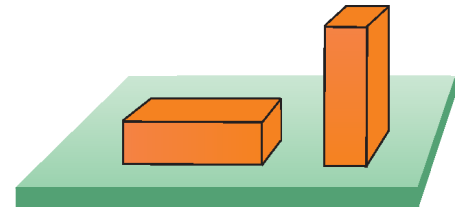
3. Аўтобус масай $m = 12$ т пачынае рухацца з пастаянным паскарэннем, модуль якога $a = 0,50 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$. Вызначыце кінетычную энергію аўтобуса праз час $t = 10$ с ад пачатку яго руху.

4. На малюнку 262 паказаны графік залежнасці кінетычнай энергіі шарыка, які рухаецца па сталю, ад модуля яго скорасці. Чаму роўна маса шарыка? Вызначыце работу, якую выканалі выніковыя ўсіх сіл, прыкладзеных да шарыка, для яго разгону ад скорасці, модуль якой $v_1 = 0,4 \frac{\text{м}}{\text{с}}$, да скорасці, модуль якой $v_2 = 0,8 \frac{\text{м}}{\text{с}}$.



Мал. 262

5. На колькі зменіцца патэнцыяльная энергія бруска, калі яго перавесці з гарызантальнага становішча ў вертыкальнае (мал. 263)? Маса бруска $m = 8,0$ кг, а яго памеры $a \times b \times c = 40 \times 25 \times 10$ см.



Мал. 263

6. Гіра вісіць на лёгкім гумавым шнуры жорсткасцю $k = 40 \frac{\text{Н}}{\text{м}}$. Вызначыце патэн-

цыяльную энергію гумавага шнура, які пад дзеяннем гіры стаў даўжэйшы на $\Delta l_1 = 5,0$ см. Якую работу павінна выканаць знешняя сіла, каб расцягнуць шнур яшчэ на $\Delta l_2 = 3,0$ см?



7. Да ніжняга канца лёгкай недэфармаванай спружыны прымацавалі груз масай $m = 500$ г і адпусцілі. Жорсткасць спружыны $k = 40 \frac{\text{Н}}{\text{м}}$. Вызначыце модуль максімальнай скорасці руху грузу.

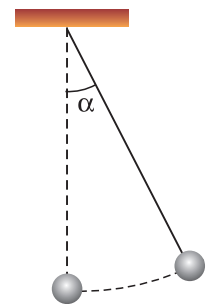
Супраціўленне руху грузу не ўлічваць.



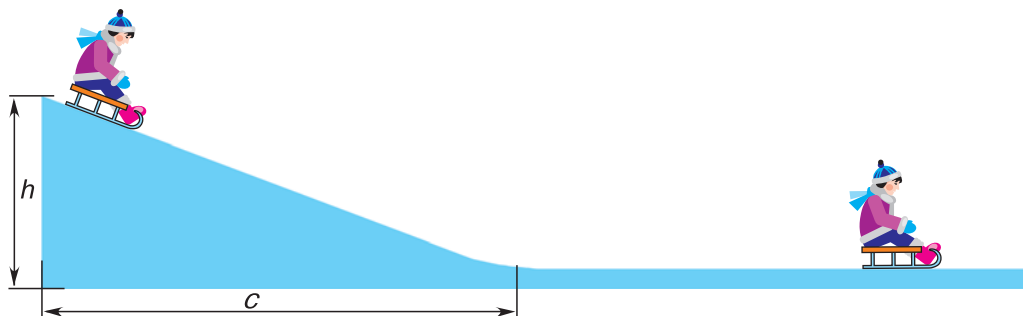
8. На лёгкай нерасцяжнай нітцы падвешаны жалезны шарык. Нітку з шарыкам адхіляюць ад вертыкалі на некаторы вугал α (мал. 264) і адпускаюць. Вызначыце вугал α , калі пры праходжанні шарыкам становішча раўнавагі сіла нацяжэння ніткі будзе ў $k = 4$ разы большай за мінімальную. Супраціўленне руху шарыка не ўлічваць.



9. Шары масамі $m_1 = 6,0$ кг, $m_2 = 2,0$ кг рухаліся па адной прамой насустрач адзін аднаму са скорасцямі, модулі якіх: $v_1 = 4,0 \frac{\text{м}}{\text{с}}$, $v_2 = 3,0 \frac{\text{м}}{\text{с}}$. У выніку ўдару скорасць другога шара змяніла свой напрамак на процілеглы, а яе модуль застаўся ранейшым. Вызначыце напрамак і модуль скорасці першага шара пасля ўдару. Знайдзіце змяненне ўнутранай энергіі сістэмы, якое адбылося ў выніку ўдару. Вызначыце сярэднюю сілу ўдару, лічачы, што яго працягласць $\Delta t = 0,02$ с.



Мал. 264



Мал. 265

10. З вяршыні снежнай горкі вышынёй $h = 4,0$ м і даўжынёй асновы $c = 10,0$ м (мал. 265) на санках з'язджае дзіця. З'ехаўшы з горкі, санкі працягваюць рух па гарызантальным участку і спыняюцца. Каэфіцыент трэння паласоў санак аб снег $\mu = 0,12$. Вызначыце даўжыню гарызантальнага ўчастка руху.

11. Аўтамабіль масай $m = 5,0$ т, які рухаецца па гарызантальным участку дарогі, тармазіць на шляху $s = 60$ м. Якую работу выканалала сіла трэння, калі каэфіцыент трэння слізгання $\mu = 0,50$? На колькі змянілася кінетычная энергія аўтамабіля?

12. У казцы Г. Х. Андэрсана Дзюймовачка плыла на лісце гарлачыка па цячэнні ракі. Як змяняліся кінетычная і патэнцыяльная энергія Дзюймовачкі?

13. Молат для забівання паляў упаў на стальную палю з вышыні $h = 5,0$ м. Маса молата $m = 600$ кг. Вызначыце кінетычную энергію молата ў момант удару па палі. Чаму была роўна сярэдняя сіла супраціўлення глебу, калі паля апусцілася ў глебу на глыбіню $l = 20$ см?



Тэмы праектных заданняў па раздзеле «Законы захавання»

1. Законы захавання ў механіцы і арэлі.
2. Рэактыўны рух у прыродзе.
3. Законы захавання і механічныя цацкі.
4. Якую работу я выконваю кожны дзень, калі апускаюся са свайго паверха і выходжу на вуліцу?
5. Чым выгадныя ветраныя рухавікі?
6. Якая рака больш высокаэнергічная: раўнінная або горная?