



## § 13.

### Крывалінейны рух. Лінейная і вуглавая скорасці

Мы вивучылі прамалінейны рух — раўнамерны і роўнапераменны. Крывалінейны рух (мал. 88, а, б) сустракаецца значна часцей. Якія заканыя мернасці такога руху?

Няхай цела рухаецца па крывалінейнай траекторыі, паказанай на малюнку 88, в. Яе (як і любую іншую) можна прыбліжана разбіць на прамалінейныя ўчасткі ( $MK$ ,  $AB$ , ...) і дугі акружнасцей ( $KA$ ,  $BD$ , ...) адпаведных радыусаў.

Прамалінейны рух мы вивучылі. Разгледзім цяпер рух цела (лічачы яго матэрыяльным пунктам) па акружнасці (мал. 89).

Каб ахарактарызаваць становішча цела, праводзяць вектар  $\vec{R}$  з цэнтра акружнасці ў той пункт траекторыі, дзе ў дадзены момант гэта цела знаходзіцца. Вектар  $\vec{R}$  называюць **радыус-вектарам**.

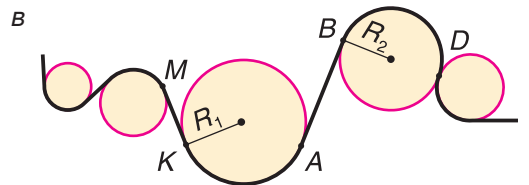
На малюнку 89 радыус-вектар  $\vec{R}_1$  паказвае, дзе знаходзіцца цела ў момант часу  $t_1$ , а радыус-вектар  $\vec{R}_2$  — у момант  $t_2$ .

Цела *рухаецца па акружнасці*, а радыус-вектар выконвае *вярчальны рух*. За час  $\Delta t = t_2 - t_1$  цела пройдзе шлях, роўны даўжыні дугі  $AB$ , а радыус-вектар павернецца на вугал  $\Delta\phi$ .

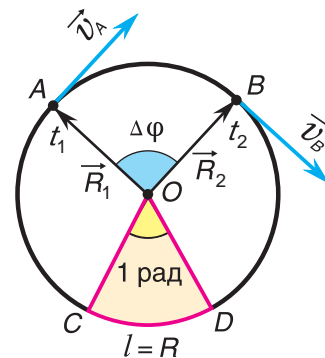
У СІ вугал павароту вымяраецца ў *радыянах* (скарочана — *рад*). Вугал у **1 рад** — гэта **цэнтральны вугал**, даўжыня дугі якога роўна радыусу акружнасці (мал. 89, вугал  $COB$ ).

Значыць, калі цела пройдзе па акружнасці шлях  $s$ , то вугал павароту  $\Delta\phi$ , выражаны ў радыянах, будзе роўны

$$\Delta\phi = \frac{s}{R}. \quad (1)$$



Мал. 88



Мал. 89

Для аднаго поўнага абароту па акружнасці шлях  $s = 2\pi R$ , а вугал павароту  $\Delta\varphi_1 = \frac{2\pi R}{R} = 2\pi$  рад. Значыць,  $2\pi$  рад =  $360^\circ$ , а  $1$  рад =  $\frac{360^\circ}{2\pi} \approx 57,30^\circ \approx 57^\circ 18'$ .

Рухаючыся па траекторыі, у кожны момант часу цела мае імгненную скорасць  $\vec{v}$ , накіраваную па датычнай да акружнасці (мал. 89). Пры разглядзе руху па акружнасці яе прынята называць *лінейнай скорасцю*.

Разгледзім самы прасты з крывалінейных рухаў — *рух па акружнасці, пры якім за любыя роўныя прамежкі часу цела (матэрыяльны пункт) праходзіць аднолькавыя шляхі*. У гэтым выпадку модуль лінейнай скорасці  $v = \text{const}$ . Аднак скорасць руху  $\vec{v}$  як вектарная велічыня непастаянная ( $\vec{v} \neq \text{const}$ ), паколькі яе напрамак безупынна змяняецца (мал. 89).

Калі цела рухаецца па акружнасці са скорасцю, модуль якой  $v = \text{const}$ , яго радыус-вектар  $\vec{R}$  выконвае *раўнамернае вярчэнне*. Хуткасць вярчальнага руху характарызуюць *вуглавой скорасцю*. Яе абазначаюць літарай  $\omega$  (амега). Пры раўнамерным вярчэнні *вуглавая скорасць роўна адносіне вугла павароту  $\Delta\varphi$  радыус-вектара да прамежку часу  $\Delta t$ , за які гэты паварот адбыўся*:

$$\omega = \frac{\Delta\varphi}{\Delta t}. \quad (2)$$

Пры раўнамерным вярчэнні вуглавая скорасць  $\omega$  пастаянная, а яе лікавае значэнне роўна вуглу павароту радыус-вектара за адзінку часу.

Адзінка вуглавой скорасці ў СІ — *1 радыян у секунду*  $\left(1 \frac{\text{рад}}{\text{с}}\right)$ .

Як звязаны модуль лінейнай скорасці  $v$  з вуглавой скорасцю  $\omega$ ? Падставіўшы  $\Delta\varphi = \frac{s}{R}$  у формулу  $\omega = \frac{\Delta\varphi}{\Delta t}$ , атрымаем:  $\omega = \frac{s}{R\Delta t}$ . Адносіна  $\frac{s}{\Delta t} = v$ . Значыць, сувязь паміж вуглавой скорасцю і модулем лінейнай скорасці выражаецца формулай

$$\omega = \frac{v}{R}. \quad (3)$$

Раўнамернае вярчэнне характарызуюць таксама перыядам абарачэння, які абазначаецца літарай  $T$ . **Ён роўны часу, за які цела (матэрыяльны пункт) робіць адзін поўны абарот па акружнасці.**

За прамежак часу  $\Delta t = T$  радыус-вектар паварочваецца на вугал  $\Delta\varphi = 2\pi$ . Значыць, згодна з формулай (2)

$$\omega = \frac{2\pi}{T}. \quad (4)$$

З перыядам і вуглавой скорасцю звязана частата вярчэння. Яе звычайна абазначаюць грэчаскай літарай  $\nu$  (ню).

Частата вярчэння роўна адносіне колькасці абаротаў  $N$  да праежку часу  $\Delta t$ , за які яны выкананы:

$$\nu = \frac{N}{\Delta t}. \quad (5)$$

З формулы (5) вынікае: частата вярчэння роўна колькасці абаротаў за адзінку часу. Адзінкай частаты ў СІ з'яўляецца *1 абарот у секунду*, або  $\frac{1}{c} = c^{-1}$ .

За праежак часу, роўны перыяду ( $\Delta t = T$ ), выконваецца адзін абарот:  $N = 1$ . Тады згодна з формулай (5)

$$\nu = \frac{1}{T}, \quad (6)$$

г. зн. частата вярчэння  $\nu$  — велічыня, адваротная перыяду  $T$ .

З формул (4) і (6) вынікае сувязь паміж вуглавой скорасцю і частатой вярчэння:

$$\omega = 2\pi\nu. \quad (7)$$

*Вуглавая скорасць прапарцыянальна частаце вярчэння.*

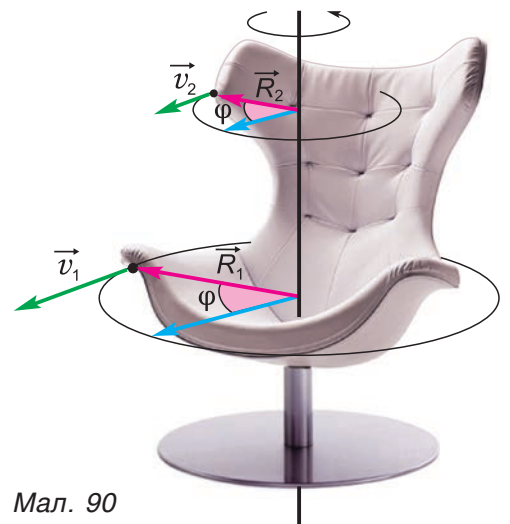
Мы разгледзелі рух матэрыяльнага пункта па акружнасці. Разгледзім цяпер раўнамернае вярчэнне цела вакол нерухомай восі (мал. 90).

Пункты, што размешчаны на восі, знаходзяцца ў стане спакою. Астатнія пункты цела апісваюць акружнасці, якія ляжаць у плоскасцях, перпендыкулярных восі вярчэння. Вуглы павароту  $\Delta\varphi$  радыус-вектараў гэтых пунктаў за адзін і той жа час аднолькавыя. Значыць, аднолькавыя *перыяд  $T$ , частата  $\nu$  і вуглавая скорасць  $\omega$*  усіх гэтых пунктаў.

У той жа час модулі лінейных скорасцей пунктаў цела розныя. Яны залежаць ад адлегласці  $R$  пункта да восі вярчэння (мал. 90). Згодна з формулай (3)

$$v = \omega R.$$

Модулі лінейных скорасцей пунктаў цела, якое раўнамерна верціцца вакол нерухомай восі, прама прапарцыянальны адлегласці да гэтай восі.



Мал. 90

### Галоўныя вывады

1. Вуглавая скорасць вярчальнага руху лікава роўна вуглу павароту радыус-вектара за адзінку часу.
2. Адзінка вуглавой скорасці — 1 радыян у секунду.
3. Частата вярчэння ёсць велічыня, адваротная перыяду.

### ? Кантрольныя пытанні

1. Ці можа быць пастаяннай лінейная скорасць цела пры яго руху па акружнасці? Ці можа быць пастаянным модуль гэтай скорасці? Чаму?
2. Які фізічны сэнс мае вуглавая скорасць? У якіх адзінках яна вымяраецца?
3. Як вуглавая скорасць звязана з лінейнай?
4. Як звязаны перыяд абарачэння з вуглавой скорасцю? Частотой вярчэння?
5. Ці аднолькавыя перыяды абарачэння пунктаў цела, якое верціцца вакол восі? Ці аднолькавыя лінейныя скорасці гэтых пунктаў? Чаму?



### Прыклад рашэння задачы

Вал электрарухавіка кавамолкі выконвае  $N = 45$  абаротаў за час  $t = 6,0$  с. Вызначыце перыяд, частату і вуглавую скорасць раўнамернага вярчэння вала.

Дадзена:

$$N = 45$$

$$t = 6,0 \text{ с}$$

$$T \text{ — ?}$$

$$v \text{ — ?}$$

$$\omega \text{ — ?}$$

Рашэнне

Частата вярчэння вала:

$$\nu = \frac{N}{t}; \quad \nu = \frac{45}{6,0 \text{ с}} = 7,5 \text{ с}^{-1}.$$

Улічваючы сувязь паміж перыядам і частотой, знаходзім:

$$T = \frac{1}{\nu} = \frac{1}{7,5 \text{ с}^{-1}} = 0,13 \text{ с}.$$

Вуглавая скорасць:

$$\omega = 2\pi\nu = 6,28 \text{ рад} \cdot 7,5 \text{ с}^{-1} = 47 \frac{\text{рад}}{\text{с}}.$$

$$\text{Адказ: } T = 0,13 \text{ с}; \quad \nu = 7,5 \text{ с}^{-1}; \quad \omega = 47 \frac{\text{рад}}{\text{с}}.$$

## Практыкаванне 9

1. Колькі радыян змяшчае цэнтральны вугал, даўжыня дугі якога роўна дыяметру акружнасці? Палове даўжыні акружнасці?

2. Жолаб, сагнуты ў выглядзе паловы акружнасці радыусам  $R$ , ляжыць на стала (мал. 91, выгляд зверху). Па жолабе з пункта  $A$  ў пункт  $C$  перамясціўся шарык. Які шлях ён прайшоў? Чаму роўны модуль перамяшчэння шарыка?

Намалюйце вектары перамяшчэнняў шарыка і лінейных скарасцей шарыка ў пунктах  $A$ ,  $B$  і  $C$ , лічачы модуль скорасці руху шарыка  $v = \text{const}$ .

3. Выкарыстаўшы рашэнне папярэдняй задачы, знайдзіце і намалюйце вектары:  $\Delta \vec{v}_1 = \vec{v}_B - \vec{v}_A$ ,  $\Delta \vec{v}_2 = \vec{v}_C - \vec{v}_B$  і  $\Delta \vec{v}_3 = \vec{v}_C - \vec{v}_A$ .

4. Чаму роўна адносіна шляху да модуля перамяшчэння пры руху шарыка (мал. 91): а) з пункта  $A$  ў пункт  $B$ ; б) з пункта  $A$  ў пункт  $C$ ? Які вывад з гэтых разлікаў можна зрабіць?

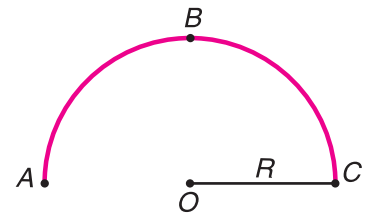
5. Вызначыце вуглавую скорасць, частату вярчэння і перыяд кола, якое раўнамерна верціцца, калі за прамежак часу  $\Delta t = 1,0$  с яно выконвае чвэрць абароту.

6. Пры раўнамерным вярчэнні адно кола за час  $t_1 = 8$  с выконвае  $N_1 = 240$  абаротаў, а другое за час  $t_2 = 40$  с выконвае  $N_2 = 600$  абаротаў. У колькі разоў адрозніваюцца іх вуглавая скорасці? Іх перыяды і частоты вярчэння?

7. Барабан цэнтрыфугі для выкручвання бялізны верціцца раўнамерна з частатой  $\nu = 600 \frac{1}{\text{мін}}$ . Дыяметр барабана  $d = 40$  см. Вызначыце перыяд і вуглавую скорасць вярчэння барабана. Знайдзіце модуль лінейнай скорасці пунктаў на яго паверхні.

8. Вызначыце перыяды, частоты і вуглавая скорасці вярчэння гадзіннікавай, мінутнай і секунднай стрэлак гадзінніка.

9. Вызначыце вуглавую і лінейную скорасці абарачэння Зямлі вакол Сонца. Адлегласць ад Зямлі да Сонца лічыце роўнай  $R = 150\,000\,000$  км.



Мал. 91