



Druga zasada dynamiki Newtona

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

Zasób zawiera: wstęp do sformułowania II zasady dynamiki; opis doświadczenia, którego celem jest określenie, jakim ruchem będzie poruszało się ciało pod wpływem zewnętrznej siły niezrównoważonej; polecenie dla ucznia.

Zasób zawiera opis doświadczenia, którego celem jest znaleźć związek między działającą niezrównoważoną siłą zewnętrzną (wypadkową sił) a przyspieszeniem, jakie pod jej wpływem uzyskuje ciało.

Zasób zawiera opis doświadczenia, którego celem jest zbadanie, czy przyspieszenie, które uzyskuje ciało pod wpływem działającej stałej i niezrównoważonej siły zewnętrznej, zależy od masy ciała oraz polecenie dla ucznia.

Zasób zawiera: sformułowanie II zasady dynamiki; zapis skalarny II zasady dynamiki wraz z jednostką; polecenie dla ucznia.

Zasób zawiera: zestawienie informacji dotyczących II zasady dynamiki wraz ze skalarnym zapisem tej zasady; trzy polecenia dla ucznia (zadania tekstowe rachunkowe)

Druga zasada dynamiki Newtona

Jak można zmienić prędkość ciała? Od czego zależy wartość przyspieszenia, jakie uzyskuje ciało? Jeżeli chcesz poznać odpowiedzi na te pytania, czytaj dalej.



Pchanie ciała jest jednym ze sposobów zmiany jego prędkości

Źródło: Jason Kuffer, dostępny w internecie: flickr.com, licencja: CC BY 2.0.

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

- znaczenie pojęć: ruch, prędkość, przyspieszenie, siła wypadkowa;
- treść pierwszej zasady dynamiki Newtona [czyt. niutona];
- klasyfikację ruchów ze względu na wartość prędkości;
- jakie znaczenie dla ruchu ma opór.

Nauczysz się

- podawać treść drugiej zasady dynamiki Newtona;
- opisywać zachowanie się ciał pod wpływem działającej siły na podstawie drugiej zasady dynamiki Newtona;
- wyrażać wartość działającej siły w niutonach.

Jakim ruchem porusza się ciało pod wpływem działania stałej zewnętrznej siły niezrównoważonej?

Pierwsza zasada dynamiki Newtona głosi, że gdy na ciało nie działają żadne siły (bądź działające siły się równoważą) ciało to porusza się ruchem jednostajnym prostoliniowym (bądź spoczywa). Można stąd wyciągnąć wniosek, iż ciało może zmienić swoją prędkość jedynie wskutek działania na nie zewnętrznej niezrównoważonej siły. Nie pozwala jednak

wyciągnąć żadnych wniosków na temat ruchu, jakim pod wpływem takiej siły ciało będzie się przemieszczało. Aby to wyjaśnić, przeprowadź doświadczenie z wykorzystaniem toru powietrznego.

Doświadczenie 1

Ponieważ w szkołach występują różne modele torów powietrznych, przed rozpoczęciem doświadczenia należy dopasować zarówno masę wózka, jak i masy ciężarków. Ruch wózka powinien odbywać się płynnie, bez zacięć.

Problem badawczy

Jakim ruchem będzie poruszało się ciało pod wpływem zewnętrznej siły niezerównoważonej?

Hipoteza

Działanie niezerównoważonej siły na ciało powoduje zmianę jego prędkości, czyli nadanie mu określonego przyspieszenia. Przyspieszenie to może być stałe, a tym samym ruch ciała – jednostajnie przyspieszony.

Co będzie potrzebne

- tor powietrzny z wózkiem o masie 1 kg;
- bloczek;
- ciężarek o masie pięciu gramów ($m = 5\text{ g}$);
- wytrzymała nić;
- chromatograf (jeżeli znajduje się w zestawie z torem powietrznym); możesz również użyć taśmy papierowej ciągniętej przez wózek i zamocowanej w jednym miejscu strzykawki z zabarwionym płynem. Możesz także przymocować strzykawkę z takim płynem do jadącego wózka, a taśmę papierową położyć na stole tak, aby spadające krople trafiały na nią.

Instrukcja

1. Wypoziomuj tor powietrzny.
2. Zamocuj bloczek.
3. Umieść wózek wraz z przymocowaną do niego nicią w najbardziej oddalonym punkcie toru powietrznego.
4. Zawieś na drugim końcu nici (za bloczkiem) pięciogramowy ciężarek.
5. Przymocuj taśmę chromatografu do drugiego końca wózka (albo wykorzystaj taśmę papierową w sposób opisany wyżej).
6. Pozwól opadać ciężarkowi.
7. Wyniki zapisz w tabeli XLSX lub LIBRE, które możesz pobrać z poniższych załączników.

Tabela pomiarowa

Plik o rozmiarze 11.57 KB w języku polskim

Tabela pomiarowa

Plik o rozmiarze 3.62 KB w języku polskim

Skorzystaj ze wzorów:

$$v = \frac{s}{\Delta t}$$

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$$

Przyjmij, że chromatograf odmierzał czas co 0,1 s i zmierz kolejne odcinki drogi przebytej przez ciało. Oblicz średnią wartość prędkości wózka w poszczególnych przedziałach czasu, korzystając z zależności $v_{\text{sr}} = \frac{s}{\Delta t}$. Następnie oblicz wartości zmiany prędkości na drugim

odcinku w stosunku do pierwszego, potem na trzecim w stosunku do drugiego i tak dalej. Możesz dalej sprawdzić, czy i jak zmienia się stosunek zmiany wartości prędkości wózka do czasu, w którym ta zmiana nastąpiła.

Podsumowanie

Wyniki doświadczeń wskazują, że wartość średniej prędkości rośnie, a w granicach niepewności wyniku stosunek zmiany prędkości poruszającego się ciała do czasu, w którym ta zmiana nastąpiła, jest stały. Wynika z tego, że **działanie na ciało stałej, niezrównoważonej siły zewnętrznej powoduje ruch ciała ze stałym przyspieszeniem, czyli porusza się ono ruchem jednostajnie przyspieszonym.**

Zapamiętaj!

Pod wpływem stałej niezrównoważonej siły zewnętrznej ciała poruszają się ruchem jednostajnie przyspieszonym.

Ćwiczenie 1

Na samochód może działać stała, różna od zera siła napędowa. Wyjaśnij, dlaczego może on poruszać się zarówno ruchem jednostajnym, jak i jednostajnie przyspieszonym?

Związek między przyspieszeniem a niezrównoważoną siłą zewnętrzną

Spróbujmy teraz na drodze doświadczalnej znaleźć związek między działającą niezrównoważoną siłą zewnętrzną (wypadkową siłą) a przyspieszeniem, jakie pod jej wpływem uzyskuje ciało. Będziemy działali na ciało siłą o coraz większej wartości. Czy pociągnie to za sobą również zmianę wartości przyspieszenia uzyskiwanego przez ciało? Posłużmy się nieznacznie zmienionym zestawem pomiarowym z poprzedniego doświadczenia.

Doświadczenie 2

Ponieważ w szkołach występują różne modele torów powietrznych, przed rozpoczęciem doświadczenia należy dopasować zarówno masę wózka, jak i masy ciężarków. Ruch wózka powinien odbywać się płynnie, bez zacięć.

Przedstawiony wyżej sposób przeprowadzania doświadczenia jest wzorcowy. Chodzi o to, że gdy badamy zależność przyspieszenia od działającej siły, masa układu, który ta siła przyspiesza, musi być stała. Jeżeli będziemy jedynie zwiększać masę wiszących ciężarków, to co prawda wzrośnie wartość siły, ale zwiększy się również masa całego układu.

Problem badawczy

Jeśli kierunki i zwroty wektorów niezrównoważonej siły zewnętrznej i prędkości poruszającego się ciała są zgodne i działająca siła wzrośnie, to czy wzrośnie również przyspieszenie ciała?

Hipoteza

Wzrost wartości siły zewnętrznej działającej na ciało o stałej masie pociąga za sobą proporcjonalny wzrost jego przyspieszenia.

Co będzie potrzebne

- tor powietrzny z wózkiem o masie 1 kg;
- nakładka o masie 0,25 kg;
- bloczek;
- pięć ciężarków, każdy o masie 5 g;
- wytrzymała nić.

Instrukcja

1. Wypoziomuj tor powietrzny.
2. Zamocuj bloczek.
3. Umieść wózek z wraz z przymocowaną do niego nicią w najbardziej oddalonym punkcie toru powietrznego.
4. Na wózek nałóż nakładkę.
5. Na nakładce ustaw cztery ciężarki o masie 5 g.
6. Zawieś na drugim końcu nici (za bloczkiem) pięciogramowy ciężarek.
7. Pozwól opadać ciężarkowi, mierząc na określonej drodze czas ruchu wózka.
8. Powtórz kilkakrotnie doświadczenie. Za każdym razem zabierz z nakładki wózka ciężarek i przyczep go do ciężarków (ciężarka) uprzednio umieszczonych na końcu nici, tak aby masa układu nie zmieniała się, a działająca na wózek siła wzrastała.
9. Wyniki zapisz w tabeli XLSX lub LIBRE, które możesz pobrać z poniższych załączników. Na podstawie tabeli pomiarów sporządź wykres zależności $a(F)$.

Tabela pomiarowa

Plik o rozmiarze 11.77 KB w języku polskim

Tabela pomiarowa

Plik o rozmiarze 3.62 KB w języku polskim

Korzystamy tutaj z przekształconego wzoru na przyspieszenie w ruchu jednostajnym prostoliniowym z zerową prędkością początkową: $s = \frac{at^2}{2} \Rightarrow a = \frac{2s}{t^2}$.

Podsumowanie

Gdy wartość niezerównoważonej siły zewnętrznej (wypadkowej sił działających) rośnie, to rośnie również przyspieszenie ciała, na które ona działa. Z wykresu zależności $a(F)$ wyraźnie widać, że uzyskiwane przyspieszenie jest wprost proporcjonalne do przyłożonej siły.

Zapamiętaj!

Jeśli na ciało o stałej masie działa stała niezerównoważona siła zewnętrzna (siła wypadkowa) F , to nadaje mu ona stałe przyspieszenie a . Przyspieszenie to jest wprost proporcjonalne do działającej siły wypadkowej ($a \sim F$).

Związek między przyspieszeniem a masą ciała, gdy działa na nie stała niezerównoważona siła zewnętrzna

Obserwacja otoczenia skłania do wniosku, że przyspieszenie uzyskiwane przez poruszające się ciało zależy również od jego masy. Znaczniej trudniej jest przyspieszyć wyładowaną ciężarówkę niż lżejszy samochód osobowy (pomijając oczywiście różnice wynikające z mocy ich silników). Możemy więc przypuszczać, że istnieje jakiś związek między uzyskiwanym przez ciało przyspieszeniem pod wpływem niezerównoważonej siły zewnętrznej a masą ciała. Aby się przekonać, czy tak jest w rzeczywistości, ponownie przeprowadźmy eksperyment z wykorzystaniem toru powietrznego.

Doświadczenie 3

Ponieważ w szkołach występują różne modele torów powietrznych, przed rozpoczęciem doświadczenia dopasuj zarówno masę wózka, jak i masy ciężarków. Ruch wózka powinien odbywać się płynnie, bez zacięć.

Problem badawczy

Czy przyspieszenie które uzyskuje ciało pod wpływem działającej stałej i niezrównoważonej siły zewnętrznej, zależy od masy ciała?

Hipoteza

Tak, jest ono tym mniejsze, im większa jest masa ciała, na które działa siła.

Co będzie potrzebne

- tor powietrzny;
- wózek o masie 1 kg ($m_0 = 1 \text{ kg}$);
- nakładka na wózek (dla odważników) o masie $m_n = 0,25 \text{ kg}$;
- cztery odważniki o masie 0,25 kg każdy ($m_n = 0,25 \text{ kg}$);
- wytrzymała nić;
- obciążnik o masie 10 g;
- bloczek;
- stoper.

Instrukcja

1. Zamocuj bloczek.
2. Umieść wózek z nakładką wraz z przymocowaną do niego nicią w najbardziej oddalonym punkcie toru powietrznego, tak aby w czasie działania dmuchawy, nakładka nie przemieszczała się.
3. Zawieś na drugim końcu nici (za bloczkiem) dziesięciogramowy ciężarek.
4. Dokonaj pomiaru czasu ruchu wózka na określonej drodze podczas opadania ciężarka.
5. Wynik pomiaru powtórz kilkakrotnie, za każdym razem zwiększając masę wózka za pomocą dodatkowych odważników.
6. Dane zapisz w tabeli XLSX lub LIBRE, które możesz pobrać z poniższych załączników.

Tabela pomiarowa

Plik o rozmiarze 11.74 KB w języku polskim

Tabela pomiarowa

Plik o rozmiarze 3.68 KB w języku polskim

Podsumowanie

Wyniki doświadczenia wskazują, że przyspieszenie ciała uzyskiwane pod wpływem stałej niezrównoważonej siły (siły wypadkowej) zależy od masy ciała. Im jest ona większa, tym mniejsza wartość przyspieszenia.

Zapamiętaj!

Przyspieszenie, które uzyskują ciała pod wpływem działania siły wypadkowej o ustalonej wartości, jest odwrotnie proporcjonalne do masy ciał:

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

Ćwiczenie 2

Oblicz, jak i ile razy zmieni się przyspieszenie ciała, gdy:

1. wartość siły wypadkowej wzrośnie trzy razy lub zmaleje dwa razy, a masa ciała będzie stała;
2. ta sama siła wypadkowa działać będzie na ciało o dwukrotnie większej masie;
3. siła wypadkowa dwa razy większa będzie działać na ciało o dwukrotnie większej masie.

Druga zasada dynamiki Newtona

W 1687 r. angielski fizyk i matematyk Isaac Newton w swoim fundamentalnym dla rozwoju mechaniki klasycznej dziele pt. *Philosophiae naturalis principia mathematica* (*Matematyczne podstawy filozofii naturalnej*) oprócz prawa powszechnego ciążenia sformułował prawa rządzące ruchem ciał, w tym pierwszą, drugą i trzecią zasadę dynamiki.

Druga zasada dynamiki Newtona

Jeśli na ciało działa stała niezrównoważona siła (siła wypadkowa), to ciało porusza się ruchem jednostajnie zmiennym z przyspieszeniem wprost proporcjonalnym do działającej siły i odwrotnie proporcjonalnym do masy ciała.

Drugą zasadę dynamiki Newtona zapisujemy wzorem:

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

lub

$$F = m \cdot a,$$

gdzie a [$\frac{m}{s^2}$] – przyspieszenie; F [N] – siła; m [kg] – masa ciała.

Z drugiej zasady wynika, że jeżeli różne siły działają na ciało o stałej masie, to tym większe jest przyspieszenie, im większa jest wartość siły wypadkowej. Z kolei, jeżeli taka sama siła działa kolejno na ciała o różnych masach, to uzyskane przyspieszenia są tym większe, im mniejszą masę ma dane ciało.

Druga zasada dynamiki Newtona jest jedną z podstawowych zasad w fizyce. Dzięki niej jesteśmy w stanie zrozumieć i opisać ruch niemalże wszystkich ciał, począwszy od ogromnych planet, a skończywszy na cząstkach elementarnych. Musimy jednak założyć, że prędkości tych ciał są dużo mniejsze od prędkości światła. Ruch ciał poruszających się z prędkościami bliskimi prędkości światła rządzi się innymi prawami.

Druga zasada dynamiki pozwala nam zdefiniować jednostkę siły.

1 N (niuton)

– 1 niuton jest wartością siły, która ciału o masie 1 kg nadaje przyspieszenie $1 \frac{m}{s^2}$

$$1 \text{ N} = 1 \text{ kg} \cdot 1 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

Ćwiczenie 3

Zastanów się, czy pod wpływem działania stałej niezrównoważonej siły wypadkowej ciało będzie poruszało się ze stałą prędkością, stałym przyspieszeniem czy z rosnącym przyspieszeniem? Uzasadnij odpowiedzi (zarówno twierdzące, jak i przeczące).

Podsumowanie

- W XVII w. wybitny fizyk i matematyk Isaac Newton sformułował trzy zasady dynamiki. Szczególną rolę w rozwoju fizyki odegrała druga z nich. Jeśli na ciało działa stała niezrównoważona siła, to ciało porusza się ruchem jednostajnie zmiennym z przyspieszeniem wprost proporcjonalnym do działającej siły i odwrotnie proporcjonalnym do masy ciała.
- Z drugiej zasady wynika, że jeżeli różne siły działają na ciało o stałej masie, to tym większe jest przyspieszenie, im większa jest wartość siły wypadkowej. Z kolei, jeżeli

taka sama siła działa kolejno na ciała o różnych masach, to uzyskane przyspieszenia są tym większe, im mniejszą masę ma dane ciało.

- Drugą zasadę dynamiki zapisujemy za pomocą wzorów:

$$a = \frac{F}{m} \text{ lub}$$

$$F = m \cdot a,$$

gdzie:

$a \left[\frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right]$ – przyspieszenie;

$F [N]$ – siła;

$m [\text{kg}]$ – masa ciała.

Druga zasada dynamiki pozwala na zdefiniowanie jednostki siły – 1 N (niuton). 1 niuton jest wartością siły, która nadaje ciału o masie 1 kg przyspieszenie $1 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$.

$$1 \text{ N} = 1 \text{ kg} \cdot 1 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}.$$

Ćwiczenie 4

Ile wynosi wartość siły wypadkowej, jaką trzeba przyłożyć do piłki o masie 0,5 kg, aby zaczęła się ona poruszać z przyspieszeniem o wartości $1 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$. Zaznacz poprawną odpowiedź.

☐ $F = 5 \text{ N}$

☐ $F = 0,5 \text{ N}$

☐ $F = 1 \text{ N}$

☐ $F = 0,3 \text{ N}$

Ćwiczenie 5

Ile wynosi wartość siły napędowej samochodu o masie 1500 kg poruszającego się z przyspieszeniem $1 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$, jeżeli siły oporów ruchu mają wartość 500 N? Zaznacz poprawną odpowiedź.

☐ $F = 4000, N = 8 \text{ kN}$

☐ $F = 3000, N = 6 \text{ kN}$

☐ $F = 1000, N = 4 \text{ kN}$

☐ $F = 2000, N = 2 \text{ kN}$

Źródło: ZPE, licencja: CC BY 3.0.

Ćwiczenie 6

W wyniku działania siły wypadkowej, w czasie 5 sekund wartość prędkości ciała o masie 3 kg wzrosła od $5 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ do $10 \frac{\text{m}}{\text{s}}$. Ile wynosi wartość siły wypadkowej? Zaznacz poprawną odpowiedź.

☐ $F = 4 \text{ N}$

☐ $F = 5 \text{ N}$

☐ $F = 3 \text{ N}$

☐ $F = 2 \text{ N}$

Źródło: ZPE, licencja: CC BY 3.0.

Zadanie podsumowujące lekcję

Ćwiczenie 7



Oceń prawdziwość poniższych zdań. Przy każdym zdaniu w tabeli zaznacz „Prawda” albo „Fałsz”.

Zdanie	Prawda	Fałsz
Podczas kopnięcia piłka zmieniła swoją prędkość na skutek działania niezrównoważonej siły.	☐	☐
Podczas kopnięcia piłka zmieniła swoją prędkość na skutek działania stałej zrównoważonej siły.	☐	☐

Źródło: ZPE, licencja: CC BY 3.0.