

ROZDZIAŁ V

Prawa zachowania w mechanice

Próbowałaś kiedyś zatrzymać łódkę zbliżającą się do brzegu albo kolegę jadącego na rowerze? Nie jest to takie łatwe – natychmiastowe: tak jakby jadący rower „przeciwstawiał się” takiemu zatrzymaniu – miał wielkość, którą „stara się” zachować. Wielkość tę nazywamy pędem. Pojęcie pędu (*impetus*) zostało wprowadzone już w XIII wieku przez francuskiego uczonego Jeana Buridiana, który zauważył, że poruszające się ciała starają się zachować swój pęd. W ten sposób Buridian (a za nim Kopernik) wyjaśniał nieustanny, *wieczny* ruch planet.

Po Koperniku, a jeszcze przed Newtonem, francuski filozof (i fizyk) Rene Descartes (Kartezjusz, 1596–1650) sformułował trzy prawa mechaniki. Dwa pierwsze były identyczne jak prawa Newtona. Trzecie natomiast mówiło, że po zderzeniu dwóch ciał jedno z nich zyskuje tyle pędu, ile drugie straciło. Co to jest ten pęd i dlaczego się tak „przekazuje”?



Fot. 5.1. Rene Descartes (Kartezjusz)
<http://pl.wikipedia.org/wiki/Kartezjusz>

5.1. Pojęcie pędu

Słowo „pęd” w potocznym języku ma wiele znaczeń. Najczęściej kojarzone jest z obiektem, który się porusza. Im szybciej się ciało porusza, tym większy jest jego „pęd”; również im większa masa ciała, tym większy pęd. W fizyce pojęcie pędu związane jest ściśle równocześnie z prędkością i masą. Definicja pędu jest następująca:

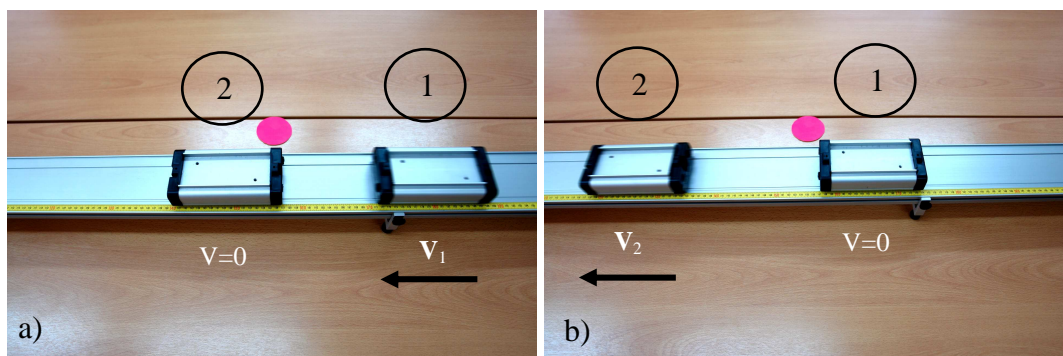
$$\text{pęd} = \text{masa} \cdot \text{prędkość.}$$

Zastanówmy się, czy w naszym codziennym życiu spotykamy się z pędem (w rozumieniu języka fizyki)? Oczywiście, że tak! A oto przykład.

Przykład 5.1.

Jeśli masz dwa samochodziki zabawki, możesz przekonać się o istnieniu pędu. Postaw je naprzeciwko siebie i jeden z nich wpraw w ruch. Co się stało z samochodem znajdującym się na początku w spoczynku?

Podobne doświadczenie z wózkami na szynie przedstawiamy na filmie w wersji internetowej poręcznika. Zauważ, jak w wyniku zderzenia wózek, który pierwotnie spoczywał, zaczął się poruszać. Natomiast wózek, który najpierw się poruszał, zatrzymał się.



Fot. 5.2. Zderzenie wózków: a) wózek „1” uderza w wózek „2” będący początkowo w spoczynku; b) w wyniku zderzenia wózek „1” zatrzymuje się, a wózek „2” porusza się z prędkością, którą miał wcześniej wózek „1”. Zderzenie ma taki przebieg tylko wtedy, gdy masy wózków są równe

Mówimy, że jeden z wózków *przekazał* pęd drugiemu. Nie zawsze cały pęd jest przekazywany w jednym zderzeniu. Ogólnie pędy dwóch wózków po zderzeniu zależą od ich masy oraz ich prędkości. Ale o tym nieco dalej.

Przykład 5.2.

Samochód osobowy o masie 950 kg i załadowany towarem TIR o łącznej masie 18000 kg jadą z taką samą prędkością, np. 72 km/h (czyli 20 m/s). Który z pojazdów ma większy pęd?

Rozwiązanie:

Obliczmy pędy obu samochodów:

$$\text{pęd osobówki } p = 950 \text{ kg} \cdot 20 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 19000 \text{ kg} \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}},$$

$$\text{a pęd TIRa } p = 18000 \text{ kg} \cdot 20 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 360000 \text{ kg} \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}}.$$

Porównując wartości pędów, widzisz, że wartość pędu TIRa jest zdecydowanie większa. Można powiedzieć, że samochód o większej masie ma też większy pęd (pamiętaj, że jadą z taką samą prędkością).

Przykład 5.3.

Dwa identyczne samochody o masie 950 kg jadą z różnymi prędkościami. Pierwszy porusza się z prędkością 72 km/h (czyli 20 m/s), a drugi 108 km/h (czyli 30 m/s). Który z nich ma większy pęd?

Rozwiązanie:

Ponownie obliczmy wartości pędów obu samochodów.

$$\text{Wartość pędu samochodu poruszającego się wolniej: } p = 950 \text{ kg} \cdot 20 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 19000 \text{ kg} \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}}.$$

$$\text{Wartość pędu samochodu poruszającego się szybciej: } p = 950 \text{ kg} \cdot 30 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 28500 \text{ kg} \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}}.$$

Po analizie wyników obliczeń można stwierdzić, że pęd o większej wartości ma samochód, który porusza się z większą prędkością, czyli samochód drugi.

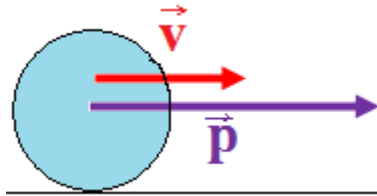
Przykład 5.4.

Czy możliwa jest taka sytuacja, w której pęd samochodu osobowego o masie 2 ton będzie taki sam jak pęd ciężarówki o masie 12 ton? Odpowiedź uzasadnij.

Rozwiązanie:

Sytuacja taka jest możliwa. Z pewnością wiesz, że samochód osobowy łatwiej osiąga znacznie większą prędkość niż samochód ciężarowy. Gdy porównamy masy obu samochodów, to zauważamy, że masa ciężarówki jest sześć razy większa niż osobówki. Gdyby zatem samochód osobowy miał prędkość sześć razy większą niż ciężarówka, to pędy obu aut miałyby taką samą wartość.

Pęd, podobnie jak siła czy prędkość, jest wielkością wektorową. Wiesz już, że obliczenie wartości pędu wymaga znajomości wartości prędkości. Skoro pęd zależy od prędkości, więc tak jak ona musi mieć wszystkie cechy wektora. Do opisu wektora pędu, tak jak wektora prędkości, służą następujące wielkości: *punkt przyłożenia*, *kierunek*, *zwrot* oraz *wartość*.



Rys. 5.1. Układ wektorów pędu i prędkości dla toczącej się piłki po płaskiej powierzchni

Dla toczącej się piłki widać, że oba wektory (prędkości i pędu) mają: punkt przyłożenia, kierunek (na rysunku obok jest to kierunek poziomy), zwrot (w prawo) oraz wartości (o której informuje długość strzałki na rysunku). Kierunek i zwrot wektora pędu są takie same jak kierunek i zwrot wektora prędkości.

Definicję pędu zapisaną słowami można zapisać w sposób symboliczny:

$$\mathbf{p} = m \cdot \mathbf{v}.$$

Powyższy wzór został zapisany w postaci wektorowej. W wielu zadaniach obliczać będziemy tylko wartość pędu i nie będzie dla nas ważny jego kierunek, można uprościć więc wzór do postaci:

$$p = m \cdot v \quad (5.1).$$

Pęd mierzymy w jednostkach $\text{kg} \cdot \text{m/s}$. Nie nadajemy jednak tej jednostce żadnej specjalnej nazwy.

Zadanie 5.1.

W czasie meczu siatkarz może uderzyć piłkę tak, że osiąga ona prędkość 90 km/h (czyli 25 m/s). Wiadomo, że masa piłki jest równa 260 g. Jaką wartość ma pęd piłki?

Rozwiązanie:

Pamiętajmy, że jednostką masy w układzie międzynarodowym jest kilogram. Trzeba więc najpierw zamienić 260 g na 0,26 kg. Następnie mnożymy masę piłki przez jej prędkość:

$$p = 0,26 \text{ kg} \cdot 25 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 6,5 \text{ kg} \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}}.$$

5.2. Zasada zachowania pędu

Jak już pokazywaliśmy na przykładzie zderzających się wózków, jeden z nich może przekazać cały swój pęd drugiemu: ten, który był w ruchu, zatrzymuje się, a ten, który stał, zaczyna się poruszać. Najczęściej jednak zderzenia są bardziej skomplikowane: gdy mucha uderzy w słonia, to się od niego „odbije” (a słoń nawet tego nie zauważy).

Co się więc dzieje z pędem w obu przypadkach? Okazuje się, że nie ginie – przed zderzeniem i po zderzeniu jest taki sam, ale musimy rozważać oba elementy (muchę i słonia) razem.



Fot. 5.3. W zabawce zwanej wahadłem Newtona, tyle kulek się odbije, ile zostanie spuszczonej po przeciwnej stronie. Aby to wyjaśnić, musimy skorzystać z prawa zachowania: energii i pędu
<http://dydaktyka.fizyka.umk.pl/zabawki1/files/mech/wahnewt-pl.html>