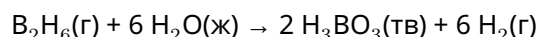




## Термодинамика для межзвездного путешествия

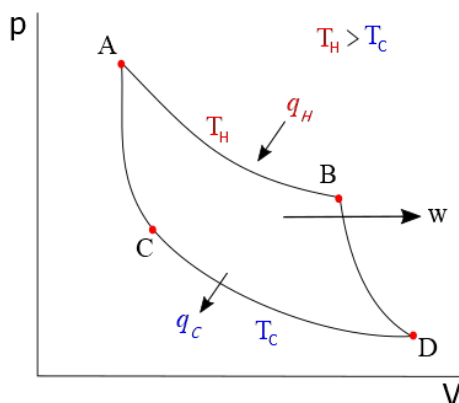
### Часть 1

В одной из вселенных неизвестное количество диборана вступает в реакцию:



В этой вселенной  $\text{H}_3\text{BO}_3(\text{тв})$ , полученную в предыдущей реакции, полностью испарили при 300 К. Энергия, необходимая для сублимации, равна работе, полученной за **один цикл** идеальной тепловой машины, в которой один моль идеального одноатомного газа вступает в цикл, изображенный ниже на диаграмме давление ( $p$ ) – объем ( $V$ ):

- A → B; обратимое изотермическое расширение при температуре 1000 К ( $T_H$ ) за счет теплоты  $q_H = 250$  Дж, полученной от нагревателя.
- B → D; обратимое адиабатическое расширение.
- D → C; обратимое изотермическое сжатие при температуре 300 К ( $T_C$ ), в результате которого теплота ( $q_C$ ) передается холодильнику.
- C → A; обратимое адиабатическое сжатие.



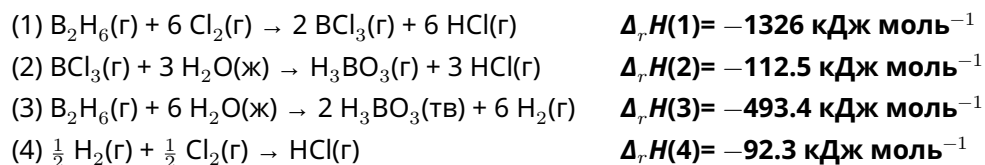
В результате цикла производится работа ( $w$ ). Теплоты  $q_H$  и  $q_C$  связаны с температурами  $T_H$  и  $T_C$  соотношением:

$$\frac{|q_H|}{|q_C|} = \frac{T_H}{T_C}$$

Коэффициент полезного действия тепловой машины определяется как отношение работы ( $w$ ), произведенной в цикле, к теплоте ( $q_H$ ), полученной от нагревателя.



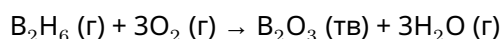
Ниже даны энтальпии следующих реакций при 300 К.



<b>6.1</b>	<b>Рассчитайте</b> молярную энтальпию сублимации (в кДж моль <sup>-1</sup> ) для $\text{H}_3\text{BO}_3$ при 300 К.	5.0pt
<b>6.2</b>	<b>Рассчитайте</b> $\Delta_r U$ (изменение внутренней энергии) в кДж моль <sup>-1</sup> при 300 К для приведенных выше реакций (2) и (4) (все газы считайте идеальными).	12.0pt
<b>6.3</b>	<b>Рассчитайте</b> общую работу ( $ w $ ) в Дж, производимую тепловой машиной за один цикл, и теплоту ( $ q_C $ ) в Дж, отдаваемую холодильнику за один цикл.	6.0pt
<b>6.4</b>	<b>Рассчитайте</b> коэффициент полезного действия описанной тепловой машины.	3.0pt
<b>6.5</b>	<b>Рассчитайте</b> изменение энтропии ( $\Delta S$ ) в Дж К <sup>-1</sup> для процессов $A \rightarrow B$ и $D \rightarrow C$ .	6.0pt
<b>6.6</b>	<b>Рассчитайте</b> изменение энергии Гиббса ( $\Delta G$ ) в Дж для процессов $A \rightarrow B$ и $D \rightarrow C$ .	6.0pt
<b>6.7</b>	<b>Рассчитайте</b> отношение давления в точке А к давлению в точке В в цикле.	5.0pt
<b>6.8</b>	<b>Рассчитайте</b> количество $\text{H}_2(\text{г})$ (в молях), полученного в реакции, приведенной в самом начале задачи, за счет работы тепловой машины в одном цикле.	3.0pt

## Часть 2

Диборан можно использовать в качестве ракетного топлива для межзвездных путешествий. Уравнение сгорания диборана имеет вид:





Сжигание диборана проводили в замкнутом сосуде объемом 100 л при различных температурах и получили следующие равновесные составы.

	8930 K	9005 K
$B_2H_6(g)$	0.38 моль	0.49 моль
$H_2O(g)$	0.20 моль	0.20 моль

Парциальное давление  $O_2(g)$  во всех случаях поддерживали постоянным и равным 1 бар. В этой вселенной:  $\Delta_r S^\circ$  и  $\Delta_r H^\circ$  совершенно не зависят от температуры, стандартная молярная энтропия ( $S^\circ$ )  $B_2O_3(тв)$  не зависит от давления, все газы – идеальные, все вещества не меняют агрегатное состояние и не разлагаются при этих температурах.

**6.9** **Рассчитайте**  $K_p$  (константу равновесия, выраженную через давления) при 8930 K и 9005 K. 8.0pt

**6.10** **Рассчитайте**  $\Delta_r G^\circ$  реакции в кДж моль<sup>-1</sup> при 8930 K и 9005 K. 6.0pt  
(Если в силу альтернативной одаренности вы не смогли рассчитать  $K_p$ , используйте  $K_p(8930\text{ K}) = 2$ ,  $K_p(9005\text{ K}) = 0.5$ )

**6.11** **Рассчитайте**  $\Delta_r G^\circ$  (в кДж моль<sup>-1</sup>),  $\Delta_r H^\circ$  (в кДж моль<sup>-1</sup>) и  $\Delta_r S^\circ$  (в Дж моль<sup>-1</sup> K<sup>-1</sup>) реакции горения при 298 K. 6.0pt  
(Если по какой-то причине вы не смогли рассчитать  $K_p$ , используйте  $K_p(8930\text{ K}) = 2$ ,  $K_p(9005\text{ K}) = 0.5$ )

**6.12** Определите, является ли реакция горения термодинамически возможной при указанных в таблице температурах и стандартном давлении (1 бар). **Поставьте** галочки в соответствующие клетки таблицы. 8.0pt

**6.13** **Рассчитайте** энтальпию образования  $\Delta_f H$  (в кДж моль<sup>-1</sup>) и стандартную энтропию  $S^\circ$  (в кДж моль<sup>-1</sup> K<sup>-1</sup>) для  $H_2O(g)$ , используя данные из таблицы ниже. 6.0pt  
(Если вы умудрились ранее не найти  $\Delta_r H^\circ$  и  $\Delta_r S^\circ$  для реакции горения, используйте значения  $\Delta_r H^\circ = 1000$  кДж моль<sup>-1</sup>,  $\Delta_r S^\circ = 150$  Дж моль<sup>-1</sup> K<sup>-1</sup>)

	$\Delta_f H(298\text{ K})$	$S^\circ(298\text{ K})$
$B_2H_6(g)$	36.40 кДж моль <sup>-1</sup>	0.23 кДж моль <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup>
$O_2(g)$	0.00 кДж моль <sup>-1</sup>	0.16 кДж моль <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup>
$B_2O_3(тв)$	-1273 кДж моль <sup>-1</sup>	0.05 кДж моль <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup>