



§ 34.

Патэнцыяльная энергія

Вы ўжо ведаеце, што і для пад'ёму цела на некаторую вышыню, і для яго дэфармацыі неабходна выканаць работу. А якая фізічная велічыня характарызуе здольнасць цел выконваць работу?

Атрымаем адказ, правёўшы дослед. З дапамогай ніткі і блока злучым гіру масай m з цыліндрам крыху меншай масы $m_1 \approx m$ (мал. 249, а). Гіра апусціцца на ўзровень стала, а цыліндр падымецца на вышыню h (мал. 249, б). За кошт чаго выконвалася работа па пад'ёме цыліндра? За кошт работы сілы цяжару $m\vec{g}$, з якой Зямля прыцягвае гіру. Значыць, здольнасць выконваць работу набыла не сама гіра, а сістэма цел, якія ўзаемадзейнічаюць, «гіра + Зямля». Мерай гэтай здольнасці з'яўляецца фізічная велічыня, якая называецца *патэнцыяльнай энергіяй*.

Патэнцыяльная энергія — гэта мера здольнасці сіл узаемадзеяння механічнай сістэмы выконваць работу. Абазначым патэнцыяльную энергію сімвалам $E_{\text{п}}$. Яна вымяраецца ў тых жа адзінках, што і работа (у СІ — у *джоўлях*). У далейшым мы будзем гаварыць аб патэнцыяльнай энергіі цела, разумеючы, што размова ідзе аб патэнцыяльнай энергіі сістэмы цел, якія ўзаемадзейнічаюць.

Як вызначыць патэнцыяльную энергію цела?

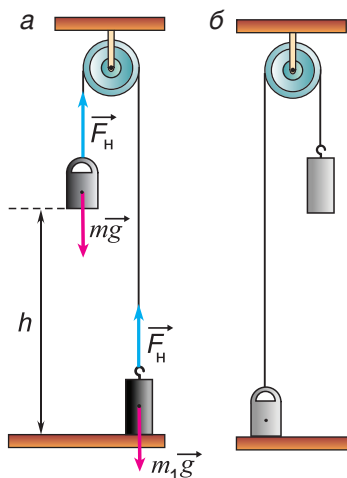
1. Трэба, перш за ўсё, вызначыць нулявы ўзровень, г. зн. стан, у якім патэнцыяльная энергія цела роўна нулю. Напрыклад, можна прыняць, што патэнцыяльная энергія гіры роўна нулю, калі гіра знаходзіцца на паверхні стала, $h = 0$ (мал. 249).

2. Затым трэба знайсці работу A , якую выконваюць сілы ўзаемадзеяння сістэмы «гіра + Зямля» пры пераходзе цела з дадзенага стану ў нулявы (у нашым доследзе — пры перамяшчэнні гіры з вышыні h на паверхню стала). *Гэта работа і вызначае патэнцыяльную энергію цела:*

$$E_{\text{п}} = A. \quad (1)$$

У нашым доследзе работу A выконвала сіла цяжару $m\vec{g}$. Пры перамяшчэнні гіры з вышыні h на нулявы ўзровень работа $A = mgh$. Значыць, патэнцыяльная энергія гіры

$$E_{\text{п}} = mgh. \quad (2)$$



Мал. 249

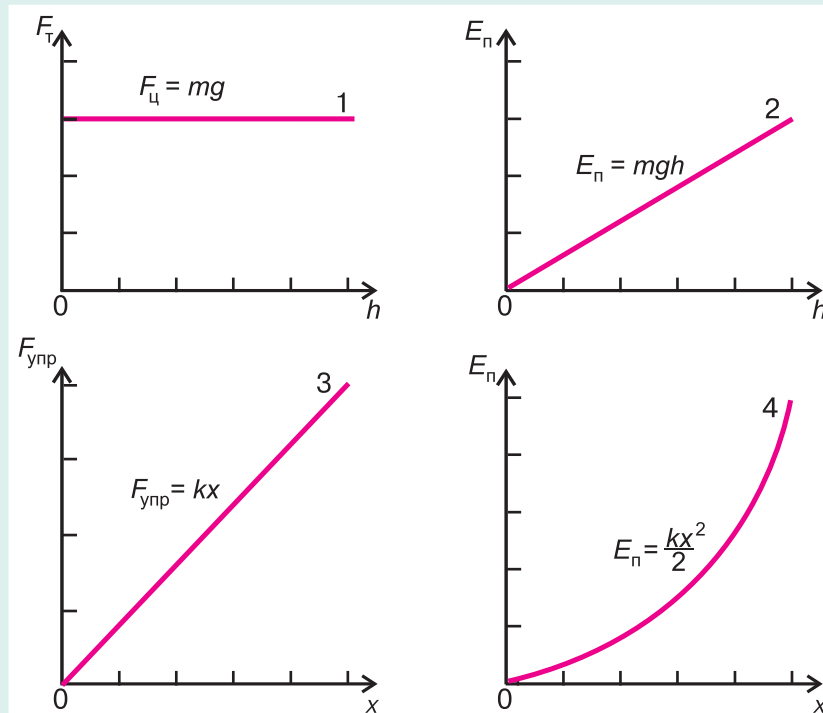
Супадзенне выразу mgh з формулай работы па пад'ёме цела (гл. § 33) невыпадковае. Якая работа неабходна для пад'ёму цела (мал. 249, а), такую работу выканае сіла цяжару пры вяртанні гэтага цела назад (мал. 249, б). Вызначым цяпер патэнцыяльную энергію пругка дэфармаванай спружыны. Вам вядома (§ 33), што работа, неабходная для дэфармацыі спружыны, $A = \frac{kx^2}{2}$. Значыць, патэнцыяльная энергія пругка дэфармаванай спружыны:

$$E_{\text{п}} = \frac{kx^2}{2}. \quad (3)$$

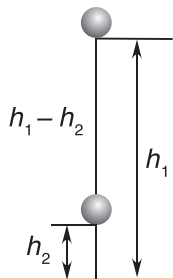
Формула (3) вызначае патэнцыяльную энергію любога пругкага цела пры дэфармацыях сціскання і расцяжэння.

▼ Для дапытлівых

Формулы $E_{\text{п}} = mgh$ і $E_{\text{п}} = \frac{kx^2}{2}$ адрозніваюцца адна ад адной, хоць абедзве апісваюць адну і тую ж фізічную велічыню — патэнцыяльную энергію. Прычына адрознення гэтых формул у тым, што модуль сілы цяжару $F_{\text{ц}} = mg$ пастаянны (графік 1 на малюнку 250), а модуль сілы пругкасці $F_{\text{упр}} = kx$ змяняецца ў працэсе дэфармавання (графік 3). Таму адрозніваюцца і графікі патэнцыяльных энергій: нахіленая прамая 2 і ўчастак парабалы 4 на малюнку 250.



Мал. 250



Мал. 251

Разгледзім яшчэ дзве ўласцівае патэнцыяльнай энергіі.

1. Змяненне патэнцыяльнай энергіі і работа сілы ўзаемадзеяння маюць процілеглыя знакі.

Напрыклад, пры руху цела масай m уніз з вышыні h_1 да вышыні h_2 (мал. 251) работа сілы цяжару $A = mg(h_1 - h_2) > 0$. Змяненне ж патэнцыяльнай энергіі $\Delta E_{\text{п}} = E_2 - E_1 = mg(h_2 - h_1) < 0$, г. зн.

$$\Delta E_{\text{п}} = -A. \quad (4)$$

Гэта роўнасць справядлівая для ўсіх відаў патэнцыяльнай энергіі.

2. Нулявы ўзровень патэнцыяльнай энергіі можна выбраць адвольна. Значэнне патэнцыяльнай энергіі залежыць ад выбару нулявога ўзроўню. Напрыклад (гл. мал. 249), калі за нулявы ўзровень прыняць узровень падлогі, а не павярхні стала, то пры вышыні стала, роўнай H , патэнцыяльная энергія гіры павялічыцца на mgH . Аднак змяненне патэнцыяльнай энергіі $\Delta E_{\text{п}}$ (формула (4)) ад выбару нулявога ўзроўню не залежыць (дакажыце гэта самастойна). У кожным канкрэтным выпадку нулявы ўзровень выбіраюць так, каб рашаць задачу было прасцей.

Галоўныя вывады

1. Патэнцыяльная энергія характарызуе здольнасць цела выконваць работу.
2. Патэнцыяльная энергія роўна рабоце сілы ўзаемадзеяння, выконваемай пры пераходзе цела з дадзенага стану на нулявы ўзровень.
3. Змяненне патэнцыяльнай энергіі роўна рабоце сілы ўзаемадзеяння, узятай з процілеглым знакам.

? Кантрольныя пытанні

1. У якіх выпадках цела мае патэнцыяльную энергію?
2. Як вызначыць патэнцыяльную энергію любога цела? Ад чаго яна залежыць?
3. Чаму роўна патэнцыяльная энергія цела ў сістэме «цела + Зямля»?
4. Чаму роўна патэнцыяльная энергія пружка дэфармаванага цела?



Прыклад рашэння задачы

Недэфармаваную спружыну жорсткасцю $k = 200 \frac{\text{Н}}{\text{м}}$ расцягнулі ад пачатковай даўжыні $l_0 = 16$ см да даўжыні $l = 20$ см. Вызначыце работу знешняй сілы па расцяжэнні спружыны, работу сілы пружкасці і змяненне патэнцыяльнай энергіі спружыны.

Дадзена:

$$l_0 = 16 \text{ см} = 0,16 \text{ м}$$

$$l = 20 \text{ см} = 0,20 \text{ м}$$

$$k = 200 \frac{\text{Н}}{\text{м}}$$

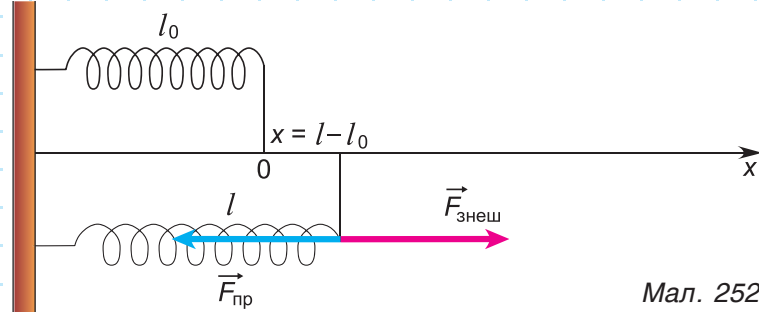
$$A_{\text{знеш}} \text{ — ?}$$

$$A_{\text{пр}} \text{ — ?}$$

$$\Delta E_{\text{п}} \text{ — ?}$$

Рашэнне

Выканаем малюнак да задачы (мал. 252).



Мал. 252

Работа знешняй сілы: $A_{\text{знеш}} = \frac{kx^2}{2}$. З малюнка вынікае: $x = l - l_0$.

Тады

$$A_{\text{знеш}} = \frac{k(l-l_0)^2}{2} = \frac{200 \frac{\text{Н}}{\text{м}} \cdot 16,0 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2}{2} = 0,16 \text{ Дж.}$$

Работа сілы пружкасці: $A_{\text{пр}} = -A_{\text{знеш}} = -0,16 \text{ Дж.}$

Змяненне патэнцыяльнай энергіі: $\Delta E_{\text{п}} = A_{\text{знеш}} = 0,16 \text{ Дж.}$

Работа знешняй сілы пайшла на павелічэнне патэнцыяльнай энергіі спружыны.

Адказ: $A_{\text{знеш}} = 0,16 \text{ Дж}; A_{\text{пр}} = -0,16 \text{ Дж}; \Delta E_{\text{п}} = 0,16 \text{ Дж.}$

Практыкаванне 27

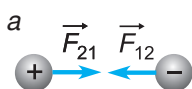
1. У выніку расцяжэння спружыны на $\Delta l = 8,0 \text{ см}$ яна набыла патэнцыяльную энергію $E_{\text{п}} = 0,32 \text{ Дж}$. Вызначыце жорсткасць спружыны.

2. Недэфармаваная спружына жорсткасцю $k = 200 \frac{\text{Н}}{\text{м}}$ пад дзеяннем знешняй сілы падоўжылася на $\Delta l_1 = 3,0 \text{ см}$. Вызначыце работу, якую павінна выканаць знешняя сіла, каб зрабіць спружыну даўжэйшай яшчэ на $\Delta l_2 = 2,0 \text{ см}$. Параўнайце гэту работу з работай сіл пружкасці спружыны і са змяненнем яе патэнцыяльнай энергіі.

3. Вызначыце масу каменя, пры павольным пад'ёме якога з ямы глыбінёй $h = 2,0 \text{ м}$ на паверхню выканана работа $A = 100 \text{ Дж}$. Паскарэнне свабоднага падзення прыняць роўным $g = 10 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$.



4. Як трэба змяніць адлегласць паміж электрычна зараджанымі шарыкамі (паменшыць або павялічыць яе), каб патэнцыяльная энергія сістэмы ўзрасла? Адкажыце на гэта пытанне для кожнай сістэмы (мал. 253, а, б, в).



Мал. 253



§ 35.

Кінетычная энергія. Поўная энергія сістэмы цел

З 7-га класа вы ведаеце, што, акрамя патэнцыяльнай энергіі, існуе і кінетычная. Яна залежыць ад масы і скорасці руху цела. А як яна звязана з работай?



Мал. 254

Звернемся да прыкладаў. Малатком забіваюць у дошку цвік (мал. 254, а). Вагон, які рухаецца, сутыкаецца з вагонам у стане спакою і сціскае буферныя спружыны.

Сілы, якія дзейнічаюць з боку цел, што рухаюцца (малатка, вагона), выконваюць работу. Значыць, целы, якія рухаюцца, валодаюць здольнасцю выконваць работу. Колькаснай мерай гэтай здольнасці з'яўляецца **кінетычная энергія** (абазначаецца сімвалам E_k).

А як цела набывае кінетычную энергію? У выніку работы, выкананай над ім. Напрыклад, пры кіданні молата або кап'я (мал. 254, б) работу выконвае мускульная сіла спартсмена. Чым большая работа, тым мацней цела разгоніцца і тым большую кінетычную энергію набудзе.

Кінетычную энергію вызначаюць як велічыню, роўную рабоце, якую неабходна выканаць, каб разгнаць цела са стану спакою да дадзенай скорасці:

$$E_k = A. \quad (1)$$

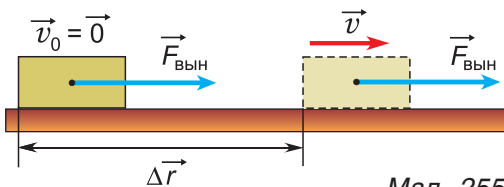
Знойдзем гэту работу. Няхай цела масай m разганяецца са стану спакою да скорасці \vec{v} пад дзеяннем сіл, выніковая якіх $\vec{F}_{\text{вын}}$ пастаянная (мал. 255). Цела будзе рухацца роўнапаскорана, а работа па разгоне цела будзе роўна:

$$A = F_{\text{вын}} \Delta r, \quad (2)$$

дзе Δr — модуль перамяшчэння цела. Пры роўнапаскораным руху без пачатковай скорасці (§ 12) квадрат скорасці цела: $v^2 = 2a\Delta r$, па другім законе Ньютана $a = \frac{F_{\text{вын}}}{m}$. Тады $v^2 = 2 \frac{F_{\text{вын}}}{m} \Delta r$, адкуль $F_{\text{вын}} \Delta r = \frac{mv^2}{2}$.

Паколькі $F_{\text{вын}} \Delta r = A = E_k$, кінетычная энергія цела:

$$E_k = \frac{mv^2}{2}. \quad (3)$$



Мал. 255

Кінетычная энергія — велічыня скалярная. Яна залежыць ад модуля скорасці, але не залежыць ад яе напрамку. Вымяраецца ў тых жа адзінках, што і работа (у СІ — у джоўлях).

А калі пачатковая скорасць руху цела $\vec{v}_0 \neq \vec{0}$? Тады $v^2 = v_0^2 + 2a\Delta r$, дзе $a = \frac{F_{\text{выш}}}{m}$. Нескладана атрымаць:

$$\frac{mv^2}{2} - \frac{mv_0^2}{2} = A. \quad (4)$$

Работа пайшла на змяненне кінетычнай энергіі цела.

Формула (4) выражае тэарэму аб змяненні кінетычнай энергіі.

Змяненне кінетычнай энергіі цела роўна рабоце выніковай усіх сіл, прыкладзеных да яго.

Паколькі скорасць руху адносна, то кінетычная энергія таксама адносна. Напрыклад, кінетычная энергія пасажыра, што сядзіць у вагоне цягніка, які рухаецца, роўна нулю адносна вагона і ад-розніваецца ад нуля адносна платформы.

А што такое поўная энергія? Чаму яна роўна?

Разгледзім прыклад. Няхай мяч масай m , які падае, у некаторы момант часу знаходзіцца на вышыні h і мае скорасць \vec{v} (мал. 256).

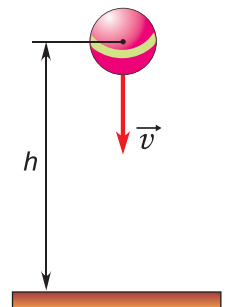
Знойдзем суму кінетычнай і патэнцыяльнай энергіі мяча. Гэту суму называюць механічнай энергіяй цела:

$$E_{\text{мех}} = E_{\text{к}} + E_{\text{п}} = \frac{mv^2}{2} + mgh. \quad (5)$$

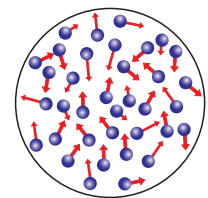
Ці знойдзена поўная энергія? Не.

Як вы ўжо ведаеце, усе целы складаюцца з мікрачасціц — атамаў, малекул і інш. Гэтыя часціцы ўдзельнічаюць у хаатычным цеплавым руху (мал. 257) і ўзаемадзейнічаюць (прыцягваюць і адштурхваюць адна адну). Сума кінетычнай энергіі цеплавога руху мікрачасціц і патэнцыяльнай энергіі іх ўзаемадзейння называецца ўнутранай энергіяй цела $E_{\text{унтр}}$. Значыць, поўная энергія E цела роўна:

$$E = E_{\text{мех}} + E_{\text{унтр}}. \quad (6)$$



Мал. 256



Мал. 257

Галоўныя вывады

1. Кінетычная энергія цела прама прапарцыянальна яго масе і квадрату скорасці яго руху.
2. Значэнне кінетычнай энергіі залежыць ад выбару сістэмы адліку.
3. Змяненне кінетычнай энергіі роўна рабоце выніковай усіх сіл, прыкладзеных да цела.
4. Механічная энергія цела ёсць сума яго кінетычнай і патэнцыяльнай энергіі.
5. Поўная энергія цела складаецца з яго механічнай і ўнутранай энергіі.

? Кантрольныя пытанні

1. У якім выпадку цела валодае кінетычнай энергіяй?
2. Скалярнай ці вектарнай велічынёй з'яўляецца кінетычная энергія?
3. Чаму роўна змяненне кінетычнай энергіі цела?
4. У якім выпадку кінетычная энергія цела павялічваецца? Памяншаецца? Не змяняецца?
5. Ці залежыць кінетычная энергія ад выбару сістэмы адліку?
6. Што такое механічная энергія сістэмы цел? Унутраная энергія? З чаго складаецца поўная энергія сістэмы?



Прыклад рашэння задачы

Камень масай $m = 0,50$ кг кінуты вертыкальна ўверх са скорасцю, модуль якой $v_0 = 20 \frac{\text{м}}{\text{с}}$. Якую кінетычную энергію будзе мець камень праз час $t_1 = 1,0$ с і $t_2 = 2,0$ с ад пачатку руху? Супраціўленне паветра не ўлічваць. Прыняць $g = 10 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$.

Дадзена:

$$m = 0,50 \text{ кг}$$

$$v_0 = 20 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

$$t_1 = 1,0 \text{ с}$$

$$t_2 = 2,0 \text{ с}$$

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

$$E_{\text{к1}} \text{ — ?}$$

$$E_{\text{к2}} \text{ — ?}$$

Рашэнне

Знойдзем модулі скорасці каменя v_1 і v_2 пры $t_1 = 1,0$ с і $t_2 = 2,0$ с:

$$v_1 = v_0 - gt_1; \quad v_1 = 20 \frac{\text{м}}{\text{с}} - 10 \frac{\text{м}}{\text{с}} \cdot 1,0 \text{ с} = 10 \frac{\text{м}}{\text{с}};$$

$$v_2 = v_0 - gt_2; \quad v_2 = 20 \frac{\text{м}}{\text{с}} - 10 \frac{\text{м}}{\text{с}} \cdot 2,0 \text{ с} = 0.$$

Кінетычная энергія каменя праз час $t_1 = 1,0$ с:

$$E_{\text{к1}} = \frac{mv_1^2}{2} = \frac{0,50 \text{ кг} \cdot 100 \frac{\text{м}^2}{\text{с}^2}}{2} = 25 \text{ Дж.}$$

$$\text{Праз } t_2 = 2,0 \text{ с: } E_{\text{к2}} = \frac{mv_2^2}{2} = 0.$$

$$\text{Адказ: } E_{\text{к1}} = 25 \text{ Дж}; E_{\text{к2}} = 0.$$

Практыкаванне 28

1. Камень масай $m = 1,5$ кг упаў у ваду. Якую кінетычную энергію меў камень у момант падзення ў ваду, калі модуль яго скорасці ў гэты момант $v = 20 \frac{\text{м}}{\text{с}}$?

2. Як зменіцца кінетычная энергія трамвая, калі яго скорасць павялічыцца ў $k = 2$ разы? Паменшыцца ў $n = 3$ разы?

3. Кінуты вертыкальна ўверх металічны шарык масай $m = 200$ г вярнуўся ў пункт кідання праз час $t = 4,0$ с. Вызначыце механічную энергію шарыка праз час $t_1 = 3,0$ с ад моманту кідання. Супраціўленне паветра не ўлічваць. Прыняць $g = 10 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$.