

Zasady dynamiki.

1. Jakie mogą być oddziaływania ciał?

Świat jest pełen rozmaitych ciał. Ciała te nie są od siebie niezależne, nieustannie na siebie działają. Objawy tego działania, czy też, jak mówią fizycy, oddziaływania są rozmaite. Wiesz to z codziennego doświadczenia. Jeśli dwóch uczniów na szkolnej przerwie zderzy się ze sobą, to nastąpi oddziaływanie między nimi. Skutki mogą być różne. Mogą zmienić swoje szybkości, kierunki ruchu, może nawet dojść do mniej lub bardziej trwałego odkształcenia. Takie same mogą być skutki innych oddziaływań: zmiana szybkości, zmiana kierunku ruchu i odkształcenie. Miarą oddziaływania jest **siła**. Mówi ona czy oddziaływanie między ciałami jest duże czy małe. Jest wiele różnych oddziaływań (sił) na świecie. Będziesz się o nich stopniowo dowiadywał. Cała różnorodność tych oddziaływań da się sprowadzić do czterech podstawowych:

- grawitacyjnych
- elektromagnetycznych
- słabych
- silnych

Później powiem o nich więcej.

2. Co dzieje się z ciałem, na które nie działają żadne siły?

Na to pytanie odpowiada **pierwsza zasada dynamiki**. Na jej sformułowanie trochę poczekaj. Pozastanawiajmy się nieco najpierw. Wyobraź sobie, że popychasz sanki po betonowym chodniku. I co? Jasne, że bardzo szybko się zatrzymają. Dlaczego? Bo chodnik jest bardzo chropowaty. Tarcie szybko powoduje zatrzymanie się sanek. A teraz pchnij sanki stojące na lodzie. Efekt jest inny – sanki jadą daleko. A co by było gdyby lód był gładki, stawiał ruchowi sanek mniejszy opór? Sanki pojechałyby jeszcze dalej. Wolniej traciłyby uzyskaną poprzez Twoje popchnięcie szybkość. A gdyby to był idealnie gładki lód, nie stawiający żadnego oporu? Sanki jechałyby bez zmiany prędkości i gdyby lodowisko ciągnęło się w nieskończoność, ruch sanek też byłby nieskończony. Sanki nie zwalniałyby, ani nie zmieniały kierunku ruchu. To właśnie mówi pierwsza zasada dynamiki. Oto jej sformułowanie (dostosowane do gimnazjalnego poziomu):

Jeśli na ciało nie działa żadna siła (lub działające siły równoważą się – o czym później) ciało spoczywa lub porusza się ruchem jednostajnym i prostoliniowym (ze stałą prędkością).

Wydaje się oczywiste, że ciało spoczywa, gdy nie działają na nie siły, ale ten ruch jednostajny wydaje się wszystkim podejrzany... Jednak nasze doświadczenie myślowe z sankami wskazuje na to, że jest to możliwe, jeśli **naprawdę** na ciało nie działają żadne siły, w tym też ta, której tak trudno się pozbyć – siła tarcia.

3. Na czym polega bezwładność ciał?

Bezwładność ciał polega na tym, że by poruszyć ciało musisz użyć siły. Nie da się bez użycia siły zmienić szybkości ani kierunku ruchu ciała. Inaczej mówiąc ciało zachowuje stan swego spoczynku lub ruchu jednostajnego prostoliniowego dopóki jakaś siła nie zmusi go do zmiany tego stanu. Mówi o tym pierwsza zasada dynamiki nazywana czasami zasadą bezwładności.

4. Co jest miarą bezwładności?

Miarą bezwładności jest masa. Znaczy to tyle, że ciało o większej masie jest bardziej „bezwładne” – trudniej je poruszyć, zatrzymać lub zmienić kierunek jego ruchu.

Podstawową jednostką masy, jak dobrze wiesz, jest kilogram. Symbolicznie zapiszemy to tak: $[m] = 1 \text{ kg}$.

5. Co to znaczy, że siły się równoważą?

Oznacza to, że siły te znoszą się nawzajem. Ciało pod wpływem równoważących się sił pozostaje w spoczynku lub porusza się jednostajnie i prostoliniowo – tak samo ciało reaguje, gdy żadne siły nie działają. Oczywiście brak sił i siły równoważące się to nie całkiem to samo. Siły nawet gdy się równoważą, mogą ciało odkształcić, brak sił nie może tego zrobić.

Jakie warunki muszą być spełnione, by dwie siły się równoważyły? Przede wszystkim muszą być przyłożone do tego samego ciała. Poza tym muszą być przeciwnie skierowane i mieć jednakowe wartości. Tak jak te na rysunku.



6. Jak będzie poruszać się ciało poddane działaniu niezrównoważonej siły?

Mówi o tym druga zasada dynamiki. Przypomnijmy ją sobie.

Ciało, na które działa niezrównoważona siła porusza się z przyspieszeniem proporcjonalnym do działającej siły i odwrotnie proporcjonalna do masy ciała.

Możemy zapisać to prawo w postaci wzoru:

$$1) \vec{a} = \frac{\vec{F}}{m}$$

\vec{a} – wektor przyspieszenia

\vec{F} – wektor siły wypadkowej (czyli wektorowej sumy wszystkich sił działających na ciało)

m – masa ciała, na które działa siła

Jakie wnioski możemy wyciągnąć z tej zasady? **Po pierwsze** przyspieszenie ma zawsze taki sam kierunek jak siła. Bierze się to stąd, że przyspieszenie powstaje z podzielenia wektora siły przez dodatnią liczbę jaką jest masa. Takie działanie nie powoduje zmiany ani kierunku ani zwrotu wektora. **Po drugie**: by otrzymać poprawną wartość przyspieszenia, z jakim porusza się ciało, musimy uwzględnić **wszystkie** siły jakie działają na ciało. Nie jest to łatwe. Pomaga w tym trzecia zasada dynamiki. **Po trzecie**: jeśli na ciało o stałej masie działa stała siła, to i przyspieszenie tego ciała jest stałe. Oznacza to w szczególności, że ciało na które działa stała siła będzie poruszać się ruchem jednostajnie przyspieszonym lub jednostajnie opóźnionym.

Drugą zasadę dynamiki można zapisać nieco też inaczej:

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

Jest to oczywiście ten sam wzór co 1) nieco przekształcony. Z tego wzoru możemy wywnioskować jaka jest jednostka siły. Jest ona iloczynem jednostki masy i jednostki przyspieszenia. Zapiszmy to.

$[F] = 1 \text{ kg} \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$. Na cześć Izaaka Newtona jednostkę tę nazwano niutonem. Oznaczamy ją 1 N.

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

Przykład

Na ciało o masie 3 kg działa wypadkowa siła 12 N. Z jakim przyspieszeniem będzie poruszać się to ciało?

Rozwiązanie

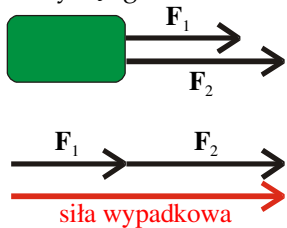
Wystarczy skorzystać ze wzoru 1). $a = \frac{F}{m} = \frac{12 \text{ N}}{3 \text{ kg}} = 4 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$

7. Jak szuka się siły wypadkowej?

Siła jest wektorem – oprócz wartości ma także kierunek i zwrot. Siła wypadkowa to wektorowa suma wszystkich sił, jakie działają na ciało. By znaleźć siłę wypadkową należy więc dodać wektorowo siły działające na ciało. Po-

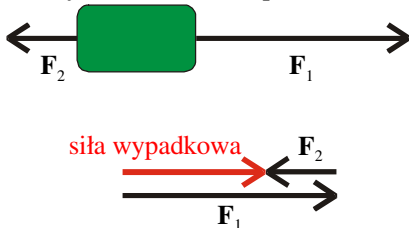
przestańmy na dwóch siłach, by sprawy zbyt nie zagmatwać. Na początek zajmijmy się dwoma prostymi przypadkami.

I. Siły są zgodnie skierowane.



Wartość siły wypadkowej w tym przypadku jest równa po prostu **sumie** wartości sił \vec{F}_1 i \vec{F}_2 .

II. Siły są skierowane przeciwnie.



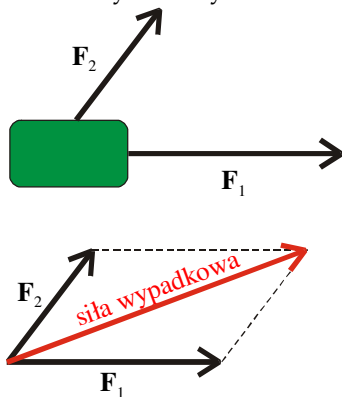
W takim wypadku wartość siły wypadkowej obliczamy **odejmując** od wartości większej siły wartość siły mniejszej. Siła wypadkowa skierowana jest tak jak siła większa.

III. Siły są skierowane pod dowolnym kątem.

Siłę wypadkową konstruujemy posługując się regułą równoległoboku. Sposób postępowania jest taki:

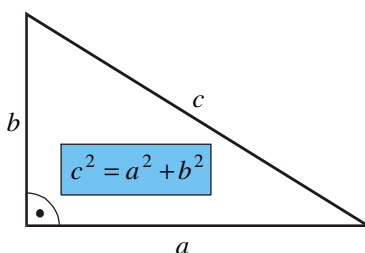
- sprowadzamy wektory sił do wspólnego początku
- konstruujemy równoległobok, którego sąsiednimi bokami są wektory danych sił
- przekątną równoległoboku, która zaczyna się we wspólnym początku sił jest właśnie szukaną wypadkową.

Zobaczmy to na rysunku.



Obliczenie wartości siły wypadkowej w takim przypadku jest trudne i nikt od Ciebie nie będzie tego w gimnazjum wymagał. Może poza jednym przypadkiem: gdy siły są prostopadłe. Wtedy do obliczenia siły wypadkowej można użyć twierdzenia Pitagorasa. Pamiętasz je? Już przypominam.

Jeśli w trójkącie prostokątnym długości przyprostokątnych wynoszą a , b , a długość przeciwprostokątnej wynosi c , to $c^2 = a^2 + b^2$.

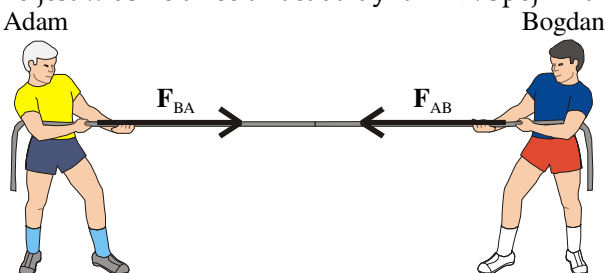


8. Jak sformułować trzecią zasadę dynamiki?

Siły zawsze występują parami. Zrób proste choć nieco bolesne doświadczenie. Uderz pięścią w stół (nie za mocno, szkoda stołu!). Z punktu widzenia fizyki podziałałeś na stół siłą. Poczuleś na własnej skórze, że stół odwzajemnił Ci się tym samym: podziałał na twą rękę siłą. I tak jest zawsze. Zawsze działaniu towarzyszy takie samo przeciwdziałanie. Powiedzmy to inaczej i dokładniej.

Jeśli ciało A działa na ciało B siłą, to ciało B działa na ciało A siłą o takiej samej wartości i kierunku, lecz przeciwnie skierowaną.

To jest właśnie **trzecia zasada dynamiki**. Spójrz na rysunek ilustrujący tę zasadę.



9. Jakie znasz rodzaje sił?

Wokół nas działa mnóstwo różnych sił. Na szczęście można wśród nich zaprowadzić porządek – można je poklasyfikować. Inaczej można by się było pogubić. Przedstawię tę klasyfikację w postaci tabeli.

| Nazwa siły | Przykład działania | |
|------------------------|---------------------------------|--------------------------------|
| | Działa ze strony... | Na... |
| Ciężkości (grawitacji) | ...Ziemi | ...Ciebie |
| Sprężystości | ...rozcigniętej sprężyny | ...zawieszone na niej ciało |
| Reakcji więzów | ...stołu | ...na stojącą na nim szklanę |
| Tarcia | ...stokiem | ...nartami (na szczęście małe) |
| Oporu ośrodka | ...powietrza | ...rozpięty spadochron |
| Wyporu | ...wody | ...zanurzone w niej ciało |
| Elektrostatyczna | ...naelektryzowanego grzebienia | ...włosy |
| Magnetyczna | ...magnesu | ...kawałek żelaza |

To oczywiście nie są wszystkie rodzaje sił jakie istnieją. Na razie wystarczy. Innymi zajmiemy się później.

10. Co powinieneś wiedzieć o sile przyciągania ziemskiego?

Powinieneś wiedzieć to, co wiedział Galileusz: wszystkie ciała, na które działa **tylko** siła ciężkości spadają z takim samym przyspieszeniem. Reszta twojej wiedzy jest konsekwencją tej prostej informacji (co ja mówię prostej; to przecież fundament ogólnej teorii względności). Na naszej szerokości geograficznej przyspieszenie to wynosi $g = 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$. Siła, jak wiesz, jest iloczynem masy i przyspieszenia. Zatem siła, z jaką Ziemia przyciąga dowolne ciało, jest równa iloczynowi masy tegoż ciała i przyspieszenia ziemskiego.

$$P = m \cdot g$$

Siła ciężkości jest czasem (niezbyt prawidłowo) nazywana ciężarem.

To wszystko co napisałem jest dobre, jeśli nie wymagamy zbyt głębokiej wiedzy na temat siły ciężkości. Jeśli jednak chcesz wiedzieć jak zmienia się ta siła, gdy oddalamy się od Ziemi, nie znajdziesz tu odpowiedzi na to pytanie. Ale do tego jeszcze wrócimy. Nie martw się.

11. Co warto wiedzieć o siłach reakcji?

Kiedy się ciała stykają, działają na siebie siłami. Na szklankę stojącą na stole działa siła ciężkości – to oczywiste. Czy jest to jedyna siła? Gdyby tak było, to szklanka spadłaby przenikając przez stół. Wiesz, że tak się nie dzieje. Musi istnieć siła, która będzie równoważyć siłę ciężkości. Tą siłą jest siła reakcji stołu, działająca wtedy, gdy szklanka styka się ze stołem i znikająca, gdy ciała przestają się stykać. Siła ta jest zawsze prostopadła do podłoża, na którym się ciało znajduje.



12. Co wiesz o siłach tarcia?

Przede wszystkim to, że są dwa rodzaje siły tarcia: tarcie statyczne i tarcie kinetyczne. Czym się one różnią? Siła tarcia statycznego pojawia się, gdy siła działająca na jakieś spoczywające względem podłoża ciało usiłuje je poruszyć.

Przykład (by było łatwiej zrozumieć).



Usiłujesz przesunąć ciężką szafę. Popychasz ją, czyli działasz pewną siłą, a tu nic. Szafa ani drgnie. O czym to świadczy? O tym, że oprócz Twojej siły działa jeszcze jedna, która przeciwstawia się Twojej sile, równoważy ją. Tą siłą jest tarcie statyczne. Jeśli zwiększysz siłę, z jaką działasz na szafę, zwiększy się również tarcie statyczne i z przesunięcia szafy nadal nici. Na szczęście zwiększanie się tarcia statycznego ma swój kres. Inaczej nigdy nie przesunąłbyś szafy. Tarcie statyczne ma maksymalną w danych warunkach wartość, która zależy od ciężaru szafy i od tego jak gładka jest podłoga i nóżki szafy. Jeśli Twoja siła tę maksymalną wartość przekroczy, szafa przesunie się. Drugi rodzaj siły tarcia to tarcie kinetyczne. Jak sama nazwa wskazuje, siła ta pojawia się, gdy trące o siebie ciała są w ruchu.

Przykład

Gdy popchniesz książkę po stole, przez jakiś czas będzie się ona przesuwawać, lecz w końcu jej ruch ustanie. Znaczy to, że na książkę działa jakaś siła skierowana przeciwnie do wektora prędkości, która jest odpowiedzialna za jej opóźniony ruch. Ta siła to właśnie tarcie kinetyczne.

Od czego zależy to tarcie? Od tego jak bardzo ciało jest dociskane do podłoża po którym się porusza, oraz stopnia wygładzenia obydwu trących powierzchni. Można to ująć w postaci wzoru:

$$F_T = f \cdot F_N$$

siła tarcia = współczynnik tarcia · siła nacisku ciała na podłoże

Współczynnik tarcia mówi nam, jak gładkie są trące powierzchnie. Mała jego wartość oznacza powierzchnie wygładzone (np. łyżwy o lód), duża – to duże tarcie (guma o beton).

13. Jak poprawnie wykorzystywać drugą zasadę dynamiki?

Najczęściej druga zasada dynamiki służy nam po to, by wyznaczyć przyspieszenie jakiegoś ciała, na które działają jakieś siły. By wyszła nam poprawna wartość przyspieszenia, musimy spełnić parę warunków.

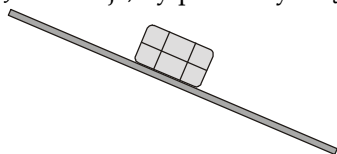
a) Znaleźć **wszystkie** siły działające na rozpatrywane ciało. Nie zawsze jest to łatwe (przykład w następnym punkcie). Pamiętajmy, że źródłem siły jest zawsze realnie istniejące ciało. Musimy zatem uświadomić sobie, jakie ciała mamy w otoczeniu rozpatrywanego i źródłem jakich sił mogą one być.

b) Poprawnie znaleźć siłę wypadkową, czyli **wektorową** sumę wszystkich sił.

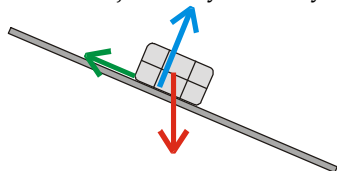
c) Skorzystać z drugiej zasady dynamiki, by obliczyć przyspieszenie.

14. Jakie siły działają na paczkę ześlizgującą się po pochylej desce?

Jest okazja, by poćwiczyć się w znajdowaniu sił.



Po pierwsze zastanówmy się, jakie ciała mamy w otoczeniu naszej paczki. To proste: deska i Ziemia. Nic poza tym nie ma w pobliżu. Tylko te dwa ciała mogą działać na paczkę siłami. Jest oczywiste, że Ziemia działa siłą ciężkości. Jest ona skierowana pionowo w dół. Oznaczmy ją na czerwono. Paczka naciska na deskę, więc deska też działa pewną siłą na paczkę (to z III zasady dynamiki). Ta siła to siła reakcji deski. Jak pamiętasz, jest ona prostopadła do deski. Oznaczyłem ją kolorem niebieskim. Deska zapewne nie jest gładka. Działa więc siła tarcia. Paczka jest w ruchu, jest to więc siła tarcia kinetycznego. Wektor tej siły jest zielony. Więcej ciał w otoczeniu paczki nie ma, zatem to są już wszystkie siły.



15. Co to jest pęd?

Bez zbędnych wstępów: pęd to iloczyn masy i prędkości ciała. Zapiszmy to w postaci wzoru (bo to krócej).

$$\vec{p} = m \cdot \vec{v}$$

pęd = masa · prędkość

Zwróciłeś pewnie natychmiast uwagę, że pęd jest wielkością wektorową. Jest skierowany dokładnie tak, jak wektor prędkości. Skoro jest wektorem, to żeby znaleźć wektor pędu układu ciał (na przykład odłamków rozerwanego granatu – ale ciała układu nie muszą być ze sobą tak związane), trzeba mieć pędy poszczególnych ciał i dodać je **wektorowo**.

Jednostką pędu jest $1 \text{ kg} \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}}$

16. Jak sformułować zasadę zachowania pędu?

Jeśli na układ ciał nie działa żadna siła zewnętrzna, to całkowity pęd tego układu (czyli wektorowa suma pędów poszczególnych ciał) pozostaje stały, nie zmienia się w czasie.

Oznacza to między innymi, że jeśli zmieni się pęd jednego z ciał, to pęd innych musi tak się zmienić, żeby całkowity pęd pozostał nie zmieniony.

Przykład zastosowania

Na sanki o masie $m = 10$ kg wskakuje Kasia o masie $M = 40$ kg z szybkością $v = 5$ m/s. Z jaką szybkością odjadą sanki wraz z Kasią tuż po jej skoku?

Pęd układu sanki-Kasia jest taki sam przed skokiem i po skoku, bo siły działające między Kasą i sankami są wewnętrzne w tym układzie (albo inaczej: nie są zewnętrzne).

Pęd początkowy. Składa się on z pędu Kasi i pędu sanek.

$$p_{Kasi} = Mv = 40 \text{ kg} \cdot 5 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 200 \text{ kg} \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$p_{sanek} = m \cdot 0 \text{ (bo sanki nie poruszają się)} = 0$$

Pęd początkowy = $200 \text{ kg} \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}}$. Pęd końcowy musi być taki sam. Jest to pęd Kasi i sanek. Te dwa ciała poruszają się teraz ze wspólną prędkością.

$$\text{Pęd końcowy} = (M + m)V$$

V to wspólna szybkość Kasi i sanek po skoku. Tej szybkości szukamy.

$$(M + m)V = 200 \text{ kg} \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

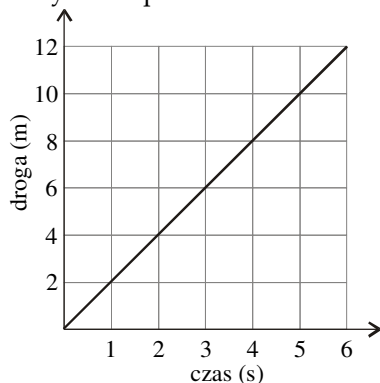
$$(40 \text{ kg} + 10 \text{ kg})V = 200 \text{ kg} \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$50 \text{ kg} \cdot V = 200 \text{ kg} \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$V = 4 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Takiego zadania możesz spodziewać się na egzaminie.

1. Rysunek przedstawia zależność drogi od czasu w ruchu pewnego ciała o masie $m = 2$ kg.



Jaka siła wypadkowa działa na to ciało?

- A) 4 N
- B) 2 N
- C) 0 N
- D) Nie sposób tego stwierdzić

Rozwiązanie

Wykres przedstawia zależność drogi od czasu dla ruchu tego ciała. Jaki to ruch? Jest to ruch, w którym droga jest proporcjonalna do czasu, bo wykres jest prostoliniowy i przechodzi przez początek układu współrzędnych. Wiesz już, że jeśli droga jest proporcjonalna do czasu to mamy do czynienia z ruchem jednostajnym, czyli zachodzącym ze stałą szybkością. Jakie jest przyspieszenie jeśli szybkość jest stała? Oczywiście równe zero. Ciało przecież nie przyspiesza skoro nie zmienia się jego szybkość. Druga zasada dynamiki mówi, że wypadkowa siła to iloczyn

masy i przyspieszenia. Ale skoro przyspieszenie jest równe zero, to i wypadkowa siła jest zerowa. Zatem prawdziwa jest odpowiedź C.

2. Jacek ciągnie stałą siłą skierowaną poziomo sanki o masie 5 kg. Trwa to 10 sekund. Na sanki działa siła tarcia o wartości 5 N. Tabela przedstawia zależność prędkości sanek od czasu.

| | | | | | | | | | | |
|----------------|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|
| Czas (s) | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| Prędkość (m/s) | 2 | 4 | 6 | 8 | 10 | 12 | 14 | 16 | 18 | 20 |

Siła, z jaką Jacek ciągnie sanki wynosi:

- A) 0 N
- B) 5 N
- C) 10 N
- D) 15 N

Rozwiązanie

Tabela pokazuje, że szybkość sanek zwiększa się. Sanki mają jakieś przyspieszenie. Oznacza to, że na sanki działa jakaś siła wypadkowa. To wyklucza odpowiedź A). Z jakich sił składa się ta wypadkowa? Z siły którą działa na sanki Jacek i działającej przeciwnie siły tarcia. Wypadkowa siła będzie równa różnicy tych sił.

Siła wypadkowa = siła Jacka – siła tarcia.

$$1) F_w = F_J - F_T$$

Siła wypadkowa (II zasada dynamiki) jest też równa iloczynowi masy i przyspieszenia. Masę mamy podaną, a przyspieszenie możemy odczytać z tabelki. Otóż w ciągu każdej sekundy szybkość zwiększa się o $2 \frac{\text{m}}{\text{s}}$. Zatem

$$\text{przyspieszenie } a = 2 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}.$$

Siła wypadkowa = $5 \text{ kg} \cdot 2 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 10 \text{ N}$. Podstawiamy wartość siły wypadkowej i siły tarcia do wzoru 1).

$$10 \text{ N} = F_J - 5 \text{ N}$$

$$F_J = 15 \text{ N}$$

Odpowiedź D) jest poprawna.

© Sławomir Jemielity