

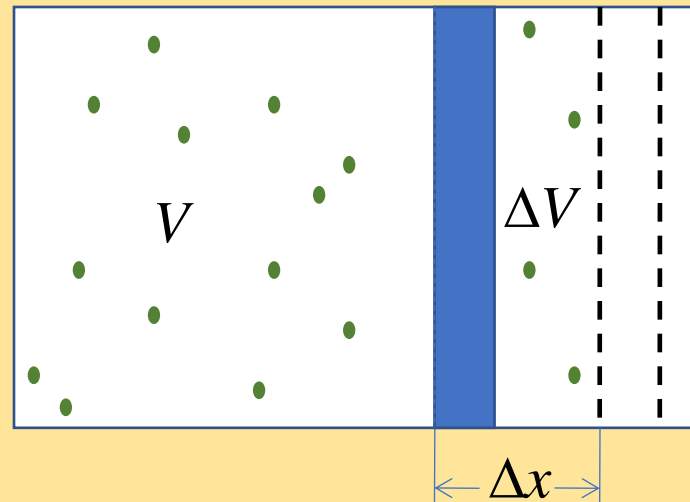
Гасни закони

Даница Никезић

Небојша Даниловић

Момир Арсенијевић

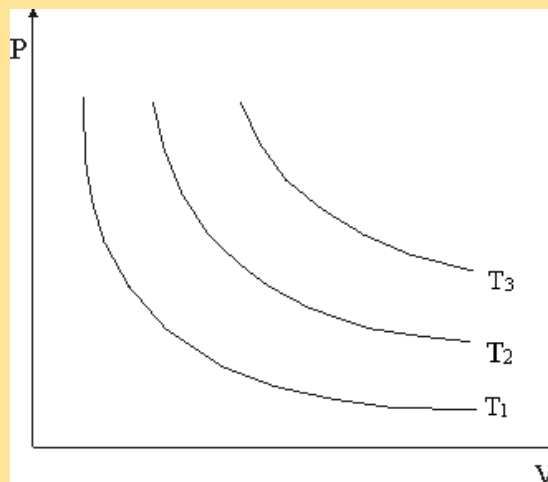
- Када се каже термодинамика, подразумева се феноменолошка, класична термодинамика, тј. термодинамичка теорија изграђена на посматрању феномена и њихових ефеката, без позивања на микроскопску структуру материје. У питању је физичка дисциплина која проучава енергијске промене у току термодинамичког процеса као и везу тих промена са особинама материје која учествује у њима.
- Најједноставнији термодинамички системи за проучавање су тзв. термомеханички системи који су окарактерисани термодинамичким параметрима p (притисак), V (запремина) и T (температура). Најпознатији и најважнији пример термомеханичког система је модел идеалног гаса. То је модел где је притисак гаса мали, а температура гаса висока. У овом моделу својства молекула су упрошћена: запремине и интеракције између молекула су занемарљиве, а судари међу молекулима су еластични. За притиске мање од $10^7 Pa$ и температуре веће од $100 K$, експериментално је утврђено да се прости гасови (O_2, N_2, H_2, CO_2) уклапају у модел идеалног гаса.
- Нека је идеални гас затворен у посуду са покретним клипом, што омогућава варирање запремине и притиска термодинамичког система, како је приказано на слици доле.



Понашање идеалног гаса може се испитивати тако што се један термодинамички параметар држи константним, а остали се мењају. Тако, разликујемо изотермске процесе (температура је фиксирана), изохорске процесе (запремина је фиксирана) и изобарске процесе (притисак је фиксиран). За сваку од ових ситуација физичари су експериментално утврдили одговарајуће функционалне везе између термодинамичких параметара. Погледајмо сада који су то закони и како гласе везе које су експериментално нађене.

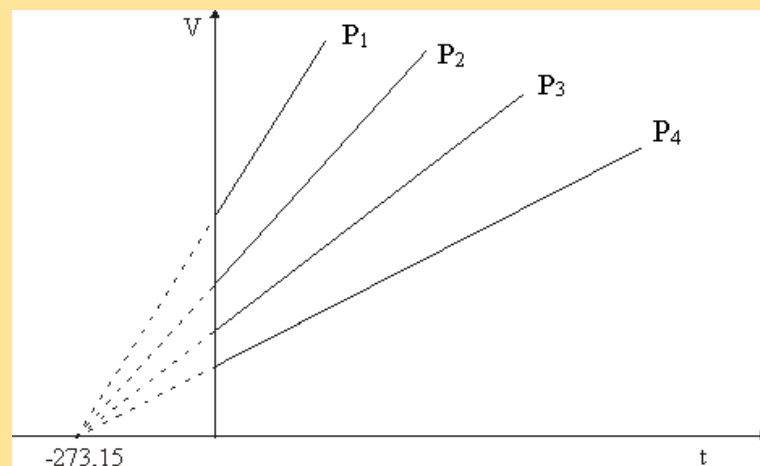
Изотермски процес: Бојл-Мариотов закон

За овакав процес, користи се тзв. $p - V$ дијаграм. На графику су приказане експериментално добијене криве: препознајемо хиперболе код којих важи $T_3 > T_2 > T_1$.



Користећи знање из математике, јасно је да је у питању функционална веза $(pV)_{m,t} = const$ где индекси m, t стоје да би се нагласило да су маса и температура гаса фиксирани.

Изобарски процес: Геј-Лисаков закон



Горњи график ($V - t$ дијаграм) приказује експериментално добијене изобаре, при чему важи $p_4 > p_3 > p_2 > p_1$. Као што се види, у питању је линеарна зависност (позната из математике као $y = kx + n$) која за изохорски процес гласи

$$V_t = V_0(1 + \alpha t).$$

Константа α је **коэффициент топлотног ширења** и говори о релативној промени запремине при порасту (смањењу) температуре. V_0 је запремина гаса

на $t = 0^\circ\text{C}$. Експериментално је нађено да је нумеричка вредност $\alpha = 1/273.15^\circ\text{C}$.

Поред Целзијусове скале, користи се и Келвинова скала, код које је размак подеока исти као код Целзијусове скале а веза између скала гласи $T = 273.15 + t^\circ\text{C}$. Дакле, температура у Келвиновој скали се означава са T а изражава се у келвинима (K).

Као што се види на слици са изобарама, оне екстраполирају у једну тачку чија је вредност $t = -273.15^\circ\text{C}$ при чему је запремина идеалног гаса на тој температури нула. И заиста, из Геј-Лисаковог закона одозго следи

$$0 = V_0 + V_0 \frac{1}{273.15^\circ\text{C}} t \Rightarrow t = -273.15^\circ\text{C}$$

што ће у Келвиновој скали дати $T = 0K$ и то је тзв. температура апсолутне нуле. Сада

$$V_t = V_0(1 + \alpha t) = V_0 \left(1 + \frac{1}{273.15^\circ\text{C}} t \right) = V_0 \left(\frac{273.15^\circ\text{C} + t}{273.15^\circ\text{C}} \right) = V_0 \frac{T}{T_0},$$

односно:

$$\frac{V}{V_0} = \frac{T}{T_0},$$

што је Геј-Лисаков закон у Келвиновој скали. Наравно, T_0 је температура од 273.15 K а V_0 је одговарајућа запремина гаса на тој температури. Поменута запремина и температура ни по чему нису од посебног физичког значаја: горе могу фигурирати произвољна запремина и притисак.

При графичком представљању Геј-Лисаковог закона у Келвиновој скали, једина разлика у односу на горњи дијаграм ће бити да све праве екстраполирају у нулу.

Изохорски процес: Шарлов закон

У овом процесу, запремина термодинамичког система се не мења а веза између притиска и запремине је, тј. Шарлов закон је:

$$p_t = p_0(1 + \gamma t),$$

где је γ температурски коефицијент пораста притиска а говори о релативној промени притиска при порасту (смањењу) температуре. Дијаграм за Шарлов закон исти је као и у $(V - t)$ дијаграму, само треба заменити

$V \rightarrow p$. Истим резеном као горе, следи Шарлов закон у Келвиновој температурској скали:

$$\frac{p}{p_0} = \frac{T}{T_0}.$$

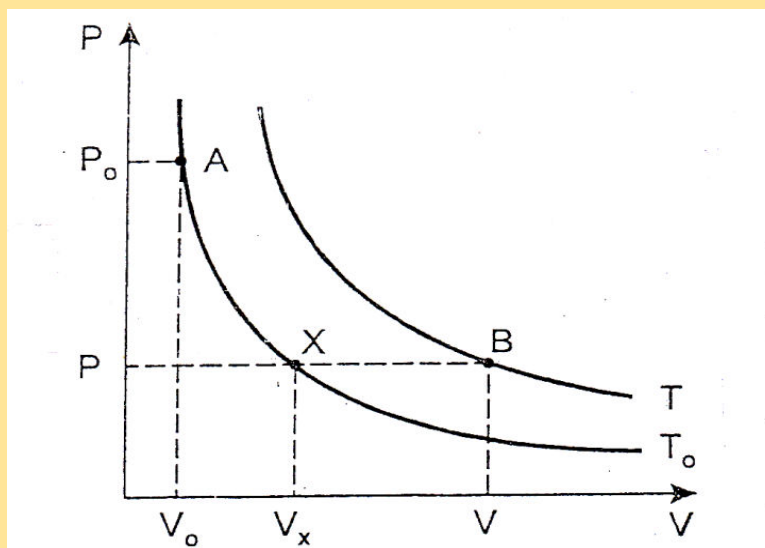
На слици доле приказана је апаратура за експерименталну вежбу „Провера важења Шарловог закона“.



Напомене

- Бојл-Мариотов закон има исти облик у свим температурским скалама.
- Може се показати да важи $\alpha = \gamma$.
- Горе дискутовани процеси се једним именом зову изопроееси.

Познајући горње законе, може се добити функционална веза између притиска, запремине и температуре што је једначина стања за идеални гас.



На горњем дијаграму приказане су две изотерме које су повезане једном изобаром XB . Гас се прво изотермски шири од A до X па онда иде изобарски процес. Одговарајуће везе гласе:

$$P_0V_0 = pV_x$$

и

$$\frac{V}{V_x} = \frac{T}{T_0} \Rightarrow V_x = \frac{T_0V}{T}.$$

Сменом добијеног у прву релацију следи једнакост:

$$\frac{P_0V_0}{T_0} = \frac{pV}{T}.$$

При нормалним условима $P_0 = 101325 \text{ Pa}$ (тзв. једна атмосфера), $T_0 = 273.15 \text{ K}$ запремина једног мола идеалног гаса износи $22.414 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 \text{ mol}^{-1}$.

Количник $\frac{P_0V_0}{T_0}$ износи $8.31451 \frac{\text{J}}{\text{mol K}}$ и назива се **универзална гасна константа**. Дакле, за један мол гаса:

$$\frac{pV}{T} = R,$$

односно:

$$pV_M = RT,$$

где је са V_M специјално назначено да је у питању један мол гаса (иначе се пише само V). Ако је у питању n молова гаса, запремина гаса биће дата као $V = nV_M$, па из последње једнакости следи:

$$pV = nRT.$$

Узимајући у обзир да број молова гаса може бити дат и изразом $n = \frac{N}{N_A}$, где је N_A тзв. Авогадров број, а N укупан број честица гаса може се писати:

$$pV = \frac{N}{N_A}RT = NkT,$$

где је $k = \frac{R}{N_A}$ тзв. Болцманова константа а која директно проиходи из молекуларно-кинетичке теорије гасова. Њена вредност је $1.38 \cdot 10^{-23} \text{ J/K}$.

Питања и задаци

1. Нацртати функцију $ux = 5$, где је x независно променљива.
2. Нацртати функцију $y = 5x + 5$, где је x независно променљива.
3. Која је нумеричка вредност Авогадровог броја?
4. Нацртати дијаграме за Шарлов закон у Целзијусовој и Келвиновој температурској скали.
5. Израчунати, експлицитно, количник $\frac{P_0V_0}{T_0}$ који се помиње горе, у тексту.
6. Колико молова идеалног гаса има у запремини од $3.6m^3$ при нормалним условима?
7. У посуди од $3.6m^3$ налази се 3 мола идеалног гаса на температури од 400К. Колики је притисак у посуди?
8. Познато је да у посуди запремине $3.6m^3$ влада притисак од две атмосфере и да је температура гаса 273.15 К. Колико износи број честица у посуди?
9. Које су особине модела идеалног гаса?
10. Шта су то изопроееси?
11. Погледати линк који се тиче провере Шарловог закона
<http://fizis.rs/гимназија/ii-разред/molekulsko-kineticka-teorija/sarlov-zakon/>