

## Moja Fizyka, Przewodnik metodyczny i scenariusze lekcji Wojciech Dindorf, Elżbieta Krawczyk

Temat: *Jak spełniona jest pierwsza zasada termodynamiki w przemianach stanu gazu doskonałego.*

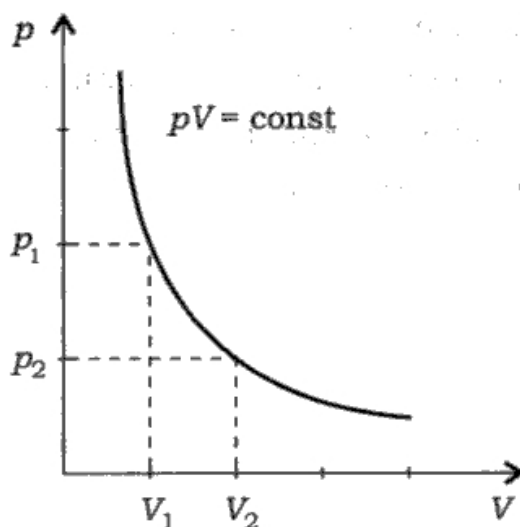
Przypominamy pierwszą zasadę, termodynamiki, zapisując ją na tablicy: **Pierwsza zasada termodynamiki**

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

Odwołując się do wcześniej zdobytej wiedzy, przypominamy, że gaz doskonały jest posłuszny prawu  $pV = nkT$ . Pierwsza zasada termodynamiki jest doskonałym narzędziem do rozwiązywania problemów. Przeanalizujemy 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 (jak nie znasz metod całkowania).

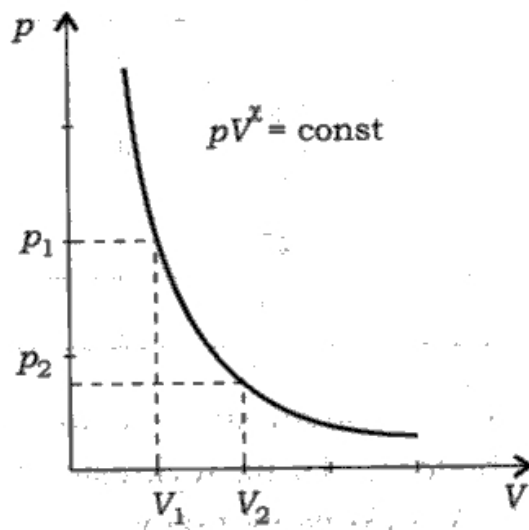


Nie można sobie wyobrazić, by proces zbliżony do izotermicznego mógł zachodzić bez lokalnych odstępstw od „izotermiczności”.

Tu dygresja: tak jak w wielu innych miejscach nauczyciel zwraca uwagę, że przy zmienności wszystkiego na raz i wszędzie wyodrębnianie wyizolowanych procesów może mieć tylko charakter przybliżony, może służyć jako eksperyment myślowy, może pomóc w formowaniu (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 adiabaticzna** jest równie ciekawa (co nieosiągalna). 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 (termosu - na przykład). 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 adiabaticzny. Sprężenie gazu nastąpiło tak szybko, że zanim cokolwiek z energii wewnętrznej zdołało uciec, proces można było uznać za adiabaticzny.

Tu podobnie jak poprzednio (choć nieco trudniej) można sporządzić wykres w układzie współrzędnych p-V (ciśnienie-objętość). Zwracamy uwagę, że krzywa przebiegać będzie bardziej stromo niż poprzednio. Tu ciśnienie wzrasta nie tylko z powodu zmniejszania objętości, ale i z powodu zamiany 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. Popatrzmy na wykres.



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 zmianom  $\Delta V$  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:

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

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

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

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.

Zboczyliśmy nieco z trasy, ale zwiedziliśmy po drodze niektóre tylko ciekawe okolice. Przy okazji może przyda się nauczycielowi podręczna tabelka ciepła właściwego (przy stałym ciśnieniu) dla kilku gazów.

Nazwa gazu	$c_p$ [J/(kg*K)]	Masa cząsteczkowa
wodór	14303	2
hel	5193	4
azot	1040	28
tlen	918	32
powietrze	1008	30
dwutlenek węgla	843	44
chlor	478	70
radon	93	222

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.

Tyle na jedną lekcję wystarczy.