4. DYNAMIKA (4 strony)

Za ruchy ciał odpowiedzialne są wzajemne oddziaływania między nimi. Przy czym przez oddziaływanie rozumiemy wzajemny wpływ stanu cząstki lub układu cząstek na stan ruchu i innej cząstki lub układu cząstek. Miarą oddziaływań znanych z makroświata są siły.

Zasady dynamiki Newtona

Prawami opisującymi wpływu sił na ruch cząstek są prawa dynamiki Newtona. Aby je precyzyjnie podać, należy przedtem zdefiniować pojęcie układu odosobnionego.

Układem odosobnionym będziemy nazywali układ zamknięty, to znaczy nie mogący wymieniać materii z otoczeniem, nie podlegający żadnym oddziaływaniom z zewnątrz. Na układ taki nie może działać siła zewnętrzna, która powodowałaby jego przyciąganie lub odpychanie.

Idealny układ odosobniony w praktyce nie istnieje, ponieważ każda cząstka podlega oddziaływaniu z resztą wszechświata, cząstki takiej nie można by również obserwować bo obserwacja polega na oddziaływaniu. Zakładamy więc, że obserwowana cząstka, czy układ, znajduje się na tyle daleko od innych cząstek, że oddziaływanie między nimi są zaniedbywalnie małe, lub że oddziaływania te znoszą się wzajemnie. Zakładamy też, że obserwacja ma mały wpływ na stan ruchu badanego układu, czyli, że jest to pomiar z zakresu fizyki klasycznej, $m_{cz} >> m_f$

I zasada dynamiki Newtona:

Istnieje taki układ odniesienia, zwany układem inercjalnym, w którym ciało lub układ odosobniony porusza się ruchem jednostajnym prostoliniowym lub pozostaje w spoczynku.

Jak widać zasada ta stanowi postulat istnienia układu inercjalnego, nie wskazuje jednak, gdzie go szukać. Mając określony układ odniesienia możemy badać nie tylko ruch układów swobodnych lecz także zachowanie się układów pod wpływem działających sił zewnętrznych, a więc badać zachowanie układów nie będących odosobnionymi. Opisuje je

II zasada dynamiki Newtona:

Siła F działająca na ciało lub układ ciał jest przyczyną zmiany jego pędu,

$$\boxed{\vec{F} = \frac{d\vec{p}}{dt}}$$

$$\frac{d\vec{p}}{dt} = m\frac{d\vec{v}}{dt} + \frac{dm}{dt}\vec{v}$$

lub po podstawieniu definicji pędu, $\vec{p} = m\vec{v}$, i założeniu, że masa jest stała w postaci $\vec{F} = m\vec{a}$.

II zasada dynamiki rozwija myśl zawartą w pierwszej: skoro ciało oddzielone od innego porusza się ze stałą prędkością to każda zmiana prędkości wywołana jest obecnością innych ciał. Każde ciało ma, wg Newtona, masę bezwładną, która jest tym większa, im trudniej jest zmienić jednostajny, prostoliniowy ruch ciała.

Masa grawitacyjna jest pojęciem różnym od masy bezwładnej o której mówi druga zasada dynamiki. Jest jednak faktem doświadczalnym, że obie te masy są zawsze równe. Najprostszym dowodem na to jest ruch wahadła matematycznego. Równość mas, będąca jedynie faktem w teorii grawitacji Newtona, stała się dla Einsteina punktem wyjścia do sformułowania ogólnej teorii względności.

__Siła__ jest miarą oddziaływania, jest wielkością fizyczną pochodną, którą definiujemy przy pomocy jej skutków, posługując się wcześniej zdefiniowanymi wielkościami masy i przyspieszenia.

Wartość siły $\boldsymbol{F}$ jest równa iloczynowi masy bezwładnej m i przyspieszenia $\boldsymbol{a}$ wynikłego z działania tej siły na cząstkę o stałej m w układzie inercjalnym. Jednostką siły jest [1N = 1 kg m s $^{-2}$].

Siła jest wielkością wektorową, addytywną. Jeżeli na cząstkę działają równocześnie siły $\boldsymbol{F_1}$ i $\boldsymbol{F_2}$ to przyspieszenie tej cząstki jest takie jakby działała siła wypadkowa $\boldsymbol{F} = \boldsymbol{F_1} + \boldsymbol{F_2}$,
to znaczy $\boldsymbol{a} = \boldsymbol{a_1} + \boldsymbol{a_2}$ $(\boldsymbol{a_1} = \boldsymbol{F_1} / m,\ \boldsymbol{a_2} = \boldsymbol{F_2} / m)$

Wyobraźmy sobie teraz, że znamy działającą na cząstkę siłę $\boldsymbol{F}(\boldsymbol{r}, d\boldsymbol{r}/dt, t.)$ a chcemy znaleźć ruch cząstki, czyli wyznaczyć $\boldsymbol{r}(t)$.

Z II zasady dynamiki można otrzymać równanie ruchu Newtona:

$$\boxed{m \frac{d^2 \vec{r}}{dt^2} = \vec{F}\left(\vec{r}, \frac{d\vec{r}}{dt}, t \right)}$$

Równanie to ma dokładnie jedno rozwiązanie zawierające 6 dowolnych stałych, $\boldsymbol{r_0}$ i $\boldsymbol{v_0}$. Znajomość $\boldsymbol{F}$, $\boldsymbol{r_0}$ i $\boldsymbol{v_0}$ pozwala zatem jednoznacznie wyznaczyć funkcję $\boldsymbol{r}(t)$ - jest to wyrazem tzw**. zasady przyczynowości** (determinizmu) mechaniki klasycznej:

Zasada przyczynowości :
Znajomość sił działających i warunków początkowych umożliwia znalezienie jednoznacznego opisu stanu ruchu cząstki w dowolnej chwili.

Jeżeli siłę F przedstawimy w postaci sumy sił, np. w układzie kartezjańskim $\boldsymbol{F} = \boldsymbol{F_x} + \boldsymbol{F_y} + \boldsymbol{F_z}$
to $\boldsymbol{a} = \boldsymbol{a_x} + \boldsymbol{a_y} + \boldsymbol{a_z}$, $\boldsymbol{v} = \boldsymbol{v_x} + \boldsymbol{v_y} + \boldsymbol{v_z}$ oraz $\boldsymbol{r} = \boldsymbol{r_x} + \boldsymbol{r_y} + \boldsymbol{r_z}$.

Dopóki $\boldsymbol{F}$ nie zależy od $\boldsymbol{a}$ to równania te są liniowe i każda siła składowa powoduje ruch niezależnie od pozostałych.

Jeżeli na układ nie działa żadna siła, tzn. $F = 0$, to z drugiej zasady dynamiki wynika, że pęd układu musi być stały, należy jednak pamiętać, że jest to prawdziwe tylko w inercjalnych układach. W układach nieinercjalnych na ciało działają dodatkowe siły zwane pozornymi i druga zasada ma w tych układach inną postać.

Druga zasada dynamiki odnosi się do pojedynczego układu (cząsteczki) nie zajmując się źródłem siły działającej na ten układ. W rzeczywistości mamy jednak do czynienia z wzajemnym oddziaływaniem układów materialnych. Oddziaływanie to trzecia zasada dynamiki Newtona.

Trzecia zasada dynamiki Newtona, zwana zasadą akcji i reakcji.

Gdy dwa ciała na siebie oddziaływają to siła $\boldsymbol{F_{12}}$ wywierana przez ciało (1) na ciało (2) jest równa sile $\boldsymbol{F_{21}}$ wywieranej przez ciało (2) na ciało (1) lecz jest przeciwnie skierowana.

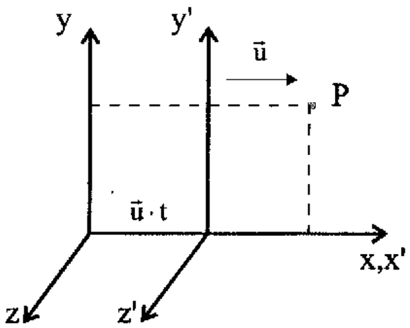
$$\boldsymbol{F_{12}} = -\boldsymbol{F_{21}}$$

Oddziaływania fizyczne przenoszą się w przestrzeni za pośrednictwem odpowiednich pól.

Pola fizyczne przenoszą oddziaływania między cząstkami będącymi ich źródłem. Każda zmiana w stanie ruchu cząstki odbija się na zmianie wytwarzanego przez nią pola. Jak pokazuje doświadczenie zmiana ta rozchodzi się ze skończoną prędkością nie przekraczającą prędkości światła w próżni. Oddziaływania nie rozchodzą się więc momentalnie. Istnieją naturalne granice stosowalności trzeciego prawa wynikające ze skończonej prędkości rozchodzenia się wszelkich oddziaływań.

Niezmienniczość Galileusza

I zasada dynamiki Newtona wyróżnia wprawdzie spośród wszystkich możliwych układów odniesienia układy inercjalne lecz nie wyróżnia żadnego z nieskończenie_wielu możliwych układów inercjalnych. Nieskończona ilość możliwości wyboru inercjalnych układów odniesienia wynika stąd, że każdy układ poruszający się ze stałą prędkością, względem układu inercjalnego jest także układem inercjalnym.
Wybierzmy dwa różne układy inercjalne i załóżmy ż jeden z mich jest „nieruchomy" (np. układ związany z gwiazdami stałymi, tj. takimi których przyspieszeń nie potrafimy wykryć) a drugi porusza się względem niego ze stałą prędkością *U* znacznie mniejszą od prędkości światła. Z układami tymi możemy związać dwa układy współrzędnych kartezjańskich w taki sposób, aby ruch względny układów odbywał się wzdłuż jednej osi – np. x



Określimy położenie punktu *P* w obu układach. Jeżeli w chwili $t = 0$ środki obu układów się pokrywają to widać, że w chwili *t* wektor $\mathbf{r}$ jest sumą wektorów: $\mathbf{r}'$ i $\mathbf{u}t$

$$\boxed{\mathbf{r} = \mathbf{r}' + \mathbf{u}t}$$

zatem:

$$x' = x - u_x t, \qquad y' = y - u_y t \quad \text{oraz} \quad z' = z - u_z t$$

a dla prędkości skierowanej wzdłuż osi x: $x' = x - ut, \quad y' = y, \quad z' = z$

Ponieważ czas wszędzie płynie jednakowo więc $t' = t$

Związki te, zwane transformacją Galileusza pozwalają transformować współrzędne i czas układu *S* na współrzędne i czas układu *S'*. Różniczkując obie strony tych równań otrzymujemy:

$$v_x' = v_x - u, \qquad v_y' = v_y \quad \text{oraz} \quad v_z' = v_z$$

czyli $\boxed{\mathbf{v}' = \mathbf{v} - \mathbf{u}}$

A więc obserwator w układzie *S'* będzie obserwował inne prędkości a niżeli obserwator w układzie *S*.

Zbadajmy teraz jak transformuje się przyspieszenie. Różniczkując stronami równania na składowe prędkości otrzymujemy:

$$a_x' = a_x, \qquad a_y' = a_y \quad \text{oraz} \quad a_z' = a_z$$

a w zapisie wektorowym : $\boxed{\mathbf{a}' = \mathbf{a}}$

Pokazaliśmy więc, że przyspieszenie jest niezmiennicze względem transformacji Galileusza. Sprawdźmy teraz jak zachowuje się przy transformacji Galileusza odległość między dwoma punktami:

$$l = [(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2 + (z_2 - z_1)^2]^{1/2}$$

$$l' = [(x_2' - x_1')^2 + (y_2' - y_1')^2 + (z_2' - z_1')^2]^{1/2}$$

Stosując transformcję Galileusza otrzymujemy, że $l = l'$ oznacza to, że odległości między dwoma punktami są jednakowe we wszystkich układach inercjalnych.

Wpływ zmiany układu odniesienia na prawa dynamiki Newtona:

II zasada dynamiki w układzie S ma postać: $\vec{F} = m\vec{a}$

ponieważ przyspieszenia w obu układach są jednakowe (***a* = *a'***) a masy nie zależą od układu odniesienia ($m = m'$) to w układzie S' postać zasady będzie taka sama.

$$\vec{F}' = m'\vec{a}' = m\vec{a}' = \vec{F}$$

Jest to równoważne temu, że siła jest niezmiennicza względem transformacji Galileusza.

Jeśli siły są niezmiennicze względem transformaty Galileusza to nie zmienia się również postać III zasady dynamiki.

Zasada niezmienniczości

Zasady mechaniki newtonowskiej są takie same w każdym inercjalnym układzie odniesienia.

Oznacza to, że nie jesteśmy w stanie przeprowadzić doświadczenia mechanicznego, na podstawie którego moglibyśmy stwierdzić, czy jesteśmy w spoczynku czy znajdujemy się w ruchu jednostajnym prostoliniowym.