

Вътрешна енергия. Теплообмен, количество топлина и работа. Първи принцип на термодинамиката

Вътрешна енергия

Ние получихме пълната енергия на молекулите на идеалния газ като сума от кинетичните енергии на отделните молекули ($E=E_k$), тъй като за него пренебрегваме потенциалната енергия на взаимодействие на молекулите и вътрешния им строеж (считаме ги за материални точки). Ако искаме да пресметнем пълната енергия на молекулите на реална термодинамична система, трябва да отчетем още две енергии: поради взаимодействието между молекулите, те имат и потенциална енергия E_p ; тъй като молекулите не са точкови обекти, а са изградени от атоми, те съответно имат ядро и електрони, трябва да отчетем енергиите на връзка в молекулите, атомите и ядрата, които също са потенциални енергии на взаимодействие. Така пълната енергия на всички частици, изграждащи дадено тяло, е сума от кинетичните енергии на топлинното им движение и потенциалните им енергии на взаимодействие. Тази енергия наричаме вътрешна енергия U на тялото:

$$(1) U = E_k + E_p.$$

Ако към тази енергия прибавим механичната енергия на тялото като цялостен обект, т.е. кинетичната енергия на тялото при постъпателно и въртливо движение и потенциалната му енергия (гравитационна, електрична) на взаимодействие с други тела ще получим пълната енергия E на тялото.

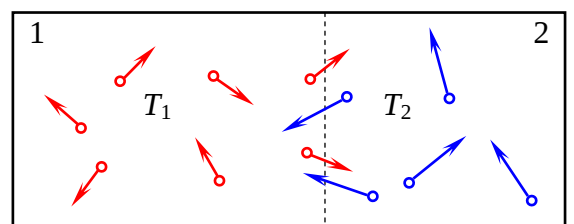
Вътрешната енергия (както и другите видове енергия) е еднозначна характеристика на състоянието на системата, т.е. тя не зависи от начина, по който системата е достигнала до това състояние. При различните термодинамични процеси вътрешната енергия на системата може да се променя. Както и в механиката, ние винаги ще се интересуваме от промяната на енергията, а не от конкретната ѝ стойност.

Ако приложим определението (1) за идеален газ, ще видим, че неговата вътрешна енергия наистина се дава само от кинетичната енергия на постъпателно движение на молекулите му, която зависи само от температурата т.е. вътрешната енергия на идеалния газ също зависи само от температурата (за система с постоянен брой частици).

Теплообмен, количество топлина и работа. Първи принцип на термодинамиката

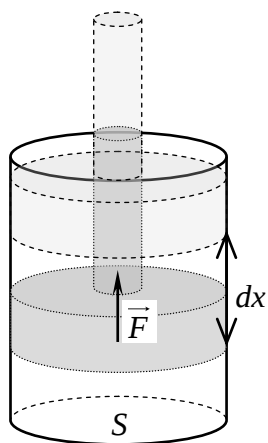
Нека да видим по какви начини може да се променя вътрешната енергия на една термодинамична система (идеален газ). Ако поставим в контакт две системи **1** и **2** (фиг. 1) с температури T_1 и $T_2 > T_1$, в началния момент молекулите на система **2** се движат по-бързо от молекулите на система **1** и при ударите между молекули от двете системи, тези от **1** ще се ускоряват, а тези от **2** ще се забавят, т.е. температурата и вътрешната енергия на система **1** ще се увеличават, а на система **2** – ще намаляват. Процесът на предаване на кинетична енергия от молекулите на една система на молекулите в друга система се нарича теплообмен, а енергията, която се предава между системите по този начин – количество топлина Q . Процесът на теплообмен протича до изравняване на температурите на двете системи, тъй като тогава всички молекули на обединената система ще се движат с еднакви скорости и няма да ги променят при удар с другите молекули. Следователно, можем да променим вътрешната енергия на една система чрез теплообмен – ако предадем на системата количество топлина ($Q > 0$), нейната вътрешна енергия се увеличава, а ако отнемем количество топлина ($Q < 0$) вътрешната ѝ енергия намалява.

Другият начин за промяна на вътрешната енергия (както и на всяка друга енергия) е чрез извършване на механична работа A . Знаем, че работата е мярка за промяна на енергията на една система. От определението за работа знаем, че за да се извършва работа, трябва да действа сила и да има преместване на тялото или на части от него. В термодинамиката не се интересуваме от преместването на тялото като цяло, тъй като това променя общата му енергия, но не и вътрешната. Работата, която може да доведе до промяна на вътрешната енергия на системата е свързана с деформация т.е. промяна на обема на термодинамичната система. Ако действаме на една система с външна сила и извършваме положителна работа върху нея ($A > 0$), вътрешната ѝ енергия се увеличава за сметка на работата, която е извършила силата. Ако самата система върши работа срещу външните сили ($A < 0$), тя извършва тази работа за сметка на вътрешната си енергия (ако не получава допълнителна енергия отвън) и следователно вътрешната ѝ енергия намалява.



фиг. 1

Стигнахме до извода, че можем да променим вътрешната енергия на една термодинамична система



фиг. 2

по два начина – чрез предаване (или отнемане) на количество топлина и чрез извършване на механична работа (върху системата или от нея). Ако при един термодинамичен процес предадем на системата някакво малко количество топлина dQ и извършим над нея положителна работа dA' чрез действие на външна сила върху нея, промяната на вътрешната ѝ енергия ще бъде:

$$(2) \quad dU = dQ + dA'$$

Тъй като работата dA , която извършва самата система срещу външната сила е същата по големина, както dA' , но с обратен знак ($dA' = -dA$), по-често зависимостта (2) се записва като:

$$(3) \quad dQ = dU + dA.$$

Тя изразява законът за запазване на енергията за този процес и се нарича първи принцип на термодинамиката – количеството топлина, предадено на една термодинамична система, се изразходва за повишаване на вътрешната ѝ енергия и за извършване на работа срещу външните сили.

Казахме, че работата, която извършват външните сили или самата система срещу външните сили, е свързана с промяна на обема на системата. Нека да пресметнем тази работа. Разглеждаме съд с подвижно бутало, което може да се движи без триене (фиг. 2). Под буталото, с площ S , има определено количество газ и силата на тежестта на буталото се уравновесява от силата, с която газът му действа. Ако предадем количество топлина dQ на газа ще повишим вътрешната му енергия и температурата т.е. скоростта на движение на молекулите. Поради това ще се повиши налягането на газа, а оттам и силата $\vec{F}$, с която действа на буталото – газът ще се разшири. Тъй като газът е преместил буталото на разстояние dx , той е извършил работа:

$$(4) \quad dA = (\vec{F} \cdot d\vec{x}) = PSdx = PdV.$$

Виждаме, че когато газът се разширява, извършва положителна работа ($dA > 0$), защото $\vec{F}$ и $d\vec{x}$ са еднопосочни ($dV > 0$). При свиване на газа (намаляване на обема), извършената работа $dA < 0$ ($dV < 0$). Като използваме израза (4) за работата, можем да запишем първият принцип на термодинамиката (3) и във вида:

$$(5) \quad dQ = dU + PdV.$$

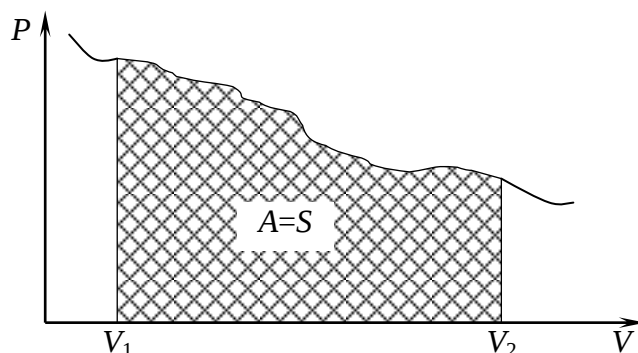
Преди всичко ще отбележим сходния вид на формулите за работа при механичните и термодинамичните процеси – виждаме, че налягането играе ролята на силата, а обема – на координатата ($Fdx \rightarrow PdV$). Затова е удобно графичното представяне на процесите в т.нар. P - V диаграма – по абсцисната ос е обемът V , а по ординатната – налягането P . При такова графично представяне на процеса (фиг. 3), работата, извършена от газа, е равна на площта под графиката, също както в механиката.

Много често за практически цели се използва първият принцип на термодинамиката, приложен за единица маса от даденото работно вещество. Ако разделим (3) или (5) на масата m на газа, ще получим връзка между специфичните (за единица маса) величини:

$$dq = du + da$$

$$dq = du + PdV,$$

където dq , du , da и dV са съответно специфичните (за 1 kg от даденото вещество) предадена топлина, вътрешна енергия, извършена работа от газа и обем.



фиг. 3