



## Praca mechaniczna i jej jednostka

- [Wprowadzenie](#)
- [Przeczytaj](#)
- [Grafika interaktywna \(schemat\)](#)
- [Sprawdź się](#)
- [Dla nauczyciela](#)



## Praca mechaniczna i jej jednostka

### Czy to nie ciekawe?

Znamy potoczne rozumienie stwierdzenia „napracować się”. Gdy mówimy, że „Tomek napracował się, pisząc wypracowanie z polskiego”, mamy na myśli, że Tomek wykonał bardzo dużą pracę, co bardzo go zmęczyło. Czy stwierdzenie to pozostanie poprawne, jeśli zachowamy ścisły i precyzyjny język fizyki? W tym materiale spróbujemy odpowiedzieć na to pytanie, wyjaśniając dodatkowo, czym jest praca mechaniczna w fizyce i jak ją wyznaczyć.

#### Twoje cele

Pracując z tym e materiałem:

- zdefiniujesz pracę mechaniczną,
- zinterpretujesz wzór i jednostkę pracy mechanicznej,
- wyjaśnisz, dlaczego dla wyznaczania pracy istotny jest kąt między siłą a przemieszczeniem,
- przeanalizujesz, zinterpretujesz i określisz wartość pracy w różnych przypadkach.

# Przeczytaj

---

## Warto przeczytać

Praca w sensie fizycznym ma dwa znaczenia:

1. Jest to sposób zamiany jednego rodzaju energii w inny (a zatem pewien proces);
2. Jest to wielkość fizyczna, która opisuje powyższy proces, czyli mówi, ile energii zostało zamienione z jednej formy w drugą.

Aby zrozumieć pierwszą definicję, rozważmy dwa przykłady. Pierwszym z nich będzie samochód rozpędzający się pod wpływem niezrównoważonej siły ciągu silnika  $\vec{F}$ . Siła ta powoduje ruch samochodu z przyspieszeniem, rośnie zatem jego prędkość, a wraz z nią – energia kinetyczna. W tym przypadku praca jest procesem umożliwiającym zamianę energii chemicznej powstającej podczas spalania benzyny w silniku, co ostatecznie przekłada się na zmianę energii kinetycznej samochodu oraz na wzrost jego temperatury.

Jako drugi przykład rozważmy dźwig wciągający belkę na pewną wysokość ze stałą prędkością. W tym przypadku praca (jako proces) zamienia energię elektryczną – zasilającą dźwig – na pracę mechaniczną układu wciągającego, która następnie powoduje wzrost energii potencjalnej belki.

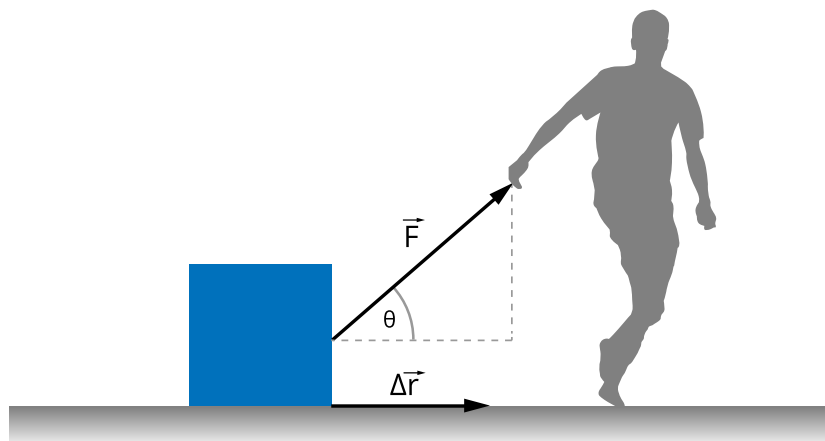
Jeśli chodzi o drugą definicję pracy (precyzyjnie: pracy mechanicznej siły), to jest ona następująca:

$$W = \vec{F} \cdot \Delta \vec{r}.$$

W powyższym wyrażeniu  $\vec{F}$  jest wektorem siły wykonującej pracę nad ciałem, a  $\Delta \vec{r}$  – **wektorem przemieszczenia**, którego ciało doznaje pod wpływem działania tej siły (a także innych sił działających na to ciało). Kropka między wektorami oznacza iloczyn skalarny. Sposób jego obliczenia wynika z definicji iloczynu skalarnego dwóch wektorów:

$$W = \vec{F} \cdot \Delta \vec{r} = F \Delta r \cos \theta,$$

gdzie  $F$  i  $\Delta r$  są wartościami wektorów siły i **przemieszczenia**, a  $\theta$  – kątem pomiędzy tymi wektorami. Wykorzystywane wielkości przedstawiono na Rys. 1.



Rys. 1. Siła skierowana pod ustalonym kątem do poziomu powoduje przemieszczenie ciała.

Zauważ, że iloczyn skalarny jest odpowiednim działaniem do wyznaczenia pracy. Praca „nie ma kierunku”, a jedynie wartość – jest więc wielkością skalarną, nie wektorową. Z drugiej strony do jej wyznaczenia niezbędne są dwa wektory: siły i **przemieszczenia**.

Matematycznym działaniem o charakterze mnożenia, które zamienia dwa wektory na skalar, jest właśnie iloczyn skalarny.

Obydwie powyższe definicje oczywiście łączą się ze sobą. Praca mechaniczna jest związana z przemieszczeniem ciała, ale też zmianą jego wymiarów i kształtu pod wpływem działania siły. Pracę mechaniczną możemy zatem wyznaczać w przypadku ruchu (przyspieszania, hamowania, podnoszenia w górę etc.), ale również gniecienia, rwania lub innych deformacji danego obiektu. Pracę mechaniczną wykona również m.in. wiertarka wkręcająca śrubę lub łopatką miksera mieszająca ciasto (zgodnie z definicją drugą). Ta praca mechaniczna powoduje zmiany energii układu (zgodnie z definicją pierwszą). Przykładowo, podczas wkręcania śruby w drewnianą belkę, śruba przesuwa się w głąb belki, zostają od niej oderwane wióry, ale również całość nagrzewa się.

Spróbujmy określić teraz jednostkę pracy. Cosinus kąta jest wielkością bezwymiarową. Jednostka pracy jest zatem iloczynem jednostki siły, czyli niutona oraz przesunięcia, które mierzymy w metrach:

$$[W] = 1 \text{ N} \cdot 1 \text{ m} = 1 \frac{\text{kg} \cdot \text{m}}{\text{s}^2} \cdot 1 \text{ m} = 1 \frac{\text{kg} \cdot \text{m}^2}{\text{s}^2} = 1 \text{ J}$$

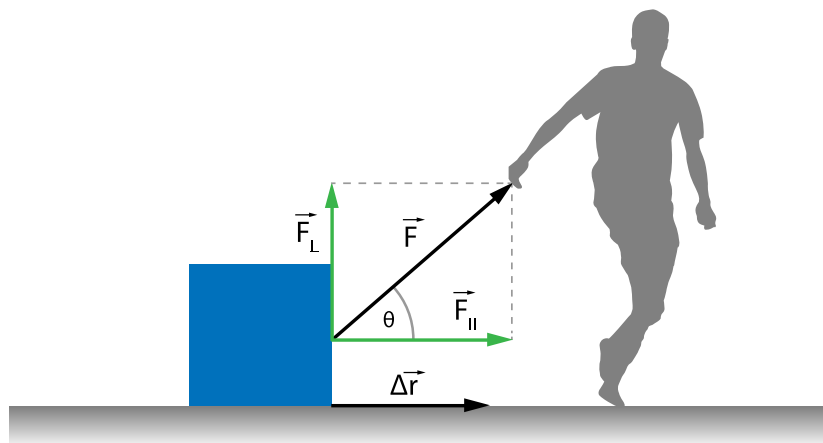
Jednostka  $1 \frac{\text{kg} \cdot \text{m}^2}{\text{s}^2} = 1 \text{ J}$  ma specjalną nazwę – nazywamy ją dżulem, od nazwiska brytyjskiego fizyka Jamesa Joule’a. W swojej pracy naukowej zajmował się on m.in. zagadnieniami pracy jako sposobu przekształcania różnych form energii.

Przeanalizujmy teraz dokładniej wzór opisujący pracę mechaniczną. Załóżmy, że mamy do czynienia z pewną siłą  $\vec{F}$ , która działa pod kątem  $\theta$  do kierunku przemieszczenia ciała. Niech będzie to na przykład przesuwanie sanek po śniegu. Dla ustalenia uwagi przyjmijmy, że przemieszczenie to może odbywać się tylko w kierunku poziomym, tj. siła nie może spowodować przesunięcia sanek w kierunku pionowym. Nasze założenia przedstawiliśmy na Rys. 2.

Siłę  $\vec{F}$  można rozłożyć na składową równoległą do przemieszczenia  $F_{\parallel}$  oraz składową do niego prostopadłą  $F_{\perp}$ . Zauważ następnie, że posługując się prostymi zależnościami trygonometrycznymi możemy stwierdzić, że:

$$F_{\parallel} = F \cos \theta.$$

Zwróć uwagę, że wielkość  $F \cos \theta$  występuje bezpośrednio we wzorze opisującym pracę mechaniczną! Fizycznie oznacza to, że praca wykonywana jest jedynie przez składową siły  $\vec{F}$ , która jest równoległa do przesunięcia. Składowa prostopadła nie wykonuje pracy.



Rys. 2. Rozkład wektora siły na wektory składowe równoległe i prostopadłe do przemieszczenia.

Do tego samego wniosku możesz dojść, rozważając siłę, która będzie skierowana prostopadle do przemieszczenia. Oznacza to, że składowa równoległa w ogóle nie występuje. Wtedy  $\theta = 90^\circ$  oraz  $\cos \theta = 0$ . Wynika z tego, że wtedy  $W = 0$ .

## Słowniczek

**wektor przemieszczenia**

(ang.: *displacement vector*) –  $\Delta \vec{r}$  – wektor łączący (w dowolnym układzie współrzędnych) punkt początkowy i punkt końcowy ruchu.

# Grafika interaktywna (schemat)

---

## Praca mechaniczna i jej jednostka

Na skrzynię może działać stała siła  $\vec{F}$  o wartości 10 N, pod różnymi kątami do poziomu.

Towarzyszy temu poziome przemieszczenie skrzyni, opisane wektorem  $\Delta\vec{r}$ .

Wybierając odpowiednio skierowany wektor siły można wskazać kierunek jej działania i sprawdzić, jaka praca zostanie wykonana w danym przypadku.

### Ważne!

Praca siły  $\vec{F}$  dana jest wzorem:

$$W = \vec{F} \cdot \Delta \vec{r} = F \Delta r \cos \theta$$



gdzie  $F$  i  $\Delta r$  są wartościami wektorów siły i przemieszczenia, a  $\theta$  – kątem pomiędzy tymi wektorami.

### Polecenie 1

### Polecenie 2

# Sprawdź się

---

Pokaż ćwiczenia:   

Ćwiczenie 1



Ćwiczenie 2



Ćwiczenie 3



Ćwiczenie 4



W ramach pracy domowej, Twoim zadaniem jest napisanie wypracowania. Wyjaśnij, dlaczego stwierdzenie „napracowałem się, pisząc wypracowanie z polskiego” jest w tym przypadku niepoprawne z punktu widzenia praw fizyki.

Zapisz swoją wypowiedź w poniższej ramce, a następnie porównaj ją z wypowiedzią wzorcową.

Ćwiczenie 5



Ćwiczenie 6



Ćwiczenie 7



Ćwiczenie 8



*Zadanie zawiera zagadnienia omawiane tylko w zakresie rozszerzonym.*

Skrzynia o masie  $m = 20$  kg spoczywa u podstawy rampy towarowej o wysokości  $h = 0,5$  m i długości podstawy  $d = 4$  m. Pracownik magazynu wpycha skrzynię ruchem jednostajnym na szczyt rampy za pomocą skierowanej poziomo siły o wartości  $F$ . Współczynnik tarcia skrzyni o podłoże wynosi  $f = 0,25$ ; przyjmij  $g = 9,81$  m/s<sup>2</sup>.

# Dla nauczyciela

<b>Imię i nazwisko autora:</b>	Przemysław Michalski
<b>Przedmiot:</b>	Fizyka
<b>Temat zajęć:</b>	<b>Co w fizyce oznacza „napracować się”?</b>
<b>Grupa docelowa:</b>	III etap edukacyjny, liceum, technikum, zakres podstawowy i rozszerzony
<b>Podstawa programowa:</b>	<p><b>Cele kształcenia – wymagania ogólne:</b></p> <p>I. Wykorzystanie pojęć i wielkości fizycznych do opisu zjawisk oraz wskazywanie ich przykładów w otaczającej rzeczywistości.</p> <p>II. Rozwiązywanie problemów z wykorzystaniem praw i zależności fizycznych.</p> <p><b>Zakres podstawowy</b></p> <p><b>Treści nauczania – wymagania szczegółowe</b></p> <p>I. Wymagania przekrojowe. Uczeń:</p> <p>4) przeprowadza obliczenia liczbowe posługując się kalkulatorem;</p> <p>15) wyodrębnia zjawisko z kontekstu, nazywa je oraz wskazuje czynniki istotne i nieistotne dla jego przebiegu;</p> <p>II. Mechanika. Uczeń:</p> <p>10) posługuje się pojęciami pracy mechanicznej, mocy, energii kinetycznej, energii potencjalnej wraz z ich jednostkami; stosuje zasadę zachowania energii mechanicznej do obliczeń.</p> <p><b>Zakres rozszerzony</b></p> <p><b>Treści nauczania – wymagania szczegółowe</b></p> <p>I. Wymagania przekrojowe. Uczeń:</p> <p>4) przeprowadza obliczenia liczbowe posługując się kalkulatorem;</p> <p>19) wyodrębnia zjawisko z kontekstu, nazywa je oraz wskazuje czynniki istotne i nieistotne dla jego przebiegu;</p> <p>II. Mechanika. Uczeń:</p> <p>20) posługuje się pojęciami pracy mechanicznej, mocy, energii kinetycznej, energii potencjalnej wraz z ich jednostkami; stosuje zasadę zachowania energii mechanicznej do obliczeń.</p>

<b>Kształtowane kompetencje kluczowe:</b>	<b>Zalecenie Parlamentu Europejskiego i Rady UE z 2018 r.</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• kompetencje w zakresie rozumienia i tworzenia informacji,</li> <li>• kompetencje matematyczne oraz kompetencje w zakresie nauk przyrodniczych, technologii i inżynierii,</li> <li>• kompetencje cyfrowe,</li> <li>• kompetencje osobiste, społeczne i w zakresie umiejętności uczenia się.</li> </ul>
<b>Cele operacyjne:</b>	<p>Uczeń:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. zna definicję i jednostkę pracy mechanicznej.</li> <li>2. stosuje poznaną definicję do wyznaczania pracy.</li> <li>3. opisuje różnicę między potocznym a ścisłym rozumieniem pracy.</li> <li>4. określa nowe, różne sytuacje, w których ścisła definicja pracy jest inna od potocznego rozumienia.</li> <li>5. uzasadnia konieczność krytycznego podejścia do potocznych znaczeń i stwierdzeń.</li> </ol>
<b>Strategie nauczania:</b>	grywalizacja
<b>Metody nauczania:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- pogadanka,</li> <li>- pokaz multimedialny,</li> <li>- burza mózgów.</li> </ul>
<b>Formy zajęć:</b>	praca w grupach
<b>Środki dydaktyczne:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- komputer,</li> <li>- projektor,</li> <li>- grafika interaktywna.</li> </ul>
<b>Materiały pomocnicze:</b>	-
<b>PRZEBIEG LEKCJI</b>	
<b>Faza wprowadzająca</b>	
<p>Dyskusja nauczyciela z uczniami na temat potocznego znaczenia określenia „napracować się”. Zaciekawienie – nauczyciel mówi, że fizyczna definicja pracy może nie być zgodna z jego potocznym znaczeniem i zachęca uczniów do próby rozwiązania tego problemu.</p>	
<b>Faza realizacyjna</b>	

Nauczyciel wprowadza definicję pracy mechanicznej i jej jednostkę (może wykorzystać grafikę interaktywną, gdzie definicja ta jest podana), objaśnia zapis i definicję iloczynu skalarnego.

Nauczyciel wspólnie z uczniami analizuje grafikę interaktywną, zwłaszcza pod kątem sytuacji, w których praca mechaniczna jest równa zero.

W kolejnym etapie następuje zderzenie potocznego pojęcia „napracować się” ze ścisłą, fizyczną definicją pracy. Uczniowie (w grupach) mają za zadanie wymyślić jak najwięcej realnych i fizycznych sytuacji, gdy w sensie potocznym „napracują się” (zmęczą), a praca mechaniczna będzie równa zero (niesienie toreb z zakupami, popychanie nieruchomej ściany, itp.). Wygrywa zespół, który przedstawi najwięcej możliwie różnorodnych sytuacji.

### **Faza podsumowująca**

Wspólne przypomnienie i wskazanie różnic między definicją fizyczną a potoczną. Wyróżnienie fizyki jako ścisłej nauki, w której ramach definiuje się zjawiska w sposób precyzyjny i jednakowy, w przeciwieństwie do potocznych definicji. Rozwiązanie zadań 6. i 7.

### **Praca domowa**

Rozwiązanie zadań 1-4 z zestawu ćwiczeń w celu utrwalenia wiadomości zdobytych na lekcji.

**Wskazówki metodyczne opisujące różne zastosowania danego multimedium:**

Uczniowie mogą wykorzystać grafikę do samodzielnego zdobycia wiedzy na temat wyznaczania pracy (*np. metoda flipped classroom*).