

1.1. Cel i przedmiot mechaniki

Mechanika ogólna jest wykładana na uczelniach technicznych na kierunku mechanika i budowa maszyn oraz na innych kierunkach, takich jak transport, zarządzanie i marketing, inżynieria materiałowa. Celem nauczania tego przedmiotu jest z jednej strony pogłębienie ogólnego wykształcenia studenta z zakresu nauk ścisłych, a z drugiej uzyskanie podstaw teoretycznych do studiowania wytrzymałości materiałów, drgań mechanicznych czy teorii maszyn i mechanizmów.

Mechanika jako nauka jest działem fizyki zajmującym się badaniem ruchu mechanicznego ciał materialnych. Prawa mechaniki są prawami ogólnymi i odnoszą się do wszystkich ciał materialnych. Jednak w wielu przypadkach ciała rzeczywiste występujące w przyrodzie zastępujemy modelami uproszczonymi (wyidealizowanymi) ze względu na posiadaną wiedzę matematyczną albo ze względu na wymaganą dokładność do celów praktycznych. Ustalaniem ogólnych praw ruchu takich uproszczonych modeli ciał rzeczywistych, zwanych modelami mechanicznymi, zajmuje się *mechanika ogólna*. Modelami tymi są: punkt materialny, układ punktów materialnych i bryła sztywna.

Punkt materialny jest to ciało materialne, którego wymiary geometryczne mogą być zaniedbane w porównaniu z innymi wymiarami występującymi w danym zagadnieniu. Innymi słowy jest to punkt geometryczny obdarzony masą.

Układ punktów materialnych jest to zbiór punktów materialnych.

Bryła sztywna jest to ciało materialne, którego kształt i wymiary nie ulegają zmianie pod działaniem sił.

Tradycyjnie mechanikę ogólną dzielimy na statykę, kinematykę i dynamikę.

Statyka zajmuje się stanem spoczynku ciał materialnych. Stan taki występuje wtedy, kiedy wszystkie siły działające na ciała materialne się równoważą albo gdy istnieją przeszkody uniemożliwiające ruch tych ciał pod działaniem sił.

Kinematyka zajmuje się ruchem ciał materialnych bez uwzględniania przyczyn wywołujących ten ruch. Wynika z tego, że kinematyka zajmuje się matematycznym opisem ruchu bez uwzględniania praw fizycznych.

Dynamika zajmuje się ruchem ciał materialnych pod wpływem sił działających na te ciała.

Statykę można rozpatrywać jako szczególny przypadek dynamiki, kiedy siły działające na ciało materialne znajdują się w równowadze.

Jak już powiedziano, mechanika zajmuje się badaniem ruchu mechanicznego ciał materialnych. O ruchu mechanicznym, tj. o zmianie położenia ciał materialnych, możemy mówić, jeżeli przyjmiemy układ odniesienia, względem którego będziemy określać zmianę ich położenia w czasie.

W mechanice klasycznej ruch odnosimy do nieruchomego (bezwzględnego) układu odniesienia. Podstawą mechaniki klasycznej są prawa Newtona. Newton sformułował je przy założeniu, że istnieje absolutnie nieruchomy układ odniesienia. Można wykazać [2], że prawa Newtona są słuszne również w

układach odniesienia poruszających się ruchem prostoliniowym jednostajnym względem absolutnie nieruchomego układu odniesienia. Takie układy nazywamy układami *inercjalnymi*, *bezwładnościowymi* albo *Galileusza*.

Na potrzeby astronomii za układ nieruchomy przyjmuje się układ o początku w środku Słońca i o osiach skierowanych w kierunku trzech tzw. gwiazd stałych.

Doświadczalnie stwierdzono, że w zagadnieniach technicznych w większości przypadków układami odniesienia, w których prawa Newtona dają dostatecznie dokładne wyniki, są układy związane z Ziemią.

1.2. Prawa Newtona

Omawianie praw Newtona wymaga wprowadzenia pojęcia siły, które w mechanice jest pojęciem pierwotnym. Siły określamy jako wzajemne oddziaływania ciał. Oddziaływania te mogą występować na skutek bezpośredniego stykania się ciał lub na odległość, np. pod wpływem sił ciężkości. Aby określić działanie siły, należy znać nie tylko jej wartość liczbową, ale i kierunek, w którym ona działa. Wynika z tego, że siła jest wielkością wektorową. W obowiązującym w Polsce międzynarodowym układzie jednostek SI jednostką siły jest niuton (1 N). Jest to siła, która masie 1 kg nadaje przyspieszenie 1 m/s^2 . W układzie tym jednostkami podstawowymi są metr (m), kilogram masy (kg) oraz sekunda (s), a siła jest jednostką pochodną. W technicznym układzie jednostek jednostką siły jest kilogram siły (kG), który wraz z długością (m) i czasem (s) należy do jednostek podstawowych.

Podane niżej prawa Newtona mają taką formę, jaką się im współcześnie najczęściej nadaje.

Pierwsze prawo. *Punkt materialny, na który nie działa żadna siła lub działające siły się równoważą, pozostaje w spoczynku lub porusza się ruchem jednostajnym po linii prostej.*

Z powyższego prawa wynika, że jeżeli na punkt materialny nie działają żadne siły, to nie może on sam zmienić swego stanu ruchu (nie może ruszyć z miejsca, zatrzymać się ani zmienić swojego ruchu jednostajnie prostoliniowego). Tę cechę punktu materialnego nazywamy bezwładnością, a pierwsze prawo Newtona prawem bezwładności.

Drugie prawo. *Przyspieszenie punktu materialnego jest proporcjonalne do siły działającej na ten punkt i ma kierunek siły.*

Jeżeli siłę działającą na punkt materialny oznaczymy przez \mathbf{F} , a jego przyspieszenie przez \mathbf{a} , to drugie prawo Newtona możemy przedstawić w postaci równania wektorowego:

$$m\mathbf{a} = \mathbf{F}. \quad (1.1)$$

Występujący w tym równaniu współczynnik proporcjonalności m nazywamy masą.

Dla wyjaśnienia fizycznego znaczenia masy założmy, że na dwa punkty materialne o masach m_1 i m_2 działają siły o tych samych wartościach liczbowych F . Na podstawie równania (1.1) możemy zapisać związek między wartościami siły F i przyspieszenia a_1 i a_2 :

$$m_1 a_1 = F, \quad m_2 a_2 = F,$$

skąd otrzymujemy:

$$\frac{a_1}{a_2} = \frac{m_2}{m_1}. \quad (\text{a})$$

Widzimy zatem, że wartości przyśpieszenia są odwrotnie proporcjonalne do mas, czyli im większa jest masa punktu, tym mniejsze jest jego przyśpieszenie, a tym samym mniejsza zdolność do zmiany stanu ruchu. Własność tę nazywamy bezwładnością, a za jej miarę przyjmujemy masę. Jednostką masy jest w układzie SI kilogram masy (kg), a w układzie technicznym jednostka pochodna wyrażona za pomocą jednostek podstawowych tego układu i nie ma nazwy. Jest ona równa $1 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^2$.

Zależność (a) może posłużyć do wyznaczenia masy ciała materialnego. Załóżmy, że znamy masę m_1 jednego ciała, a chcemy wyznaczyć masę m_2 drugiego ciała. Z proporcji (a) otrzymujemy wzór na szukaną masę:

$$m_2 = m_1 \frac{a_1}{a_2}.$$

Widzimy, że wyznaczenie masy wymaga pomiaru przyśpieszenia a_1 i a_2 obu ciał materialnych. Masę wyznaczoną tą metodą nazywamy *masą bezwładną*.

Inny sposób wyznaczania masy polega na ważeniu. Wiadomo, że ciężar ciała G jest równy iloczynowi masy ciała m i wartości liczbowej przyśpieszenia ziemskiego g :

$$G = mg.$$

Założmy, że znamy, tak jak poprzednio, masę m_1 , a chcemy wyznaczyć masę m_2 . Ciężary obu mas określają wzory:

$$G_1 = m_1 g, \quad G_2 = m_2 g.$$

Z powyższych wzorów wynika proporcja:

$$\frac{G_1}{G_2} = \frac{m_1}{m_2},$$

a stąd

$$m_2 = m_1 \frac{G_2}{G_1}.$$

Wynika z tego, że masę ciała wyznacza się przez porównanie ciężarów ciała ważonego i ciała wzorcowego (odważnika). Masę wyznaczoną tą metodą nazywamy *masą grawitacyjną*.

Obie metody wyznaczania masy są równoważne i dają ten sam wynik, jednak w powszechnym użyciu masę ciała określamy przez ważenie, ponieważ wyznaczanie przyspieszenia jest znacznie trudniejsze.

Trzecie prawo. *Sily wzajemnego oddziaływania dwóch punktów materialnych mają jednakowe wartości, leżą na prostej łączącej te punkty i są przeciwnie skierowane.*

Prawo to nosi nazwę *prawa akcji i reakcji*. Ma ono charakter ogólny i nie zależy od sposobu wywierania siły – dotyczy zarówno ciał stykających się, jak i ciał działających na siebie z odległości. Jeżeli układ materialny składa się z więcej niż dwóch punktów, to trzecie prawo Newtona stosuje się do każdej pary punktów materialnych.

Czwarte prawo. *Jeżeli na punkt materialny działa jednocześnie kilka sił, to każda z nich działa niezależnie od pozostałych, a wszystkie razem działają jak jedna siła równa wektorowej sumie danych sił.*

Prawo to nosi nazwę *zasady superpozycji*. Pozwala ono zastąpić kilka sił działających na punkt materialny jedną siłą.

Piąte prawo. *Każde dwa punkty materialne o masach m_1 i m_2 przyciągają się z siłą wprost proporcjonalną do iloczynu ich mas i odwrotnie proporcjonalną do kwadratu odległości r między nimi. Kierunek siły leży na prostej łączącej te punkty.*

$$F = k \frac{m_1 m_2}{r^2}. \quad (1.2)$$

Powyższe prawo nosi nazwę *prawa powszechnego ciążenia* lub *prawa grawitacji*, a współczynnik proporcjonalności k jest *stałą grawitacji*.