

Основни макроскопични параметри – налягане, обем, температура. Топлинно равновесие. Нулев принцип на термодинамиката

Основни макроскопични параметри – налягане, обем, температура

При термодинамичния метод не се интересуваме от вътрешния строеж и характера на движението на отделните частици в една макросистема. Чрез този метод се изучават различните превръщания на енергията, които се осъществяват в дадена макросистема като цяло. При него се използват физични величини като налягане, обем, температура, маса, които могат да се измерват опитно и характеризират свойствата на системата като цяло.

В най-простия случай, когато една термодинамична система представлява определено количество газ, нейното състояние се определя напълно от трите основни макроскопични параметъра – налягане, обем и температура. Зависимостта между тези параметри се нарича уравнение на състоянието на газа и се записва в най-общ вид по следния начин:

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

Ще разгледаме по-подробно основните термодинамични параметри.

Температурата е количествена мярка за нагряването на телата. Опитно установен факт е, че температурата е свързана с хаотичното движение на молекулите. Тя може да се дефинира и като количествена мярка за интензивността на топлинното движение. Колкото температурата на дадено тяло е по-висока, толкова по-интензивно е движението на неговите градивни частици.

За практическо измерване на температурата се използват главно две скали – международна температурна и термодинамична температурна. В международната температурна скала (скала на Целзий) температурата се изразява в градуси Целзий [$^{\circ}\text{C}$] и се означава с t . По тази скала температурата на топене на леда при нормални условия се приема за 0°C , а температурата на кипене на водата е 100°C . В термодинамичната температурна скала (скала на Келвин) температурата се изразява в келвини [K] и се означава с T . Тази скала се отличава от скалата на Целзий само по положението на нулата. При нея температурата на леда при нормални условия се приема за $273,15 \text{ K}$, а температурата $T=0 \text{ K}$ се нарича абсолютна нула, следователно $T[\text{K}] = t[^{\circ}\text{C}] + 273,15$. Дефинирана по такъв начин термодинамичната температура е винаги положителна величина. Във всекидневното обикновено си служим с температурната скала на Целзий, а във физиката е прието температурата да се измерва в келвини. Келвинът [K] е една от основните мерни единици в Международната система **SI**.

Обемът V на една термодинамична система е геометричният обем в пространството, който заема системата. Мерната единица за обем е кубичен метър [m^3]. Много често се използва и величината специфичен обем. Това е обемът на единица маса от дадено вещество:

$$v = \frac{V}{m},$$

а мерната единица е кубичен метър за килограм [m^3/kg]. Специфичният обем е величина, обратно пропорционална на плътността ρ ($v=1/\rho$), тъй като връзката между масата и обема е $m=\rho V$. Обемът, както и специфичният обем, също са винаги положителни величини.

Като макроскопичен параметър налягането най-общо може да се определи като големината на нормалната (перпендикулярната) сила, действаща върху единица площ:

$$P = \frac{F_n}{S}.$$

Означава се с P и се измерва в единици нютон на квадратен метър [N/m^2]. В системата **SI** тази единица се нарича още паскал [Pa]. От определението се вижда, че налягането също е положителна величина.

Топлинно равновесие. Нулев принцип на термодинамиката

Както казахме, топлинното равновесие е състояние, до което достига системата ако я оставим сама на себе си, т.е. прекратим външното въздействие върху нея. В това състояние температурата на всички части от системата е една и съща и всъщност само тогава ние можем да говорим за температура на системата. Всички останали параметри на системата – налягане, плътност и др. също равни за всички части на системата и затова тя може да остане в състояние на топлинно равновесие неопределено дълго време. Тъй като температурата е един от основните термодинамични параметри на системата, ще разгледаме по-подробно състоянието на топлинно равновесие и следствията от неговото нарушаване.

Ако една термодинамична система е поставена в контакт с друга, между двете системи се осъществява някакво взаимодействие. В процеса на взаимодействие се променят макроскопичните

параметри на системата – налягане, обем, температура, маса, брой частици и др. Тъй като процесите, при които се променят параметрите на системата се извършват с някаква крайна скорост, а не безкрайно бавно, топлинното равновесие на системата се нарушава. Това означава, че макроскопичните параметри на системата са различни в различните ѝ части за по-малък или по-голям период от време. В този случай ние не можем да припишем на системата като цяло конкретни стойности на налягането, температурата и др., т.е. в тези интервали от време не можем да характеризираме системата с някакво уравнение на състоянието от типа $f(P, V, T) = 0$, което означава, че не можем да представим даденото състояние графично. Както ще видим по-нататък обаче, графичното представяне на състоянията на системата и процесите, които се извършват в нея, е най-лесният начин за определяне на параметрите ѝ. В много случаи ние можем да подбирате моментите на отчитане на състоянието на системата по такъв начин, че параметрите ѝ да са определени с достатъчна точност за дадената конкретна задача. С други думи винаги, когато е възможно, при описание на процесите ще предполагаме, че системата преминава през последователност от равновесни състояния, които могат да се изобразят графично с точка на съответната диаграма.

Нека сега да обсъдим важния въпрос кога две системи се намират в топлинно равновесие. Ако можем да осъществим топлинен контакт между двете системи, въпросът се решава лесно – двете системи образуват единна система и за да бъде тя в топлинно равновесие, всички части на обединената система трябва да имат еднаква температура, т.е. температурите на двете системи трябва да се изравнят. Опитът показва, че когато осъществим контакт между две системи с различна температура, системата с по-висока температура намалява температурата си, а тази с по-ниска температура я увеличава до достигане на еднаква температура от двете системи. Това, както ще поясним по-нататък, се осъществява чрез топлообмен – предаване на топлинна енергия от по-топлата на по-студената система. Следователно, две системи ще се намират в топлинно равновесие, ако температурите им са равни. Това означава, че ако приведем две системи в топлинен контакт, състоянието им няма да се промени, ако те имат еднакви температури.

По-различно стои въпросът, ако не можем да приведем двете системи в директен контакт. Тогава ние не можем да кажем дали системите са в топлинно равновесие. Именно затова възниква необходимостта от измерване на температурата на дадена система. Но самият принцип на измерване на температурата с термометър се основава на един опитно установен факт, който не е задължително да бъде в сила. Нека да разгледаме три системи **A**, **B** и **C** с температури съответно T_A , T_B и T_C . Системите **A** и **B** не могат да бъдат доведени до пряк топлинен контакт, но всяка от тях може да осъществи топлинен контакт с **C**. При това установяваме, че $T_A = T_C$ и $T_B = T_C$, т.е. установяваме, че системата **A** е в топлинно равновесие със системата **C** и системата **B** е в топлинно равновесие със системата **C**. Означава ли това, че системите **A** и **B** са в топлинно равновесие помежду си, т.е. че $T_A = T_B$? Това е известното от математиката транзитивно свойство, но то не е задължително да бъде изпълнено във всички случаи. Напр. ако **A** вижда **C** и **B** вижда **C**, това не означава, че **A** вижда **B**. Опитът показва, че за температурите транзитивното свойство е изпълнено, т.е. от $T_A = T_C$ и $T_B = T_C$ следва, че $T_A = T_B$. Това транзитивно свойство, приложено към термодинамичните системи, се нарича нулев принцип на термодинамиката и ни дава възможност да сравняваме температурите на две системи, дори и тогава, когато те не са в пряк контакт. Нулевият принцип може да се формулира и така: ако две системи поотделно са в топлинно равновесие с трета, те са в топлинно равновесие помежду си. Ако нулевият принцип не беше изпълнен, нямаше да имаме възможност да сравняваме температурите на две системи и изобщо да измерваме температура, тъй като самият процес на измерване на температурата е процес на сравняване – ние сравняваме температурата на системата с някакъв тип термометър. Термометърът обаче е тяло, чиято температура е предварително сравнена с друго тяло, наречено еталон, т.е. чрез термометъра ние сравняваме температурата на нашата система с някаква еталонна система, която се намира някъде другаде. В такъв случай, ако нулевият принцип не се изпълнява, ние не можем да извършваме такова сравняване и не можем да определяме температурата на термодинамичната система, т.е. губи смисъла си една от най-важните характеристики на системата в термодинамично отношение – температурата.