

## Pierwsza zasada termodynamiki w przemianach stanu gazu doskonałego.

*Wojciech Dindorf*

Kiedyś proszono mnie, bym przemówił podczas uroczystego pożegnania maturzystów (z których ok. 40% przeszło kurs fizyki). Z przemówienia jakie wygłosiłem, pamiętam to, co poniżej przeczytacie.....

„...Chcę Wam dać na drogę równanie. To równanie, które zawsze proponowałem swoim uczniom, by zapisane dużymi literami oprawili w ramkę i powiesili nad łóżkiem. Równanie, które nazywałem „Prawem Życia”. Popatrzcie na nie jeszcze raz

$$\Delta Q = \Delta U + \Delta W$$

Odczytać można ten lapidarny zapis na wiele sposobów, ale zawsze sprowadzi się do tego samego” **zewnątrzne źródło dostarcza układowi energię  $\Delta Q$ , której część układ przeznaczy na wewnętrzne potrzeby  $\Delta U$ , a część posłuży do wykonania pracy na zewnątrz  $\Delta W$ ”.**

Tak jest, gdy układem jest silnik samochodowy – tankujesz i spalasz –  $\Delta Q$ , podnosi się temperatura silnika, ładuje się akumulator –  $\Delta U$ , jedziesz –  $\Delta W$ .

Tak też jest, gdy układem jesteś Ty – jesz, oddychasz i spalasz –  $\Delta Q$ , utrzymujesz sprawność systemu (zdobywasz wiedzę, nie stygniesz nawet w zimie) –  $\Delta U$ , pracujesz (mówisz, tańczysz, sprzątasz...) –  $\Delta W$ .

Jak przypomnisz sobie zasadę zachowania energii, to skojarzysz łatwo, że to przecież nic innego, tylko jeden z przypadków tej wielkiej wszechświatowej zasady. To jest **pierwsza zasada termodynamiki**. Musi ktoś dać, by ktoś wziął. Musi coś stracić, by coś zyskało. Pozwólcie, że poszukam analogii odpowiadającej Waszej nowej sytuacji. Bądźcie przez chwilę układem. Czerpalicie z zewnątrz Wasze  $\Delta Q$  od całej armii rodziców i opiekunów, od szkoły i od nauczycieli. To zapewniało nie tylko Wasze sprawne funkcjonowanie, ale zwiększało Waszą energię wewnętrzną umożliwiało Wam wykonywanie różnorodnych prac  $\Delta W$ . Musicie odejść. Wszyscy ze szkoły, prawie wszyscy z domu. Każdy indywidualnie, każdy w inną stronę. Wielu z Was utraci nagle gwarantowane dotąd  $\Delta Q$ . Stajecie wobec sytuacji, kiedy:

$$0 = \Delta U + \Delta W$$

czyli przyjdzie pracować kosztem nagromadzonej energii wewnętrznej, a jej może na długo nie starczyć. W fizyce to, co dzieje się z układem, gdy zabraknie dopływu lub odpływu energii z zewnątrz, nazywa się **przemianą adiabatyczną**. Tylko na krótką metę rzeczywisty układ może taką przemianę wytrzymać. Nikt nie wybiera się w długą podróż bez karty kredytowej czy gotówki w kieszeni.

Nie traćcie z nami kontaktu. Szukając nowych źródeł zasilania, pamiętajcie o dotychczasowych. Zachowajcie równowagę między  $\Delta U$  i  $\Delta W$ , dając z siebie innym wszystko, ale nie dosłownie. Miejcie w zasięgu wzroku „stacje benzynowe”  $\Delta Q$  i kontrolujcie Wasz stan energetyczny  $\Delta U$ , nie zapominając o pracowitości  $\Delta W$ .

### Scenariusz lekcji

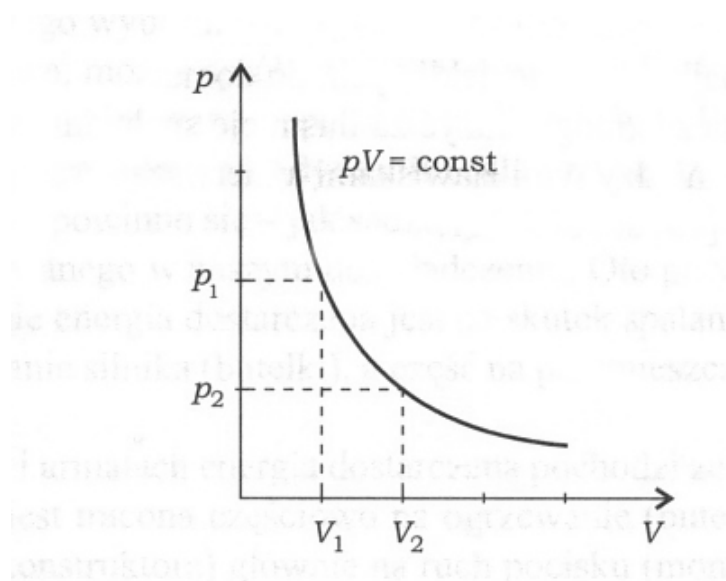
Przypomnijmy pierwszą zasadę termodynamiki, zapisując ją na tablicy:

$$\Delta Q = \Delta U + \Delta W$$

Odwołując się do wcześniej zdobytej wiedzy, przypominamy, że gaz doskonały jest posłuszny prawu  $pV = nkT$ . Pierwsza zasada termodynamiki jest doskonałym narzędziem do rozwiązywania problemów. Przeanalizujmy przemiany gazu doskonałego.

### Przemiana izotermiczna.

Idealna, niemal nieosiągalna sytuacja.  $\Delta U = 0$ . Tego chcemy. Temperatura odpowiedzialna za energię wewnętrzną gazu nie zmienia się. Mamy to, co chciał genialny Joule. Praca wykonana nad gazem ma ogrzewać wyłącznie otoczenie. Mamy prawo Boyle'a:  $pV = \text{const}$ . Ciepło dostarczone gazowi nie ma prawa tego gazu ogrzać, a ma być w całości wykorzystane na wykonanie pracy – popchnięcie tłoka, zwiększenie objętości  $\Delta V$ . Trzeba dodać, że – niestety – ciśnienie też się zmienia, więc obliczyć ilość pracy można w zasadzie tylko z wykresu.



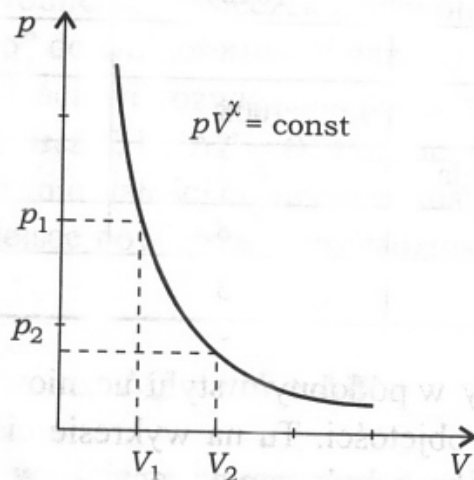
Tu dygresja: tak jak w wielu innych miejscach nauczyciel zwraca uwagę, że przy zmienności wszystkiego na raz i wszędzie wyodrębnienie wyizolowanych procesów może mieć tylko charakter przybliżony, może służyć jako eksperyment myślowy, może pomóc w wyprowadzaniu wzorów. Modelowanie procesów w przyrodzie jest zawsze idealizowaniem. Tu podobnie jak w ruchu bez tarcia, jak z doświadczeniami na poziomej płaszczyźnie, jak przy pompowaniu opony rowerowej, jak w ruchu ze stałym przyspieszeniem zawsze w większym lub mniejszym stopniu idealizujemy. Warto na tym poziomie o tych sprawach mówić nie po to, by podważyć zaufanie do nauki, ale po to, by sobie uświadomić, do jakich działań Przyroda nas zmusza i jak sobie z tym radzimy.

### Przemiana adiabatyczna

Odizolować układ od zewnętrznego świata, inaczej  $\Delta Q = 0$ , to wynalezienie bariery dla trzech „intruzów”: konwekcji, przewodnictwa i promieniowania. W żadną stronę, żadnym ze sposobów ciepło nie może ani dopływać, ani odpływać z naszego układu. Wyobrażamy sobie taki idealny zamknięty układ, gdzie mamy albo pracę kosztem własnej energii układu, albo wzrost energii, bo ktoś z zewnątrz ściska układ. Pierwsze, co przychodzi na myśl, to to, że gdyby dodać, że wszystko odbywa się w bardzo krótkim czasie, to jeszcze można by to sobie wyobrazić. I słusznie. Nawet kłaśnięcie dłońmi można by uznać za proces adiabatyczny. Sprężenie gazu nastąpiło tak szybko, że zanim cokolwiek z energii wewnętrznej zdołało uciec, proces można było uznać za adiabatyczny.

Tu podobnie jak poprzednio można sporządzić wykres w układzie współrzędnych  $p$ - $V$ . Zwracamy uwagę, że krzywa przebiegać będzie bardziej stromo niż poprzednio. Tu ciśnienie wzrasta nie tylko z powodu zmniejszania objętości, ale i z powodu zmiany energii

mechanicznej (pracy) na energię wewnętrzną (wzrost temperatury). Gdy gaz rozprężamy, to „gasimy” ruch cząsteczek, podobnie jak tenisista „gasi” piłkę, cofając raketę w czasie zderzenia.



Na obu wykresach w takiej samej skali można zakreślić ilość pracy  $\Delta W$  wykonanej dla tej samej różnicy objętości  $\Delta V$ . Podczas dyskusji można zwrócić uwagę, że tym samym  $\Delta V$  odpowiadają różne zmiany  $\Delta p$  i zastanowić się, dlaczego.

Tu można wspomnieć o cyklu Carnota – klasycznym idealnym silniku, a także o mniej klasycznym, a praktycznym silniku wysokoprężnym Diesla, gdzie właśnie stare ciśnieniowe „krzesiwo” zostało w nowoczesny sposób wykorzystane.

### Przemiana izobaryczna

Tu „najpełniej” spełnia się trójczłonowa forma zasady zachowania energii. Ułatwienie zaś pochodzi od faktu, że ciśnienie ma być stałe. Przypominać to może ruch ze stałym przyspieszeniem – nie najprostszy, ale łatwy do analizy. Pokażmy tę przemianę również w układzie  $p$ - $V$  i także zaznaczmy ilość wykonanej pracy przy określonej zmianie objętości. Dla analizy bardziej szczegółowej – jeśli czas pozwala i klasa nie zasypia, powtórzmy pierwszą zasadę termodynamiki:

$$\Delta Q = \Delta U + \Delta W$$

którą dla gazu doskonałego możemy zapisać w postaci:

$$\Delta Q = mc\Delta V + p\Delta V, \text{ albo jeszcze prościej (pamiętając, że } pV = nkT);$$

$\Delta Q = mc\Delta T + nk\Delta T$ , co jeszcze inaczej zapisane daje nam „wzór na” ciepło właściwe gazu przy stałym ciśnieniu:

$$c_p = \frac{\Delta Q}{m\Delta T} = c_v + \frac{n}{m}k \text{ albo, jak lubią chemicy zapisywać dla jednego mola zamiast}$$

kilograma – ciepło molowe  $C_p$  przy stałym ciśnieniu  $C_p = C_v + R$ .

Przedostatnie równanie pozwala wnioskować, nie wchodząc w szczegóły, że gaz o najlżejszych cząsteczkach powinien posiadać największą wartość ciepła właściwego. Można zaproponować, by w podobnym stylu uczniowie opracowali „referat” na temat przemiany przy stałej objętości. Tu na wykresie ciśnienia w funkcji objętości wyraźnie będzie zauważalny brak wykonania pracy. Cała energia została (dla gazu doskonałego) zużytkowana na wzrost temperatury, stąd  $C_v$  jest mniejsze niż  $C_p$  – ale to są problemy pozaprogramowe, nieobowiązkowe, a ponieważ takie najlepiej są zapamiętywane, więc może warto o nich mówić.