

$$v = v_0 + a t \quad (4.47)$$

gdzie:

$t$  – całkowity czas trwania ruchu od położenia  $A_0$  do  $A$ ,

$v_0$  – **prędkość początkowa**, którą ciało ma w punkcie  $A_0$ ,

$a$  – przyspieszenie w ruchu jednostajnie zmiennym.

Drogę całkowitą  $s$  w ruchu jednostajnie zmiennym można obliczyć ze wzoru:

$$s = s_0 + \frac{a t^2}{2} \quad (4.48)$$

gdzie:

$s_0$  – droga początkowa,

$a$  – przyspieszenie w ruchu jednostajnie zmiennym,

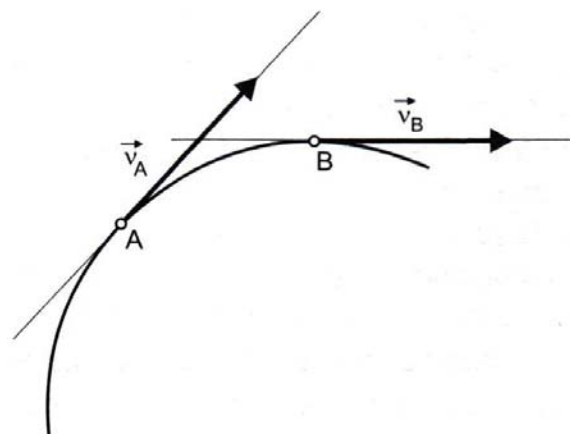
$t$  – czas trwania ruchu.

### 4.8.3. Ruch krzywoliniowy

Wektor prędkości w ruchu prostoliniowym jest skierowany wzdłuż toru ruchu, a jego kierunek zgodny z kierunkiem ruchu. W ruchu krzywoliniowym wektor prędkości jest styczny do toru w każdej chwili. Jeżeli wartość wektora nie zmienia się, a zmienia się kierunek i nachylenie, to punkt porusza się ruchem **krzywoliniowym jednostajnym** (rys. 4.40).

Ruch **krzywoliniowy zmienny**, oprócz zmiany kierunku i nachylenia wektora prędkości, charakteryzuje również zmiana wartości prędkości.

Pozostawiając dalsze rozważania dotyczące ogólnego matematycznego opisu ruchu krzywoliniowego, skierujemy naszą uwagę na ruch po okręgu i ruch obrotowy ciała, zjawiska często spotykane w pracy mechanika samochodowego.



Rys. 4. 40. Ruch krzywoliniowy jednostajny

### 4.8.4. Ruch jednostajny po okręgu

Ruch po okręgu jest szczególnym i najczęściej spotykanym przypadkiem ruchu krzywoliniowego. Przykładowo, takim ruchem porusza się pojazd na łuku o stałym promieniu (np. na rondzie).

Punkt materialny, poruszając się ruchem jednostajnym po okręgu o promieniu  $r$ , przebywa jednakowe odcinki drogi w jednostce czasu. Wektor prędkości  $\vec{v}$  jest styczny do toru ruchu, a jego wartość jest stała. Prędkość w ruchu jednostajnym wyraża się wzorem:

$$v = \frac{s}{t} \quad (4.49)$$

gdzie:

$s$  – droga,

$t$  – czas trwania ruchu.

Ponieważ drogą w tym przypadku jest nie linia prosta, jak w ruchu prostoliniowym, ale długość łuku  $s$  o promieniu  $r$ , czyli

$$s = r \alpha \quad (4.50)$$

gdzie:

$r$  – promień łuku,

$\alpha$  – kąt  $\alpha$  (w radianach), który przebył punkt,

$t$  – czas trwania ruchu,

to

$$v = r \frac{\alpha}{t} \quad (4.51)$$

gdzie:

$r$  – promień łuku,

$\alpha$  – kąt  $\alpha$  (w radianach), który przebył punkt,

$t$  – czas trwania ruchu.

**Prędkość kątowna**  $\omega$  jest to stosunek kąta  $\alpha$  (w radianach), który przebył punkt w czasie  $t$ , do wartości tego czasu.

$$\omega = \frac{\alpha}{t} \left[ \frac{\text{rad}}{\text{s}} \right] \quad (4.52)$$

gdzie:

$\alpha$  – kąt  $\alpha$  (w radianach), który przebył punkt,

$t$  – czas trwania ruchu.

Prędkość w ruchu obrotowym przyjmie zatem postać

$$v = r \omega \quad (4.53)$$

gdzie:

$r$  – promień łuku,

$\omega$  – prędkość kątowna.

#### 4.8.5. Ruch obrotowy jednostajny ciała sztywnego dookoła stałej osi

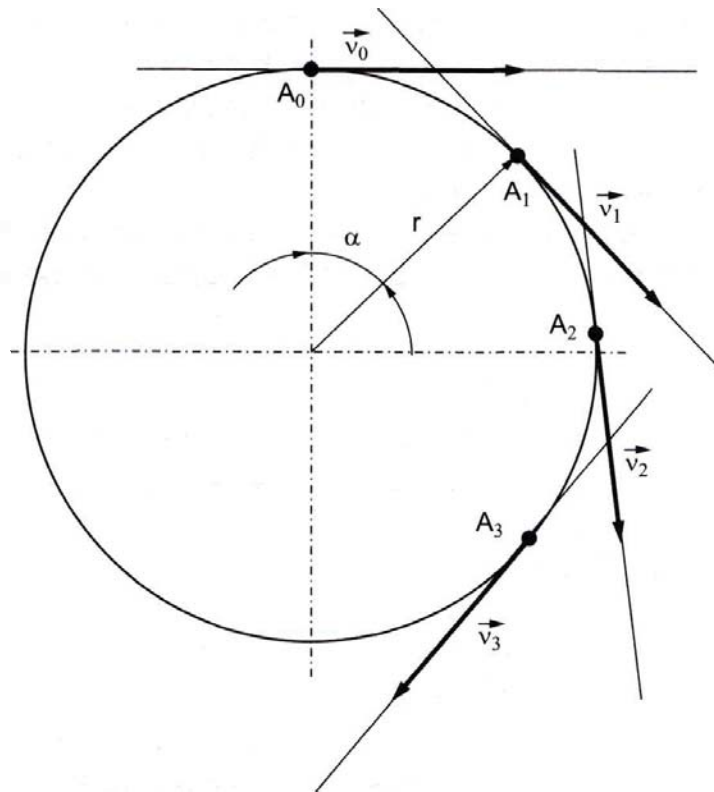
Prędkość kątowna  $\omega$  w ruchu jednostajnym jest stała.

$$\omega = \frac{\alpha}{t} = \text{const} \quad (4.54)$$

gdzie:

$\alpha$  – kąt  $\alpha$  (w radianach), który przebył punkt,

$t$  – czas trwania ruchu.



Rys. 4.41. Ruch po okręgu

Najczęściej spotyka się inne określenie prędkości kątowej, czyli **prędkość obrotową** wyrażaną w obr/min, dzięki czemu łatwo jest stwierdzić, ile razy dane ciało (np. wał korbowy, półoś napędowa) wykonało pełen obrót (tzn. o kąt  $360^\circ$ ) w czasie jednej minuty. Obrotomierze na tablicach rozdzielczych samochodu są wyskalowane w obr/min.

Jeżeli ciało obraca się jednostajnie, wykonując w ciągu jednej minuty jeden obrót o kąt  $\alpha = 360^\circ = 2\pi$  rad (radianów), to prędkość kątowa tego ruchu będzie równa

$$\omega = \frac{\alpha}{t} \quad (4.55)$$

gdzie:

$$\alpha = 2\pi \text{ rad,}$$

$$t = 1 \text{ min} = 60 \text{ s.}$$

Stąd:

$$\omega = \frac{2\pi}{60} \left[ \frac{\text{rad}}{\text{s}} \right] \quad (4.56)$$

Jeżeli ciało wykonuje  $n$  obrotów w czasie minuty, to jego prędkość kątowa wynosi

$$\omega = \frac{2\pi n}{60} \left[ \frac{\text{rad}}{\text{s}} \right] \quad (4.57)$$

czyli

$$\omega = \frac{\pi n}{30} \left[ \frac{\text{rad}}{\text{s}} \right] \quad (4.58)$$

Prędkość dowolnego punktu nie leżącego na osi obrotu można zapisać równaniem:

$$v = r \omega$$

Podstawiając do podanego wzoru

$$\omega = \frac{2\pi n}{60}$$

otrzymuje się

$$v = r \frac{2\pi n}{60} \quad (4.59)$$

Ponieważ  $2r = d$ , więc

$$v = \frac{\pi n d}{60} \quad (4.60)$$

## 4.9. Zasady dynamiki

Dynamika jest to wiedza z zakresu mechaniki, która odnosi się do ruchu ciała i przyczyn wywołujących ten ruch. Z doświadczenia wiadomo, że ciężkie rzeczy trudniej wprawić w ruch niż lżejsze. Przykładowo, ciężarówka, która przewozi ciężki ładunek, przyspiesza bardzo powoli i powoli wytraca prędkość. Dlatego w zawodach Formuły 1 masa bolidu odgrywa tak ważną rolę, a konstruktorzy walczą o każdy kilogram, nawet ilość paliwa jest dokładnie określona, aby nie wozić niepotrzebnego balastu i nie tracić dynamiki pojazdu. Podstawowe **trzy zasady dynamiki** sformułował Newton.

**Zasada 1. Ciało pozostaje w spoczynku lub w ruchu jednostajnym prostoliniowym, jeżeli na ciało nie działa żadna siła lub działające siły się równoważą.**

W praktyce jest trudno znaleźć takie ciało, na które nie działa żadna siła. Siła grawitacji oddziałuje na wszystkie ciała. Jeżeli znajdują się w spoczynku, to siła grawitacji jest równoważona siłą reakcji (np. od podłoża, na którym znajduje się ciało lub reakcji w linie, jeśli to ciało jest zawieszane nad podłożem). Z zasady tej można wnioskować, że ciało raz wprawione w ruch powinno ten ruch utrzymywać w nieskończoność. W praktyce jest jednak inaczej ze względu na występowanie sił tarcia czy sił oporu powietrza. Za przykład może posłużyć ciało poruszające się ruchem jednostajnym prostoliniowym, gdzie siły się równoważą. I tak, spadochroniarz po wyskoku z samolotu porusza się początkowo ruchem przyspieszonym, ponieważ działa na niego siła grawitacji. Wraz ze wzrostem prędkości jego spadania rośnie siła oporu powietrza, do chwili zrównoważenia się z wciąż działającą siłą grawitacji. Ta równowaga następuje przy prędkości około 200 km/h, utrzymywanej do czasu otwarcia spadochronu.

Na podstawie pierwszej zasady dynamiki możemy stwierdzić, że:

- ciało w spoczynku nie może rozpocząć ruchu bez zadziałania na niego siły,
- jeżeli na poruszające się ciało nie działa żadna siła lub siły równoważą się, to może się ono poruszać ruchem prostoliniowym jednostajnym,
- ruch niejednostajny lub krzywoliniowy ciała może wykonywać tylko na skutek działania nań siły.

**Zasada 2. Każda siła przyłożona do ciała nadaje temu ciało przyspieszenie (rys. 4.42). Przyspieszenie jest skierowane wzdłuż linii działania przyłożonej siły, a jego wartość jest wprost proporcjonalna do wartości siły.**

$$\vec{F} = m \vec{a} \quad (4.61)$$

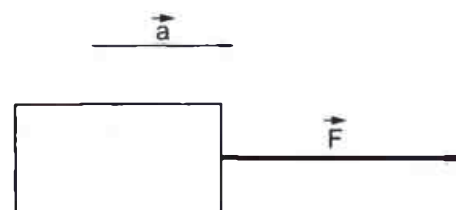
gdzie:

$\vec{F}$  – siła działająca,

$\vec{a}$  – przyspieszenie ruchu,

$m$  – masa poruszającego się ciała.

Różne ciała mają różne masy. Im większa masa, tym większą siłę  $\vec{F}$  trzeba przyłożyć, aby nadać danemu ciału przyspieszenie  $\vec{a}$ .



Rys. 4.42. Druga zasada dynamiki