

Топлинни диаграми

След като въведохме важната величина ентропия (15 въпрос), можем да направим една аналогия между работата и количеството топлина, чрез която да получим още един начин за представяне на равновесните процеси – в т.нар. топлинна или ***T-S*** диаграма. От определението за ентропия (15 въпрос) следва, че количеството топлина, което предаваме на системата при равновесен процес е $dQ = TdS$. Този израз е подобен на формулата за работата, която върши газът срещу външните сили $dA = PdV$ (4 въпрос). Тази връзка ни даде възможност да представяме процесите в ***P-V*** диаграма и да получаваме работата като площта под кривата на процеса, поради което ***P-V*** диаграмата се нарича още работна диаграма. Като използваме аналогията между формулите ($A \rightarrow Q$; $P \rightarrow T$; $V \rightarrow S$) виждаме, че можем да представим процеса и чрез функция на температурата ***T*** от ентропията ***S***, т.е. в ***T-S*** диаграма (фиг. 1). Можем да пресметнем и количеството топлина, което е предадено на системата, за повишаване на ентропията ѝ от ***S***₁ до ***S***₂

$$dQ = TdS$$

$$Q = \int_1^2 dQ = \int_{S_1}^{S_2} TdS = B'$$

фиг. 1

където ***B*** е площта на фигурата, заградена от кривата на процеса и абсцисната ос между началното и крайното състояние (фиг. 1). Следователно количеството топлина може да се пресметне от топлинната диаграма (***T-S***) по същия начин, по който пресмятаме работата от работната диаграма (***P-V***) – това е площта под съответната крива на процеса.

Нека да видим как се представят изопроцесите, които разгледахме в предишните въпроси, в ***T-S*** диаграма. Ясно е, че графиката на изотермния процес (***T=const***) ще бъде права, успоредна на абсцисната ос и предаденото количество топлина ще бъде площта на правоъгълника (фиг. 2а), $Q = T(S_2 - S_1)$, а графиката на адиабатния процес ще бъде права, успоредна на ординатната ос и предадената топлина ***Q=0*** – адиабатният процес е изоентропиен, ***dQ=0***, ***dS=0***, ***S=const*** (фиг. 2б).

За да получим графиките на останалите процеси трябва да представим температурата като функция на ентропията и да начертаем графиката на тази функция. Ще използваме определения за топлинни капацитети (5 въпрос) и за ентропия (12 въпрос)

$$dQ = CdT = TdS$$

$$\frac{dT}{T} = \frac{1}{C} dS$$

$$\int \frac{dT}{T} = \frac{1}{C} \int dS$$

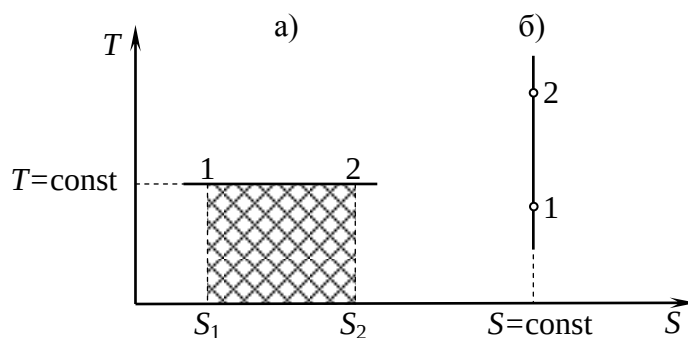
$$\ln T = \frac{S}{C}$$

$$(1) T = \exp \frac{S}{C}.$$

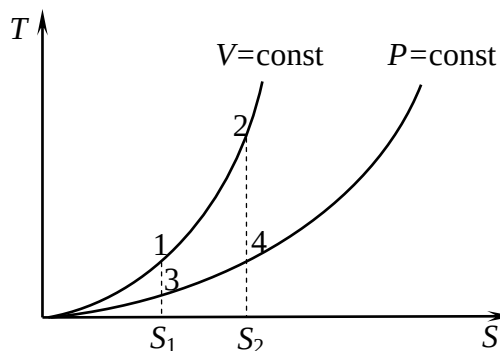
Използвами сме факта, че всеки изопроцес е частен случай на политропен процес т.е. топлинният капацитет ***C=const*** (10 въпрос) и можем да го изнесем пред интеграла. От (1) е ясно, че графиките на останалите процеси са експоненти (фиг. 3), при това те са толкова по-стръмни, колкото е по-малък топлинният капацитет ***C*** на системата. Тъй като ***C_P>C_V***, изохорите

$$(2) T = \exp \frac{S}{\frac{m}{\mu} C_V}$$

в ***T-S*** диаграма ще бъдат по-стръмни от изобарите



фиг. 2



фиг. 3

$$(3) T = \exp \frac{S}{\frac{m}{\mu} C_p},$$

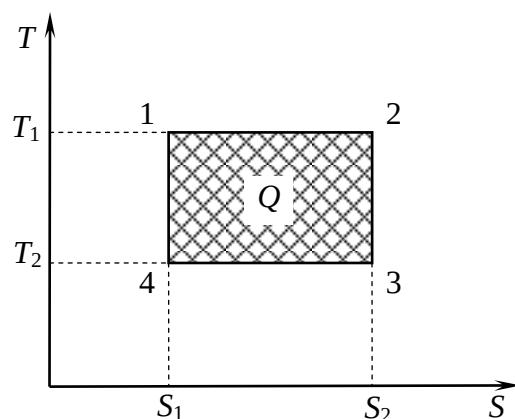
а стръмността на политропата ще зависи от C – колкото е по-голям топлинният капацитет, толкова повече експонентата ще се доближава до изотерма т.е. хоризонтална права ($C \rightarrow \infty$ за изотермния процес) и обратно – при намаляване на C графиката ще клони към адиабата ($C=0$) – вертикална права. Всички криви трябва да минават през началото на координатната система (за повечето вещества), което ще покажем в следващия въпрос (теоремата на Нернст). Количеството топлина, което се предава на системата (площта под съответната крива на фиг. 3) може да се пресметне за всеки процес

$$Q = \int_1^2 dQ = \int_{S_1}^{S_2} T dS = \frac{1}{\frac{m}{\mu} C_V} \int_{S_1}^{S_2} e^S dS = \frac{e^{S_2} - e^{S_1}}{\frac{m}{\mu} C_V} \text{ за изохорен процес, като имаме предвид (2) и}$$

$$Q = \int_3^4 dQ = \int_{S_1}^{S_2} T dS = \frac{1}{\frac{m}{\mu} C_p} \int_{S_1}^{S_2} e^S dS = \frac{e^{S_2} - e^{S_1}}{\frac{m}{\mu} C_p} \text{ за изобарен процес, като имаме предвид (3).}$$

Можем да представим и цикъла на Карно (13 въпрос) в топлинна диаграма (фиг. 4). Това представяне е по-просто отколкото в работната диаграма, тъй като процесите в цикъла са изотермни и адиабатни, а те се представят на $T-S$ диаграма с прави линии. Количеството топлина Q , което е заградено от цикъла, е тази топлина, която е преобразувана в полезна работа ($Q=Q_1+Q_2$, като трябва да се има предвид, че $Q_2 < 0$, тъй като $Q_2 = T_2(S_1 - S_2)$, а $S_1 < S_2$) и може да се пресметне като площта на правоъгълника 1234. Тогава лесно можем да пресметнем КПД на топлинната машина:

$$\eta = \frac{Q_1 + Q_2}{Q_1} = \frac{Q}{Q_1} = \frac{(T_1 - T_2)(S_2 - S_1)}{T_1(S_2 - S_1)} = \frac{T_1 - T_2}{T_1} = 1 - \frac{T_2}{T_1}.$$



фиг. 4