II.1. Zagadnienia wstępne.

Arystoteles ze Stagiry wyraźnie łączy ruch z czasem:

„A jest niemożliwe, żeby zaczął się albo ustał ruch, gdyż jak powiedzieliśmy ruch jest wieczny, a tak samo i czas, bo czas jest albo tożsamy z ruchem, albo jest jakąś własnością ruchu”. (Metaphysicorum, liber XII, 6).

Obecnie przyjmuje się, że miarą ruchu jest prędkość **v**, która ma charakter wektorowy.

Jednym z efektów ruchu jest powtarzalność zjawisk fizycznych. Miarą powtarzalności jest częstotliwość ν. Z kolei, czas **t** jest prostą funkcją częstotliwości ν :

$$\nu \cdot \mathbf{t} = 1 \qquad \textbf{(II.1.1.)}$$

Ergo: **powtarzalność danego zjawiska wyrabia pojęcie czasu.**

„Każdy wie co to jest czas,
dopóki go o to nie zapytać”

(św. Augustyn z Kippony, 354-430)

Ruch oraz powtarzalność zjawisk fizycznych są absolutnie pierwotnymi cechami tego świata materialnego.

Tak więc, dla tego świata materialnego spełnione są warunki:

$\mathbf{v} \neq \mathbf{0}$ oraz $\nu \neq \mathbf{0}$, a także: $\mathbf{t} \neq \infty$

Powyższe warto porównać z arystotelesowskim dowodem św. Tomasza z Akwinu na istnienie Boga.

Dwa możliwe złożenia prędkości **v** oraz częstotliwości ν definiują dwie wielkości fizyczne, które mają duże znaczenie w rozważaniach z zakresu fizyki:

a)

$$\frac{\mathbf{v}}{\nu} = \mathbf{v} \cdot \mathbf{t} = \lambda \qquad \textbf{(II.1.2.)}$$

co definiuje nową wielkość fizyczną λ zwaną odległością.
W powyższym sensie, odległość λ jest wtórną wielkością fizyczną.
A to z kolei oznacza, że świat ten nie jest sztywną, zadaną konstrukcją.

b)

$$\mathbf{v} \cdot \nu = \frac{\mathbf{v}}{\mathbf{t}} = \frac{\mathbf{v}^2}{\lambda} = \Omega \qquad \textbf{(II.1.3.)}$$

Wielkość fizyczna Ω zwana jest dalej *funkcją stanu ruchu*[1].

Wzajemne oddziaływanie, siła.

Niewątpliwie, zasługą Arystotelesa ze Stagiry jest też wyraźne wskazanie związku między ruchem a oddziaływaniem:

„Quiquid movetur ab alio movetur” – *cokolwiek porusza się przez coś innego jest poruszane.*
Wzajemne oddziaływanie jest absolutnie pierwotną cechą ciał materialnych.

[1] Janusz B. Kępka, *Ruch absolutny i względny*, Warszawa 1999.

Powyższe zostało ogólnie ujęte w III zasadzie dynamiki Isaaca Newtona:
„Każdemu działaniu towarzyszy zawsze przeciwne i równe przeciwdziałanie”.
Miarą oddziaływania jest siła **F**.
W przypadku „tego świata materialnego” jest to zawsze oddziaływanie wzajemne.

Zasada względności Galileo Galilei.

Wewnątrz układu poruszającego się ruchem jednostajnym prostoliniowym, nie można wykryć doświadczalnie czy układ ten porusza się.
Powyższe zwane jest zasadą względności (1632 r.) Galileo Galilei:

„I oto (jeśli ruch statku jest jednostajny) nie zauważycie najmniejszej zmiany we wszystkich zjawiskach i z żadnego z nich nie będziecie mogli poznać, czy statek się porusza, czy stoi w miejscu; skoczywszy, przebędziecie taką samą odległość względem podłogi jak i wtedy, gdy statek stoi, tj. nie wykonacie – dlatego, że statek porusza się bardzo prędko – większego skoku w kierunku rufy niż w kierunku dzioba statku, chociaż w tym czasie, gdy znajdujecie się w powietrzu, podłoga znajdująca się pod wami ucieka w kierunku przeciwnym do skoku, rzucając zaś jakiś przedmiot przyjacielowi, nie trzeba go ciskać z większą siłą, gdy przyjaciel ten znajduje się na dziobie statku, wy zaś na rufie, niż gdybyście stali odwrotnie; kropelki z dzbanka z wodą zawieszonego u sufitu będą spadać pionowo na podłogę i żadna z nich nie spadnie bardziej w kierunku rufy, chociaż w tym czasie, gdy kropla znajduje się w powietrzu, statek posuwa się naprzód. Muchy będą kontynuować swoje loty we wszystkie strony bez różnicy i nigdy nie zdarzy się, aby (nie nadążając jak gdyby za szybkim biegiem statku) zebrały się one z tej strony, która jest bliżej rufy”.

Ruch bezwzględny.

Zauważenie Galileo Galilei odnosi się względem statku.

Natomiast Isaac Newton spojrzał za burtę statku, i zauważył: *„Przestrzeń bezwzględna w całej swej istocie, bezwzględna w stosunku do wszelkich rzeczy zewnętrznych, pozostaje zawsze jednakowa i nieruchoma... Ruch bezwzględny jest to zmiana położenia ciała z jednego jego bezwzględnego miejsca w drugie”.*

Treść I zasady dynamiki Isaaca Newtona odnosi się do przestrzeni bezwzględnej:

„Każde ciało pozostaje w spoczynku lub w ruchu jednostajnym prostoliniowym, jeżeli działanie sił nie zmusi go do zmiany jego stanu”.

Warto tu zaznaczyć, że wszystkie trzy zasady dynamiki Isaaca Newtona odnoszą się do przestrzeni bezwzględnej (absolutnej).

Układy inercjalne.

Jedną z absolutnie pierwotnych cech materii jest naturalna zdolność utrzymywania stanu ruchu, a co zwane jest *bezwładnością* ciał materialnych.
W powyższym sensie, ten świat materialny jest światem inercjalnym.

W przypadku zmiany ruchu danego ciała, tak co do wartości lub/oraz kierunku, pod wpływem działania siły zewnętrznej **F**, pojawia się siła bezwładności **D**, która przeciwdziała zmianie stanu ruchu tego ciała.
Należy tu zaznaczyć, że stan ruchu absolutnego danego ciała odnosi się do przestrzeni absolutnej, w której prędkość **c** światła jest stała i izotropowa. Nie jest to stan ruchu względnego według zasady względności Galileo Galilei.

Siła inercjalna.

Siła inercjalna **D** pojawia się w przypadku zmiany, tak co do wartości jak i kierunku, prędkości $\vec{\mathbf{v}}$ danego ciała materialnego. Siła **D** jest więc funkcją prędkości **v** w czasie **t** .

Przyjmując prostą proporcjonalność między siłą **D** a funkcją stanu ruchu **Ω (Eq. II.1.3.)**, czyli przyjmując: **D ~ Ω,** możemy napisać:

$$\mathbf{D} = \mathbf{m} \cdot \mathbf{\Omega} = \mathbf{m} \cdot \mathbf{v} \cdot \nu = \mathbf{m}\frac{\mathbf{v}}{\mathbf{t}} = \mathbf{m}\frac{\mathbf{v}^2}{\lambda} \qquad \textbf{(II.1.4.)}$$

gdzie: **m -** współczynnik proporcjonalności, zwany jest masą danego ciała.

Z powyższego wynika, że masa **m** jest miarą bezwładności danego ciała materialnego i nie zależy od stanu jego ruchu: **m =** ***invariant.***
W powyższym sensie, masa **m** ma cechę absolutnie pierwotnej wielkości fizycznej.
Tak więc ogólny zapis siły inercjalnej **D** według zależności **(II.1.4.),** może być wykorzystany jako zależność definicyjna masy **m** danego ciała materialnego.

Ponadto, należy mieć na uwadze, że według zależności **(II.1.4.)** siła inercjalna **D** działa wzdłuż odległości λ .
Natomiast ciało o masie **m** może poruszać się z prędkością **v** wzdłuż innej drogi (**Eq. II.1.7.**).

Zasada d'Alemberta.

Jeżeli na ciało o masie **m** działa siła zewnętrzna **F**, która nie jest równoważona przez inną siłę zewnętrzną, to siła ta powoduje zmianę prędkości **v** tego ciała.
Tym samym, zmiana prędkości **v** jest funkcją siły **F.**

Z doświadczenia wiadomo, że zmianie prędkości danego ciała przeciwdziała siła, zwana *siłą bezwładności* **D**. W tym przypadku, siła **D** jest funkcją prędkości **v (Eq. II.1.4)**.
A więc odwrotnie jak w przypadku działania siły zewnętrznej **F**.
Przyjmując, że siła inercjalna **D** jest równa i przeciwnie skierowana do siły zewnętrznej **F**, czyli spełniony jest warunek: $\mathbf{D} = -\mathbf{F}$, to możemy obliczyć wartość siły **F**.
Jest to przejście z dynamiki do statyki.
Powyższe stanowi sobą treść zasady d'Alemberta[2].

Ruch jednostajny po okręgu

Istnieje tylko jeden taki przypadek, że w zależności **(II.1.4.)** wszystkie wielkości fizyczne mają jednocześnie stałą wartość. Jest to właśnie ruch jednostajny po okręgu o promieniu **R.**
Spełniony jest warunek: **v =** ***constant***, lecz występuje stała zmiana kierunku prędkości $\vec{\mathbf{v}}$.
Z tego względu, występuje stała wartość siły działającej wzdłuż promienia **R** i w kierunku od środka okręgu. Jest to siła inercjalna, która w tym przypadku zwana jest siłą odśrodkową **D.**

---

[2] Jean le Rond d'Alembert (1717-1788), filozof, matematyk i fizyk francuski, członek Francuskiej Akademii Nauk; prace z zakresu dynamiki (*Traité de dynamique*, 1743), muzyki oraz historii członków Francuskiej Akademii Nauk; zapoczątkował teorię równań różniczkowych cząstkowych.

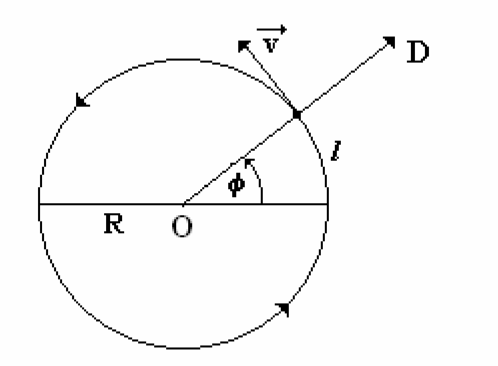

Fig. II.1.1. Ruch jednostajny po okręgu.

Jeżeli w czasie **t** promień **R** zakreśla kąt ϕ **[rad]** taki, że:

$$\phi = \frac{l}{R}$$

to mówimy, że jest to ruch po łuku l okręgu z prędkością kątową ω taką, że:

$$\omega = \frac{\phi}{t}$$

Z powyższego znajdujemy, że: $$v = \frac{l}{t} = \omega \cdot R$$

Powyższe możemy przedstawić w postaci iloczynu wektorowego:

$$\vec{v} = \vec{\omega} \times \vec{R} = \omega \cdot R \cdot \sin\alpha \cdot \vec{e} \qquad (\alpha = 90^{o})$$

dla zaznaczenia, że wektor prędkości liniowej $\vec{v}$ jest prostopadły tak do prędkości kątowej $\vec{\omega}$ jak i promienia **R** okręgu. Wektor $\vec{\omega}$ jest prostopadły do płaszczyzny okręgu i przechodzi przez środek **O** okręgu (Fig. **II.1.1.**).

W czasie **T** zwanym okresem ruchu, ciało przebywa drogę równą obwodowi okręgu.
Stąd prędkość liniowa **v** na obwodzie jest taka, że:

$$v = \frac{2\pi R}{T} = \omega \cdot R = constant \qquad \textbf{(II.1.5.)}$$

gdzie z kolei:

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi\nu = constant$$

zwane jest prędkością kątową, natomiast ν jest częstotliwością pełnych obiegów po okręgu.

Wobec tego, funkcja stanu ruchu **Ω (Eq. II.1.3.)**, zwana w tym przypadku przyśpieszeniem odśrodkowym **a** ciała o masie **m,** ma wartość :

$$\Omega = a = \frac{v^2}{R} = \frac{4\pi^2}{T^2} R = \omega^2 R = constant$$

A z powyższego:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{R}{a}} \qquad \textbf{(II.1.6.)}$$

Oczywiście, wartość siły odśrodkowej (inercjalnej) jest taka, że **(Eq. II.1.4.)**:

$$\mathbf{D} = \mathbf{m} \cdot \mathbf{a} = \frac{\mathbf{m} \cdot \mathbf{v}^2}{\mathbf{R}} = \mathbf{m} \cdot \omega^2 \cdot \mathbf{R} = \textit{constant} \qquad \textbf{(II.1.7.)}$$

gdzie wszystkie wielkości fizyczne mają stałą wartość.

Siła inercjalna **D** jest równoważona przez przeciwnie skierowaną siłę dośrodkową $\mathbf{D_n}$ działającą wzdłuż promienia **R** do środka okręgu.

Zauważmy też, że w równych czasach $\mathbf{t < T}$ promień **R** zakreśla równe kąty $\phi < 2\pi$ radianów, a tym samym promień **R** w równych czasach **t** zakreśla równe pola $\mathbf{S} < \pi \mathbf{R}^2$ (porównaj powyższe z treścią II prawa Johannesa Keplera!).

Z powyższego wynika oczywista relacja:

$$\frac{\mathbf{t}}{\mathbf{T}} = \frac{\phi\ [\mathbf{rad}]}{2\pi\ [\mathbf{rad}]} = \frac{\mathbf{S}}{\pi \mathbf{R}^2}$$

Wobec tego, kąt ϕ zakreślony przez promień **R** w czasie **t** jest taki, że:

$$\phi = \frac{2\pi}{\mathbf{T}} \cdot \mathbf{t} = \omega \cdot \mathbf{t}$$

Natomiast pole powierzchni **S** (wycinek pola okręgu) zakreślone w czasie **t** przez promień **R,** wynosi:

$$\mathbf{S} = \frac{1}{2} \phi \cdot \mathbf{R}^2$$

Podobnie mamy dla łuku o długości l :

$$\frac{l}{2\pi \mathbf{R}} = \frac{\phi}{2\pi}$$

czyli:

$$l = \phi \cdot \mathbf{R} = \omega \cdot \mathbf{R} \cdot \mathbf{t}$$

Na podstawie powyższej zależności Albert Einstein (1879-1955) uroił tzw. „ogólną teorię względności", według której Wszechświat jest… zakrzywiony (sic!), a geometria Euklidesa jest nieprawdziwa (!).