

Изпарение и кондензация. Наситени пари

Изпарение и кондензация

В термодинамиката под фаза на дадено вещество се разбира съвкупност от еднородни, еднакви по своите свойства, части на една система. В този смисъл различните агрегатни състояния на веществата, както и различните алотропни модификации на дадено вещество са различни фази на една термодинамична система. Преходът от една фаза в друга (напр. от едно агрегатно състояние в друго) се нарича фазов преход. Обикновено фазовите преходи се осъществяват когато при определени условия две или повече фази могат да се намират в равновесие една с друга. Равновесие между две фази може да се осъществи само в определен температурен интервал, при което на всяко значение на температурата съответства точно определено налягане. Така равновесието между две фази може да се изобрази на P – T диаграма с линия $P=f(T)$. Три фази от дадено вещество могат да съществуват в равновесие само при една единствена стойност на температурата и налягането, която на P – T диаграмата съответства на точка, наречена тройна точка T_p . Тройната точка е пресечна точка на линиите, разделящи две различни фази. Равновесие на повече от три фази от дадено вещество е невъзможно.

Фазовите преходи обикновено са съпроводени с поглъщане или отделяне на количество топлина, наречена топлина на прехода (фазови преходи от първи род). Някои фазови преходи (фазови преходи от втори род) не са свързани с предаване на количество топлина, но те не са предмет на настоящия курс.

Ще разгледаме по-подробно фазовите преходи на изпарение (преминаване на системата от течно в газообразно състояние) и кондензация (обратния преход), тъй като те представляват особен интерес, както ще видим по-нататък, за топлинните машини.

В течностите и твърдите тела винаги има молекули от повърхностния слой, които имат достатъчно енергия за да преодолеят силите на привличане от останалите молекули и да напуснат системата, т.е. да преминат в газообразно състояние. Преминаването на течността в газообразно състояние наричаме изпарение, а преминаването на твърдо тяло в газообразно състояние – сублимация. Изпарението и сублимацията се извършват практически при всички температури, при които може да съществува съответната двуфазна система, но в много случаи те са с твърде слаба интензивност за да можем да ги регистрираме.

При изпарението или сублимацията молекулите, които напускат тялото, са тези с най-голяма енергия, следователно средната енергия на останалите молекули намалява и тялото ще се охлажда. За да поддържаме температурата му постоянна, трябва да му предаваме някакво количество топлина, което отнесено към единица маса от веществото, се нарича специфична топлина на изпарение (или сублимация).

Кондензацията е обратният процес, при който молекули от газообразната фаза се захващат от течността или твърдото тяло. В този случай топлината се предава в обратна посока и течността или твърдото тяло се загряват т.е. ако искаме кондензацията да протича при постоянна температура, трябва да охлаждаме тялото.

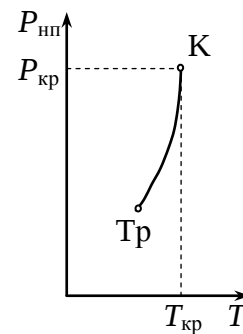
Наситени пари

Нека да изясним процеса на установяване на равновесие между дадена течност и нейните пари. Ако вземем един затворен съд, в който има определено количество течност, изтеглим въздуха над течността и оставим системата сама на себе си ще започне отделяне на молекули от повърхността ѝ поради изпарението. Тези молекули ще започнат да запълват пространството над течността. От друга страна част от тези молекули могат да се върнат обратно в течността – наред с изпарението ще протича и процес на кондензация. Количеството молекули, които преминават обратно в течността ще зависи от броя на молекулите, които се удрят в повърхността, т.е. от концентрацията на молекулите в газообразната фаза. Следователно този брой ще расте с налягането на парите. При достигането на определено налягане (за дадена температура) ще настъпи равновесие – броят молекули, които се изпаряват от течността за единица време ще бъде равен на броят на тези, които кондензират. Между течността и нейните пари се установява динамично равновесие, докато не променим температурата или обема на системата. Такива пари, които се намират в равновесие с течността, се наричат наситени пари, а налягането, при което се установява това равновесие, се нарича налягане на наситените пари. Както казахме, това налягане зависи от температурата на системата. При повишаване на температурата броят на молекулите, които напускат течността се увеличава $\sim T$, а броят молекули, които се връщат в течността расте $\sim \sqrt{T}$, т.е. частта от молекулите, които се изпаряват ще бъде по-голяма и при достигане на новото състояние на равновесие налягането на наситените пари при по-високата температура ще

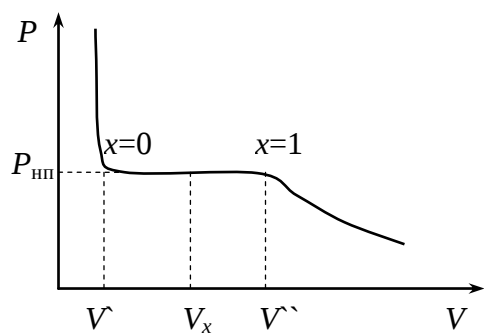
бъде по-голямо. Следователно налягането на наситените пари $P_{\text{нп}}$ зависи от температурата (фиг. 1, смисълът на критичната точка **К**, както и на стойностите $P_{\text{кр}}$ и $T_{\text{кр}}$ ще изясним в следващия въпрос).

Ако увеличим обема на съда, налягането на парите ще намалее и равновесието ще бъде нарушено, в резултат на което част от течността ще се изпари до установяване на ново равновесие при друго налягане. Аналогично намаляването на обема ще доведе до кондензация на част от парите.

Нека да проследим процеса на кондензация на газ в P - V диаграма при постоянна температура т.е. при изотермен процес (фиг. 2). При намаляване на обема до стойност V'' имаме газообразно състояние. При достигане на V'' налягането престава да се променя и започва кондензация на парите. От V'' до V' налягането е постоянно – това е налягането на наситените пари $P_{\text{нп}}$. В този интервал имаме двуфазна



фиг. 1



фиг. 2

система, като при обем V' завършва процесът на кондензация – цялото вещество е в течно състояние. При по-нататъшното намаляване на обема налягането рязко се увеличава, тъй като течността е почти несвиваема. Състоянията на системата между обемите V' и V'' се наричат влажна пара, а в състояние V'' – суха наситена пара. Масовото съдържание на пара в двупазната смес се нарича паросъдържание x :

$$x = \frac{m_x}{m},$$

където m_x е масата на парата в двупазната система, а m – масата на цялата система. Ясно е, че $0 \leq x \leq 1$, като $x=0$ на левия край на правата линия (течност) и $x=1$ на десния ѝ край (суха наситена

пара).