



## II zasada dynamiki

- Wprowadzenie
- Przeczytaj
- Animacja
- Sprawdź się
- Dla nauczyciela



## II zasada dynamiki

### Czy to nie ciekawe?

Z pewnością często spotykasz się ze stwierdzeniem, iż jakieś ciało porusza się ze stałą prędkością, bez podania, w jaki sposób prędkość ta została osiągnięta. W jaki sposób doszło do tego, że obiekt ten został wprowadzony w ruch i dlaczego osiągnął on właśnie prędkość  $\vec{v}$ , a nie jakąkolwiek inną? W tym materiale dowiesz się, co powoduje, że ciała poruszają się ze zmienną prędkością.

#### Twoje cele

- poznasz przyczyny, dla których obiekty zmieniają swoją prędkość,
- zrozumiesz, dlaczego jedne ciała łatwo wprowadzić w ruch, a inne trudniej i jaki to ma związek z ich masą,
- przeanalizujesz i zinterpretujesz układ sił, które nie równoważą się wzajemnie,
- zapoznasz się z pojęciem masy bezwładnej.



# Przeczytaj

---

## Warto przeczytać

W życiu codziennym nieustannie obserwujemy sytuacje, w których ciała zmieniają swoją prędkość. Najprostszym przykładem może być samochód ruszający ze światła na skrzyżowaniu. Początkowo znajduje się on w stanie spoczynku, gdy światło jest czerwone, a następnie rusza, nabierając prędkości. Warto zauważyć, iż w trakcie ruszania prędkość samochodu nie jest stała. Dlaczego jednak pojazd ten przyspiesza? Jak to możliwe, że został on wprowadzony w ruch?

## II zasada dynamiki

Na pytanie o przyczynę zmiany prędkości ciała współczesna fizyka odpowiada za pomocą [postulatu](#) zwanego drugą zasadą dynamiki Newtona. Przyjmuje się w nim, że przyczyną zmiany prędkości ciała jest oddziaływanie z innym ciałem (lub ciałami). Jeśli miarą tego oddziaływania jest siła, a miarą zmiany prędkości przyspieszenie, to pomiędzy tymi wielkościami zachodzi związek

$$\vec{a} = \frac{\vec{F}}{m},$$

w którym  $\vec{a}$  oznacza przyspieszenie ciała,  $\vec{F}$  oznacza [wypadkową siłę](#) działającą na ciało, zaś  $m$  oznacza [masę bezwładną](#) tego ciała.

### Ważne!

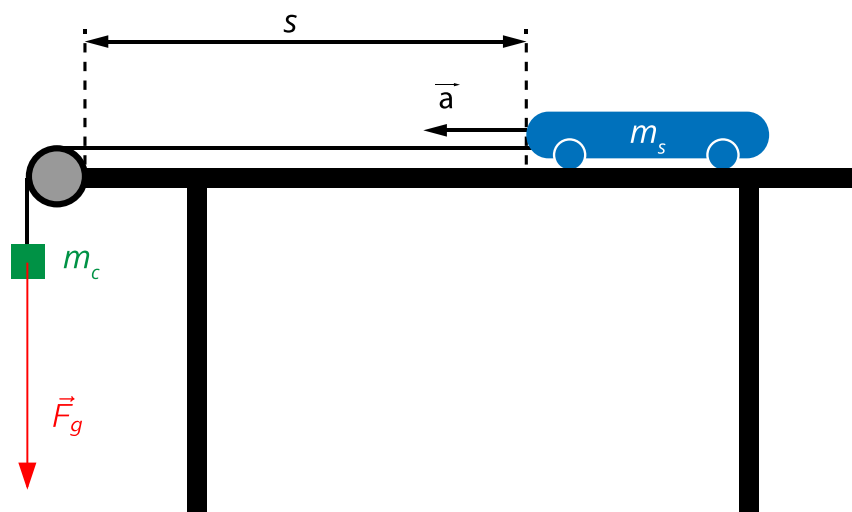
1. Prędkość i przyspieszenie ciała muszą być mierzone w inercyjnym układzie odniesienia. Jeśli chcemy stosować II zasadę dynamiki w nieinercyjnym układzie odniesienia, musimy uwzględnić siły bezwładności, które nie są miarą żadnego oddziaływania. Więcej o tym dowiesz się w e-materiałach „W jaki sposób definiujemy układ inercjalny, nieinercjalny i laboratoryjny?” oraz „Co to jest siła bezwładności i jakie są jej cechy?”
2. Często, na przykład przy rozwiązywaniu zadań, stosuje się nieco zawężoną wersję II zasady dynamiki. Podajmy ją w wersji opisowej:

Jeśli na ciało działa siła wypadkowa, której wartość jest różna od zera, to porusza się ono ruchem przyspieszonym lub krzywoliniowym. Kierunek i zwrot wektora przyspieszenia jest zgodny z kierunkiem oraz zwrotem siły wypadkowej. Wartość przyspieszenia jest wprost proporcjonalna do jej wartości oraz odwrotnie proporcjonalna do masy bezwładnej ciała.

W tej wersji II zasada dynamiki jest stosowana do opisu wyłącznie ruchów zmiennych lub krzywoliniowych. Wynika to z założenia niezerowej wartości wypadkowej siły działającej na ciało. Przy takim podejściu przyjmuje się także, iż do opisu ruchów jednostajnych prostoliniowych oraz statyki stosuje się I zasadę dynamiki, także w wersji zawężonej.

### Eksperymentalna weryfikacja II zasady dynamiki

Spróbujmy zbadać zgodność przyspieszenia ciała pod wpływem niezerównoważonej siły z treścią II zasady dynamiki. Poddamy analizie wyniki hipotetycznego eksperymentu, w którym określimy wartość przyspieszenia samochodu-zabawki w ruchu po poziomym blacie stołu (Rys. 1.). Ruch ten wywołany jest przez użycie sznurka przewieszonoego przez bloczek i zawieszenie na nim ciężarka. Siłą powodującą ruch układu samochodzik-ciężarek jest siła grawitacji  $\vec{F}_g$ , działająca na ciężarek.



Rys. 1. Samochodzik ciągnięty przez ciężarek porusza się ruchem jednostajnie przyspieszonym po poziomym blacie stołu. Ruch układu jest wywołany siłą grawitacji działającą na ciężarek, a oba jego

składniki poruszają się z przyspieszeniem o tej samej wartości.

Przyjmujemy następujące oznaczenia oraz założenia:

1. Masę samochodzika oznaczamy przez  $m_s$ , masę ciężarka przez  $m_c$ . Obie te wielkości są znane.
2. Sznurek i bloczek mają masy pomijalne wobec mas samochodzika i ciężarka.
3. Siły oporu ruchu są pomijalne wobec siły grawitacji  $\vec{F}_g$  działającej na ciężarek.
4. Ruch układu samochodzik-ciężarek jest jednostajnie przyspieszony. W każdej próbie odbywa się on na tej samej, znanej drodze  $s$ .
5. Bezpośrednio mierzymy czas  $t$ , w jakim samochodzik przebywa drogę  $s$ . Na tej podstawie wyznaczamy wartość przyspieszenia  $a$ , korzystając z wyrażenia

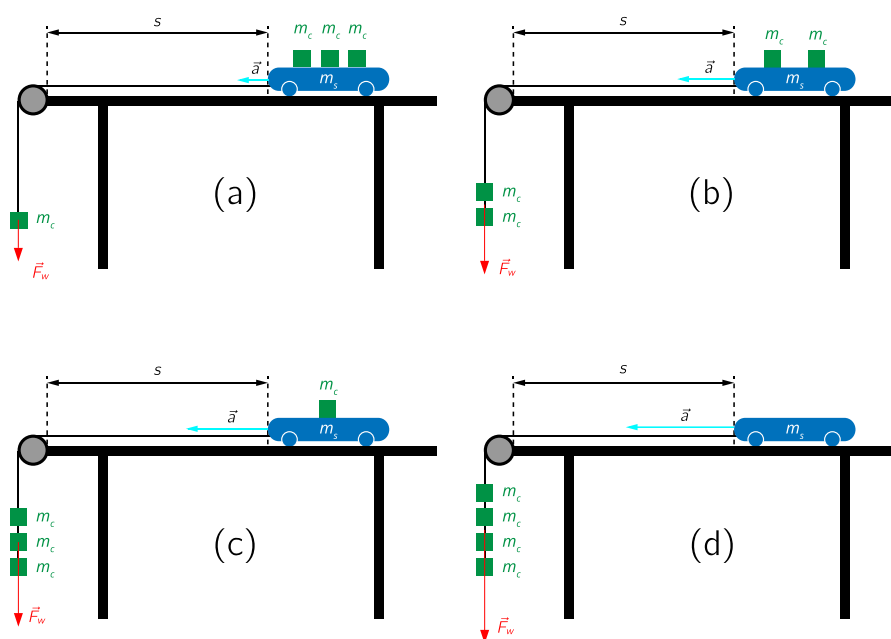
$$s = \frac{at^2}{2} \implies a = \frac{2s}{t^2} .$$

Ograniczymy się do zbadania zależności **wartości** przyspieszenia układu samochodzik-ciężarek w ruchu prostoliniowym. Wartość ta, zgodnie z II zasadą dynamiki, zależy od dwóch czynników: od wartości wypadkowej sił przyłożonych do układu oraz od jego masy. Przeprowadzimy więc dwa hipotetyczne badania, każde według nieco innych zasad. Zachęcamy Cię do wykonania analogicznych doświadczeń w klasie (doskonale nadaje się do tego tor powietrzny) lub w domu i do porównania ich wyników z II zasadą dynamiki.

## Badanie 1

### Zmienna siła wypadkowa działająca na układ, stała masa układu.

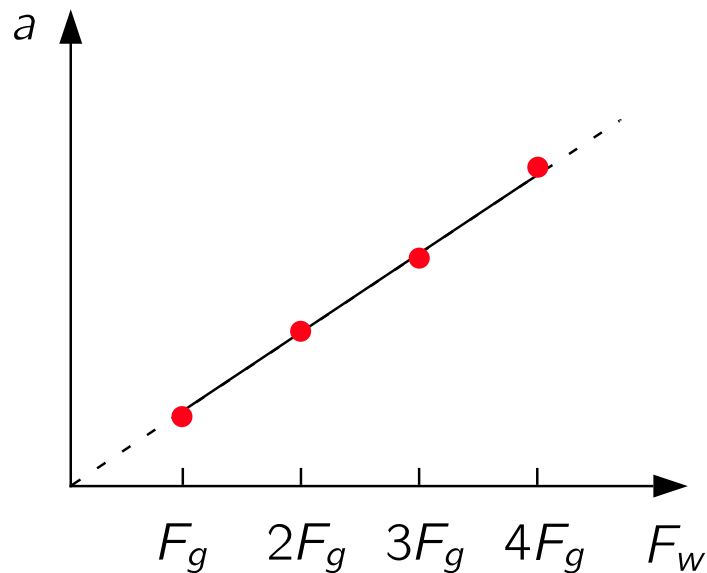
Przygotowujemy cztery ciężarki, z których trzy kładziemy na samochód, zaś jeden mocujemy na sznurku (Rys. 2a.). Przeprowadzamy pomiar czasu  $t$ . Przed każdym kolejnym pomiarem zdejmujemy jeden ciężarek z samochodu i zawieszamy go pod poprzednimi ciężarkami (Rys. 2b., 2c. i 2d.).



Rys. 2. Ruch układu samochodzik-ciężarek pod wpływem różnej siły i przy ustalonej masie układu, równej  $m = m_s + 4m_c$ .

W ten sposób zachowujemy stałą masę układu, ale siła wypadkowa ma w kolejnych próbach coraz większą wartość, równą wielokrotności  $F_g$ .

Wyniki pomiarów przedstawiamy na wykresie zależności wartości przyspieszenia od wypadkowej siły ciężkości ciężarków zaczepionych na sznurku (Rys. 3.).



Rys. 3a. Przyspieszenie układów z Rys. 2 a., b., c. i d. w zależności od wartości siły wypadkowej.

Zauważamy, że do punktów pasuje linia prosta, która przechodzi pomiędzy nimi; odchylenia punktów od prostej są losowe. Prosta celuje w pobliże punktu (0; 0) na wykresie.

Wnioskujemy na tej podstawie, że przyspieszenie, jakiego doznaje układ pod wpływem siły wypadkowej, jest do niej wprost proporcjonalne.

### Uwaga!

W rzeczywistym badaniu użylibyśmy więcej ciężarków, uzyskując więcej niż cztery punkty pomiarowe. Wyznaczylibyśmy także niepewność pomiarową każdego z przyspieszeń i nanieśliśmy ją na wykres. Pozwoliłoby to lepiej ocenić jakość dopasowania prostej do punktów pomiarowych i podniosłoby wiarygodność naszych wniosków.

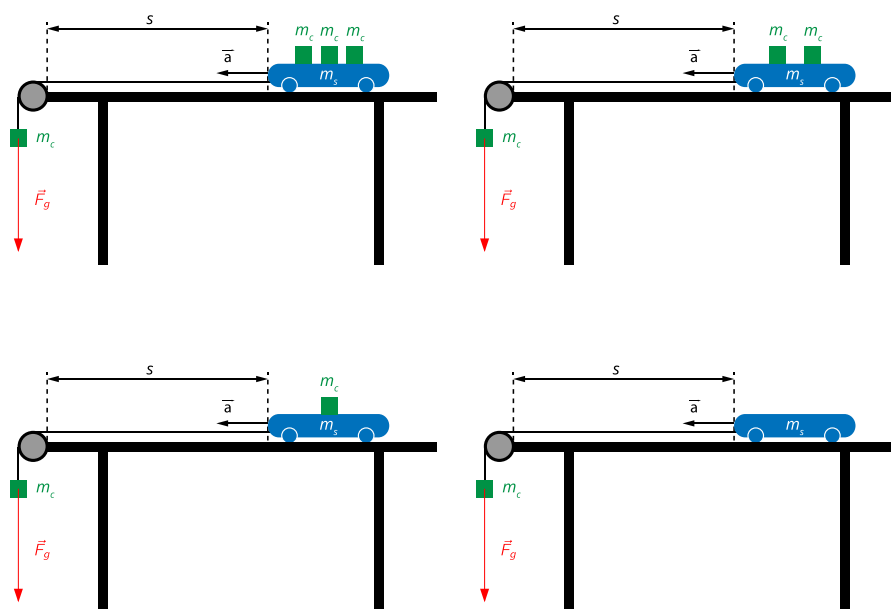
### Konkluzja

Nasze wyniki potwierdziły II zasadę dynamiki, czyli [postulat](#) o związku przyspieszenia z wypadkową siłą - w części dotyczącej proporcjonalnej zależności pomiędzy wartościami przyspieszenia oraz siły.

## Badanie 2

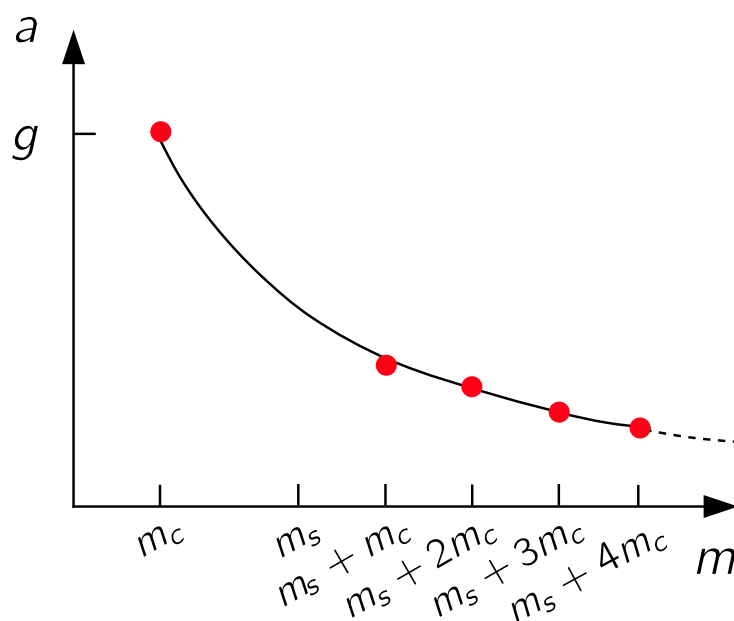
### Stała siła wypadkowa działająca na układ, zmienna masa układu.

Rozpoczynamy od sytuacji identycznej jak w badaniu 1., z jednym ciężarkiem przymocowanym do sznurka i trzema na samochodziku (Rys. 4a). Możemy ponownie zmierzyć czas ruchu układu i na tej podstawie wyznaczyć wartość jego przyspieszenia lub wykorzystać wcześniej uzyskany wynik. Różnica polega na tym, że przed kolejnymi próbami zdjęty z samochodzika ciężarek odkładamy na bok (Rys. 4b., 4c. i 4d.). Nie zawieszamy go pod poprzednimi ciężarkami. Dzięki temu siła wypadkowa działająca na układ jest w każdej próbie taka sama i ma wartość  $F_g^c$ . Zmianie ulega natomiast masa układu.



Rys. 4. Układ ciężarek-samochodzik w sytuacji ustalonej siły wypadkowej, ale ze zmienną masą układu.

Tak jak poprzednio, wyniki pomiarów przedstawiamy na wykresie wartości przyspieszenia, tym razem jednak w zależności od masy układu (Rys. 5a.).



Rys. 5a. Zależność przyspieszenia układu, na który działa ustalona siła, od jego masy.

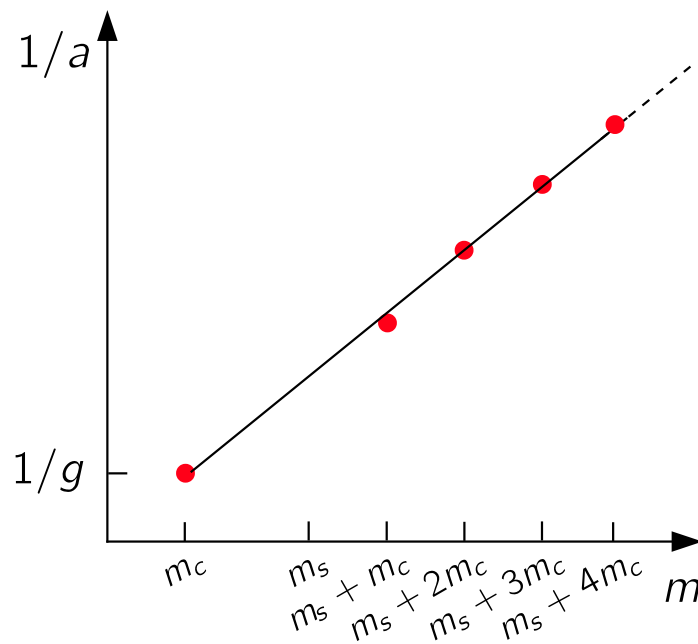
Zauważamy, że do punktów pasuje linia krzywa, która przechodzi pomiędzy nimi; odchylenia punktów od tej linii są losowe. Wartość przyspieszenia, jakiego doznaje samochodzik, rośnie w miarę zmniejszania masy.

Dopasowana krzywa celuje w pobliże punktu  $(m_c; g)$ . Cecha ta stanowi potwierdzenie zgodności z II zasadą dynamiki: gdyby udało się nam zdejmować kolejne elementy samochodzika, masa układu malałaby, a jego przyspieszenie wzrastałoby. W możliwej do zbadania sytuacji, gdyby zdemontować samochodzik „do zera”, układ składający się jedynie z ciężarka i nieważkiego sznurka rzeczywiście poruszałby się z przyspieszeniem ziemskim  $g$ . Stwierdzilibyśmy to mierząc czas, w jakim koniec sznurka (już bez samochodzika) przebywa drogę  $s$ .

Zaawansowana analiza charakteru uzyskanej krzywej pozwala wykazać, iż przedstawia ona zależność odwrotnie proporcjonalną pomiędzy masą a przyspieszeniem.

### Dla zainteresowanych

Przykładem takiej zaawansowanej analizy może być wykreślenie zależności **odwrotności** przyspieszenia od masy. Okazałoby się, że wykresem tej zależności jest linia prosta, celująca w okolice punktu  $(0; 0)$ .



Rys. 5b. Zależność odwrotności przyspieszenia od masy przy ustalonej sile wypadkowej.

Stwierdzilibyśmy wtedy, że skoro odwrotność przyspieszenia jest wprost proporcjonalna do masy, to samo przyspieszenie jest do masy odwrotnie proporcjonalne:

$$\frac{1}{a} \sim m \implies a \sim \frac{1}{m}.$$

## Konkluzja

Nasze wyniki potwierdziły II zasadę dynamiki w części dotyczącej odwrotnie proporcjonalnej zależności pomiędzy wartościami przyspieszenia i siły.

## Dla zainteresowanych

### Eksperymentalna falsyfikacja II zasady dynamiki

Jakie wyniki pomiarów stanowiłyby **falsyfikację** II zasady dynamiki? Prześledźmy to na przykładzie z badania 1. Załóżmy, że uzyskaliśmy inną zależność pomiędzy przyspieszeniem a wypadkową siłą niż proporcjonalna.

Przytoczmy trzy najprostsze przykłady takiego wyniku. Zwróć uwagę, że w każdym z nich dochodzimy do wniosków sprzecznych z II zasadą dynamiki.

Taki wynik, odpowiednio przez nas udokumentowany i opisany, wzbudziłby zainteresowanie świata naukowego. Fizycy z innych ośrodków badawczych próbowaliby powtórzyć nasze eksperymenty i zweryfikować nasze wyniki. Gdyby zostały one potwierdzone, to na ich podstawie zostałaby sformułowana inna wersja II zasady dynamiki. Znacznie mniej prawdopodobne byłoby zupełne jej odrzucenie. Zaś zespół badawczy, który jako pierwszy przeprowadził doświadczenie falsyfikujące, mógłby liczyć na uznanie tego osiągnięcia - na przykład w postaci nagrody Nobla.

### **Szczególna teoria względności wymusiła rozszerzenie II zasady dynamiki**

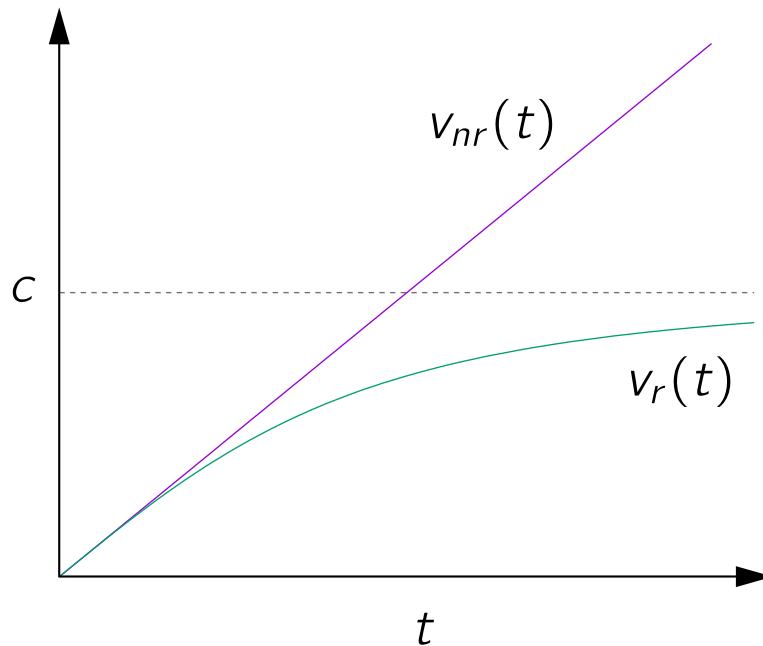
Druga zasada dynamiki, przez ponad dwa stulecia od jej sformułowania, była podstawą dla opisu ruchu materii. Jej przewidywania były potwierdzane wynikami wszystkich (niemal) obserwacji i eksperymentów z dziedziny mechaniki, w tym z astronomii.

Bardzo ciekawy wyjątek, zauważony w połowie XIX wieku, jest opisany w filmie samouczku w e-materiale „Jak wyodrębnić zjawisko z kontekstu i wskazać istotne czynniki dla jego przebiegu?”.

W pierwszej dekadzie XX wieku Albert Einstein sformułował szczególną teorię względności. W ciągu kilku następnych lat okazało się, że II zasada dynamiki w dotychczasowym sformułowaniu jest przybliżonym opisem rzeczywistości. Wnioski formułowane na jej podstawie są także przybliżeniem, tym lepszym, im prędkości osiągnane przez ciała są mniejsze w porównaniu z prędkością światła w próżni. I wystarczająco dobrym dla codziennych potrzeb, nawet dla potrzeb lotów w Kosmos.

Dwudziestowieczne odkrycia w zakresie fizyki mikroświata spowodowały rozwój techniki przyspieszania elektronów, protonów i innych cząstek. Okazało się, że **ruch cząstki przyspieszanej stałą siłą nie jest jednostajnie przyspieszony.**

W miarę zbliżania się prędkości cząstki do prędkości światła jej przyspieszenie stopniowo maleje do zera (Rys. 6.).



Rys. 6. Porównanie wykresów prędkości w mechanice newtonowskiej (linia fioletowa) oraz w ramach szczególnej teorii względności (linia zielona). Wykres  $v_r(t)$  zbliża się do prostej  $v = c$  w miarę upływu czasu, ale nie istnieje taka chwila, w której  $v_r(t) = c$ . Linia fioletowa przecina tę prostą po skończonym czasie, co stoi w sprzeczności z wynikami licznych doświadczeń.

Wyniki takich doświadczeń spowodowały konieczność zmodyfikowania wielkości występujących w II zasadzie dynamiki. To w szczególności oznaczało jakościowe zmiany we wnioskach, jakie można na jej podstawie formułować, np. w przytoczonym wyżej wniosku o ruchu pod wpływem stałej siły.

Czy to znaczy, że uczenie się o II zasadzie dynamiki w jej nierelatywistycznej wersji jest bez sensu? W żadnym razie! Ta znana Ci już postać jest znacznie prostsza niż relatywistyczna i w ogromnej większości przypadków opisuje ruch ciał w sposób zupełnie zadowalający.

Świadczy o tym Tab. 1. Zamieszczono w niej różnice pomiędzy pokazanymi na rys. 6. prędkościami  $v_r$  (obliczonymi na podstawie wersji relatywistycznej II zasady dynamiki) a wartościami  $v_{nr}$  (obliczonymi na podstawie wersji

nierelatywistycznej). Zwróć uwagę na dwie prawidłowości.

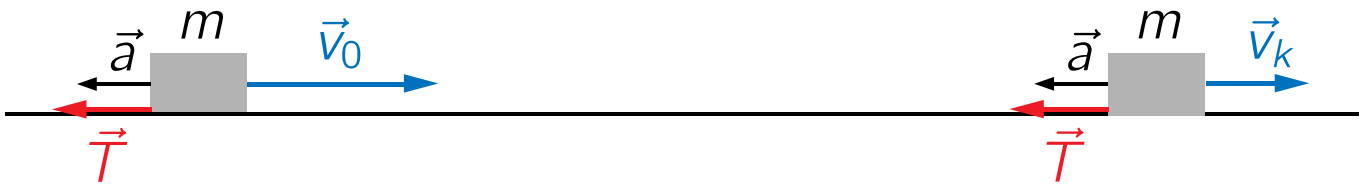
1. Wszystkie różnice są ujemne - szczególna teoria względności przewiduje wolniejszy wzrost prędkości przyspieszanego obiektu.
2. Wzrostowi osiągniętej prędkości o jeden rząd wielkości towarzyszy wzrost różnicy między prędkościami aż o trzy rzędy wielkości.

Tab. 1. Różnica pomiędzy prędkościami osiągniętymi wskutek przyspieszania ciała stałą siłą. Prędkości  $v_{nr}$  są przybliżone, obliczone zgodnie z nierelatywistyczną wersją II zasady dynamiki. Prędkości  $v_r$  są zgodne z jej wersją relatywistyczną. Podano też przykłady obiektów typowo poruszających się z rozpatrywaną prędkością.

$v_{nr}$ [m/s]	$v_r - v_{nr}$ [m/s]	$ v_r - v_{nr} /v_r$	Przykład obiektu
1	$-5,6 \cdot 10^{-18}$	$5,6 \cdot 10^{-18}$	piechur
10	$-5,6 \cdot 10^{-15}$	$5,6 \cdot 10^{-16}$	rower
100	$-5,6 \cdot 10^{-12}$	$5,6 \cdot 10^{-14}$	śmigłowiec
1000	$-5,6 \cdot 10^{-9}$	$5,6 \cdot 10^{-12}$	dźwięk w wodzie
10 000	$-5,6 \cdot 10^{-6}$	$5,6 \cdot 10^{-1}$	rakiet kosmiczna
100 000	$-5,6 \cdot 10^{-3}$	$5,6 \cdot 10^{-8}$	Słońce wokół centrum Galaktyki
1 000 000	-5,6	$5,6 \cdot 10^{-6}$	cząstki $\alpha$ emitowane przez jądra promieniotwórcze
10 000 000	$-5,6 \cdot 10^3$	$5,6 \cdot 10^{-4}$	neutrony produkowane w reakcji roszczepienia
100 000 000	$-5,1 \cdot 10^6$	$5,4 \cdot 10^{-2}$	$\frac{1}{3}c$

## Ruch jednostajnie opóźniony

Często spotykanym zagadnieniem związanym z II zasadą dynamiki jest ruch jednostajnie opóźniony. Występuje on wtedy, kiedy zwrot wektora stałej wypadkowej siły jest przeciwny do zwrotu wektora prędkości początkowej. W takim przypadku przyspieszenie będzie więc także miało zwrot przeciwny do prędkości. Wartość prędkości będzie zatem malała. Przypadek taki przedstawiony jest na Rys. 7.



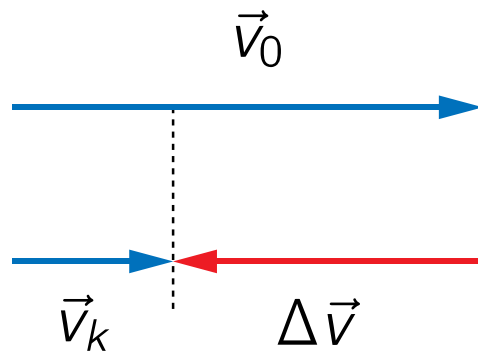
Rys. 7. Klocek poruszający się początkowo z prędkością  $\vec{v}_0$ , na który działa niezrównoważona siła tarcia  $\vec{T}$ . Wartość prędkości klocka maleje i po pewnym czasie osiąga  $\vec{v}_k$ .

### Konstrukcja wektora $\Delta\vec{v}$

Przeanalizujmy tę sytuację. Początkowa prędkość klocka  $\vec{v}_0$  ma zwrot w prawo. Siła tarcia  $\vec{T}$  działająca na klocek jest skierowana przeciwnie do wektora prędkości. Siła ta jest wypadkową siłą działającą na klocek. Wywołane przez nią przyspieszenie klocka  $\vec{a}$  ma zwrot zgodny ze zwrotem  $\vec{T}$ . Po pewnym czasie prędkość klocka wynosi  $\vec{v}_k$ . Zmiana prędkości  $\Delta\vec{v}$  jest różnicą pomiędzy  $\vec{v}_k$  i  $\vec{v}_0$ :

$$\Delta\vec{v} = \vec{v}_k - \vec{v}_0$$

Konstrukcja wektora  $\Delta\vec{v}$  jest przedstawiona na Rys. 8.



Rys. 8. Graficzna konstrukcja różnicy  $\Delta\vec{v}$  pomiędzy prędkościami końcową a początkową.

Rozważmy przykład liczbowy. Klocek o masie  $m = 0,15$  kg przesuwa się po poziomym blacie stołu. Prędkość początkowa klocka ma wartość  $v_0 = 2 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ . Po upływie czasu

$\Delta t = 1,2$  s wartość prędkości tego klocka zmalała do  $v_k = 0,4 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ . Wyznaczmy wartość siły tarcia  $\vec{T}$  działającej na klocek.

### Rozwiązanie

Siłę tarcia przedstawiamy jako iloczyn masy klocka oraz doznawanego przyspieszenia:

$$\vec{T} = m \cdot \vec{a}.$$

Wartość siły tarcia jest zatem iloczynem masy i wartości przyspieszenia,

$$T = m \cdot a .$$

Wykorzystujemy teraz definicję przyspieszenia, uwzględniamy, że ruch klocka jest prostoliniowy i wstawiamy dane liczbowe:

$$\vec{a} = \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t} \implies a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{|v_k - v_0|}{\Delta t} = \frac{|0,4 - 2| \text{ m/s}}{1,2 \text{ s}} = \frac{4}{3} \text{ m/s}^2 .$$

Na koniec podstawiamy tę wartość do wzoru na siłę tarcia i otrzymujemy wynik:

$$T = m \cdot a = 0,15 \text{ kg} \cdot \frac{4}{3} \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 0,2 \text{ N} .$$

### Słowniczek

#### siła wypadkowa

(*ang.: resultant force*) suma wszystkich sił działających na rozpatrywane ciało lub układ ciał.

Więcej informacji uzyskasz w e-materiale „Jak definiuje się siłę wypadkową?”.

#### masa bezwładna

(*ang.: inertial mass*) miara podatności ciała na zmianę prędkości pod wpływem działającej na nie wypadkowej siły. Jest to miara „odwrotna”: taka sama siła, która działa na dwa ciała o różnych masach, nada każdemu z nich inne przyspieszenie., ale ciało o większej masie poruszać się będzie z przyspieszeniem o mniejszej wartości. Bardzo często opuszcza się określenie masa *bezwładna*, szczególnie gdy

nie ma ryzyka jej pomylenia z masą *grawitacyjną*, będącą miarą zdolności ciała do grawitacyjnego oddziaływania z innymi ciałami.

## postulat

(*ang.: postulate*) w naukach ścisłych: zdanie, przekonanie o charakterze fundamentalnym, niewymagające udowodnienia, służące do dalszego rozumowania. W matematyce postulat jest często nazywany aksjomatem.

W fizyce postulaty są podstawowymi prawidłowościami opisującymi przyrodę; zwane są także zasadami, regułami czy prawami. Postulaty są najczęściej formułowane jako uogólnienie wyników obserwacji i doświadczeń; są ujmowane w postać matematyczną. Postulaty są podstawą do wyprowadzania innych zasad, reguł czy praw.

Postulat w fizyce może zostać eksperymentalnie zweryfikowany (wyniki doświadczenia są zgodne z postulatem i wynikającymi z niego innymi prawami) lub sfalsyfikowany (wyniki doświadczenia są sprzeczne z postulatem lub z wynikającymi z niego zasadami, regułami czy prawami). W tym drugim przypadku postulat może zostać zmodyfikowany, by uwzględnił wyniki doświadczenia falsyfikującego. Może też zostać odrzucony i zastąpiony zupełnie innym.

Nazwa pochodzi z j. łacińskiego „*postulare*” - prosić (o coś), żądać (czegoś).

# Animacja

---

## Zmiana przyspieszenia, jakiego doznaje ciało pod wpływem zmiennej siły wypadkowej

Zapoznaj się z animacją, na której widoczny jest klocek umieszczony na płaskiej powierzchni i poruszający się z prędkością początkową  $\vec{v}_0$  pod wpływem działania siły  $\vec{F}$ . Do klocka przyłożona jest również siła hamowania  $\vec{F}_h$ , której wartość zmienia się w czasie.




### Polecenie 1

Przyspieszenie klocka zaczyna maleć, ale prędkość, z jaką się porusza, nadal rośnie. Dlaczego?

### Polecenie 2

Chcemy, by animacja kończyła się zmaleniem wartości prędkości klocka do zera. Zapisz krótką propozycję ciągu dalszego scenariusza animacji.

# Sprawdź się

Pokaż ćwiczenia:   

Ćwiczenie 1



Ćwiczenie 2



Ćwiczenie 3

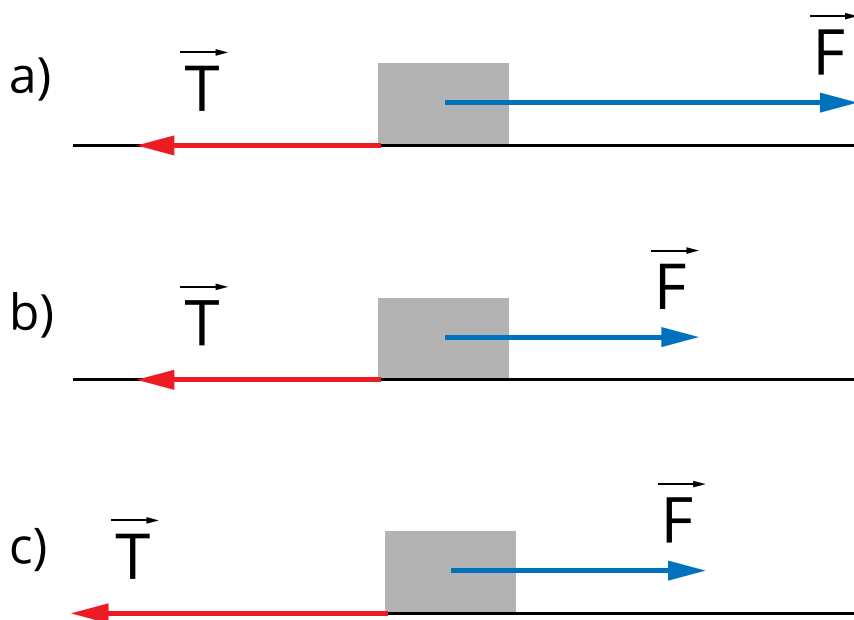
Ćwiczenie 4



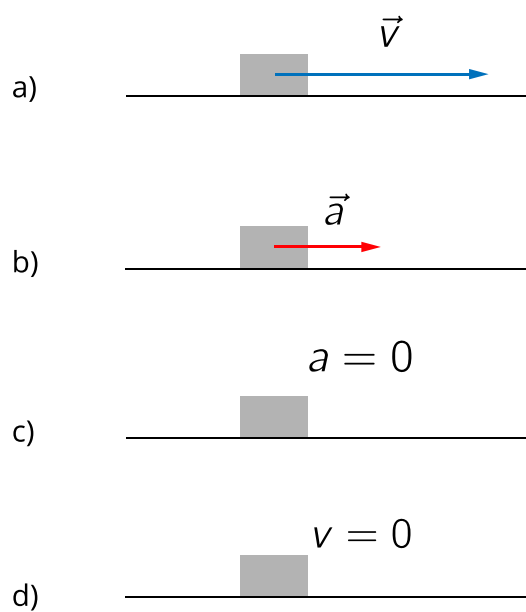
Ćwiczenie 5



Ćwiczenie 6



## Ćwiczenie 7



## Ćwiczenie 8



# Dla nauczyciela

---

<b>Imię i nazwisko autora:</b>	Bartłomiej Klus
<b>Przedmiot:</b>	Fizyka
<b>Temat zajęć:</b>	<b>II zasada dynamiki</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>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: 7) wyodrębnia z tekstów, tabel, diagramów lub wykresów, rysunków schematycznych lub blokowych informacje kluczowe dla opisywanego zjawiska bądź problemu; przedstawia te informacje w różnych postaciach.</p> <p>II. Mechanika. Uczeń: 6) stosuje zasady dynamiki do opisu zachowania się ciał.</p> <p><b>Zakres rozszerzony</b></p> <p><b>Treści nauczania – wymagania szczegółowe</b></p> <p>I. Wymagania przekrojowe. Uczeń: 7) wyodrębnia z tekstów, tabel, diagramów lub wykresów, rysunków schematycznych lub blokowych informacje kluczowe dla opisywanego zjawiska bądź problemu; przedstawia te informacje w różnych postaciach.</p> <p>II. Mechanika. Uczeń: 13 ) stosuje zasady dynamiki do opisu zachowania się ciał.</p>

<b>Kształtowane kompetencje kluczowe:</b>	<p><b>Zalecenia Parlamentu Europejskiego i Rady UE z 2018 r.:</b></p> <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 przyczyny, dla których obiekty zmieniają swoją prędkość.</li> <li>2. wie, dlaczego jedne ciała łatwo wprawić w ruch a inne nie i jaki to ma związek z masą.</li> <li>3. analizuje oraz interpretuje układ sił, które nie równoważą się.</li> <li>4. wyjaśnia pojęcie masy bezwładnej.</li> </ol>
<b>Strategie nauczania:</b>	IBSE (Inquiry-Based Science Education - nauczanie/uczenie się przez odkrywanie/dociekanie naukowe)
<b>Metody nauczania:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- burza mózgów,</li> <li>- pokaz multimedialny,</li> <li>- analiza pomysłów.</li> </ul>
<b>Formy zajęć:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- praca w grupach,</li> <li>- praca indywidualna.</li> </ul>
<b>Środki dydaktyczne:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- tablety dla każdego ucznia,</li> <li>- animacja obrazująca zachowanie się ciała na które działają siły zewnętrzne nie równoważące się,</li> <li>- zestaw zadań.</li> </ul>
<b>Materiały pomocnicze:</b>	e-materiał: <b>II zasada dynamiki</b>
<b>PRZEBIEG LEKCJI</b>	
<b>Faza wprowadzająca:</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Zaciekawienie uczniów (wg „Czy to nie ciekawe?”)</li> <li>- Uzgodnienie z uczniami celów do osiągnięcia na lekcji.</li> <li>- Rozpoznanie wiedzy wyjściowej uczniów i nawiązanie do tej wiedzy: (II zasada dynamiki Newtona, siła wypadkowa, ruch jednostajnie przyspieszony i jednostajnie opóźniony).</li> </ul>	
<b>Faza realizacyjna:</b>	

- Uczniowie w grupie zapoznają się z treścią e-materiału i analizują przykład ruchu samochodzika zabawki po stole. Wnioskują jaki będzie skutek zwiększenia ilości ciężarków oraz co stanie się po zwiększeniu masy zabawki.
- Uczniowie zapoznają się z animacją dotyczącą działania na ciało niezrównoważonej siły.
- Uczniowie zapoznają się ze zjawiskiem ruchu jednostajnie opóźnionego. W grupie analizują zmianę wektora prędkości pod wpływem niezrównoważonej siły hamującej.

#### **Faza podsumowująca:**

Uczniowie indywidualnie otrzymują zestaw zadań, które rozwiązują samodzielnie. Nauczyciel pełni rolę doradcy, obserwuje pracę uczniów i w razie potrzeby udziela wskazówek i podpowiedzi.

Nauczyciel podsumowuje pracę grup prosząc o krótkie relacje, by wszyscy uczniowie poznali obie zależności.

Uczniowie odnoszą się do postawionych sobie celów lekcji, ustalają które osiągnęli a które wymagają jeszcze pracy, jakiej i kiedy. W razie potrzeby nauczyciel dostarcza im informację zwrotną kształtującą.

#### **Praca domowa:**

Uczniowie utrwalają wiedzę i poszerzają rozumienie ponownie czytając tekst e-materiału oraz oglądając animację i rozwiązując zadania 5-7 z zestawu ćwiczeń.

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

Multimedium bazowe może być wykorzystane przez uczniów przed lekcją i być motywem do dyskusji na temat obserwowanego zjawiska działania na ciało niezrównoważonej siły. Zadania z zestawu ćwiczeń od 1 do 5 powinny zostać rozwiązane i omówione na lekcji. Zadania 5-7 mogą stanowić pracę domową.