

POLEMIKA.

O doświadczeniu w mechanice.

Z kwestji, poruszonych przez p. Kalinowskiego w artykule „O doświadczeniach przy wykładzie mechaniki“ pragnę dotknąć tylko dwóch, a mianowicie: 1) czy mechanika jest nauką doświadczalną, i 2) czy twierdzenie o równoległoboku sił wynika z definicji siły.

Mechanika w swych działach głównych stanowi spójną konstrukcję logiczną, której każda część jest koniecznym następstwem części poprzedzających. Fundamentem całej budowy są pewne twierdzenia zasadnicze, zwane zasadami albo prawami. Ponieważ twierdzenia te nie zależą od innych, przeto w wyborze ich z natury rzeczy dozwolona jest pewna swoboda. Możliwością było oprzeć mechanikę na innych zasadach, niż to uczynił Newton, a jeżeliby chodziło jedynie o prawidłową konstrukcję logiczną, nie zaś o naukę przyrodniczą, moglibyśmy nawet oprzeć ją na zasadach sprzecznych z Newtonowskimi. Tak np. w mechanice Newtonowskiej przyjmuje się w milczeniu, że masa punktu materialnego jest niezależna od jego prędkości. Zamiast tego możnaby przyjąć zasadę, że masa jest pewną funkcją prędkości.

Wychodząc z takich dowolnych założeń i rozumując prawidłowo, dałoby się zbudować konstrukcję, nie ustępującą pod względem spistości logicznej mechanice Newtonowskiej, jakkolwiek zupełnie odmienną. O teorii, powstałej w taki sposób możnaby słusznie powiedzieć, że nie jest to nauka doświadczalna, gdyż byłaby ona niezależna od doświadczenia, a przynajmniej nie istniałaby zależność bezpośrednia.

Ale teoria taka nie byłaby jeszcze nauką przyrodniczą. Od nauki przyrodniczej żądamy przede wszystkim, aby wiernie opisywała zjawiska natury, a zatem do jej podstawowych elementów należy zaliczyć dowody, że ta zgodność istnieje, dowody zaś możemy czerpać jedynie z obserwacji zjawisk, odbywających się w naturze bez naszego udziału, albo umyślnie przez nas ad hoc wywołanych. Ponieważ pomiędzy temi dwoma rodzajami obserwacji nie zachodzi żadna różnica zasadnicza, wolno więc nadać im ogólne miano doświadczenia; powiemy wówczas, że jedynie doświadczenie może stwierdzić zgodność pomiędzy obrazem naukowym zjawiska i samym zjawiskiem, a zatem doświadczenie jest jednym z zasadniczych elementów każdej nauki przyrodniczej. Wprawdzie doświadczenie nie może z natury rzeczy dać nam cał-

kowitej pewności; zawsze pozostaje pewna wątpliwość, dotycząca przedewszystkim zakresu zjawisk, w którym są ważne twierdzenia danej nauki, ale okoliczność ta nie zmniejsza bynajmniej roli doświadczenia, skoro nie mamy czym go zastąpić.

Jeżeli uważamy mechanikę za naukę przyrodniczą, to musimy ją uważać za naukę doświadczalną taksamo, jak fizykę lub chemję. Pod względem roli doświadczenia pomiędzy naukami temi zachodzą jedynie różnice ilościowe.

Doświadczalny charakter mechaniki jest nieco zamaskowany dzięki pewnej okoliczności szczególnej. Zasady mechaniki, obrane przez Newtona, nie nadają się dobrze do kontroli doświadczalnej, a nawet pierwsza z nich, zasada bezwładności nie może być wcale stwierdzona przez doświadczenie bezpośrednio*). Wiadomo, że Newton robił doświadczenia, aby się upewnić co do słuszności swych zasad, i niewątpliwie w jego przekonaniu ostateczną sankcję teorii miało dać doświadczenie, pomimo to jednak w wyborze zasad nie kierował nim, zdaje się, względ na łatwość sprawdzenia doświadczalnego; chodziło mu raczej o to, aby na obranych zasadach łatwo było wnieść dalszą budowę logiczną.

Pomimo to wszystko charakter doświadczalny nauki przyrodniczej, zwaney mechaniką, nie może ulegać wątpliwości, i materiał doświadczalny, na którym się ona wznosi, zawiera się w owych zasadach. Trzeba jednak dodać, że materiał ten nie jest wystarczający, i zwykle w wykładzie mechaniki wprowadza się w milczeniu niejedno twierdzenie, które wcale nie wynika z zasad, a zatem wymagałoby sankcji doświadczenia.

Przejdźmy teraz do twierdzenia o równoległoboku. P. Kalinowski, jak można wnioskować z wyżej wspomnianego artykułu, uważa pojęcie siły za pochodne, pojęcie zaś masy za pierwotne. Staniemy na tym samym stanowisku, jakkolwiek nie można go uważać za jedynie uprawnione.

Trzeba więc przedewszystkim zdobyć pojęcie masy. Do tego potrzebne są pewne doświadczenia. Można np. obrać drogę następującą**).

Codziennie doświadczenie wskazuje, że jedne ciała wywierają wpływ na ruch innych, czyli, mówiąc ściślej, punkt materialny może udzielić przyspieszenia innemu punktowi materialnemu.

Punkty materialne mogą oddziaływać na siebie różnemi sposobami. Tak np. punkty te mogą być naelektryzowane, albo mogą być połączone nicią sprężystą, albo mogą się stykać bezpośrednio i t. d. Otóż należy doświadczalnie zbadać związek, jaki zachodzi w tych różnych przypadkach pomiędzy przyspieszeniami dwóch punktów. Doświadczenie powinno wykazać 1), że przyspieszenia są zawsze skierowane według prostej, łączącej te punkty, i zwrócone w strony odwrotne, i 2) że stosunek przyspieszeń pewnych dwóch punktów jest we wszystkich rodzajach oddziaływania jeden i ten sam. Definiujemy następnie stosunek mas dwóch punktów jako odwrotność stosunku przyspieszeń, których te punkty udzielają sobie nawzajem, a obrawszy masę

*) Wypada dodać, że ta pierwsza zasada zawiera się w drugiej jako przypadek szczególny, a zatem jest zbyteczna w logicznej budowie mechaniki.

***) Por. np. P. Appell. *Traité de mécanique rationnelle*, tom I, str. 87.

pewnego punktu za jednostkę, możemy zapomocą odpowiednich pomiarów wyznaczyć masę każdego innego punktu. Jeżeli teraz punkt materjalny o masie m posiada przyspieszenie p , to definiujemy siłę, działającą na ten punkt, jako wektor, zgodny pod względem kierunku z przyspieszeniem i równy pod względem wielkości mp .

Chodzi teraz o to, czy z takiej definicji siły wynika twierdzenie o równoległoboku sił?

Z definicji wynika niewątpliwie to, że wolno jest siłę rozkładać zapomocą równoległoboku, i wówczas suma rzutów składowych na dowolny kierunek będzie równa rzutowi owej siły, a także suma momentów składowych względem dowolnej prostej jest równa momentowi wypadkowej, ale, opierając się na definicji, nie mamy możliwości przewidzieć, jaki przebieg będzie miało jakieś zjawisko natury, a chodzi teraz właśnie o pewne zjawisko nowe.

Mamy swobodny punkt materjalny o masie m i dwa inne punkty A_1 i A_2 . Wiemy, że gdyby punkt A_1 działał sam jeden, to nadałby punktowi m przyspieszenie p_1 , punkt zaś A_2 , działając sam jeden, nadałby punktowi m przyspieszenie p_2 . Jakież przyspieszenie otrzyma punkt m , gdy będą działały jednocześnie obydwaj punkty A_1 i A_2 ?

Sądzę, że na to pytanie definicja siły nie daje żadnej odpowiedzi. Nie wolno np. rozumować tak: ponieważ siła jest wektorem, przeto wypadkowa sił mp_1 i mp_2 wyrazi się przekątnią równoległoboku, zbudowanego na tych składowych, i punkt m otrzyma takie przyspieszenie, jakie nadałaby mu ta wypadkowa. Wprawdzie mamy prawo nazwać taką siłę—wypadkową, ale stąd wcale nie wynika, że nadałaby ona punktowi m takie samo przyspieszenie, jak siły mp_1 i mp_2 , działające jednocześnie. Teoria wektorów nie zawiera wcale treści przyrodniczej, zatem nie można z niej wyciągnąć żadnych wniosków o przebiegu zjawisk natury.

Nie dadzą się tu również zużytkować twierdzenia cynematyczne, dotyczące przyspieszenia, przede wszystkim z następującego powodu. W zagadnieniu powyższym tkwi pewien nowy pierwiastek, który w cynematyce był całkowicie nieobecny. Tutaj na punkt m działają jednocześnie dwie siły, gdy tymczasem punkt względem danego układu odniesienia ma w pewnej chwili tylko jedną prędkość i tylko jedno przyspieszenie, tak jak ma w pewnej chwili tylko jedną odległość od innego punktu. Jeżeli gdzie jest mowa o dwóch prędkościach lub o dwóch przyspieszeniach punktu, to taki sposób mówienia może mieć jedynie jakieś znaczenie umówione. Jeżeli np. mówimy, że mucha lecąca w wagonie, posiada dwie prędkości, z których jedną zawdzięcza własnemu ruchowi, drugą zaś ruchowi wagonu, to oczywiście chodzi tu o prędkości dwóch różnych punktów względem dwóch różnych układów odniesienia, a mianowicie o prędkość muchy względem wagonu i o prędkość tego punktu wagonu, który obecnie zajmuje mucha, względem ziemi. Z tych względów nie wolno jest mówić, że punkt m otrzyma jednocześnie przyspieszenia p_1 i p_2 , czyli ich przyspieszenie wypadkowe. W rzeczywistości punkt nie będzie miał ani przyspieszenia p_1 ani przyspieszenia p_2 , lecz jakieś trzecie przyspieszenie p , i cynematyka wcale nie określa związku pomiędzy tym istotnym (dostrzegalnym) przyspieszeniem p a owymi nieistniejącymi przyspieszeniami p_1 i p_2 .

Na wyżej postawione pytanie może dać odpowiedź tylko doświadczenie. Należałoby zapomocą odpowiednich pomiarów wyznaczyć przyspieszenie p za-

równo pod względem wielkości jak i kierunku, rozłożył je w kierunkach $m\mathbf{A}_1$ i $m\mathbf{A}_2$, i zbadać, czy otrzymane składowe są odpowiednio równe p_1 i p_2 . Dopiero na zasadzie takiego doświadczenia możemy tej sile, którą nazwalismy wypadkową, przypisać pewną rolę fizyczną.

Pragnę jeszcze zwrócić uwagę na to, że doświadczenia, które wymieniłem, jako niezbędne do wytworzenia pojęcia masy, są pod pewnym względem niewystarczające. Nie prowadzą one do praktycznej metody porównywania mas, polegającej na ważeniu. Metoda ta jest oparta na pewnym przypuszczeniu, które daje się udowodnić jedynie na drodze doświadczalnej.

Dwie masy m_1 i m_2 , odległe o r jedna od drugiej, wywierają jedna na drugą siły grawitacyjne, z których każda $= \frac{km_1m_2}{r^2}$, gdzie k oznacza współczynnik proporcjonalności. Wspomniana metoda porównywania mas jest słuszną, jeżeli ten współczynnik k jest dla wszystkich ciał jednakowy, jeżeli jest taki sam dla węgla, siarki, miedzi, żelaza i t. d.

Przypuszczenie o niezmienności współczynnika k , które zazwyczaj czynimy w milczeniu, jest w istocie oparte na dwóch faktach, ujawnionych zapomocą badań doświadczalnych. Popierwsze na tym, że w pewnej miejscowości przyspieszenie ziemskie jest dla wszystkich ciał jednakowe, i powtóre na trzecim prawie Keplera.

Obydwa te dowody pozostawiają jednak, jak sędzę, pewne wątpliwości. Trzecie prawo Keplera może być następstwem nie stałości współczynnika k , lecz podobieństwa w składzie chemicznym planet, zaś na udowodnienie stałości przyspieszenia ziemskiego prawdopodobnie nie dałoby się dzisiaj jeszcze przytoczyć tak rozległych i dokładnych pomiarów, aby wszelkie wątpliwości zostały usunięte.

Z. Straszewicz.

Ośmielony życzeniem Sz. Autora wspomnianego artykułu chętnie bardzo zabieram głos w poruszonej przez niego kwestji.

Pan K. wychodzi z założenia, że w szkole średniej jest możliwa tylko mechanika newtonowska, i dochodzi do wniosku, że mechanika jest nauką czysto rozumową, że doświadczenia w mechanice potwierdzają tylko słusność rozumowania. Przeciwno wywodom Szanownego autora nie mam zamiaru bynajmniej występować, gdyż one są logicznym wynikiem tego stanowiska, na którym on stoi. Chodzi mi o samo stanowisko, na które nie w zupełności się zgadzam. Że tylko mechanika, stworzona, że tak powiem, przez Newtona nadaje się do wykładu, nie ulega chyba wątpliwości, ale moim zdaniem ta, która uległa już pewnej ewolucji, nadaje się lepiej. Jakaż jest różnica między jedną a drugą? Otóż w pierwszej, której przytrzymuje się p. K., siłę określamy na zasadzie pojęcia o masie, w drugiej przeciwnie masę określamy na zasadzie pojęcia o sile. Powiadamy w pierwszej, że masa jest to ilość materji zawartej w danym ciele. Dobrze, ale w jaki sposób mierzymy tę ilość materji? Nie mamy prawa używać tu wagi, bo odmawiamy sobie pojęcia o sile, nie wyrobiwszy jeszcze pojęcia o masie, a nie na objętość mierzymy ilość tej materji. Siłą więc rzeczy jesteśmy zmuszeni albo przyjąć masę bez określeń jako pojęcie elementarne, albo tak określić masę, ażeby doświadczal-