

Natura jest przekorna

Nierzadko zdarza się, że wychodząc z domu — gdy spostrzegamy się deszczu — zabieramy ze sobą parasol, a tymczasem później nie ukażenie ani kropła deszczu. Co gorzej bywa też odwrotnie...

Albo nie to mamy na myśli mówiąc w tytule, że „natura jest przekorna”. Deszcz bowiem jest dla nas sprawą przypadkową; może będzie padał, a może nie. W znanym dowcipie na temat meteorologów asystent zapytuje profesora przy opuszczaniu instytutu, czyby nie zamknąć okna, „bo może w nocy będzie padało!”.

Tymczasem przekorność natury, o której powiem dalej, jest — w pewnych zjawiskach — cechą stałą, niezmienną; stale się powtarzająca.

Wyobraźcie sobie zatłoczony tramwaj jadący z pełną prędkością. W pewnej chwili motorniczy — na skutek jakiejś nagle wyhamującej się przeszkody — zmusza gwałtownie hamować. Co się stanie w zatłoczonym tramwaju, o tym wie każdy: pasażerowie bezwładnie polecą naprzód.

I tak będzie zawsze w podobnych przypadkach w samochodzie, wagonie kolejowym, autobusie czy trolejbusie. Ciało będące w ruchu „usiłuje” pozostać w tym stanie i dlatego gdy tramwaj pod wpływem hamowania zmniejsza swą prędkość — wszystkie przedmioty i osoby luźno z nim związane „usiłują” kontynuować swój ruch z niezmięszoną prędkością — „lecą do przodu”. Przy gwałtownym ruszaniu z miejsca sytuacja jest odwrotna, ale tylko pod względem kierunku. Zasada pozostaje ta sama. Tramwaj nabiera prędkości, ale wszystkie luźno z nim związane przedmioty i osoby „usiłują” pozostać na miejscu, stąd ich ruch — tym razem ku tyłowi.



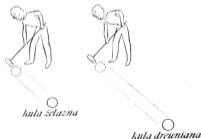
Rys. 39. Przy gwałtownym ruchu do przodu ciała kierowcy porusza się do tyłu

Natura przeciwstawia się więc zmianie ruchu, jest „przekorna”, przy tym dotyczy to wszelkich zmian ruchu. Nie tylko bowiem zmiana samej wartości prędkości (przy zachowaniu jej kierunku) powoduje te skutki. Zmiana kierunku prędkości także wywołuje tendencję do przeciwstawiania się jej, czyli właśnie to co nazywaliśmy „przekorą”. Wszelka jazda na zakrętach powoduje — znane wam doskonale z życia codziennego — ruchy dodatkowe, zachowujące dotychczasowy, prostoliniowy kierunek poruszania się.

Takie zachowanie się ciał materialnych jest przejawem pewnej ich własności, którą nazywa się w fizyce bezwładnością. Nazwa jest bardzo przekonywająca, bowiem bezwładność to ociężałość, nieruchliwość, niechęć do zmiany. Bezwładność ciał sprecyzujmy się więc wszystkim, co stanowi o zmianie ich ruchu.

Fizycy mierzą wszelkie własności ciał, gdyż fizyka jest nauką ścisłą i pomiar odgrywa w niej rolę decydującą. Mierzą więc także bezwładność ciał, a miarą tej bezwładności jest ich masa. Im większa masa, tym większa bezwładność — i na odwrót.

Wyobraźcie sobie dwie nieruchome, duże, jednakowe kule: jedną drewnianą, drugą metalową (np. ołowianą). Pchnijcie te kule w ten sposób, aby potoczyły się z jednakową prędkością. Okaza się, że kulę ołowianą będzie znacznie trudniej wprawić w ruch niż kulę drewnianą. Będzie ona znacznie bardziej przeciwstawiała się tej zmianie



Rys. 40. Kula żelazna (o większej masie), uderzona z tą samą siłą co kula drewniana (o mniejszej masie), potoczy się bliżej

niż kula drewniana. Kula ołowiana o tych samych wymiarach co kula drewniana ma bowiem większą masę. Do pchnięcia każdej z tych kul potrzeba będzie siły. Do zatrzymania kul będących w ruchu potrzeba będzie także siły. Bowiem zmiana ruchu następuje nie tylko wtedy, gdy kula, będąc nieruchomą, zaczyna się toczyć, ale i wówczas gdy, będąc w ruchu, przechodzi w stan spoczynku. I w pierwszym i w drugim przypadku następuje bowiem zmiana ruchu kuli, zmiana jej prędkości.

Dochodzimy tutaj do rozszerzenia naszego poglądu na istotę siły. Dotychczas mówiliśmy o siłach, gdy skutki ich działania dotyczyły naprężenia lub odkształceń, a nie powodowały zjawisk ruchu. Deska ugina się pod ciężarem stojącego na niej chłopca, dom stoi na fundamentach, które cisną na grunt itd. W tych przykładach mamy do czynienia ze statycznym działaniem siły. To statyczne działanie jest często niewidoczne: nie widzimy ugięcia mostu pod ciężarem pociągu, ale za pomocą przyrządów pomiarowych możemy to ugięcie ujawnić i zmierzyć. Ulegają mu wszystkie bez wyjątku ciała, tylko jedno mniej, drugie więcej.

Ale dopiero dynamiczne działanie siły uwidacznia jej obecność w sposób nie pozostawiający żadnych wątpliwości. Pchnięta kula porusza się na naszych oczach, podobnie jak poruszają się codziennie tysiące przedmiotów pod wpływem dynamicznego działania siły, wprawiającej je w ruch.

Powróćmy do naszych kul. Jeśli ich zmiana ruchu ma być jednakowa¹⁾, a masy są niejednakowe (jedna kula drewniana, a druga ołowiana) to kulę o większej masie trzeba będzie, jak powiedziałem przed chwilą, pchnąć daleko mocniej.

Jest to tak oczywiste, że nie ma chyba potrzeby szerzej się nad tym rozwodzić. A zatem im większa bezwładność ciała, tym większa siła musi być użyta do jego poruszenia (przy pozostałych warunkach jednakowych). Jeśli kule byłyby jednakowe, to chcąc, aby jedna z nich poruszyła się zwawiej, należałoby ją silniej pchnąć. A zatem im większe chcemy osiągnąć przyspieszenie, tym większa siła jest do tego potrzebna (przy pozostałych warunkach jednakowych).

¹⁾ Pod jednakową zmianą ruchu rozumiemy tutaj to, że prędkość, jaką nadajemy kulom jest nie tylko jednakowa, ale zostaje osiągnięta w tym samym czasie, czyli mówiąc prościej, że kule biegają razem jak para koni w zaprzęgu. Oczywiście przyspieszenia ich są wówczas jednakowe.

Prosty z tego wniosek, że siła musi być proporcjonalna do masy ciała i do osiągniętego przyspieszenia. Łatwiej poruszyć z miejsca rower niż motocykl (bo ten ostatni ma większą masę), łatwiej ruszyć rowerem łagodnie niż zerwać się do gwałtownego startu (bo przyspieszenie drugim razem jest większe).

Ta prosta a ważna zasada, odkryta przez wielkiego angielskiego fizyka Izaaka Newtona (1642—1727), jest wyczuwalna intuicyjnie, ale dopiero ten uczony podał dokładne, matematyczne jej wyrażenie. Znajduje ono niezwykle ważne zastosowanie we wszelkich obliczeniach naukowych i technicznych.

Każda maszyna wykonująca jakikolwiek ruch, (a takich maszyn jest doprawdy niezliczona ilość) podlega zasadzie Newtona. Dzięki niej oblicza się i projektuje wszelkie silniki napędowe, urządzenia hamujące i inne elementy maszyn. Szczególnie wielkie znaczenie ma ona w astronautyce. Przy starcie rakiet należy doprowadzić ich prędkość do ściśle określonych wartości i to z niezwykłą precyzją, od której zależy powodzenie tych kosztownych eksperymentów. Należy więc znać siłę, jaką rozwija urządzenie napędowe. Co ciekawsze, siła ta działa na rakiety, której masa bez przerwy maleje, bo paliwo się wypala, a właśnie paliwo stanowi przeznaczoną część masy rakiety. Mimo trudności i to zadanie zostało rozwiązane, chociaż oczywiście wykracza ono znacznie poza zasób wiedzy, jaki zdobywacie w szkole podstawowej. Mówię zaś o tym dlatego, abyście na tak atrakcyjnym przykładzie, jakim jest kosmonautyka, przekonali się, że i ona nie może obejść się bez gruntownej znajomości fizyki.

Nasz gabinet fizyczny

Jak już mówiliśmy, bezwładność ciała jest to jego właściwość polegająca na tym, że ciało przeciwstawia się każdej zmianie ruchu. I to nie tylko zmianom prędkości, ale i zmianie kierunku ruchu.

Zademonstrujemy proste doświadczenie na temat bezwładności. Co nam będzie potrzebne? Jakikolwiek ciało o większej masie (cegła, kamień, większa paczka książek zwiazanych mocno sznurkiem), sznurzek dający się rozzerwać przy mocnym szarpnięciu i hak whity w futrynę drzwi o góry.

Oblwiązujemy sznurkiem, na przykład paczkę książek, aby pozostały dwa wolne końce, jak to widać na rysunku. Jeden koniec

mocujemy do haka, drugi zwisa swobodnie pod paczką. Teraz zaczynamy naciągnąć coraz to mocniej dolną część sznurka. Naciśk zwiększamy tak długo, aż sznurek pęknie. Sznurek pęknie zawsze nad paczką z książkami.

Dlaczego tak jest nietrudno zgadnąć. Dolna część sznurka, od ręki do paczki, obciążona jest tylko siłą wywieraną przez nas, górna — tą samą siłą i ciężarem paczki. Bardziej obciążona część sznurka (górną) musi pęknąć najpierw.

Teraz powtarzamy naszą próbę, ale w inny sposób. Pociągamy za dolną część sznurka gwałtownym, mocnym szarpnięciem. Sznurek pęknie zawsze pod paczką z książkami.



Rys. 41. Przy łagodnym coraz mocniejszym naciąganiu — sznurek pęknie nad ciężarem



Rys. 42. Przy gwałtownym szarpnięciu — sznurek zerwie się pod zainstalowanym ciężarem

Wythumaczenie tego faktu tkwi w bezwładności masy książek. Jeśli masa ta jest dostatecznie duża, to przeciwstawiając się zmianie swego stanu ruchu (przejście od spoczynku do ruchu) — ochroni jak gdyby od naprężenia górną część sznurka. Całe niemal obciążenie działa teraz na dolną część sznurka i dlatego pęknie on, zanim górna część zdąży się naprężyć.

Uwaga praktyczna: w doświadczeniu tym należy się postarać o sznurek jednakowej grubości, a więc jednakowo wytrzymały w każdym miejscu. Jeśli sznurek będzie nieodpowiedni, to doświadczeniu może się nie udać.

Grawitacja — Wszechświat i życie codzienne

Legenda głosi, że Newton, wielki odkrywca praw mechaniki, zapoczątkował swoje rozmyślenia nad grawitacją wówczas, gdy spadające jabłko uderzyło go w głowę. Ile w tym jest prawdy, nie wiadomo. Wiadomo jednak, że spadające jabłko, czy też w ogóle jakiegokolwiek spadające z wysokości ciało, jest jednym z najpowszechniejszych objawów grawitacji, czyli wzajemnego ciężenia ciał ku sobie. Mimo że grawitacja jest zjawiskiem obejmującym cały Wszechświat i to zarówno każdy najdrobniejszy pyłek jak też bezmiernie wielkie ciała niebieskie, mimo tysięcy obserwacji, wielu teorii i dociekań, jeszcze niewiele wiemy o jej przyczynach, nie wiemy, co ją powoduje. Nie wiemy też, czy kiedykolwiek potrafimy zniweczyć jej działanie, czyli uwolnić się od sił grawitacji. Byłoby to niesłychane odkrycie i zainicjowałoby ono w naszym życiu więcej niż jakiegokolwiek inny wynalazek.

Ale na razie jest to fantazja, chociaż trzeba powiedzieć, że nad problemem tym pracuje wielu uczonych — na razie bez rezultatu.

Gdy jabłko spada z drzewa, to dzieje się tak dlatego, że jest ono przyciągane przez Ziemię. Ale — według praw mechaniki — jeśli Ziemia przyciąga jabłko, to również i jabłko musi przyciągać Ziemię, i to taką samą siłą. Wydaje się to niemal śmieszne, że znokome w porównaniu z Ziemią jabłko stara się pociągnąć tego kolosa ku sobie. Ale tak jest w rzeczywistości, tylko że i skutek jest znikomy, praktycznie równy zeru. Dlatego bez najmniejszych skrępowań możemy w dalszym ciągu uważać, że to tylko jabłko spada na Ziemię

— i koniec. Jednakże jeśli chodziłoby nie o jabłko, ale o równorzędny partnera Ziemi, a więc o zbliżone masą ciało niebieskie, skutki wzajemnego przyciągania się tych ciał byłyby już bardziej odczuwalne. Gdyby na przykład spadło na Ziemię ciało niebieskie wielkości Księżyca, to ruch Ziemi (spadającej równocześnie na taki Księżyc) byłby całkiem wyraźny.

Prawo wzajemnego ciążenia dotyczy wszystkich bez wyjątku ciał niebieskich. I dlatego fakt, że to wszechobecne prawo, które rządzi całym Wszechświatem, jest w codziennym życiu prawie nieodróżnialne, wydaje się tak dziwny. Wprawdzie jabłko i inne przedmioty spadają na Ziemię, ale czy widział kto kiedykolwiek, aby przyciągały się wzajemnie między sobą dwa jabłka, lub dwie osoby, albo dwa statki na morzu? Dlaczego nie odczuwamy w tym przypadku praw grawitacji? Czyżby nie działały one tutaj wcale!

Działają z całą pewnością. Obliczono, że każdy gram przyciąga każdy inny gram (obojętnie, jakiego rodzaju materii) z odległości jednego centymetra siłą, która w przybliżeniu równa się jednej piętnastomiliardowej części tej siły, jaką każdy z tych gramów przyciągany jest przez Ziemię. Jeśli zmienimy odległości lub wielkości działających na siebie mas, to zmieni się również wielkość tej siły przyciągania. Łatwo ją obliczyć z takiego wzoru: siła wzajemnego przyciągania równa się

$$\frac{1}{15\ 000\ 000\ 000} \times \frac{\text{pierwsza masa} \times \text{druga masa}}{\text{odległość} \times \text{odległość}}$$

Jeśli pierwszą i drugą masę wyrazimy w gramach, a odległość w centymetrach, to w wyniku otrzymamy siłę przyciągania, wyrażoną — tak jak poprzednio — w gramach-siły. Jeśli wykonalibyśmy taki rachunek dla Ziemi i Księżyca, to okazałoby się, że obydwa ciała niebieskie przyciągają się wzajemnie siłą 20 000000 000000 000000 kilogramów (dwójka i dziewiętnaście zer). Taka właśnie siła trzyma Księżyc na uwiesi, podobnie jak chłopiec obracający kamień na sznurku powstrzymuje jego chęć ucieczki przez napięcie sznurka. Gdybyśmy ten niewidzialny łącznik musieli zastąpić przez łącznik materialny w postaci stalowej liny, to jej grubość wyniosłaby 600 km. Cieńsza lina pękłaby, a Księżyc uleciałby w przestrzeń.

Powróćmy do spraw ziemskich. Dla odmiany otrzymamy tutaj liczby zupełnie zanikome, chociaż odległości dzielące przedmioty są

znacznie mniejsze. Na przykład dwa jabłka w odległości 10 cm przyciągają się z siłą równą zaledwie jednej stu pięćdziesięciomilionowej części grama-siły. Oczywiście, że taka „siła“ jest niewyobrażalnie mała i nie zerwie nawet najmniejszej pajęczyny.

A jaka jest siła wzajemnego przyciągania między dwiema osobami? (Niezależnie od ich użęć!). W odległości jednego metra pomiędzy tymi osobami wynosi ona 0,03 miligrama-siły. Jest to znacznie więcej niż w przypadku jabłek, ale wciąż zanikomo mało i w żadnym przypadku nie ma mowy o poruszeniu tych osób z miejsca. Nie dziwnego, że nie dostrzegamy zupełnie grawitacji wzajemnej między przedmiotami ziemskimi lub własnymi ciałami. W przestrzeni Kosmosu jest całkiem inaczej. Znajdują się tam ogromne masy i — mimo wielkich wzajemnych odległości — siły grawitacyjne występują zupełnie wyraźnie i wyraźne są ich skutki działania.

Ale na Ziemi spotykamy się przecież także z wielkimi masami. Na przykład, jak przyciągają się dwa wielkie statki wojenne, z któ-



Rys. 43. Wzajemne ciążenie grawitacyjne dwu osób wynosi zaledwie 0,03 miligrama (z odległości 1 m)



Rys. 44. Dwa wielkie krążowniki z odległości 100 m przyciągają się z siłą około 400 G

rych każdy waży 25 000 T, a odległość między nimi wynosi 1 kilometr? Mimo wszystko siła wzajemnego przyciągania będzie malejka, wszystkiego 4 G. Jeśli krążownicy podejść bliżej do siebie, na przykład na odległość 100 metrów, to siła grawitacji wyniesie już 400 G. Oczywiście jest to wciąż znikomo mało, aby poruszyć te okręty ku sobie, przewyciężyć ogromny opór wody i nadać im pewną pręd-



rys. 45. Na Księżycu każdy astronauta mógłby być rekordzistą sportowym

kość pod działaniem tych sił grawitacyjnych. Grawitacja jest zjawiskiem powszechnym. Choć odkryta została przez geniusz człowieka urodzonego na Ziemi, wybiega swoim działaniem w nieskończony Wszechświat. I dlatego pozwala nam przewidzieć rzeczy niezwykłe, które dzieją się będą w przyszłości, ale o których dzisiaj już wiemy. Dzięki poznanym prawom grawitacji wiemy, że ciężar ciała na Księżycu jest równy $\frac{1}{6}$ ciężaru ciała na Ziemi. Gdyby ludzie znaleźli się na Księżycu, ważyliby $\frac{1}{6}$ tego co ważą na Ziemi. Wobec tego byłby zdolni do wyczynów niemożliwych w naszych ziemskich warunkach. Potrafiliby skoczyć sześć razy wyżej niż na Ziemi, a więc lekko przeskoczyć przez parterowy budynek. Potrafiliby wskoczyć bez szkody z wysokości na przykład 15 metrów (czyli z piątego piętra). Wszystko to wiemy, choć stopa ludzka nie dotknęła jeszcze powierzchni Srebrnego Globu.

Akcja równa się reakcji

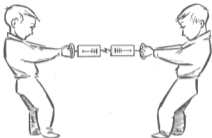
Nawet najgorsi uczniowie uczą się bez trudu formułki „akcja równa się reakcji” — bo jest krótka i prosta. Ale znacznie mniej jest takich, którzy ją dobrze rozumieją, ponieważ sprawa tak prosto sformułowana — bynajmniej prosta nie jest.

Otóż rzecz polega na tym, że siła — ta właśnie siła, o której tyle już się uczyliśmy, o której ciągle mówimy w mechanice, która powoduje tyle rozmaitych działań — otóż siła jako pojedyncze oderwane zjawisko nie istnieje! Każda siła — gdziekolwiek działa — zawsze napotyka taką samą i przeciwnie skierowaną drugą siłę. Jeśli jedną z nich nazwiemy akcją (działaniem), to dla drugiej mamy nazwę: reakcja (przeciwdziałanie).

Każda „akcja” napotyka więc zawsze równą jej i przeciwnie skierowaną „reakcję”. Newton odkrywając to prawo natury (zwie się ono trzecią zasadą dynamiki) miał podobno powiedzieć: jeśli naciskasz palcem na kamień, to kamień naciska również mocno na palec. Jeśli koń ciągnie ciężar przywiązany do linki, to ciężar ten ciągnie wstecz konia.

Wyobraź sobie, że trzymasz za jeden koniec wagi sprężynowej (dynamometru) sezepionej z drugą taką samą wagą, za której koniec

z kolei trzyma Twój kolega. Czy którykolwiek z Was może pociągnąć mocniej niż trzyma ten drugi? Czy to możliwe, aby wskazówki na skalach obu wag sprężynowych ustawiły się niejednakowo?



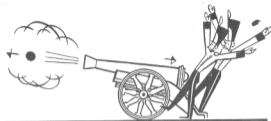
Rys. 46. Akcja równa się reakcji. Dynamometry wskazują takie same wartości

Nie, to jest niemożliwe, bo akcja zawsze równa się reakcji. Jeśli stoisz na podłodze, to ciśniesz na nią swoimi stopami, ale jednocześnie i podłoga ciśnie na Twoje stopy i to z taką samą siłą, tylko że skierowaną ku górze — a więc odwrotnie niż siła, którą Ty wywierasz.

Idąc odpychasz się od Ziemi, czyli mówiąc dokładniej odpychasz Ziemię nogami. Ziemia również odpycha Twoje nogi. Możesz się poruszać tylko dlatego, że istnieje reakcja wywołana Twoją akcją. Reakcja ta powstaje dlatego, że istnieje tarcie między stopami a Ziemią. Na gładkim lodzie tarcie jest mało, a chodzenie bardzo utrudnione. Stopy nie otrzymują tego „pchnięcia” ze strony Ziemi, które umożliwia chodzenie. Z tego samego powodu można łatwo upaść, jeśli zbyt szybko przejdzie się po dywanie leżącym na gładkiej posadzce.

Zapamiętajcie więc: każda siła to jeden z dwu nieodłącznych „bliźniaków”. Występują zawsze razem i zawsze „na przekór”. W pojedynkę nie działa żaden z bliźniaków.

Jeśli zjawisko siły nie pociąga za sobą ruchu ciała, to zrozumienie zasady akcji i reakcji jest stosunkowo łatwe. Dla ciał znajdujących



Rys. 47. Pocisk posuwa się do przodu, armata do tyłu

się w ruchu — zasada, jak widzieliśmy, równie słuszna, jest nieco trudniejsza do pojęcia.

Weźmy dla przykładu wystrzał z armaty. Pod wpływem szybkiego spalania się ładunku wybuchowego powstaje w lufie armaty olbrzymie ciśnienie, które wypycha z niej pocisk. Ale jednocześnie lufa cofa się. Gdy więc siła — której nadaliliśmy miano akcji — wyrzeka pocisk z lufy, to bliźniacza siła — reakcja — przesuwa lufę we wręcz odwrotnym kierunku. Takich przykładów można by przytoczyć setki, ale najbardziej na czasie będzie przykład z rakieta kosmiczną.

Jak wiadomo, rakiety napędzane są w ten sposób, że silnik spala i wyrzeka przez specjalną dyszę ku tyłowi ogromne ilości spalin, i to z wielką prędkością. Jaki jest rezultat tego działania, tej „akcji”? Jako „reakcja” do niej występuje siła popychająca rakieta ku górze (wylot gazów skierowany jest ku dółowi — przynajmniej w pierwszej fazie ruchu).

Trzeba dodać, że jest to zarazem jedyny sposób poruszania się w całkowitej próżni, jaka panuje w kosmosie. Ale zasada akcji i reakcji, którą technicy zwą zasadą napędu odrzutowego (rakietowego),



Rys. 48. Ruch rakiety następuje pod wpływem sił reakcji



Rys. 49. Jedyńy sposób poruszenia się na idealnie gładkim lodzie

również i w warunkach ziemskich byłaby jedyną metodą postępowania, gdyby nie tarcie. Cóż bowiem zrobilibyście, aby poruszać się na zupełnie gładkim lodzie, ale to tak gładkim, że nie dającym wcale tarcia? Jako fizyk mogę Wam powiedzieć, że istniałaby (praktycznie biorąc) tylko jedna metoda, metoda odrzutu. Należałoby po prostu odrzucić jakiś przedmiot do tyłu. Skutek muirowany: posunęlibyście się do przodu.

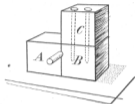
Jednym z paradoksalnych wniosków, wypływających logicznie z zasady działania i przeciwdziałania, jest sformułowane już przez nas na str. 45 stwierdzenie, że jeśli jabłko spada na Ziemię, to w tej samej chwili Ziemia musi spaść również na jabłko — poruszając się w odwrotnym kierunku do ruchu jabłka. Mimo pozornego bezsensu tego niewiarygodnego stwierdzenia to najprawdziwsza prawda!

Jest tylko — podkreślamy to jeszcze raz — jedno małe „ale”. Ziemia jest olbrzymia, jej masa jest miliardy miliardów razy większa od masy jabłka. Stąd prędkość ruchu Ziemi „spadającej” na jabłko będzie miliardy miliardów razy mniejsza od prędkości spadającego jabłka. A więc praktycznie — można wcale nie brać pod uwagę ruchu Ziemi „spadającej” na jabłko, gdyż jest on wprost niewyobrażalny i można uważać, że w ogóle nie istnieje.

Nasz gabinet fizyczny

W celu udowodnienia prawa Newtona o akcji równej reakcji można wykonać ciekawe i łatwe doświadczenie. Potrzebne do tego będą trzy jednakowe klocki, dwa gwoździe i ... mały ładunek wybuchowy. Można go przygotować z kawałków starych filmów lub masy używanej na lekki zapalek (nie mówiąc o całym szeregu innych możliwości, jakie daje nawet skromne laboratorium chemiczne).

Klocki *B* i *C* mają otwory, przez które przechodzą gwoździe, dzięki czemu można je łączyć razem, a również z łatwością rozłączać. Klocki *A* i *B*, ustawione obok siebie, mają na powierzchniach, którymi stykają się ze sobą, małe rowki, tworzące wspólnie (po ich zesunięciu) szparę. W szparę tę wsuwamy mały ładunek wybuchowy.



Rys. 50. Prosty sposób demonstracji zasady akcji i reakcji

Najpierw ustawiamy tylko klocki *A* i *B* i przysuwamy je ciasno do siebie zakładając ładunek w szparę, jak to było powiedziane.

Uwaga: Przed zapaleniem ładunku proszę się odsunąć!

Eksplozja wywołuje dwie siły działające na klocki *A* i *B*. Są one równe i przeciwnie skierowane. Jeśli klocki będą dokładnie jednakowe, to odsuną się na jednakową odległość w prawo i w lewo.

Teraz przymocowujemy klocek *C* do klocka *B* i powtarzamy doświadczenie. Masa dwu klocków jest dwa razy większa od masy jednego i wobec tego klocek *A* odsunie się dwa razy dalej niż klocki *B* i *C* połączone razem.

Doświadczenie to udaje się najlepiej, jeśli klocki *A* i *B* zapatrzony w małe kółka lub przynajmniej podłożony pod nie okrągły ołówek. Ale i bez tej pomocy jest ono dość efektowne i unnoacznie trzecią zasadę dynamiki Newtona w sposób bardzo poglądowy.