

IV.2 Druga zasada dynamiki

- Równania ruchu
- Masa bezwładna i masa ważka
- Zasada niezależności sił

II zasada dynamiki

Siła wypadkowa działająca na ciało powoduje jego przyspieszenie skierowane zgodnie z działającą siłą i do niej wprost proporcjonalne, a odwrotnie proporcjonalne do masy ciała.

$$m\vec{a} = m \frac{d^2\vec{r}}{dt^2} = \vec{F}(\vec{r}, \vec{v}, t)$$

Uwagi

1. Na początku będziemy rozważali sytuację modelową: mamy ciało, punkt materialny wyodrębniony z reszty Wszechświata, który działa nań siłą- ilościową miarą tego oddziaływania.
2. Poznanie natury sił występujących we Wszechświecie jest więc ważnym zagadnieniem.
3. Oddziaływanie wybranej cząstki na Wszechświat będziemy rozważać później.
4. Poruszamy się w przybliżeniu nierelatywistycznym: $v/c \ll 1$.
5. W miarę możliwości będziemy starali się wybrać do opisu ruchu układ inercjalny. Jeżeli nie, będziemy musieli uwzględnić przyspieszenia pozorne (Cz. III.4) i siły pozorne.
6. II zasada dynamiki jest
 - uogólnieniem doświadczeń,
 - definicją nowych wielkości: masy i siły

Równania ruchu i podstawowy problem dynamiki

Równanie ruchu ciała o masie m poddanego działaniu siły wypadkowej \mathbf{F} :

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

Jest to równanie różniczkowe II-giego rzędu.

Podstawowe zagadnienie dynamiki: znaleźć rozwiązanie równania ruchu mając zadaną siłę i zadane warunki początkowe.

Masa bezwładna to...

współczynnik stojący w równaniu ruchu przy przyspieszeniu.

Masę określonego możemy wyznaczać doświadczalnie:

poddajemy ciało działaniu znanych sił, mierzymy przyspieszenia i poszukujemy współczynnika proporcjonalności. 

Wybór jednostki masy był w przeszłości podyktowany wygodą i konwencją. Wykorzystywano fakt, że siła ciężenia jest także proporcjonalna do masy. W jednorodnym polu grawitacyjnym w pobliżu powierzchni Ziemi przyspieszenie spadających ciał nie zależy od masy (Galileusz, Newton).

$$\vec{F} = -\frac{GmM_Z}{R_Z^2} \hat{R}_Z = m\vec{g}$$

Masa ważka i masa bezwładna

W Ogólnej Teorii Względności masa ważka= występująca w prawie powszechnego ciężenia jest równa masie bezwładnej.

Jeżeli tak by było, to dla wszelkich substancji powinna zachodzić proporcjonalność masy bezwładnej do masy grawitacyjnej z tą samą stałą proporcjonalności:

$$\frac{m_{\text{bezw}}}{m_{\text{graw}}} = \lambda$$

Ten związek był kilkakrotnie sprawdzany doświadczalnie: R. Eötvös et. al.(1890,1922, waga skręceń,dokładność $5 \cdot 10^{-9}$), R. H. Dicke et. al. (1964, wahadło torsyjne, dokładność 10^{-11}).

W mechanice klasycznej nierelatywistycznej i relatywistycznej masy ciał są dowolnymi parametrami. Nie są wyznaczone przez jakąś głębszą teorię.

Brak jest atomowego wzorca masy. Jednostka masy= wzorzec 1 kg w MIMW w Sevres pod Paryżem.

Współczesne teorie oddziaływań fundamentalnych zawierają początki teorii mas- masy biorą się z oddziaływania cząstek z uniwersalnym polem Higgsa

Siła

Jednostka siły: 1 newton=1kg.1m/s²

Zasada niezależności sił:

Niech na ciało działają dwie niezależne siły: $\vec{F}_1 = m\vec{a}_1$ $\vec{F}_2 = m\vec{a}_2$

Wtedy ciało porusza się przyspieszeniem będącym sumą wektorową przyspieszeń:

$$m\vec{a} = m(\vec{a}_1 + \vec{a}_2) = \vec{F} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2$$

Uogólnienie równania ruchu

W mechanice nierelatywistycznej $m = \text{const}$ i zachodzi:

$$\vec{F} = m \frac{d\vec{v}}{dt} = \frac{d}{dt}(m\vec{v}) = \frac{d\vec{p}}{dt}$$

Wprowadzając wektor pędu otrzymujemy bardziej ogólne równanie ruchu opisujące np. ruch ciała o zmiennej takiej jak rakietą:

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

Okazuje się to także dobrym relatywistycznym równaniem ruchu.