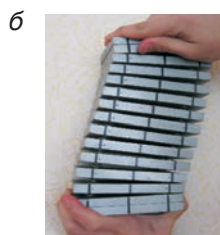
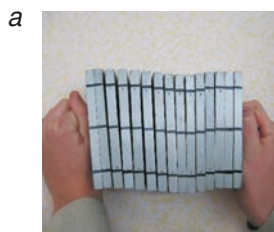




§ 19.

Дэфармацыя цел. Сіла пругкасці. Закон Гука



Мал. 125

Да гэтага часу мы разглядалі мадэль абсалютна цвёрдага цела. Памеры і форма цела ў працэсе яго руху і ўзаемадзеяння не змяняліся. Аднак у шэрагу з'яў адбываецца **дэфармацыя цела**, г. зн. **змяненне яго памераў, формы**. Якімі заканамернасцямі апісваюцца дэфармацыі?

Дэфармацыя адбываецца ў выніку перамяшчэння адных частак цела адносна другіх. На малюнках 125, а, б, в, г на мадэлі паказаны розныя віды дэфармацый: сцісканне, зрух, выгін, кручэнне.

Пры *сцісканні* (мал. 125, а) і *расцяжэнні* змяняюцца адлегласці паміж сляямі. Пры *зруху* (мал. 125, б) слаі зрушваюцца адзін адносна аднаго. Дэфармацыя *выгину* (мал. 125, в) з'яўляецца камбінацыяй сціскання і расцяжэння. Пры дэфармацыі *кручэння* (мал. 125, г) слаі паварочваюцца адзін адносна аднаго.

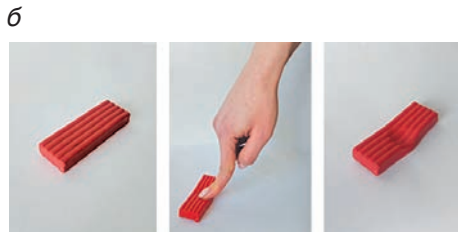
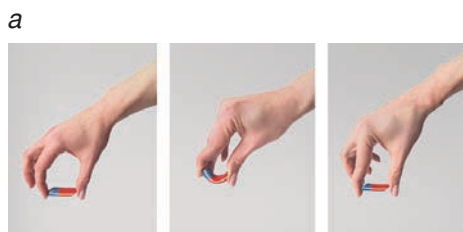
Дэфармацыі ўзнікаюць пад дзеяннем прыкладзеных да цела сіл (мал. 125). А што будзе, калі дзеянне сіл спыніцца?

Правядзём дослед. Выгнем гумку (мал. 126, а). Яна дэфармуецца. Спынім уздзеянне. Дэфармацыя знікне.

Калі памеры і форма цела цалкам аднаўляюцца пасля спынення дзеяння сілы, то дэфармацыю называюць **пружкай**.

Дэфармуем цяпер кавалак пластыліну (мал. 126, б). Пасля спынення дзеяння сілы яго форма не аднавілася. Такую дэфармацыю называюць **няпружкай** або **пластычнай**.

Пластычную дэфармацыю зведвае метал пры пракаце, коўцы (мал. 127), штампоўцы і г. д.



Мал. 126

Мал. 127

Характар дэфармацыі залежыць не толькі ад рэчыва, з якога складаецца цела, але і ад таго, наколькі вялікая знешняя сіла, як доўга яна дзейнічае, а таксама ад тэмпературы цела. Напрыклад, калі жалезную пласціну крыху сагнуць і адпусціць, яна адновіць сваю форму. Аднак, калі яе замацаваць у дэфармаваным стане на працяглы час, то пасля зняцця знешняй сілы аднаўленне будзе няпоўным.

Калі ж цела нагрэта да высокай тэмпературы, то дэфармацыя будзе пластычнай нават пад дзеяннем кароткатэрміновай сілы (мал. 127).

Разгледзім падрабязней найбольш простую дэфармацыю: пругкае расцяжэнне. Як велічыня дэфармацыі цела залежыць ад прыкладзенай да яго сілы?

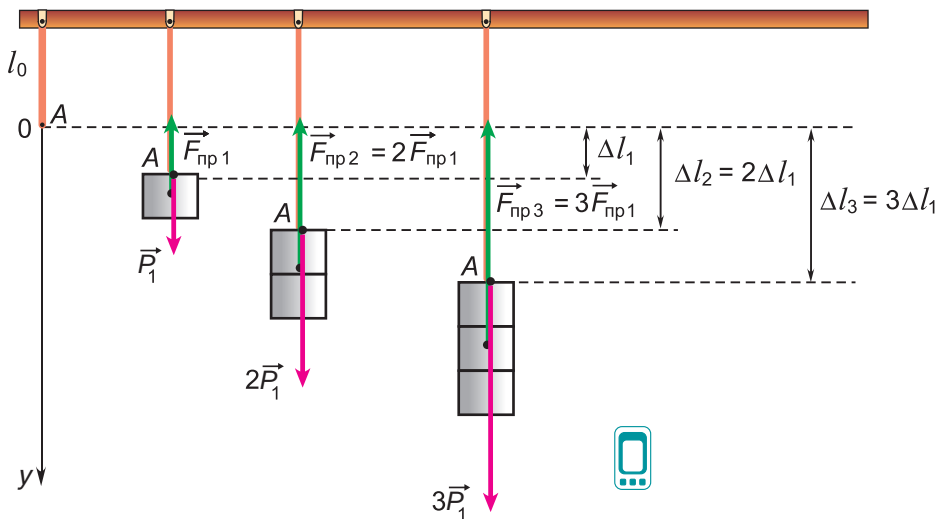
Правядзём дослед. Замацуем адзін канец гумавага шнура, а да другога падвесім груз (мал. 128). Пад дзеяннем дэфармуючай сілы $\vec{F}_{\text{дэф}} = \vec{P}_1$ (вагі груза) шнур расцягнецца. Яго даўжыня стане большай за пачатковую на велічыню Δl_1 . Будзем павялічваць дэфармуючую сілу, падвешваючы два, тры і г. д. аднолькавыя грузы: $F_{\text{дэф}} = 2P_1, 3P_1, \dots$

Падаўжэнне шнура Δl узрастае ў столькі ж разоў.

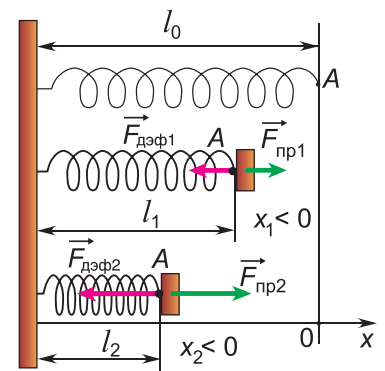
Правядзём аналагічныя доследы са спружынай (мал. 129). Яе можна як расцягваць, так і сціскаць. Вынікі будуць аналагічныя: пры пругкіх дэфармацыях сціскання і расцяжэння змяненне даўжыні цела прама прапарцыянальнае дэфармуючай сіле:

$$|\Delta l| \sim F_{\text{дэф}}. \quad (1)$$

Як пры расцяжэнні шнура, так і пры сцісканні спружыны ў адказ на дзеянне дэфармуючай сілы $\vec{F}_{\text{дэф}}$ узнікала сіла пругкасці $\vec{F}_{\text{пр}}$, якая процідзейнічала ёй (мал. 128 і 129).



Мал. 128



Мал. 129

Да чаго прыкладзена сіла пругкасці? Куды яна накіравана? Якім заканамернасцям яна падпарадкоўваецца? Якая яе прырода?

Малюнкi 128 і 129 паказваюць: **сіла пругкасці прыкладзена да цела, якое выклікала дэфармацыю.**

Згодна з трэцім законам Ньютана:

$$\vec{F}_{\text{пр}} = -\vec{F}_{\text{дэф}}. \quad (2)$$

Сіла пругкасці накіравана супраць дэфармуючай сілы, а іх модулі роўныя.

З формул (1) і (2) вынікае:

$$F_{\text{пр}} = k|\Delta l|, \quad (3)$$

дзе k — пастаянны каэфіцыент. Значыць, пры пругкіх дэфармацыях сціскання і расцяжэння модуль сілы пругкасці прама прапарцыянальны змяненню даўжыні цела.

Гэта — **закон Гука** (устапоўлены англійскім вучоным Робертам Гукам у 1660 г.).

Каэфіцыент прапарцыянальнасці $k = \frac{F_{\text{пр}}}{|\Delta l|}$ называецца **жорсткасцю** цела.

Жорсткасць цела лікава роўна модулю сілы пругкасці, якая ўзнікае пры падаўжэнні (або сцісканні) цела на адзінку даўжыні.

Адзінка жорсткасці ў СІ — 1 *ньютан на метр* $\left(\frac{\text{Н}}{\text{м}}\right)$.



Для дапытлівых

Жорсткасць цела залежыць ад матэрыялу, з якога яно выраблена, ад формы і памераў цела, ад яго тэмпературы. Жорсткасць цела пастаяннага папярочнага сячэння (шнура, дроту і г. д.) прама прапарцыянальна плошчы сячэння і адваротна прапарцыянальна даўжыні цела.

На малюнках 128 і 129 бачна, што і пры расцяжэнні, і пры сцісканні сіла пругкасці накіравана супраць перамяшчэння пункта прыкладання дэфармуючай сілы (пункта А). З улікам гэтага закон Гука запісваюць у наступным выглядзе:

$$F_{\text{пр } x} = -kx, \quad (4)$$

дзе $F_{\text{пр } x}$ — праекцыя сілы пругкасці на вось Ox , а x — каардыната пункта А. Пачатак каардынат на восі Ox выбраны так, каб пры $x = 0$ дэфармацыя адсутнічала.

На малюнках 130 а, б паказаны графікі залежнасці сілы пругкасці ад дэфармацыі Δl і ад x . Прама-лінейнасць графікаў выражае прамую прапарцыянальную залежнасць сілы пругкасці ад $|\Delta l|$ і ад x .

Не забывайцеся, што закон Гука, а значыць і формулы (3), (4) выконваюцца толькі для пругкіх дэфармацый!

Усе целы вакол нас у той або іншай ступені дэфармаваныя. Хоць гэтыя дэфармацыі часцей за ўсё незаўважныя, звязаныя з імі сілы пругкасці не малыя. Напрыклад, сіла пругкасці паліцы ўраўнаважвае сілу цяжару кнігі (мал. 131), сіла пругкасці рэак — сілу цяжару цягніка і г. д. Сілу пругкасці, якая ўзнікае ў адказ на дзеянне цела на апору, называюць *сілай рэакцыі апоры*. Сілу пругкасці расцягнутай ніткі, вяроўкі, троса і г. д. — *сілай нацяжэння*.

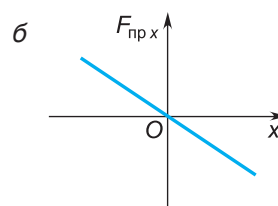
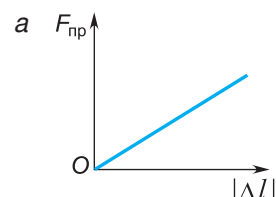
Чаму пры дэфармацыі ўзнікаюць сілы пругкасці? Якая іх прырода?

З 7-га класа вам вядома, што целы складаюцца з малекул, якія ўзаемадзейнічаюць адна з адной, і што сілы ўзаемадзеяння маюць электрамагнітнае паходжанне. Уласцівасці гэтых сіл такія, што на пэўнай адлегласці r_0 паміж малекуламі сіла іх узаемадзеяння роўна нулю, пры $r < r_0$ малекулы адштурхваюцца адна ад адной, а пры $r > r_0$ — прыцягваюцца.

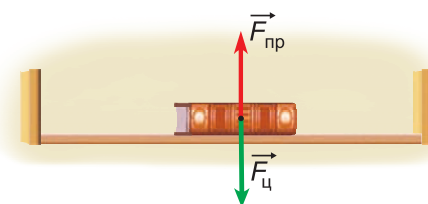
Таму пры сцісканні цела сілы ўзаемадзеяння малекул перашкаджаюць яго сцісканню, а пры расцяжэнні — расцяжэнню.

Сілы пругкасці ўзнікаюць з-за ўзаемадзеяння малекул паміж сабой і маюць электрамагнітную прыроду.

І пругкія, і пластычныя ўласцівасці цел абумоўлены тым, з якіх малекул целы складаюцца і як размешчаны малекулы адна адносна другой. На малюнку 132 паказаны крышталічныя рашоткі алмазу і графіту (разнавіднасцей вугляроду). Рознае размяшчэнне адных і тых жа атамаў вугляроду прыводзіць да рэзкіх адрозненняў уласцівасцей дадзеных рэчываў.



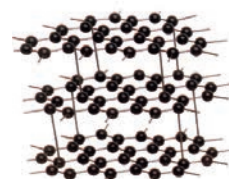
Мал. 130



Мал. 131



Алмаз



Графіт

Мал. 132

Галоўныя вывады

1. Змяненне памераў або формы цела называецца дэфармацыяй.
2. Калі пасля спынення дзеяння знешніх сіл памеры і форма цела цалкам аднаўляюцца, то дэфармацыя называецца пругкай. Калі аднаўляюцца не цалкам, то пластычнай.
3. Сілы пругкасці накіраваны супраць дэфармуючых сіл.
4. Пры пругкіх дэфармацыях сціскання і расцяжэння модуль сілы пругкасці прама прапарцыянальны модулю змянення даўжыні цела: $F_{\text{пр}} = k|\Delta l|$.

? Кантрольныя пытанні

1. Пры якіх умовах узнікае дэфармацыя цела? Якія віды дэфармацый?
2. Што такое пругкая дэфармацыя? Пластычная дэфармацыя?
3. Калі ўзнікаюць сілы пругкасці? Як яны накіраваны?
4. Якая прырода сіл пругкасці?
5. Што сцвярджае закон Гука? Пры якіх умовах ён выконваецца?
6. Што такое жорсткасць цела?
7. Ці будзе залежнасць сілы пругкасці ад падаўжэння цела лінейнай пры любых значэннях Δl ?



Прыклад рашэння задачы

Пад дзеяннем спружыннага дынамометра жалезны кубік з даўжынёй канта $l = 10$ см рухаецца па гладкай гарызантальнай паверхні з пастаянным паскарэннем, модуль якога $a = 10 \frac{\text{см}}{\text{с}^2}$. Вызначыце падаўжэнне спружыны дынамометра жорсткасцю $k = 100 \frac{\text{Н}}{\text{м}}$.

Дадзена:

$$l = 10 \text{ см} = 0,10 \text{ м}$$

$$a = 10 \frac{\text{см}}{\text{с}^2} = 0,10 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$$

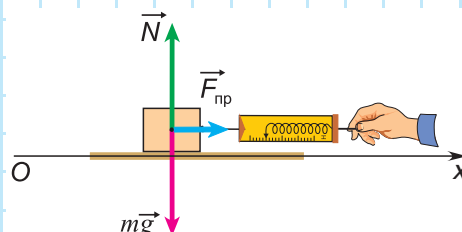
$$k = 100 \frac{\text{Н}}{\text{м}}$$

$$\rho_{\text{ж}} = 7800 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

$$\Delta l = ?$$

Рашэнне

Выканаем малюнак да задачы (мал. 133).



Мал. 133

Па ўмове задачы на кубік дзейнічаюць: сіла цяжару $m\vec{g}$, сіла рэакцыі $\vec{N}$ і сіла пругкасці спружыны $\vec{F}_{\text{пр}}$. Трэнне адсутнічае. Па другім законе Ньютана:

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

У праекцыі на вось Ox :

$$ma = F_{\text{пр}}. \quad (2)$$

Маса кубіка $m = \rho_{\text{ж}}V$, дзе аб'ём кубіка $V = l^3$. Тады

$$m = \rho_{\text{ж}}l^3. \quad (3)$$

Модуль сілы пругкасці спружыны дынамометра па законе Гука:

$$F_{\text{пр}} = k|\Delta l|. \quad (4)$$

Падставіўшы выразы (3) і (4) у выраз (2), атрымаем:

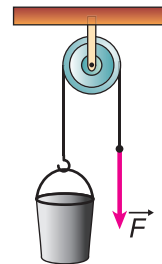
$$\rho_{\text{ж}}l^3a = k|\Delta l|.$$

$$\text{Адсюль } |\Delta l| = \frac{\rho_{\text{ж}}l^3a}{k} = \frac{7800 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot 0,0010 \text{ м}^3 \cdot 0,10 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}}{100 \frac{\text{Н}}{\text{м}}} = 0,0078 \text{ м} = 7,8 \text{ мм}.$$

$$\text{Адказ: } \Delta l = 7,8 \text{ мм}.$$

Практыкаванне 15

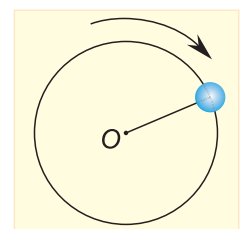
1. Вядро з пяском масай $m = 15,0$ кг раўнамерна паднімаюць з дапамогай вяроўкі і нерухомага блока (мал. 134). Вызначыце модуль сілы нацяжэння вяроўкі. Масу блока, вяроўкі і трэнне не ўлічваюць. У гэтай і наступных задачах прыняць $g = 10 \frac{\text{Н}}{\text{кг}}$.



Мал. 134

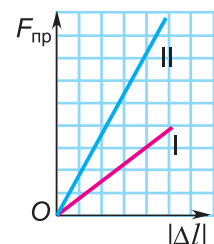
2. Вызначыце модуль сілы нацяжэння вяроўкі, калі вядро масай $m = 15,0$ кг паднімаюць з паскарэннем, модуль якога $a = 1,60 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$ (мал. 134).

3. Па гладкай гарызантальнай паверхні па акружнасці радыусам $R = 30$ см рухаецца шарык масай $m = 200$ г, які ўтрымліваецца ніткай (мал. 135). Перыяд абарачэння шарыка $T = 3,14$ с. Вызначыце падаўжэнне ніткі, калі яе жорсткасць $k = 60 \frac{\text{Н}}{\text{м}}$.



Мал. 135

4. На малюнку 136 паказаны графікі залежнасці модуляў сілы пругкасці ад абсалютнага падаўжэння для дзвюх спружын. У колькі разоў адрозніваюцца жорсткасці спружын?



Мал. 136



5. Спружына мае жорсткасць $k = 150 \frac{\text{Н}}{\text{м}}$. Якой будзе жорсткасць сістэмы з дзвюх такіх спружын, злучаных:
а) паслядоўна; б) паралельна?