

Trzecia zasada dynamiki



Rys. 4.18. Przy oddziaływaniu młotka i gwóźdźka każde z ciał wywiera na drugie ciało taką samą siłę

W najprostszym rozumieniu, siła to pchanie lub ciągnięcie. Przy bliższym spojrzeniu zauważamy, że siła nie jest żadnym obiektem materialnym, lecz jest wynikiem oddziaływania między różnymi ciałami. Dla ilustracji rozważmy oddziaływanie między młotem a palikiem. Młot wywiera pewną siłę na palik i wbija go w ziemię. Ale ta siła to dopiero połowa zagadnienia, gdyż musi także istnieć siła, która zatrzymuje młot. Skąd pochodzi ta siła? Z palika! Newton stwierdził, że gdy młot działa na palik, jednocześnie palik działa na młot. Zgodnie z tym oddziaływanie między młotem i palikiem określone jest przez *parę* sił: jedna z nich działa na młotek, druga — na palik. Ta obserwacja naprowadziła Newtona na sformułowanie trzeciej zasady dynamiki, zwanej prawem akcji i reakcji.

III zasada dynamiki: Jeśli ciało A działa jakąś siłą na ciało B, to ciało B wywiera na ciało A siłę równą co do wielkości i przeciwnie skierowaną.

Pierwsza z tych sił nazywa się *akcją*, druga — *reakcją*. Nie jest ważne, którą siłę nazwiemy akcją, a którą reakcją. Ważne jest to, że obie te siły są elementami jednego oddziaływania i że żadna nie może istnieć bez drugiej. Mają jednakową wartość, ale przeciwnie kierunki. Trzecia zasada dynamiki często bywa też formułowana inaczej: każda akcja spotyka się z równą jej (i przeciwnie skierowaną) reakcją.

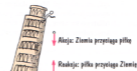
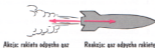
W każdym oddziaływaniu siły występują parami. Akcja i reakcja stanowią parę sił określającą oddziaływanie dwóch ciał. Gdy idziesz po podłodze, ty naciskasz na podłogę, a podłoga odpycha ciebie. Ty i podłoga działacie przeciwko sobie jednocześnie — między wami istnieje więc oddziaływanie. Koła samochodowe odpychają powierzchnię drogi, a jezdnia odpycha koła w przeciwną stronę. Koła i jezdnia działają na siebie w przeciwne strony. Podczas pływania odpychasz wodę do tyłu, a woda pcha ciebie do przodu — ty i woda działacie na siebie w przeciwne strony. W każdym z tych przykładów występuje para sił: jedna jest akcją, druga — reakcją, obie stanowią oddziaływanie. Siły reakcji są w tych przykładach przyczyną naszego ruchu. Ich źródłem jest tarcie. Na lodzie ani człowiek ani samochód nie jest w stanie spowodować powstania siły akcji, a bez akcji niemożliwe jest powstanie reakcji, niezbędnej do wywołania naszego ruchu.

Jak wiemy, dwie siły o tej samej wielkości i przeciwnych kierunkach wzajemnie się znoszą, ale pod warunkiem, że działają na to samo ciało. Akcja i reakcja są równe i przeciwnie skierowane, ale się nie znoszą, gdyż działają na różne ciała.



Rys. 4.19. Siły występujące przy zderzeniu kuli niebieskiej z żółtą powodują wprawienie w ruch kuli żółtej i zatrzymanie się kuli niebieskiej

Rys. 4.20. Siły akcji i reakcji. Jeśli akcja polega na działaniu ciała A na ciało B, to reakcją jest wywieranie siły przez ciało B na ciało A.



Rys. 4.21. Jabłko przyciąga pomarańczę, która zaczyna się poruszać z przyspieszeniem. Pomarańczę przyciąga jabłko w drugą stronę i jej działanie wpływa na ruch jabłka. Siła działająca na pomarańczę nie znosi się z siłą działającą na jabłko.

Rozpatrzmy na przykład parę sił działających między jabłkiem i pomarańczą, jak na rys. 4.21. Na początek skoncentrujmy się na pomarańczy. Narysujmy okrąg wokół niej; wszystko, co znajduje się w jego wnętrzu, stanowi pewien *układ*. Jabłko wywiera na ten układ jakąś siłę, w wyniku czego układ przyspiesza. Mamy tu do czynienia z oddziaływaniem między układem (pomarańczą) i obiektem zewnętrznym (jabłko), dlatego w obrębie układu siły akcji i reakcji nie znoszą się. Wprawdzie jednocześnie pojawia się siła, jaką pomarańczę działa na jabłko, lecz jest to siła zewnętrzna w stosunku do układu.

Jeśli jednak do układu włączymy również jabłko, to obie siły są siłami wewnętrznymi. Obie działają na ten sam układ i dlatego się znoszą. Gdy nie ma innych sił zewnętrznych, np. tarcia, to oba ciała będą się zbliżać, ale ich środek ciężkości (patrz rozdział 7) będzie po zderzeniu w tym samym miejscu, co i przed zderzeniem. Układ jako całość nie może przyspieszać, chociaż poszczególne jego składniki mogą. W piłce do koszykówki istnieje wiele par sił między atomami, utrzymującymi ją jako pewną całość, ale nie powodują one przyspieszania piłki. Do tego potrzebna jest siła zewnętrzna. Aby poruszyć układ jabłko–pomarańczę, też trzeba zadziałać z zewnątrz (tarcie jabłka o podłoże to oddzielna sprawa). Trzecia zasada dynamiki może sprawiać niekiedy trudności; zresztą sam Newton miał z nią kłopoty.

Pytania

1. Czy lecący pocisk zawiera w sobie jakąś siłę?
2. Wiemy, że Ziemia przyciąga Księżyc. Czy Księżyc przyciąga Ziemię?
3. Siły akcji i reakcji są równe i przeciwnie skierowane. Jak to wpływa na wypadkową siłę działającą na ciało?
4. Określ siły akcji i reakcji występujące podczas spadku swobodnego.
5. Dlaczego książka leżąca na stole nie przyspiesza spontanicznie, mimo iż między jej atomami działają niezliczone siły wzajemnych oddziaływań.



Rys. 4.22. Ziemia jest przyciągana w górę przez głaz taką samą siłą, jaką głaz jest przyciągany przez Ziemię

Spadające ciało jest przyciągane w dół przez Ziemię, ale ona sama jest przyciągana w górę. Przyciąganie w dół wydaje się naturalne, gdyż przyspieszenie ziemskie równe 10 metrów na sekundę w każdej sekundzie łatwo zauważyć. Taka sama siła działa w górę na ogromną Ziemię. Jednak jej przyspieszenia nie sposób zauważyć, ani zmierzyć. Mniej skrajny przykład to pocisk wystrzelony z karabinu. Podczas wystrzału siła działająca na pocisk jest taka sama, jak siła działająca na karabin (dlatego karabin „kopie”). Obie siły mają taką samą wartość, dlaczego więc prędkość odrzutu jest inna niż prędkość pocisku? Analizując zmiany w ruchu na grun-

Odpowiedzi

1. Nie, siła nie jest cechą, którą ciało ma, taką jak np. masa. Jest ona pojęciem oddziaływania między dwoma ciałami. Lecący pocisk może w pewnych okolicznościach wywrzeć jakąś siłę na inne ciało, ale jest ona czymś samodzielnym. W następnych rozdziałach zobaczymy, że pocisk taki ma pęd i energię kinetyczną.
2. Tak, obie siły przyciągające stanowią parę akcja–reakcja związaną z grawitacyjnym oddziaływaniem między Ziemią i Księżycem. Możemy powiedzieć, że (1) Ziemia przyciąga Księżyc i (2) Księżyc przyciąga Ziemię, ale sensowniej jest mówić o jednym oddziaływaniu między Ziemią i Księżycem, w wyniku którego oba ciała przyciągają się jednocześnie.
3. Siła wypadkowa jest sumą sił działających na to samo ciało, czyli sumą sił akcji. Siły reakcji związanej z tym ciałem działają na inne ciała. Na przykład, gdy kopniesz puszkę, ona odpowie ci tym samym. Na puszkę działa tylko jedna siła — siła twojej stopy. Puszka odskoczy w powietrze, gdyż doznała jednej siły akcji. Reakcją puszki jest siła wywarta przez nią, a nie na nią. Reakcja spowodowała wyhamowanie stopy. Puszka reaguje tylko na to, co się z nią dzieje, a nie na to, co dzieje się ze stopą. Nie można dodawać sił działających na jedno ciało z siłami wywieranymi w tym samym czasie, ale na inne ciała.
4. Aby określić parę sił akcja–reakcja, należy najpierw zidentyfikować parę oddziaływujących ze sobą ciał. Co z czym oddziałuje. W tym przypadku parę tę stanowią: Ziemia i spadające na nią ciało. Akcją jest np. siła przyciągania ciała przez Ziemię, reakcją – siła, jaką to ciało przyciąga (w górę) Ziemię.
5. Każda siła spośród wielu oddziaływań międzymolekularnych jest częścią jakiejś pary typu akcja–reakcja. Suma tych sił jest równa zeru, niezależnie od ich liczby. To tłumaczy, dlaczego ma to zastosowanie pierwsza zasada dynamiki. Dopóki nie zadziała jakaś siła zewnętrzna, dopóty książka będzie spoczywać.

Rys. 4.23. Siła odrzutu karabinu jest taka sama jak siła wywierana na pocisk. Dlaczego zatem pocisk ma większe przyspieszenie niż karabin?



cie drugiej zasady dynamiki, musimy pamiętać o masach. Oznaczmy przez F siłę akcji (lub reakcji), przez m — masę pocisku, przez M zaś — znacznie większą masę karabinu. Przyspieszenia obu ciał określone są przez stosunek siły do masy. Przyspieszenie pocisku równe jest więc

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

natomiast przyspieszenie karabinu

$$\frac{F}{M} = a.$$

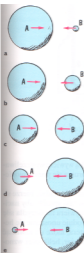
Widać stąd, dlaczego zmiana ruchu karabinu jest tak mała w porównaniu ze zmianą ruchu pocisku. Siła podzielona przez dużą masę daje małe przyspieszenie. Ta sama siła podzielona przez dużą masę daje małe przyspieszenie. Dla podkreślenia wzajemnych relacji użyliśmy tu liter o różnej wielkości.

Powróćmy do przypadku ciał spadających swobodnie. Wielkość symbolu M (masy Ziemi) musiałaby być astronomicznych rozmiarów. Siła F oznaczająca ciężar spadającego ciała po podzieleniu przez tak dużą masę daje mikroskopijną wartość a przyspieszenia Ziemi w kierunku tego ciała.

Podobny wniosek możemy wysnuć rozważając wzajemny ruch dwóch hipotetycznych planet, zobrazowanych na rys. 4.24. Siły działające na każdą z planet są jednakowe co do wielkości i skierowane przeciwnie. W przypadku (a) planeta A ma znikome przyspieszenie. W (b) staje się ono zauważalne, gdyż różnica mas obu planet nie jest już tak duża. W (c) obie masy są jednakowe, przyspieszenia obu planet też są jednakowe. Kontynuując ten proces, zauważamy stopniowy wzrost przyspieszenia planety A, z jednoczesnym zanikiem przyspieszenia planety B. Mówiąc obrazowo, kiedy schodzisz z drabiny, na twoje spotkanie wychodzi podłoga, na którą ona stoi.

Analizę procesu odrzutu („kopnięcia”) przy strzale z karabinu można rozszerzyć na ruch rakiety i mechanizm jej napędu. Rozpatrzmy wpięty pistolet maszynowy, odskakujący po każdym wystrzale. Gdyby był przymocowany tak, by mógł się ślizgać po linii pionowej (rys. 4.25), to po każdym wystrzale w dół doznałby przyspieszenia w górę. Rakietę przyspiesza w podobny sposób: doznaje ona ciągłego odrzutu ze strony spalnego i wyrzucanego gazu. Każda cząsteczka gazu jest jakby małym pociskiem wystrzelwanym z rakiety (rys. 4.26).

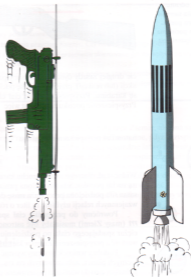
Często spotykanym nieporozumieniem jest przekonanie, że rakietę jest napędzana w wyniku działania spalin na atmosferę. W pierwszych latach tego wieku, jeszcze przed upowszechnieniem się raket, wielu sądziło, że wysłanie rakiety na Księżyc jest niemożliwe, ponieważ po drodze nie ma powietrza, które powodowałoby odrzut rakiety. Ale to samo można by powiedzieć o pistolecie, który w próżni nie powinien „kopnąć”, gdyż pocisk nie miałby od czego się odepchnąć. A to jest nieprawdą. Zarówno rakietę, jak i pistolet, doznają odrzutu nie z powodu jakiegos



Rys. 4.24. Które ciało: A czy B, porusza się w kierunku drugiego ciała? Czy ich przyspieszenia zależą od masy?

Rys. 4.25. Karabin maszynowy doznaje serii odrzutów ze strony pocisków i wznosi się ku górze

Rys. 4.26. Rakieta doznaje odrzutu ze strony „pocisków cząsteczkowych” w gazach spalinowych i wznosi się ku górze



pchnięcia ze strony powietrza, lecz z powodu siły reakcji, jaką wywiera wystrzeliwany pocisk (lub spaliny). Tak naprawdę to rakieta łatwiej porusza się poza atmosferą, gdzie nie ma oporu powietrza.

Za pomocą trzeciej zasady dynamiki można też zrozumieć, skąd się bierze siła nośna helikoptera. Rotujące skrzydła są ukształtowane w taki sposób, aby naciskać powietrze w dół (jest to siła akcji). Z kolei powietrze wywiera na skrzydła siłę skierowaną w górę (jest to siła reakcji). Właśnie ta siła powoduje unoszenie się helikoptera. Kiedy siła nośna zrówna się z ciężarem helikoptera, może on zawisnąć nieruchomo w powietrzu. Gdy siła nośna przewyższa jego ciężar, helikopter wznosi się ku górze.

To rozumowanie odnosi się także do ptaków i samolotów. Ptak leci, gdyż naciska powietrze w dół. Jednocześnie powietrze wypycha go w górę. Gdy ptak wzbija się w górę, jego skrzydła przybierają taki kształt, by cząsteczki powietrza odbijały się w dół. Siła nośna samolotu powstaje dzięki lekkiemu pochyleniu jego skrzydeł, od których powietrze odbija się w dół. Aby podtrzymać unoszenie, powietrze musi być odpychane w sposób ciągły. Zachodzi to dzięki ruchowi samolotu w przód. W samolotach śmigłowych ruch śmigieł wypycha powietrze w tył, które jednocześnie odpycha skrzydła w przód. W samolotach odrzutowych wyrzucane są do tyłu gazy spalinowe, które z kolei odpychają samolot w przód. W rozdziale 13 zobaczymy, że odpowiednio zakrzywiona powierzchnia skrzydła zwiększa siłę nośną.

Rys. 4.27. Dotykając kogoś, sam jesteś dotykany (trzecia zasada dynamiki)



Pytania

1. Jaka siła wprawia samochód w ruch po drodze?
2. Jadący szybko autobus uderza pewną siłą małego owada, który zostaje zgnieciony i przykleja się do szyby. Czy owad wywiera na szybę siłę większą, mniejszą, czy taką samą? Czy wyhamowanie (opóźnienie) autobusu jest większe, mniejsze, czy takie samo jak owada?

Z praktyczną realizacją trzeciej zasady dynamiki Newtona spotykamy się na każdym kroku. Ryba odpycha wodę płetwami, woda odpycha rybę w przód. Wiatr ciśnię na gałęzie drzewa, a gałęzie odbijają wiatr ze świsem do tyłu. Siły to oddziaływania między różnymi ciałami. Każdy kontakt wymaga partnera; nie można wywierać siły w próżnię. Wszystkie siły, czy to potężne pchnięcia, czy lekkie trącenia, zawsze występują parami, działając w przeciwnie strony. Tak więc, nie możemy dotknąć tak, by samemu nie być dotkniętym.

Odpowiedzi

1. To powierzchnia drogi powoduje ruch samochodu. Rzeczywiście! Jeśli pominąć opór powietrza, to droga jest jedynym źródłem siły poziomej. Jak to się dzieje? Otóż wirujące koła samochodu odpychają do tyłu drogę (siłą akcji), natomiast droga działa w tym samym czasie na koła w przód (siłą reakcji). Co o tym myślisz?
2. Wielkości obu sił są takie same, gdyż tworzą one parę sił: akcja–reakcja, określającą oddziaływanie między autobusem i owadem. Ich przyspieszenia znaczenie się różnią, gdyż różnica ich mas jest bardzo duża. Hamowanie owada jest niezwykle duże (wrench śmiertelne), podczas gdy opóźnienie autobusu jest znikome. Do tego stopnia, że nikt z pasażerów go nie zauważa. Gdyby owad był bardzo duży i miał masę porównywalną z masą autobusu, to hamowanie byłoby znaczne.

Zestawienie trzech zasad dynamiki Newtona

Ciało nieruchome dąży do pozostania w tym stanie; ciało będące w ruchu dąży do kontynuacji tego ruchu po linii prostej bez zmiany wartości i kierunku prędkości. Ta skłonność ciał do przeciwstawiania się zmianom ruchu nazywa się *bezwładnością*. Miarą bezwładności jest masa. Zmiana ruchu ciała możliwa jest dopiero wtedy, gdy wypadkowa siła przyłożona do ciała jest różna od zera.

Gdy wypadkowa siła jest różna od zera, ruch ciała jest ruchem przyspieszonym. Przyspieszenie jest wprost proporcjonalne do siły i odwrotnie proporcjonalne do masy. W zapisie symbolicznym $a \sim F/m$. Kierunek przyspieszenia jest zgodny z kierunkiem siły wypadkowej. Gdy ciało spada swobodnie, siła ta jest równa jego ciężarowi, a przyspieszenie wynosi g (symbol g oznacza przyspieszenie wywołane wyłącznie grawitacją). Przy spadaniu w powietrzu siła wypadkowa jest różnicą ciężaru ciała i siły oporu powietrza i wtedy przyspieszenie jest mniejsze niż g . Gdy siła oporu zrówna się z ciężarem, przyspieszenie zanika i ciało porusza się ze stałą prędkością, zwaną *prędkością graniczną*.

Jeśli jakieś ciało wywiera jakąś siłę na inne ciało, to drugie ciało wywiera na pierwsze siłę o tej samej wartości i przeciwnie skierowaną. Siły zawsze występują parami: jedna jest siłą akcji, druga — reakcji. Obie są wyrazem oddziaływania istniejącego między dwoma ciałami. Nigdy nie może istnieć siła bez „partnera”. Gdy obie siły działają na różne ciała, wówczas się nie znoszą.

Zestawienie pojęć

Bezwładność — właściwość polegająca na skłonności do przeciwstawiania się zmianom w ruchu.

Masa — ilość materii zawartej w danym ciele. Mówiąc dokładniej, jest to miara bezwładności, oporu, jaki ciało przejawia wobec wszelkich prób poruszenia go, zatrzymania, zmiany kierunku lub jakichkolwiek innych zmian stanu ruchu.

Ciężar — siła przyciągania grawitacyjnego.

Kilogram — podstawowa jednostka masy w układzie SI. Jeden kilogram (kg) jest masą jednego litra (l) wody w temperaturze 4°C.

Newton — jednostka siły w układzie SI. Jeden niuton (N) to taka siła, która ciału o masie 1 kg nadaje przyspieszenie 1 m/s².

Objętość — wielkość przestrzeni zajmowanej przez ciało.

Siła — działanie, które może spowodować przyspieszenie ciała; mierzone w niutonach.

Równowaga mechaniczna — stan ciała (lub układu ciał) w sytuacji, gdy działające na nie siły znoszą się całkowicie i nie występuje przyspieszenie.

Tarcie — siła oporu przeciwstawiająca się ruchowi lub wprawieniu w ruch ciała będącego w kontakcie z innym ciałem lub płynem.

Spadek swobodny — ruch pod wpływem tylko przyciągania grawitacyjnego.

Prędkość graniczna — prędkość, przy której spadanie odbywa się bez przyspieszenia. Opór powietrza znosi się wtedy całkowicie z ciężarem ciała.

Pytania przeglądowe

Pierwsza zasada dynamiki

1. Czy bezwładność jest przyczyną tendencji do przeciwstawiania się zmianom w ruchu, czy jest to nazwa tej właściwości?

Masa

2. Wskaż różnice między masą, ciężarem i objętością.
3. Które pojęcie jest bardziej podstawowe: masa czy ciężar? Czy ciało mające masę ma również ciężar? Czy ciało mające ciężar ma również masę?
4. Czy można mieć masę, nie mając ciężaru? Czy można mieć ciężar, nie mając masy?
5. Czy dwukilogramowy blok żelaza ma dwa razy większą *bezwładność* niż jednokilogramowy blok drewna? Czy ma dwa razy większą *objętość*? (Wyjaśnij, dlaczego obie twoje odpowiedzi są różne).
6. Po jakiej drodze poruszałaby się planeta, gdyby nagle przestała na nią działać siła grawitacji?

Druga zasada dynamiki

7. Jeśli dwie wielkości są do siebie *proporcjonalne*, to czy oznacza to, iż są *równe*? Odpowiedź zilustruj krótko na przykładzie masy i ciężaru.
8. Wóz jest ciągnięty w lewo siłą 100 N oraz w prawo inną siłą, równą 30 N. Jaka jest wypadkowa siła działająca na wóz?
9. Dlaczego siła jest wielkością wektorową?

10. Wypadkowa siła działająca na ślizgającą się płytkę wzrosła trzykrotnie. O ile wzrosło przyspieszenie płytki?
11. Wypadkowa siła działająca na ślizgającą się płytkę nie zmieniła się, jej masa zaś wzrosła trzykrotnie. O ile zmalała jej przyspieszenie?
12. Jak zmieni się przyspieszenie ślizgającej się płytki, jeśli zarówno jej masa, jak i wypadkowa siła wzrosną trzykrotnie?

Ruch bez przyspieszenia — równowaga

13. Jaka jest wypadkowa siła działająca na ciało znajdujące się w stanie równowagi?
14. Książka o ciężarze 15 N leży nieruchomo na stole. Jaką siłą stół działa na książkę?
15. Kobieta o ciężarze 500 N stoi na dwóch wagach łazienkowych tak, że ich obciążenia są jednakowe. Co wskażą obie wagi? Jeśli kobieta przesunie się tak, by jedna z wag wskazywała 300 N, to co wskaże druga waga?
16. Jakie jest przyspieszenie ciała poruszającego się ze stałą prędkością? Jaka jest wartość wypadkowej siły działającej na to ciało?
17. Dlaczego trudniej jest zacząć ruch poślizgowy pudła po podłodze, niż kontynuować raz rozpoczęty ruch?
18. Jeśli do pudła przyłożysz poziomo siłę 50 N, to pudło ślizga się ze stałą prędkością. Jakie tarcie działa na pudło? Czy pudło będzie przyspieszać, gdy zwiększysz siłę pchania?
19. Jak tarcie przy ślizganiu zależy od prędkości? Jaki wpływ na tarcie ma powierzchnia styku?
20. Czy tarcie wywierane na ciało poruszające się w cieczy (lub gazie) rośnie wraz z prędkością ciała? Czy zależy ono od powierzchni ciała?

Ruch z przyspieszeniem g — spadek swobodny

21. Co się rozumie przez spadek swobodny?
22. Jaka jest wypadkowa siła działająca na swobodnie spadające ciało o ciężarze 10 N?
23. Dlaczego przyspieszenia swobodnie spadających ciał ciężkich i lekkich są takie same?

Przyspieszeniem mniejsze niż g — spadek z tłumieniem

24. Jaka jest wypadkowa siła działająca na spadające ciało o ciężarze 10 N, jeśli opór powietrza wynosi 4 N? Jaka jest w przypadku oporu równego 10 N?
25. Jakie są dwie najważniejsze wielkości, od których zależy siła oporu powietrza?
26. Jakie jest przyspieszenie spadającego ciała, które osiągnęło prędkość graniczną?
27. Dlaczego cięższy spadochroniarz spada z większym przyspieszeniem niż lekki, mimo iż ich spadochrony są tej samej wielkości?

Trzecia zasada dynamiki

28. Jeśli podczas gry w tenisa siłą akcji nazwiemy siłę, jaką raketka uderza piłkę, to jak określić można siłę reakcji?

29. Kiedy siły stanowiące parę: akcja–reakcja nie znoszą się?
30. Przy wystrzale pocisku z pistoletu siła działająca na pocisk równa jest sile odrzutu. Dlaczego zatem przyspieszenia obu tych ciał są różne?
31. Skąd się bierze siła nośna helikoptera?

Projekty

1. Poproś kolegę, by wbił mały gwóźdź w stos książek ustawiony na twojej głowie. Dlaczego nie sprawia ci to przykrości?



2. Upuść jednocześnie kartkę papieru i monetę. Które z nich pierwsze dotrze do ziemi? Dlaczego? Następnie zgnieć kartkę w małą, ściśniętą kulkę i upuść ją ponownie razem z monetą. Wyjaśnij, dlaczego wystąpiły różnice w spadaniu. Czy będą one nadal spadać jednocześnie, jeśli upuścisz je z drugiego, trzeciego, czwartego piętra?
3. Upuść jednocześnie książkę i kartkę papieru i zauważ, że książka ma większe przyspieszenie, zbliżone do g . Jeśli umieścisz kartkę pod książką, to przy spadaniu będzie ona naciskana przez książkę i ich wspólne przyspieszenie też będzie równe g . Jakie będą przyspieszenia obu ciał, gdy kartkę położysz na górze książki i upuścisz je razem z góry? To może być dla ciebie niespodzianką, więc spróbuj to zrobić i wyjaśnić poczynione obserwacje.
4. Upuść dwie kule o różnych ciężarach z tej samej wysokości. Dopóki ich prędkości są małe, obie doleca do ziemi prawie równocześnie. Czy będą się one toczyć razem także po równi pochyłej? Jeśli kule te zawieszmy na nitkach o tej samej długości, to otrzymamy dwa wahadła. Po odchyleniu o ten sam kąt będą się one wahać tam i z powrotem. Sprawdź, czy ich ruch będzie zgodny. Wyjaśnij zaobserwowane zachowanie przy użyciu zasad dynamiki Newtona.

5. Wypadkowa siła działająca na ciało i związane z nią przyspieszenie są zawsze skierowane w tę samą stronę. Można to zobaczyć używając szpulki z nawiniętą nicią. W którą stronę potoczy się szpulka, jeśli pociągniesz ją poziomo w prawo?



6. Wystaw swoją rękę przez okno jadącego samochodu tak, by utworzyła ona płaskie „skrzydło”. Następnie lekko pochyl dłoń tak, by jej przedź był wyżej, i zaobserwuj efekt unoszenia. Czy można tu zastosować zasady dynamiki Newtona?

Ćwiczenia

Proszę się nie przeznadzać dużą liczbą ćwiczeń w tym i innych obszerniejszych rozdziałach. Jeśli program twoich lekcji obejmuje wiele rozdziałów, twój nauczyciel może wybrać jedynie kilka ćwiczeń z każdego z nich.

1. Przypuśćmy, że znajdujesz się w statku kosmicznym krążącym na orbicie okołoziemskiej i że otrzymałeś właśnie dwa identyczne pudełka. W jednym jest piasek, w drugim — piórek. Jak mógłbyś stwierdzić wartość pudełek bez otwierania ich?
2. Jeśli lekko uderzysz o ścianę pustą dłonią, nie doznasz większych obrażeń. Jeśli w dłoni będziesz miał coś ciężkiego, efekt będzie zupełnie inny. Dlaczego? Kółka z zasad dynamiki Newtona jest najbardziej odpowiednia do tego problemu?
3. Dlaczego ciężki topór bardziej nadaje się do siekania warzyw niż równie ostry nóż?
4. Dlaczego łatwiej jest oderwać ręcznik lub torbę foliową z rolki za pomocą szybkiego szarpnięcia niż łagodnego pociągania?
5. Każdy krąg w kręgosłupie jest oddzielony od sąsiednich kręgów dwoma dyskami zbudowanymi z elastycznej tkanki. Co się dzieje, gdy zeskakujesz sztywno na stopy? (Wskazówka: Przypomnij sobie uderzenie młotkiem, jak na rys. 4.1). Jak sądzisz, dlaczego wieczorem jesteśmy nieco niżej niż rano?
6. Uczeń żyjący jeszcze przed Galileuszem i Newtonem uważał, że kamień upuszczony ze szczytu wysokiego masztu na płynącym statku spada pionowo i uderza

o pokład z tyłu masztu, w odległości równej drodze przebytej przez statek w czasie równym czasowi spadania kamienia. Jak — twoim zdaniem — przedstawia się sprawa tego ruchu w świetle zasad dynamiki Newtona?

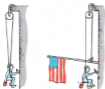
7. Ziemia wykonuje jeden obrót w ciągu 24 godzin. Oznacza to, że zachodnia ściana twojego pokoju porusza się w twoim kierunku z prędkością przypuszczalnie większą niż 1000 km/h (dokładna wartość prędkości zależy od twojej szerokości geograficznej). Jeśli stoisz twarzą ku tej ścianie, to jesteś wraz z nią unoszony z tą samą prędkością, tak że jej ruchu nie zauważasz. Jeśli podskoczysz do góry tak, by stracił kontakt z podłogą, to ściana powinna uderzyć w ciebie z dużą prędkością. Dlaczego tak się nie dzieje?
8. Komin stojącego pociągu — zabawki zawiera pionowy pistolet sprężynowy, który wyrzuca stalową kulkę na wysokość ok. jednego metra tak dokładnie, że spada ona z powrotem do komina. Załóżmy, że pociąg ten jedzie ze stałą prędkością wzdłuż prostego tora. Czy kulka wyrzucona z pociągu powróci teraz do komina? Czy powróci, gdy pociąg będzie jechał z przyspieszeniem, ale po linii prostej? Czy powróci, gdy pociąg będzie jechał ze stałą prędkością, ale po łuku? Dlaczego twoje odpowiedzi się różnią?
9. Wrak samochodu zgnieciono w zwarty sześcian. Czy jego masa uległa przy tym zmianie? Czy zmienił się jego ciężar? Odpowiedz uzasadni.
10. Grawitacja na Księżycu jest 6 razy mniejsza niż na Ziemi. Jaki jest ciężar ciała o masie 1 kg na Księżycu i na Ziemi? Jaka jest jego masa w obu przypadkach?
11. Jaka jest twoja masa (w kilogramach) i jaki jest twój ciężar (w niutonach)?
12. Dlaczego lecąca rakietka stopniowo zwiększa przyspieszenie? (Wskazówka: Około 90% masy rakiety na początku lotu stanowi paliwo).
13. Arystoteles twierdził, że prędkość spadającego ciała zależy od jego ciężaru. Obecnie wimy, że wszystkie ciała spadają (w próżni) z jednakowym przyspieszeniem, które nie zależy od ich ciężaru. Dlaczego ciężar nie wpływa na przyspieszenie?
14. Czy z tego, że jakies ciało porusza się bez przyspieszenia wynika, iż nie działa na nie żadna siła? Wyjaśnij to pytanie.
15. Czy ruch po zakrzywionym torze wymaga działania jakiejś siły?
16. Aby wprawić wagon w ruch po trawniku ze stałą prędkością, należy ciągnąć go pewną siłą. Z kolci pierwszej zasady dynamiki mówi, że ruch ze stałą prędkością nie wymaga działania siły. Wyjaśnij tę rozbieżność.
17. Jedyną siłą występującą w spadku swobodnym jest grawitacja. (a) Czy ruch akrobaty powietrznego, który osiągnął już prędkość graniczną, jest spadkiem swo-

obodnym? Czy satelita okrążający Ziemię spada swobodnie?

18. Czy podłoga wywiera jakąś siłę na stopy stojącego na niej człowieka? Jaka jest jej wartość? Dlaczego mimo to nie poruszasz się ku górze?
19. Wykonując skok w górę, wywierasz pewną siłę na podłogę. Jaka jest jej wartość w porównaniu z twoim ciężarem?
20. Mówi się, że to nie upadek powoduje obrażenia, lecz nagłe zatrzymanie. Wyraź tę myśl w duchu zasad dynamiki Newtona.
21. Nellie Newton wisí nieruchomo, trzymając końce liny jak na rysunku. Jakie jest wskazanie dynamometru w stosunku do jej ciężaru?



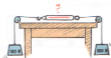
22. Malarz Harry maluje ściany, bujając się jak co roku na swoim bosmańskim krzeselku. Jego waga wynosi 500 N, a (nieznana mu) wytrzymałość liny — 300 N. Dlaczego lina nie zerwie się, jeśli siedzi on w sposób pokazany na lewym rysunku? Inym razem Harry malował ścianę koło flagi i wtedy, dla urozmaicenia, przymocował wolny koniec liny do drzewca flagi, a nie do krzeselka. Dlaczego wskutek tego musiał się pożegnać z pracą?



23. Rozważmy dwie siły działające na stojącego nieruchomo człowieka: skierowaną w dół siłę grawitacji i skierowaną w górę siłę podtrzymującą go. Czy siły te są równe i przeciwie skierowane? Czy stanowią one parę sił: akcja-reakcja?



24. Dla każdej z następujących sił podaj jej „partnera” do pary, wymaganego przez trzecią zasadę dynamiki: (a) siła, jaką młotek uderza gwóźdź; (b) siła grawitacyjnego przyciągania książki; (c) siła, jaką skrzydło helikoptera naciska w dół powietrze; (d) siła oporu powietrza wywierana na piłkę tenisową.
25. Przypuśćmy, że trzymasz nad głową jabłko. (a) Określ wszystkie siły działające na jabłko oraz odpowiadające im reakcje; (b) określ analogiczne siły w sytuacji, gdy jabłko zacznie spadać.
26. W leżącej na stole książce istnieją niezliczone siły przyciągania i odpychania między jej cząsteczkami. Dlaczego te siły nigdy nie ustawiają się przez przypadek w jednej linii tak, by poruszyć książkę w sposób spontaniczny wzdłuż stołu?
27. Dwa ciężary o wartości 100 N każdy przymocowano do końców liny jak na rysunku. Co wskaże dynamometr: 0, 100, 200 N, czy jeszcze coś innego? (Wskazówka: Czy wskazanie dynamometru zmieniłoby się, gdyby jeden koniec liny był przymocowany do ściany, zamiast do swobodnie wiszącego ciężaru?)



28. Jaki wniosek można wysnuć z sytuacji, gdy widzimy nieruchome ciało, na które wyraźnie działa pewna siła?
29. Na jadący po autostradzie ze stałą prędkością samochód nie działa żadna siła wypadkowa. Co się z nim stanie po wyłączeniu silnika?
30. Spadająca gwiazda to zwykle pewna porcja materii z przestrzeni kosmicznej, która, wpadając w atmosferę ziemską, spala się i wysyła światło. Co jest powodem tego spalania?
31. Jaka jest wypadkowa siła działająca na jabłko trzymane nieruchomo ponad głową? Jaka jest po tym, gdy jabłko zostanie upuszczone?
32. Czy łaska dynamitu zawiera siłę?

33. Gdy atleta trzyma sztangę nad głową, wówczas siłą reakcji jest ciężar sztangi; działa ona na jego rękę. Jak zmieni się ta siła, gdy sztanga jest podnoszona w górę, a jak, gdy jest opuszczana w dół.



34. Dlaczego możesz mocniej naciskać na pedały roweru wtedy, gdy kierownicę pociągniesz ku górze?
 35. Silny mężczyzna zamierza popchnąć dwa jednakowe, nieruchome wózki, nie dotykając ziemi. Czy można nadać wózkom różne prędkości? Tak, czy nie?



36. Dwa wagoniki o różnych masach (jedna dwa razy większa od drugiej) połączone są ściśniętą sprężyną. Po zwolnieniu zaczynają się poruszać. W jakiej relacji są ich przyspieszenia?



37. Przesuwanie pojemnika po posadzce hali fabrycznej ze stałą prędkością wymaga zastosowania poziomej siły 200 N. Jaka jest wartość siły tarcia? Czy jest ona równa 200 N i skierowana przeciwnie do twojej siły? Jeśli tarcie nie jest siłą reakcji na twoje działanie, to czym jest?
 38. Rozpatrzmy czołowe zderzenie dużej ciężarówki z małą hondą. Który z tych pojazdów doznaje większej siły uderzenia? Który samochód zatrzymuje się z większym opóźnieniem? Odpowiedź uzasadnij.
 39. Ken i Joanna są astronautami, którzy na jakiś czas wydostali się na zewnątrz statku. Ze względów bezpieczeństwa oboje są połączeni pasem, którego końcami opasali się w talii. Jeśli Ken pociągnie za pas, to pocią-

gnie on siebie w kierunku Joanny, czy pociągnie Joannę ku sobie, czy też oboje będą się poruszać ku sobie? Odpowiedź uzasadnij.

40. Która drużyna wygra w przeciąganiu liny: czy ta, która mocniej ciągnie linę, czy ta, która mocniej naciska na ziemię?
 41. Dwie osoby o jednakowych masach zamierzają przeciągać linę (o długości 12 m), stojąc na śliskim lodzie. Wkrótce obie zaczynają się ślizgać ku sobie. Jakie są ich wzajemne przyspieszenia? Jaką drogę przebędą do momentu spotkania?
 42. Koń ciągnie ciężki wóz, działając nań pewną siłą. Z kolei wóz ciągnie konia w przeciwną stronę taką samą siłą. Czy oznacza to, że obie siły się znoszą, uniemożliwiając rozpoczęcie jazdy? (Wskazówka: Uwzględnij wpływ ziemi).
 43. Porównaj ciężar spadającego ciała z siłą oporu powietrza, zanim ciało osiągnie prędkość graniczną oraz po jej osiągnięciu.
 44. Dlaczego kot spadający z 50 piętra osiąga podczas upadku taką samą prędkość, jak przy spadaniu z 20 piętra?



45. Gdy Galileusz puszczał kule z krzywej wieży w Pizie, opór powietrza nie był tak mały, by go zaniedbać. Przybliżmy, że opuszczane są dwie kule o jednakowej wielkości, ale sporządzone z różnych materiałów: drzewa i metalu. Która spadnie pierwsza? Dlaczego?
 46. Jeśli upuścisz jednocześnie dwie piłki tenisowe ze szczytu domu, to obie spadną razem. Następnie wypełnij jedną z nich kulkami z ołowiu i znowu upuść je razem. Która pierwsza upadnie na ziemię? Która z nich doznaje większego oporu powietrza? Odpowiedź uzasadnij.
 47. Jakie jest przyspieszenie ciała rzuconego pionowo w górę w najwyższym punkcie toru? (Czy twoja odpowiedź jest zgodna z drugą zasadą dynamiki?).
 48. W nieobecności oporu powietrza, ciało rzucone pionowo do góry powraca na ziemię z taką samą prędkością, z jaką było rzucone. Jaka będzie prędkość końcowa przy uwzględnieniu oporu powietrza: mniejsza, taka sama, czy większa od prędkości początkowej?

Dlaczego? (Fizycy często korzystają z prawa do przekształcania, które pomaga im w analizie różnych problemów. Dlatego możesz tu rozważyć ruch piłeczki, a nie piłki — wpływ powietrza na jego ruch jest znacznie większy i łatwiejszy do zaobserwowania).

49. Czy czas wznoszenia się piłki przy rzucie pionowym jest większy, czy mniejszy od czasu spadania, jeśli istnieje opór powietrza? (Znowu możesz uciec się do jakiegoś skrajnego przypadku).
50. Wymyśl trzy zadania testowe, każde na jedną zasadę dynamiki, które pomogą twemu koledze z klasy sprawdzić ich rozumienie.

Zadania

- Niedźwiedź o masie 400 kg zeszługuje się z pionowego drzewa ze stałą prędkością. Jaka jest siła tarcia działająca na niego?
- Masa 1 kg nabywa pod wpływem siły 1 N przyspieszenia równego 1 m/s^2 . Jakie jest przyspieszenie ciała o masie 2 kg, na które działa siła 2 N?
- Jakie jest przyspieszenie przy starcie odrzutowca o masie 30 000 kg, jeśli siła ciągu każdego z czterech silników wynosi 30 000 N?
- Stojąc na idealnie śliskim lodowisku, naciskasz na ścianę siłą 30 N. Jaką siłą ściana działa na ciebie? Jakie jest twoje przyspieszenie, jeśli twoja masa wynosi 60 kg?
- Strażak o masie 80 kg zeszługuje się po pionowym słupie z przyspieszeniem 4 m/s^2 . Jaka jest wartość działającej na niego siły tarcia?
- Jakie jest przyspieszenie akrobaty powietrznego w momencie, gdy opór powietrza osiąga wartość połowy jego ciężaru?
- Sprinter o wadze 60 kg, finiszując, zwiększa swą prędkość z 6 m/s do 7 m/s w czasie dwóch sekund. (a) Jakie jest jego średnie przyspieszenie w tym czasie? (b) Aby zwiększyć prędkość, biegacz mocniej naciska do tyłu na ziemię, która z kolei działa na niego w przód, powodując przyspieszenie. Jak duża jest ta siła?
- Przed wyruszeniem na orbitę okołozemską astronautka ważyła 55 kg. Przebywając na orbicie, stwierdziła, że siła 100 N nadaje jej przyspieszenie $1,90 \text{ m/s}^2$. Co powinna ona zrobić, by odzyskać swój pierwotny ciężar: jeść więcej słodyczy czy przejść na dietę?

Pamiętaj, że pytania przeglądowe służą kontroli, czy opanowałeś główne pojęcia danego rozdziału. Ćwiczenia i zadania są dodatkowymi „rachunkami” do studiowania, gdy już masz dostatecznie dużą wiedzę na tematy poruszane w tym rozdziale i potrafisz odpowiedzieć na pytania przeglądowe.

