

Praca jako wielkość fizyczna

Wstęp do tematu pracy w fizyce. Zasób zawiera: ogólny wstęp do tematu, fotografię, odwołanie do wcześniejszej wiedzy ucznia oraz cele lekcji sformułowane w języku ucznia.

Zasób zawiera: wstęp do pojęcia pracy w fizyce; określenie pracy w fizyce wraz ze wzorem i jednostką; ilustrację podnoszenia piłek o różnych masach przez różne osoby wraz z objaśnieniem i z zapytaniem „W której sytuacji praca jest większa?”; zobrazowanie sytuacji, w których praca wynosi zero; rozwiązania dwóch zadań; dwa polecenia dla ucznia; film animowany z odpowiedzią na pytanie: Czy Ziemia „pracuje”, trzymając Księżyc na orbicie?

Zasób zawiera: dwa sformułowania podsumowujące wraz ze wzorem na pracę; cztery polecenia dla ucznia (zadania obliczeniowe).

Zasób zawiera zdjęcie uczonego i skrótowe ujęcie osiągnięć naukowych.

Praca jako wielkość fizyczna

Na łodzi żeglującej po oceanie członkowie załogi wykonują różne zadania. Nawigator odczytuje wskazania przyrządów pomiarowych i nanosi pozycję łodzi na mapę. Żeglarz podnosi zaś żagiel, ciągnąc za linę przerzuconą przez zespół kołowrotek. Według kapitana jednostki obaj wykonują swoją pracę. Czy jednak w rozumieniu fizyki obie te czynności można byłoby określić mianem pracy? Jeśli chcesz poznać odpowiedzi na te pytania, czytaj dalej.



Zgodnie z definicją fizyczną człowiek stojący z reklamą firmy na ulicy i nieporuszający się, nie wykonuje żadnej pracy – nawet jeśli tablica jest duża i ciężka

Źródło: San Francisco Public Library, dostępny w internecie: <https://www.flickr.com/> [dostęp 20.03.2022], licencja: CC BY-NC-ND 2.0.

Przed przystąpieniem do zapoznania się z tematem, należy znać poniższe zagadnienia

- jaka wielkość fizyczna odpowiada za zmianę ruchu lub spoczynku;
- cechy wielkości wektorowej;
- dlaczego siła jest wielkością wektorową;
- definicję jednostki siły.

Jeśli potrzebujesz odświeżyć sobie te informacje, zajrzyj do materiału [Siła jako miara oddziaływań](#). [Równowaga sił](#). [Siła wypadkowa](#). [Wyznaczanie siły wypadkowej](#).

Nauczysz się

- odróżniać znaczenie słowa „praca” w życiu codziennym i jako wielkości fizycznej;
- podawać definicję pracy jako wielkości fizycznej;
- określać, od czego zależy wartość pracy w fizyce;
- posługiwać się dżulem J jako jednostką pracy;

- obliczać pracę wykonywaną przez siłę działającą w kierunku równoległym do przemieszczenia ciała.

Na pewno wielokrotnie już słyszałeś słowo „praca”, np. wujek szuka pracy, nauczycielka zadała pracę domową, członkiem rządu jest minister pracy itp. W przytoczonych wypowiedziach słowo „praca” używane jest w znaczeniu ogólnym, potocznym. Fizycy używając tego pojęcia, mają na myśli precyzyjnie określoną wielkość fizyczną. Fizyk mówi, że pracę wykonuje siła, której działanie wywołuje jakiś skutek: zmianę ruchu ciała, jego przemieszczenie, zmianę prędkości lub odkształcenie.

Każdy chyba przyzna, że im dalej przesuwamy szafę, tym większą wykonujemy pracę. Im szafa jest cięższa lub siły tarcia są większe, tym wykonywana przez nas praca jest większa.

Definicję pracy można sformułować następująco:

praca

wielkość fizyczna, która jest iloczynem siły i przemieszczenia ciała w kierunku równoległym do kierunku działania siły; pracę oznaczamy literą W od angielskiego słowa *work* – praca.

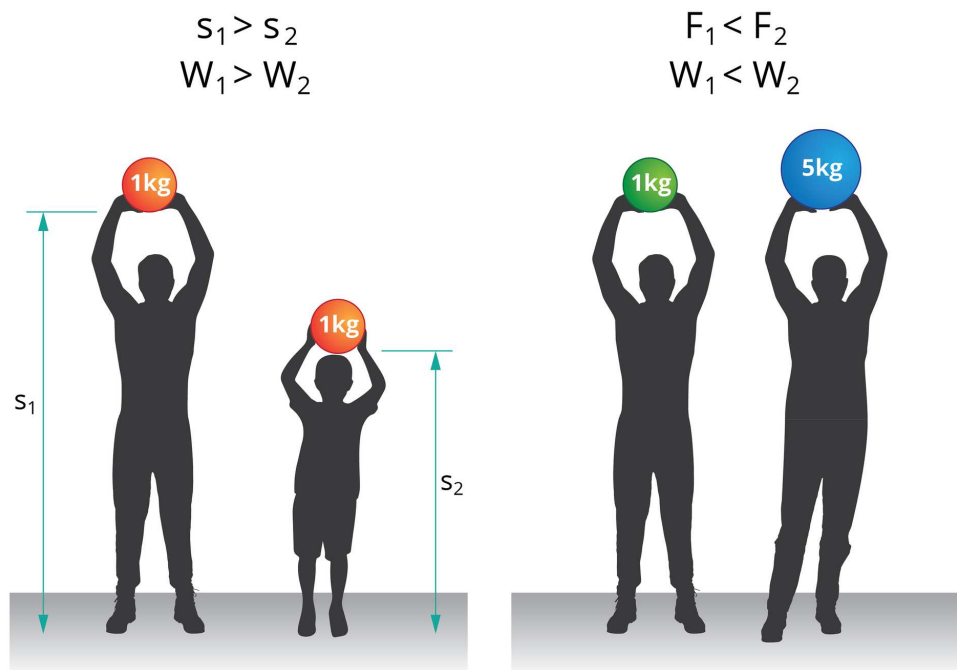
$$\text{praca} = \text{siła} \cdot \text{przemieszczenie},$$

czyli

$$W = F \cdot s$$

Wzór ten znajduje zastosowanie w sytuacjach, gdy przemieszczenie jest zgodne z kierunkiem działania siły. W pozostałych przypadkach stosuje się bardziej skomplikowany wzór, o którym będzie mowa w szkole średniej.

Podczas podnoszenia piłki z podłogi na wysokość głowy większą pracę wykona osoba o większym wzroście (piłka zostanie przemieszczona na większą odległość). Osoba o tym samym wzroście wykona zaś większą pracę, podnosząc piłkę o większym ciężarze (musi użyć większej siły aby zrównoważyć większą siłę ciężkości).



W której sytuacji praca jest większa?

Źródło: Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu, licencja: CC BY 3.0.

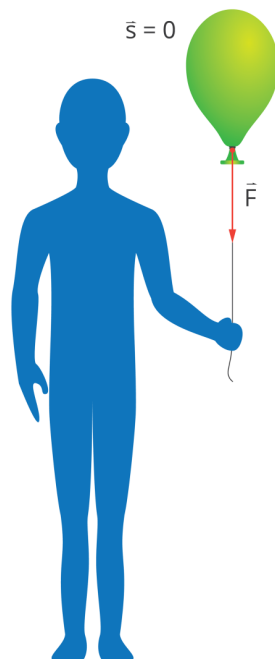
Ponadto, na wartość pracy wpływa tylko ta składowa siły, która jest równoległa do kierunku przemieszczenia. O tym, dlaczego jest to ważne i co z tego wynika, dowiesz się w dalszej części tego materiału.

Zapamiętaj!

Praca nie jest wykonywana, gdy:

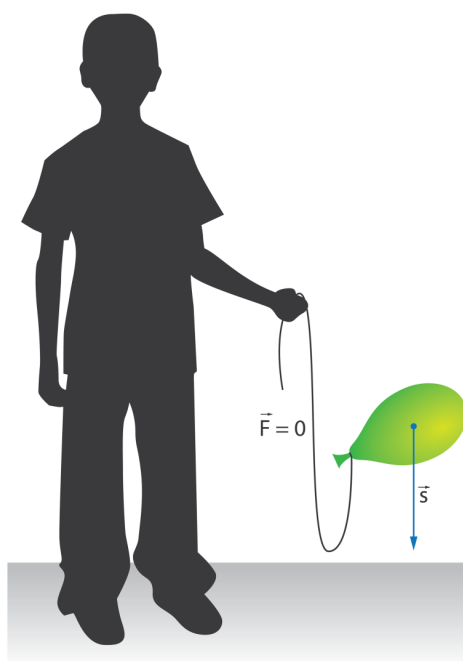
- nie ma przemieszczenia;
- siła ma wartość zero;
- siła skierowana jest prostopadle do przemieszczenia.

Łatwiej to zrozumiesz i zapamiętasz, gdy przeanalizujesz poniższe przykłady. Zwróć uwagę na to, że na obrazkach przemieszczenie oznaczone jest jako wektor \vec{s} . Jak już wiesz, część wielkości w fizyce jest wielkościami wektorowymi – przemieszczenie do nich należy. Właśnie dlatego możemy mówić o tym że, aby wykonana została praca, musi istnieć siła **skierowana** równoległe do przemieszczenia, lub też: jeśli nie istnieje siła **skierowana** równoległe do przemieszczenia, praca jest zerowa.



Trzymasz w ręku napiętą linkę, do końca której przywiązany jest unoszący się nieruchomo balon. Praca siły, którą napinasz linkę, ma wartość zero, ponieważ przemieszczenie ma wartość zero

Źródło: Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu, licencja: CC BY 3.0.



Balon opada w dół (przez nieszczelności uciekł z niego hel), a ty trzymasz swobodnie zwisającą linkę (która nie jest naciągnięta). Twoja praca ma wartość zero, gdyż siła, z jaką działasz na balon, ma wartość zero

Źródło: Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu, licencja: CC BY 3.0.

Ćwiczenie 1

We wstępie do tej lekcji opisaliśmy pokrótce zadania wykonywane przez dwóch członków załogi statku. Zadaliśmy też pytanie: czy – w rozumieniu fizyki – obie te czynności można określić mianem pracy? Odpowiedź uzasadnij.

Źródło: Tomorrow Sp. z o.o., licencja: CC BY 3.0.

Ćwiczenie 2



W których z poniższych przykładów wykonywana jest praca (zgodnie z jej fizyczną definicją)?
Zaznacz poprawne odpowiedzi.

Nauczycielka słucha i ocenia odpowiedzi uczniów.

Sztangista trzyma sztangę nieruchomo nad głową.

Pielęgniarka wykonuje zastrzyk (naciska tłok strzykawki, przesuując go wewnątrz cylindra strzykawki).

Bibliotekarka przenosi książkę z niższej półki na wyższą.

Magazynier przesuwa skrzynię, pchając ją siłą równoległą do podłogi.

Ojciec trzyma dziecko „na barana”, stojąc w miejscu.

Robotnik budowlany wciąga worek z cementem, ciągnąc za linę przerzuconą przez blok.

Łuczniczka naciąga cięciwę łuku.

Listonosz wnosi paczkę na piętro.

Dyrektor banku czyta i analizuje raport przygotowany przez księgowość.

Źródło: Tomorrow Sp. z o.o., licencja: CC BY 3.0.

dżul

jednostka pracy, która oznaczana jest literą J. Nazwa jednostki pochodzi od nazwiska angielskiego fizyka i eksperymentatora Jamesa Prescottta Joule'a. Praca ma wartość 1 J, jeśli siła o wartości 1 N skierowana równoległe do toru ruchu przemieści ciało na odległość 1 m.

$$1 \text{ J} = 1 \text{ N} \cdot 1 \text{ m}$$

Obrazowo rzecz ujmując, jeden dżul jest w przybliżeniu równy pracy, jaką wykonujemy, podnosząc 100-gramową tabliczkę czekolady na wysokość jednego metra. Gdy praca jest

duża, posługujemy się wielokrotnościami tej jednostki, tj. kilodżulami kJ lub megadżulami MJ.

Zajmijmy się teraz obliczaniem pracy.

Przykład 1

Oblicz pracę, jaką wykonuje dźwig, który powoli podnosi ze stałą prędkością element konstrukcyjny o masie 500 kg na wysokość 20 m.

Analiza zadania:

Praca wykonywana przez dźwig podnoszący element konstrukcyjny:

$$W = F \cdot s.$$

Do obliczenia pracy potrzebna jest znajomość siły i wartości przemieszczenia. Wartość przemieszczenia została podana w zadaniu. A co z siłą? Najmniejsza siła, jaką należy działać na ciało, aby móc podnieść je do góry, musi równoważyć jego ciężar. Wartość tej siły obliczymy więc ze wzoru na ciężar ciała:

$$F = m \cdot g.$$

Do obliczenia wartości siły potrzebujemy zatem znać masę podnoszonego ciała i przyspieszenie grawitacyjne, a do obliczenia wartości pracy – wysokość, na jaką podnosimy to ciało.

Dane:

$$m = 500 \text{ kg}$$

$$s = 20 \text{ m}$$

$$g = 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

Szukane:

$$W = ?$$

Obliczenia:

Siłą, jaką działamy, musi być zwrócona pionowo w górę i przesunięcie elementu też odbywa się w górę. Jej wartość wynosi:

$$F = m \cdot g = 500 \text{ kg} \cdot 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 5000 \text{ N}.$$

Obliczamy wartość pracy:

$$W = F \cdot s = 5000 \text{ N} \cdot 20 \text{ m} = 100000 \text{ J} = 100 \text{ kJ}.$$

Odpowiedź:

Praca wykonana przy podnoszeniu elementu konstrukcji wynosi 100 kJ, czyli 100000 J.

W tym miejscu można zadać pytanie, jaką pracę wykonałby dźwig, opuszczając powoli w dół, z prędkością o stałej wartości, element konstrukcyjny? Zainteresowanych odsyłamy do uzupełnienia zamieszczonego na końcu tego materiału.

Przykład 2

Kierowca zepsutego samochodu zepchnął go z jezdni na pobocze (a nie np. do rowu), działając na niego siłą 700 N, i wykonał przy tym pracę 1400 J. Oblicz, o ile metrów przesunął on swoje auto.

Analiza zadania:

Praca wykonana przez kierowcę podczas spychania samochodu:

$$W = F \cdot s.$$

Wymagane wielkości:

F – siła,

s – odległość, na jaką został przesunięty pojazd.

Dane:

$$F = 700 \text{ N}$$

$$W = 1400 \text{ J}$$

Szukane:

$$s = ?$$

Obliczenia:

Aby obliczyć drogę, na jakiej znana nam siła wykona zadaną pracę, należy przekształcić wzór:

$$W = F \cdot s \mid : F.$$

Po podzieleniu obu stron równania przez F otrzymujemy:

$$\frac{W}{F} = s.$$

$$\left[\frac{W}{F} \right] = \frac{\text{J}}{\text{N}} = \frac{\text{N} \cdot \text{m}}{\text{N}} = \text{m} = [s].$$

Teraz możemy przystąpić do obliczeń:

$$s = \frac{W}{F} = \frac{1400}{700} \text{ m} = 2 \text{ m}.$$

Odpowiedź:

Auto zostało przesunięte o 2 metry.

Ćwiczenie 3

Oblicz pracę wykonaną przez bibliotekarkę, która przeniosła dziesięć książek (o masie pół kilograma każda) ze stołu na półkę znajdującą się jeden metr powyżej stołu. Uzupełnij lukę w odpowiedzi, wpisując poprawną wartość.

Odpowiedź: Bibliotekarka wykonała pracę $W =$ J.

Ćwiczenie 4

Podczas robienia zastrzyku pielęgniarka wykonała pracę 200 J, przesuając tłoczek strzykawki o dwa centymetry. Oblicz wartość siły, jaką pielęgniarka naciskała na tłoczek. Zaznacz poprawną odpowiedź.

$F = 100 \text{ N}$

$F = 10000 \text{ N}$

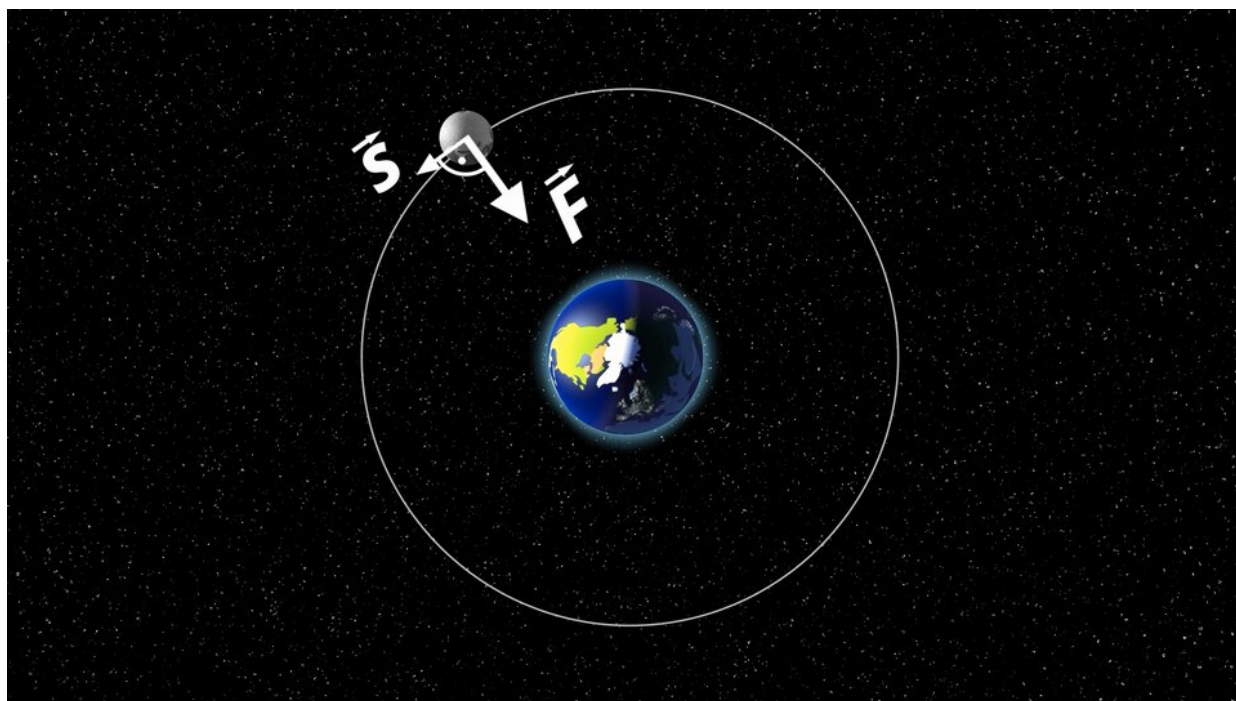
$F = 100000 \text{ N}$

$F = 1000 \text{ N}$

Źródło: Tomorrow Sp. z o.o., licencja: CC BY 3.0.

Ciekawostka

Ziemia działa na Księżyc siłą grawitacji, utrzymując go na orbicie okołozemskiej. Spróbujmy obliczyć pracę, jaką wykonuje ta siła.



Film dostępny pod adresem </preview/resource/RXr9SNPpGiXqw>

Czy Ziemia „pracuje”, trzymając Księżyc na orbicie?

Źródło: Marcin Sadowski, Kevin MacLeod (<http://incompetech.com>), Krzysztof Jaworski, Tomorrow Sp. z o.o., licencja: CC BY 3.0.

Animacja dotycząca oddziaływania między Ziemią a Księżycem.

Ziemia przyciąga Księżyc siłą o wartości około $2 \cdot 10^{20}$ N, zwróconą do środka Ziemi (do środka okręgu, po którym porusza się Księżyc). W ciągu godziny Księżyc przebywa drogę ok. 3800 km. Zwróć jednak uwagę, że siła działająca wzdłuż promienia okręgu jest prostopadła do toru ruchu Księżyca. Oznacza to, że mimo ogromnej wartości siły i przemieszczenia **praca ma wartość zero**.

Warto zapamiętać, że tak jest w każdym ruchu po okręgu – praca siły skierowanej do środka okręgu ma wartość zero.

Ważne!

Dlaczego w pewnych sytuacjach praca może być dodatnia, ujemna lub równa zero (mimo wartości siły i przesunięcia różnych od zera), stanie się oczywiste po zapoznaniu się z pojęciami energii potencjalnej i kinetycznej oraz zasadą zachowania energii.

* Jaką pracę wykonałby dźwig, opuszczając powoli element konstrukcyjny w dół?

Podsumowanie

- W języku fizyki praca W to ściśle zdefiniowana wielkość fizyczna, będąca iloczynem siły F i przemieszczenia s , jeśli przemieszczenie ciała jest zgodne z kierunkiem i zwrotem działającej siły:
 $W = F \cdot s$.
- Jednostka pracy nazywa się **dżul**, oznaczamy ją literą J :
1 dżul = 1 niuton · 1 metr,
1 J = 1 N · 1 m.

Praca ma wartość 1 dżula, jeśli siła o wartości 1 niutona skierowana równoległe do toru ruchu przesunie ciało na odległość 1 metra.

Ćwiczenie 5

Oblicz pracę, jaką musisz wykonać, aby przesunąć szafę o 2 metry. Siła, jaką musisz działać na szafę, ma wartość 250 N i jest równoległa do podłogi. Uzupełnij lukę w odpowiedzi, wpisując poprawną wartość.

Odpowiedź: Aby przesunąć szafę należy wykonać pracę $W =$ J.

Źródło: GroMar Sp. z o.o., licencja: CC BY-SA 3.0.

Ważne!

Aby została wykonana praca, przesunięcie musi być zgodne z kierunkiem działania siły.

Ćwiczenie 6

Oblicz odległość, na jaką należy przesunąć ciało aby, działając siłą 120 N, wykonać pracę o wartości 3600 J. Zaznacz poprawną odpowiedź.

$s = 60 \text{ m}$

$s = 600 \text{ m}$

$s = 300 \text{ m}$

$s = 30 \text{ m}$

Źródło: GroMar Sp. z o.o., licencja: CC BY-SA 3.0.

Ćwiczenie 7

Piłki o jednakowych masach podniesiono na różne wysokości: pierwszą na wysokość 30 cm, a drugą na wysokość 90 cm. W której sytuacji wykonana praca była większa i ile razy? Uzupełnij poniższe luki. Kliknij w nie, aby rozwinąć listę, a następnie wybierz poprawną odpowiedź.

Odpowiedź: Praca w przypadku podniesienia piłki na wysokość 90 cm jest
ponieważ droga, jaką pokonała, jest .

większa o $\frac{1}{3}$

mniejsza

mniejsza o $\frac{1}{3}$

większa

3-krotnie mniejsza

3-krotnie większa

Źródło: GroMar Sp. z o.o., licencja: CC BY-SA 3.0.

Ćwiczenie 8

Piłki o masach 1 kg i 5 kg podniesiono na jednakową wysokość. W której sytuacji wykonana praca była większa i ile razy? Uzupełnij poniższe luki. Kliknij w nie, aby rozwinąć listę, a następnie wybierz poprawną odpowiedź.

Odpowiedź: W przypadku podniesienia -kilogramowej piłki praca była
większa.

$\frac{1}{5}$ raza

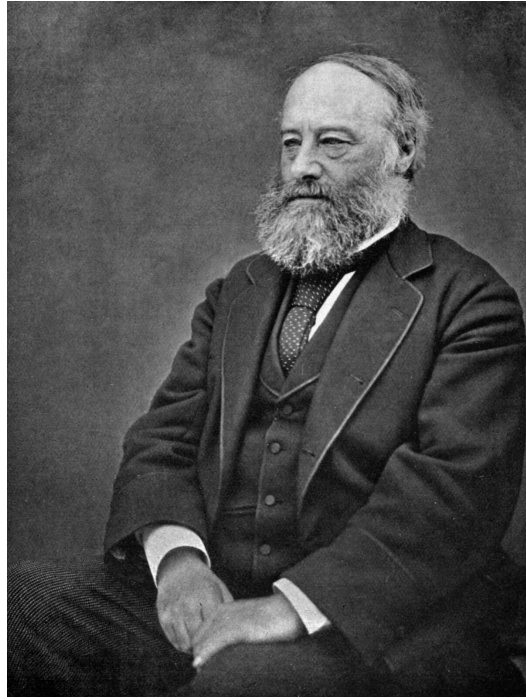
5

5-krotnie

1

Źródło: GroMar Sp. z o.o., licencja: CC BY-SA 3.0.

Biogram



Fizyk angielski, którego prace stały się podstawą nauki o cieple (termodynamiki)

Źródło: Henry Roscoe, dostępny w internecie: <https://commons.wikimedia.org> [dostęp 15.03.2022], domena publiczna.

James Prescott Joule

1818.12.24 Salford – 1889.10.11 Sale

[dziejms preskot dżul] Urodził się w rodzinie piwowara. Ze względu na słabe zdrowie naukę w szkole rozpoczął dopiero w wieku 15 lat, pracując jednocześnie w browarze, gdzie zorganizował sobie pracownię fizyczną. Gdy miał 19 lat, ogłosił pierwszą samodzielną pracę naukową opisującą silnik elektryczny własnego pomysłu. Początkowo interesował się zagadnieniem ciepła, a szczególnie zamianą energii mechanicznej na ciepło – wyznaczył mechaniczny równoważnik ciepła. Następnie zajął się badaniem termicznych skutków przepływu prądu, co doprowadziło do powstania znanego dziś prawa Joule'a, według którego ilość ciepła wytworzonego przez prąd jest proporcjonalna do kwadratu natężenia prądu, czasu jego przepływu i oporu przewodnika. J. P. Joule'a za swoje dokonania otrzymał od królowej angielskiej nagrodę w postaci dożywotniej pensji.