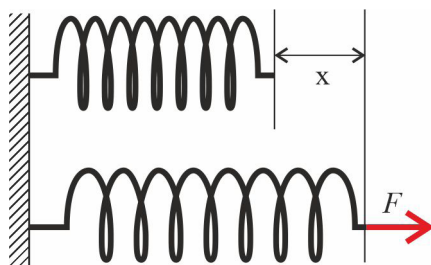


Kłopoty (nie tylko) ze sprężystością

Ludwik Lehman

My, fizycy, lubimy przedstawiać naszą dyscyplinę jako wzorcową naukę ścisłą. Gdy jednak przyrzeć się temu bliżej chłodnym okiem, okazuje się, że w uprawianiu i w nauczaniu fizyki jest zadziwiająco wiele niespójności. My ich nawet nie zauważamy, uczniowie również nie, przynajmniej na poziomie świadomości. Jednak podświadomie z pewnością czują, że ta fizyka jest jakaś niejasna i niezrozumiała.

Przyjrzyjmy się trochę bliżej, jak (nie)konsekwentnie wprowadza się siłę sprężystości. Niemal zawsze zaczyna się od przymocowanej jednym końcem sprężyny. Na drugi koniec działa siła ją odkształcająca (rys. 1).



Rys. 1

Stwierdzamy, że odkształcenie jest wprost proporcjonalne do tej siły:

$$x = \frac{F}{k} \quad (1)$$

Czy rzeczywiście **jedna** siła odkształca sprężynę? Oczywiście, nie. Drugą siłą przeciwnie skierowaną, lecz o tej samej wartości, działa ściana (rys.2).



Rys. 2

Rysunku tej siły nie widziałem nigdy w żadnym podręczniku, czy to szkolnym, czy akademickim. Można powiedzieć, że na lewy koniec sprężyny nakładamy więzy i nie przejmować się tą siłą. Jednak w fizyce szkolnej nigdy więzów nie było. Omawiając dynamikę, podkreślamy, że rozpatrywanie każdej sytuacji zaczynamy od narysowania sił działających na ciało i potem stosujemy zasady

dynamiki. Przechodząc do omawiania sprężystości, zaraz o tym zapominamy. Problem w tym, że wzór (1) nie dotyczy odkształcenia powodowanego przez **jedną** siłę, lecz przez parę przeciwnych sił. Jedna siła spowodowałaby przyspieszenie środka masy sprężyny, a odkształcenie byłoby inne.

Jest jeszcze inna wada takiego wprowadzenia do sprężystości. Nawet dobrzy fizycy widząc na każdym rysunku jedną siłę, wdrukowują sobie w podświadomość przekonanie, że faktyczne działa jedna! Wtedy proste pytanie: czy tak samo rozciągnie się sprężyna ciągnięta dwoma rękami, jak ciągnięta jedną ręką i przymocowana do ściany, staje się niebanalnym zadaniem.

Dlatego wydaje się, że dydaktycznie lepszym pomysłem byłoby zacząć od leżącej na stole sprężyny rozciąganej przed dwa siłomierze (rys.3). Nikt wtedy nie ulegnie złudzeniu o jednej odkształcającej sile.



Rys. 3

Taki pokaz byłby konsekwentnym stosowaniem tego, co wyłożyliśmy w dynamice. Przysłużyłby się też wyeliminowaniu poważnej, a powszechnie występującej niespójności. O co tym razem chodzi? Otóż dynamikę zaczynamy od stwierdzenia, że siłę poznajemy po jej efektach: odkształceniu lub przyspieszeniu. To ważne – siła jest pewną abstrakcją, widoczne są tylko skutki jej działania. Zatem **każda** siła wywołuje skutek. Bez skutków w ogóle byśmy nie wiedzieli o istnieniu danej siły. Jednak „chwile później” stwierdzamy, że siły równoważące się nie wywołują skutku. To poważna niespójność, jeśli nie błąd. Jeśli nie wywierają skutku, to po prostu nie istnieją! Jak tu się dziwić uczniom, że fizyka jest w ich mniemaniu zupełnie oderwana od rzeczywistości? Przecież każdy może rozciągnąć gumkę lub sprężynę jak na Rys.3 i **zobaczyć** wyraźne skutki działania dwóch równoważących się sił. A podręczniki (i nauczyciele) zapewniają, że te siły nie wywołują żadnych skutków! Zamiast tego należy poprawnie twierdzić, że siły równoważące się nie mają wpływu na ruch ciała (ściślej mówiąc na ruch środka masy).

Rozważmy teraz drgania ciężarka na sprężynie. Rozpocznijmy od ściśniętej sprężyny (rys. 4). Działają na nią siły sprężystości przywracające jej pierwotny kształt. Mówiąc ściślej, poszczególne elementy sprężyny oddziałują ze sobą, na rys. 3 przedstawiono tylko wypadkową parę sił. Jeśli do sprężyny przymocujemy ciężarek, zadziała na niego siła. Powszechnie pisze się i mówi, że to siła sprężystości. Tak jednak nie jest. Siła sprężystości działa nie na sprężynę, a na ciało przymocowane do sprężyny. Tak jest po prostu zdefiniowana. Np. w Wikipedii znajdziemy następującą definicję: *Siła sprężystości – siła, która powoduje powrót odkształconego ciała do pierwotnego kształtu*. Dalej czytamy: *Siła ta przeciwdziała więc odkształcaniu ciała i powoduje powrót do stanu nieodkształconego gdy przestaną działać siły zewnętrzne*.

Słownik Fizyczny Wiedzy Powszechnej z 1992 roku podaje: Siła sprężysta, siła reakcji sprężystej – siła działająca na odkształcane ciało stałe, stanowiąca wynik reakcji ciała na działanie deformujących je czynników. I dalej: W przypadku ciała odkształconego w sposób sprężysty s. s. przejawia się jako ta siła, która powoduje powrót ciała do pierwotnego stanu.

Ściśnięta sprężyna naciska na ciężarek, który jednocześnie naciska na nią (Rys. 5). Zatem na drgający ciężarek nie działa siła sprężystości. Można co najwyżej mówić, że jest ona przyczyną drgań. Poruszająca się sprężyna na przemian naciska i ciągnie ciężarek. Siła nacisku działająca na ciężarek jest mniejsza od siły sprężystości (bo wypadkowa obu porusza sprężynę, patrz rys. 5). Siła nacisku ma tę samą wartość co siła sprężystości tylko w przypadku, gdy ciężarek nie ma przyspieszenia.



Rys. 4



Rys. 5

Gdy $a \neq 0$, można pominąć różnicę obu sił, jeśli sprężyna jest dużo lżejsza od ciężarka. Jednak pomijanie pewnego czynnika liczbowego w obliczeniach nie usprawiedliwia utożsamiania dwóch różnych oddziaływań.

Rys. 5 może przedstawiać również ciała spoczywające na podłożu. Wtedy $F_n = F_s$. Niewłaściwe jest jednak mówienie, że na spoczywające ciała działa siła sprężystości podłoża. Siła sprężystości podłoża – zgodnie z cytowanymi definicjami – działa tylko na podłoże. Nie mówiąc już o tym, że nie zawsze podłoże jest sprężyste. Ślady kół czy płóz na śniegu są oczywistym na to dowodem.

Z energią sprężystości też nie postępujemy właściwie. Zacytujmy najpierw fragmenty definicji energii wewnętrznej. Najpierw *Słownik Fizyczny Wiedzy Powszechnej: Energia wewnętrzna – termin stosowany w dwóch znaczeniach. 1 (ogólnie) energia układu fizycznego związana z ruchem jego części składowych względem siebie i ich oddziaływaniem ze sobą tzn. różnica energii całkowitej układu i sumy jego energii kinetycznej, jako całości, i energii oddziaływania układu, jako całości, z otoczeniem.*

Teraz Wikipedia. *Energia wewnętrzna (E_w lub u , $U[a]$) – w termodynamice jest to całkowita energia układu będąca sumą energii potencjalnej i kinetycznej makroskopowych części układu, energii kinetycznej cząsteczek, energii potencjalnej oddziaływań międzycząsteczkowych i wewnątrzcząsteczkowych itd.*

Z definicjami energii wewnętrznej jest pewien problem. Nawiasem mówiąc, to też cokolwiek dziwne w tak ścisłej i „wzorcowej” nauce. Jednak z definicji wynika wyraźnie, że energia oddziaływań międzycząsteczkowych (a nawet makroskopowych części układu) to część energii wewnętrznej. Zatem energia sprężystości powinna być traktowana jako składnik energii wewnętrznej zgodnie z definicją tej ostatniej. Czemu zawsze wlicza się ją do energii mechanicznej ciała sprężystego? Lekceważenie własnych definicji jest zadziwiającym zjawiskiem w naszej pięknej i ścisłej nauce. Ignorowanie definicji energii wewnętrznej ma jeszcze inne poważniejsze konsekwencje. Temu zamierzam poświęcić kolejny artykuł.

Na koniec dygresja. Świadomie na rysunkach oznaczam tylko wartość wektora siły. Postępując zgodnie z uświęconą w podręcznikach tradycją, musiałbym np. siły na rys. 2 podpisać \vec{F} i $-\vec{F}$ albo \vec{F}_{AB} i \vec{F}_{BA} . Czy nie prościej oznaczać tylko wartość wektora, skoro kierunek i zwrot są widoczne na rysunku? Jednak i dydaktycy, i nauczyciele (ich część, oczywiście) nie godzą się na takie uproszczenie. Szkoda. Wielka szkoda.