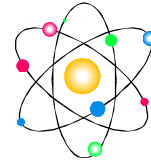


ТЕРМОДИНАМИКА



1. ЕНЕРГИИ

Основната задача на науката, позната под името Термодинамика, е проучување на физички појави во кои суштествено учествува и влијае на нив некој вид на енергија. Енергијата спаѓа меѓу природните појави, за кои човек со основна едукација има многу јасна претстава и разбирање, но за која не може да даде прецизна дефиниција. Тоа е сосема јасно, бидејќи енергијата спаѓа меѓу природните прапојави, каква што е на пример материјата. По Ајнштајновата теорија на релативност, всушност материјата и енергијата се две модификации на еден ист субстрат.

Прапојавите, исто како и аксиомите, не можат да се дефинираат или докажуваат. Според тоа, проучувањето на енергиите се состои во изнаоѓање и дефинирање на нивни особини, од кои потоа се извлекува и разумно дефинира самиот поим енергија.

Енергиите во основа се делат на две групи:

- Енергии кои се *концентрирани или содржани* во некое тело или простор. Истите можат да имаат различна форма и на сите главна карактеристика им е трајноста. Овие енергии во дадената форма можат да се задржат произволно долго.
- *Преодни енергии*, кои се појавуваат тогаш, кога потенцијалната енергија ја менува својата форма, или преоѓа од едно во друго тело. Овие енергии се карактеризираат со краткотрајност и лесно исчезнување. Овој облик на енергии е посебно важен и вреден во техниката.

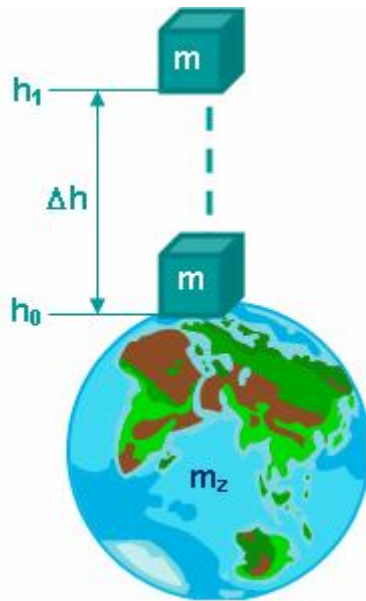
1.1 Потенцијални енергии

1.1.1 Геопотенцијална енергија

За подигнување на маса m од ниво h_0 на ниво h_1 потребна е работа:

$$E_1^0 = g \cdot m \cdot (h_1 - h_0) \text{ [J]} \quad [1.1]$$

По подигнувањето на масата вложената работа не е изгубена, бидејќи истата може да се поврати со спуштање на масата од висината h_1 на иницијалното ниво h_0 . Според тоа, оправдано е тврдењето дека работата е содржана во подигнатата маса како енергија со посебна форма. Истата може да се задржи во таков облик во подигнатата маса произволно долго и се именува потенцијална, или поточно геопотенцијална енергија.



Оваа енергија всушност е последица на меѓусебната привлечност на двете маси, т.е. масата на земјата m_z и масата m , која се подигнува во гравитационото поле на земјата. Практично, поправилно би било потенцијалната енергија да се припише заедно на земјата и на подигнатата маса, а не само на последната. Потенцијалната енергија е содржана во системот земја-подигната маса и зависи од меѓусебната положба на истите. Бројната вредност на потенцијалната енергија зависи и од изборот на нивото h_0 , односно од референтниот координатен систем. Бидејќи истото може слободно да се избира, тогаш за иста положба на масата m можат да се добијат различни вредности на потенцијалната енергија E_p . Оваа неопределеност не треба да создава забуна, ниту пак е посебно важна, затоа што во техничките пресметки важни се само разликите на енергиите. Потребно е само за група проблеми во одредена техничка задача сега да се задржи исто h_0 (почетно ниво) за сите потенцијални енергии. Резултатот секогаш ќе биде апсолутен и независен од h_0 , кој во сите содржани разлики на енергии отпаѓа. Земјиното забрзување g не е константно: со оддалечувањето од земјината површина истото се намалува со квадратна зависност. За техничките проблеми, кои се одигруваат на земјината површина или во нејзина близина, може без забележителна грешка да се земе дека забрзувањето е константно и дека има приближно вредност од:

ност не треба да создава забуна, ниту пак е посебно важна, затоа што во техничките пресметки важни се само разликите на енергиите. Потребно е само за група проблеми во одредена техничка задача сега да се задржи исто h_0 (почетно ниво) за сите потенцијални енергии. Резултатот секогаш ќе биде апсолутен и независен од h_0 , кој во сите содржани разлики на енергии отпаѓа. Земјиното забрзување g не е константно: со оддалечувањето од земјината површина истото се намалува со квадратна зависност. За техничките проблеми, кои се одигруваат на земјината површина или во нејзина близина, може без забележителна грешка да се земе дека забрзувањето е константно и дека има приближно вредност од:

$$g = 9,81 \text{ m/s}^2 \quad [1.2]$$

1.1.2 Кинетичка енергија

За да се забрза маса во мирување m до брзината v , потребно е против инерцијата на масата да се вложи работата E_k :

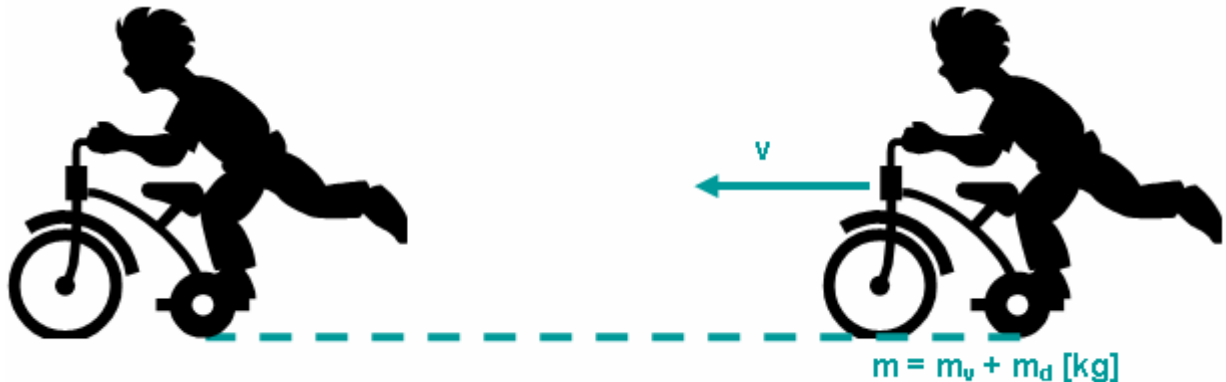
$$E_k = \int_0^v F \cdot ds = \int_0^v m \cdot \left(\frac{dv}{dt} \right) \cdot ds = \frac{m \cdot v^2}{2} \quad [\text{J}] \quad [1.3]$$

Работата E_k може повторно да се добие од движечката маса, доколку масата се запре на почетната брзина $v_0=0$. Таа работа, на некој начин, е содржана во движечката маса во вид на некоја енергија од посебен вид → како кинетична енергија E_k . Бројната вредност на кинетичната енергија е исто така релативна и зависи од координатниот систем, во кој е дефинирана брзината на масата. Во најголем број на случаи разумно е брзината да се мери во однос на површината на земјата. Масата m , која во однос на земјината површина има брзина v_z , во однос на сонцето има брзина v_s , која е различна од предходната. Значи, кинетичката енергија

на масата m во однос на сонцето е различна од кинетичната енергија во однос на земјата:

$$E_{ks} \neq E_{kz} \quad [1.4]$$

За да се добијат коректни резултати, во тек на една иста пресметка сите кинетички енергии треба да се мерат во ист координатен систем. Односно, кинетичката енергија треба да се дефинира како особина на маса и координатен систем, во кој се мерат брзините.



1.1.3 Внатрешна енергија

Потенцијалната и кинетичката енергија може да се содржат и во најмалите составни делови на физичките тела, а не само во телата како целина. На пример, молекулите на гасовите се движат транслаторно и ротационо. Помеѓу поединечни молекули постојат привлечни или одбивни сили, кои овозможуваат присутност на потенцијални енергии.

Во полињата на сили помеѓу поединечни атоми сместен е специфичен вид на внатрешна енергија; нејзиниот износ се менува со секое менување на атомските врски, т.е. со хемиски промени во телото во кое е содржана.

Сите енергии на ниво на молекули, атоми и јадра, заеднички творат *внатрешна енергија* на телото. Посебно едноставно се менува енергијата на ниво на молекули, со доведување или одведување на топлина. Затоа и може да се нарече *калорична* (внатрешна) енергија. Внатрешната енергија на ниво на атомите и нивните меѓусебни врски е *хемиска* (внатрешна) енергија, а внатрешната енергија на ниво на атомските јадра се именува *нуклеарна* (внатрешна) енергија.

Внатрешните енергии денес се главен (но не и единствен) извор на технички употреблива енергија, а се чини дека така ќе биде и во блиска иднина. Сите нејзини облици можат корисно да се употребат.

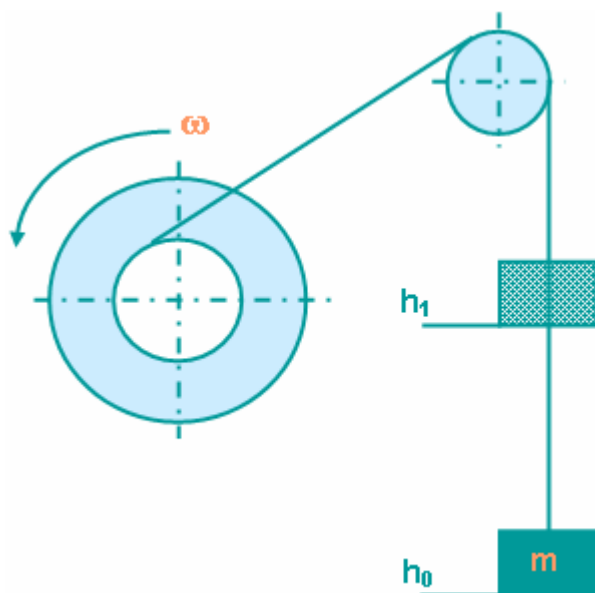


Калоричниот дел на внатрешната енергија може да се “извлекува” од телата со помош на ладење. При хемиските процеси ослободената хемиска енергија преоѓа на молекулите и ја наголемува нивната кинетичка енергија; според тоа хемиската внатрешна енергија е расположива за користење дури после својата преобразба во калорична внатрешна енергија (на пр. согорување). Ретки се примерите, во кои се ослободува хемиска енергија без предходно претворање во калорична внатрешна енергија (на пр. галвански елемент). Енергијата на нуклеарните реакции исто така најнапред се пренесува на молекулите, а дури потоа технички се искористува како калорична внатрешна енергија.

Од наведеното следи дека внатрешната енергија не зависи од положбата и брзината на својот носител, во однос на другите тела и системот. Внатрешната енергија е чиста индивидуална особина на некое тело, или систем.

1.2 Преодни енергии

1.2.1 Механичка работа



Слика 1.1 Претворање на кинетичка енергија во потенцијална

Содржаните енергии преоѓаат повремено од еден облик во друг. Така, на пример, кинетичката енергија на вртењето на тркало може да се претвори во потенцијална енергија на подигнатата маса (слика 1.1). Во погонското тркало содржана е енергијата на вртење:

$$E_{kv} = \frac{m \cdot \omega^2}{2} \text{ [J]} \quad [1.5]$$

На тркалото со помош на спојка поврзана е цилиндрична намотка. Кога спојката ќе се затвори, вртливата енергија од тркалото директно преминува на цилиндрот на кој се намотува јажето, кое пак ја подигнува масата m

од почетната положба h_0 на конечното ниво h_1 . При подигнувањето на масата, во секој момент, се извршува работа:

$$dW = g \cdot m \cdot dh \quad [1.6]$$

Работата се црпи од кинетичката енергија на тркалото и се употребува за наголемување на потенцијалната енергија на масата m . Целата работа W се одзема од тркалото и е еднаква на наголемувањето на потенцијалната енергија на подигнатата маса, како и на намалувањето на кинетичката енергија на тркалото, чија аголна брзина се намалила од вредноста ω_0 на конечната вредност ω .

$$W = g \cdot m \cdot (h_1 - h_0) = m \cdot \frac{(\omega_0^2 - \omega^2)}{2} \quad [J] \quad [1.7]$$

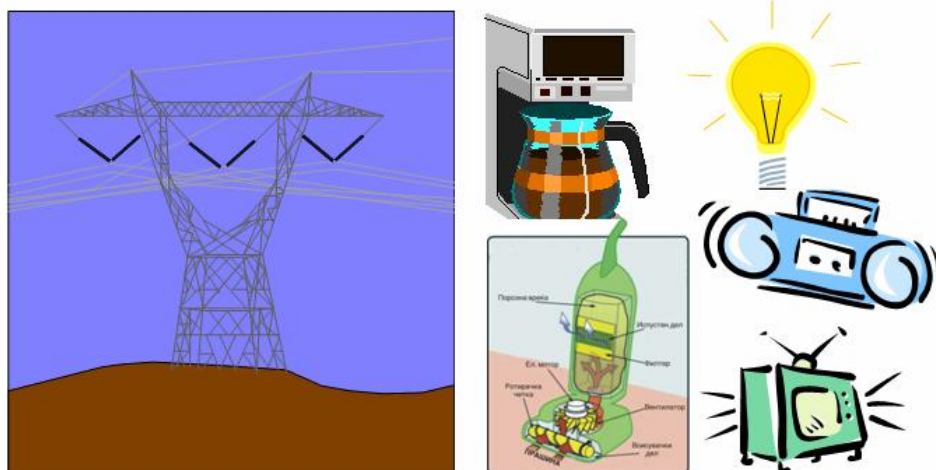
Сета кинетичка енергија, која е одземена од тркалото, конечно се преобразила во потенцијална енергија на подигнатата маса, меѓутоа не директно, туку така што во тек на дејството постојано се претворала во механичка енергија, која понатаму се применувала за подигнување на масата, а на тој начин се претворала во потенцијална енергија на таа маса.

Механичката работа, или на кратко *работа*, е посебен облик на енергија, која како таква не може да се акумулира или задржи. Значи, работата е многу корисна енергија, меѓутоа со непостојан карактер, кој диктира нејзина употреба веднаш при појавувањето. Работата се појавува како *преодна* енергија при некои преобразувања на содржани енергии од еден облик во друг.

1.2.2 Електрична енергија

Постројката за подигнување од слика 1.1 може да се замисли и на следниот начин: еден електромотор го врти тркалото поврзано со цилиндрот, кој пак преку намотување на јажето ја подигнува масата. Конечниот ефект е ист како и во претходниот случај. Разликата е само во тоа што се појавуваат повеќе трансформации на енергија. Електричната енергија најнапред се претворила во механичка работа, односно во кинетичка енергија на тркалото, која потоа се претвора во потенцијална енергија поврзана со подигнувањето на масата.

Електричната енергија исто така спаѓа во непостојани, преодни енергии. Познато е дека таа енергија, исто како и механичката работа, е корисна и употреблива.



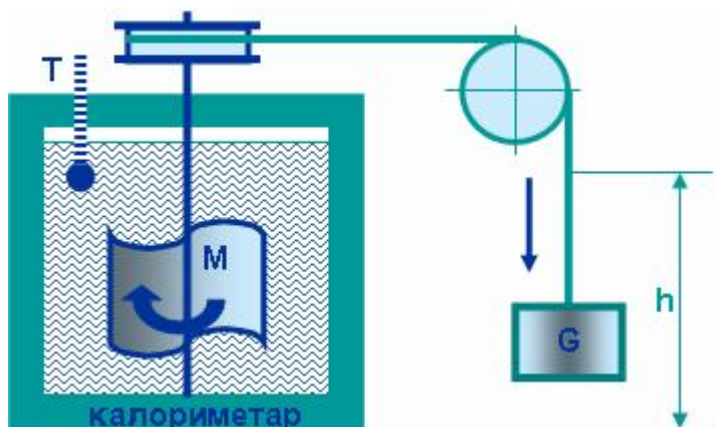
1.2.3 Топлинска енергија

Англичанецот Joule бил еден од најголемите експериментатори на XIX-иот век. Посебно е познат неговиот експеримент за претворање на потенцијална во топлинска енергија. Во т.н. *калориметар* К, кој е наполнет со вода (слика 1.2), се наоѓа мешач М, кој е погонет со помош на тегот Г, кој се спушта.

Работата на тегот во спуштање изнесува:

$$W_G = G \cdot h \quad [1.8]$$

Преку мешачот М, работата се пренесува на водата и ја наголемува нејзината (калорична) внатрешна енергија. Наголемувањето може да се следи и мери преку термометарот Т - температурата на водата расте во текот на експериментот. Исто такво наголемување на температурата може да се постигне и со загревање на водата, на пример со оган. Единствено можно објаснување е дека механичката работа на тегот (заради триење помеѓу мешачот и водата) се претворила во топлинска енергија, која понатаму ја наголемила температурата на водата.



Слика 1.2 Експериментот на Џул

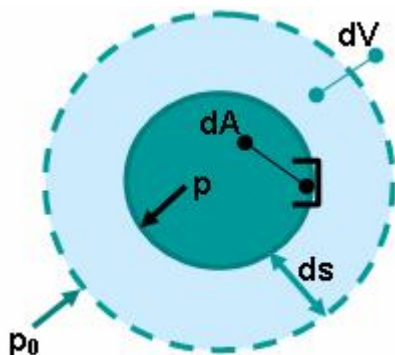
Со други експерименти може да се докаже дека и други видови на енергија можат да се претворат во топлинска и внатрешна енергија. На пример, при запирање на автомобил, кинетичката енергија исто така се претвора во топлинска енергија.

Од друга страна и топлинската може да се претвара во други видови на енергија. Практично, голем дел од работата што ја вршат машините во денешната цивилизација, потекнува од топлинска енергија. Меѓутоа, добивањето на работа од топлинска енергија е посложено отколку претварање на работа во топлина. Во оваа насока претворливоста е ограничена, што ќе биде објаснето понатаму.

Внатрешната енергија на едно тело може да се наголеми со доведување на различни енергии. Обратно, ако енергија се одведува од телото, неговата внатрешна енергија се намалува. Наједноставен начин за наголемување на внатрешната енергија е довод на топлина, т.е. загревање на телото - од тука и доаѓа до често мешање на поимите *топлина* и *внатрешна енергија*.

1.2.4 Добивање на работа од физички тела

Од обичниот живот, познато е дека со загревање на физички тела се менува нивниот волумен и притисок. Телото при различни притисоци завзема различни волумени (запремини). Каква е врската на промената на притисокот и волуменот на едно тело со механичката работа, која се извршува при промената?



На сл.бр.1.3. е претставено тело со волумен V и површина A . Притисокот во телото до ограничувањето е p , а притисокот на ограничувањето на телото е p_0 . Иницијално, двата притисоци се еднакви.

При растегнување на телото од волумен V на волумен $V+dV$, се поместува секој елемент на површината dA за пат (растојание) ds :

Слика 1.3 Волуменска работа

$$dV = \int_A dA \cdot ds \quad [1.9]$$

На елементот на површината dA делува силата:

$$dF = p \cdot dA \quad [1.10]$$

Силата при поместувањето на елементот на површината извршува работа ddW :

$$ddW = dF \cdot ds = p \cdot dA \cdot ds \quad [1.11]$$

Според тоа, работата на целата поместена површина изнесува:

$$dW = p \cdot \int_A dA \cdot ds = p \cdot dV \quad [1.12]$$

При конечното проширување на телото со маса m , од волумен V_1 на волумен V_2 и при *механичка рамнотежа* ($p=p_0$), се извршува работата:

$${}_1W_2 = p_0 \int_{V_1}^{V_2} p \cdot dV \quad [1.13]$$

или на 1 kg материја:

$$\frac{{}_1W_2}{m} = \frac{1}{m} \int_{V_1}^{V_2} p \cdot dV \quad [1.14]$$

Ако пак $p_0 < p$, работата која ја извршува материјата во ширење е:

$$dW = p_0 \cdot dV < p \cdot dV \quad [1.15]$$

При ширење на тела во механичко нерамнотежа, работата е помала од рамнотежната.

Работата ${}_1W_2$ се нарекува работа на еднократна експанзија, или апсолутна работа на експанзијата на телото (кое во најголем број на случаи е гас).

Од изразот 1.13 се гледа дека работа од тело се добива само ако волуменот на телото се наголемува. Ако волуменот се намалува, добиената работа е негативна: за намалување на волумен на телата потребно е вложување на работа. Ако волуменот на телото не се менува, добиената работа е еднаква на нула. На таков начин добиената механичка работа е тесно поврзана со промените на волуменот на телото и затоа се именува *волуменска работа*. Од изразот 1.13 исто така следува дека за добивање на таква работа се потребни посебни тела со многу променлив волумен. Такви тела се гасовите.

1.3 Нулти главен закон на термодинамиката

Ако се доведат во допир две тела со различна температура, искуството покажува дека потоплото се лади, а постуденото се загрева. Процесот трае се додека температурите на двете тела не се изедначат.

Уште од најстаро време претходното се објаснувало со преоѓање на *нешто* од потоплото кон постуденото тело, под притисок на температурната разлика. Дури 1840 год. J.R. Мауег утврдува дека тоа *нешто* е всушност *енергија*. Пред тоа воглавно се мислело дека е тоа некоја посебно деликатна материја на која и дале име флогистон.

Енергијата, која преоѓа под притисок на температурната разлика од потопло кон постудено тело се нарекува *топлинска енергија*, или поедноставно *топлина*. Истата се црпи од внатрешната енергија на потоплото тело и при преодот во постуденото тело ја наголемува неговата внатрешна енергија. Значи, важи дека при преод на внатрешна

енергија од едно на друго тело, заради меѓусебната температурна разлика, доаѓа до појава на посебен вид на преодна енергија - топлина. При исчезнување на температурната разлика телата доаѓаат во состојба на *рамнотежа* и протокот на топлина престанува.

Поимот на топлинска рамнотежа може да се рашири од две на повеќе тела. Множество на повеќе тела во термодинамиката се нарекува *термодинамички систем*, или скратено *систем*. Ако n е бројот на телата во системот, важи следното тврдење:

АКО БИЛО КОЕ ТЕЛО НА ЕДЕН СИСТЕМ Е ВО ТОПЛИНСКА РАМНОТЕЖА СО СЕКОЕ ОД ОСТАНАТИТЕ $n-1$ ТЕЛА, ТОГАШ И СИТЕ ОСТАНАТИ ТЕЛА МЕЃУ СЕБЕ СЕ ВО ТОПЛИНСКА РАМНОТЕЖА. ЗА ТОПЛИНСКА РАМНОТЕЖА ПОТРЕБНО Е И ДОВОЛНО ТЕМПЕРАТУРИТЕ НА СИТЕ ТЕЛА ВО СИСТЕМОТ ДА БИДАТ ЕДНАКВИ.

Предходното тврдење е формулација на нултиот главен закон на термодинамиката.

1.4 Прв главен закон на термодинамиката

Од тврдењето дека и топлината е енергија следува дека и за неа мора да важи законот за запазување на енергијата. Тој закон вели дека енергијата не може да настане од ништо, нити да исчезне во ништо. Ако некаде се појави некој вид на енергија, нужно е на друго место за иста количина да се намалила некоја друга енергија, од ист или друг вид. Според тоа ниту механичката работа не може да се произведе од ништо. Хипотетичка машина, која би произведувала механичка работа од ништо, се именува перпетум мобиле од прв вид. Според законот за запазување на енергијата, значи, не е возможно да се направи перпетум мобиле од прв вид.

Законот за запазување на енергиите се базира на искуство и не трпи никаков исклучок (барем не во рамките на нашата димензија). Тој е потврден со неброени експерименти - па и со сите неуспешни за конструкција на перпетум мобиле.

Во термодинамиката група на тела се именува *систем*. Се разбира, систем постои и кога на располагање има само едно тело. Границата на системот е или проодна за енергии, или непроодна. Ако границата е непроодна, системот е *затворен*. Ако е проодна, системот е *отворен*.

Во системот се содржат различни облици на енергија: кинетичка, потенцијална, електрична, внатрешна, итн. Законот за запазување на енергијата тврди дека сумата на сите во системот содржани енергии е константна. Количините на поединечните видови на енергии може да се менуваат, но во тој случај наголемувањето на еден вид на енергија повлекува намалување на една, или повеќе, енергии од друг вид.

Првиот главен закон на термодинамиката практично е проширување на законот за запазување на енергијата на топлинската и внатрешната енергија. Првиот главен закон на термодинамиката гласи:

ТОПЛИНАТА (И ВНАТРЕШНАТА ЕНЕРГИЈА) Е ПОСЕБЕН ВИД НА ЕНЕРГИЈА И ЗА НЕА ВАЖИ ЗАКОНОТ ЗА ЗАПАЗУВАЊЕ НА ЕНЕРГИЈА.

Посебно важи: Ако некаде се појави топлина, таа морала да настане од некоја друга енергија; ако исчезне топлина, некаде мора да се појави *еквивалентен* дел на некоја друга енергија.

Првиот главен закон ништо не кажува за претворливоста на една енергија во друга. Посебно не кажува кои енергии може да се претвораат во топлина или во внатрешна енергија и во колкава мера е тоа можно. Првиот закон исто така не одговара на прашањето дали топлинската енергија или внатрешната енергија можат да се претвораат во други енергии, особено во работа и во колкава мерка е тоа можно. Тоа е утврдено со експериментирање, во што спаѓа и веќе разгледаниот експеримент на Joule.

1.4.1 Математичка формулација на првиот главен закон

Првиот главен закон на термодинамиката може математички да се формулира на следниот начин:

Внатрешната енергија на некое тело се наголемува со доведување на топлина, а се намалува со одведување на работа и други видови на енергија (или обратно). Според тоа, промената на внатрешната енергија ΔU е еднаква на разликата на доведената топлина и механичката работа и останатите од телото одведени енергии:

$$\Delta U_2 = U_2 - U_1 = {}_1Q_2 - {}_1W_2 - \sum W_x \quad [1.16]$$

$$dU = dQ - dW - \sum dW_x \quad [1.17]$$

Индексот 1 се однесува на почетокот, а индексот 2 на крајот на процесот. Истите може да се испуштат во случај кога не ја нарушуваат јасноста на формулацијата. Кога од телото се добива само механичка работа, равенката се поедноставува и добива облик:

$$dU = dQ - dW \quad [1.18]$$

Ако пак работата се врши во *механичка рамнотежа*, тогаш важи:

$$dU = dQ - p \cdot dV \quad [1.19]$$

Ако отсаствува механичка рамнотежа, т.е. ако е:

$${}_1W_2 < \int_1^2 p \cdot dV \quad [1.20]$$

тогаш е:

$$dU > dQ - p \cdot dV \quad [1.21]$$

Во техничката практика претходните изрази можат да се сретнат и во следните облици:

$${}_1Q_2 = U_2 - U_1 + {}_1W_2 \quad [1.22]$$

$$dQ = dU + dW \quad [1.23]$$

$$dQ/m = du + p \cdot dv \quad [1.24]$$

1.5 Втор главен закон на термодинамиката

1.5.1 Формулација на вториот главен закон

Формулацијата на првиот главен закон на термодинамиката е кратка и одредена. Затоа и смислата на тој закон е лесно разбирлива. Меѓутоа, вториот главен закон може да се искаже на повеќе начини, кои се толку различни, што во прв момент се чини дека нема никаква врска помеѓу нив. Се разбира тоа не е така, туку изразува поголема сложеност на вториот главен закон, кои резултираат со потешкотии во неговата јасна формулација. Тука ќе се наведат три најпознати формулации на вториот главен закон, и тоа:

Првата позната е формулацијата на Clausius, кој до неа дошол во 1855 год. Истата гласи:

ТОПЛИНАТА САМА ОД СЕБЕ НЕ ПРЕОЃА ОД ТЕЛО СО ПОНИСКА ТЕМПЕРАТУРА НА ТЕЛО СО ПОВИСОКА ТЕМПЕРАТУРА.

Посебно се потенцирани зборовите *сама од себе*. Тоа значи дека топлината не може да преоѓа од тело со пониска температура на тело со повисока температура самостојно и изолирано, така што процесот да биде ограничен на предметните две тела. Преодот на топлина спротивно на температурната разлика секогаш остава трага вон од двете тела меѓу кои се одвива. На пример: во ладилните кружни процеси мора да се вложува работа за да се постигне пренос на топлина од тело со пониска на тело со повисока температура.

Независно од Clausius, Thomson (подоцнешниот лорд Келвин) во тек на 1851 дошол до следната формулација на вториот главен закон:

НЕ Е ВОЗМОЖНА МАШИНА КОЈА ЦРПИ ТОПЛИНА ОД КАЛОРИЧНАТА ВНАТРЕШНА ЕНЕРГИЈА НА ЕДНО ТЕЛО И ПОТОА ТАА ТОПЛИНА ДА ЈА ПРЕТВОРА ВО РАБОТА, БЕЗ ТАКОВ ПРОЦЕС ДА ОСТАВИ ТРАГИ НА ДРУГИТЕ ТЕЛА КОИ УЧЕСТВУВААТ ВО ПРОЦЕСОТ И КОИ ПРИ ТОА ТРПАТ ТРАЈНИ ПРОМЕНИ.

Со претходното е кажано дека не постои кружен процес, кој би можел да црпи енергија во облик на топлина од само едно тело (топлински резервоар) и истата во потполност да ја претвора во работа. При таков хипотетичен случај учество би земале следните тела: топлинскиот резервоар или изворот на топлина, машината и работниот медиум. Со оглед на тоа дека машината и работниот медиум се враќаат во почетната состојба по секој циклус, истите не претрпуваат никаква трајна промена во текот на одвивањето на процесот. Единствена трајна промена би трпел топлинскиот резервоар. Согласно вториот главен закон, таква машина е невозможна → не евозможен перпетум мобиле од втор вид.

Вториот главен закон е аксиом како и првиот. Истиот базира на искуство и не е *доказлив* со некои основни вистини. Затоа и не може да се докажат невозможностите на перпетум мобиле од прв и втор вид. Тоа и резултира со проблеми кај изумителите на вакви машини, кои постојано се појавуваат со *докази* за можни *самодоволни* конструкции.

Вториот главен закон е *самостојно* сознание и не е во никаква врска со првиот главен закон на термодинамиката.

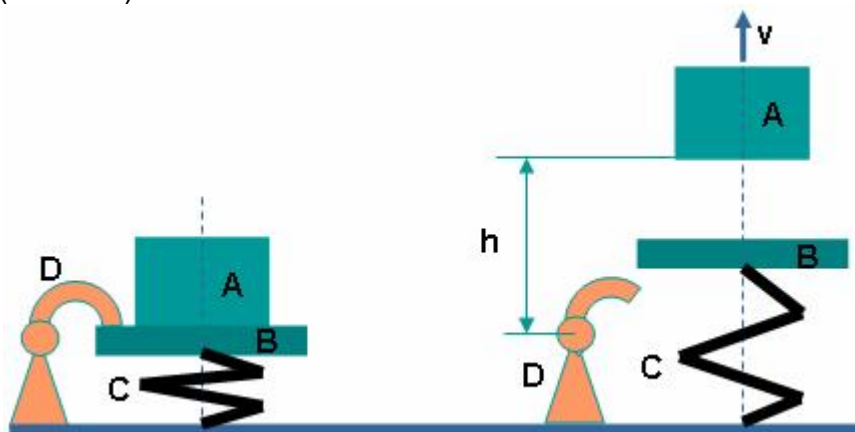
1.5.2 Повратни и неповратни процеси

Третата формулација на вториот главен закон на термодинамиката е следната:

ПРОМЕНАТА НА РАБОТА ВО ТОПЛИНА СО ТРИЕЊЕ Е ПРОЦЕС КОЈ НЕ МОЖЕ ВО ЦЕЛОСТ ДА СЕ ПОВРАТИ.

Оваа формулацијата, на пример, за Joule-овиот експеримент за определување на механички еквивалент на топлината значи: Тегот што се спушта произведува топлина преку триење на лопатките во водата. Не постои и не може да се измисли процес, кој би можел да се изведе обратно, т.е. да се подигне тегот на почетната висина, а при тоа само да се олади водата на почетната температура, без да остави некоја трага или последица на друг систем. Тегот може да се подигне со помош на механичка работа, меѓутоа истата треба од некаде да се добие. Исто така и водата може да се олади, меѓутоа таа топлина мора да се одведе во некое друго тело. Значи, и покрај враќањето на основните параметри во почетна состојба, не е постигнат повратен изолиран процес. Истиот оставил трага, како во системот од кој е одземена работата за подигнување на тегот, така и во системот во кој е одведена топлината. *Целата природа* не е во почетната состојба.

Со третата формулација се наидува на нешто потполно ново. Другите физички дисциплини познаваат само процеси и случки кои во целост може да се обрнуваат. Истите може да течат во една насока, или обратно, при што обратниот процес поминува точно низ сите меѓусостојби, по кои се одвивал до достигнувањето на крајната состојба од првиот. По завршувањето на обратниот процес сите тела се наоѓаат во потполност во првобитната состојба, без истиот да остави последици и траги на сопствената околина, а тоа може да се утврди преку мерења и сл. Како пример може да се земе вертикалното исфрлување на тело во празен простор (слика 4).



Слика 4 Вертикално исфрлување на тело

Телото A лежи на плочата B, која е поставена на притиснатата пружина C. Кочницата D го спречува отпуштањето на пружината.

Ако се ослободи кочницата, пружината се отпушта и телото A летнува вертикално нагоре. На висина h , истото има брзина v . Кога кинетичката енергија ќе се исцрпи, брзината ќе се изедначи со нула, а висината ја достигнува својата максимална вредност. Со тоа, процесот во почетната насока завршува. Потоа, тегот почнува да паѓа и на висина h телото достигнува брзина $-v$. Конечно, тегот паѓа назад на плочата B и со својата кинетичка енергија ја притиснува пружината C во почетната состојба со што се овозможува кочницата да ја завземе својата иницијална позиција. Значи, процесот се одвивал на ист начин во двете насоки и при тоа не оставил никаква трага на околината. Според тоа, ако во одреден момент се проучува конкретниот систем, не е возможно да се утврди колку пати пред тоа се одвивале опишаните процеси, или дали воопшто се случиле. Таквите процеси се именуваат *повратни, или реверзибилни процеси*.

Веќе претходно е илустрирано дека претворањето на работа во топлина со помош на триење не може да се обрне како примерот погоре. Ако тоа би било можно, би морало да биде можно некое *обрнато триење* кое би произведувало работа. Меѓутоа, познато е дека не постои таков процес, т.е. во термодинамиката се проучуваат т.н. *неповратни, или иреверзибилни процеси*. Кај нив не е возможно враќање на природата во почетна состојба. Тоа е фактички и содржината на вториот главен закон на термодинамиката, кој според тоа може да се формулира и на следниот

начин:

ВО ПРИРОДАТА ПОСТОЈАТ НЕПОВРАТНИ ФИЗИЧКИ ПРОЦЕСИ.

Како и за претходните формулации, и за оваа важи заклучокот дека претходното сознание базира на искуство и не може да се докаже.

1.5.3 Математичка формулација на вториот главен закон

Според првиот главен закон:

$$dQ = dU + dW + \sum_i dW_i \quad [1.25]$$

Претходниот израз важи за било кој систем, независно дали е отворен или затворен.

Кај повратните процеси е $dQ = T \cdot ds$ и затоа може да се напише дека е:

$$T \cdot ds = dU + (dW + \sum_i dW_i)_{\text{повр.}} \quad [1.26]$$

Кај неповратните процеси е:

$$\left(dW + \sum_i dW_i \right)_{\text{неповр.}} < \left(dW + \sum_i dW_i \right)_{\text{повр.}} \quad [1.27]$$

Ознаката s се однесува на посебна термодинамичка величина, т.н. ентропија, со чија помош се дефинира состојбата на термодинамичките системи.

Бидејќи T , S и U , како и нивните промени, се исти за повратни и неповратни процеси, тогаш изразот 1.26 за неповратните процеси гласи:

$$T \cdot ds > dU + (dW + \sum_i dW_i)_{\text{неповр.}} \quad [1.28]$$

Ако се комбинираат изразите 1.26 и 1.28, се добива израз кој важи општо за сите процеси (повратни и неповратни, физички, хемиски, итн.), како и за сите системи (отворени и затворени, едноставни и сложени, итн.):

$$T \cdot ds \geq dU + (dW + \sum_i dW_i) \quad [1.29]$$

Тоа е всушност и математичката формулација на вториот главен закон на термодинамиката. Знакот $>$ важи за неповратни процеси, а се претвора во $=$ за повратни процеси. Кај повратните процеси е $dS=0$, а кај неповратните $dS>0$. Наголемувањето на ентропијата е апсолутен критериум за неповратливост на процесите.

1.6 Трет главен закон на термодинамиката

При пресметките на ентропијата секогаш се појавува некоја константа s_0 , т.е. ентропија на почетна состојба според која се вршат сите пресметки. Во конечните облици на пресметковните изрази истата отпаѓа, во колку при конкретните преобразби не доаѓа до хемиски промени на составните елементи. Проблемот е во тоа, што за различни хемиски елементи нејзината вредност е различна, што значи дека за следење на термодинамички процеси проследени со хемиски преобразби, неопходно е познавање на точните вредности на s_0 за секој хемиски елемент, или композиција. Меѓутоа, сегашното знаење во оваа проблематика е многу непотполно. Тоа условува поставување на некој нов закон, кој ќе овозможи надминување на проблемот. Принципот на истиот го поставил Nernst, а конечната формулација ја изработил Planck. Според него, третиот главен закон на термодинамиката гласи:

ПРИ ТЕМПЕРАТУРА ОД 0 К (АПСОЛУТНА НУЛА) ЕНТРОПИЈАТА НА ТВРДИТЕ ТЕЛА СО ПОТПОЛНО УРЕДЕНА КРИСТАЛНА СОСТОЈБА Е ЕДНАКВА НА 0.

Вредноста на ентропијата според третиот главен закон може да се пресмета со употреба на следната релација:

$$S = m \cdot \int_0^T C_p \cdot \frac{dT}{T} \quad [1.30]$$

Аналогно, за специфична ентропија важи:

$$s = \int_0^T C_p \cdot \frac{dT}{T} \quad [1.31]$$

Релациите 1.30 и 1.31 можат да се сметаат за математички израз на третиот главен закон. Во истите не постои ниту една неопределена константа, па затоа и на овој начин определената ентропија се именува *апсолутна ентропија*.

Ако во интервал на интеграција од 0 до T , при некоја температура T_a дојде до промена на агрегатната состојба со енергија r_a (или до промена на структурата), тоа мора да се земе во обзир при пресметката на ентропијата. Во таков случај изразот 1.31 гласи:

$$s = \int_0^{T_a} C_p \cdot \frac{dT}{T} + \frac{r_a}{T_a} + \int_{T_a}^T C_p \cdot \frac{dT}{T} \quad [1.32]$$

Ако се појавуваат повеќе агрегатни промени и изразот ќе има повеќе аналогни членови.

Сите научници се сложуваат со поставената формулација на третиот главен закон, меѓутоа не се согласуваат дали е од таква важност да има третман на главен закон како првите два. Затоа истиот е познат и како Nernst-ова теорема, кое име го употребуваат значителен број научници.

1.7 Термодинамичка состојба

Количината на внатрешна енергија U и нејзината вредност, ја определуваат *состојбата на внатрешната енергија* на едно тело. На секоја состојба на внатрешна енергија припаѓа одредена количина на енергија и одредена вредност на енергија. Состојбата на внатрешната енергија се нарекува *термодинамичка состојба*, или на кратко *состојба*. Состојбата ја карактеризираат ред физички величини, кои се нарекуваат големини на состојба. Некои од нив се посебно очевидни и лесно мерливи. Такви се на пример: температурата T , притисокот p и специфичниот волумен v . Другите големини на состојба се потешко мерливи, или воопшто не можат директно да се измерат. Меѓу таквите спаѓаат количината на внатрешна енергија U и нејзината вредност.

Количината на внатрешна енергија, која накратко може да се нарекува внатрешна енергија, и вредноста на внатрешната енергија, ја дефинираат состојбата на внатрешната енергија, т.е. термодинамичката состојба. Сите останати големини на состојба се последица на состојбата на внатрешната енергија и се чиста функција од таа состојба.

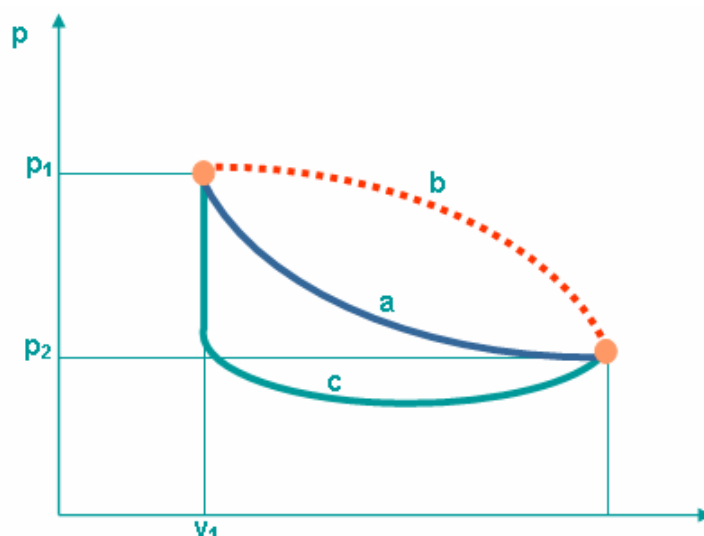
Во согласност со претходното, внатрешната енергија и нејзината вредност се основни, посебно важни големини на состојба. Со оглед на тоа што истите можат да се определат со помош на две било кои други меѓу себе независни големини на состојба, тогаш големините на состојба T , p и v овозможуваат следење и опфаќање на сите промени на термодинамичката состојба.

1.8 Термодинамички преобразби

Бидејќи за определување на термодинамичката состојба е доволно да се познаваат две големини на состојба, тогаш и промената на состојбата може да се следи во површински координатен систем - преку дијаграми на меѓузависност на било кои две големини (слика 1.5).

Таквите дијаграми се нарекуваат дијаграми на состојба. На сликата е даден пример на дијаграмот p , v . Се разбира дека постојат уште многу такви дијаграми.

Во дијаграмот на состојба секоја точка определува состојба, на која и припаѓаат ред на големини на состојба. Така, на пример, на точката 1 во дијаграмот на слика 1.5 и припаѓа притисокот p_1 , волуменот v_1 , како и внатрешната енергија U_1 , температурата T_1 итн. Истото се однесува и на точката 2.



Слика 1.5 Дијаграм на состојба

Со оглед на тоа што во тек на техничките процеси состојбите се менуваат, дијаграмите овозможуваат следење на тие промени, т.е. илустрираат *термодинамички преобразби* (слика1.5). Во техниката тоа е од посебна важност, бидејќи овозможува опфаќање и следење на карактеристиките на определени процеси.

1.9 Равенки на состојба

Трите големини на состојба T , p и v се посебно практични за карактеризирање на состојбите. Своевремено дури ги сметале за примарни големини на состојба. Истите традиционално се нарекуваат *термални* големини на состојба, додека останатите се нарекуваат *калорични* големини на состојба.

Изразите, кои ги поврзуваат големините на состојба се именуваат како *равенки на состојба*. Равенките помеѓу термалните големини на состојба:

$$F(T, p, v) = 0 \quad [1.33]$$

се нарекуваат *термални равенки на состојба*.

Карактеристични облици на термалните равенки на состојба се следните:

$$T = T(p, v) \quad [1.34]$$

$$p = p(v, T) \quad [1.35]$$

$$v = v(p, T) \quad [1.36]$$