

Термодинамика

Небојша Даниловић

Момир Арсенијевић

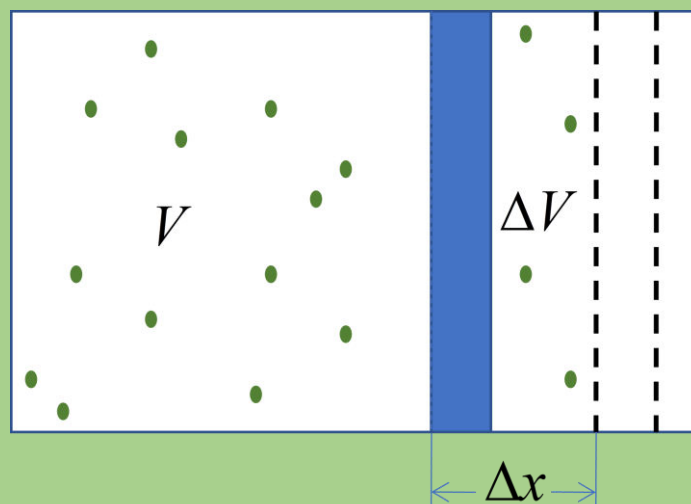
Термодинамика

- Када се каже термодинамика, подразумева се феноменолошка термодинамика, тј. термодинамичка теорија изграђена на посматрању феномена и њихових ефеката, без позивања на микроскопску структуру материје. Користи се и термин класична термодинамика. 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. Сматра се за једну од најбоље потврђених физичких теорија.
- Најједноставнији системи за проучавање су тзв. термомеханички системи који су окарактерисани термодинамичким параметрима p (притисак), V (запремина) и T (температура). За овакав скуп променљивих, а на основи искуства, постулира се **једначина стања** која их повезује, а у имплицитном облику гласи

$$f(p, V, T) = 0.$$

Један конкретан пример термодинамичког система је неки гас затворен у посуди са покретним клипом, што омогућава промену запремине и притиска

термодинамичког система, што је приказано на слици доле. Нека је гас идеални



у чијем је случају једначина стања $pV = NkT$, где је N број честица а k је Болцманова константа.

- Феноменолошка термодинамика ослања се на четири закона.

Нулти закон термодинамике: Стање равнотеже међу системима који су доведени у контакт **постоји** и важи особина транзитивности. Другим речима

$$A \sim B, B \sim C \Rightarrow A \sim C,$$

при чему симбол \sim овде означава термодинамичку равнотежу а A , B и C су ознаке термодинамичких система.

Овај закон термодинамике омогућава увођење појма температуре тела, тзв. **емпиријске температуре**. Може се изабрати тело које ће служити као термометар и са кога ће се температура читавати. Назив емпиријска отуда што је термометар конструисан тако да зависи од промене неког термодинамичког параметра произвољне супстанције, али тако да нема универзалности у читавању. Другим речима, промена температуре може бити доведена у везу са променом запремине изабране супстанције. Али, да ли све супстанције имају исти одзив на некој датој температури? Тј. да ли је промена запремине, на пример живе и алкохола иста и како је то упоредиво? Зато се каже да је тако дефинисана температура емпиријска, односно добијена на основи искуства са посебним супстанцијама.

Први закон термодинамике: то је закон одржања енергије у термодинамици. Унутрашња енергија (U) термодинамичког система може се променити ако се над системом врши рад или ако систем врши рад (W) или ако систем прима/предаје неку количину топлоте (Q). Q и W се дакле морају посматрати као алгебарске величине, тј. мора им се унапред дефинисати знак, да би им се

знала улога. Уобичајена конвенција је да $Q > 0$ и $Q < 0$ и значе да систем прима и одаје топлотну енергију, редом. $W > 0$ и $W < 0$ значе да систем врши, односно над системом се врши рад. Математички запис је дат једнакошћу

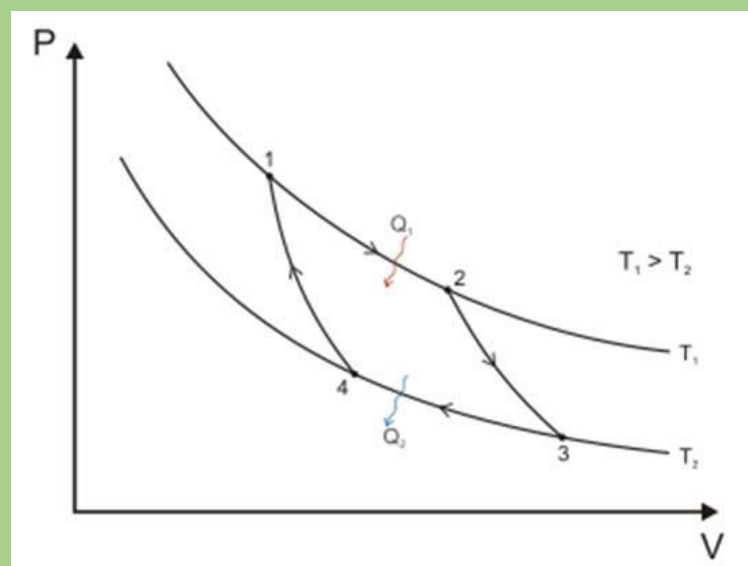
$$\Delta U_s = Q - W,$$

где је избор знакова такав да је реч о примљеној топлоти и извршеном раду система над околином. Користе се и верзије где је знак плус уместо знака минус, али горња написана једнакост карактеристична је за физику. Физичке величине Q и W повезане су са начином преноса енергије из и у термодинамички систем. Посебно, количина топлоте је повезана са микроскопским начином преноса енергије, док је рад повезан са макроскопским начином преноса енергије. Њихове промене имају утицај на унутрашњу енергију система, која представља збир свих могућих енергија конституената који граде термодинамички систем. Величине Q и W зависе од начина на који се промена стања термодинамичког система дешава, док је величина U тзв. **функција стања** и зависи само од почетне U_i и крајње вредности U_f при чему $\Delta U = U_f - U_i$. Други примери функција стања су основни термомеханички параметри p , V и T .

Други закон термодинамике: Топлота не може спонтано прелазити са тела ниже температуре на тело више температуре. Обратан процес је могућ и спонтан.

Ова формулација другог закона термодинамике је само једна од могућих. Овај закон термодинамике, пре свега, говори о смеру (у времену) термодинамичког процеса. На пример, за кључеве бачене на сто не очекујемо да скоче назад у руку која их је бацила. Са становишта Првог закона термодинамике, то није забрањено. Дакле, постоји смер процеса који природа преферира. Заправо, у позадини тога је што постоји асиметрија између величина Q и W . Наиме, није забрањено да се целокупна механичка енергија претвори у топлотну енергију, али обратно није могуће. Стога се показало као корисно да се мери „каквоћа“ количине топлоте количником Q/T , који носи посебно име: ентропија. Пример као илустрација: посматрајмо неку количину воде у посуди на рецимо 90°C и исту ту количину у стању леда на 0°C под таквим условима да је потребна нека количина топлоте Q_1 да се уочена количина леда отопи. Да ли је ефекат исте количине топлоте, Q_1 , доведен систему једнак у оба случаја? Свакако не, јер у првом случају додавање Q_1 додатно ће загрејати воду, а у другом ће уређено стање леда превести у знатно неуређеније стање воде. Другим речима, неуређеност система ће се повећати.

Наведени пример је у сагласности са статистичком (Болцмановом) дефиницијом ентропије као мере неуређености система. Користећи до сада наведене законе термодинамике и дефиницију коефицијента корисног дејства за Карноов кружни циклус (слика доле)



може се дефинисати термодинамичка температура уз помоћ релације

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{T_1}{T_2}$$

Однос температура дефинисан је помоћу односа количина топлота. По дефиницији је једној температури приписана одређена нумеричка вредност, а остале су једнозначно одређене из горње дефиниционе релације. Овако дефинисана температура назива се термодинамичка (заснива се на термодинамичким законима), апсолутна (није везана ни за какву супстанцију) и Келвинова (предложио је лорд Келвин). Јединица термодинамичке температуре је келвин (ознака К). Из практичних разлога јединице температуре у свим скалама имају исту апсолутну вредност. Зато је термодинамичка скала дефинисана тако што је тројној тачки воде приписана температура 273.16 К (остварује се са бољом прецизношћу и репродуктивношћу од тачке леда). Термодинамички концепт температуре је најопштији и зато се прихвата као базичан. Поред дефиниције температуре, Келвин је предложио и температурску скалу (носи његово име), која почиње са тзв. апсолутном нулом у односу на коју је тројна тачка воде 273.16 К. Иначе, термометрија се поближе бави проблемима везаним за мерење температуре и одређивање одговарајућих стандарда.

Трећи закон термодинамике: температуру апсолутне нуле немогуће је достићи.

Ако би неко тело могло бити доведено на температуру апсолутне нуле, из дефиниције коефицијента корисног дејства топлотне машине

$$\eta = 1 - \frac{T_2}{T_1}$$

би за $T_2 = 0$ К следило да је коефицијент корисног дејства једнак јединици, што би опет значило да се сва количина топлоте преузета са топлијег резервоара претвара у користан рад, противно једној од формулација Другог закона термодинамике (*Напомена: већ је речено да постоји низ формулација другог закона термодинамике. Њихова међусобна еквиваленција доказује се у теоријској физици*).

- Овде су од интереса били термо-механички системи, али термодинамика се може тицати и електричних, магнетних система, кристалних тела итд.
- Феноменолошка термодинамика има ограничену применљивост: не може се примењивати на атоме, молекуле, као ни на Универзум. Такође, није применљива на системе код којих је број честица на површини упоредив са бројем честица унутар запремине; скица таквог термодинамичког система приказана је на слици испод.



- Занимљивости

- ✚ Нулти закон термодинамике додат је последњи списку закона термодинамике, негде око 1930. године, али назива се нултим због своје улоге у успостављању основне термодинамичке променљиве-температуре.
- ✚ Поред феноменолошке термодинамике, физика познаје и статистичку термодинамику где се полази од микроскопске структуре материје и микроскопских закона који уређују међусобно деловање конституената материје. Јасно, ове две теорије међусобно се допуњују.
- ✚ У новије време од интереса је квантна термодинамика: како термодинамика происходи из закона квантне механике (*Квантна механика је генерализација и екстензија класичне механике, примењена, историјски гледано, прво на физичке микросистеме. Има своје постулате*

и формализам који се фундаментално разликују од класичне физике.). Таква тема је посебно интересантна у светлу нових квантних технологија, посебно квантних рачунара.

✚ Горе описани закони термодинамике односе се на физичке ситуације где постоји термодинамичка равнотежа система који је од интереса са његовим окружењем. Али, постизање термодинамичке равнотеже је физички процес са коначним интервалом времена трајања: док се то не догоди, дешавају се термодинамички неравнотежни процеси, пре свега транспортни процеси и процеси праћени дисипацијом енергије. Овакве ситуације захтевају проширење термодинамичког формализма физички и математички гледано. Главна одлика ове гране термодинамике је немогућност дефинисања ентропије (осим у неким специјалним случајевима) који је основни појам на којем почива Други закон термодинамике и веза са статистичком термодинамиком.