

## O drugiej zasadzie termodynamiki w wykładzie szkolnym \*).

Głos mój w tej sprawie posiada charakter wyłącznie agitacyjny. Chodzi mi jedynie o podkreślenie zarówno pożyteczności jak możliwości wprowadzenia wykładu o 2-iej zasadzie do średniego kursu wykładowego fizyki. Podczas gdy 1-a zasada — zasada zachowania energii — zajmuje już bezsprzecznie należne jej stanowisko w wykładzie fizyki, rzecz się ma całkiem inaczej z zasadą drugą. Dają się słyszeć poważne głosy przeciw wprowadzaniu jej do kursu średniego fizyki, a jako motywy są przytaczane: 1) większa sporność samego zagadnienia z punktu widzenia naukowego, 2) trudność, a nawet niedostępność jej dla umysłów niedostatecznie przygotowanych.

Co do 1-go z tych motywów pozwolę sobie zaznaczyć, że wykład każdej nauki powinien zawsze *możliwie* odpowiadać jej społecznemu stanowi (z pominięciem, rzecz prosta, rzeczy, znajdujących się za ledwie in statu nascendi). Pamiętać jednak trzeba, iż nauka jest czymś żywym, że przekształceniom mogą podlegać najbardziej, jakby się zdawać mogło, ustalone jej części — wszak świadkami takich przekształceń jesteśmy w dobie obecnej. Zwązilibyśmy ogromnie wykład i przedstawilibyśmy naukę w niewłaściwym świetle, gdybyśmy zbyt skrupulatnie omijali wszystko, co budzi jeszcze wątpliwości. Wszak i co do pierwszej zasady (np. granic jej stosowności, empirycznego czy też nieempirycznego jej pochodzenia) niema zupełnej zgody między uczonemi; nie potrzebujemy jednak przedwcześnie takich wątpliwości w wykładzie wywlekać. Wykład powinna zawsze cechować ostrożność, ale nigdy utarta tradycją abstynencja.

Bardzo ważnym jest zarzut co do trudności, a nawet niedostępności zagadnienia. Zarzutu tego jednak nie podzielam i powołuję się na szereg znanych a udatnych niezmiernie prób popularyzacji 2-iej zasady takich uczonych jak Tait, Ostwald, Auerbach, Witkowski, Chwolson, Oettingen. Naturalnie autorowie ci poprzestają na rzeczach zasadniczych, omijając umyślnie zawilsze

\*) Streszczenie referatu, wygłoszonego na kursach wakacyjnych Warsz. Koła Matematycznego 19/IV 1913 r. Bardzo jestem obowiązany p. W. Drège za zrobienie notatek podczas wykładu, które mi umożliwiły odtworzenie referatu.



strony sprawy, ale właśnie o to chodzi, by człowiekowi, stawiającemu pierwsze kroki w nauce, dać możliwość pierwszego zorientowania się w najważniejszych zagadnieniach tej nauki, bodaj nawet przeczucia lub wyczucia tych zagadnień, pozostawiając gruntowniejsze zgłębienie późniejszej jego pracy samodzielnej.

Często się też powołują przeciwnicy wykładu 2-jej zasady na trudność popularnego jej zdefiniowania. Otóż, po pierwsze drugą zasadę można rozmaicie formułować i istotnie rozmaicie ją różni uczeni formułują, używając nieraz bardzo łatwo zrozumiałych zwrotów; powtóre zaś nie o definicję chodzi, lecz o treść. Z definicjami zresztą wogóle należy być przy wykładzie ostrożnym i nie zanadto z niemi śpieszyć.

Jak już wspomniałem, 1-a zasada nie budzi już wśród nauczycieli fizyki żadnych wątpliwości i wykład fizyki opieramy na zasadzie zachowania energii nie tylko na poziomie średnim, ale i elementarnym. Wszak już w propedeutyce fizyki mówimy o niemożliwości perpetuum mobile (oczywiście mowa tu o t. zw. perpetuum mobile 1-go rodzaju).

Budując jednak wszystko na zasadzie zachowania energii, nie jesteśmy w stanie przemilczeć tych wypadków, które, jako nieprzeczące tej zasadzie, pomyśleć się dają, ale które pomimo to nie zachodzą. Co więcej, zawsze jesteśmy narażeni na następujące pytanie bardziej inteligentnego ucznia: „jeżeli jest niemożliwe (lepiej go nauczyć mówić w tym wypadku „nieprawdopodobne“) to, co zasadzie zachowania energii przeczy, to czy jest odwrotnie zawsze możliwe (lepiej „prawdopodobne“) to wszystko, co tej zasadzie nie przeczy?“

Przykład przechodzenia ciepła z jednych ciał na inne o innej temperaturze pozwala doskonale objaśnić ucznia o niedostateczności 1-jej zasady, jako nie dającej żadnej wskazówki co do kierunku, w którym zjawiska zachodzą (nie mają \*). Bardzo przeciętny uczeń zrozumie, iż zasadzie zachowania energii bynajmniej nie przeczyłby fakt samorzutnego przejścia ciepła z ciała zimniejszego na cieplejsze, fakt, nie dający się nigdy w doświadczeniu stwierdzić. Ustalenie więc niedostateczności 1-jej zasady oraz nieobjętej przez nią tendencji w zjawiskach da się zrobić łatwo; jasne będzie, iż zasada ta wymaga uzupełnienia, określającego ową tendencję.

Niepodobieństwem jest pominięcie w wykładzie szkolnym motoru cieplnego, w szczególności parowego. Tu znowu nasuwa się konieczność uzupełnienia zasady 1-jej \*\*). Funkcjonowanie takiego motoru najlepiej się daje objaśnić za pomocą schematu w rodzaju podanego przez A. Witkowskiego w jego II tomie, z którego uczeń zrozumie, iż motor taki musi się składać z kotła i chłodnicy, zrozumie pośredniczącą jedynie rolę pary wodnej czy też innego gazu, zrozumie, że praca mechaniczna motoru otrzymuje się jedynie z ciepła, ale zarazem, że nigdy ciepło, pobrane w kotle, nie może się cał-

---

\*) Nie zapominam bynajmniej o krytyce, dotyczącej granic słuszności 2-jej zasady,—krytyce, która znalazła tak piękny wyraz w ostatnich pracach M. Smoluchowskiego. W „makrofenomenach“, a z temi wszak mamy do czynienia w kursie średnim, zaprzeczenia 2-jej zasady nie znajdziemy.

\*\*\*) Przypuszczam oczywiście, iż wykład ten nie ogranicza się do pokazania małej maszyny parowej oraz tego, że ona „działa“ (i gwizdzie...).



kowiecie przekształcić w tę pracę mechaniczną, gdyż część jego oddaje się chłodnicy, że wreszcie warunkiem decydującym funkcjonowania motoru jest różnica temperatur kotła i chłodnicy.

Pozwalam sobie twierdzić na podstawie kilkunastoletniego doświadczenia, że przeciętny uczeń rozumie to wszystko z łatwością.

Dobrze, jeżeli nauczyciel może, mówiąc o powyższym, zrobić wycieczkę w dziedzinę zjawisk elektrycznych i przytoczyć tworzenie się prądów termoelektrycznych, podkreślając i tutaj różnicę temperatur jako warunek analogiczny.

W ten sposób doprowadzamy ucznia do zdawania sobie sprawy, iż nie-  
dość jest posiadać pewną ilość energii cieplnej, aby móc ją przekształcić w in-  
ny (dajmy na to pożądaną dla nas) rodzaj energii. Warunkiem takiego prze-  
kształcenia jest istnienie ciał o różnych temperaturach, występujących w roli  
kotła i chłodnicy, przy czym przekształcaniu się temu towarzyszy zawsze  
stopniowe równanie się temperatur (albowiem do chłodnicy przechodzi zawsze  
bezużytecznie część ciepła, pobranego w kotle), a co zatym idzie stopniowe znika-  
nia tego niezbędnego do przekształcania się warunku. Treść drugiej zasady zo-  
staje w ten sposób uczniowi wpojona. Bardzo wdzięcznym jest w tym miej-  
scu przedstawienie uczniowi, czym byłoby perpetuum mobile, przeczące tej  
drugiej zasadzie, a twierdzeniem o niemożliwości perpetuum mobile 2-go ro-  
zaju uzupełnilibyśmy znakomicie ustalony już dawniej pewnik o niemożli-  
wości perpetuum mobile rodzaju 1-go, przeczącego zasadzie 1-ej.

Dalej nie przedstawi już trudności wyjaśnienie uczniowi, iż nieznaczna  
różnica temperatur praktycznie równa się nieistnieniu tej różnicy. Stąd jas-  
nym się staje, dla czego mając olbrzymie zasoby ciepła dookoła nas, w wo-  
dach oceanów, w atmosferze etc. nie jesteśmy w stanie tego ciepła użyt-  
kować.

Jasną się staje idea rozpraszania się energii, tak pięknie a prosto za-  
razem wyłożona przez A. Witkowskiego; jasnym staje się dążenie zjawisk,  
odbywających się w układzie odosobnionym, ku pewnemu fatalnemu kresowi.

Na tym naogół możemy poprzestać.

Mając jednak uczniów zdolniejszych i bardziej wyrobionych matema-  
tycznie, umiejących się posługiwać symbolami matematycznymi, a co ważniej-  
sza odczuwających estetykę tych symboli i mających rozbudzony gust do wy-  
rażania myśli zapomocą tych symboli, możemy pójść dalej nieco i, wzorując  
się na Ostwaldzie, wyłożyć w sposób elementarny pojęcie entropji. Zauważmy  
bowiem, iż pytanie „co to jest entropja“ usłyszymy od każdego bardziej inte-  
ligientnego ucznia.

Wyobraźmy, że układ odosobniony składa się z dwóch tylko ciał, z któ-  
rych jedno ma temperaturę  $T_1$  drugie zaś  $T_2$ , przytym niech  $T_1 > T_2$ . Ciepło  
może przechodzić tylko z pierwszego ciała na drugie, czego właśnie 1-a za-  
sada nie przewiduje. Niech więc pewna bardzo mała ilość ciepła przechodzi  
z ciała o temperaturze  $T_1$  na ciało o temperaturze  $T_2$ . Oczywiście będzie  
temu towarzyszyło obniżanie się temperatury pierwszego ciała i wzrost tem-  
peratury ciała drugiego; te zmiany temperatury jednak będą tym mniejsze-  
im mniejsze założymy  $q$ . Zakładając tedy, iż  $q$  jest dostatecznie małe, bę-  
dziemy mogli użyć wyrażenia: ilość ciepła  $q$  przechodzi z ciała o temperatu-  
rze  $T_1$  na ciało o temperaturze  $T_2$ . Biorąc teraz  $q$  jako dodatnie względem



drugiego ciała, które ciepło pobiera, oraz za ujemne względem pierwszego ciała, która ciepło oddaje, utwórzmy następujące ułamki  $-\frac{q}{T_1}$  oraz  $\frac{q}{T_2}$

Oczywiście suma tych ułamków

$$-\frac{q}{T_1} + \frac{q}{T_2} > 0,$$

gdyż drugi ułamek posiada mianownik podług założenia mniejszy.

Dla każdej ilości ciepła, przechodzącej z pierwszego ciała na drugie możemy napisać wyrażenie podobne; mianowniki będą wciąż inne, suma jednak każdej pary odpowiednich ułamków będzie zawsze  $> 0$ .

Cóż z tego wynika? A oto, że możemy utworzyć pewną funkcję typu

$\sum \frac{q}{T}$ , gdzie  $q$  oznacza ilość ciepła, zaś  $T$  temperaturę,—funkcję, która będzie miała tę szczególną własność, iż będzie wzrastała w miarę jak dwa przez nas rozpatrywane ciała będą dążyły do zrównania temperatur. Nazwijmy tę właśnie funkcję entropją. Jasne jest, iż po wprowadzeniu tego pojęcia, zamiast mówić: „ciepło przechodzi tylko z ciała cieplejszego na zimniejsze“, albo „różnica temperatur w układzie odosobnionym stopniowo zanika“, co właściwie jedno i drugie wyraża drugą zasadę, możemy powiedzieć „entropja wzrasta“.

Prawda, rzecz została wyjaśniona na poszczególnym przykładzie (z pominięciem przytym odpowiedniego znakowania matematycznego), jednak uczeń będzie już mógł zaspokoić swoją pierwszą ciekawość.

On już zrozumie zapewnienie nauczyciela, iż w podobny sposób można utworzyć analogiczną funkcję dla jakiegokolwiek układu odosobnionego i iż ta funkcja będzie zawsze wzrastała, skoro zjawiska odbywają się zgodnie z drugą zasadą. Twierdzenie więc o wzroście entropji będzie dogodnym wyrażeniem drugiej zasady.

Jak powiedziałem, rzeczy te można mówić jedynie uczniowi o rozbudzonym guście matematycznym. O ile jednak takich uczniów mamy, zrobimy im prawdziwą satysfakcję, wyjaśniając, jak wielkie i głębokie znaczenie może posiadać symbol matematyczny. Uczeń dojrzy we wzorze matematycznym pewną wielką fizyczną treść. Dotychczas znał on tylko jedną potęgę, iż użyjemy terminologii Auerbacha, potęgę jasną i wieczną: energję — wieczną, gdyż energja układu odosobnionego jest stała; jasną, gdyż wszystko, co się w układzie dzieje, wszystko to z niej. A oto występuje nowa potęga, potęga ciemna, demoniczna—entropja. Ona wciąż rośnie, ale wraz z jej wzrostem układ dąży do zrównania temperatur, do zaniku przekształceń energji t. j. do kresu zjawisk,—do tego, co stanowi śmierć w znaczeniu fizycznym. Entropja wzrostem swym nie niszczy energji — energja pozostaje wieczna, ale... czyni ją martwą. Czarna potęga zwycięża ostatecznie potęgą świetlaną.

Na zakończenie pozwolę sobie jeszcze na jedną okoliczność zwrócić uwagę. Oto trudno jest często nam nauczycielom pozbyć się pewnych przesądów, uprzedzeń, wpojonych nam od czasu naszych lat szkolnych. Nauczyciel często, nie zdając sobie z tego sprawy, przeświadczony jest, iż tego czy innego nie można lub nie należy wykładać w szkole, dla tego jedynie, iż



jego w szkole tego nie uczono. Owa „bezwładność“ nauczycieli jest rzeczą, bardzo naturalną i usprawiedliwioną, nie może być jednak zaliczona do cech dodatnich, a więc... należy z nią walczyć. Zobaczmy, jak wielkie postępy robi wykład matematyki w szkołach, jak pewne pojęcia (np. pojęcie o spółrzednych), które nam wpajanò zaledwie na uniwersytecie, wpajane są z łatwością uczniom w kursie elementarnym. Niech że i nauczyciel fizyki otrząśnie się z przekonania, że uczeń jego nie jest w stanie zrozumieć tego, czego on sam w wieku ucznia nie rozumiał, gdyż mu o tym wcale nie mówiono.

I jeszcze jedno dodam. W słusznym zupełnie przekonaniu iż wykład zawsze powinien być dla ucznia zrozumiały, często posuwamy się zadaleko; przesadzamy w elementaryzowaniu wykładu. Przesada ta stanowczo wywiera zły skutek. Z jednej strony przyzwyczajają ona ucznia do jaknajmniejszego myślenia, z drugiej – nuży i... nudzi. Natomiast prowadzenie wykładu w ten sposób, by uczeń wciąż myśleć musiał, podsuwanie mu zagadnień nawet trudniejszych, ale ciekawych, nie tylko czyni aparat myślowy ucznia sprawniejszym, ale zachęca do pracy, często zapala, a już stanowczo budzi z tego uśpienia, w którym pozostaje, gdy mu się podsuwa do połknięcia jedynie pokarm, przeżuty do niemożliwości.

Jak powiedziałem wyżej, głos mój w poruszonej sprawie posiada charakter agitacyjny. Jeśli słowa powyższe będą miały ten skutek, iż część kolegów zechce przynajmniej w charakterze próby wprowadzić do wykładu 2-ą zasadę, jeżeli obudzą one dyskusję, będę uważał, iż cel został osiągnięty.

*St. Kalinowski.*