

## O doświadczeniach przy wykładzie mechaniki.

Śród nauczycieli mechanika uchodzi za najtrudniejszy do wykładu dział fizyki. Uczniowie podzielają to zdanie co do trudności, dodając do tego, że jest to również dział „najnudniejszy“. Mam na myśli, oczywiście, ogół uczniów; w tym ogóle spotykać się dają jednostki o całkiem odmiennym zapatrywaniu. Nudne jest dla ucznia to, czego on nie rozumie, z czym się bliżej umysł jego zżyć nie zdoła, co w umyśle tym gości chwilowo, z konieczności, jako element formalnie niezbędny lecz obcy. A więc ta druga opinia niekorzystna o mechanice sprowadza się do pierwszej: trudno jest wykladać mechanikę tak, by nią uczniów zachwycić, porwać, jak — dajmy na to — udaje się uczy-  
nić z wykładem optyki lub elektryczności.

Istotnie, wykład mechaniki jest trudny.

Nie przesadzając nic o tym, jakie będzie stanowisko mechaniki w fizyce przyszłości, tymczasem zajmuje ona miejsce naczelne, stanowi fundament, na którym daje się zbudować mocno cały gmach fizyki. Jakkolwiek historia nauki jest niezmiernie ciekawa i pouczająca, zwłaszcza gdy możemy być naoczniemi świadkami stawania się tych czy innych jej części, jakkolwiek wprowadzanie w odpowiednich chwilach i miejscach takiego elementu historycznego — z dołączeniem dziejów doby obecnej — może być bardzo korzystnym i pięknym urozmaiceniem i wzbogaceniem wykładu, to jednak sądziłbym, że w zasadzie program wykładowy nie powinien zawierać rzeczy tworzących się dopiero i często spornych. Przekonany też jestem, że ogół nauczycieli ten punkt widzenia podziela. Wobec tego jest dla mnie pewnikiem, że tymczasem zarówno w kursach niższych jak wyższych początkowych (oczywiście nie mówię o wyższych kursach specjalnych przed audytorjum odpowiednio przygotowanym) inna mechanika niż newtonowska znaleźć miejsca nie może.

Czy mechanika jest nauką doświadczalną? Czy jest nią podobnie jak optyka lub akustyka? Niewątpliwie zjawisko ruchu tak samo może podlegać kombinacjom doświadczalnym, jak zjawisko promieniowania, lub zjawisko głośowe. Ale czy z tego wynika, by zasady mechaniki wyprowadzały się z doświadczenia? Bynajmniej.

Badając jakiegokolwiek zjawisko, doszukując się w nim określonych zależności ilościowych, co daje możność ujęcia go we wzory matematyczne, staramy się zjawisko to otrzymać w możliwie czystej formie, by wyrugować, o ile można, szereg czynników, a przez to otrzymać wzór jaknajprostszy. Ru-

gowanie doświadczalne tych czynników nie zawsze jest możliwe. Wtedy przechodzimy od zjawiska rzeczywistego do pomyślanego jedynie, idealizujemy je, że tak powiem, i dalej obracamy się już w tym świecie idealnym, zadawalając się pewną zgodnością pomiędzy stworzonymi przez nas obrazami a tym, co nazywamy otaczającą nas rzeczywistością. Zdarzyć się może, że postawiwszy sobie za punkt wyjścia pewne postulaty, pewne zasady, jesteśmy potem w stanie snuć z nich bardzo szerokie obrazy, ogarniające w swych zastosowaniach do rzeczywistości coraz większe dziedziny zjawisk. Zdobyć takich podstaw — owych postulatów czy zasad — jest momentem epokowym; zawdzięczamy je ukazującym się wśród nas od czasu do czasu gienjuszom.

Newton sformułował swe słynne zasady ruchu, na których się wznosi całokształt mechaniki i których nie udało się dotychczas zastąpić przez inne lepsze, jeżeli chodzi o całokształt już wykonany. Że, myśląc o ruchu, musiał przytym Newton opierać się na zjawiskach, znanych mu z doświadczenia, nie ulega wątpliwości, nie mniej jednak zasady jego z doświadczenia nie wypływają. Stworzył je technieniem gienjuszu, nie zdając prawdopodobnie sam sobie sprawy z tego, jak to uczynił. Doświadczenie rozbudziło w nim pewne procesy myślowe, których istoty nie znamy, poruszyło fantazję, rozkołysało intuicję i w rezultacie z głowy jego, jak Minerwa z głowy Jowisza, wyłoniły się te niemal — przykazania mechaniczne\*).

Jeżeli zasady te lat tyle przetrwały, jeżeli dziś jeszcze wznosi się na nich całokształt obrazów, obejmujących dziedzinę ruchu idealnego w jego najrozmaitszych odmianach, dzieje się to dla tego, że te obrazy idealne odpowiadają zjawiskom ruchu rzeczywistego, że pozwalają z wystarczającą ścisłością w tych ruchach rzeczywistych się orjentować i przewidywać, pozatym służą do takichże celów w dziedzinach, które do ruchu udatnie sprowadzamy. Tym właśnie pomysły Newtona wzbudzają nasz podziw, tym zasłużyły na nazwę gienjalnych.

Opierając się na wzmiankowanych zasadach, wprowadzamy szereg pojęć i określeń, wiążących się ściśle z sobą, wpływających jedne z drugich, wyciągamy szeregi wniosków. Skoro jednak zasad samych z doświadczenia wyprowadzić nie możemy, przeto tymbardziej doświadczenie nie może służyć za wystarczającą przesłankę do któregokolwiek z wniosków. Można mówić o tym, czy obrazy mechaniki newtonowskiej nadają się do badania zjawisk rzeczywistych, czy obrazom rzeczywistym odpowiadają, czy też nie; można szukać granic, w których to czynią, a gdyby granice te okazały się zbyt ciasne, można próbować zastąpić te zasady przez inne, o ile pomysłów nam nie zbraknie; nigdy jednak nie można „stwierdzać“, „dowodzić“ doświadczalnie tego, co z doświadczenia nie wypływa, co nawet w pewnym znaczeniu doświadczenie wyprzedza i tylko szczęśliwie mu odpowiada.

Podobnie obserwacja i doświadczenie nasuwają nam niewątpliwie szeregi obrazów przestrzennych; jednak wiążąc ze sobą te obrazy, oderwane już od tego, co światem otaczającym nazywamy, tworząc z nich pewien całokształt, stwarzając geometrię, na doświadczeniu twierdzeń nie opieramy, do-

---

\*) Niech mnie czytelnik nie posądza o zapoznawanie faktu, że Newton miał poprzedników. To nie zmniejsza jego zasług.

świadczeniem jako „dowodem“ się nie posługujemy, a nawet, gdybyśmy chcieli kiedykolwiek użyć doświadczenia jako ilustracji jedynie i gdyby nas ono zawiodło, zwalilibyśmy winę na niekorzystne warunki doświadczenia, nie uznalibyśmy jednak tego zawodu za zaprzeczenie słuszności omawianego twierdzenia.

To, co w nauce samej z doświadczenia nie powstaje, nie może być wyciągane z doświadczenia przy wykładzie tej nauki, byłoby to bowiem błędnym przedstawianiem rzeczy i dawałoby uczniom pojęcie niewłaściwe o nauce. Co innego natomiast, jeżeli doświadczeniem posługiwać się będziemy, jako ilustracją, albo gdy będziemy wykazywali wystarczającą zgodność naszych twierdzeń z doświadczeniem, zastrzegając jednak wyraźnie, że zgodności tej za „dowód“ brać nie można.

Wróćmy na chwilę do geometrii. W propedeutyce tej nauki doświadczenie może oddać doskonałe usługi, może przyczynić się do wyrobienia wyobraźni, do spamiętania pewnych ważnych zależności. Posługując się np. kawałkiem papieru i nożyczkami nauczyciel może bardzo skutecznie nauczyć mierzenia pól najprostszych figur; źle jednak uczyni, jeżeli sposobem przedstawiania rzeczy wpoi uczniom przeświadczenie, iż tą drogą zdobywa się ściśle dowody, jeżeli nie zwróci uwagi na błędy doświadczalne, jeżeli nie wskaże, że dowód właściwy będzie z czasem podany, skoro w danym momencie poda go niepodobna. Uczeń powinien z wykładu zrozumieć i odczuć, że to, co w tej chwili zdobywa, nie zamyka wyczerpująco danej kwestji, że to tylko zawarcie pierwszej, powierzchownej znajomości z przedmiotem — bez budzenia podobnych myśli łącznie z zaciekawieniem, co też dalsza nauka przyniesie, wykład będzie się przyczyniał do powiększenia liczby niedouczonych zarozumiałców, wyobrażających sobie, że liźnięcie nauki wystarcza do jej całkowitego opanowania.

Wykład mechaniki jest trudny. Od tego działu, jako podstawowego, wypada zaczynać, z drugiej zaś strony właściwe ujęcie przedmiotu możliwe jest przy większym wyrobieniu myślowym, co raczej przemawiałoby za tym, by dział ten wykladać na końcu. Znalezione sposobem na wybrnięcie z tej trudności: na początku, mianowicie, wyklada się rzeczy najniezbędniejsze i najdośćępniejsze, koniec zaś kursu fizyki wieńczy „uzupełnienia“ z mechaniki, strawne dla dojrzałych umysłów<sup>\*)</sup>). Nie chciałbym dziś poruszać samego programu wykładowego, nie chciałbym dotykać kwestji, co należy uważać za niezbędniejsze albo przystępniejsze — rozstrzygnąć to może całkowicie intuicja pedagogiczna nauczyciela, orjentującego się w poziomie słuchaczy. W notatce niniejszej nie zamierzam bynajmniej wskazywać, co i kiedy mówić należy, pragnę tylko zwrócić uwagę na to, czego nigdy mówić nie należy. Bez względu więc na to, czy się ma do czynienia z kursem propedeutycznym, czy całkowitym systematycznym, bez względu na to, czy wyklada się przedmiot jednym ciągiem, czy się go dzieli w pewien sposób, nie należy powoływać się na doświadczenie jako na dowód w tych razach, gdy doświadczenie dowodem być nie może.

\*) Dodajmy nawłasnem, że uzupełnienia te, podane luźno na końcu wykładu, nie wiążą się należycie z całością. Uczeń często nie rozumie, po co mu potrzebne jakieś twierdzenia, bez których mógł całego kursu przesłuchać, i traktuje owe uzupełnienia jako zwykłe utrapienie egzaminacyjne.

Parę przykładów. Za pomocą przyrzędu Atwooda „dowodzi się“, że im większa jest siła, tym większe przyspieszenie udziela ona danej masie, albo że przyspieszenie, udzielone przez równe siły różnym masom, pozostają w stosunku odwrotnym do tych mas. Jest to oczywiście nonsens. Jedna i druga zależność tkwi w samym określeniu siły, tego zaś, co zawarliśmy w określeniu, „dowodzić“ nie można. Co innego, jeżeli tym samym przyrzędem Atwooda będziemy się posługiwali dla zilustrowania powyższych zależności, dla wrażenia ich tą drogą lepiej w pamięć, nie zapominając jednak w ten sposób prowadzić rozumowania, iżby dla ucznia było jasne, że właśnie zależnie od wielkości przyspieszenia, udzielonego danej masie, umowa każe nam nazywać siłę większą lub mniejszą; że właśnie z odwrotności stosunku mas i przyspieszeń wnosimy, iż w obu razach działają na te masy siły równe, albo że właśnie ze stosunku przyspieszeń, udzielonych różnym masom przez jedną i tę samą siłę — np. przez ciężar danego jakiegoś ciała w danym miejscu — wnosimy o stosunku tych mas \*).

Podobnie rzecz się ma z t. zw. równoległobokiem sił. Skoro siłę określamy jako wielkość kierunkową o kierunku nadawanego przez nią przyspieszenia, słuszność operacji nad wielkościami kierunkowymi w zastosowaniu do sił nie może ulegać wątpliwości. Nie mogę więc dowodzić doświadczalnie, że dla dwóch sił, działających na jeden punkt i do siebie prostopadłych, z których jedna wynosi 3 jedn. siły, zaś druga 4 jedn. siły, otrzymamy wypadkową = 5 jedn. siły. Przeciwnie, gdy uda się zrównoważyć dwie powyższe siły składowe za pomocą nowej siły, mam prawo twierdzić (o ile wykluczone jest działanie innych sił), że ta nowa siła = 5 jedn. siły. W ten sposób, pamiętając o proporcjonalności w danym określonym miejscu ciężaru ciała do jego masy, mogę użyć t. zw. „przyrzędu do równoległoboku sił“ jako przyrzędu do ważenia ciał, opierając się na nieulegającym wątpliwości twierdzeniu o równoległoboku, nie mogę jednak w żadnym razie używać tego przyrzędu do celu, w którym jest ogólnie zalecany — do „dowodzenia“ tego twierdzenia.

I znów muszę podkreślić, że nie zaprzeczam bynajmniej użyteczności tego przyrzędu przy wykładzie — ale bez błędnych interpretacji.

Ktoś mi może powiedzieć: Wszakże jesteśmy w stanie zważyć 3 ciała dokładnie za pomocą zwykłej wagi i przekonać się, dajmy na to, że masy ich wynoszą odpowiednio 3 Kg., 4 Kg., 5 Kg. Wtedy możemy te 3 ciała zawie-

\*) Za pomocą przyrzędu Atwooda usiłują „dowodzić“, że w ruchu jednostajnie zmiennym drogi przebyte są proporcjonalnie do kwadratów czasu, albo że prędkości są proporcjonalne do czasu. Czy sposób jednak użyć podobnego „dowodu“ doświadczalnego? Wszakże w doświadczeniu nigdy nie będziemy mieli ruchu idealnie jednostajnie zmiennego i temu, co jest bezwzględnie słuszne w dowodzeniu matematycznym, a co właściwie jest rozwinięciem określenia ruchu jednostajnie zmiennego, doświadczenie raczej będzie pozornie przeczyło, jeżeli nie zechcemy się wdawać w bardziej szczegółowe omawianie doświadczenia. Traktujmy jednak te doświadczenia w sposób, wskazany wyżej, gdzie była mowa o doświadczeniu przy wykładzie geometrii, t. j. nie przypisujemy doświadczeniu nie ponad to, co ono dać może, a odda przy nauczaniu doskonałe usługi. Zwróćmy uwagę przy sposobności na niewłaściwe wskazywanie spadkownicy Atwooda jako przyrzędu do wyznaczania przyspieszenia grawitacyjnego. Autorowie takich wskazówek nie zdają sobie chyba sprawy z kolosalnego błędu, jaki na tej drodze jest nieunikniony.

się na owym „przyrządzie do równoległoboku“, skierowując nitki, na których zawieszono pierwsze 2 ciała, do siebie prostopadle i z równowagi wności o słuszności twierdzenia o równoległoboku. Bynajmniej. Równowaga w tym razie może co najwyżej służyć do stwierdzenia, żeśmy zważyli dobrze, co zresztą może być kontrolą całkiem zbyteczną. Podobnie np. weźmy dwa ciała, co do których waga nas przekonała w granicach dostatecznych, że masy ich są równe. Przesuńmy przez blok sznur i zawieśmy na jego końcach te dwa ciała. Czy równowagę, którą wtedy stwierdzimy, będziemy mogli uważać za „dowód“, że dwie siły równe i wręcz przeciwnie skierowane, równoważą się? Na tę ślizką drogę wkracza np. R. Ball w swej „Mechanice doświadczalnej“. Wszak takie właśnie siły nazywamy równymi, które się równoważą, działając w kierunkach wręcz przeciwnych.

Nie lepiej rzecz się ma z doświadczalnym uzasadnieniem równości działania i przeciwdziałania. Na jednym ramieniu wagi zawieszają się magnesy; po zrównoważeniu umieszcza się pod nim w pewnej odległości kawał żelaza; następnie dokłada się równoważników, aż nastąpi równowaga. Potym powtarza się doświadczenie z tą różnicą, że wisi na ramieniu wagi żelazo, pod nim zaś w tej samej odległości umieszcza się magnes. I cóż z tego? Widzimy istotnie, że doświadczenie wymienionej zasadzie nie przeczy; tego rodzaju sprawdzanie zasad jest nawet konieczne. Ale czy doświadczenie to dowodzi słuszności zasady, że każdemu działaniu towarzyszy równe o wręcz przeciwnym kierunku przeciwdziałanie?

W tych razach, gdy chodzi o pewne konkretne zjawisko mechaniczne, które jest w mocy naszej wywołać, doświadczenie posiada znaczenie decydujące. Rozwiązując zagadnienie teoretycznie, sprawdzamy otrzymane wnioski doświadczalnie, przekonując się, czy w dostatecznej mierze rzeczywistość odpowiada przewidywaniom; w razie zaś zawodu szukamy źródła błędu, który tkwi—zakładając, że we wnioskowaniu matematycznym omyłek nie było — w nieuwzględnieniu tego czy innego czynnika rzeczywistego. W operacji jednak teoretycznej nie obracamy się w świecie rzeczywistym, lecz idealnym, stworzonym przez nas na podstawie szeregu założeń i określeń, do których doświadczenie dało, że tak powiem, pretekst, lecz które z doświadczenia nie wypłynęły. Tryumfujemy też, gdy się przekonamy, że ten świat nasz idealny stworzony jest tak szczęśliwie, iż potrafimy zawsze przerzucić most pomiędzy nim a t. zw. rzeczywistością, ale podstaw tego świata idealnego doświadczeniem uzasadnić nie możemy. Tu doświadczenie może tylko odegrać rolę pomocniczą, o jakiej wyżej była mowa. Roli tej bynajmniej nie zapoznaję — owszem stosowanie doświadczeń gorącoby zalecał, ale z zastrzeżeniem już uczynionym—bez błędnej interpretacji.

Powiem więcej. Mechanika często dla tego z trudnością w młode mózgi wchodzi, że wprowadzanie jej pojęć zasadniczych przy wykładzie wydaje się żadnymi zjawiskami nieusprawiedliwione; pojęcia te nie tworzą się jakby do życia powołane przez zjawiska, ale spadają z nieba. Zaradzić temu można rodzajem propedeutyki mechaniki, gdzie szeregiem doświadczeń można byłoby uzasadnić pożyteczność szeregu pojęć, ujętych w odpowiednie nazwy bez ścisłych określeń — pożyteczność przy opisie odnośnych zjawisk. Dziecku nie wpajamy: „stołem nazywamy przedmiot etc.“, albo „mleko jest i t. d.“, lecz używając tych wyrazów, uczymy je mówić i używać tychże wyrazów we właściwym znaczeniu. Podobnież niemowląt ...chce mi się powiedzieć „me-

chanicznych“ nie należy karmić od razu określeniami: „siła jest i t. d.“ „energia jest i t. d.“, (a tym bardziej nie należy, jeżeli dalszy ciąg tych zdań jest błędny—lepiej nie dawać żadnego określenia, pozostawiając to intuicji ucznia, niż dać określenie błędne), a uczyć je mówić, używając odpowiednich nowych nazw we właściwym znaczeniu i wytwarzając poniekąd przecucie treści tych nazw, zanim w odpowiednim momencie da się określenie. Gdy ten czas odpowiedni nadejdzie, pojęcia, podlegające określeniom, nie będą już dla młodych umysłów miały pochodzenia księżycowego, mechanika nie będzie „nudna“, a wykład dla nauczyciela tak trudny, jak jest obecnie.

Pozwolę sobie na jeden przykład. Dotychczas w wykładzie mechaniki elementarnej mówi się bardzo mało, albo zgoła nie się mówi o ruchu wirowym. Słyszałem niejednokrotnie usprawiedliwienie, że wykladać o ruchu wirowym nie można bez wprowadzenia pojęcia momentu bezwładności, zaś określenie momentu bezwładności dostępne jest... bodaj na uniwersytecie. Zgadza się najzupełniej, iż podanie określenia matematycznego momentu bezwładności młodzieży, rozpoczynającej naukę mechaniki, miałyby ten sam skutek, co napychanie żołądka kamykami. Nie jest to jednak na razie potrzebne. Wiem z własnego doświadczenia, że bez dawania określenia udaje się łatwo za pomocą przykładów przyzwyczaić uczniów do posługiwania się tym terminem; uczeń, nie umiejąc tego określić, doskonale się orientuje w treści fizycznej tej nazwy i zapytany, bez błędu wskazuje, że dane ciało ma moment bezwładności większy względem jednej osi, niż względem drugiej, albo że z dwóch ciał to i to ciało posiada moment bezwładności większy. Skoro to pojęcie zostało intuicyjnie opanowane, uczeń zaczyna się ruchem wirowym więcej interesować, gdyż już się weszło poniekąd w to zjawisko, a w miarę podawania przykładów i szczegółów zapala się tak, iż książkę Perry'ego „Baki“ (przez ogół nauczycieli, zdaje się, zupełnie ignorowaną) czyta z zachwytem, pisze doskonale jej streszczenie i wpada na szereg samodzielnych pomysłów. Dla takiego ucznia mechanika raz na zawsze przestała być nudną, przeciwnie traktuje ją potem ze szczególną lubością.

Oczywiście w takiej propedeutyce mechaniki wszystko niemal opierać należy na doświadczeniu, ale znowu i tu strzec się trzeba błędów, na jakie wskazywałem wyżej.

Na tych uwagach na razie poprzestaję. Cieszyłbym się bardzo, gdyby one wywołały dyskusję.

*St. Kalinowski.*